



Dr.Sc.-01 PRIJAVA TEME DOKTORSKOG RADA

TESTNI OBRAZAC

OPĆI PODACI I KONTAKT DOKTORANDA/DOKTORANDICE

Titula, ime i prezime doktoranda/doktorandice:	Mladen Burić, mag. ing. mech.		
Nositelj studija:	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje		
Naziv studija:	Strojarstvo i brodogradnja		
Matični broj doktoranda/doktorandice:	35002987		
Odobravanje teme za stjecanje doktorata znanosti: (molimo zacrniti polje):	<input checked="" type="checkbox"/> u okviru doktorskog studija	<input type="checkbox"/> na temelju znanstvenih dostignuća	<input type="checkbox"/> dvojni doktorat (cotutelle)
Ime i prezime majke ili oca:	Ivka i Ilija Burić		
Datum i mjesto rođenja:	30.08.1987., Odžak, Bosna i Hercegovina		
Adresa:	Zdenac 17, Rovinj, Hrvatska		
Telefon/mobilni:	091 549 3223		
E-mail:	mladen.buric@yahoo.com		

ŽIVOTOPIS DOKTORANDA/DOKTORANDICE

Obrazovanje (kronološki od novijeg k starijem datumu):	1. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Studiji strojarstva, Diplomski, Hrvatska (2011./2012.) 2. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Studiji strojarstva, Preddiplomski, Hrvatska (2010./2011.)
Radno iskustvo (kronološki od novijeg k starijem datumu):	07.01.2019. - danas: Konstrukcijski inženjer, PIA Automation, Zagreb, Hrvatska 17.10.2016. - 03.01.2019.: Konstrukcijski inženjer, Yazaki Europe Limited, Zagreb, Hrvatska 07.01.2013. - 14.10.2016.: Inženjer za mehanički integritet, Alstom & General Electric Hrvatska, Karlovac, Hrvatska 01.09.2011. - 29.02.2012.: Studentska praksa, ABB Turbosystems, Baden, Švicarska
Popis radova i aktivnih sudjelovanja na znanstvenim skupovima:	1. Buric, Mladen; Brcic, Mario; Skec, Stanko Towards Automated Drafting in CAD Systems. // 4th International Conference on Electronics and Electrical Engineering Technology (EEET 2021) Nanjing: ACM, 2021. str. 233-238 doi:10.1145/3508297.3508335 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni) 2. Burić, Mladen; Marjanović, Dorian A TOOL FOR IDEALISATION OF CAD MODELS. // DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference Dubrovnik: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia ; The Design Society, Glasgow, UK, 2018. str. 205-214 doi:10.21278/idc.2018.0367 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni) 3. Buric, Mladen; Katana, Branko Low-Cost Experimental Setup for 2D Digital Image Correlation Method. // 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE "VALLIS AUREA"



	Požega, 2016. str. 43-53 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni) 4. Katana, Branko; Buric, Mladen Polymer Materials in the Food Industry. // 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE "VALLIS AUREA" Požega, 2016. str. 199-206 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
--	--

NASLOV PREDLOŽENE TEME

Hrvatski:	Metoda za računalno potpomognutu detekciju simetrije u 3D CAD modelima
Engleski:	A method for computer-aided symmetry detection in 3D CAD models
Naslov na jeziku na kojem će se pisati rad (ako nije na hrvatskom ili engleskom):	
Područje/polje/grana:	Tehničke znanosti / Strojarstvo / Opće strojarstvo (konstrukcije)

PREDLOŽENI ILI POTENCIJALNI MENTOR(I)

(navesti drugog mentora ako se radi o interdisciplinarnom istraživanju ili ako postoji neki drugi razlog za višestruko mentorstvo)

	Titula, ime i prezime:	Ustanova, država:	E-Pošta:
Prvi mentor:	doc. dr. sc. Stanko Škec	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska	stanko.skec@fsb.hr

KOMPETENCIJE MENTORA - popis do pet objavljenih relevantnih radova u posljednjih pet godina

Prvi mentor:	1. Horvat N, Martinec T, Lukačević F, Perišić MM, Škec S. The potential of immersive virtual reality for representations in design education, Virtual reality, 2022. 2. Horvat N, Martinec T, Becattini N, Škec S. Identifying Indicators for the Use of Virtual Prototypes in Distributed Design Activities, Computer-Aided Design and Applications, 2022. 3. Lukačević F, Škec S, Töring P, Štorga M. Identifying subassemblies and understanding their functions during a design review in immersive and non-immersive virtual environments, Frontiers of Engineering Management, 2020. 4. Kosec P, Škec S, Miler D. A comparison of the tolerance analysis methods in the open-loop assembly, Advances in production engineering & management, 2020. 5. Martinec T, Škec S, Perišić MM, Štorga M. Revisiting Problem-Solution Co-volution in the Context of Team Conceptual Design Activity, Applied Sciences-Basel, 2020.
--------------	--

OBRAZLOŽENJE TEME

Sažetak na hrvatskom jeziku: (maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)	Računalno potpomognuta detekcija simetrije bavi automatskom identifikacijom ravnina, osi ili točaka simetrije u 2D ili 3D digitalnim objektima. 3D digitalni objekti koji će biti predmet istraživanja u ovom radu jesu kruti CAD modeli s rubnim prikazom. Postojeći pristupi za računalno potpomognutu detekciju simetrije u 3D CAD modelima s rubnim prikazom ograničeni su na samo pet osnovnih analitičkih površina (ravnina, cilindar, stožac, sfera i torus), iako CAD modeli često sadrže i numeričke površine (npr. Bézier, B-Spline, itd.). Stoga je glavni cilj ove disertacije predložiti metodu i razviti računalno okruženje za detekciju egzaktne globalne i parcijalne refleksijske i osne simetrije u CAD modelima s rubnim prikazom koji sadrže analitičke i numeričke površine. Predložena metoda i računalno okruženja
--	--



	bit će podvrgnuti validaciji, s glavnim ciljem utvrđivanja točnosti detekcije simetrije, odnosno otkrivanja odgovarajućih ravnina i osi simetrije.
Sažetak na engleskom jeziku: (maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)	Computer-Aided Symmetry Detection deals with the automatic identification of the planes, axes, or points of symmetry in 2D or 3D digital objects. The 3D digital objects that will be the subject of research in this paper are solid CAD models with Boundary representation (B-rep). The existing Computer-Aided Symmetry Detection approaches related to B-rep CAD models are restricted to only five basic analytic surfaces (plane, cylinder, cone, sphere, and torus), although CAD models often contain also numerical surfaces (e.g., Bézier, B-Spline, etc.). Hence, the main objective of the present thesis is to propose a method and develop a computational environment for the detection of exact global and partial reflectional and axisymmetry in B-rep CAD models that contain analytical as well as numerical surfaces. The proposed method and the computational environment will be subjected to validation where the main goal is to evaluate the symmetry detection correctness, i.e., identification of the corresponding planes and axes of symmetry.

Uvod i pregled dosadašnjih istraživanja (preporučeno 7000 znakova s praznim mjestima)

Geometrijska simetrija (u daljnjem tekstu simetrija) se često koristi u strojnim dijelovima ili sklopovima jer je svrshodna u smislu funkcije [1], analize konstrukcija [2], proizvodnje [3], montaže [4], smanjenja složenosti ili estetike. Simetrično oblikovani strojni dijelovi manje su skloni pogreškama pri montaži te zahtijevaju manje vremena za montažu [4]. Simetrija je korisna u proizvodnji za definiranje ravnine razdvajanja u procesima štancanja i injekcijskog prešanja [3]. U računalno potpomognutom inženjerstvu (engl. Computer-Aided Engineering, CAE) simetrija se često upotrebljava za smanjenje veličine 3D modela, što posljedično smanjuje i računalni zahtjev analize [2]. Kod tehničkog crtanja, simetrični dijelovi mogu se nacrtati pola u presjeku te pola u vanjskom pogledu [5], što može smanjiti broj potrebnih projekcija. U mehanici, svojstva simetrije strukture mogu imati značajan utjecaj na statičko i kinetičko ponašanje strukture [6]. Na temelju navedenih primjera može se zaključiti da je simetrija važno svojstvo koje se često koristi u strojarstvu.

Tijekom Konstruiranja pomoću računala (engl. Computer-Aided Design, CAD), često se javlja potreba za provjerom o tome postoji li u simetrično konstruiranim 3D modelima doista određena vrsta simetrije. Međutim, informacija o simetriji rijetko je izravno pohranjene u izvornim CAD modelima i nikada neutralnim formatima datoteka za razmjenu (npr. STEP, IGS, itd.). U iznimnom slučaju informacije o simetriji mogu biti pohranjene u izvornom CAD modelu kada je konačni oblik geometrije stvoren operacijom zrcaljenja u odnosu na ravninu. Stoga se nerijetko za dohvaćanja informacije o simetriji koristi vizualno prepoznavanje od strane čovjeka. Međutim, za vrlo složene geometrijske oblike ili veliki broj 3D modela iz CAD rezervorija, vizualno prepoznavanje može biti zahtjevno i dugotrajno [3]. Isto tako, egzaktna simetrija ne može se postići vizualnim prepoznavanjem ni u jednom CAD modelu [7]. Drugi način za otkrivanje informacije o simetriji je upotrebom računalno potpomognute detekcije simetrije (RPDS), koja se bavi automatskom identifikacijom ravnina, osi ili točaka simetrije u 2D ili 3D digitalnim objektima. RPDS dobila je značajnu pozornost ne samo u strojarstvu [2] već i u drugim područjima kao što su matematika [8], računarstvo [9], medicina [10], arhitektura i građevinarstvo [11], itd. U strojarstvu, RPDS korištena je za pronalaženje [12], kompresiju [13] i poravnanje [14] 3D CAD modela, CAE [2], oblikovanje proizvoda za sklapanje [15], otkrivanje namjere konstruktora u skeniranim modelima kod povratnog inženjerstva [16], itd.

Objekt je simetričan ako je invarijantan prema geometrijskim transformacijama kao što su *refleksija*, *rotacija*, *translacija* ili njihova *kombinacija* [17]. RPDS mogu se klasificirati prema različitim kriterijima: prema vrsti ulaznih podataka – *diskretni* [11] i *kontinuirani* [18] te *2D* [9] i *3D* [10], prema mjerilu – *globalna* [11] i *parcijalna* (ili kvazi-simetrija) [19] i *lokalna* [8], prema točnosti – *egzaktna* (točna, savršena) [19] i *aproximativna* (približna, nesavršena) [20], prema metrići udaljenosti – *ekstrinzična* i *intrinzična* [12], te prema vrsti transformacije – *refleksijska* [19][20], *rotacijska* (osna simetrija [11] i ciklička [2] simetrija), *diedarska* [9] (kombinacija refleksijske i rotacijske simetrije), itd. Ovo istraživanje bit će usmjereno na egzaktnu simetriju jer točnost detekcije simetrije kod strojnih dijelova mora biti barem unutar točnosti procesa proizvodnje (10^{-6} m) [3]. Nadalje, opseg istraživanja obuhvaća refleksijsku i osnu simetriju, dvije najčešće vrste simetrije u strojnim dijelovima [15]. Štoviše, strojni dijelovi često pokazuju globalnu i parcijalnu simetriju pa će se ovo istraživanje baviti upravo tim dvjema vrstama simetrija. Globalna simetrija znači da je cijeli objekt simetričan, dok parcijalna simetrija znači da je globalna simetričnost objekta narušena lokalnim nesimetričnim područjima [15].

Općenito, pristupi za RPDS u 3D digitalnim objektima temelje se na *geometriji* i na *prikazu* [19]. Pristup temeljen na *geometriji* koristi informacije o geometriji te su uobičajeni ulazni modeli kruti CAD modeli [3][7], rešetkaste konstrukcije [20], voksel modeli [22], NURBS modeli [12], oblaci točaka [23][24], mrežasti modeli [25] itd. U nekim slučajevima, početni ulazni model se dalje obrađuje i pretvara, npr.



mrežni modeli u voksel modele [21] ili oblake točaka [22]. Pristup temeljen na geometriji bavi se detekcijom aproksimativne [9] i egzaktne simetrije [3]. U pristupu temeljenom na *pogledu*, 3D objekt se pretvara u 2D prikaz, kao npr. sliku [21] ili projekciju [19]. Međutim, ovaj pristup bavi se otkrivanjem aproksimativne simetrije. Uobičajena strategija RPDS-a je da se za zadani ulazni model identificira veliki broj kandidata za ravninu simetrije (RS) i/ili os simetrije (OS). Zatim se kandidati evaluiraju s obzirom na ulazni model kako bi se provjerilo predstavljaju li neki od njih i prave RS-e/OS-e. Kandidati za RS-e/OS-e dobivaju se iz analize glavnih komponenti [26], podudaranjem parova [15], svojstava lokalnih površina [3], itd. Neke od predloženih tehnika [18][20] ograničene su isključivo na otkrivanje RS-a/OS-a koji prolaze kroz referentnu točku (npr. ishodište, težište, središte mase, itd.), što je prikladno za detekciju egzaktne, ali ne i za aproksimativne i parcijalne simetrije.

Detekcija simetrije u krutim CAD modelima proučavana je s dva aspekta: *značajke* i *rubnog prikaza*. Prvi aspekt koristi značajke za modeliranje, Booleove operacije i stablo značajki (povijesti) za detekciju egzaktne simetrije u pojedinačnim dijelovima [7] i sklopovima [27]. Međutim, taj aspekt ograničen je na izvorne CAD modele i može biti osjetljiv na odredene loše navike konstruktora prilikom modeliranja (npr. modeliranje s viškom značajki, modeliranje simetričnih oblika korištenjem nesimetričnih značajki, itd.). Drugi aspekt koristi geometrijske i topološke informacije rubnog prikaza [3][15]-[17] za ulaz, što omogućuje upotrebu izvornih CAD modela kao i neutralnih formata za razmјenu. Kako bi se identificirala globalna refleksijska i osna simetrija u CAD modelima s rubni prikazom, studija [15] je predložila pristup koji se temelji na petljama (petlja je zatvoreni krug rubova koji okružuju plohu). Pristup koristi svojstva petlji (npr. površina, centroid, normala, itd.) te algoritam za identifikaciju identičnih parova petlji. Kandidati za RS-e/OS-e se dobivaju kao rezultantni vektor daju jediničnih normalnih vektora iz identičnih parova petlji. Zatim su kandidati rangirani prema kumulativnim površinama petlji i uspoređivani kako bi se utvrdili konačne RS-e/OS-e. Drugo istraživanje [16] predlaže tzv. „podjeli pa vladaj“ pristup za otkrivanje egzaktne i parcijalne globalne refleksijske i osne simetrije u CAD modelima s rubnim prikazom, koristeći plohe kao ulaz. Prvo, u fazi podjele, kandidati za RS-e/OS-e dobivaju se preko svojstva lokalne simetrije ploha i njihovih sjecišta. Zatim se u fazi *vladanja* svojstva lokalne simetrije propagiraju na globalnu razinu, utvrđivanjem lokalnih RS-a/OS-a kandidata koji se podudaraju u globalne RS-e/OS-e. Studija u [16] predlaže pristup za otkrivanje cikličkih područja u parcijalno osno simetričnim CAD modelima s rubnim prikazom koristeći ručno dodijeljenu OS kao ulaz. Nadalje, u [17] pristup temeljen na grafu korišten je za izdvajanje simetričnih područja na višestrukim mjerilima (tj. na različitim geometrijskim mjerilima) i izdvajanje odnosa simetrije među tim područjima. Predloženi pristup bavi se detekcijom egzaktne refleksijske, rotacijske i translacijske simetrije.

Općenito, predloženi pristupi za RPDS u CAD modelima s rubnim prikazom imaju nekoliko nedostataka: (1) ograničeni su na samo pet osnovnih analitičkih površina (ravnina, cilindar, stožac, sfera i torus), iako kruti CAD modeli često sadrže i numeričke površine, (2) parcijalna simetria se propagira s lokalne na globalnu razinu te do sada nije predložena adekvatna karakterizacija parcijalne simetrije, i (3) proračunski su složeni zbog velikog broja kandidata za RS-e/OS-e i stoga ograničeni u praktičnoj primjeni.

Cilj i hipoteze istraživanja (preporučeno 700 znakova s praznim mjestima)

Do sada su se pristupi za RPDS u CAD modelima s rubnim prikazom bavili samo analitičkim površinama, iako su mnogi CAD modeli sastavljeni i od analitičkih i od numeričkih površina [28]. Stoga je glavni cilj ovog istraživanja predložiti metodu i razviti računalno okruženje za detekciju egzaktne globalne i parcijalne refleksijske i osne simetrije u CAD modelima s rubnim prikazom koji sadrže analitičke i numeričke površine. Istraživanje će biti ograničeno na krute CAD modele s geometrijom mnogostrukosti i na pojedinačne dijelove s jednim tijelom.

Glavna hipoteza istraživanja:

Primjenom metode temeljene na geometriji moguće je detektirati egzaktну globalnu i parcijalnu refleksijsku i osnu simetriju u CAD modelima s rubnim prikazom koji sadrže analitičke i numeričke površine.

Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja (preporučeno 6500 znakova s praznim mjestima)

Na temelju uvoda i pregleda postojećih istraživanja, evidentno je da postoji potreba za dalnjim istraživanjem kada je riječ o detekciji simetrije u krutim CAD modelima s rubnim prikazom, gdje razlikujemo dvije vrste površina: analitičke i numeričke. Kod analitičkih površina, informacije o obliku su eksplisitne, dok se kod numeričkih površina oblik kontrolira položajem skupa kontrolnih točaka (dodatno, u naprednijim oblicima mogu postojati težine i čvorovi) [28]. Numeričke površine u CAD sustavima mogu se generirati automatski u pozadini ili s namjerom od strane korisnika. Na primjer, kada se pomoću značajki zaobljenja i skošenja obrađuju rubovi, CAD sustav može automatski stvoriti numeričke površine. S druge strane, u određenim slučajevima korisnik mora koristiti numeričke površine (npr.



Bézier, B-Spline, itd.) za modeliranje složenih oblika (npr. trup ili krilo zrakoplova, karoserija automobila, lopatica turbine, itd.). Stoga, kako bi se prevladala ograničenja dosadašnjih istraživanja, gdje su isključivo analitičke površine bile uključene u detekciju simetrije, ovo istraživanje će obuhvatiti i analitičke i numeričke površine.

Metodologija istraživanja temelji se na [29] i sastojat će se od tri faze: (1) preliminarno istraživanje, (2) prijedlog metode i razvoj računalnog okruženja za detekciju simetrije u CAD modelima s rubnim prikazom, i (3) validacija metode i računalnog okruženja.

1. Preliminarno istraživanje započet će pregledom postojeće znanstvene i stručne literature u području istraživanja kako bi se dao početni opis trenutnog stanja razvoja. Pregled literature uključuje definiranje izvora literature, izdvajanje i sintezu relevantnih otkrića istraživanja. Preliminarno istraživanje pružit će temeljno razumijevanje simetrije u geometriji, vrstama simetrije, kao i postojećih pristupa za detekciju simetrije. Ova faza će također uključivati proučavanje pristupa RPDS-a vezanih uz 3D digitalne objekte s fokusom na krute CAD modele. Kako većina suvremenijih CAD sustava koristi tehniku rubnog prikaza opisivanje krutih CAD modela [10], ista će se proučavati kako bi se razumjeli njezini osnovni koncepti i matematička pozadina. Dodatno, opseg preliminarnog istraživanja je istražiti prikladni neutralni format datoteke (npr. STEP, IGS, itd.) koji će biti odabran kao ulaz za RPDS. Na temelju toga će se iz industrije i/ili internetskih CAD baza podataka prikupiti preliminarni skup reprezentativnih krutih CAD modela u obliku odabranog neutralnog formata datoteke. Preliminarno prikupljeni skup CAD modela proučavat će se i analizirati kako bi se definirale vrste numeričkih površina prisutne u krutim CAD modelima, te odabrale one vrste površina koje će biti obuhvaćene u ovom istraživanju. Nadalje, prikupljeni preliminarni skup CAD modela koristit će se za definiranje određenih skupina strojnih dijelova na koje će istraživanje biti ograničeno (npr. glodani i tokareni dijelovi). Na kraju, preliminarno istraživanje će dati jasnu definiciju metodologije istraživanja, ciljeva istraživanja, glavnih istraživačkih pitanja i hipoteze istraživanja.

2. Na temelju preliminarnog istraživanja, prvi korak ove faze je predlaganje metode za detekciju simetrije u krutim CAD modelima koji sadrže analitičke i numeričke površine. Cilj je predložiti općenitu metodu koja se može implementirati u različite CAD sustave. Stoga će se predložena metoda detekcije simetrije provesti na CAD modelima u obliku neutralnog formata datoteke korištenjem topoloških i geometrijskih informacija rubnog prikaza za ulaz. U drugom koraku izradit će se računalno okruženje za detekciju simetrije koji će omogućiti implementaciju predložene metode. U tu svrhu će se odabrati odgovarajući CAD sustav, a računalno okruženje će se na njega povezati korištenjem njegovog aplikacijskog programskog sučelja. Pritom je važno naglasiti da će se CAD sustav i njegovo aplikacijsko programsko sučelje koristiti samo kao „lat“ za implementaciju računalnog okruženja. Razvijeno računalno okruženje bit će podvrgnuto testiranju grešaka [29] na preliminarno prikupljenim CAD modelima. U tu svrhu, provodit će se implementacijski ciklus u obliku testiranje-otklanjanje grešaka-testiranje za provjeru predviđene funkcionalnosti i provođenje izmjena u slučaju da funkcionalnosti nisu osigurane.

3. U ovoj fazi prikupit će se skup podataka za validaciju koji će se sastojati od značajnog broj reprezentativnih CAD modela iz industrije i/ili internetskih CAD baza podataka. Predložena metoda detekcije simetrije će se validirati pomoću *Validation Square* okvira [30]. Nakon toga, razvijeno računalno okruženje za detekciju simetrije bit će podvrgnuto validaciji korištenjem prikupljenog skupa podataka za validaciju. Opseg validacije računalnog okruženja uključuje evaluaciju točnosti detekcije simetrije u CAD modelima, odnosno točnosti otkrivanja odgovarajućih ravnina i osi simetrije. Točnost detekcije simetrije računalnog okruženja procjenit će stručnjaci. Na kraju će se rezultati validacije usporediti s ciljevima istraživanja. Na temelju znanja stečenog tijekom validacije, identificirat će se i analizirati prednosti i mogući nedostaci, predložiti poboljšanja metode i računalnog okruženja, te dati prijedlog budućih istraživanja na temelju otkrića i zaključaka.

Očekivani znanstveni doprinos predloženog istraživanja (preporučeno 500 znakova s praznim mjestima)

Očekivani znanstveni doprinos istraživanja je:

1. Metoda temeljena na geometriji za detekciju simetrije u 3D CAD modelima koji sadrže analitičke i numeričke površine.
2. Računalno okruženje za detekciju simetrije u 3D CAD modelima koji sadrže analitičke i numeričke površine.

Popis citirane literature (maksimalno 30 referenci)

- [1] Ma Z., Zhang T, Liu F, Yang J. Knowledge discovery in design instances of mechanical structure symmetry. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015; 7(11), 1-19, 10.1177/1687814015615044



- [2] Tierney C, Boussuge F, Robinson T, Nolan D, Armstrong C. Efficient symmetry-based decomposition for meshing quasi-axisymmetric assemblies. Computer-Aided Design and Applications. 2019; 16(3):478-495. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2019.478-495>
- [3] Li K, Foucault G, Léon J, Trlin M. Fast global and partial reflective symmetry analyses using boundary surfaces of mechanical components. Computer-Aided Design. 2014; 53:70-89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.03.005>
- [4] Deng X, Wang J. Research on the manufacturing of mechanical parts based on the theory of space symmetry group. Academic Journal of Manufacturing Engineering. 2017; 15(1):64-71
- [5] Simmons CH, Phelps N. Manual of Engineering Drawing Technical Product Specification and Documentation to British and International Standards, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, 2012. ISBN: 978-0-08-096652-6
- [6] Zingoni A. Insights on the vibration characteristics of double-layer cable nets of D4h symmetry. International Journal of Solids and Structures. 2018; 135:261–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2017.11.025>
- [7] Jiang J, Chen Z, He K, A feature-based method of rapidly detecting global exact symmetries in CAD models. Computer-Aided Design. 2013; 45:1081–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2013.04.005>
- [8] Alcázara JG, Hermoso C, Muntinghb G. Symmetry Detection of Rational Space Curves from their Curvature and Torsion. Computer Aided Geometric Design. 2015; 33:51-65. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2015.01.003>
- [9] Nagar R, Raman S, 3DSymm: Robust and Accurate 3D Reflection Symmetry Detection, Pattern Recognition. 2020; 107(5):107483. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107483>
- [10] Fotouhi J, Taylor G, Unberath M, Johnson A, & Lee SC, Osgood G, Navab N. Exploring Partial Intrinsic and Extrinsic Symmetry in 3D Medical Imaging, Medical Image Analysis. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.02294>
- [11] Xue F, Chen K, Lu W. Architectural Symmetry Detection from 3D Urban Point Clouds: A Derivative-Free Optimization (DFO) Approach. Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering. 2019; 513-519. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_61
- [12] Dang Q, Morin G, Mouysset S. Symmetry and Fourier Descriptor: A Hybrid Feature For NURBS based B-Rep Models Retrieval. Conference: Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval. 2014; 45-52. <http://dx.doi.org/10.2312/3dor.20141049>
- [13] Tayangkanon T, Sompagdee P, Li X. 3D Model Compression over ASCII Encoded Using Rotational and Reflective Symmetry. 2018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST). 2018; 53-58. <https://doi.org/10.1109/KST.2018.8426067>
- [14] Tedjokusumo J, Leow WK. Normalization and Alignment of 3D Objects Based on Bilateral Symmetry Planes. MMM 2007: Advances in Multimedia Modeling. 2006; 74-78. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69423-6_8
- [15] Tate S, Jared G. Recognising symmetry in solid models. Computer-Aided Design. 2003; 35:673–692. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(02\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(02)00093-3)
- [16] Li M, Langbein F, Martin R. Detecting design intent in approximate CAD models using symmetry. Computer-Aided Design. 2010; 42:183-201. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2009.10.001>
- [17] Li C, Li M, Gao S. Multi-scale symmetry detection of CAD models. Computer-Aided Design and Applications. 2018; 16(1):50-66. <https://doi.org/10.14733/cadconfp.2018.362-366>
- [18] Zingoni A. Symmetry recognition in group-theoretic computational schemes for complex structural systems. Computers and Structures. 2012; 34-44:94-95. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2011.12.004>
- [19] Bo Li, Henry Johan, Yuxiang Ye, Yijuan Lu. Efficient 3D reflection symmetry detection: A view-based approach. Graphical Models. 2016; 83:2-14, <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2015.09.003>



- [20] Chen Y, Linzi F, Feng J. Automatic and Exact Symmetry Recognition of Structures Exhibiting High-Order Symmetries. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2018; 32(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000743](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000743)
- [21] Gothandaraman R, Jha R, Muthuswamy S. Reflectional and Rotational Symmetry Detection of CAD Models Based on Point Cloud Processing. *2020 IEEE 4th Conference on Information & Communication Technology (CICT)*, 2020; 1-5. <https://doi.org/10.1109/CICT51604.2020.9312109>
- [22] Gao L, Zhang L, Meng H, PRS-Net: Planar Reflective Symmetry Detection Net for 3D, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2019; 27(6), <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3003823>
- [23] Ji, P.; Liu, X. A fast and efficient 3D reflection symmetry detector based on neural networks. *Multimedia Tools and Applications*. 2019; 78:1-22. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08043-9>
- [24] Hruda L, Kolingerova I, Váša L. Robust, fast and flexible symmetry plane detection based on differentiable symmetry measure. *The Visual Computer*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00371-020-02034-w>
- [25] Hruda L, Dvorak J. Estimating Approximate Plane of Symmetry of 3D Triangle Meshes, *Proceedings of CESCG 2017: The 21st Central European Seminar on Computer Graphics*, 2017.
- [26] He C, Wang L, Zhang Y. Dominant Symmetry Plane Detection for Point-Based 3D Models. *Advances in Multimedia*, 2020; 1-8, 5. <https://doi.org/10.1155/2020/8861367>
- [27] Jiang J, Gong Q, Chen Z. A Feature-based Method of Rapidly Detecting Global Symmetries of Static Assembly CAD Models. *Jisuanji Fuzhu Sheji Yu Tuxingxue Xuebao/Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics*. 2017; 29:950-957.
- [28] Stroud I, Nagy H. Solid modelling and CAD systems: How to survive a CAD system. Springer, London, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-259-9>
- [29] Blessing L, Chakrabarti A. DRM, a Design Research Methodology. 2009. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>.
- [30] Pedersen K, Emblemsvag J, Reid Bailey, Allen JK, Mistree F. Validating Design Methods & Research: The Validation Square. 2000 ASME Design Engineering Technical Conferences. 2000.

Procjena ukupnih troškova predloženog istraživanja (u kunama)

75000

Predloženi izvori financiranja istraživanja

Nacionalno financiranje	Naziv projekta	-
	Voditelj projekta	-
	Potpis	
Međunarodno financiranje	Naziv projekta	-
	Voditelj projekta	-
	Potpis	
Ostale vrste projekata	Naziv projekta	-
	Voditelj projekta	-
	Potpis	
Samostalno financiranje	Da	



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

DR.SC.-01 Prijava teme doktorskog rada

Obrazac je napravljen pomoću sustava OBAD

**Sjednica Etičkog
povjerenstva na kojoj je
odobren prijedlog istraživanja
(navesti samo ako je potrebno)**

Suglasnost predloženog mentora i doktoranda s prijavom teme

Odgovorno izjavljujem da sam suglasan s temom koja se prijavljuje.

Potpis _____
doc. dr. sc. Stanko Škec

Potpis Mladen Burić
Mladen Burić, mag. ing. mech.

IZJAVA

Odgovorno izjavljujem da nisam prijavila/o doktorski rad s istovjetnom temom ni na jednom drugom
sveučilištu. (Nije obavezno u slučaju dvojnog doktorata - Cotutelle de these)

TESTNI OBRAZAC

U Zagrebu, 01.06.2022.

Potpis Mladen Burić
Mladen Burić, mag. ing. mech.