

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Robert Celjak

**Prepoznavanje obrazaca kolaborativnog
CAD modeliranja tijekom razvojnih
projekata**

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom doc.dr.sc. Stanka Škeca i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.

POPIS KRATICA

CAD Računalom potpomognuto konstruiranje (*eng. Computer Aided Design*)

MUCAD Višekorisničko računalom potpomognuto konstruiranje (*eng. Multi-User Computer Aided Design*)

PDM Upravljanje podacima o proizvodu (*eng. Product Data Management*)

SADRŽAJ

POPIS KRATICA	I
SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	V
1. Uvod i motivacija	1
1.1. Ciljevi i istraživačka pitanja.....	3
1.2. Metodologija istraživanja.....	4
2. Pregled literature.....	5
2.1. Razvojni projekti.....	5
2.2. Uloga CAD-a u razvojnim projektima.....	7
2.3. Kolaboracija unutar CAD okruženja.....	9
2.4. Praćenje rada u CAD okruženju.....	12
2.4.1. Klasifikacija CAD aktivnosti	12
2.4.2. Prikupljanje podataka o CAD aktivnostima.....	13
2.4.3. Analiza podataka.....	14
3. Prijedlog metodologije za analizu CAD aktivnosti	18
3.1. Definiranje metrika i ciljeva analize	19
3.2. Klasifikacija aktivnosti.....	19
3.3. Odabir i karakterizacija CAD okruženja.....	19
3.4. Prikupljanje CAD podataka	20
3.5. Priprema CAD podataka za analizu	20
3.6. Analiza i interpretacija podataka.....	20
3.7. Testiranje i prilagodba prethodnih koraka metodologije	21
4. Studija slučaja: Analiza kolaboracije u razvojnom projektu	22

4.1.	Definiranje metrika i ciljeva analize	22
4.2.	Klasifikacija aktivnosti.....	23
4.3.	Odabir i karakterizacija CAD okruženja.....	24
4.4.	Prikupljanje CAD podataka	30
4.5.	Priprema podataka.....	31
4.6.	Analiza i interpretacija podataka.....	33
5.	Rezultati	35
5.1.	Povezanost CAD aktivnosti i timova	35
5.2.	Analiza CAD aktivnosti prema klasifikaciji na razini tima	36
5.2.1.	Prosječni udio i raspon udjela kategorija CAD aktivnosti	37
5.2.2.	Udio CAD aktivnosti u kontekstu <i>Part</i> -a naspram <i>Assembly</i> -ja.....	39
5.2.3.	Omjer <i>Editing</i> i <i>Deleting</i> kategorija CAD aktivnosti.....	40
5.3.	Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na razini tima.....	41
5.3.1.	Usporedba udjela kategorija CAD aktivnosti kroz kvartale	42
5.3.2.	Usporedba udjela kategorija CAD aktivnosti kroz kvartale u kontekstu najboljih i najlošijih timova.....	45
5.4.	Analiza individualnog rada	49
5.4.1.	Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini	49
5.4.2.	Usporedba sati rada s brojem izvršenih aktivnosti.....	51
5.4.3.	Tijek modeliranja i CAD obrasci	52
6.	Diskusija	57
6.1.	Osvrt na klasifikaciju CAD aktivnosti	57
6.2.	Metodologija za analizu CAD aktivnosti.....	58
6.3.	Rezultati analize podataka.....	58

7. Zaključak	64
LITERATURA	66
ZAHVALE	71
SAŽETAK	72
SUMMARY	73
PRILOG	73
Koraci koda za analizu CAD aktivnosti	74
Filtriranje CAD aktivnosti	74
Klasifikacija CAD aktivnosti	75
Mapiranje CAD aktivnosti	76
Dijagram kvartalne distribucije na timskoj razini	76

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Dijagram toka razvojnog projekta.....	6
Slika 2.2 Pristup modeliranju tradicionalne CAD kolaboracije.....	10
Slika 2.3 Pristup modeliranju u kolaborativnom MUCAD-u.....	11
Slika 3.1 Predložena metodologija za praćenje CAD kolaboracije.....	18
Slika 4.1 Klasifikacija CAD aktivnosti	23
Slika 4.2 Mehanizam kočenja u okruženju <i>Onshape</i> -a	25
Slika 4.3 Mehanizam sklapanja u okruženju <i>Onshape</i> -a	25
Slika 4.4 Mehanizam za prilagodbu visine drške u okruženju <i>Onshape</i> -a	26
Slika 4.5 Stablo s prikazom verzija i grananja unutar <i>Onshape</i> okruženja	27
Slika 4.6 Prikaz kolaboracije unutar <i>Onshape</i> -a	29
Slika 4.7 Primjer strukture podataka zabilježenih i pohranjenih od strane „ <i>Onshape Analytics</i> “	31
Slika 4.8 Tijek pripreme CAD podataka za analizu.....	32
Slika 4.9 Koraci koda za generiranje dijagrama omjera CAD kategorija <i>editing</i> i <i>deleting</i>	33
Slika 5.1 Prikaz ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti pojedinog tima te dobivenog broja bodova	36
Slika 5.2 Prikaz udjela kategorija CAD aktivnosti na razini tima.....	37
Slika 5.3 <i>Boxplot</i> dijagram udjela kategorija CAD aktivnosti na razini svih timova	38
Slika 5.4 Prikaz ukupnog udjela <i>Part</i> i <i>Assembly</i> CAD aktivnosti na razini timova	40
Slika 5.5 Omjer korištenih CAD aktivnosti iz kategorije <i>Editing</i> naspram <i>Deleting</i>	41
Slika 5.6 Prikaz kvartalne distribucije kategorija CAD aktivnosti	42
Slika 5.7 „ <i>Box plot</i> “ dijagram usporedbe CAD kategorija po kvartalima	43

Slika 5.8 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u prvom kvartalu	45
Slika 5.9 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u drugom kvartalu	47
Slika 5.10 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u trećem kvartalu	48
Slika 5.11 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u četvrtom kvartalu	49
Slika 5.12 Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini unutar tima # 1	50
Slika 5.13 Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini unutar tima # 6	50
Slika 5.14 Regresijska analiza zavisnosti ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti o broju utrošenih sati u kontekstu različitih timova.....	52
Slika 5. Markovljeva matrica izvršenih CAD aktivnosti člana #3 tima #6.....	53
Slika 5. Markovljeva matrica izvršenih CAD aktivnosti člana #2 tima #6.....	54
Slika 5. Prikaz najučestalijih obrazaca CAD aktivnosti ispitanika #2 tima #6	55

1. Uvod i motivacija

Tehnologija računarstva u oblaku omogućila je nove načine rada i suradnje. Geografski distancirani timovi sve se češće koriste u svim domenama [1], pa tako i u razvoju proizvoda [2]. Dodatne prednosti navedenog pristupa u kojem se naglasak stavlja na geografski distribuiranu kolaboraciju obuhvaćaju uključenost šireg spektra stručnosti te bolje povezanosti s novim međunarodnim industrijskim partnerima u usporedbi s tvrtkama koje se sastoje od timova koji rade na istoj lokaciji [3]. Također, takvi timovi su manje podložni problemima vezanim uz izvanredne situacije koje onemogućuju suradnju uživo. Razvoj računarstva u oblaku omogućio je stoga nove načine rada timova, čime se utječe i na provedbu inženjerskih razvojnih projekata.

Inženjerski razvojni projekti mogu se definirati kao privremeni poduhvati poduzeti u svrhu stvaranja jedinstvenog proizvoda ili usluge koji uključuju više inovacija, kreativnosti, istodobnosti i ponavljanja procesa i aktivnosti od mnogih drugih vrsta projekata (kao što su projekti održavanja ili administrativni projekti) [4]. Složeni inženjerski razvojni projekti obuhvaćaju međuovisne aktivnosti koje provode povezani ljudi [5]. Složenost projekata je manifestirana kroz dvosmislenosti, nesigurnosti te međuovisnosti između aktivnosti i rezultata istih te ljudi i korištenih alata [6]. Takvi se projekti mogu opisati kao isprepletana mreža ljudi koji razmjenjuju i transformiraju informacije u kontekstu organizacijske arhitekture, te kao mreža međuovisnih informacijskih aktivnosti u kontekstu arhitekture procesa [5]. Poveznica između navedenih arhitektura nastaje kada članovi razvojnih timova unutar razvojnih projekata komuniciraju u svrhu razmjene i transformacije informacija između aktivnosti projekta [7,8]. Ove interakcije rezultiraju u informacijama koje teku između međuovisnih projektnih aktivnosti u obliku ulaznih i izlaznih podataka te služe kao poveznica između istih [9]. Iz istraživačke i upravljačke perspektive razumijevanje, kvantificiranje, analiza i interpretacija tokova informacija između aktivnosti u razvojnim procesima bitno je za identifikaciju zahtjeva složenih inženjerskih razvojnih projekata [10].

Sastavni dio svakog projekta razvoja proizvoda čine faze koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja [9]. Svaka od navedenih faza donosi različit, no važan doprinos procesu razvoja proizvoda. Naime, važnost faze koncipiranja očituje se u provođenju analize ciljanog tržišta, definiranju ekonomske opravdanosti projekta te generiranju inicijalnih koncepata. Kao produkt ovih aktivnosti, generiraju se opis funkcije, specifikacije inicijalnog oblika te značajke proizvoda. Nadalje, tijekom faze oblikovanja se isporučuje fizički raspored elemenata proizvoda, početne definicije geometrije svakog podsustava i komponenti te preliminarni plan sklapanja. Konačno, važnost faze detaljiranja se manifestira kroz izrađenu tehničku dokumentaciju proizvoda i alata, specifikaciju standardnih dijelova te konačnom planu sklapanja.

Modeliranje unutar CAD okruženja uvelike potpomaže fazama koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja unutar procesa razvoja proizvoda. Generiranje kvalitetnih i funkcionalnih CAD modela je zahtjev postavljen od strane svake tvrtke, u čijoj se domeni nalazi proces razvoja proizvoda, jer time dolazi do značajnog smanjenja troškova razvojnog projekta. Za generiranje kvalitetnih i funkcionalnih CAD modela potreban je učinkovit pristup CAD modeliranju te primjena metoda koje to omogućuju. Shodno tome, potrebno je razviti pristup za analizu CAD aktivnosti tijekom procesa oblikovanja razvojnih timova kako bi se dobio uvid u načine modeliranja te eventualne obrasce u modeliranju. Nadalje, kako u trenutnoj industrijskoj paradigmi kolaborativni alati sve više dolaze do izražaja, a razvoj proizvoda nije iznimka, fokus industrije okreće se prema virtualnoj suradnji te mogućnosti CAD (*eng. Computer Aided Design*) modeliranja moraju pratiti trend kako bi ostali relevantni u kontekstu cjelokupnog procesa razvoja proizvoda. Iz tog razloga, potrebno je ispitati mogućnosti kolaborativnog CAD okruženja, koje omogućuje istovremenu suradnju članova razvojnih timova te jednostavno dijeljenje podataka u stvarnom vremenu, u kontekstu istraživanja potencijala novih tehnologija. No, napredna tehnologija sama po sebi nije dovoljna kako bi razvojni timovi bili efikasniji. Naime, potrebno je razumjeti prednosti, mogućnosti i izazove korištenja kolaborativnog CAD-a te istražiti koje su najbolje metode suradnje za unaprjeđenje efikasnosti timova unutar istog.

Kako bi se ispitale karakteristike i način rada u okviru korištenja kolaborativnog CAD okruženja za modeliranje tijekom faza koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja razvojnih procesa, nužno je detaljno ispitati okruženje, prikupiti podatke o različitim načinima i metodama korištenja istog, kvantificirati navedene podatke te provesti analizu podataka. S tom se motivacijom u ovom radu nastoji istražiti utjecaj tehnologije kolaborativnog CAD-a, u odnosu na uobičajenu tehnologiju tradicionalnog CAD-a, limitiranog u kontekstu suradnje, na razumijevanje kolaboracije i pristupa CAD modeliranju. Pri tome je naglasak na razumijevanju provođenja CAD aktivnosti i identificiranju obrazaca CAD modeliranja tijekom modeliranja CAD modela za vrijeme faza koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja procesa razvoja proizvoda.

1.1. Ciljevi i istraživačka pitanja

Ciljevi ovog istraživanja su razvoj metodologije koja omogućuje proučavanje kolaborativnog modeliranja u CAD okruženju, razvoj klasifikacije CAD aktivnosti, te identifikacija obrazaca u tom kontekstu. Razvijena metodologija omogućit će razumijevanje procesa modeliranja u višekorisničkom CAD okruženju. Navedeno će se ostvariti razvijanjem klasifikacije CAD aktivnosti kojom će se individualne CAD aktivnosti objediniti te omogućiti provedba analize na različitim razinama granularnosti. Provođenje analize podataka će omogućiti proučavanje kolaboracije unutar CAD okruženja u kojem istovremeno radi više korisnika te donošenje zaključaka o istoj. Nadalje, analiza podataka će pružiti uvid u tijek procesa modeliranja čime se ostvaruje potencijal za prepoznavanje obrazaca CAD modeliranja.

Na temelju pregleda literature i dosadašnjih istraživanja predstavljenih u trećem poglavlju, postavljena su sljedeća istraživačka pitanja:

1. Kako klasificirati korisničke CAD aktivnosti unutar kolaborativnog CAD okruženja?
2. Kako prikupiti podatke o izvršenim CAD aktivnostima, pripremiti ih za analizu podataka te provesti analizu podataka u svrhu razvijanja metodologije koja će pružiti osnovu za praćenje CAD kolaboracije?
3. Koji su obrasci korištenja prepoznati u kontekstu kolaborativnog CAD modeliranja?

1.2. Metodologija istraživanja

Istraživanje će se provesti koristeći opću metodologiju istraživanja [11] koja se sastoji od sljedeća četiri koraka:

1. Pojašnjenje istraživanja u kojem se opisuju ciljevi istraživanja, istraživačka pitanja te prikazuje sama metodologija istraživanja.
2. Deskriptivna analiza trenutnog stanja sastoji se od pregleda literature na području uloge CAD-a u fazama koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja procesa razvoja proizvoda u kontekstu razvojnih projekata te proučavanja kolaboracije unutar CAD i MUCAD (*eng. Multi-User Computer Aided Design*) okruženja. Kako bi se omogućilo potonje, pregled literature obuhvaća i različite pristupe prikupljanju podataka o izvršenim CAD aktivnostima te različite vrste klasifikacija navedenih aktivnosti u svrhu provedbe analize CAD aktivnosti.
3. Preskriptivna analiza gdje se na temelju pregleda literature i istraživanja u industrijskom okruženju predlaže metodologija za analizu CAD aktivnosti u kontekstu kolaboracije. Predložena metodologija je testirana na studiji rada te su generirani rezultati.
4. Deskriptivna analiza završnog stanja gdje se predložena metodologija validira, postavljaju poveznice s pregledanom literaturom, analiziraju dobiveni rezultati te predstavlja poboljšanja metodologije. Usporedbom predložene metodologije i rezultata prosuđuje se da li su postignuti svi ciljevi te je na kraju prikazana implikacija u domeni istraživanja i industrijske primjene.

Definiranom metodologijom istraživanja ujedno je i dovršen prvi korak istraživanja te je moguće započeti s deskriptivnom analizom trenutnog stanja. Prije same analize valja napomenuti da iteracije između svih koraka metodologije omogućuju primjenu novih metoda u preskriptivnoj analizi, reformulaciju ciljeva i detaljnije proučavanje literature na temelju novih spoznaja i sl. te su u ovom istraživanju pomogle u ostvarivanju ciljeva.

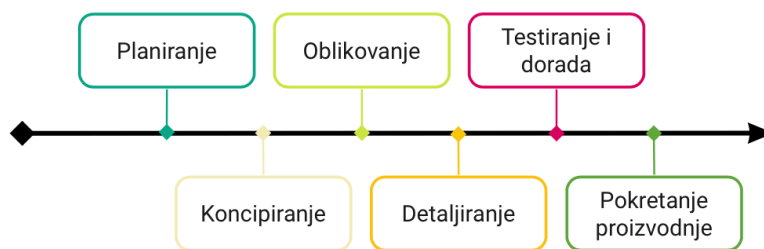
2. Pregled literature

Drugi korak metodologije istraživanja daje opis trenutnog stanja te se sastoji od pregleda literature na području korištenja CAD-a u razvojnim projektima s naglaskom na ulogu kolaboracije unutar CAD okruženja radi proučavanja iste. Nadalje, proučeni su pristupi praćenju i analizi kolaboracije te će se isti iskoristiti kao osnova za razvoj metodologije za praćenje i analiza CAD kolaboracije. Radi objašnjenja postojećeg stanja te postavljanja dobrih temelja dane su osnove te istraživački doprinos svakog područja važnog za razvijanje metodologije koja će omogućiti proučavanje kolaboracije unutar CAD okruženja.

2.1. Razvojni projekti

Svjetske inženjerske organizacije okreću se prema „projektiranom društvu“ (*eng. Projectified society*) [12] u kojem se upravljanje projektima ne koristi samo u izvanrednim situacijama, već u rastućem udjelu svakidašnjih inženjerskih operacija organizacija [13]. Shodno tome, uloga razvojnih projekata u različitim granama industrije je iznimno važna, kao i njihova primjena u raznim razvojnim kontekstima. Razmjerno rastućoj implementaciji razvojnih projekata u svjetske inženjerske organizacije, povećava se i akademski interes u razvojne projekte, kao i u njihovu ulogu unutar organizacija [14].

Iz navedenog akademskog interesa generiraju se sljedeće definicije i značajke projekata. Engwall [14] definira projekt kao vremenski ograničen i jednokratni zadatak čije je vođenje odgovornost voditelja projekta. Nadalje, značajke koje karakteriziraju projekt su: 1. definirani početak i kraj projekta, 2. specifični predodređeni cilj, 3. niz međupovezanih aktivnosti te na posljetku, 4. ograničeni proračun [15]. Reiss [16] predlaže drugačiju definiciju projekta u obliku skupa aktivnosti kojima se, u određenom vremenskom razmaku, postiže jasan cilj. Kline [4] identificira razlike između razvojnih i ostalih projekata u okviru inovativnosti kreativnosti, istodobnosti i ponavljanja koja je na strani razvojnih projekata.



Slika 2.1 Dijagram toka razvojnog projekta

Razvojni projekti sastoje se od šest faza prikazanih na slici 2.1 [9]: planiranje, koncipiranje, oblikovanje, detaljiranje, testiranje i dorada, te pokretanje proizvodnje. U fazi planiranja se započinje s prepoznavanjem prilika za razvoj, razmišlja o proizvodnoj platformi i arhitekturi te procjenjuju mogućnosti novih tehnologija. Faza planiranja rezultira u definiciji cilja projekta koji specificira tržište, poslovne ciljeve, osnovne pretpostavke i ograničenja projekta. U fazi koncipiranja određuju se potrebe ciljanog tržišta, generiraju se i evaluiraju koncepti proizvoda, nakon čega se odabire jedan ili više koncepata za daljnju konstrukcijsku razradu. Rezultati ove faze su opis funkcije, specifikacija oblika i značajki proizvoda, analiza konkurentskih proizvoda i ekonomska opravdanost projekta [17]. Odabrani koncepti iz faze koncipiranja služe kao ishodište za određivanje arhitekture proizvoda u fazi oblikovanja. Slijedi stvaranje dekompozicije proizvoda u podsustave i komponente nakon čega se izvodi inicijalno oblikovanje ključnih dijelova. Ishodi ove faze manifestiraju se u obliku geometrijskog rasporeda elemenata proizvoda, početne definicije geometrije svakog podsustava i komponenti te preliminarnog plana sklapanja. U fazi detaljiranja se izrađuje potpuna specifikacija geometrije, materijala i tolerancija za sve pojedinačne dijelove koji se proizvode. Također, definiraju se alati za izradu dijelova te identificiraju dijelovi koji se kupuju od dobavljača. Ova faza rezultira u izrađenoj tehničkoj dokumentaciji proizvoda i alata, specifikaciji standardnih dijelova te konačnom planu sklapanja. Slijedi faza testiranja i dorade u kojoj se izrađuje i evaluira više prototipnih verzija proizvoda. Provode se testiranja funkcionalnosti i zadovoljavanja korisničkih potreba, nakon čega slijede testiranja performansi i pouzdanosti. Temeljem rezultata definiraju se potrebne promjene prije definiranja konačne verzije proizvoda i proizvodnog procesa. Konačno, slijedi faza pokretanja proizvodnje gdje se provjerava svaki

detalj proizvodnog postupka prije nego se potvrdi spremnost za proizvodnju. Nakon pozitivne evaluacije postupka, pokreće se proizvodnja, proizvod se lansira na tržište te postaje dostupan za distribuciju.

Kako bi se projekti bolje razumjeli i lakše predvidjela izvedba projekata, te time identificirali potencijalni problemi, nužno je identificirati parametre koji utječu na njihovu provedbu. Iako se u današnje vrijeme pretežito koriste materijalni aspekti kao parametri projektne izvedbe [18], paradigma se, u svrhu boljeg razumijevanja i predviđanja izvedbe projekta, proširuje i na praćenje inženjerskih informacijskih objekata [19]. Osim praćenja inženjerskih objekata, nužno je razumjeti i nematerijalne aspekte poput timskog rada. Naime, česta je pojava da članovi razvojnog tima nisu međusobno upoznati prije početka samog projekta, a time ni s međusobnim radnim navikama i metodama rada [20], te da je njihova suradnja jednokratna [21]. Nadalje, članovi tima mogu dolaziti iz različitih disciplina, kako bi upotpunili znanja i vještina potrebne za provođenje projekta [21]. Uzevši u obzir sve navedeno, daje se naslutiti se kako uspješnost projekta značajno ovisi i o ljudskim faktorima [22] te međuljudskim odnosima i organizacijskoj kulturi [23]. Kao još jedan parametar o kojem ovisi dugoročan uspjeh projekta navodi se prijenos znanja između projekata [24,25]. Naime, uspješan prijenos znanja između projekata skraćuje vrijeme i troškove potrebne za provedbu projekta. Uspješan prijenos znanja najbolje se manifestira u zadržavanju identificiranih članova razvojnog tima, čiji je doprinos bio ključan za uspjeh projekta, iz projekta u projekt. Stoga se daje zaključiti kako uvid u učinak određenog sastava razvojnog tima u razvojnom projektu pruža razumijevanje te daje osnovu za formiranje učinkovitih timova [26]. Nadalje, stjecanje uvida u radnje i interakcije projektnih timova u domeni razvojnih projekata važno je za istraživače u kontekstu kolaboracije između članova razvojnih timova.

2.2. Uloga CAD-a u razvojnim projektima

Računalom potpomognuto konstruiranje (*eng. Computer Aided Design*) postalo je jedan je od temeljnih, integralnih grupa alata koji se koriste u domeni strojarstva. Poznavanje ovih alata smatra se jednom od glavnih vještina potrebnih inženjerima. Od skromnih početaka CAD-a kao

tehnologije namijenjene za preciznije i brže generiranje crteža u odnosu na ručno crtanje [27], CAD je napredovao do mogućnosti rukovanja trodimenzionalnim komponentama i kompleksnim sklopovima sastavljenih od tisuća komponenti. Daljnja proširenja mogućnosti CAD-a uključuju automatiziranu detekciju preklapanja geometrijskih značajki, automatizirano generiranje prateće tehničke dokumentacije te generiranje standardnih dijelova [28]. Pored osnovnih mogućnosti CAD-a u kontekstu geometrijskog oblikovanja, dolazi do razvoja mnogo računalnih alata koji se integriraju unutar CAD-a poput analize konačnim elementima, dinamičke analize te računalne dinamike fluida.

Zahvaljujući navedenim mogućnostima, sposobnost CAD računalnih alata u kontekstu održavanja faza koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja razvojnih projekata je ključna za realizaciju složenijih proizvoda [28]. Pritom se sposobnost CAD-a odnosi na rukovanje velikom količinom geometrijskih značajki, dijelova, podsklopova i sklopova te njihovih pripadajućih međusobnih ograničenja i odnosa. Nadalje, uporaba CAD-a razvojnim timovima omogućuje praktičan način prikaza digitalnih prototipova tijekom faze koncipiranja [29], eliminirajući pritom potrebu za izradom fizičkih prototipova [30], čime se značajno smanjuju troškovi razvojnog projekta. Fazu koncipiranja znatno olakšava i mogućnost korištenja CAD modela s osnovnim geometrijskim značajkama, u kontekstu ciljanog proizvoda, kao polazišta za daljnje generiranje različitih geometrijskih značajki ovisno o pojedinom konceptu.

Prednosti uporabe CAD računalnih alata utjelovljene su i tijekom faze oblikovanja. Naime, putem CAD okruženja omogućeno je dijeljenje i korištenje gotovih trodimenzionalnih CAD modela nad kojima se jednostavno mogu uraditi izmjene ili dodati nove geometrijske značajke. Važno je napomenuti kako jednostavnost korištenja kreiranog CAD modela ovisi o načinu i metodama koji su korišteni za njegovo modeliranje. Nadalje, mnogi proizvođači u svojim katalozima nude već gotove CAD modele standardnih, standardnih komponenti što olakšava njihovu implementaciju u konačan CAD sklop proizvoda. Također, CAD omogućuje korištenje modula specijaliziranog oblikovanja dijelova od lima, cijevi, cjevovoda, kalupa, itd. kojima se proces oblikovanja određenih dijelova u razvojnom projektu može značajno ubrzati. Konačno, u fazi detaljiranja CAD kvalitetno i precizno prikazuje detaljnije geometrijske značajke CAD

modela. Ovo je omogućeno zahvaljujući trodimenzionalnom prikazu modela unutar CAD okruženja čime su interakcije i spojevi između određenih komponenti jasno prikazane iz različitih pogleda. Nadalje, CAD podržava izradu pripadajuće tehničke dokumentacije. Još jedna značajna prednost koju CAD omogućuje unutar ove faze je mogućnost provođenja simulacija umjesto ručnih izračuna, čime se povećava kvaliteta proizvoda, smanjuje vrijeme ciklusa te povećava produktivnost inženjera [31].

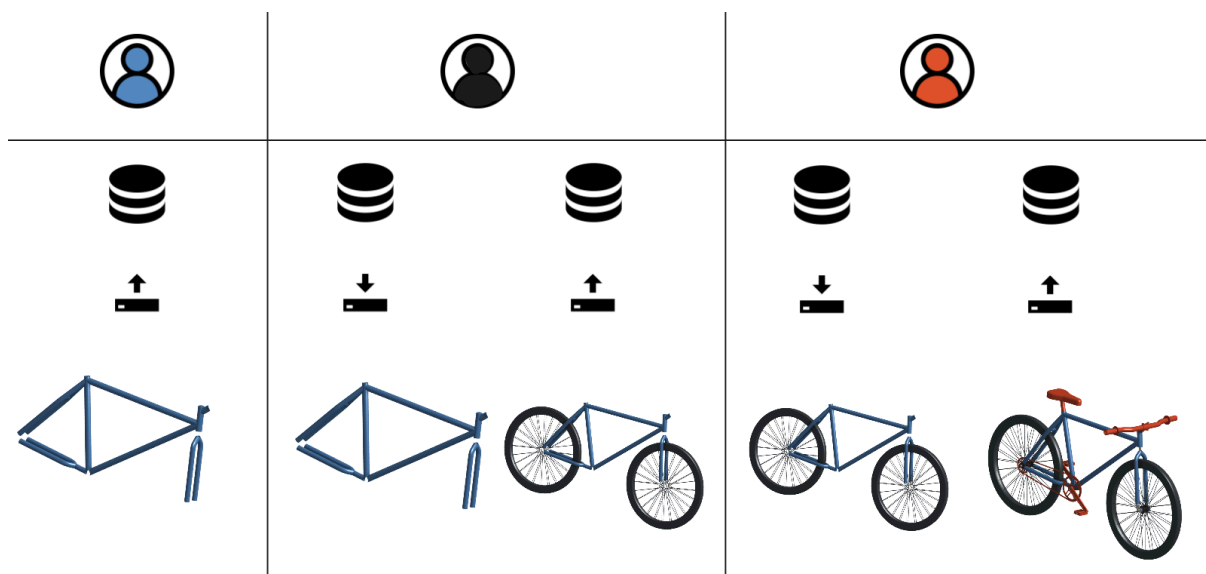
Za napredak i razvoj CAD tehnologije, kao i uspješnu implementaciju iste u razvojne projekte, zaslužne su i metode upravljanja podacima o proizvodu (*eng. Product Data Management*). Naime, PDM (*eng. Product Data Management*) pospješuje kolaboraciju između članova tima razvojnog projekta omogućivanjem razmjene podataka u kontekstu CAD modela.

2.3. Kolaboracija unutar CAD okruženja

Kolaboracija postoji od samih početaka korištenja CAD-a u razvoju proizvoda. U tradicionalnom obliku, kolaboracija je u proces oblikovanja implementirana korištenjem *top-down* pristupa oblikovanju, odnosno dekompoziciji kompleksnih modela na jednostavnije komponente pogodne za individualni rad [32,33]. U tom kontekstu, inženjeri rade individualno u asinkronom CAD okruženju gdje se podaci pohranjuju u memoriju vlastitog računala [34]. Dijeljenje podataka u asinkronom radu zahtijeva korištenje računalnih alata za upravljanje podacima koji mogu (npr. *Teamcenter*), ali i ne moraju (npr. *Google Drive, Dropbox*) biti integrirani s CAD okruženjem. Iako se takav pristup pokazao efikasnim u kontekstu CAD modeliranja, navedenu razmjenu karakteriziraju određena ograničenja u kontekstu efikasnosti procesa modeliranja, brzine razmjene podataka te ažuriranja verzija CAD modela [32]. Posljedično, takav način rada može rezultirati povećanjem udjela vremena koje ne stvara dodanu vrijednost proizvodu (*eng. Non-Value Added Time*) [35] te doprinosi fragmentaciji kompletnog procesa oblikovanja [36]. Naime, Zhou i dr. [38] identificiraju integraciju komponenti različitih članova tima kao vremenski zahtjevan dio procesa oblikovanja. Nadalje, s više korisnika koji rade na istom projektu sve potrebne modifikacije unutar projekta vode do

određenog broja iteracija, u svrhu generiranja kvalitetnog CAD modela, što naposljetku produžuje proces oblikovanja.

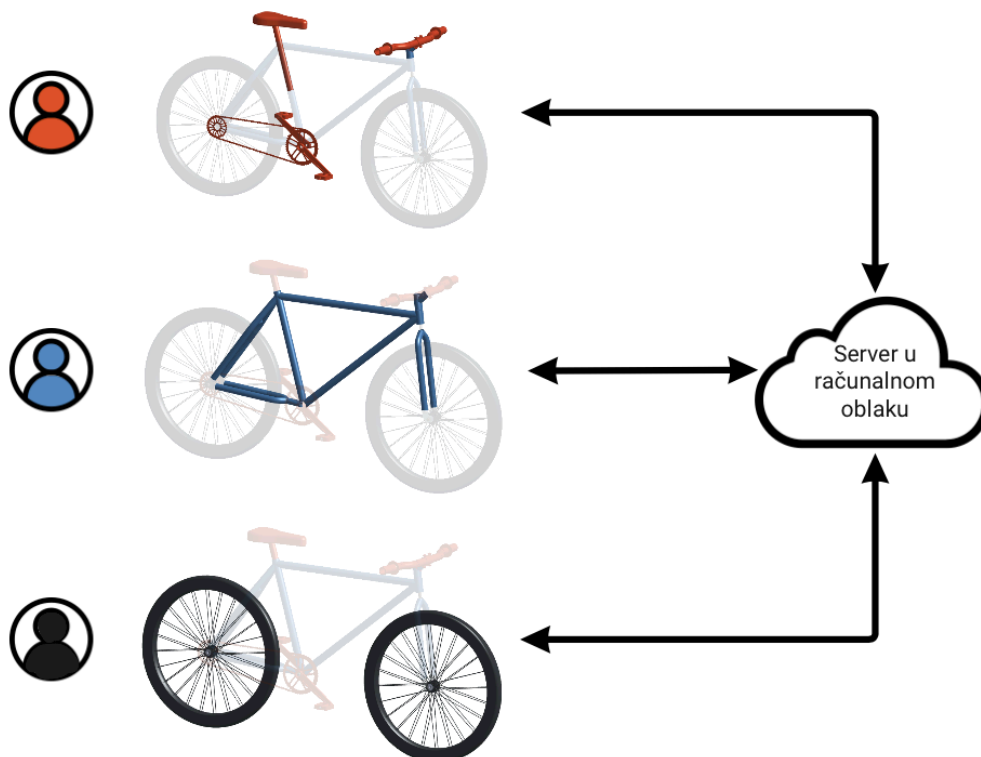
Na slici 2.2 prikazan je pristup modeliranju u tradicionalnom CAD-u koji obuhvaća navedeni asinkroni rad inženjera te korištenje alata za razmjenu podataka (npr. *Teamcenter*, *Google Drive*). Naime, nakon što prvi korisnik, označen plavom bojom, učitava svoj dio sklopa na server, tek tada drugi korisnik, označen žutom bojom, može taj dio preuzeti sa servera, dodati svoj doprinos te učitati generirani podsklop na server. Nadalje, treći korisnik, označen zelenom bojom, tek nakon učitavanja CAD modela od strane prethodnog korisnika, može dodati svoj doprinos te konačno učitati konačan sklop na server.



Slika 2.2 Pristup modeliranju tradicionalne CAD kolaboracije

Potaknut potrebom rješavanja spomenutih problema te već spomenutom pojavom računalstva u oblaku, kolaborativni CAD postaje „*state-of-the-art*“ u CAD modeliranju [35]. Naime, pohrana podataka je centralizirana zahvaljujući serverima u računalnim oblacima čime se sve promjene na CAD modelu automatski spremaju te ažuriraju u stvarnom vremenu. Iz navedenog proizlazi da sinkrono okruženje višekorisničkog računalno potpomognutog konstruiranja (*eng. Multi-User Computer Aided Design*) omogućuje suradnju u stvarnom vremenu. Time se

inženjerima omogućuje istovremeni rad u istom dokumentu na istim komponentama i sklopovima čime, kako je prikazano na slici 2.3, oni mogu istovremeno dodavati svoj doprinos sklopu. Posljedično, to pojednostavljuje proces dijeljenja datoteka, a verzija modela je uvijek ažurirana [35], čime se rješavaju navedeni nedostaci tradicionalnog CAD-a.



Slika 2.3 Pristup modeliranju u kolaborativnom MUCAD-u

Razvoj CAD okruženja u oblaku omogućio je nove načine rada koji s asinkronim tehnologijama nije bio moguć. Međutim, sinkroni način rada u CAD okruženju još je uvijek slabo istražen. Kako bi se bolje razumio tijek rada u takvim okruženjima, potrebno je omogućiti praćenje i analizu rada u CAD okruženju. Prikupljeni podaci mogu istraživačima poslužiti za uvid o raznim metrikama vezanih uz proces oblikovanja poput kvalitete modela, utrošenog vremena, te razine kolaboracije.

2.4. Praćenje rada u CAD okruženju

Učestala metoda praćenja CAD aktivnosti je protokol analizom, u kojoj se snima modeliranje unutar CAD okruženja te se ručno analizira proces modeliranja [37–39]. Ova metoda omogućuje detaljnu analizu, no istovremeno iziskuje mnogo vremena i rada istraživača. Također, praćenje CAD aktivnosti na ovaj način se karakterizira kao invazivno, što se identificira kao nedostatak ove metode. U svrhu unaprjeđenja kolaboracije unutar CAD okruženja u kontekstu razvojnih projekata, uvodi se mogućnost neinvazivnog načina prikupljanja podataka o izvršenim korisničkim aktivnostima integriranim unutar samog CAD okruženja. Neinvazivno prikupljanje podataka omogućuje automatizirano pohranjivanje zapisa o aktivnosti konstruktora unutar CAD okruženja bez utjecaja ili smetnji radnom procesu [39].

2.4.1. Klasifikacija CAD aktivnosti

Kako bi se mogli prikupiti podaci, potrebno je identificirati i klasificirati aktivnosti tijekom CAD modeliranja. Naime, klasifikacija aktivnosti pruža osnovu za analizu prema različitim kriterijima ovisno o aspektu CAD modeliranja koji se istražuje. Nadalje, detaljnije klasifikacije omogućuju provođenje analize na nižim razinama aktivnosti, dok glavne kategorije klasifikacije omogućuju detekciju generalnih obrazaca primjetne tijekom CAD modeliranja. Prilikom pregleda literature, identificirane su četiri različite klasifikacije CAD aktivnosti iz tri različita rada.

Gopsill i dr. [28] klasificiraju aktivnosti prema vrsti geometrije (2D ili 3D) i tipu aktivnosti. Navode kako klasifikacija daje uvid u vrijeme koje je korisnik proveo u modeliranju 2D geometrije (npr. *sketch*) ili u modeliranju 3D geometrije (npr. *extrude*, *fillet*, *hole*, *chamfer*). S druge strane, aktivnosti se dijele na šest kategorija – *creating*, *editing*, *constraining*, *deleting*, *reversing* te *viewing*. Ovu klasifikaciju, uz manje preinake, preuzimaju Deng i dr. [35]. Oni izbacuju *constraining* kategoriju zbog razlika korištenih alata u kontekstu mogućnosti prikupljanja zapisa o određenim CAD aktivnostima. Nadalje, dodaju *other* kategoriju u kojoj su obuhvaćene sve aktivnosti koje nisu mogli smjestiti u preostale kategorije. Istovremeno, kategorije *editing*, *deleting* i *reversing* objedinjuju u *revising* kategoriju. Nadalje, Deng i dr.

[35] predlažu još jednu klasifikaciju prema sljedećoj podjeli. Aktivnosti se prvotno dijele na organizacijske (eng. *Organizing actions*) te na aktivnosti modeliranja (eng. *Constructive actions*). Razinu niže, aktivnosti modeliranja se dijele na one izvršene unutar sklopa odnosno dijela. Aktivnosti modeliranja u kontekstu dijela se granaju na *sketching* i *3D features*, nadalje u kontekstu sklopa na *mating* i *visualizing*, te konačno organizacijske aktivnosti se dijele na *browsing* i *other organizing*. Konačno, Leonardo [40] predlaže klasifikaciju koja se sastoji od 14 kategorija. *Assembly*, *Element*, *Add Parts*, *Part Studio* te *Sub Part* odnose se na grupiranje aktivnosti vezane uz geometrijske značajke modela. Kategorije *Branch*, *Overhead Change*, *Upgrade*, *Delete*, *View/Scan*, *Create/Edit* vezane su uz organizaciju radnog okruženja. Kategorije *Export*, *Review* i *Comment* vezane su uz upravljanje, pregled i dijeljenje dokumenata.

Pregledom navedenih klasifikacija utvrđeni su određeni nedostaci u vidu definiranja kategorija, svrstavanja aktivnosti u kategorije te pokrivanja spektra CAD aktivnosti. Naime, klasifikacija Gopsilla i dr. [28] ne pokriva CAD aktivnosti vezane uz organizaciju radnog okruženja. Nadalje, Deng i dr. [35] definiraju kategoriju *other* u koju svrstavaju sve CAD aktivnosti za koje ne pronalaze pogodno mjesto u preostalim kategorijama čime se pruža nepotpun uvid u raspodjelu CAD aktivnosti analiziranog entiteta. U klasifikaciji Leonarda [40] kategorije nisu jasno definirane te se određene aktivnosti naizgled mogu svrstati u više kategorija (npr. aktivnost „Delete Part Studio Feature“ je definirana unutar *Part Studio* kategorije, dok je istovremeno definirana zasebna *Deleting* kategorija). Shodno tome, uočen je prostor za poboljšanja navedenih CAD klasifikacija te unatoč njihovim nedostacima, klasifikacije CAD aktivnosti pokazuju potencijal za korištenje prilikom provođenja analize istih kako bi se dobili rezultati na različitim razinama granularnosti.

2.4.2. Prikupljanje podataka o CAD aktivnostima

Brojni se istraživači koji proučavaju korisničke obrasce, ponašanje i kolaboraciju tijekom CAD modeliranja susreću s izazovom kvalitetnog pohranjivanja zapisa o CAD aktivnostima. S ciljem prevladavanja ovog izazova, razvijena su tri pristupa.

Prvi pristup karakterizira samostalno stvaranje prilagođenog softvera (*eng. Custom software*) za praćenje aktivnosti tijekom rada u CAD okruženju. Upravo su to napravili Rahman et al. [41] sa svojom platformom naziva *ENERGY3D*. *ENERGY3D* je pojednostavljena CAD platforma stvorena s ciljem praćenja aktivnosti korisnika dok rade na zadacima CAD modeliranja. Platforma sadrži ugrađene značajke koje omogućuju detaljno pohranjivanje zapisa o CAD aktivnostima, no platforma je ograničena na praćenje jednog tipa aktivnosti (npr. aktivnosti modificiranja geometrijskih značajki ili aktivnosti organizacije CAD okruženja).

Drugi istraživači su se odlučili na korištenje tradicionalnih CAD okruženja poput *SolidWorks-a*, *AutoDesk Inventor-a* ili *Solid Edge-a* te iskorištavanja prilagođenih skripti za potrebe evidentiranja podataka (*eng. Data logging*) [28,42,43]. Međutim, ovakav pristup dolazi s mnogo ograničenja jer većina tradicionalnih CAD softvera nije stvoreno s pružanjem mogućnosti istraživanja modeliranja. S druge strane, prednost ovog pristupa je što korisnici koriste CAD softvere često korištene u industriji.

Na temelju ovog pristupa razvijaju se kolaborativna CAD okruženja koja sadrže neinvazivne integrirane značajke koje omogućuju praćenje i pohranu zapisa o CAD aktivnostima [35]. Navedene značajke neizmjerljivo olakšavaju proces prikupljanja podataka.

2.4.3. Analiza podataka

Mnogo je autora već posvetilo svoje vrijeme istraživanjima u domeni CAD aktivnosti, dok je s pojavom MUCAD-a fokus usmjeren na analizu kolaboracije istovremenog rada korisnika. Tako većina autora navedenih u ovom poglavlju provode istraživanja usporedbom rada korisnika u tradicionalnom CAD okruženju te suvremenom MUCAD okruženju. Pritom dolaze do novih metrika kojima se kolaboracija može kvantificirati te zaključaka koji budućim istraživačima ovog područja mogu pružiti dobru osnovu za provođenje istraživanja.

Gopsill i dr. [28] su prikupili i analizirali CAD podatke o izvršenim aktivnostima od strane studenata preddiplomskog studija. Istraživanje je provedeno u *AutoDesk Inventor* softveru s ciljem procjene vještina modeliranja studenata unutar navedenog softverskog CAD okruženja.

Xie i dr. [44] uvode novu metriku za analizu CAD aktivnosti u obliku omjera aktivnosti koje se koriste za generiranje geometrije i novih dijelova naspram aktivnosti koje se koriste za izmjenu postojeće geometrije. Navedena metrika služi za određivanje razine iterativnosti procesa modeliranja. Niži omjer navedene metrike ukazuje na iterativni proces modeliranja, dok veći omjer upućuje na veći broj aktivnosti kreiranja nove geometrije što rezultira u većem broju geometrijskih značajki, čime dolazi do stvaranja kompleksnijih modela. Pronašli su kako muški ispitanici bilježe veći omjer naspram ženskih.

Arshad i dr. [30] su proveli istraživanje uspoređujući dvije različite metode kolaboracije na nizu CAD zadataka. Prvu vrstu kolaboracije, analogno tradicionalnoj kolaboraciji, karakterizira dijeljenje kontrole jednog CAD okruženja između dvaju korisnika. Pritom jedan korisnik aktivno koristi CAD okruženje na svojem računalu, dok drugi korisnik, na drugom računalu, pasivno promatra aktivnosti, no korisnicima je omogućena međusobna komunikacija. Druga vrsta kolaboracije podrazumijeva neovisno modeliranje unutar CAD okruženja od strane oboje korisnika. Otkriveno je kako je prva vrsta kolaboracija rezultirala u kvalitetnijim, potpunijim i konzistentnijim CAD modelima [30]. U drugoj vrsti kolaboracije identificiran je kompromis između brzine i kvalitete modeliranja. Naime, ispitanici druge vrste kolaboracije su brže modelirali, no generirali konačne CAD modele manje kvalitete u odnosu na ispitanike prve vrste kolaboracije. Slično, Eves i dr. [45] uspoređuju kolaboraciju unutar MUCAD okruženja s tradicionalnim metodama kolaboracije. Otkriveno je kako su korisnici MUCAD-a bili svjesniji izvršenih aktivnosti od strane kolega. Također, CAD modeli MUCAD timova koji su više iskorištavali kolaborativne značajke (npr.), rezultirali su u većoj kvaliteti od ostalih. Međutim, identificirane su i određene razine frustracije pojedinih korisnika zbog raspodjele aktivnosti unutar tima te razlike u vještinama modeliranja pojedinih članova tima. U još jednom istraživanju gdje je uspoređena izvedba timova koji koriste MUCAD u odnosu na pojedinca koji koristi tradicionalni CAD, Stone i dr. [46] prate komunikaciju ispitanika te provode analizu podataka korištenjem testa „Purdue Spatial Visualization Test“ u svrhu identificiranja obrazaca. Otkrivaju kako su MUCAD timovi od troje bili brži u izvršavanju određenog CAD zadatka od individualnih korisnika tradicionalnog CAD-a. Također, MUCAD timovi kod kojih je

zabilježena bolja izvedba su komunicirali rjeđe (izvan MUCAD okruženja), ali efektivnije. Konačno, veća razlika u vještinama CAD modeliranja je rezultirala u lošijim performansama MUCAD timova.

U drugom istraživanju provedenom od strane Stone i dr. [47], autori predlažu metodu za predviđanje optimalnog broja članova tima za MUCAD okruženje. Timovi u eksperimentu su se sastojali od jednog do četiri člana. Identificirana je korelacija između vremena potrebnog za rješavanje zadatka i broja članova tima korištenjem modela regresijske analize. Također, otkriveno je kako su geometrijski jednostavniji dijelovi brže modelirani od strane individualnih korisnika u odnosu na MUCAD timove. S druge strane, bolja kvaliteta CAD modela u kontekstu detaljiranja bila je na strani MUCAD timova.

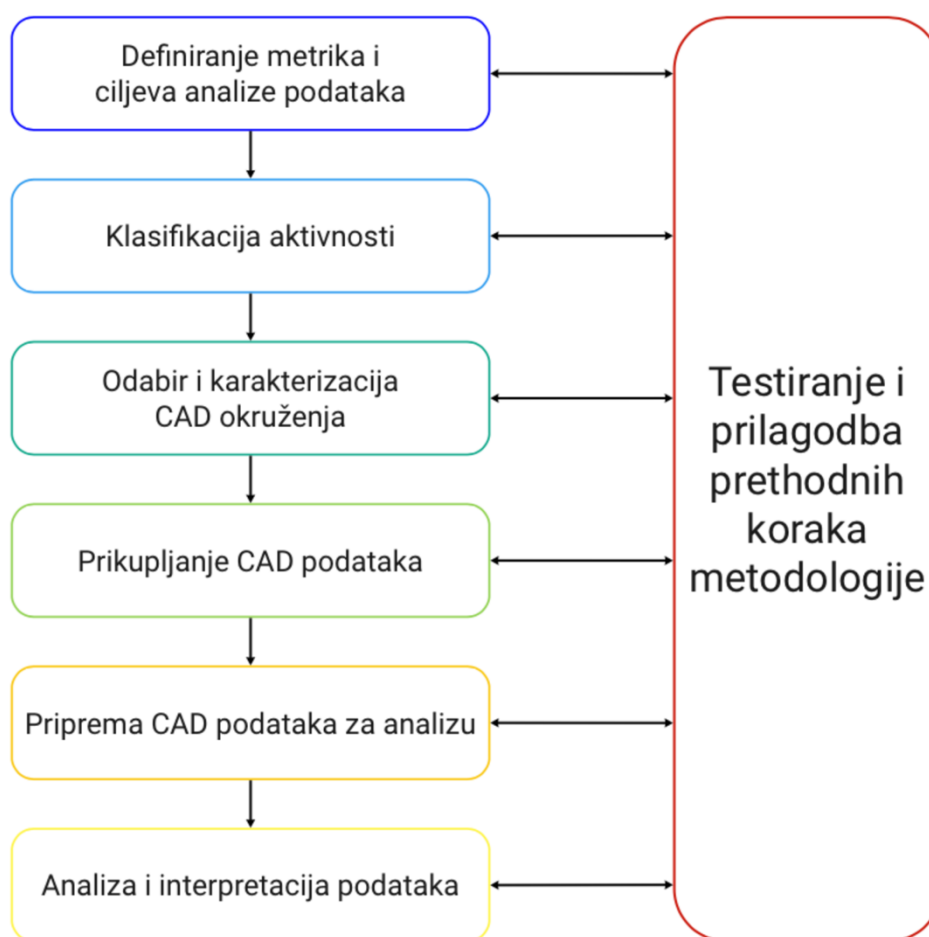
Nadalje, u kontekstu razlike u metodama modeliranja između korisnika s različitim iskustvom provedena su sljedeća istraživanja. Bhavnani i dr. [48] su proveli svoje istraživanje koristeći dvodimenzionalni (2D) CAD računalni alat *Canvas* s ciljem identificiranja indikatora koji razdvajaju korisnike ovisno o njihovim vještinama modeliranja. Analizirali su aktivnosti grupa s drugačijim razinama iskustva u s ciljem boljeg razumijevanja razlika u kvaliteti njihovih konačnih modela. Otkriveno je kako iskusniji korisnici koriste više i širi spektar CAD aktivnosti, dok su korisnici s manje iskustva skloniji brisanju geometrijskih značajki umjesto izmjeni istih. Slično, Johnson i dr. [39] uspoređuju konačne modele inženjera i studenata koji rade na identičnom zadatku CAD modeliranja. Zaključili su kako inženjeri modeliraju efikasnije i preciznije, odnosno generiraju više CAD aktivnosti u kraćem vremenu te uz manje grešaka, te kako su njihovi modeli znatno uporabljiviji za daljnje preinake i proces razvoja proizvoda.

McComb i dr. [49] su proveli istraživanje na način da su pratili aktivnosti izvršene tijekom rada s konfiguracijama unutar CAD okruženja. Analizirali su navedene aktivnosti koristeći Markovljeve lance s ciljem prepoznavanja skrivenih obrazaca unutar sekvenci aktivnosti. Otkrili su kako učenje modeliranja pomoću obrazaca ima potencijal doprinijeti kvaliteti i funkcionalnosti konačnog modela.

Kolaborativni CAD predstavlja veliki potencijal u kontekstu CAD modeliranja, no još uvijek je nedovoljno istražen. Iako je u većini istraživanja pokazano da korisnici kolaborativnog CAD-a generiraju bolje CAD modele, u kontekstu kvalitete modela u vidu daljnje uporabe istog, od korisnika tradicionalnog CAD-a, u nekim istraživanjima je utvrđeno suprotno. Stoga je potrebno osmisliti sistematičan način prikupljanja podataka o radu korisnika kolaborativnog CAD okruženja te analize istih s ciljem mogućnosti sinteze pojedinih istraživanja.

3. Prijedlog metodologije za analizu CAD aktivnosti

Nakon pregleda literature i identificiranja istraživačkog jaza moguće je razviti metodologiju koja će omogućiti razumijevanje procesa modeliranja u MUCAD okruženju, proučavanje kolaboracije te prepoznavanje različitih obrazaca tijekom modeliranja. Predložena metodologija, prikazana na slici 3.1, sastoji se od šest koraka – definiranja metrika i ciljeva analize podataka, klasifikacije aktivnosti, odabira i karakterizacije CAD okruženja, prikupljanja CAD podataka, pripreme CAD podataka za analizu te, konačno, analize i interpretacije podataka. Navedeni koraci su detaljnije prikazani u narednim potpoglavljima.



Slika 3.1 Predložena metodologija za praćenje CAD kolaboracije

3.1. Definiranje metrika i ciljeva analize

Prvi korak predložene metodologije predstavlja jasno definiranje ciljeva analize. Ciljevi analize su sljedeći: 1. kvantificirati kolaboraciju unutar razvojnih timova, 2. odrediti individualni doprinos razvojnom projektu od strane članova razvojnih timova, 3. odrediti udjele korištenja određenih kategorija CAD aktivnosti, 4. odrediti tijek CAD modeliranja u svrhu identificiranja obrazaca. Za ostvarivanje navedenih ciljeva, razvija se klasifikacija CAD aktivnosti kojom će se individualne CAD aktivnosti objediniti, čime će se omogućiti provedba CAD analize na različitim razinama granularnosti. Također, za potrebe analize, potrebno je preuzeti određene metrike iz literature iz domene proučavanja CAD aktivnosti, kolaboracije, tijeka modeliranja i identifikaciji obrazaca tijekom modeliranja.

3.2. Klasifikacija aktivnosti

Važnost klasifikacije CAD aktivnosti manifestira se u omogućavanju provedbe CAD analize na različitim razinama granularnosti. Stoga je prije provođenja same analize podataka potrebno osmisliti klasifikaciju aktivnosti te način njihovog povezivanja s identificiranim metrikama. U okviru predložene metodologije, klasifikacija se preuzima od Deng i dr. [35]. Navedena klasifikacija se sadrži od sljedećih kategorija: *creating*, *editing*, *deleting*, *reversing*, *viewing* i *other*, no modificira se na sljedeći način. Naime, unutar *other* kategorije se nalaze sve CAD aktivnosti koje ne pripadaju navedenim kategorijama. Pregledom aktivnosti, napravljena je preraspodjela istih u postojeće kategorije, kao i u novu kategoriju – *organizing*. Također, *creating*, *editing* i *deleting* kategorije su podijeljene u kontekstu part-a i assembly-ja, dok je *organizing* kategorija podijeljena na design i support design process. Navedene podjele su provedene s ciljem povećanja razine granularnosti. Time se omogućuje povezivanje CAD aktivnosti najniže razine s identificiranim metrikama i indikatorima te mogućnost provedbe analize na tri različite razine granularnosti.

3.3. Odabir i karakterizacija CAD okruženja

Kako bi se dobio što bolji uvid u CAD kolaboraciju, potrebno je odabrati CAD okruženje adekvatno za istovremeni rad više korisnika. U tom kontekstu mogu se koristiti neki od

tradicionalnih CAD softvera (npr. *Solidworks*, *Creo*, *CATIA*, *Siemens NX*) uz osigurane potrebne PDM alate za razmjenu podataka između korisnika. Alternativu predstavlja samostalno stvaranje prilagođenog softvera koji je sposoban neintruzivno pratiti rad korisnika. Posljednja mogućnost manifestirana je u obliku CAD alata s već integriranom značajkom praćenja korisničkih aktivnosti.

3.4. Prikupljanje CAD podataka

U ovom koraku predložene metodologije nužno je definirati uzorak (dob, spol, iskustvo, veličina timova), zadatak na kojem se prikupljaju podaci i trajanje prikupljanja podataka. Proces prikupljanja podataka znatno se pojednostavljuje te se, u pravilu, povećava točnost podataka u slučaju automatiziranog prikupljanja podataka. Podatke je nužno pohraniti u obliku pogodnom za provođenje daljnje analize.

3.5. Priprema CAD podataka za analizu

U svrhu provedbe vjerodostojne analize podataka, važno je pripremiti CAD podatke. Pod pripremom podataka podrazumijeva se pregled inicijalnih, odnosno pohranjenih tekstualnih podataka o izvršenim aktivnostima te filtriranje aktivnosti koje nisu potrebne za određene metrike. Filtriranje se provodi automatski korištenjem namijenjenih računalnih alata (npr. *Python*, *R*, *Microsoft Excel*) na način da se identificiraju neželjene aktivnosti, učitaju podaci te, ovisno o računalnom alatu, provede postupak filtriranja.

3.6. Analiza i interpretacija podataka

Konačno, slijedi analiza filtriranih podataka o CAD aktivnostima izvršenih od strane korisnika tijekom trajanja istraživanja. Analiza podataka provodi se s obzirom na cilj istraživanja te korištenjem klasifikacije CAD aktivnosti i definiranih metrika. Provođenje analize podataka je automatizirano, korištenjem namijenjenih računalnih alata (npr. *Python*, *R*, *Microsoft Excel*). Postupak uključuje unošenje ili učitavanje podataka, definiranje ili programiranje željenog ishoda te vizualizaciju u obliku dijagrama, tablica ili matrica. Nakon generiranja rezultata

analize, slijedi interpretacija istih gdje se rezultati uspoređuju međusobno ili s određenim metrikama te se na temelju njih donose zaključci.

3.7. Testiranje i prilagodba prethodnih koraka metodologije

Nakon svakog provedenog koraka predložene metodologije, potrebno je osvrnuti se na prethodne korake te ispitati uspješnost implementacije novog koraka. Naime, moguće su nepredviđene situacije poput potrebe za modificiranjem klasifikacije CAD aktivnosti u slučaju da klasifikacija ne pokriva cijeli spektar mogućih CAD aktivnosti ili u slučaju da se analizom nisu postigli rezultati na željenoj razini granulacije.

4. Studija slučaja: Analiza kolaboracije u razvojnom projektu

U svrhu validacije predložene metodologije, provedena je studija slučaja. Podaci su prikupljeni 2021. godine tijekom izvođenja projektnog kolegija „Konstruiranje pomoću računala“ u kojem su sudjelovali studenti preddiplomskog studija Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu. Glavni cilj navedenog kolegija je upoznati studente s CAD alatima i CAD okruženjem u kontekstu konstruiranja funkcionalnog CAD modela. Pritom studenti također razvijaju vještine suradnje, rješavanja kompleksnih problema (*eng. Problem-solving*) i upravljanja vremenom (*eng. Time management*). U sklopu kolegija, 42 studenta su podijeljena u 14 timova kojima su zadani zadaci u obliku skice na temelju koje studenti modeliraju funkcionalan model proizvoda. Ovakav kolegij je prikladan za validaciju analize jer uključuje faze koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja, u kojima je uloga CAD-a iznimno važna [28], procesa razvoja proizvoda u kontekstu razvojnih projekata.

U okviru studije slučaja, proučene su aktivnosti koje su studenti koristili u svrhu izvršavanja zadataka u okviru projektnog kolegija te nakon njihove analize prepoznati obrasce CAD modeliranja. Pri tome se obrasci CAD modeliranja odnose na pristupe modeliranju koje su studenti primijenili u generiranju konačnog CAD modela. Primijenjena metodologija istraživanja temelji se na objavljenim eksperimentalnim studijama navedenim u pregledu literature [28,35,48,49] koje predlažu temelje (*eng. framework*) praćenja i analize CAD kolaboracije, tijekom modeliranja, kategorija CAD aktivnosti i individualnog doprinosa.

4.1. Definiranje metrika i ciljeva analize

Kao što je navedeno u predloženoj metodologiji u prethodnom poglavlju, u prvom koraku je potrebno definirati metrike i ciljeve vezane uz analizu CAD podataka. Ciljevi se preuzimaju iz predložene metodologije, dok se sljedeće metrike preuzimaju iz prethodnih analiza i literature. Za potrebe određivanja udjela korištenja kategorija CAD aktivnosti preuzeta je timska distribucija kategorija CAD aktivnosti od Deng i dr. [35]. Navedena metrika za potrebe kvantificiranja kolaboracije i određivanje individualnog doprinosa je podijeljena na kvartale te provedena na individualnoj razini. Nadalje, za potrebe određivanja udjela korištenja kategorija

CAD aktivnosti preuzeta je, također od Deng i dr. [35], i metrika kojom se iskazuje omjer između CAD aktivnosti vezanih uz *part* te onih vezanih uz *assembly*. Kako bi se odredio tijek CAD modeliranja te identificirali obrasci, od McComb i dr. [49] preuzeta je metrika kojom se uporabom Markovljevih lanaca kvantificira tijek modeliranja. Nadalje, korištenjem značajke *Onshape* računalnog CAD alata koja prati utrošeno vrijeme rada pojedinačnog korisnika, osmišljena je metrika u obliku omjera izvršenih CAD aktivnosti naspram utrošenom vremenu s ciljem određivanja individualnog doprinosa.

4.2. Klasifikacija aktivnosti

CAD aktivnosti koje ulaze u opseg ovog istraživanja su prikazane na slici 4.1 crnim slovima. Napravljena je klasifikacija unutar koje je svaka aktivnost raspodijeljena određenoj kategoriji aktivnosti. U okviru provedene studije rada, klasifikacija se preuzima od Deng i dr. [35].

Kategorija aktivnosti:	Creating		Editing		
	Part	Assembly	Part	Assembly	Non-geometry
Aktivnosti:	Add part studio feature Copy paste sketch	Add assembly instance Add assembly feature Linked document insert Paste: instance	Start edit of part studio feature Move part	Start edit of assembly feature Set mate values Configure suppression state Start assembly Move to origin Load named position Replace part Fix part Unfix part Suppress part Unsuppress part	Assign material Change part appearance
Deleting		Reversing	Viewing	Organizing	
Part	Assembly			Design	Support design process
Delete part studio feature	Delete assembly feature Delete assembly instance	Cancel Operation Reset mates to initial positions Restore Previous	Show Hide Animate action called Use best available tessellation Use automatic tessellation setting	Metadata updated by user Restructure subassembly Change configuration Copy workspace Edit configuration table Branch Workspace Select context Update context Create version Import pdf/step/docx	Delete tab Create tab Rename tab Rename part Move tab Rename document Create new folder Update document description Move document Change description Change properties Comment on a Document Change Vendor

Slika 4.1 Klasifikacija CAD aktivnosti

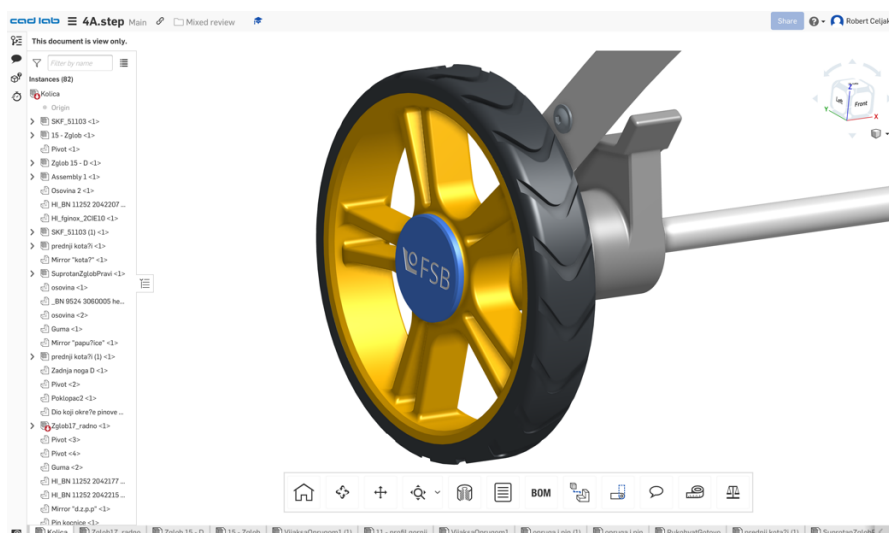
Navedena klasifikacija se sadrži od sljedećih kategorija: *creating*, *editing*, *deleting*, *reversing*, *viewing* i *other*, no modificira se na sljedeći način. Naime, unutar *other* kategorije se nalaze sve CAD aktivnosti koje ne pripadaju navedenim kategorijama. Pregledom aktivnosti, napravljena

je preraspodjela istih u postojeće kategorije, kao i u novu kategoriju – *organizing*. Također, *creating*, *editing* i *deleting* kategorije su podijeljene u kontekstu *part*-a i *assembly*-ja, dok je *organizing* kategorija podijeljena na *design* i *support design process*. Navedene podjele su provedene s ciljem povećanja razine granularnosti. Time se omogućuje povezivanje CAD aktivnosti najniže razine s identificiranim metrikama i indikatorima te mogućnost provedbe analize na četiri različite razine granularnosti.

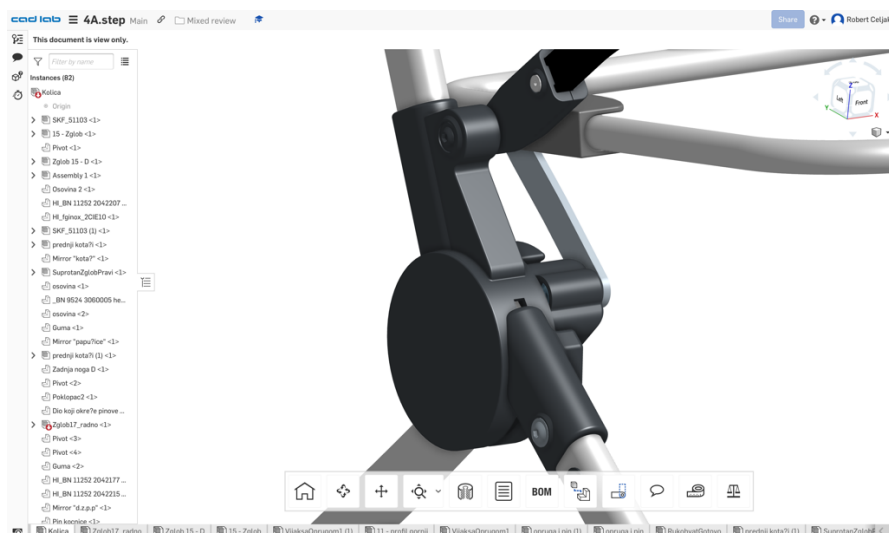
Unutar kategorije *Creating* nalaze se aktivnosti koje svojim izvršavanjem generiraju geometriju ili dodaju geometrijske značajke određenom dijelu u slučaju *Part* potkategorije ili određenom sklopu u slučaju *Assembly* potkategorije. Slijedi *Editing* kategorija koja sadrži aktivnosti koje se pokreću s namjerom modificiranja geometrijskih značajki postojećeg dijela (*Part*) ili sklopa (*Assembly*), ili pak modificiranja značajki koje se ne nalaze u geometrijskoj domeni poput „Dodijeli materijal“ (*eng. Assign material*) ili „Promijeni izgled dijela“ (*Change part appearance*). Za *Deleting* kategoriju vrijedi sve što i za *Creating* kategoriju, uz razliku što u *Deleting* ulaze aktivnosti koje brišu geometrijske značajke. *Reversing* kategorija sadrži aktivnosti koje poništavaju prethodno izvršene aktivnosti (npr. „Cancel operation“). Nadalje, unutar *Viewing* kategorije nalaze se aktivnosti koje korisnicima omogućuju manipulaciju vizualnim aspektom CAD okruženja. Konačno, slijedi *Organizing* kategorija unutar koje se nalaze aktivnosti koje korisnicima omogućuju korištenje naprednih značajki, koje će biti detaljnije pojašnjene u sljedećem potpoglavlju, u kontekstu CAD modela (*Design*) te upravljanje radnim okruženjem (*Support design process*).

4.3. Odabir i karakterizacija CAD okruženja

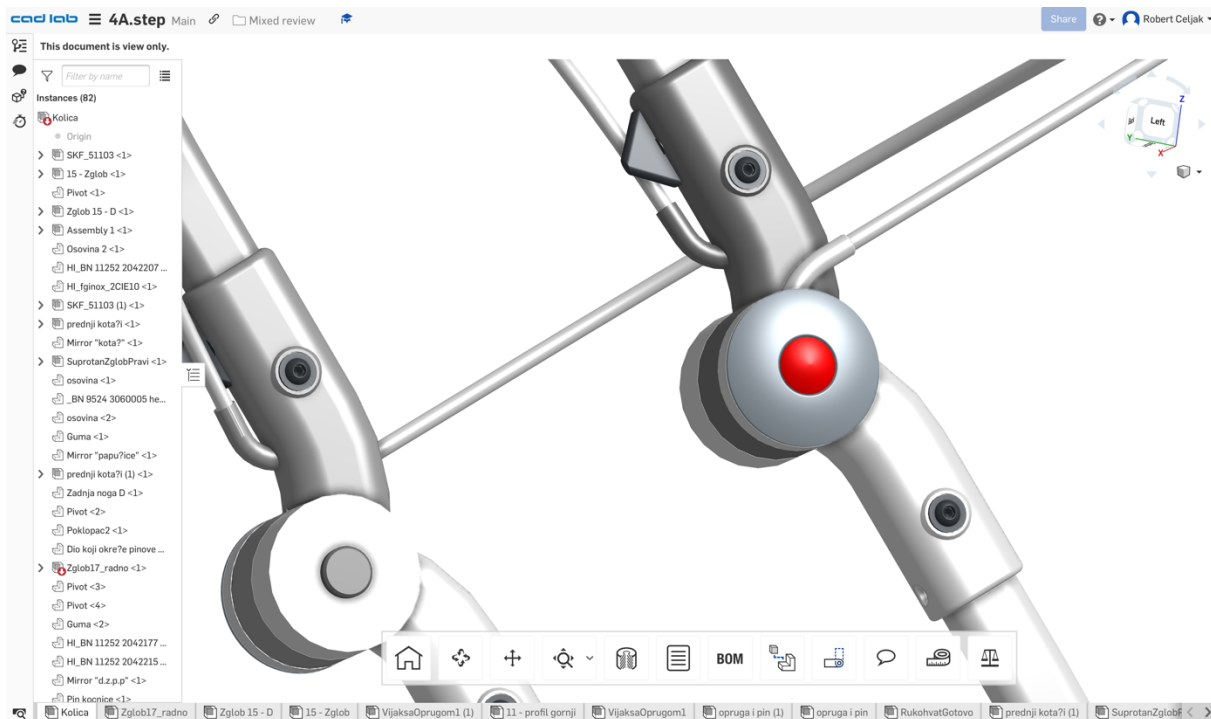
Unutar ovog koraka metodologije, potrebno je odabrati CAD okruženje u kojem se za svaku kategoriju CAD aktivnosti, iz navedene klasifikacije, identificiraju aktivnosti koje se mogu pratiti pomoću računalnog alata. Također, kako je jedan od ciljeva istraživanja proučiti kolaboraciju u MUCAD okruženjima, potrebno je omogućiti upravo takvo okruženje.

Slika 4.2 Mehanizam kočenja u okruženju *Onshape*-a

Prema provedenom pregledu literature te identificiranim pristupima prikupljanja podataka o CAD aktivnostima, za potrebe ovog istraživanja odabran je računalni alat iz grupacije kolaborativnih CAD okruženja. *Onshape* ne omogućuje samo kolaborativno CAD modeliranje i identifikaciju CAD izvršenih tijekom istog, već i pohranu identificiranih CAD aktivnosti.

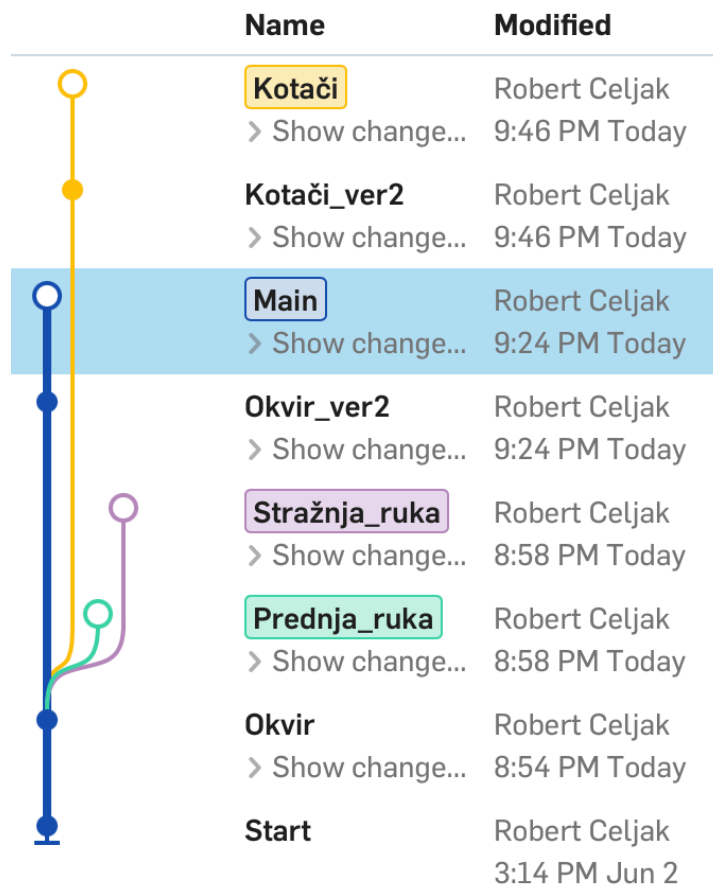
Slika 4.3 Mehanizam sklapanja u okruženju *Onshape*-a

Onshape je MUCAD softver čiji se server nalazi u računalnom oblaku te se njegovom sučelju pristupa kroz internetski preglednik. Osim što se *Onshape* razlikuje od tradicionalnih CAD softvera prema lokaciji servera, razlika se očituje i u značajkama koje *Onshape* nudi.



Slika 4.4 Mehanizam za prilagodbu visine drške u okruženju *Onshape*-a

Naime, *Onshape* pruža mogućnosti stvaranja verzija (*eng. versions*), koje korisnicima omogućuju pohranu CAD modela u određenom trenutku modeliranja te mogućnost povratka na određenu verziju tijekom daljnjeg modeliranja. Sljedeća značajka je grananje (*eng. branches*) koje korisnicima omogućuje istovremeni rad na određenoj verziji CAD modela u drugačijim radnim prostorima (*eng. workspaces*). Time se svakom pojedinačnom korisniku omogućuje generiranje različitih varijanti inicijalnog CAD modela, bez utjecaja njihovih promjena na modele ostalih korisnika niti na CAD model u glavnom radnom prostoru. Važnost ove značajke se najbolje očituje tijekom faze koncipiranja u procesu razvoja proizvoda jer pojednostavljuje proces generiranja različitih koncepata. Slika 4.5 prikazuje stablo verzija i grananja korištenih za generiranje CAD modela prikazanog na slikama 4.2, 4.3 i 4.4.

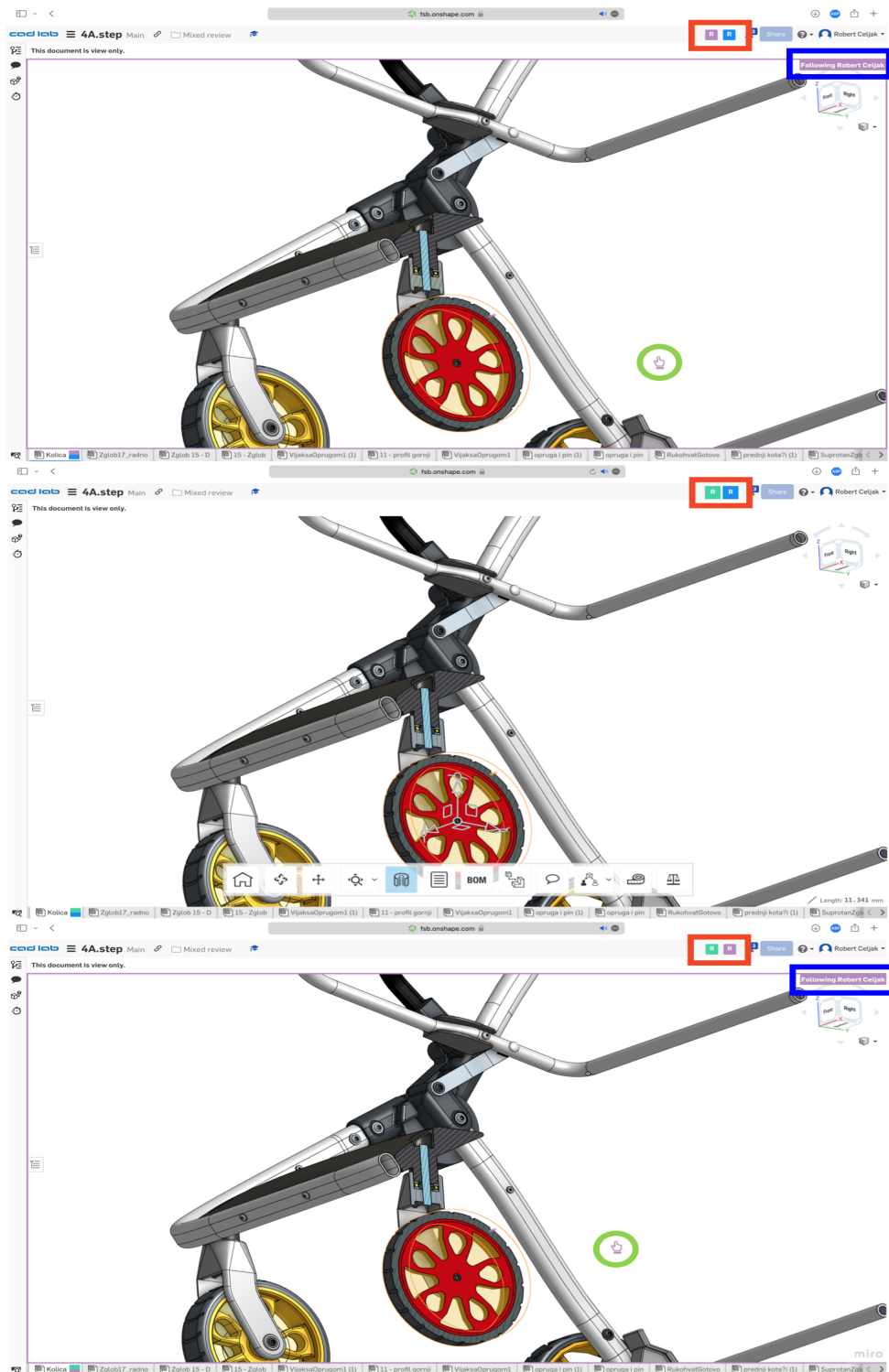


Slika 4.5 Stablo s prikazom verzija i grananja unutar Onshape okruženja

Elementi u stablu prikazuju naziv verzije i koji ju je korisnik zadnji modificirao te u koje vrijeme. Ispunjeni kružići predstavljaju stariju, dok neispunjeni kružići predstavljaju najnoviju verziju. Grananje je na slici prikazano žutom, zelenom te ljubičastom bojom te omogućuje modeliranje kotača i ruku, nadograđujući se na okvir u zasebnim radnim prostorima. Time se svakom korisniku omogućuje modificiranje okvira bez utjecaja modifikacije na druge korisnike. Nadalje, korisnici unutar vlastitih radnih prostora mogu dodatno stvarati nove verzije kao što je prikazano na slici 4.5 u kontekstu kotača. Konačno, korisnici mogu koristiti značajku integriranja radnih prostora (*eng. merges*) čime se njihovi doprinosi konačnom CAD modelu mogu ujediniti u zajedničkom radnom prostoru.

Prikaz kolaboracijskih mogućnosti *Onshape*-a prikazan je na slici 4.6. Konkretno, prikazana su tri prozora web-preglednika s otvorenim *Onshape* radnim okruženjem. Korisnici se nalaze u istom dokumentu „4.A.step“, prikazano u gornjem lijevom kutu slike 4.6, te u istom tabu naziva „Kolica“, prikazano u lijevom donjem kutu slike 4.6. U gornjem desnom kutu slike 4.6 crvenim je pravokutnikom označeno polje gdje se može vidjeti kako još dvoje korisnika trenutno radi u istom CAD okruženju. Nadalje, plavim pravokutnikom u donjem i gornjem prozoru je označeno kako korisnici tih radnih okruženja trenutno prate trećeg korisnika prilikom njegovog rada. Naime, njihovo sučelje replicira sučelje praćenog korisnika, odnosno kako praćeni korisnik manipulira radnim okruženjem, tako se pomiče i radno okruženje korisnika koji su u ulozi pratioca. Također, oko sučelja se pojavljuje i okvir u boji korisnika kojeg se prati, u ovom slučaju ljubičaste, te se u stvarnom vremenu prikazuje njegov pokazivač miša u istoj boji, prikazan unutar zelenog kružića na slici 4.6. Važno je napomenuti kako se korisnici koji prate nalaze u ulozi pasivnog promatrača, odnosno prikaz na njihovom sučelju se u stvarnom vremenu podudara s prikazom onog na sučelju korisnika kojeg prate te oni za to vrijeme ne mogu koristiti druge značajke softvera. Navedenim značajkama *Onshape* pomiče dosadašnje granice u kontekstu kolaboracije tijekom modeliranja unutar CAD okruženja.

CAD modeli mehanizama prikazanih na slikama 4.2, 4.3 i 4.4, dijelovi su jednog od generiranih modela tijekom izvođenja projektnog kolegija. Naime, svaki tim je imao jedinstven projektni zadatak za koji su se, uz pomoć *Onshape*-a i njegovih značajki, pratile i pohranjivale CAD aktivnosti izvršene od strane članova tima.



Slika 4.6 Prikaz kolaboracije unutar Onshape-a

4.4. Prikupljanje CAD podataka

U kontekstu prikupljanja podataka, za potrebe ovog istraživanja, pratili su se podaci o izvršenim CAD aktivnostima u vremenskom razdoblju od početka rada na projektnom zadatku do kontrolne točke, odnosno pregleda inicijalnih CAD modela od strane inženjera. Naime, studenti su u navedenom razdoblju, trajanja otprilike šest tjedana, samostalno u okviru timova radili na CAD modeliranju dobivenih projektnih zadataka. Do definiranog roka, studenti su morali isporučiti inicijalne CAD modele za pregled od strane iskusnih inženjera iz industrije. Nakon provedenih pregleda, studentima su dodijeljeni bodovi s obzirom na zadovoljenje zadanih zahtjeva (npr. mogućnost pohrane stvari, mogućnost sklapanja, mogućnost proizvodnje) i kvalitetom modeliranja (npr. definiranost skice, dodavanje materijala). Razlog provođenja analize na određenom vremenskom razdoblju je taj što su studenti tijekom spomenutog razdoblja od inicijalnih skica generirali konačne CAD modele koristeći samo vlastito znanje te znanje podijeljeno od kolega unutar tima. Time se ostvaruje objektivna, nepristrana osnova za potrebe provođenja ovog istraživanja.

S obzirom na to kako je analiza kolaboracije u fokusu ovog istraživanja, iznimno je važno osigurati kolaborativno MUCAD okruženje koje omogućuje praćenje te pohranu podataka o aktivnostima izvršenih od strane studenata tijekom CAD modeliranja. U ovome segmentu se Onshape pokazuje kao pogodan izbor softvera za provođenje ovog istraživanja. Naime, Onshape proširuje kapacitete upravljanja podacima zahvaljujući „Onshape Analytics“ značajki. Riječ je o alatu koji registrira te pohranjuje podatke, u obliku zarezom odvojenih vrijednosti (*eng. Comma-separated values*), o izvršenim aktivnostima korisnika unutar Onshape okruženja. Navedeni podaci, kao što je prikazano na slici 4.7 uključuju sljedeće parametre. Prvi s lijeva su datum i vrijeme kada je aktivnost zabilježena. Slijede dokument, unutar kojeg se nalaze tabovi, te sami tabovi, unutar kojih se u svakom nalazi određeni dio ili sklop, u kojima su aktivnosti izvršene. Posljednja dva stupca se sastoje od imena korisnika koji je izvršio aktivnost te naziva aktivnosti koja je izvršena. Potonja se može definirati kao ključna vrijednost seta podataka jer su upravo nazivi aktivnosti korišteni tijekom provođenja same analize podataka. Također, „Onshape Analytics“ prati i pruža uvid u vrijeme utrošeno na modeliranje

od strane korisnika. Naime, *Onshape* bilježi vrijeme prilikom kojeg korisnik ima otvoreno radno vrijeme na svom pregledniku. Važno je napomenuti kako, u slučaju otvorenog radnog okruženja, ali neaktivnosti u istom, dolazi do prekida rada od strane servera, što reducira pogreške u bilježenju stvarnog vremena provedenog modelirajući. Time je proces prikupljanja podataka automatiziran te znatno olakšan u usporedbi s nekim od istraživanja spomenutim u pregledu literature.

Time	Document	Tab	User	Description
08.12.2021 12:46	Sklop mehanizam	N/A	fc214567@stud.fsb.hr	Cancel Operation
08.12.2021 12:45	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Insert feature : Fastened 8
08.12.2021 12:45	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Add assembly feature
08.12.2021 12:44	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Add assembly feature
08.12.2021 12:44	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Insert feature : Fastened 7
08.12.2021 12:44	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Insert feature : Mate connector 5
08.12.2021 12:44	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Add assembly feature
08.12.2021 12:43	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Add assembly feature
08.12.2021 12:43	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Insert feature : Mate connector 4
08.12.2021 12:43	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Insert feature : Mate connector 3
08.12.2021 12:43	Sklop mehanizam	Assembly 1	fc214567@stud.fsb.hr	Add assembly feature

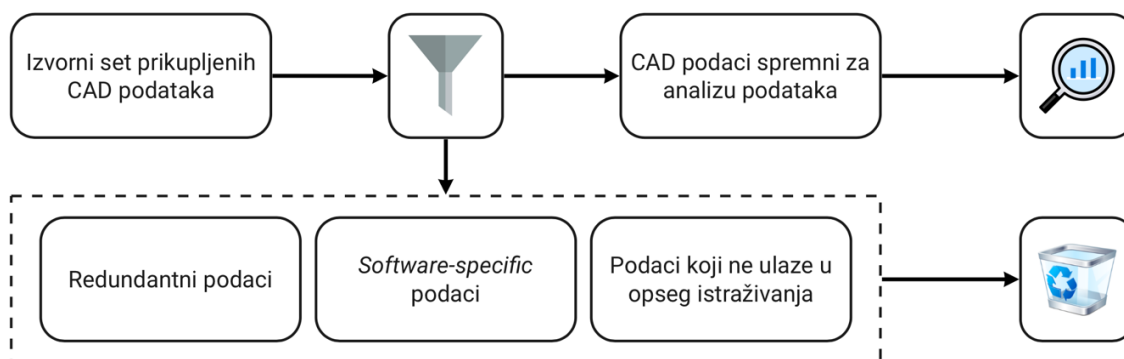
Slika 4.7 Primjer strukture podataka zabilježenih i pohranjenih od strane „Onshape Analytics“

4.5. Priprema podataka

Kako bi se provela vjerodostojna analiza podataka, važno je pripremiti CAD podatke. Pod pripremom podataka podrazumijeva se pregled inicijalnih, odnosno pohranjenih tekstualnih podataka o izvršenim aktivnostima, identificiranje neželjenih aktivnosti te filtriranje istih korištenjem *Python* računalnog alata. Unutar navedenog alata napisan je kod kojim se inicijalna datoteka zarezom odvojenih vrijednosti učitavala u obliku okvira podataka (*eng. Dataframe*). Nadalje, definirani su nazivi neželjenih aktivnosti koje su se odvajale u obliku vrijednosti znakovnog niza (*eng. String*). Pokretanjem programa, svaki redak inicijalne datoteke zarezom odvojenih vrijednosti koji je u stupcu *Description* (slika 4.7) sadržavao neku od tekstualnih vrijednosti neželjenih aktivnosti je izbrisan. Filtrirani set podataka je naposljetku pohranjen u novu datoteku zarezom odvojenih vrijednosti.

Aktivnosti koje ne ulaze u opseg istraživanja dijele se na četiri kategorije. Prvu od njih predstavljaju aktivnosti koje su *software-specific*, odnosno aktivnosti koje se ne izvršavaju od strane korisnika, već ih softver samostalno izvršava (npr. *Update metadata*, *Content update*). Navedene aktivnosti nisu relevantne u okviru ovog istraživanja jer ne pružaju nikakav uvid u razumijevanje kolaboracije ili tijeka modeliranja ispitanika. Nadalje, tijekom provođenja preliminarnе analize podataka, uočena je redundancija kod određenih aktivnosti. Npr. kad korisnik odabere „Unesi skicu“ (eng. *Insert Sketch*) funkciju, Onshape istovremeno registrira četiri aktivnosti – „Dodaj značajku dijelu“ (eng. *Add Part Studio Feature*), „Izvršite dodavanje ili uređivanje značajke dijela“ (eng. *Commit add or edit of part studio feature*), „Umetni značajku: Skica“ (eng. *Insert feature: Sketch*) te „Dodaj ili uredi skicu“ (eng. *Add or modify a sketch*). Redundantne aktivnosti također utječu na točnost rezultata te su iz tog razloga i one odvojene iz opsega ovog istraživanja. Nadalje, aktivnosti vezane uz generiranje tehničke dokumentacije također su odvojene zbog usmjeravanja fokusa istraživanja na aktivnosti stvaranja CAD modela dijelova i sklopova. Konačno, odvojene su i sve aktivnosti koje ne ulaze u vremensko razdoblje od početka rada na projektnom zadatku do kontrolne točke, iz razloga navedenih u prethodnom poglavlju. Konačan broj aktivnosti za analizu iznosi je 91877.

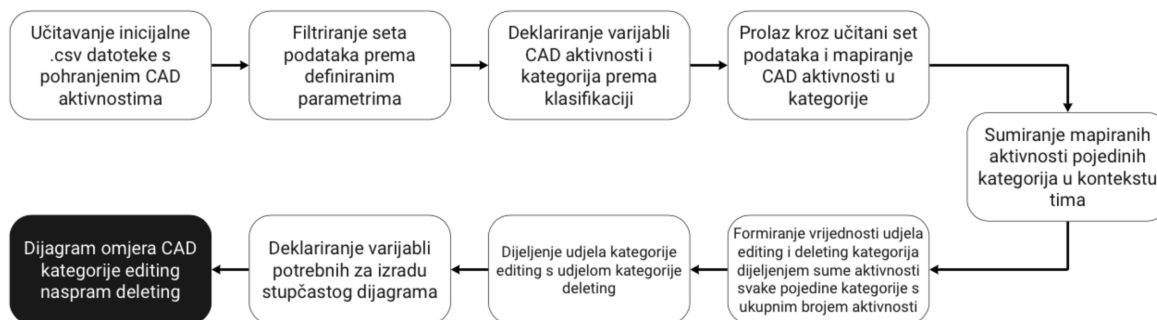
Na slici 4.8 prikazan je tijek pripreme CAD podataka od izvornog seta, preko filtriranja navedenih kategorija podataka, do konačnih podataka spremnih za provođenje analize podataka.



Slika 4.8 Tijek pripreme CAD podataka za analizu

4.6. Analiza i interpretacija podataka

Analiza prikupljenih podataka je provedena korištenjem *Python* programskog jezika. Unutar *Python*-a korištene su različite softverske knjižnice za određene aspekte analize. Primarno su korištene *Pandas* softverska knjižnica za operacije nad numeričkim tablicama i vremenskim serijama u svrhu analize podataka te *Matplotlib* i *Seaborn* softverske knjižnice u svrhu vizualizacije podataka. Napisano je više kodova ovisno o vrsti analize i grafičkom prikazu, od kojih su značajnije linije koda prikazane u prilogu rada. Na slici 4.9, kao primjer, prikazani su koraci koda za generiranje dijagrama omjera CAD kategorija *editing* i *deleting*. U prilogu rada su prikazani i koraci za analizu i generiranje preostalih korištenih dijagrama.



Slika 4.9 Koraci koda za generiranje dijagrama omjera CAD kategorija *editing* i *deleting*

Prva dva koraka koda (prikazanog na slici 4.9) uključena su iz faze pripreme CAD podataka za analizu. Nadalje, u kontekstu analize omjera CAD kategorija *editing* i *deleting* pojedinih timova, deklarirane su varijable CAD aktivnosti i CAD kategorija prema klasifikaciji. Slijedi prolaz kroz učitani set podataka i mapiranje CAD aktivnosti u kategorije. Mapirane se aktivnosti u kategorije na razini timova tada sumiraju. Sume aktivnosti kategorija se tada dijele s ukupnim brojem zabilježenih CAD aktivnosti u svrhu dobivanja udjela CAD kategorija. Dobiveni udjeli kategorija *editing* i *deleting* se tad međusobno dijele kako bi se dobio njihov omjer. Konačno, pisanjem koda za generiranje grafa s rezultatima brojača nastaje prikaz u obliku slike 5.5.

Nadalje, za pružanje uvida u numeričke vrijednosti tijekom provođenja analize podataka te generiranje određenih vrsta grafova korišten je *Microsoft Excel*. Dobiveni rezultati analize, zahvaljujući potonjim softverskim knjižnicama, prikazani su grafički te matrično. Kao pomoćni alat za analizu rezultata, organizaciju istih, njihovu međusobnu usporedbu, bilježenje opservacija te donošenja zaključaka, korištena je *Miro* platforma.

5. Rezultati

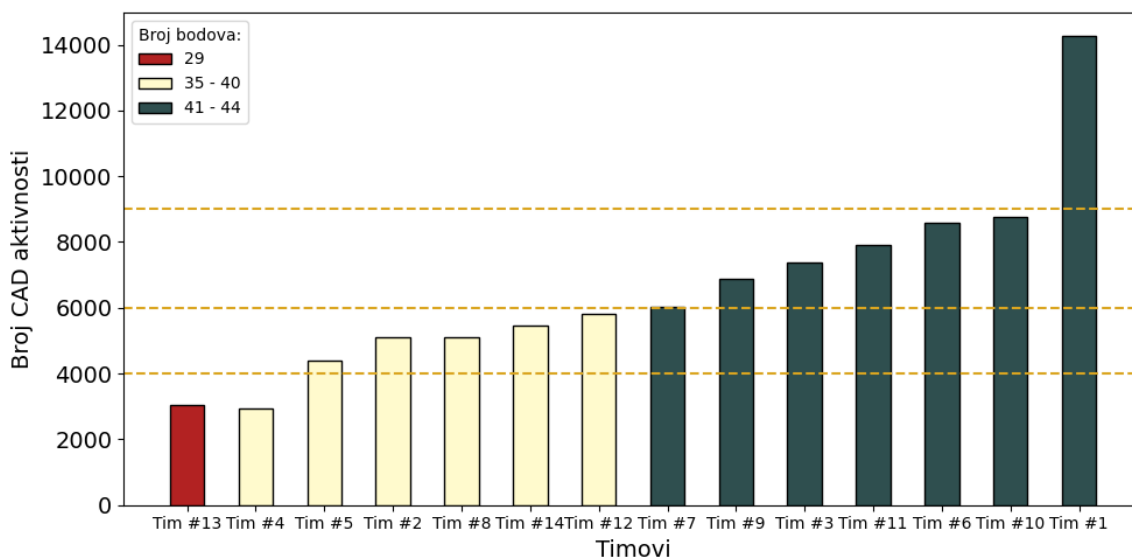
U sljedećim potpoglavljima prikazat će se rezultati dobiveni tijekom ispitivanja predložene metodologije za analizu CAD aktivnosti tijekom studije rada na razvojnom projektu projektnog kolegija. Za provođenje analize podataka su korištene metrike preuzete od drugih istraživača, navedene u pregledu literature, kao i vlastite metrike razvijene tijekom ovog istraživanja. Također, korištena je klasifikacija CAD aktivnosti koja je omogućila provođenje analize na više različitih razina granularnosti. Analiza je krenula praćenjem metrike ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti naspram dodijeljenih bodova konačnom CAD modelu u kontekstu kvalitete, s ciljem povezivanja količine izvršenih aktivnosti s kvalitetom konačnog CAD modela. Nadalje, provedene su analize udjela korištenja pojedinih kategorija CAD aktivnosti ukupno i kvartalno te na timskoj i individualnoj razini. Za prikaz rezultata korišteni su stupčasti dijagrami i *boxplot*-evi. Nadalje, na individualnoj razini provedena je regresijska analiza korištenjem metrike omjera ukupno izvršenih CAD aktivnosti naspram utrošenog vremena modeliranja s ciljem usporedbe u učinkovitosti modeliranja između individualnih ispitanika, kao i unutar članova tima. Konačno, provedena je analiza tijeka modeliranja korištenjem Markovljeve matrice s ciljem identificiranja CAD obrazaca.

5.1. Povezanost CAD aktivnosti i timova

Prvi promatrani rezultat analize bio je ukupan broj izvršenih CAD aktivnosti od strane svakog tima za vrijeme promatranog razdoblja. Iz rezultata, prikazanih na slici 5.1, se očituje kako je najveći broj CAD aktivnosti izvršio „Tim #1“ s ukupnim brojem od 14 264 izvršene aktivnosti. S druge strane spektra, najmanje CAD aktivnosti izvršili su timovi „Tim #13“ i „Tim #4“ s ukupnim brojem od 3049, odnosno 2934 izvršene aktivnosti. Od preostalih 11 timova, petero njih je izvršilo između 4000 i 6000 aktivnosti, dok je šest timova izvršilo između 6000 i 9000 CAD aktivnosti.

Nadalje, na istom grafu na slici 5.1 prikazana je i raspodjela dodijeljenih bodova timovima nakon pregleda inicijalnih CAD modela. Zelenom bojom označeni su timovi s najviše bodova,

u rasponu od 41 do 44 boda. Slijede timovi označeni žutom bojom, čiji je broj bodova u rasponu od 35 do 40. Konačno, slijedi posljednji tim s prikupljenih 29 bodova, označen crvenom bojom.



Slika 5.1 Prikaz ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti pojedinog tima te dobivenog broja bodova

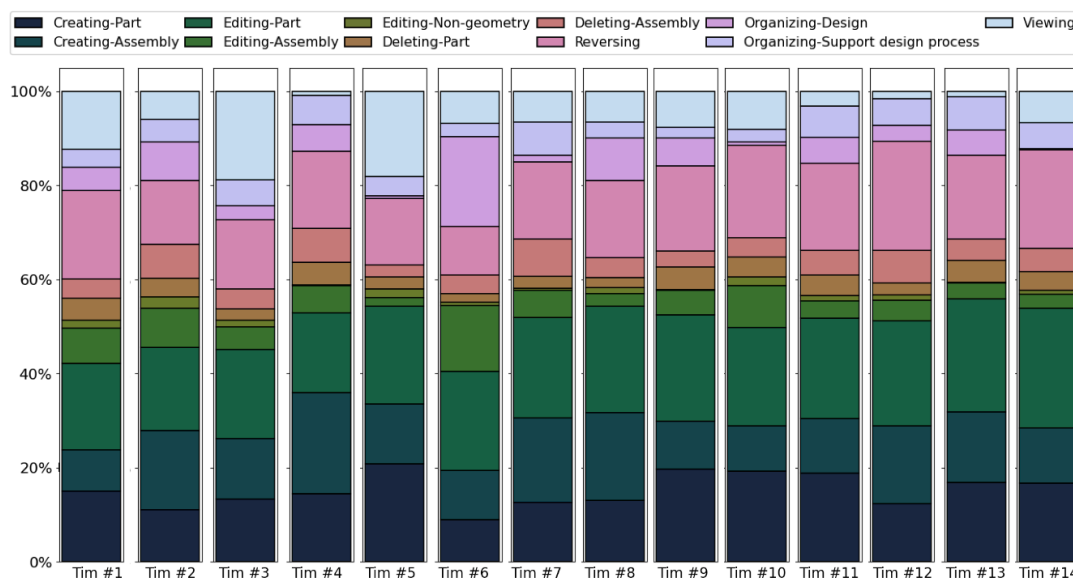
Pronađena je povezanost između broja dodijeljenih bodova te broja izvršenih CAD aktivnosti. Naime, timovi s većim brojem izvršenih CAD aktivnosti su prikupili više bodova, odnosno oblikovali kvalitetnije CAD modele u odnosu na timove koji su izvršili manji broj CAD aktivnosti.

5.2. Analiza CAD aktivnosti prema klasifikaciji na razini tima

Prema ranije prikazanoj klasifikaciji, provedena je analiza CAD aktivnosti svakog pojedinačnog tima unutar definiranog vremenskog razdoblja. Rezultati analize prikazani su na slici 5.2. Navedena slika pruža uvid u udjele korištenja određenih grupacija CAD aktivnosti u okviru pojedinog tima.

Na slici 5.2 najprije se uočava različita veličina pojedinih udjela korištenja CAD aktivnosti iz određenih kategorija. Nadalje, uočava se kako CAD aktivnosti kategorija *Creating* i *Editing* zauzimaju prosječno 50 % udjela ukupnih aktivnosti u svakom timu. U kontekstu druge

polovice, očituju se veće varijacije u udjelima pojedinih kategorija, posebno u okviru *Viewing* i *Organizing-Design*.



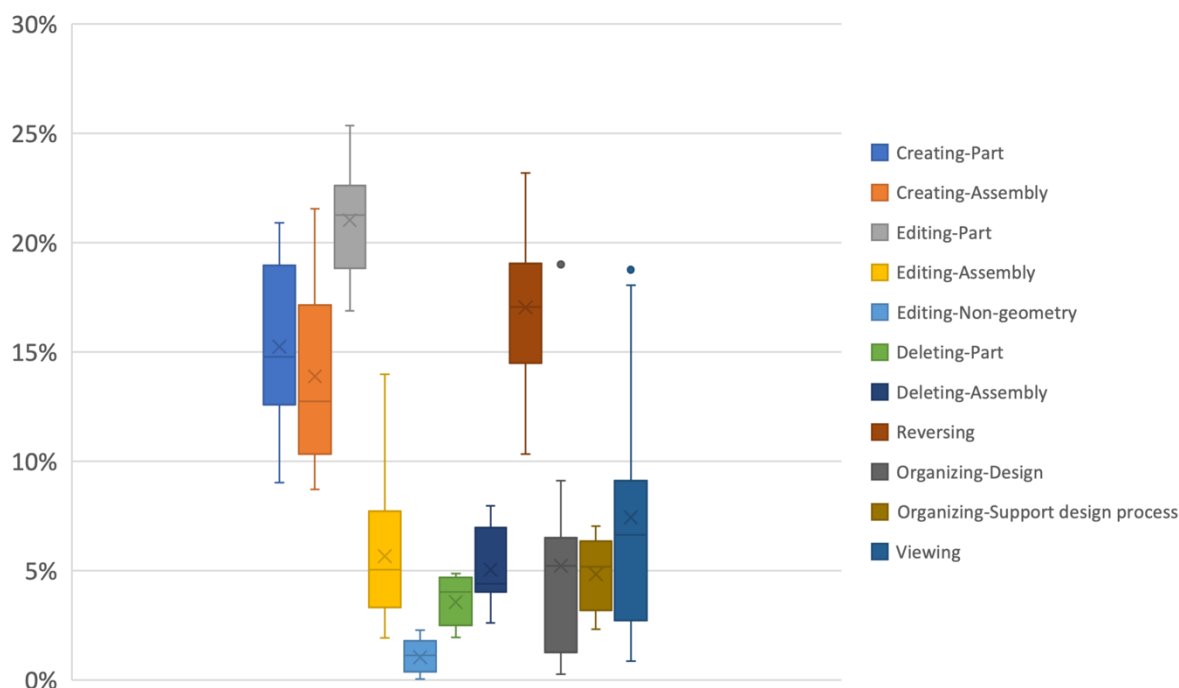
Slika 5.2 Prikaz udjela kategorija CAD aktivnosti na razini tima

U svrhu prikaza jasnijeg uvida u navedenu veličinu te njihovu razliku, generiran je *boxplot* dijagram prikazan na slici 5.3, na kojem se prikazuju prosječne vrijednosti udjela kategorija CAD aktivnosti svih 14 timova uključenih u projektni zadatak te razlike u udjelima korištenja CAD aktivnosti određene kategorije.

5.2.1. Prosječni udio i raspon udjela kategorija CAD aktivnosti

Dijagram na slici 5.3 prikazan je u obliku *boxplot*-a. *Boxplot* prikazuje srednju vrijednost korištenja pojedine kategorije CAD aktivnosti, od strane svih timova, koja je na slici označena s „x“ unutar različitih četverokuta. Horizontalna linija unutar navedenih četverokuta označava medijan. Nadalje, između gornje i donje linije četverokuta se nalazi 50 % svih zabilježenih vrijednosti, odnosno, u ovom slučaju, vrijednosti udjela pojedine kategorije od strane sedam timova. Između navedenih linija i krajeva u obliku slova „T“ nalazi, sa svake strane, po 25 % svih zabilježenih vrijednosti. Navedeni krajevi predstavljaju najveću, odnosno najmanju zabilježenu vrijednost pojedinog tima, osim kada je iznad/ispod njih prikazana i točka.

Navedena točka predstavlja izvanserijske vrijednosti (*eng. Outliers*) koje značajno odudaraju od prosjeka vrijednosti.



Slika 5.3 *Boxplot* dijagram udjela kategorija CAD aktivnosti na razini svih timova

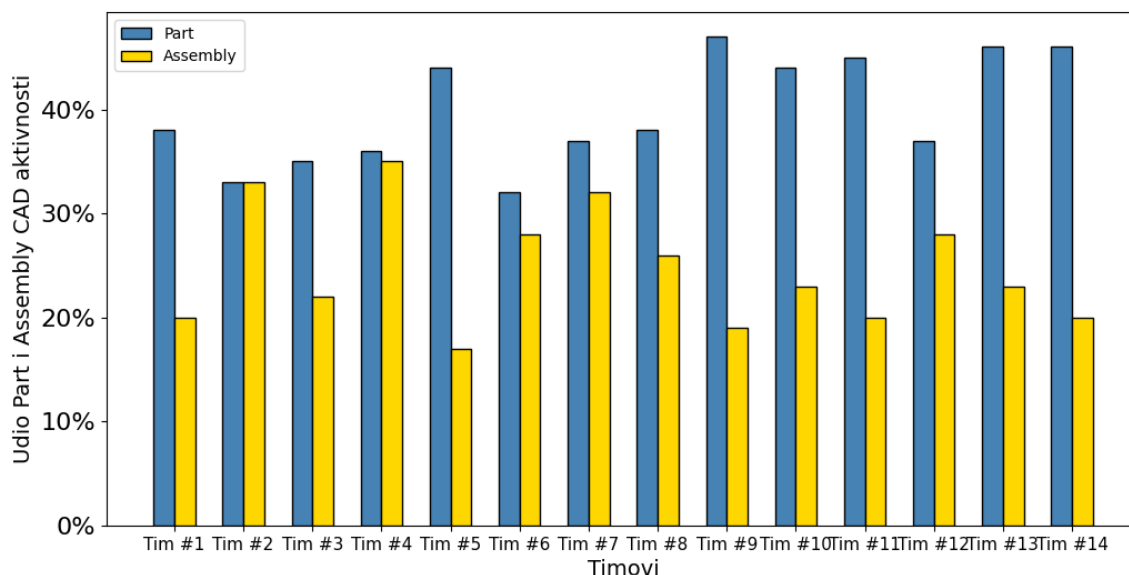
Prosječno su najviše korištene CAD aktivnosti iz kategorije *Editing-Part* s udjelom od 21 %. Osim što je navedena kategorija korištena najviše, uporaba iste je bila konstantno velika kroz sve timove bilježeći minimum od 17 % te maksimum od 25 %. Shodno tome, raspodjela je jednaka s obje strane prosječne vrijednosti čime, posljedično, nema izvanserijskih vrijednosti. Slijede kategorije *Reversing*, *Creating-Part* i *Creating-Assembly* sa 17 %, 15,2 % te 13,9 % prosječnih udjela, dok njihova uporaba između timova varira u rasponu od 12-13 %. Dok *Creating-Part* nema izvanserijskih vrijednosti (*eng. outlier*), kod *Creating-Assembly* kategorije „Tim #4“ značajno odstupa od prosjeka s 22 %, a kod *Reversing* kategorije „Tim #6“ odstupa u obrnutom smjeru s 10 %. Jednaku razliku u rasponu, uz manji prosječni udio korištenja od 5,7 %, bilježi i *Editing-Assembly* kategorija koju „Tim #6“ koristi ukupno 14 %, što je 8 % veće od prosjeka te 5 % veće od sljedećeg najbližeg tima. Nadalje, najveću razliku u uporabi CAD

aktivnosti između timova bilježe *Organizing-Design* i *Viewing* kategorije s 19 %, odnosno 18 %. U kontekstu *Organizing-Design* kategorije, najviše odudara „Tim #6“ s 19 % uporabe, što je cijelih 10 % više od sljedećeg najbližeg tima te 13,77 % veće od prosječne vrijednosti. S druge strane, prosječnu vrijednost drastično spuštaju „Tim #14“ koji uopće nije koristio CAD aktivnosti ove kategorije te timovi #5, #7 i #10 koji su zabilježili 1 % uporabe. Što se tiče *Viewing* kategorije, najveću uporabu bilježe timovi #3 i #5 s 19 %, odnosno 18 %, što je 11,57 %, odnosno 10,57 % veće od prosječne vrijednosti. Sa suprotne strane prosječne vrijednosti, timovi #4, #11, #12 i #13 bilježe udjele od 1-3 % uporabe ove kategorije. S druge strane spektra, nalaze se kategorije CAD aktivnosti čija je prosječna uporaba niska, ali i podjednako raspodijeljena između timova, odnosno bez izvanserijskih vrijednosti. Spomenute kategorije su *Organizing-Support design process*, *Deleting-Part*, *Deleting-Assembly* te *Editing-Non-Geometry*. Raspon navedenih kategorija varira između 2 i 5 %, dok prosječne vrijednosti redom iznose 4,83 %, 3, 56 %, 5,04 % te 1, 04 %.

5.2.2. Udio CAD aktivnosti u kontekstu *Part*-a naspram *Assembly*-ja

U kontekstu samog oblikovanja, odnosno generiranja, modificiranja te brisanja geometrijskih značajki CAD modela (*Creating*, *Editing*, *Deleting*) timovi u prosjeku bilježe udio od 65 %. Najveći udio bilježi „Tim #4“ s udjelom od 70 %, dok najmanji „Tim #3“ s udjelom nešto manjim od 60 %. Daljnjom podjelom navedene grupacije (*Creating*, *Editing* i *Deleting*) na aktivnosti vezane uz *Part* i *Assembly* dolazi se do rezultata prikazanih na slici 5.4. Iz navedenih rezultata pruža se uvid u udjele CAD aktivnosti izvršenih na *Part*-u, odnosno *Assembly*-ju, te u njihovu direktnu usporedbu. Tako nijedan tim ne bilježi veći udio izvršenih CAD aktivnosti na *Assembly*-ju u odnosu na *Part*, „Tim #2“ bilježi podjednak udio, dok svih 13 ostalih timova bilježe korištenje većeg broja CAD aktivnosti u kontekstu *Part*-a u odnosu na *Assembly*. Najveće razlike su uočene kod timova #5, #9, #11 i #14 koje bilježe približno 45% udjela CAD aktivnosti vezanih uz *Part* te približno 20 % vezanih uz *Assembly*. Navedene vrijednosti ujedno predstavljaju i maksimalan udio CAD aktivnosti vezanih uz *Part* te minimalan udio u okviru *Assembly*-ja. S druge strane, maksimalan broj CAD aktivnosti u kontekstu *Assembly*-ja bilježe

timovi #2, #4 i #7 s približno 33 %, a minimalan broj CAD aktivnosti vezanih uz *Part* bilježe timovi #2 i #6, također s postotkom od približno 33 %.



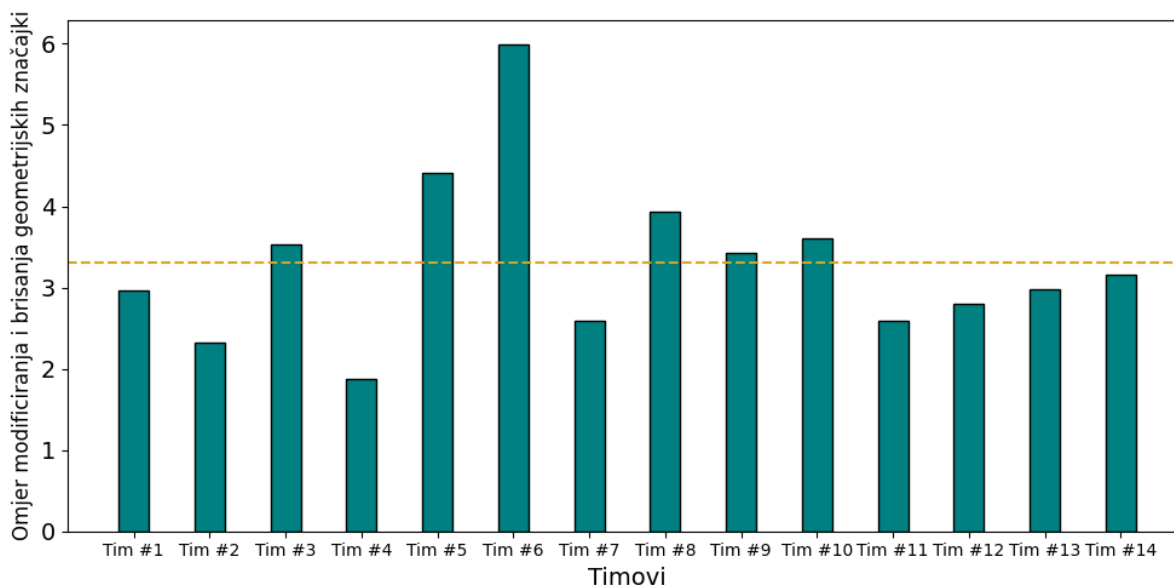
Slika 5.4 Prikaz ukupnog udjela *Part* i *Assembly* CAD aktivnosti na razini timova

5.2.3. Omjer *Editing* i *Deleting* kategorija CAD aktivnosti

Omjeri modificiranja geometrijskih značajki naspram brisanja istih prikazani su u obliku dijagrama na slici 5.5. Kako je vrijednost svih omjera veća od jedan, zaključuje se kako su svi timovi koristili više CAD aktivnosti u kontekstu modificiranja geometrijskih značajki u odnosu na one brisanja istih. Nadalje, izračunata je prosječna vrijednost dobivenih omjera u iznosu od 3,30. Iznad prosječne vrijednosti nalazi se šest timova, dok se ispod nalazi osam timova.

Značajno iznad prosječne vrijednosti nalaze se „Tim #6“ čiji članovi koriste CAD aktivnosti iz kategorija *Editing-Part* i *Editing-Assembly* šest puta više u odnosu na one iz kategorija *Deleting-Part* i *Deleting-Assembly* te „Tim #5“ čiji članovi to rade 4,40 puta više. S druge strane spektra nalaze se timovi #4 i #2 čiji se članovi češće okreću modificiranju geometrijskih značajki naspram njihovom brisanju 1,88, odnosno 2,32 puta. Uspoređujući s histogramom na slici 5.1, očituje se kako od tri tima s najviše aktivnosti (#1, #10, #6), dva nalaze iznad prosječne

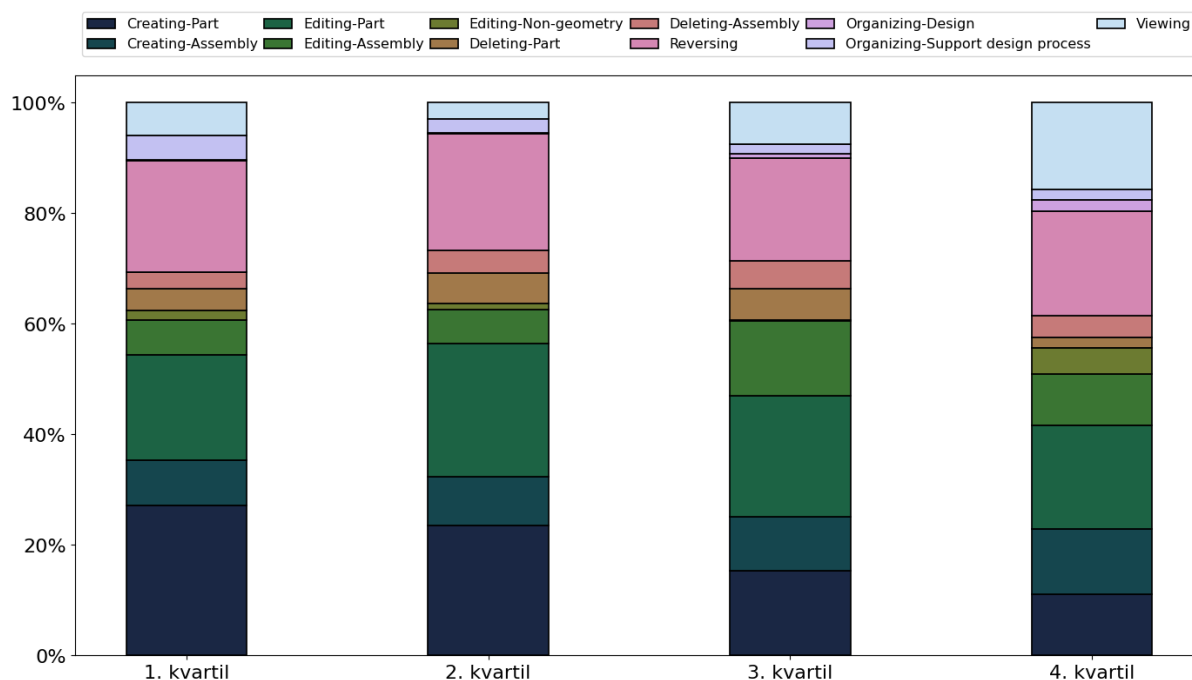
vrijednosti. S druge strane, od tri tima s najmanje aktivnosti (#4, #13, #5), dva se nalaze ispod prosječne vrijednosti. Također, važno je napomenuti kako se Tim #2 nalazi među timovima koji bilježe manji broj izvršenih CAD aktivnosti te bilježi drugi najmanji omjer modificiranja CAD modela naspram brisanja.



Slika 5.5 Omjer korištenih CAD aktivnosti iz kategorije *Editing* naspram *Deleting*

5.3. Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na razini tima

S ciljem dobivanja detaljnijeg uvida u određeno vrijeme uporabe kategorija CAD aktivnosti tijekom procesa oblikovanja, generiran je dijagram na slici 5.6. Navedeni dijagram prikazuje udjele kategorija CAD aktivnosti jednog od timova iz istraživanja, podijeljene na četiri jednaka dijela, odnosno kvartale. Podjela je napravljena na način sumiranja svih izvršenih CAD aktivnosti od strane određenog tima te dijeljenjem sume na četiri jednaka dijela.



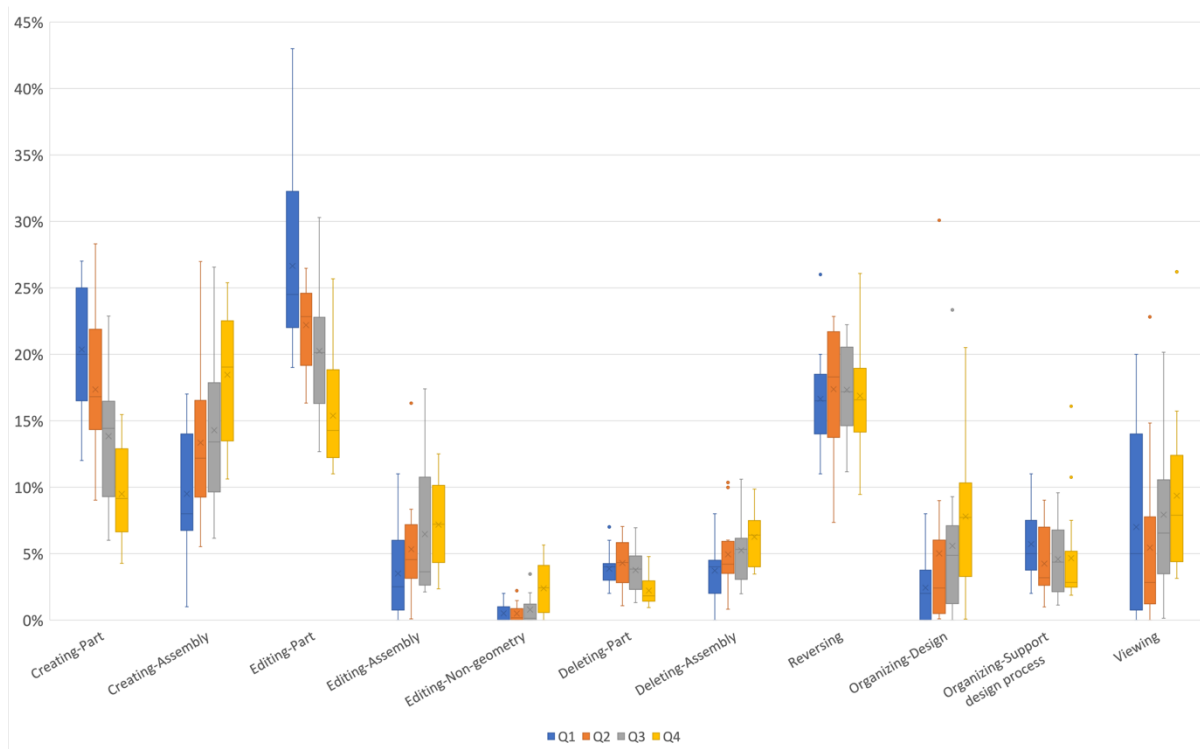
Slika 5.6 Prikaz kvartalne distribucije kategorija CAD aktivnosti

5.3.1. Usporedba udjela kategorija CAD aktivnosti kroz kvartale

Iako su dijagrami sa slike 5.6 generirani za svaki tim, za pregledniji i kompaktniji prikaz rezultata udjela kategorija CAD aktivnosti timova po kvartalima odabran je „Box plot“ dijagram prikazan na slici 5.7. Navedeni dijagram pruža uvid u prosječnu vrijednost, raspon te eventualne izvanserijske vrijednosti.

Kao što prikazuje slika 5.7, najveću prosječnu vrijednost od 26 %, a ujedno i najveći raspon udjela od 19-43 % bilježi *Editing-Part* kategorija CAD aktivnosti. Pritom „Tim #13“ bilježi maksimalnu vrijednost, 10 % veću od sljedeće najbliže, dok „Tim #10“ bilježi minimalnu vrijednost. Nadalje, veliki rasponi udjela bilježe se i u obje *Creating* kategorije, s tim da je *Part* kategorija prosječno korištena 20 %, za razliku od svog pandana koji bilježi uporabu od 9 %. U kontekstu *Part*-a, najnižu vrijednost bilježi „Tim #6“ s 12 %, dok u kontekstu *Assembly*-ja timovi #13 i #14 s 1 %, odnosno 3 % uporabe. Zanimljiva opservacija uočena je u kontekstu *Editing-Assembly* kategorije. Naime, čak tri tima (#4, #5, #13) nisu uopće

koristila aktivnosti ove kategorije u prvom kvartalu, dok su dva tima (#3, #13) koristila minimalno, odnosno 1 %. Visoku uporabu ove kategorije bilježe timovi #2 i #6 s 10 %, odnosno 11 %. Što se tiče *Reversing* kategorije izvanserijsku vrijednost od 26 % bilježi „Tim 12“. Preostali udjeli kategorija podudaraju se s prosječnim vrijednostima i rasponima na razini cjelokupnih aktivnosti.



Slika 5.7 „Box plot“ dijagram usporedbe CAD kategorija po kvartalima

Nadalje, usporedbom prva dva kvartala na slici 5.7, uočava se kako se prosječne vrijednosti udjela CAD kategorija ne mijenjaju značajno unutar istih. S druge strane, u kontekstu rasponu udjela CAD kategorija, bilježi se značajan pad, vezan uz *Editing-Part* kategoriju, s 23 % na 10 %. Time varijabilnost navedene kategorije pada, odnosno udjeli uporabe CAD kategorija postaju ujednačeniji. Također, u kontekstu *Organizing-Design* kategorije bilježi se značajan rast u rasponu, s 9 % na 30 %. Za drastičan pomak zaslužan je „Tim #6“ koji bilježi navedeni maksimum, što je cijelih 21 % veće od sljedeće najbliže vrijednosti.

Prelazeći iz drugog u treći kvartal, također ne dolazi do promjene veće od 3 % u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija. Od značajnih promjena u rasponu udjela kategorija CAD aktivnosti, raspon udjela kategorije *Editing-Part* ponovno bilježi visoku vrijednost te raste s 10 % na 18 %. Kategorija *Reversing* bilježi pad u rasponu sa 16 % na 11 %. Nadalje, kategorija *Organizing-Design* ponovno bilježi visoku vrijednost raspona od 23 %, za što je ponovno zaslužan „Tim #6“. Identičnu vrijednost bilježi i *Viewing* kategorija gdje timovi #3 i #5 bilježe 24 %, odnosno 20 %.

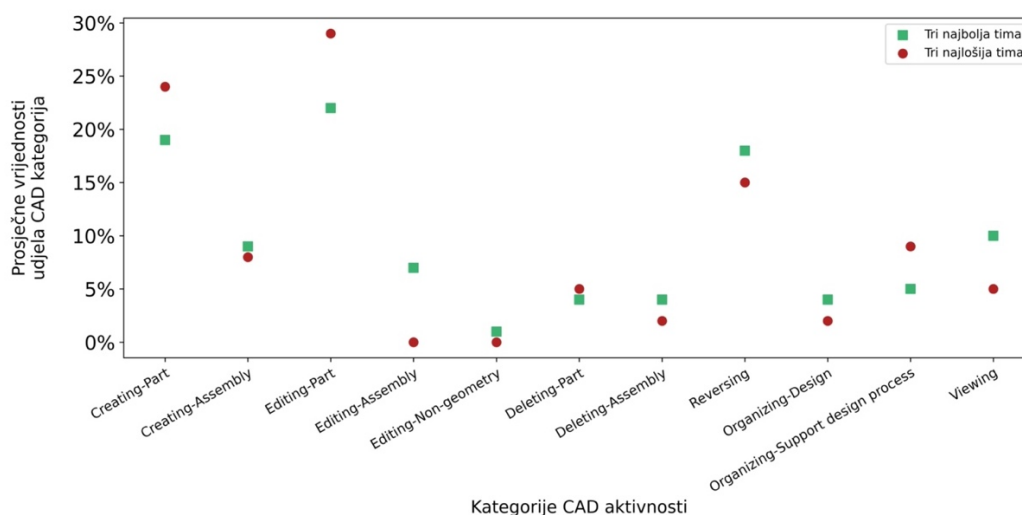
Prelaskom s trećeg na posljednji kvartal, očituje se pad prosječnih vrijednosti udjela kategorija *Creating-Part* s 14 % na 9 % te *Editing-Part* s 20 % na 15 %. S druge strane, udio kategorije *Creating-Assembly* bilježi rast prosječne vrijednosti s 14 % na 18 %. Također, razlike u rasponu navedenih kategorije su se također smanjile za 3-6%.

Analizom cjelokupnog dijagrama utvrđeno je sljedeće. Prosječna vrijednost udjela kategorije *Creating-Part* se postepeno smanjivala od prvog kvartila i vrijednosti od 20 % prema posljednjem kvartilu te vrijednosti od 9 %. Suprotno tome, prosječna vrijednost udjela kategorije *Creating-Assembly* tijekom istog perioda zabilježila rast s 9 % na 18 %. U kontekstu *Editing* kategorija, *Part* kategorija bilježi postepen pad s 26 % na 15 %, dok *Assembly* konstantan rast od 1 % po kvartilu te raste s početnih 4 % na konačnih 7 %. *Editing-Geometry* bilježi nisku uporabu od 1-2%. Od CAD aktivnosti iz *Deleting* kategorija, *Part* kroz prva tri kvartila bilježi konstantan udio od 3 %, a u posljednjem kvartilu 2 %. S druge strane *Assembly* kroz prva dva kvartila bilježi 4 %, nakon čega slijedi postepeni rast do 6 % u posljednjem kvartilu. Zanimljivo, udio kategorije *Reversing* kroz sve kvartile iznosi točno 17 %. Nadalje, CAD aktivnosti unutar kategorije *Organizing-Support design process* bilježe prosječne vrijednosti između 4% i 6 %. Kategorija *Organizing-Design* bilježi postepen rast s početnih 5 % na konačnih 8 %. Konačno, kategorija *Viewing* bilježi redom 7 %, 5 %, 8 % te na kraju 9 %.

5.3.2. Usporedba udjela kategorija CAD aktivnosti kroz kvartale u kontekstu najboljih i najlošijih timova

U svrhu dobivanja uvida u razlike između metoda oblikovanja između najboljih i najlošijih timova unutar ovog projektnog zadatka, generirani su dijagrami prikazani na slikama 6.8-6.11. Na apscisi navedenih grafova navedene su kategorije korištenih CAD aktivnosti, dok su na ordinati definirane prosječne vrijednosti udjela korištenja istih od strane timova. Zelenom bojom te oblikom četverokuta prikazani su rezultati tri najbolja tima, dok su crvenom bojom te oblikom kruga prikazani rezultati tri najlošija tima. Vertikalna udaljenost između navedenih oblika predstavlja razliku u prosječnim vrijednostima udjela korištenih CAD aktivnosti iz navedenih kategorija između tri najbolja i najlošija tima.

Na slici 5.8 prikazan je dijagram koji ukazuje na razlike između prosječnih vrijednosti udjela korištenih CAD kategorija u kontekstu tri najbolja i tri najlošija tima tijekom trajanja projektnog zadatka.



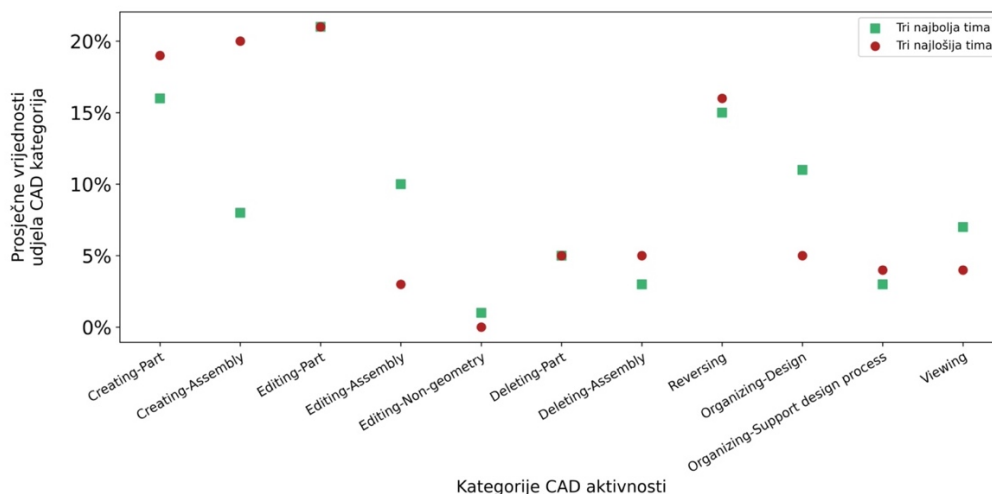
Slika 5.8 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u prvom kvartalu

Iz prikazanog dijagrama se očituje kako do najveće razlike između karakterističnih timova dolazi unutar *Editing-Part* kategorije u iznosu od 7 % u korist lošijih timova. Od značajnijih

razlika lošiji timovi još bilježe 5 % više uporabe *Creating-Part* kategorije te 4 % više uporabe *Organizing-Support design process*. S druge strane, bolji timovi bilježe veću uporabu *Editing-Assembly* kategorije za 7 %, koju lošiji timovi u prvom kvartalu uopće ne koriste, *Viewing* kategorije za 5 % te *Reversing* kategorije za 3 %.

Iz navedenog se očituje kako lošiji timovi u početku procesa oblikovanja generiraju veći udio geometrijskih značajki u kontekstu *Part*-a od boljih timova. No, visoka prosječna vrijednost udjela kategorije *Editing-Part* implicira na to da su generirani dijelovi bili podloženi znatnom broju modifikaciju. Nadalje, iz prosječnih vrijednosti udjela *Creating* i *Editing* kategorija vezanih uz *Assembly* se očituje kako su svi timovi generirali određen broj instanci i značajki sklopa, no samo su bolji timovi radili izmjene na istima. Iz navedenog se raspoznaju dva pristupa CAD modeliranju.

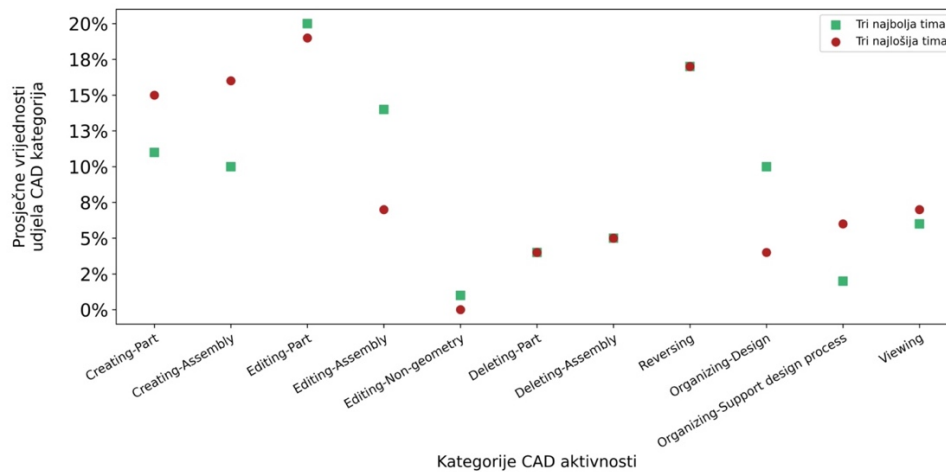
Nadalje, dijagram na slici 5.9 prikazuje isto što i prethodni dijagram, samo u kontekstu drugog kvartala. U odnosu na prvi kvartal, smanjuje se razlika u prosječnim vrijednostima udjela kategorije *Creating-Part* s 5 % na 3 %. S druge strane, udjeli uporabe CAD aktivnosti kategorije *Creating-Assembly* od strane lošijih timova bilježe veliku razliku od 12 % u odnosu na bolje timove. Uporaba aktivnosti kategorije *Editing-Assembly* je, za lošije timove, porasla s 0 % na 3 %, no razlika i dalje iznosi 7 % jer prosječna vrijednost udjela ove kategorije za bolje timove iznosi 10 %. Znatnu razliku od 6 % u korist boljih timova u ovom kvartalu bilježi kategorija *Organizing-Design*. Uporaba preostalih kategorija CAD aktivnosti je podjednaka. Iz navedenih rezultata se očituje kako lošiji timovi tijekom drugom kvartala pokazuju tendenciju korištenja CAD aktivnosti iz kategorije *Creating-Assembly*.



Slika 5.9 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u drugom kvartalu

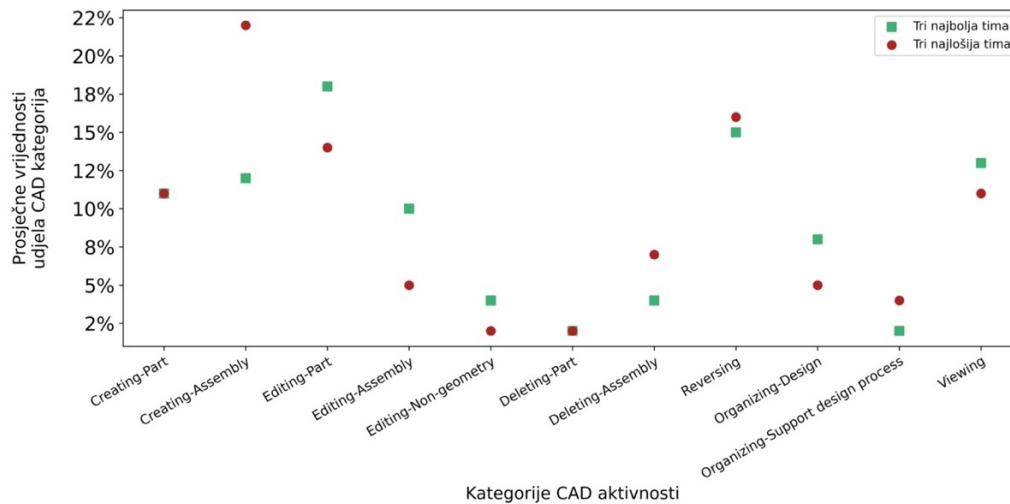
Treći kvartal u suštini preslikava rezultate drugog kvartala u kontekstu razlika između timova. Naime, zabilježene razlike prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija *Creating-Part*, *Editing-Assembly* te *Organizing-Design* u drugom kvartalu ostaje iste. Jedino se razlika u kategoriji *Creating-Assembly* značajnije mijenja te pada s 12 % na 6 %. U kontekstu samog iznosa prosječnih vrijednosti, svi ostaju približno isti, jedino udio *Creating-Part* kategorije pada za 4 % te udio *Editing-Assembly* kategorije raste za identičan iznos.

Unutar ovog kvartala očituje se kako se fokus i boljih i lošijih timova sve više prebacuje na korištenja aktivnosti vezanih uz sklop. Naime, prosječna vrijednost modifikacija sklopa u kontekstu boljih timova iznosi 14 %, dok čak i lošiji timovi bilježe vrijednost od 7 %. Lošiji timovi odvajaju 6 % ukupnih aktivnosti za one iz kategorije *Organizing-Support design process*, što je za 4 % više od boljih timova.



Slika 5.10 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u trećem kvartalu

Četvrti kvartal ponovno bilježi veliku razliku u udjelu korištenja CAD aktivnosti iz kategorije *Creating-Assembly* od 10 % u korist lošijih timova. Ta razlika se ponovno kompenzira na udjelima kategorija *Editing-Assembly*, *Organizing-Design* te ovaj put i na *Editing-Part*, u kojima bolji timovi bilježe 3-5 % veći udio uporabe. Najveću prosječnu vrijednost udjela kroz sva četiri kvartala u ovom kvartalu bilježe aktivnosti kategorije *Viewing*. Vrijednost za bolje timove iznosi 13 %, dok za lošije 11 %. Naposljetku, lošiji timovi bilježe 3 % više uporabe aktivnosti kategorije *Deleting-Assembly*.



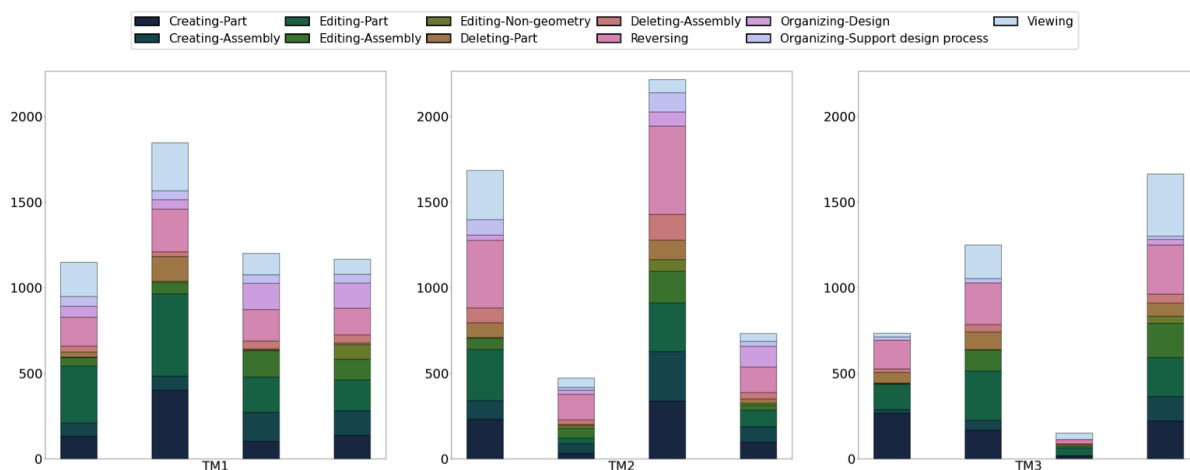
Slika 5.11 Razlike u prosječnim vrijednostima udjela CAD kategorija između tri najbolja i najlošija tima u četvrtom kvartalu

5.4. Analiza individualnog rada

Na slikama 5.12 i 5.13 prikazani su histogrami koji prikazuju kvartalnu distribuciju kategorija CAD aktivnosti određenih timova na razini pojedinih članova tima. Navedeni histogrami pružaju uvid u količinu kontribucije pojedinog člana timu te kojim su CAD aktivnostima doprinijeli.

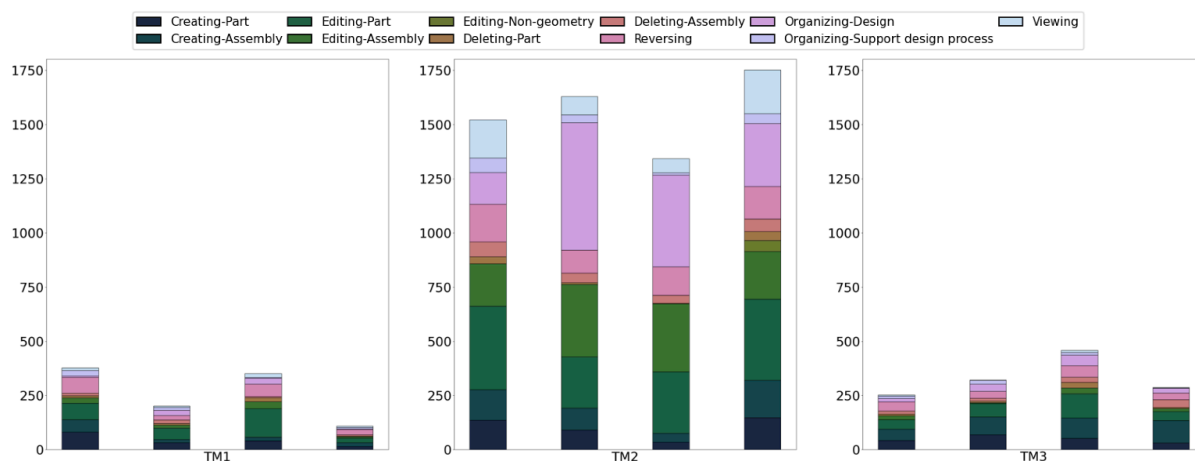
5.4.1. Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini

Na slici 5.12 prikazan je dijagram kvartalne distribucije kategorija CAD aktivnosti za tim #1. Navedeni tim bilježi najravnomjerniju kontribuciju pojedinih članova tima od svih timova promatranih tijekom provođenja ove analize. Naime, članovi #1 i #2 bilježe prosječno 1650 izvršenih CAD aktivnosti, dok član #3 bilježi 1350. Iz dijagrama se očituje kako su prvom kvartalu sva 3 člana značajno sudjelovala u procesa modeliranja. U drugom kvartalu, značajnije su sudjelovali članovi #1 i #3, u trećem kvartalu članovi #1 i #2, dok u posljednjem kvartalu članovi #1 i #3, uz skroman doprinos i člana #2.



Slika 5.12 Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini unutar tima # 1

Na slici 5.13 prikazan je histogram kvartalne distribucije kategorija CAD aktivnosti za tim #6. Ovaj tim karakterizira značajan doprinos jednog člana tima u odnosu na druga dva. Naime, član #2 je svaki kvartal izvršio prosječno 1500 aktivnosti, što je oko 1200 više od prosjeka svojih kolega. Time je došlo do neželjenog scenarija unutar paradigme kolaboracije, gdje teret kompleksnog, grupnog zadatka pada na leđa pojedinca.



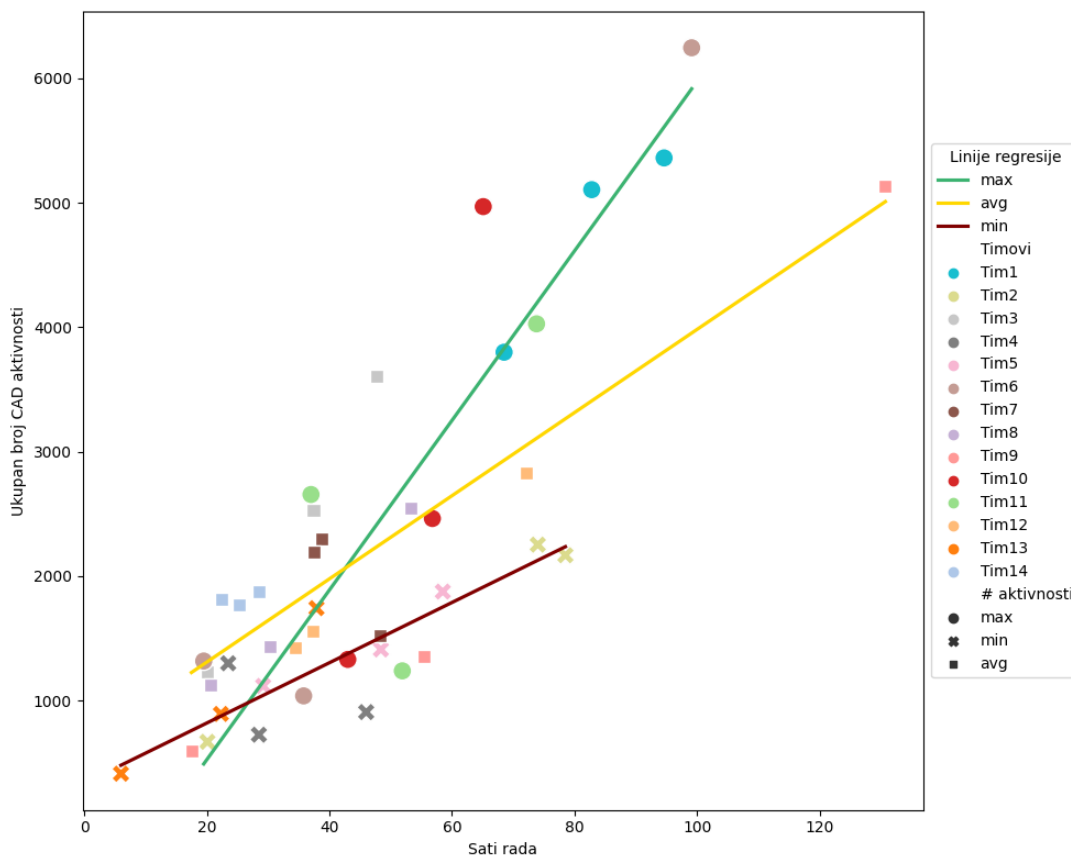
Slika 5.13 Kvartalna distribucija kategorija CAD aktivnosti na individualnoj razini unutar tima # 6

5.4.2. Usporedba sati rada s brojem izvršenih aktivnosti

U svrhu daljnje analize individualnog rada ispitanika tijekom projektnog zadatka, linearnom regresijom se analizirala povezanost ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti naspram ukupnom broju utrošenih sata članova pojedinih timova. U opseg analize je uključen svaki član pojedinog tima, što odgovara ukupnom broju od 42 ispitanika. Rezultati analize su prikazani na slici 5.14. Nadalje, svakom članu istog tima je dodijeljena identična boja. Osim razlike u bojama, timovi se razlikuju i po simbolima. Naime, kružićem su označena četiri tima s ukupno najviše izvršenih CAD aktivnosti. S druge strane spektra, nalaze se četiri tima koja su izvršila najmanje CAD aktivnosti, označena s „x“. Konačno, s četverokutom je označeno šest timova koji se po izvršenom broju CAD aktivnosti nalaze između ovih timova. Za svaku od navedene tri grupacije je provedena linearna regresija te su generirana tri pravca. Pravac zelene boje karakterizira tri tima s najviše izvršenih CAD aktivnosti, pravac crvene boje tri tima s najmanje izvršenih aktivnosti, a pravac žute boje preostale timove.

Iz rezultata regresijske analize je vidljivo kako je pravac linearne regresije za timove s najviše izvršenih CAD aktivnosti najstrmiji, za timove s najmanje izvršenih aktivnosti najblaži, a za preostale timove pravac je nešto strmiji od potonjeg. Drugim riječima, timovi koji su izvršili najviše CAD aktivnosti u istom vremenskom okviru izvrše više aktivnosti od preostalih timova te kako vrijeme odmiče, ta se razlika povećava. Ono što je još zanimljivo kod ovog prikaza su izvanserijske vrijednosti, odnosno vrijednosti koje su znatno udaljene od regresijskih pravaca. Tako primjerice, jedan od članova tima #3 bilježi 3603 izvršene CAD aktivnosti u 47 sati rada, za što bi ostalim ispitanicima iz iste domene u kontekstu izvršenih aktivnosti, prema regresijskom modelu, trebalo 90 sati rada. Čak i prema regresijskom modelu ispitanika s najviše izvršenih CAD aktivnosti, broj aktivnosti navedenog ispitanika je odrađen za približno 20 sati manje. Također, još jedan aspekt koji se može promatrati iz ovog dijagrama je razlika između pojedinih članova unutar istog tima. Prema prikazanom, može se vidjeti kako članovi tima #14 čine najkoherentniju cjelinu od svih timova. Naime, svaki član tima je izvršio između 1800 i 1900 CAD aktivnosti u vremenskom rasponu 23-28 sati. S druge strane, očituju se i neželjeni scenariji kada dolazi do izražajnog disbalansa u doprinosu između članova tima. Takvi slučajevi

zabilježeni su u timovima #6 i #9. U timu #6 jedan je član zabilježio 6245 CAD, što je najviše od ispitanika, aktivnosti u 99 sati rada, dok su njegovi kolege ukupno zabilježili 2356 CAD aktivnosti te 55 sati rada. U timu #9 je pak jedan ispitanik zabilježio 5136 CAD aktivnosti u najviše utrošenog vremena od svih u iznosu od 130 sati, dok su njegovi kolege zajedno zabilježili 1947 CAD aktivnosti te 72 sata.

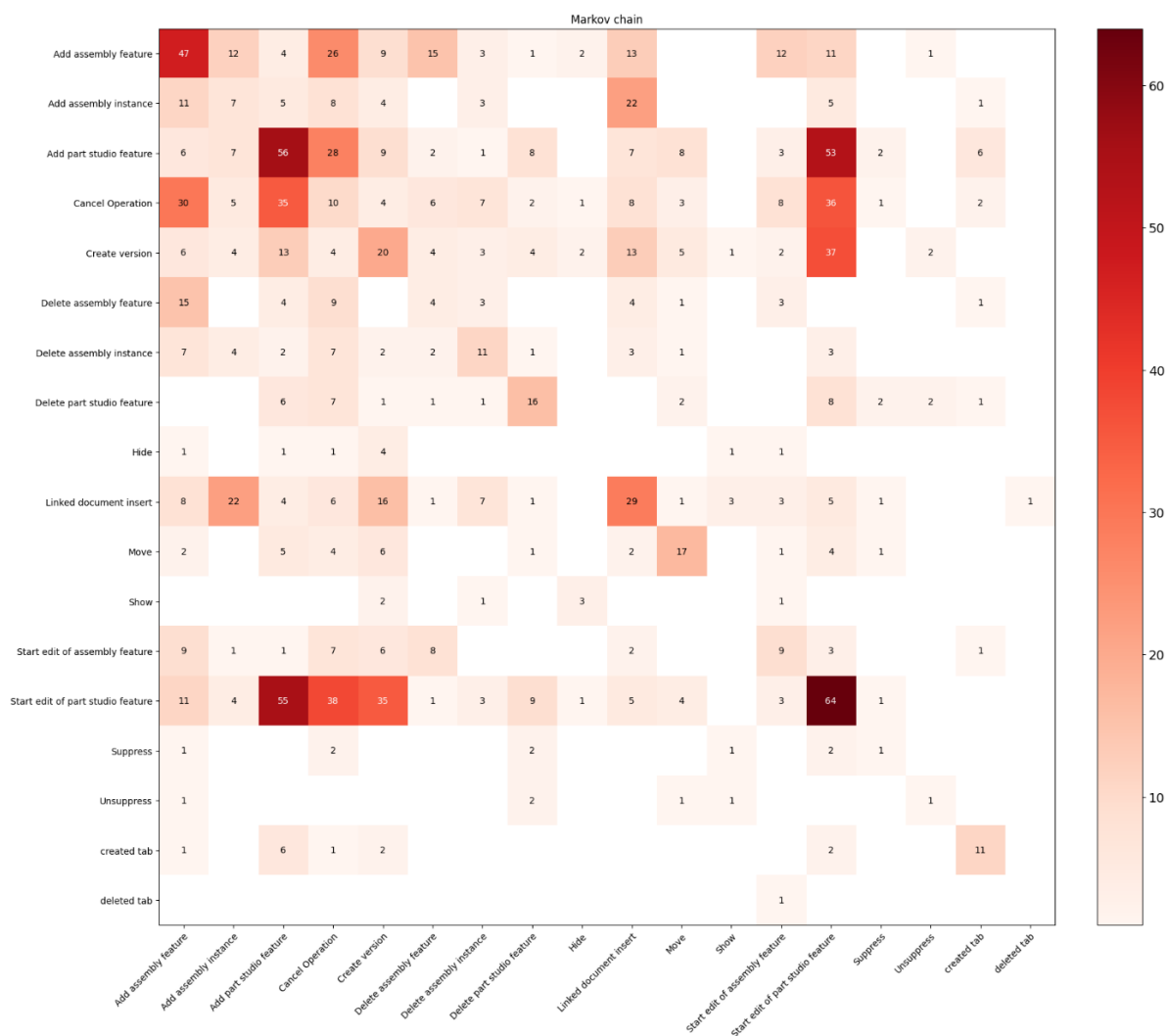


Slika 5.14 Regresijska analiza zavisnosti ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti o broju utrošenih sati u kontekstu različitih timova

5.4.3. Tijek modeliranja i CAD obrasci

Markovljeve matrice služe za prikaz vjerojatnosti (u slučaju normaliziranih vrijednosti) ili broja ponavljanja (u slučaju apsolutnih vrijednosti) prelaska iz jednog skupa stanja u drugo. Za potrebe ovog istraživanja, Markovljeva matrica je korištena za prikaz broja ponavljanja

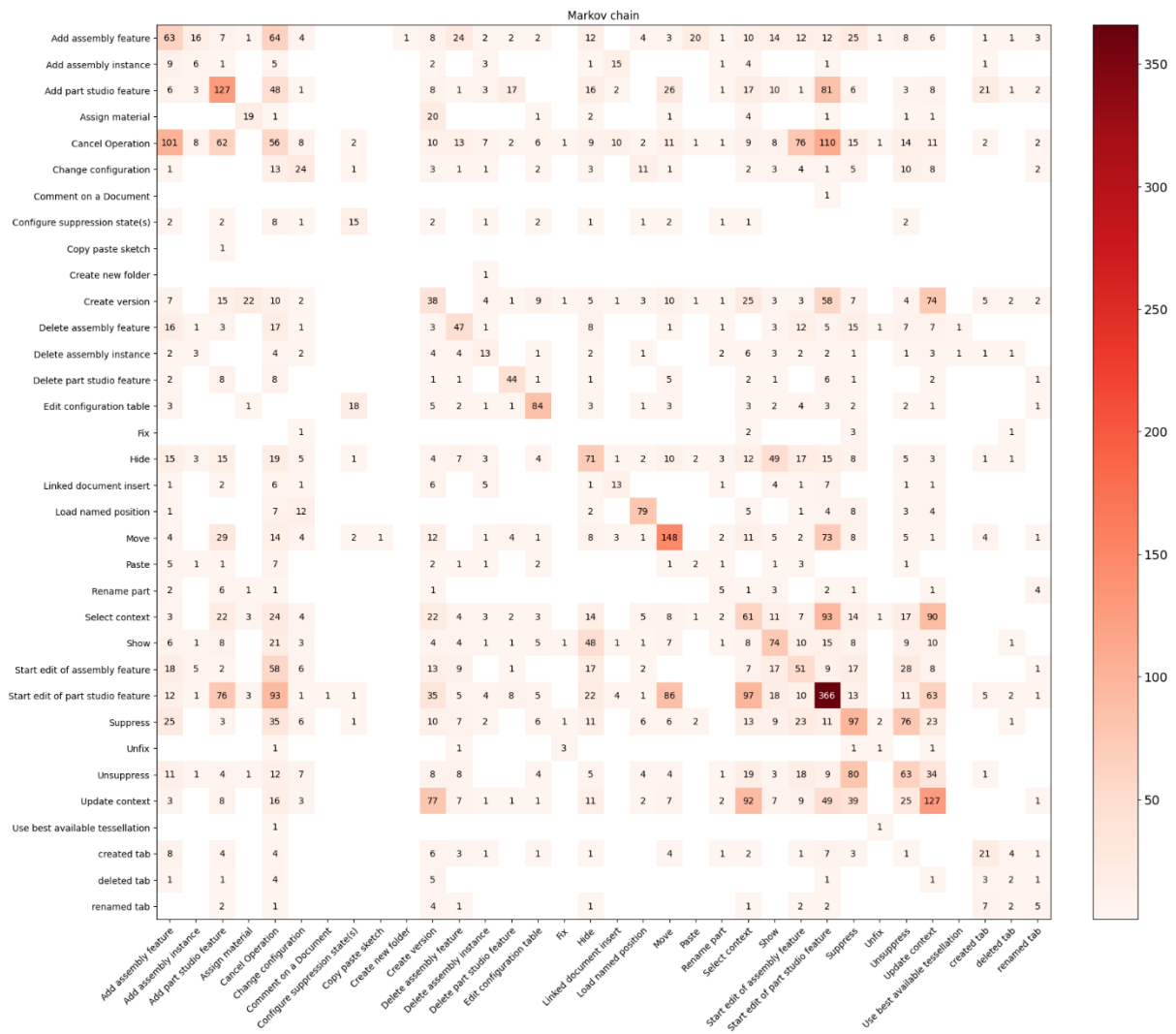
prelaska iz jedne CAD aktivnosti u drugu. Tim je dobiven uvid u spektar korištenih CAD aktivnosti, kao i u tijek procesa modeliranja. Na slikama 6.22 i 6.23 su prikazane dvije Markovljeve matrice dva člana tima #6. Riječ je o kvadratnim matricama, odnosno matricama s identičnim brojem stupaca i redaka.



Slika 5.15 Markovljeva matrica izvršenih CAD aktivnosti člana #3 tima #6

Naime, na stupcima i redcima se nalaze identične vrijednosti – sve CAD aktivnosti koje je promatrani ispitanik koristio tijekom izvršavanja projektnog zadatka. Unutar matrice se nalaze

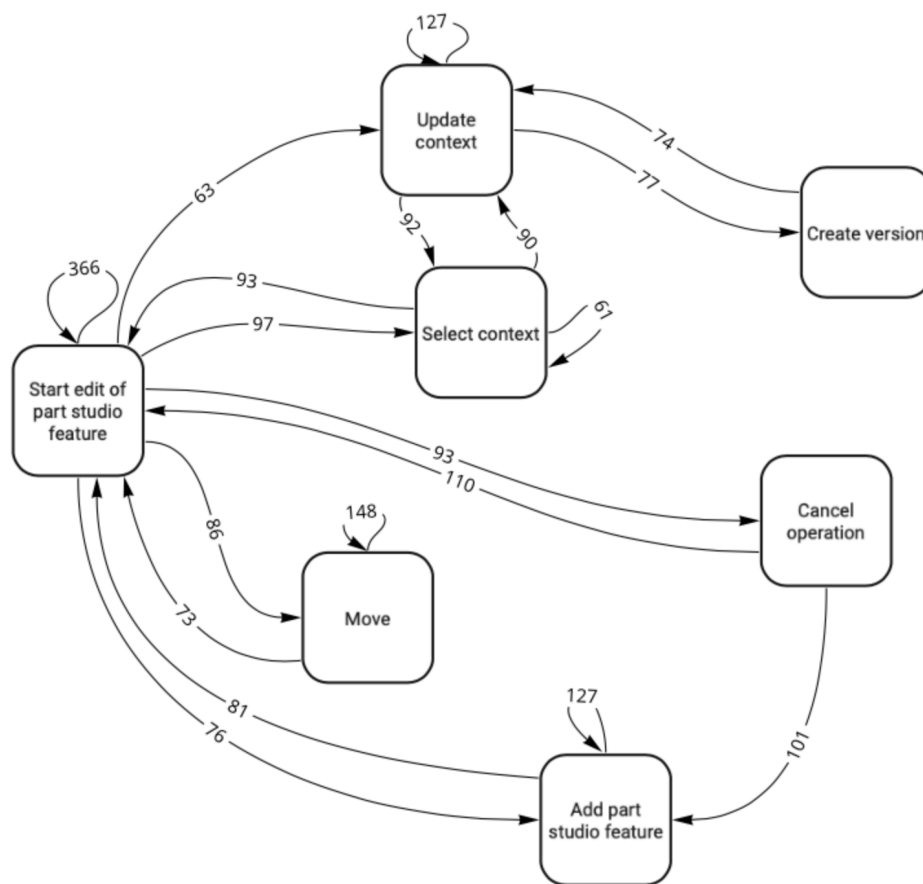
polja s vrijednostima te prazna polja. Polje predstavlja broj ponavljanja prelaska iz CAD aktivnosti retka polja u CAD aktivnost stupca polja. Prazno polje ukazuje da do takvog događaja nije došlo. Nadalje, polja su obojana u određenu boju. Veći intenzitet boje predstavlja veću numeričku vrijednost unutar polja.



Slika 5.16 Markovljeva matrica izvršenih CAD aktivnosti člana #2 tima #6

Generiranim Markovljevim matricama napravljena je temeljita analiza tima #6, čiji su rezultati analize kvartalne distribucije na individualnoj razini već prikazani u ovom poglavlju. Utvrđeno

je kako je došlo do određenog disbalansa u doprinosu generiranja konačnog CAD modela te rezultati Markovljevih matrica to i potvrđuju. Naime, usporedbom slika 5.14 i 5.15 očituje se kako je broj korištenih aktivnosti ispitanika #2 znatno veći od ispitanika #3. Također, korišteni spektar CAD aktivnosti je također na strani ispitanika #2. Markovljeva matrica ispitanika #1 ovog tima nije prikazana jer je slična onoj ispitanika #3 koja je prikazana samo u svrhu usporedbe s ispitanikom #2. Markovljeva matrica sa slike 5.15 korištena je za traženje CAD obrazaca, odnosno ponavljajućih sekvenci CAD aktivnosti.



Slika 5.17 Prikaz najučestalijih obrazaca CAD aktivnosti ispitanika #2 tima #6

Pristup identificiranju CAD obrazaca je bio sljedeći. Identificirano je polje s najvećom vrijednošću te je korišteno kao ishodište. Slijedi identificiranje polja koja u retku te aktivnosti

imaju najveće vrijednosti, itd. Konačan produkt prikazan je na slici 5.16 Kao aktivnost s najvećom početnom vrijednosti polja identificirana je „Start edit of part feature“. Nadalje je otkriveno kako se iz nje grana pet novih aktivnosti s visokim brojem učestalosti, itd. U gornjem dijelu slike nalaze se aktivnosti koje pripadaju *Organizing-Design* kategoriji kao i prethodno navedenim naprednim značajkama *Onshape*-a. Naime, iz prikazanog se očituje kako ispitanik koristi modificiranje *parta*-a u kontekstu sklopa te stvara verzije što ukazuje na isprobavanje različitih varijacija konačnog CAD modela. Nadalje, relacija s aktivnošću „Move“ ukazuje na potrebu za manipulacijom dijelova tijekom modificiranja modela. Posljedično, to ukazuje na kompleksnu geometriju *part*-a te korištenje „Multi-Part“ značajki koje omogućuju modeliranje više dijelova sklopa unutar jedne *part* datoteke.

6. Diskusija

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da timovi s manje izvršenih CAD aktivnosti generiraju CAD modele lošije kvalitete u odnosu na timove s većim brojem izvršenih aktivnosti. Također, utvrđeno je da timovi koji su generirali kvalitetnije CAD modele su bilježili veći omjer CAD aktivnosti modificiranja i brisanja. Tijekom modeliranja, timovima se smanjuje broj CAD aktivnosti kreiranja i modificiranja na razini komponente, dok se povećavaju aktivnosti na razini sklopa. Konačno, timovi pokazuju razlike u individualnom doprinosu pojedinaca u timu. Također, pokazano je da se predložena metodologija može koristiti za analizu rada u kolaborativnom CAD-u. U ovom poglavlju je naveden osvrt na klasifikaciju CAD aktivnosti, metodologiju za analizu CAD aktivnosti i identificirane rezultate.

6.1. Osvrt na klasifikaciju CAD aktivnosti

Predložena klasifikacija objedinila je individualne CAD aktivnosti te omogućila provedbu analize podataka na četiri razine granularnosti. Najviša razina granularnosti očituje se na analizi ukupnog korištenja CAD aktivnosti objedinjenih iz kategorija *creating*, *editing* i *deleting* vezanih uz *part* naspram onih vezanih uz *assembly*. Na nižoj razini granularnosti definirane su *creating*, *editing*, *deleting*, *reversing*, *organizing* i *viewing* kategorije CAD aktivnosti. Navedena razina granularnosti je korištena tijekom analize korištenih CAD aktivnosti iz kategorije *editing* naspram *deleting*, kao metrike preuzete od [48]. Nadalje, na još nižoj razini granularnosti definirano je prethodnih šest kategorija uz dodatnu podjelu *creating*, *editing* i *deleting* na *part* i *assembly*, te *organizing* na *design* i *support design process*. Ova razina granularnosti je prilikom prikaza analize udjela kategorija CAD aktivnosti – ukupno i kvartalno te na individualnoj i timskoj razini, te usporedbi CAD kategorija korištenjem *boxplot*-a. Konačno, najniža razina granularnosti, odnosno razina CAD aktivnosti, korištena je prilikom analize broja ponavljanja prelaska iz jednih CAD aktivnosti u druge korištenjem Markovljevih matrica. Opisanim razinama granularnosti je klasifikacija aktivnosti značajno pomogla u procesu analize podataka te pružanju uvida u kolaboraciju i tijek modeliranja prilikom rada u MUCAD okruženju.

6.2. Metodologija za analizu CAD aktivnosti

Predložena metodologija je ispunila sve ciljeve analize CAD podataka postavljene u prvom koraku. Naime, kolaboracija unutar razvojnih timova je uspješno kvantificirana, individualni doprinosi i udjeli korištenja kategorija CAD aktivnosti određeni te pojedini CAD obrasci identificirani. Nadalje, pokazano je i da su preostali koraci predložene metodologije dovoljni za uspješno generiranje rezultata analize. Kao što je već spomenuto, klasifikacija aktivnosti je omogućila provedbu analize podataka o CAD aktivnostima na različitim razinama granularnosti. Odabrano MUCAD okruženje je dalo osnovu za provođenje analize kolaboracije te omogućilo neintruzivno prikupljanje podataka o izvršenim CAD aktivnostima. Nadalje, priprema prikupljenih podataka je omogućila provođenje vjerodostojne analize podataka u točno prethodno definiranom opsegu istraživanja. Konačno, analiza podataka o CAD aktivnostima je generirala rezultate koji su poslužili za razumijevanje kolaboracije i tijeka modeliranja unutar MUCAD okruženja. Provođenjem regresijske analize ukupnog broja CAD aktivnosti izvršenih od strane individualnog korisnika naspram utrošenih sati istog, utvrđen je disbalans u doprinosu određenih korisnika timu. Predložena metodologija pomaže identifikaciji takvih slučajeva čime se izoliranjem potonjih mogu smanjiti troškovi razvojnih procesa.

6.3. Rezultati analize podataka

Unutar okvira ovog istraživanja analiziran je ukupan broj izvršenih CAD aktivnosti pojedinih timova naspram bodova koji su im dodijeljeni na temelju generiranih konačnih CAD modela u kontekstu kvalitete i funkcionalnosti istih. Kvalitetu i funkcionalnost CAD modela karakterizira uporabljivost u kontekstu procesa razvoja proizvoda te mogućnost jednostavnih daljnjih preinaka i modifikacija. Rezultati su pokazali kako timovi s manje izvršenih CAD aktivnosti generiraju konačne CAD modele lošije kvalitete u odnosu na timove s većim brojem izvršenih aktivnosti. Provedeno istraživanje od strane Johnson i dr. [39] pokazalo je kako iskustvo korelira s kvalitetom i funkcionalnošću CAD modela. Nadovezujući se, istraživanje Bhavnani i dr. [48] dokazuje kako iskusniji korisnici pokazuju tendenciju korištenja većeg broja CAD aktivnosti. Usporedbom dobivenih rezultata s navedenim istraživanjima te povlačenjem

zaključaka, utvrđeno je kako uistinu postoji povezanost između količine izvršenih CAD aktivnosti te konačne kvalitete i funkcionalnosti CAD modela.

Nadalje, od Bhavnani i dr. [48] je preuzeta metrika omjera između korištenih CAD aktivnosti iz domene modificiranja geometrijskih značajki naspram aktivnosti iz domene brisanja geometrijskih značajki CAD modela. Nakon provedene analize s navedenom metrikom, provedena je direktna usporedba rezultata tri tima koja su izvršila najviše CAD aktivnosti, te koja su, prema prethodnom zaključku [39,48], generirala kvalitetniji CAD model, naspram tri tima koja su izvršila najmanje aktivnosti. Od tri tima koja su generirala kvalitetnije CAD modele, dva su imala omjer modificiranja naspram brisanja veći od prosjeka, dok je treći tim bio netom ispod prosjeka. S druge strane, od tri tima koja su generirala CAD modele manje kvalitete, dva tima su se našla ispod prosjeka, od kojih je jedan imao ukupno najmanji omjer. Važno je napomenuti kako se drugi po redu tim s najmanjim omjerom također nalazi u donjem dijelu skupine timova prema kvaliteti konačnog CAD modela. Usporedba rezultata je pokazala većinsko poklapanje sa zaključcima Bhavnani i dr. [48] koji utvrđuju kako su kvalitetniji CAD modeli generirani od strane iskusnijih korisnika koji preferiraju korištenje CAD aktivnosti koje omogućuju modifikacije geometrijskih značajki CAD modela. S druge strane, otkriveno je kako se neiskusniji korisnici rjeđe okreću tim CAD aktivnostima u usporedbi s iskusnijim korisnicima te češće od njih odabiru aktivnosti koje omogućuju brisanje geometrijskih značajki CAD modela.

Analizom ukupne uporabe CAD aktivnosti od strane svih 14 timova koji su sudjelovali u projektnom kolegiju generirana je prosječna vrijednost uporabe pojedine kategorije CAD aktivnosti. Rezultati su prikazali kako su najviše korištene aktivnosti u kontekstu dodavanja geometrijskih značajki dijelovima i sklopu, modificiranju dijelova te poništavanju aktivnosti. Nadalje, provedena je analiza raspona korištenja CAD kategorija u kontekstu pojedinačnih timova. Utvrđeno je kako su navedene aktivnosti, osim što su korištene puno, korištene podjednako unutar svih timova. S druge strane nalaze se kategorije *Viewing i Organizing-Design* čiji raspon korištenja između timova varira i do 20 %. Time se dolazi do zaključka kako su ove dvije kategorije CAD aktivnosti ovisne o pristupu CAD modeliranju timova te nisu

nužne za generiranje konačno CAD modela, dok kategorije *creating* i *editing* sadrže ključne aktivnosti svakog procesa modeliranja. Do istog zaključka za *Viewing*, *creating* i *editing* kategorije su došli Gopsill i dr. [28].

S ciljem identifikacije obrazaca tijekom modeliranja, pomoću *boxplot* dijagrama analiziran je udio korištenja pojedinih CAD kategorija kroz kvartale. Rezultati su pokazali kako udjeli uporabe kategorija povezanih uz *Part* postepeno padaju kroz kvartale, dok kategorije povezane uz *Assembly* za to isto vrijeme rastu. Time se može zaključiti kako su studenti primarno primjenjivali „Bottom-up“ pristupa CAD modeliranju.

Od drugih kategorija, zanimljivo otkriće predstavlja da *Reversing* kategorija bilježi konstantnu vrijednost od 17 % kroz sve kvartale što znači da su timovi kontinuirano poništavali aktivnosti. Kako nema pada udjela navedene kategorije, može se zaključiti kako do poništavanja aktivnosti ne dolazi uslijed prilagodbe na korištenje novog softvera.

Nadalje, provedena je analiza raspona udjela uporabe CAD kategorija u kontekstu najboljih i najlošijih timova. Navedena analiza prikazuje kako lošiji timovi u početku procesa oblikovanja generiraju veći udio geometrijskih značajki u kontekstu *Part*-a od boljih timova. No, visoka prosječna vrijednost udjela kategorije *Editing-Part* implicira na to da su generirani dijelovi bili podloženi znatnom broju modifikaciju što dovodi u pitanje kvalitetu i funkcionalnost inicijalno generiranih dijelova. Iz navedenog se raspoznaju dva pristupa CAD modeliranju. U prvom pristupu, od strane lošijih timova, je naglasak na generiranju čim većeg broja dijelova te grupiranja istih u sklop u kojem se ne definiraju veze između dijelova. Drugi pristup, od strane boljih timova, generira manje geometrijskih značajki u kontekstu *Part*-a na samom početku procesa oblikovanja, no zato ovaj pristup karakterizira modeliranje u kontekstu sklopa od samog početka procesa oblikovanja. Nadalje, u kontekstu *Organizing-Support design process* kategorije, bilježe se veći udjeli kod lošijih timova, na temelju čega se može pretpostaviti kako su bolji timovi efikasnije organizirali svoje radno okruženje.

Tijek CAD modeliranja detaljnije je analiziran korištenjem Markovljevih matrica. Njima je prikazan spektar uporabe CAD aktivnosti od strane pojedinog korisnika. Usporedbom dva člana

istog tima, utvrđeno je kako je raspon aktivnosti člana tima koji ih je izvršio manje uži, dok je kod člana koji je ih je izvršio više širi. Rezultati usporedbe se preklapaju s istraživanjem Bhavnani i dr. [48] koji pronalaze korelaciju između raspona korištenih CAD aktivnosti i kvalitete CAD modeliranja [39,48]. Nadalje, analiza pomoću Markovljevih matrica pomogla je identificirati tijek modeliranja i CAD obrasce, čija je identifikacija prema [49] neizostavan dio analize u svrhu boljeg shvaćanja različitih pristupa modeliranju. Rezultati su pokazali kako ispitanik koristi napredne značajke *Onshape*-a koje pripadaju aktivnostima *Organizing-Design* kategorije. Također, očituje se kako ispitanik koristi modificiranje *parta*-a u kontekstu sklopa te stvara verzije što ukazuje na testiranje različitih varijacija konačnog CAD modela. Nadalje, bilježi se aktivnost manipulacije dijelovima tijekom modificiranja modela. Posljedično, to ukazuje na kompleksnu geometriju *part*-a te vjerojatnost korištenja „Multi-Part“ značajki koje omogućuju modeliranje više dijelova sklopa unutar jedne *part* datoteke.

Rezultati dobiveni analizom kvartalne distribucije izvršenih CAD aktivnosti te provedbe regresijske analize pružili su uvid u doprinos pojedinog člana timu. Kvartalna distribucija prikazuje u kojem je periodu razvoja konačnog CAD modela u kontekstu izvršenih CAD aktivnosti ispitanik sudjelovao dok regresijska analiza prikazuje odnos ukupno izvršenih CAD aktivnosti od strane korisnika naspram njegovom utrošenom vremenu na izvršavanje istih. Rezultati su pokazali širok raspon načina kolaboracije. Generiranim dijagramom regresijske analize, identificirani su timovi unutar kojih su svi članovi ravnomjerno doprinijeli izvršenim CAD aktivnostima te utrošenim vremenom. Nadalje, unakrsnim referenciranjem s dijagramom kvartalne distribucije, otkriveno je kako se ti timovi dijele na one čija je kvartalna distribucija podjednaka te one čiji su se članovi upotpunjavali, odnosno pojedini članovi su bilježili iznimno visok broj izvršenih aktivnosti u jednom kvartalu te iznimno nizak u drugom. Opservacija koja je zapažena ovdje je kako su potonji vjerojatno minimalno koristili kolaboracijske mogućnosti softvera zbog visoke koncentracije aktivnosti pojedinog člana po kvartalu. S druge strane, kod timova čija je kvartalna raspodjela ujednačenija, može se naslutiti kako su češće koristili kolaborativne značajke te radili istovremeno. Shodno tome, ovaj aspekt je identificiran kao predmet budućeg istraživanja.

Nadalje, identificirani su i timovi gdje su dva ispitanika izvršila veći udio ukupnog broja CAD aktivnosti te timovi gdje je jedan ispitanik zabilježio čak i do 2,5 puta više CAD aktivnosti te do dva puta više utrošenog vremena od preostalih članova tima zajedno. S obzirom kako su se navedeni ispitanici smjestili netom iznad pripadajućih regresijskih pravaca, utvrđeno je kako ovdje nije riječ o praznom hodu. Usred ovakvih situacija može doći do frustracija uslijed neravnomjerne raspodjele aktivnosti unutar članova tima koje su identificirane i u istraživanju Eves i dr. [45]. Navedenim nepovoljnim raspodjelama aktivnosti dolazi do neželjenog scenarija u kolaboraciji unutar razvojnih timova, odnosno neravnomjerne distribucije aktivnosti.

Provođenjem regresijske analize, utvrđeno je kako najstrijmiji regresijski pravac pripada skupini timova s najviše ukupno izvršenih CAD aktivnosti, što drugim riječima znači da navedeni timovi izvršavaju veći broj aktivnosti u kraćem vremenu od preostalih timova. A već je prema prethodno navedenim istraživanjima [39,48] utvrđeno kako je broj izvršenih CAD aktivnosti u korelaciji s kvalitetom konačnog CAD modela. Na temelju dobivenih rezultata, zaključuje kako su učinkovitost, odnosno generiranje kvalitetnijih CAD modela u što kraćem vremenu CAD modeliranja i kvaliteta konačnog CAD modela razmjerne veličine. Dobiveni rezultati su oprečni od onih Arshad i dr. [30] koji su u timovima modelirali unutar MUCAD okruženja te identificirali obrnuto razmjernu vezu između brzine i kvalitete modeliranja. No, razlika u rezultatima se može pripisati tome što su oni u svom istraživanju imali vremensko ograničenje procesa modeliranja.

Iako su u opsegu ovog istraživanja uključeni samo MUCAD timova od tri člana, rezultatima iz poglavlja analize individualnog rada, kako je već prethodno spomenuto, otkriveno je kako su unutar dva određena tima pojedinci značajnije doprinijeli konačnom CAD modelu od svojih kolega. Iako se ova vrsta rada ne može u potpunosti okarakterizirati kao individualna, može se napraviti djelomična usporedba s istraživanjem Stone i dr. [46] koji usporedbom performansi MUCAD timova od troje članova naspram individualnih korisnika otkrivaju kako su MUCAD timovi bili brži u izvršavanju CAD zadataka. Također, može se usporediti takav način kolaboracije s preostalima iz ovog istraživanja. Ispitanici se nalaze netom iznad pripadajućih regresijskih linija (maksimalna i prosječna), dok se troje od četvero kolega navedenih ispitanika

nalaze ispod regresijske linije kojoj pripadaju najlošiji timovi u kontekstu izvršenih CAD aktivnosti, odnosno kvalitete CAD modela, te u kontekstu utrošenog vremena, odnosno brzine modeliranja. Prema tim rezultatima, potvrđuju se rezultati Stone i dr. [46]. Nadalje, postaje uopće upitno jesu li takvi individualci svojim aktivnostima doprinijeli ili još dodatno odmorili generiranju konačnog CAD modela.

7. Zaključak

Ovim radom predložena je metodologija koja na temelju neinvazivnog praćenja rada omogućuje proučavanje kolaborativnog modeliranja u CAD okruženju, proučavanje kolaboracije te prepoznavanje različitih obrazaca tijekom modeliranja. Korištenjem predložene kategorije, bilo je moguće provesti analizu podataka o korištenim CAD aktivnostima unutar MUCAD okruženja od strane studenata tijekom razvojnog projekta projektnog kolegija. Provođenje analize podataka su omogućili raniji koraci same metodologije. Naime, odabir *Onshape* računalnog alata kao CAD okruženja korištenog za potrebe eksperimenta je omogućio kolaboraciju tijekom modeliranja unutar višekorisničkog CAD okruženja kao i mogućnost neintruzivnog prikupljanja podataka o CAD aktivnostima. S ciljem provođenja temeljita analize podataka, razvijena je klasifikacija CAD aktivnosti koja je omogućila provedbu analize podataka na četiri različite razine granularnosti.

Provođenjem analize podataka prikupljenih tijekom rada ispitanika na razvojnom projektu, bilo je moguće analizirati i interpretirati korištene CAD aktivnosti zabilježene u tom periodu. Analizom i interpretacijom rezultata, donijeti su zaključci u kontekstu kvalitete konačnih CAD modela. Pomoću analize ukupnog broja izvršenih CAD aktivnosti članova pojedinog tima naspram broja dodijeljenih bodova za kvalitetu i funkcionalnost CAD modela, utvrđeno je kako timovi s manje izvršenih CAD aktivnosti generiraju konačne CAD modele lošije kvalitete u odnosu na timove s većim brojem izvršenih aktivnosti. Nadalje, korištenjem metrike omjera izvršenih CAD aktivnosti modificiranja geometrijskih značajki naspram brisanja istih, preuzete od Bhavnani i dr. [48] utvrđeno je kako su timovi koji su generirali kvalitetnije CAD modele imali veći omjer. Daljnjim provođenjem regresijske analize na individualnoj razini je utvrđeno kako je veća učinkovitost modeliranja, u kontekstu izvršavanja čim većeg broja CAD aktivnosti u kraćem vremenskom razdoblju, povezana s većim ukupnim brojem izvršenih CAD aktivnosti pojedinog korisnika.

Metodologija je validirana provođenjem studije slučaja te je istraživači mogu koristiti s ciljem provođenja analize podataka o CAD aktivnostima provođenim od strane inženjera tijekom

razvojnih projekata. Rezultati prikazani u ovom istraživanju mogu biti od značajne pomoći istraživačima u svrhu vizualizacije i procjene količine i raspodjele izvršenih CAD aktivnosti između pojedinih timova, kao i članova razvojnih projekata. Navedeni uvidi mogu također pomoći istraživačima u razvijanju tijeka modeliranja optimalnog za potrebe MUCAD kolaboracije.

Implikacije za daljnje istraživanje uključuju detaljniju procjenu konačnog CAD modela (npr. korištene geometrijske značajke tijekom modeliranja) te kvantificiranje sinkronog i paralelnog rada između korisnika gdje je sinkroni rad definiran kao istovremeno modeliranje istog *part*-a u istom radnom okruženju, dok je paralelni rad definiran kao istovremeno modeliranje različitih *part*-ova u različitim radnim okruženjima. Implikacije također uključuju i implementaciju tranzicijskih matrica u Markovljevim lancima koje omogućuju praćenje redoslijeda n broja aktivnosti u nizu tijekom modeliranja, za razliku od dvije aktivnosti prikazane u ovom istraživanju. Time se može omogućiti bolja osnova za identificiranje obrazaca tijekom CAD modeliranja.

LITERATURA

- [1] L.L. Gilson, M.T. Maynard, N.C. Jones Young, M. Vartiainen, M. Hakonen, Virtual Teams Research: 10 Years, 10 Themes, and 10 Opportunities, *Journal of Management*. 41 (2014) 1313–1337. <https://doi.org/10.1177/0149206314559946>.
- [2] M. Sosa, Where Do Creative Interactions Come From? The Role of Tie Content and Social Networks, *Organization Science*. 22 (2011) 1–21. <https://doi.org/10.1287/orsc.1090.0519>.
- [3] F. Siebdrat, M. Hoegl, H. Ernst, How to Manage Virtual Teams, *MIT Sloan Management Review*. 50 (2009).
- [4] S.J. Kline, Innovation Is Not a Linear Process, *Res Manage*. 28 (1985) 36–45.
- [5] P. Parraguez, S. Eppinger, A. Maier, Information Flow Through Stages of Complex Engineering Design Projects: A Dynamic Network Analysis Approach, *IEEE Transactions on Engineering Management*. 62 (2015) 604–617. <https://doi.org/10.1109/TEM.2015.2469680>.
- [6] T.R. Browning, • Ranga, V. Ramasesh, M.J. Neeley, A Survey of Activity Network-Based Process Models for Managing Product Development Projects, 2007.
- [7] C.M. Durugbo, W. Hutabarat, A. Tiwari, J. Alcock, Modelling collaboration using complex networks, *Inf. Sci*. 181 (2011) 3143–3161. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.03.020>.
- [8] M. Sosa, M. Gargiulo, C. Rowles, Inter-Team Technical Communication in Complex New Product Development Projects, *SSRN Electronic Journal*. (2012). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1728658>.
- [9] K. Ulrich, S. Eppinger, *Product Design and Development*, 2011.
- [10] C. Eckert, A. Maier, C. McMahon, Communication in design, *Design Process Improvement: A Review of Current Practice*. (2005). https://doi.org/10.1007/978-1-84628-061-0_10.
- [11] L. Blessing, A. Chakrabarti, *DRM, a Design Research Methodology*, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>.
- [12] A. Lundin Rolf A. and Söderholm, Conceptualizing a Projectified Society Discussion of an Eco-Institutional Approach to a Theory on Temporary Organisations, in: C. Lundin Rolf A. and Midler (Ed.), *Projects as Arenas for Renewal and Learning*

- Processes, Springer US, Boston, MA, 1998: pp. 13–23. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5691-6_2.
- [13] M. Hobday, The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems?, *Research Policy*. 29 (2000) 871–893. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00110-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00110-4).
- [14] M. Engwall, No project is an island: linking projects to history and context, *Research Policy*. 32 (2003) 789–808. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00088-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00088-4).
- [15] J.K. Pinto, *The Project Management Institute : project management handbook*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco, 1998.
- [16] G. Reiss, *Project Management Demystified*, Taylor & Francis, 2007. <https://books.google.hr/books?id=OSbHyne4QOUC>.
- [17] A. di Benedetto, Identifying the Key Success Factors in New Product Launch, *Journal of Product Innovation Management*. 16 (2006). [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(99\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(99)00014-4).
- [18] H.J. Thamhain, Managing Risks in Complex Projects, *Project Management Journal*. 44 (2013) 20–35.
- [19] C. Snider, S. Jones, J. Gopsill, L. Shi, B. Hicks, A Framework for the Development of Characteristic Signatures of Engineering Projects, in: 2014.
- [20] Y. Reich, G. Ullmann, M. Loos, L. Leifer, Coaching product development teams: A conceptual foundation for empirical studies, *Research in Engineering Design*. 19 (2008) 205–222. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0046-1>.
- [21] S.G. Cohen, D.E. Bailey, What makes teams work: Group effectiveness research from the shop floor to the executive suite, *Journal of Management*. 23 (1997) 239–290. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0149-2063\(97\)90034-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0149-2063(97)90034-9).
- [22] T. Cooke-Davies, The “real” success factors on projects, *International Journal of Project Management*. 20 (2002) 185–190. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00067-9).
- [23] J. Pollack, The changing paradigm of project management, *International Journal of Project Management*. (2007) 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.08.002>.
- [24] A. Shenhar, D. Dvir, O. Levy, A. Maltz, Project Success: A Multidimensional Strategic Concept, *Long Range Planning*. 34 (2001) 699–725. [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(01\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(01)00097-8).

- [25] A. Davies, T. Brady, Organisational Capabilities and Learning in Complex Product Systems: Towards Repeatable Solutions, *Research Policy*. 29 (2000) 931–953. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00113-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00113-X).
- [26] S.W.J. Kozlowski, B. Bell, Work Groups and Teams in Organizations: Review Update, in: 2013.
- [27] I.E. Sutherland, Sketch Pad a Man-Machine Graphical Communication System, in: *Proceedings of the SHARE Design Automation Workshop*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1964: pp. 6.329–6.346. <https://doi.org/10.1145/800265.810742>.
- [28] J. Gopsill, C. Snider, L. Shi, B. Hicks, Computer-aided design user interaction as a sensor for monitoring engineers and the engineering design process, in: 2016.
- [29] C. Hansen, A. Ozkil, From Idea to Production: A Retrospective and Longitudinal Case Study of Prototypes and Prototyping Strategies, *Journal of Mechanical Design*. 142 (2019) 1–47. <https://doi.org/10.1115/1.4045385>.
- [30] H. Arshad, V.S. Phadnis, A. Olechowski, Paired Computer-Aided Design: The Effect of Collaboration Mode on Differences in Model Quality, Volume 8: 32nd International Conference on Design Theory and Methodology (DTM). (2020).
- [31] A. Velling, Why Every Engineer Should Be Using CAD, (2020).
- [32] Q. Bao, E. Burnell, A. Hughes, M. Yang, Investigating User Emotional Responses To Eco-Feedback Designs, *Journal of Mechanical Design*. 141 (2018). <https://doi.org/10.1115/1.4042007>.
- [33] V. Phadnis, H. Arshad, D. Wallace, A. Olechowski, Are Two Heads Better Than One for Computer-Aided Design?, *Journal of Mechanical Design*. 143 (2021) 1–38. <https://doi.org/10.1115/1.4050734>.
- [34] K.L. Eves, A Comparative Analysis of Computer-Aided Collaborative Design Tools and Methods, *ProQuest Dissertations and Theses*. (2018) 123. <https://search.proquest.com/docview/2445955840?accountid=17242>.
- [35] Y. Deng, M. Mueller, C. Rogers, A. Olechowski, The multi-user computer-aided design collaborative learning framework, *Advanced Engineering Informatics*. 51 (2022) 101446. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101446>.
- [36] N. Horvat, Identifying Indicators for the Use of Virtual Prototypes in Distributed Design Activities, 19 (n.d.) 320–335.

- [37] C. Atman, R. Adams, M. Cardella, J. Turns, S. Mosborg, J. Saleem, Engineering Design Processes: A Comparison of Students and Expert Practitioners, *Journal of Engineering Education*. 96 (2007) 359–379. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00945.x>.
- [38] J. Buckley, N. Seery, D. Canty, Heuristics and CAD modelling: An examination of student behaviour during problem solving episodes within CAD modelling activities, *International Journal of Technology and Design Education*. 29 (2018) 939–956. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9423-2>.
- [39] M. Johnson, E. Ozturk, B. Yalvac, L. Valverde, X. Peng, K. Liu, Examining Adaptive Expertise: A Novel Comparison of Student and Practicing Engineer CAD Modeling Performance, in: 2015: p. V005T05A007. <https://doi.org/10.1115/IMECE2015-50296>.
- [40] K.A. Leonardo, Analyzing Industry Cloud-Computer-Aided Design (CAD) Behaviours to Enhance Teaching Practices Behaviours to Enhance Teaching Practices, 2021.
- [41] M.H. Rahman, C. Schimpf, C. Xie, Z. Sha, A CAD-Based Research Platform for Data-Driven Design Thinking Studies, *Journal of Mechanical Design*. 141 (2019) 1. <https://doi.org/10.1115/1.4044395>.
- [42] H. Otto, F. Mandorli, Parametric Feature-Based Solid Model Deficiency Identification to Support Learning Outcomes Assessment in CAD Education (Full Paper), *Computer-Aided Design and Applications*. 18 (2020) 411–442. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.411-442>.
- [43] K. Kitajima, K. Oikawa, T. Murakami, Study on Feature Analysis of CAD Operation Log and Its Application, in: 2020.
- [44] C. Xie, Z. Zhang, S. Nourian, A. Pallant, S. Bailey, On the Instructional Sensitivity of CAD Logs, *International Journal of Engineering Education*. 30 (2014) 760–778.
- [45] K. Eves, J. Salmon, J. Olsen, F. Fagergren, A comparative analysis of computer-aided design team performance with collaboration software, *Computer-Aided Design and Applications*. 15 (2018) 476–487. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1419649>.
- [46] B. Stone, J. Salmon, K. Eves, M. Killian, L. Wright, J. Oldroyd, S. Gorrell, M. Richey, A Multi-User Computer-Aided Design Competition: Experimental Findings and Analysis of Team-Member Dynamics, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 17 (2017). <https://doi.org/10.1115/1.4035674>.
- [47] B. Stone, J. Salmon, A. Hepworth, E. Red, M. Killian, Methods for Determining the Optimal Number of Simultaneous Contributors for Multi-user CAD Parts, 2016. <https://doi.org/10.14733/cadconfP.2016.189-193>.

- [48] S. Bhavnani, J. Garrett, J. Shaw, Leading Indicators of CAD Experience, CAAD Futures '93 [Conference Proceedings / ISBN 0-444-89922-7] (Pittsburgh / USA), 1993, Pp. 313-334. (2008).
- [49] C. McComb, J. Cagan, K. Kotovsky, Utilizing Markov Chains to Understand Operation Sequencing in Design Tasks, in: 2016.

ZAHVALE

Ovaj rad financira Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt IP-2018-01-7269: *Team Adaptability for Innovation-Oriented Product Development – TAIDE*.

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Stanku Škecu na pruženoj prilici, savjetima, motivaciji i pomoći prilikom izrade ovoga rada.

Zahvaljujem Nikoli Horvatu, mag.ing.mech. na pomoći u provođenju eksperimentalnoga dijela rada na FSB-u.

SAŽETAK

Robert Celjak

Prepoznavanje obrazaca kolaborativnog CAD modeliranja tijekom razvojnih projekata

Ključne riječi: Višekorisničko računalom potpomognuto konstruiranje, neinvazivno praćenje, razvoj proizvoda, kolaboracija

Korištenje CAD (eng. *Computer Aided Design*) modeliranja nužno je za uspješnu provedbu kasnijih faza razvoja proizvoda. Međutim, tradicionalni CAD računalni alati omogućuju asinkroni rad, u kojem samo jedan član može raditi izmjene na CAD modelu. S razvojem računarstva u oblaku omogućena je nova paradigma u CAD kolaboraciji - višekorisničko računalom potpomognuto konstruiranje (npr. sinkroni rad). Kako bi se identificirali prednosti i nedostaci novog načina rada, ključno je pratiti proces modeliranja u tom kontekstu. Ovaj rad predlaže metodologiju koja na temelju neinvazivnog praćenja rada omogućuje proučavanje kolaborativnog modeliranja u CAD okruženju, a time i identifikaciju obrazaca. U okviru metodologije, predložena je i klasifikacija CAD aktivnosti koja služi kao osnova za analizu. Kao podrška metodologiji, razvijen je računalni kod koji kategorizira i analizira identificirane CAD aktivnosti. Predložena metodologija je validirana provođenjem studije slučaja koja je uključivala 14 timova koji su u okviru razvojnih projekata izvršili oko 91 000 CAD aktivnosti. Rezultati pokazuju da timovi s manje izvršenih CAD aktivnosti generiraju CAD modele lošije kvalitete u odnosu na timove s većim brojem izvršenih aktivnosti. Također, utvrđeno je da timovi koji su generirali kvalitetnije CAD modele bilježe veći omjer CAD aktivnosti modificiranja i brisanja. Tijekom modeliranja, timovima se smanjuje broj CAD aktivnosti kreiranja i modificiranja na razini komponente, dok se povećavaju aktivnosti na razini sklopa. Konačno, timovi pokazuju razlike u individualnom doprinosu pojedinaca. Prikazani rezultati omogućuju razvojnim timovima bolje razumijevanje kolaborativnog CAD modeliranja, dok validirana metodologija pruža istraživačima osnovu za analizu CAD aktivnosti u svrhu razumijevanja kolaboracije i pristupa modeliranju tijekom razvojnih projekata.

SUMMARY

Robert Celjak

Identification of collaborative CAD modelling patterns in product development projects

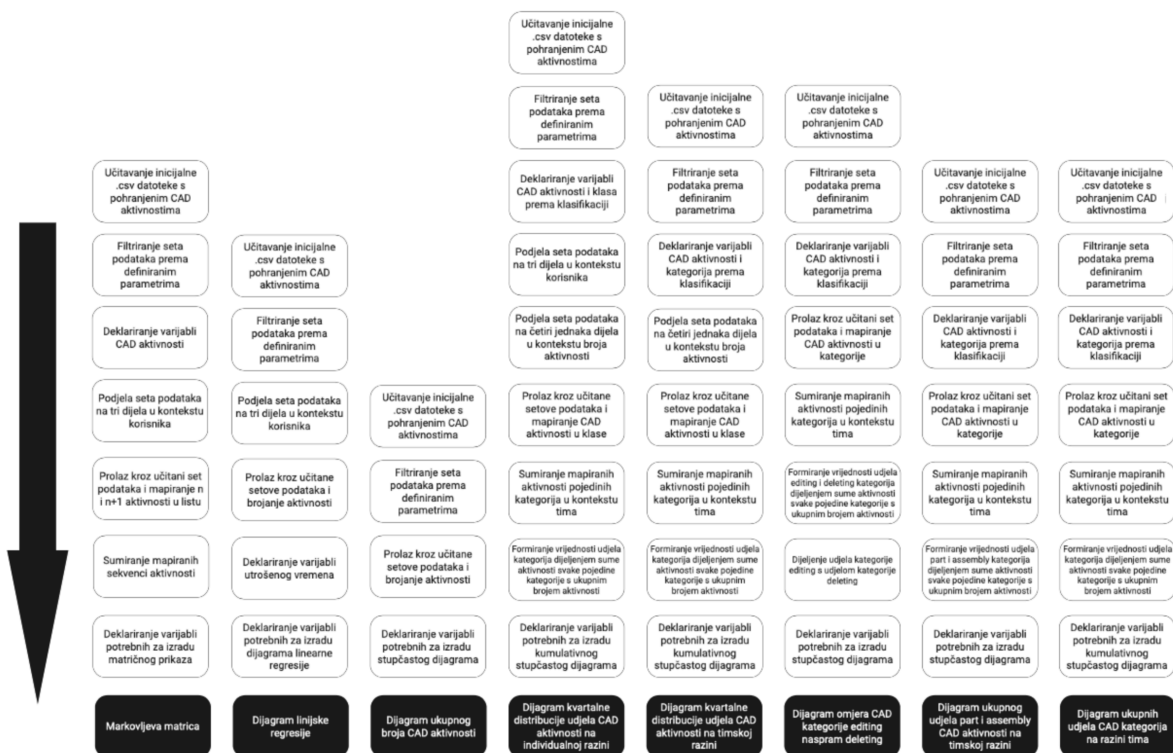
Keywords: Multi-user CAD (MUCAD), non-invasive monitoring, product development, collaboration

The use of CAD (Computer-Aided Design) modelling is necessary for the successful implementation of later stages of product development. However, traditional CAD tools enable asynchronous operation, in which making changes to the CAD model is limited to only one member. The development of cloud computing allows a new paradigm of CAD collaboration - Multi-user CAD (e.g. synchronous work). To identify the advantages and disadvantages of the new way of working, it is crucial to follow the modelling process in this context. This paper proposes a methodology that, based on non-invasive work monitoring, enables the study of collaborative modelling in a CAD environment, and thus the identification of patterns. Within the methodology, classification of CAD activities is proposed, which serves as a basis for analysis. To support the methodology, computer code has been developed that categorizes and analyzes identified CAD activities. The methodology was validated by conducting a case study that included 14 development teams, which performed around 90000 CAD actions within the development project. The results show that teams with less CAD activity generate CAD models of poorer quality compared to teams with more activity performed. Also, it was found that teams that generated better quality CAD models recorded a higher ratio of CAD modification and deletion activities. During modelling, teams decrease the number of CAD creation and modification activities at the component level, while increasing the activity at the assembly level. Finally, teams show differences in individual contributions. The presented results allow development teams to better understand collaborative CAD modelling while the validated methodology provides researchers with a basis for analyzing CAD activities to understand collaboration and approach modelling during development projects.

PRILOG

Kao prvi dodatak ovom radu, ubačen je pregled koraka koda za analizu CAD aktivnosti. Također, u prilog su umetnute linije koda značajne za rezultate ovog rada, dok se čitav kod korišten tijekom ovog istraživanja nalazi na sljedećoj poveznici: <https://github.com/robert216951/MUCAD.git>.

Koraci koda za analizu CAD aktivnosti



Filtriranje CAD aktivnosti

```
for filename in os.scandir(directory_multi):
    if filename.is_file():
        if filename.path.endswith(".csv"):
            print(filename.path)
            df = pd.read_csv(filename.path)
            df['Time'] = pd.to_datetime(df['Time'])
            df = df.loc[(df['User'].str.contains('@stud.fsb.hr')) & (
                ~df['Document'].str.contains('crtez|drawing')) & (
                ~df['Description'].str.contains('Drawing|drawing|BOM')) &
```

```
(df["Time"] < '2021-12-13 08:00:00') & (
    ~df['Tab'].str.contains('Drawing|BOM', na=False)) & (
        df['Description'].str.contains(actions))
df1 = df.iloc[:, :-1]
df1.drop(df1.columns[0], axis=1, inplace=True)
df1.to_csv(directory_multi_stud + '{}'.format(filename.name),
index=False)
```

Klasifikacija CAD aktivnosti

```
def classify_action_type(action: str) -> int:
    # Creating-Part
    if action in ["Add part studio feature", "Copy paste sketch"]:
        return 0
    # Creating-Assembly
    if action in ["Add assembly feature", "Add assembly instance", "Linked
document insert"] or ("Paste :" in action):
        return 1
    # Editing-Part
    elif action in ["Start edit of part studio feature"] or ("Move :" in
action or "Move to origin :" in action):
        return 2
    # Editing-Assembly
    elif action in ["Start edit of assembly feature", "Set mate values",
"Start assembly drag", "Load named position"] or (
        "Fix :" in action or "Unfix :" in action or "Replace :" in
action or "Suppress :" in action or
        "Unsuppress :" in action or
        "Configure suppression state" in action):
        return 3
    # Editing-Non-geometry
    elif "Assign material :" in action or "Change part appearance :" in
action:
        return 4
    # Deleting-Part
    elif action in ["Delete part studio feature"]:
        return 5
    # Deleting-Assembly
    elif action in ["Delete assembly feature", "Delete assembly instance"]:
        return 6
    # Reversing
    elif action in ["Cancel Operation", "Undo Redo Operation", "Reset mates
to initial positions",
        "Restore Document From History"]:
        return 7
    # Organizing-Design
    elif action in ["Copy workspace", "Branch Workspace", "Create version",
"Change configuration", "Edit configuration table"] or (
        "Restructure :" in action or "Select context :" in action or
"Update context :" in action) or ("Metadata" in action and "updated" in
action):
        return 8
```

```

# Organizing-Support design process
elif action in ["Update document description", "Move document", "Change
properties", "Comment on a Document"] or (
    "Tab" in action and (
        "created" in action or "deleted" in action or "renamed" in
action or "moved" in action)) or (
    "Rename part :" in action or "Rename document :" in action or
"Create new folder :" in action or "Change Description :" in action or
"Change Vendor :" in action):
    return 9
# Viewing
elif action in ["Animate action called"] or (
    "Show :" in action or "Hide :" in action or "Use automatic
tessellation setting :" in action or "Use best available tessellation :" in
action):
    return 10
else:
    return -1

```

Mapiranje CAD aktivnosti

```

def aggregate_count(reader: iter, file_name: str, separate_users=False) ->
Dict:
    empty_count = [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]]
    next(reader)
    if not separate_users:
        count = empty_count
    else:
        count = {}
    for row in reader:
        action_type =
action_classification.classify_action_type(row[4].strip())
        if action_type >= 0:
            if not separate_users:
                count[0][action_type] += 1
            else:
                user = file_name + '/' + row[4].strip().split("@")[0]
                if user not in count:
                    count[user] = empty_count
                count[user][1][action_type] += 1
    if separate_users:
        return count
    else:
        return {file_name: count}

```

Dijagram kvartalne distribucije na timskoj razini

```

def action_plot_team(save_fig="") -> None:
    df = pd.read_csv("sample_outputs_index_teams/Graph/graf.csv")
    category_names = ["Creating-Part", "Creating-Assembly", "Editing-Part",
"Editing-Assembly",
    "Editing-Non-geometry", "Deleting-Part", "Deleting-Assembly",

```

```

"Reversing", "Organizing-Design",
    "Organizing-Support design process", "Viewing"]
fig_size = (14, 8)
data = df[category_names].to_numpy(dtype=float)
user_labels = df['index'].to_numpy(dtype=str)
data_labels = df[category_names].to_numpy(dtype=int)
data_labels = np.where(data_labels <= 0, ' ', data_labels)

for i in range(len(data)):
    temp_sum = sum(data[i])
    if temp_sum == 0:
        for j in range(11):
            data[i][j] = temp_sum
    else:
        for j in range(11):
            data[i][j] /= temp_sum

fig, ax = plt.subplots(figsize=fig_size)
category_colors = plt.get_cmap('cubehelix')(np.linspace(0.15, 0.85,
data.shape[1])) # Set colour

# ax.invert_xaxis()
# ax.set_ylim(0, 1)
# ax.set_xlabel("Users") # label na x osi
ax.yaxis.set_major_formatter(mtick.PercentFormatter(1.0))
# print(data)
data_cum = data.cumsum(axis=1)
# print(data_cum)
for i, (colname, color) in enumerate(zip(category_names,
category_colors)):
    widths = data[:, i]
    starts = data_cum[:, i] - widths
    rects = ax.bar(user_labels, widths, bottom=starts, label=colname,
width=0.4, color=color, edgecolor='black',
linewidth=1.25)
    # ax.bar_label(rects, labels=data_labels[:, i],
label_type='center', color="black")

ax.legend(ncol=6, bbox_to_anchor=(0, 1.02, 1, 0.2), loc='lower left',
mode='expand', fontsize=11.5)
# ax.yaxis.set_major_formatter(ticker.PercentFormatter(ymax=1))
plt.yticks(fontsize=16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.tight_layout()
if save_fig:
    plt.savefig(save_fig, bbox_inches='tight')

```