Novi način skraćenog računanja pravca položaja i koordinata pozicije broda u astronomskoj navigaciji

STJEPO KOTLARIĆ

Određivanje pozicije broda astronomskim putem na otvorenom moru, nije izgubilo svoj značaj unatoč naglog razvitka sredstava radionavigacije u poslijednjim godinama. Usavršavanje postojećih metoda određivanja pravca položaja (odnosno astronomske pozicije) zapaža se danas u publiciranju novih, savremenih nautičkih tablica i nautičkih godišnjaka, a činjenice nam dokazuju, da se na razvoj u tom pravcu polagala pažnja i u punom jeku Drugog svjetskog rata. Također i danas to čine čak i one pomorske zemlje, koje su dostigle zavidan stepen savršenstva novih uređaja za radio-navigaciju. Najnovijim američkim izumom radio-sekstanta dade se naslutiti, da primjena astronomske navigacije može postati i značajnija. Velika prednost radio-sekstanta nad običnim sekstantom je u tome, što se mjerenje visine nebeskog tijela može vršiti i kod potpuno oblačnog neba, a što je u ratno doba najvažnije, radio-sekstant se ne može ometati, kao što je to na primjer moguće kod vođenja radio-navigacije sistemom Decca ili Loran.

Nautičke tablice, pomoću kojih se izračunava visina i azimut (pravac položaja), mogu se uglavnom svrstati u tri grupe.

U prvu grupu spadale bi sve one tablice, koje logaritmički ili sličnim putem direktno rješavaju osnovni astronomski sferni trokut.

U drugu grupu bile bi obuhvaćene one tablice, koje osnovni astronomski sferni trokut rješavaju indirektnim putem, uvađanjem stanovitih pomoćnih vrijednosti, bilo dijeljenjem osnovnog astronomskog sfernog trokuta u dva pravokutna sferna trokuta ili slično. Ove tablice skraćuju postupak računanja visine i azimuta u odnosu na direktno rješenje iz osnovnog astronomskog sfernog trokuta, koje je, inače, dosta dugo i za savremene zahtjeve navigacije, moglo bi se reći, ne baš sasvim prikladno. Stoga se tablice druge grupe u novije vrijeme više upotrebljavaju u navigacijskoj praksi.

Treću grupu sačinjavale bi tablice gotovih rezultata visine i azimuta. Ove tablice se naročito ističu svojom jednostavnosti i praktičnosti, ali zbog svoje glomaznosti (na pr. američke tablice H. O. 214 imaju oko 2400 stranica u 9 volumena velikog formata), kao i zbog skupoće čitavog kompleta ne predstavljaju priručnik za pojedinca, pa je karakteristično, da su se u državama, u kojima su publicirane baš ovakove tablice, poslije njih još i nadalje razvijale i publicirale tablice, koje pripadaju drugoj grupi.

Upoređenjem tablica druge i treće grupe, u pogledu važnijih faktora, po kojima se ocjenjuje praktičnost, t. j. po broju otvaranja knjige, ulaza u tablice, matematskih operacija, pravila i interpolacija, vidjet ćemo, da tablice druge grupe imaju veći broj tih radnja nego tablice treće grupe, ali broj stranica im je zato mnogo manji. U težnji za postignućem jednostavnijeg načina računanja visine i azimuta tablicama druge grupe, koji bi se po praktičnoj vrijednosti više približio tablicama treće grupe, t. j. postupku s tablicama gotovih rezultata visine i azimuta, sastavio sam Tablice K_1, čiji prikaz ovdje donosim.

Osim prikaza ovih Tablica, donio sam u ovom članku također i kraći prikaz mojih Tablica K_{11}, pomoću kojih se direktno računa geografska širina i dužina prave pozicije, bez klasičnog računanja visine i azimuta.

Tablica K_1

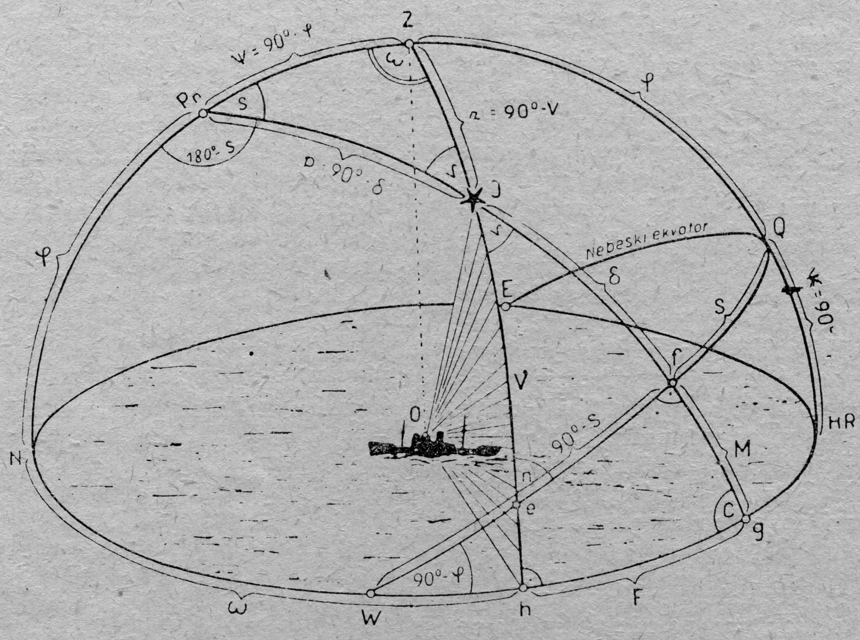
Ovom tabličnom metodom omogućuje se skraćeno računanje visine i azimuta za zbrojenu i izabranu poziciju, i to bez logaritmiranja, bez interpolacija i bez pravila za predznake. Radi jasnijeg obrazloženja upoznat ćemo se najprije sa sfernim trokutima, iz kojih se izračunava visina i azimut, kao i općenito s principom, kojim se postiže skraćenje i pojednostavnjenje računanja tih vrijednosti.

Osnovni astronomski trokut PnZJ, kao i pomoćni trokuti, koji se koriste za rješenje ovog problema, prikazani su na slici 1. Kao primjer uzet je brod na otvorenom moru, sa kojeg je u izvjesnom trenutku izmjerena visina V nebeskog tijela J. Sa poznatim elementima, t. j. mjesnim satnim kutom s, geografskom širinom zbrojene (ili izabrane) pozicije φ i deklinacijom δ, nijesam pristupio direktnom rješavanju osnovnog astronomskog sfernog trokuta PnZJ, niti njegovoj podjeli u dva pravokutna sferna trokuta, spuštanjem okomice iz jednog od njegovih vrhova, već naprotiv, visina i azimut riješeni su na nov, poseban način. Kod toga, upotrebljena su tri pomoćna pravokutna sferna trokuta, koji imaju jedan zajednički vrh u točki, u kojoj satni krug nebeskog tijela siječe astronomski horizont, a stvorena su međusobnim ukrštavanjem vertikalnog kruga i satnog kruga nebeskog tijela sa nebeskim ekvatorom, pravim horizontom i donjim meridijanom osmatrača. Ta tri trokuta vide se na slici 1., a obilježeni su vrhovima u slijedećim točkama: Wfg prvi, Jgh drugi i PngN treći trokut. Obzirom da su sve to pravokutni sferni trokuti, njihovo rješenje Napierovim pravilom je vrlo jednostavno. Nepoznatu vrijednost se uvijek dobija kao umnožak ili diobu dvaju funkcija, a to je, naravno, jednostavnije za tabeliranje nego osnovne formule za visinu i azimut, koje su izvedene direktno iz osnovnog astronomskog sfernog trokuta PnZJ.

2. U zbroju (M + δ) deklinacija δ uvijek zadržava svoj predznak.

3. Kut C ne prelazi nikad vrijednost 90°.

Primjenom Napierovog pravila na spomenuta tri trokuta, prikazana na slici 1., dobijamo odgovarajuće formule za računanje visine i azimuta. Međutim, radi jednostavnijeg tabličnog računanja, bit će potrebno da se izračunaju i izvjesne pomoćne vrijednosti, kao što je paralaktični



Slika 1.

Princip rješenja visine i azimuta ovom metodom je slijedeći:

Iz prvog pravokutnoo sfernog trokuta (Wfg), sa poznatim elementima (90° — s) i (90° — φ), izračuna se kut C i stranica M. Zatim, iz drugog trokuta (Jgh), sa poznatim kutom C i stranicom (M + δ), koja prestavlja algebarski zbroj vrijednosti M i deklinacije δ, izračuna se visina V i stranica F. Iz trećeg trokuta (PngN), sa poznatom geografskom širinom φ' i suplementom mjesnog satnog kuta (180° — s), izračuna se stranica (ω + F). Vrijednost F odbije se os (ω + F), pa se dobije azimut ω, a time je zadatak potpuno riješen.

Potrebno je još da vidimo što se događa, kad je mjesni satni kut veći od 90° i kad je deklinacija raznoimena sa geografskom širinom.

Slika 2., na kojoj su ucrtana dva nebeska tijela, od kojih je mjesni satni kut jednoga manji od 90°, a drugoga veći od 90°, pomaže nam da dođemo do slijedećih zaključaka, koji potpuno rješavaju to pitanje:

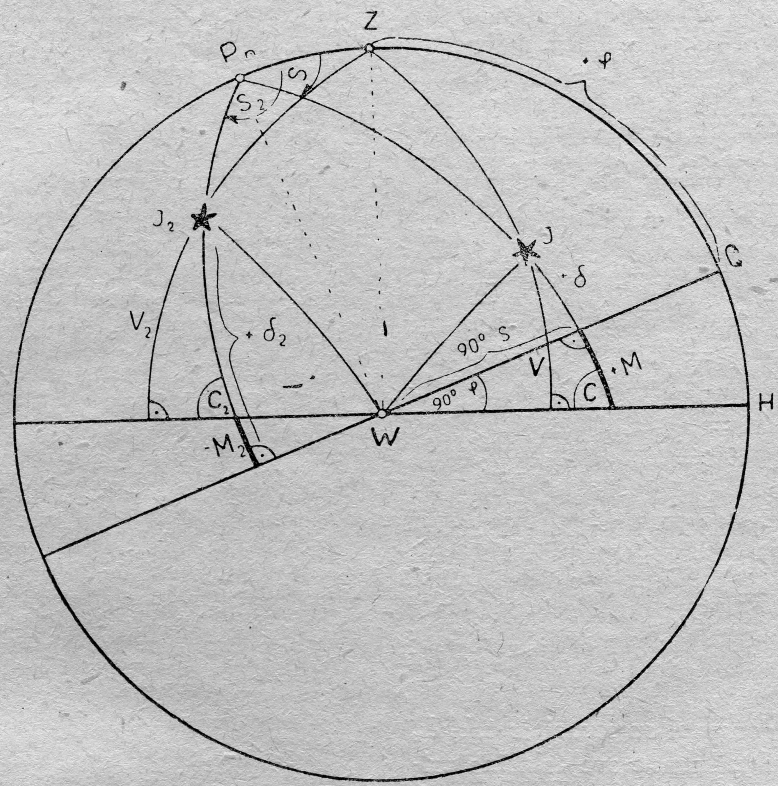
1. Vrijednost M je istoimena sa geografskom širinom (znači, iznad horizonta), kad je mjesni satni kut manji od 90°, a raznoimena sa geografskom širinom (znači, ispod horizonta), kad je mjesni satni kut veći od 90°.

kut ν, a i da se pronađu utjecaji promjena pojedinih elemenata, pomoću kojih se računa visina, na konačni rezultat visine. Detalji o tome doneseni su u mojoj knjizi »Nove metode astronomskog određivanja pozicije broda«, koja je, u izdanju Hidrografskog instituta JRM, izašla iz štampe početkom juna o. g.

Na osnovu tako izvedenih formula sastavljene su Tablice K_1, pomoću kojih se visina i azimut računaju na mnogo jednostavniji i kraći način, nego što bi se inače te iste formule riješile običnim tablicama logaritama goniometrijskih funkcija.

Tablice K_1 podijeljene su u četiri dijela, i to: tabl. I., tabl. II., tabl. III. i tabl. IV. Pomoću tabl. I. i II. dobija se visina i azimut za cijele i polovine stepena ulaznih argumenata s, φ, C i (M + δ), dok se pomoću tabl. III. i IV. vrše dodatni popravci izračunate visine za minute i desetinke minuta ulaznih argumenata.

Da vidimo najprije postupak računanja visine i azimuta ovim Tablicama pomoću izabrane pozicije, a zatim rješenje jednog konkretnog primjera astronomske pozicije, te postupak pomoću zbrojene pozicije.



Sliko 2

Tablično računanje visine i azimuta pomoću izabrane pozicije

Postupak:

1. Prethodno treba zaokružiti geografsku širinu zbrojene pozicije na najbližu vrijednost cijelih stepena ili polovina stepena, da se dobije geografska širina izabrane pozicije φi.

2. Geografsku dužinu λ treba izabrati takovu, koja se od geografske dužine zbrojene pozicije ne razlikuje više od 15', a koja algebarski zbrojena sa satnim kutom u Griniču, daje mjesni satni kut s u cijelim ili polovinama stepena. Ovaj λ naziva se geografskom dužinom izabrane pozicije, a označuje se sa λi.

3. Sa s i φi uđi u tabl. I. i izvadi vrijednost (ω + F), M i C. Predznak za M označen je u glavi tablice (M je istoimen sa φ, kad je s manji od 90°, a raznoimen sa φ, kad je s veći od 90°). Kad je s veći od 90°, onda se (ω + F) vadi iz desnog stupca, kako je to već i u tablici označeno.

4. Upisuj vrijednosti na svoje mjesto prema shemi računa.

5. M i δ zbroji (sa svojim predznacima), pa sa bližim nižim vrijednostima cijelih stepena ili polovina stepena (M + δ) i C, uđi u tabl. II. i izvadi vrijednosti F, V, iMδ i iC. Predznaci, koji su označeni u glavi tablice iznad iMδ i iC, odnose se na popravak visine kMδ i kC (kMδ označuje popravak visine zbog razlike minuta vrijednosti M + δ, a kC, popravak visine zbog razlike minuta vrijednosti C).

Ako je razlika između susjednih vrijednosti F veća od 1°, što se može pojaviti jedino kod velikih visina, tada, ukoliko se želi dobiti točniji azimut, a izračunati ulazni argumenti (M + δ) i C nijesu približno jednaci tabeliranim, može se vrijednost F približno tabelirati od oka, za minute ulaznih argumenata. U praksi navigacije ova interpolacija obično ne dolazi u obzir.

6. Odbij F od (ω + F), pa ćeš dobiti azimut, koji se broji od vidljivog pola, od 0° do 180°; azimut dobija oznaku E ili W, istu kao i mjesni satni kut.

7. Visini treba dodati (sa svojim predznacima) popravke kMδ i kC, za eventualno preostale minute i desetinke minuta vrijednosti (M + δ) i C, stoga:

a) uđi u tabl. IV. lijevo sa iMδ koji je najbliži izračunatom, a gore sa minutama i desetinkama minuta (M + δ), pa izvadi vrijednost kMδ; predznak ovog popravka izuzima se iz tabl. II. prilikom vađenja iMδ.

b) uđi u tabl. IV. lijevo sa iC, koji je najbliži izračunatom, a gore sa minutama i desetinkama minuta C, pa izvadi vrijednost kC; predznak ovog popravka izuzima se iz tabl. II. prilikom vađenja iC.

U tabl. IV. nijesu potrebne nikakove interpolacije za ulazne argumente iMδ i iC.

8. Izračunatu visinu Vr odbi od prave visine Vp, pa ćeš dobiti razliku visine ΔV, i to pozitivnu, ako je Vp veći, a negativnu, ako je Vp manji od Vr.

Ucrtavanje stajnice, odnosno prave pozicije, na pomorsku kartu vrši se na uobičajen način.

Primjer 1.

Računanje prave pozicije broda jednovremenim osmatranjem dvaju nebeskih tijela; rješenja Tablica K1 (pomoću izabrane pozicije)

21. februara 1950. godine u zbrojenoj poziciji $\varphi z = 34^0 51,5'N$, $\lambda z = 38^0 06,4'W$, izvršeno je osmatranje Sunca u tč $= 15^h\,18^m\,17,5^s$; upoređenje sata sa kronometrom $U = +2^h\,05^m\,21^s$; stanje kronometra $St = +0^h\,03^m\,02,3^s$; visina Sunca (donji rub) $V\odot = 30^0 40,5'$; popravak indeksa $ki = +0,9'$; visina oka nad morem 6,5 m. U tč $= 15^h\,18^m\,38,5^s$, t.j. nakon $0^m\,21^s$ izvršeno je osmatranje Mjesesa i izmjerena visina (donjeg ruba) V ☾ $= 64^0 53,5'$. Izračunaj pravu poziciju broda!

Na stranici 301 doneseni su izvaci iz tab. I., II. i IV., u kojima su prikazane sve tablične vrijednosti, koje su potrebne za rješenje ovog primjera.

Rješenje za Mjesec:

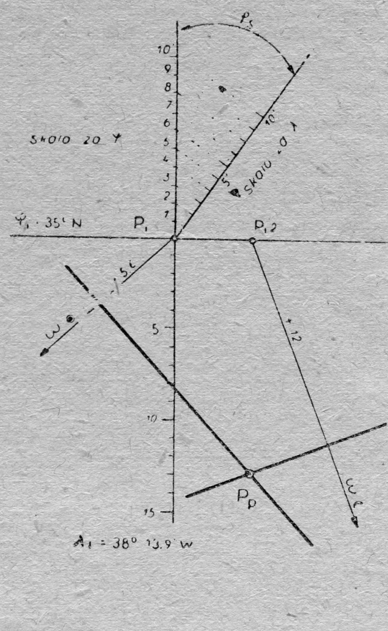
V ☾ =	64° 53,5'
ki =	+ 0,9
Vo =	64 54,4
ku =	+ 32,9
Vp =	65° 27,3'
S =	29° 08,8'
	+ 360
λi =	− 38 08,8 W
s =	351 00,0
s =	9° E
φi =	35° N
C =	82° 38,3'
ω + F =	174,8°
F =	16,3
ω =	N 158,5°E

Ts =	17h 26m 40,8s
	0 21,0
Ts =	17 27 01,8
δ =	+ 11° 19,6
	+ 19,1
δ =	+ 11° 38,7'
M =	+ 54° 39,9'
M + δ =	66° 18,6'
V =	64° 55,3'
95,1 kMδ =	+ 17,7
27,3 kC =	+ 2,3
—Vr =	**65° 15,3'**
Vp =	65 27,3
ΔV =	**+ 12,0'**

Rješenje za Sunce:

V☉ =	30°40,5'
ki =	+ 0,9
Vo =	30 41,4
ku =	+ 10,2
Vp =	30°51,6'
S =	78°13,9'
λi =	38 13,9W
s =	40°W
φi =	35°N
C =	58°13,7'
ω + F =	154,3°
F =	21,4
ω =	N 132,9°W

tč =	15h18m17,5s
U =	+2 05 21,0
th =	17 23 38,5
St =	+00 03 02,3
Ts =	17h26m40,8s
δ =	— 10°36,0'
	+ 1,3
δ =	— 10°34,7'
M =	+ 47°34,3'
M + δ =	36°59,6'
V =	30°17,6'
78,9 kMδ =	+ 23,4
36,3 kC =	+ 5,0
— Vr =	**30°46,0'**
Vp =	30 51,6
ΔV =	**+ 5.6'**



φi =	35°00,0'N
Δφ =	12,9 S
φp =	**34°47,1'N**

λi =	38°13,9'W
Δλ =	5,1 E
λp =	**38°08,8'W**

Izvaci iz Tablica K_1

Tabl. I. S

φ	9° ω + F	raz. φ / ist. φ M	C	171° ω + F	…	40° ω + F	raz. φ / ist. φ M	C	140° ω + F	φ
° '	°	° '	° '	°	…	°	° '	° '	°	° '
0										0
⋮										⋮
34						154,9	48 38,1	57 47,9	25,1	34
34 30						154,6	48 06,1	58 00,7	25,4	34 30
35	174,8	54 39,9	82 38,3	5,2		154,3	47 34,3	58 13,7	25,7	35
⋮										⋮
90										90

Tabl. II. M + δ

C	36°30' F	V	− + iMδ	+ + iC	143°30' F	…	66° F	V	− + iMδ	+ + iC	114° F	C
° '	°	° '			°	…	°	° '			°	° '
1												1
⋮												⋮
58	21,4	30 17,6	78.9	36.3	158,6		50,0	50 46,8	54.2	76.3	130,0	58
58.30	21,1	30 28,5	79.4	35.8	158,9		49,6	51 09,7	54,9	75.9	130,4	58 30
⋮												⋮
82 30	5,5	36 08,3	98.7	9,3	174,5		16,3	64 55,3	95.1	27,3	163,7	82 30
83	5,2	36 11,1	98.8	8,7	174,8		15,3	65 03,5	95.7	25.5	164,7	83
⋮												⋮
90												90

Tabl. IV.

iMδ ili iC	ω = iφ	(M + δ)' ili C' ili φ'' 1'	…	8'	…	13'	…	18'	…	29'	30'	0,1'	0,2'	0,3'	…	0,6'	0,7'	0,8'	0,9'
0	90°	0'		0'		0'		0'		0'	0'	0'	0'	0'		0'	0'	0'	0'
1	+ 89,4 - 90,6																		
2	88,9 91,1																		
⋮	⋮																		
27	⋮			2,2										0,1					
28				2,3										0,1					
⋮																			
36						4,7											0,3		
37						4,8											0,3		
⋮																			
78										22,6						0,5			
79										22,9						0,5			
80										23,2						0,5			
95								17,1								0,6			
96								17,3								0,6			
⋮	⋮																		
100	+ 0° - 180°	1	…	8	…	13	…	18	…	29	30	0,1	0,2	0,3	…	0,6	0,7	0,8	0,9

Tablica računanja visine i azimuta pamoću zbrojene pozicije

Postupak je uglavnom isti kao i pomoću izabrane pozicije, samo treba, s obzirom na to da su ovdje s i φ dati sa točnošću do na desetinke minuta, u tabl. I. ući sa bližim nižim vrijednostima tih ulaznih argumenata. Osim toga, izračunatoj visini treba još dodati popravke $k\varphi$ i ks, t. j. popravke visine za minute i desetinke minuta geografske širine i mjesnog satnog kuta; $k\varphi$ se vadi iz tabl. IV., a ks iz tabl. III., na sličan način kao popravak kC. Izvadak iz tabl. III. nije ovdje prikazan.

Zaključak o Tablicama K_1

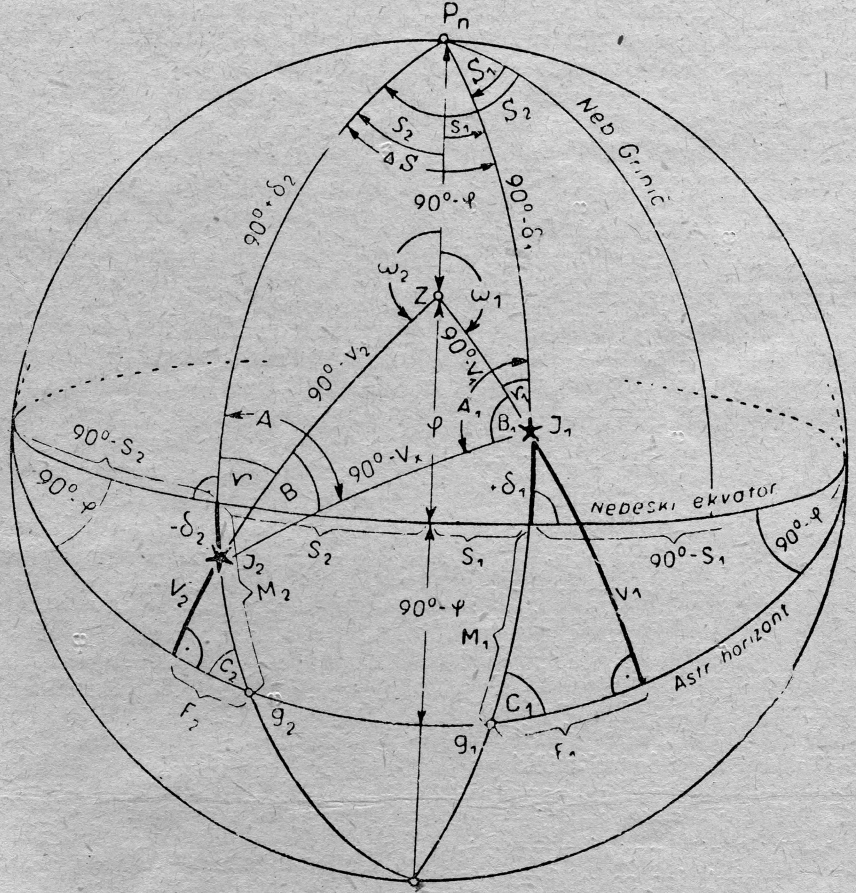
Izvršeno je upoređenje Tablica K_1 sa preko 20 drugih tablica za računanje visine i azimuta, uključujući tu i najpoznatije na svijetu, u cilju određivanja njihove praktične vrijednosti. Pri tome je uzet u obzir poznati kriterij, t. j. broj: otvaranja knjige, ulazaka u tablice, matematičkih operacija, pravila za predznake, specijalnih slučajeva kad su ulazni argumenti vrlo mali ili vrlo veliki, interpolacija i ulazaka u dijagram, pa se ustanovilo, da je ukupni broj tih radnji manji nego u Tablicama K_1 jedino pri radu pomoću tablica sa gotovim rezultatima visine i azimuta (na pr. američkih H. O. 214). Pomoću svih drugih tablica taj broj je bio uvijek veći. Naravno, veći broj tih radnji znači praktična vrijednost manja. Konačno može se kazati, da su se Tablice K_1 najviše približile poznatim Tablicama H. O. 214, izdanja Hidrografskog instituta SAD, jednovremeno smanjivši broj stranica od 2400, koliko ih imaju Tablice H. O. 214, na 200 u Tablicama K_1.

Tablice rezultata prave pozicije

(Tablice K_{11})

Pomoću ovih Tablica dobijamo direktno geografsku širinu prave pozicije i mjesni satni kut, a upoređenjem mjesnog satnog kuta sa griničkim, dobijamo geografsku dužinu, pa je time riješeno računanje najvažnijeg zadatka u astronomskoj navigaciji, t. j. prave pozicije, i to bez prethodnog računanja visine i azimuta. Radi potpunijeg razumijevanja Tablica K_{11} upoznat ćemo se najprije sa osnovnim principom direktnog rješenja prave pozicije.

U današnjoj praksi, astronomska pozicija dobija se u sjecištu dvaju ili više pravaca položaja (astronomskih stajnica). Pravci položaja, izuzev širine u meridijanu i širine pomoću Sjevernjače, možemo reći, računaju se jedino po metodi Marcq de St. Hilaire (t. j. računanjem azimuta i razlike visina). Metoda Marcq de St. Hilaire stara je već 80 godina i na njoj se do danas ništa nije izmijenilo, osim načina računanja visine i azimuta. Ovakovo računanje astronomske pozicije predstavlja, zapravo, indirektno rješenje problema, jer nakon izračunavanja dvaju azimuta i razlika visina, da bi se dobile koordinate prave pozicije, treba još izvršiti izvjesne radove, bilo računske ili grafičke. Grafičko rješenje prave pozicije iz dobivenih pravaca položaja najjednostavnije je na pomorskoj karti krupnije razmjere za područje u kome brod plovi, ali, ako se brod nalazi na oceanu, gdje ne postoji pogodna karta za ucrtavanje pozicije, već samo generalna karta u sitnoj razmjeri, onda se treba poslužiti bilo posebnim računskim postupkom, bilo preciznom konstrukcijom na običan papir, ili pak ucrtavanjem na »Mercator Plotting Sheet« ili na bilo koju pomorsku kartu krupnije razmjere za područje jednake geografske širine, samo u ovom posljednjem slučaju treba paziti na predznake $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$. Stoga je razumljivo, da bi umjesto rezultata azimuta i razlike visina, bilo poželjnije dobiti direktno geografsku širinu i dužinu prave pozicije.



Slika 3.

Na slici 3. prikazani su svi elementi, potrebni za direktno rješenje prave pozicije istovremenim osmatranjem dvaju nebeskih tijela.

U ovom slučaju, računanje koordinata prave pozicije sastoji se u tome, da se za srednje griničko vrijeme istovremenog osmatranja dvaju nebeskih tijela izvade iz Nautičkog godišnjaka njihovi satni kutovi u Griniču S_1 i S_2, kao i deklinacije δ_1 i δ_2 pa iz trokuta PnJ_1J_2 sa deklinacijama i razlikom griničkih satnih kutova $\triangle S$ izračuna sferna udaljenost od jednog do drugog nebeskog tijela (90^0 — Vx). Zatim, iz istih podataka izračuna se kut A, koji zatvara spomenuta sferna udaljenost sa satnim krugom jednog od dvaju osmatranih nebeskih tijela. Dalje, pomoću pravih visina V_1 i V_2, kao i sferne udaljenosti (90^0 — Vx), dakle, sa poznate tri stranice sfernog trokuta ZJ_1J_2, čija se dva vrha nalaze u nebeskim tijelima, a treći u zenitu, izračuna se kut B u onom istom vrhu sfernog trokuta (t. j. u onom istom nebeskom tijelu), u kojem je računat i kut A. Zbrajanjem A i B ili odbijanjem tih vrijednosti, a što se najjednostavnije zaključuje iz skice odnosne situacije na nebeskom svodu, dobija se paralaktični kut nebeskog tijela (kut ν), sa kojim se izračuna geografska širina pomoću još dvije poznate stranice astronomskog sfernog trokuta, a to su komplementi prave visine i deklinacije. Zatim, razumljivo, nije teško izračunati i mjesni satni kut (odnosno geografsku dužinu) iz istog astronomskog sfernog trokuta.

Koordinate prave pozicije mogu se računati pomoću paralaktičnog kuta jednog ili drugog nebeskog tijela, ali radi jednostavnosti sheme računa, dobro je držati se principa, da zapadnije nebesko tijelo smatramo kao drugo, t. j. J_2 pa uvijek u odnosu na njega računati kutove A i B, a odatle, sa dobivenim paralaktičnim kutom izračunati konačni rezultat φ i λ prave pozicije. Izuzetak od ovoga čini samo slučaj, kad je zapadnije nebesko tijelo u blizini meridijana; tada se zapadnije nebesko tijelo označuje kao prvo, t. j. J_1, a istočnije kao drugo, t. j. J_2.

Eto, to bi bio princip direktnog rješenja prave pozicije jednovremenim osmatranjem dvaju nebeskih tijela, ali u navigaciji nije uvijek tako pogodan slučaj, da se na nebeskom svodu vide dva nebeska tijela i da su osmatranja izvršena točno u istom trenutku, već na protiv, vrlo je čest slučaj osmatranja jednog istog tijela u razmaku vremena (osobito Sunca) i osmatranje dvaju tijela, od kojih je osmatranje drugog izvršeno u izvjesnom zakašnjenju. U tim slučajevima princip direktnog rješenja sastoji se u tome, da se visinu iz prvog osmatranja ispravi za $\triangle\varphi$ i $\triangle\lambda$ prevaljenog puta do drugog osmatranja i sa tako ispravljenom visinom V_1k i visinom u času drugog osmatranja V_2 računamo pravu poziciju na isti način, kao i sa jednovremenim osmatranjem dvaju nebeskih tijela. Popravak prve visine za čas drugog osmatranja može se vršiti na nekoliko načina, bilo računski ili grafički. Jedan od računskih načina je po formulama popravka visine za $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ prevaljenog puta; $k\Delta\varphi = \Delta\varphi \cos\omega$ i $k\Delta s = \Delta\lambda . \cos\varphi \sin\omega$, gdje se azimut dobiva bilo smjeranjem preko kompasa i pretvaranjem u azimut pravi ili računanjem pomoću jednih od tablica, koje rješavaju azimut. Vozeći prema geografskoj poziciji nebeskog tijela, visina raste, a u samoj točki te geografske pozicije iznosi 90^0. Prema tome, ako smjer vožnje rastavimo u komponente $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$, pa ako te komponente idu prema geografskoj poziciji nebeskog tijela onda su popravci pozitivni, a ako idu u suprotnom pravcu, onda su negativni.

Pomoću formula sferne trigonometrije može se naći nekoliko načina rješenja za osnovne račune u direktnoj metodi, t. j. za računanje vrijednosti $(90^0 - Vx)$, A, B, φ i s_2 a što se zapravo svodi na rješenje dvaju osnovnih problema, i to računanje treće stranice i jednog kuta u sfernom trokutu. Međutim, takav način direktnog rješenja prave pozicije (t. j. dugi logaritmički postupak računanja osnovnih formula za nepoznate stranice i kutove u sfernim trokutima, koji se u ovom slučaju pojavljuju) nije pogodan za primjenu u navigacijskoj praksi, jer se u današnje vrijeme traži jednostavan i kratak, tako rekuć mehanički postupak računanja prave pozicije broda.

Da bi postupak direktnog računanja prave pozicije dobio toliku praktičnu vrijednost, da udovolji zahtjevima savremene prakse, potrebno je izvršiti pojednostavnjenje i skraćenje tog postupka. Uzevši u obzir te okolnosti izradio sam uzorak Tablice K_{11}, pomoću kojih se određivanje koordinata prave pozicije vrši bez računanja pomoćnih vrijednosti $(90^0 - Vx)$, A, B i v. Zapravo, Tablice K_{11} (vidi izvatke) daju rezultat tražene (nepoznate) geografske širine i mjesnog satnog kuta, koji sa poznatim satnim kutom u Griniču daje traženu (nepoznatu) geografsku dužinu. Tablice K_{11} osjetno pojednostavnjuju direktnu metodu, slično pojednostavnjenju koje su učinile tablice gotovih rezultata visine i azimuta kod određivanja pravca položaja. Ove Tablice odnose se prvenstveno na nekretnice, a mogu se tabelirati podaci također i za dvostruko osmatranje Sunca ili Mjeseca (detaljnije o ovome doneseno je u spomenutoj mojoj knjizi »Nove metode astronomskog određivanja pozicije broda«).

Princip na kom je izvršeno tabeliranje ovih Tablica sastoji se u slijedećem:

Za čas istovremenog osmatranja dvaju nebeskih tijela znamo njihove deklinacije i razliku griničkih satnih kutova, a to nam je dovoljno, da sa još izmjerenim i popravljenim njihovim visinama, izračunamo geografsku širinu i mjesni satni kut. Ako osmatranja nijesu izvršena istovremeno, tada, kao nam je već poznato iz ranijeg izlaganja, prvu visinu ispravimo za čas drugog osmatranja.

Nekretnicama se malo mijenjaju deklinacije δ i razlika surektascenzija $\Delta(360^0 - \alpha)$, odsno razlika griničkih satnih kutova ΔS, pa se za pojedine parove nekretnica mogu, za izvjesni datum i određene prave visine (na pr. na cijele i polovine stepena) već unaprijed tabelirati rezultati računanih geografskih širina i mjesnih satnih kutova. Pošto se dvije kružnice pozicija sijeku u dva sjecišta, u tablicama bi trebalo donijeti oba rezultata računane geografske širine i mjesnog satnog kuta. Razlika između tih rezultata je toliko velika, da nema sumnje da li se nalazimo na jednoj ili drugoj tabeliranoj poziciji. Za razliku minuta između pravih i tabeliranih visina, kao i za promjenu deklinacija i promjenu surektascenzija u kasnijim mjesecima i godinama, u odnosu na tabelirane vrijednosti tih argumenata, u Tablicama su doneseni indeksi popravaka geografske širine $ik\varphi$ i mjesnog satnog kuta iks, a koji predstavljaju promjenu tabeliranih rezultata φ i s_2 za 1' promjene spomenutih argumenata V_1, V_2, δ_1, δ_2 i $\Delta(360^0 - \alpha)$. Sa tim indeksima popravaka i razlikom minuta između zadatih i tabeliranih vrijednosti argumenata V_1, V_2, δ_1, δ_2 i $\Delta(360^0 - \alpha)$ dobijaju se, pomoću posebne interpolacione tablice (tablice množenja), popravci za φ i s_2. Čitav postupak najbolje ćemo vidjeti iz slijedećih primjera.

Ovakovo tabeliranje rezultata φ i s_2 u Tablicama K_{11} iziskuje dosta prostora i voluminoznost predstavlja opterećenje tih tablica. Da bi se omogućilo dijeljenje Tablica K_{11} na volumene za određene pojaseve geografskih širina (slično Tablicama H. O. 214), tako da brod, koji stalno plovi u jednom izvjesnom pojasu geografskih širina, ne mora imati čitav komplet Tablica K_{11}, tada se, za pojedine pojaseve sjevernih i južnih geografskih širina, tabeliraju samo izabrani parovi nekretnica, koji su, obzirom na mjesni satni kut Proljetne točke, najpovoljniji za osmatranje i računanje, pa se rezultati φ i s_2 tabeliraju samo za one visine, koje u tom slučaju dolaze u obzir. Osim toga, nije potrebno tabelirati dvostruki rezultat za φ i s_2, već samo jedan, koji odgovara tom pojasu geografske širine. Radi lakšeg izbora nekretnica za osmatranje, kao i radi lakšeg pronalaženja tabeliranih podataka o izabranim nekretnicama, doda se na početku Tablica K_{11} jedna manja tablica (tabelirana svega na dva lista), u kojoj su za pojedine pojaseve od 5^0 geografske širine i za svakih 15^0 mjesnog satnog kuta Proljetne točke donesena imena izabranih parova nekretnica, kao i broj stranice gdje su tabelirani ti podaci.

Primjer 2.

Direktno računanje koordinata prave pozicije Tablicama K_{II} iz osmatranja dviju nekretnica

6. II. 1939. god. na zbrojenoj poziciji $\varphi z = 42^0\,13{,}2'$ N, $\lambda z = 18^0\,19{,}0'$ E, u tč = $17^h45^m22{,}0^s$ osmatrana je nekretnica Rigel, a u tč = $17^h48^m10{,}5^s$ Markab; th—tč = — $2^h22^m40^s$; St = + $1^h22^m41{,}3^s$. Osmatrane visine ispravljene u prave iznose: za Rigel Vp = $31^0 32{,}8'$; za Markab Vp = $31^0 28{,}3'$. Brod je vozio brzinom od 7 čv i između ovih dvaju osmatranja prevalio je 0,3 Nm u kursu pravom Kp = 310^0. Azimut istočnije nekretnice, t.j. Rigela, snimljen preko kompasa i pretvoren u pravi iznosi $\omega p = 142^0$. Izračunaj pravu poziciju za trenutak drugog osmatranja i to direktnim načinom.

Za 6. II. iz Naut. godišnjaka izvađeni su slijedeći podaci: za Markab $\delta = + 14^0\,52{,}7'$, $360^0 - \alpha = 14^0\,34{,}2'$; za Rigel $\delta = - 8^0\,16{,}5'$, $360^0 - \alpha = 282^0\,05{,}5'$

Rješenje

Kp = 310^0, Dl = 0,3 Nm

$\Delta\varphi = - 0{,}2'$ R = $- 0{,}2'$

$\Delta\lambda = \Delta s = - 0{,}3'$

tč$_2$ = $17^h48^m10{,}5^s$
tč$_1$ = 17 45 22,0
Δtč = $2^m48{,}5^s$ . . . $\Delta S\Upsilon = + 42{,}3'$
$\Delta s = + 42{,}0'$

Rigel: $\omega p = 142^0$

V_1p =	$31^0\ 32{,}8'$
$k\Delta\varphi$ =	— 0,2
$k\Delta s$ =	+ 19,1
V_1k =	$31^0\ 51{,}7'$

Markab:

tč =	$17^h48^m10{,}5^s$
th—tč =	— 2 22 40,0
th =	15 25 30,5
St =	+ 1 22 41,3
Ts =	$16^h48^m11{,}8^s$
$S\Upsilon$ =	$27^0\ 58{,}2'$
$360^0-\alpha$ =	14 34,2
S_2* =	$42^0\ 32{,}4'$

Dakle, o nekretnicama Rigel i Markab imamo slijedeće podatke:

Rigel: $V_1k = 31^0\,51{,}7'$, $\delta_1 = - 8^0\,16{,}5'$, $360^0 - \alpha_1 = 282^0\,05{,}5'$

Markab: $V_2 = 31^0\,28{,}3'$, $\delta_2 = + 14^0\,52{,}7'$, $360^0 - \alpha_2 = 14^0\,34{,}2'$, $S_2 = 42^0\,32{,}4'$

Δ = 267 31,3
360
$\Delta\,(360^0 - \alpha) = 92^0\,28{,}7'$

Razlika između zadanih i tabeliranih koordinata δ_1, δ_2 i $\Delta(360^0 - \alpha)$ postoji samo za δ_1, i to —0,1'. Prema tome, sa poznatim visinama V_1k i V_2 naći ćemo geografsku širinu i mjesni satni kut i dodati popravak za razliku deklinacije Rigela od —0,1'.

Iz Tablica K_{II} (vidi izvatke) dobijamo:

za $V_1\ 32^0$ i $V_2\ 31^0\,30'$	$\varphi = 41^0\,57{,}5'$N	$s_2 = 60^0\,47{,}1'$
za razlike:		
V_1 —8,3' x	—113 = + 9,3	+ 24 = — 2,0
V_2 —1,7' x	— 71 = + 1,2	—122 = + 2,1
δ_1 —0,1' x	+101 = — 0,1	— 19 = 0
	φp = **42^0 07,9'N**	$s_2 = 60^0\,47{,}2'$W
		S_2 = 42 32,4
		λp = **18^0 14,8'E**

Rješenjem ovog primjera metodom Marcq de St. Hilaire dobivena je pozicija $\varphi p = 42^0 07{,}8'$N, $\lambda p = 18^0 14{,}6'$E. Iz rezultata vidimo, da su pozicije sasvim blizu jedna drugoj. Mala razlika, koja između njih postoji, nastala je, s jedne strane metodom Marcq de St. Hilaire, zbog grafičke konstrukcije prave pozicije, a s druge strane Tablicama K_{II}, zbog zaokruživanja vrijednosti ispravaka. Svakako, te male razlike nijesu od važnosti za praksu astronomske navigacije.

Izvadak iz Tablice K_{11}

V_2 MARKAB [$\delta_2 = +14^0 52{,}7'$; $\Delta(360^0 - \alpha) = 92^0 28{,}7'$]

V_1 RIGEL ($\delta_1 = -8^0 16{,}4'$)	31°												31° 30′											
	φ_N	ikφ					S_2	iks					φ_N	ikφ					S_2	iks				
		V_1	V_2	δ_1	δ_2	$\Delta\alpha$		V_1	V_2	δ_1	δ_2	$\Delta\alpha$		V_1	V_2	δ_1	δ_2	$\Delta\alpha$		V_1	V_2	δ_1	δ_2	$\Delta\alpha$
° ′	° ′						° ′						° ′						° ′					
0																								
31 30	42 51,1	113	69				61 17,0	23	123				42 31,3	113	70				60 40,0	24	122			
32	42 18.4	−113	−70				61 23,9	+23	−122				41 57.5	−113	−71	+101	+46	−52	60 47,1	+24	−122	−19	+78	+8

Napomena:

1. Ovaj izvadak iz Tablica K_{11} izračunat je za pune i polustepene visina V_1 i V_2, i to za 1. I. 1939. godine, t. j. za označene vrijednosti deklinacija δ_1, δ_2 i razliku surektascenzija Δ $(360^0—\alpha)$ pomenutih nekretnica. Za razliku minuta između pravih i tabeliranih visina, kao i za promjenu deklinacija i razlike surektascenzija u kasnijm mjesecima i godinama, vrši se popravak tabeliranih rezultata φ i S_2 pomoću indeksa popravaka ikφ i iks.

2. Popravci se dobiju iz interpolacione tablice (tablice množenja) u koju se ulazi lijevo sa indeksima popravaka, a gore sa razlikom minuta između zadatih i tabeliranih argumenata V_1, V_2, δ_1, δ_2 i $\Delta(360^0—\alpha)$. Kad je ova razlika (zadatih minus tabeliranih spomenutih argumenata) pozitivna, predznaci pop[illegible]vaka jednaci su predznacima njihovih indeksa, koji su označeni u glavnoj tablici; kad je ta razlika negativna, pr[illegible]naci popravaka su obratni.

Interpolaciona tablica

ikφ ili iks	V_1' ili V_2' ili δ_1' ili δ_2' ili $\Delta(360^0-\alpha)'$														
	1′	2′	3′	4′	.....	8′	....	30′	0,1′	0,2′	0,3′	.....	0,7′	0,8′	0,9′
1	0,0′	0,0′	0,0′	0,0′		0,1′		0,3′	0,0′	0,0′	0,0′		0,0′	0,0′	0,0′
2															
8											0,0				
19	0,2								0,0		0,1				
24						1,9					0,1				
46				1,8										0,4	
52											0,2				
71	0,7												0,5		
78				3,1										0,6	
101	1,0								0,1		0,3				
113						9,0					0,3				
122	1,2												0,9		
⋮															

P r i m j e r 3.

Direktno računanje koordinata prave pozicije Tablicama K_{11} iz osmatranja dviju nekretnica

U ovom primjeru uzeti su isti podaci kao u primjeru 2., osim što je datum osmatranja 15 godina kasniji, t.j. 6. II. 1954. U vezi toga promijenile su se koordinate nekretnica, pa one sada iznose:

Rigel: $\delta_1 = -\ 8^0\ 15{,}2'$ (razlika $+1{,}3'$), $360^0 - \alpha_1 = 281^0\ 54{,}6'$

Markab: $\delta_2 = +14^0\ 57{,}5'$ (razlika $+4{,}8'$), $360^0 - \alpha_2 = 14\ \ 23{,}0$, $S_2 = 42^0\ 43{,}0'$

$\Delta = 267\ \ 31{,}6$

360

$\Delta\,(360^0 - \alpha) = 92^0\ 28{,}4'$ (razlika $-0{,}3'$)

Visine su ostale iste: $V_1k = 31^0\ 51{,}7'$ i $V_2 = 31^0\ 28{,}3'$.

Iz Tablica K_{11} (vidi izvatke) dobijamo:

za $V_1\ 32^0$ i $V_2\ 31^0\ 30'$	$\varphi = 41^0\ 57{,}5'N$	$s_2 = 60^0\ 47{,}1'$
za razlike:		
$V_1\ -8{,}3'$ x	$-113 = +\ \ 9{,}3$	$+\ 24 = -\ \ 2{,}0$
$V_2\ -1{,}7'$ x	$-\ 71 = +\ \ 1{,}2$	$-122 = +\ \ 2{,}1$
$\delta_1\ +1{,}3'$ x	$+101 = +\ \ 1{,}3$	$-\ 19 = -\ \ 0{,}3$
$\delta_2\ +4{,}8'$ x	$+\ 46 = +\ \ 2{,}2$	$+\ 78 = +\ \ 3{,}7$
$\Delta(360^0 - \alpha) -0{,}3'$ x	$-\ 52 = +\ \ 0{,}2$	$+\ \ 8 = \ \ 0$
	$\varphi p = \mathbf{42^0\ 11{,}7'N}$	$s_2 = 60^0\ 50{,}6'W$
		$S_2 = 42\ \ 43{,}0$
		$\lambda p = \mathbf{18^0\ 07{,}6'E}$

Rješenjem prave pozicije metodom Marcq de St. Hilaire za ovaj isti primjer dobiven je rezultat $\varphi p = 42^0\ 11{,}6'N$, $\lambda p = 18^0\ 07{,}6'E$.

Način računanja geografske širine i mjesnog satnog kuta (geografske dužine) pomoću Tablica K_{11} postaje donekle sličan načinu računanja visine i azimuta pomoću Tablica H. O. 214 za zbrojenu poziciju. Upoređenje ovih tablica uzeto je iz razloga, što one predstavljaju maksimum sadašnjeg dostignuća, u nastojanju da se tablični postupak astronomskog računanja prave pozicije broda po direktnoj metodi i metodi Marcq de St. Hilaire, što više skrati i pojednostavi. Kod toga treba uzeti u obzir, da su u Tablicama K_{11}, tabelirana samo izabrana nebeska tijela, dok u Tablicama H. O. 214 otpada izbor nekretnica za osmatranje, jer su tabeliranjem obuhvaćena sva nebeska tijela. Dalje, u radu s Tablicama K_{11} primjenjuje se više ispravaka nego s Tablicama H. O. 214, ali otpada grafički (ili računski) postupak određivanja koordinata prave pozicije iz izračunatih pravaca položaja. Još bi se moglo napomenuti, da u slučaju osmatranja dviju nekretnica, za računanje prave pozicije Tablicama K_{11} dovoljno je izračunati satni kut u Griniču samo jedne nekretnice.

Na pojednostavnjenju i ubrzanju računanja visine i azimuta u metodi Marcq de St. Hilaire radi se već 80 godina i još dalje se nastavlja, pa sam i ja u tom smislu pokušao izraditi Tablice K_1. Međutim, da li će se uspjeti da se sprovede u djelo, još i daljnje pojednostavnjenje direktne metode astronomskog određivanja pozicije broda, to će nam kazati budućnost.