

Nautička obrada efemeridskog dijela kalendara svetog Krševana - prilog povijesnom razvoju astronomske navigacije

Uvod

Astronomska navigacija nedjeljiv je dio svjetskog povijesnog i civilizacijskog razvoja. Putovanja preko oceana razgraničila su epohe srednjeg i novog vijeka, a ona su bila moguća tek nakon što su se ljudi naučili orijentirati prema nebeskim tijelima i nakon što su vjekovne prirodne pojave kretanja nebeske sfere uspjeli unaprijed predvidjeti. Putovanjima Diasa, da Game, Cabrala, Kolumba, Vespuccija prethodio je uspjeh njemačkog astronoma Johannesesa Müllera Regiomontanusa koji je uspio izračunati efemeride¹ nebeskih tijela za period od 1475. do 1530. godine. Te su efemeride omogućile orijentaciju na otvorenom moru, a time je bila otvorena era velikih geografskih otkrića.

Regiomontanusove tablice nastale su neposredno prije velikih geografskih otkrića, godine 1475. Tim značajnije može biti otkriće kalendara Svetog Krševana 1964. godine u Bodleian Library u Oxfordu² kojeg A. Van Dijk datira u godinu 1292. ili 1293., dakle skoro dvjesta godina ranije, određivši mu porijeklo u djelu *Handlist of the Latin Liturgical Manuscripts in the Bodleian Library: Benedictine Sanctus Chrysogonus, Zara, Dalmatia 1292. - 1293.*³ Kalendar, osim datuma, oznaka dana u tjednu i svakodnevnih imena svetaca, sadrži i izvanredno značajne astronomske i efemeridske podatke: mjesečeve cikluse, svakodnevnu deklinaciju Sunca, meridijanske visine Sunca, svakodnevno vrijeme trajanja dana i noći te položaj Sunca u zodijaku. S obzirom da su to podaci koji su se uspješno mogli upotrebljavati u određivanju geografske širine tijekom plovidbi po otvorenom moru, uputno je bilo istražiti njihovu nautičku primjenjivost.

Prvi pokušaji točnijeg određivanja astronomskih efemerida zabilježeni su još početkom jedanaestog stoljeća: arapski astronom Al Battani (Albategnius)⁴ izračunao je astronomske tablice kretanja Mjeseca i planeta te korigirao Ptolomejeve tablice, a također iz arapskog astronomskog središta u gradu Toledu u Španjolskoj proizišle su 1080. godine poznate Toledske tablice. Nešto manje od dvjesta godina kasnije, pod pokroviteljstvom kralja Alfonsa

¹ Efemeride su koordinate nebeskih tijela, to jest njihove kutne udaljenosti od određenih nepokretnih ravnina, pravaca ili točaka. U četiri koordinatna sustava koordinate su: visina i azimut (s obzirom na horizont i mjesni meridijan opažača), deklinacija i mjesni satni kut (s obzirom na nebeski ekvator i meridijan opažača), deklinacija i rektascenzija (s obzirom na nebeski ekvator i položaj točke proljetnog ekvinocija) te latituda i longituda (s obzirom na ravninu ekliptike i meridijan točke proljetnog ekvinocija).

² Ivo Hekman: *Povijest pomorske navigacije*, knjiga 2, str. 192. Fakultet za pomorstvo isaoobraćaj, Rijeka 1990.

³ Ibidem

X formirana je grupa od pedesetak arapskih, židovskih i kršćanskih astronoma koji su na kastiljanski jezik preveli najvažnija arapska astronomska djela. Ti su znanstvenici izračunali temeljne astronomske tablice koje su nazvane Alfonsove tablice (*Tabulae Alfonsiane*)⁵. Ove su tablice bile predložak Regiomontanusovim tablicama koje su nastale dvije stotine godina iza Alfonsovih, a koje su koristili istraživači na velikim geografskim otkrićima na prekretnici srednjeg u novi vijek.

Zadarske astronomske tablice (u sklopu kalendara Svetog Krševana) po dostupnim bi povijesnim izvorima slijedile *Alfonsove astronomske tablice*. Prema Van Dijk nastale su samo četrdesetak godina kasnije, a prethode Regiomontanusovima za cijelih 180 godina.

Uviđajući povijesnu važnost tih tablica zadarska *Udruga kapetana duge plovidbe i poručnika trgovačke mornarice* poduzela je korake kojima bi se preslik tablica otkupio od oksfordske biblioteke i kojima bi se istražila nautička primjenjivost astronomskih podataka. Kvalitetan transkript kalendara, po narudžbi Udruge, izradili su dr. Josip Balabanić i dr. Josip Kolanović iz Hrvatskog državnog arhiva. Efemeridske usporedbe omogućit će točniji izračun godine nastanka kalendara i geografsku širinu mjesta za koje su tablice rađene, što može potvrditi ili demantirati pretpostavku da je kalendar nastao u Zadru.

Kalendar Svetog Krševana i zadarske astronomske tablice

Zbog nekih okolnosti (o kojima će kasnije biti riječi), preciznije bi bilo govoriti o dva a ne o jednom dokumentu. Iako su kalendarski i astronomski podaci prikazani kao jedinstveni u nekim slučajevima jedni drugima protuslove u tolikoj mjeri da je jasno kako su nesinhronizirano rađeni, štoviše može se s pravom smatrati da su nastali vjerojatno u različito vrijeme i na različitim mjestima.

U srednjem vijeku svako je važnije vjersko središte imalo tipične blagdane tijekom godine, a koji su najčešće bili određivani datumima posvećivanja svetišta ili prijenosom relikvija određenih svetaca ili blaženika. Definiranjem tih blagdana mogu se uspoređivati povijesni događaji i određivati datumi kad se pojedini povijesni događaj desio. Blagdani su bili označeni u kalendarima. Nerijetko su kalendari bili samo djelovi brevijara (časoslova), odnosno zbirki dnevnih molitvi redovnika⁶, od kojih su neki bili bogato ilustrirani

⁴ Omar Hajjam (1040. - 1123.) sirijski pjesnik, matematičar i astronom.

⁵ Ivo Hekman: *Povijest pomorske navigacije*, knjiga 2, str. 192. Fakultet za pomorstvo isaoobraćaj, Rijeka 1990., str 190.

⁶ Brevijari su bili sastavljeni od djelova dnevnih molitvi: *horae nocturni* (molitve u noćnim satima), *laudes matutinae* (jutarnje hvale), *prima* (oko 6 sati ujutro), *tertia* (oko 9 sati), *sexta* (oko podneva), *nona* (oko 3 popodne), *vesperae* (predvečernja) i *completorium* (završne večernje) molitve. Molitve u brevijarima bile su

minijaturama, pa predstavljaju visoku paleografsku i umjetničku vrijednost. Ponekad su ti kalendari, kao što je to slučaj s kalendarom svetog Krševana, sadržavali i neprocjenjivo korisne astronomske podatke koji, u povijesnim istraživanjima, mogu ponekad vrlo precizno datirati neki događaj. Često se iz kalendara mogu sagledati kulturne, umjetničke ili znanstvene veze među pojedinim središtima. Iz tog razloga kalendari su jednako važni za tumačenje ikonografije srednjovjekovnih umjetnina kao i higrografski izvori. Zadarske srednjovjekovne brevijare i kalendare istraživao je Marijan Grgić⁷. Od srednjovjekovnih kalendara koji sadrže podatke o zadarskim blagdanima i svecima zaštitnicima grada Zadra, samo jedan se nalazi u Zadru: rukopisni misal *Kalendar Svetog Dominika* iz 1320. godine. Dva se kalendara nalaze u Oxfordu (*Kalendar Čikina časoslova* iz XI stoljeća i *Kalendar Svetog Krševana* kojeg bi se, zbog astronomskih podataka, moglo smjestiti u točno određeno vremensko razdoblje prije reforme kalendara⁸; oba kalendara nalaze se u *Bodleian Library* u Oxfordu), jedan u biblioteci *Scacseny* u Budimpešti (*Kalendar Svete Marije* iz 1290.), a jedan u *Staatbibliothek* u Berlinu (*Zadarski Evandelistar crkve Svete Marije Veće* iz XI stoljeća).⁹

Kalendar Svetog Krševana¹⁰ po nekim je autorima¹¹ nastao godine 1292. ili 1293., ali se (po upotrijebljenoj metodi određivanja godine nastanka) taj podatak ne može smatrati sigurnim. Iz naknadno unesenih bilježaka može se zaključiti da je nastao u benediktinskom samostanu Svetog Krševana¹² te da je, preko Avignona i samostana Mont Saint Michael¹³ prenesen u Oxford. Taj povijesni podatak ukazuje na postojanje kulturno - znanstvene međunarodne razmjene između hrvatskih i engleskih učilišta čiji su nosioci uglavnom bili

strogo propisane, a ponekad su ujednačavane ili reformirane.

⁷ M. Grgić: *Kalendar zadarske stolne crkve iz 15. stoljeća*, Radovi Instituta Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zadru, svezak XX, Zadar, 1973.; M. Grgić: *Dva nepoznata svetomarijska rukopisa u Budimpešti*, Radovi Instituta JAZU u Zadru, svezak XIII i XIV, Zadar, 1968.

⁸ Za sada se mogu pobliže označiti moguće godine 1254, 1273., 1292., 1311. ili 1330. kao godine takozvanog Metonovog ciklusa u toku kojeg se ponavljaju međusobni položaji Sunca i Mjeseca, a što je u kalendaru naznačeno. Godine prije 1254. i nakon 1330. isključene su jer su rektascenzija i deklinacija Sunca postigle nulte vrijednosti osam dana prije kalendarskog proljetnog ekvinočija (12. ožujka), što dokazuje da je do reforme kalendara (1582.) preostalo manje od 330 i više od 250 godina, čime otpadaju prethodna godina Metonovog ciklusa (1235.) i naredna godina Metonovog ciklusa (1349.).

⁹ M. Grgić: *Kalendar zadarske stolne crkve iz 15. stoljeća*, Radovi JAZU, svezak XX, Zadar, 1973.

¹⁰ Ponekad se u literaturi taj kalendar naziva i *Zadarske astronomske tablice* (Usp. I. Hekman: *Povijest pomorske navigacije*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka 1990; I. Hekman: *Kratak povijesni pregled razvitka tablica deklinacije Sunca, s naročitim osvrtom na nedavno pronađene zadarske astronomske tablice iz XIII stoljeća*, Zbornik Više pomorske škole u Kotoru, svezak 1, Kotor 1974.; Ž. Dadić: *Egzaktna znanosti hrvatskog srednjovjekovlja*, Globus, Zagreb, 1991.).

¹¹ I. Hekman: *Kratak povijesni pregled razvitka tablica deklinacije Sunca, s naročitim osvrtom na nedavno pronađene zadarske astronomske tablice iz XIII stoljeća*, Zbornik Više pomorske škole u Kotoru, svezak 1, Kotor 1974

¹² Još od vremena kneza Trpimira u Hrvatskoj se osnivaju brojni benediktinski samostani koji su odigrali veliku ulogu u kulturnom razvoju Hrvatske. Samostan Svetog Krševana u Zadru osnovan je 986. godine. U njemu su nastali mnogi važni povijesni dokumenti, a djelovao je i kao skripterij.

franjevci¹⁴. U Oxfordu su studirali i hrvatski franjevci, a neki su možda bili i profesori, što se ne može dokazati ali se ipak, s velikom vjerojatnošću, može pretpostaviti s obzirom da je u oxfordskoj knjižnici *Bodleiani* sačuvano mnogo rukopisa zadarskih autora (Kalendar Svetog Krševana samo je jedan od njih). Znanstvena povezanost Zadra i Oxforda može se dokazati još jednom povijesnim činjenicom: jedan od zadarskih profesora, franjevac Nikola, u drugoj je polovici XIV stoljeća nosio naslov oksfordskog sveučilišta¹⁵, a također je u knjižnici franjevačkog samostana u Zadru otkriven rukopis *Secretum psilophorum* (*Tajna filozofije*) nepoznatog engleskog autora iz druge polovice 14. stoljeća¹⁶. U naknadnim bilješkama iz samog kalendara¹⁷ rukopis je iz Zadra u Avignon prenio monah Mihovil početkom 14. stoljeća.

Tekst kalendara sastoji se iz dva dijela: kalendarskog (s blagdanima i imenima svetaca) i astronomskog koji prikazuje efemeride Sunca. Sasvim je sigurno da mjesni astronomski podaci (meridijanske visine i trajanje dana) ne odgovaraju geografskoj širini Zadra, pa je vjerojatno da su oni zapravo prepisani, najvjerojatnije iz Alfonsovih tablica. Kalendarski podaci tipično su zadarski, s obzirom da su u njima navedeni tipični zadarski sveci. Važna je i činjenica da su astronomski podaci pisani arapskim brojkama, a to je značajno jer je kalendar Svetog Krševana jedan od prvih dokumenata u srednjovjekovnoj Hrvatskoj u kojem su upotrebljene te brojke. Doduše, arapske brojke koristile su se u Dubrovniku¹⁸, na dokumentu iz 1282. godine, ali su upotrebljavane kao oznaka datuma, a ne za egzaktne matematičke i astronomske podatke.

Opis i ulomak kalendara prema transkriptu

Stranica Kalendara svetog Krševana podijeljena je na tri dijela. U prvom se dijelu nalaze podaci pomoću kojih se (iz drugih tablica, također u sklopu kalendara) mogu izračunati dan i sat nastupa svake od četiri mjesečeve faze (*Quatuor cycli primationis lune*), datumi u mjesecu, zlatni broj (*aureus numerus*) i oznaka za izračunavanje dana u tjednu ili ferijalna

¹³ Ž. Dadić: *Egzaktne znanosti hrvatskog srednjovjekovlja*, Globus, Zagreb, 1991. str. 72 - 74.

¹⁴ Franjevci su već u 13. stoljeću osnovali svoju školu u Oxfordu, a to je učilište bilo vrlo utjecajno u Evropi. U školi su djelovali poznati znanstvenici tog doba, na primjer Robert Grosseteste ili Roger Bacon. Oxfordska škola bila je karakteristična po tome što su u njoj bili više zastupljene pozitivne, a manje metafizičke znanosti. Škola je njegovala Platonovsko - Augustinovsko razmišljenje uz otvoren kritički pristup Aristotelizmu (usp. Ž. Dadić: *Egzaktne znanosti hrvatskog srednjovjekovlja*, Globus, Zagreb, 1991. str. 83).

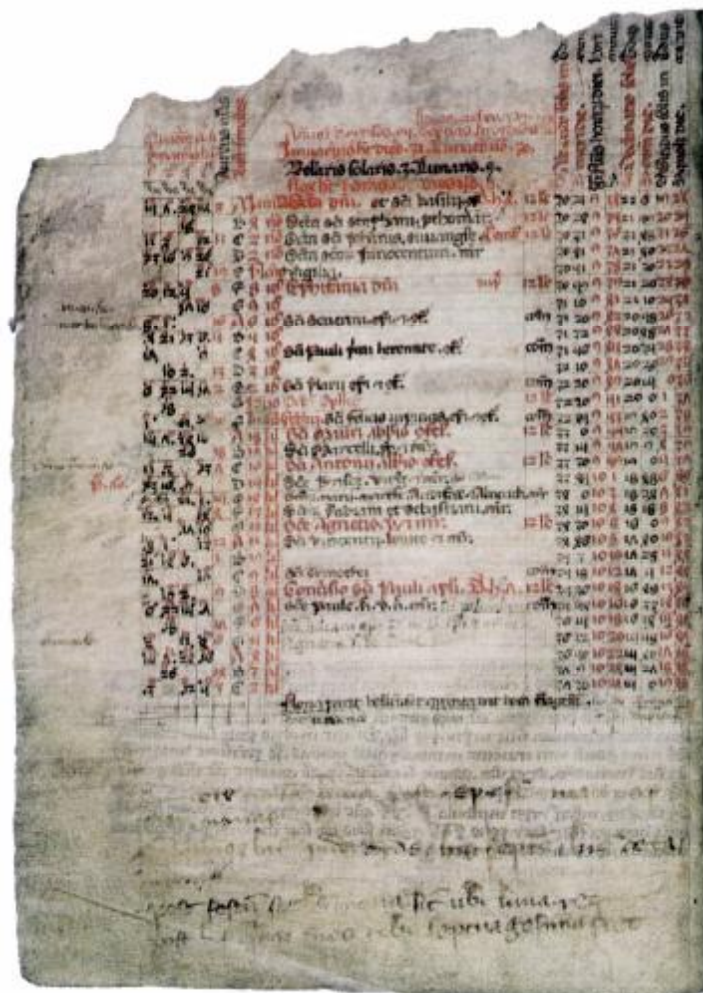
¹⁵ V. Velnić: *Jedan važan dokument iz prošlosti školske nastave u Zadru*, Zbornik radova četvrtog simpozija iz povijesti znanosti, Zagreb 1983. str. 46.

¹⁶ Ibidem, str. 43 - 46.

¹⁷ Ž. Dadić: *Egzaktne znanosti hrvatskog srednjovjekovlja*, Globus, Zagreb, 1991. str. 72 - 74.

¹⁸ V. Novak: *Latinska paleografije*, Beograd 1952. str. 293; navedeno prema Ž. Dadić: *Egzaktne znanosti*

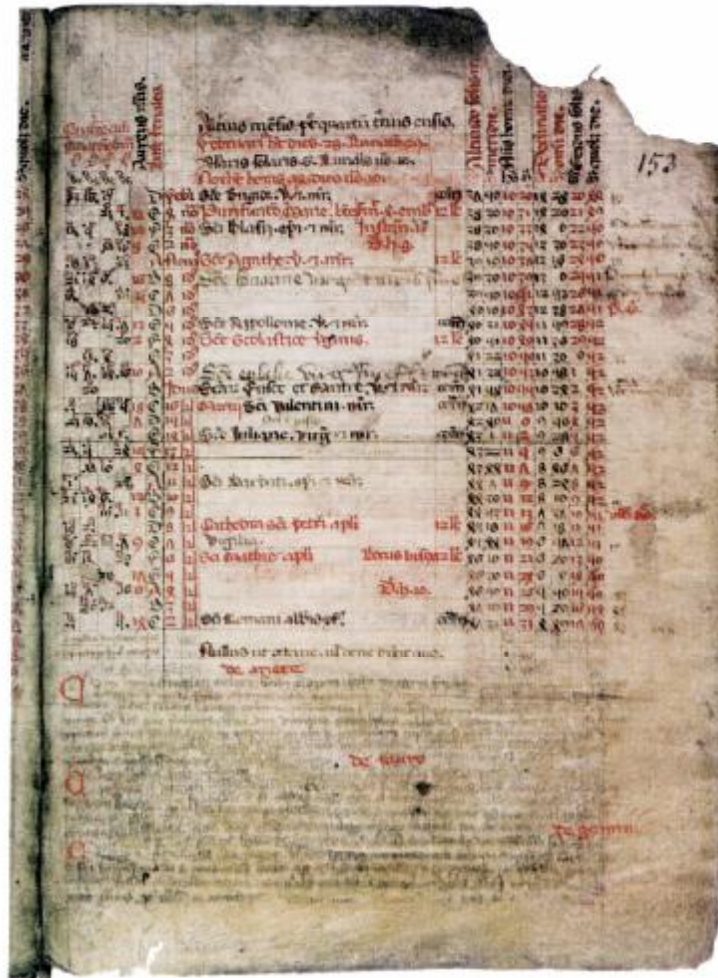
slova (*littere ferialis*). U drugom (srednjem) dijelu su u zaglavlju ispisani astrološki stihovi važni za sastavljanje horoskopa¹⁹ a u stupcu podaci o blagdanima i svecima s kraticama (*abb.-abbatis; ap.-apostoli; cf.-confessoris; ep.-episcopi; m.-martyris, martyrurum; pb.-presbyteri; pp.-pape; v.-virginis*) i naznakama u kojem se znaku zodijaka nalazi. Treći dio sadrži astronomske efemeride Sunca: meridijanske visine (*altitudo Solis in meridie*), trajanje dnevnog svjetla (*numerus horarum diei*), dnevna deklinacija (*declinatio Solis omni die*) i položaj Sunca u zviježđu (*gradus Solis in quolibet die*). Slika 1 i slika 2 prikazuju ulomak kalendara za mjesec ianuarius i februaryus.



Slika 1. Ulomak kalendara za mjesec siječanj (ianuarius).

hrvatskog srednjovjekovlja, str. 73.

¹⁹ Astrologija je u to vrijeme bila vrlo raširena (usporedi: Ž. Dadić, *Egzaktne.....*, str. 72 - 74.)



Slika 2. Ulomak kalendara za mjesec veljaču (februarius).

Ulomak kalendara (po transkriptu) odnosi se na mjesec februarius. Zbog praktičnosti dana su dva prikaza iste stranice: podaci o mjesečevim mjenama, datumu, zlatnom broju, ferialnom broju i blagdanima u jednoj, a astronomski podaci o Suncu u drugoj tablici.

TABELA 1: Podaci o mjesečevim ciklusima i kalendarski podaci s blagdanima za veljaču

<i>Quatour cycli primationis lune</i>				<i>Aureus numerus</i>	<i>Littere ferialis</i>		
<i>1-us cyclus</i>	<i>2-us cyclus</i>	<i>3-us cyclus</i>	<i>4-us cyclus</i>				
g. 23	g. 16	g .9		1.		D	Sancte Brigide v. et m. Commemoratio
		g .21	p 1.	2.	11	E	Purificatio Marie beate 12 lectiones
p.12	p .5		p. 14	3.	19	F	Santi Blasii ep et m. Instantia l.D.h.9
		d .17	d. 10	4.	8	G	
d. 8	d. 1		.m 23	5.		A	Sancte Agathe 12 lectiones
m.21	m .14	m .6		6.	16	B	Sancte Honorine v. et m. Sine fextivitate
a.17			a. 19	7.	5	C	
	.a 10	a .2		8.		D	
i.6	l 22.	i .15	i .7	9.	13	E	Sancte Appolonie v. Commemoratio
r.18			r 20	10.	2	F	Sante Scolastice v. 12 lectiones
	r 11.	r .4		11.		G	
f.15	r 7.	f .24	f .16	12.	10	A	Sancte Eulalie v. et m. Sine fextivitate
	o .20			13.		B	Sanct. Fusce et Maure Commemoratio
o.3		o .12	o. 5	14.	18	C	Sancti Valentini m. Commemoratio
c .23	c 16.	c .9		15.	7	D	Sol in pisce
		a .11	c 1.	16.		E	Sancte Iuliane v. et m. Commemoratio
a .21	a 5		a 24	17.	15	F	
	t .17	t .10		18.	4	G	
t .1			h 23	19.		A	Sancti Barbati ep. et m.
h .23	.h 14	b 6.		20.	12	B	
		q. 19	q .11	21.	1	C	
q. 10	q 2.			22.		D	Cathedra Sancti Petri ap. 12 lectiones
e. 6	e .22	e .15	e .7	23.	9	E	Vigilia
n. 19	n 11.		n 20.	24.		F	Sancti Mathie ap. 12 lectiones
		b .2		25.	17	G	Locus bissexti
b. 15	b. 7		b .16	26.	6	A	D. h. 10.
	h. 20	h .12		27.		B	
h. 3			h 5.	28.	14	C	Sancti Romani abb. cf. Commemoratio

TABELA 2: Astronomski podaci o Suncu za veljaču

	<i>Altitudo Solis in meridie</i>		<i>Numerus horarum diei</i>		<i>Declinatio solis omni die</i>		<i>Gradus Solis in quolibet die</i>	
	<i>Gradus</i>	<i>Minuta</i>	<i>Hora</i>	<i>minuta</i>	<i>Gradus</i>	<i>Minuta</i>	<i>Gradus</i>	<i>Minuta</i>
1.	37	50	10	20	14	28	20	40
2.	38	30	10	31	14	20	21	49
3.	38	30	10	33	14	00	22	50
4.	38	50	10	35	13	30	23	50
5.	39	10	10	37	13	16	24	50
6.	39	30	10	39	13	00	25	51
7.	39	50	10	51	12	52	26	51
8.	40	10	10	43	12	38	27	51
9.	40	31	10	45	11	59	28	52
10.	40	51	10	40	11	36	29	52
11.	41	22	10	50	11	30	00	52
12.	41	32	10	53	10	58	01	52
13.	41	54	10	55	10	24	02	52
14.	42	17	10	57	10	10	03	52
15.	42	40	11	00	00	50	04	52
16.	43	01	11	02	09	28	05	52
17.	43	22	11	05	09	06	06	52
18.	43	44	11	07	08	46	07	52
19.	44	07	11	09	08	24	08	52
20.	44	30	11	12	08	10	09	52
21.	44	53	11	13	07	37	10	51
22.	45	18	11	16	07	18	11	51
23.	45	44	11	19	06	51	12	51
24.	46	10	11	21	06	20	13	50
25.	46	30	11	24	06	00	14	50
26.	46	50	11	26	05	50	15	50
27.	47	10	11	29	05	20	16	50
28.	47	31	11	31	04	49	17	50

Napomena: U tabeli su podebljano označene i uokvirene očigledne pogreške u transkripciji ili originalnom prijepisu. Za datum 02. veljače meridijanska visina umjesto 38° 30' bila je 38° 10'. Za datum 15. veljače deklinacija Sunca nije bila 0° 50' već 09° 50' (svi podaci za deklinaciju su negativni, Sunce se nalazilo južno od ekvatora).

Uz kalendarske i astronomske podatke kalendar sadrži i niz drugih detalja. Osim naknadno

unesenih povijesnih bilješki sadrži i iscrpnije astrološke podatke te značajne tabele: položaj Mjeseca u konstelacijama zodijaka, dani kalenda, ida i nona i njihova veza s danima u tjednu (potrebno za identifikaciju dana i promjenjivih blagdana) i, što je ipak posebno zanimljivo, niz dvadesetomogodišnjih ciklusa od 1044. do 1548. godine. Podaci u ovoj tabeli zapravo su stoljetni kalendarski podaci, s obzirom da su dvadesetomogodišnji ciklusi periodi u kojima se poklapaju datumi u mjesecima i dani u tjednu. Nadalje, prikazan je i niz astroloških dijagrama koje je potrebno detaljnije istražiti, a prikazan je i dijagram koji vjerojatno objašnjava Metonov ciklus devetnaestogodišnjih perioda ponavljanja mjesečevih faza.

Lokalni blagdani u kalendaru Svetog Krševana

U svim zadarskim srednjovjekovnim kalendarima, u većoj ili manjoj mjeri, podudarni su pojedini blagdani, a njihova zastupljenost u kalendaru može definirati koji su se blagdani smatrali zadarskim blagdanima. U tabeli 3 prikazana je podudarnost zadarskih srednjovjekovnih blagdana i blagdana navedenih u kalendarskom dijelu dokumenta.

TABELA 3: Zadarski sveci u kalendaru Svetog Krševana

Datum	Tipični zadarski srednjovjekovni blagdan	Kalendar Svetog Krševana
31. 01.	Translatio Sancti Marci Evangelistae	Nepoznato
04. 02.	Fectum Santi Simeonis justi	Instantia l. D. h. 9.
13. 02.	Sanctum Fusce et Maure	Sanctarum Fusce et Maure
25. 02.	Fectum Santi Donati	Locus bissexti
01. 04.	Sanctum Agape, Chione et Yrene	Sancte Marie Egipatice
30. 04.	Quirini episcopi et martiris	Nepoznato
19. 05.	Translatio Sancti Chrysogoni martiris	Translatio Sancti Chrysogoni martiris
31. 07.	Commemoratio Sancti Marci Evangelistae ²⁰	Sancti Germani episcopi
16. 08.	Sancti Rochi confessoris ²¹	Nepoznato
01. 09.	Duodecim fratrum	Sancti Egidii
25. 09.	Translatio Sancte Anastasie martitis	Sancti Eunaii
08. 10.	Sancti Simeonis iusti et prophetae	Sancte Reparate
15. 10.	Octava Sancti Simeonis	Nepoznato
26. 10.	Sancti Demetri martiris	Sancti Amandi
06. 11.	Sancti Leonardi confessoris	Sancti Leonardi confessoris
18. 11.	Sancti Platonis martiris	Octava S. Martini et Sancti Platonis
24. 11.	Sancti Chrysogoni martiris	Santi Chrysogoni martiris
27. 11.	Sancti Iacobi Intercisi martiris	Nepoznato
01. 12.	Octava Sancti Chrysogoni martiris	Sancti Eligii
15. 12.	Translatio Sancti Zoili confessoris	Nepoznato (Solstitium)
23. 12.	Sancti Zolili confessoris	Sancti Placidi et Santi Zoili confessoris
25. 12.	Sancte Anastasie virginis et martiris	Nativitas Domini nostri et Sancte Anastasie

S obzirom da je u kalendaru Svetog Krševana naznačeno tek nešto više od jedne trećine tipičnih zadarskih blagdana (tri blagdana počela su se slaviti tek nakon nastanka kalendara),

²⁰ Blagdan se počeo slaviti nakon nastanka kalendara.

²¹ Blagdan se počeo slaviti nakon nastanka kalendara (Sveti Roko umro je 1327. godine).

upitno je može li taj podatak služiti kao dokaz da je kalendar nastao na području srednjovjekovnog Zadra. S druge strane sedam spomenutih zadarskih svetaca vrlo su tipični (Sveta Foska, Sveti Krševan, Sveti Leonard, Sveti Platon, Sveti Zoilo i Sveta Stošija), ali određenu nedoumicu ipak može pobuditi činjenica da nisu spomenuta i dva velika zadarska sveca koja su se u to vrijeme slavila: Sveti Donat i Sveti Šime.

Astronomsko - nautička analiza efemerida

Osim imena svetaca drugi dio kalendara svetog Krševana prikazuje astronomske podatke koji mogu odgovoriti na neke dileme o vremenu i mjestu nastanka kalendara: položaj Sunca na ekliptici tijekom godine²² i njegove visine u vrijeme dnevne kulminacije²³ omogućavaju precizan odgovor na jedno od dva temeljna pitanja: mjesto nastanka kalendara. Odgovor na drugo temeljno pitanje (vrijeme nastanka) može se odrediti tek približno.

Efemeride nebeskih tijela su njihovi položaji u prostoru u odnosu na neka nepomične ravnine, pravce ili točke. S obzirom da postoje tri vrste kretanja o kojima ovisi vrijeme (u smislu računanja kalendara), postoje i više koordinatnih sustava i koordinata.

Položaj nebeskog tijela unutar galaktike određuju galaktičke koordinate. Ove koordinate nemaju utjecaja na protok kalendarskog vremena.

Položaj nebeskog tijela na površini zamišljene kugle koja se zove nebeska sfera ovisan je o položaju Zemlje na putanji oko Sunca (godišnja kretanja), i o položaju određene točke na površini Zemlje u odnosu na rotaciju oko vlastite osi (dnevna kretanja). Osim tih kretanja koja određuju najznačajnije pojave u prirodi (izmjenu godišnjih doba i izmjenu dana ili noći), postoji i nekoliko oblika treće vrste kretanja položaja nebeskog pola (precesija, nutacija, aberacija), koja imaju zajednički rezultat u pomaku presjecišta ravnine ekliptike (putanje Sunca) i ravnine nebeskog ekvatora, tako da godina traje kraće od vremena revolucije Zemlje oko Sunca (precesija ekvinocija). S obzirom da broj rotacija Zemlje oko vlastite osi (broj dana) u vremenu jedne revolucije oko Sunca (godine) ne mogu biti izražene cijelim brojem, te zbog precesije ekvinocija, kalendar je u stvari dogovoren način računanja godine na puni broj dana. U dugim vremenskim razmacima zbog toga mora doći do nesklada nekih pojava u prirodi (na primjer početka proljeća) i datuma u kalendaru. Kad nesklad postane prevelik nužno je ispraviti način računanja kalendara. U povijesti su bile izvršene dvije takve ispravke

²² Ovi podaci mogu ukazati na približno vrijeme nastanka kalendara. S obzirom da je kalendar izrađen prije Gregorijanske reforme, datumi tipičnih točaka ekliptike zimskog solsticija, proljetnog ekvinocija, ljetnog solsticija i jesenskog ekvinocija mogu se iskoristiti za procjenu godine nastanka.

²³ Iz visine nebeskog tijela u trenutku prolaza kroz gornji meridijan (meridijanska ili kulminacijska visina za

(reforme): Julijanska i Gregorijanska.

Julijansku reformu kalendara izvršio je Julije Cezar 46. godine prije nove ere, a na temelju izračuna egipatskog astronoma Sosigena. Rimski kalendar prije reforme naslanjao se na grčki ali je bio poboljšan. Godina se sastojala od deset mjeseci²⁴ kojima su kasnije bila dodana još dva²⁵. Godina je započinjala u Martiusu i završavala u Februariusu. Martius, Maius, Quintilis i October imali su po 31 dan, a zadnji mjesec u godini (Februarius) 28 dana. Nije postojala prestupna godina. Protokom vremena i svojevremennim intervencijama u kalendar potkraj Republike došlo je do velike zbrke u računanju vremena i do potpunog nesklada u kalendaru i prirodi. Zbog toga je Julije Cezar odlučio reformirati kalendar 46. godine prije nove ere. Da bi se uskladilo brojanje dana i prirodne pojave toj je godini bilo pridodano čak 67 dana (kolika je, po računima astronoma Sosigena bila pogreška), tako da je ta godina trajala punih 445 dana. (postojećim mjesecima pridodana su dva nova). Po reformi, godina je imala 12 mjeseci, *Martius, Maius, Quintilis, Sextilis, October, December* i *Ianuarius* imali su po 31 dan, ostali osim zadnjeg (*Februarius*) po 30 dana. Zadnjem mjesecu u godini svake četvrte godine pridodavan je jedan dan. Kasnije su mjeseci *Quintilis* i *Sextilis* nazvani *Iulius* i *Augustus*. Tako reformiran kalendar mogao je zadovoljavati točnost za relativno dug vremenski period jer je stvarna pogreška u računanju vremena mogla iznositi najviše 17,136 minuta godišnje (1.1424 sat svake četvrte prestupne godine), a najmanje 4,032 minute godišnje (16,128 minuta svake prestupne godine), odnosno prosječno 10,583 minute godišnje (42,332 minute svake prestupne godine)²⁶. Datumi su se određivali prema tri orijentacijska dana u svakom mjesecu: kalendama (*kelendae*) koje su padale na početak svakog mjeseca, *ide* (*idae*) sredinom mjeseca (petnaestog u martiusu, maiusu, iuliusu i octoberu a trinaestog u svim ostalim mjesecima i *none* (*nonae*) koje su uvijek padale devet dana prije *ida*²⁷. Dani su se računali unatrag, to jest brojem koliko je dana preostajalo do početka narednog orijentacijskog dana (na primjer, 12. ožujka brojio se kao tri dana do martovskih *ida*).

Julijanska reforma kalendara sadržavala je dvije bitno pogrešne postavke: da godina traje 365 dana i 6 sati (365,25 dana), pa da je svaka četvrta godina prestupna, te da 235 lunarnih

nepomičnog motritelja), precizno se može izračunati geografska (zemljopisna) širina.

²⁴ *Martius, Aprilis, Maius, Iunius, Quintilis, Sextilis, Septembris, October, November, December.*

²⁵ *Ianuarius* i *Februarius*, na kraju godine.

²⁶ Zbog precesije ekvinocija vrijeme trajanja tropske godine je različito i, po dokazima Keplera, iznosi najviše 365,2747 dana (365 dana 5 sati 55 minuta i 58,08 sekundi), a najmanje 365,2381 dana (365 dana 5 sati 42 minute 51,84 sekunde). Srednja tropska godina traje 365,24265 dana (365 dana 5 sati 49 minuta 25 sekundi). Srednja godišnja pogreška odnosi se na vremenski period u kojem zemaljska os izvrši jednu precesijsku petlju. Taj period traje oko 25800 godina (Platonova godina). U vremenu između dvije reforme prosječna godišnja pogreška iznosila je 8,845 minuta.

mjeseci iznosi točno 19 solarnih godina (Metonov ciklus). Zbog tih pogrešaka, a nakon većeg vremenskog perioda moralo je doći do ponovnog nesklada između kalendara i izmjena godišnjih doba. Zbog kraćeg trajanja godine od računatih 365,25 dana, nakon 1000 godina pojavit će se višak od 8845 minuta (6 dana 3 sata 25 minuta). Do sredine XVI stoljeća pogreška je dosegla 10 dana. Godine 1582. papa Gregur XIII uskladio je računanje kalendara s prirodnim procesima na način da je tu godinu skratio za deset dana: bulom *Inter gravissimas* naredio je da nakon 4. listopada bude 15. listopada. Gregorijanska reforma kalendara provedena je po prijedlogu Aloisiusa Liliusa (Luigi Lilio Chiraldi), astronoma i fizičara iz Napulja. Po toj reformi godina traje 365 dana, prestupna je svaka četvrta godina, ali nisu prestupne stoljetne godine, osim onih stoljetnih koji su djeljive sa 400. Ovakvim načinom računanja pogreška u kalendaru od jednog dana pojavit će se tek nakon 3000 godina.

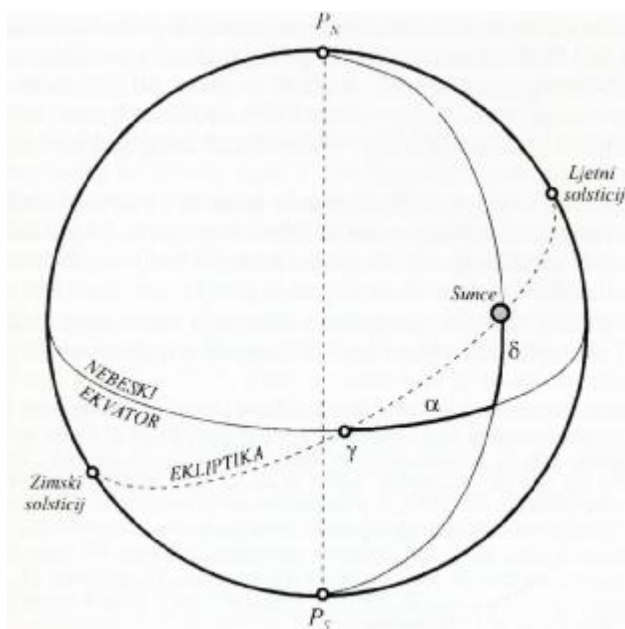
Astronom Aloisius Lilius izračunao je da se po Julijanskom kalendaru javlja pogreška od tri dana svakih 400 godina, to jest (u vrijeme reforme kalendara) godišnja pogreška iznosila je 10,8 minuta. S obzirom da je od Julijanske do Gregorijanske reforme proteklo 1627 godina²⁸, a pogreška u kalendaru iznosila je deset dana, to proizlazi da je u prosjeku kalendar bio pogrešan za 8,85 minuta godišnje. Taj podatak poslužit će za izračun godine nastanka kalendara Svetog Krševana.

U astronomskom dijelu kalendara Svetog Krševana relativno su točno prikazani podaci o deklinaciji Sunca. Deklinacija Sunca (δ) je kutna udaljenost središta Sunca (S) od ravnine nebeskog ekvatora (slika 3). Raste ili pada tijekom godine, zavisno od položaja Zemlje na putanji oko Sunca. Os rotacije Zemlje nagnuta je u odnosu na os ekliptike za oko $23,5^\circ$ tako da (u geocentričnim koordinatnim sustavima) Sunce prividno tijekom godine mijenja svoj položaj u odnosu prema ekvatoru. Presjecište ravnina ekliptike i nebeskog ekvatora tvori u prostoru pravac ekvinocija (ravnodnevice) i dvije točke na nebeskoj sferi koje su nazvane proljetna (γ) i jesenja točka. U proljetnoj toči Sunce se prividno nalazi prvog dana proljeća, a u jesenjoj točki prvog dana jeseni. Ta dva dana deklinacija Sunca iznosi 0° . Pravac koji spaja točke u kojima se Sunce nalazi prvog dana ljeta i prvog dana zime zove se pravac solsticija, a točke u kojima se Sunce tada prividno nalazi zovu se zimski odnosno ljetni solsticij. U to je vrijeme deklinacija Sunca najveća (prvog dana ljeta) odnosno najmanja (prvog dana zime). Prvog dana ljeta deklinacija Sunca iznosi oko $+23,5^\circ$, a prvog dana zime oko $-23,5^\circ$. Vrijednosti sunčeve deklinacije za svaki trenutak vremena tijekom godina u praksi se računa

²⁷ Kalendar svetog Krševana zadržao je takav način označavanja dana u mjesecu.

²⁸ Od 46. prije nove ere do 1582, računajući da nije postojala nulta godina.

iz Nautičkog godišnjaka, a prve tablice Sunčevih deklinacija izrađene na tlu Hrvatske upravo su astronomske tablice kalendara svetog Krševana.



Slika 3: Godišnje nebeske koordinate Sunca.

Točke P_N i P_S na slici su sjeverni i južni nebeski pol. Nebeska sfera rotira oko osovine koja spaja nebeske polove i dnevno izvrši jednu rotaciju. Druga koordinata zove se rektascenzija (α) u progresivnim, ili surektascenzija ($360^\circ - \alpha$) u retrogradnom smjeru. Surektascenziju na slici predočava luk nebeskog ekvatora od proljetne točke do satne kružnice Sunca (kružnica P_N , Sunce, P_S). Na slici je prikazan položaj Sunca jednog dana sredinom proljeća.

Kalendar Svetog Krševana (i astronomske tablice) sastavljen je prije julijanske reforme kalendara. U tablicama sunčevih deklinacija tipični položaji Sunca (proljetni i jesenji ekvinocij te ljetni i zimski solsticij) padaju 13. ožujka (proljetni ekvinocij), 10. lipnja (ljetni solsticij), 15. rujna (jesenji ekvinocij) i 12. ili 13. prosinac²⁹ (zimski solsticij). Reformom kalendara proljetni je ekvinocij nastupio 21. ožujka 1582. Prema tome pogreška u računanju kalendarskog vremena od trenutka julijanske reforme (46. prije nove ere) do trenutka nastanka

²⁹ U označavanju vremena solsticija i ekvinocija u tablicama postoje vrlo kontradiktorni podaci. Naime, iz astronomskog dijela kalendara jasno je vidljivo da je Sunce nultu deklinaciju postiglo 13. ožujka, dok je u kalendarskom dijelu kao ekvinocij naveden čak 16. ožujka (*equinoctium male*); najvišu deklinaciju Sunce je imalo 13. lipnja, 14. lipnja i 15. lipnja (deklinacija je tada iznosila $+23^\circ 33'$), a u kalendarskom je dijelu kao dan ljetnog solsticija naveden 14. lipnja; u kalendarskom dijelu jesenji ekvinocij bio je 15. rujna, a u kalendarskom dijelu upisan je taj datum ali je on naknadno prekršten i unesen 17. rujna (*Sol in libra. Equinoctium*); najnižu deklinaciju Sunce je imalo 11. prosinca, 12. prosinca, 13. prosinca i 14. prosinca (deklinacija je tih dana iznosila -

kalendara Svetog Krševana iznosila je osam dana. Budući da je pogreška od godine julijanske reforme (46. pne) do godine gregorijanske reforme (1582.) iznosila deset dana, lako se može izračunati godina kad je kalendar nastao: pogreška od osam dana je 11520 minuta, a ako se taj broj podijeli s prosječnom godišnjom pogreškom (8,85 minuta godišnje) dobit će se da je od julijanske reforme do godine kad je nastao kalendar proteklo 1302 godine. Po tom računu godina nastanka kalendara bila bi 1257. (od 1302 mora se oduzeti 45 jer nije postojala nulta godina).

Ovakav pristup izračunu godine nastanka kalendara ima velik nedostatak: kao pogreška u računanju kalendara uzeto je točno osam dana, iako u kalendaru nije naznačen trenutak u koliko je sati 13. ožujka nastupio proljetni ekvinocij. Ako je u godini gregorijanske reforme ekvinocij nastupio 21. ožujka 1582. u nula sati (današnjeg) svjetskog vremena, pogreška u računanju vremena ne može biti manja od osam sati, ali može biti veća. Najveća greška ipak ne može prelaziti 8,5 dana, pa će po tom računu pogreška od trenutka julijanske reforme do trenutka nastanka kalendara Svetog Krševana iznositi $8,5 \times 24 \times 60 = 12240$ minuta, odnosno ako je prosječna godišnja pogreška u računanju vremena iznosila 8,85 minuta, od trenutka julijanske reforme do trenutka nastanka kalendara prošlo je 1383 godine, a to znači da bi, po tom računu, kalendar nastao 1338. godine. Prema tome, oslanjajući se na astronomske podatke, može se zaključiti da je kalendar nastao u periodu između 1257. i 1338. godine. Koje bi to godine mogle biti može se, pak, vidjeti iz vremena mjesečevih faza.

Metonov ciklus³⁰ u kojem se međusobni položaji Sunca i Mjeseca ponavljaju iznosi 19 godina. Za raspored mjesečevih faza koje su zabilježene u kalendaru Svetog Krševana karakteristične su godine 1406., 1387., 1368., 1349., 1330., 1311, 1292., 1273., 1254. itd. S obzirom da u navedeni period između 1257. i 1338. spadaju godine 1273., 1292., 1311. i 1330. može se konstatirati da je, prema astronomskim podacima, kalendar rađen za neku od tih godina. Točna godina nastanka astronomskog dijela kalendara mogla bi se odrediti uračunavanjem još jednog tipičnog (dvadesetogodišnjeg) perioda unutar kojeg se poklapaju datumi sa danima u tjednu.

Van Dijk u djelu *Handlist of the Latin Liturgical Manuscripts in the Bodleian Library* na stranici 173. određuje porijeklo i godinu nastanka kalendara: *Benedictine Sanctus*

23° 33'), a unatoč tome u kalendarskom dijelu kao dan zimskog solsticija označen je 15. prosinca.

³⁰ Meton je grčki astronom iz V stoljeća prije nove ere, poznat po devetnaestogodišnjem ciklusu koji je nazvan Metonov ciklus. 19 solarnih godina i 235 lunarnih mjeseci iznosi oko 6940 dana, odnosno u periodu od 19 godina ponavljaju se međusobni položaji Sunca i Mjeseca.

Chrysgonus, Zara, Dalmatia na sasvim drugačiji način³¹, računajući međutim da pogreška u odnosu na vrijeme julijanske reforme iznosi točno 8 dana, ali uzimajući dvije godine kao polazne i oslanjajući se pritom na dva detalja: Nikejski koncil (325. godine) te na tablice sunčevih deklinacija Bena Samuela Zacuta iz 1509. godine. Za taj period Van Dijk je izračunao prosječnu godišnju pogrešku od 0,0078 dana (11,067 minuta), što predstavlja pogrešku od jednog dana u 128,2 godine. Računajući od Nikejskog koncila kad je određeno da proljetni ekvinocij uvijek započinje 21. ožujka, stvarni je ekvinocij nastupao svake godine 11,067 minuta ranije, odnosno svakih 128 godina jedan dan ranije. U tablicama sunčevih deklinacija Bena Samuela Zucata iz 1509. godine vidi se da je proljetni ekvinocij bio 11. ožujka 1509., dakle 10 dana ranije. S obzirom da je u zadarskim astronomskim tablicama ekvinocij nastupio osam dana ranije, to je značilo da je razlika u odnosu na 1509. godinu iznosila $1509 - (2 \times 128) = 1253$, a ako se računa da je desetodnevno zakašnjenje bilo u godini julijanske reforme (1582.), godina nastanka kalendara je $1582 - (2 \times 128) = 1326$. Kao što se može vidjeti oba pristupa daju slične rezultate.

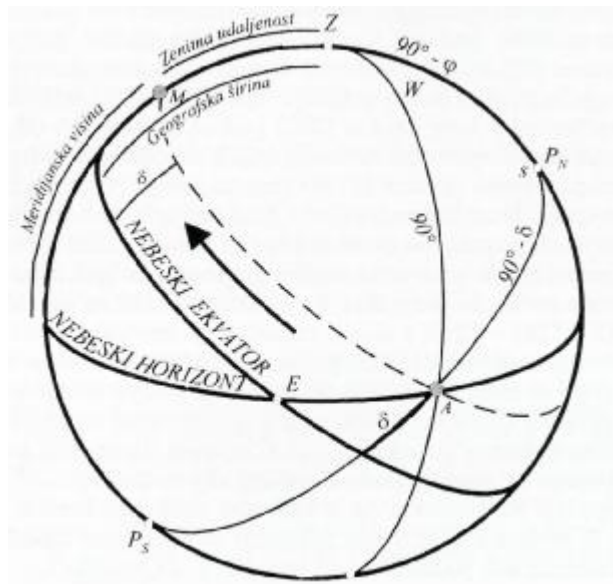
Godine nastanka kalendara u oba su slučaja određene temeljem podataka sadržanih u astronomskom dijelu kalendara. Činjenica da podaci o datumima ekvinocija i solsticija iz drugog (kalendarskog) dijela značajno odstupaju od astronomskih, ukazuje na činjenicu da je kalendar sastavljan korištenjem dva različita izvora. Iz podataka bi se moglo zaključiti da se vrijeme između nastanka astronomskih i kalendarskih podataka mjeri stoljećima. Ova nesukladnost u velikoj mjeri potvrđuje pretpostavku da je kalendarski dio tablica nastao u Zadru u nepoznatoj godini, ali da su astronomski podaci prepisani iz nekih drugih tablica, vjerojatno Alfonsovih³², te da su nastali nešto ranije nego se je to pretpostavljalo (Alfonsove tablice nastale su 1248. godine).

Što se tiče određivanja mjesta za koje su astronomske tablice izračunate, to je moguće ustanoviti iz podataka koji definiraju dnevna kretanja (trajanje sunčanog dijela dana i meridijanske visine Sunca). Situacija iz koje se može izračunati geografska širina (φ) prikazana je na slici 2. Na slici je prikazana nebeska sfera koja rotira oko osovine $P_N P_S$, u smjeru ucrtane strelice. Zemlja se nalazi u središtu sfere i beskrajno je malena, a položaj nekog mjesta definiran je geografskom širinom (φ) na Zemlji, odnosno udaljenošću zenita (Z) od ravnine nebeskog ekvatora, pri čemu zenit predočava položaj određenog mjesta na

³¹ I. Hekman: *Povijest pomorske navigacije 1*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka 1990. str. 192. do 197.

³² Vidi Ž. Dadić: *Egzaktne znanosti hrvatskog srednjovjekovlja*, Globus, Zagreb, 1991. str. 72 - 74.

nebeskoj sferi. Sunce koje je za vrijednost deklinacije (δ) udaljeno od nebeskog ekvatora kreće se tijekom dana po iscrtkanoj krivulji koja se zove deklinacijski paralel. Izlazi u točki A na horizontu mjesta sa zenitom Z, visina mu raste i u trenutku prolaza kroz točku M u meridijanu (glavna kružnica ZP_NNaP_S) postiže meridijansku visinu iznad horizonta označenu na slici. Budući da od nebeskog horizonta do zenita ima 90° , luk nebeskog meridijana od zenita Z do sjevernog nebeskog pola P_N je komplement meridijanske visine. Točka Na je nadir, to jest središnja točka nevidljivog dijela sfere za mjesto sa zenitom Z, kut W je mjesna horizontska koordinata koja se zove azimut, odnosno to je kut pod kojim se, u odnosu prema sjevernoj strani nebeskog meridijana, vidi Sunce (na slici je označen azimut u trenutku izlaza), a kut s je satni kut, koordinata u mjesnom ekvatorskom sustavu, odnosno kut za koji se u nekom trenutku Sunce nalazi istočno ili zapadno od južne strane nebeskog meridijana.



Slika 4. Dnevne nebeske koordinate Sunca

Iz slike i objašnjenja vidi se da se geografska širina (φ) nekog mjesta na Zemlji može izračunati kao zbroj meridijanske zenitne udaljenosti (z) i deklinacije (δ):

$$j = z + d$$

Jednako tako na slici se može vidjeti da meridijanska zenitna udaljenost odgovara komplementu meridijanske visine:

$$z = 90^\circ - v$$

Vidi se da je vrijednost geografske širine nekog mjesta na Zemlji zbroj komplementa meridijanske visine i deklinacije:

$$j = 90^\circ - v + d$$

Astronomske tablice kalendara Svetog Krševana donese upravo ta dva podatka: meridijansku visinu Sunca i njegovu deklinaciju. Iz toga se može odrediti točna geografska širina mjesta za koje su tablice izrađene. Iz astronomskih podataka kalendara vidi se da su tablice izračunate za mjesto na Zemlji koje ima između $37^\circ 20'$ sjeverne geografske širine i $37^\circ 40'$ sjeverne geografske širine. Podatak se odnosi na sve meridijanske visine i sve deklinacije, prema tome u pogledu mjesta nastanka tablica ne može biti nikakve zabune: astronomske tablice nisu izračunate za Zadar već za mjesto koje se nalazi čak osam stupnjeva geografske širine južnije. Upravo na toj geografskoj širini nalazi se nekoliko gradova koji su imali velik značaj u razvoju astronomije, astronomske navigacije i navigacije uopće: Sagres kod rta Sao Vicente i Faro u Portugalu, Huelva i Sevilla u Španjolskoj, a sasvim blisku geografsku širinu imaju i Granada, Cordoba i Cartagena u Španjolskoj te Catania i Siracusa u Italiji. S aspekta primjene astronomije u navigaciji posebno je povijesno zanimljiv Sagres kod rta Sao Vicente u kojem je portugalski princ Henrik Pomorac, sin kralja Ivana I, oko 120 godina nakon nastanka kalendara Svetog Krševana (1420.) osnovao astronomski opservatorij i prvu nautičko - hidrografsku pomorsku školu na svijetu, okupivši vodeće znanstvenike tog doba.

Geografska širina mjesta u kojem su nastao astronomski dio kalendara može se dokazati i iz podataka o vremenu trajanja dnevnog svjetla u pojedinim danima. Dužina trajanja dnevnog svjetla, odnosno vrijeme koliko se Sunce nalazi iznad horizonta, funkcija je geografske širine. U svakoj točki zemaljskog ekvatora (geografska širina 0°) Sunce izlazi uvijek u isto vrijeme, a dan traje jednako koliko i noć, Sunce se iznad (astronomskog³³) horizonta, u vidljivom dijelu nebeske sfere, nalazi točno 12 sati. Na zemaljskim polovima (geografska širina $\pm 90^\circ$) šest mjeseci Sunce se nalazi iznad astronomskog horizonta (polarni dan), a šest mjeseci ispod astronomskog horizonta (polarna noć). Na nekoj geografskoj širini vrijeme izlaza i zalaza i trajanje dnevnog svjetla ovisan je o deklinaciji Sunca određenog dana u godini. Na slici 2. Sunce izlazi iznad horizonta u točki A, a zalazi u isto takvoj točki horizonta s druge (neucrtane) strane nebeske sfere. Ako se izračuna promjena satnog kuta (s) od trenutka izlaza Sunca do trenutka zalaza, može se odrediti vrijeme koliko će se Sunce nalaziti iznad horizonta (koliko će trajati svjetli dio dana). Iz kvadratnog sfernog trokuta P_NZA (na slici), računajući

³³ Zbog pojave koja se zove refrakcija (lom svjetlosnih zraka pri prolazu kroz atmosferu Zemlje koja predstavlja optički gušće sredstvo od vakuma), vidljivi horizont i pravi (astronomski) horizont se ne poklapaju. Pravi horizont je oko 40 lučnih minuta iznad vidljivog. Sunce je u ravnini pravog ili astronomskog horizonta (u pravom izlazu ili zalazu) kad se nalazi dvije trećine svojeg promjera iznad vidljivog horizonta.

da sferna stranica ZA ima 90° , može se izračunati vrijednost istočnog satnog kuta (s_E) za trenutak izlaska :

$$\cos s_E = - \operatorname{tg} j \operatorname{tg} d$$

Odnosno vrijednost zapadnog satnog kuta (s_W) za trenutak zalaza:

$$\cos s_W = - \operatorname{tg} j \operatorname{tg} d$$

Vrijeme trajanja dnevnog svjetla dobit će se zbrajanjem istočnog i zapadnog satnog kuta (istočni satni kut je vrijeme od trenutka izlaza Sunca do mjesnog pravog podneva, a zapadni od podneva do zalaza Sunca). S obzirom da su s_E i s_W jednaki po vrijednostima, trajanje dnevnog svjetla može se izračunati iz izraza:

$$s = 2 \operatorname{arc} \cos (- \operatorname{tg} j \operatorname{tg} d)$$

Ako se za geografsku širinu uzme $37,5^\circ$ vrijeme trajanja dnevnog svjetla dobije se vrlo točno za sve dane u godini, osim onih u kojima je izvršena pogrešna transkripcija ili su se pojedini astronomski podaci izbrisali. Na primjer, za dan 06. lipnja (deklinacija Sunca iz tablica bila je $23^\circ 20' N$), ako se za vrijednost geografske širine uzme $37,5^\circ N$, satni kut od izlaska do zalaska Sunca izmijenit će se za $218^\circ 40'$ ili, izraženo u vremenskim jedinicama³⁴, 14 sati 34 minuta 38 sekundi, što se u potpunosti poklapa s podatkom iz tablica (14 sati 34 minuta).

Ostali podatci iz Astronomskih tablica daju naslutiti da su astronomska opažanja bila začuđujuće precizna. Iako se iz astronomskih podataka o deklinacijama ne može točno odrediti godina nastanka kalendara (jer nije navedeno za koji je sat i za koju geografsku dužinu deklinacija izračunata), iz astroloških podataka (položaji Sunca u zviježđima zodijaka) vidi se da su znanstvenici srednjeg vijeka bili u stanju zapaziti i najsuptilnije astronomske pojave kao što je dnevna promjena rektascenzije Sunca. Tri stoljeća prije Keplera, kad još nisu bile poznate zakonitosti kretanja nebeskih tijela, iz astronomskih podataka mogu se izračunati godišnje promjene rektascenzije Sunca, a te promjene u skladu su sa drugim Keplerovim zakonom. Vidi se da je promjena najmanja oko vremena ljetnog solsticija kad je Sunce u blizini apogeja, a najveća oko vremena zimskog solsticija kad je Sunce u blizini perigeja. S obzirom da su efemeride vjerojatno prognozirane (rađene za dane koji će tek nastupiti), a da se nisu znale matematičke i fizičke zakonitosti po kojima se nebeska tijela kreću, podaci u tablicama vjerojatno su empirijski, to jest rađeni su dugotrajnim praćenjem položaja Sunca u konstelacijama, što dokazuje da su postojale mogućnosti vrlo točnih mjerenja.

Zaključak

Kalendar Svetog Krševana je srednjovjekovni dokument koji je šezdesetih godina dvadesetog stoljeća pronađen u *Bodleian Library* u Oxfordu. Dokument je poseban iz razloga što sadrži tablice s astronomskim podacima koji su se, možda, mogli upotrebljavati za orijentaciju na otvorenom moru, a spadaju u najstarije efemeridske zapise uopće. Nakon analize efemeridskih podataka može se zaključiti slijedeće:

Unatoč činjenici da se radi o jedinstvenom tekstu, kalendarski dio od astronomskog se razlikuje u tolikoj mjeri da se vjerojatno radi o dva različita dokumenta od kojih je jedan ukomponiran u drugi. Vjerojatno je astronomski dio kalendara prepisan iz nekih drugih, već postojećih astronomskih tablica. S obzirom da je vrijeme nastanka relativno blisko vremenu nastanka Alfonsovih astronomskih tablica, podaci u kalendaru možda su prepisani upravo iz tog izvora. Neki kalendarski podaci u potpunoj su suprotnosti s astronomskim, na primjer datumi nastupa ljetnog i zimskog solsticija i proljetnog i jesenjeg ekvinocija.

Svjetovni dio kalendara vjerojatno je rađen u Zadru, iako za to ne postoje pouzdani dokazi, s obzirom da je zastupljena svega jedna trećina tradicionalnih zadarskih blagdana. Ipak, da se radi o izvornom zadarskom rukopisu dokazuju naknadne zabilješke u tekstu kalendara, kao i činjenica da su zabilježeni upravo najtipičniji zadarski sveci (svete Foska i Maura, obljetnica prijenosa moći svetog Krševana, sveti Leonard, sveti Platon mučenik, sveti Krševan mučenik, sveti Zoilo i sveta Stošija djevica i mučenica).

Astronomski podaci nisu rađeni za Zadar već za mjesto koje se nalazi 8° (oko 900 kilometara) južnije, vjerojatno za neki grad u Portugalu, Španjolskoj ili na Siciliji. Najvjerojatnije se radi o gradovima Sarges ili Faro u Portugalu, Huelva, Sevilla, Granada ili Cartagena u Španjolskoj ili Catania odnosno Siracusa na Siciliji.

Usporedbom podataka o početku ekvinocija s podacima iz Julijanske i Gregorijanske reforme kalendara može se zaključiti da su astronomski podaci nastali za neku godinu u razdoblju između 1257. i 1338.

Astronomski podaci relativno su pouzdani, čak su zapažene i najosjetljivije razlike u dnevnim promjenama rektascenzije s obzirom na prividni položaj Sunca na ekliptici, i s tog stanovišta tablice su s velikom pouzdanošću mogle biti korištene u plovidbi. Ipak, tablice se, sasvim sigurno, nisu koristile kao izvor navigacijskih podataka iz jednostavnog razloga jer se u vrijeme njihova nastanka još nije znalo za mogućnost primjene tih podataka u orijentaciji.

³⁴ Petnaest lučnih stupnjeva je jedan sat vremena.