



Dr.Sc.-01 PRIJAVA TEME DOKTORSKOG RADA

OPĆI PODACI I KONTAKT DOKTORANDA/DOKTORANDICE

Titula, ime i prezime doktoranda/doktorandice:	Fanika Lukačević, mag. ing. mech.		
Nositelj studija:	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje		
Naziv studija:	Strojarstvo, brodogradnja, zrakoplovstvo, metalurgija		
Matični broj doktoranda/doktorandice:	35003293		
Odobranje teme za stjecanje doktorata znanosti: (molimo zacrniti polje):	<input type="checkbox"/> u okviru doktorskog studija	<input type="checkbox"/> na temelju znanstvenih dostignuća	<input checked="" type="checkbox"/> dvojni doktorat (cotutelle)
Ime i prezime majke i/ili oca:	Verica Lukačević i Vladimir Lukačević		
Datum i mjesto rođenja:	27.09.1995., Nova Gradiška, Hrvatska		
Adresa:	Sokolgradska ulica 7, Zagreb, Hrvatska		
Telefon/mobitel:	+38591 953 3539		
E-mail:	fanika.lukacevic@fsb.hr		

ŽIVOTOPIS DOKTORANDA/DOKTORANDICE

Obrazovanje (kronološki od novijeg k starijem datumu):	<ol style="list-style-type: none">Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, <i>Strojarstvo</i>, Diplomski, Hrvatska (2019./2020.)Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, <i>Strojarstvo</i>, Preddiplomski, Hrvatska (2017./2018.)
Radno iskustvo (kronološki od novijeg k starijem datumu):	1.7.2020. – danas: Asistent, Katedra za konstruiranje i razvoj proizvoda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu (nastava, istraživanje, suradnja s industrijom)
Popis radova i aktivnih sudjelovanja na znanstvenim skupovima:	<ol style="list-style-type: none">Lukačević, Fanika; Li, Shumin; Becattini, Niccolò; Škec, Stanko Comparing EEG Brain Power of Mechanical Engineers in 3D CAD Modelling from 2D and 3D Representations. // Proceedings of the Design Society Cavtat - Dubrovnik, Hrvatska: Cambridge University Press, 2022. str. 901-910 doi:10.1017/pds.2022.92 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)Horvat, Nikola; Martinec, Tomislav; Lukačević, Fanika; Perišić, Marija Majda; Škec, Stanko The potential of immersive virtual reality for representations in design education. // Virtual reality, 26 (2022), 1227-1244 doi:10.1007/s10055-022-00630-w (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)Lukačević, Fanika; Škec, Stanko; Martinec, Tomislav; Štorga, Mario Challenges of utilising sensor data acquired by smart products in product development activities. // Acta Polytechnica Hungarica, 19 (2022), 4; 165-187 doi:10.12700/APH.19.4.2022.4.9 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)Martinec, Tomislav; Škec, Stanko; Lukačević, Fanika; Štorga, Mario Modelling Proportions and Sequences of Operations in Team Design Activities. // Proceedings of the Design Society, Volume 1 Göteborg, Švedska / Online: Cambridge University Press, 2021. str. 2187-2196 doi:10.1017/pds.2021.480 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)



	<p>5. Lukačević, Fanika; Škec, Stanko; Törlind, Peter; Štorga, Mario Identifying subassemblies and understanding their functions during a design review in immersive and non-immersive virtual environments. // <i>Frontiers of Engineering Management</i>, 8 (2021), 412-428 doi:10.1007/s42524-020-0099-z (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)</p> <p>6. Lukačević, Fanika; Škec, Stanko; Perišić, Marija Majda; Horvat, Nikola; Štorga, Mario Spatial perception of 3D CAD model dimensions and affordances in virtual environments. // <i>IEEE access</i>, 8 (2020), Access-2020-40098, 18 doi:10.1109/ACCESS.2020.3025634 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)</p> <p>7. Horvat, Nikola; Škec, Stanko; Martinec, Tomislav; Lukačević, Fanika; Perišić, Marija Majda Identifying the effect of reviewers' expertise on design review using virtual reality and desktop interface. // <i>Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference</i> Dubrovnik, Hrvatska: Cambridge University Press, 2020. str. 187-196 doi:10.1017/dsd.2020.304 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)</p> <p>8. Horvat, Nikola; Škec, Stanko; Martinec, Tomislav; Lukačević, Fanika; Perišić, Marija Majda Comparing Virtual Reality and Desktop Interface for Reviewing 3D CAD Models. // <i>Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design / Wartzack, Sandro ; Schleich, Benjamin ; Guerreiro Gonçalves, Milene ; Eisenbart, Boris (ur.)</i>. Delft, The Netherlands: Cambridge University Press, 2019. str. 1923-1932 doi:10.1017/dsi.2019.198 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)</p>									
NASLOV PREDLOŽENE TEME										
Hrvatski:	Model kognitivnoga opterećenja u računalom potpomognutom konstruiranju									
Engleski:	A model of cognitive load in computer-aided design									
Naslov na jeziku na kojem će se pisati rad (ako nije na hrvatskom ili engleskom):	-									
Područje/polje/grana:	Tehničke znanosti / Strojarsvo / 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)										
	<table border="1"><thead><tr><th>Titula, ime i prezime:</th><th>Ustanova, država:</th><th>E-Pošta:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Prvi mentor:</td><td>izv. prof. dr. sc. Stanko Škec Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska</td><td>stanko.skec@fsb.hr</td></tr><tr><td>Drugi mentor:</td><td>izv. prof. dr. sc. Niccolò Becattini Politecnico di Milano, Italija</td><td>niccolo.becattini@polimi.it</td></tr></tbody></table>	Titula, ime i prezime:	Ustanova, država:	E-Pošta:	Prvi mentor:	izv. prof. dr. sc. Stanko Škec Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska	stanko.skec@fsb.hr	Drugi mentor:	izv. prof. dr. sc. Niccolò Becattini Politecnico di Milano, Italija	niccolo.becattini@polimi.it
Titula, ime i prezime:	Ustanova, država:	E-Pošta:								
Prvi mentor:	izv. prof. dr. sc. Stanko Škec Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska	stanko.skec@fsb.hr								
Drugi mentor:	izv. prof. dr. sc. Niccolò Becattini Politecnico di Milano, Italija	niccolo.becattini@polimi.it								
KOMPETENCIJE MENTORA - popis do pet objavljenih relevantnih radova u posljednjih pet godina										
Prvi mentor:	<p>1. Horvat, Nikola; Kunnen, Steffen; Štorga, Mario; Nagarajah, Arun; Škec, Stanko. Immersive virtual reality applications for design reviews: Systematic literature review and classification scheme for functionalities. // <i>Advanced engineering informatics</i>, 54 (2022), 101760, 21 doi:10.1016/j.aei.2022.101760</p> <p>2. Horvat, Nikola; Martinec, Tomislav; Lukačević, Fanika; Perišić, Marija Majda; Škec, Stanko. The potential of immersive virtual reality for representations in design education. // <i>Virtual reality</i>, 26 (2022), 1227-1244 doi:10.1007/s10055-022-00630-w</p> <p>3. Lukačević, Fanika; Škec, Stanko; Perišić, Marija Majda; Horvat, Nikola; Štorga, Mario. Spatial perception of 3D CAD model dimensions and affordances in virtual environments. // <i>IEEE access</i>, 8</p>									



	<p>(2020), Access-2020-40098, 18 doi:10.1109/ACCESS.2020.3025634</p> <p>4. Martinec, Tomislav; Škec, Stanko; Horvat, Nikola; Štorga, Mario. A state-transition model of team conceptual design activity. // Research in engineering design, 30 (2019), 1; 103-132 doi:10.1007/s00163-018-00305-1</p> <p>5. Škec, Stanko; Cash, Philip; Štorga, Mario. A Dynamic Approach to Real Time Performance Measurement in Design Projects. // Journal of Engineering Design, 28 (2017), 1-32 doi: 10.1080/09544828.2017.1303665</p>
Drugi mentor:	<p>1. Lukačević, Fanika; Li, Shumin; Becattini, Niccolò; Škec, Stanko. Comparing EEG Brain Power of Mechanical Engineers in 3D CAD Modelling from 2D and 3D Representations. // Proceedings of the Design Society Cavtat - Dubrovnik, Hrvatska: Cambridge University Press (2022), 901-910 doi:10.1017/pds.2022.92</p> <p>2. Li, Shumin; Becattini, Niccolò; Cascini, Gaetano. Correlating design performance to EEG activation: Early evidence from experimental data. // Proceedings of the Design Society, 1 (2021), 771-780 doi:10.1017/pds.2021.77</p> <p>3. Horvat, Nikola; Becattini, Niccolò; Martinec, Tomislav; Škec, Stanko. Identifying Indicators for the Use of Virtual Prototypes in Distributed Design Activities. // Computer-Aided Design and Applications, 19 (2021), 2; 320-335 doi: 10.14733/cadaps.2022.320-335</p> <p>4. Jia, Lizhen; Becattini, Niccolò; Cascini, Gaetano; Tan, Runhua. Testing ideation performance on a large set of designers: effects of analogical distance. // International Journal of Design Creativity and Innovation, 8 (2020), 1; 31-45 doi: 10.1080/21650349.2019.1618736</p> <p>5. Becattini, Niccolò; Cascini, Gaetano; O'Hare, Jamie Alexander; Morosi, Federico; Boujut, Jean-Francois. Extracting and analysing design process data from log files of ICT supported co-creative sessions. // Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design: Cambridge University Press (2019), 129-138 doi: 10.1017/dsi.2019.16</p>
OBRAZLOŽENJE TEME	
Sažetak na hrvatskom jeziku: (maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)	Konstruktorova izvedba u CAD aktivnostima određuje kvalitetu, cijenu i vremenske rokove suvremenoga procesa konstruiranja. Unatoč značajnome utjecaju konstruktorove izvedbe na uspješnost procesa, njezini ključni elementi i odnosi među njima još uvijek nisu utvrđeni, kao ni utjecajni čimbenici. Cilj predloženoga istraživanja jest razviti metodu za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima, koja bi trebala omogućiti procjenu konstruktorove izvedbe i prepoznavanje čimbenika čijom ju je manipulacijom moguće unaprijediti. Kako bi se to postiglo, potrebno je definirati teorijske modele kognitivnoga opterećenja i izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima, koji će poslužiti kao teorijska osnova razvoja metode. Primjena metode za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja doprinijela bi 1) planiranju i upravljanju konstrukcijskim aktivnostima te 2) evaluaciji, odabiru i razvoju CAD sustava.
Sažetak na engleskom jeziku: (maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)	The engineering designer's performance in CAD activities determines the quality, cost, and timelines of the contemporary engineering design process. Despite the significant influence of the engineering designer's performance on the process' success, its key elements, their relations, and influencing factors are yet to be defined. The proposed research aims to develop a method for measuring and analysing the cognitive load in CAD activities that should enable the assessment of the engineering designer's performance and identification of factors whose manipulation may improve it. The first step



forward is defining the theoretical models of cognitive load and engineering designers' performance in CAD activities, which will ground a basis for developing the method. Implementation of the method for measuring and analysing the cognitive load may inform 1) the planning and management of design activities and 2) the evaluation, selection, and development of CAD systems.

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

Konstruiranje je proces tijekom kojega njegovi dionici (npr. inženjeri, industrijski dizajneri, kupci) neprestano stvaraju i koriste informacije o proizvodu [1]. Proces je podijeljen na konstrukcijske aktivnosti tijekom kojih se zahtjevi i opisi konstrukcijskoga problema (ulazne informacije) transformiraju u reprezentacije tehničkoga sustava (izlazne informacije) [1]. Reprezentacije tehničkoga sustava informacijski su objekti koji opisuju konstrukcijske karakteristike (npr. oblik, položaj i dimenzije) i konstrukcijska svojstva (npr. funkcije) [2]. Konstrukcijske karakteristike i svojstva opisani su informacijama prikazanima u različitim formatima, kao što su simbolički (npr. jezik i matematički simboli), ikonski/slikovni (npr. skice, crteži, fotografije, trodimenzionalni (3D) modeli) i dijagramski (npr. grafikoni, sheme, dijagrami odnosa) [3]. Reprezentacije koje sadrže informacije prikazane ikonski/slikovno osobito su važne pri konstruiranju jer konstrukcijske karakteristike prikazuju vizualno i prostorno, što je nužno za opis i razvoj tehničkih sustava koji pripadaju skupini materijalnih objekata [4]. Konstruktori tijekom suvremenoga procesa konstruiranja redovito koriste sustave za računalom potpomognuto konstruiranje (*eng. Computer-Aided Design; CAD*) s ciljem izrade, manipulacije i korištenja digitalnih verzija ovih reprezentacija (tzv. CAD reprezentacija) u različitim aktivnostima [5]. CAD sustavi sastoje se od CAD softvera te alata za interakciju između čovjeka i računala (*eng. Human-Computer Interaction; HCI*), a imaju temeljnu ulogu u većini konstrukcijskih aktivnosti (odn. CAD aktivnosti). Naime, CAD sustavi značajno utječu na konstruktorovu izvedbu u CAD aktivnostima – jedan od ključnih čimbenika koji određuju kvalitetu, cijenu i vremenske rokove procesa konstruiranja.

Unatoč značajnome utjecaju konstruktorove izvedbe na uspješnost procesa konstruiranja, njezini ključni elementi i odnosi među njima još uvijek nisu utvrđeni, kao ni utjecajni čimbenici. O'Donnell i Duffy postavili su temelje za razumijevanje izvedbe na razini razvojnoga projekta svojim teorijskim modelom, koji se zasniva na učinkovitosti (vezana je uz proces i opisana količinom uloženi resursa) i djelotvornosti (vezana je uz vrednovanje ostvarenih ishoda) izvođenja konstrukcijskih aktivnosti kao osnovnim elementima [6]. Na istome je tragu i literatura koja proučava CAD aktivnosti; pretežno je usredotočena na opisivanje procesa izvođenja i ostvarenosti ishoda CAD aktivnosti korištenjem metrika vezanih uz ponašanje konstruktora (npr. broj i redoslijed CAD operacija i radnji [7]) i metrika povezanih s ishodom konstrukcijske aktivnosti (npr. kvaliteta i funkcionalnost izrađene CAD reprezentacije s obzirom na zahtjeve i ciljeve konstrukcijskoga zadatka). Primjerice, prijašnje su studije zabilježile varijabilnost u broju, vrsti i redoslijedu dodavanja značajki u CAD okruženjima tijekom izrade 3D virtualnih modela, ali bez navođenja mogućih razloga koji su do nje doveli [8]. Nadalje, istraživanja su pokazala da kvaliteta izrađenoga CAD modela ovisi o karakteristikama korištenoga CAD sustava te karakteristikama konstruktora (npr. iskustvo i stručnost) [8], [9]. Ove studije predlažu način analize CAD procesa te upućuju na postojanje različitih čimbenika koji utječu na njihovu izvedbu [9]. Međutim, studije su primarno opisnoga karaktera; nisu usredotočene na mjerenje izvedbe konstruktora ni temeljito analiziranje čimbenika koji utječu na dobivene rezultate. Osim nedovoljnoga razumijevanja fenomena izvedbe konstruktora, dostupna literatura naglašava povezani nedostatak metodološke podrške za njezino mjerenje i analizu (npr. u obliku smjernica ili metoda) [10]. Posljedično, teorijske osnove izvedbe CAD aktivnosti tek treba utvrditi, a metodološku podršku razviti kako bi se omogućilo mjerenje, procjena i posljedično poboljšanje izvedbe konstruktora.

Motivirano potencijalnim dobrobitima za konstrukcijski proces, ovdje predloženo istraživanje nastoji razviti metodološku podršku za utvrđivanje, mjerenje i vrednovanje razine konstruktorove izvedbe CAD aktivnosti istraživanjem kognitivnih stanja konstruktora. Istraživači su prepoznali važnost proučavanja kognitivnih stanja i procesa konstruktora tijekom izvođenja CAD aktivnosti, što se odražava u nekoliko pregleda literature (npr. [10]) i okvira za njihovo istraživanje u kontekstu CAD-a (npr. [11], [12]). Međutim, dostupno je malo empirijskih rezultata vezanih uz kognitivna stanja i procese tijekom izvođenja CAD aktivnosti pa se pretpostavke većim dijelom temelje na teorijskim razmatranjima [10]. Utvrđivanje, mjerenje i vrednovanje izvedbe konstruktora otežano je vizualnom (informacije su prikazane vizualno), virtualnom (odvija se u virtualnim okruženjima) i kognitivnom prirodom CAD aktivnosti [1]. Kognitivna kompleksnost CAD aktivnosti proizlazi iz karakteristika konstrukcijskoga zadatka i korištenja CAD sustava [9], [13]. Naime, konstruktori istovremeno prate, percipiraju i interpretiraju višestruke tokove informacija tijekom izvođenja CAD aktivnosti [14]. Nadalje, konstruktori koriste različite kognitivne sposobnosti (npr. prostornu vizualizaciju i mentalnu rotaciju) kako bi izvršili velik broj operacija od kojih se CAD aktivnosti sastoje [15]. CAD sustavi nude mogućnost izvršavanja operacija i ostvarivanja konačnih ciljeva na različite načine, što konstruktore dovodi u situacije koje zahtijevaju kontinuirano vrednovanje opcija i odlučivanje o sljedećim koracima [8]. Pretpostavlja se da izvođenje CAD aktivnosti, zbog njihove kognitivne kompleksnosti, nameće visoke zahtjeve na kognitivni sustav konstruktora (tzv. kognitivno opterećenje) [16]. S obzirom na ograničenu količinu konstruktorovih kognitivnih resursa dostupnih za obradu informacija, nužna je njihova pravilna raspodjela tijekom CAD aktivnosti kako bi se osigurala djelotvorna i učinkovita izvedba u virtualnom (CAD) okruženju [1].



Kognitivno opterećenje rijetko je do sada proučavano u kontekstu konstruiranja, kako teorijski tako i empirijski [10]. Rezultati prethodnih studija ukazuju na razlike u razini kognitivnoga opterećenja koje se javlja tijekom izvođenja različitih konstrukcijskih aktivnosti (npr. [17] i [18]). Osim toga, prijašnje studije upućuju na promjenu razine kognitivnoga opterećenja kada se za opis tehničkoga sustava koriste različite reprezentacije i formati prikaza informacija (npr. [19] and [20]). Nadalje, prijašnje studije ukazuju na povezanost kognitivnoga opterećenja i razine stresa tijekom izvođenja konstrukcijskih aktivnosti (npr. [21] and [22]). Ove implikacije podupiru pretpostavku da je moguće utjecati na razinu kognitivnoga opterećenja u konstrukcijskim aktivnostima te da se posljedice takvoga utjecaja očituju i u konstruktorovoj izvedbi. Međutim, kontrolirani utjecaj na kognitivno opterećenje zahtijeva temeljito razumijevanje njegovih ključnih elemenata (konstruktor, CAD aktivnost, radno okruženje) iz čijega odnosa ono proizlazi. Utvrđivanje karakteristika ovih elemenata i odnosa koji se među njima razvijaju tijekom izvođenja CAD aktivnosti (na temelju općega teorijskoga modela kognitivnoga opterećenja [23]) preduvjet je za identificiranje čimbenika koji doprinose većim zahtjevima za obradu informacija na kognitivni sustav konstruktora. Teorijski model kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima poslužio bi kao osnova razvoja metode mjerenja i analize kognitivnoga opterećenja s ciljem procjene konstruktorove izvedbe i prepoznavanja čimbenika kojima se ona može manipulirati kako bi se postigla željena razina. Metoda mjerenja i analize kognitivnoga opterećenja doprinijela bi (1) planiranju i upravljanju konstrukcijskim aktivnostima te (2) evaluaciji, odabiru i razvoju CAD sustava. Osim toga, takva bi metoda proširila razumijevanje izvedbe konstrukcijskih aktivnosti, koje se trenutno temelji na O'Donnellovu i Duffyjevu modelu [6].

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

Glavni su ciljevi istraživanja:

- 1) Razviti i validirati teorijski model kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima,
- 2) Razviti i validirati teorijski model konstruktorove izvedbe CAD aktivnosti,
- 3) Razviti i validirati metodu za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja tijekom izvođenja CAD aktivnosti.

Glavna hipoteza istraživanja glasi:

Metoda za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja, zasnovana na praćenju psihofizioloških promjena, omogućuje procjenu razine konstruktorove izvedbe CAD aktivnosti.

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

Svrha istraživačkoga projekta jest razvoj podrške konstrukcijskome procesu u obliku metode koja omogućuje razumijevanje i procjenu razine konstruktorove izvedbe u CAD aktivnostima. Takvu se podršku namjerava pružiti modeliranjem, mjerenjem i analizom kognitivnoga opterećenja tijekom izvođenja CAD aktivnosti. Preduvjet za razvoj metode jest temeljito razumijevanje kognitivnoga opterećenja, izvedbe konstruktora te sredstava za njihovo mjerenje i analizu tijekom CAD aktivnosti. S obzirom na nedostatak znanja o navedenim fenomenima te sredstvima za njihovo mjerenje i analizu u kontekstu izvođenja CAD aktivnosti, prvo je potrebno provesti teorijsku razradu i definirati teorijske osnove kako bi se omogućilo predlaganje metode. Smjernice za razvoj teorijskih osnova i metodološke podrške predložene su unutar opće metodologije istraživanja u području znanosti o konstruiranju (*eng. Design Research Methodology*; DRM) [24], koja će se koristiti kao glavni istraživački okvir. Smjernice koje pruža DRM dopunit će načela eksperimentalnoga istraživanja u području konstruiranja (*eng. Experimental Design Research*; EDR) [25]. Istraživačke aktivnosti organizirane su u četiri glavne faze: razrada istraživačke problematike, deskriptivna studija I (koja obuhvaća pregled literature i preliminarne empirijske studije), preskriptivna studija (koja predlaže teorijske modele i metodu) te deskriptivna studija II (koja utvrđuje valjanost razvijenih teorijskih modela i metode).

Razrada istraživačke problematike

Faza razrade istraživačke problematike uključuje preglede literature vezane uz izvedbu konstruktora i kognitivno opterećenje u CAD aktivnostima s ciljem razumijevanja trenutnoga stanja i prepoznavanja istraživačkih pitanja na koja literatura ne nudi odgovor. Pregled literature započinje istraživanjem dostupnih teorija, modela i koncepata ovih fenomena kako bi se izgradila teorijska osnova potrebna za



njihovo razumijevanje u kontekstu izvođenja CAD aktivnosti. Osim toga, identificirat će se veličine kojima se izvedba konstruktora (npr. učinkovitost i djelotvornost) i kognitivno opterećenje (npr. mentalno opterećenje i mentalni napor) mogu opisati, kvantificirati i klasificirati. Daljnji će se pregled literature usredotočiti na istraživanje dostupnih metoda i alata za mjerenje i analizu identificiranih veličina. Pregled će uključiti proučavanje postojećih eksperimentalnih okvira, protokola i smjernica iz područja konstruiranja, psihologije i neuroznanosti. Uz to, pregledima literature prepoznat će se zahtjevi koje je potrebno ispuniti pri razvoju metode za modeliranje, mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja kako bi ona omogućila procjenu razine izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima. Konačno, spoznaje proizašle iz pregleda literature razjasnit će ciljeve istraživanja te omogućiti definiranje glavnih istraživačkih pitanja i hipoteza.

Deskriptivna studija I

Prva deskriptivna studija polazi od znanja stečenoga početnim pregledima literature provedenima u fazi Razrade istraživačke problematike. Skup stečenoga znanja bit će proširen pregledima literature čiji će ciljevi i opseg biti definirani na temelju ishoda prve faze. Konkretno, pregledom literature bit će potrebno identificirati ključne elemente, njihove karakteristike i odnose među njima, koji su nužni za modeliranje u daljnjim koracima. Uz pregled literature, u ovoj će se fazi provesti i preliminarna empirijska istraživanja. Rezultati preliminarnih empirijskih studija unaprijedit će početno razumijevanje fenomena proizašlo iz pregleda literature. Preciznije, preliminarnu empirijsku studiju potpomoći će identifikaciju čimbenika koji utječu na kognitivno opterećenje i izvedbu konstruktora u CAD aktivnostima s obzirom na to da postojeća literatura ne daje dovoljno informacija o njima. Nadalje, preliminarnim će eksperimentalnim studijama biti ispitana prikladnost identificiranih metoda i alata za mjerenje kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima. Zbog višedimenzionalnoga karaktera i složenosti kognitivnoga opterećenja, njegovo mjerenje i analiza zahtijevaju odgovarajuću kombinaciju kvalitativnih i kvantitativnih metoda istraživanja [16]. Eksperimentalne će studije uključivati subjektivne metode (npr. ljestvice za samoprocjenu i intervjui), metode praćenja psihofizioloških promjena (npr. elektroencefalografija i praćenje ponašanja očiju) te metode mjerenja izvedbe (npr. broj pogreški, vrijeme potrebno za izvršenje zadatka, analiza CAD log datoteka). U studijama će, kao ispitanici, sudjelovati stručnjaci iz industrije i studenti. Za provođenje eksperimentalnih studija koristit će se oprema dostupna u sljedećim laboratorijima: CADLab na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (FSB, Hrvatska), Virtual Prototyping & Human Modelling Lab na sveučilištu Politecnico di Milano (POLIMI, Italija) i DEPICT Lab na sveučilištu Luleå University of Technology (LTU, Švedska).

Preskriptivna studija

Uvidi proizašli iz pregleda literature i rezultati dobiveni provedenim preliminarnim empirijskim studijama omogućit će razvoj inicijalnih teorijskih modela kognitivnoga opterećenja i izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima, koji će predstavljati početno razumijevanje trenutne situacije. Uz ključne elemente i njihove odnose, modeli će obuhvatiti identificirane utjecajne čimbenike i njihove učinke na kognitivno opterećenje i izvedbu konstruktora. Nadalje, prikupljeni će se uvidi i rezultati objediniti u pregled dostupnih metoda i alata kako bi se jasno prikazalo trenutačno stanje tehnologije. S tim će ciljem pregled metoda i alata uključiti njihove prednosti i nedostatke, prikladnost korištenja u danom CAD kontekstu te izazove njihove primjene za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja tijekom izvođenja CAD aktivnosti.

Modeli će se koristiti kao osnova za razvoj metode koja bi trebala omogućiti procjenu izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima. Uz teorijske modele, metode i alati za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima predstavljaju ključne elemente metode.

Stečeno razumijevanje postojeće situacije poslužit će kao osnova za razvoj detaljnih eksperimentalnih studija koje će se provesti u završnoj fazi - Deskriptivnoj studiji II. Definiranje eksperimenata (uključujući eksperimentalni postav, proceduru te metode i alate za prikupljanje, obradu i analizu podataka) temeljit će se na postojećim relevantnim istraživačkim okvirima (identificiranima u prethodnoj fazi). Na primjer, razmotrit će se prijedlozi iz postojećih tEEG [26] i TASKS [27] istraživačkih okvira za proučavanje kognitivnih i afektivnih stanja tijekom izvođenja konstrukcijskih aktivnosti. Nadalje, eksperimenti će se temeljiti na predloženim multimodalnim pristupima proučavanju CAD aktivnosti i ponašanja konstruktora, kao što su [28] i [12].

Deskriptivna studija II

U drugoj deskriptivnoj studiji, eksperimentalnim će se studijama utvrditi valjanosti inicijalnih teorijskih modela. Osim toga, modeli će se nadopuniti spoznajama o učincima identificiranih utjecajnih čimbenika na kognitivno opterećenje i izvedbu konstruktora. Nadalje, eksperimentalne će studije pobliže istražiti odnos između kognitivnoga opterećenja i izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima kontrolom utjecajnih čimbenika te naknadnim mjerenjem i analizom njihovih učinaka na izvedbu. Taj bi odnos trebao poslužiti kao osnova za utvrđivanje razine izvedbe konstruktora mjerenjem i analizom kognitivnoga opterećenja.



Osim toga, utvrdit će se valjanost razvijene metode (i teorijskih modela na kojima počiva) prema kriterijima koji će se definirati s obzirom na zahtjeve utvrđene u prvoj fazi istraživanja. Rezultati validacije istaknut će prednosti i nedostatke razvijenih modela i metode, kao i mogućnosti njihove daljnje razrade. Nadalje, početna validacija učinaka identificiranih utjecajnih čimbenika trebala bi pokazati može li se razvijena metoda koristiti za procjenu i poboljšanje razine izvedbe konstruktora u CAD aktivnostima.

Kao dio deskriptivne studije II, glavna će se istraživačka hipoteza potvrditi ili odbaciti usporedbom rezultata istraživačkoga projekta s empirijskim podacima i spoznajama prethodno objavljenima u dostupnoj literaturi. Ovisno o rezultatima validacije, potencijalno će se utvrditi oni čimbenici koji bi, ako se njima upravlja, mogli imati značaj utjecaj na izvedbu konstruktora u CAD aktivnostima te, posljedično, konstrukcijski proces. Nadalje, predložiti će se načini upravljanja tim čimbenicima kako bi se omogućila provedba poboljšanja izvedbe konstruktora. Konačno, dobiveni uvidi i prikupljeni skupovi empirijskih podataka pripremit će se za buduće analize koje će koristiti tehnike računalne inteligencije (npr. neuronske mreže dubinskog učenja) za otkrivanje, praćenje i održavanje kognitivnih stanja konstruktora u CAD aktivnostima te pružanje podrške pri izvršavanju konstrukcijskih zadataka automatizacijom ponavljajućih CAD operacija i radnji.

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

Očekivani znanstveni doprinos predloženoga istraživanja predstavljaju:

- 1) Teorijski model kognitivnoga opterećenja u CAD aktivnostima,
- 2) Teorijski model konstruktorove izvedbe CAD aktivnosti,
- 3) Metoda za mjerenje i analizu kognitivnoga opterećenja tijekom izvođenja CAD aktivnosti.

Popis citirane literature (maksimalno 30 referenci)

- [1] D. G. Ullman, "Toward the ideal mechanical engineering design support system," *Res. Eng. Des. - Theory, Appl. Concurr. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp. 55–64, 2002, doi: 10.1007/s00163-001-0007-4.
- [2] V. Hubka, *Principles of engineering design*, vol. 46, no. 536. Butterworth Scientific, 1980.
- [3] E. Pei, I. Campbell, and M. Evans, "A taxonomic classification of visual design representations used by industrial designers and engineering designers," *Des. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 64–91, 2011, doi: 10.2752/175630610X12877385838803.
- [4] G. Goldschmidt, "Manual Sketching: Why Is It Still Relevant?," in *Philosophy of Engineering and Technology*, Springer London, 2017, pp. 77–97.
- [5] C. McMahon, "Design Informatics: Supporting Engineering Design Processes with Information Technology," *J. Indian Inst. Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 365–377, 2015, [Online]. Available: <http://journal.library.iisc.ernet.in/index.php/iisc/article/view/4585>.
- [6] F. J. O'Donnell and A. H. B. Duffy, *Design Performance*. Springer London, 2005.
- [7] J. Gopsill, C. Snider, L. Shi, and B. Hicks, "Computer aided design user interaction as a sensor for monitoring engineers and the engineering design process," *Proc. Int. Des. Conf. Des.*, vol. DS 84, pp. 1707–1718, 2016.
- [8] P. Rosso, J. Gopsill, S. Burgess, and B. Hicks, "Investigating and characterising variability in CAD modelling and its potential impact on editability: An exploratory study," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 18, no. 6, pp. 1306–1326, 2021, doi: 10.14733/cadaps.2021.1306-1326.
- [9] S. Lee and J. Yan, "The impact of 3D CAD interfaces on user ideation: A comparative analysis using SketchUp and Silhouette Modeler," *Des. Stud.*, vol. 44, pp. 52–73, 2016, doi: 10.1016/j.destud.2016.02.001.
- [10] L. Hay, P. Cash, and S. McKilligan, "The future of design cognition analysis," *Des. Sci.*, vol. 6, no. 20, pp. 1–26, 2020, doi: 10.1017/dsj.2020.20.



- [11] M. H. Rahman, C. Schimpf, C. Xie, and Z. Sha, "A computer-aided design based research platform for design thinking studies," *J. Mech. Des.*, vol. 141, no. 12, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1115/1.4044395.
- [12] A. Sivanathan, T. Lim, J. Ritchie, R. Sung, Z. Kosmadoudi, and Y. Liu, "The application of ubiquitous multimodal synchronous data capture in CAD," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 59, pp. 176–191, 2015, doi: 10.1016/j.cad.2013.10.001.
- [13] D. Robertson, K. Ulrich, and M. Filerman, "Cognitive complexity and CAD systems: Beyond the drafting board metaphor," Cambridge, Massachusetts, WP #3244-91-MSA, 1991.
- [14] A. Dillon and M. Sweeney, "The application of cognitive psychology to CAD," *People Comput. IV*, no. January 1988, pp. 477–488, 1988, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10150/106215>.
- [15] J. J. Shah, J. Woodward, and S. M. Smith, "Applied tests of design skills-part II: visual thinking," *J. Mech. Des.*, vol. 135, no. 7, p. 071004, 2013, doi: 10.1115/1.4024228.
- [16] J. Sweller, P. Ayres, and S. Kalyuga, *Cognitive Load Theory*. Springer, 2011.
- [17] W. Jia, F. von Wegner, M. Zhao, and Y. Zeng, "Network oscillations imply the highest cognitive workload and lowest cognitive control during idea generation in open-ended creation tasks," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–24, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-03577-1.
- [18] B. Majdic, C. Cowan, J. Girdner, W. Opoku, O. Pierrakos, and E. Barrella, "Monitoring Brain Waves in an Effort to Investigate Student 's Cognitive Load During a Variety of Problem Solving Scenarios," in *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, 2017, pp. 186–191.
- [19] G. B. Dadi, P. M. Goodrum, T. R. B. Taylor, and C. M. Carswell, "Cognitive Workload Demands Using 2D and 3D Spatial Engineering Information Formats," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 140, no. 5, pp. 1–8, 2014, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000827.
- [20] A. M. Maier, N. Baltsen, H. Christoffersen, and H. Strlrle, "Towards Diagram Understanding: A Pilot-Study Measuring Cognitive Workload Through Eye-Tracking," *Proc. Intl. Conf. Hum. Behav. Des.*, no. October, pp. 1–6, 2014.
- [21] H. Nolte and C. McComb, "The cognitive experience of engineering design: an examination of first-year student stress across principal activities of the engineering design process," *Des. Sci.*, vol. 7, no. May, 2021, doi: 10.1017/dsj.2020.32.
- [22] P. Nguyen, T. A. Nguyen, and Y. Zeng, "Empirical approaches to quantifying effort, fatigue and concentration in the conceptual design process: An EEG study," *Res. Eng. Des.*, vol. 29, no. 3, pp. 393–409, 2018, doi: 10.1007/s00163-017-0273-4.
- [23] H. H. Choi, J. J. G. van Merriënboer, and F. Paas, "Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 26, no. 2, pp. 225–244, 2014, doi: 10.1007/s10648-014-9262-6.
- [24] L. Blessing and A. Chakrabarti, *DRM: A Design Reseach Methodology*, no. September. 2009.
- [25] P. Cash, T. Stanković, and M. Štorga, *Experimental Design Research: Approaches, Perspectives, Applications*. Springer Nature, 2016.
- [26] M. Zhao, W. Jia, D. Yang, P. Nguyen, T. A. Nguyen, and Y. Zeng, "A tEEG Framework for Studying Designer 's Cognitive and Affective States," *Des. Sci.*, vol. 6, pp. 1–47, 2020, doi: 10.1017/dsj.2020.28.
- [27] J. Yang, L. Yang, H. Quan, and Y. Zeng, "Implementation Barriers: A TASKS Framework," *J. Integr. Des. Process Sci.*, vol. 25, no. X, pp. 1–14, 2021, doi: 10.3233/jid-210011.
- [28] Y. Liu, J. M. Ritchie, T. Lim, Z. Kosmadoudi, A. Sivanathan, and R. C. W. Sung, "A fuzzy psycho-physiological approach to enable the understanding of an engineer's affect status during CAD activities," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 54, pp. 19–38, 2014, doi: 10.1016/j.cad.2013.10.007.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

DR.SC.-01 Prijava teme doktorskog rada

Obrazac je napravljen pomoću sustava OBAD

Procjena ukupnih troškova predloženog istraživanja (u kunama)		
350 000 HRK		
Predloženi izvori financiranja istraživanja		
Nacionalno financiranje	Naziv projekta	Sredstva projekata koje vodi mentor (ERASMUS, suradnja s privredom)
	Voditelj projekta	Izv. prof. dr. sc. Stanko Škec
	Potpis	
Međunarodno financiranje	Naziv projekta	Sredstva odsjeka Methods and Tools for Product Design, POLIMI (nacionalno i međunarodno financirani projekti, suradnja s privredom)
	Voditelj projekta	Izv. prof. dr. sc. Niccolò Becattini
	Potpis	
Ostale vrste projekata	Naziv projekta	Sredstva Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda, FSB (suradnja s privredom, organizacija međunarodne konferencije DESIGN)
	Voditelj projekta	Prof. dr. sc. Mario Štorga
	Potpis	
Samostalno financiranje	Stipendija talijanske vlade (prijava kandidata); Erasmus+ stručna praksa (prijava kandidata)	
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 _____ izv. prof. dr. sc. Stanko Škec		
Potpis _____ izv. prof. dr. sc. Niccolò Becattini		
Potpis _____ Fanika Lukačević, 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)		
U Zagrebu, 14.12.2022.		
Potpis _____ Fanika Lukačević, mag. ing. mech.		