



STUDENTSKA SEKCIJA ZA INOVACIJE U MEDICINI  
MEDICINSKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Prijava za Rektorovu nagradu u F kategoriji: Nagrada za društveno  
koristan rad u akademskoj i široj zajednici

*Upotreba tehnologije trodimenzionalnog ispisa u planiranju  
kradiokirurških korekcija složenih kongenitalnih srčanih  
grešaka u pedijatrijskoj i adultnoj populaciji*

Lovro Jančić, Nermina Kamarić, Luka Mitar, Konrad Alexander Kiss,  
Bruno Ban, Matea Čunović, Fran Tomljenović, Josip Pardon



## SADRŽAJ

1. STUDENTSKA SEKCIJA ZA INOVACIJE U MEDICINI	1
2. SINERGIJA KONGENITALNE KARDIJALNE KIRURGIJE I TEHNOLOGIJE TRODIMENZIONALNOG ISPISA	7
3. UVOD O PROJEKTU	8
4. CILJEVI PROJEKTA	9
5. IZVEDBA PROJEKTA	10
6. REZULTATI PROJEKTA	13
7. BUDUĆI PROJEKTI	14
8. ZAVRŠNA RIJEČ	14
9. SAŽETAK	16
10. SUMMARY	17
11. PREPORUKE	18

## 1. Studentska sekcija za inovacije u medicini

Studentska sekcija za inovacije u medicini na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pruža platformu za kreativne i ambiciozne studente koji žele unaprijediti medicinsku praksu kroz inovativne pristupe. Ova sekcija okuplja studente različitih godina studija koji dijele zajednički interes za istraživanjem i razvojem novih tehnologija i metoda u medicini. Članovi sekcije sudjeluju u brojnim radionicama, predavanjima i seminarima koje vode stručnjaci iz različitih medicinskih područja. Kroz praktičan rad i projekte, studenti stječu vrijedna znanja i vještine koje im pomažu u budućoj karijeri. Sekcija također potiče međusobnu suradnju i timski rad, što je ključno za razvoj inovacija u medicini. Studenti imaju priliku sudjelovati u nacionalnim i međunarodnim konferencijama, gdje mogu predstaviti svoje istraživačke radove i projekte. Uz podršku fakulteta i mentora, članovi sekcije mogu ostvariti svoje ideje i doprinijeti napretku medicinske znanosti. Cilj sekcije je stvoriti generaciju mladih liječnika i istraživača koji će svojim inovacijama unaprijediti zdravstvenu skrb i poboljšati kvalitetu života pacijenata. Uključivanjem u sekciju, studenti ne samo da šire svoje znanje i vještine, već i grade mrežu poznanstava na kojoj će se temeljiti buduće suradnje. Česti gosti među voditeljima seminara i radionica su upravo i studenti Fakulteta elektronike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.



Fotografija 1. Predavanje i radionica na temu „Primjena trodimenzionalnog ipisa u području ortopedске protetike“ u sklopu 4. Studentskog skupa o rijetkim bolestima



Fotografija 2. Radionica na temu „Primjena individualiziranih pristupa liječenja uz pomoć trodimenzionalnih modernih tehnologija“ u sklopu Croatian Student Summit 17



Fotografija 3. Predavanje na temu „Primjena tehnologija trodimenzionalnog ispisa u području maksilofacijalne kirurgije i dentalne medicine“ u sklopu Konferencije Sekcije za bazične znanosti sa temom Moderne tehnologije u dentalnoj medicini



Fotografija 4a. Radionica na temu Neurosurgery skill lab u sklopu Croatian Student Summit 19



Fotografija 4b . Radionica na temu Neurosurgery skill lab u sklopu Croatian Student Summit 19



Fotografija 5. Predstavljanje koncepta trodimenzionalnog ispisa u planiranju kardiokirurških operacija u sklopu Croatian Student Summit 19



## 2. Sinergija kongenitalne kardijalne kirurgije i tehnologije trodimenzionalnog ispisa

Kongenitalna kardijalna kirurgija bavi se dijagnostikom, liječenjem i kirurškim korekcijama srčanih grešaka koje su prisutne od rođenja. Ove greške, poznate kao kongenitalne srčane greške, uključuju širok spektar strukturnih anomalija srca i velikih krvnih žila koje ometaju normalan protok krvi i funkciju srca. Kirurzi u ovom specijaliziranom području rade na ispravljanju ili ublažavanju ovih anomalija kako bi poboljšali kvalitetu života pacijenata i smanjili rizik od ozbiljnih komplikacija. Ove greške uključuju različite strukturalne anomalije srca, kao što su transpozicija velikih arterija (TGA), hipoplastični lijevi ili desni srčani sindrom (HLHS, HRHS), atrioventrikularni septalni defekt (AVSD), tetralogija Fallot (TOF) i totalna anomalna plućna venska drenaža (TAPVD). Njihova složenost zahtijeva visoko specijalizirane kirurške intervencije i precizno preoperativno planiranje.

Upotreba tehnologije trodimenzionalnog (3D) printanja donosi revoluciju u preoperativno planiranje ovih zahvata. Koristeći visoko rezolucijske medicinske slike poput multidetektorske računalne tomografije (MDCT) i magnetske rezonance (MRI), moguće je izraditi točne 3D anatomske modele pacijentovog srca. Ovi modeli omogućuju kirurzima detaljan uvid u specifične anatomske karakteristike i prostorne odnose srčanih struktura, koje nije uvijek moguće precizno sagledati na 2D slikama.

Primjena 3D printanja u preoperativnom planiranju ima brojne prednosti. Prvo, kirurzi mogu vizualizirati i manipulirati fizičkim modelom srca, što im pomaže u identifikaciji optimalnih kirurških pristupa i tehnika. Na primjer, kod korekcije supralvalvularne aortalne stenozе, 3D model može omogućiti detaljno planiranje zahvata te pristupa. Drugo, omogućava timovima da se bolje pripreme i koordiniraju, smanjujući intraoperativno vrijeme i rizik od ijtrogenih komplikacija. Treće, 3D modeli su izuzetno korisni za edukaciju pacijenata i njihovih obitelji, pružajući im jasniji uvid u kompleksnost i prirodu planiranog zahvata. (Hussein et al., 2020, 2021) Osim toga, 3D printani modeli koriste se i u simulacijama kirurških zahvata, omogućujući kirurzima da unaprijed prakticiraju operaciju i identificiraju potencijalne tehničke izazove. To značajno doprinosi sigurnosti i uspješnosti kirurških intervencija, posebno kod složenih kongenitalnih srčanih grešaka gdje je anatomska preciznost ključna. (Peel et al., 2022; Yoo et al., 2021, 2022)

### **3. Uvod - O projektu “ Upotreba tehnologije trodimenzionalnog ispisa u planiranju kradiokirurških korekcija složenih kongenitalnih srčanih grešaka u pedijatrijskoj i adultnoj populaciji“**

Cilj ovog projekta je uvesti novu tehnologiju personalizirane medicine u kirurške struke. Trodimenzionalni ispis kompleksnih patologija srca omogućava detaljno planiranje operacije i veću stopu preživljenja te pruža priliku za usavršavanje vještina specijalizantima kardiokirurških i ostalih kirurških struka. Ovaj inovativni projekt, vođen konceptom personalizirane medicine, omogućuje izradu fizičkog modela bolesnog srca kojem je potrebna operacija na temelju radioloških snimki stvarnih pacijenata. Model se izrađuje u stvarnoj veličini tehnologijom 3D ispisa različitih materijala i boja. Na temelju fizičkog modela, kardiokirurški tim (sastavljen od kardiokirurga, kardiologa, specijalizanata kirurških disciplina i studenata medicine) detaljno planira tijekom kompleksne operacije prije nego pacijent uopće dođe u operacijsku salu. Materijal od kojeg je model izrađen imitira miokard te ga je moguće manipulirati kirurškim instrumentima.

Osim planiranja, svaka patologija koja se obradi bit će izrađena i u modelima za trening u obliku "dummy" za usavršavanje manualnih vještina kirurškim instrumentima specijalizanata i studenata medicine, što je do sada bilo otežano zbog strogosti protokola vježbanja u operacijskom polju nestabilnih i rizičnih pacijenata. Modeli jedne patologije bit će izrađeni u više primjeraka, što omogućuje više sudionika da paralelno iskuse individualni pristup pacijentu; svaki sudionik će samostalno moći izvesti operacijski zahvat na gumenom srcu.

Projekt je realiziran u suradnji s Klinikom za kardijalnu kirurgiju na KBC-u Zagreb i nastavnom bazom Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Prema našim saznanjima, ovo je prva primjena tehnologije trodimenzionalnog ispisa za potrebe preoperativnog planiranja kongenitalnih srčanih grešaka u Republici Hrvatskoj te među prvima u regiji.

Kako bi savladali sve prepreke uvođenja ove moderne tehnologije u kliničku praksu, formiran je interdisciplinarni tim studenata medicinskog fakulteta i fakulteta elektronike i računarstva. Znanja i vještine rokovanja programskim alatima za obradu trodimenzionalnih nacрта pridonjeli su studenti tehničkog područja dok su poznavanjem ljudske anatomije i kliničkom implementacijom pridonjeli studenti medicinskog fakulteta.

#### 4. Ciljevi projekta

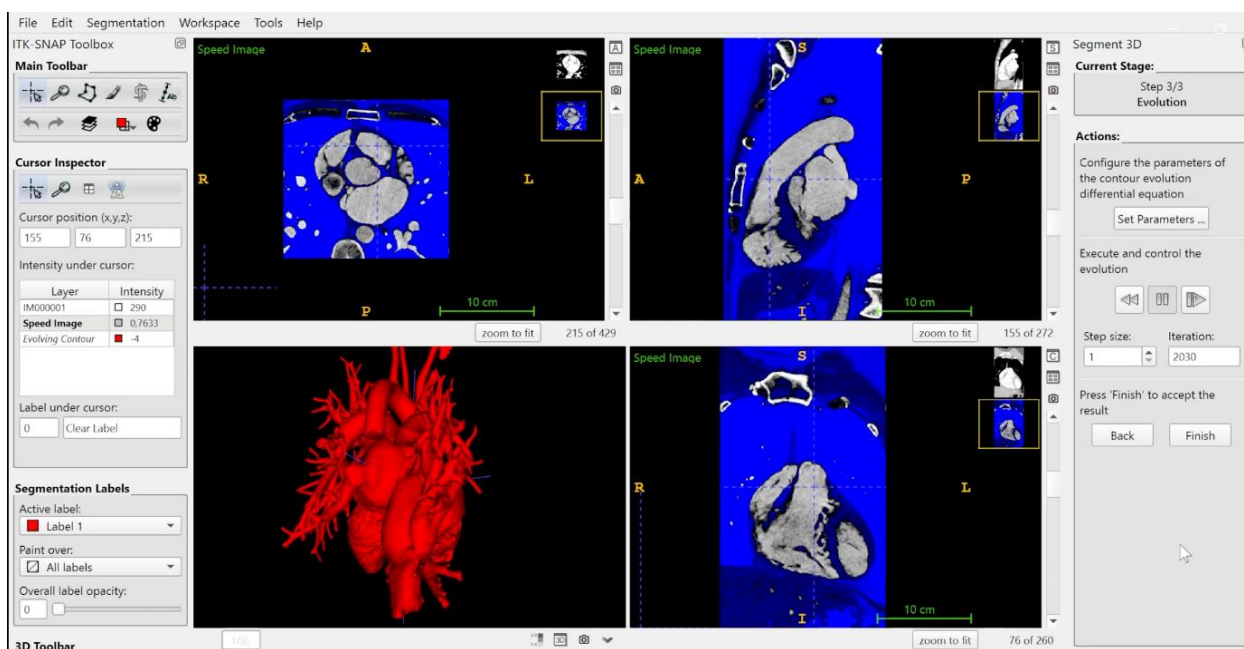
Ciljevi ovog projekta uključuju unapređenje preoperativnog planiranja, povećanje stope preživljenja pacijenata, edukaciju i usavršavanje kirurških vještina, implementaciju personalizirane medicine, inovaciju i tehnološki napredak, suradnju i razvoj stručnosti, dokumentaciju i širenje znanja te poboljšanje pacijentove informiranosti i zadovoljstva.

- 1) Unapređenje preoperativnog planiranja postiže se pružanjem detaljnog uvida kirurzima u specifične anatomske karakteristike srčanih grešaka pomoću 3D printanih modela. To omogućava kirurškom timu da unaprijed planira i vježba operacijske zahvate, čime se smanjuje vrijeme provedeno u operacijskoj sali i rizik od komplikacija.
- 2) Povećanje stope preživljenja pacijenata ostvaruje se preciznijim planiranjem operacija, što dovodi do boljih ishoda i povećane stope preživljenja kod pacijenata sa složenim kongenitalnim srčanim greškama. Edukacija i usavršavanje kirurških vještina omogućavaju specijalizantima i studentima medicine praktično iskustvo i usavršavanje kirurških vještina na 3D modelima, stvarajući mogućnosti za vježbanje operativnih tehnika u kontroliranim uvjetima bez rizika za pacijente.
- 3) Implementacija personalizirane medicine omogućuje korištenje individualnih radioloških snimki za izradu personaliziranih 3D modela srca, čime se prilagođava kirurški pristup specifičnim potrebama svakog pacijenta. Inovacija i tehnološki napredak uvode tehnologiju 3D printanja u medicinsku praksu, unapređujući standard preoperativnog planiranja i postavljajući temelje za daljnje inovacije u medicini.
- 4) Projekt također jača suradnju između Klinike za kardijalnu kirurgiju na KBC-u Zagreb, Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Fakulteta elektrotehnika i računarstva, razvijajući interdisciplinarni pristup koji uključuje kardiokirurge, kardiologe, radiologe, specijalizante i studente medicine, studente elektrotehnike i računarstva. Dokumentacija i analiza rezultata primjene 3D printanih modela u preoperativnom planiranju stvaraju bazu znanja za buduće generacije kirurga, a stečena znanja i iskustva dijele se kroz publikacije, seminare i konferencije u cilju promoviranja najbolje prakse u liječenju kongenitalnih srčanih grešaka.
- 5) Poboljšanje pacijentove informiranosti i zadovoljstva postiže se korištenjem 3D modela za edukaciju pacijenata i njihovih obitelji o prirodi kirurškog zahvata, čime se povećava njihovo razumijevanje i povjerenje u postupak. Prema našim saznanjima, ovo je prva primjena tehnologije trodimenzionalnog ispisa za potrebe preoperativnog planiranja kongenitalnih srčanih grešaka u Republici Hrvatskoj te među prvima u regiji.

## 5. Izvedba projekta

Program je započeo u veljači 2024. godine s ciljem unapređenja preoperativnog planiranja i edukacije u području kardiokirurgije. Tim se sastoji od više članova, uključujući dva iskusna kardiokirurga, jednog specijalizanta za kongenitalne srčane greške te studenata medicine i FER-a. Svi članovi tima aktivno sudjeluju u svakodnevnim aktivnostima projekta, doprinoseći svojim znanjima i vještinama.

Početna oprema programa uključivala je dva rabljena 3D pisaa: jedan FDM (Fused Deposition Modeling) i jedan SLA (Stereolitografija) uređaj. Proces izrade modela počinje korištenjem CT i MRI snimki dobivenih tijekom preoperativnih procjena. Snimke se uvoze u open-source softver itk-SNAP (Fotografija 6.), gdje se ručno postavljaju regije interesa i pragovi za diferencijaciju tkiva kako bi se segmentirale i generirale 3D slike srca. Nakon segmentacije, 3D model srca se izvozi u STL (Stereolithography) formatu. Prosječno vrijeme potrebno za kreiranje modela u STL formatu iz CT/MRI snimki iznosi jedan sat.

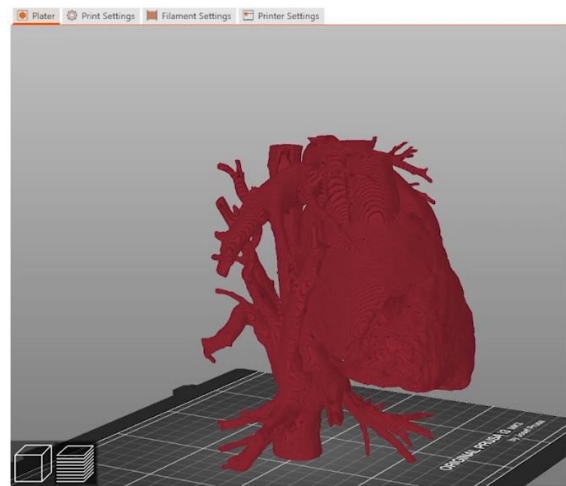
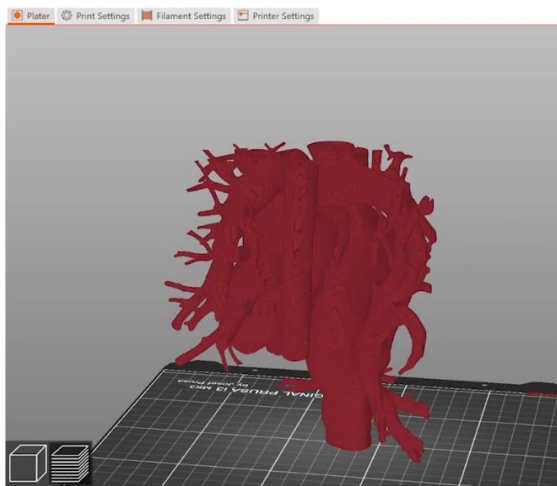


Fotografija 6. Proces izrade modela korištenjem CT i MRI snimki dobivenih tijekom preoperativnih procjena. Snimke se uvoze u open-source softver itk-SNAP gdje se ručno postavljaju regije interesa i pragovi za diferencijaciju tkiva kako bi se segmentirale i generirale 3D slike srca

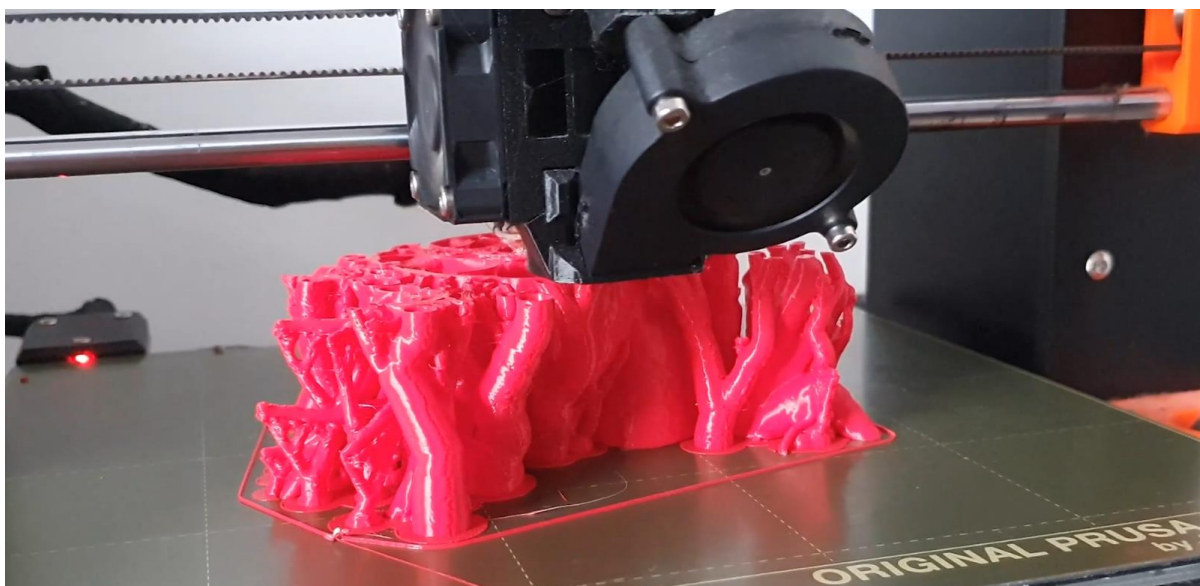


Fotografija 7. 3D slike srca generirane u itk-SNAP softveru sa izdvojenim područjem interesa bitnim za preoperativno planiranje

Koristimo FDM za gumene modele i SLA za plastične modele. FDM tehnika zahtijeva minimalne potrebe za post-procesiranjem, dok SLA nudi veću detaljnost, ali zahtijeva dodatno završno obrađivanje. Maksimalna rezolucija FDM tehnike je 0,1 milimetar, dok SLA metoda omogućuje detalje od 0,01 milimetar na z-osi. Koristeći FDM, modeli se izrađuju od standardnog PLA (polilaktična kiselina) plastike za krute modele koji se koriste u preoperativnom planiranju, kao i od Fiberflex 30D (Fiberlogy, Brzezic, Poljska) gumenog filameta za mekane modele za trening. Za SLA modele, koristimo standardnu fotopolimersku smolu koja se stvrdnjava pod svjetlom valne duljine 405 nanometara.

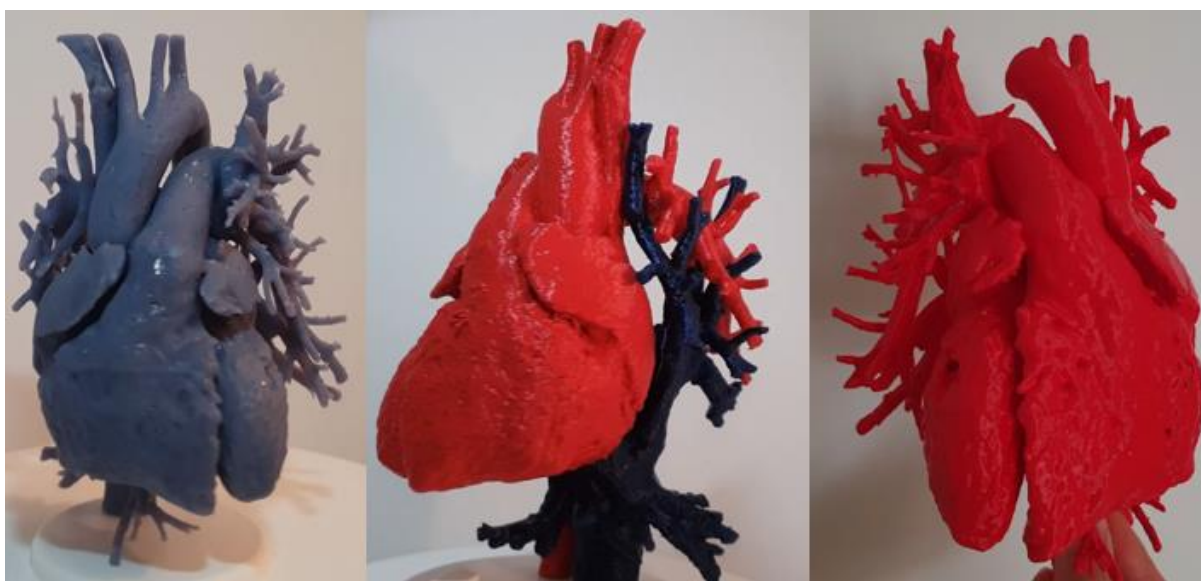


Fotografija 8. Post procesiranje digitalnih modela i priprema za trodimenzionalni ispis



Fotografija 9. Ispis modela srca gumenim materijalom

Od početka programa izrađeno je sedam modela srca u prirodnoj veličini. Ovi modeli uključuju tri plastična srca i četiri gumena srca, koja su korištena u preoperativnom planiranju za tri različita slučaja pacijenata. Konkretno, modeli su korišteni za planiranje operacija kod pacijenata sa Scimitar sindromom, gigantskim atrijskim dodatkom lijevog atrija i perzistentnom lijevom gornjom šupljom venom.

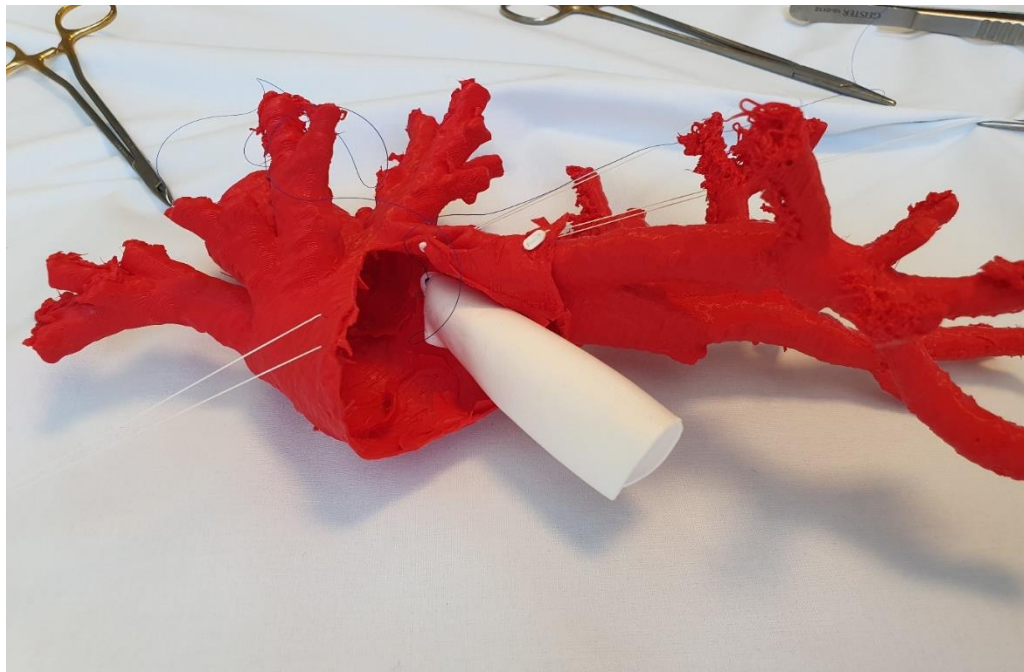


Fotografija 10. Različiti 3D modeli isprintani za potrebe preoperativnog planiranja kardiokirurški korekcija kongenitalnih srčanih grešaka

Kvaliteta ispisanih modela ocijenjena je pomoću posebno izrađenih upitnika i analize podudarnosti. Ova ocjena uključivala je procjenu točnosti modela u usporedbi s originalnim radiološkim snimkama te njihovom korisnošću u preoperativnom planiranju. Prve povratne informacije pokazale su visoku razinu zadovoljstva među kirurzima, koji su istaknuli značajnu pomoć ovih modela u preciznom planiranju kirurških zahvata.

## 6. Rezultati projekta

Modeli su korišteni u preoperativnom planiranju i obuci specijalizanata torakalne kirurgije, konzultanata i specijalista za srčani ultrazvuk. Pozitivne povratne informacije prikupljene su putem posebno izrađenih upitnika za ocjenu njihove korisnosti.



Fotografija 11. Priprema za operacijski zahvat na jednome od isprintanih modela prirodnih srčanih grešaka

Prosječni trošak izrade plastičnih modela iznosio je  $5,33 \pm 1,15$  eura, dok je trošak izrade gumenih modela bio  $14,13 \pm 1,26$  eura, s prosječnim vremenom izrade od  $19,50 \pm 1,00$  sati i  $19,38 \pm 1,50$  sati, redom (Tablica 1). Prosječna cijena u industriji varira između 80 i 120 eura, s vremenom proizvodnje od 15,6 sati. (Lau et al., 2019)

Tablica 1. Analiza vremena potrebnoga za izradu trodimenzionalnog modela.

	Plastični model srca	Gumeni model srca	Pacijentova dijagnoza
Vrijeme od slike do modela / h	19	20	Atrijska aneurizma
	19.5	25	Gigantski atrijski apendiks
	20	30	Scimitar sindrom
		20	
Prosječno vrijeme $\pm$ 2SD	$19.50 \pm 1.00$	$23.75 \pm 9.57$	

Tablica 2. Analiza cijena pojedinačnoga trodimenzionalnog modela.

	Plastični model srca	Gumeni model srca	Pacijentova dijagnoza
Cijena / EUR	5	14	Atrijska aneurizma
	5	13.5	Gigantski atrijski apendiks
	6	14	Scimitar sindrom
		15	
Prosječna cijena ± 2SD	5.33 ± 1.15	14.13 ± 1.26	

## 7. Budući projekti – što dalje?

Cilj u budućnosti je nastaviti usavršavati i poboljšavati kvalitetu naših trodimenzionalnih modela te ih učiniti što pristupačnijima u smislu cijene. Temeljem iskustva stečenog pri izradi prethodno navedenih 3D modela srčanih grešaka, kao i znanja prikupljenog iz drugih projekata, poput neurokirurškog simulatora, planiramo razviti kardiokirurški simulator za antiaritmijsku kirurgiju, konkretno za Cox-Maze zahvat. Za taj interdisciplinarni projekt će pogotovo biti važan nastavak suradnje studenata tehničkog i medicinskog područja.

## 8. Završna riječ

Vodstvo sekcije za inovacije smatra da ovaj projekt zaslužuje rektorovu nagradu za društveno koristan rad jer je uspješno demonstrirao kako integracija napredne tehnologije, poput trodimenzionalnog printanja, može značajno unaprijediti medicinsku praksu i edukaciju. Kroz suradnju s Klinikom za kardijalnu kirurgiju na KBC-u Zagreb i nastavnom bazom Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te Fakultetom elektrotehnike i računarstva, projekt je omogućio preciznije preoperativno planiranje, smanjio rizik od komplikacija te pružio neprocjenjivo iskustvo specijalizantima i studentima medicine.

Razvijeni modeli su dokazali svoju korisnost u stvarnim kliničkim scenarijima, donoseći izravne koristi pacijentima sa složenim kongenitalnim srčanim greškama. Prema našim saznanjima, ovo je prva primjena tehnologije trodimenzionalnog ispisa za potrebe preoperativnog planiranja kongenitalnih srčanih grešaka u Hrvatskoj te među prvima u regiji. Osim toga, projekt je ekonomski isplativ, snižavajući troškove izrade modela u usporedbi s industrijskim standardima. Inovativnost, edukativni aspekt i pozitivan utjecaj na zdravstvenu skrb čine ovaj rad izuzetnim primjerom društveno korisnog doprinosa, vrijednim priznanja i podrške. Smatramo da je ovo jedan od rijetkih, ako ne i jedini projekt na razini sveučilišta koji je u potpunosti vođen od strane studenata a za koji se može reći da direktno i neosporivo utječe na preživljenje izrazito kompleksnih zahvata.

Nagrada će nam pomoći pri prepoznavanju i apliciranju za natječaje, što će rezultirati još boljom opremom, boljim rezultatima te većim brojem ljudi kojima možemo pomoći. Ovaj projekt ne samo da unapređuje medicinsku praksu već i postavlja temelje za daljnje inovacije i poboljšanja u zdravstvenoj skrbi, čime se izravno doprinosi boljitku zajednice.



## Bibliografija:

- Hussein, N., Honjo, O., Barron, D. J., & Yoo, S. J. (2021). Supravalvular aortic stenosis repair: Surgical training of 2 repair techniques using 3D-printed models. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 33(6), 966–968. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivab198>
- Hussein, N., Kasdi, R., Coles, J. G., & Yoo, S. J. (2020). Use of 3-dimensionally printed heart models in the planning and simulation of surgery in patients with Raghb syndrome (coronary sinus defect with left superior vena cava). *JTCVS Techniques*, 2, 135–138. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2020.01.023>
- Lau, I., Wong, Y. H., Yeong, C. H., Abdul Aziz, Y. F., Md Sari, N. A., Hashim, S. A., & Sun, Z. (2019). Quantitative and qualitative comparison of low- and high-cost 3D-printed heart models. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 9(1), 107–114. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.01.02>
- Peel, B., Lee, W., Hussein, N., & Yoo, S. J. (2022). State-of-the-art silicone molded models for simulation of arterial switch operation: Innovation with parting-and-assembly strategy. *JTCVS Techniques*, 12, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2021.12.009>
- Yoo, S. J., Hussein, N., & Barron, D. J. (2022). Congenital Heart Surgery Skill Training Using Simulation Models: Not an Option but a Necessity. In *Journal of Korean Medical Science* (Vol. 37, Issue 38). Korean Academy of Medical Science. <https://doi.org/10.3346/jkms.2022.37.e293>
- Yoo, S. J., Hussein, N., Peel, B., Coles, J., Arsdell, G. S. van, Honjo, O., Haller, C., Lam, C. Z., Seed, M., & Barron, D. (2021). 3D Modeling and Printing in Congenital Heart Surgery: Entering the Stage of Maturation. In *Frontiers in Pediatrics* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.621672>

## 9. SAŽETAK

**Uvod:** Kongenitalna kardijalna kirurgija bavi se dijagnostikom, liječenjem i kirurškim korekcijama srčanih grešaka koje su prisutne od rođenja. Ove greške, poznate kao kongenitalne srčane greške, obuhvaćaju širok spektar strukturnih anomalija srca i velikih krvnih žila koje ometaju normalan protok krvi i funkciju srca. Kirurzi u ovom specijaliziranom području rade na ispravljanju ili ublažavanju ovih anomalija kako bi poboljšali kvalitetu života pacijenata i smanjili rizik od ozbiljnih komplikacija. Primjena 3D printanja u preoperativnom planiranju ima brojne prednosti. Prvo, kirurzi mogu vizualizirati i manipulirati fizičkim modelom srca, što im pomaže u identifikaciji optimalnih kirurških pristupa i tehnika. Cilj ovog projekta je uvesti novu tehnologiju personalizirane medicine u kirurške struke. Projekt je realiziran u suradnji s Klinikom za kardijalnu kirurgiju na KBC-u Zagreb i nastavnom bazom Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Prema našim saznanjima, ovo je prva primjena tehnologije trodimenzionalnog ispisa za potrebe preoperativnog planiranja kongenitalnih srčanih grešaka u Hrvatskoj te među prvima u regiji.

**Ciljevi:** Ciljevi ovog projekta uključuju unaprjeđenje preoperativnog planiranja, povećanje stope preživljenja pacijenata, edukaciju i usavršavanje kirurških vještina, implementaciju personalizirane medicine, inovaciju i tehnološki napredak, suradnju i razvoj stručnosti, dokumentaciju i širenje znanja te poboljšanje pacijentove informiranosti i zadovoljstva.

**Izvedba:** Program je započeo u veljači 2024. Tim se sastoji od jedanaest članova, uključujući dva iskusna kardiokirurga, jednog specijalizanta za kongenitalne srčane greške, pet studenata medicine te tri studenta elektrotehnike i računarstva. Početna oprema programa uključivala je dva 3D pisaača: jedan FDM (Fused Deposition Modeling) i jedan SLA (Stereolitografija) uređaj. Proces izrade modela započinje korištenjem CT i MRI snimki dobivenih tijekom preoperativnih procjena. Snimke se uvoze u open-source softver itk-SNAP. Nakon segmentacije, 3D model srca izvozi se u STL (Stereolithography) format. Prosječno vrijeme potrebno za kreiranje modela u STL formatu iz CT/MRI snimki iznosi jedan sat.

**Rezultati projekta:** Od početka programa izrađeno je sedam modela srca u prirodnoj veličini. Ovi modeli uključuju tri plastična srca i četiri gumena srca, koji su korišteni u preoperativnom planiranju za tri različita pacijenta s Scimitar sindromom, gigantskim atrijskim dodatkom lijevog atrija i perzistentnom lijevom gornjom šupljom venom.

**Zaključak:** Kroz suradnju s Klinikom za kardijalnu kirurgiju na KBC-u Zagreb i nastavnom bazom Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, projekt je omogućio preciznije preoperativno planiranje, smanjenje rizika od komplikacija te pružio neprocjenjivo iskustvo specijalizantima i studentima medicine. Razvijeni modeli su dokazali svoju korisnost u stvarnim kliničkim scenarijima, donoseći izravne koristi pacijentima sa složenim kongenitalnim srčanim greškama.

**Ključne riječi:** kongenitalna kardijalna kirurgija, 3D printanje, preoperativno planiranje, personalizirana medicina, napredna tehnologija

## 10. SUMMARY

**Introduction:** Congenital cardiac surgery deals with the diagnosis, treatment, and surgical corrections of heart defects present from birth. These defects, known as congenital heart defects, encompass a wide range of structural anomalies of the heart and major blood vessels that disrupt normal blood flow and cardiac function. The application of 3D printing in preoperative planning offers numerous advantages. Firstly, surgeons can visualize and manipulate a physical model of the heart, aiding in identifying optimal surgical approaches and techniques. The aim of this project is to introduce new technology of personalized medicine into surgical practice. The project was implemented in collaboration with the Cardiac Surgery Clinic at KBC Zagreb and the teaching base of the University of Zagreb School of Medicine. According to our knowledge, this is the first application of three-dimensional printing technology for preoperative planning of congenital heart defects and among the first in the region.

**Objectives:** The objectives of this project include improving preoperative planning, increasing patient survival rates, educating and enhancing surgical skills, implementing personalized medicine, innovation and technological advancement, collaboration and expertise development, documentation and knowledge dissemination, and improving patient awareness and satisfaction.

**Execution:** The program started in February 2024. The team consists of eleven members, including two experienced cardiothoracic surgeons, one congenital heart defects specialist, five medical students and three engineering students. The initial equipment of the program included two 3D printers: one FDM (Fused Deposition Modeling) and one SLA (Stereolithography) device. The process of creating models begins with the use of CT and MRI scans obtained during preoperative assessments. The scans are imported into the open-source itk-SNAP software. After segmentation, the 3D model of the heart is exported in STL (Stereolithography) format. The average time required to create a model in STL format from CT/MRI scans is one hour.

**Results of the project:** Since the beginning of the program, seven life-sized heart models have been created. These models include three plastic hearts and four rubber hearts, which were used in preoperative planning for three different patient cases: Scimitar syndrome, giant left atrial appendage, and persistent left superior vena cava.

**Conclusion:** Through collaboration with the Cardiac Surgery Clinic at KBC Zagreb and the teaching base of the University of Zagreb School of Medicine, the project has enabled more precise preoperative planning, reduced the risk of complications, and provided invaluable experience to medical trainees and students. The developed models have proven their utility in real clinical scenarios, bringing direct benefits to patients with complex congenital heart defects. The award will assist us in recognition and application for grants, resulting in better equipment, improved outcomes, and the ability to help more people. This project not only enhances medical practice but also lays the groundwork for further innovations and improvements in healthcare, directly contributing to community well-being.

**Keywords:** congenital cardiac surgery, 3D printing, preoperative planning, personalized medicine, advanced technology



## 11. PREPORUKE



Zagreb, 5.srpnja.2024

Predmet: Podrška prijavi projekta „Upotreba tehnologije trodimenzionalnog ispisa u planiranju kradiokirurških korekcija složenih kongenitalnih srčanih grešaka u pedijatrijskoj i adultnoj populaciji“ za Rektorovu nagradu

Poštovani,

Zaprimio sam navedeni projekt na ocjenu i mišljenje u svrhu prijave za Rektorovu nagradu. Smatram ovaj projekt veoma korisnim i inovativnim, budući da studentima nudi priliku za uvježbavanje vještina koje se ne stječu tijekom redovne nastave fakultetske nastave. Također, studentima ovaj projekt nudi priliku steći važna znanja o primjenjenoj znanosti koja je temelj suvremene medicine, ali i razvoja društva općenito.

Korištenje trodimenzionalnih modela već je dokazano izrazito korisna metoda u procesu pripreme na kradiokirurške zahvate. Zbog kompleksnosti širokog spektra patologija kao i fiziološke raznolikosti svakog pojedinog pacijenta, neophodna je priprema kirurškog tima za svakog individualnog pacijenta, a ona uključuje, između ostalog, promatranje i analizu radioloških snimki što predstavlja izazov u predoperativnoj vizualizaciji stvarnog stanja patologije i ostavlja jedan faktor potencijalne greške u planiranju operacije.

Printanje trodimenzionalnog modela na osnovi radioloških snimki dotičnog pacijenta bitna je metoda pripreme na operaciju koja se primjenjuje u zdravstvenim centrima u visoko razvijenim zemljama. Takvi modeli služe specijalizantima u edukaciji, mladim specijalistima u pripremi, čak i starijim iskusnijim specijalistima u uočavanju detalja koji mogu postaviti izazov ili pak olakšati operacijski zahvat.

Zbog svega navedenog, potvrđujem da ovaj projekt ima punu podršku.

S poštovanjem,

Dražan Belina, dr.med.  
Klinika za kardijalnu kirurgiju  
KBC Zagreb, Rebro



prof.dr.sc. Vedran Katavić, dr. med.  
 ZAVOD ZA ANATOMIJU "DRAGO PEROVIĆ"  
 MEDICINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
 ŠALATA 11, 10000 ZAGREB, HRVATSKA  
 Tel.: 01 456 6826, Faks: 01 459 0195  
 vedran.katavic@mef.hr



Full Professor Vedran Katavić, MD PhD  
 DEPARTMENT OF ANATOMY  
 UNIVERSITY OF ZAGREB SCHOOL OF MEDICINE  
 ŠALATA 11, 10000 ZAGREB, CROATIA  
 Phone: +385 1 456 6826, Fax: +385 1 459 0195  
 vedran.katavic@mef.hr

8. srpnja 2024.

**Predmet:** Podrška prijavi projekta „Upotreba tehnologije trodimenzionalnog ispisa u planiranju kradiokirurških korekcija složenih kongenitalnih srčanih grešaka u pedijatrijskoj i adultnoj populaciji“ za Rektorovu nagradu

Projekt korištenja 3D printanih modela srca predstavlja značajan doprinos i pionirski pothvat u ovom segmentu medicinske edukacije u Republici Hrvatskoj. Ovi trodimenzionalni modeli omogućuju studentima i mladim liječnicima da unaprijede svoje manualne vještine, pružajući im realistična, taktilna iskustva koja su ključna za uspješno izvođenje složenih kirurških zahvata. Printanje 3D modela omogućilo je i realno (tzv. *lived experience*) iskustvo specijalizantima da se okušaju u izvođenju kardiokirurških operacija.

Osim edukacijskog aspekta, ovaj projekt ima i ogroman potencijal u planiranju kardiokirurških operacija. Korištenjem 3D modela specifičnih anatomskih karakteristika pojedinog pacijenta (tzv. individualizirana medicina), kirurzi mogu precizno isplanirati operacijske zahvate, što mjerljivo poboljšava ishode operacija. O ovome svjedoči činjenica da u brojnim bolnicama diljem svijeta postoje specijalizirani timovi posvećeni upravo korištenju 3D modela u preoperativnoj pripremi pacijenata i operatera.

Inovativnost i marljivost koje su studenti pokazali tijekom razvoja ovog projekta zaslužuju priznanje i podršku. Njihov rad ne samo da unapređuje medicinsku praksu, već i postavlja visoke standarde za buduće generacije liječnika.

Stoga, s velikim uvjerenjem preporučujem ovaj projekt za Rektorovu nagradu. Siguran sam da će ova nagrada dodatno motivirati studente i pridonijeti daljnjem razvoju njihovih karijera te inovacija u medicini.

S poštovanjem,

Prof. dr. sc. Vedran Katavić, dr. med.