

Оригинални научни рад

УДК 528.283:726.71(497.11)
Original scientific article

Милутин Тадић
Саша Бабић

ОРИЈЕНТАЦИЈА БОГОРОДИЧИНЕ ЦРКВЕ МАНАСТИРА СТУДЕНИЦЕ

Извод: У раду је описана гномонска метода којом је проверена оријентација уздужне осе Богородичине цркве манастира Студенице. Установљено је одступање је око 5° . Метода је једноставна и може се применити за проверу оријентације било које друге цркве.

Кључне речи: оријентација, манастир Студеница

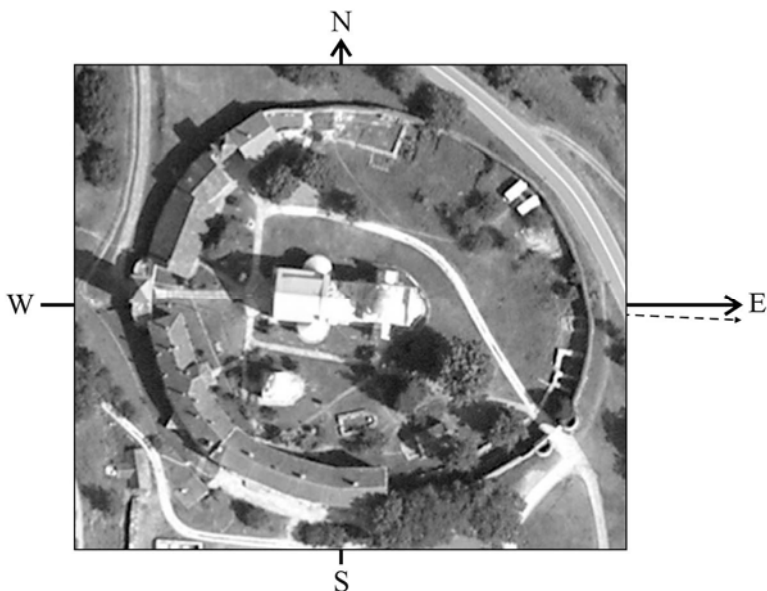
Abstract: The article describes gnomonic method used for checking the orientation of the longitudinal axis of the Virgin Mary Church of the Studenica Monastery. Founded deviation was approximately 5° . The method is simple and can be used for checking the orientation of any church.

Key words: orientation, monastery, Studenica

Увод

Богородичнина црква манастира Студенице саграђена је у последње две деценије XII века. На плановима који се налазе у разним књигама о манастиру Студеници, уздужна оса Богородичине цркве учртана је тачно правцем запад-исток. Тако је учртана и на плану др Слободана М. Ненадовића из педесетих година XX века (Ненадовић, М. С., 1957), који је касније указао да Богородичина црква, као и низ других средњовековних цркава у Србији, нису идеално оријентисане (Ненадовић, М. С., 2003). Да је у томе био у праву, јасно се види на авионском снимку Манастира Студенице (сл. 1).

Најбољи начин да се отклони недоумица био је да се изврши непосредно мерење географског азимута уздужне осе Богородичне цркве неком од поузданих метода. Но пре тога, да се не би превише „актуелизовала прошлост”, неопходно је знати којим се методама за одређивање страна света могао служити протомајстор Богородичне цркве када је одређивао правац њене уздужне осе.



Слика 1. Авионски снимак манастира Студенице; централно место заузима Богородичина црква
Figure 1 Aerial photo of the Studenica Monastery; the Virgin Mary Church occupies the central place

Одређивање страна света у време градње Богородичине цркве

Астрономи и архитекте старог и средњег века за одређивање страна света користили су гномон (Тадић, 2006). Првима је то био предуслов за мерење времена, а другима за оријентацију зграда, пре свих, храмова. Римски архитекта Витрувије (I в. пре. н. е.) у делу „Десет књига о архитектури” (I, VI – О распореду и положају зграда у граду) описује како се помоћу гномона могу одредити стране света:

Намјести се посред града по по либели мраморна плоча или се само мјесто према равналу и либели тако уравни да није потребна плоча; затим се у средиште тог мјеста стави мједена казаљка [гномон] која баца сјену и зове се σκιαδηρας [скиатерас – ловац сенке]. Око петог сата ујутру [око петог темпоралног часа], отприлике, треба погледати врх сјене те казаљке и означити је тачком; затим се растегне шестар до тачке која показује дужину сјене тој казаљци и одатле се из средишта повуче кружница. Исто тако послје подне треба проматрати како расте сјена казаљке, па кад дирне кружну линију да се издначи послје-подневна сјена с пријеподневном, нека се и то означи тачком. Из тих дви-

Orientation of the church of the Virgin of the Studenica monastery

ју тачака нека се шестаром опишу кружнице, тако да се сијеку, па кроз њихово сјециште и средиште нека се до крајње тачке повуче равна линија да се добије јужна и сјеверна страна (Vitruvius, M. P., 1990).

Витрувију је гномон потребан „за планирање цеста и улица у правцу страна света”, да би се „ветрови искључили са улица”, и он се не бави астрономском суштином метода. За разлику од њега, арапски научник, енциклопедист Бируни (973–1048) у „Канону Мас'уда” (IV, 15), описује, осим Витувијевог, још седам гномонских начина за одређивање страна света, наводећи предности и недостатке сваког од њих (Тадиф, 2004). На почетку даје упутства шта треба урадити пре мерења, тј. како треба припремити подлогу и фиксирати гномон:

За то одређивање [одређивање страна света] неопходно је уравнати неки део површине земље тако, да када би на њега налили нешто течност – воду или другу течност, на пример живу, чија је површ нестабилна, или када би на њега ставили нешто што се котрља, на пример орах, чији је положај [такође] нестабилан, то би се [материја или предмет] могло отклонити у било ком правцу, ако тај који је уравнао подлогу има тачну руку. На било ком месту подлоге вертикално се поставља равни стуб (Розенфелд, Б. А., Рожанская, М. М., Соколовская, З. К. 1973).

За метод који је описао Витрувије, Бируни, у наставку претходног одељка, пише да се ради,

[...] о примени круга познатог [под називом] индијски¹. Тај се круг исцртава на равној површи, и у његовом центру поставља се гномон. Обично га праве да буде једнак четвртини пречника круга... Даље се опажа сенка тог гномона током преподнева, када се она смањује и скраћује, до тренутка њеног уласка у круг. Обележавају тачку уласка сенке у круг и постављају посматрати сенку гномона током слеподнева [када] се она увећава, до тренутка њеног изласка из круга. Такође се бележи тачка изласка сенке из круга. Те две ознаке се спајају правом линијом, тетивом, кроз чију се средину и центар круга повлачи права линија. То је подневачка линија, а на њу нормалан пречник – равнодневачка линија. Једна од тих тачака, и центар круга, довољни су да се одреде остале [кардиналне тачке], с обзором да се налазе једна наспрам друге.

Иако су му познати недостаци – 1) нужно је опажати сенку у два удаљена тренутка тако да се у међувремену небо може наоблачити и омести друго опажање; 2) иако врло мало, деклинација сунца се ипак

¹ Осим у „Канону Мас'уда”, Бируни описује *индијски круг* у „Књизи поучавања основних знања науке звезда” (познате као „Наука звезда”) и у „Одређивању граница места ради прецизирања растојања између насељених места” (познате као „Геодезија”).

Оријентација Богородичине цркве манастира Студенице

промени између тренутка уласка и тренутка изласка сенке из круга, па пречник који пролази кроз средину тетиве није сасвим тачна подневачка линија – Бируни „индијски круг” користи и препоручује. Тако у „Геодезији”, у поглављу „Трећи пут о томе [о одређивању правца према Меки]”, након што је изложио како се одређује кибла, тј. правац према Меки, Бируни каже да тај начин ипак не могу користити „градитељи и мајстори” и саветује им да примене индијски круг који је „веома распрострањен међу градитељима”.

У наведеном поглављу „Геодезије” Бируни образлаже зашто је познавање метода одређивања кибле и главних тачака хоризонта корисно и за муслимане и за немуслимане:

Али, корисност тог метода прелази из сфере муслимана и ка неверницима који се налазе под њиховим окриљем. Јерусалим заузима исто место код Јудејаца као и Каба код нас, будући да су према њој окренута лице верника, и ако се тачно одреде дужину и ширину Јерусалема, биће тачне кибле јудејских храмова. Код хришћана пак нашу киблу замењује равнодневачка линија јер се они [при молитви] окрећу лицем ка истоку (Бируни Абу Рейхан, 1966).

Бируни је употребу индијског круга описао у првој половини 11. века („Геодезију” завршио 1025., „Науку звезда” 1029. године, а „Канон Мас’уда” 1036–1037. године). Тај метод није могао а да не зна протомајстор који је крајем XII века руководио градњом Богородичине цркве манастира Студенице.

Одређивања отклона уздужне осе Богородичине цркве од равнодневачког правца гномонским методама

Географски азимут уздужне осе цркве може се одредити на плану, авионском или на сателитском снимку, или се може непосредно измерити помоћу компаса, теодолита или GPS-уређаја. До авионских и сателитских снимака крупног размера није лако доћи, планови често не постоје или су непрецизни, компас је непоуздан, а теодолит и GPS-уређај нису сваком доступни. Зато је најпрактичније географски азимут одредити гномонском методом, у складу са највероватнијим начином на који је протомајстор пре осам векова поставио уздужну осу Богородичне цркве.

Одређивање (проверу) азимута уздужне осе цркве могуће је извршити на неколико гномонских метода:

- 1) на основу угла који сенка виска заклапа са јужним зидом цркве када се сунце нађе у меридијану цркве, тј. у право сунчево подне;
- 2) на основу тренутка забележеног када се сунце одређеног дана нађе тачно у вертикалу који пролази кроз уздужну осу цркве;

Orientation of the church of the Virgin of the Studenica monastery

- 3) на основу тренутка забележеног када се сунце одређеног дана нађе тачно у вертикалу који је нормалан на уздужну осу цркве;
- 4) на основу угла који сенка виска заклапа са јужним зидом цркве у било ком тренутку одређеног дана.

Следи опис одређивања отклона уздужне осе цркве од источне тачке, без извођења наведених формула (Гадић М. 2004), које је извршено од 6. до 9. августа 2010. године на прва два начина.

1) Сунце у меридијану Богородичине цркве

Потребна средства: тачан часовник, висак, либела, угломер, лењир, оловка и астрономске ефемериде за текућу годину.

Поступак:

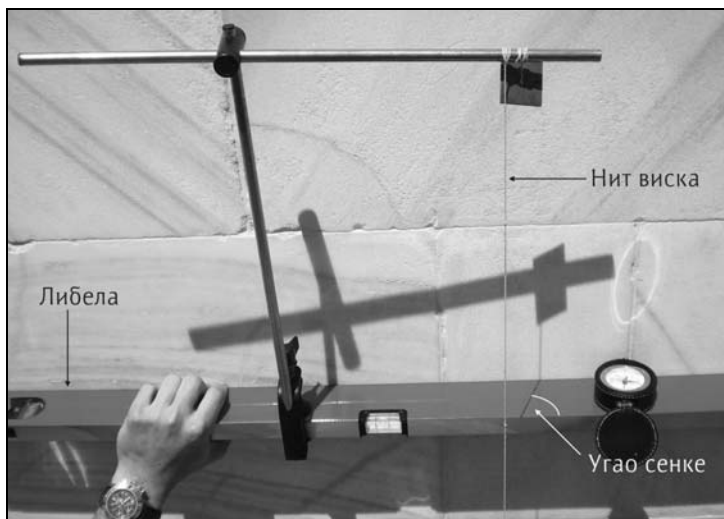
а) Одређеног сунчаног дана израчуна се тренутак у коме се сунце налази тачно према југу, тј. *право сунчево подне* по средњоевропском времену, према формули,

$$T_{SE} = 12 \text{ h} - e + (15^\circ - \lambda^\circ) \cdot 4 \text{ min}$$

где је e временско изједначење, а λ° географска дужина места. Вредност временског изједначења даје се у астрономским ефемеридама за сваки дан, најмање годину унапред. (На интернету, кључне речи су *table of equation of time*.) Географска дужина се може одредити на одговарајућем листу топографске карте размера 1 : 50 000. (Од последње недеље марта до последње недеље октобра, у формули, уместо 12 h треба писати 13 h).

б) Пар минута пре тог тренутка, уз јужни зид цркве прислони се либела, строго хоризонтално, и уз њену ивицу пусти висак да слободно виси.

в) У право сунчево подне на либели се пажљиво обележи правац сенке нити умиреног виска: угао који правац сенке заклапа са ивицом либеле представља географски азимут осе цркве (сл. 2). Одузимањем 90° од тог угла добија се отклон уздужне осе цркве од источног правца; ако је разлика позитивна отклон је ка SE, а ако је негативна, отклон је ка NE.



Слика 2. Једноставни прибор за мерење угла сенке
Figure 2 Simple gear used for measuring the angle of the shadow

Резултат:

Богородичина црква: $\lambda = 20^{\circ} 31' 54'' = 20,531667^{\circ}$

9. август 2009. године: $e = -5 \text{ min } 31 \text{ s} = 5,516 \text{ min}$

Право сунчево подне: $T_p = 12 \text{ h } 43 \text{ min } 23 \text{ s}$ (летње време)

Астрономски азимут сунца: $A = 0^{\circ}$

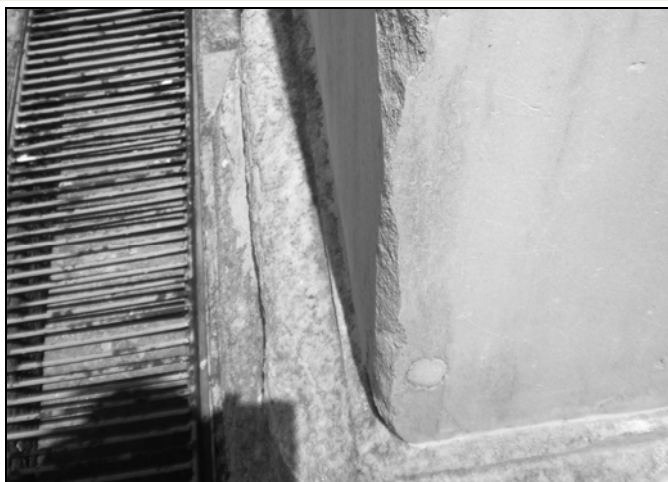
Угао сенке (измерен на средини јужног зида цркве): $\alpha = 95,2^{\circ}$

Географски азимут уздужне осе цркве: $A_C = 95,2'$

Отклон уздужне осе цркве од источне тачке хоризонта: $\Delta A = 5,2^{\circ}$.

Да постоји отклон уздужне осе Богородичине цркве од равнодневачког правца, од истока ка југоистоку, сведочи и фотографија сенке источне ивице јужног вестибила снимљена 9. августа 2010. у право сунчево подне: сенка источне ивице јужног вестибила пада на сокл и са источним зидом вестибила заклапа угао једнак углу отклона уздужне осе цркве од равнодневачког правца (сл. 3).

Orientation of the church of the Virgin of the Studenica monastery



Слика 3. Манастир Студеница 9. августа 2010. у 11 h 43 min 23 s: да је уздужна оса цркве тачно у равнодневачком правцу, сенка источне ивице јужног вестибибла не би падала на сокл.

Figure 3 The Studenica Monastery on August 9th 2010 at 11:43:23 a.m.: if the longitudinal axis of the church was exactly in equinoctial direction, the shadow of the eastern edge of the southern vestibule would not cover the foundation

2) Сунце у вертикалу уздужне осе Богородичине цркве

Потребна средства: тачан часовник, ручни научни калкулатор („дигитрон“) и астрономске ефемериде за текућу годину

Поступак:

а) Одређеног сунчаног дана забележи се тренутак средњоевропског времена (T_{SE}) у коме сунце први пут обасја јужни зид цркве. Уместо да се та појава непосредно опажа (то је узалудан труд), на Богородичиној цркви је праћена сенка лизене (плитке вертикалне греде на фасади цркве) на олтарском делу јужног зида, тј. забележен је тренутак у коме сопствена сенка лизене престаје падати на зид цркве (тренутак сенка када покрива само западну страну лизене).

б) Забележено средњоевропско време прерачунава се у право сунчево време према формули,

$$T_P = T_{SE} + e - (15^\circ - \lambda^\circ) \cdot 4 \text{ min},$$

а онда се на основу правог сунчевог времена одреди часовни угао сунца,

$$t = T_P - 12 \text{ h}.$$

Оријентација Богородичине цркве манастира Студенице

(Од последње недеље марта до последње недеље октобра, у формули, уместо 12 h треба писати 13 h.)

в) На основу часовног угла сунца (t), деклинације сунца (δ) и географских координата Богородичине цркве (φ , λ) израчуна се висина сунца према формули,

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

а онда и астрономски азимут сунца (A), према формули,

$$\sin A = (\sin t \cdot \cos \delta) / \cos h.$$

г) Разлика ($90^\circ - A$) једнака је отклону уздужне осе цркве од источног правца; ако је разлика позитивна отклон је ка SE, а ако је негативна, отклон је ка NE.

Резултат:

Богородичина црква: $\varphi = 43^\circ 29' 11''$, $\lambda = 20^\circ 31' 54''$

7. август 2009. године: $e = -5,812 \text{ min}$, $\delta = 16,433^\circ$

Сунце у вертикалу уздужне осе цркве: $T_{SE} = 08 \text{ h } 29 \text{ min}$ (летње време)

Хоризонтске координате сунца: $h = 30,2^\circ$, $A = 95,8^\circ$

Географски азимут уздужне осе цркве: $A_C = 95,8^\circ$

Отклон уздужне осе цркве од источне тачке хоризонта: $\Delta A = 5,8^\circ$.

Анализа оба метода:

Недостатак првог метода је његова везаност за само један тренутак обданице па га може омести и најмање наоблачење, а мерење се може поновити тек наредног дана. Када је у питању очувана црква, као што је Богородичина црква, овим методом могуће је одређивати само оријентацију јужног зида; директно, оријентацију осе цркве могуће је одређивати само код цркве код које се сачувани само темељи (на пример, цркве Св. Јована Претаче у манастиру Студеница). Тачнији је од другог метода код кога је немогуће тачно одредити тренутак у коме се сунце нађе у вертикалу уздужне осе цркве.

На тачност мерења утиче неколико чинилаца: правилност (уравњеност) зида, дужина либеле, дебљина нити виска, доба дана, прецизност мериоца и тачност часовника, који заједно могу лако довести до грешке величине 1° . Зато треба извршити неколико мерења, разним методама, на разним местима јужног зида, у различитим тренуцима обданице, да би се на крају одредила средња вредност одступања од равнодневачког правца, што је и учињено (укључујући и наведену 4. методу) на примеру Богородичине цркве мерењем у периоду од 6. до 9. августа 2010. године: средњи отклон уздужне осе цркве од источне тачке износи око 5° према југоистоку.

Закључак

Протомајстор Богородичине цркве манастира Студенице морао је познавати гномонску методу за одређивање страна света коју је описао римски архитекта Витрувије у I веку пре н. е. а почетком XI века детаљно образложио арапски научник Бируни, препоручујући га због једноставности градитељима за оријентацију уздужних оса храмова свих вера, да би се молитве одвијале по прописаним правилима – да би при молитви верници били лицем окренути у одређеном правцу. Пре осам векова протомајстор Богородичине цркве највероватније је помоћу гномона прво одредио подневачку линију, затим је нормално на подневачку линију, помоћу гrome, конструисао равнодневачку линију као уздужну осу цркве, и на крају, паралелно равнодневачкој линији, поставио темеље јужног и северног зида цркве. Он, нити било ко други у то време, није могао избећи непрецизности у свим фазама рада, тако да уздужна оса цркве са равнодневачким правцем заклапа угао од око 5° (отклон од источне тачке ка југоистоку).

Дакле, Богородичине црква није идеално оријентисана правцем запад-исток, како је то приказано на плановима у разним књигама о манастиру Студеници. Али, то истовремено не значи и да Богородичина црква није добро оријентисана јер у црквеним правилима нигде није изричито речено да уздужна оса цркве мора бити у равнодневачком правцу, тј. оријентисана тачно правцем запад исток; уместо тога, једноставно пише да треба бити постављена „према истоку” или „према изласку сунца” (Мирковић, 1966). Распон источног сектора руже компаса износи 45° (од ENE до ESE), а распон сектора унутар кога се на нашим географским ширинама током године померају тачке изласка сунца је око 67° , што је неодређено са математичкогеографског али не и са црквеног становишта: црква се подиже да буде компас, али не у географском, него у духовном смислу, и ту оступања у степенима немају никаквог значаја.

Утврђивање тачности оријентације уздужне осе Богородичне цркве, и сваке средњовековне цркве на простору Србије, битно је са математичкогеографског становишта јер говори о нивоу географског и астрономског знања у тадашње време (Тошић и Тадић, 2004). Невелика одступања, као што је то случај код Богородичине цркве манастира Студенице, последице су накупљања грешака током гномонских мерења, док већа одступања, уколико није очигледно да су диктирана тереном, могу бити значајна са археолошког и црквеног становишта: повезивањем геометрије одређене цркве са сунчевом геометријом могуће је одредити ког дана је протомајстор одредио уздужну осу цркве, односно, могуће је проверити да ли је оријентација осе у вези са црквеним празником који одговара светитељу коме је црква посвећена. Када су у питању средњовековне цркве на простору Србије (српских земаља), то је анализа коју тек треба урадити.

Литература

- Бируни Абу Рейхан (1966). *Геодезија (Определене границ мест для уточнения расстояний между населенными пунктами)*. Избранные произведения, Том III, Ташкент: ФАН.
- Vitruvius, M. P. (1990). *Deset knjiga o arhitekturi* (preveo s latinskog Matija Lorac). Sarajevo: Svjetlost.
- Мирковић, Ј. (1966). *Православна литургија или наука о богослужењу православне источне цркве I*, Београд: Српски архијерејски синод СПЦ.
- Ненадовић, М. С. (1957). *Студенички проблеми (испитивања и рестаураторско-конзерваторски радови у периоду 1952. до 1956. године)*. Саопштења, III. Београд: Завода за заштиру и научно проучавање споменика културе Народне Републике Србије.
- Ненадовић, М. С. (2003). *Грађевинска техника у средњовековној Србији*. Београд: Просвета.
- Розенфельд, Б. А., Рожанская, М. М., Соколовская, З. К. (1973). *Абу-р-Райхан ал-Бируни*. Москва: Наука.
- Тадић, М. (2004). *Сунчани часовници*. Београд: Завод за уџбенике..
- Тошић, Г., Тадић, М. (2004). *Хиландарски монах Лазар – први српски часовничар*. Крагујевац: Каленић.
- Тадић, М. (2006). *Птолемејевска географија*. Београд: Завод за уџбенике.

Milutin Tadić

Saša Babić

ORIENTATION OF THE CHURCH OF THE VIRGIN OF THE STUDENICA MONASTERY

Summary

The Virgin Mary Church of the Studenica Monastery was built at the end of the 12th century. The constructor oriented the church in the west-east direction. It had probably been done by gnomon, so the checking was done by gnomonic methods. The checking showed that the longitudinal axis of the church deviated approximately 5° from the E point towards the EES point. The same checking should be applied to other medieval Serbian churches and larger deviations should be described from the mathematical, geographical and religious point of view.