

Прегледни рад, рад примљен: март 2020., рад прихваћен: мај 2020.

Ивица Марковић*

АПСТРАКТ

Конструкција и функција зиданог *пандантифа*, дефинисаног као троугаони исечак сфере, предмет су бројних истраживања. Међутим, његова генеза и само појмовно одређење и даље изазивају недоумице. Стога рад у првом реду разматра порекло, развој и примену овог конструктивно, акустички и естетски функционалног елемента, који се у црквеној архитектури најчешће користи као конструктивни прелаз са кружне основе куполе на квадратну основу тела грађевине. Осим тога, рад преиспитује и проблем терминологије, уочен у нашој и страниј литератури, и даје преглед конструктивних склопова у које се укључује предметни сферни елемент. Рад је усредсређен само на пандантифе зидане опеком са кречним малтером, те проучава њихову морфологију, начин извођења, статичка својства и структурални садржај. Циљ је да се кроз историјску анализу приближимо одговору на питање: како је и када пандантиф настао и које су главне линије његовог развоја. Да ли му је порекло оријентално (блискоисточно), хеленистичко или римско-латинско, односно да ли је настао као резултат прожимања ових утицаја и нормативно уобличен у периоду од IV до VI века? Спроведена је и типолошка анализа узорних модела у циљу разумевања трансформације метода пројектовања, од тромпи, преко лоптастог свода, ка куполи на пандантифима. Примери коришћења пандантифа пре цариградског храма Свете Софије из VI века указују на то да су његови градитељи имали претходнике, али им неспорно припадају заслуге за прву употребу овог решења у изузетно великој размери.

Кључне речи: пандантиф, тромпа, лоптасти свод, купола, конструктивни елементи, ранохришћанска архитектура

ABSTRACT

The construction and function of the masonry *pendentives*, defined as a triangular section of a sphere, have been extensively examined. However, its genesis and the very

conceptual definition continue to raise doubts. Therefore, the main topic of this paper is the origin, development and application of this constructively, acoustically and aesthetically functional element, which is the most commonly used in church architecture for the constructive transition from the circular base of the dome to square body of the building. The paper examines the problem of terminology, noted in our and foreign literature, and gives an overview of constructive assemblies in which this spherical element is included. The paper focuses only on brick and lime mortar pendentives and examines their morphology, method of execution, static properties and structural content. The goal is that through historical analysis, research bring us closer to the answer: how and when did pendentive occurs and what are the main lines of its development? Was it Middle Eastern, Hellenistic or Roman in origin, and was it result of pervasion of all those influences and normatively shaped in the period from the IV-VI centuries? A typological analysis of sample models was also conducted to understand the transformation of design methods, from squinches through a sail vault to a dome on pendentives. Examples of the use of pendentives before the Hagia Sophia from the sixth century indicate that its builders had predecessors, but they undoubtedly deserve the credit for the first use of this solution on such a large scale and so extraordinarily constructive and artistically composed.

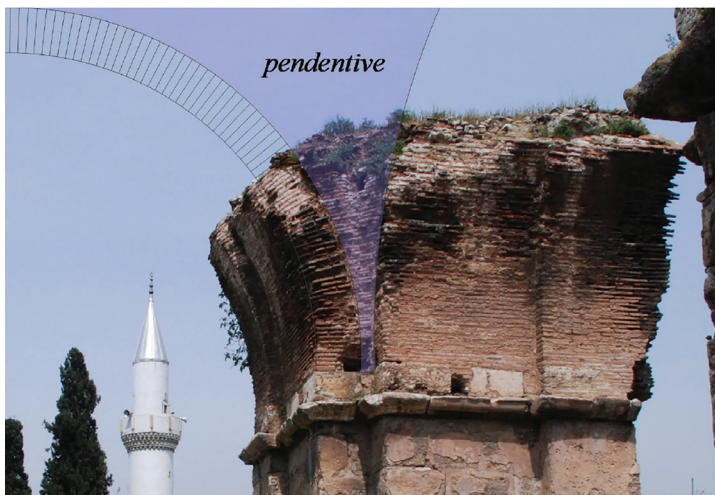
Key words: pendentive, squinch, sail vault, dome, structural elements, Early Christian architecture

УВОД

Једно од најмонументалнијих, а уједно и најелегантнијих замисли читавог градитељства – купола над *пандантифима*¹ храма Свете Премудрости у Цариграду (*Αγία Σοφία*, 537-563), дело Исидора (*Ἰσίδωρος ὁ Μιλήσιος*), Антемија (*Ἀνθέμιος ὁ Τραλλιανός*) и Исидора Млађег (*Ἰσίδωρος ο νεότερος*) – и даље одолева сеизмолошки и историјски изразито турсном терену. И данас је несхватљиво како је било могуће подићи здање са куполом изузетних размера само од опеке и кречног малтера и како је потом, на

* Ивица Марковић, дипл. инж. арх. и маг. теол, Епархија бачка, ivica.milutin.markovic@gmail.com

¹ фра. *pendentif*, рус. *напус*, енг. *pendentive*



Сл. 1: Црква Св. Јована у Филаделфији (Алашехир, крај VI века), остаци пандантифа
Fig. 1: Church of St. John in ancient Philadelphia (Alaşehir), remains of a pendentive

самом прагу средњег века, инжењерство сасвим застало у свом развоју, ограничавајући се само на знатно умањене реплике овог предлошка.²

Владајуће уверење је да се пандантифи не јављају пре VI века (нпр. Mainstone, 2001:216), међутим, ова тврдња зависи од тога шта заиста подразумевамо под тим појмом.³ У најкраћем, пандантиф је троугласти сферни елемент, сферни исечак дефинисан са три полулука и у архитектури служи као геометријски прелаз са кружне основе куполе на квадратну основу тела грађевине (Сл. 2-4).⁴ Међутим, чини се да у стручној литератури влада извесна несагласност око оваквог терминолошког одређења.⁵

Што се тиче порекла и типолошког развоја пандантифа пре Свете Софије у Цариграду, историјски подаци су оскудни или непоуздани, а и археолошка тумачења наилазе на бројне тешкоће. Први проблем је што је то рушењу склон сводни елемент од опеке, веома сродан куполи или конхи са чијим остацима се може лако помешати. Друго, без обзира што су пандантифи у многим случајевима очувани, не може се са сигурношћу тврдити у каквом просторном и конструктивном склопу су били саграђени (Karydis, 2012:13), као сегмент давно срушене сферне конструкције или независан од ње. Треће, сама крстообразна или квадратна основа сакралног објекта из одређеног периода, поготово V-VI века, може да наведе и најпризнатије истраживаче да предложи постојање куполе и пандантифа, притом не знајући засигурно да ли је грађевина уопште била засведена, купола зидана и, можда, подржана тромпама.⁶

Поред тога, пандантифом као конструктивним, обликовним и симболичким елементом осим археолога баве се историчари уметности, архитекти и грађевински инжењери, али и теолози, јер је постао важан структурални елемент и обликовни мотив сакралног градитељства, поготово православног. Иоле валидан осврт на литературу публиковану о куполи у чијем склопу је обрађиван и пандантиф био би преопширан, стога се морамо ограничити на ужи, најзначајнији, библиографски избор, коришћен у овом раду. Предузета је и архитектонска анализа у циљу геометријског, морфолошког и типолошког дефинисања посматраних елемената и њихове улоге у систему, а дата су и конструктивна својства пандантифа: анализа оптерећења, методе зидања и употребљено градиво.

Предузето истраживање би требало да нас приближи одговору на питања: шта је пандантиф, које је његово место у склопу конструкције, како је и када настао, односно требало би да испита да ли је црква Св. Софије у Цариграду била логичан производ историјског континуитета, круна и врхунац развоја, или пак почетак, изум Јустинијановог времена.

ПОЈАМ, ФУНКЦИЈА И СТРУКТУРА ПАНДАНТИФА

Конструисање тромпи и пандантифа

Када је потребно покрити простор квадратне основе структуром правилне кружне базе појављује се проблем преноса оптерећења, јер се у ортогоналној пројекцији додирују у свега четири тачке: на тангентима које су уједно и странице квадрата у који је уписана кружница горње конструкције (Сл. 2, тачке E, F, G, H).

Најпростије, али тек приближно решење је постављање греда преко углова. Међутим, тако настаје осмоугаона основа, а не кружна. Далеко сложенији и тачнији метод је премошћење угаоних ниша луком, уместо гредом (Сл. 3.1). Овај конструктивни елемент, назван *тромпе*, може бити различит, али је најчешће, као у месопотамској архитектури,

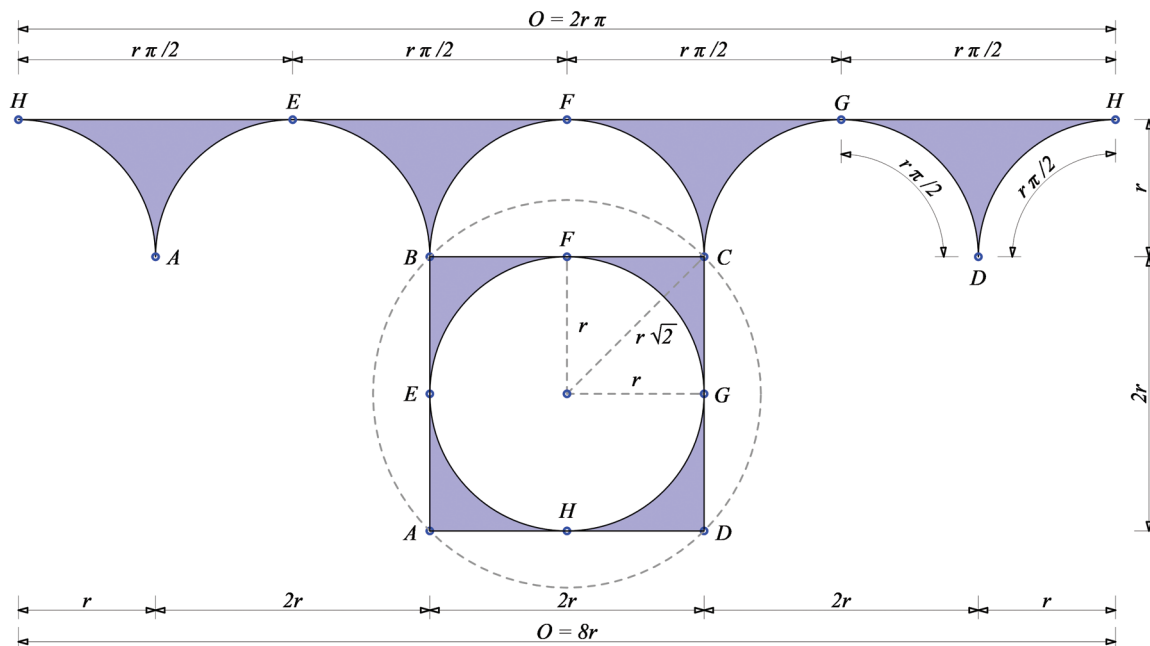
2 Тек читав миленијум касније Браманте (Bramante), Сангало (Giuliano da Sangallo), Рафаело (Raffaello Sanzio) и Перуци (Baldassarre Peruzzi) изградиле нешто веће зидане пандантифе, користећи за градиво базилике Св. Петра у Риму махом травертин (бигар) (Mainstone, 1999:21-22).

3 Паладио је (Andrea Palladio) разликовао сводове изнад квадратне основе са куполом као *volto a cupola* и *volto a cadino*, али није најјасније шта је конкретно подразумевала та разлика (Paladio, 2010:128, 130, 140).

4 Основа базе може бити и правоугаоник, или полигон, најчешће осмоугао.

5 О несагласју англоамеричких научника у разликовању „куполе са пандантифима“ инхерентним њеној геометрији, од „куполе над пандантифима“ види у: Yoshitake, 2013:2387-2388; Lancaster 2015:72.

6 Нпр. крстионица у Стобима (Вошковић, 1962:18-19), епископска црква у Царичином граду код Лебана (Kondić, Popović, 1977:25-27, 30-31), базилика Б у Филилима (Кавала) (Čurčić, 2010:207-208), црква Св. Јована у Филаделфији (Алашехир) (Сл. 1; Karydis, 2012:13).



Сл. 2: Ортогонална пројекција пандантифа
Fig. 2: Orthographic projection of pendentives

сасвим прост, у облику положеног полукупастиг свода (половина конуса). Тромпа, као додатни угаони свод, такође трансформише квадратну основу у октоagonalну, тако да су потребне корективне структуре не би ли се приближили кругу. У пракси се то чини додавањем мањих тромпи, или путем сферних одсечака, пандантифа (Сл. 3.1).

Као неупоредиво естетски елегантније и конструктивно логичније решење временом су пандантифи, сводни исечци разапети у празном простору између обимне кружнице

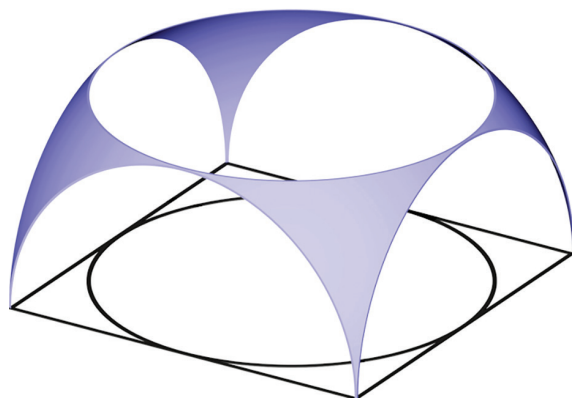
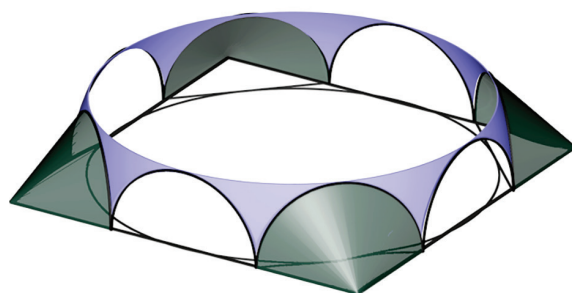
куполе и подужних и попречних лукова над квадратном основом, преузели улогу преноса оптерећења са куполе на четири ослонца тела грађевине (Сл. 3.2). Конструисање пандантифа се врши тако што се прво око квадрата опише круг и над њим дефинише сфера чија је висина половина дијагонала квадрата (4.1). Потом се вертикално исече са четири равни над странама квадрата, чиме се добија лоптасти свод са четири лука висине пола странице квадрата (4.2). Када се пресеке са хоризонталном равни у висини темена лукова преостаће нам четири правилна сферна троугла, налик на једра – предмет нашег истраживања.⁷ Ако се над њима формира нова сфера чија је основа круг уписан у квадрат (4.3) добијамо куполу над пандантифима (Сл. 2-4) (Bošković, 1962:25-26; Gvozdanović, 1964:264-265; Brunov, 1966:55; Kurtović-Folić, Folić, 1995:164; Nenadović, 2003:202-205).

Терминолошко одређење

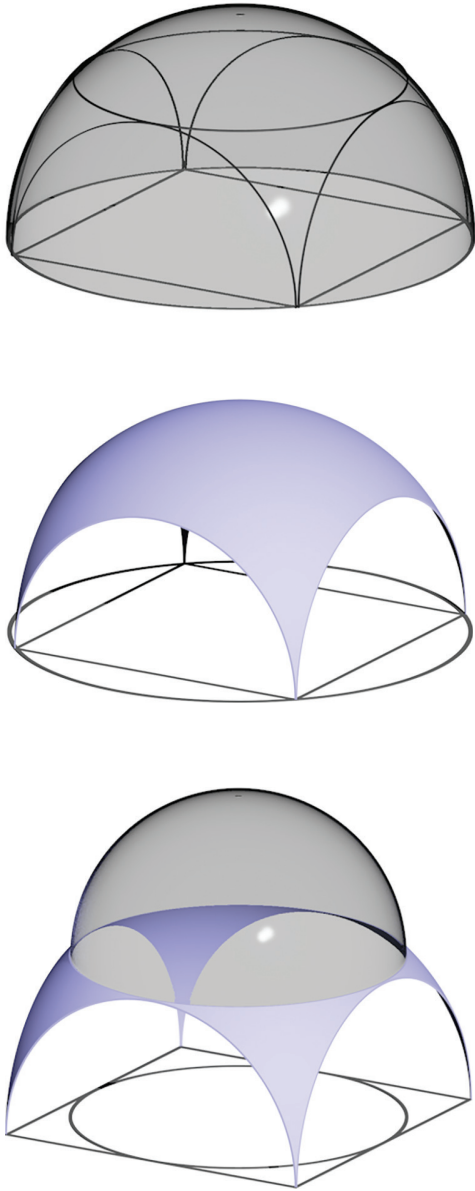
Поставља се питање шта све можемо назвати пандантифима? У стручној литератури се углавном разликују случајеви када су они дефинисани независно, од оних када су интегрисани у већу сферну површину.

Лоптасти свод. Најважнији пример налазимо код свода где је полусфера постављена на квадратну основу тако да је описује (пречник је једнак дијагонали квадрата), при чему се изграђују само они делови свода унутар линије квадратне базе. Сферична површина овог типа се може рашчланити на калоту (у горњем делу) и пандантифе (у доњим угловима),

⁷ Заправо, то је шест сечења лопте равнима, по пар у свака од три ортогонална правца (Сл. 4.1).



Сл. 3: Тромпе (сива) и пандантифи (плава) (3.1); Пандантифи (плава) (3.2)
Fig. 3: Squinches (grey) and pendentives (blue) (3.1); Pendentives (blue) (3.2)



Сл. 4: Конструисање пандантифа (4.1); Лоптасти свод (4.2); Купола над пандантифима (4.3)
Fig. 4: Construction of pendentives (4.1); Sail vault (4.2); Dome on pendentives (4.3)

прстен, који може да буде и сасвим издужени цилиндар са прозорима – *тамбур*, а потом се на њему изграђује калота, најчешће полулоптаста.¹² Конструктивни склоп се у литератури назива и *византијски свод*¹³ по култури и времену у којима је настао, али најчешће се именује као *купола на (над) пандантифима* (Сл. 4.3, 5.2, 7).¹⁴

Чешки свод. У наведеним типовима куполе са пандантифима примењен је онај идеални облик, у естетском и структуралном смислу, у коме се пречник сфере и дијагонала квадрата подударују (Schibille 2014:57–58). Када није такав случај, користи се термин *чешки свод*, или *чешка капа* (нем. *Böhmische Kappe, Stutzkuppel*), који уједно означава и *плитке куполе* – блаже стреле лучног пресека од полукружног – нарочито оних основе правоугаоника, због неједнаких страница. То је заправо исечак лоптастог свода (Krstić, 1963:54-55, Сл. 2; Müller, Vogel, 1974:48-49; Peulić, 2002:365, Сл. 706). Међутим, сами Чеси такав свод називају *пруски*, док под *чешким* (чеш. *česká klenba*) подразумевају сваки сферни свод изнад квадрата, тј. лоптасти свод (Šefců, 2012:37-38).

Дакле, овде можемо разликовати две куполе: *са пандантифима* (лоптасти и чешки свод) и *над пандантифима* (византијски свод).

Структура и прорачун

Римски градитељ Витрувије (Marcus Vitruvius Pollio) у својој књизи *О архитектури* јасно прописује да у случају храмова кружне основе висина лука куполе мора бити једнака полупречнику кружне основе читаве грађевине, а исто важи и за куполе јавних купатила (Vitruvije, 2009:134, 154). Премда је античка естетика захтевала овакве пропорције, византијски градитељи су из статичких разлога¹⁵ ипак скраћивали стрелу лука на мање од полупречника, али до одређене границе. Наиме, знали су да се, услед доминантне сопствене тежине и тежине кровног покривача и снега, силе у куполи мењају из притиска у затезање, почев од угла 51°49' (51,82°) који лук затвара са вертикалном осом у екваторијалном правцу, наниже (Сл. 5.1). Како је употребљеном материјалу отпорност на затезање управо најслабије својство, трудили су се да прекину простирање

али се та подела сводног платна, налик на квадратно *једро*, заправо не види (Сл. 4.1, 4.2, 6). Сводна конструкција овог типа у литератури има веома различите називе, али их можемо свести на свега неколико: *пандантифна купола*,⁸ *висећа купола*,⁹ *једрећи свод*,¹⁰ као и *лоптасти свод*,¹¹ како ћемо је, ради прегледности, звати у даљем тексту.

Купола на (над) пандантифима. Други случај не изазива толико забуне у терминологији, јер га само име које се користи боље описује. Наиме, у питању су четири пандантифа на чијој се заједничкој горњој хоризонталној кружници (ортогонално уписаној у квадрат) додаје ојачани

8 Енг. *pendentive dome*, рус. *парусный свод* (Gvozdanović, 1964: 265; Milonov, 1966:177-178; Krautheimer, Ćurčić, 1986:238-239, 520; Ching, 1995:61; Ćurčić, 2010:110; Karydis, 2012:9, 13; Lancaster 2015:72), *купола са интегрисаним пандантифима* (Mainstone, 2001:123; Lancaster 2015:72).

9 Нем. *hängekuppel* (Müller, Vogel, 1974:48-49).

10 Лебеђи, пловехи, према: *једро*, енг. *sail vault*, ита. *volta a vela*, рус. *парусный свод* (Krautheimer, Ćurčić, 1986:238, 520; Lancaster 2015:72).

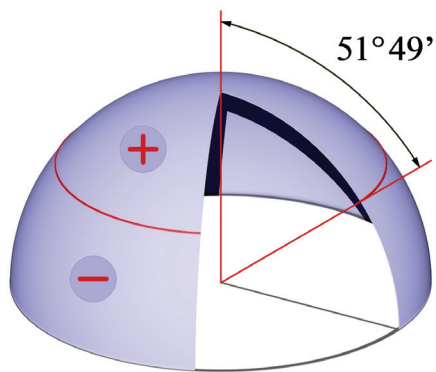
11 (Bošković, 1962:25; Krstić, 1963:52-53, Сл. 2), *лоптаста купола* (Peulić, 2002:364, Сл. 703), *сферни свод* (сферични, фра. *voûte sphérique*) (Ching, 1995:61; Bjelić, 2016:93-96), *кугласти свод* (Bjelić, 2016:193, 375).

12 Тамбур и калота чине *кубе*, готово незаменљиви елемент средњовековног сакралног градитељства (Nenadović, 2003:194, 202-205).

13 Или, купола (Krstić, 1963: 54-55, Сл. 1; Peulić, 2002:365, Сл. 704).

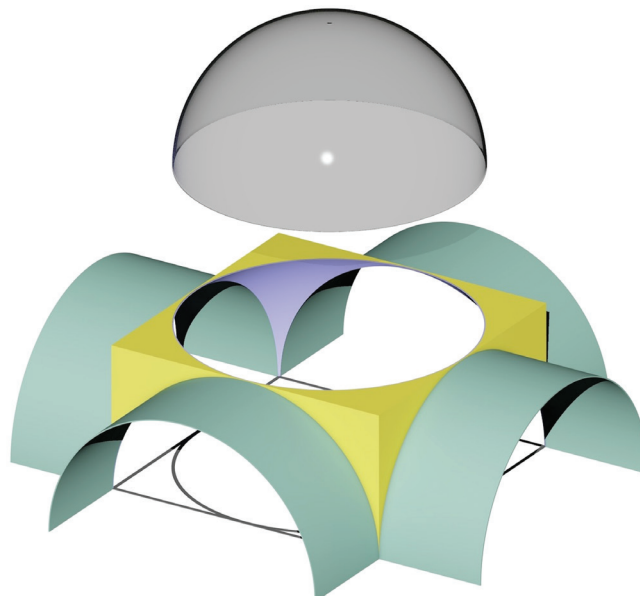
14 Или, *над/са* пандантифима (Bošković, 1962:25; Gvozdanović, 1964:264-265), енг. *dome on pendentives* (Krautheimer, Ćurčić, 1986:238-239, 520; Ćurčić, 2010:187; Karydis, 2012; Lancaster 2015:72, Fig. 43), нем. *kuppel über pendentifs, pendentifkuppel* (Müller, Vogel, 1974:48-49), рус. *купол на парусах* (Milonov, 1966:178).

15 Сматрајући их Божијом креацијом, Хришћанска естетика је усклађена са природним законима (дакле и статичким), којима господари Пантократор (Христос Сведржитељ), изображававан у темену куполе, види нпр. у: Schibille 2014; Marković, 2018b:55-56; 2019:196. Слично се, наравно, може рећи и за античке градитеље, али они се, тежећи идеализацији форме, нису толико руководили теолошким обзирима.



Сл. 5: Напрезања у куполи (5.1); Потпорни елементи византијског пандантифног склопа - подужни и попречни лукови или сводови (зелено), кубично постоље које обухвата пандантифе са спољашње стране (жуто) (5.2)

Fig. 5: Stresses in the dome (5.1); Supporting elements of the Byzantine pendentive assembly - longitudinal and transverse arches or vaults (green), cubic pedestal enclosing outside pendentives (yellow) (5.2)



куполе до назначене границе, формирајући испод ње снажан конструктивни прстен. Динамичке хоризонталне силе (ветар, земљотрес) пак изазивају силе смицања и у меридијалном и екваторијалном правцу и могу имати оба предзнака (+,-). Због распореда статичких сила које одговарају тежњи куполе да се „спљошти“ у кружницу, у њеном подножју на старим грађевинама скоро по правилу се формирају напрслине, које најчешће нису опасне. У овој зони је могуће формирати прозорске отворе једнако распоређене дуж читавог обима, што ћемо видети на примеру Св. Софије у Цариграду. Најбоље ћемо ово илустровати ако куполу замислимо као линеарни лучни носач, заправо мноштво лукова ротираних око заједничке централне осе и са заједничким теменом (Kurtović-Folić, Folić, 1995:162).

Стабилност посматраних купола је најчешће додатно обезбеђена помоћу четири полукружна лука или полуобличаста свода, који су подупирали пандантифе у правцу чеоних лукова, док су са спољне стране ради баланса оптерећивани додатним материјалом, уметаним хоризонтално у виду испуне у правцу ослонаца и формирајући кубично постоље куполе, гледано споља (Сл. 5.2). Пандантифи су тако били оспособљени да делују као потпорни лукови и у хоризонталној и вертикалној равни, равномерно преносећи оптерећење на четири ослонца испод њих (Milonov, 1966:178; Mainstone, 2001:123, 216, 207, Fig. 12.1a). У лоптастом своду пандантифи делују као интегрални део куполе већином у зони затезања, док је калота у зони притиска.

У склопу прорачуна путем идеализације геометрије важно је знати да се, осим као лук, зидана купола понаша и као мембрана. Дебљина античких и средњовековних купола је константна дуж читавог пресека и била је благо предимензионисана, чинећи од 1/10–1/15 полупречника (Kurtović-Folić, Folić, 1995:160; Radivojević, 2004:21; Bjelić, 2016:88-89).

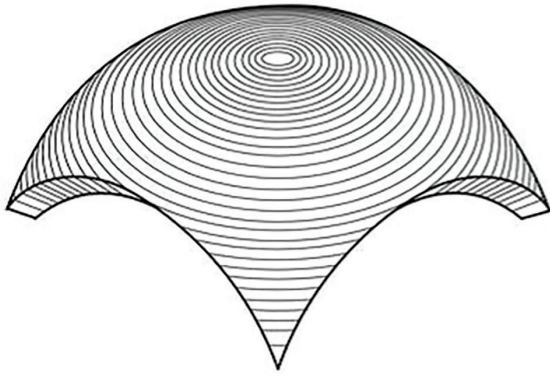
Начин извођења

Византинци су унапредили технику зидања сводних конструкција у односу на римске градитеље, тако да су веома смањени припремни и помоћни рад и употреба дрвне грађе за специфичне оплате лучних носача, раније неопходне за ливене конструкције.¹⁶

Пандантифи, на пример, оивичени луковима и венцима, уопште нису захтевали оплату, јер се у већини ових конструкција слојеви од опеке не полажу радијално у односу на центре кривине већ скоро хоризонтално, под благим нагибом, са редовима који се поступно препуштају. Генерално, у Византији и земљама под њеним културним утицајем, као што је средњовековна Србија, куполе и конхе су зидане опекама у кружним слојевима формирајући хоризонталне прстенове. Мањи распони 2-3 m могли су се премостити и без оплате зидањем „из руке“, помоћу летве вођице ротиране око центра, јер су се редови на кружници сами држали малтером и међусобним притиском опека (Сл. 1, 6.1) (Fletcher, 1905:195; Krstić, 1963:52; Ousterhout, 1999:226; Nenadović, 2003:195, 204, 226; С. 294-295; Karydis, 2012:13-18).

Лоптасти свод је такође зидан на овај начин (као и калота), или у редовима започетим лучно под нагибом са суседних прислоњених лукова, тако да су сводне равни међусобно чинили дијагонални шавови између редова, налик на крстасти свод. Овај метод је био чешћи за зидање каменом и такође смањује употребу оплате (Сл. 6.2; Bjelić, 2016:294-296). Трећи, доста ређи, тип зидања формира лепезасто зидане редове у облику „ласта“, као што је у конструкцији куполе Диоклецијановог маузолеја у Сплиту (Krstić, 1963:55; Ćurčić, 2010:41, Fig. 30; Lancaster, 2015:95, Fig. 64).

¹⁶ Дрво је могло бити коришћено у куполама, али за то немамо непосредних доказа. Чамовина је сасвим солидно градиво за пандантифе, који више трпе затезање од калоте.



Сл. 6: Два најчешћа начина зидања лоптастог свода

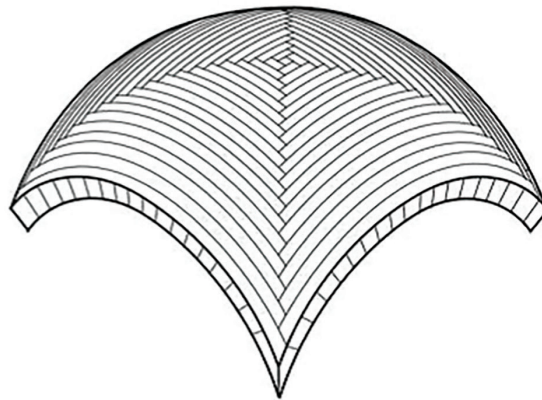


Fig. 6: Masonry methods of sail vault: Radial brick (6.1); Pitched brick (6.2)

Последица византијског зидања пандантифа уз минимум оплате је веома честа појава њиховог неправилног облика кроз читав средњи век, јер се, идеално замишљени као „сферни троуглови“, ретко подударају са тако захтевном геометријом (Ousterhout, 1999:226-227).

Градиво

Најчешћи материјал примењиван за засведене масивне конструкције дуж античког римског и ранохришћанског периода је опека повезана кречним малтером. Ређе у куполама виђамо римски бетон,¹⁷ камен¹⁸ и шупље грнчарске елементе. Сви ови материјали имају изражену чврстоћу на притисак, а малу на затезање и остала динамичка оптерећења, стога су захтевали појачано димензионисање конструкције што је подразумевало и веће сопствене тежине. Римљани су веома брижљиво припремали градиво и прописивали су да, пре уградње, опека треба да одлежи најмање две, а гашени креч три године (Nestorović, 1962:420, нап. 1; Mainstone, 2001:117-123; Kurtović-Folić, Folić, 1995:148-149; Radivojević, 2004:65, 73, 86).

Малтер

Витрувије саветује за печење чвршћи камен ако ће се креч користити за зидање, а уколико је за малтерисање, камен може бити и порознији. У оба случаја размера

малтера је 1:3, с тим да уместо речном, предност треба дати мајданском песку, јер се брзо суши и повољнији је за сводове (Vitruvije, 2009:83-85). У конструктивном смислу, трајност, као и чврстоћа кречног малтера на притисак и затезање неупоредиво је мања него опеке и камена, стога у куполном склопу стабилност зависи од међусобне притиснутости елемената услед њихове тежине (в. Radivojević, 2004:37-39; Bjelić, 2016:57-59). Малтер који се састојао од креча и пуцоланског агрегата у размери 1:2, или 1:1, био је доста чвршћи. Међутим, његова лежишта у региону Везува су неповратно прешла у оквир остроготске власти крајем V века (Milonov, 1966:170), због чега ће кречни малтер остати основни везивни материјал у пандантифима и током средњег века.

Опека

Опека као грађевински материјал егзистира веома дуго. Појављује се још током IV миленијума старе ере. у Месопотамији, богатој глином, а сиромашној каменом и квалитетном дрвном грађом. Првобитна опека је заправо била непечена - ћерлич - укалупљена глина (иловача), понекад помешана са сламом, сушена природним путем. Ова технологија је од стране римских градитеља сасвим сигурно напуштена најкасније у II веку, јер у археолошким ископинама Помпеје налазимо само печену опеку (Bošković, 1962:24; Nestorović, 1962:420). Премда су се у источним крајевима Римског царства континуирано градиле сводне конструкције од опеке, истина скромнијих размера, у раном III веку већ је подигнута монументална купола на кружној основи Галеријевог царског маузолеја у Солуну, распона 24,5m (Mainstone, 2001:123).

Византија је преузела опеку као основни материјал, али изгледа да није успела да наследи и стандарде квалитета. Колико год су могли, користили су стару опеку прибављену

¹⁷ *Opus caementicium* (лив) је мешавина дробљеног камена и посебног кречног малтера, добијеног уз примесу вулканског песка (пуцолана). Бетон није умешан пре уградње као данас, већ је добијен слојевитим полагањем компоненти у оплату. Највеће достигнуће ове технологије је римски Пантеон, чија купола, пречника 43,4 m, стоји до данас (Milonov, 1966:161).

¹⁸ За разлику од дробљеног, у римској архитектури купола, тесани камен је веома ретко употребљаван, у византијској још ређе. Најбоље очувани пример – уједно и највећег распона, око 15m – јесте лоптасти свод Западних терми у античко-сиријској Гераси (данас Jerash, Јордан) с краја II века (Nestorović, 1962:428-429; Mainstone, 2001:120-123, Fig. 7.9; Radivojević, 2004:73, 78).

са античких рушевина, а у сопственој производњи прибегавали су смањивању димензија. Према Милонову (Юриј Милонов), ширина и дужина опеке су смањене са око 55-60 на 35-40cm, а дебљина са 7,6–7,9 на 5cm, па и мање. Ово се може тумачити као резултат регресије технике производње опеке, мање ригорозне селекције глине и примеса у њој, те мање темељног мешања. Ово смањење величине, нарочито дебљине опеке, требало је да осигура униформност печења и избегне појаву пукотина. Поред ових околности, овај аутор ипак сматра да чврстоћа на притисак византијске опеке није била нижа од 50kg/cm², што је еквивалентно римском бетону (Milonov, 1966:171-172).

Често су за олакшање сводова коришћене опеке које су због порозности пре печења замешане са пиљевином. На средњовековном западу су опеке у сводовима биле униформне ширине 15cm, што је било довољно за распоне до 10 m. У исто време у Србији, дебљина свода је прилагођавана формату опеке, који је био разнолик, али је по чврстоћи овај материјал парирао камену, сиги (бигру) са којим је често комбинован (Bjelić, 2016:53-56, 64).

Керамички елементи – грнчарија, лонци

Почев од касне антике, у масиву центра и доњих углова пандантифа, али и осталих сферних елемената, често налазимо шупље керамичке производе (лонци, ћупови, крчази и сл.) различитих облика и величина. Неки од њих су прављени нарочито за ту сврху, а неки су својеврсне спотије адаптиране тако што су употребљаваним крчазима уклоњене дршке, а дно избушено (Nenadović, 2003:434). Међутим, о функцији ових посуда у стручној литератури и даље преовладава амбивалентан став. Сводни и куполни систем је осмишљен да савлада велике распоне, али и сам конкавни облик пружа одређене акустичке погодности, поготово за црквену архитектуру. Према томе, ови грнчарски елементи су могли имати двојаку функцију, макар у Византији.

Конструктивни разлози су у грађевинарству увек доминантни. *Олакшање* је могло бити обезбеђено постављањем отвора или система касета у зидове куполе, као и постепеним смањењем дебљине куполе или пак уградњом све лакших агрегата према врху. Овом решењу би припадало и коришћење шупљих глинених посуда (амфора, урни, лонаца, цеви). Бројни су примери њиховог уграђивања у Помпеји, Херкулануму, Риму, па и у нешто каснијим куполама Равене из V и VI века (Fletcher, 1905:195, 212, 205, Fig. 83D; Nestorović, 1962:420, 434, Сл. 603; Lancaster, 2015:101, Fig. 66). Иако је овиме постигнута веома лагана конструкција, боље изолована и са минималном употребом оплате, она је статички ипак губила капацитет за веће распоне. Стога ће тек византијски архитекти усавршити овај систем оптималнијим распоредом посуда у површини свода (Mainstone, 2001:121; Radivojević, 2004:85). Како било, пандантифима, с обзиром на место у склопу

куполе, свакако није потребно толико олакшање, као што је калоти кубета. Стога, Устерху (Robert Ousterhout) указује да у већини византијских примера устасти отвори на унутрашњој страни пандантифа нису лонци већ су крајеви керамичких цеви чија намена мора бити схваћена у односу на конструкцију. Велико оптерећење куполе које су преузимали пандантифи захтевало је правилно сушење конструкције током процеса изградње како не би дошло до трајних оштећења. Стога су видљиве цеви највероватније биле намењене да олакшају ово сушење и да спрече накнадно накупљање влаге у кубичном постољу, масивном мртвом простору иза пандантифа. Сличан дренажни систем зидова се, донекле модификован, одржао и у савременом грађевинарству (Ousterhout, 1999:227-229).

Други разлог је *акустика*. Антички Грци су још од Питагоре познавали математичке принципе таласног простирања звука и примењивали су их, како у конструкцији музичких инструмената, тако и акустичком опремању великих аудиторијума. Римљани даље преузимају овај систем, о чему нам сведочи Витрувије подробно описујући употребу бронзаних и керамичких резонатора размештених у нишама између седишта позоришта, врхом окренутих на доле и ка оркестри, по строго утврђеном распореду. Дакле, ови прости уређаји, састављени од једне затворене коморе са малим отвором, били су инсталирани ради подизања квалитета звука, сабирајући га или прикупљајући одјек, чинећи га звонкијим и развојетнијим (Vitruvije, 2009:146-148, 150-151; Sprague de Camp, 1993:96). Према расуђивању већине стручњака, овакви елементи су са истим циљем уграђивани у сферне таванице средњовековних цркава чија је морфологија зидног платна тако пројектована да концентрише одбијени звук од олтару, куполе и певница ка центру грађевине. Керамички елементи, лонци, постављени су на равномерној растојању на два начина: да им отвори буду слободни и видљиви, или да буду покривени танким слојем малтера који би имао функцију мембране (Nenadović, 2003:435, 437). Устерху је пак мишљења да су акустична својства ових резонатора била минимална, а и додатно појачање би било сасвим непотребно у малој византијској цркви чија је конкавна архитектура олтарске апсиде била сасвим довољна за комуницирање са наосом. Овакве керамичке посуде се, пратећи византијски пример, појављују и у раном руском сакралном градитељству, где се зову *голосници*. Осим сводова, вишеструко уграђиване и у зидним површинама повећале су резонанцију унутрашњости тако да је један појац звучао као мноштво. Овај аутор сматра да је то развојна специфичност Руса, узрокована повећаном висином њихових храмова која им је смањила акустичка својства (Ousterhout, 1999: 229-230). Међутим, ми знамо да су овај и слични системи озвучења честа или редовна појава и у нашој средњовековној архитектури, али и у исламској до скоријих времена (Nenadović, 2003:434-443; Bjelić, 2016:40-41, 44).

Настанак куполних форми и прве примене пандантифа

Настанак и развој пандантифа се у конструктивном и технолошком погледу мора пратити још од постанка сводних и куполних форми, које су покривале кружни, полигонални или квадратни план основе. Камен се интензивно користио за сводну и куполну форму већ у предкласичној епохи, средином другог миленијума старе ере, достигавши монументални распон од 14,5m у Атрејевој гробници у Микени. Овде је примењен тзв. лажни свод, у коме је сваки слој полагаан водоравно и постепено препуштан према унутра у односу на онај испод. Прво зидање помоћу *сводара* (клинастих тесаника, *voussair*) вероватно је започело у Месопотамији, али куполу у класичном смислу налазимо код Етрураца од којих ће је Римљани преузети и усавршити (Gvozdanović, 1964: 264; Mainstone, 2001:116-117).

Пандантифи су вероватно најважнији технолошки допринос касноримског зидарства (Arce, 2006:212).¹⁹ И поред тога што порекло пандантифа као конструктивног решења за ношење куполе није сасвим јасно, чињеница да су га прославили градитељи-математичари Антемије из Трала и Исидор из Милета, творци најутицајнијег и задуго највећег зиданог пандантифа, указује на дугу градитељску традицију засновану на хеленистичком и римском градитељству.

Постоје мишљења да се пандантифи као континуирани сегмент зидане сводне конструкције први пут појављују још у I веку пре Христа, на лоптастом своду од тесаног камена купатила у Петри (McKenzie 2007:324; Yoshitake, 2013:2388-2399, Fig. 2-6) и нешто каснијим примерима од опеке у Египту, који су се највероватније усавршили током периода владавине Октавијана Августа (Lancaster, 2015:78-79). Овакву тврдњу би могло да поткрепи и ондашње постојање приручника из стереометрије који су тематски обрађивали сферне троуглове. Два таква списа александријских математичара Херона и Менелая, изворно настала током I века, сачувана су на арапском језику, истина уз могуће касније интерполације компилацијског карактера (Milonov, 1966:165-170; McKenzie 2007:323-324). Управо у овом периоду (92. год.) император Домицијан је установио полукалоту (конху) над апсидом престоне дворане као симболички мотив Флавијеваца, а квадратне одаје у његовој палати на Палатинском брду су имале пандантифе као начин подржавања куполе (Sprague de Camp, 1990:177). Развијајући овај нови начин, римски архитекти само су у ретким случајевима постигли успех. Такви, не баш успели примери су поменута Домицијанова палата и неке гробнице у којима није доследно спроведено правило да пандантифи буду делови интегрисане сферне

површине. Први најуспешнији пример су ипак Каракалине терме (212-215. год.) где се бележи прелазак са кружне на октогоналну основу сферним троугловима, иако тек методом постепеног испуштања хоризонталних слојева опека (Robertson 1929:251-255; Nestorović, 1962:430-432). Флечер (Banister F. Fletcher) пак за први случај сматра пандантифе на нимфеуму (*nymphaeum*) Минерве Медике у Риму (почетак IV века, ита. *Tempio di Minerva Medica*), чија је декагонална основа покривена куполом, а прелазни урађени сасвим рудиментарним обликом пандантифа (Fletcher, 1905:145-147, Fig. 46 M; 205, Fig. 83 A, B). Иначе, у самој Италији постоје још два споменика из II века на *Via Nomentana* (ита. *Sedia del Diavolo* и *Torraccio della Secchina*), изграђена од опеке са два засведена нивоа и горњом салом која је сасвим могуће била покривена лоптастим сводом (Adam, 1999:172-173).²⁰

Анализа ранохришћанске сакралне архитектуре IV-VI века

Архитектура хришћанског истока

Једнако су заступљена и мишљења да је порекло пандантифа источно, да ли под иранско-месопотамским (партско-сасанидским) или хеленистичким (птолејско-селеукидским) утицајем, тек чињеница је да се купола први пут јавља у овом поднебљу још пре римских освајања. Ако не рачунамо поменуте спорадичне случајеве из Петре и Египта, пандантифи се у том поднебљу најраније бележе већ крајем II и почетком III века. Изразити такви примери су: маузолеј у Аману (Касар ал Нувајџис), затим једна слична гробница у Севастији (данас Сивас), позориште у Шахби (антички Филипополис на Хаурану), калдаријум купатила у Гераси и многи други (Smith, 1950:58-59; Gerke, 1973:151-152; Arce, 2006:207; Korać, Šuput, 2010:72; Yoshitake, 2013:2389-2393; Lancaster, 2015:71, Fig. 42). Ширум римске провинције Сирије, од центра Антиохије до Кападокије на северу и Палестине на југу, још у IV веку је архитравни систем замењен лучним и постаје најважнији предложак за формирање суседних архитектура: поткавказке,²¹ источно-малоазијске па и синајске. И поред каснијег цариградског утицаја ово градитељство ће имати донекле независан развој који се не прекида чак ни доласком Арабљана почетком VII века, већ се наставља под Омејадима (Smith, 1950:3-6; Bošković, 1962:39-40; Gvozdanović, 1964:264-265, 626; Arce, 2006:195-196; Korać, Šuput, 2010:62-63).

20 Галеријев славолук у Солуну (око 300. год.) највероватније је такође био наткривен лоптастим сводом од опеке (Cirčić, 2010:42, 187). За више таквих примера из периода I-IV века, уз бројне илустрације и исцрпну анализу, види више у: Lancaster, 2015:70-98.

21 Могућ је и обрнути утицај школе градитељства IV-VI века, Грузије, и пре свега Јерменије, која је изгледа имала посебан ток развоја са репрезентативном каменом грађом и централном основом, обавезно наткривеном куполом (Gvozdanović 1964:626; Korać, Šuput, 2010:83-85).

19 Исто се може рећи и за сводне и куполне форме, генерално, као и за тропле.



Сл. 7: Маузолеј Гале Плацидије, Равена, лоптасти свод
Fig. 7: Mausoleum of Galla Placidia, Ravenna, sail vault

Касноантичка сакрална архитектура IV и V века

Развој хришћанске архитектуре на просторима некадашњег Римског царства текао је успорено све до IV века, када цар Константин Велики подиже монументалне грађевине, пре свега у Светој земљи, која је под великим утицајем Антиохијске цркве све до увођења пентархије на 4. Васељенском сабору (451), па и касније.²² Како је на овом подручју већ постојала дуга традиција засведених грађевина са куполом, овај просторни концепт ће се у хришћанском контексту примењивати за објекте мањих димензија и специфичних намена – издвојене крстионице (*baptisterium*), меморије (*memorie*) и гробне цркве, маузолеје и мученишнице (*martirium*) – који су служили поштовању светих мученика (*martir*) и њихових моштију (Smith, 1950:55, 131; Grabar, 1969:60; Adam, 1993:326). Генерално, одлика архитектуре великих цркава Константиновог доба била је да у себи спајају подужни план базилике и централни план са куполом, присутан код поменутих мањих грађевина. Иако се реликвијарне капеле са куполом најчешће додају уз базилику као независни објекти, оне се неретко – као што је то у случају постконстантинских грађевина са трансептом у западним престоницама Милану и Равени – формирају у центру укрштања бродова (Smith, 1950:131; Gerke, 1973:90).

Једноставан план централних грађевина (крстионица, меморија, маузолеја) најчешће се заснива на кругу, октогону и поготово на квадрату, који симболички осмишљен као *quadratum sacrum* даје погодну основу за наткривање пандантифном куполом, чинећи својеврсни монументални *балдахин*.²³ Овај квадратни план се у

константинској сакралној архитектури појављује и као рашчлањен на више начина, формирајући основу сажетог или развијеног уписаног крста, или пак са четири крстасте нише и четири угаона простора, чинећи тако деветоделну квадратну основу (Smith, 1950:105–106; Gerke, 1973:91–93). И ова основа, истина у малој размери, има порекло у римској гробној архитектури I–III века.

Од IV века централни део бројних мученишница основе слободног грчког крста је надвишен лоптастим сводом, прво у Сирији и Палестини, а након доградње цркве Светих Апостола у Цариграду од стране цара Констанција 550. год. као Јустинијановог маузолеја, задобиће популарност широм Царства. Познатији примери су: мученишница Св. Григорија у Ниси, маузолеј Св. Леониде уз атинску Илосос базилику и храм Сан Лоренцо Мађоре у Милану (Smith, 1950:108; Bošković, 1962:18–19; Gerke, 1973:94–96; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:239, 484, nap. 5).

И централне грађевине V века верно ће одражавати суштинску везу између развијеног крстообразног плана и куполе над пандантифима.²⁴ У Западном римском царству су то обично уз базилику бочно припојени мученишници, као што су југоисточни параклис цркве Св. Феликса и Фортуната у Вићенци (око 400. год.) и капела Св. Теутерије и Тоске у Верони (Gerke, 1973:149; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:175). Свакако најпознатији и уметнички најпризнатији је маузолеј Гале Плацидије (око 425) са лоптастим сводом украшеним златним крстом у пољу звезда,²⁵ који је подигнут уз такође крстообразну дворску катедралу посвећену баш Часном Крсту (*Santa Croce*) у тадашњој западној престоници Равени (Сл. 7) (Fletcher, 1905:181, 187; Bošković, 1962:88; Gerke, 1973:149; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:181–182). Истовремени слични примери у Источном

22 Смит (Earl Baldwin Smith) сматра да су космолошке и сотериолошке интерпретације куполе сиријско-палестинског мученишница од стране антиохијских црквених писаца битно утицале на брзо ширење куполних храмова током V и VI века у Египту, Малој Азији и на Балкану (Smith, 1950:95–98).

23 Герке (Friedrich Gerke) сматра да овај склоп није настао из византијске идеје балдахина, већ има порекло у таваницама катакомби IV века које су вернима доследно предочавале небеса, и архитектонски и иконографски (Gerke, 1973:104–105). Више о паганском и јудеохришћанском поимању балдахина (скиније, киворијума, *неба*, *кувуклије*, и др.) и његовој вези са куполом уграђеном у базилику види у: Smith, 1950:8, 53–54, 68; Bogdanović, 2008:15–27, 112, 184; Marinković, 2010:125–128; Korać, Šuput, 2010:72–73.

24 Према Геркеу, овај план не треба мешати са ходочасничким светилиштима из истог периода на истоку, која су накнадним дограђивањем око средишта доспела до крстолике основе (Gerke, 1973:153–155), на пример: храмови Св. Јована Богослова у Ефесу и Св. Симеона Столпника у Калат Сману код Алепа.

25 Мученишница у Казарану (југ Италије, око 450. год.) сачувао је исту ову шему основе и украшавања (Smith, 1950:108, Fig. 71–73).



Сл. 8: Црква Св. Софије, Цариград, купола над пандантифима
Fig. 8: Hagia Sophia, Constantinople, interior, dome on pendentives

римском царству су: мала деветоодајна црква Св. Давида (Ἅγιος Δαβίδ) у солунском манастиру Латому; малоазијске крстообразне грађевине са куполом: источни и западни маузолеј у Сиди (рани V век), манастир Алахан (*Koja Kalessi*), базилика Св. Текле у Меријамлику (471–494);²⁶ стара црква Свете Софије у Едеси, храм Пророка, апостола и мученика у Гераси (465. год.) итд.²⁷

Рановизантијски период и изградња цркве Свете Софије

Након доласка на престо 527. год., цар Јустинијан ће током своје скоро четрдесетогодишње владавине темељно обновити Ромејско царство,²⁸ територијално, политички и културно, што ће уједно бити и најславнији период градитељства на истоку. Тада су настале неке од најзначајнијих грађевина византијског наслеђа: Сан Витале у Равени (526–541. год.) и цариградске цркве Св. Сергија и Вакха (527–536), Св. Ирине (532) и Св. Софије (532–537).²⁹ Заједничко им је што су све то куполне цркве – премда различитих просторних типова и са различитим врстама сводних конструкција – које следе заједничку идеју поимања простора, везану за централни план, круг и центар, карактеристичан за источни, византијски храм (Krauthajmer, Ćurčić, 2008:202–206; Kurtović-Folić, 1996:90; Ćurčić, 2010:193–200).

Као и структура просторног плана, технологија извођења византијских сакралних грађевина свакако је део корпуса заједничке грчке, блискоисточне, хеленистичке и римске

традиције, заступљене у свим земљама Медитерана. Иако скоро све средњовековне технике потичу из антике, ниједна култура није преузела њене елементе у целисти – већ само у појединостима, и тај избор није био свуда исти. Када је у питању сферно засвођавање квадратне основе, лоптасти свод је вероватно изведен из крстастог и византијски градитељи су, схвативши да је у статичком смислу полукружни лук повољнији, најчешће користили ово наслеђено конструктивно решење. Међутим, примењено на великим распонима, неће се показати отпорним на сеизмички активном подручју Медитерана и Мале Азије. Зато се посегнуло за трансформацијом љуске крстастог свода из сферног сегмента у хемисферу, са одговарајућом променом радијуса закривљености. Тако је лоптасти свод трансформисан у куполу на пандантифима. Статичко оптерећење, усмерено дијагонално и ка бочним луковима, временом је решавано на различите начине, најчешће потпорним луковима и сводовима, што је довело до формирања типа уписаног крста, примењеног код већине византијских цркава развијаних након IX века (Milonov, 1966:176–178; Grabar, 1969:38–40; Kurtović-Folić, 1996:86).

Изградњи цариградске Свете Софије (храм започет 532, а освећен 27. децембра 537. год.), као што је речено, претходиле су оближње цркве Св. Сергија и Вакха³⁰ и црква Св. Ирине,³¹ које са њом, просторно, временски и композиционо чине један заједнички ансамбл (Ćurčić, 2010:186, Fig. 190). Ипак, Св. Софија постаће далеко највећа и најзначајнија црква Јустинијанове епохе, представљајући успели спој традиционалне подужне основе са новом, централном и крстообразном, наткривеном помоћу

26 Будући да су Антемије и Исидор из околине Ефеса, вероватно су пренели у Цариград неке од идеја примењених у овим и другим грађевинама западне Мале Азије (Asia Minor), области чија се улога у развоју црквене архитектуре често потцењује (Gerke, 1973:200; Karydis, 2012:1–2).

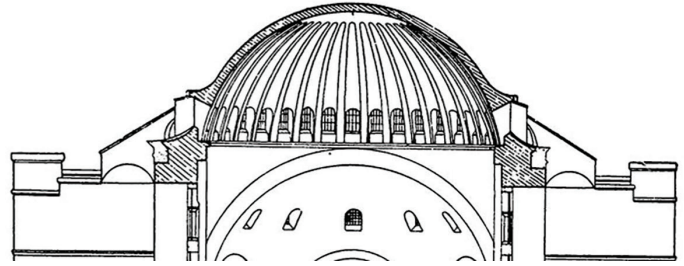
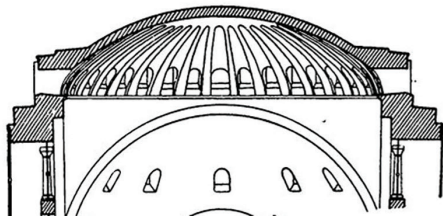
27 Види више у: Smith, 1950:112, 125–130; Grabar, 1969:90–92; Gerke, 1973:94, 152–153; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:484, нап. 5; Lancaster, 2015:84–86, fig. 52, 54.

28 Након пада Западног римског царства 476. год., Источно римско царство, касније названо Византија, остаће једина наследница Римске империје.

29 Последње две су подигнуте на месту истоимених здања изгорелих после побуне Ника из 532. године.

30 У пројектовању овог храма примењени су квадратна основа и језгро полигоналног облика са куполом и тромпама (Kurtović-Folić, 1996:90; Ćurčić, 2010:199).

31 Црква Св. Ирине је тробродна базилика комбинована са уписаним крстом, код које је остварен циљ византијских градитеља да споје подужну основу хеленистичких базилика са централном и крстообразном. Црква у центру има куполу над пандантифима (Kurtović-Folić, 1996:88; Ćurčić, 2010:191–192). Међутим, постоји могућност да није аутентична, већ да је плод реконструкције из 740. год. (Krauthajmer, Ćurčić, 2008:249–251, 485–486, нап. 23).



Сл. 9: Могући изглед првобитне куполе Св. Софије (9.1); Стање након 562. године (9.2)

Fig. 9: The assumption of original look Hagia Sophia dome (9.1); Situation after 562 AD (9.2)

куполе. За пет година 100 надзорника радова и 10.000 радника спровело је замисао двојице малоазијских неимара, Антемија из Трала и Исидора (Старијег) из Милета, и подигло монументалну грађевину са калотом распона приближно 31,2m, као круном читавог подухвата. Антемије и Исидор су већ били признати научници и поставши архитекти користили су, како тадашње домете из математике и физике – геометрије, статике, али и оптике³² – тако и религиозна и космолошка³³ веровања у циљу стварања величанствене конструкције и споменика знању читавог човечанства (Milonov, 1966:165-170; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:206; Jabi, Potamianos, 2007:309-310).

Међутим, садашња купола дебљине 60 cm, са стрелом од 14 m, није њихово аутентично дело. Након снажног земљотреса 558. год. и обрушавања већег дела куполе, Исидору Млађем, сестрићу (или синовцу) једног од оригиналних архитеката, поверена је реконструкција 563. год. после које је изгледала скоро у потпуности као и данас (Сл. 8, 9.2).³⁴

Сматра се да је прва купола заправо била *лонтастни свод* (Сл. 9.1) са доста блажом стрелом лука. Стручњаци претпостављају да је износила између 6 и 9m. Још увек није постигнут консензус о димензији, као ни о питању да ли је првобитна купола имала прозоре (Milonov, 1966:182). Исидор Млађи је, очигледно, морао посегнути за нешто измењеним и мање смелим решењем.³⁵ Највероватније је задржао оригиналне пандантифе ослоњене на лукове дебљине 1,5m, и на њих надоградио калоту сегментног типа, састављену од 40 радијално постављених ребара, пресека 70 x 15cm, која се постепено смањују до потпуног нестанка на удаљености од 5,7m од темена. Простор између њих попуњен је испуном од специјалне опеке,³⁶ а у доњем делу су остављени отвори чинећи исти број

од 40 прозора, висине 4,6m и ширине 1,5m, покривени луковима. Дно куполе ослања се на прстен, профила 2,1 x 0,8m, сачињен од резаног пеперина (бигра, сиге), подупрт косим контрафорама, које заједно чине неку врсту лажног тамбура, гледано споља.³⁷

ДИСКУСИЈА

Када говоримо о утицајима и пореклу плана и конструкције Св. Софије, већ су истакнуте велике цркве IV и V века са балдахинским системом, као што је рецимо Сан Лоренцо Мађоре у Милану, као и грађевине које су јој непосредно претходиле и вероватно је антиципирале, изграђене са октогоналним наосом са угаоним нишама – цркве Св. Ђорђа у Езри (Дара у Сирији, 515) и Св. Сергија и Вакха у Цариграду (пре 536),³⁸ али ниједна од њих није ни изблиза достигла сложени систем Свете Софије (Brunov, 1966:46-47; Gerke, 1973:197-198; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:219-226). Иако је уобичајено, да се „Велика црква“ по инерцији ставља у поређење са ранијим споменицима на основу неке сличности, Николај Брунов (Николай Брунов) је један од научника који сматрају да је овај храм јединствен и, штавише, „најзначајније дело светске архитектуре“. По њему, свако тумачење њеног порекла које је по аутоматизму поставља у улогу карике неког еволутивног ланца, или пак синтетичке комбинације разних историјски утврђених елемената, удаљује нас од разумевања универзалне вредности Свете Софије (Brunov, 1966:39-42). Антемије и Исидор свакако јесу спојили најбоље римске традиције засвођених грађевина великих размера – подужне (Максенцијева базилика) и централне основе (Пантеон) – удруживши их у концепт базилике са куполом. Осим тога, будући из дијецезе Азије они су укључили и укупну источну традицију уметности Мале Азије, Месопотамије, Сирије и Доњег Египта. Поготово се то односило на малоазијски тип куполне базилике, који им је вероватно био добро познат и чије су скромне габарите вишеструко увећали до тада неслућене размере (Bošković, 1962:80-81; Brunov, 1966:44-46; Kurtović-Folić, Stojaković, 2010:129).

Зидану композицију кубета (тамбура и калоте) конструисаног над пандантифима у *тим размерама*

32 Антемије је био познат по теоријском делу о сабирном огледалу, чије је постулате уградио у здање Свете Софије, поготово у облик куполе и пандантифа (Jabi, Potamianos, 2007:312-314, Fig. 11).

33 У цркви Св. Софије је до врхунца доведена тежња ка материјализацији симболике космоса (Kurtović-Folić, 1996:88). То је један примењени космоизам утемељен на платонистичкој и хришћанској естетизи ране патристике, где оријентација верника – физичка и метафизичка, антропоцентрична и христоцентрична – тежи ка куполи као слици небеса (види више у: Marković, 2018a:376-380, 383-390; 2018b:56; 2019:180-181, Сл. 1, 193-194).

34 Делимичне исправке након следећих урушавања у X и XIV веку нису реметиле његову изворну замисао.

35 Слободан Ђурчић сугерише да би Исидор Млађи могао бити пројектант базилике Б у Филипима у Македонији, која је завршена до 540. год. (када ју је разорио земљотрес) и чија је купола могла антиципирати другу куполу Свете Софије (Ćurčić, 2010:207-208).

36 Пандантифи, прислоњени лукови и ребра куполе су сви изграђени од опеке, а испуна од белих порозних, петоструко лакших опека са Родоса.

37 Више о конструкцији Св. Софије видети у: Bošković, 1962:81-85; Milonov, 1966:180-182; Kurtović-Folić, 1996:90-94; Ousterhout, 1998:20-21; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:206-213.

38 Овај храм, структурално и концептуално веома сличан (поготово у компоновању централне основе) и нешто старији од Свете Софије, вероватно је дело истих аутора, види више у: Fletcher, 1905:200-202; Kurtović-Folić, 1996:93, Сл. 3; Kurtović-Folić, Stojaković, 2010:128-137, Сл. 8; Ćurčić, 2010:199-200.

свакако можемо сматрати изумом Јустинијановог доба.³⁹ Брунов чак сматра да су међу претходницима Св. Софије пандантифи имали скоро случајни карактер и да је управо ова црква била почетак њихове најшире примене у византијској, као и у свим архитектурама под њеним утицајем, од средњег века па све до модерних времена (Brunov, 1966:54-55). Тафт (Robert F. Taft) је мишљења да се пре њене изградње храмовима у Византији скоро и није придавао некакав симболички и богословски значај, јер до тада ниједна црквена грађевина није имала нешто баш „византијско“. Већина мистагогија овог преиконоборачког времена је прећуткивала литургијски простор и углавном се бавила литијама и другим службама ван храма (Taft, 1998:13). Велика црква ће у потпуности одговарати, како практичним архитектонским захтевима, тако и установљеном литургијском симболизму тога времена, па све до данас.

Након Јустинијана, у периоду од два и по века, не бележи се скоро никаква нова активност византијског црквеног неимарства (Milonov, 1966:178; Krauthajmer, Ćurčić, 2008:285; Stevović, 2018:42-43), али је доста живо у богословљу, које је прошло и кроз велику иконоборачку кризу и кроз коначну литургијску кодификацију, која се одразила и на архитектонске промене храма (Krauthajmer, Ćurčić, 2008:297-298). Шта год да је пресудило – мере безбедности, недостатак средстава, или потребе култа студитског доба – тек у периоду после иконоборства, под царевима Теофилом III и Василијем I Македонцем,⁴⁰ приступа се градњи новог храмовног типа који ће служити као узорни образац све до краја Византије (Grabar, 1969: 59-66, 92-93). Нови тип цркава драматично смањених димензија,⁴¹ ког одликује већа окренутост ка унутрашњости, заправо одговара провинцијалном типу грађевина из периода пре иконоборства. Типична купола у периоду X – XIV века мерила је пречник мањи од 6m,⁴² стога се конструктивни проблеми све мање намећу у архитектонском пројектовању (Taft, 1998:35-36, 41; Ousterhout, 1999:201). Даље, тежња за бољим осветљењем куполе повећала је висину прозора испод ње, доводећи до новог решења посредничке везе између пандантифа и калоте, званог *тамбур*.⁴³ Једна од првих грађевина овог типа био је католикон светогорског манастира Ватопеда из IX века (Milonov, 1966:178).

ЗАКЉУЧАК

Један од примарних задатака истраживања био је проблем термилошког поимања пандантифа. У раду су приказани случајеви у којима се пандантифи сматрају троугаоним исечцима сфере јасно дефинисаним бар са две своје ивице,

што је у складу са старијим истраживањима.⁴⁴ Тако, један од првих истраживача Флечер разликује само два типа: ранији *римски*, када је пандантиф део куполе (нпр. Гала Плацидија, Сл. 7), и каснији *византијски*, када је различитог радијуса од калоте (Света Софија, Сл. 8). Такође, у раду се указује на то да се у пандантифе могу убројати и сви њихови рудименти, код прелаза са кружне на осмоугаону или десетоугаону основу, тј. делови сфере који се простиру између тромпи, прислоњених лукова и дна кружнице куполе (Fletcher, 1905: 197-212). Најчешћи термин у савременој странијој литератури – *пандантифна купола* – наводи на закључак да су пандантифи главна одлика такве конструкције. У раду смо се служили изразом *лоптасти свод*,⁴⁵ што не значи да се он намеће као српска номенклатура, премда ниједан други поменути назив није погрешан. То је учињено ради прегледности, јер је помињање *куполе на пандантифима* подразумевало други тип конструкције и не треба их мешати.

Кроз анализу материјала (везива и градивних блокова), метода зидања и доминантних оптерећења у конструкцији предметног сферног елемента дате су основне карактеристике његове материјализације. Анализирана је и улога грнчарских елемената у масиву пандантифа, који су служили: или као средство за олакшавање грађевине, или као звучни резонатори. Могуће да се њихова функција у сакралној архитектури смењивала током времена, а остаје и даље нејасно каква је данас.

У делу истраживања прегледног карактера, забележени су и преиспитани примери који би требало додатно да осветле генезу и развој пандантифа. Историјска анализа је обухватила периоде касне антике и раног средњег века, са посебним нагласком на време од IV до VI столећа, које је припадало епохама хришћанско-ромејских царева Константина, Теодосија и Јустинијана. Установљено је да питање порекла не може да се тражи у једном директном узору, већ да је подједнако било хеленистичко, блискоисточно и римско, али је сасвим извесно да је пандантиф, какав је данас, потпуно уобличен у постиконоборачком времену IX и X века. Сprovedена је типолошка анализа која је требало да утврди развојне облике који су довели до методолошког преласка – од куполе на кружној или октогоналној основи, преко лоптастог свода, ка независним пандантифима – и дали је такво разумевање статичке трансформације круга у квадрат уопште одрживо? Из тог разлога је покушано да се у што већем обиму забележе научна схватања овог проблема, па и оне сугестије које га виде као природан резултат развоја древних конструктивних структура, попут тромпи или балдахина. Све побројано је могло имати свог утицаја и зато је Света Софија споменик синтезе знања и веровања византијске културе Јустинијановог времена, већим делом настале као логичан производ континуираног историјског напретка и прожимања хеленистичких, латинских и оријенталних утицаја и врхунског умећа древних градитеља.

39 Сматра се да су на простору Палестине и Сирије, због изразито турског подручја, куполе на већим распонима (преко 4-5m) биле од дрвета. Прекретница наступа када је након поплаве 524. храм Свете Софије у Едеси потпуно обновљен под Јустинијановим киторством, види више у: Smith 1950:13-14, 46-47, 50, 90-91, 112; Bošković, 1962:44-45; Brunov, 1966:26.

40 Ово је и време Св. Фотија Великог који био Цариградски патријарх 858-867. и 877-886.

41 Распон купола значајно опада већ од VII века (Kurtović-Folić, Folić, 1995:145).

42 Тако ће и централно кубе Студенице распона 6,90 m остати недостижно за потоње српске средњовековне градитеље (Nenadović, 2003:205-209).

43 Идеја тамбура је, наравно, позната од раније, јер су на њему лежале куполе тогоса, нарочито римских ремек-дела: Пантеона (око 126. год.) и маузолеја Св. Констанце (340. год.).

44 Fletcher, 1905:284; Krstić, 1963:55; Gvozdanović, 1964: 264-265; Milonov, 1966:177.

45 Упутно је овде сврстати и *чешки свод*.

Са извесном сигурношћу се може утврдити да је изворни лоптасти свод Велике цркве био складније укомпонован – симболички, естетски и структурално – јер путем калоте и кључног камена (завршца) у њеном темени живописније слика идеал небеског Христа, док четири интегрисана пандантифа кроз свега четири тачке преносе монументални терет и стварају фасцинирајући оптички „феномен лебдења“, први пут описан код савременика Прокопија (Brunov, 1966:53-54; Jabi, Potamianos, 2007:312-314; Мако, 2012:41-43; Marković, 2018b:56). Поред овога, оригиналност куполе Исидора и Антемија, баштиника културе Мале Азије и укупних техничких знања касне антике, јесте у томе што су извели пандантифе на драстично већем распону него што је до тада забележено.

Након што је разорни земљотрес 558. год. срушио већи део првобитне куполе, посегнуло се за иновативним и стабилнијим решењем, које ће веома брзо постати један од стандарда хришћанског градитељства. Нова купола највећег хришћанског храма ће тако из лоптастог свода прерастати у куполу на пандантифима. У приказаном истраживању нису пронађени јасни и недвосмислени докази који би потврдили претходно постојање независних пандантифа, иако су, вероватно, наведени најважнији примери из стручне литературе, доступни у овом тренутку. Стога се може закључити да Исидору Млађем вероватно припада част да је први креирао куполни склоп у коме је нагиб калоте сасвим различит од стреле лука пандантифа. Ово генијално решење се показало изузетно трајним и подједнако усклађеним са естетским и богословским захтевима епохе. Ту чињеницу нимало не умањује то што је промена изворне идеје пројектаната Свете Софије узрокована сплетом непредвиђених, чак случајних околности, нити што пандантифи заправо нису ни били предмет тадашње реконструкције, јер су по свој прилици остали неоштећени после земљотреса.

ЛИТЕРАТУРА

- Adam, A. (1993) *Uvod u katoličku liturgiju*, Zadar, Hrvatski institut za liturgijski pastoral
- Adam, J. P. (1999) *Roman Building: Materials and Techniques*, London, Routledge
- Arce, I. (2006) Umayyad Arches, Vaults & Domes: Merging and Re-creation, in: Dunkeld, M., Tutton, M. (eds.) *Proceedings 2nd International Congress on Construction History*, Cambridge University, pp. 195–220.
- Bjelić, I. S. (2016) *Tipološke i konstruktivne karakteristike lukova i svodova sakralnih objekata na tlu srednjovekovne Srbije*, neobjavljena doktorska disertacija, Niš, Univerzitet u Nišu
- Bogdanović, J. (2008) *Canopies: The Framing of Sacred Space in the Byzantine Ecclesiastical Tradition*, unpublished doctoral dissertation, Princeton, Princeton University
- Bošković, Đ. (1962) *Arhitektura srednjeg veka*, Beograd, Naučna knjiga
- Brunov, N. I. (1966) *Arhitektura Vizantii*, v: Jaralov Ju. S. (red.), *Arhitektura Vostochnoj Evropy. Srednie veka*, Leningrad – Moskva, Strojizdat, str. 16-160.
- Ching, F. D. K. (1995) *A visual dictionary of architecture*, New York, John Wiley & Sons
- Ćurčić, S. (2010) *Architecture in the Balkans from Diocletian to Süleyman the Magnificent (c. 300 – ca. 1550)*, New Haven, London, Yale University Press
- Fletcher, B. F. (1905) *A History of Architecture on the Comparative Method*, London, B. T. Batsford
- Gvozdanić, S. (1964) Kupola; Pandantiv, *Enciklopedija likovnih umjetnosti. 3. Inj-Porti*, Zagreb, Leksikografski zavod FNRJ
- Gerke, F. (1973) *Kasna antika i rano hrišćanstvo*, Novi Sad, Bratstvo i jedinstvo
- Grabar, A. (1969) *Vizantija: vizantijska umetnost srednjega veka (od VIII do XV veka)*, Novi Sad, Bratstvo i jedinstvo
- Jabi, W., I. Potamianos (2007) *Geometry, Light, and Cosmology in the Church of Hagia Sophia*, *International Journal of Architectural Computing* **5** (2), pp. 303-319.
- Karydis, N. (2012) Limiting the Use of Centering in Vaulted Construction, in: *Center for Ancient Studies Symposium: Masons at Work*, 30 March-1 April 2012, Center

- of Ancient Studies, University of Pennsylvania, pp. 1-19, https://kar.kent.ac.uk/59648/1/Karydis-Limiting_Use_of_Centering.pdf, pristup 22.03.2020.
- Kondić, V., V. Popović (1977) *Čaričin grad: utvrđeno naselje u vizantijskom Iliriku*, Beograd, Srpska akademija nauka i umetnosti
- Korać, V., M. Šuput (2010) *Arhitektura vizantijskog sveta*, Beograd, Zavod za udžbenike
- Krautheimer, R., S. Ćurčić (1986) *Early Christian and Byzantine architecture*, Harmondsworth, Penguin Books [Krauthajmer, R., S. Ćurčić (2008) *Ranohrišćanska i vizantijska arhitektura*, Beograd, Građevinska knjiga]
- Krstić, P. K. (1963) *Arhitektonske konstrukcije*, Beograd, Naučna knjiga
- Kurtović-Folić, N., R. Folić (1995) Konstrukcije zidanih lukova svodova i kupola - pouke prošlosti, u: Stojkov, B., Manević, Z. (ur.), *Tradicija i savremeno srpsko crkveno graditeljstvo*, Beograd, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, str. 141-170.
- Kurtović-Folić, N. (1996) Osnovni oblici konstruktivnih sistema u Vizantiji i srednjovekovnoj Srbiji, u: Sekulović, M., Mandić, R. (ur.), *Razvoj nauke u oblasti građevinarstva i geodezije u Srbiji*, Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu i Građevinska knjiga, str. 85-103.
- Kurtović-Folić, N., V. Stojaković (2010) The Origin of the Structural Concept of Hagia Sophia in Constantinople, u: Rakocija, M. (ur.), *Niš i Vizantija VIII: zbornik radova*, simpozium 3-5. jun 2009. Niš, str. 127-136.
- Lancaster, L. C. (2015) *Innovative Vaulting in the Architecture of the Roman Empire: 1st to 4th Centuries CE*, Cambridge, Cambridge University Press
- Mainstone, R. (1999) *The Dome of St Peter's: Structural Aspects of its Design and Construction, and Inquiries into its Stability*, *AA Files* **39**, pp. 21-39.
- Mainstone, R. (2001) *Developments in Structural Form*, London, Routledge
- Mako, V. (2012) *Estetičke misli o arhitekturi: Srednji vek*, Beograd, Arhitektonski fakultet Marinković, D. Lj. (2010) *Ciborijum – poreklo, istorija i tipologija oblika*, *Teološki pogledi XLIII*, str. 125-139.
- Marković, I. (2018a) *Kontekst nastanka likovne estetike u ruskoj religioznoj filozofiji s kraja XIX i početka XX veka*, *Teološki pogledi* **LI** (3), str. 371-396.
- Marković, I. (2018b) *Uvod u liturgijsko bogoslovje naosa*, *Godišnjak - časopis Pravoslavnog bogoslovskeg fakulteta Svetog Vasilija Ostroškog* **17**, str. 47-61.
- Marković, I. (2019) *Antropologija hrama: prilog proučavanju prostornog ponašanja u Srpskoj pravoslavnoj crkvi*, *Etnoantropološki problemi* **14**, str. 169-201.
- Milovon, Ju. K. (1966) *Stroitel'naja tehnika Vizantii*, v: Jaralov Ju. S. (red.), *Arhitektura Vostochnoj Evropy. Srednie veka*, Leningrad – Moskva, Strojizdat, str. 161-198.
- McKenzie, J. (2007) *The Architecture of Alexandria and Egypt, c. 300 BC. to AD. 70*, New Haven, Yale University Press
- Müller, W., G. Vogel (1974) *dtv - Atlas Baukunst I. Allgemeiner Teil: Baugeschichte von Mesopotanien bis Byzanz*, München, Deutscher Taschenbuch Verlag
- Nenadović, S. M. (2003) *Građevinska tehnika u srednjovekovnoj Srbiji*, Beograd, Prosveta
- Nestorović, B. N. (1962) *Arhitektura starog veka*, Beograd, Naučna knjiga
- Ousterhout, R. (1998). *The Holy Space: Architecture and the Liturgy*, in: L. Safran (ed.) *Heaven on Earth: Art and the Church in Byzantium*, Pennsylvania State University Press, pp. 81–120.
- Ousterhout, R. (1999) *Master Builders of Byzantium*, Princeton, Princeton University Press
- Paladio, A. (2010) *Četiri knjige o arhitekturi*, Beograd, Građevinska knjiga
- Peulić, Đ. (2002) *Konstruktivni Elementi Zgrada: prvi i drugi dio*, Zagreb, Croatiaknjiga
- Radivojević, A. (2004) *Konstrukcije i tehnike građenja antičkog Rima*, Beograd, Arhitektonski fakultet
- Robertson, D. S. (1929) *A Handbook of Greek and Roman Architecture*, Cambridge, University Press
- Smith, E. B. (1950) *The Dome: A Study in the History of Ideas*, Princeton, Princeton University Press
- Sprague de Camp, L. (1993) *The Ancient Engineers*, New York, Barnes & Noble Books
- Stevović, I. (2018) *Vizantijska crkva: obrazovanje arhitektonske slike svetosti*, Beograd, Evoluta
- Schibille, N. (2014) *Hagia Sophia and the Byzantine aesthetic experience*, Farnham, Ashgate Publishing
- Šečić, O. (2012) *Architektura: Lexikon architektonických prvků a stavebního řemesla*, Praha, Grada Publishing
- Taft, R. (1998) *Vizantijski obred: kratka istorija*, *Teološki pogledi XXXI*, str. 1–48.
- Vitruvije (2009) *O arhitekturi: deset knjiga*, Beograd, Zavod za udžbenike
- Yoshitake, R. (2013) *Early applications of domical vault in Jordan*, *Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)* **78** (693), pp. 2387-2397.

IZVORI ILUSTRACIJA

- Сл. 1: Модификовано према https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alagehir_Church_of_St._John_2.jpg (приступљено 12.6.2020)
- Сл. 2-5: Аутор рада
- Сл. 6: Модификовано према (Lancaster, 2015:74, Fig. 44)
- Сл. 7: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galla_Placidia_Ravenna_06.JPG (приступљено 12.6.2020)
- Сл. 8: Модификовано према [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul_036_\(6498284165\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul_036_(6498284165).jpg) (приступљено 12.6.2020)
- Сл. 9: Модификовано према (Brunov, 1966:39, Рис. 19)