

ZNAČAJ SELENODEZIJE I LASERSKIH MJERENJA UDALJENOSTI DO MJESECA ZA GEODETSKU ZNANOST, S POSEBNIM OSVRTOM NA SISTEMATSKE POGREŠKE TIH MJERENJA

Asim BILAJBEGOVIĆ — Zagreb*

UVOD

Geodezija je načela u posljednjem razvoju na području istraživanja Sve-
mira jedno potpuno novo područje. Pri tome Mjesec igra posebnu ulogu, radi
svoje relativno velike blizine našoj planeti. U vezi s tim pojavila se specijalna
disciplina »selenodezija« i zbog toga slog »geo« u terminu »geodezija« ne bi se
smio ograničeno shvatiti. Za nas geodete Mjesec je interesantan ne samo radi
njegove izmjere nego i radi laserskih mjerenja udaljenosti Zemlja — Mjesec u
cilju rješavanja nekih geodetskih, astronomskih i geodinamičkih zadataka. Si-
stematizacija tih zadataka povezana s problemima selenodezije bi izgledala
ovako:

1. Određivanje parametara mjesečevog kretanja po geocentričnoj orbiti (po-
boljšanje Brown-teorije) i s tim u vezi parametara Mjesečeve rotacije, od-
nosno fizikalne libracije i eventualno postojanja kretanja Mjesečevog pola.
2. Određivanje oblika i veličine Mjeseca pomoću selenocentričnih radius vek-
tora na Mjesečevoj površini kao i povećanje točnosti tih koordinata a
s tim u vezi određivanje jedne izabrane nivo plohe i njezine sile teže.
3. Određivanje selenocentričnog koordinatnog sistema i realizacija ovog siste-
ma putem mreže fotovidljivih točaka.
4. Detaljno topografsko i gravimetrijsko snimanje Mjeseca.
5. Određivanje geocentrične gravitacione konstante čija je vrijednost posebno
interesantna za satelitsku geodeziju.
6. Određivanje geocentričnih, terestričkih koordinata laserskih stajališta.
7. Studija o momentalnom kretanju rotacione osi Zemlje (kretanje Zemljinog
pola) kao i o nekonstantnoj Zemljinoj rotaciji.
8. Određivanje promjene velikih udaljenosti točaka na površini Zemlje (con-
tinental drift).
9. Ostvarivanje jednog inercijalnog koordinatnog sistema (riješnog hipoteza).
10. Dugogodišnja mjerenja udaljenosti Zemlja — Mjesec mogla bi potvrditi
teorijska razmatranja (predviđanja) o promjeni udaljenosti Zemlja — Mje-
sec, odnosno izmjeni Mjesečeve orbite.

* Adresa autora: dr inž. Asim Bilajbegović, Geodetski fakultet Zagreb, Kačićeva 26

Iz navedenog se vidi čitav niz područja geodezije odnosno selenodezije, koja se daju riješiti upotrebom današnje tehnike u mjerenju udaljenosti Zemlja — Mjesec i radi toga se u razvijenim zemljama tim problemima poklanja velika pažnja.

I. KRATAK OPIS POJEDINIHZADATAKA I KOMPARACIJA S KLASIČNIM REZULTATIMA

1. Na Mjesecu razlikujemo tri centra, na osnovu radarskih mjerenja udaljenosti Mjeseca, koja su provedena u vrijeme satelita »Lunar Orbiter« i »Surveyor« i seizmografskih mjerenja koja su izvršena na Mjesecu, i to (vidi [2]):
 - a) efemeridski centar (Brown-teorija)
 - b) geometrijski centar i
 - c) centar mase Mjeseca (centar Mjesečeve mase).

Efemeridski centar obilazi geometrijski centar Mjeseca s polumjerom od cca 1 km, a seizmička mjerenja pokazuju odstupanja geometrijskog centra i centra mase Mjeseca od cca 2 km. Drugim riječima, točnost Brown-teorije je cca (2 ± 1) km, a na osnovu te teorije tabelirane su koordinate Mjeseca u astronomskim godišnjacima.

Iz laserskih mjerenja udaljenosti Zemlja — Mjesec te korištenjem numeričke integracije dobivamo trodimenzionalne koordinate Mjeseca s točnošću od ± 25 m ([13] str. 257). Tu vidimo neuporedivo povećanje točnosti geocentričnih koordinata Mjeseca.

Fizikalnu libraciju ili bolje rečeno nutaciju osi inercije Mjeseca dobrim dijelom karakterizira parametar fizikalne libracije f . Klasična opažanja Mjeseca pružaju mogućnost određivanja parametra (f) sa srednjom pogreškom $m_f = \pm 0,09$, dok laserska opažanja Mjeseca daju srednju pogrešku $m_f = \pm 0,00005$ ([1] str. 239).

2. Klasičnim načinom opažanja Mjeseca (kratera na Mjesecu) dobivaju se selenocentrične koordinate kratera s točnošću od cca ± 1 km. Međutim, korištenjem laserskih mjerenja dobivene su selenocentrične koordinate reflektora od Apolla 11, 14 i 15, te od Lynohoda II s točnošću od ± 25 m. Najnovija istraživanja, koja je provela Kolaczek [9] pokazuju ovisnost točnosti tih koordinata i o položaju Mjeseca u odnosu na Zemljin ekvator, odnosno o deklinaciji Mjeseca i kreću se u granicama do ± 10 m. Slično Geoidu kod Zemlje trebalo bi definirati na Mjesecu selenoid, kao nivo plohu Mjesečeve sile teže. (Međutim, kao što nam je poznato na Mjesecu nemamo nivo plohe mora). Drugim riječima srednji selenoid trebao bi imati isti volumen kao stvarni Mjesec, a to je povezano s, nepotpunim odnosno aproksimativnim poznavanjem topografije Mjeseca. Zbog toga je bolje u sadašnje vrijeme selenoid definirati davanjem datumske točke. Kao Mjesečev datum izabrano je mjesto slijetanja Apolla 12, na kojem se nalazi automatska površinska stanica ALSEP (Apollo Lunar Surface Experiments Package) s radius-vektorom 1735,787 km. U svakom slučaju i koordinate reflektora na Mjesecu su poznate s istom točnošću pa bi i svaki od njih mogao poslužiti kao Mjesečev datum.

Slično kao i za normalno ubrzanje sile teže Zemlje, postoji formula za teorijsko ubrzanje sile teže na elipsoidnom selenoidu (v. [14] str. 247).

$$\gamma [\text{cm/sec}^2] = 162,595 (1 - 0,002342 \sin^2 \theta + 0,000170 \cos^2 \theta \cos 2\lambda) \dots \quad (1)$$

gdje je:

θ — selenografska širina, a

λ — selenografska dužina točke.

Iz izraza (1) vidi se da je ubrzanje sile teže manje na polovima nego na Mjesečevom ekvatoru, što je suprotno u odnosu na Zemlju. Napominjemo samo da se undulacije selenoida kreću od 220 do 700 metara, dok kod Zemlje (geoida) ne prelaze 100 odnosno 25—30 metara.

3. Selenocentrični koordinatni sustav treba čvrsto vezati za Mjesec, a taj se ostvaruje uzimajući rotacijsku os Mjeseca i jednog nultog meridijana. Radi fizikalne libracije i kretanja pola Mjeseca, primorani smo uzeti konvencionalno utvrđen srednji nulti meridijan i srednji pol slično kao kod Zemlje. Kao čvrste točke u ovom sustavu služe nam 5 reflektora stacioniranih na Mjeseću, a isto tako i ALSEP-stanice uz vrlo uspješna VLBI mjerenja. Koordinate jednih i drugih bliske su po točnosti. Prijašnjim klasičnim opažanjima Mjeseca imali smo mrežu kratera (npr. 1. reda), čije su koordinate određivane s točnošću od $\pm 0,5$ —1 km.

Sada već postoje konstrukcije automatskih astronomskih instrumenata za opažanje s površine Mjeseca. Ovdje se pogotovu misli na određivanje parametara fizikalne libracije (iz astronomskih mjerenja s Mjeseca) radi vrlo male gustoće Mjesečeve atmosfere. U vezi s tim nužno je napomenuti da Mjesečeva doba prouzrokuju vremenski hod otklona težišnice do cca 2", što je u komparaciji sa Zemljom neuporedivo veće. Osim toga, otklon težišnice radi tzv. maskons-a iznosi čak 13'.

Godine 1948. su poznati istraživači Mueller i Sjorgon na osnovu analize gravitacionog polja Mjeseca otkrili velike pozitivne anomalije, koje prouzrokuju tzv. masconsi. Ukratko rečeno to su koncentrirane mase ispod površine Mjeseca veće gustoće od svog okoliša. Za sad se zna da oni egzistiraju na vidljivoj strani Mjeseca. Najveći od njih koncentrirani su u blizini najvažnijih kratera kružnog oblika (npr. Mare Imbrium, Mare Serenitatis, Mare Crisium, Mare Orientale, Mare Nectaris, Mare Humorum). Posljednji Apollo brodovi bili su opremljeni s dvije fotogrametrijske kamere, jednom tzv. Mjesečevom kartirajućom kamerom žarišne daljine 76,6 cm i jednom panoramskom kamerom. Za određivanje elemenata vanjske orijentacije služila je tzv. zvjezdana kamera. Fotogrametrijskim (metodama) snimljeno je do sada 38% Mjesečeve površine, koja se zapravo proteže između širina $\pm 26^\circ$. Točnost tako dobivenih koordinata točaka Mjesečeve površine kreće se oko ± 25 do ± 40 m. Napomenimo na kraju da se laserskom altimetrijom dobivena točnost profila na Mjeseću kreće oko ± 16 m (npr. sa Apolla 16).

4. Detaljnu strukturu polja sile teže Mjeseca poznamo za stranu Mjeseca okrenutu prema Zemlji do promjera od 300 km, odnosno djelomično do 50 km. A to nam omogućuje opažanje Mjesečevih umjetnih satelita. Slično kao kod Zemlje, razvijeno je Mjesečevo polje sile teže u sferne

(kugline) funkcije. Radi slabe konvergencije razvijenih redova, danas se radi na predstavljanju polja sile teže Mjeseca sa sfernim funkcijama i točkastim masama smetnji. Čitav niz znanstvenika u mnogim zemljama upravo radi na ovoj tzv. »hibridnoj« predstavu sile teže ([12]).

Međutim, za detaljnu strukturu sile teže (manje površine) potrebna su nam gravimetrijska mjerenja na samoj Mjesečevoj površini. Osim toga, uz pomoć gradiometrije (mjerenje gradijenta gravitacionog polja) mogu se dobiti vrijedne informacije o polju sile teže. Npr. Stange [11] navodi da bi najjednostavniji gradimetar mogao biti izrađen od 2 satelita povezana žicom dužine nekoliko kilometara. Ovaj sistem se postavi u smjer gravitacionog gradijenta i mjerenja napregnutosti žice su direktno proporcionalna gradijentu.

5. Iz opažanja umjetnih Mjesečevih satelita dobije se geocentrična gravitaciona konstanta s relativnom točnošću od cca $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$, dok se ista veličina može dobiti iz laserskih opažanja Mjeseca s relativnom točnošću od $\pm 2 \cdot 10^{-7}$ ([2] str. 57).
6. Geocentrične koordinate laserskih stanica (na Zemlji) poznate su nam s točnošću do par decimetara ([13] str. 257) što je daleko točnije nego što nam pruža današnja dinamička satelitska geodezija (± 2 m) a da ne govorimo o rezultatima klasične geodezije (25—100 m). S ovim bi se ponovo mogla i aktivirati stara ideja Helmerta o određivanju Zemljinog elipsoida iz opažanja Mjeseca.
7. Radi određivanja geografske širine i dužine geodetskih točaka, te drugih potreba astronomije i satelitske geodezije treba nam studija o momentalnom kretanju rotacione osi Zemlje kao i nekonstantnosti u Zemljinoj rotaciji. Iz laserskih opažanja Mjeseca dobiva se kretanje pola u području od svega nekoliko cm, a UT-1 s točnošću od 100 μ s.
8. Za potrebe geodinamike od velike je važnosti utvrđivanje kontinentalnog hoda (drifta), a laserska mjerenja protegnuta kroz duži vremenski period i oslobođena sistematskih pogrešaka, omogućavaju i takvo određivanje.
9. Ostvarivanje jednog inercijalnog koordinatnog sistema može se realizirati koristeći samo laserska mjerenja Zemlja—Mjesec, prema Reisheu ([11] str. 140—145) tzv. ortogonalnom triangulacijom, a i preko radio-interferometrije (VLBI — Very Long Baseline Interferometry). Međutim, korištenjem opažanja quasara (VLBI) treba taj koordinatni sistem za nešto vezati a tu upravo se pruža mogućnost vezivanja za Mjesec, npr. pomoću ALSEP tehnike.

II. PODJELA SISTEMATSKIH POGREŠAKA PRI MJERENJU UDALJENOSTI DO MJESECA

Znajući da trenutačna unutarnja točnost mjerenja udaljenosti Zemlja—Mjesec iznosi oko ± 8 cm. ([13] str. 267) i predviđajući da će se u skoroj budućnosti povećati na svega ± 3 cm, a s druge strane vidjeli smo koje sve probleme geodezije, astronomije i geodinamike s tim možemo riješiti, nameće se

kao neophodni zahtjev eliminacija sistematskih pogrešaka iz tih mjerenja. Te pogreške mogle bi se svrstati u dvije grupe:

- a) instrumentalne pogreške i
- b) pogreške koje pripadaju fizikalnom efektu.

- a) Kako i sam naziv pokazuje te se pogreške pripisuju konstrukciji mjernog pribora tj. lasera i stacioniranih reflektora na Mjesečevoj površini kao i mjernom procesu. (Pogreške su donekle slične kao i kod elektrooptičkog mjerenja terestričkih dužina te ih nećemo detaljnije objašnjavati).
- b) Pogreške koje pripadaju fizikalnom fenomenu prouzrokovane su kretanjem mjernih zraka kroz atmosferu i geofizičkim fenomenima kao što su npr. Zemljina i Mjesečeva doba.

Razdjeljene izgledaju ovako:

1. Pogreške radi atmosferske refrakcije
2. Pogreške prouzrokovane Zemljinim dobima
3. Pogreške radi Mjesečevih doba
4. Pogreške radi kontinentalnog hoda.

1. Pogreške radi atmosfere mogu se podijeliti na pogreške koje nastaju prolazom zrake kroz:

- a) troposferu i
- b) jonosferu.

Utjecaj troposfere dobije se iz osnovne formule

$$V_p = \frac{c}{n} \quad (2)$$

gdje je

V_p — brzina laserskih zraka u troposferi,

c — brzina zrake (elektromagnetne radijacije) u vakumu,

n — indeks loma medija (troposfere).

Pomoću toga možemo dobiti razliku pređenog puta u praznom prostoru i aktualnom (stvarnom) prostoru po formuli

$$\begin{aligned} d &= \int dh - \int n dh \\ &\text{ili} \\ d &= \int (1 - n) dh \end{aligned} \quad (3)$$

Integraciju bi trebalo izvršiti duž mjerenog puta. Osim toga, poznato je da je refrakcija ovisna i o zenitnoj daljini a u praktičnim mjerenjima zenitni kut može biti veoma mali u ovisnosti od položaja laserskog stajališta na Zemlji i vremena mjerenja, pošto je Mjesec mobilan a mjerenja obavljamo sa Zemlje (koja rotira).

Utjecaj troposfere može se eliminirati mjerenjem laserskim zrakama različitih valnih dužina i kreće se u granicama od oko 2,3 m.

Približnu formulu za korekciju utjecaja jonosfere daje Fajemirokun ([6] str. 219):

$$|\delta d| \approx \frac{3 \times 10^{21}}{2f^2} \text{ cm}, \quad (4)$$

gdje je:

δd — pogreška u dužini i

f — propagirana frekvencija.

2. Pretpostavljam da je utjecaj Zemljinih doba čitaocima prilično poznat ([8] str. 52—72). Pri tome je bitno, pošto se radi o jednom dinamičkom problemu, naći u trenutku mjerenja projekciju deformacije Zemlje na smjer mjerene udaljenosti (laserska stanica — reflektor na Mjesečevoj površini). Upravo to i pokazuje sl. 2 a izvod formula dat je u [2].

3. Za veliki broj znanstvenika koji se bave navedenim istraživanjima bitni problem je u utjecaju Mjesečevih doba, koji nije uziman u obzir. U radu [2] to je opširno obrađeno a pri tome glavni problem nastaje u određivanju elastičnosti Mjeseca.

Za rješenje takovog problema neophodno je poznavati realni model unutrašnje građe Mjeseca i koristeći taj model doći do karakteristika elastičnosti Mjeseca (Loveovih brojeva).

Poznati istraživači Bils i Ferrari dobili su model unutrašnje građe Mjeseca iz topografskih, gravitacionih, libracionih i seizmičkih podataka. (Treba svakako napomenuti da na mjestima slijetanja Apolla 14, (A-14), (A-15), (A-16) i (A-17) postoje stacionirane istovrsne automatske seizmičke stanice, koje su opremljene atomskim izvorom energije). Upotrebom modela Bilsa i Ferraria te koristeći postupak Jeferisa za određivanje Loveovih brojeva Zemlje, autor je dobio Loveove brojeve za Mjesec ([2] str. 64)

$$\begin{array}{lll} h = 0,0629 & k = 0,0376 & \gamma = 0,9746 \\ l = 0,0189 & \bar{G} = 1,0065 & \end{array}$$

Nešto kasnije korištenjem Takeuchijevih formula Cheng i Toksöz [5] dobili su Loveove brojeve Mjeseca za dva različita modela;

$$\begin{array}{ll} \text{Model A} & \begin{array}{l} h = 0,0501 \\ k = 0,0293 \end{array} & \text{Model B} & \begin{array}{l} h = 0,0627 \\ k = 0,0335. \end{array} \end{array}$$

Očito se model B i Loveovi brojevi iz [2] vrlo dobro slažu. Međutim u svim modelima bila je problematična građa donjeg omotača Mjeseca. Na osnovu dosadašnjih seizmičkih podataka nije poznato s dovoljnom točnošću da li je on u topljenom ili djelomično topljenom stanju (v. [2] str. 65.)

Za računanje deformacije prouzrokovane Mjesečevim dobima nije dovoljno poznavati elastična svojstva, nego i sile koje djeluju u točkama reflektora na Mjesecu, čiji je uzrok gravitaciono djelovanje Zemlje i Sunca. Dominantnu ulogu, pri tome ima Zemlja dok Sunce ima svega 1—2% utjecaja Zemlje, zbog velike udaljenosti Sunca i relativno malih dimenzija Mjeseca [2].

Mjesečeva doba prouzrokuju mijenjanje udaljenosti Zemlja—Mjesec (pošto Mjesec opisuje eliptični put oko Zemlje) odnosno promjena udaljenosti Mjesec—Sunce. Po prilici jednak efekt prouzrokuje optička libracija Mjeseca u dužini

i širini, a ispitivanja provedena u [2] pokazuju da se ne može zanemariti ni utjecaj fizikalne libracije (nutacije osi inercije Mjeseca). Posebno je interesantno ispitati periodičnost Mjesečevih doba zbog njihove eventualne povezanosti, odnosno korelacije s potresima na Mjesecu. Mjesečeva doba susrećemo s periodom od 27,55 dana (anomalistički mjesec — period obilaska mjeseca i libracije u dužini) i 27,21 dana (drakonistički mjesec — period libracije u širini), a isto tako susrećemo valove s polovicom ovog perioda.

Radi utvrđivanja modulacionog perioda amplituda Mjesečevih doba provedena su ispitivanja u vremenskom periodu od 1, 7 i 20 godina (v. [2]). Ta su istraživanja pokazala da su amplitude plimnih valova Mjeseca dva puta modulirane i to s periodom od 206 dana (sl. 1), kad osi elipse putanje Mjeseca oko Zemlje poprime ista mjesta prema Suncu.

Drugim riječima Sunce se nađe svaka 103 dana ili u smjeru velike ili male osi Mjesečeve putanje oko Zemlje, i u tom vremenskom periodu ekscentricitet Mjesečeve putanje skoro je 20% veći, odnosno manji od njegove prosječne vrijednosti.

Period je veći od pola godine, pošto se elipsa putanje Mjeseca okrene za 8,847 godina. Ovaj modulacioni period može se konstatirati u svakoj točki Mjesečeve površine kao i u sve tri komponente Mjesečevih doba. Posve dominirajuću ulogu ima šestogodišnji period modulacije amplituda plimnih valova. Modulacioni period (x) dobije se jednostavnim računom

$$x = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} = 5,9968 \text{ godina,}$$

gdje je:

$T_1 = 27,21220$ dana (drakonistički mjesec) i

$T_2 = 27,554551$ dana (anomalistički mjesec).

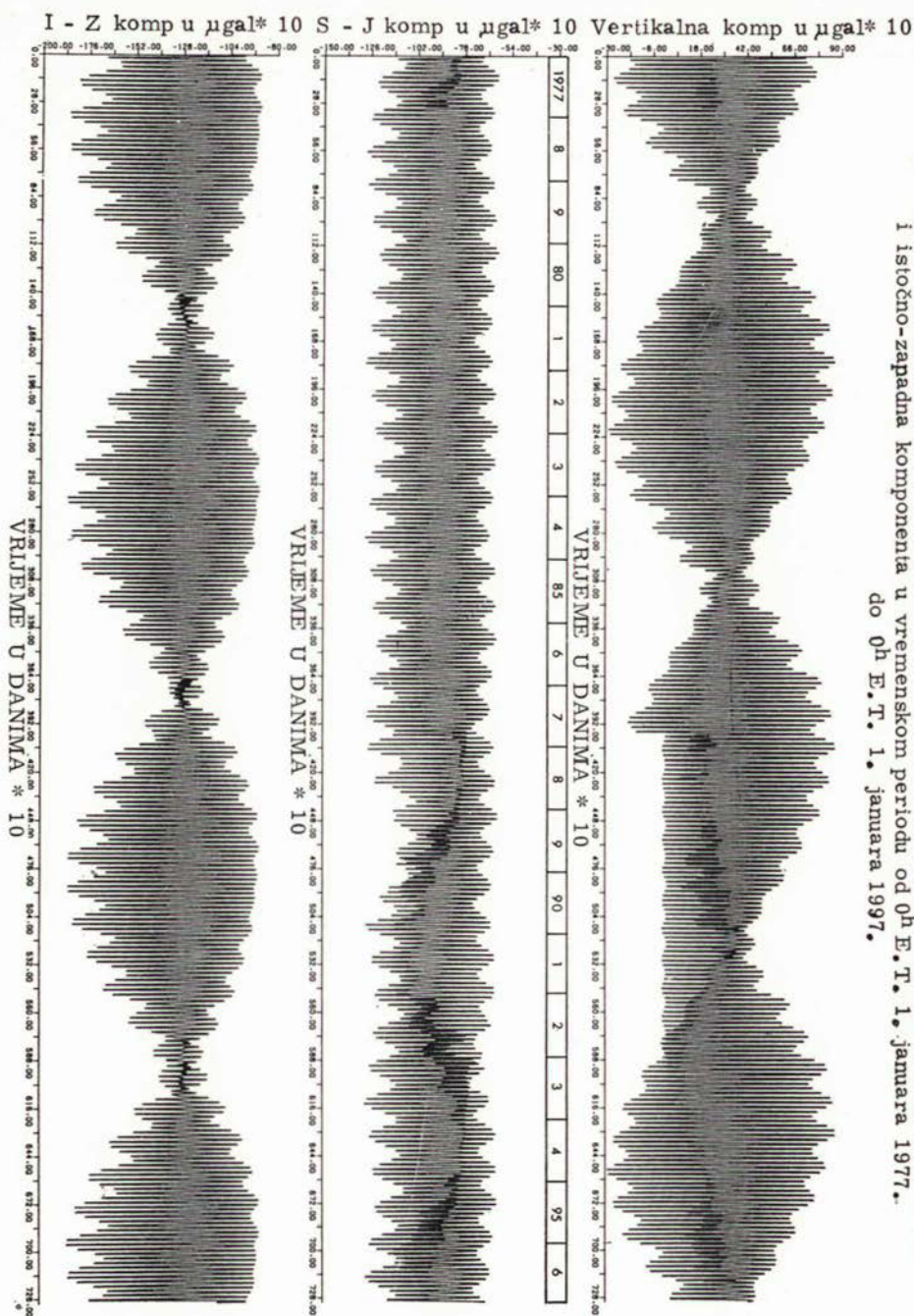
Ovaj period ne možemo dobiti u točki $\lambda = 0^\circ$ (selenografička dužina) $\theta = 0^\circ$ (selenografička širina) na Mjesecu u vertikalnoj- i istočno—zapadnoj-komponenti, a također u sjeverno—južnoj komponenti u točkama ($\lambda = \pm 45^\circ$, $\theta = \pm 45^\circ$), što se neposredno vidi na sl. 1. Kako je naglašeno Mjesečeva doba su vrlo važna radi ispitivanja njihove povezanosti s potresima na Mjesecu. Upravo podaci seizmografa s Mjeseca ([7] str. 78) pokazuju periodičnost od 27 1/2 dana, 14 dana kao i od 206 dana. Šestogodišnja periodičnost iz podataka koji su do sada dostupni još nije utvrđena. Zbog poklapanja perioda Mjesečevih doba s periodom potresa na Mjesecu, cijeli niz autora (Voss [7] tvrdi da 95% energije koja prouzrokuje potrese na Mjesecu dolazi upravo od njegovih doba.

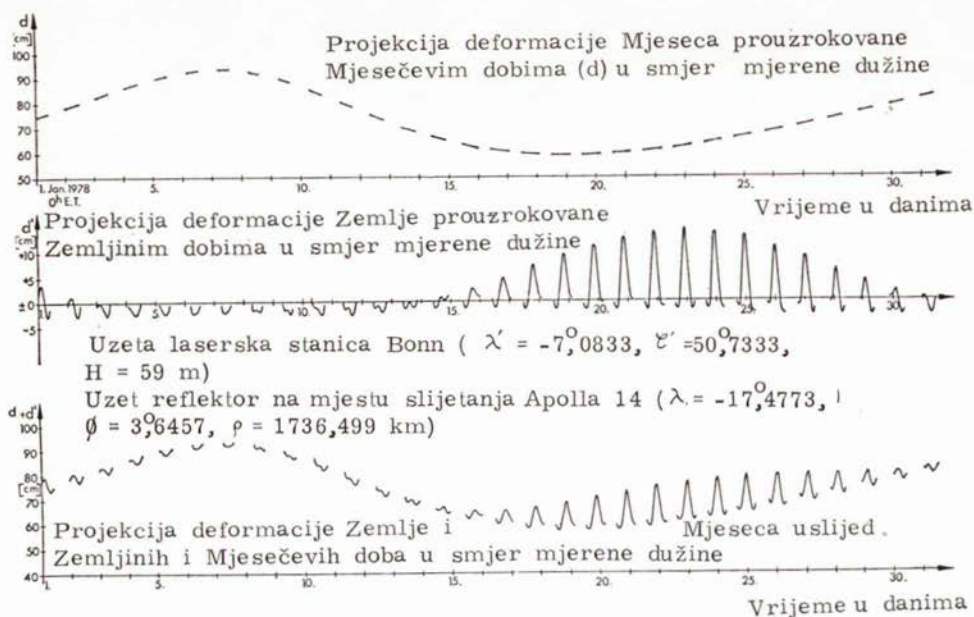
Znajući privlačna djelovanja Zemlje i Sunca na Mjesec, te elastičnost Mjeseca, možemo izračunati deformaciju Mjeseca projiciranu u smjer mjerene udaljenosti lasersko stajalište — reflektor.

(Izvod formula naveden je u [2]).

Osim toga, treba odgovoriti na bitno pitanje da li je deformacija Mjeseca veća od točnosti mjerenja udaljenosti Zemlja—Mjesec? Na to nam zorni odgovor daje sl. 2 i spomenuta točnost laserskih mjerenja Zemlja—Mjesec od 8 cm. Drugim riječima, zanemarivanjem deformacija Mjeseca koje su prouzrokovane njegovim plimnim valovima unosimo u mjereni rezultat veću pogrešku nego što je unutarnja točnost mjerenja.

Mjesečeva doba u točki P ($\lambda = 45^\circ$, $\phi = -45^\circ$) na površini Mjeseca, vertikalna, sjeverno-južna i istočno-zapadna komponenta u vremenskom periodu od 0h E.T. 1. januara 1977. do 0h E.T. 1. januara 1997.





Sl. 2

4. Kontinentalni hod je sistematska pogreška koja bi se dala indirektno odrediti iz laserskih mjerenja do Mjeseca, protegnutih na niz godina. Međutim ta mjerenja moraju biti vrlo točna, pošto je kontinentalni hod relativno mala veličina i kreće se u granicama od 1—15 cm na godinu.

Na kraju bih se zahvalio redovnom profesoru Geodetskog fakulteta u Zagrebu dr Stjepanu Klaku na korisnim savjetima i sugestijama.

POPIS LITERATURE:

- [1] Abalakin, V. K. et. al.: Prospects for Utilizing Light-Ranging (Laser) Observations of the Moon. Sov. Astron. Vol. 19. 1975, 2, pp 236—241.
- [2] Bilajbegović, A.: Die theoretische Mondgezeiten und ihre Genauigkeit mit Anwendung auf die geodätischen Abstandsmessungen zum Mond. DGK Reihe C, Nr. 248. München 1978.
- [3] Bills, B. G. and A. J. Ferrari: A Lunar density model consistent with topographic, gravitational, librational and seismic data. Journ. of Geophys. Res. vol. 82, 1977, No. 8, 1306—1313.
- [4] Brosche, P.: Radio-Astrometrie. Sterne und Weltraum 1974/10 S. 315—319.
- [5] Cheng and Toksöz: "Tidal Stresses in the Moon". Journ. of Geophys. Res. vol. 83, 1978, No B2.
- [6] Fajemirokun, F. A.: Applications of Laser Rangig and VLBI Observations for Selenodetic Control. Department of Geodetic Science, Report No. 157, The Ohio State University 1971.
- [7] Geologisches Jahrbuch. Reihe E, Heft 7. Hannover 1976.
- [8] Klak, S.: Geofizika, Zagreb 1978.

- [9] Kolaczek, B.: Mitt. des Lehrstuhls für Astronomische und Physikalische Gedäsie der TU München, 1978.
- [10] Melchior, P.: The Earth Tides. Oxford—London—Edinburg—New York—Paris—Frankfurt 1966 (ruski prevod 1968).
- [11] Rehse, H.: Entfernungsmessungen zum Mond und die Skizzirung eines hypothesenfreien Äquatorialsystems. Die Strene. 53, 1977, Heft 3.
- [12] Stange, L.: Der Mond — Objekt geodätischer Forschung, Vermessungstechnik. Nr. 12/77, pp 397—399.
- [13] Williams, J. G. et. al.: Bull. Geod. 50 (1976) pp. 255—267.
- [14] Zagrebin, D. V.: Vvedenie v teoritičeskiju gravimetriju. Lenjingrad 1976.

SAŽETAK

U ovom članku predstavljani su geodetski, astronomski te geodinamički problemi, koji se daju riješiti primjenom laserskih mjerenja udaljenosti do Mjeseca. Problemi su kratko opisani, a njihova točnost određivanja je komparirana sa klasičnim rezultatima. Kod toga posebno su obrađene sistematske pogreške mjerenja.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel sind die geodätischen, astronomischen und geodynamischen Probleme dargestellt, die man mit der Anwendung der Laser — Messungen zum Mond lösen kann. Die Probleme werden kurz beschrieben und ihre Bestimmungsgenauigkeit mit den Klassischen Ergebnissen kompariert. Vor allem werden die systematische Fehler der Messungen bearbeitet.