

Parametarsko modelovanje srednjevekovnih portala Raških crkava

1. Magdalena Dragović
Katedra za matematiku, fiziku i
nacrtnu geometriju
Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
dim@grf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0003-
0813-9595

4. Vlado Trnavac
Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
vlado.vuk125@gmail.com

2. Jelena Bogdanović
Departments of History of Art and
Architecture and Classical and
Mediterranean Studies
College of Art and Science Vanderbilt
University
Nashville, Tennessee, US
jelena.bogdanovic@Vanderbilt.Edu
ORCID 0000-0003-0431-5686

5. Jovan Krsmanović
Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
jovankrsmanovic04@gmail.com

3. Srđan Milanović
nezavisni istraživač
Beograd, Srbija
s.milanovic15@gmail.com

6. Miloš Mihailović
Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
Milosmihailovic04@gmail.com

7. Damjan Mučibabić
Građevinski fakultet Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
damjan.mucibabic@gmail.com

Abstract — U ovom radu zasnovanom na geometrijskim pravilnostima arhitektonskog dizajna, istražuju se mogućnosti načina kreiranja digitalnih parametarskih modela portala crkava u Raškoj (srednjevekovna teritorija Srbije). U literaturi, ovi portali su prepoznati kao romanički, prema karakterističnom dizajnu i geometriji. Rad je nastavak istraživanja autora na analizama šest izabranih portala, u kontekstu njihovog arhitektonskog dizajna i geometrije. Na osnovu definisanih dimenzionih parametara i geometrije oblika elemenata jednog portala, kreirani su odgovarajući 3D modeli elemenata, kroz nekoliko faza, obradom u različitim programskim paketima. Kroz modelovanje izabranog portala pokazan je postupak koji kombinuje tri programska paketa: AutoCAD, SolidWorks i ArchiCAD. Cilj rada je doprinos u sferi kreiranja digitalnih biblioteka elemenata izabranog tipa portala, u okviru Heritage Building Information Modelling-a (HBIM-informaciono modelovanje istorijskih objekata).

Ključne reči—3D digitalni parametarski modeli, srednjevekovni Raški portali, geometrija portala, proporcije portala, HBIM

UVOD

Graditeljska kulturna baština srednjevekovne Srbije, a posebno arhitektonske zadužbine dinastije Nemanjić, u eri tehnološkog napretka, sa savremenim memim metodologijama i instrumentima, kao i informacionim tehnologijama, dobija sve sofisticiranije digitalne modele i zapise, koji služe kao pouzdan izvor informacija o arhitektonskom dizajnu, geometriji oblika, građevinskom materijalu, konstruktivnim karakteristikama, praksama građenja, kao i njihovim istorijskim vrednostima. Jedinствena platforma na kojoj se svi ovi podaci mogu sagledati i koristiti je Heritage Building Information Model(ing) - HBIM.

Polazište za jedan takav model je skup digitalnih podataka, prikupljenih na terenu, preciznim neinvazivnim metodama terestričkog laserskog skeniranja (TLS), i/ili fotogrametrije, koji se integrišu u model, u formi oblaka tačaka, ili „mesh“-a [1]. Ovaj model je izvor podataka o geometriji objekta, tj. o

arhitektonskom dizajnu, kroz planove-osnovu, preseke i izgleda objekta koji se izdvajaju iz njega¹. Naredni korak je pretvaranje prostornih elemenata (geometrijskih) u BIM elemente, dodavanjem semantike (uloga, značenje) i topologije (relacije)[2].

Ovaj rad je nastavak prethodnog istraživanja, u kome su sačinjene uporedne geometrijske analize šest jedinstvenih portala sa tri glavne manastirske crkve - katolikona u Studenici (12.v), Sopoćanima (13.v) i Dečanima (14.v), koji imaju sličnu strukturu i proporcije. Pored ova tri objekta od izuzetnog značaja za svetsku kulturnu baštinu [3],[4],[5] su još nekoliko katolikona sa portalima ovog tipa: u manastirima Mileševa, Morača, Sv. Arhangelu u Prizrenu i Banjska [6]. Cilj ovog istraživanja je da se predloži način kreiranja parametarskih modela – elemenata portala, koji se dalje mogu koristiti za integraciju u HBIM izabranih objekata. U radu je predstavljen način modelovanja arhivolti, i vertikalnih delova portala, na osnovu utvrđene topologije (videti [7]), uz pomoć alata u software-ima *Solid Works* i *Archi-CAD*. Cilj je da se dobijeni elementi biblioteke mogu koristiti za kreiranje varijanti portala, u skladu sa projektom osnove.

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PORALA

Karakteristike romaničkih portala na crkvama Raškog stila se odnose, kako na njihov strukturalni, tako i na geometrijski koncept. Strukturni koncept je vezan za stepenasto postavljanje elemenata portala po dubini zida, dok su u uglovima stepena obično kolonete. Donji deo portala se sastoji od vertikalno postavljenih dovratnika/stepena, koloneta i lezena, koji su simetrično raspoređeni sa obe strane ulaznog otvora (sl.1a). Dovratnici i kolonete se završavaju kapitelima, a između njih je nadvratna greda sa profilisanim vencem. Gornji deo portala sačinjavaju arhivolte, takođe stepenasto ugrađene, tako da prate odgovarajuću strukturu donjeg dela portala (sl.1b). Arhivolte su oblika koncentričnih lukova, ili srpaste – sa nadvišenim centrima lukova [8]. Glavni - ulazni (zapadni) portal je obično najbogatiji,

¹ Kao efikasan alat za izdvajanje karakterističnih kontura osnova, preseka i izgleda korišćen je *plug-in* za software AutoCAD, Cloud Works (u okviru software-a Lica Cyclon).

u smislu dekoracije, koja se sastoji od klesanog reljefa u mermeru, sa različitim vegetativnim, ili životinjskim motivima [9]. Uobičajeno je da se ovakva dekoracija nađe na završnoj arhivolti i jednom od stepena, uz pridruženu arhivoltu [10].

Svaki od portala je jedinstven, u smislu rasporeda elemenata, dok je geometrija arhivolti usklađena sa projektom osnove – horizontalnim planom [7]. Za kreiranje parametarskog modela od značaja su proporcije elemenata u odnosu na celinu, kao i proporcije same celine. Kako su ranija istraživanja eminentnih istoričara arhitekture, koji su učestvovali i u arheološkim istraživanjima na terenu, svedočila, proporcije donjeg dela portala su konzistentne za većinu portala, i to u odnosu 1:1 [8].

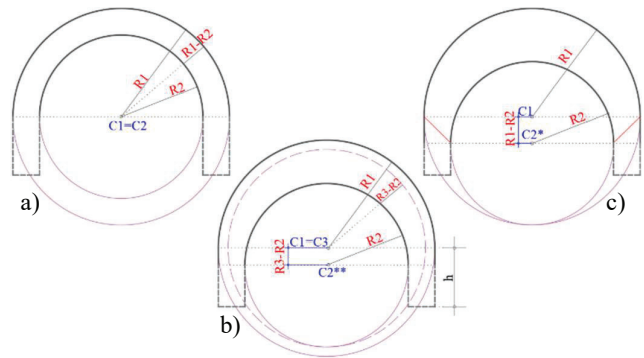
Gornji delovi portala

U prethodnom istraživanju utvrđeno je da dimenzije gornjeg dela portala zavise od veličine lunete, odnosno položaja njenog centra, po visini, u odnosu na nadvratnu gredu. Ustanovljeno je i da se u horizontalnom preseku – u osnovi, mogu koristiti kao modularne mere, širina „a“ i dubina „b“, elemenata stepenaste strukture, koje su karakteristične za izabrani portal [7]. Na osnovu ovako zadatih mera u osnovi/planu portala je moguće i napraviti model gornjeg dela, sa arhivoltama, vezujući njihove radijuse sa odgovarajućim dimenzijama osnove izraženim preko parametra „a“.

Da bi se odredila geometrijska matrica za kreiranje modela gornjeg dela portala sa arhivoltama, ustanovljena su tri karakteristična oblika arhivolti: koncentrična – tip 1, srpasta – tip 2 i srpasta sa umetnutim „štapom“ – tip 3. Dimenzije koje definišu ove elemente su radijusi spoljašnjeg i unutrašnjeg luka arhivolte – $R1$ i $R2$ respektivno, manji radijus „štapa“ – $R3$ i visina vertikalnih elemenata - h , koji se od luka spuštaju ka vencu (gornja površina kapitela). U zavisnosti od rasporeda elemenata promenljiva h se povećava (sl.2).



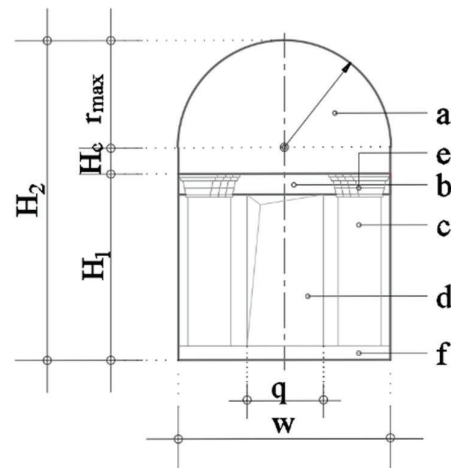
Sl. 1 Severni portal manastira Dečani -a) Deo arhivolti i kapitela sa zapadnog portala manastira Studenice -b).



Sl. 2 Tipovi arhivolti: tip 1 (a), tip 2 (b) i tip 3 (c).

Donji delovi portala

Donji delovi portala, koje sačinjavaju: vertikalni dovratnici, lezene, kolonete, baze i nadvratna greda, su kod Raških portala takođe projektovani u odgovarajućim proporcijama u odnosu na ukupne mere ove celine. Shema koja prikazuje elemente donjeg dela portala je prikazana na sl.3. Oznakama a-f nazačeni su pojedini elementi portala (arhivolte-a, arhitrav-b, stepeni-c, otvor-d, kapiteli-e, baza-f), a kotnim linijama - glavne dimenzije.



Sl. 3 Shema elemenata portala

Za tri analizirana katolikona, u manastirima Studenica, Sopoćani i Dečani, u Tabeli I je dat pregled proporcija u kojima su projektovani elementi izabranih portala (otvor vrata, kapitel, baza i nadvratna greda), u odnosu na celinu – donji deo portala. Razmatrani portali su: Studenica – narteks/naos i južni (SJ i SNN), Sopoćani – zapadni (SoZ) i Dečani – južni (DJ). Merenja elemenata portala su izvršena na crtežima portala izdvojenih iz oblaka tačaka (za portale Studenice i Sopoćana²) i crtežima u relevantnoj literaturi arhitekta konzervatora M. Čanak Medić [12].

² Terestričko lasersko skeniranje objekata je sprovedeno tokom terenskog istraživanja u manastirima u periodu 2016-2017 god. Crteži se nalaze u sklopu autorskog rada [7].

TABELA I. PROPORCIJE ELEMENATA – DONJI DEO PORTALA

	w (q)	H1	Proporcija	PORTAL	Element	h	H1	Proporcija
celina	332	301	1:0.9	SNN	kapitel	46.6	301	1:6.5
otvor	145.3	245.2	1:1.7		greda	30	301	1:10
					baza	20	301	1:15.1
celina	293	271	1:0.9	SJ	kapitel	42	271	1:6.5
otvor	112	221	1:2		greda	30	271	1:9
					baza	18.5	271	1:14.6
celina	278	304	1:1.1	SoZ	kapitel	19.5	304	1:15.6
otvor	141	273	1:1.9		greda	20.5	304	1:14.8
					baza	18	304	1:16.9
celina	306.5	326.8	1:1.1	DJ	kapitel	46.7	326.8	1:7
otvor	129.9	261.9	1:2		greda	36.5	326.8	1:8.9
					baza	22.3	326.8	1:14.6

U tabeli se uočava da su dimenzije istog tipa elementa slične, ili sličnih proporcija (npr. kapiteli na tri portala su u odnosu 1:6.5 i 1:7 prema visini H1; baze portala su u proporcijском odnosu 1:14.6 i 1:15.1), izuzimajući portal u Sopoćanima, pa se može reći da su ovi elementi već “parametrizovani”.

GEOMETRIJA IZABRANOG PORTALA

Reprezentativan portal između narteksa i naosa (SNN), u manastiru Studenica – (sl. 3) je izabran za prikaz principa kreiranja parametarskog modela. Gornji deo portala je sačinjen od četiri arhivolte, raspoređene oko polukružne lunete ukrašene freskom, sa jednim „štapom“ na drugom stepenu. Ovaj portal je karakterističan po tome što se njegovi vertikalni elementi, bez prekida (bez kapitela), produžavaju u lučne arhivolte [8], čime je olakšano modelovanje. Spoljašnja arhivolta je profilisana i naslanja se na kapitele slobodno-stojećih koloneta, ispred vertikalnih lezna (sl.4 - detalj preseka, na slici levo).



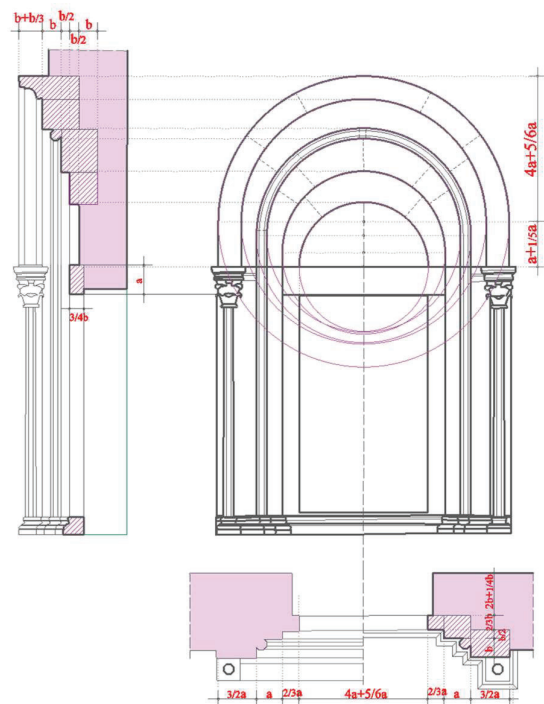
Sl. 3 Izgled – fotografija portala SNN.

Za potrebe modelovanja izvršene su dimenzionе analize portala (plan-osnova, izgled i presek) i prikazane u Tabeli II. Po uzoru na prethodno istraživanje, utvrđene su dimenzije „a“ i „b“ kao parametri za modelovanje. U smislu prepoznavanja tipova arhivolte korišćenih za SNN portal, zaključeno je da su tri susedne arhivolte srpaste, a poslednja je sa koncentričnim lukovima i profilisana (sl. 4).

TABELA II. DIMENZIJE ELEMENATA – OSNOVA PORTALA

PORTAL	Dimenzije	Lezna	2. stepen	Koloneta	1. stepen	Dovratnik	Otvor	Dovratnik	1. stepen	Koloneta	2. stepen	Lezna	modul
		Desna strana			Centar	Leva strana							
SNN	w ¹	44	-	12	30	20	145	18	31	12	-	44	
	modul	3/2a			a	2/3a	4a+5/6a	2/3a	a			3/2a	30
	d ²	8.4	21		9.6		16.4		9.6	21		8.4	
	modul	b/3	b		b/2		3/4b		b/2		b	b/3	21

¹w-širina; ²d-dubina.



Sl. 4 Geometrija i dimenzije portala SNN (presek, izgled i osnova).

MODELOVANJE PORTALA

A Metodologija izrade modela

U praksi i literaturi, u okvirima HBIM-a, jedan od pristupa u modelovanju arhitektonskog nasleđa je upotreba komercijalnih platformi za BIM projektovanje³ u kojima se kreiraju biblioteke parametarskih objekata [13]. Najčešće se koriste programski paketi: *Revit* (sa *Dynamo* vizuelnim programskim jezikom), *ArchiCAD* (sa *PRAM-O*-om) i *Rhynoceros* (sa *Grashopper*-om). Često se prave i kombinacije ovih programskih paketa, imajući u vidu njihovu kompatibilnost,

³ BIM procesi nisu predviđeni za studije već izgrađenih objekata [13].

širok spektar geometrijskih formi koje se mogu izmodelovati i kvalitet vizuelizacije. U ovom radu, je za parametrizaciju modela-prototipa portala korišćen programski paket *Solidworks* sa pogodnim alatima za kreiranje geometrijskih međuzavisnosti elemenata modela, jer ima viši stepen automatizacije kod parametarskog modelovanja [14]. Kombinovan je sa *AutoCAD*-om, kao alatom za vezu sa oblakom tačaka i *ArchiCAD*-om, kao BIM alatom.

Obzirom na izabranu metodu, kao i na uvodna istraživanja geometrije romaničkih portala sa pratećim rezultatima, predstavljena je uloga izabranih software-a u ovom radu:

- *Autodesk AutoCAD*, verzija 2024, kao usvojeni standard u CAD crtanju sa prepoznatljivim Autodesk korisničkim interface-om. Kao najzastupljeniji CAD "alat" za crtanje 2D geometrije i 3D modeliranje [15], ima širok spektar alata i funkcija uz mogućnost uvoza oblaka tačaka (point cloud). Korišćen je za izdvajanje kontura oblika u modelu iz oblaka tačaka, kao i za probna modelovanja detalja (sa varijacijama) na portalu.
- *Solidworks*, verzija 2024 sa relativno jednostavnim i intuitivnim korisničkim interface-om, kao i mogućnošću modeliranja komplikovane 3D geometrije pomoću širokog spektra alata za rad sa punim elementima i parametarskim pristupom modeliranja, bez direktnog unošenja podataka u programski kod [14]. Ključna je i mogućnost izvoženja gotovih trodimenzionalnih modela u druge 3D CAD software-e. Korišćen je kao primarni parametarski modeler arhivolti, dovratnika, greda, lezana i delova kapitela i baza.
- *ArchiCAD* verzija 27, kao alat za BIM modeliranje arhitektonskih objekata sa veoma kompleksnom geometrijom modela, uz odlično organizovan korisnički interface. Posедуje kompatibilnost sa *Solidworks*-om (uvoz punih elemenata je jednostavan) i *CAD software*-ima [1]. Ima mogućnost izrade biblioteke elemenata (ključna za varijacije modela). Uvezeni delovi portala (u *.stl. formatu) su pretvoreni u elemente biblioteke, neophodne za sklapanje modela, a potom je izvedena i realistična arhitektonska vizuelizacija i materijalizacija 3D modela (blisko realističnom prikazu).

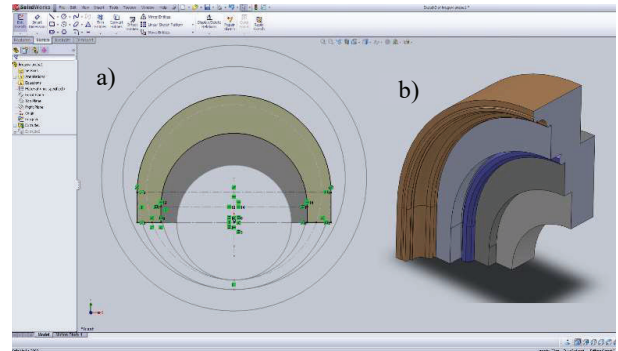
B Proces modelovanja i faze

Model portala, kao i njegovi elementi su kreirani po „idealnoj geometriji“ (primenjena je simetrija i idealni geometrijski oblici), u funkciji parametara „a“ i „b“ u osnovi i u delu sa arhivoltama, dok su elementi donjeg dela portala (baza, kolonete, kapiteli i nadvratna greda definisani proporcijama (u skladu sa podacima u Tabeli 1). Prilikom kreiranja modela, u softveru *Solidworks*, elementi su geometrijski konstruisani i modelovani kao delovi celine, preko geometrijske matrice (koja je parametarski definisana). Potrebno je naglasiti da se elementi portala, kakvi su arhivolte i dovratnici, sastoje iz manjih elemenata (veličina delova je zavisila od raspoloživog kamenog materijala [16] u vreme kada su ovi portali građeni). Naime svaka arhivolta se sastoji iz niza lučno postavljenih delova izvedenih u mermeru (u realnosti, na objektu, su različitih veličina). Slično je i sa dovratnicima i lezanama, čiji su delovi raspoređeni po vertikali. Na modelu su prikazane spojnice (kao urezi) ovih elemenata, onako kako se pojavljuju i u realnosti, na objektu – SNN portalu.

Većinu elemenata portala, u ovom slučaju, je bilo moguće modelovati sa najvišim stepenom detaljnosti LOIN 4⁴), izuzev dela kapitela (ukrasni listići), slobodnostojećih koloneta, koji imaju kompleksniju geometriju.

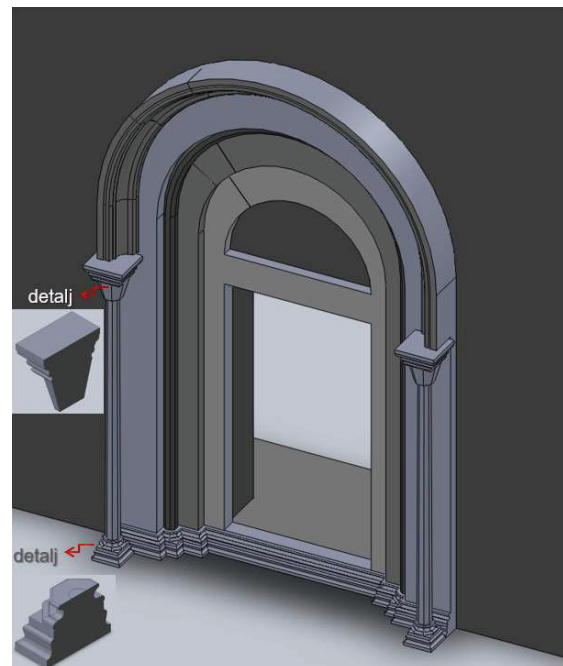
B1 Modelovanje elemenata prema definisanoj geometriji

- Kreirana je primarna geometrijska matrica arhivolti uspostavljenjem geometrijskih međuzavisnosti lukova, a potom su determinisane dve promenljive: „a“ - radijusi (unešeno u vidu formule) intradosa, odnosno ekstradosa i „b“ – dubina (dodelom dubine/ekstrudiranjem svake arhivolte u odnosu na ravan geometrijske matrice) sl. 5a-b.



Sl. 5 Geometrijska matrica za arhivolte – a); modelovane arhivolte – b)

- Vertikalni elementi kompozicije portala – dovratnici i lezana su modelovane u „produžetku“ arhivolti (u skladu sa osnovom), prema dimenzijama (iz Tabele 1), imajući u vidu parametre visine – „h“ i dubine – „b“ (vidljivi deo van mase zida), kao i dela po dubini uzidanog u masu zida (sl. 6).



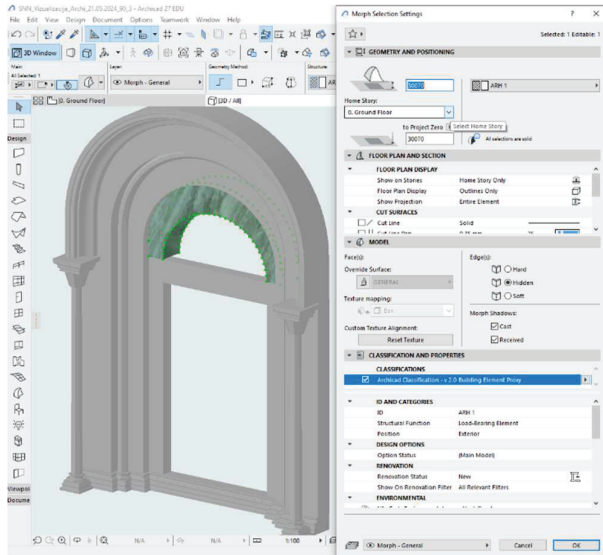
Sl. 6 Gotov geometrijski model sa detaljima u software-u *Solidworks*

⁴ P. Kuroczyński na modelu stuba sa kapitelom i bazom u radu [2] tvrdi da zahtevi za nivoom detaljnosti modela (LOIN – level of information) treba da budu definisani prema potrebama projekta, što ilustruje na fig.1, p.85 [2].

- Ugradnja modela elemenata portala u zid crkve je izvedena na način da su oni postavljeni u ogovarajući položaj (prema crtežu preseka kroz portal), čime se u zidu formira komplementarna geometrija (oduzeta je od mase zida za dubinu ugradnje).

B2 Sklapanje modela u BIM software-u

- Svaki od modelovanih elemenata zasebno je sačuvan kao format *.stl iz *Solidworks* software-a, nakon čega je unet u BIM software - *ArchiCAD* 27. Potom su delovi portala pretvoreni u elemente biblioteke (sl.7) i sklopljeni u celinu.



Sl. 7 Arhivolta - deo strukture portala kao element biblioteke (*ArchiCAD*)

- Nakon kompletiranja 3D punog modela SNN portala, u *ArchiCAD* software-u je izvršena njegova materijalizacija i finalna vizuelizacija, odnosno nanošenje teksture. Svi elementi portala, kao i na originalnom objektu, su materijalizovani u mermeru, koji je različitih boja i tekstura (sl.8).



Sl. 8 Model portala sa materijalizacijom (*ArchiCAD*)

ZAKLJUČAK I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Portali na Raškim crkvama imaju jedinstvenu i kompleksnu strukturu, pa time i geometriju. Njihovo istraživanje je dobilo značaj uvođenjem geometrijskih matrica, u kojima su definisani tipovi elemenata-arhivolti (u saglasnosti sa geometrijom osnove), čijim se variranjem dobijaju različita rešenja, odnosno autentični portali [7]. Istraživanje mogućnosti parametarskog modelovanja romaničkih portala, koji se javljaju na Raškim crkvama, donosi 3D model koji koristi geometrijsku matricu gornjeg dela portala sa arhivoltama i proporcijske odnose donjih delova portala, koji su međuzavisni sa matricom. Za potrebe modelovanja u okviru matrice su korišćeni parametri "a" (širina) i "b" (dubina), koji definišu stepenastu strukturu portala i sadrže se u formulama za pojedinačne elemente (arhivolte i stepene).

Proces modelovanja je sproveden u nekoliko faza, uz upotrebu tri programska paketa, kroz postupke: izdvajanja geometrije portala iz detaljnog oblaka tačaka, u software-u *AutoCAD* (plug-in *CloudWorks*), postavljanja geometrijske matrice i modelovanja u software-u *Solidworks*, kreiranja biblioteke punih modela – elemenata portala i vizuelizacije (tj. dodeljivanja odgovarajućeg materijala i tekstuere) u BIM software-u *ArchiCAD*. Kroz ove postupke je postignuta efikasnost, preciznost i brzina modeliranja prototipa portala studentskog manastira.

U narednoj fazi, istraživanje u okvirima HBIM-a će se baviti varijetetima portala sa drugačijim geometrijskim matricama, detaljima geometrije elemenata, ugradnjom, kao i njihovim vezama.

Ovaj rad doprinosi sve prisutnijem pristupu digitalizacije i zaštite objekata kulturnog nasleđa kroz platformu Heritage Building Information Modelling-HBIM. HBIM pokriva širok spektar objekata u različitim stepenima očuvanosti – od onih koji su potpuno nestali, preko ruiniranih, do očuvanih. U tom smislu su posebno značajne digitalne rekonstrukcije za crkve, ili njihove portale, koji su značajno ruinirani, ili nestali.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] M. Dragović, A. Čučaković, J. Bogdanović, M. Pejić, M. Srećković, "Proportional schemas of Serbian medieval Raška churches based on Štambuk's proportional canon", *Nexus Network Journal* 21, 2019, pp. 33-58.
- [2] P. Kuroczyński, "Serious 3d in Art and Architectural History", *Hertziana Studies in Art History*, "Visualizing Complexities/Practices and Heuristics of Digital Models in Art History", Eds. N. Camerlenghi, T. Michalsky & E. Scirocco, 2023, pp.83-92.
- [3] <https://whc.unesco.org/en/list/389>
- [4] <https://whc.unesco.org/en/list/96>
- [5] <https://whc.unesco.org/en/list/724>
- [6] S. Živkov, "Evidence for the architectural reconstruction of the royal mausoleum in Banjska, Kosovo", *Starohrvatska prosvjeta III-svezak* 41, 2014, pp. 205-224.
- [7] M. Dragović, M. Čirović, J. Bogdanović and A. Čučaković, "Geometric characteristics of the portals of the katholika in the Studenica, Sopoćani, and Dečani monasteries in medieval Serbia", forthcoming at ICGD Conference, Cluj-Napoca, Romania, June 2024.
- [8] S. Nenadović, *Gradevinske tehnike u srednjovekovnoj Srbiji*, Prosveta, 2003, Beograd.
- [9] V. Babić, "Skulptura Bogorodičine crkve u Studenici. Poreklo i uzori.", *Zograf* 43, 2019, pp.89-112.
- [10] B. Todić & M. Čanak Medić, *The Dečani Monastery*, Museum in Priština, Center for protection of national and cultural heritage in Kosovo and Metohija, 2013. Belgrade.

- [11] Đ. Bošković, *Manastir Dečani I*, Stari jugoslovenski umetnički spomenici I deo/ Stari srpski umetnički spomenici knjiga II, Srpska kraljevska akademija, 1941. Beograd.
- [12] M. Čanak Medić, Spomenici srpske arhitekture srednjeg veka. Korpus sakralnih građevina. Manastir Dečani Saborna crkva i arhitektura. Republički zavod za zaštitu spomenika kulture, 2007. Beograd.
- [13] M. Ateni, "Informative Models for Architectural Heritage", *Heritage* 2, 2019, pp. 2067–2089.
- [14] R. Shih & P. Schilling. *Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022*. SDC Publications, 2022.
- [15] M. Obradović, *Računarska geometrija sa 3D modelovanjem*, Akademska Misao, 2015. Beograd
- [16] N. Debljovic Ristić, N. Šekularac, D. Mijović, J. Ivanovic-Šekularac, "Studenica Marble: Significance, Use, Conservation. Sustainability". *Sustainability*, 11 (14): 3916, 2019.

ZAHVALNICA

Autori rada zahvaljuju saradnicima koji su učestvovali u prikupljanju podataka sa terena, laserskim skeniranjem i fotogrametrijom, prof. dr. Marku Pejiću i master inž. Anastasiji Martinenko, kao i kolegici doc.dr. Neveni Debljović Ristić, za pouzdane informacije stečene tokom konzervatorskog rada na spomenicima.

Posebnu zahvalnost autori upućuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije za izdvojena sredstva na projektu Građevinskog fakulteta pod brojem 200092.

ABSTRACT

This research study uses geometric regularities of the architectural design of medieval church portals in Raška (medieval Serbian state) for their 3D parametric modeling. The architectural design of these portals is commonly recognized as Romanesque in style. This research continues the previous investigation on geometric analysis of the architectural design of the six chosen portals. The necessary parameters and shapes of the architectural elements are defined. 3D models of portal elements are created in several phases by selected software packages *AutoCAD (plug-in CloudWorks)*, *Solidworks*, and *ArchiCAD* for BIM modeling. A discussion of other options for modeling couples the articulated modeling procedure with a chosen combination of software packages, presented in this paper. This study aims to develop the digital libraries of elements for the medieval church portals in the broader context of the HBIM (Heritage Building Information Modelling) for historical structures.

PARAMETRIC MODELLING OF MEDIEVAL PORTALS OF THE CHURCHES IN RAŠKA

Magdalena Dragović, Jelena Bogdanović, Srđan Milanović, Vlado Trnavac, Jovan Krsmanović, Miloš Mihailović i Damjan Mučibabić