

Доступно онлајн на www.gi.sanu.ac.rs

Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ 61(1) (1-10)

Оригинални научни рад

УДК:910.1:51

МАТЕМАТИЧКОГЕОГРАФСКА АНАЛИЗА ОРИЈЕНТАЦИЈЕ СТУДЕНИЧКЕ ЦРКВЕ СВ. ЈОВАНА

Милутин Тадић¹*, Александар Петровић*

* Географски факултет, Београд

Примљено 17 јануара 2011; рецензирано 05 марта 2011; прихваћено 20 априла 2011

Апстракт: У кругу манастира Студенице сачувани су темељи цркве св. Јована Претече из 13. века, чија оса видно одступа од источног правца. Под претпоставком да је протомајstor осу усмерио према тачки изласка сунца, у раду је одређен највероватнији датум када се то могло десити. Примењена метода је детаљно објашњена и може се применити при анализи оријентације било које друге средњовековне цркве. Помоћу ње се може утврдити када је утемељена одређена црква, као и да ли је црква изворна, или је можда подигнута на темељима старије сакралне целине.

Кључне речи: математичка географија, археоастрономија, оријентација цркве, манастир Студеница

Увод

За разлику од геометрије манастира средњовековне Србије (Поповић, 1994), оријентација цркава, као манастирских окосница, није систематски проучавана. На потребу егзактне провере оријентације уздужних оса средњовековних цркава већ је указивано (Ненадовић, 2003) али та провера су само први корак, предуслов, за математичкогеографску анализу којом се позиција цркава разматра у контексту сунчеве геометрије.

Систематска проучавања те врсте нису новина. Методологија је добро разрађена, а осим мноштва радова чије су теме појединачне цркве, постоје студије у којима се разматрају цркве на територијама целих земаља, на пример, на простору Аустрије (Firnies & Köberl, 1989) или Словеније (Čaval, 2009). Са становишта истраживања која тек предстоје на територији Републике Србије, од посебног значаја су радови у којима је изложена методологија проучавања оријентације православних (византијских) цркава на простору Грчке (Liritzis & Vassiliou, 2007; Pantazis et al., 2004).

¹Correspondence to: tadic@gef.bg.ac.rs

Истраживањем оријентације цркава у контексту геометрије сунца могу се наћи одговори на нека од следећих питања: колико је протомајстор познавао егзактне начине оријентације, тј. на ком су нивоу биле егзактне науке (математичка географија, астрономија) у време градње цркве; када (ког дана и месеца) је утемељена црква; ком светитељу је могла бити посвећена; да ли је црква извorno подигнута на том месту или лежи на темељима неке старије сакралне целине?

Цркве манастира Студенице и традиционално усмерење

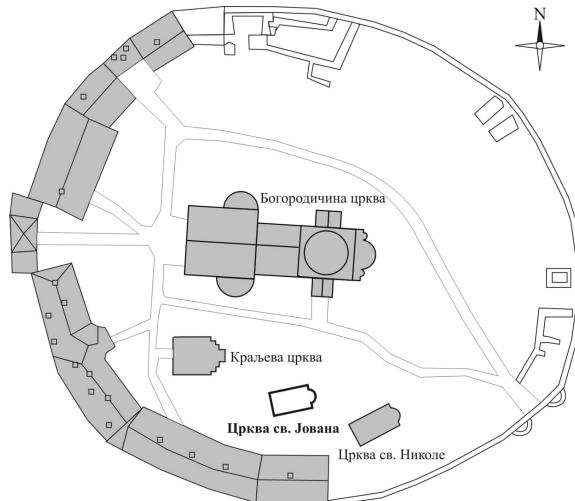
У склопу манастира Студенице данас постоје три цркве – Богородичина (подигнута 1183–1196. године), црквасв. Јоакима и Ане или Краљева црква (подигнута 1314 године), црква св. Николе подигнута почетком XIII века) – и темељи једне, цркве св. Јована Претече (подигнута највероватније у XIII веку). Очигледно, њихове уздушне осе нису паралелне (ск. 1).

У одговарајућим црквеним правилима никде се изричito не каже да уздушна оса цркве мора бити постављена тачно правцем запад-исток, нити се помињу источна тачка хоризонта (равнодневачки исток) или равнодневачка линија, једноставно се каже – „ка истоку“ или „ка изласку сунца“ (Мирковић, 1966). А „ка истоку“, ако се не прецизира, односи се, у најужем смислу, на све правце унутар сектора хоризонта ширине 45° , од NNE до SSE, док услов „ка изласку сунца“ задовољавају сви правци у сектору хоризонта који на географској ширини манастира Студенице има распон $66,5^{\circ}$ (сектор између солстицијумских тачака изласка сунца, са источним правцем као симетралом). Дакле, у складу са црквеним правилима, уздушне осе цркава и не морају бити паралелне, и на простору средњовековне Србије, у целини гледано, и нису (Ненадовић, 2003).

Уздушна оса цркве св. Јоакима и Ане тачно је оријентисана правцем запад-исток, док оса Богородичине цркве одступа од источног правца око 5° , према југоистоку (Тадић, Бабић, 2010). Узимајући у обзир гномонске методе које су могли применити протомајстори у средњем веку (Тадић, 2004) и грешке које се при томе нису могли избећи, са математичкогеографског становишта може се рећи да су те две цркве тачно оријентисане. Уздушне осе друге две, цркве св. Николе и цркве св. Јована Претече, знатније су отклоне од источног правца, па при објашњењу треба поћи не од претпоставке да су протомајстори направили почетничке грешке при одређивању источног правца, него од претпоставке да су осе цркве усмерили „ка изласку сунца“ одређеног дана. Са математичкогеографског становишта, осим еквинокцијума, кључни дани су

Математичко-географска анализа оријентације студеничке цркве Св. Јована

летњи и зимски солстицијум, а са верског становишта, дани који су у црквеном календару посвећени светитељу чије име носи одређена црква.



Скица 1. План манастира Студенице, урађен на основу авионског снимка

Тема даљег разматрања јесте црква св. Јована Претече ($43^{\circ} 29' N$, $20^{\circ} 32' E$), код које су сачувани само темељи (ск. 2), па је тако, за разлику од остале три студеничке цркве, отворена за непосредну проверу оријентације њене уздужне осе.



Скица 2. Темељи цркве св. Јована Претече, XIII век (иза је црква св. Николе)

Дефиниција задатка

Радна претпоставка. Једног јутра у XIII веку, протомајстор је стојећи јужно од Богородичине цркве, уздушну осу будуће цркве усмерио према тачки изласка сунца над стварним хоризонтом манастира Студенице.

Задатак. Под том претпоставком, одредити:

- тачан отклон уздушне осе цркве св. Јована Претече од источног правца,
- хоризонтске координате тачке у којој вертикал уздушне осе цркве пресеца стварни хоризонт,
- дане у години, по Грегоријанском и Јулијанском календару, када сунце излази у тој тачки, тј. дане у некој од година XIII века током којих су могли бити оцртани темељи цркве св. Јована Претече.

Мерење отклаона уздушне осе цркве св. Јована Претече од источног правца

У настојању да се буде што ближе средњовековном протомајстору, остављена су по страни савремена техничка помагала, а за проверу оријентације цркве. св. Јована Претече примењене су осавремењене гномонске методе. Обе су засноване на једном мерењу угла сенке гномона, код прве методе – угла подневне сенке, а код друге – угла било које сенке. Будући да је прва метода везана само за један тренутак обданице (право сунчево подне) примењена је друга метода.

Поступак:

- Одређеног тренутка сунчаног дана (T), измери се хоризонтални угао α који сенка гномона заклапа са јужним зидом цркве, мерено од запада у правцу кретања казальке на часовнику (Тадић, Бабић, 2010) (ск. 3).
- Из ефемерида за текућу годину преузму се вредности деклинације сунца δ и временског изједначења e , за 00:00 h Светског времена, а онда се интерполацијом одреде њихове вредности за дати тренутак T средњоевропског времена.
- Израчуна се право сунчево време T_p према формулама²:

² Извод ове, и изводи свих формулама у овом раду, могу се погледати у књизи: Тадић, М. (2004). *Математичка географија*. Београд: ЗУНС.

$$T_p = T + e - (15^\circ - \lambda^\circ) \cdot 4 \text{ min},$$

(у којој је λ географска дужина цркве), а онда часовни угао сунца t у степенима, према формулама,

$$t = \frac{(T - 12 h)}{15}.$$

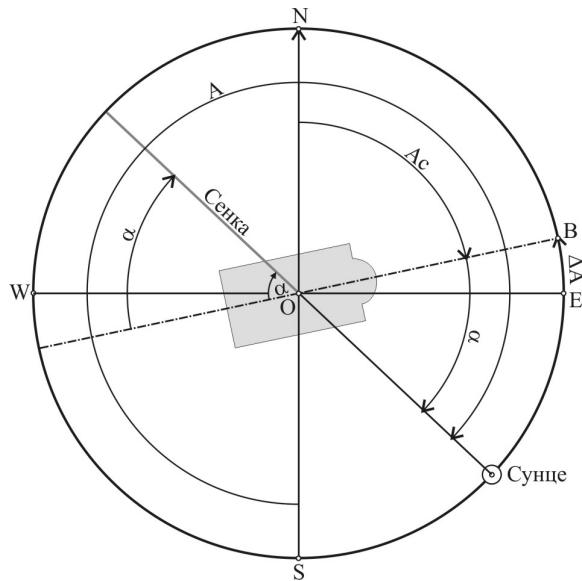
- Израчуна се одговарајућа висину сунца h према формулама,

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t,$$

(у којој је φ географска широта цркве), а онда и астрономски азимут сунца A према формулама,

$$\sin A = \frac{\sin t \cdot \cos \delta}{\cos h},$$

водећи рачуна о квадранту.



Скица 3. Однос између угла отклона уздужне осе цркве св. Јована Претече од источног правца (ΔA), астрономског азимута сунца (A) и угла сенке (α)

- И на крају, израчуна се угао отклона уздужне осе цркве од источног правца, према формулама,

$$\Delta A = 270^\circ - A + \alpha$$

пре подне, односно,

$$\Delta A = \alpha - A - 90^\circ,$$

после подне, имајући у виду да предзнак „минус“ указује на отклон уздужне осе цркве од источне тачке ка југоистоку.

Резултати: На описани начин, извршена су мерења 8. јуна и 6–9. августа 2010. године у различитим тренуцима дана (таб. 1).

Табела 1. Резултати добијени на основу мерења извршених 8. јуна и 6–9. августа 2010.

Датум	T	α	A	A_C	ΔA
08. 06. 2010.	13:33	135,0°	34,0°	79,0°	11,0° NE
06. 08.2010.	11:46	71,1°	330,4°	79,3°	10,7° NE
07. 08. 2010.	11:01	55,0°	313,3°	78,3°	11,7° NE
09. 08. 2010.	12:43	102,9°	0°	7,1°	12,9° NE
Средња вредност			78,4°	11,6° NE	

Анализа: На тачност мерења утиче неколико чинилаца: несавршеност прибора (висак, либела, угломер), увежбаност мерилаца, доба дана (мање тачно се могу измерити углови када је сунце у вертикалу који заклапа мали угао са вертикалом уздушне осе цркве), дужина и уравњеност зида. Имајући све то у виду, може се очекивати тачност у границама $\pm 1^\circ$. Заокружено, уздушна оса цркве св. Јована Претече отклоњена је од источног правца 12° ка североистоку.

Одступање је знатно, и није последица, очигледно, конфигурација терена. Одбацивши претпоставку да је цркву св. Јована Претече оријентисао неко ко није знао стране света (јер је бесмислена), смисао оријентације треба потражити у геометрији сунца над хоризонтом манастира Студенице.

Одређивање хоризонтских координата тачке у којој вертикала уздушне осе цркве пресеца стварни хоризонт

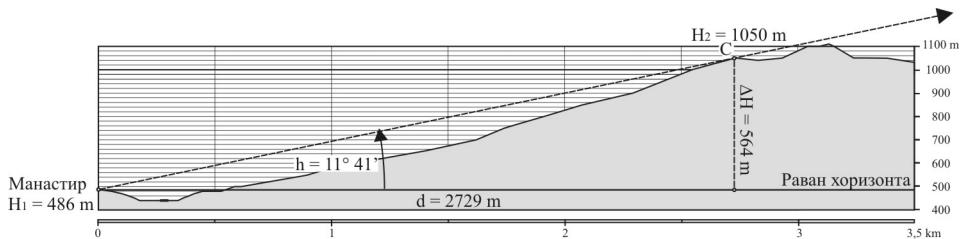
Други део задатка решава се картометријски, уз помоћ одговарајућег листа топографске карте размера 1 : 25 000 или 1 : 50 000.

Поступак:

- На топографској карти, од топографског знака за цркву, под углом једнаким азимуту уздушне осе цркве повуче се профилна линија и над њом се конструише природни топографски профил³ (ск. 4).

³ Природни топографски профил – профил код кога је вертикални размер једнак хоризонталном

Математичкогеографска анализа оријентације студеничке цркве Св. Јована



Скица 4. Природни топографски профил дуж продужене осе цркве св. Јована Претече

- Из почетне тачке профила (црква) обара се вертикална све док не додирне профил (тачка С).
- Одреде се релативна висина ΔH тачке С у односу на почетну тачку и њена хоризонтална удаљеност d од почетне тачке.
- На крају се одреди вертикални угао h који линија посматрања образује са хоризонтом посматрања (хоризонтом цркве), према формулама,

$$\text{tgh} = \frac{\Delta H}{d},$$

Резултати: Након конструкције топографског профила дуж профилне линије која представља продужетак уздушне осе цркве св. Јована Претече, одређен је положај тачке С (сл. 4), њена релативна висина у односу на цркву ($\Delta H = 564$ m) и хоризонтално растојање од цркве ($d = 2729$ m), и на крају је израчунат вертикални угао $h = 11^\circ 41'$.

Анализа: Ако је оса цркве св. Јована Претече усмерена према изласку сунца над стварним хоризонтом манастира Студенице, онда је то био тренутак у коме је сунце имало хоризонтске координате: $h = 11^\circ 41'$, $A = 270^\circ - \Delta A = 258^\circ$.

Одређивање датума када сунце, евентуално, излази у тачки у којој вертикална уздушне осе цркве пресеца стварни хоризонт

Када је познат положај тачке С у којој линија посматрања из цркве, дуж њене уздушне осе, додирује стварни хоризонт, остаје да се одреде датуми у којима сунце, евентуално, излази у тој тачки (ск. 5).

Поступак:

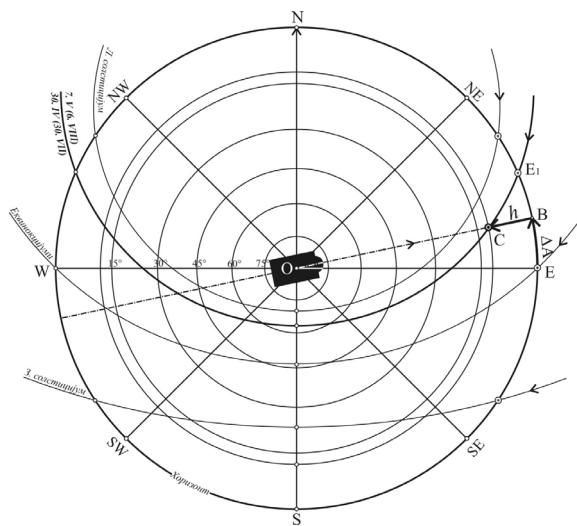
- Израчуна се деклинација δ при којој сунце може имати задате хоризонтске координате, према формулама,

$$\sin\delta = \sin\varphi \cdot \sin h + \cos\varphi \cdot \cos h \cdot \sin\Delta A,$$

у којој је φ географска ширина цркве.

- На основу тако израчунате вредности деклинације сунца⁴ у астрономским ефемеридама се проналазе одговарајући датуми.

Резултати: Уврштавањем вредности за цркву св. Јована Претече ($\varphi = 43^\circ 29'$, $h = 11^\circ 41'$, $A = 258^\circ$), добија се вредност деклинације сунца $\delta = 16^\circ 41'$. Та вредност деклинације сунца данас, по Грегоријанском календару, одговара 7. мају и 6. августу, а по Јулијанском календару, у 13. веку, 30. априлу и 30. јулу (ск. 5).



Скица 5. Небеска хемисфера над црквом св. Јована у стереографској нормалној пројекцији са уцртаном привидном дневном путањом сунца 7. маја (6. августа)

Непосредна провера је извршена 6. маја 2011. године, на Ђурђевдан (ск. 6).

Анализа: Сунце сваку вредност деклинације, у распону од $\delta = -23^\circ 27'$ до $\delta = 23^\circ 27'$, постиже два пута у току године, па су два датума, који се одређују из одговарајућих астрономских ефемерида. У конкретном случају, за цркву св. Јована Претече манастира Студенице, 2010. године, то су, по савременом календару, 7. мај и 6. август, с тим да је први датум вероватнији као почетак градње цркве (почетак летње половине године и

⁴ Теоретски, вредност деклинације сунца изван распона $23^\circ 27' \geq \delta \geq -23^\circ 27'$, искључује могућност да је оса цркве постављена према излазећем сунцу.

грађевинске сезоне). Узевши у обзир тачност коју је могао постићи протомајстор у средњем веку, као и тачност са којом је одређен отклон уздужне осе цркве и конструисан топографски профил, исправно је рећи, не „7. маја”, него „око 7. маја”, или – „око Ђурђевдана”.



Скица 6. Манастир Студеница, црква св. Јована, 6. мај 2011. године, Ђурђевдан, 6 h 38 min (GMT + 2): сунце је изашло тачно у продужетку уздужне осе цркве. Фото-апарат је померен током снимања (слика десно) – треба се управљати према стрелици!

Закључак

Уздужна оса цркве св. Јована Претече није постављена тачно правцем запад-исток него од источног правца одступа 12° , према североистоку. Терен је раван и није диктирао такву оријентацију цркве. Придржавајући се правила да црква треба бити усмерена „ка изласку сунца”, протомајстор је уздужну осу цркве могао усмерити према излазећем сунцу одређеног дана. Ако је заиста тако поступио, онда је, највероватније, излазак сунца посматрао око 7. маја по савременом календару (30. априла у 13. веку, по Јулијанском календару), тј. око Ђурђевдана. То је онда и дан у коме су оцртани темељи (започета градња) цркве св. Јована Претече.

Таква оријентација цркве има смисла и са математичко-географског становишта јер је Ђурђевдан⁵ код Срба, пре него су узели хришћанску веру, био Сунцу посвећен празник којим се обележавао почетак летње половине године (Јанковић, 1951). Ако је уздужна оса цркве плански усмерена ка тачки изласка сунца око Ђурђевдана, дана који је посвећен св. Ђорђу (св. великомученику Георгију), онда се пред археолозима отвара питање – Колико је сигурно да је црква чији су темељи сачувани изворно била посвећена св. Јовану Претечи?

⁵... а узду [коња на коме Сунце иде преко неба] држи свети Ђорђе, који је вероватно наследник неког сунчаног божанства (Јанковић, 1951)

Литература

- Јанковић, Ђ. Н. (1951). Астрономија у предањима, обичајима и умотворинама Срба. *Српски етнографски зборник, LXIII; Друго одељење: Живот и обичаји народни*, 28.
- Liritzis, I., Vassiliou, H. (2007). Does Sunrise Day Correlate with Eastern Orientation of Byzantine Churches on Significant Solar Dates and Saint's Days? A preliminary study. *Byzantinische Zeitschrift*, 99 (2), 523–534.
- Мирковић, Л. (1966). *Православна литургија или наука о богослужењу православне источне цркве I*, Београд: Српски архијерејски синод СПЦ.
- Ненадовић, М. С. (2003). *Грађевинска техника у средњовековној Србији*. Београд: Просвета.
- Pantazis, G., Sinachopoulos, D., Lambrou, E. and Korakitis, R. (2004). Astrogeodetic study of the orientation of ancient and Byzantine monuments: methodology and its final results. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 7 (2), 74–80.
- Поповић, С. (1994). *Крст у кругу: архитектура манастира у средњовековној Србији*. Београд: Републички завод за заштиту споменика културе, Просвета.
- Тадић, М. (2004). *Сунчани часовници*. Београд: Завод за уџбенике.
- Тадић, М., Бабић, С. (2010). Оријентација Богородичине цркве манастира Студенице. *Зборник радова наставника и сарадника Географског факултета у Београду, LVIII*, 1–10.
- Firnies, M., Köberl, C. (1989). Astronomical Orientation of Austrian Medieval Churches. *World Archeoastronomy*, ed. A. F. Aveni, 330–333.
- Čaval, S. (2009). Astronomical Orientation of Sacred Architecture during the Medieval Period in Slovenia. *Cosmology Across Cultures ASP Conference Series*, 409, 209–219.