



Boris Franušić*

ISSN 0469 - 6255

(1-14)

ASTRONOMSKA NAVIGACIJA U 20. STOLJEĆU *CELESTIAL NAVIGATION IN 20th CENTURY*

UDK 527+656.61.052"19"

Stručni članak

Professional paper

Sažetak

U ovom radu pokazan je razvoj instrumenata, nautičkih godišnjaka (almanaha), nautičkih tablica, te primjene elektroničkih računala i elektronskih karata u astronomskoj navigaciji kroz 20. stoljeće.

Summary

The paper demonstrates the development of instruments, nautical almanacs, tables and applications of digital navigation computers and charts in astronomical navigation during 20th century.

Uvod

Introduction

U jedinom našem znanstveno-pomorskom časopisu, kao dugogodišnji profesor kolegija Astronomska navigacija (a.n.) na VPŠ, Fakultetu i Veleučilištu u Dubrovniku, osvrnut ću se na dostignuća samo ove klasične grane navigacije u minulom stoljeću.

Djelomično sam već ranije o tome nešto pisao, ali na kraju jednog takvog politički, povijesno, tehnički i kulturno burnog stoljeća, u kojem je bilo svjetskih ratova i izmjena društvenih sustava, leta kroz zrak, iznošenje i prihvaćanje mnogih novih teorija, primjerice relativiteta, kvantne mehanike do teorije kaosa, telekomunikacijske povezanosti čitavog svijeta, lansiranja sondi, te ljudi oko Zemlje i na Mjesec, plovidbe ispod leda preko pola itd., itd., osjećam potrebu napraviti malu inventuru a.n. u 20. st.

Ljudi su, dakle, ostvarili u navigaciji razvoj skoro do savršenstva tj. takve automatiziranosti da se sva

prometala na Zemlji (u zraku, na površini i ispod mora) sigurno mogu voditi, pa su mnoge stare klasične metode postale suvišne i nestajale su iz praktične upotrebe. To se jasno moralo dogoditi i u pomorskoj navigaciji – znanosti o sigurnom vođenju broda po morskim prostranstvima. No, pored svih tih lakših, točnijih i bržih rješenja putem elektronike, neke klasične metode navigacije ostaju i danas u navigacijskoj praksi, a tako će ostati i u budućem vremenu, pa će je zato morati znati svi školovani pomorski časnici palube. Jedna od tih klasičnih grana navigacije je astronomska navigacija.

Čime je astronomska navigacija ušla u 20. stoljeće?

How did the celestial navigation enter 20th century?

Poznato je da je u 19. st. počela industrijska revolucija. Već se za doba jedrenjaka razvio veliki pomorski promet roba na svijetu, a pogotovo izumom parnog stroja i gradnjom velikih željeznih parobroda. Za sigurno vođenje brodova navigacija više nije bila samo vještina, već se razvila u znanost. U državnim školama obrazuju se budući kapetani.

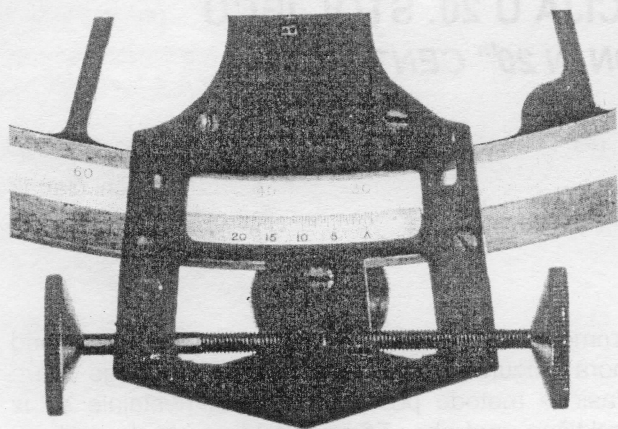
Za određivanje pozicije na otvorenom moru moreplovci su jedino imali na raspolaganju svjetlija nebeska tijela. Uz posjedovanje broskog kronometra, koji je u drugoj polovici 19. st. definitivno morao imati svaki brod u preookeanskoj plovidbi, te sekstanta, nautičkog almanaha i nautičkih tablica, a.n. je sve do druge polovice 20. st. bila nezamjenjiva u navigacijskoj praksi. Iz 19. st., koje se smatra "zlatnim dobom a.n.", a sam kronometar "duša navigacije", ostala je linija položaja (T. Sumner 1837.) određena indirektnom visinskom metodom (M. St. Hilaire 1875.).

O točnosti kronometra ovisila je i točnost pozicije određene mjerenjem visine nebeskog tijela.

*Prof. dr. sc. Boris Franušić
Veleučilište u Dubrovniku

Kronometri su imali neujednačen "dnevni hod", pa je i "stanje" kronometra nakon duljeg vremena plovidbe bilo nesigurno.

Sekstant je bio pouzdan instrument, ali je očitovanje kuta izmjerene visine na minute i sekunde luka bilo sporo i naporno.



Slika 1. Čitanje $29^{\circ} 42' 30''$ na noniju (Izvor: Bowdich, 1995.)

Figure 1. Vernier reading $29^{\circ} 42' 30''$ (Source: Bowdich, 1995.)

Nautički almanasi – godišnjaci donosili su točne efemeridske podatke, ali često za različite početne meridijane, te se do iznosa satnog kuta u vremenskoj mjeri dolazilo duljim računskim postupkom.

Nautičke tablice su rješavale stranicu zenitne daljine astronomskog nautičkog sfernog trokuta (a.n.s.t.) uglavnom logaritima i prirodnim vrijednostima trigonometrijskih funkcija, dok su poznate ABC tablice za računanje azimuta već bile u upotrebi kao tablice gotovih rezultata. Nakon dugog postupka od mjerenja i računanja, pristupalo bi se crtanju linije ili linija položaja na Mercatorovoj karti, da bi se s nje vidjelo gdje se brod nalazio u trenutku mjerenja visine nebeskog tijela.

Usavršavanje instrumenata *The development of instruments*

U 20. st. parobrodi već imaju radiostanice preko kojih su mogli više puta dnevno primati znak točnog vremena. Početkom stoljeća (1912.g.) osnovan je Međunarodni satni ured sa sjedištem u Parizu, kojemu su povjereni zadaci da emitira bežične vremenske radio signale i da proučava svjetsko vrijeme u odnosu na srednji meridijan Greenwicha.¹ Međutim, ne zna se pouzdano kad je prvi put

¹ Pomorska enciklopedija, knjiga 8., Leksikografski zavod, Zagreb, 1964.g., 157.

emitiran znak točnog vremena. Po jednom izvoru to je bilo 1908.g.², po drugom 1910.g. s Eiffelova tornja u Parizu³, po trećem 1912.-13.g.⁴, a po četvrtom je prvi službeni radiosignal emitirala američka mornarička stanica u Navesinku, a domet joj je bio 50M⁵.

Sve veće pomorske zemlje emitiraju signale točnog vremena više puta dnevno, pa je tako čitava Zemlja pokrivena s dostupnim signalima. Zato na brodu među pomorskim publikacijama postoji i popis lokacija tih stanica s vremenima i frekvencijama emitiranja, kao i shema načina emitiranja.

U svakom slučaju početkom 20. st. kronometar je postao potpuno pouzdan sat s kojim se bilježilo srednje vrijeme Greenwicha (G.M.T.) pri snimanju nekog nebeskog tijela, što je u metode a.n. uvelo veću točnost.

U drugoj polovici 20. st. kronometre na oprugu počeli su zamjenjivati kvarcni kronometri. Otkriće točne oscilacije monokristala kvarca pod električnom strujom iskoristilo se u izradi točnijih kvarcnih satova. Danas većina ljudi upotrebljava kvarcne satove koje ne treba navijati već samo opskrbiti odgovarajućom malom baterijom. Ti novi satovi su precizniji od nekadašnjih brodskih kronometara na oprugu. Još precizniji su suvremeni brodski kvarcni kronometri na čiju stalnost frekvencije ne utječe promjena temperature jer se kvarcna pločica postavlja u vrlo precizni termostat. Važno je da pločica ima konstantan napon, a tek nakon duge uporabe potrebno je potrošenu pločicu zamijeniti novom. Ovi brodski kronometri su praktički bez "dnevnog hoda" i nemaju "stanje", tj. uvijek točno pokazuju G.M.T., koje je krajem stoljeća dobilo kraticu svjetskog vremena U.T. (Universal Time). Osim ovog vremena on može pokazivati i zonsko vrijeme pa su svi brodski satovi (kćerke) električno povezani u pokazivanju vremena s brodskog kronometra. Konačno svi globalni navigacijski sustavi u svojim prijammnicima sadrže kvarcno brojenje vremena koje pokazuju digitalno.

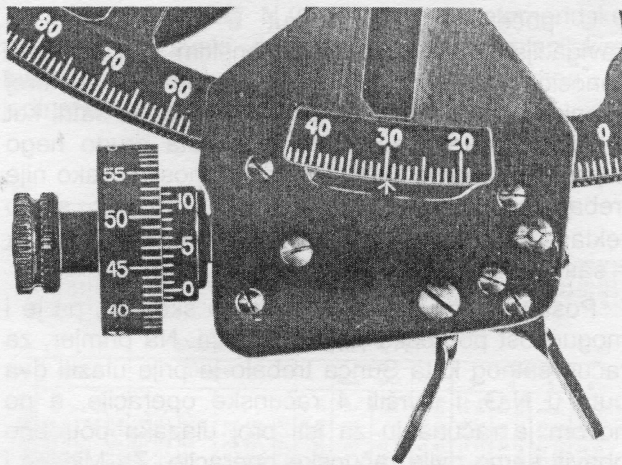
Drugi važni instrument koji se koristi u a.n. je sekstant. U 19. st. svaki je pomorski časnik imao svoj sekstant, a u 20. st. po propisima svaki je brod u međunarodnoj plovidbi morao među brojnim obveznim instrumentima imati sekstant. U prvom dijelu 20. st. to su bili sekstanti s kojima se mjerenje kuta obavljalo pomoću "nonija" (male skale na alhidadi), a to je bio teži i dulji postupak. Oko 20-ih godina 20. st. nonij (ili nonijus) je zamijenio jednostavniji "bubnjić". On se sastoji od pužnog mikrometarskog vijka s bubnjićem. Jedan okret bubnjića od 360° pomiče alhidadu za 1° na limbu. Bubnjić je podijeljen na 60 dijelova (minuta), pa se s njega čitaju minute, i dijelovi minuta izmjerene kuta.

² Charles Cotter, A History of Nautical Astronomy, London 1968., 30.

³ Miloš Lipovac: Astronomska navigacija, Split, 1981.g., 157.

⁴ Pomorska enciklopedija, knjiga 8., II. izdanje, Leksikografski zavod, Zagreb, 1989.g., 521.

⁵ Petar Čumbelić: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik, 1990.g. 27.



Slika 2. Čitanje kuta $29^{\circ} 42,5'$ na bubnjiću (Izvor: Bowdich, 1995.)

Figure 2. Decimal micrometer $29^{\circ} 42,5'$ angle reading (Source: Bodwich, 1995.)

U 20. st. pokušalo se na klasične sekstante dodavati uređaj za motrenje na umjetnom horizontu, jer su već bili napravljeni libelni sekstanti ili avionski sekstanti s umjetnim horizontom. Međutim, u pomorskoj navigaciji zadržala se upotreba klasičnog sekstanta isključivo za mjerenje na morskom horizontu. Zato suvremeni sekstanti imaju fiksiran durbin, kvalitetnija ogledala i stakla, a zbog preciznije izrade nemaju "pogrešku ekcentriciteta". Podjela limba obično je od -5 do 130° . Za čitanje kutova u sumraku ima baterijsko osvjetljenje na alhidadi. Najnoviji sekstanti imaju specijalni durbin za noćna motrenja. Kroz njihov okular vidi se zelena linija morskog horizonta na temelju infracrvenog zračenja. Osim toga mogu imati tastere za povezivanje s PC računalom za registriranje vremena mjerenja.

Oba ova instrumenta i danas su obvezna u inventaru nautičke opreme za sve brodove. No, zbog korištenja jednostavnijih, bržih i preciznijih globalnih sustava elektroničke navigacije, sekstant tj. snimanje nebeskih tijela se sve manje prakticira u časničkoj straži.

Razvoj Nautičkog godišnjaka u 20. stoljeću

Development of nautical almanac in 20th century

Nautički godišnjak (N.G.) ili *Nautical Almanac* je obvezna godišnja publikacija koju brodovi moraju imati kako bi iz njih dobili efemeridske podatke za navigacijska nebeska tijela. Dok se u 19. st. izdaju nautički godišnjaci s podacima za različite početne meridijane, u 20. st. sve pomorske zemlje izdaju almanaha vezane za prihvaćeni početni meridijan Greenwicha.

American Nautical Almanac je do 1908.g. položaj navigacijskih zvijezda donosio samo za 1. siječnja u

odnosu prema meridijanu Washingtona, a od te godine takve podatke za svaki 1. dan u mjesecu. Tablice stare metode Mjesečevih udaljenosti napušta u 1912. g., a u 1919. g. donosi tablice Sunčevih izlazaka i zalazaka.

Godine 1914. prvi put izlazi *Nautical Almanac, Abridged for the Use of Seamen*. To je ponovo bilo pretiskavanje stranica originalnog izdanja *Nautical Almanaca*, ali otad počinje izdavanje godišnjaka isključivo za pomorsku ili zračnu navigaciju. Tek od 1929. godine to postaju dva odvojena dijela, zasebno izrađena: *Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris* za potrebe astronoma i *Abridged Nautical Almanac* za potrebe pomoraca.

Engleski nautički godišnjak potpuno se preuređuje 1923. g. na osnovi radova astronoma E.W. Browna.

Računanje satnog kuta prvi je zadatak u standardiziranom rješavanju visinske metode. U to vrijeme satni kut računao se za Sunce pomoću jednadžbe vremena po shemi:

$$Ts - e = Tp + (\pm\lambda) = tp \pm 12h = s$$

Za zvijezdu ili Mjesec satni se kut dobivao pomoću rektascenzije Sunca i tijela:

$$Ts + \alpha s = Tz + (\pm\lambda) = tz - \alpha = s' \pm 12h = s.$$

Pri tome je "Ts" srednje Sunčevo vrijeme Greenwicha (G.M.T.), "e" je jednadžba vremena, "Tp" je pravo Sunčevo vrijeme Greenwicha, "λ" je geografska dužina, "tp" je pravo mjesno (Sunčevo) vrijeme, "s" je mjesni satni kut, "αs" je rektascenzija Sunca, "Tz" je zvjezdano vrijeme u Greenwihu, "tz" je mjesno zvjezdano vrijeme, "α" je rektascenzija tijela i "s'" je satni kut brojen od donjeg meridijana.

Vidi se da se u oba računa polazi od srednjeg vremena Greenwicha pa je zbog razlike između građanskog brojenja vremena i brojenja satnog kuta trebalo zbrojiti ili odbiti 12 sati da se dobije mjesni satni kut. Taj složeni postupak određivanja satnog kuta zahtijevao je i pretvaranje geografske dužine u satnu mjeru.

Poznato je da se od 1. siječnja. 1925. i u astronomiji uvelo brojenje početka dana po građanskom vremenu od prolaza Sunca kroz donji meridijan. To je bio veliki napredak jer se znatno olakšao rad s nautičkim godišnjakom.

Razvojem zračne navigacije rektascenzija je postala neprikladna pa je u *American Ephemeris and Nautical Almanacu* 1919. g. (za posljednja 4 mjeseca) prvi put uveden satni kut u Greenwihu (S_G) za Mjesec, i to u dodatku almanaca za zračnu navigaciju koji je izlazio u svescima svaka 4 mjeseca pod imenom *Lunar Ephemeris for Aviators*. Taj je svezak 1931. g. zamijenjen godišnjim izdanjem *American Nautical Almanac, Supplementa*. Tako tabeliran $S_G = G.H.A.$ (Greenwich Hour Angle) uveo je P. V. H. Weems u almanacu 1933.g. za sva nebeska tijela, a 1934. g. preuzima ga i *American*

B. Franušić: Astronomska navigacija u 20. stoljeću

Nautical Almanac za sva nebeska tijela koja se upotrebljavaju u navigaciji. Satni kut se počeo tabelirati i računati u kutnoj mjeri.

Francuzi su prvo redovno izdanje *Ephemerides Aeoronautiques* dali 1936.g. i u njemu se prvi put pojavljuje surektascenzija ($360^\circ - \alpha$), što nije odmah prihvaćeno i u drugim nautičkim godišnjacima.

Godine 1930. došlo je do dogovora između stručnih predstavnika Hidrografskog ureda ratne mornarice u Splitu i opservatorija u Beogradu o potrebi izdavanja našeg Nautičkog godišnjaka. Dogovoreno je da se pripremi prvo izdanje i osigura kontinuirano izlaženje, tako da se pojavi svake godine najkasnije do 1. kolovoza s podacima za iduću godinu. Prihvaćen je sustav efemerida i njihov raspored prilagođen prema engleskom *Nautical Almanacu*.

Prvi nautički godišnjak izašao je 1934. godine. U godinama do II. svjetskog rata pristupilo se izboru jedinstvenih oznaka i ujednačavanju termina u navigaciji i Nautičkom godišnjaku.

Novi način računanja satnog kuta u Greenwichu za sva nebeska tijela, pa i rektascenzija zvijezda u lučnoj mjeri, prvi put je kod nas primijenjen u Nautičkom godišnjaku za 1940. godinu. Satni se kut jednostavno računao kao što se i danas računa po shemi: $S_G + (\pm \lambda) = s$.

Takvo praktično rješenje zahvaljujemo razvoju i potrebama zračne navigacije. George W. Mixter, za novi način tabeliranja satnog kuta u američkom godišnjaku za avijaciju piše: "Ovo je najbolje izrađeni godišnjak do sad izdan za potrebu navigatorima i čini najvažniji korak u pojednostavljenju znanosti plovidbe sve od rada Marcqa de Saint Hilairea od 1875. godine".⁶

U početku se satni kut u Greenwichu za navigacijske zvijezde u avionskim almanasima donosio s točnošću od 1'. To je povećavalo broj stranica almanaha pa se poslije prešlo na satni kut proljetne točke (Aries), što nije ništa drugo nego zvjezdano vrijeme koje se i prije donosilo. Tako nije trebao satni kut za svaku zvijezdu već samo rektascenzija za svaki mjesec jer je $S_G = S_A - \alpha$. (S_A = satni kut proljetne točke u Greenwichu).

Postupak je na taj način znatno skraćen, pa je i mogućnost pogreške postala manja. Na primjer, za račun satnog kuta Sunca trebalo je prije ulaziti dva puta u N.G. i izvršiti 4 računске operacije, a po novom je računanju za isti broj ulazaka potrebno obaviti samo dvije računске operacije. Za Mjesec i zvijezde taj je omjer još povoljniji. Što je najbitnije postupak računanja satnog kuta je za sva tijela jednak. Iz računa otpada rektascenzija Sunca, jednadžba vremena, pravo Sunčevo i zvjezdano vrijeme. Srednje vrijeme Greenwicha, u takvom računanju satnog kuta, služi kao ulazni argument u N.G., a ne više kao podatak kojim se računa. Također je otpalo pretvaranje geografske dužine u vremenske jedinice jer se satni kut donosi u kutnoj mjeri.

Posljednji broj našeg N.G. prije Drugog svjetskog rata izišao je za 1941. g. Zanimljivo je da je baš jedan primjerak tog godišnjaka bio izložen 1949. g. u Londonu i Oslu na izložbi pod nazivom "Navigacija tokom godina", kao jedan od prvih almanaha koji su izravno tabelirali satni kut u Greenwichu.

Podaci u N.G. ostalih zemalja sve više se prilagođavaju lakšem i jednostavnijem korištenju u navigacijskoj praksi. To se najviše odnosi na brzo i jednostavno računanje satnog kuta zvijezda. Uvodi se u sve više N.G. vrijednosti surektascenzije, pa nema više satnog kuta za zvijezde u Greenwichu, već je tu surektascenzija koja se tabelira pod raznim imenima. U američkom *Air Almanacu* dobiva ona naziv *Sideral Hour Angle* i tiska se pod kraticom S.H.A. Taj takozvani zvjezdani satni kut kritizirali su mnogi astronomi jer takav naziv ne odgovara koordinati u nebesko-ekvatorskom koordinatnom sustavu. Međutim, naziv je ostao i do danas u uvođenjem surektascenzije zvijezde za svaki mjesec, te tabeliranja satnog kuta ($G.H.A.a. = S_y$) proljetne točke istom gustoćom kao i satnih kutova Sunca, Mjeseca i planeta, račun satnog kuta zvijezda bio je pojednostavnjen i računao se po shemi $S = S_y + (360^\circ - \alpha)$, ili s engleskim simbolima $H.A. = G.H.A. (aries) + S.H.A.$

Takvu novu formu tabeliranja uveo je *American Nautical Almanac* 1950. g., a *Brown's Nautical Almanac* 1952.g. Na temelju takvog tabeliranja postale su nepotrebne tablice za pretvaranje srednjih Sunčevih vremena u zvjezdano.

Naš N.G. 1955.g. izdaje Hidrografski institut Split, a bio je kombinacija engleskog *Nautical Almanaca* (efemeride za sva tijela donesena na jednoj stranici) i američkog *Nautical Almanaca* (efemeride za sva tijela na jednoj stranici za dva dana za svaki puni sat

| 1940 | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--|
| M a j | | | | | | | | | | | | |
| Sunce | | | | | | | | | | | | |
| 1 Srednja 1 | | | | 5 Nedjelja 5 | | | | | | | | |
| T _s | Č ₀ | δ ₀ | ε = T _p - T _s | T _s | Č ₀ | δ ₀ | ε = T _p - T _s | T _s | Č ₀ | δ ₀ | ε = T _p - T _s | |
| 00 | 180 | 43.5 | + 14 | 57.8 | 00 | 180 | 49.9 | + 16 | 08.8 | + 03 | 19.7 | |
| 02 | 210 | 43.6 | + 14 | 59.3 | 02 | 210 | 50.0 | + 16 | 10.2 | + 03 | 20.1 | |
| 04 | 240 | 43.8 | + 15 | 00.9 | 04 | 240 | 50.2 | + 16 | 11.6 | + 03 | 20.6 | |
| 06 | 270 | 43.9 | + 15 | 02.4 | 06 | 270 | 50.3 | + 16 | 13.1 | + 03 | 21.0 | |
| 08 | 300 | 44.1 | + 15 | 03.9 | 08 | 300 | 50.4 | + 16 | 14.5 | + 03 | 21.4 | |
| 10 | 330 | 44.2 | + 15 | 05.4 | 10 | 330 | 50.5 | + 16 | 15.9 | + 03 | 21.9 | |
| 12 | 0 | 44.4 | + 15 | 06.9 | 12 | 0 | 50.6 | + 16 | 17.4 | + 03 | 22.3 | |
| 14 | 30 | 44.5 | + 15 | 08.4 | 14 | 30 | 50.7 | + 16 | 18.8 | + 03 | 22.7 | |
| 16 | 60 | 44.7 | + 15 | 09.9 | 16 | 60 | 50.8 | + 16 | 20.2 | + 03 | 23.1 | |
| 18 | 90 | 44.8 | + 15 | 11.4 | 18 | 90 | 50.9 | + 16 | 21.6 | + 03 | 23.5 | |
| 20 | 120 | 45.0 | + 15 | 12.9 | 20 | 120 | 51.0 | + 16 | 23.0 | + 03 | 24.0 | |
| 22 | 150 | 45.1 | + 15 | 14.4 | 22 | 150 | 51.1 | + 16 | 24.5 | + 03 | 24.4 | |
| | | | Δδ = +1.5 | Δε = +0.6 | | | | Δδ = +1.4 | Δε = +0.4 | | | |

| 1940 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|-----|------|------|-------------|---------------------|----|-----|------|-------|-------------|------|
| M a j | | | | | | | | | | | | |
| Venera | | | | | | Mars | | | | | | |
| Datum i dan sedmice | Č | Δα | δ | Δ | Čas prolaza | Datum i dan sedmice | Č | Δα | δ | Δ | Čas prolaza | |
| 0 | Ut | 133 | 59.9 | + 27 | 09.1 | 0 | Ut | 140 | 19.3 | + 23 | 59.8 | |
| 1 | Sr | 134 | 01.8 | + 27 | 12.1 | 1 | Sr | 140 | 35.8 | + 171 | + 24 | 03.3 |
| 2 | Ce | 134 | 04.4 | + 27 | 14.7 | 2 | Ce | 140 | 52.3 | + 171 | + 24 | 06.7 |
| 3 | Pe | 134 | 07.8 | + 27 | 16.7 | 3 | Pe | 141 | 08.7 | + 171 | + 24 | 09.8 |
| 4 | Su | 134 | 11.9 | + 27 | 18.1 | 4 | Su | 141 | 25.2 | + 171 | + 24 | 12.7 |
| 5 | Ne | 134 | 17.0 | + 27 | 19.1 | 5 | Ne | 141 | 41.6 | + 171 | + 24 | 15.5 |

Slika 3. Jedna stranica iz Nautičkog godišnjaka 1940. g.

Figure 3. A page from *Nautical Almanac* from 1940.

⁶ Boris Franušić, Povijesni razvoj efemerida u navigaciji, Pomorski zbornik, knjiga 22./1984. Rijeka, 504-514.

Ts = G.M.T.). Naš N.G. donosio je efemeridske podatke za svaki parni sat. U interpolacijskim tablicama prihvaćen je američki "Coda Corection", tj. jedinstvene tablice za sve efemeride.

92 SVIBANJ 2000 - SR. 3, ČET. 4, PET. 5.

| UT | VENERA -3.9 | MARS +1.5 | JUPITER -2.0 | SATURN +0.2 | ZVIJEZDE | | | | | | | |
|------|-------------|-----------|--------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| S | S | S | S | S | ime (360-0) | | | | | | | |
| 3 00 | 221 11.9 | 190 37.7 | 111 06.3 | 164 03.6 | N20 25.5 | 176 45.7 | N15 58.7 | 173 35.1 | N15 39.4 | Acamar | 315 26.5 | S40 18.4 |
| 01 | 236 14.4 | 209 37.3 | 07.8 | 179 04.3 | 25.9 | 193 47.6 | 58.9 | 188 41.2 | 39.5 | Achernar | 335 34.9 | S57 14.2 |
| 02 | 251 16.8 | 220 36.8 | 08.5 | 194 04.9 | 26.3 | 206 49.4 | 59.1 | 203 43.4 | 39.4 | Acruz | 173 20.3 | S63 06.2 |
| 03 | 266 19.3 | 235 36.3 | 09.6 | 209 05.5 | 26.7 | 221 51.3 | 59.3 | 218 45.5 | 39.7 | Adhara | 255 20.8 | S28 58.6 |
| 04 | 281 21.7 | 250 35.9 | 10.7 | 224 06.2 | 27.1 | 236 53.2 | 59.4 | 233 47.6 | 39.7 | Aldebaran | 291 01.5 | N16 30.4 |
| 05 | 296 24.2 | 265 35.4 | 11.8 | 239 06.8 | 27.5 | 251 55.0 | 59.6 | 248 49.8 | 39.8 | | | |

93 SVIBANJ 2000 - SR. 3, ČET. 4, PET. 5.

| UT | SUNCE | | MJESEC | | φ | Svitanje | | Izlazak | | Mjesecev izlazak | | | | | |
|------|----------|----------|----------|------|----------|----------|-------|---------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| | S | δ | S | δ | | Naut. | Grad. | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| 3 00 | 180 46.9 | N15 41.9 | 194 14.1 | 10.2 | N 5 44.5 | 12.6 | 59.1 | N 70 | 01 22 | 03 50 | 03 32 | 03 04 | 03 18 | | |
| 01 | 195 47.0 | 42.7 | 208 43.3 | 10.2 | 5 57.1 | 12.5 | 59.1 | 68 | 00 03 | 02 42 | 04 07 | 04 04 | 04 03 | 04 04 | |
| 02 | 210 47.1 | 43.4 | 223 12.5 | 10.1 | 6 09.6 | 12.5 | 59.1 | 66 | 01 34 | 03 05 | 04 13 | 04 16 | 04 22 | 04 34 | |
| 03 | 225 47.1 | 44.1 | 237 41.6 | 10.0 | 6 22.1 | 12.5 | 59.2 | 64 | 02 10 | 03 22 | 04 18 | 04 26 | 04 38 | 04 57 | |
| 04 | 240 47.2 | 44.9 | 252 10.6 | 10.0 | 6 34.6 | 12.4 | 59.2 | 62 | 00 03 | 02 35 | 03 37 | 04 23 | 04 35 | 04 51 | |
| 05 | 255 47.3 | 45.6 | 266 39.6 | 9.8 | 6 47.0 | 12.5 | 59.2 | 60 | 01 23 | 02 54 | 03 49 | 04 27 | 04 42 | 05 02 | |

Slika 4. Jedna stranica Nautičkog godišnjaka 2000. Figure 4. A page from 2000 Nautical almanac

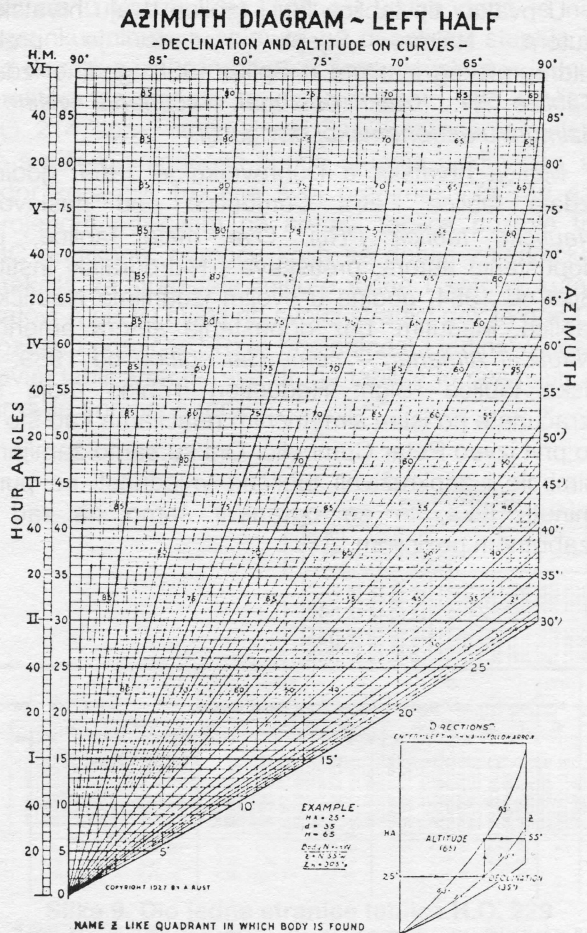
Razvoj Nautičkih tablica u 20. stoljeću
The development of Nautical Tables in 20th century

Visinska metoda Marcqa de St. Hilairea objavljena je 1875. godine. Zbog poznate inertnosti u prihvaćanju novina među pomorskim časnicima ova je indirektna metoda za dobivanje elemenata linije položaja u trenutku mjerenja visine nebeskog tijela polako ali sigurno prisvajala svoje nezamjenjivo mjesto u astronomskoj navigaciji. Veliki broj tiskanih nautičkih tablica (N.T.) u 20. st. izdane su radi bržeg i lakšeg rješenja ove metode. Nabrojiti ću kronološki samo neke najznačajnije.

Prve poznatije tablice u 20. st. izašle su 1905. g. Izdao ih je Percy Davis u Londonu ("Requisite Tables"). U njima se donose logaritmi i prirodne vrijednosti tzv. haversininih kutova tj. kvadrata sinusa polovičnog kuta. Zanimljivo je da u njima nije bilo tablica za računanje azimuta.⁷

Godine 1918. Armistead Rust izdao je *Practical Tables for Navigation and Aviation*. U ove tablice autor je uveo Azimuth Diagram, koji su poslije i drugi uzimali u svoje tablice pod imenom Rustov dijagram.

Čiro Carić, tada mladi profesor nautike u Kotoru, izdaje 1923. godine prve N.T. na hrvatskom jeziku pod naslovom *Nautičke table sa praktičnom metodom računanja procjenjene zenitalne udaljenosti (Marcq St. Hilaire) i središnjih tačaka ortodrome*. Osim što je Carić prvi hrvatski autor nautičkih tablica on je u svojim tablicama unio dva svjetska primata. Prvi je uz logaritme haversininih kutova uveo i shaversine vrijednosti (kvadrati kosinusa polovičnih kutova), kako bi pomoću njih riješio svoju originalnu relaciju za dobivanje



Slika 5. Armistead Rust Azimuth Diagram (Izvor: Dutton's Navigation and Piloting) Figure 5. Armistead Rust Azimuth Diagram (Source: Dutton's Navigation and Piloting)

zenitne udaljenosti. Drugi je primat u tome što je prvi u svijetu u N.T. uveo tablicu adicijskog (zbrajajućeg) logaritma. S tim je Č. Carić izbjegao rad s prirodnim vrijednostima kutova, a to je osjetno ubrzalo postupak računanja. U svojim tablicama donosi poznate ABC tablice za računanje azimuta, a satni kut je tabeliran u vremenskoj mjeri.⁸

Godine 1928. J. Y. Dreisonstok je autor tablica *Navigation Tables for Mariners and Aviators for all Latitudes*, koje je američki Hidrografski ured izdao pod brojem "H.O. 208". To su bile praktične male tablice koje su astronomsko nautički sferni trokut (a.n.s.t.) rješavale pomoću relacija za dva pravokutna sferna trokuta, spuštajući okomicu iz zenita na stranicu polarne udaljenosti.⁹ S ovakvim tipom tablica pokazalo se da se račun lakše izvodi s izabranom a ne zbrojenom pozicijom broda. U 20. st. brzine brodova su veće, a promet gušći, pa se ovakvim novim tablicama tražilo brže i jednostavnije rješavanje zadataka. To se postizalo koristeći izabrane umjesto zbrojene pozicije broda.

⁷ American Practical Navigator, Bowditch Volume I., USA 1977., 566.

⁸ Boris Franušić: Nautičke tablice, Naše more g. XXXII br. 3-4., Dubrovnik, 1985. 133.
⁹ o.c. 7; 573-574.

U ovakav tip tablica idu i tablice dvaju hrvatskih autora. Naime, Stjepo Kotlarić je preko Hidrografskog instituta u Splitu 1958. godine izdao *Tablice K1. Kratki postupak računanja visine i azimuta u astronomskoj navigaciji*.

Matica hrvatska u Dubrovniku je 1969. godine izdala tablice Petra Čumbelića pod naslovom *Nautičke tablice PRω*. Ove male tablice, po dopuštenju autora, pretiskava i Hidrografski institut Split od 1984. godine u svojim izdanjima Nautičkih tablica. Međutim, bez dopuštenja autora američki *Nautical Almanac – comercial edition* od 1989. g. tiska tablice "Sight Reduction Tables" koje su izračunate po istim simetričnim relacijama kao što je to prvi izveo Petar Čumbelić. Oni su samo zamijenili simbole i zaokruživali tablične vrijednosti na punu minutu luka, te se ograničili samo na rad s izabranom pozicijom.¹⁰

| 30° | | 31° | | 32° | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| P(V) | R(α) | P(V) | R(α) | P(V) | R(α) |
| 0 | 00 00.0 | 00 00.0 | 00 00.0 | 00 00.0 | 00 00.0 |
| 1 | 00 20.6 | 00 59.8 | 00 59.8 | 00 59.8 | 00 59.8 |
| 2 | 01 43.9 | 01 58.1 | 01 58.1 | 01 58.1 | 01 58.1 |
| 3 | 02 35.9 | 02 58.9 | 02 58.9 | 02 58.9 | 02 58.9 |
| 4 | 03 27.8 | 03 58.5 | 03 58.5 | 03 58.5 | 03 58.5 |
| 5 | 04 19.7 | 04 58.2 | 04 58.2 | 04 58.2 | 04 58.2 |

B₁ (-) for 90° = LHA - 270°
Dec. (-) for Lat. contrary name

| Lat. / A | SIGHT REDUCTION TABLE | | | | | |
|----------|-----------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|---------------------------------|
| | 30° | | 31° | | 32° | |
| LHA / F | A / H | B / P | Z ₁ / Z ₂ | A / H | B / P | Z ₁ / Z ₂ |
| 0 160 | 0 00 | 50 00 | 90 0 | 0 00 | 50 00 | 90 0 |
| 1 179 | 0 52 | 50 00 | 89 5 | 0 51 | 50 00 | 89 5 |
| 2 178 | 1 44 | 50 59 | 89 0 | 1 43 | 50 59 | 89 0 |
| 3 177 | 2 36 | 50 58 | 88 5 | 2 34 | 50 58 | 88 5 |
| 4 175 | 3 28 | 50 56 | 88 0 | 3 26 | 50 56 | 87 9 |
| 5 175 | 4 20 | 50 54 | 87 5 | 4 17 | 50 54 | 87 4 |

Slika 6. Dio stranice iz tablica "PRω" i "S.R."
Figure 6. Part of the page from "PRω" and "S.R."

Arthur A. Ageton je 1931. g. preko Hidrografskog ureda u Washingtonu izdao *Dead Reckoning Altitude and Azimuth Tables*. Ovo su bile poznate "H.O. 211". ili "AAA tablice" koje su do rezultate dolazile rastavljanjem a.n.s.t. spuštajući okomicu iz nebeskog tijela na stranicu koširine. Sve je rješavao relacijama izraženima u kosekansu i sekansu, čije je logaritamske vrijednosti množio sa 100 000.¹¹

Godine 1936. izlazi prvi volumen američkih tablica pod imenom *Tables of Computed Altitude and Azimuth* poznatije pod oznakom "H.O. 214". Te su tablice gotovih rezultata s tri ulazna argumenta postale najpoznatije i najviše upotrebljavane od svih navigatora svijeta. Izašle su u intervalu od 10 godina u 9 volumena, a svaki je sadržavao pojas od 10° geografske širine.

DECLINATION CONTRARY NAME TO LATITUDE

| H.A. | 4° 00' | | 6° 00' | | 6° 30' | | 30' | H.A. | Lat. 50° |
|------|---------|-------------|---------|--------------|---------|--------------|----------|------|----------|
| | Alt. | Az. | Alt. | Az. | Alt. | Az. | | | |
| 00 | 36 00.0 | 1.0 01 180. | 34 00.0 | 1.0 01 180.0 | 33 30.0 | 1.0 01 180.0 | 01 180.0 | 00 | |
| 1 | 35 59.6 | 1.0 02 178. | 33 59.6 | 1.0 02 178.8 | 33 29.6 | 1.0 02 178.8 | 02 178.8 | 1 | |
| 2 | 35 58.3 | 1.0 03 177. | 33 58.4 | 1.0 03 177.6 | 33 28.4 | 1.0 03 177.6 | 03 177.6 | 2 | |
| 3 | 35 56.3 | 1.0 06 176. | 33 56.4 | 1.0 06 176.4 | 33 26.4 | 1.0 06 176.4 | 06 176.5 | 3 | |
| 4 | 35 53.4 | 1.0 06 175. | 33 53.5 | 1.0 06 175.2 | 33 23.6 | 1.0 06 175.2 | 06 175.3 | 4 | |
| 05 | 35 49.6 | 1.0 08 173. | 33 49.9 | 1.0 07 174.0 | 33 20.0 | 1.0 07 174.1 | 07 174.1 | 05 | |

| | | | | | | | | |
|----|---------|------------|---------|-------------|---------|-------------|------|----|
| 45 | 23 34.6 | 87 50 129. | 21 50.2 | 87 46 130.7 | 21 24.0 | 87 49 131.0 | 31.5 | 45 |
| 6 | 23 04.7 | 86 50 128. | 21 20.5 | 87 50 129.8 | 20 54.7 | 87 50 130.1 | 30.6 | 6 |
| 7 | 22 34.4 | 86 51 127. | 20 50.9 | 86 50 128.9 | 20 25.0 | 87 50 129.2 | 29.7 | 7 |
| 8 | 22 03.8 | 86 52 126. | 20 20.7 | 86 51 128.0 | 19 54.9 | 86 51 128.2 | 28.8 | 8 |
| 9 | 21 32.7 | 85 52 126. | 19 50.1 | 86 52 127.1 | 19 24.4 | 86 51 127.3 | 27.9 | 9 |
| 50 | 21 01.3 | 85 53 125. | 19 19.2 | 85 52 126.2 | 18 53.6 | 85 52 126.4 | 27.0 | 50 |
| 1 | 20 29.6 | 85 53 124. | 18 47.9 | 85 53 125.3 | 18 22.4 | 85 53 125.5 | 26.1 | 1 |
| 2 | 19 57.5 | 84 54 123. | 18 16.2 | 85 53 124.4 | 17 50.8 | 85 53 124.7 | 25.2 | 2 |

DEC. DIFF. OR H. A. DIFF. (m)

| Δ | 1' | 2' | 3' | 4' | 5' | 6' | 7' | 8' | 9' |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 02 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 03 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 04 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 05 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 06 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 07 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 08 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 09 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

DEC. DIFF. OR H. A. DIFF. (tenths of minutes)

| Δ | 0.1' | 0.2' | 0.3' | 0.4' | 0.5' | 0.6' | 0.7' | 0.8' | 0.9' |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 02 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 03 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 08 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 09 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Slika 7. Jedan dio stranice tablica "H.O. 214" (Izvor: The Art of Astronomical Navigation)
Figure 7. A part of the page from "H.O. 214" tables (Source: The Art of Astronomical Navigation)

Tabelirane visine u tablicama su od 5° na više, gustoća ulaznih deklinacija je svakih pola stupnja do 29°, a za preostalih 37 navigacijskih zvijezda, čija je deklinacija veća od 29°, daju se tabelirani podaci prema bližoj vrijednosti deklinacije na puni ili polovinu stupnja. Ukupno je u tablicama obuhvaćeno 96 deklinacija, pa je zbog toga trebalo podijeliti tablice u više volumena, jer je trebalo izračunati oko 9 milijuna pojedinačnih računa visine i azimuta. Ove tablice pretiskale su i druge pomorske zemlje, a neke u volumenima po 15° geografske širine.

Razne su tablice na svoj način donosile oznake elemenata a.n.s.t. U ovim tablicama širina je označena s Lat (kratica za Latitude), deklinacija s Dec (Declination), mjesni satni kut s H.A. (Hour Angle), visina s Alt (Altitude) i azimut s Az (Azimuth). Mjesni satni kut i azimut računali su se polukružno.

U drugoj polovici 20. stoljeća točnije 1951. g. Amerikanci izdaju poznate *Sight Reduction Tables for Air Navigation* ili poznatije pod "H.O. 249". Tablice sadržavaju 3 volumena. Volumen I. najviše se koristio u pomorskoj navigaciji, jer donosi visine i azimute izabranih zvijezda (Selected Stars). Naime, taj volumen vezan je za epohu, tj. godinu za koju se uzimaju vrijednosti nebeskih koordinata 41 zvijezde.

¹⁰ Boris Franušić: Je li na pomolu međunarodni nautički spor?, Naše more, XLIII, br. 1-2, Dubrovnik, 1996., 59-64.
¹¹ O.C. 7, 577.

LAT 41°N

| L.H.A. T | Hc | Zn | Hc | Zn | Hc | Zn | Hc | Zn | L.H.A. T | Hc | Zn |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|----|-------------|-----------|----|
| | CAPELLA | ALDEBARAN | Diphda | ALTAIR | VEGA | | | | | Dubbe | |
| 0 | 35 17 057 | 26 55 091 | 30 00 169 | 26 07 258 | 30 05 297 | 28 49 348 | | | 90 | 42 02 038 | |
| 1 | 35 55 057 | 27 40 092 | 30 08 170 | 25 22 259 | 29 24 298 | 28 40 348 | | | 91 | 42 30 038 | |
| 2 | 36 33 057 | 28 26 092 | 30 16 171 | 24 38 260 | 28 44 298 | 28 30 348 | | | 92 | 42 57 038 | |

| | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|
| 14 | 44 20 061 | 37 25 101 | 30 40 184 | 15 38 268 | 20 58 304 | 26 56 352 | 104 | 48 34 038 |
| | CAPELLA | ALDEBARAN | Diphda | Alpheratz | DENEB | Kochab | | Dubbe |
| 15 | 45 00 061 | 38 09 102 | 30 37 185 | 73 36 226 | 43 36 298 | 26 50 352 | 105 | 49 02 038 |
| 16 | 45 39 062 | 38 53 103 | 30 32 186 | 73 03 229 | 42 57 298 | 26 44 352 | 106 | 49 30 038 |

| | Dubbe | REGULUS | PROCYON | SIRIUS | ALDEBARAN | Kochab |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 75 | 35 18 035 | 18 06 089 | 40 01 125 | 27 35 152 | 64 45 195 | 49 23 258 |
| 76 | 35 44 035 | 18 52 090 | 40 38 126 | 27 56 153 | 64 33 197 | 48 39 259 |
| 77 | 36 10 036 | 19 37 091 | 41 15 127 | 28 16 154 | 64 18 199 | 47 54 260 |
| 78 | 36 36 036 | 20 22 091 | 41 51 128 | 28 36 155 | 64 03 202 | 47 10 260 |
| 79 | 37 03 036 | 21 08 092 | 42 26 129 | 28 54 156 | 63 45 204 | 46 25 261 |
| 80 | 37 29 036 | 21 53 093 | 43 01 130 | 29 12 157 | 63 26 206 | 45 40 262 |
| 81 | 37 56 036 | 22 38 093 | 43 36 131 | 29 30 158 | 63 06 208 | 44 55 263 |
| 82 | 38 23 037 | 23 23 094 | 44 10 132 | 29 46 159 | 62 44 210 | 44 10 263 |
| 83 | 38 50 037 | 24 08 095 | 44 43 133 | 30 02 160 | 62 21 212 | 43 25 264 |
| 84 | 39 17 037 | 24 53 095 | 45 15 135 | 30 17 161 | 61 57 213 | 42 40 265 |
| 85 | 39 44 037 | 25 38 096 | 45 47 136 | 30 31 162 | 61 31 215 | 41 55 266 |
| 86 | 40 12 037 | 26 23 097 | 46 19 137 | 30 44 163 | 61 05 217 | 41 10 266 |
| 87 | 40 39 037 | 27 08 098 | 46 49 138 | 30 57 165 | 60 37 219 | 40 25 267 |
| 88 | 41 07 037 | 27 53 098 | 47 19 140 | 31 08 166 | 60 08 220 | 39 40 268 |
| 89 | 41 34 038 | 28 38 099 | 47 48 141 | 31 19 167 | 59 38 222 | 38 54 268 |

TABLE 4-CORRECTION FOR PRESSION AND NUTATION

| L.H.A. °' | North latitudes. | | | | | | | South latitudes | | | | | | |
|--------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | N. 89° | N. 80° | N. 70° | N. 60° | N. 50° | N. 40° | N. 30° | S. 30° | S. 40° | S. 50° | S. 60° | S. 70° | S. 80° | |
| | 1958 | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 10 | 0 30 | 0 40 | 0 50 | 0 60 | 0 70 | 0 70 | 0 70 | 0 60 | 0 50 | 0 40 | 0 30 | 0 20 | |
| 10 | 0 40 | 0 50 | 0 60 | 0 70 | 0 70 | 0 70 | 0 70 | 0 70 | 0 60 | 0 50 | 0 40 | 0 30 | 0 20 | |
| 20 | 0 70 | 0 70 | 0 80 | 0 80 | 0 80 | 0 80 | 0 80 | 0 80 | 0 70 | 0 60 | 0 50 | 0 40 | 0 30 | |
| 30 | 1 00 | 0 90 | 0 90 | 0 90 | 0 90 | 0 90 | 0 90 | 0 90 | 0 80 | 0 70 | 0 60 | 0 50 | 0 40 | |
| 40 | 1 30 | 1 10 | 1 10 | 1 10 | 1 10 | 1 10 | 1 10 | 1 10 | 1 00 | 0 90 | 0 80 | 0 70 | 0 60 | |
| 50 | 1 60 | 1 40 | 1 30 | 1 30 | 1 30 | 1 30 | 1 30 | 1 30 | 1 10 | 1 00 | 0 90 | 0 80 | 0 70 | |

Slika 8. Dio jedne stranice tablica H.O. 249 Vol. I. (Izvor: The Art of Astronomical Navigation)

Figure 8. Part of a page from H.O. 249 tables volume I. (Source: The Art of Astronomical Navigation)

Ostala dva volumena nisu vezani za epohu, jer su izdana za pojas deklinacije do 29°, a to znači za rad sa Suncem, Mjesecom i navigacijskim planetima. Zato je pomorcima najzanimljiviji bio i ostao Volumen I., koji je prvi put izašao za epohu 1955. godinu. Od tada nova izdanja izlaze za svaku petu godinu u dekadi. Međutim, takve tablice upotrebljive su i za par godina prije i poslije godine epohe za koju su izdane, jer postoje male tablice korekcije konačne pozicije za godinu u kojoj se koriste. U ovoj tablici stranica se otvara po punom stupnju širine, a onda po punom stupnju mjesnog satnog kuta proljetne točke (L.H.A.γ) i s imenom zvijezde čita visina na punu minutu i kružni azimut na puni stupanj. Znači da se za rad s ovim tablicama jedino može koristiti izabranu poziciju.¹²

Po naslovu, a donekle i po principu tablica H.O. 249 Vol. II. i III., 1970. g. Amerikanci tiskaju *Sight Reduction Tables for Mariner Navigation* poznatije po broju "H.O. 229". Godinu dana kasnije izdaju ih Englezi pod brojem N.P. 401 ili H.D. 605. To su do danas najbrže i najjednostavnije tablice za dobivanje visine (računate) i azimuta nebeskog tijela. Tablice su izdane u šest volumena što znači da svaki volumen obuhvaća po 15° geografske širine. Volumen se bira po pojasu širine, ali otvor tablice je po mjesnom satnom kutu, koji se u ovim tablicama broji kružno. Deklinacija je tabelirana punim stupnjom od 0 do 90°, a iz tablice se vadi visina i polukružni azimut (Z) koji se napisanim pravilima

pretvara u kružni (Zn). Točnost visine dana je na desetinku minuta a azimuta na desetinku stupnja i, kad se radi s izabranom pozicijom, dovoljna je jedna korektura za minute deklinacije kao i kod tablica H.O. 214, samo se u ovim H.O. 229 tablicama uvijek ide s nižom vrijednosti punog stupnja deklinacije, a faktor korekcije (d) ima svoj predznak. Za rad sa zbrojenom pozicijom na sredini tablica postoje tri ABC grafikona, pomoću kojih se dobije zajednička korekcija za preostale minute širine i satnog kuta. Grafovi A i B su svaki na svojoj stranici dok je graf C proziran i pomičan. To je originalnost i jedinstvenost u ovim tablicama jer sve druge tablice to rješavaju s bar dvije pomoćne tablice.¹³

| INTERPOLATION TABLE | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|----------|------|------|---------|------|------|--------|--------|
| Altitude Difference (d) | | | | | | | | | | | |
| Dec. Dec. | Tens | | | Decimals | | | Minutes | | | Double | Single |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Corr. |
| 48.0 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.1 |
| 48.1 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.2 |
| 48.2 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.3 |
| 48.3 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.4 |
| 48.4 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.5 |
| 48.5 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.6 |
| 48.6 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.7 |
| 48.7 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.8 |
| 48.8 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 181.9 |
| 48.9 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 182.0 |

| 60°, 300° L.H.A. LATITUDE SAME NAME AS DECLINATION | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dec. | 38° | 39° | 40° | 41° | 42° | 43° | 44° | 45° | 46° | 47° | 48° |
| 0 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 1 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 2 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 3 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 4 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 5 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 6 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 7 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 8 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |
| 9 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 |

Slika 9. Dio jedne stranice tablica H.O. 229 (Izvor: Bowditch, 1977.)

Figure 9. Part of a page from H.O. 229 tables (Source: Bowditch, 1977.)

Na kraju ovog dijela treba reći da su u 20. stoljeću, osim mnoštva tiskanih nautičkih i avio tablica, za rješavanje a.n.s.t. bila predložena razna grafička i mehanička pomagala. To se najviše pojavilo kad je počela avio navigacija, a u pomorskoj navigaciji definitivno je prihvaćena visinska metoda. Drugu polovicu 20. st. označile su tablice gotovih rezultata s tri ulazna argumenta. Sve te skraćene tablice brzih rješenja nisu mogle konkurirati nadolazećem elektroničkom razvoju. Naime, navigatori su brzo prihvatili dostignuća malih i većih elektroničkih računala u posljednjoj trećini 20. st. Zato je začuđujuće da se neki autori i u zadnjoj dekadi 20. st. vraćaju na tablice. Naime, John D. Woodwort objavio je rad 1992. godine u kojem predlaže pojednostavljeno rješenje visine i azimuta relacijama haversinih formula s početka stoljeća.¹⁴ Ovu metodu autor naziva ABHAV i kaže da je to modificirana Agetonova metoda (H.O. 211) tabeliranja elemenata a.n.s.t., dok NASR (Nautical Almanac Sight Reduction) zove metodu iz *Nautical Almanaca* za koju smo rekli da je plagijat Čumbelićevih tablica PR.ω.

¹³ o.c. 7., 520-529.

¹⁴ John D. Woodworth: A Simplified Sight Reduction Method for Celestial Navigation, *Navigation, Journal of The Institute of Navigation*. Vol. 39. No. 4., Winter 1992-93., 463-475.

¹² o.c. 7., 586.

Elektronička računala u astronomskoj navigaciji

Digital navigation computers

U drugoj polovici 20. st. za brza i točnija rješenja u svim područjima života i znanosti, pa tako i u navigaciji, pojavljuju se elektronična računala. Tako se običnim malim računalima moglo rješavati i zadatke u a.n., čime su N.T. izgubile dotadašnju važnost u navigacijskoj praksi. Poznate svjetske tvrtke džepnih računala sastavljale su i različite programe za pojedine struke na dodatnim modulima, koji su se priključivali računalu. Tako je sastavljen i navigacijski modul sa svim programima za rješavanje a.n.s.t. Da spomenem neke najpoznatije tvrtke: Texas Instruments, Sharp, Casio, Hewlett-Packard i druge. Neke su pak tvrtke izradile specijalna navigacijska računala. Primjerice Plath, Tamaya, Merlin Navigation Computer, Celesticomp, Psion i druge. Kako su se oni godinama poboljšavali i usavršavali pokazat ću ovdje navigacijskim računalima japanske tvrtke Tamaya. Prvi je imao naziv *Astro-Navigation Calculator NC-2*. Vjerojatno je proizveden 60-ih godina i imao je 6 navigacijskih tipaka.¹⁵ Ustvari za potrebe a.n. računao je visinu i azimut.

No, u sedamdesetim godinama tvrtka izdaje popularni NC-77 s punim nazivom *Tamaya Digital Navigation Computer NC-77*. Imao je 11 navigacijskih tipaka s dvostrukim funkcijama, tj. 22 navigacijska programa. Za astronomsku navigaciju ima tipku ALM (Almanac) po kojoj se sve do 2000. g. mogao dobiti satni kut proljetne točke u Greenwichu, satni kut i deklinaciju Sunca, te vrijednost jednadžbe vremena, dok s istom tipkom pod oznakom P.P. (Proportional Parts) može izračunati vrijednost satnog kuta ili deklinacije nebeskog tijela u satu, minuti i sekundi mjerenja, ako se iz N.G. ubace vrijednosti za pune sate između traženog vremena.

Tipka LOP (Line of Position) odnosno FIX (računana pozicija s dvije linije položaja) služi isključivo za računanje visine i azimuta, odnosno dobivanje računskih koordinata pozicije broda u a. n. Tipkom LOP traži se kružni satni kut, deklinacija i geografska širina, a dobije računana visina i kružni azimut. Zatim je tu tipka za ispravljanje izmjerene visine u normalnim (SAC) odnosno varijabilnim (VAC) atmosferskim prilikama, te posebne tipke za dodatno ispravljanje visine Sunca (prividni polumjer), koja ujedno ima i funkciju računanja pozicije pri meridijanskom prolazu Sunca (MPS), a druga tipka za dodatno ispravljanje visine Mjeseca (horizontalna paralaksa), koja ujedno ima mogućnost dodatnog ispravljanja izmjerene visine Venere i Marsa za iznos dnevne paralakse.

Tamayino iduće navigacijsko računalo nosi kraticu NC-88, a pun mu je naziv *Tamaya Practical*

Navigator NC-88. Već nas sam broj upućuje da je izašao osamdesetih godina 20. st. On u odnosu na NC-77 ima veći broj mogućnosti rješavanja zadataka baš u a.n. Tako se tipkom ALM donose efemeridski podaci za 20. i 21. st. svih navigacijskih nebeskih tijela, a s tipkom Ac.Z visina i azimut. Tipkom LOP, nakon traženih podataka datuma, svjetskog vremena, izmjerene visine određenog nebeskog tijela, visine oka i zbrojene pozicije, izračunava razliku visine i azimuta. Kad se radi s više nebeskih tijela, on memorira datum, ubačenu poziciju i visinu oka, a traži novo vrijeme, visinu tijela te kurs i brzinu (samo kod drugog ubačenog tijela). Znači da NC-88 sam računa efemeridske podatke, ispravlja izmjerenu visinu te računa azimut i razliku visina svodeći na vrijeme prvog ubačenog tijela. S tipkom FIX računski određuje najvjerojatniju poziciju za "n" snimljenih nebeskih tijela tj. za "n" linija položaja. Sve ubačene i izračunate podatke tiska na pomičnom papiru.¹⁶ Zbog svega ovoga nešto je većih dimenzija od NC-77 i za njega se ne bi moglo reći da se ubraja u džepna računala.

Novije navigacijsko računalo ove tvrtke je NC-99 koji je po dimenzijama kao džepni notes. Puni mu je naziv *Tamaya Practical Navigator NC-99*. U ovom računalu prvi put se pojavljuje tipka Twilight kojom se dobije zonsko vrijeme izlaska/zalaska Sunca, početka /svršetka građanskog (civilnog) sumraka i azimut Sunca pri izlasku /zalasku. S istom tipkom se čak može dobiti zonsko vrijeme izlaska/zalaska Mjeseca, njegovog azimuta u tim trenutcima, kao i "starost" Mjeseca. Nova tipka je PRD/IDN (Prediction-Identification) kojom se dobiju azimuti i visine svih navigacijskih nebeskih tijela na puni stupanj. S tipkom ALM dobiju se efemeridski podaci nebeskih tijela do 2100. g. ali i one unazad sve od 1583. g. Pri tome nebesko tijelo nema svoj broj kao u NC-88, već se pišu sva ili samo početna slova nebeskog tijela na engleskom jeziku. U NC-99 računalu tipka FIX daje najvjerojatniju poziciju s "n" snimljenih nebeskih tijela kao i u NC-88, ali se ovdje pozicija izračunava za vrijeme posljednje ubačenog tijela. Tipka RUN/FIX (Running FIX by Sun Sight) koristi se za dobivanje pozicije u duljem vremenskom razmaku (obično po danu sa Suncem) kao i u NC-88. Ovo računalo uz računsko rješenje donosi i grafički prikaz svih linija položaja, zbrojenu i najvjerojatniju poziciju. Sliku je moguće povećavati u rasponu od 15' do 2°. NC-99, za razliku od svojih prethodnika, s tipkom LOP uzimlje u obzir eventualnu pogrešku indeksa sekstanta (sa svojim predznakom) i stanje kronometra (sa suprotnim predznakom).¹⁷

¹⁶ Astro-Navigation Piloting & Dead Reckoning. Tamaya Practical Navigator NC-88. Tokyo, Tvornički priručnik s primjerima za 1982.g.

¹⁷ Full Automatic Piloting, Dead Reckoning & Navigation, Professional Navigation Computer with Easy Operation, Tamaya Practical Navigator NC-99, Tamaya Technic INC. Tokyo Japan. (Prospekt s primjerima iz 1992. g.)

¹⁵ Boris Franušić: Navigacijski džepni kalkulatori. Naše more br. 6., Dubrovnik, 1982., 292.



Slika 10. NC-99
Figure 10. NC-99

Upravo dok je ovaj rad bio u rukopisu sa stranica Interneta moglo se pročitati da je u prodaji novo računalo Tamaya NC-2000. Pripada najnovijoj generaciji navigacijskih džepnih računala namijenjenih profesionalnim pomorcima. Ima sve nužne programe za a.n.: efemeride za sva tijela do 2100.g., rješavanje visinske metode, određivanje pozicije s dva ili više nebeskih tijela kod istodobnog opažanja i u razlici vremena, grafičko prikazivanje linija položaja i pozicije u zadnjem trenutku snimanja. Po slici izgleda nešto manji od NC-99 i samo s jednom operativnom površinom s manjim brojem tipaka, ali ponovno s dvostrukim programima. Reklamni oglas iz kataloga *Celestaire* nalazi se na web stranici <http://www.celestaire.com/catalog/product/3115html>.

Kroz pregled ovih 5 Tamayinih navigacijskih računala vidljivo je koliko su oni svakim novim izdanjem evoluirali u rješavanju one iste stare indirektno visinske metode, ali uz njih trebalo je samo snimiti visinu nebeskog tijela i zabilježiti vrijeme. Sve one druge radnje od vađenja efemeridskih podataka, ispravljanja i izmjerene visine, računanja visine i azimuta, svođenja na zadnje vrijeme mjerenja, te konačno crtanja na bijeloj karti ili papiru, najnoviji kalkulatori brzo i točno izračunavaju pa i grafički prikažu poziciju broda.

I druga poznata računala imaju module s jednakim programima a.n. Primjerice poznata američka tvrtka Hewlett Packard izdala je 1993. g. novi model računala HP-48 GX, koji ima Sparcom Pocket Professional software, čija navigacijska kartica omogućuje: određivanje pozicije broda s dva ili više opažanja, crta linije položaja, određuje procjenjenu poziciju od jednog opažanja, kombinirano sa zbrojenom pozicijom računa poziciju broda u razmaku vremena, ima efemeridske podatke 1900.-2030.g. (čak 268 zvijezda).

Upravo s razvojem navigacijskih programa za mala računala, razvili su se također navigacijski programi za velika personalna računala (PC), pa postoje softveri s kompletnim navigacijskim programima u menijima za obalnu i oceansku navigaciju. Primjerice jedan od takvih je i PC Sight Master for the IBM-PC. Softver je izdala tvrtka Dolphin Maritime Software Ltd iz Aldeburga u Engleskoj. Ti su programi nastali u posljednoj dekadi 20. st. za korištenje uz osobno računalo s DOS (Disk Operating System) ili Windows, kao podrškom. Evo kako izgledaju programi za a.n.

Izborom programa SIGHTMASTER na ekranu se pojavi naslov PC SIGHTMASTER MAIN MENU sa sljedećim menijima: SIGHT, DATA, IDENTIFY, PREDICT, COURSE & DISTANCE, WAYPOINTS i ROUTES. Za rješavanje zadataka astronomske navigacije koristi se prvo meni DATA u koji se redom upisuje: dan, mjesec, godina, vremenska zona (suprotnim predznakom), pravi ili magnetski smjerovi, magnetska varijacija, kurs, brzina, zonsko (ili svjetsko ako se stavi da je zona 0) vrijeme posljednje pozicije, geografska širina i dužina, visina oka u metrima ili stopama, pogreška indeksa sekstanta i ime nebeskog tijela.

U podmeniju je od nebeskih tijela obuhvaćeno Sunce (posebno s donjim, gornjim rubom i središtem), zatim 4 navigacijska planeta, pa Mjesec (isto kao i Sunce), te 59 zvijezda po abecednom redu svojih imena.

Kad je sve za korišteno nebesko tijelo uneseno, na ekranu se vraća u meni SIGHT koji sadrži 5 podmenija: Calculate Sight, Inspect Sight, Delete a Sight, Fix from Sight i Erase all Sight.

U podmeniju Calculate Sight s imenom tijela ubacuje se izmjerena visina i vrijeme mjerenja, a na ekranu se trenutačno pojavljuje računana visina, azimut na desetinku stupnja i razlika visine (Intercept) na minutu, desetinku i stotinku minute, uz riječ Towards za razliku visina pozitivnu ili Away za razliku visina negativnu. Tako dobiveni rezultat pohranjuje se u program ili odbacuje. Za drugo ili više snimljenih nebeskih tijela postupak se ponavlja, jer se nakon pohrane automatski vraća meni. Potrebno je ubaciti samo ime novog tijela, tražeći ga iz popisa koji teče po abecedno poredanim imenima, zatim njegovu izmjerenu visinu i vrijeme snimanja, pa na ekranu odmah dobijemo širinu i dužinu nove pozicije (zbog pomaka broda između vremena snimanja), računanu visinu, azimut i razliku visina. To se pohranjuje, pa se može iz menija SIGHT ući u podmeni Calculate Sight i iz njega izabrati Fix from Sight (ili ako je više snimanja opet ponoviti postupak). Na ekranu će se dobiti slika svih ubačenih i izračunatih linija položaja, te najvjerojatnija pozicija. Ispod slike je oznaka duljina lučnih minuta nacrtanih na slici, vrijeme i pozicija zbrojena s kojom su se računali elementi posljednje linije položaja, te koordinate točke broda (Fix).

Podmeni Inspect Sight daje pregled svih unesenih elemenata linija položaja. Podmeni Delete a Sight omogućuje brisanje neke od već unesenih

elemenata linije položaja, dok podmeni Erase all Sight briše sve ranije unesene elemente linija položaja.

U glavnom meniju SIGHT sljedeći podmeni je Identifty koji na temelju azimuta, visine, datuma, svjetskog vremena i pozicije zbrojene, identificira zvijezdu, a može i planet. Uz ime zvijezde s ekrana se čita njezina surektascenzija, deklinacija, te izračunata visina i azimut.

Idući podmeni Predict može pod naslovom Sun, na temelju datuma, svjetskog vremena i pozicije zbrojene, dati za Sunce sljedeće podatke: meridijansku visinu, svjetsko vrijeme izlaska – zalaska, svjetsko vrijeme ujutro početka, a uvečer svršetka građanskog i nautičkog sumraka. Ako se u istom podmeniju koristi naslov One Body, onda se mogu dobiti podaci za određeno nebesko tijelo: surektascenzija, mjesni satni kut Proljetne točke, grinvički satni kut tijela, deklinacija, visina i azimut. Za Mjesec se još dobije vrijednost horizontske paralakse. Treća mogućnost korištenja podmenija Predict nalazi se pod naslovom Astroplan. U njemu se uz datum, svjetsko vrijeme i poziciju, za 30 nebeskih tijela iznad horizonta dobije vrijednost visine i azimuta. Prvo se donose podaci za Sunce, Mjesec i planete (ako ih ima nad horizontom), a odmah zatim za zvijezde, pa je sve na ekranu vidljivo u preglednoj tablici.¹⁸

Neke novosti u posljednjim godinama 20. stoljeća

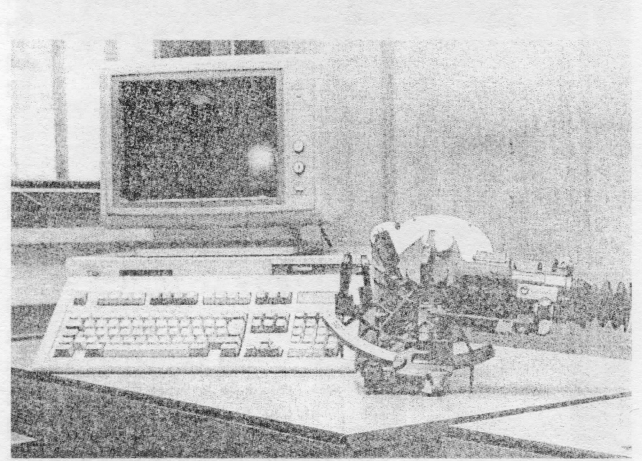
Some innovations in recent years of 20th century

Ako su posljednje godine 20. st. a.n. donijele savršene programe kroz module za mala elektronična računala, ili izravnim navigacijskim računalima, te softvera s gotovim programima za upotrebu na PC-u, ipak, u nejednakoj konkurenciji s globalnim navigacijskim sustavima, a.n. gubi na svojoj zanimljivosti i praktičnosti. No, sve te teškoće nastoje se prevladati i a.n. držati na horizontu interesa suvremenih navigatora.

Već spomenuti programi nisu jedini. Tako se na Internetu mogu pročitati novi programi SIGHT MASTER 3 ili SIGHT MASTER 5 (Astronavigation and Ocean and General Navigation), koji su napravljeni za male Psion Handheld Computers. Imaju također sve programe kao i PC Sight Master od Dolphin Maritime Software Ltd.

Već je u svibnju 1989.g. skupina autora objavila rad: "Noćno motrenje u automatiziranoj astronomskoj navigaciji".¹⁹ Taj prijedlog prvi put je

iznesen 1988. g. na Međunarodnom navigacijskom kongresu u Sidneyu.



Slika 11. CNAGS (Izvor: *The Journal of Navigation*, No. 2, 1989.)

Figure 11. CNAGS (Source: *The Journal of Navigation*, No. 2, 1989.)

U tom radu autori su predložili da se specijalnim noćnim durbinom sekstanta produži mogućnost motrenja zvijezda na cijelu tamnu noć (bez mjesečine), a da se svako čitanje automatski povezuje s registracijom na PC. Taj sustav ima kraticu CNAGS (Celestial Navigation Automated Global System tj. nebeski navigacijski automatski globalni sustav). Sustav se sastoji od sekstanta, osobnog računala PC i grafičkog terminala.

Upotrebljavao se posebno opremljen sekstant marke Plath čiji durbin je zamijenjen teleskopom, dimenzija 22x9x7 cm. Ovaj teleskop omogućava vidljivost morskog horizonta u potpunom mraku, a samim tim omogućeno je mjerenje visina zvijezda i planeta tijekom cijele noći. Sekstant je povezan s PC, a instaliran je i taster koji aktivira opažać u trenutku mjerenja, te se tako automatski prenosi na računalo koje zabilježi vrijeme mjerenja, ispravlja izmjerenu visinu, računa efemeride zvijezda, računa elemente linija položaja, te konačno računa pravu (najvjerojatniju poziciju broda metodom najmanjih kvadrata). Ti programi u PC zovu se Astronomical Navigation Pockage (ANP).

Ovaj sustav testiran je u tijeku dvije godine, tri puta na tri broda. Izvršeno je 500 mjerenja i određeno oko 100 pozicija broda. Te pozicije podudarale su se s onim koje su se dobile sustavima "Loran C" i "Minirange".

Na ovaj način a.n. se uvodi među druge integrirane navigacijske sustave i postupak postaje potpuno praktičan.

S druge strane, jedan francuski autor razvio je 1995. g. a objavio 1996. g. jednu izravnu metodu dobivanja pozicije broda s mjerenjem dviju ili više visina nebeskih tijela. Nazvao ju je Metoda Coplanar

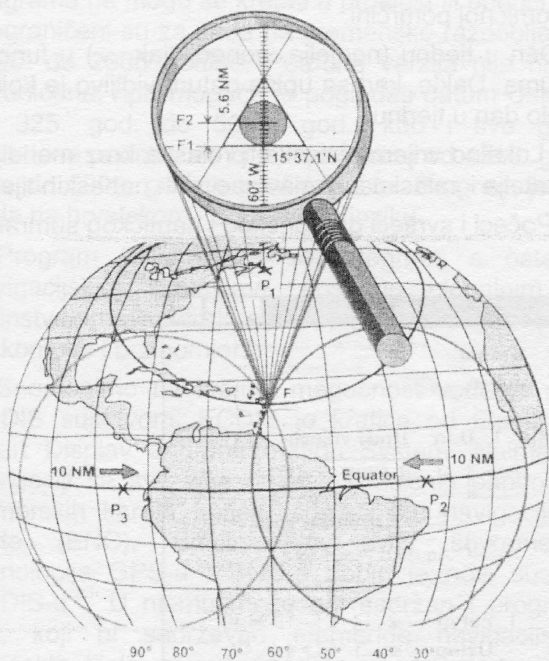
¹⁸ Boris Franušić: Neki novi programi za rješavanje navigacijskih zadataka, *Naše more* g. 45 br. 1-2, Dubrovnik, 1998., 15-20.

¹⁹ V. Nostr, A. Russo, R. Santamaria, A. Sposito, M. Vultaggio and F. Giordano: Night Observation and Automated Astronomical Navigation. *The Journal of Navigation*, vol. 42. No. 2, May 1989., 291-298.

Vertices.²⁰ Metoda se služi idejama starog vizionarskog projekta Cornelisa Douwesa iz 1747.g. da se mjerenjem dvostruke visine određuje vrijednost geografske širine motrioca. U toj staroj metodi trebalo je riješiti veći broj relacija sferne trigonometrije. To je prije elektroničkih računala bilo praktično nemoguće, ali današnja računala mogla bi brzo riješiti poziciju s dvije ili više izmjerenih visina nebeskih tijela izravnom metodom. Kako bi se veliki broj relacija izravne metode mogao programirati pokazao je još 1982. g. prof. dr. Ivo Sjekavica.²¹

Robin tvrdi da se ova metoda zasniva na jednostavnim geometrijskim osobinama koje nemaju potrebu za procijenjenom pozicijom, te nudi ispravno analitičko rješenje. Ova metoda uvedena je u nekoliko softver programa, u kojima ipak mora biti dosta trigonometrijskih relacija.

Metoda je od moderne navigacije, osobito od GPS-a (Global Positioning System), koristila trodimenzionalni pristup, bez potrebe oslanjanja na Zemljinu površinu i Carterzijanski sustav.



Slika 12. Prikaz pozicije metodom Coplanar Vertices (Izvor: Navigation, No. 4, 1999.-2000.)

Figure 12. The method of Coplanar Vertices Positioning (Source: Navigation, No. 4, 1999.-2000.)

Djelotvorni algoritmi ne samo da daju pouzdanu poziciju već se koriste i za procjenu pogrešaka.

Izrađeni program-sofwar ove metode zove se Astrolab. To nije po starom instrumentu, već po kratici Astro (kako autor zove korisnika ove metode)

²⁰ Yves Robin-Jouan, The Method of Coplanar Vertices for Astronomical Positioning: Present Applications and Future Extensions. Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Winter 1999.-2000. Volume 46., Number 4, 235-248.

²¹ Ivo Sjekavica: Astronomska navigacija-direktno određivanje koordinata presjecišta dviju kružnica položaja i jedno indirektno rješenje, Naše more br. 6., Dubrovnik, 1982., 302-306.

i Lab, što su prva tri slova riječi Laboratory. Tako Astrolab ima efemeride za Sunce, planete, Mjesec, i 17 upotrebljivih zvijezda, te proljetne točke. Napredniji softver nosi naziv Almukantarar (po maloju kružnici horizontskog koordinatnog sustava) a nudi i grafičku asistenciju pomorskim časnicima na mostu u potpuno integriranom navigacijskom okruženju.

Bez namjere da se metoda Coplanar Vertices natječe s GPS, ona je samodostatna i učinkovita jer nudi dobar izbor praktične navigacije. Osim toga ona je ne samo dobar dodatak satelitskim sustavima, već je i pedagoški pozitivna jer opet navigaciju sa sekstantom na otvorenom moru dovodi bliže žarišta zanimanja pomorskog časnika koji ovom metodom s lakoćom, zadovoljstvom i izazovom dolazi do točnih rezultata.

Ovdje treba spomenuti da je naš autor Stjepo Kotlarić preko Hidrografskog instituta u Splitu 1971. izdao *Tablice K11. Direktno određivanje Φ i Λ pomoću dvije zvijezde*. Autor je dosta voluminozne tablice vezao za pojas od 10° širine jedne hemisfere. Prvo izdanje bilo je Vol.5 N (40°-49°30'N). Podatke za dva para izabranih zvijezda tabelirao je za gustoću svakih pola stupnja, pa svaki stupanj obuhvaća 36 stranica tablica, tj. volumena, te tako jedan volumen ima u glavnim tablicama podatke na 360 stranica. Ovako ograničen broj izabranih zvijezda, veliki broj potrebnih volumena za pokrivanje cijele Zemlje (svaki volumen s 400 stranica), kao i dugi račun za dobivanje konačnog rješenja, nije imao šanse biti prihvaćen i primijenjen u a.n., te se nakon par volumena (Vol. IV N 1972., Vol. III N 1974., Vol. II. N 1975.)²² prestalo tiskati ove jedinstvene, ali skupe i praktično neupotrebljive tablice.

Najnovija saznanja o automatizaciji dobivanja pozicije broda u a.n. objavio je prof. dr. Petar Čumbelić na web stranici <http://free/du.hinet.hr/Petar-Cumbelic/>. On je napravio navigacijski program kojemu je dao svoj prepoznatljivi simbol PR ω .

Program PR ω i potrebni hardware (bilo koje računalo današnjice) zamijenit će tri od četiri prije nužnih pomagala. Zamijenit će nautički godišnjak, nautičke tablice i kronometar. Naravno u smislu svakodnevne uporabe, jer tiskane knjige godišnjaka i sam instrument tj. kronometar morat će biti i dalje na brodu, jer to traže zakonski, propisi. Međutim, za svakodnevnu upotrebu neće biti potrebni. Efemeridski dio programa PR ω daje sve one podatke koje sadrži nautički godišnjak uz napomenu da program praktično vrijedi vječno za razliku od knjige koja vrijedi samo za tekuću godinu. Koordinate nebeskih tijela računane su formulama nebeske mehanike i kad se računa s dovoljno decimalnih mjesta, (najmanje petnaest), podatci će biti dovoljno precizni i točni za potrebe navigacije tisućama godina. Odmah kod pokretanja program će učitati datum i sat, pa je potrebno paziti da datum i vrijeme računala budu uvijek točno postavljeni.

²² o.c. 7., 592-594.

Program na osnovi lokalnog vremena i geografske dužine ili broja zone računa Svjetsko vrijeme (UT) i za to vrijeme i datum izračunat će se svi potrebni elementi i konačno visina i azimut nebeskog tijela. Osvježavanje podataka, dakle, visinu i azimut za sljedeći vremenski trenutak dobit će se pritiskom na tipku. Na drugom "prozoru" tj. obrascu (formi) unositi će se podaci o početnom položaju broda, brzina i kurs broda, a program prati kontinuirano napredovanje broda, tj. stalno je na ekranu trenutačni položaj, a što navigatori zovu zbrojena pozicija ili zbrojeni položaj (Dead Reckoning Position). Taj položaj rektificirat će se opažanjem nekog nebeskog tijela.

Koordinate tih istih nebeskih tijela računa program PRW, kao što je već rečeno, kod svakog pokretanja i dalje kontinuirano u funkciji vremena, a osvježavaju se pritiskom na bilo koju vremensku tipku. Pod vremenskim tipkama podrazumijevaju se tipka za promjenu godine, mjeseca, dana i/ili sata i to za tisuće godina prije i poslije Krista. Iako je vremenski razmak praktično neograničen, autor je to ograničio na razdoblje od 4713. godine pr. Kr. (početak Julijanske periode) do 5000. godine. Dakle, na drugom obrascu programa rektificirat će se položaj broda nakon svakog opažanja nekog nebeskog tijela. Položaj će biti tim precizniji kad se unesu opažanja više nebeskih tijela (dovoljno je 3 ili 4) u kraćem vremenskom intervalu, a bit će još točniji i precizniji ako se svako od tijela izmjeri više puta uzastopce.

Što se pak tiče ostalih eventualnih korisnika na prvom obrascu gdje su efemeridski podaci naći će se:

1. Kalendar i digitalni sat.
2. Početak godišnjih doba – proljeća, ljeta, jeseni i zime.
3. Julijanski dan.
4. Pretvaranje Julijanskog dana u datum.
5. Datum Uskrsa po oba kalendara: julijanskom i gregorijanskom.
6. Zodijački simbol i ime zvijezda.
7. Vrijeme nastupa mjesečevih mijena – prve četvrti, uštapa (punog mjeseca), zadnje četvrti i mlađa.
8. Detaljni podaci za pomrčine Sunca i Mjeseca, tj. vrsta pomrčine i vrijeme maksimalnog intenziteta, odnosno vrijeme sredine pomrčine. Za Sunce program će naznačiti radi li se o totalnoj, parcijalnoj ili prstenastoj pomrčini, kao i vidi li se pomrčina sa sjeverne ili južne zemaljske hemisfere. Za Mjesec program će naznačiti je li riječ o totalnoj ili djelomičnoj pomrčini.
9. Dan u tjednu (nedjelja, ponedjeljak, ...) u funkciji datuma. Dakle, kad se upiše datum vidljivo je koji je to bio dan u tjednu.
10. Lokalno vrijeme izlaska, prolaska kroz meridijan motritelja i zalaska svih navigacijskih nebeskih tijela.
11. Počeci i svršeci građanskog i nautičkog sumraka.

Navigacijski Program PRW_Hr

Datum i vrijeme računala: 2001.06.01 09:59:45
 Datum Uskrsa: April. 23. Gregor. April. 17. Julian.

Proljeće/jesen: Mar. 20. ET= 7:33:10
 Sep. 22. ET= 17:25:54
 Ljeto/zima: Jun. 21. ET= 1:48:2
 Dec. 21. ET= 13:38:1

2000 God 2 Mje 1 Dan Upiši vrijeme: 8,4906 UT

Julijanski dan: 2451575.667431
 Upiši JulDan: 0
 Datum: 1 Jan. 4713 UT=12:00
 Tm=12h 13.5m ee=13m 31.3s

Dan u tjednu: utorak

Deklinacija: 17° 15'
 GHA: 308° 54.3'
 SHA (RA): 20h 57m 0s
 Visina: 22° 51.5'
 Azimut: 145.7'

Kulminacija: 12h 1.1m
 Izlazak: 7h 2.1m
 Zalazak: 17h 0.1m

Poč.naut.sumraka: 5h 58.8m
 Poč.građ.sumraka: 6h 32.6m
 Kraj.građ.sumraka: 17h 29.5m
 Kraj.naut.sumraka: 18h 3.4m

Dist. from Earth: 0.985303 AU
 SD and Paralax: 16.23' 0.15'

Sunce
 Dubrovnik
 φ 42.3811
 λ 18.0643

Dan u tjednu: 1. četvrt Jan. 14. ET= 13:34:40
 Uštap Jan. 21. ET= 4:41:48
 2. četvrt Jan. 28. ET= 7:58:59
 Mlad Feb. 5. ET= 13:4:55

Pomrčina Sunca: 2000 Feb. 5. ET= 12:50:25
 Parcijalna -1
 Pomrčina Mjeseca: 2000 Jan. 21. ET= 4:40:47
 Totalna umbralna

Author: Prof. dr. PETAR CUMBEIĆ
 Copyright by Author

Input Output

Slika 13. Obrazac s podacima za 1. prosinca, 2000.g. UT=18h 04m 06s. (Izvor: autor)

Figure 13. Data form for December 1st 2000. UT=18h 04m 06s. (Source: the autor)

Sve gornje podatke moguće je odrediti za svako mjesto na Zemlji. Za sada je autor unio određeni broj naših i talijanskih primorskih mjesta i par mediteranskih. Moguće je unijeti neograničen broj mjesta. Međutim, za navigatora mjesta ne znače mnogo, već geografski položaj prema geografskim koordinatama, tj. geografska širina i dužina. Koordinate bilo koje točke na Zemlji unose se u tekstualne okvire, pritisne se tipka i svi podaci trenutno se pokazuju na ekranu. Naravno prethodno treba unijeti i željeni vremenski trenutak, ili se pritiskom na tipku unosi sadašnji trenutak i to godina, mjesec, dan, sat, minuta i sekunda. Zbog lakšeg snalaženja za ulazne podatke (input) pozadinska boja je žuta, a za izlazne podatke (output) pozadinska boja je plava.

Besplatna verzija programa ograničena je na vremenski razmak od 1990. do 2005. godine i za sada tu je samo prvi obrazac, dakle, onaj s gore navedenim podacima. Može se skinuti s Interneta i traje tijekom tekućeg mjeseca. Autor na svojoj web stranici obnavlja program svaki mjesec tako da ga je moguće imati stalno ažurnog. Korisnici besplatnog programa ne mogu se kretati u prošlost ili budućnost – ograničeni su za sada na vremensko razdoblje od 1990. do 2005. godine. Potpuna verzija nije ničim ograničena; npr. moguće je pogledati datum Uskrsa od 325. god. do 5000. god., kao i sve gore navedene podatke za bilo koju godinu od 4713. god. prije do 5000. godina poslije Krista. Program je za sada na hrvatskom i engleskom jeziku.

Program PR ω može se integrirati s ostalim navigacijskim sustavima, posebno globalnim, u jedinstveni navigacijski sustav i hardverski povezat i na kompas i brzinomjer.

Spomenimo na kraju i mogućnost vođenja a.n. ECDIS sustavom. ECDIS je kratica od Electronic Chart Display and Information System. Naime, u navigaciji se sve više umjesto klasičnih papirnatih pomorskih karata koriste elektronske navigacijske karte (ENC). Sjedinjenjem dviju suvremenih tehnologija GPS-a i ENC-a dobio je novi sustav ECDIS-a.²³ U njemu može biti sadržan i program a.n. koji bi sadržavao efemeride navigacijskih nebeskih tijela za više godina unaprijed, te brzo računanje koordinata broda snimljenim visinama nebeskih tijela bilo neizravnom (visinskom) ili izravnom metodom. Program može imati i rješenja ostalih zadataka a.n. (izlazak/zalazak Sunca i Mjeseca, prolazak Sunca kroz gornji meridijan i podnevna pozicija, identifikacija zvijezda itd.).

Zaključak/Conclusion

Za one koji su pročitali prethodni tekst zaključak nije ni potreban, jer su to oni koji se razumiju u materiju pa sami mogu zaključiti što je a.n. donijelo

20. st. Nažalost, puno je veći broj onih koji niti čitaju, niti ih zanima što je to a.n. profitirala od dostignuća 20. st. kad se zna da je ona svoje "zlatno doba" doživjela još u 19. st. Kako takvi obično pročitaju naslov, sažetak, podnaslove te eventualno zaključak, potrebno je ipak nešto zaključiti.

U prvoj polovici 20. st. a.n. postigla je svoju veću preciznost i brzinu rješavanja zadataka, jer su kronometar i sekstant postali pouzdani instrumenti, vađenje efemeridskih podataka se pojednostavnilo i standardiziralo, a u upotrebu dolazi sve veći broj nautičkih tablica gotovih rezultata s dva ulazna argumenta. Odbačene su sve stare metode, a zadržana je samo visinska, te tzv. φ meridijana i φ s Polarom.

U drugoj polovici 20. st. pojavljuju se tablice s tri ulazna argumenta, ali i primjena elektroničkih računala umjesto tablica. Izrađuju se navigacijski softwari u kojima je pretežni broj programa iz a.n. Kronometar na oprugu sa svakodnevnim navijanjem, zamijenio je kvarcni kronometar, praktično bez "stanja" i "dnevnog hoda". Sekstanti imaju fiksni durbin isključivo za snimanje visina nebeskih tijela, koji se krajem stoljeća usavršava u specijalni durbin s kojim su moguća i noćna snimanja. Sekstant se povezuje s PC i s kontaktom se registrira vrijeme snimanja.

Pojavljaju se i programi za rješavanje pozicije izravnom metodom izmjerivši dvije ili tri visine nebeskih tijela. Ipak, uglavnom se većina programa zadržala na neizravnoj visinskoj metodi i pomoću "n" nebeskih tijela brzo i točno izračunavaju FIX-navjerojatniju poziciju za trenutak posljednjeg snimljenog tijela. Neki uz numeričko pokazuju i grafičko rješenje. Kako sve to automatski računa i pokazuje džepno navigacijsko računalo ili PC, koristeći izrađeni softwer, to se a.n. time približila načinu korištenja i brzini rješenja globalnih sustava navigacije. Istina, navigator koristeći neki globalni sustav navigacije samo pritišće tipke (Push Button) na prijarniku a da nema nikakvu potrebu snimanja i mjerenja. Ali, veliki je ovisnik o radu sustava koji je uvijek monopolistički, a i prijarnici su ponekad pokvarljivi. Onda je nužno "baciti oko" na nebo i poslužiti se besplatnim i za vedrine uvijek pristupačnim snimanjem nebeskih tijela koje nitko ne može monopolizirati niti se što pokvariti. Tu romantičnu vezu tijela na nebu s ravninom morskog horizonta na kojemu naš brod u sredini plovi, zadržavaju svi dobro školovani časnici, a to od njih i danas traže ozbiljne svjetske brodske kompanije. Zato će časnici kupovati džepna ili normalna računala i uspješno ih koristiti za sve potrebne radnje u svojoj časničkoj službi, pa tako i u a.n. Iako će brod i dalje po propisima morati imati kronometar i sekstant, nautički godišnjak i nautičke tablice, pomoću elektronike i njene primjene u a.n. suvremeni navigator mora samo sekstantom snimiti visinu nebeskog tijela i određenim redom programa ubaciti u računalo koje dalje sve automatski rješava.

²³ Pavao Komadina, Sergio Kos, Robert Mohović: Uporaba sustava ECDIS kod nekih odabranih korisnika u pomorskoj navigaciji, Naše more g. 46., br. 1-2., Dubrovnik, 1999., 45-48.

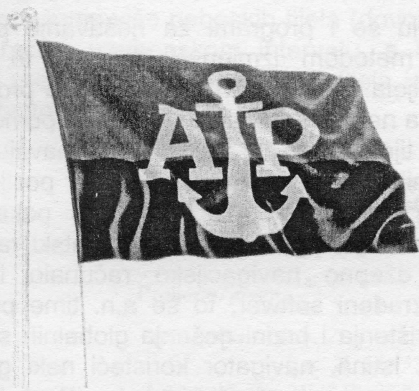
Tako a.n. ostaje aktualna i u dosta teškoj i neravnopravnoj konkurentskoj trci sa suvremenim globalnim sustavima navigacije.

Međutim, moje je uvjerenje da će računala potpuno eliminirati rad s nautičkim tablicama, te jedino avionske tablice H.O. 249 Vol. I. mogu navigatorima biti zanimljive za rad sa zvijezdama. Te tablice su upotrebljive osam godina i neovisne su o nautičkom godišnjaku a donose po sedam najbolje izabranih zvijezda iznad horizonta. U to sam se uvjerio i prigodom posjeta dvaju američkih nosača zrakoplova koji su prošle godine boravili u Dubrovniku (Dwight D. Eisenhower i George Washington). Pored svih najboljih dostignuća suvremene tehnike, na zapovjedničkom mostu imaju sekstant i tablice H.O. 249 Vol. I. te snimaju zvijezde za kontrolu svoje pozicije na otvorenom moru.

Danas su brodovi brži, putovanja kraća, a posla je više. Časnici često i u vrijeme straže na mostu moraju raditi na zaostaloj administraciji. Koriste se elektronskim računalima pa im je pomoću njih lakše odrediti poziciju na temelju snimljenih nebeskih tijela. Ne smije se zaboraviti koristiti sekstant i "skinuti" po danu Sunce, a u sumrak poneku zvijezdu ili planet. Tako će dobar časnik uvijek biti "Stand by" i imati osobno zadovoljstvo što mu se dobivena pozicija ne razlikuje od onih dobivenih pomoću globalnih navigacijskih sustava. Slađi je FIX dobiven osobnim mjerenjem tijela s "gore neba visoka", nego onaj što ga niti vidiš niti sam mjeriš, već kao robot samo pritiskaš tipke.

Dakle, a.n. je opstala, te vjerujem da će bit korisna i zanimljiva i u 21. st.

Rukopis primljen: 28.3.2001.



ATLANTSKA PLOVIDBA d.d.

Dubrovnik, Hrvatska - Croatia

**PREVOZI ROBU U SLOBODNOJ
PLOVIDBI PO SVIM MORIMA SVIJETA.**

**OBAVLJA PRIJEVOZ TEŠKIH I
IZVANGABARITNIH TERETA
SPECIJALIZIRANIM BRODOVIMA.**

**PREVOZI ROBU U MALOJ
OBALNOJ PLOVIDBI.**

**OD SV. MIHAJLA 1
POŠT. PRET. 192**

TEL: (020) 352 - 333

FAX: (020) 356 - 148

**TLX: 27584 ATLANT RH
27684 ATLANT RH**