

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Marko Brnčić

**Utjecaj virtualne stvarnosti na
kolaborativni pregled konstrukcije**

Zagreb, 2023.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr.sc. Tomislava Martineca i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2022./2023.

POPIS KRATICA

ANOVA – analiza varijanci (*engl. Analysis of Variance*)

CAD – konstruiranje pomoću računala (*engl. Computer Aided Design*)

CAVE – *engl. Cave Automatic Virtual Environment*

HMD – zaslon pričvršćen na glavu (*engl. Head-Mounted Display*)

IVE – imerzivna virtualna okolina (*engl. Immersive Virtual Environment*)

nIVE – neimerzivna virtualna okolina (*engl. non-Immersive Virtual Environment*)

VR – virtualna stvarnost (*engl. Virtual Reality*)

SADRŽAJ

POPIS KRATICA	I
SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	VI
1. UVOD I MOTIVACIJA	1
1.1. Ciljevi rada i istraživačka pitanja.....	2
2. PREGLED LITERATURE.....	4
2.1. Pregled konstrukcije.....	4
2.2. Virtualna stvarnost	7
2.3. Uporaba virtualne stvarnosti za pregled konstrukcija.....	8
3. METODOLOGIJA	11
3.1. Eksperiment – pregled konstrukcije.....	12
3.2. Priprema podataka.....	17
3.2.1. Analiza protokola.....	18
3.2.2. Priprema dokumenata s povratnim informacijama	20
3.2.3. Priprema ocjena konstrukcija.....	21
3.2.4. Pripremljeni podaci	22
3.3. Analiza podataka.....	22
4. REZULTATI	25
4.1. Analiza podataka na razini sesija	26
4.2. Analiza podataka na razini tema	30
4.2.1. Udio tema vezanih s ciljem sesije	32
4.2.2. Udio tema vezanih s prijavljenim greškama	33
4.3. Analiza podataka na razini akcija	34
4.3.1. Udio akcija vezanih s ciljem sesije	35
4.3.2. Udio akcija vezanih s prijavljenim greškama	36
4.4. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova.....	37
4.4.1. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini sesija.....	37
4.4.2. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini tema.....	39
4.4.3. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini akcija	41
5. DISKUSIJA	43
5.1. Utjecaj umerzivnosti na pregled konstrukcije.....	43
5.2. Utjecaj cilja sesije na pregled konstrukcije.....	44
5.3. Utjecaj kvalitete konstrukcije na pregled konstrukcije	45
5.4. Ograničenja	45
6. ZAKLJUČAK.....	47
LITERATURA.....	48
ZAHVALE	54
SAŽETAK.....	55

SUMMARY	56
PRILOZI.....	57
Isječak <i>Python</i> koda – analiza podataka.....	57
Primjer zadatka zadanog studentima.....	60

POPIS SLIKA

Slika 1 Razine razvojnog procesa prema McMahon-u [18].....	5
Slika 2 Tipovi VR sustava (gore lijevo: <i>Powerwall</i> , gore desno: <i>HTC VIVE HMD</i> , dolje: CAVE) [31]	8
Slika 3 Pregled konstrukcije u Wolfartsberger-ovom eksperimentu (lijevo nIVE, desno – IVE) [37]	9
Slika 4 Patenti prema kojima su studenti konstruirali kolica	11
Slika 5 Redoslijed zadataka tijekom kolegija	12
Slika 6 Eksperimentalna postava za sesije u nIVE-u	14
Slika 7 Pregled konstrukcije u neimerzivnom virtualnom okruženju (nIVE).....	15
Slika Eksperimentalna postava za sesije u IVE-u	15
Slika Pregled konstrukcije u imerzivnom virtualnom okruženju (IVE)	16
Slika 10 Eksperimentalna procedura.....	17
Slika 11 Proces pripreme podataka	18
Slika 12 Slika zaslona segmentacije akcija u <i>ELAN</i> -u (validacijska sesija u nIVE-u)	18
Slika 13 Hijerarhija informacija (lijevo) i hijerarhija elemenata razvojnih procesa prema McMahon-u [18] (desno)	22
Slika 14 Proces analize podataka dvosmjernom mješovitom ANOVA-om	23
Slika 15 Proces statističke analize razlike između bolje i lošije ocijenjenih timova	24
Slika 16 Distribucija ocjena timova	26
Slika 17 Distribucija broja prijavljenih grešaka tijekom pregleda konstrukcije	27
Slika 18 Distribucija broja raspravljenih tema tijekom sesije.....	27
Slika 19 Distribucija broja akcija tijekom sesije	28
Slika 20 Distribucija ukupnog broja riječi tijekom sesije	29
Slika 21 Distribucija prosječnog broja akcija po temi tijekom sesije	30
Slika 22 Distribucija prosječnog broja riječi po temi tijekom sesije.....	31
Slika 23 Distribucija udjela tema koje su vezane uz cilj sesije	32
Slika 24 Distribucija udjela tema koje su vezane uz prijavljene greške	33
Slika 25 Distribucija prosječnog broja riječi po akciji tijekom sesije.....	34
Slika 26 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz cilj sesije	35
Slika 27 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz prijavljene greške.....	36
Slika 28 Distribucija broja prijavljenih grešaka tijekom pregleda konstrukcije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	38
Slika 29 Distribucija broja akcija tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	38
Slika 30 Distribucija ukupnog broja riječi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova.....	39
Slika 31 Distribucija prosječnog broja akcija po temi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	39
Slika 32 Distribucija prosječnog broja riječi po temi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	40
Slika 33 Distribucija udjela tema koje su vezane uz cilj sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	40
Slika 34 Distribucija udjela tema koje su vezane uz prijavljene greške – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	41

Slika 35 Distribucija prosječnog broja riječi po akciji tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	41
Slika 36 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz cilj sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	42
Slika 37 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz prijavljene greške – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova	42

POPIS TABLICA

Tablica 1 Usmjeravajuća pitanja koja su timovi imali tijekom pregleda.....	13
Tablica 2 Isječak kodiranih podataka (validacijska sesija u nIVE)	20
Tablica 3 Primjer povratnih informacija jedne slike zaslona (verifikacijska sesija u nIVE-u) 21	
Tablica 4 Testovi provedeni za provjeru pretpostavki statističke analize.....	23
Tablica 5 Sažetak podataka o sesija u nIVE-u	25
Tablica 6 Sažetak podataka o sesija u IVE-u	25
Tablica 7 Sažetak statističke analize bolje i lošije ocijenjenih timova	37

1. UVOD I MOTIVACIJA

Pregledi konstrukcija su važne aktivnosti u procesu razvoja proizvoda [1]. Pregledavanje konstrukcije razvojnim inženjerima pruža važne povratne informacije o trenutnom stanju konstrukcije i o planovima za daljnji razvoj proizvoda [2]. Te povratne informacije mogu biti vezane uz razne zahtjeve kao što su funkcionalni, proizvodni, ergonomski, geometrijski zahtjevi i slično [3]. Iako pregledi konstrukcija predstavljaju jedne od osnovnih razvojnih aktivnosti tijekom kojih se donose važne odluke [2], do sada nisu često bile predmet istraživanja u dostupnoj literaturi [1].

Zahtjevi koji se razmatraju pri kreiranju povratnih informacija o trenutnom stanju konstrukcije mogu ovisiti o ciljevima aktivnosti pregleda. Ti ciljevi mogu biti različiti ovisno o fazi razvoja u kojoj se proizvod nalazi, o vrsti proizvoda koji se evaluira, ali i o sudionicima u pregledu [4]. Ako je cilj pregleda ustanoviti ispunjenje postojećih tehničkih zahtjeva za proizvod, takve sesije mogu se nazivati verifikacijskim, a ako je cilj evaluacija ispunjenja korisničkih potreba, sesije se mogu nazivati validacijskim [5]. Neovisno o cilju, tijekom pregleda konstrukcije uobičajeno je poboljšati razumijevanje proizvoda svakog sudionika, preispitivati ispunjenost zahtjeva za proizvod i predlagati buduće korake za razvoj proizvoda [4]. Kako se za potrebe razvoja proizvoda uobičajeno stvaraju digitalni modeli proizvoda, oni se često koriste i u pregledima konstrukcija za prikaz trenutnog stanja proizvoda za lakše razumijevanje proizvoda [6]. Istraživanja ukazuju na to da metode vizualizacije tih digitalnih modela proizvoda utječu na preglede konstrukcija [7]. S obzirom na to da se u industriji učestalo nastoji unaprijediti procese razvoja proizvoda, pa time i preglede konstrukcija [8], važno je proučiti mogu li se aktivnosti pregleda konstrukcije poboljšati primjenom različitih tehnologija za vizualizaciju.

Naime, trenutno je još uvijek uobičajeno za vizualizaciju digitalnih modela koristiti alate za konstruiranje pomoću računala (*engl. Computer Aided Design, CAD*) jer se oni koriste i za kreiranje tih istih modela [9]. Virtualna stvarnost (*engl. Virtual Reality, VR*) je novija tehnologija koja postaje sve popularnija, kako u potrošačkoj industriji [10] tako i u inženjerstvu – uključujući za preglede konstrukcija [11]. Nekoliko različitih tipova VR sustava se primjenjuje u svrhu pregleda konstrukcije, a razlikuju se s obzirom na razinu imerzivnosti koju pružaju. Imerzivnost je mjera u kojoj tehnologija pruža korisniku osjećaj prisutnosti u virtualnoj okolini [12]. Zbog više razine imerzivnosti VR-a u usporedbi s CAD-om, može se tvrditi da VR omogućuje pristup imerzivnoj virtualnoj okolini (*engl. Immersive Virtual Environment,*

IVE), a CAD neimerzivnoj virtualnoj okolini (*engl. non-Immersive Virtual Environment, nIVE*). VR sustavi koji koriste ekrane pričvršćene na glavu korisnika (*engl. Head-Mounted Display, HMD*) se sve češće primjenjuju u inženjerskim aktivnostima, pa tako i za pregled konstrukcija [13]. HMD uređaji omogućuju stereoskopski vid i paralaksu gibanja unutar virtualne okoline, što korisnicima omogućuje višu imerzivnost finijom percepcijom dubine [14]. Kako VR postaje učestaliji u inženjerskim aktivnostima, pa tako i u pregledima konstrukcija, važno je razumjeti kako imerzivnost utječe na te aktivnosti i kada je takvu tehnologiju prikladno koristiti.

Istraživanja objavljena u dostupnoj literaturi su često promatrala način na koji imerzivnost utječe na ishode pregleda konstrukcije [15], no važno je promatrati i njezin utjecaj na izvođenje same aktivnosti. Naime, u literaturi se mogu pronaći konfliktne spoznaje o utjecaju imerzivnosti na proces pregleda konstrukcije, a neka istraživanja ukazuju i na to da IVE možda poboljšava samo neke aspekte pregleda konstrukcije [16]. Prema tome, nazire se jasna potreba za istraživanjima koja će ispitati utjecaj imerzivnosti na izvođenje pregleda konstrukcije uzimajući u obzir različite ciljeve.

Budući da je verbalna komunikacija dominantni oblik komunikacije tijekom aktivnosti razvojnih procesa [17], proces pregleda konstrukcije moguće je proučavati analizom verbalne komunikacije između članova tima koji provodi pregled. Pri tome je važno uzeti u obzir da se procesi razvoja proizvoda često razlažu na manje dijelove različitih razina granularnosti, ovisno o opsežnosti informacija kojima se bave [18]. Stoga bi razmatranje aktivnosti pregleda konstrukcije bilo poželjno provesti na različitim informacijskim razinama. Konačno, s obzirom na to da i sam proizvod ima utjecaj na pregled konstrukcije [4], možda je korisno proučiti i na koji način kvaliteta trenutnog stanja sličnih proizvoda utječe na pregled konstrukcije, uzimajući u obzir različite ciljeve i razine imerzivnosti.

1.1. Ciljevi rada i istraživačka pitanja

Cilj ovog rada je proučiti utjecaj imerzivnosti na različite aspekte aktivnosti pregleda konstrukcije. U tu svrhu, u radu su istražene razlike između verifikacijskih i validacijskih pregleda konstrukcije u imerzivnoj (IVE) i neimerzivnoj virtualnoj okolini (nIVE). Osim toga, razmatran je i utjecaj kvalitete konstrukcije (pregledavanog proizvoda) na aktivnost pregleda.

Temeljem prethodno opisanih nedostataka u postojećim istraživanjima, postavljena su sljedeća istraživačka pitanja:

1. Na koji način imerzivnost utječe na procese timskog pregleda konstrukcije?
2. Na koji način cilj sesije utječe na procese timskog pregleda konstrukcije?
3. Na koji način kvaliteta pregledavanog proizvoda utječe na procese timskog pregleda konstrukcije?

Kako bi odgovorili na postavljena pitanja, u sljedećem poglavlju su pobliže proučeni pregledi konstrukcija i virtualna stvarnost, kao i trenutna saznanja o utjecaju imerzivnosti na različite aspekte pregleda konstrukcija. Zatim je u 3. poglavlju opisan eksperiment iz kojeg proizlaze podaci koji su analizirani u ovome radu. Osim toga, definiran je proces prikupljanja i detaljno opisan postupak analize podataka. U 4. poglavlju prikazani su rezultati dobiveni analizom podataka, a implikacije tih rezultata opisane u 5. poglavlju. Na kraju, dane su smjernice za daljnja istraživanja kako bi se još više poboljšalo razumijevanje utjecaja imerzivnost na pregled konstrukcije.

2. PREGLED LITERATURE

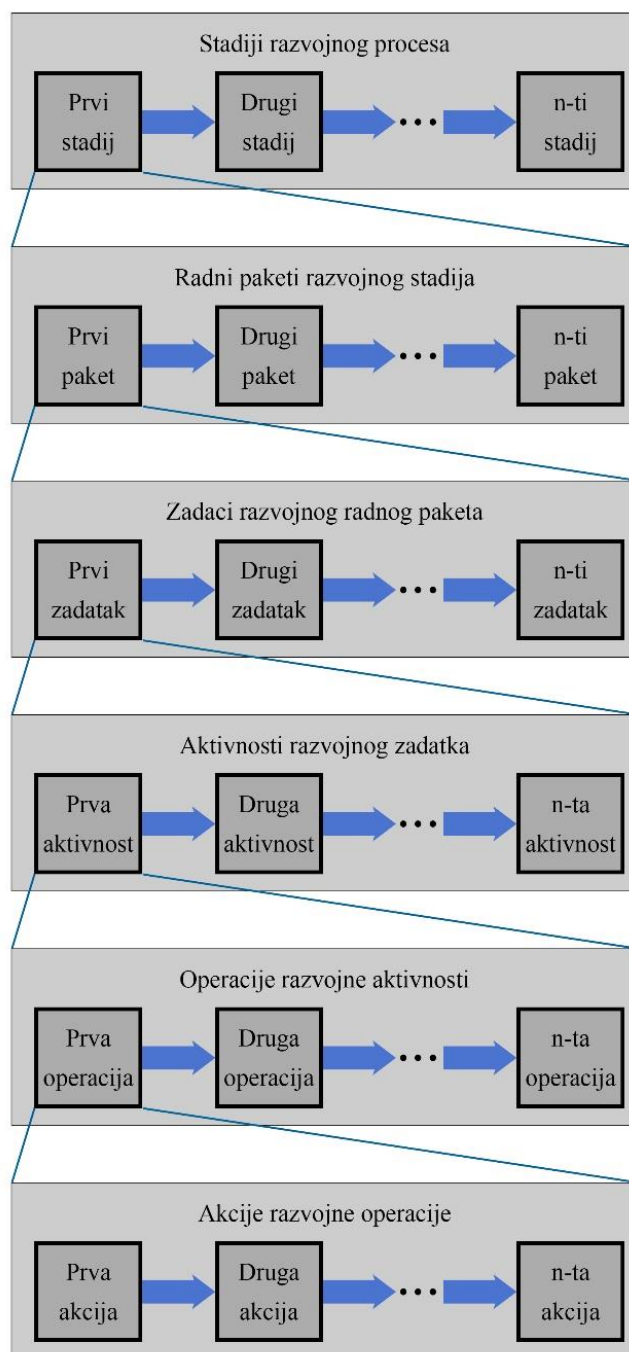
Kako bi mogli evaluirati utjecaj imerzivnosti i cilja sesije na aktivnosti pregleda konstrukcije, važno je sagledati kako se te tehnologije koriste u industriji i razmotriti dosadašnja istraživanja u dostupnoj literaturi. U ovom poglavlju prvo se razmatra što je aktivnost pregleda konstrukcije i koja je važnost te aktivnosti u razvoju proizvoda. Nakon toga je napravljen pregled metoda vizualizacije proizvoda, a detaljnije je razrađena virtualna stvarnost i njezina uporaba u aktivnostima pregleda konstrukcija u razvoju proizvoda.

2.1. Pregled konstrukcije

Pregled konstrukcije je jedna od ključnih aktivnosti tijekom razvoja proizvoda [1]. Različiti modeli procesa razvoja proizvoda, predloženi su u literaturi [19]. Jedan od modela predlaže razlaganje razvojnih procesa na šest razina s obzirom na informacije koje su potrebne za pojedinu razinu [18]. Te razine su: stadij, radni paket, zadaci, aktivnosti, operacije i akcije. Svaka razina se sastoji od jednog ili više idućih elemenata u hijerarhiji, kao što je prikazano na slici 1, a svaka iduća razina raspoložuje užim opsegom informacija. Na razini stadija razmatraj se šira slika proizvoda i što je važno za njega, a stadiji mogu trajati i do nekoliko godina. Na razini radnih paketa mogu se razmatrati neki aspekti proizvoda, npr. konstruiranje, proizvodnja ili marketing. Rješavanje radnih paketa traje kraće nego stadiji, a također može trajati više godina. Na razini zadataka razmatraju se uža zahtjevi za proizvod, npr. konstruiranje mehanizma, stvaranje marketinške kampanje za jedno tržište i slično. Zadaci su dio radnih paketa koji mogu trajati do nekoliko mjeseci. Na razini aktivnosti obrađuju se još uže definirani ciljevi, npr. statička analiza mehanizma, snimanje reklame i sl. Aktivnosti mogu trajati od jednog sata, ili kraće, do nekoliko tjedana. Pregledi konstrukcija su također jedna vrsta aktivnosti. Zatim, na razini operacija, sudionici razvoja proizvoda se bave specifičnim elementima, npr. konstruiranje jednog elementa, analiziranje jedne funkcije proizvoda tijekom pregleda, stvaranje jedne animacije za reklamu i sl. Takve operacije uglavnom traju nekoliko minuta do nekoliko sati. Na najnižoj razini, akcije su samo jedan korak tijekom operacija. To može biti jedan crtež tijekom konstruiranja, jedno pitanje tijekom pregleda konstrukcije, ili snimanje jedne scene za reklamu. Akcije uobičajenu traju nekoliko sekundi do nekoliko minuta.

Jedan od modela koji se odnosi specifično na preglede konstrukcija kategorizira osnovne akcije tijekom pregleda u tri ciklusa: razumijevanje, evaluacija i planiranje [4]. Tijekom ciklusa razumijevanja cilj je objasniti konstrukciju, ili neke elemente konstrukcije, onim sudionicima

koji nisu sudjelovali u razvoju (recenzentima). Tijekom ciklusa evaluacije recenzenti evaluiraju trenutno stanje konstrukcije kako bi utvrdili ispunjava li relevantne zahtjeve. U ciklusu planiranja sudionici zajedno traže rješenja i definiraju buduće korake u razvoju proizvoda. Važno je napomenuti i da su ciklusi često isprepleteni i ponavljaju se tijekom pregleda konstrukcije, a neki od njih se za određene elemente mogu i preskočiti [4].



Slika 1 Razine razvojnog procesa prema McMahon-u [18]

Tijekom pregleda konstrukcije razvojni timovi, a i druge zainteresirane strane, analiziraju konstrukciju kako bi evaluirali trenutno stanje i ustanovili sljedeće korake u razvojnom procesu. Mogu se analizirani zahtjevi vezani uz samu funkciju proizvoda, prikladnost za proizvodnju proizvoda, utjecaj proizvoda na okoliš, ispunjavanje korisničkih potreba i slično [20].

Aktivnosti pregleda konstrukcija mogu se provoditi s obzirom na različite ciljeve. Ti ciljevi se mogu mijenjati ovisno o sudionicima u pregledu, tipu proizvoda, fazi razvoja u kojoj se proizvod nalazi i sl. [4]. Ako je cilj pregleda evaluacija postavljenih tehničkih zahtjeva i planiranje daljnjih koraka razvoja vezanih uz njih, takve sesije se mogu nazvati verifikacijskim [5]. Ako je cilj pregleda ipak evaluacija uporabljivosti proizvoda i planiranje koraka za daljnju razradu uporabljivosti, takve sesije se mogu nazivati validacijskim [5].

Kako poduzeća često nastoje unaprjeđivati procese razvoja proizvoda važno je unaprijediti i pregled konstrukcija, zbog čega je potrebno razmotriti koje aspekte pregleda je moguće unaprijediti [8]. Za pregled konstrukcije potrebno je da svi sudionici imaju dobro razumijevanje pregledavanog proizvoda kako bi ga mogli kvalitetno evaluirati. To znači da bi sudionici trebali imati podjednako shvaćanje funkcionalnosti proizvoda, namijenjenih interakcija s korisnikom, rad mehanizama i sl. Za postizanje dobrog razumijevanja uvelike pomaže vizualizacija proizvoda [21]. Istraživanja pokazuju da metoda vizualizacije proizvoda utječe na pregled konstrukcije, zbog čega se učestalo razmatraju različite metode prikaza razvijenog proizvoda [7], [11].

Jedan od načina na koji možemo prikazati trenutno stanje proizvoda je fizičkim prototipovima. Uporaba fizičkih prototipova s u industriji raste zbog dostupnosti uređaja za brzu izradu prototipa (*engl. Rapid Prototyping*) [22]. Tijekom razvoja proizvoda uobičajeno je stvarati digitalne modele proizvoda, odnosno virtualne prototipe [6]. Već desetljećima konstruktori koriste alate za konstruiranje pomoću računala pri razvoju gotovo svakog proizvoda [9]. Zbog toga, CAD alati se često koriste i za vizualizaciju proizvoda tijekom pregleda konstrukcija. CAD omogućuje interakciju s virtualnim prototipom i zbog toga olakšava razumijevanje proizvoda sudionicima u pregledu, a posebice onima koji nisu konstruktori [21]. Virtualni prototipovi u CAD-u omogućuju i jednostavniju izmjenu trenutnog stanja proizvoda [23]. Ipak, fizički prototipovi omogućuju bolju evaluaciju kinematike, sklapanja, dimenzija i drugih sličnih aspekata proizvoda [22]. Primjenom VR-a za vizualizaciju virtualnih prototipova možemo umanjiti nedostatke virtualnih naspram fizičkih prototipova [11].

2.2. Virtualna stvarnost

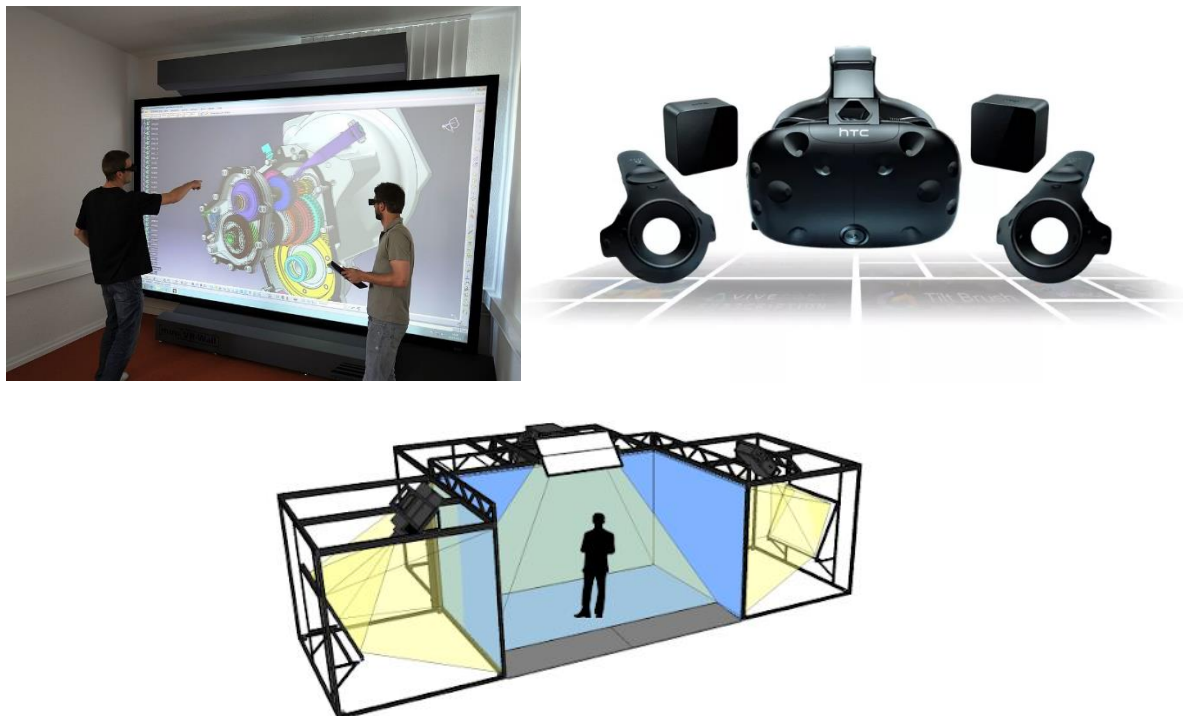
Cilj VR-a je omogućiti korisnicima prividno prisustvovanje virtualnim okolinama uporabom umjetnih podražaja [24]. Imerzivnost je mjera u kojoj tehnologija pruža korisniku osjećaj prisutnosti u virtualnoj okolini [12].

Tehnologije koje to omogućavaju su opisane kao sučelja računalno-čovjek za usavršavanje iskustva VR-a [25]. Razina imerzivnosti koju VR sustav postiže ovisi o podražajima, i razlučivosti tih podražaja, koje sustav pruža korisniku [24]. Ti podražaji mogu biti taktilni, auditorni, olfaktorni i slično, a u kontekstu pregleda konstrukcija posebno su važni vizualni podražaji.

VR sustavi koriste različite metode za omogućavanje virtualnih podražaja [26], neki od kojih su prikazani na slici 2. VR sustavi koji sliku prikazuju na jednoj ravnini (npr. *Powerwall*) prate položaj glave korisnika te prikazuju sliku odgovarajuće perspektive. U kontekstu pregleda konstrukcije, često se primjenjuju i VR uređaji koji prikazuju sliku na više površina oko korisnika (npr. *Cave Automatic Virtual Environment, CAVE*) [7]. Korisnici CAVE sustava nose 3D naočale koje omogućuju praćenje korisnika prema čemu se dinamično mijenjaju prikazane slike [27]. Uporaba VR sustava koji koriste ekrane pričvršćene na glavu korisnika (HMD) raste u inženjerskim aplikacijama [13]. U VR sustavima uobičajeno je koristiti i kontrolere za interakciju s IVE-om [28]. Najvažnije karakteristike HMD uređaja su vezane uz sliku (kut vidnog polja, veličina ekrana, rezolucija slike, brzina osvježavanja slike i slično), način interakcije s IVE-om (kontroleri u obliku palica, rukavica i slično) te način praćenja korisnika [13]. Prema načinu praćenja osnovne kategorije su praćenje iznutra i izvana [28]. Praćenje izvana znači da su potrebni dodatni uređaji koji prate položaj HMD uređaj i/ili kontrolera. Takvi sustavi su često precizniji od onih koji koriste praćenje iznutra [28]. Praćenje iznutra podrazumijeva da HMD uređaj ima integriranu opremu koja može pratiti položaj HMD-a i/ili kontrolera. Zbog toga, praćenje iznutra omogućava teoretski neograničen prostor u kojemu se korisnik može kretati [28].

VR sustavi se danas primjenjuju u različitim područjima. Na primjer, VR sustavi se sve češće koriste u psihoterapiji za tretiranje fobija [29], a vojna industrija koristi VR za treniranje vojnika [30]. U kućanstvima VR sustavi također postaju učestaliji, posebice za video igre. Udio

korisnika *Steam*-a¹ koji koriste VR sustave je u 2021. godini porastao za 110% [10]. Zbog prednosti koje IVE pruža, VR sustavi postaju učestaliji i u procesu razvoja proizvoda, a posebice za pregled konstrukcije [11].



Slika 2 Tipovi VR sustava (gore lijevo: *Powerwall*, gore desno: *HTC VIVE HMD*, dolje: *CAVE*) [31]

2.3. Uporaba virtualne stvarnosti za pregled konstrukcija

Za razliku od tradicionalnih CAD sučelja s mišem, tipkovnicom i monitorom, VR omogućava interakciju s digitalnom modelom unutar virtualne okoline i kretanje oko modela [32]. Korisnici se mogu kretati u virtualnoj okolini hodanjem u stvarnom svijetu ili teleportirati se unutar virtualne okoline. Teleportacija unutar virtualne okoline omogućuje pregled velikih digitalnih modela u manjim fizičkim prostorima. Viša razina imerzivnosti koju VR pruža omogućuje bolju percepciju prostora. Ako se prati položaj korisnika, kao npr. kod HMD uređaja, kretanjem oko predmeta u IVE omogućava paralaksu gibanja [14]. Paralaksom gibanja korisnici s različitim gledištima dobiju informacije o dubini u prostoru. Isto tako, ako uređaj može prikazivati različite slike na pojedino oko korisnika, možemo dobiti i finiju percepciju dubine stereoskopskim vidom [14]. Upravo zbog takvih dodatnih mogućnosti za bolju percepciju koju

¹ *Steam* – platforma za digitalnu distribuciju i prodaju video igara i računalnih programa. Platformu je razvio *Valve* kako bi omogućio automatsko ažuriranje svojih video igara, a kasnije je proširena podrška i za druge izdavače. Dostupno na: store.steampowered.com

VR sustavi pružaju oni su imerzivniji (IVE) od tradicionalnih CAD sučelja koji uglavnom ne omogućavaju stereoskopski vid i paralaksu (nIVE) [12].

De Casenave i Lugo [33] ipak nisu prepoznali značajne razlike brojeva grešaka između pregleda u IVE-u i nIVE-u u svom eksperimentu u kojemu su sudionici tražili greške u sklopovima. Freeman i sur. [34] predlažu da uporaba VR sustava s više mogućnosti omogućuje kvalitetniji pregled kompleksnih proizvoda, a Horvat i sur. [35] su u svojim eksperimentima došli do zaključka da korisnici u IVE-u mogu bolje procijeniti veličine objekata nego u nIVE-u.

Navedena istraživanja [33]–[35] su promatrali utjecaj imerzivnosti na pojedince. Istraživanja o utjecaju imerzivnosti na timovi donose konfliktne zaključke. Cárcamo i sur. [36] su zaključili da timovi koji koriste IVE za pregled konstrukcije pronađu značajno više grešaka nego oni koji koriste nIVE, a Liu i sur. [11] su zaključili da je efektivnost timova u IVE manja.

Wolfartsberger [37] je u eksperimentu uspoređivao uspješnost pronalazaka grešaka tijekom pregleda konstrukcije između nIVE (Creo View) i IVE (VRSmart). U eksperimentu je samo jedan sudionik bio u interakciji s digitalnim modelom, dok su ostali promatrali njegov pogled na ekranu, kako je prikazano na slici 3. Sudionici koji su bili u IVE mogli su hodati, teleportirati se oko modela te manipulirati elementima modela. Timovi su pregledavali kompleksne modele industrijskih napajanja. Zaključio je da su timovi koji su koristili IVE pronalazili više grešaka od onih koji su koristili nIVE, ali razlika između broja pronađenih grešaka nije značajna. Osim toga, pokazao je i kako je pregled u IVE poboljšao identifikaciju konstrukcijskih i ergonomskih problema, ali okolina nije utjecala na logiku elektroničkih krugova.



Slika 3 Pregled konstrukcije u Wolfartsberger-ovom eksperimentu (lijevo nIVE, desno – IVE)
[37]

Pri istraživanju ponašanja timova tijekom pregleda konstrukcije pokazalo se da VR utječe na broj izmijenjenih govornih akcija [38], na skiciranje i na gestikuliranje [39]. Rezultati još nisu

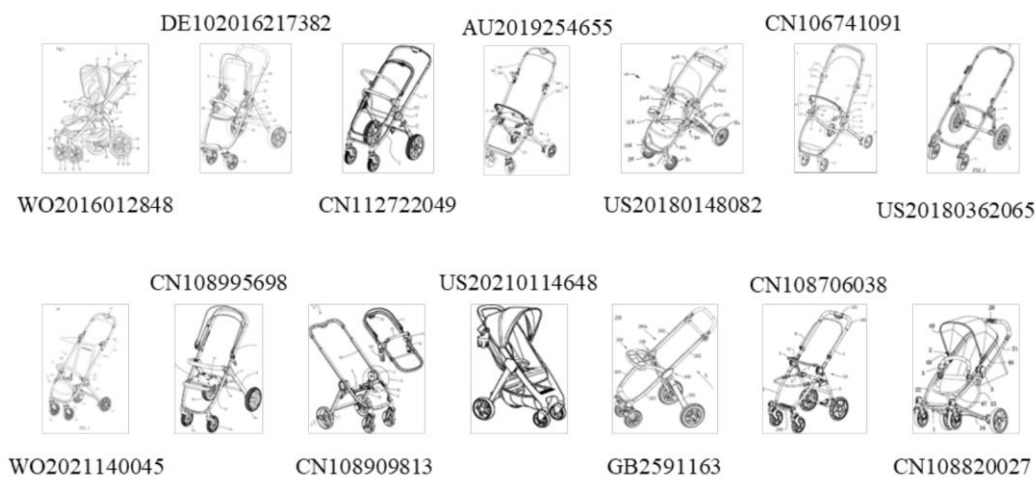
potpuno jasni, Beaudry i sur. [39] napominju kako VR možda nema utjecaj na razgovor. Druga istraživanja pak predlažu kako VR potiče veću participaciju pojedinaca u odnosu na tradicionalne pristupe [40]. Istraživanja su pokazala da je taj utjecaj još veći u edukacijskim primjenama, Sopher i sur. [41] predlažu da VR značajno povećava sudjelovanje studenata tijekom pregleda konstrukcija.

Konfliktne spoznaje u literaturi, kao i Wolfartsberger-ova zapažanja o različitim tipovima problema, upućuju na to da IVE možda poboljšava samo neke aspekte pregleda konstrukcija [16]. Istraživanja o IVE-u za pregled konstrukcija se često fokusiraju na rezultate pregleda, ali važno je razmatrati i kako imerzivnost utječe na same akcije tijekom pregleda. Također, u istraživanjima često samo jedan sudionik ima interakcije s virtualnim prototipom, dok ostali promatraju njegov pogled. Potrebno je istraživati i kolaborativne preglede konstrukcija tijekom kojih svi sudionici mogu imati interakcije s prototipom u virtualnoj okolini. Osim toga, kako puno radova proučava utjecaje imerzivnosti na pojedince, potrebno je dublje proučiti i utjecaj imerzivnosti na timove. Zbog toga se u ovom radu proučava utjecaj imerzivnosti na aktivnosti tijekom pregleda konstrukcije.

3. METODOLOGIJA

Kako bi evaluirali utjecaje imerzivnosti, cilja sesije i kvalitete konstrukcije na aktivnosti pregled konstrukcije potrebno je proučavati timove tijekom pregleda konstrukcije. Zbog toga, u ovome radu se analizira eksperiment proveden za potrebe doktorskog rada na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. U sklopu eksperimenta timovi su vršili preglede konstrukcija. Neki timovi su provodili preglede konstrukcije u nIVE-u, a neki u IVE-u. Svaki tim je proveo jedan verifikacijski i jedan validacijski pregled konstrukcije. Time je omogućeno analiziranje utjecaja imerzivnosti u različitim pregledima konstrukcija, te proučavanje utjecaja samog cilja sesije na pregled. Kako je pregledavana konstrukcija izrađena tijekom kolegija čiji je cilj naučiti studente stvarati virtualne prototipe, dostupne su i informacije o kvaliteti konstrukcija u obliku ocjena. Time je omogućeno i analiziranje utjecaja kvalitete konstrukcije na pregled.

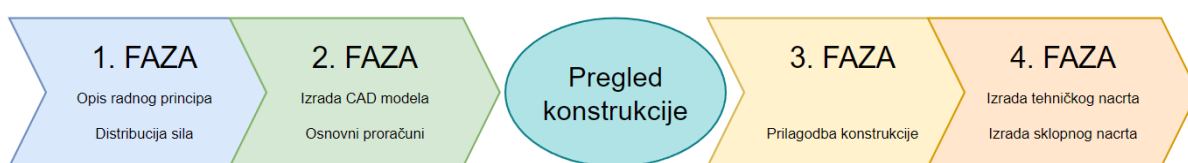
Tijekom kolegija, timovi studenata su konstruirali dječja kolica. 42 studenta treće godine preddiplomskog studija strojarstva bila su podijeljena u 14 tročlanih timova. Svakom timu bio je zadan patent dječjih kolica prema kojemu su sami konstruirali kolica koristeći radne principe opisane u zadanim patentima prikazanim na slici 4. Primjer jednog zadatka prikazan je u prilogu.



Slika 4 Patenti prema kojima su studenti konstruirali kolica

Rad na projektu tijekom kolegija se odvijao u četiri faze prikazane na slici 5. Tijekom prve faze timovi su trebali opisati radne principe mehanizama i distribuciju sila na kolicima. Nakon prve faze timovi su dobili povratne informacije od izvršitelja kolegija koje su adresirali tijekom druge faze. Tijekom druge faze su morali i izraditi CAD model konstrukcije te provesti osnovne proračune za verifikaciju konstrukcije. Studenti su dobili i ocjene s obzirom na kvalitetu

konstrukcije nakon druge faze. Nakon druge faze svaki je tim imao pregled konstrukcije u kojemu su sudjelovala dva člana tima koji je razvijao pregledavanu konstrukciju (studenti), te dva inženjera strojarstva koja se prvi put upoznaju s konstrukcijom (recenzenti). Tijekom pregleda sudionici su zapisivali povratne informacije prema kojima su studenti u trećoj fazi prilagođavali konstrukciju. Navedeni pregled konstrukcije nakon druge faze je analiziran u ovom radu, te je detaljnije opisan u poglavlju 3.1. Tijekom treće faze studenti su prilagođavali konstrukciju prema informacijama koje su dobili tijekom pregleda konstrukcije sve dok izvršitelj kolegija nije odobrio korekcije. Tijekom četvrte faze svaki član tima izradio je jedan tehnički nacrt i jedan sklopni nacrt koji je zadao izvršitelj kolegija.



Slika 5 Redosljed zadataka tijekom kolegija

3.1. Eksperiment – pregled konstrukcije

U eksperimentu je sudjelovalo ukupno 42 sudionika (28 studenta i 14 recenzenata) koja su bila podijeljena u 14 timova za pregled konstrukcije. Recenzenti su bili inženjeri strojarstva trenutno zaposleni u industriji, a studenti su u trećoj godini preddiplomskog studija strojarstva. Od ukupno 14 timova, sedam je pregled konstrukcije vršilo u IVE-u i sedam u nIVE-u. Svaki tim se sastojao od dva studenta i dva recenzenta. Svaki student je bio član samo jednog tima, a svaki recenzent je bio član dva tima od kojih je jedan tim pregledavao konstrukciju u IVE-u, a drugi u nIVE-u. Ni jedan od timova nije imao isti par recenzenata. Od 14 recenzenata, sedam ih je svoj prvi pregled obavilo u nIVE-u, a sedam u IVE-u.

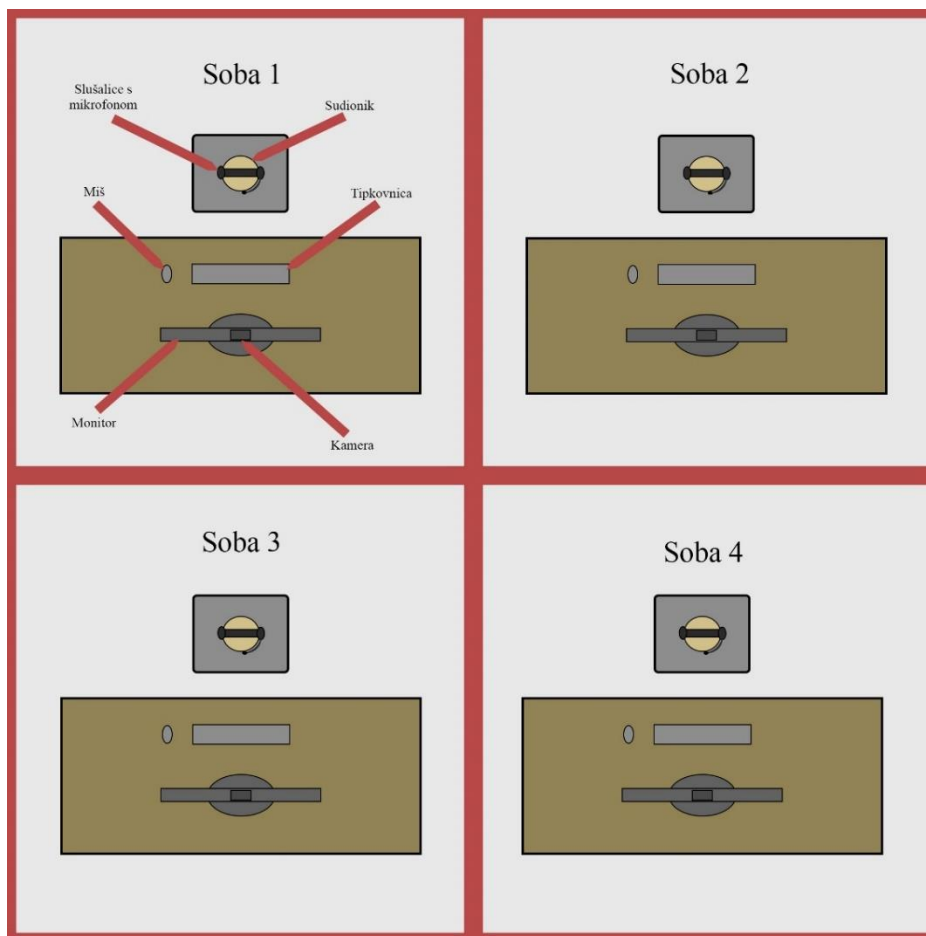
Svaki pregled konstrukcije sastojao se od dvije sesije s različitim ciljem od kojih je svaka trajala 30 minuta. Cilj prve sesije bio je verifikacija, to jest utvrđivanje ispunjenja zahtjeva kolica [5]. To je uključivalo funkcionalne i proizvodne zahtjeve, te zahtjeve ljudskih faktora. Cilj druge sesije bio je validacija, to jest utvrđivanje vrijednosti koje proizvod pruža kupcu [5]. Te vrijednosti su omogućavanje izvršenja osnovnih zadaća konstrukcije, dodatne vrijednosti koje konstrukcija nudi kupcu, te potencijalne nepogodnosti za kupca koje konstrukcija sprječava [42]. Zahtjevi za obje sesije prikazani su u tablici 1.

Tablica 1 Usmjeravajuća pitanja koja su timovi imali tijekom pregleda

Cilj sesije	Kategorija	Usmjeravajuća pitanja
Verifikacija	Funkcionalni zahtjevi	Ispunjava li konstrukcija sve funkcionalne zahtjeve? Kako poboljšati ispunjavanje funkcijskih zahtjeva?
	Proizvodni zahtjevi	Ispunjava li konstrukcija sve proizvodne zahtjeve? Kako poboljšati ispunjavanje proizvodnih zahtjeva?
	Zahtjevi ljudskih faktora	Ispunjava li konstrukcija sve zahtjeve ljudskih faktora? Kako poboljšati ispunjavanje zahtjeva ljudskih faktora
Validacija	Osnovna zadaća	Vrši li konstrukcija sve osnovne zadaće? Kako poboljšati omogućavanje osnovnih zadaća?
	Dodatne vrijednosti	Nudi li konstrukcija dodatne vrijednosti kupcu? Kako poboljšati dodatne vrijednosti?
	Spriječene nepogodnosti	Sprječava li konstrukcija nepogodnosti za kupca? Kako poboljšati sprječavanje nepogodnosti?

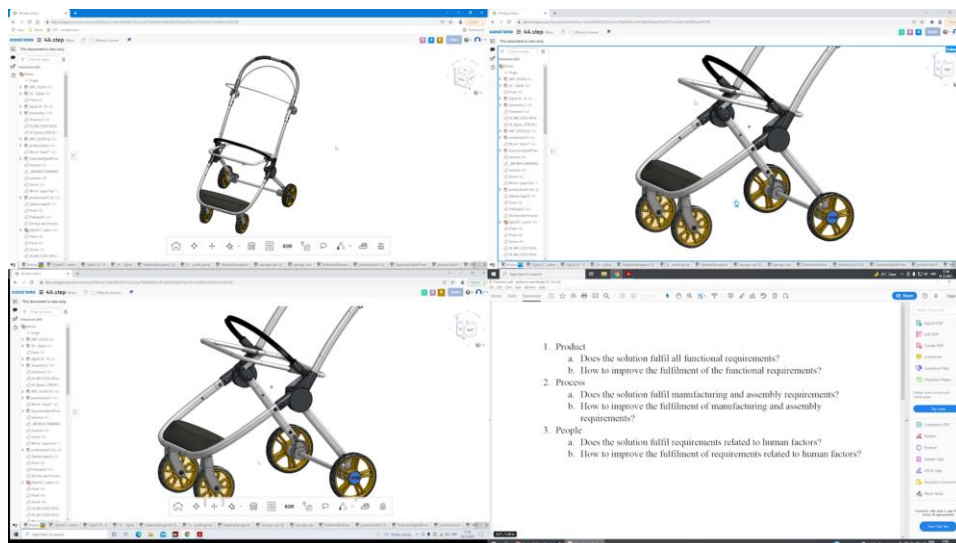
Tijekom pregleda konstrukcije sudionici su se nalazili u različitim prostorijama. Za preglede koji su koristili nIVE svaki sudionik imao je računalo s monitorom, tipkovnicom, mišem i slušalicama s mikrofonom, kako je prikazano na slici 6. Sudionici su tijekom sesije komunicirali putem *Microsoft Teams* sastanka, a za pregled konstrukcije korišten je *Onshape*².

² *Onshape* – CAD programski paket baziran na oblaku kojemu se pristupa putem internet preglednika ili mobilnih aplikacija. Distribuirana se modelom programa kao usluge (*engl. software as a service*). Dostupno na: [onshape.com](https://www.onshape.com)



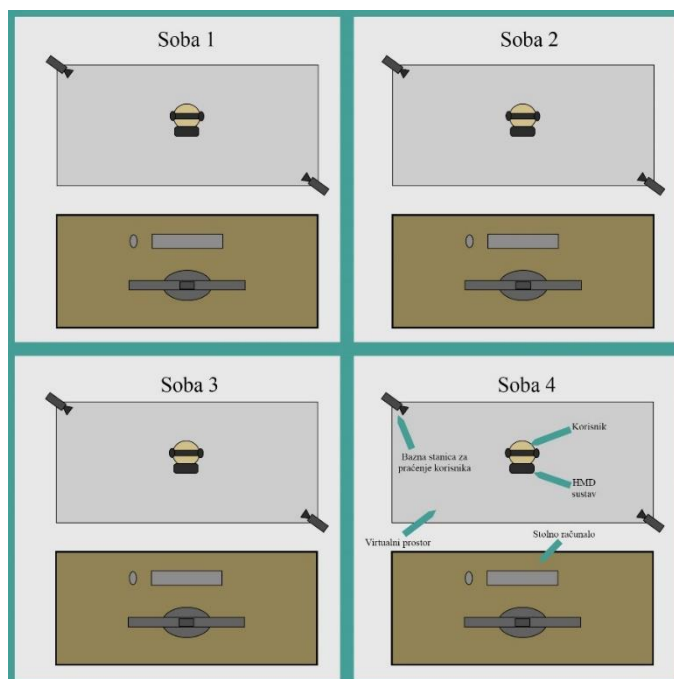
Slika 6 Eksperimentalna postava za sesije u nIVE-u

Onshape je CAD alat koji se koristi unutar internetskog preglednika i omogućuje sinkroni rad na CAD modelu. Svaki sudionik može zasebno promatrati CAD model, a mogu se i međusobno pratiti kako bi svi imali isti pogled na model. Sudionici su u *Onshape*-u imali mogućnost rotacije, translacije i zumiranja modela, te stvaranje presjeka, mjerenje unutar modela i pomicanje i sakrivanje pojedinih dijelova. Osim toga, mogli su koristiti marker za označavanje na zaslonu te slikati zaslon. Na slici 7 prikazani su zasloni svih sudionika u jednom trenutku pregleda. Nakon sesije sudionici su zapisivali povratne informacije o konstrukciji s obzirom na slike zaslona koje su napravili tijekom sesije. Svaki sudionik je još imao i popis pitanja kao vodilje kako bi se pregled konstrukcije odvijao s obzirom na cilj sesije. Pitanja su prikazana u tablici 1. Tijekom sesije snimali su se glasovi sudionika i njihov zaslon.



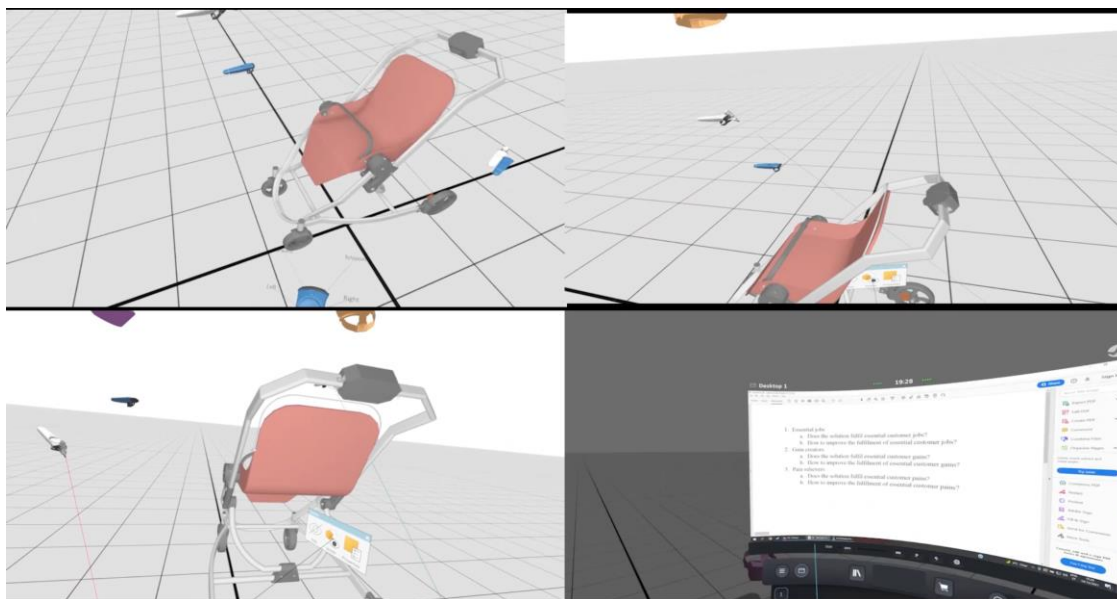
Slika 7 Pregled konstrukcije u neimerzivnom virtualnom okruženju (nIVE)

Za preglede koji su koristili IVE svaki sudionik je koristio računalo s HMD VR uređajem s praćenjem izvana, kako je prikazano na slici 8. Tri sudionika su koristila *HTC VIVE Pro*, a jedan *HTC VIVE Cosmos Elite*. Oba uređaja su sličnih karakteristika te koriste isti kontroler. HMD VR uređaji prate poziciju glave i ruku (HMD zaslona i kontrolera) što omogućava kretanje unutra virtualne okoline u kojoj se nalazi virtualni prototip i prikaz avatara korisnika drugim sudionicima u pregledu konstrukcije. Sudionici su, kao i u nIVE sesijama, koristili *Microsoft Teams* sastanak za komunikaciju.



Slika 8 Eksperimentalna postava za sesije u IVE-u

Za uporabu HMD VR uređaja korišten je *SteamVR*³, a za sami pregled konstrukcije *Siemens NX VR*⁴. Na slici 9 prikazane su perspektive korisnika u jednom trenutku pregleda. *Siemens NX VR* omogućuje sinkrono pregledavanje CAD modela i omogućuje slikanje zaslona, mjerenje, crtanje, stvaranje presjeka, pomicanje i skrivanje dijelova. *SteamVR* omogućuje pristup popisu pitanja kako bi sudionici imali iste mogućnosti u nIVE-u i IVE-u. Tijekom pregleda snimali su se glasovi sudionika i njihova perspektiva u IVE-u.



Slika 9 Pregled konstrukcije u imerzivnom virtualnom okruženju (IVE)

Eksperimentalna procedura sastojala se od devet koraka prikazanih na slici 10:

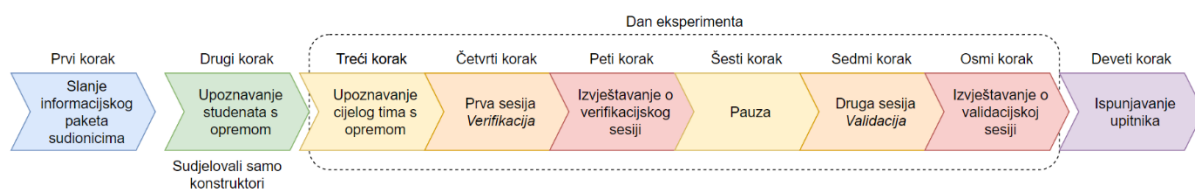
1. Slanje informacijskog paketa sudionicima – Dva tjedna prije eksperimenta, sudionici su dobili informacijski paket s informacijama o konstrukciji, ciljevima sesija (prikazani u tablici 1), procedurama eksperimenta, obrascem privole i uputama za uporabu opreme. Upute su se sastojale od prezentacije i videa koji opisuju i demonstriraju uporabu alata koje mogu koristiti tijekom pregleda (navigacija, odabir i manipulacija komponentama, slikanje zaslona, stvaranje presjeka, mjerenje i crtanje).
2. Upoznavanje studenata s opremom – Studenti su imali priliku isprobati eksperimentalnu postavu minimalno jedan dan prije eksperimenta. Sva tri studenta koja su sudjelovala u

³ *SteamVR* – VR platforma koja omogućuje bolju interakciju VR sustava s računalima. Razvio *Valve* za lakši pristup VR sadržaju na *Steam*-u. Dostupno na: store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/

⁴ *Siemens NX VR* – Dio *Siemens NX* programskog paketa. Omogućuje prikaz i interakciju s CAD digitalnim modelima u VR-u. Također, omogućuje i sudjelovanje više korisnika u jednom virtualnom okruženju.

konstruiranju su simulirali pregled konstrukcije kako bi se upoznali i naviknuli na proceduru i rad s opremom.

3. Upoznavanje cijelog tima s opremom - Prije prve sesije pregleda konstrukcije, tim za pregled konstrukcije se kratko upoznao uživo nakon čega su se odvojili u zasebne prostorije. Sudionici su upućeni da isprobaju dostupne funkcije prema istoj prezentaciji koju su dobili u prvom koraku. Tijekom ove pripreme jedan istraživač je sudjelovao u *Microsoft Teams* sastanku sa sudionicima u slučaju nejasnoća
4. Verifikacijska sesija - Započinje snimanje zaslona i glasa sudionika te su sudionici započeli s verifikacijskom sesijom u trajanju od 30 minuta
5. Izvještavanje o verifikacijskoj sesiji - Sudionici su upućeni na ispunjavanje dokumenta povratnih informacija u kojemu su se nalazile snimke zaslona koje su sudionici generirali tijekom sesije
6. Pauza – Kratka pauza od 15 minuta
7. Validacijska sesija – Započinje snimanje zaslona i glasa sudionika te su sudionici započeli s validacijskom sesijom u trajanju od 30 minuta
8. Izvještavanje o validacijskoj sesiji - Sudionici su upućeni na ispunjavanje dokumenta povratnih informacija u kojemu su se nalazile snimke zaslona koje su sudionici generirali tijekom prethodne sesije
9. Ispunjavanje upitnika - Nekoliko dana nakon eksperimenta, sudionici su ispunjavali upitnik o pozitivnim i negativnim aspektima okoline kojeg su koristili

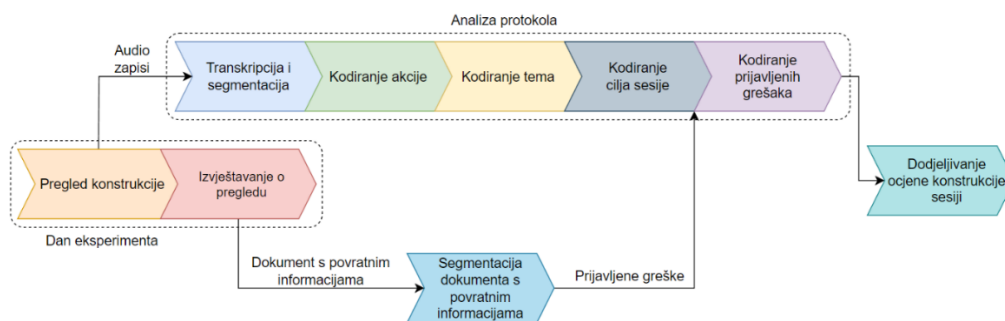


Slika 10 Eksperimentalna procedura

3.2. Priprema podataka

Od prikupljenih podataka tijekom eksperimenta za ovaj rad važni su audio zapisi sudionika, dokument s povratnim informacijama za konstruktore i ocjene dodijeljene konstrukciji. Analiziranjem tih podataka omogućeno je razmatranje efektivnosti, fokusiranosti na greške i efikasnosti timova. Na audio zapisima je primijenjena analiza protokola [43] u pet koraka, a taj

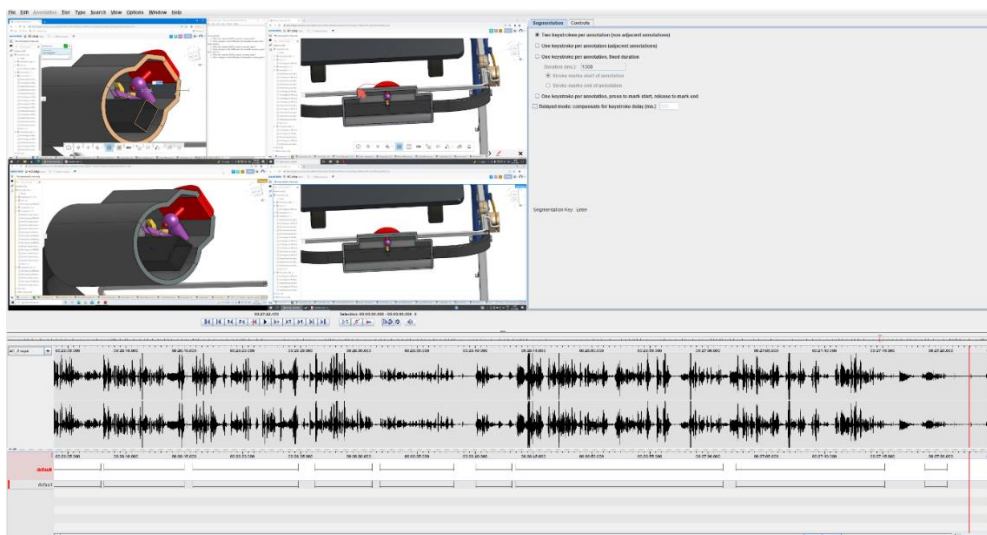
proces je opisan u odjeljku 3.2.1. Zatim, u odjeljku 0, detaljnije je opisana priprema podataka vezanih uz povratne informacije koje su studenti dobili tijekom sesije. U odjeljku 3.2.3 opisane su ocjene koje se koriste pri analizi podataka, a u odjeljku 3.2.3 definirano je kako su svi podaci povezani. Proces je prikazan na slici 11.



Slika 11 Proces pripreme podataka

3.2.1. Analiza protokola

U prvom koraku zapisi su transkribirani i segmentirani. Segmentacija se vršila na razini akcija timova s obzirom na cikluse razumijevanja, evaluacije i planiranja [4]. To jest, svaki od ciklusa predstavlja jednu akciju. Segmentacija je provedena pomoću programa *ELAN*. Slika 12 prikazuje segmentirani audio zapis u *ELAN*-u⁵ koji odgovara isječku prikazanom u tablici 2. Transkripcija je provedena s obzirom na tu segmentaciju, tako da je sadržaj govora sudionika dodijeljen odgovarajućim segmentima.



Slika 12 Slika zaslona segmentacije akcija u *ELAN*-u (validacijska sesija u *nIVE*-u)

⁵ *ELAN* - besplatna programska podrška namijenjena kreiranju bilješki na audio i video zapisima. Razvijena je na Max Planck institutu za psiholingvistiku, Nijmegen (Nizozemska). Dostupno na: archive.mpi.nl/tla/elan

U drugom koraku, akcijama su dodijeljene teme. Svaka tema se sastoji od jedne ili više akcija koje su vezane uz isti problem, odnosno rješenje. Akcije imaju četiri različita koda: nova, ponovljena, prethodna i ostale akcije. Nove akcije su one koje se bave novom temom koja nije do sada spomenuta tijekom sesije. Ponovljene akcije su one koje se bave temom koja je već spomenuta u sesiji, ali nije ista tema kao u prethodnoj akciji. Prethodne akcije su one koje se bave istom temom kao i prethodna akcija. Ostale akcije su one koje se ne odnose na pregled konstrukcije (npr. govor o tehničkim problemima). Svakoj temi tijekom sesije pridodan je broj (redosljedom kojim se pojavljuju) te su akcijama dodijeljeni redni brojevi tema. Zatim, svaka akcija je dodatno kodirana s obzirom na to bavi li se ciljem sesije ili ne. Teme u prvoj sesiji se bave ciljem ako se odnose na verifikaciju konstrukcije (funkcionalni i proizvodni zahtjevi i zahtjevi ljudskih faktora), a drugoj sesiji ako se odnose na validaciju konstrukcije (vrijednosti koje konstrukcija pruža kupcu). Posljednji korak analize protokola je kodiranje tema koje su vezane uz prijavljene greške. Tema se odnosi na prijavljenu grešku ako se u njoj raspravlja o greški ili rješenju koja se nalazi u dokumentu s povratnim informacijama, koji je detaljnije opisan u sljedećem odjeljku. Isječak kodirane sesije prikazan je u tablici 2.

Kako bi utvrdili pouzdanost kodiranja, drugi istraživač je kodirao snimke dviju sesija (oko 7% podataka) te je podudaranje potvrđeno pomoću Cohen-ovog Kappa koeficijenta [44]. Cohen-ov Kappa koeficijent je statistička mjera podudaranja kategorizacije podataka između kodova [44]. Podudaranje između kodova je bilo značajno s obzirom na to da pouzdanost između istraživača izračunata pomoću Cohenovog Kappa koeficijenta [44] iznosi 0,72 za kodove akcija i 0,79 za kodove povezanosti tema s ciljem sesije.

Tablica 2 Isječak kodiranih podataka (validacijska sesija u nIVE)

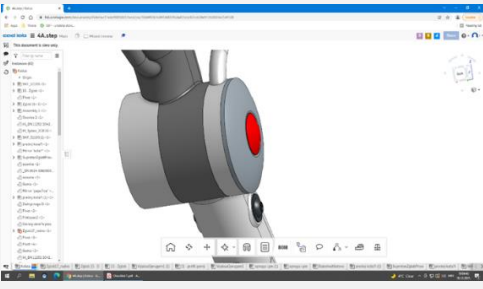
Tekst (sudionici odvojeni znakom /)	Akcija	Povezano s ciljem sesije	Povezano s prijavljenom greškom	Redni broj teme
e to to/recite, spomenuli ste dva ili tri puta da vam je taj dio bio problematičan/da/zbog čega	Nova	Ne	Ne	36
a zbog samog tog mehanizma potezanja/dobro/nismo uspjeli naći neko ono, pametnije, lakša rješenja, bar mi nismo uspjeli za njega i onda	Prethodna	Ne	Ne	36
previše smo se definitivno fokusirali da to izgleda kao na patentu umjesto da smo nekako probali prilagoditi	Prethodna	Ne	Ne	36
a u biti taj izgled uopće nije bitan. onako, samo funkcija treba biti riješena/da da/to kako izgleda stvar	Prethodna	Ne	Ne	36
to se još riješi kasnije za/da da	Prethodna	Ne	Ne	36
jer, mene iskreno najviše, čak i da je dimenzija ostala ista i da se postavi mehanizam negdje lijevo, niže dolje na toj ručki, meni je ok, ali mi položaj di je postavljen to mi je, to me smeta	Nova	Da	Da	37
i sad naročito kad pogledam u presjek, kad vidim unutra da je to jako glomazno, nepotrebno/mhm/tak da to je ono, ja bih to recimo prvo promijenio na tom sklopu	Ponovljena	Ne	Da	33
screenshot-amo to	Ostalo	Ne	Ne	/

3.2.2. Priprema dokumenata s povratnim informacijama

Sudionici su u predlošku dokumenta za povratne informacije opisivali pronađene greške tijekom sesije. U predlošku su se nalazile slike zaslona koje su članovi tima uzimali tijekom pregleda. Zatim su uz te slike dodali tekstualne opise grešaka te prijedloge za rješenja, ako ih

imaju. Kako su neki opisi obuhvaćali nekoliko problema i rješenja, dokumenti su naknadno segmentirani da bi imali jedinstveni opis svakog problema koji je prijavljen u dokumentu, kao u posljednjem retku tablice 3. Segmentacija se sastojala od uklanjanja duplih grešaka, te razdvajanja različitih grešaka koje su prijavljene kao jedna. Zatim su teme (posljedično i akcije) kodirane prema tome odnose li se na neku od prijavljenih grešaka ili ne.

Tablica 3 Primjer povratnih informacija jedne slike zaslona (verifikacijska sesija u nIVE-u)

Slika zaslona		
Sliku zaslona uzeo	Recenzent 1	
Opis recenzenta 1	Tipka za sklapanje je prema komentarima dizajnera u čvrstom dosjedu koji s vremenom može olabaviti uslijed trošenja materijala	
Prijedlog rješenja recenzenta 1	Rekonstrukcija tipke na način da je pokretanje slobodnije	
Opis recenzenta 2	Problematično je dugme za manipulaciju, odnosno odabir materijala (plastika) i veze između dijelova kućišta	
Prijedlog rješenja recenzenta 2	Nije predložio rješenje	
Prepoznate greške	tipka za sklapanje je prema komentarima dizajnera u čvrstom dosjedu	Problematično je dugme za manipulaciju, odnosno odabir materijala (plastika) i veze između dijelova kućišta

3.2.3. Priprema ocjena konstrukcija

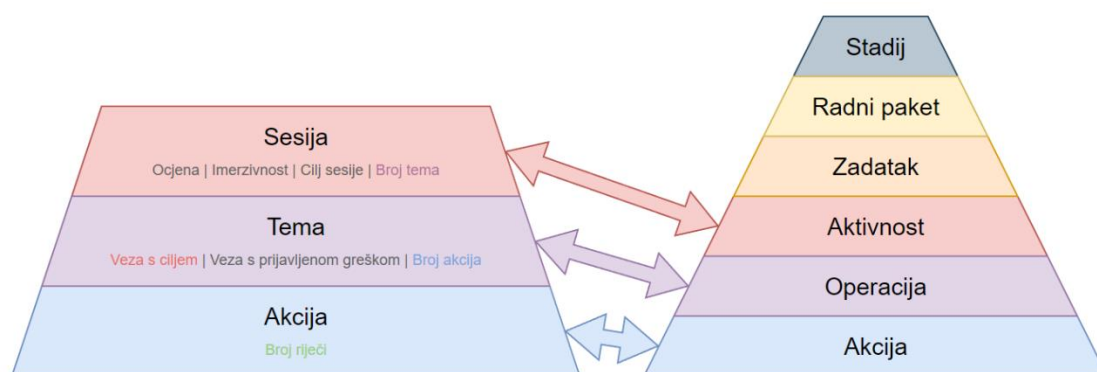
Za procjenu kvalitete konstrukcije korištene su ocjene konstrukcije koje su studenti dobili u sklopu kolegija. Na kraju druge faze kolegija (prema slici 5) svakom studentu dodijeljeni su bodovi s obzirom na kvalitetu konstrukcije i njihovog individualnog rada na konstrukciji. Prosjek ocjena sva tri člana tima uzet je kao ocjena konstrukcije. Zatim, za potrebe analize,

svakoj sesiji pregleda konstrukcije dodijeljena je ocjena konstrukcije. Kako bi podijelili konstrukcije na bolje i lošije, definirano je da je konstrukcija svakog tima koja je ocijenjena ispod medijana lošije ocijenjena, a iznad medijana bolje ocijenjena.

3.2.4. Pripremljeni podaci

Sesija je najviša razina u hijerarhiji podataka prikazanoj na slici 13. Svaka sesija se sastoji od nekoliko tema (od 21 do 58 tema), svaka tema od jedne ili više akcija (od jedne do 36 akcija) i svaka akcija od nekoliko riječi. U poglavlju 2.1 opisani su termini za različite elemente razvojnih procesa [18], a njihove relacije s terminima korištenim u ovom radu su prikazane na slici 13.

Atributi na razini sesije su ocjena tima, razina imerzivnosti (nIVE ili IVE), cilj sesije (verifikacija ili validacija) i broj raspravljenih tema tijekom sesije. Atributi na razini tema su veza s ciljem sesije (teme se odnose na cilj sesije ili ne), veza s prijavljenom greškom (tema se odnosi na neku od grešaka koje se nalaze u dokumentu s povratnim informacijama ili ne) i broj akcija (od koliko akcija se sastoji tema). Na razini akcije se razmatra broj riječi tijekom akcije.



Slika 13 Hijerarhija informacija (lijevo) i hijerarhija elemenata razvojnih procesa prema McMahon-u [18] (desno)

3.3. Analiza podataka

Od promatranih podataka razina imerzivnosti (nIVE ili IVE) i cilj sesije (verifikacija ili validacija) su nezavisne varijable. Prema tome, analiza je provedena usporedbom tema, akcija i riječi, te njihova relacija s ciljem sesije i prijavljenim greškama, u dvije razine imerzivnosti preko dva cilja sesije. Osim toga, provedena je i usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova.

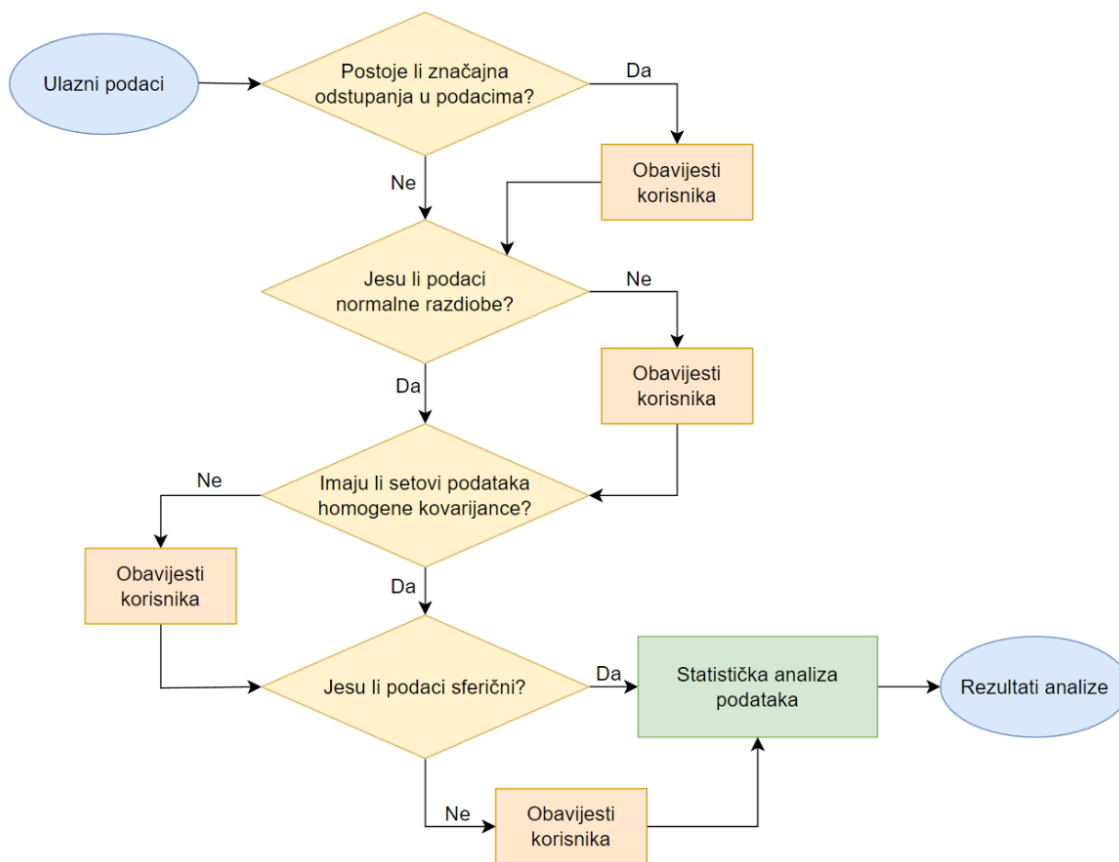
Primijenjena je dvosmjerna mješovita ANOVA [45] gdje je imerzivnost varijabla između subjekata, a cilj sesije varijabla unutar subjekata. U slučajevima gdje je dvosmjerna mješovita ANOVA pronašla značajne razlike, primijenjena je post-hoc t-test analiza za usporedbu

kombinacija grupa. U sklopu post-hoc t-test analize primijenjena je Bonferroni korekcija p vrijednosti. U tablici 4 su prikazani uvjeti koje podaci trebaju ispuniti kako bi dvosmjerna mješovita ANOVA bila primjenjiva, te koji su testovi implementirani u sklopu ovoga rada, a na slici 14 proces analize.

Sva analiza je provedena pomoću *Python*-a [46] uporabom *pingouin* [47] i *scipy* [48] paketa za statističku analizu.

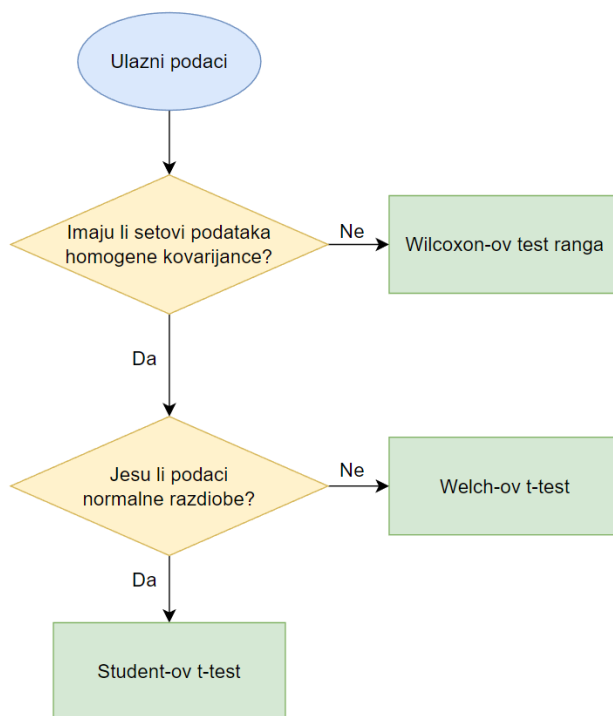
Tablica 4 Testovi provedeni za provjeru pretpostavki statističke analize

Pretpostavka	Provedeni test
Nema izvanrednih vrijednosti	IQR metoda
Normalna razdioba podataka	Shapiro-Wilk test
Homogenost kovarijanci	Levene test
Sferičnost podataka	Mauchly test



Slika 14 Proces analize podataka dvosmjernom mješovitom ANOVA-om

Za analizu bolje i lošije ocijenjenih timova u poglavlju 4.4 proveden je Student-ov t-test gdje su podaci ispunili uvjet normalnosti (Shapiro-Wilk test) i homogenosti kovarijanci (Levene test). U slučaju gdje podaci nisu normalne razdiobe, primijenjen je Welch-ov t-test, a ako nisu homogene kovarijance primijenjen je Wilcoxon-ov test ranga. Proces statističke analize bolje i lošije ocijenjenih timova prikazan je na slici 15.



Slika 15 Proces statističke analize razlike između bolje i lošije ocijenjenih timova

4. REZULTATI

Analiza rezultata je pokazala da su timovi tijekom eksperimenta raspravljali o ukupno 1012 tema. U IVE-u su ukupno raspravljali o 516 tema, a u nIVE-u o 496. Tijekom cijelog eksperimenta prijavljeno je ukupno 339 grešaka, 184 u IVE-u i 155 u nIVE-u. Timovi su tijekom eksperimenta imali ukupno 5302 akcije vezane uz konstrukciju tijekom kojih su izgovorili 83615 riječi. U IVE-u se imali 2670 akcija izgovorili su 38664 riječi, a u nIVE-u su imali 2632 akcije i 44951 izgovorenu riječ. Sažetak informacija za pojedine sesije prikazan je u sljedećim tablicama.

Tablica 5 Sažetak podataka o sesija u nIVE-u

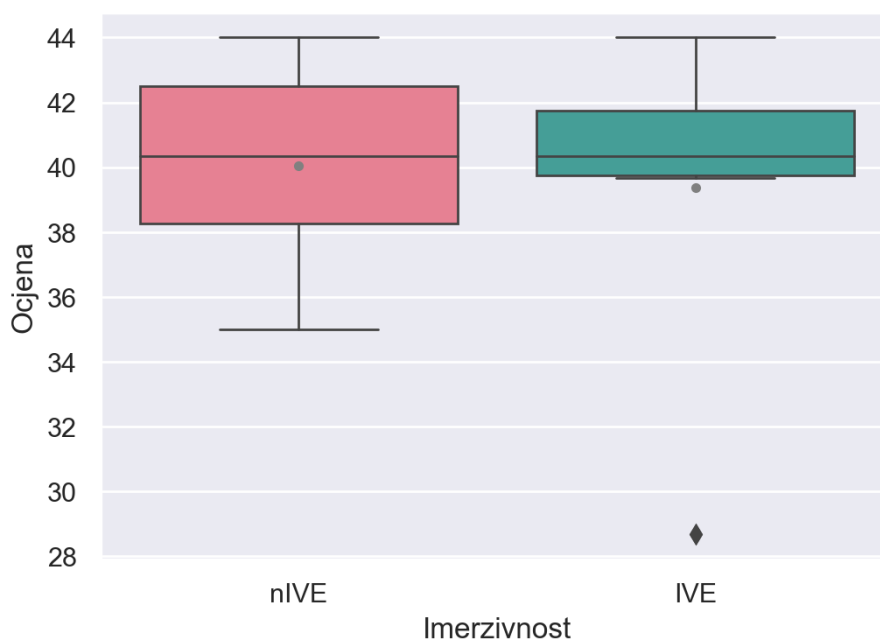
Imerzivnost	Neimerzivno virtualno okruženje - nIVE													
	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Tim	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.
Cilj sesije	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.
Broj prij. grešaka	9	16	12	14	7	7	15	20	11	4	7	5	9	19
Broj tema (ukupno)	23	24	45	41	28	37	29	27	32	44	44	42	40	40
% vezanih uz cilj	100	100	96.43	100	100	100	100	95.83	73.17	37.84	70.37	75	59.52	40
% vezanih uz grešku	30.43	22.22	17.86	37.93	37.5	20.45	65	45.83	39.02	32.43	55.56	18.18	16.67	55
Broj akcija (ukupno)	212	185	147	231	202	184	178	172	175	188	213	177	205	163
% vezanih uz cilj	100	100	95.92	100	100	100	100	81.98	65.71	35.11	48.83	72.88	60.98	25.15
% vezanih uz grešku	50	25.95	16.33	40.69	36.14	23.37	66.29	65.12	32.57	38.83	60.09	19.21	13.66	52.15
Broj riječi	2717	3191	2450	3544	3069	3737	2905	3424	3446	3032	3566	3642	3742	2486
Ocjena	44		41		39		38		43		40.33		35	

Tablica 6 Sažetak podataka o sesija u IVE-u

Imerzivnost	Imerzivno virtualno okruženje - IVE													
	T8		T9		T10		T11		T12		T13		T14	
Tim	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.
Cilj sesije	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.	Val.	Ver.
Broj prij. grešaka	7	28	14	15	7	12	12	6	9	11	20	14	6	14
Broj tema (ukupno)	21	34	25	33	43	37	44	41	32	41	58	51	30	26
% vezanih uz cilj	100	100	97.73	100	100	100	70.59	87.88	83.78	80.49	73.17	60.78	61.54	40
% vezanih uz grešku	52	27.91	29.55	37.5	39.66	40	61.76	51.52	62.16	14.63	43.9	39.22	80.77	55
Broj akcija (ukupno)	241	211	201	187	156	258	158	197	201	169	134	220	205	132
% vezanih uz cilj	100	100	97.86	100	100	100	62.94	80.1	73.96	63.43	65	56.1	64.39	25.15
% vezanih uz grešku	55.45	22.89	40.11	39.1	42.25	38.61	78.17	58.21	65.09	12.69	50	32.68	81.82	52.15
Broj riječi	2672	2785	3061	2720	2392	3797	2273	3115	3410	2679	1645	2818	3295	2002
Ocjena	39.67		42		41		40.33		44		40		28.67	

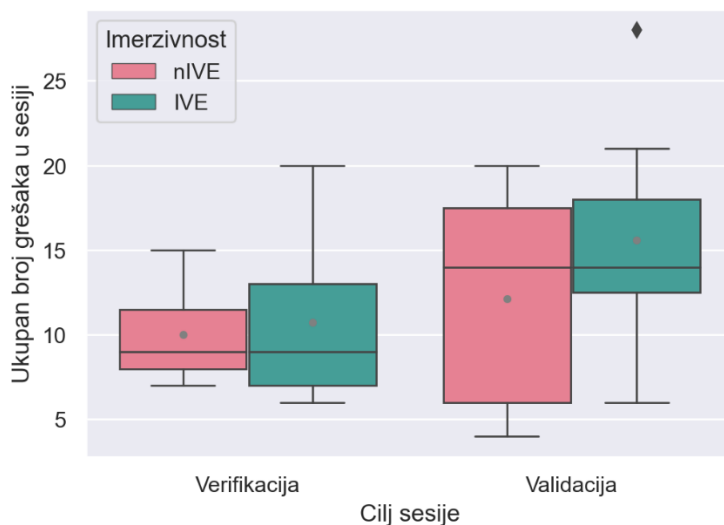
4.1. Analiza podataka na razini sesija

Prosjeck ocjena svih timova je 39,7. Najlošije ocijenjeni tim je imao ocjenu 28,67 i koristio je IVE za pregled konstrukcije, a najbolje ocijenjeni timovi 44 od kojih su dva koristila nIVE i dva IVE. Distribucija rezultata prikazana je na slici 16. Timovi koji su koristili nIVE su dobili prosječnu ocjenu 40, a timovi koji su koristili IVE 39,4. Razlika u ocjenama između timova koji su koristile nIVE i IVE prema Student-ovom t-testu nije značajna ($t = 0,45, p = 0,66$) i veličina učinka je mala ($d = 0,17$).



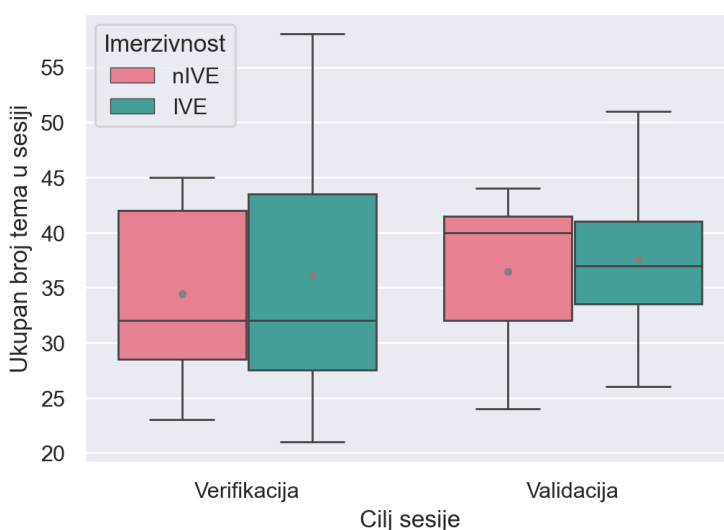
Slika 16 Distribucija ocjena timova

Tijekom eksperimenta timovi su prijavili ukupno 339 grešaka na konstrukcijama, od kojih je 155 prijavljeno tijekom pregleda konstrukcije uporabom nIVE, a 184 tijekom uporabe IVE. Prosječno je tijekom sesije koje su koristile nIVE prijavljeno 11,07 grešaka, a tijekom sesija koje su koristile IVE 13,14. U verifikacijskim sesijama je prosječno prijavljeno 10,36, a u validacijskim 13,86 problema. Distribucija rezultata prikazana je na slici 17. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između broja grešaka u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,98, p = 0,34$) kao ni između ciljeva sesije ($F(1,12) = 1,54, p = 0,14$). Imerzivnost je imala mali učinak na broj grešaka ($\eta^2 = 0,04$), a cilj sesije je imao srednji učinak ($\eta^2 = 0,1$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,38, p = 0,55$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,02$). Valja napomenuti da je IQR metodom uočena jedna izvanredna validacijska sesija u IVE.



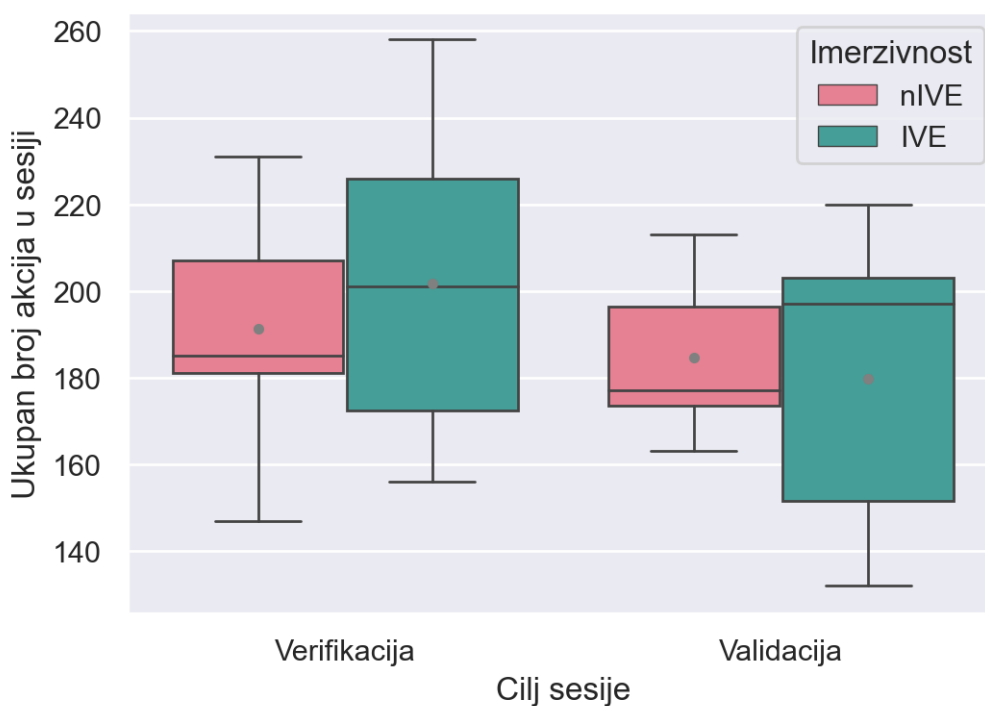
Slika 17 Distribucija broja prijavljenih grešaka tijekom pregleda konstrukcije

Tijekom svih eksperimenata su sudionici razgovarali ukupno o 1012 tema. Tijekom pregleda konstrukcije uporabom nIVE u prosjeku su prodiskutirali 35,43 teme, a uporabom IVE 36,86 tema. U verifikacijskim sesijama su prosječno razgovarali o 10,36 tema, a u validacijskim 13,86. Distribucija rezultata prikazana je na slici 18. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između broja tema u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,92, p = 0,77$), kao ni između ciljeva sesije ($F(1,12) = 0,78, p = 0,39$). Imerzivnost je imala mali učinak na broj tema ($\eta^2 = 0,01$), kao i cilj sesije ($\eta^2 = 0,01$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,02, p = 0,89$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 2,6 \times 10^{-4}$).



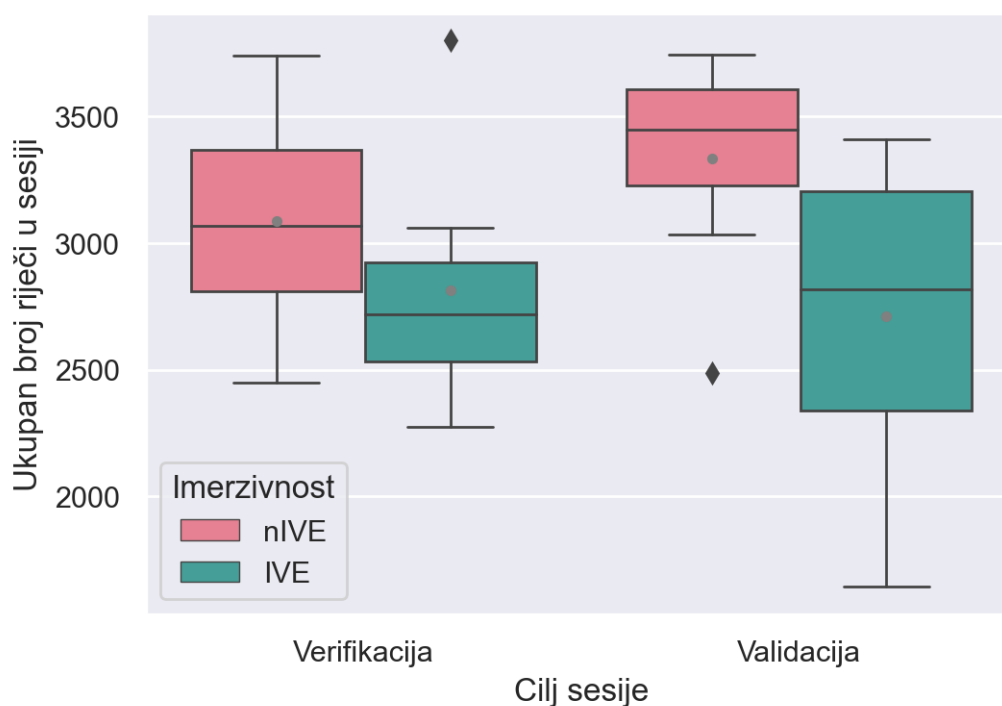
Slika 18 Distribucija broja raspravljenih tema tijekom sesije

Tijekom kodiranja podataka zabilježeno je ukupno 5302 akcije vezanih uz konstrukciju. Tijekom sesije koje su koristile nIVE za pregled konstrukcije prosječno je izvršeno 188 akcija, a u onima koje su koristile IVE 190,71. Tijekom verifikacijskih sesija prosječno je izvršeno 196,5 akcija, a tijekom validacijskih 182,21. Distribucija rezultata prikazana je na slici 19. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između broja akcija u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,04, p = 0,84$) kao ni između ciljeva sesije ($F(1,12) = 2,32, p = 0,15$). Imerzivnost je imala mali učinak na broj akcija ($\eta^2 = 0,002$), a cilj sesije je imao srednji učinak ($\eta^2 = 0,06$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,68, p = 0,43$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,02$).



Slika 19 Distribucija broja akcija tijekom sesije

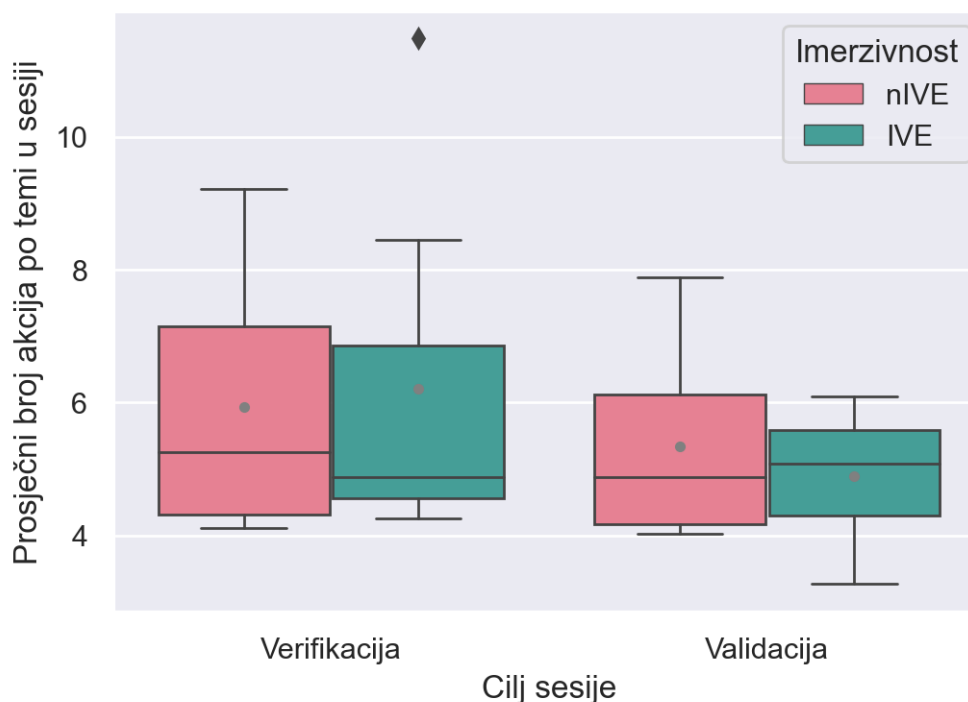
Transkripcijom sesija provedenih tijekom eksperimenta dobiveno je 83 615 riječi. Prosječni broj riječi tijekom pregleda konstrukcije u nIVE iznosi 3 211, a u IVE 2 762. Tijekom verifikacijskih sesija prosječni broj riječi je 2 950, a tijekom validacijskih 3 022. Distribucija rezultata prikazana je na slici 20. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da je razlika između broja riječi u različitim razinama imerzivnosti značajna ($F(1,12) = 3,47, p = 0,09$), ali nije značajna između ciljeva sesije ($F(1,12) = 0,25, p = 0,62$). Imerzivnost je imala veliki učinak na broj riječi tijekom sesije ($\eta^2 = 0,18$), a cilj sesije je imao mali učinak ($\eta^2 = 0,005$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 1,57, p = 0,23$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,03$).



Slika 20 Distribucija ukupnog broja riječi tijekom sesije

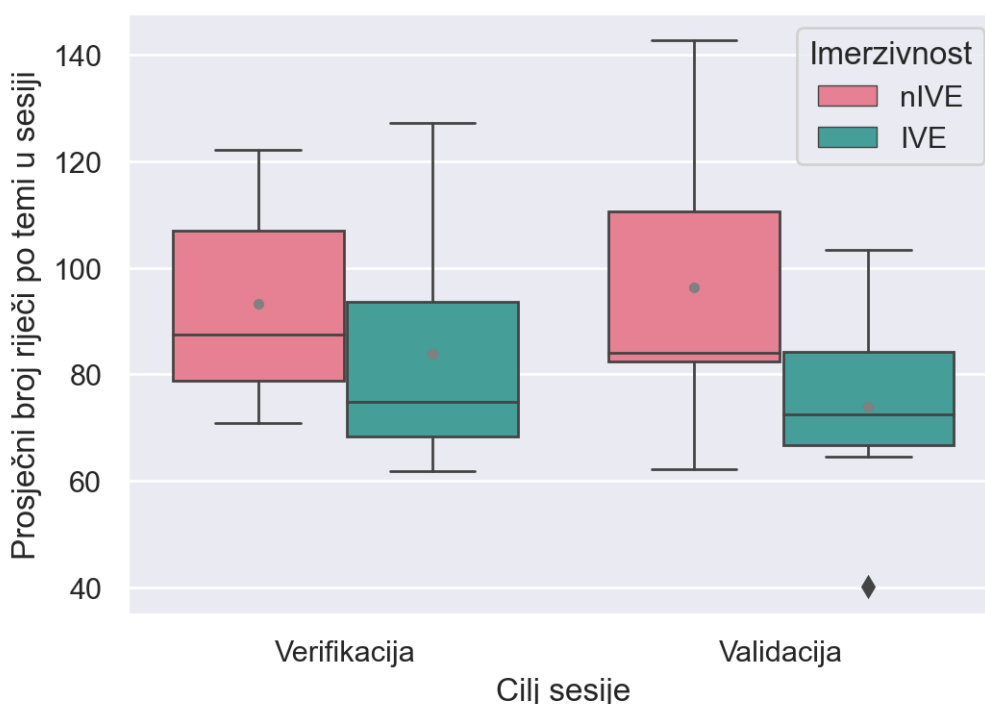
4.2. Analiza podataka na razini tema

U prosjeku svaka tema se sastoji od 5,59 akcija, odnosno 5,63 za sesije u nIVE i 5,54 za sesije u IVE. U verifikacijskim sesijama taj prosjek iznosi 6,07 akcija po temi, a u validacijskim 5,11. Distribucija rezultata prikazana je na slici 21. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između broja akcija po temi u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,01, p = 0,92$), ali je značajna između ciljeva sesije ($F(1,12) = 4,4, p = 0,06$). Imerzivnost je imala mali učinak na broj akcija po temi ($\eta^2 = 6,32 \times 10^{-4}$), a cilj sesije je imao srednji učinak ($\eta^2 = 0,07$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,65, p = 0,44$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,01$). IQR metoda je pokazala da postoje izvanredni podaci. Ti podaci se odnose na jednu verifikacijsku sesiju u nIVE i jednu verifikacijsku sesiju u IVE.



Slika 21 Distribucija prosječnog broja akcija po temi tijekom sesije

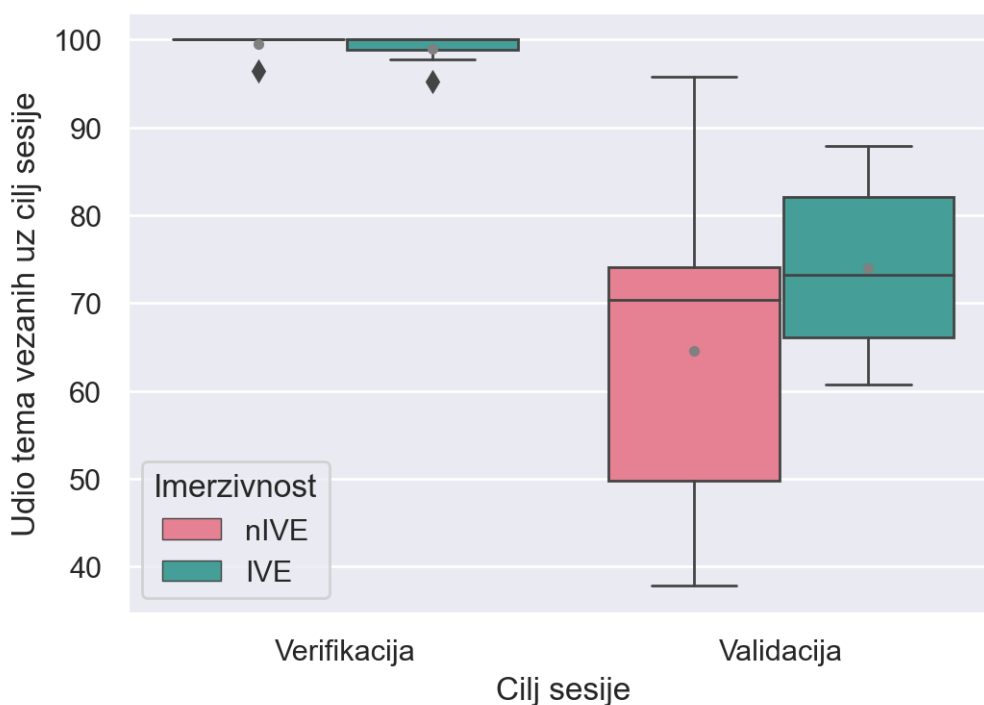
U prosjeku se svaka tema sastoji od 86,87 riječi. Tijekom sesija u nIVE teme u prosjeku sadrže 94,78, a u IVE 78,96. U verifikacijskim sesijama tema u prosjeku sadrži 88,56 riječi, a u validacijskim 58,18. Distribucija rezultata prikazana je na slici 22. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između broja riječi po temi u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 1,65, p = 0,22$), kao ni između ciljeva sesije ($F(1,12) = 0,84, p = 0,38$). Imerzivnost je ipak imala srednji učinak na broj riječi po temi ($\eta^2 = 0,11$), a cilj sesije je imao mali učinak ($\eta^2 = 0,006$). Utjecaj interakcije se ipak pokazao značajnim ($F(1,12) = 3,21, p = 0,098$), ali je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,02$). IQR metoda je pokazala da je jedna validacijska sesija u nIVE izvanredna.



Slika 22 Distribucija prosječnog broja riječi po temi tijekom sesije

4.2.1. Udio tema vezanih s ciljem sesije

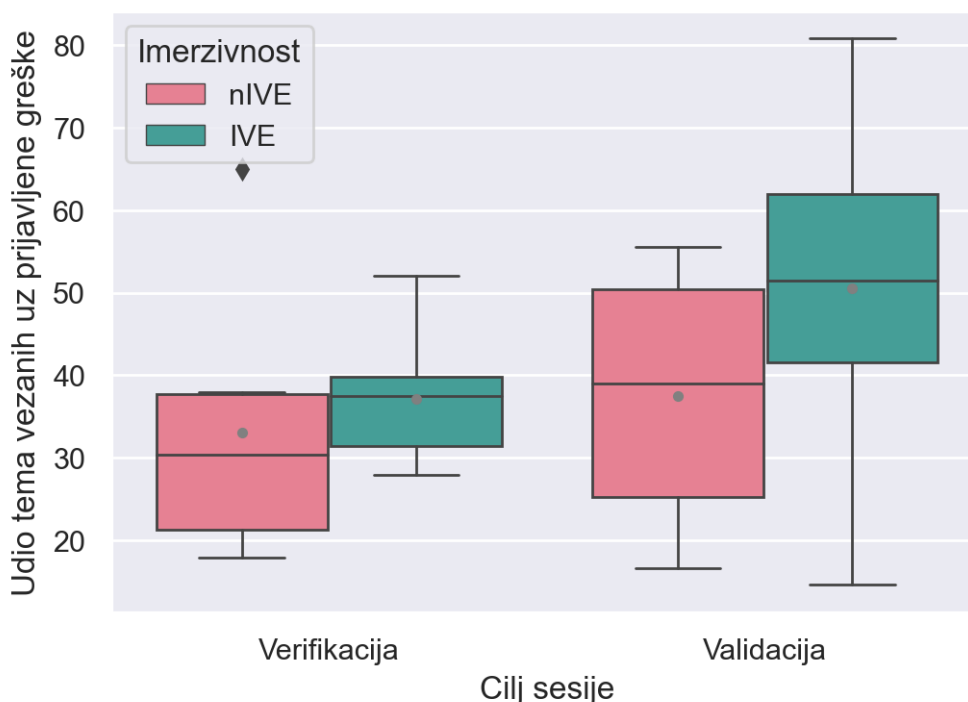
Od svih prodiskutiranih tema, 83,5 % ih je vezano uz cilj. Tijekom pregleda konstrukcije uporabom nIVE prosječni udio tema vezanih uz cilj sesije iznosi 82,01%, a uporabom IVE 86,51%. Tijekom verifikacijskih sesija 99,24% tema je u prosjeku vezano uz cilj sesije, a tijekom validacijskih 69,28%. Distribucija rezultata prikazana je na slici 23. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između udjela tema vezanih uz cilj sesije u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,99, p = 0,34$), ali je značajna između ciljeva sesije ($F(1,12) = 49,47, p = 1,37 \times 10^{-5}$). Imerzivnost je imala mali učinak na udio tema vezanih uz cilj sesije ($\eta^2 = 0,04$), a cilj sesije je imao veliki učinak ($\eta^2 = 0,66$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 1,38, p = 0,26$), ali je veličina učinka interakcije srednja ($\eta^2 = 0,051$). Zbog toga je proveden i post-hoc t-test kako bi se utvrdilo ima li imerzivnost utjecaj na udio tema koje imaju veze s ciljem sesije tijekom validacijske sesije. Test je pokazao da imerzivnost nema značajan utjecaj ($t(12) = 1,09, p = 0,6$), no veličina učinka je srednja ($d = 0,58$).



Slika 23 Distribucija udjela tema koje su vezane uz cilj sesije

4.2.2. Udio tema vezanih s prijavljenim greškama

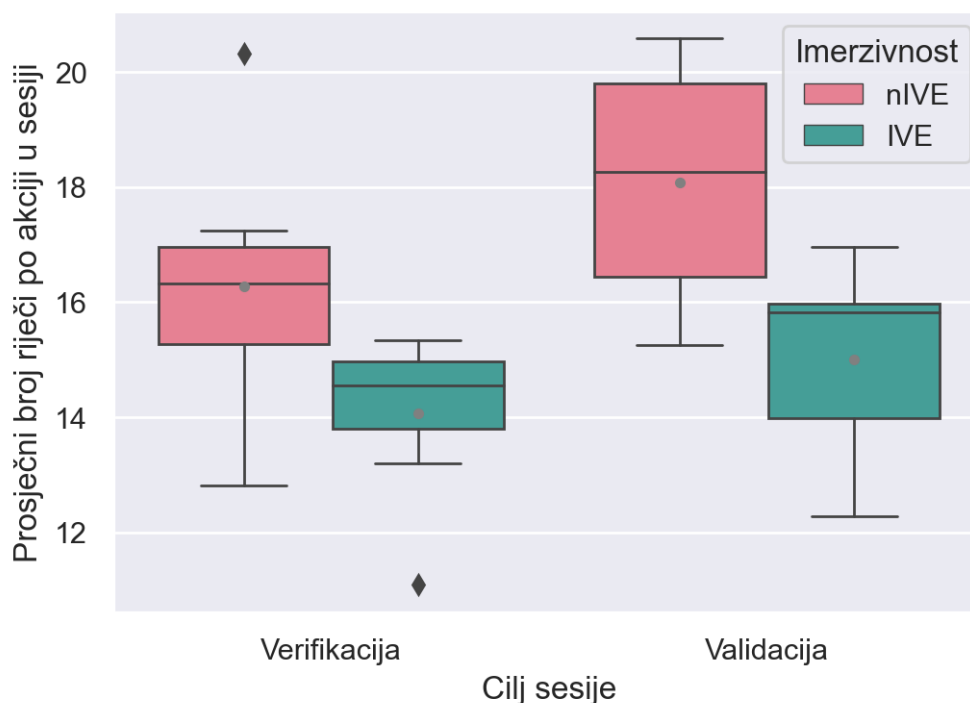
U prosjeku, 39,5% raspravljenih tema su vezane uz greške koje su kasnije prijavljene. Kod timova koji su koristili nIVE, prosjek iznosi 35,3%, a timovi koji su koristili IVE su u 43,9% tema pričali o prijavljenim greškama. Tijekom verifikacijskih sesija prosječni broj tema vezanih uz prijavljene greške iznosi 35,1%, a tijekom validacijskih 44%. Distribucija rezultata prikazana je na slici 24. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između udjela tema vezanih uz greške u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 1,49, p = 0,25$), ali je značajna između ciljeva sesije ($F(1,12) = 3,34, p = 0,09$). Imerzivnost je imala srednji učinak na udio tema vezanih uz prijavljene greške ($\eta^2 = 0,08$), kao i cilj sesije ($\eta^2 = 0,8$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,84, p = 0,38$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,02$). Zbog toga, proveden je i post-hoc t-test kako bi se utvrdilo ima li imerzivnost utjecaj na udio tema tijekom validacijske sesije koje imaju veze s prijavljenim greškama. Test je pokazao da imerzivnost nema značajan utjecaj ($t(12) = 1,31, p = 0,43$), no veličina učinka je srednja ($d = 0,7$).



Slika 24 Distribucija udjela tema koje su vezane uz prijavljene greške

4.3. Analiza podataka na razini akcija

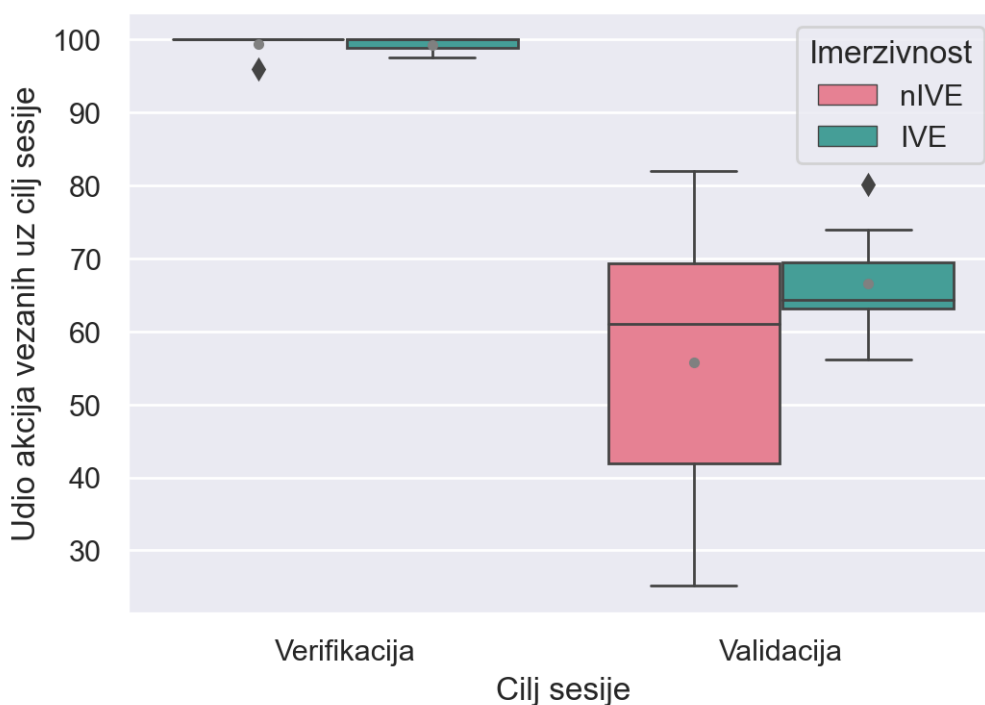
U prosjeku se svaka akcija sastoji od 15,85 riječi. Tijekom sesija u nIVE akcije u prosjeku sadrže 17,17, a u IVE 14,53 U verifikacijskim sesijama akcija u prosjeku sadrži 15,17 riječi, a u validacijskim 16,54. Distribucija rezultata prikazana je na slici 25. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da je razlika između broja riječi po akciji u različitim razinama imerzivnosti značajna ($F(1,12) = 18,49, p = 0,001$), ali između ciljeva sesije nije značajna ($F(1,12) = 2,72, p = 0,12$). Imerzivnost je imala veliki učinak na broj riječi po temi ($\eta^2 = 0,35$), a cilj sesije je imao srednji učinak ($\eta^2 = 0,13$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 0,29, p = 0,6$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,02$). Zbog toga, proveden je i post-hoc t-test kako bi se utvrdilo ima li imerzivnost utjecaj na prosječni broj riječi po akciji tijekom validacijske sesije i verifikacijske sesije. Test je pokazao da imerzivnost ima značajan utjecaj ($t(12) = 3, p = 0,02$) na validacijske sesije, a veličina učinka je velika ($d = 1,6$). Imerzivnost nema značajan utjecaj na verifikacijske sesije ($t(12) = 2,13, p = 0,11$), ali je veličina učinka velika ($d = 1,14$). IQR metoda je pokazala da postoje izvanredni podaci kod prosječnog broja riječi po akciji. Ti podaci se odnose na jednu verifikacijsku sesiju u nIVE, jednu verifikacijsku sesiju u IVE i jednu validacijsku sesiju u nIVE.



Slika 25 Distribucija prosječnog broja riječi po akciji tijekom sesije

4.3.1. Udio akcija vezanih s ciljem sesije

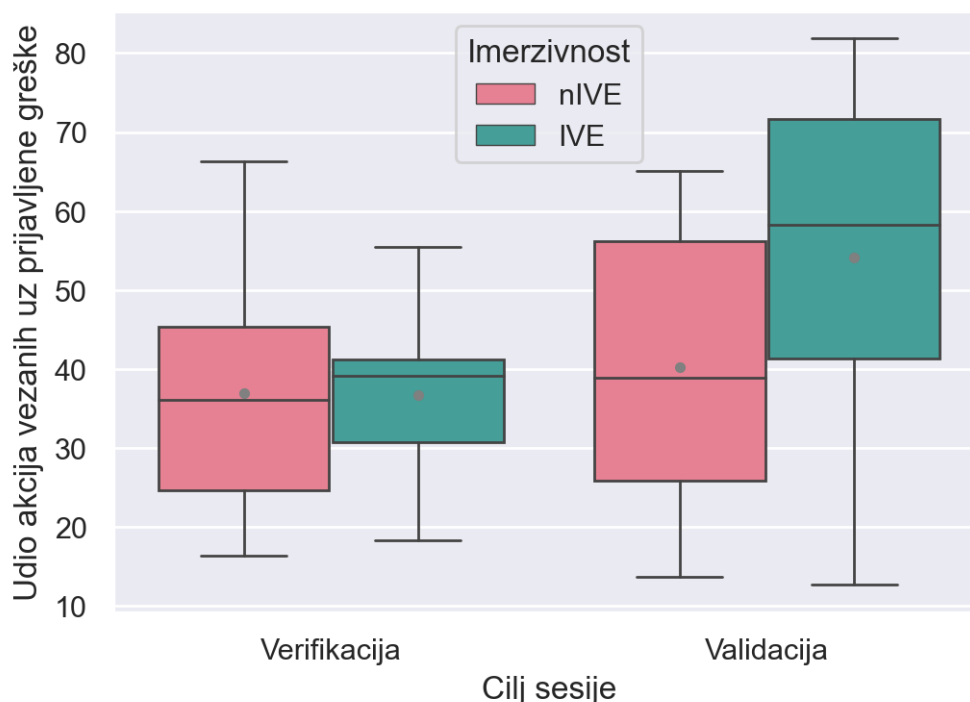
Ukupno je 80,99% akcija vezano uz cilj sesije. Tijekom sesija koje su koristile nIVE za pregled konstrukcije prosječno je 77,61% svih akcija vezano uz cilj sesije, a tijekom onih koje su koristile IVE 82,95% akcija je vezano uz cilj sesije. Tijekom verifikacijskih sesija 99,37% akcija je vezano uz cilj, a tijekom validacijskih 61,18%. Distribucija rezultata prikazana je na slici 26. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između udjela akcija vezanih uz cilj sesije u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 1,54, p = 0,24$), ali je značajna između ciljeva sesije ($F(1,12) = 90,19, p = 6,24 \times 10^{-7}$). Imerzivnost je imala srednji učinak na udio akcija vezanih uz cilj sesije ($\eta^2 = 0,06$), a cilj sesije je imao veliki učinak ($\eta^2 = 0,78$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 1,81, p = 0,2$), ali je veličina učinka interakcije srednja ($\eta^2 = 0,07$). Zbog toga, proveden je i post-hoc t-test kako bi se utvrdilo ima li imerzivnost utjecaj na udio akcija tijekom validacijske sesije koje imaju veze s ciljem sesije. Test je pokazao da imerzivnost nema značajan utjecaj ($t(12) = 1,3, p = 0,4$), no veličina učinka je srednja ($d = 0,7$).



Slika 26 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz cilj sesije

4.3.2. Udio akcija vezanih s prijavljenim greškama

Od svih akcija 41,85% njih su vezane s prijavljenim greškama. Tijekom sesije koje su koristile nIVE u prosjeku je 38,6% akcija vezano s prijavljenim greškama, a tijekom sesija koje su koristile IVE 45,48%. Tijekom verifikacijskih sesija 36,82% akcija je vezano s prijavljenim greškama, a tijekom validacijskih 47,16%. Distribucija rezultata prikazana je na slici 27. Dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala je da razlika između udjela akcija vezanih uz prijavljene greške u različitim razinama imerzivnosti nije značajna ($F(1,12) = 0,79, p = 0,39$) kao ni između ciljeva sesije ($F(1,12) = 2,32, p = 0,15$). Imerzivnost je imala mali učinak na udio akcija vezanih uz prijavljene greške ($\eta^2 = 0,04$), a cilj sesije je imao srednji učinak ($\eta^2 = 0,08$). Utjecaj interakcije također nije značajan ($F(1,12) = 1,09, p = 0,32$), te je veličina učinka interakcije mala ($\eta^2 = 0,04$). Zbog toga, proveden je i post-hoc t-test kako bi se utvrdilo ima li imerzivnost utjecaj na udio akcija tijekom validacijske sesije koje imaju veze s prijavljenim greškama. Test je pokazao da imerzivnost nema značajan utjecaj ($t(12) = 1,16, p = 0,54$), no veličina učinka je srednja ($d = 0,62$).



Slika 27 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz prijavljene greške

4.4. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Kao što je već spomenuto, bolje ocijenjeni timovi su oni čija je konstrukcija ocijenjena iznad medijana, a lošije ocijenjeni timovi su oni čija je konstrukcija ocijenjena ispod medijana.

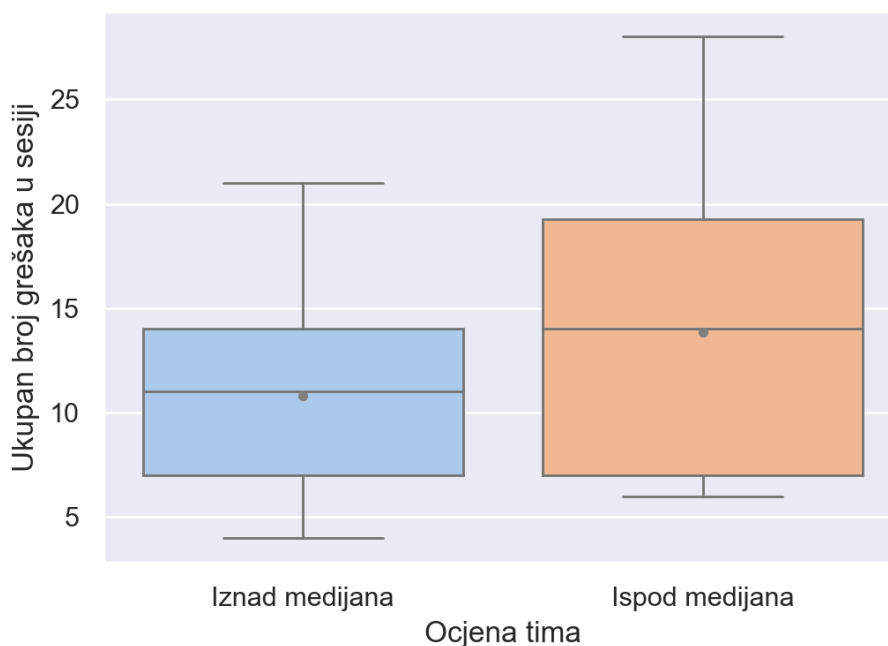
Od provedenih analiza jedino je usporedba udjela tema vezanih uz prijavljene greške pokazala značajnu razliku između bolje i lošije ocijenjenih timova. Sažetak statističke analize utjecaja kvalitete konstrukcije na pregled konstrukcije prikazan je u tablici 7.

Tablica 7 Sažetak statističke analize bolje i lošije ocijenjenih timova

Usporedba	Veličina učinka	Razina značajnosti		Provedeni test
	Cohenov d	t ili Wilcox U	p	
Ukupan broj grešaka u sesiji	0.53	1.068	0.286	Wilcoxon-ov test ranga
Ukupan broj tema u sesiji	0.2	0.504	0.62	Welch-ov t-test
Udio tema vezanih uz cilj sesije	0.62	1.613	0.119	Studentov t-test
Udio tema vezanih uz prijavljene greške	0.78	1.95	0.051	Wilcoxon-ov test ranga
Ukupan broj akcija u sesiji	0.18	0.395	0.693	Wilcoxon-ov test ranga
Prosječni broj akcija po temi u sesiji	0.28	0.717	0.481	Welch-ov t-test
Udio akcija vezanih uz cilj sesije	0.51	1.34	0.192	Studentov t-test
Udio akcija vezanih uz prijavljene greške	0.47	1.161	0.246	Wilcoxon-ov test ranga
Ukupan broj riječi u sesiji	0.18	0.604	0.546	Wilcoxon-ov test ranga
Prosječni broj riječi po akciji u sesiji	0.4	0.65	0.516	Wilcoxon-ov test ranga
Prosječni broj riječi po temi u sesiji	0.1	0.139	0.889	Wilcoxon-ov test ranga
Udio riječi vezanih uz cilj sesije	0.54	1.406	0.172	Studentov t-test
Udio riječi vezanih uz prijavljene greške	0.42	0.975	0.33	Wilcoxon-ov test ranga

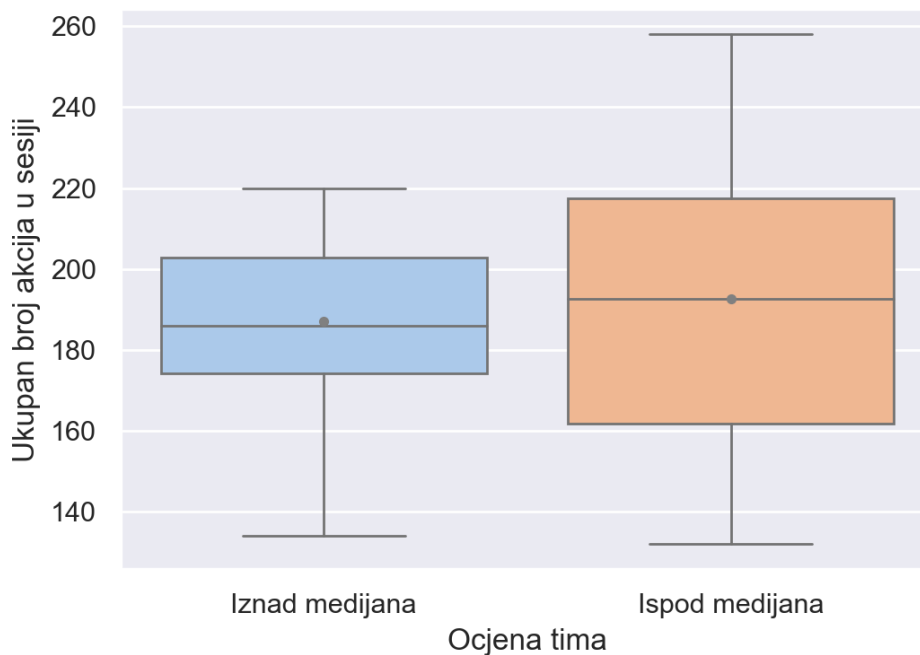
4.4.1. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini sesija

Timovi čija je konstrukcija bolje ocijenjena (iznad medijana) su u prosjeku imali 13,83 prijavljenih grešaka, a oni koji su lošije ocijenjeni (ispod medijana) 10,81. Distribucija rezultata prikazana je na slici 28. Wilcoxon-ov test ranga pokazao je da razlika u broju prijavljenih grešaka između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U = 1,07, p = 0,29$), ali je veličina učinka srednja ($d = 0,53$).



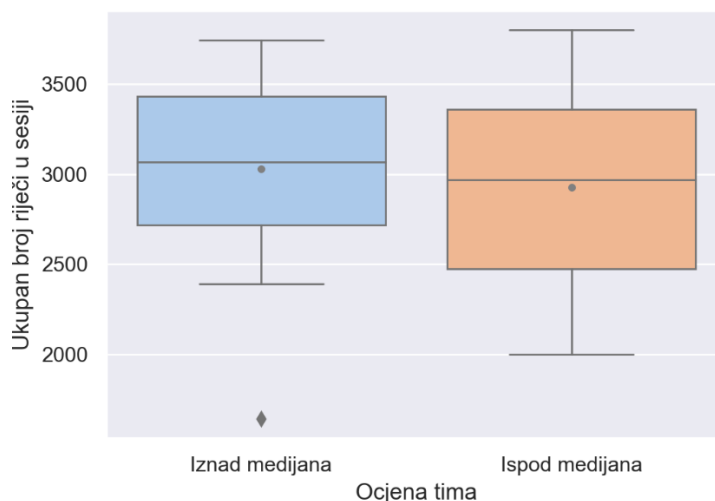
Slika 28 Distribucija broja prijavljenih grešaka tijekom pregleda konstrukcije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Bolje ocijenjeni timovi u prosjeku imaju 186,9 akcija tijekom sesije, a lošije ocijenjeni timovi 192,6. Distribucija rezultata prikazana je na slici 29. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U(12) = 0,39, p = 0,69$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,18$).



Slika 29 Distribucija broja akcija tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

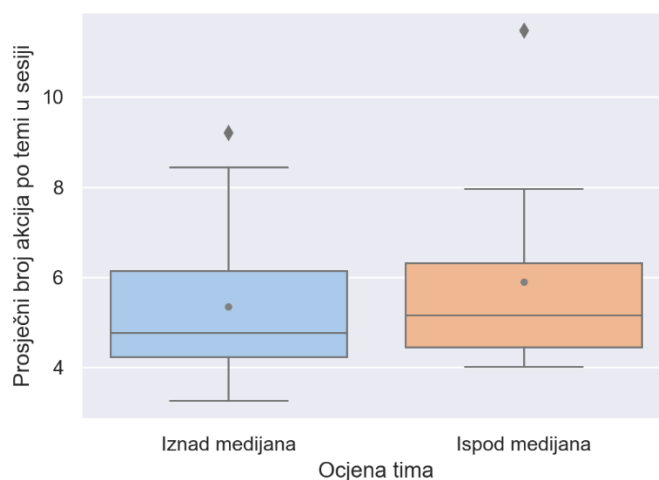
Bolje ocijenjeni timovi su prosječno izgovorili 3030 riječi tijekom sesije, a lošije ocijenjeni 2928 riječi. Distribucija rezultata prikazana je na slici 30. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U(12) = 0,6, p = 0,55$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,47$).



Slika 30 Distribucija ukupnog broja riječi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

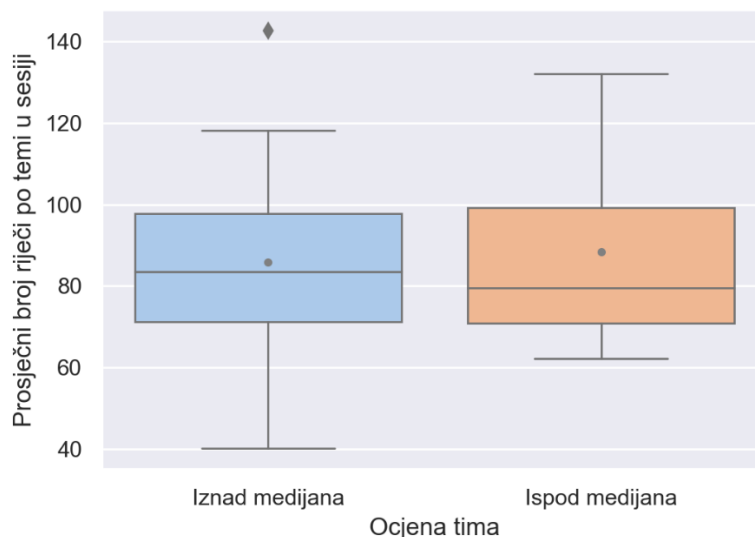
4.4.2. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini tema

Bolje ocijenjeni timovi su prosječno imali 5,4 akcija po temi, a lošije ocijenjeni timovi 5,9. Distribucija rezultata prikazana je na slici 31. Welch-ov t-test je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($t(12) = 0,72, p = 0,48$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,28$).



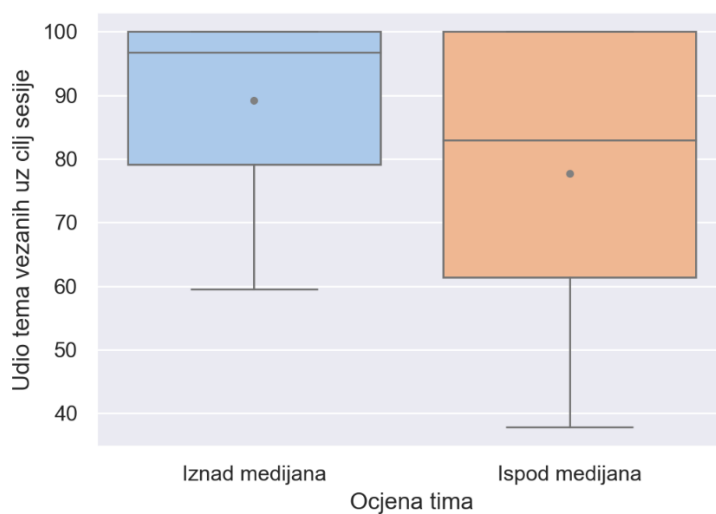
Slika 31 Distribucija prosječnog broja akcija po temi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Bolje ocijenjeni timovi su prosječno izgovorili 85,76 riječi po temi tijekom sesije, a lošije ocijenjeni 88,35 riječi po temi. Distribucija rezultata prikazana je na slici 32. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U(12) = 0,14, p = 0,89$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,1$).



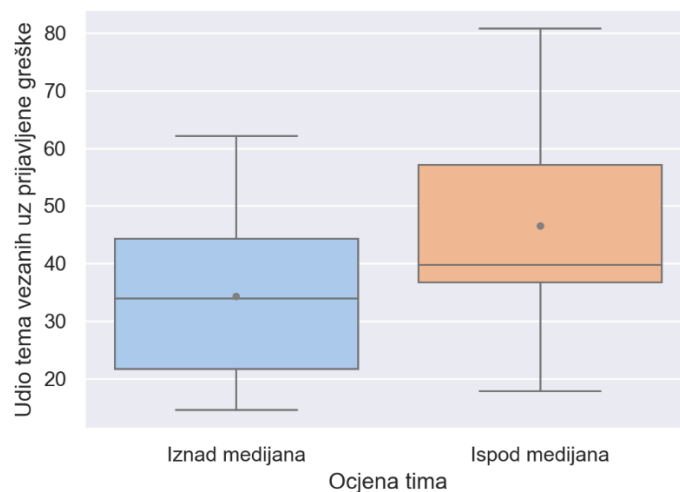
Slika 32 Distribucija prosječnog broja riječi po temi tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Bolje ocijenjenim timovima je u prosjeku 89,16% tema tijekom sesije vezano uz cilj sesije, a lošije ocijenjenim timova 77,73%. Distribucija rezultata prikazana je na slici 33. Studentov t-test je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($t(12) = 1,61, p = 0,12$), iako je veličina učinka te razlike srednja ($d = 0,62$).



Slika 33 Distribucija udjela tema koje su vezane uz cilj sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

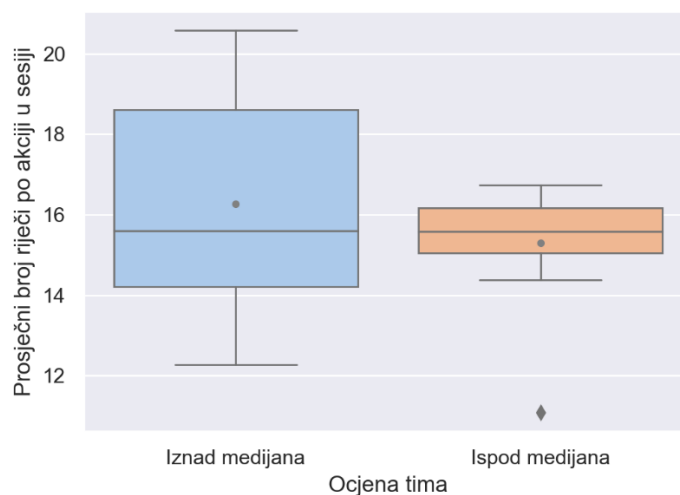
Bolje ocijenjeni timovi su u prosjeku u 34,3% tema razgovarali o prijavljenim greškama, a lošije ocijenjeni timovi u 46,5% tema. Distribucija rezultata prikazana je na slici 34. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da je razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova značajna ($U(12) = 1,95, p = 0,05$), a veličina učinka te razlike je srednja ($d = 0,78$).



Slika 34 Distribucija udjela tema koje su vezane uz prijavljene greške – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

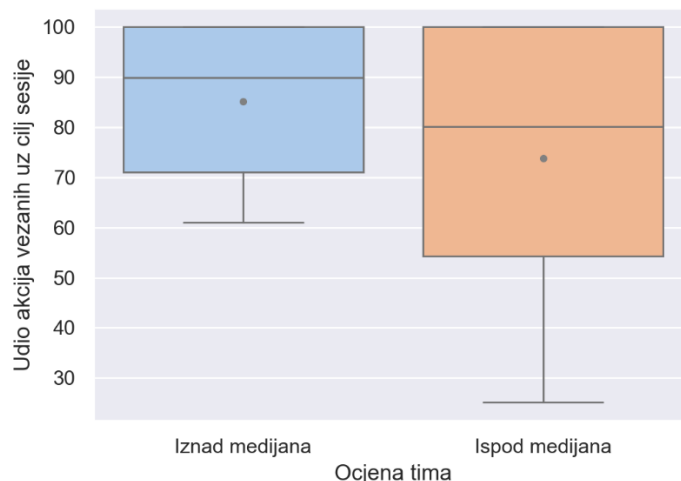
4.4.3. Usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova na razini akcija

Bolje ocijenjeni timovi su prosječno izgovorili 16,26 riječi po akciji tijekom sesije, a lošije ocijenjeni 15,31 riječi po akciji. Distribucija rezultata prikazana je na slici 35. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U(12) = 0,65, p = 0,52$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,4$).



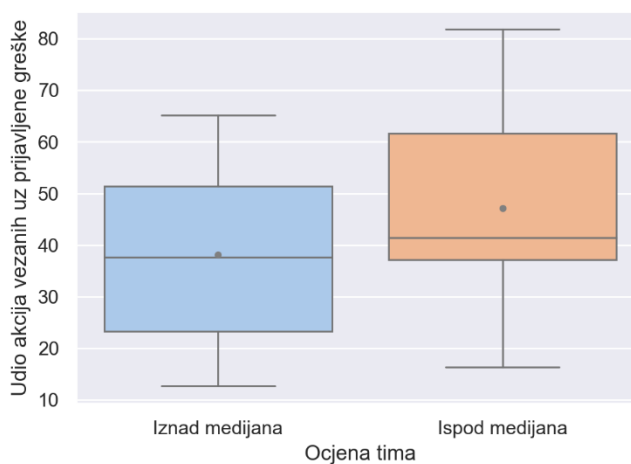
Slika 35 Distribucija prosječnog broja riječi po akciji tijekom sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Kod bolje ocijenjenih timova udio akcija vezanih uz cilj sesije je prosječno iznosio 85,12%, a kod lošije ocijenjenih 73,83%. Distribucija prikazana na slici 36. Student-ov t-test je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($t(12) = 1,34, p = 0,19$), ali je veličina učinka te razlike srednja ($d = 0,51$).



Slika 36 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz cilj sesije – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

Kod bolje ocijenjenih timova udio akcija vezanih uz neku od prijavljenih grešaka je prosječno iznosio 38,09%, a kod lošije ocijenjenih 47,18%. Distribucija prikazana na slici 37. Wilcoxon-ov test ranga je pokazao da razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova nije značajna ($U(12) = 1,16, p = 0,25$), a veličina učinka te razlike je mala ($d = 0,47$).



Slika 37 Distribucija udjela akcija koje su vezane uz prijavljene greške – usporedba bolje i lošije ocijenjenih timova

5. DISKUSIJA

Rezultati dobiveni analizom podataka predlažu da IVE može poboljšati efektivnost i fokusiranost timova na greške tijekom pregleda konstrukcije, a utjecaj je izraženiji tijekom validacijskih pregleda. Statistička analiza pokazuje i da je efikasnost riječi značajno bolja kod sesija u IVE-u, što predlaže da IVE olakšava komunikacija između sudionika. Osim toga, analiza utjecaja cilja sesije pokazuje da su timovi više fokusirani na greške tijekom validacijskih sesija, ali su značajno efektivniji tijekom verifikacijskih sesija. Konačno, rezultati sugeriraju da su timovi koji pregledavaju kvalitetnije konstrukcije više fokusirani na greške, ali su manje efektivni s obzirom na cilj sesije.

U odjeljku 5.1 detaljnije su opisani rezultati analize utjecaja imerzivnosti na pregled konstrukcije, u odjeljku 5.2 rezultati analize utjecaja cilja sesije i u odjeljku 5.3 rezultati analize utjecaja kvalitete konstrukcije. Konačno, u odjeljku 5.4 opisana su ograničenja provedene analize.

5.1. Utjecaj imerzivnosti na pregled konstrukcije

Timovi koji su pregledavali konstrukcije u IVE-u su u prosjeku pronašli više grešaka, ali je statistička analiza pokazala da ta razlika nije značajna. Dosadašnja istraživanja su pokazala konfliktne spoznaje o utjecaju imerzivnosti na pronalazak grešaka [11], [33], [36]. Rezultati dobiveni iz ovog eksperimenta podudaraju se sa zaključcima Wolfartsberger-a [37]. Pregledom konstrukcije u IVE-u pronalazi se više grešaka, a validacijske sesije povećavaju razliku između IVE-a i nIVE-a. Agirachman i sur. [16] upućuju na to da IVE možda poboljšava samo neke aspekte pregleda konstrukcije, što se podudara s utjecajem cilja sesije na razliku između IVE-a i nIVE-a.

Veći utjecaj imerzivnosti tijekom validacije je vidljiv i kod efektivnosti i fokusiranosti timova na greške. Timovi su bili i efektivniji i više fokusirani na greške tijekom IVE-a, a post-hoc t-test je pokazao da je razlika između IVE-a i nIVE-a veća u validacijskim sesijama. Još jedan potencijalan uzrok ovih rezultata je mogućnost kretanja i pozicioniranja sudionika u virtualnoj okolini oko digitalnog modela. Zbog toga, sudionici su mogli sebe staviti u položaj kupca. Dodatno, u IVE-u sudionici su mogli vidjeti avatare drugih sudionika što im omogućuje da promatraju interakcije sudionika s konstrukcijom. Te dodatne mogućnosti IVE-a možda potiču bolje razumijevanje interakcije kupca s proizvodom [32] što bi olakšalo validaciju proizvoda.

Nadalje, bolja fokusiranost na greške u IVE-u pruža dodatne implikacije. Postojeća istraživanja predlažu da IVE omogućava brže razumijevanje digitalnih modela [34]. Zbog toga, timovi su možda u manje raspravljenih tema mogli dobiti dovoljno dobro razumijevanje konstrukcije kako bi ju mogli evaluirati. Još jedno potencijalno objašnjenje je da su u IVE-u prije mogli primijetiti grešku. Ako IVE omogućuje brže razumijevanje modela [34], možda omogućuje i brže shvaćanje elemenata u modelu pa je sudionicima lakše shvatiti na koji način elementi ne ispunjavaju zahtjeve. Veći utjecaj IVE-a na validacijske sesije se slaže s dosadašnjim istraživanjima koja predlažu da je nIVE bolji za operacije vezane uz verifikaciju [40].

Timovi u IVE-u su u prosjeku imali više tema i akcija, ali manji broj riječi tijekom sesije. Razlike tema i akcija između sesija u IVE-u i nIVE-u nije značajna i imaju mali učinak, ali je značajno manje riječi u IVE-u. U dosadašnjim istraživanjima pokazano je da pregledi konstrukcija u IVE-u omogućavaju bolju komunikaciju između sudionika [37], što podržava dobivene rezultate o većem broju tema i akcija. Boljom komunikacijom, sudionici možda uspiju raspravljati o više tema te ih dublje raspraviti (više akcija). Predloženo je i da bolja svijest o drugim korisnicima u IVE-u umanjuje potrebu za verbalnom komunikacijom [21], što se slaže sa značajno manjim brojem riječi u ovom eksperimentu. Sudionici se u IVE-u mogu vidjeti u obliku avatara, što omogućuje više neverbalne komunikacije, a zbog toga je možda umanjena potreba za verbalnom komunikacijom. Navedene implikacije podržavaju i rezultati analize udjela riječi po akciji, riječi po temi i akcija po temi. Timovi koji su pregled konstrukcija obavili u IVE-u su na sve tri razine informacija bili efikasniji. Važno je napomenuti da je dvosmjerna mješovita ANOVA pokazala da je statistički značajna bolja efikasnost riječi po akciji kod IVE-a, kao i manji ukupan broj riječi.

Rezultati ukazuju na to da je IVE korisno primjenjivati za preglede konstrukcija, a posebice za validacijske preglede. Viša razina imerzivnosti omogućuje bolji uvid u korištenje proizvoda [32], zbog čega ga je lakše validirati. Nadalje, komunikacija je potencijalno olakšan pregledom u IVE-u. S obzirom na to da se sudionici međusobno vide u obliku avatara, omogućeno je više neverbalne komunikacije [21].

5.2. Utjecaj cilja sesije na pregled konstrukcije

Validacijske sesije su u prosjeku imale veći broj tema i riječi, ali manji broj akcija od verifikacijskih sesija. Te razlike nisu statistički značajne, ali cilj sesije ima srednji utjecaj na broj akcija tijekom sesije. Potencijalno obrazloženje za veći broj akcija i manji broj tema

verifikacijske sesije možda ima veze sa sastavom tima. Istraživanja predlažu da su inženjeri strojarstva možda bolji za verifikaciju proizvoda [49], a napučuju i da stručne kvalifikacije sudionika utječu na njihovo samopouzdanje u donesene odluke [50]. Ako su sudionici bili samopouzdaniji tijekom verifikacijskih sesija, moguće je da je to imalo utjecaj na dublje raspravljanje tema tijekom verifikacije. To podupiru i rezultati analize efektivnosti timova. Timovi su bili značajno efektivniji u verifikacijskim sesijama nego u validacijskim.

Statističkom analizom utvrđeno je da je značajan utjecaj cilja sesije na fokusiranost timova na greške. Timovi su imali značajno veći udio tema koji se bavio prijavljenim greškama u validacijskim sesijama. Mogući razlog za to je taj što timovi prilikom verificiranja proizvoda imaju ograničen broj zahtjeva koje mogu evaluirati. U validacijskim sesijama ipak imaju mogućnost kreativnijeg razmišljanja o mogućim funkcijama proizvoda koje bi kupac htio imati. To podržavaju i rezultati analize broja grešaka. Tijekom validacijskih sesija timovi su u prosjeku pronalazili više grešaka.

5.3. Utjecaj kvalitete konstrukcije na pregled konstrukcije

Pri usporedbi bolje i lošije ocijenjenih timova, uočena je značajna razlika između bolje i lošije ocijenjenih timova s obzirom na fokusiranost na greške. Bolje ocijenjeni timovi su bili više fokusirani na greške, a s druge strane prosječni broj pronađenih grešaka je nešto manji kod bolje ocijenjenih timova. Prijašnja istraživanja su pokazala da su sudionici manje sigurni u funkcionalnost proizvoda ako su upoznati s više grešaka te da su sudionici samopouzdaniji pri donošenju odluka ako imaju više relevantnog iskustva [50]. S obzirom na to da su timovi koji su napravili bolju konstrukciju bili više fokusirani na greške, možda je bolje ocijenjenim studentima trebalo manje tema i akcija za objašnjavanje konstrukcije recenzentima. Ako se uzme u obzir i manji broj grešaka, bolji timovi su možda tijekom više tema raspravljali o mogućim rješenjima.

U daljnjim istraživanjima bilo bi dobro promatrati i predlaganje rješenja tijekom pregleda konstrukcije kako bi se dobio bolji uvid u utjecaj kvalitete konstrukcije.

5.4. Ograničenja

Prvo ograničenje se odnosi na redoslijed provođenja pregleda konstrukcija. Kako je svaki tim prvo proveo verifikacijski, a zatim validacijski pregled, moguće je da je to utjecalo na rezultate. Nadalje, promatrane su samo akcije na razini tima iako postoji mogućnost individualnih akcija tijekom pregleda konstrukcije. Ovaj kompromis je prihvaćen zbog toga što se u radu promatra

utjecaj na timske aktivnosti pregleda konstrukcija. Svakako, valja napomenuti da se rezultati potencijalno mogu promijeniti ako se uzmu u obzir i individualne akcije. Konačno, svi sudionici su bili inženjeri ili studenti strojarstva. Kako istraživanja ukazuju da su inženjeri strojarstva potencijalno prikladniji za verifikacijske aktivnosti [49], moguće je da sastav timova također utječe na dobivene rezultate.

6. ZAKLJUČAK

U radu je provedena analiza pregleda konstrukcije u dvije razine imerzivnosti s dva različita cilja sesije pregleda. Promatrane su razlike između okolina visoke imerzivnosti (IVE) i niske imerzivnosti (nIVE) tijekom verifikacijskih i validacijskih pregleda konstrukcije, te utjecaj samog cilja na pregled. Osim toga, proučen je i utjecaj trenutnog stanja pregledavanog proizvoda na pregled konstrukcije. Pregled konstrukcije u IVE-u omogućen je uporabom HMD VR sustava, a za pregled u nIVE-u korišteno je kolaborativno CAD sučelje. Analiza pregleda izvršena je na tri informacijske razine: teme, akcije i riječi. Analizirane su efektivnosti timova, fokusiranost na greške i efikasnost riječi i akcija. Takav pristup omogućuje bolje razumijevanje prikladnosti uporabe VR-a za pregled konstrukcije.

Rezultati pokazuju da su timovi u IVE-u bili efektivniji, više fokusirani na greške i efikasniji nego u nIVE-u, a utjecaj imerzivnosti na efektivnost i fokusiranost timova je naglašeniji tijekom validacijskih sesija. Uočeno je i da su timovi bili značajno efektivniji tijekom verifikacijske sesije, ali su tijekom validacije bili efikasniji i više fokusirani na greške. Osim toga, rezultati predlažu da su timovi više fokusirani na greške kada pregledavaju bolje konstrukcija, iako je na njima pronađeno manje grešaka.

S obzirom na rezultate, jedna od mogućih implikacija rada je da su pregledi u IVE-u prikladniji kada je cilj validacija. Uz to, moguće je da timovi dublje raspravljaju o problemima kada je konstrukcija kvalitetnija. Prema tome, u industriji bi se preporučilo primijeniti IVE za preglede konstrukcija koji su sličniji validacijskim, to jest koji razmatraju ispunjenje korisničkih potreba, nego oni koji su slični verifikacijskim, to jest koji razmatraju ispunjenje postojećih tehničkih zahtjeva.

LITERATURA

- [1] P. J. Cash, B. J. Hicks, and S. J. Culley, "A comparison of designer activity using core design situations in the laboratory and practice," *Des Stud*, vol. 34, no. 5, 2013, doi: 10.1016/j.destud.2013.03.002.
- [2] G. Huet, S. J. Culley, C. A. McMahon, and C. Fortin, "Making sense of engineering design review activities," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, vol. 21, no. 3. 2007. doi: 10.1017/S0890060407000261.
- [3] C. A. Lauff, D. Knight, D. Kotys-Schwartz, and M. E. Rentschler, "The role of prototypes in communication between stakeholders," *Des Stud*, vol. 66, 2020, doi: 10.1016/j.destud.2019.11.007.
- [4] Y. Liu, J. I. Messner, and R. M. Leicht, "A process model for usability and maintainability design reviews," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 14, no. 6, 2018, doi: 10.1080/17452007.2018.1512042.
- [5] P. G. Maropoulos and D. Ceglarek, "Design verification and validation in product lifecycle," *CIRP Ann Manuf Technol*, vol. 59, no. 2, 2010, doi: 10.1016/j.cirp.2010.05.005.
- [6] S. K. Chandrasegaran *et al.*, "The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems," in *CAD Computer Aided Design*, 2013. doi: 10.1016/j.cad.2012.08.006.
- [7] L. P. Berg and J. M. Vance, "Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey," *Virtual Real*, vol. 21, no. 1, 2017, doi: 10.1007/s10055-016-0293-9.
- [8] D. Unger and S. Eppinger, "Improving product development process design: A method for managing information flows, risks, and iterations," *Journal of Engineering Design*, vol. 22, no. 10, 2011, doi: 10.1080/09544828.2010.524886.

- [9] B. F. Robertson and D. F. Radcliffe, "Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design," *CAD Computer Aided Design*, vol. 41, no. 3, 2009, doi: 10.1016/j.cad.2008.06.007.
- [10] Ben Lang, "VR Headsets on Steam Hit Record High Three Months Running," <https://www.roadtovr.com/monthly-connected-headsets-steam-3-million-march-2021/>, Apr. 02, 2021.
- [11] Y. Liu, F. Castronovo, J. Messner, and R. Leicht, "Evaluating the Impact of Virtual Reality on Design Review Meetings," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, no. 1, 2020, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000856.
- [12] J. J. Cummings and J. N. Bailenson, "How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence," *Media Psychol*, vol. 19, no. 2, 2016, doi: 10.1080/15213269.2015.1015740.
- [13] A. Berni and Y. Borgianni, "Applications of virtual reality in engineering and product design: Why, what, how, when and where," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, 2020. doi: 10.3390/electronics9071064.
- [14] F. El Jamiy and R. Marsh, "Survey on depth perception in head mounted displays: Distance estimation in virtual reality, augmented reality, and mixed reality," *IET Image Processing*, vol. 13, no. 5, 2019. doi: 10.1049/iet-ipr.2018.5920.
- [15] D. Paes, E. Arantes, and J. Irizarry, "Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems," *Autom Constr*, vol. 84, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.09.016.
- [16] F. A. Agirachman, M. Shinozaki, M. D. Koerniawan, and A. Indraprastha, "Implementing Affordance-Based Design Review Method Using Virtual Reality in Architectural Design Studio," *Buildings*, vol. 12, no. 9, 2022, doi: 10.3390/buildings12091296.

- [17] O. Eris, N. Martelaro, and P. Badke-Schaub, "A comparative analysis of multimodal communication during design sketching in co-located and distributed environments," *Des Stud*, vol. 35, no. 6, 2014, doi: 10.1016/j.destud.2014.04.002.
- [18] C. McMahon, "Design Informatics: Supporting Engineering Design Processes with Information Technology," *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 95, no. 4, 2015.
- [19] D. C. Wynn and P. J. Clarkson, "Process models in design and development," *Res Eng Des*, vol. 29, no. 2, 2018, doi: 10.1007/s00163-017-0262-7.
- [20] G. Q. Huang, "Web-based support for collaborative product design review," in *Computers in Industry*, 2002. doi: 10.1016/S0166-3615(02)00011-8.
- [21] M. Bassanino, T. Fernando, and K. C. Wu, "Can virtual workspaces enhance team communication and collaboration in design review meetings?," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 10, no. 3–4, 2014, doi: 10.1080/17452007.2013.775102.
- [22] C. K. Chua, S. H. Teh, and R. K. L. Gay, "Rapid prototyping versus virtual prototyping in product design and manufacturing," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 15, no. 8, 1999, doi: 10.1007/s001700050107.
- [23] I. Gibson, Z. Gao, and I. Campbell, "A comparative study of virtual prototyping and physical prototyping," in *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2004. doi: 10.1504/IJMTM.2004.005931.
- [24] D. A. Bowman and R. P. McMahan, "Virtual reality: How much immersion is enough?," *Computer (Long Beach Calif)*, vol. 40, no. 7, 2007, doi: 10.1109/MC.2007.257.
- [25] F. Biocca, "Virtual Reality Technology: A Tutorial," *Journal of Communication*, vol. 42, no. 4, 1992, doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00811.x.

- [26] H. Zhang, "Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry," *Int J Min Sci Technol*, vol. 27, no. 4, 2017, doi: 10.1016/j.ijmst.2017.05.005.
- [27] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, and J. C. Hart, "The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment," *Commun ACM*, vol. 35, no. 6, 1992, doi: 10.1145/129888.129892.
- [28] J. Q. Coburn, I. Freeman, and J. L. Salmon, "A Review of the Capabilities of Current Low-Cost Virtual Reality Technology and Its Potential to Enhance the Design Process," *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 17, no. 3, 2017. doi: 10.1115/1.4036921.
- [29] T. D. Parsons and A. A. Rizzo, "Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis," *J Behav Ther Exp Psychiatry*, vol. 39, no. 3, 2008, doi: 10.1016/j.jbtep.2007.07.007.
- [30] N. I. Durlach and A. S. Mavor, *Virtual Reality Scientific and Technological Challenges*, vol. 3, 2020.
- [31] H. P. Balzerkiewitz and C. Stechert, "THE EVOLUTION of VIRTUAL REALITY towards the USAGE in EARLY DESIGN PHASES," in *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, 2020. doi: 10.1017/dsd.2020.159.
- [32] M. Bassanino, K. C. Wu, J. Yao, F. Khosrowshahi, T. Fernando, and J. Skjærbaek, "The impact of immersive virtual reality on visualisation for a design review in construction," in *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, 2010. doi: 10.1109/IV.2010.85.
- [33] L. De Casenave and J. E. Lugo, "Design review using virtual reality enabled cad," in *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2017. doi: 10.1115/DETC2017-67878.
- [34] I. Freeman, J. Salmon, and J. Coburn, "A bi-directional interface for improved interaction with engineering models in virtual reality design reviews," *International*

- Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 12, no. 2. 2018. doi: 10.1007/s12008-017-0413-0.
- [35] N. Horvat, S. Škec, T. Martinec, F. Lukacevic, and M. M. Perišić, “Comparing virtual reality and desktop interface for reviewing 3D CAD models,” in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 2019. doi: 10.1017/dsi.2019.198.
- [36] J. G. Cárcamo, H. Trefftz, D. A. Acosta, and L. F. Botero, “Collaborative design model review in the AEC industry,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 11, no. 4, 2017, doi: 10.1007/s12008-016-0301-z.
- [37] J. Wolfartsberger, “Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review,” *Autom Constr*, vol. 104, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.03.018.
- [38] H. Sopher and J. S. Gero, “Effect of Immersive VR on Communication Patterns in Architectural Design Critiques,” in *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2021. doi: 10.52842/conf.ecaade.2021.1.123.
- [39] E. Beaudry Marchand, T. Dorta, and D. Pierini, “Influence of Immersive Contextual Environments on Collaborative Ideation Cognition - Through design conversations, gestures and sketches,” in *Proceedings of the 36th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe) [Volume 2]*, 2022. doi: 10.52842/conf.ecaade.2018.2.795.
- [40] L. P. Berg and J. M. Vance, “An Industry Case Study: Investigating Early Design Decision Making in Virtual Reality,” *J Comput Inf Sci Eng*, vol. 17, no. 1, 2017, doi: 10.1115/1.4034267.
- [41] H. Sopher, J. Milovanovic, and J. S. Gero, “Exploring the Effect of Immersive VR on Student-Tutor Communication in Architecture Design Crits,” in *Proceedings of the 27th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) [Volume 2]*, 2022. doi: 10.52842/conf.caadria.2022.2.315.

- [42] G. Pritchett, "Value Proposition Design: How to Create Products and Services Customers Want," *Central European Business Review*, vol. 3, no. 4, 2014, doi: 10.18267/j.cebr.104.
- [43] N. Becattini and L. Alberio, "Semi-automatic Analysis of Spoken Interaction Dynamics in Collaborative Design Sessions," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-91234-5_19.
- [44] J. Cohen, "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales," *Educ Psychol Meas*, vol. 20, no. 1, 1960, doi: 10.1177/001316446002000104.
- [45] A. Bryman and E. Bell, *Business Research Methods*, vol. 3, no. 1. 2007. doi: 10.4135/9780857028044.
- [46] G. Van Rossum *et al.*, *Python 3 Reference Manual*, vol. 585, no. 7825. 2009.
- [47] R. Vallat, "Pingouin: statistics in Python," *J Open Source Softw*, vol. 3, no. 31, 2018, doi: 10.21105/joss.01026.
- [48] P. Virtanen *et al.*, "SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python," *Nat Methods*, vol. 17, no. 3, 2020, doi: 10.1038/s41592-019-0686-2.
- [49] S. Yilmaz and S. R. Daly, "Feedback in concept development: Comparing design disciplines," *Des Stud*, vol. 45, 2016, doi: 10.1016/j.destud.2015.12.008.
- [50] S. Thimmaiah, K. Phelan, and J. D. Summers, "An Experimental Study on the Influence That Failure Number, Specialization, and Controls Have on Confidence in Predicting System Failures1," *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, vol. 139, no. 1, 2017, doi: 10.1115/1.4034789.
- [51] N. Horvat, T. Martinec, F. Lukačević, M. M. Perišić, and S. Škec, "The potential of immersive virtual reality for representations in design education," *Virtual Real*, vol. 26, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s10055-022-00630-w.

ZAHVALE

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Tomislavu Martinecu na pruženoj prilici, savjetima, motivaciji i pomoći prilikom izrade ovoga rada.

Zahvaljujem Nikoli Horvatu, mag.ing.mech. na pristupu eksperimentalnim podacima koji su korišteni u sklopu ovoga rada, te na savjetima i motivaciji prilikom izrade rade

SAŽETAK

Marko Brnčić

Utjecaj virtualne stvarnosti na kolaborativni pregled konstrukcije

Ključne riječi: pregled konstrukcije, virtualna stvarnost, verifikacija proizvoda, validacija proizvoda, timska aktivnost

Pregled konstrukcije je važna aktivnost tijekom razvoja proizvoda čiji je zadatak evaluirati trenutno stanje proizvoda i planirati buduće aktivnosti. Kako je tijekom razvoja proizvoda uobičajeno stvarati 3D digitalne modele pomoću alata za konstruiranje pomoću računala (*engl. Computer Aided Design, CAD*), CAD sučelja se često koriste i za sami pregled konstrukcije. Razvojem novih tehnologija, za prikaz 3D digitalnih modela proizvoda sve češće se koristi i virtualna stvarnost (*engl. Virtual Reality, VR*). Stimulacijom senzorskih znakova kao što su stereoskopija i paralaksa gibanja, VR nudi bolji osjećaj prisutnosti virtualnoj okolini (veću imerzivnost) u kojoj se nalazi CAD model. U literaturi je više puta predloženo da korištenje VR-a može imati pozitivan utjecaj samo na specifične aspekte pregleda konstrukcije, pa se u ovom radu istražuje na koji način imerzivnost utječe na verifikacijske (evaluacija ispunjenja postojećih tehničkih zahtjeva) i validacijske (evaluacija ispunjenja korisničkih potreba) preglede konstrukcija. Analiziran je eksperiment u kojem je 14 četveročlanih timova pregledavalo digitalne modele dječjih kolica. Svaki tim se sastojao od dva recenzenta (industrijski eksperti) i dva konstruktora (studenti). Timovi su proveli jednu verifikacijsku i jedan validacijsku sesiju pregleda konstrukcije koristeći CAD alat (*Onshape, Siemens NX*) u jednom od dva okruženja: tradicionalno računalno sučelje (miš, tipkovnica, monitor) ili tehnologije virtualne stvarnosti (*HTC Vive* uređaji koje korisnici nose na glavi). Dobiveni rezultati sugeriraju da VR može poboljšati oba tipa sesije pregleda, ali ga je prikladnije primijeniti u slučaju validacijskih sesija. Također, timovi su više raspravljali o temama vezanim uz cilj sesije u verifikacijskim pregledima, ali su tijekom validacijskih u većem broju tema i akcija raspravljali o pronađenim greškama na konstrukciji. Konačno, timski pregled kvalitetnijih (bolje ocijenjenih) konstrukcija je karakteriziran većim postotkom tema koje su vezane uz greške, dok pregled manje kvalitetnih konstrukcija karakterizira veći postotak tema vezanih uz cilj sesije. Ovi rezultati predlažu da postoje potencijalne prednosti uporabe VR-a umjesto CAD sučelja za pregled konstrukcije, posebice kada se evaluiraju korisničke potrebe.

SUMMARY

Marko Brnčić

The impact of virtual reality on collaborative design reviews

Key words: Design Review, Virtual Reality, Product Verification, Product Validation, Team Activity

Design review is a crucial activity during product development that aims to evaluate the current state of the product and plan for future activities. As it is common to use Computer-Aided Design (CAD) tools for creating 3D digital models during product development, CAD is also often used in design reviews. With the development of new technologies, Virtual Reality (VR) has become a popular way of displaying 3D models. By stimulating sensory cues such as stereopsis and motion parallax, VR offers a higher immersion in the virtual environment where the CAD model is placed. However, existing research suggests that the use of VR can have a positive impact only on specific aspects of design reviews. Therefore, this study investigates the effects of immersion on verification (evaluating compliance with existing technical requirements) and validation (evaluating compliance with user needs) design reviews. The analysis was conducted on an experiment in which 14 four-member teams reviewed digital models of baby strollers. Each team consisted of two reviewers (industry experts) and two designers (students). They conducted one verification and one validation design review session using CAD tools (*Onshape*, *Siemens NX*) in one of two environments: a traditional computer interface (mouse, keyboard, monitor) or a VR environment (*HTC Vive* head-mounted display). The results suggest that VR can improve both types of design review sessions, but it is more suitable for validation sessions. Additionally, teams discussed more topics related to the session's goal in verification reviews but discussed more issues and actions related to design flaws during validation reviews. Finally, reviews of higher-quality (better-rated) designs have been characterized by a higher percentage of topics related to design flaws, while reviews of lower-quality designs have been characterized by a higher percentage of topics related to the session's goal. These results show that there are potential benefits to using VR instead of CAD interfaces for design reviews, especially when evaluating user needs.

PRILOZI

Isječak *Python* koda – analiza podataka

```

import pandas as pd
import numpy as np
import pingouin as pg
import scipy.stats as stats

def mixed_anova(data, prompt, outliers = False):

    #outliers assumption - IQR
    temp, len1, len2 = find_outliers_IQR(data, prompt)
    if len1 != len2:
        print('Outliers found!')

    #Normality assumption - Shapiro-Wilk test
    if (pg.normality(data, dv=prompt, group='Imerzivnost-Cilj sesije').pval < 0.05).any():
        print('Normality assumption - FAIL')
        print(pg.normality(data, dv=prompt, group='Imerzivnost-Cilj sesije'))

    #Homogeneity of covariances assumption - Levene test
    if (pg.homoscedasticity(data.query("`Cilj sesije` == \"Validacija\""), dv=prompt, group='Imerzivnost').pval < 0.05).any():
        print('Homogeneity of Validation assumption - FAIL')
        print(pg.homoscedasticity(data.query("`Cilj sesije` == \"Validacija\""), dv=prompt, group='Imerzivnost'))

    if (pg.homoscedasticity(data.query("`Cilj sesije` == \"Verifikacija\""), dv=prompt, group='Imerzivnost').pval < 0.05).any():
        print('Homogeneity of Validation assumption - FAIL')
        print(pg.homoscedasticity(data.query("`Cilj sesije` == \"Verifikacija\""), dv=prompt, group='Imerzivnost'))

    #Sphericity assumption - Mauchly test
    if pg.sphericity(data=data, dv=prompt, subject='Tim', within='Cilj sesije')[-1] < 0.05:
        print('Sphericity assumption - FAIL')
        print(pg.sphericity(data=data, dv=prompt, subject='Tim', within='Cilj sesije'))

    #Stat significance = F, p-unc // Effect size = ng2 (generalized eta squared)
    results = pg.mixed_anova(data=data, dv=prompt, between='Imerzivnost', within='Cilj sesije', subject='Tim', effsize='ng2')

    # post-hoc t-test
    posthoc = pg.pairwise_tests(data=data, dv=prompt, between='Imerzivnost',
                                within='Cilj sesije', subject='Tim', padjust='bonf', effsize = 'cohen')

```

```

print("\nPairwise comparisons:")
print(posthoc[['Contrast', 'Cilj sesije', 'A', 'B', 'T', 'dof', 'p-unc', 'p-corr', 'cohen']])

#Outputs
print(f"\nResults ({len(data[prompt])} datapoints): ")
print(results[['Source', 'F', 'p-unc', 'ng2', 'eps']])
output = results[['Source', 'DF1', 'DF2', 'F', 'p-unc', 'ng2']]
output.insert(0, 'Datapoints', len(data[prompt]))
output.insert(0, 'Prompts', prompt)
return output

def find_outliers_IQR(df, prompt):
    Q1 = np.percentile(df[prompt], 25, interpolation='midpoint')
    Q3 = np.percentile(df[prompt], 75, interpolation='midpoint')
    IQR = Q3-Q1
    old = df.shape[0]

    #Define limits for outliers
    upper = Q3+1.5*IQR
    lower = Q1-1.5*IQR

    for i in range(len(df[prompt])):
        if df[prompt][i] <= lower or df[prompt][i] >= upper:
            print(f"\n{df.loc[i]}")
            df = df.drop(axis=0, index=i)
    new = df.shape[0]
    df = df.reset_index(drop=True)
    return df, old, new

def t_test(data, prompt):
    print(f"\n{prompt}")

    # Split the data into higher and lower graded teams
    higher = data[data["Ocjena tima"] == "Iznad medijana"][prompt]
    lower = data[data["Ocjena tima"] == "Ispod medijana"][prompt]

    # Test for normality using Shapiro-Wilk test
    _, higher_norm_p = stats.shapiro(higher)

    _, lower_norm_p = stats.shapiro(lower)
    if higher_norm_p > 0.05 or lower_norm_p > 0.05:
        print(f>Data not normal:/nhigher - {higher_norm_p}/nlower - {lower_norm_p}')

    # Test for equal variances using Levene's test
    _, var_p = stats.levene(higher, lower)
    equal_var=True

```

```

if var_p > 0.05:
    print('Data not of equal variance')
    equal_var=False

# Perform two-sample t-test assuming unequal variances
t_stat, p_val = stats.ttest_ind(higher, lower, equal_var=equal_var)

print(f"t-statistic = {t_stat:.4f}")
print(f"p-value = {p_val:.4f}")

# Determine if the difference is significant at alpha = 0.05
if p_val < 0.1:
    print("The difference is significant at alpha = 0.1")
else:
    print("The difference is not significant at alpha = 0.1")

return {'prompt':prompt, 'norm high':higher_norm_p, 'norm low':lower_norm_p, 'vraiance p
':var_p, 't':t_stat, 'p':p_val}

def wilcoxon(data, prompt):
    print(f"\n{prompt}")

    # Split the data into higher and lower graded teams based on the "Ocijenjeni" column
    higher = data[data["Ocjena tima"] == "Iznad medijana"][prompt]
    lower = data[data["Ocjena tima"] == "Ispod medijana"][prompt]

    stat, p_val = stats.ranksums(higher, lower)

    # Determine if the difference is significant at alpha = 0.05
    if p_val < 0.1:
        print("The difference is significant at alpha = 0.1")
    else:
        print("The difference is not significant at alpha = 0.1")

    return {'prompt':prompt, 'stat':stat, 'p':p_val}

def cohend(d1, d2):
    n1, n2 = len(d1), len(d2)
    # calculate the variance of the samples
    s1, s2 = np.var(d1, ddof=1), np.var(d2, ddof=1)
    # calculate the pooled standard deviation
    s = np.sqrt(((n1 - 1) * s1 + (n2 - 1) * s2) / (n1 + n2 - 2))
    # calculate the means of the samples
    u1, u2 = np.mean(d1), np.mean(d2)
    # calculate the effect size
    return (u1 - u2) / s

```

