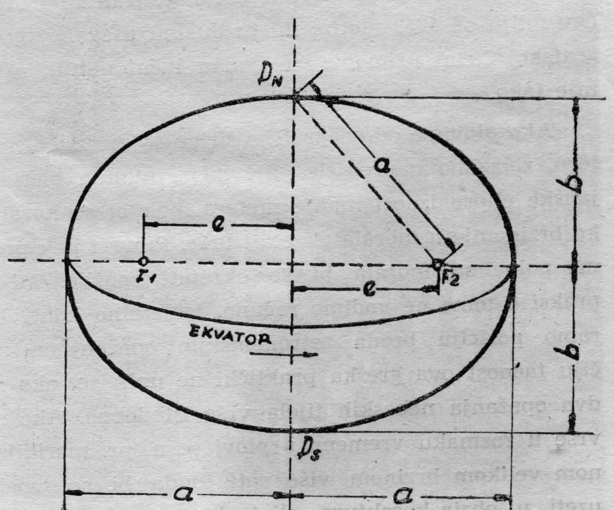
Iz nauke

Što je nautička milja?

Kap. Marin Knežević

U navigaciji se za jedinicu dužine uzima NAUTIČKA MILJA. Katkada se za ovu jedinicu upotrebljava i naziv ČVOR (UZAO), te se kaže, da neki brod razvija brzinu od n. pr. 15 čvorova (uzlova) na sat. Ovaj naziv potječe iz vremena, kada se je upotrebljavao stari brzinomjer (ručni brzinomjer), kojega danas rijetko da nađemo i na jednom starom brodu. Ovaj se je sastojao od jedne daščice oblika kružnog sektora, na periferiji kojega je bio olovni uteg, da bi daščica za vrijeme mjerenja brzine stajala vertikalno u moru, te od konopa uz nju vezana, koji se je za vrijeme mjerenja brzine ispuštao u more. Konop je bio čvorovima (uzlovima) razdijeljen na jednake dijelove tako, da se je broj ispuštenih čvorova u n. pr. 30 sekundi podudarao sa brzinom u miljama.

Ako se uzme u ruke više udžbenika iz nautike opazit će se, da se za jednu nautičku milju uzimaju različite vrijednosti, ali da se sve ove kreću oko 1852 ili 1853 metra. Odakle ove razlike i što je jedna nautička milja, pokazat ćemo u ovome članku. U tu svrhu moramo se osvrnuti na oblik i veličinu Zemlje. Da je oblik Zemlje jednak približno rotacionom elipsoidu, t. j. tijelu, koje nastaje rotacijom elipse okolo manje osi, nije teško shvatiti. Odstupanja od rotacionog elipsoida potječu uglavnom od nejednakog hlađenja i nehomogenosti Zemljine mase. Da bismo predstavili stvarni oblik Zemlje, moramo se osvrnuti na t. zv. nivo — površine. To su, naime, zatvorene površine, koje su u svakoj svojoj tački okomite na vertikalu. Jedna nivo - površina je površina mora u mirnome stanju, što znači ne uzimajući u obzir plimu i osjeku, kao ni druga gibanja morske površine. Ovakova površina, produžena ispod kontinenata, predstavlja tijelo, koje nazivljemo GEOIDOM. Oblik geoida je vrlo kompliciran i njegovo proučavanje je zadatak više geodezije.



Na osnovu vrlo velikog broja mjerenja dužina lukova meridijana i paralela zaključuje se, da se geodid može vrlo dobro aproksimirati rotacionim elipsoidom (sferoidom). Tako prema mjerenjima geodeta Bessela, Clarka i Hayforda imamo elipsoide, koji se po njima i nazivlju. Svi se oni međusobno tako malo razlikuju, da se svaki od njih i danas upotrebljava u geodeziji i astronomiji. Ovdje ćemo donijeti neke elemente elipsoida po Hayfordu, koji su prihvaćeni na kongresu »Međunarodne geodetske i geofizičke unije« u Madridu 1924. god. Vjerovatno će i radovi tokom tek zaključene geofičke godine doprinijeti nešto u tom pogledu.

Elementi po Hayfordu bi bili:

a (velika poluos) ..... 6378388 metara

b (mala poluos) .... 6356911,946 metara

Sploštenost $c = \dfrac{a - b}{a}$ 1/297

Kvadrat numeričkog ekscentriciteta $\varepsilon^2 = e^2/a^2 =$ ....

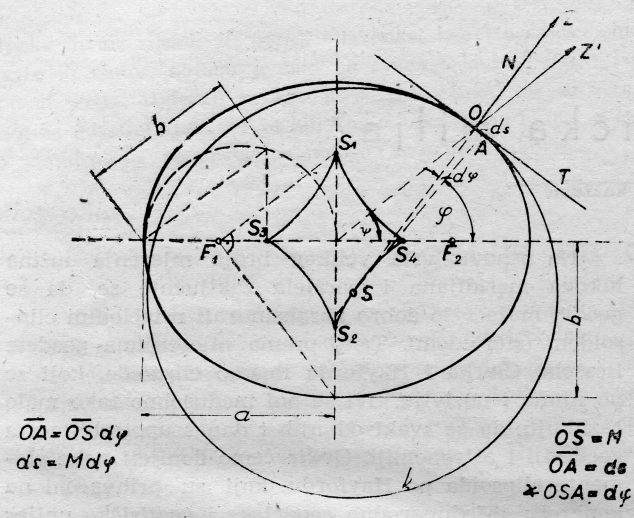
..... 0,0067226700223333367

Dužina kvadranta ekvatora ... 10019148,4 metra

Iz ovih podataka se zaključuje, da se ovakav elipsoid za vrlo malo razlikuje od kugle. Kada bismo ga htjeli predstaviti u minijaturi, dobili bismo n. pr. jednoga sa slijedećim dimenzijama:

a ... 297 m   b ... 296 m $e = \sqrt{a^2 - b^2} = 23{,}8$ m

Radi male sploštenosti za nautičke potrebe je dovoljno, da se Zemlja smatra kuglom i za rješavanje nautičkih problema primjeni sferna trigonometrija, koja je mnogo jednostavnija od one na elipsoidu. Neki Zemlju predstavljaju kuglom, koje površina je jednaka površini elipsoida, pak radius kugle računaju iz jednadžbe $4r^2\,\Pi = 4ab\,\Pi$. Drugi opet uzimaju kuglu, koje volumen je jednak volumenu elipsoida, pak radius računaju iz jednadže $\frac{4}{3} r^3\,\Pi = \frac{4}{3} a^2 b\,\Pi$. Ovakove dvije kugle se za vrlo malo razlikuju, pak će se za vrlo malo razlikovati i dužina jedne minute velike kružnice. Naime, nautička milja se definira kao dužina jedne lučne minute velike kružnice. Uzimajući za dužinu jedne lučne minute velike kružnice 1852 metra, određuje se i radius dotične kugle, koji iznosi okruglo 6367 metara. Mi za nautičku milju uzimamo 1852 metra. Kada plovimo meridijanom i prevalimo 120 milja (po brzinomjeru) mi uzimamo, da smo geografsku širinu promjenili za 120 lučnih minuta, odnosno 2 stupnja. Englezi uzimaju za nautičku milju 1853,18 metara, koliko iznosi dužina luka meridijanske elipse na geografskoj širini od 48° za promjenu geografske širine od jedne lučne minute. U U. S. A. uzimaju za nautičku milju 1853,254 metara, a to je dužina jedne lučne minute velike kružnice kugle, koje površina je jednaka površini elipsoida. U nekom časopisu je bila jednom izašla vijest, da su i u U. S. A.



prihvatili 1852 metra za nautičku milju. Pobliže o tome nije nam poznato.

Da bi stvar bila jasnija uzet ćemo meridijanski presjek (elipsu) Zemljinog elipsoida i pokazati što je oskulacijska kružnica i radius zakrivljenosti u jednoj tački krivulje. Općenito o oskulacijskim krivuljama ne možemo ovdje govoriti, jer je to problem, koji spada u diferencijalnu geometriju, ali možemo donekle objasniti pojam oskulacijske kružnice i to osvrčući se samo na elipsu. Od svih kružnica, koje u jednoj tački elipse imaju zajedničku tangentu sa njom, a tih je beskonačno mnogo s jedne i druge strane elipse, postoji jedna, t. zv. oskulacijska kružnica, koja se od nje najmanje odalečuje u okolišu te tačke. Ta kružnica i elipsa leže sa iste strane tangente i imaju zajedničke tri beskonačno bliske tačke (u vrhovima elipse dapaće četiri). Od svih kružnica ona najbolje predstavlja luk elipse u okolišu te tačke. Njezino središte leži očito na normali N, a radius joj nazivljemo radiusom zakrivljenosti. Ako ovaj radius označimo sa M, onda je elemenat luka elipse u okolišu tačke O (sl. 2) dat relacijom ds = M. d φ

φ = geografska širina

ψ = geocentrična širina

Z = geografski zenit

Z' = geocentrični zenit

M = radius zakrivljenosti meridijanske elipse u tački O (radius oskulacijske kružnice K).

U diferencijalnoj geometriji se dokazuje, da je radius zakrivljenosti elipse dat relacijom

$$M = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{(1-\varepsilon^2 \sin^2\varphi)^3}}$$

Ako uzmemo da je d φ = 1' (lučna mjera) onda gornja jednadžba za ds, a radi d φ ≐ sin 1' ≐ tg 1' ≐ 0,0002909, postaje

ds (1') = M sin 1' = 0,0002909. M

Tablice elemenata Zemljinog elipsoida daju, između ostalog, i log M. Iz tablica ovih elemenata po Clarku dobijamo:

φ	44^0	44^0 20'	44^0 40'	45^0
logM	6,8038789	6,8039048	6,8039307	6,8039565

Budući da nam nijesu pri ruci logaritmičke tablice na 7 decimala, kako nam je dat log M, što i nije važno za ovaj članak, mi sa onima na 5 decimala dobijamo po redu:

ds (1')	1851,8 m	1851,9 m	1852,1 m	1852,2 m

Po dobivenim rezultatima vidimo, da dužina od 1852 metra, koju mi uzimamo za nautičku milju, odgovara dužini jedne minute meridijanske elipse na geografskoj širini od približno 45^0. Dužina jedne minute meridijanske elipse na ekvatoru iznosi okruglo 1843 metra, a na polovima okruglo 1862 metra. Dužina jedne lučne minute ekvatora iznosi okruglo 1855 metara.

Da bismo našli neki analitički izraz za dužinu jedne minute meridijanske elipse kao funkciju geografske širine, jednadžbu 1) razvit ćemo u red. Ako uzmemo u obzir samo prva tri člana reda, t. j. do uključivo člana četvrtog stupnja, dobit ćemo

$$ds = a(1-\varepsilon^2)\left(1 + \frac{3}{2}\varepsilon^2 \sin^2\varphi + \frac{15}{8}\varepsilon^4 \sin^4\varphi\right)d\varphi$$

Ako primjenimo supstituciju $1 + \cos 2\varphi = 2\cos^2\varphi$ i $1 - \cos 2\varphi = 2\sin^2\varphi$, ova jednadžba za $d\varphi = 1'$ postaje

$$ds = a(1-\varepsilon^2)\sin 1'\left[\frac{64+48\varepsilon^2+45\varepsilon^4}{64} - \frac{12\varepsilon^2(4+5\varepsilon^2)}{64}\cos 2\varphi + \frac{15\varepsilon^4}{64}\cos 4\varphi\right]$$

koja za »a« i »ε« po Hayfordu konačno izgleda

$$ds = 1852{,}35\ m - 9{,}36\ m \cos 2\varphi + 0{,}02\ m \cos 4\varphi$$

Pomoću ove formule možemo računati dužinu jedne minute meridijanske elipse za bilo koju geografsku širinu.

Na koncu, ako je brzinomjer reguliran za nautičku milju od 1852 metra, mi tu dužinu u svakoj geografskoj širini uzimamo za jedan lučni minut, a to nije tako.

Ako plovimo od geografske širine 45^0 prema ekvatoru, zalazimo u predjele gdje lučna minuta meridijanske elipse iznosi manje metara, pak bi se kazaljka brzinomjera morala okretati brže. Ploveći pak prema polovima, morala bi se okretati sporije. Mi u praksi o tome ne vodimo računa, jer stalno kontroliramo poziciju broda astronomskim opažanjima, na čiju tačnost ova greška praktički ne upliviše, ako se dva opažanja nebeskih tijela vrše istodobno. Ako se vrše u razmaku vremena a plovi se n. pr. meridijanom velikom brzinom više sati, onda bi se mogla uzeti u obzir korektura, ali to bi za potrebe prakse bio suvišan posao.