

**МАТЕМАТИЧКОГЕОГРАФСКИ СМИСАО ОРИЈЕНТАЦИЈЕ
СРЕДЊОВЕКОВНИХ ЦРКАВА СРПСКОГ МАНАСТИРА ГРАДАЦ**

МИЛУТИН ТАДИЋ^{*}, АЛЕКСАНДАР ПЕТРОВИЋ^{1**}

¹*Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, 11000 Београд*

Сажетак. Тема рада јесте егзактна анализа оријентације цркава српског манастира Градац: Богородичине цркве (13. век), цркве св. Николе (13. век) и ранохришћанске цркве (6. век). У раду су одређени азимути уздужних оса цркава, а затим су протумачени отклони тих оса од равнодневачког истока. Под претпоставком да су осе усмераване према излазећем сунцу, закључено је да би патрон ранохришћанске цркве могао бити св. Јован Крститељ, да је Богородичина црква заснована на празник Благовести којем је и посвећена, а да је црква св. Николе оријентисана у складу са правилом („према изласку сунца“) иако је њена оса отклоњена 41° од равнодневачког истока.

Кључне речи. *математичка географија, оријентација, српски средњи век, манастир Градац*

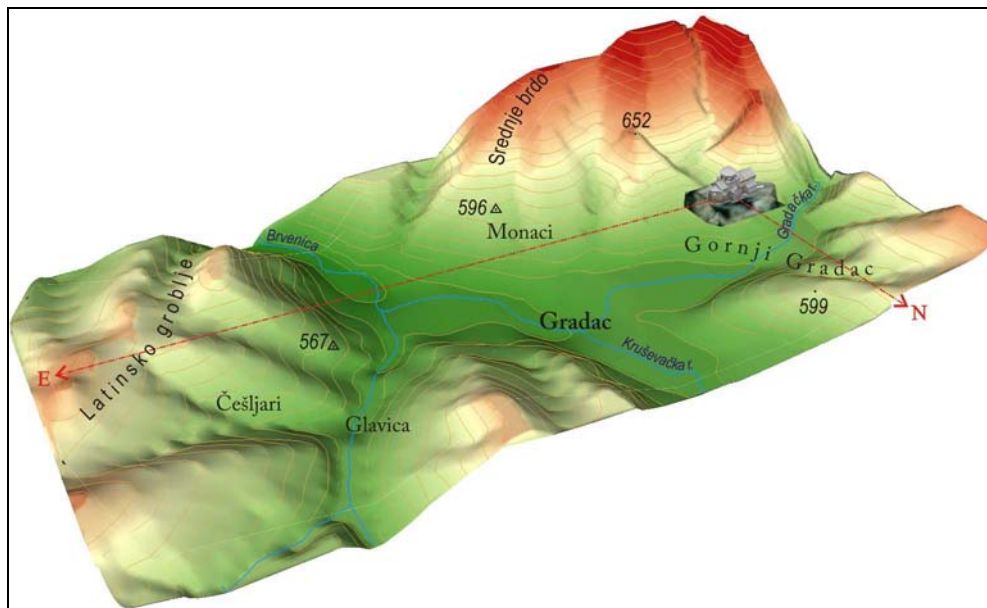
Увод: цркве манастира Градац

Западно-источна оријентација цркава прихваћена је у 4. веку, у време владавине цара Константина (306–337) а затим, постепено и неравномерно, и у целом хришћанском свету: улаз у цркву је на западу, олтар је у апсиди на источном крају уздужне осе цркве, верници су при молитви окренути лицем ка истоку. Теолошки смисао источне оријентације добро је познат (Мирковић Ј., 1966) и о њему није потребно расправљати, док се соларни смисао, међутим, може докучити само егзактном, математичкогеографском анализом (Pantazis, G., 2004). У том светлу, средњовековна црква се посматра као преносилац информација о томе у којој је мери њен протомајстор познавао методе тачне оријентације, односно, о нивоу математичкогеографског и астрономског знања у времену градње цркве.

Приликом математичкогеографске анализе оријентације средњовековних манастирских цркава у Србији, посебно су занимљиви манастири који имају више цркава, тј. католикон и параклисе. Рачунајући и цркве сачуване само у темељима, на првом месту је манастир Студеница са укупно шест цркава (четири унутар одбрамбеног зида и две у склопу испосница), а затим следе Пећка Патријаршија са четири, па манастир св. Николе у Бањи код Прибоја и манастир Градац, са по три цркве. Параклиси Пећке Патријаршије и Бање чине комплексну целину са католиконом па су за проучавање оријентације битнији манастири Студеница и Градац. За разлику од манастира Студенице, оријентација цркава манастира Градац није посебно проучавана.

* tadic@gef.bg.ac.rs; ** apetrovic@gef.bg.ac.rs

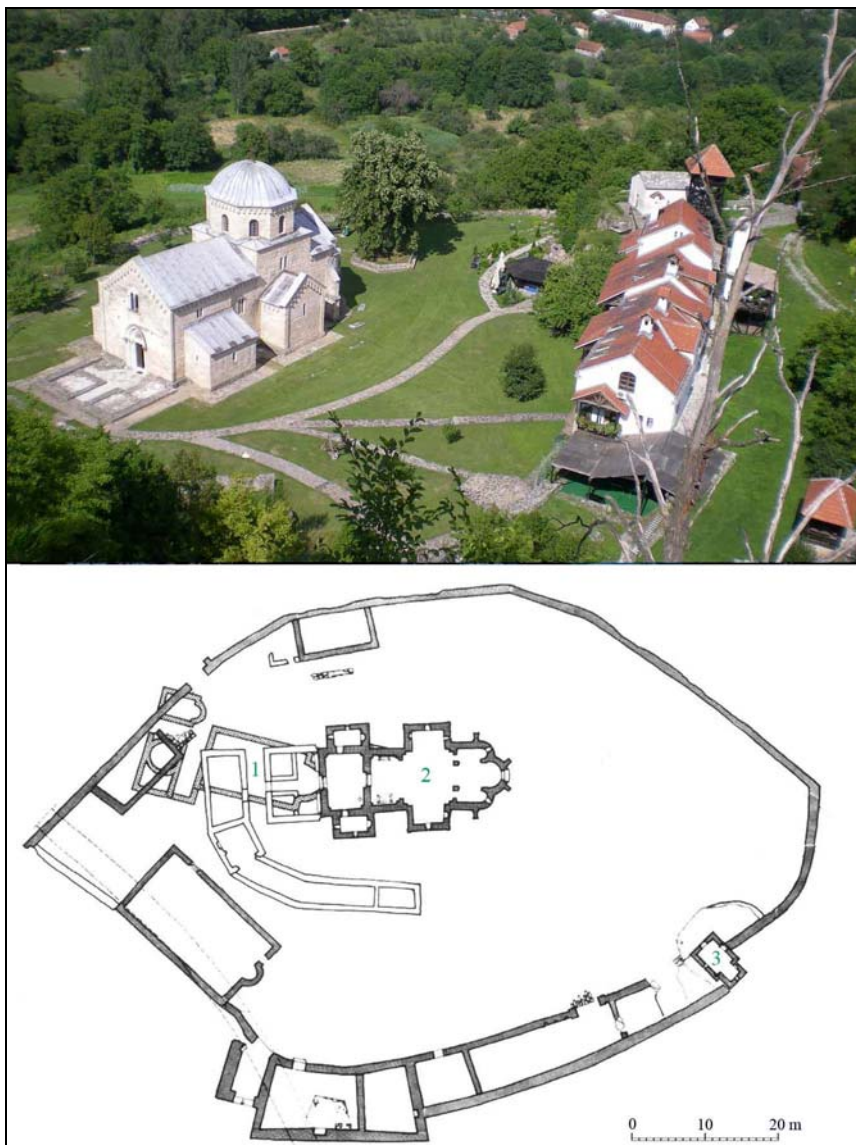
** Рад представља резултат истраживања пројекта 177023, којег финансира Министарство просвете и науке Републике Србије.



Слика 1. Топографски положај манастира Градац (43,366° N, 20,544° E, 583 m н. в.)

Манастир Богородице познат као **манастир Градац** налази се у средишњем делу Србије, 12,5 km узводно реком Брвеницом (у горњем току – Градачка река) од места Брвеник, тј. од Ибарске магистрале (сл. 1). Манастир је женски, али је основан као мушки, не зна се тачно које године: градња манастира је започета за време владавине краља Уроша (владао 1243–1276), а завршена је у последњој четвртини 13. века као задужбина његове супруге, краљице Јелене Анжујске (1236–1314). Историјски подаци су оскудни: манастир је доживео процват у 14. веку, током турске владавине у више наврата је разаран (у 17. веку потпуно је запуство), у 19. веку Богородичина црква била је без сводова и куполе, а околина засута дебелим слојем бујичарског наноса. Републички завод за заштиту споменика културе започео је 1962. обимне радове на обнови и након 13 година рада манастирски комплекс је откопан, истражен и уређен; рестаурисане су Богородична црква и параклис св. Николе, и пронађени темељи ранохришћанског храма (сл. 2) (Кандић О., 2005).

Католикон манастира Градац, **Богородичина црква** (Богородица Градачка), гробна црква краљице Јелене, подигнута је по узору на Богородичину цркву манастира Студеница (сл. 2). Изузетна је међу црквама Рашке школе по томе што осим византијских и романских, укључује и декоративне елементе ране готике. То је једнобродна и једнокуполна грађевина са основом која би могла оквирно стати у правоугаоник димензија 20 m x 26 m. Црквена лађа се састоји од наоса, олтарског простора на истоку и припрате на западу. Припрата је правоугаона, са две капеле, наос чине западни и средишњи травеј са певницама, док се олтарски простор састоји од троделног источног травеја и три апсиде (Кандић О., 2005).



Слика 2. Савремена фотографија (2010) и план манастира Градац из 1981. године – после археолошких истраживања, а пре изградње новог конака (Кандић О., 2005): 1) ранохришћанска црква; 2) Богородичина црква; 3) црква св. Николе.

Црква св. Николе се налази на југоисточном ободу манастира, на стени која надвишава манастирско двориште око девет метара. То је једнобродна грађевина, без куполе, са правоугаоном апсидом, чија се основа уклапа у правоугаоник димензија 7,3 m x 4,5 m. Подигнута је, највероватније, у последњој четвртини 13. века (Кандић О., 2005). Уздужна оса цркве усмерена је ка југоистоку – улаз је на југозападу, а олтар на југоистоку. На основу правоугаоне апсиде, типичне за католичке монашке цркве, претпоставља се да су цркву подигли приморски мајстори за богослужење током градње Богородичине цркве. По настанку и функцији слична њој је црква св. Николе у манастиру Студеница (Чанак-Медић М. и Кандић О., 1995).

Западно од Богородичине цркве виде се остаци темељне зоне зидова **ранохришћанске цркве** која је, вероватно, подигнута у 6. веку у склопу манастира који је претходно Градцу (Кандић, 2005). То је једноставна једнобродна грађевина са полукружном апсидом на истоку, чија се основа може уоквирити правоугаоником диманзија 9 m x 17 m. Зид апсиде сада лежи испод прага главног портала Богородичине цркве.

На плану манастира (сл. 2) уочава се на први поглед да уздужне осе цркава нису паралелне, а посебно је велики отклон осе цркве св. Николе у односу на осе друге две. То није ништа необично (Тадић М., Гаврић Г., 2011) јер Православна црква није унификовала усмерење уздужне осе цркве ка математичкогеографском или равнодневачком истоку: црквено правило једноставно каже – „ка истоку” или „ка изласку сунца” (Мирковић Л., 1966). У складу с тим протомајстор је при усмерењу осе могао да маневрише у широком распону хоризонта који је ограничен тачкама солстицијских изласака сунца (на географској ширини Градца, округло 66°).

Полазећи од тога да је протомајстор морао познавати гномонске методе за одређивање подневачке линије (Тадић, 2004), тј. не доводећи у питање његову стручност, отклон од равнодневачког истока оса цркава манастира Градац (као и било које друге средњовековне цркве) могуће је тумачити на три начина: 1) положај цркве је диктирала конфигурација терена или урбани склоп; 2) оријентација осе има математичкогеографски смисао (оса усмерена ка равнодневачкој или солстицијским тачкама изласка сунца); 3) оријентација осе има соларно-теолошки смисао (оса усмерена ка тачкама изласка сунца да дан који је у црквеном календару посвећен патрону цркве). Предуслов за тумачења наведених неподударности јесте обављање посматрања и мерења на лицу места.

Методe истраживања

Када је у питању оријентација према северу, планови наших манастира, уопште говорећи, нису поуздани и у то се је лако уверити поређењем планова једног манастира. Мало је, на пример, манастира чији је положај у топографском простору тако прецизно приказан као што је то случај са манастиром св. Николе у Бањи код Прибоја (Бунарџић, Р., и др. 2008). Зато је најбоље истраживање засновати на сопственим непосредним мерењима, без знатнијег удаљавања од логике и метода рада средњовековног протомајстора.

1) Географски азимути (A_0) уздужних оса цркава манастира Градац одређени су на два начина: а) мерењем угла (α) који сенка виска заклапа са равни јужног зида цркве у право сунчево подне (Тадић М. и Бабић С., 2010); б) у одређеном тренутку дана (t) на основу азимута сунца (A).

2) Од ранохришћанске цркве откривен је само део северног зида (сл. 7, лево) тако да је азимут њене уздужне осе одређен као збир азимута осе Богородичине цркве измерен гномонском методом и угла ($\Delta A = 17^\circ$) између оса ранохришћанске и Богородичине цркве, који је измерен на плану. Иако план манастира (сл. 2) није прецизно оријентисан према северу угао између црквених оса се могао мерити јер су сви објекти тачно уцртани један у односу на други.

3) Када су тачно измерени азимути, за сваку цркву конструисани су топографски профили по уздужној оси на одговарајућем листу ТК25, с онда су помоћу њих одређене хоризонтске координате (A , h) тачке изласка сунца над стварним хоризонтом у продужетку црквене осе (таб. 2).

4) На крају су, на основу израчунате деклинације сунца (δ), помоћу астрономских ефемерида одређена два одговарајућа датума (Тадић М. и Петровић А.,

2011). Од та два датума, увек се пролећни узима као вероватнији датум заснивања цркве.

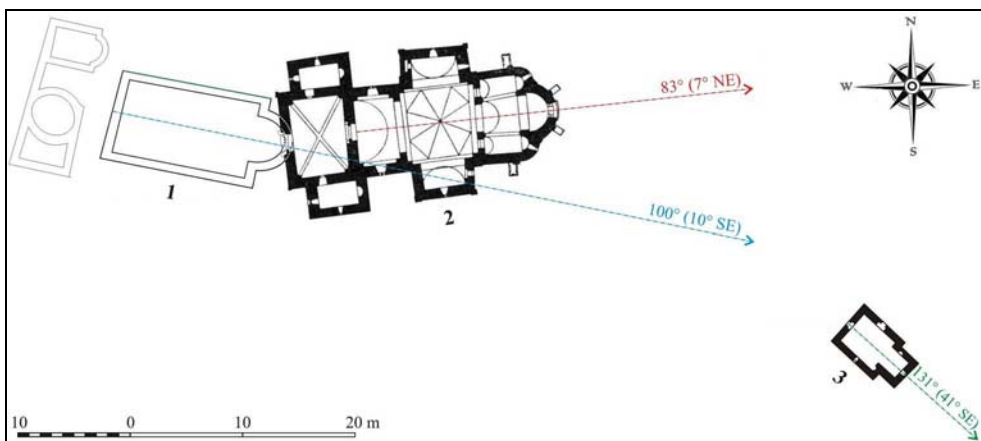
Резултати и дискусија

Гномонска мерења географских азимута цркава манастира Градац обављена су 2. јануара 2012. године (право сунчево подне у 11 h 41 min 34 s, деклинација сунца $\delta = -22,945^\circ$, временско изједначење $e = -3,765$ min) (таб. 1, сл. 3). Код цркве св. Николе мерења угла сенке вршено је на средини јужног зида, а код Богородичине цркве на два места јужног зида, и у самом наосу, у тренутку када на његов под пада сноп сунчевих зрака пропуштен кроз прозор на јужном зиду (таб. 1, сл. 3). На основу тих мерења, даље су за сваку цркву конструисани топографски профили (сл. 4) и одређени одговарајући датуми изласка сунца по оба календара (таб. 2).

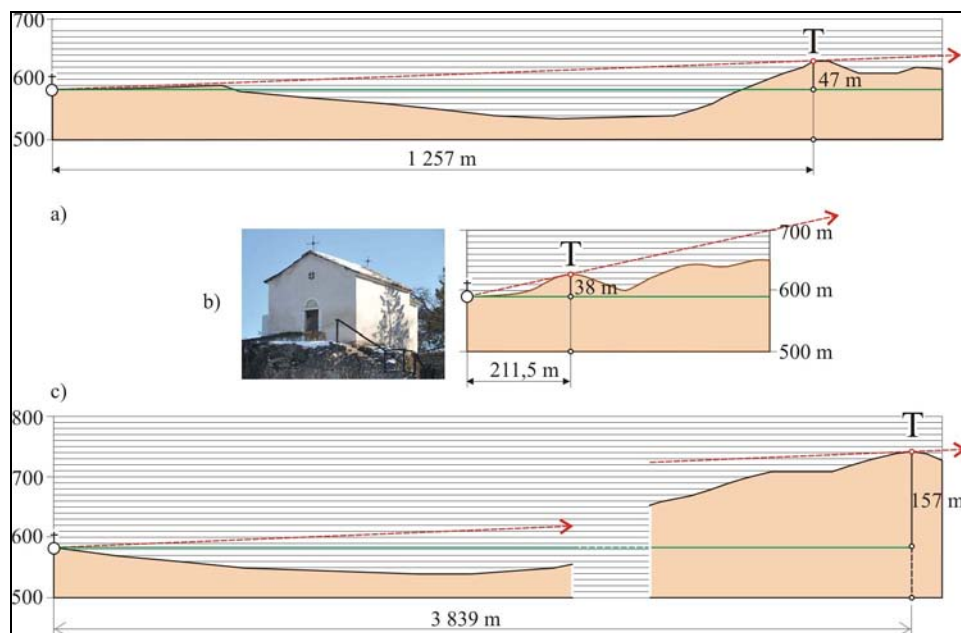
Табела 1. Резултати мерења азимута уздужних оса цркава манастира Градац

Црква	Место мерења	t	α	A	A_0
Богородичина	Јужни зид припрате (певница)	10 h 50 min 22 s	$96,5^\circ$	$166,9^\circ$	$83,4^\circ$
	Јужни зид наоса (западни травеј)	10 h 59 min 12 s	$92,5^\circ$	$169,6^\circ$	$82,1^\circ$
		11 h 41 min 34 s*	$82,5^\circ$	180°	$82,5^\circ$
	У наосу (оса средњег травеја)	12 h 10 min 00 s	77°	$186,8^\circ$	$83,8^\circ$
Св. Николе	Јужни зид (испод прозора)	11 h 13 min 37 s	137°	$173,3^\circ$	$130,3^\circ$
		11 h 41 min 34 s*	131°	180°	131°
Ранохришћанска	Темељ северног зида				100°

* Право сунчево подне



Слика 3. Географски азимут уздужних оса цркава манастира Градац: 1) ранохришћанска црква; 2) Богородичина црква; 3) црква св. Николе.



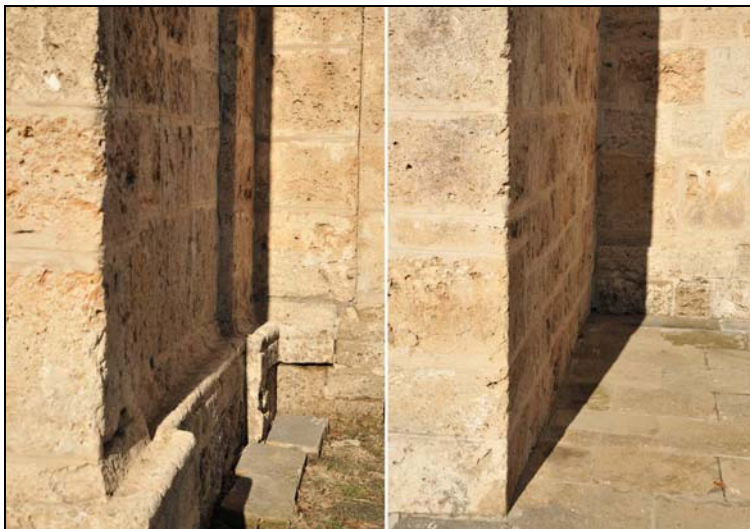
Слика 4. Природни профили дуж оса цркава манастира Градац: а) ранохришћанска црква; б) црква св. Николе; с) Богородичина црква

Табела 2. Датуми у којима сунце излази на пресеку вертикала уздужних оса цркава манастира Градац и стварног хоризонта

Црква	A_0	h	δ	Датуми	
				Грег. календар	Јул. календар
Богородичина	83°	$2,342^\circ$	$6,695^\circ$	6. IV, 5. IX	30. III, 29. VIII
Св. Николе	131°	$10,06^\circ$	$-20,515^\circ$	19. I, 23. XI	12. I, 16. XI
	131°	$11,75^\circ *$	$-19,094^\circ$	25. I, 16. XI	18. I, 9. XI
Ранохришћанска	100°	$2,141^\circ$	$-5,768^\circ$	5. III, 7. XI	3. III, 27. VIII

* Узета у обзир просечна висина дрвећа (6 m)

Богородичина црква. Црква се протеже у дужину око 26 m и очито одступа од правца ка равнодневачком истоку (сл. 3). Гледајући основу од запада према истоку, једно на друго се настављају попречно постављени правоугаоници припрате, западног, средишњег и источног травеја наоса, и полукруг средишње апсиде. Њихове осе нису колинеарне (сл. 5, сл. 6) тако да „... чини се као да је [основа] сва изломљена и као да не постоји прав угао.” (Ненадовић С., 2003, стр. 143). Зато се не поклапају резултати мерења азимута припрате, западног и средишњег травеја; средња вредност је $A_0 = 83^\circ$ (таб. 2). Вертикал уздужне осе пресеца стварни хоризонт у тачки у којој сунце излази око 6. априла и око 5. септембра, односно, по Јулијанском календару, у време градње цркве, око 30. марта и око 29. августа.



Слика 5. Сенке ивице јужне певнице (лево) и јужне капеле (десно) фотографисане тачно у право сунчево подие: доказ да уздужна оса цркве није оријентисана тачно запад-исток, и доказ да осе наоса и припрате нису колинеарне (фото: Д. Смиљковић)



Слика 6. Осе припрате и наоса нису колинеарне (лево), нити је оса дводелног прозора на олтарској апсиди у равни уздужне осе наоса (десно) (фото: Д. Смиљковић)

Ранохришћанска црква. Према измереном азимуту, $A_0 = 100^\circ$, одређени су датуми изласка сунца над стварним хоризонтом у том правцу: 5. март и 7. октобар. Због неправилности зидова темеља (сл. 7, лево), азимут се не може одредити са тачношћу већом од степен-два. Ако је, рецимо, азимут за степен мањи (99°) датуми ће се померити за по два дана према летњем солстицијуму, а при азимуту већем за 1° , за

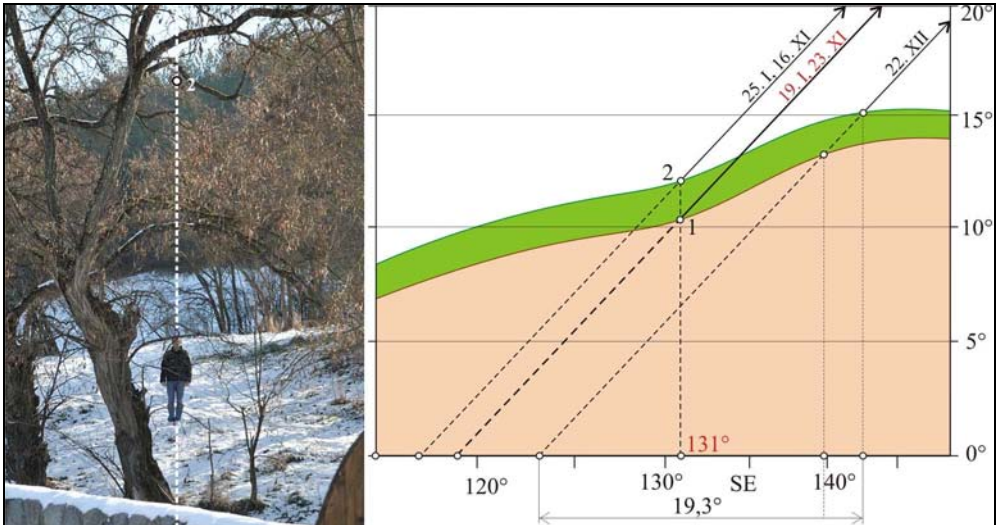
по два дана од летњег солстицијума. Стога је увек боље рећи да сунце излази у том правцу, не 5. марта и 7. октобра, него „око 5. марта и око 7. октобра”.



Слика 7. Темељни део северног зида ранохришћанске цркве испред Богородичине цркве (лево) и црква св. Николе на стеновитом узвишењу (фото: Д. Смиљковић)

Црква св. Николе (сл. 7, десно). Азимут цркве св. Николе износи $A_0 = 131^\circ$, што значи да је њена осе отклоњена 41° од источне тачке ка SE. С обзиром да је максимална јутарња амплитуда сунца на географској ширини манастира Градац $a = \pm 33^\circ 11'$, у први мах би се могло закључити да оса цркве излази ван сектора хоризонта ограниченог солстицијским изласцима сунца. Теоретски јесте тако, док су тачке изласка сунца над стварним хоризонтом, у односу на теоретске, увек померене ка југу, зависно од рељефа у чијем се склопу налази црква. Графички одређено на картометријски конструисаном југоисточном сектору стварног хоризонта цркве св. Николе (сл. 8), то померање износи чак 19° , што значи да оријентација цркве није у супротности са правилом које гласи „према изласку сунца”.

Иако је очигледно да је црква сазирана на невеликој стени и да протомајстор при оријентацији није имао избора, ипак су одређене тачке у којима вертикал осе цркве пресеца стварни хоризонт, и то у две варијанте: са хоризонтом без шумског покривача (стање приказано на ТК 25 из 1980. године) и са шумским покривачем просечне висине 6 m. У првом случају, тражени датуми су 19. јануар и 23. новембар, а у другом случају то су датуми за шест дана ближи летњем солстицијуму (таб. 2, сл. 8).

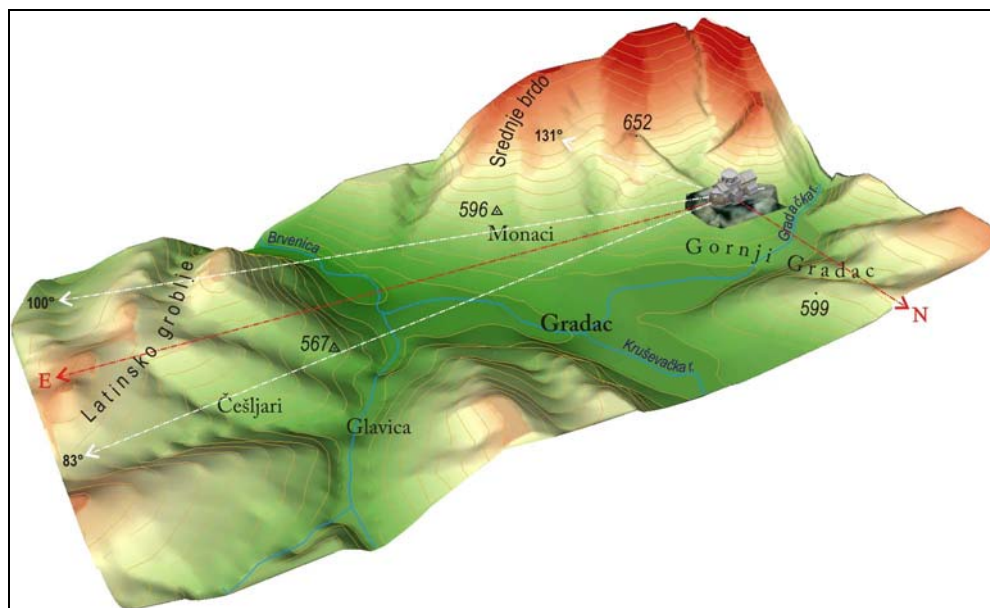


Слика 8. SE сектор стварног хоризонта цркве св. Николе, на фотографији и на цртежу урађеном у ортографској попречној пројекцији: тачка један јесте тачка изласка сунца у продужетку црквене осе на „голом“, а тачка 2, на пошумљеном хоризонту

Теорија о оријентацији црквене осе према тачки изласка сунца на дан патрона цркве давно је разрађена (Nissen, 1906), мада, мора се нагласити, она нема потпору у литургици нити је често и недвосмислено потврђивана приликом егзактних провера на терену (Hoare G. P., Sweet S. C., 2000; Liritzis I., Vassiliou, H., 2007). Следећи ту теорију, истраживачи су неретко „натезали“ резултате, а најбољи пример за то је теорија, боље рећи – бајка, о соларном смислу оријентације старохрватске цркве св. Крста у Нину; мењањем тачке посматрања, аутор (Пејаковић М., 1978) је црквицу искривљених темеља представио скоро као ранохришћански Стоунхенџ. Повезивање геометрије привидног кретања сунца са мноштвом празника у црквеном календару могу се градити примамљива тумачења: померањем стајне тачке од портала до олтара, или мерењем на различитим местима зида, од наоса до нартекса, мења се и ситуација – добијају се нове тачке на хоризонту, нови датуми и нови свеци. Ако би некоме, на пример, био циљ да по сваку цену задиви читаоца скривеним смислом оријентације градачке цркве св. Николе, онда би морао очи затворити пред очигледаним диктатом терена, а затим објашњење везати за 19. јануар, св. Јована и *Богојављење* (сл. 8): није протомајстор цркву на стени поставио како је морао него је, као, њену осу сврсиходно усмерио ка тачки изласка сунца за Богојављења, када се небо отвора, итд.

Закључак

Уздужна оса **ранохришћанске цркве** (6. век) у кругу манастира Градац отклоњена је 10° од равнодневачког истока према SE (сл. 9). У том вертикалу сунце излази над стварним хоризонтом цркве око 5. марта и око 7. новембра. Ако је протомајстор приликом обележавања основе цркве осу усмерио према излазећем сунцу, учинио је то око 5. марта. Ако је бирао дан према патрону, онда је црква била посвећена св. Јовану Крститељу (најближи празник у црквеном календару, 9. март, јесте *Прво и друго обретење главе св. Јована Крститеља*). Томе у прилог иде откриће, западно од цркве, темеља кружне просторије која би могла бити крстионица (сл. 1).



Слика 9. Уздужне осе црква приказане у топографском простору у коме је смештен манастир Градац

Црква св. Николе (13. век) сазирана је на малом простору на врху стене, што је диктирало њену оријентацију. Уздужна оса цркве отклоњена је 41° од равнодневачког истока према SE (сл. 9) али је ипак смештена унутар „сунцеизлазећег“ сектора стварног хоризонта који је због рељефног „заклона“ знатно помакнут ка југу. Тако је црква (иако на први поглед тако не изгледа), оријентисана је у складу са правилом: подигнута је на узвишеном месту и окренута према изласку сунца.

Богородичина црква (13. век) се пружа почевши од обода апсиде ранохришћанске цркве али протомајстор није наставио њену уздужну осу – исправио ју је према равнодневачком истоку прешавши у наосу 7° на другу, летњу страну (сл. 9). У вертикалу те осе сунце над стварним хоризонтом излази око 6. априла и око 5. септембра (по Јулијанском календару, у 13. веку, око 30. марта и око 29. августа). Ако је протомајстор оријентир било излазеће сунце, онда је црква заснована око 6. априла, тј. око *Благовести пресвете Богородице*. А управо је то празник коме је посвећена главна црква манастира Градац.

Дакле, за разлику од параклиса св. Николе чија је оријентација диктирана скученошћу места, у основи оријентације друге две цркве манастира Градац може се говорити о постојању соларног смисла: уздужна оса католикона усмерена је ка тачки изласка сунца на дан Богородичиног празника *Благовести*, коме је католикон и посвећен, док је најстарија градачка црква заснована у првој седмици марта и највероватније била посвећена св. Јовану Крститељу.

Захвалице

Захваљујемо се сестринству манастира Градац на гостопримству и пријатељима Драгану Смилковићу и Војкану Гајовићу на техничкој помоћи.

Литература

- Бунарчић, Р., Бунарчић, М., Дерикоњић, С., Гавовић, П. (2008). *Топографија Полиња, Археологија – Свеска 1* (Topography of Polimlje, Archeology – Tom 1). Београд: Републички завод за заштиту споменика културе.
- Noare G. P., Sweet S. C. (2000). The Orientation of early medieval churches in England. *Journal of Historical Geography*, 26 (2), 162–173.
- Кандић, О. (2005). *Манастир Градац*. Београд: Републички завод за заштиту споменика културе.
- 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.
- Ненадовић, М. С. (2003). *Грађевинска техника у средњовековној Србији*. Београд: Просвета.
- Nissen, H. (1906). *Orientation. Studien zur Geschichte der Religion*. Berlin.
- 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.
- Рејаковић, М. (1978). *Број из свјетлости – старохрватска црква Светог Крџа у Нињу*. Zagreb: Nakladni zavod Matice Hrvatske.
- Мирковић, Ј. (1966). *Православна литургија или наука о богослужењу православне источне цркве – I*, Београд: Српски архијерејски синод СПЦ.
- Тадић, М. (2004). *Сунчани часовници*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Тадић, М. (2006). *Птолемејевска географија*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Тадић, М., Бабић, С. (2010). Оријентација Богородичине цркве манастира Студенице. *Зборник радова наставника и сарадника Географског факултета, LVIII*, 1–10.
- Тадић, М., Петровић, А. (2011). Mathematical-geographical analysis of the orientation of st John's church of the Studenica monastery. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić"* 61(1), 1-11. (Available online at www.gi.sanu.ac.rs)
- Тадић, М., Гаврић, Г. (2011). A mathematical and geographical analysis of the orientation of two early Christian churches in Serbia. *Зборник радова наставника и сарадника Географског факултета у Београду, LIX*, 231–234.
- Чанак-Медић М., Кандић, О. (1995). *Архитектура прве половине XIII века. I, Цркве у Рашкој*. Београд: Републички завод за заштиту споменика културе.

**MATHEMATICAL-GEOGRAPHICAL INTENTION IN ORIENTING
MEDIAEVAL CHURCHES OF THE SERBIAN MONASTERY GRADAC**MILUTIN TADIĆ^{1*}, ALEKSANDAR PETROVIĆ^{1**}¹ *University of Belgrade – Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, 11000 Belgrade, Serbia*

Abstract. The subject of the paper is an exact analysis of the orientation of the Serbian monastery churches: the Church of the Virgin Mary (13th century), St. Nicholas' Church (13th century), and an early Christian church (6th century). The paper determines the azimuth of parallel axes in churches, and then the aberrations of those axes from the equinoctial east are interpreted. Under assumption that the axes were directed towards the rising sun, it was surmised that the early Christian church's patron saint could be St. John the Baptist, that the Church of the Virgin Mary was founded on **Annunciation** day to which it is dedicated, and that St. Nicholas' Church is oriented in accordance with the rule ('toward the sunrise') even though its axis deviates from the equinoctial east by 41° degrees.

Key words. *Mathematical geography, orientation, Serbian mediaeval period, monastery Gradac*

Introduction: Churches of the monastery Gradac

West-east orientation for churches was adopted in the 4th century, during the rule of Emperor Constantine (306–337), and then gradually and unevenly throughout the Christian world: entrance to the church is in the west, altar piece is in the apse on the eastern end of the church's longitudinal axis, so that the congregation faces east in prayer. Theological sense of the eastern orientation is well known (Mirković L., 1966) and does not require further discussion, but the solar sense, however, can be grasped only through an exact mathematical-geographical analysis (Pantazis, G., 2004). In this light, one sees a mediaeval church as a conveyer of information on the builder's knowledge of methods of exact orientation, that is, on the level of mathematical-geographical and astronomical knowledge at the time the churches were built.

When making a mathematical-geographical analysis of the orientation of mediaeval monastery churches in Serbia, the monasteries with several churches, i.e. katholicon and parakklesis, are particularly interesting. Taking into account the churches preserved in their foundations only, the first is the monastery Studenica with its six churches (four within the defensive walls, and two among hermit cells), then follows the Patriarchate in Peć with four churches, the monastery of St. Nicholas in Banja near Priboj and monastery Gradac with three churches each. Parakkleses of the Peć Patriarchate and of Banja make a complex with the katholicon, so that the monasteries of Studenica and Gradac are more suitable for the study of orientation. As opposed to the Studenica monastery, the orientation of the Gradac monastery churches was not studied in detail.

Picture1. Topographical position of Gradac monastery (43,366° N, 20,544° E, 583 m)

Monastery of the Virgin Mary is known as **monastery Gradac**. It is located in the central part of Serbia, 12.5 km upstream the river Brvenica (in its upper part called Gradačka river) from Brvenik town, i.e. from the Ibar highway (picture 1). The monastery is

* tadic@gef.bg.ac.rs; ** apetrovic@gef.bg.ac.rs

** This paper represents research results of the 177023 project, financed by Ministry of science and technological development of the Republic of Serbia

a nunnery, but at the uncertain time it was founded it was for monks: the construction began at the time of reign of King Uroš (ruled from 1243 to 1276), and it was completed in the last quarter of the 13th century as an endowment of his wife Queen Helen of Anjou (1236–1314). Historic data are sparse: the monastery had its heyday in the 14th century. During the Turkish rule it was destroyed several times (in the 17th century it was completely deserted), and in the 19th century the church of the Virgin Mary was without vaults and dome, and its surroundings were covered with thick layer of torrential debris. The Republic Institute for the Protection of Cultural Monuments started in 1962 encompassing reconstruction works and after 13 years of labour the monastery complex was unearthed, examined and arranged; the Church of the Virgin Mary and St. Nicholas' parakklesis were reconstructed, and the foundation of an early Christian church were excavated (picture 2) (Kandić O., 2005).

Katholicon of the Gradac monastery, the **Virgin Mary church**, the Queen Helen's sepulchral church, was erected according to the ideal of the Studenica monastery's Virgin Mary church (picture 2). It is exceptional among churches of the Raška school as it incorporates, beside the Byzantine and Roman elements, some decorative elements of the early Gothic period. It is a single-nave and single-dome construction with the base which could be framed within a rectangle with 20 m x 26 m dimensions. Church's nave consists of a naos, altar space in the east, and narthex in the west. The narthex is rectangular with two chapels, the naos is composed of the western and middle aisle with choir lofts, and the altar space is made up of three-part eastern aisle and three apses (Kandić O., 2005).

Picture 2. 2010 contemporary photography and 1981 blueprint for the Gradac monastery – after archaeological research, but before the new lodgings were built (Kandić O., 2005): 1) early Christian church; 2) the church of the Virgin Mary; 3) St. Nicholas church.

Church of St. Nicholas is at the south-east edge of the monastery, on a nine metres high rock towering over the monastery yard. It is a single-nave construction without a dome, with a rectangular apse whose basis conforms to a rectangle, dimensions of which are 7.3 m x 4.5 m. It was erected most probably during the last quarter of the 13th century (Kandić O., 2005). The church's longitudinal axis is directed towards south-east – the entrance is in the south-west and altar is in the south-east. It is supposed – due to the rectangular apse, typical for Catholic monastic churches – that the church was built by the builders coming from the coastal regions for their religious needs during the construction of the church of Virgin Mary. The church of St. Nicholas in the Studenica monastery is similar in construction and function (Čanak-Medić M. i Kandić O., 1995).

Westward from the church of Virgin Mary we see the remains of the foundational wall zone of **an early Christian church** which was most probably erected in the 6th century as part of the monastery which preceded Gradac (Kandić O., 2005). It is a simple single-nave construction with a semi-circular apse to the east, the basis of which can be framed within a rectangle with dimensions of 9 m x 17 m. The apse wall lies now below the main portal threshold of the church of Virgin Mary.

It is noticeable at first glance at the monastery's blueprint (picture 2) that the longitudinal axes of the church are not parallel, with the particularly notable aberration of the St. Nicholas church's axis as compared to the axes of other two churches. This is not unusual as the Orthodox church did not unify direction of the longitudinal axis for churches according to mathematical-geographical or equinoctial east (Tadić M., Gavrić G., 2011): the church rule simply states – 'towards east' or 'towards sunrise' (Mirković L., 1966). In conformity with this, when determining the axis direction the chief architect could manoeuvre within a wide range of the horizon limited with solstice points of the sun rising (at the geographical width for Gradac, exactly 66°).

Starting from the fact that the chief architect must have known gnomonic methods for determining the noon line (Tadić, 2004), without questioning his expertise, the

aberrations from the equinoctial east of the Gradac monastery churches' axes (or of any other mediaeval church) may be interpreted in three ways: 1) the position of a church was dictated by the terrain configuration or its urban milieu; 2) orientation of the axis has a mathematical-geographical meaning (axis directed towards the equinoctial or solstitial points of the rising sun); 3) orientation of the axis has a solar-theological meaning (axis directed towards the rising sun's points on the calendar day dedicated to the church's patron saint). Prerequisite for the interpretation of the cited aberrations is observation and measurements on the spot.

Research methods

In case of the northern orientation, the blueprints of our monasteries are unreliable generally speaking, which can be easily confirmed if we compare the blueprints for one monastery. There are few monasteries, for example, whose location in the topographical space is as precisely depicted as is the case with the monastery of St. Nicholas in Banja near Priboj (Bunardžić, R., i dr. 2008). It is best to model research on one's own direct measuring, without straying considerably away from the logic and methods of work of a mediaeval chief architect.

1) Geographical azimuths (A_0) of the longitudinal axes of the Gradac monastery churches were determined in two ways: a) measuring the angle (α) made by the plumb line with the plane of the church southern wall at the exact sun noon (Tadić M. i Babić S., 2010); b) at a specific moment during the day (t) based on the sun azimuth (A).

2) In case of the early Christian church only a part of the northern wall was unearthed (picture 7, left) so that the azimuth of her longitudinal axis was determined as a sum of azimuths of the church of Virgin Mary's axis, measured by a gnomonic method, and the angle ($\Delta A = 17^\circ$) between axes of the early Christian church and the church of Virgin Mary, measured on the blueprint. Although the monastery blueprint (picture 2) is not oriented precisely towards north, the angle between the church axes could be measured as all the buildings are precisely drawn in as related to one another.

3) When azimuths were measured accurately, topographical profiles were constructed for each of the churches along the longitudinal axis, on proper sheet TK25, and then by means of them the horizon coordinates were determined (A, h) for the points of the rising sun over the real horizon in the extension of the church axis (table 2).

4) Finally, based on the calculated sun declination (δ), aided by astronomical ephemerides, two adequate dates were determined (Tadić M. i Petrović A., 2011). Out of the two dates, the one falling in springtime is always considered to be the more likely date for the foundation of a church.

Results and discussion

Gnomonic measurements of the geographical azimuths for the Gradac monastery churches were done on 2nd of January 2012 (real sun noon at 11 h 41 min 34 s, sun declination $\delta = -22.945^\circ$, time equalization $e = -3.765$ min) (table 1, picture 3). At St. Nicholas church the measuring of the shadow's angle was done at the middle part of the southern wall, and at the church of Virgin Mary at two points on the southern wall and inside the nave at the moment when the beam of sun rays passes through the southern wall window and falls on its floor (table 1, picture 3). Based on these measurements, topographical profiles for each church were then constructed (picture 4) and corresponding dates of sunrise were determined, according to both calendars (table 2).

Table 1. Gradac monastery churches longitudinal axes azimuth measurement results

Church	Location of measuring	t	α	A	A_0
Virgin Mary church	Southern narthex wall (choir loft)	10 h 50 min 22 s	96,5°	166,9°	83,4°
	Southern nave wall (western aisle)	10 h 59 min 12 s	92,5°	169,6°	82,1°
		11 h 41 min 34 s*	82,5°	180°	82,5°
	Inside nave (middle aisle axis)	12 h 10 min 00 s	77°	186,8°	83,8°
Church of St. Nicholas	Southern wall (below window)	11 h 13 min 37 s	137°	173,3°	130,3°
		11 h 41 min 34 s*	131°	180°	131°
Early Christian church	Northern wall foundation				100°

* *Apparent noon*

Picture 3. Geographical azimuths of longitudinal axes of the Gradac monastery churches: 1) early Christian church; 2) the church of the Virgin Mary; 3) St. Nicholas church.

Picture 4. Natural profiles along axes of the Gradac monastery churches: a) early Christian church; b) church of St. Nicholas; c) the church of Virgin Mary

Table 2. Dates when sun rises at the cross-section of longitudinal axes' vertical lines of the Gradac monastery churches and the real horizon

Church	A_0	h	δ	Date	
				Gregorian calendar	Julian calendar
Virgin Mary church	83°	2,342°	6,695°	6. IV, 5. IX	30. III, 29. VIII
Church of St. Nicholas	131°	10,06°	-20,515°	19. I, 23. XI	12. I, 16. XI
	131°	11,75°*	-19,094°	25. I, 16. XI	18. I, 9. XI
Early Christian church	100°	2,141°	-5,768°	5. III, 7. XI	3. III, 27. VIII

* *Average tree height taken into consideration (6 m)*

The Virgin Mary church. The church stretches at length about 26 m and is obviously deviating from the direction towards the equinoctial east (picture 3). Seeing the base from west to east, transversally positioned rectangles of the narthex, of the western, middle, and eastern nave aisle, and the semi-circle of the middle apse are continuing one upon the other. Their axes are not co-linear (picture 5, picture 6) so that "... it seems as if [the base] is all broken and there is no right angle" (Nenadović S., 2003, str. 143). That is why the measurement results for the azimuths of the narthex, western and middle aisle do not match; the mean value is $A_0 = 83^\circ$ (table 2). The vertical line of the longitudinal axis crosses the real horizon at the point where the sun rises on about the 6th of April and the 5th of September, i.e. according to the Julian calendar at the time the churches were erected, about the 30th of March and the 29th of August.

Picture 5. Shadows of the south choir loft brim (left) and the southern chapel (right) were photographed precisely at the real sun noon: proof that the longitudinal axis of the churches is not oriented west-east precisely, and also the proof that the axes of the nave and the narthex are not co-linear. Photo: D. Smiljković

Picture 6. Axes of the nave and the narthex are not co-linear (left), nor is the axis of the two-part window on the altar apse levelled with the longitudinal axis of the nave (right). Photo: D. Smiljković

The Early Christian Church. According to the measured azimuth, $A_0 = 100^\circ$, the dates of the sun rising over the real horizon in that direction were determined: 5th of March and 7th of October. Due to the irregularities in the foundation walls (picture 7, left), the azimuth cannot be determined with a precision higher than a degree or two. If, for example, the azimuth is one degree lower (99°), the dates would be moved by two days nearer to the summer solstice, and with an azimuth higher by 1° , by two days away from the summer solstice. It is always better to say, therefore, that the sun in that direction rises not on the 5th of March and the 7th of October, but 'around the 5th of March and around the 7th of October'.

Picture 7. Foundation part of the northern wall of the early Christian church in front of the church of Virgin Mary (left), and St. Nicholas church on its rocky knoll. Photo: D. Smiljković

Church of St. Nicholas (picture 7, right). Azimuth of St. Nicholas church is $A_0 = 131^\circ$, meaning that its axis deviates by 41° from the eastern point towards SE. As the maximum morning amplitude of the sun at the geographical width of the Gradac monastery $a = \pm 33^\circ 11'$, one could *prima facie* conclude that the axis of the church goes out of the horizon section which is limited by solstitial risings of the sun. Theoretically it is so, but the points of the sun rise over the real horizon, as compared to the theoretical ones, are always removed towards south, depending on the terrain features where the church is located. Determined graphically on metrically constructed south-east section of the real horizon of the St. Nicholas church (picture 8), the deviation is even 19° , meaning that the orientation of the church is not contrary to the 'toward the sunrise' rule.

Even though it is obvious that the church was erected on a small rock, and that the architect had no choice in orienting it, still the points where the vertical line of the church axis crosscuts the real horizon were determined, and are given in two variants: with a treeless horizon (situation shown in TK 25 from 1980), and with trees of 6 m average height. In the first case, the resulting dates are January 19 and November 23, and in the second one, the dates are six days closer to the summer solstice (table 2, picture 8).

Picture 8. SE section of the real horizon over St. Nicholas church, on the photography and the drawing done in orthographic cross-section projection: point 1 is the point of the sun rise as an extension of the church axis on a 'bare' horizon, and point 2 on an afforested one.

The theory on the orientation of the church axis according to the point of the sunrise on the patron saint's day was elaborated long ago (Nissen, 1906), though we have to point out that it is not corroborated by liturgical theology nor was it often and unequivocally confirmed when tested exactly in the field (Hoare G. P., Sweet S. C., 2000; Liritzis I., Vassiliou, H., 2007). Following the theory, researches more often than not „stretched” their results, and the best example of it is a theory, or rather a fairy tale, on the solar meaning of the orientation of the old Croatian church of the Holy Cross in Nin; changing the point of view, the author (Pejaković M., 1978) presented the church with distorted foundations almost as an early Christian Stonehenge. Linking the geometry of apparent sun orbit with a multitude of holidays in the church calendar one can construe alluring interpretations: dislocating the standing point from the portal to the altar, or measuring on different spots on the wall extending from the nave to the narthex, one also changes the situation – new points on the horizon appear, new dates and new saints as well. If anyone should wish, for example, to astonish the readers at any price with a hidden meaning in the orientation of the Gradac St. Nicholas church, then one would have to turn a blind eye to the striking dictate of the terrain, and then connect the explanation with the 19th of January, St. John, and *Epiphany* (picture 8): allegedly, the church was not placed on the rock in the way the architect had to do it, but he, the story goes, directed its axis purposely toward the point of the sunrise on the day of Epiphany, when the skies open up, etc.

Conclusion

Longitudinal axis of **the early Christian church** (6th century) within the Gradac monastery deviates by 10° from the equinoctial east to SE (picture 9). In that vertical the sun rises over the real horizon of the church around the 5th of March and around the 7th of November. In case the chief architect, at the time he was marking the church basis, directed the church axis toward the rising sun, he did it around March the 5th. If he chose the day appropriate to the patron saint, then the church was dedicated to St. John the Baptist (the

closest holiday in the church calendar, the 9th of March, is *the First and Second Finding of the Head of John the Baptist*). This is also supported by the uncovering to the west of the church of a foundation of a circular room, which could have been a baptistery (picture 1).

Picture 9. Longitudinal axes of the churches depicted in topographical space where the Gradac monastery is located

Church of St. Nicholas (13th century) was erected on narrow space on top of a rock, which dictated its orientation. Longitudinal axis of the church deviates by 41° off equinoctial east to SE (picture 9), but it is still situated within the ‘sun rising’ section of the real horizon which, due to relief ‘shield’, extends to the south considerably. So that the church (albeit it does not appear so at first sight) is oriented according to the rule: it is erected on an elevated spot, and it is oriented towards the sunrise.

The Virgin Mary church (13th century) extends from the edge of the early Christian church apse, but the architect did not continue its longitudinal axis – he aligned it with equinoctial east crossing by 7° in the nave onto the other, summer side (picture 9). The sun rises in the vertical of the axis over the real horizon around April 6 and around September 5 (according to the Julian calendar in the 13th century, around March 30 and around August 20). If the architect used the rising sun as the landmark, then the church was founded around the 6th of April, i.e. around the Annunciation of the Blessed Virgin Mary. That is precisely the holiday to which the main church of the Gradac monastery was dedicated to.

So, as opposed to the parakklesis of St. Nicholas church, whose orientation was dictated by narrow space, basically the orientation of other two churches in the Gradac monastery point to the existence of a solar meaning: longitudinal axis of the katholicon is directed towards the point of sun rise on the day of Virgin Mary’s holiday of *Annunciation*, to which the katholicon is dedicated, while the oldest among the Gradac churches was founded during the first week of March, and it was most likely dedicated to St. John the Baptist.

Acknowledgements

We extend our thanks to the sisterhood of the Gradac monastery for their hospitality, and to our friends Dragan Smiljković and Vojkan Gajović for their technical support.

References

See References on page 151.