

Radni okvir za analizu korisničkih interakcija i vrednovanje pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Žilak, Matea

Doctoral thesis / Disertacija

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:482496>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Matea Žilak

**RADNI OKVIR ZA ANALIZU KORISNIČKIH
INTERAKCIJA I VREDNOVANJE
PRISTUPAČNOSTI OZBILJNIH IGARA
ZASNOVANIH NA PROŠIRENOJ
STVARNOSTI ZA POKRETNE UREĐAJE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

MATEA ŽILAK

**RADNI OKVIR ZA ANALIZU KORISNIČKIH
INTERAKCIJA I VREDNOVANJE
PRISTUPAČNOSTI OZBILJNIH IGARA
ZASNOVANIH NA PROŠIRENOJ
STVARNOSTI ZA POKRETNE UREĐAJE**

DOKTORSKI RAD

Mentorica: Prof. dr. sc. Željka Car

Zagreb, 2023.



University of Zagreb

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMPUTING

Matea Žilak

**A FRAMEWORK FOR USER INTERACTION
ANALYSIS AND ACCESSIBILITY
EVALUATION OF SERIOUS GAMES
BASED ON AUGMENTED REALITY FOR
MOBILE DEVICES**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Professor Željka Car, PhD

Zagreb, 2023

Doktorski rad izrađen je na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva, na Zavodu za telekomunikacije.

Mentorica: Prof. dr. sc. Željka Car

Doktorski rad ima: 170 stranica

Doktorski rad br.: _____

O mentorici

Željka Car (rod. Sever) redovita je profesorica na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu. Na tom je fakultetu diplomirala 1993., magistrirala 1996. i doktorirala 2001. godine, sve pod mentorstvom prof. dr. sc. Branka Mikca. Od 1993. zaposlena je na FER-u na Zavodu za telekomunikacije.

Područje znanstvenog interesa su joj primjene novih tehnologija za inkluzivnu komunikaciju i edukaciju osoba s invaliditetom te procesi upravljanja projektima. Sudjeluje na znanstvenim i tehnološkim projektima Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH i Hrvatske zaklade za znanost, projektima financiranim iz fondova Europske unije i UNICEF-a te vodi multidisciplinarne projekte uz potporu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i Sveučilišta u Zagrebu te projekte suradnje s industrijskim i državnim partnerima. Sudjeluje u nastavi na preddiplomskom, diplomskom, poslijediplomskom specijalističkom studiju „Upravljanje projektima“ i doktorskom studiju FER-a. U okviru Sveučilišta u Zagrebu sudjeluje na preddiplomskom studiju Vojno inženjerstvo na Hrvatskom vojnom učilištu. U okviru međusveučilišne suradnje sudjeluje na diplomskom studiju Poslovno računarstvo na Sveučilištu u Dubrovniku. Nastavnik je na doktorskom studiju Poremećaji jezika, govora i slušanja na Edukacijsko-rehabilitacijskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Voditeljica je istraživačkog Laboratorija za asistivne tehnologije i potpomognutu komunikaciju na FER-u. Pokrenula je multidisciplinarna istraživanja u području razvoja digitalnih usluga za osobe s invaliditetom u RH te je koordinatorica Kompetencijske mreže ICT-AAC (www.ict-aac.hr). Kao članica tima ICT-AAC dobitnica je Državne nagrade Ivan Filipović koju dodjeljuje Hrvatski sabor i nagrade za Projekt godine 2019. koju dodjeljuje Udruga za projekt menadžment PMI Zagreb Hrvatska. Članica je Stručnog savjeta Pravobraniteljice za osobe s invaliditetom.

Autorica je većeg broja znanstvenih radova objavljenih u međunarodnim časopisima i znanstvenim skupovima, poglavlja u knjizi, sveučilišnih udžbenika i stručnih radova. Sudjeluje u pripremi i vođenju znanstvenih i stručnih skupova. Članica je stručnih udruga IEEE, MIPRO, ELMAR i Hrvatskog društva za biomedicinsko inženjerstvo i medicinsku fiziku. Jedan od osnivača Udruge za projekt menadžment PMI, ogranak Zagreb, Hrvatska.

About the Supervisor

Željka Car (born Sever) is a full professor at the University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing (FER). She received B.Sc., M.Sc., and Ph.D. degrees in electrical engineering from the same faculty, in 1993, 1999, and 2001, respectively. Since March 1993, she has been working in the Department of Telecommunications at FER.

Her scientific interests include application of new technologies for inclusive communication and education of people with disabilities, and project management processes. She participates in scientific and technological projects of the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia and the Croatian Science Foundation, projects funded by the European Union and UNICEF, and leads multidisciplinary projects supported by the Croatian Academy of Sciences and Arts and the University of Zagreb, as well as cooperation projects with industrial and governmental partners. She participates in the undergraduate, graduate, the postgraduate specialist study “Project Management” and the PhD study at FER. Within University of Zagreb, she participates in the undergraduate studies of military engineering at the Croatian Military Academy. Within the framework of inter-university cooperation, she participates in graduate study Business Computing at the University of Dubrovnik. She is a lecturer in the PhD study Speech, Language and Hearing Disorders at the Faculty of Education and Rehabilitation, University of Zagreb. She is the head of the research Laboratory for assistive technology and Alternative and Augmentative Communication at FER. She initiated multidisciplinary research in the field of development of digital services for people with disabilities in Croatia, and is the coordinator of the competence network ICT-AAC (www.ict-aac.hr). As a member of the ICT-AAC team, she is a winner of the Ivan Filipović State Award of the Croatian Parliament and the Project of the Year 2019 Award of the Association for Project Management PMI Zagreb Croatia. She is a member of the Professional Council of the Ombudsman for Persons with Disabilities.

She is the author of numerous scientific articles published in international journals and scientific meetings, book chapters, university textbooks and professional papers. She participates in the preparation and management of scientific and professional conferences. She is a member of professional associations IEEE, MIPRO, ELMAR and Croatian Society of Biomedical Engineering and Medical Physics. She is one of the founders of the Association for Project Management PMI, Zagreb branch, Croatia.

Zahvaljujem svojoj mentorici, prof. dr. sc. Željki Car, koja me vodila kroz godine izrade ove disertacije svojim savjetima, kako profesionalno, tako i privatno. Njezina podrška i poticaji su uvijek dolazili u pravom trenutku. Hvala joj i za strpljivost koja je bila potrebna u radu sa mnom zbog moje izrazite (i ponekad nepotrebne) težnje za detaljnim proučavanjem svega.

Zahvaljujem se i svim studentima, kolegama i prijateljima koji su na bilo koji način doprinijeli završetku ove disertacije i nesebično pomagali kada se ukazala potreba. Posebno se zahvaljujem suradnicima i udrugama koje su pristale biti dijelom ovog nastojanja za poboljšanjem društvene uključenosti osoba s invaliditetom. Bez njih, provedeno istraživanje ne bi polučilo relevantne rezultate.

Neizmjereno hvala mojoj obitelji na podršci i razumijevanju, a posebno majci bez čije potpore i motivacije ova disertacija ne bi ugledala svjetlost dana.

Na kraju, radost je moja velika jer ovo me putovanje još više približilo jedinom istinskom izvoru snage i mira koji me pratio do samog završetka. Hvala Bogu na ovoj milosti.

Sažetak

Cilj doktorskog istraživanja je analiza ponašanja korisnika tijekom korištenja programskih rješenja u formi ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje s naglaskom na analizu različitih mehanizama interakcije korisnika s različitim sposobnostima i različite dobi. U doktorskome radu predložen je model praćenja korisničkih interakcija temeljen na značajkama pristupačnosti, ozbiljnih igara i proširene stvarnosti za pokretne uređaje te je predložena i metodologija koja omogućava automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti za pojedinog korisnika. Budući da ne postoji univerzalno rješenje koje bi zadovoljilo potrebe svih korisnika s različitim sposobnostima, ograničenjima i preferencijama, potrebna je mogućnost prilagodbe rješenja pojedinom korisniku. Temeljem predložene metodologije i modela, implementirana je tehnološka platforma koja omogućava prilagodbu rješenja korisniku za odabrane interakcijske parametre te je ista evaluirana provedbom korisničkog testiranja. Analizom prikupljenih podataka o korisničkim interakcijama i subjektivnim ocjenama zadovoljstva interakcijama u razvijenim prototipovima ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti određeni su interakcijski parametri s najznačajnijim utjecajem na pristupačnost i korisničko iskustvo. Temeljem dobivenih rezultata provedenog istraživanja oblikovane su smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje. Osim smjernica koje su primjenjive za razvoj navedenih rješenja u skladu s načelima univerzalnog dizajna, u radu su navedene i preporuke za implementaciju automatske prilagodbe rješenja korisniku temeljem podataka o korisničkoj interakciji. Radni okvir temeljen na modelu, metodologiji i smjernicama predloženim u ovom radu čini temelj za daljnja istraživanja u području pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u smjeru primjene strojnog učenja u stvarnom vremenu za određivanje načina prilagodbe ovih rješenja pojedinom korisniku.

Ključne riječi: ozbiljne igre, proširena stvarnost, pristupačnost, univerzalni dizajn, analiza korisničkih interakcija, prilagodba korisniku

Extended Abstract

A framework for user interaction analysis and evaluation of accessibility of serious games based on augmented reality for mobile devices

Augmented Reality (AR) is an emerging technology that has already proven its potential in various areas of human life, such as education, marketing, training, navigation and design. It enables new forms of human-computer interaction compared to traditional mobile solutions and provides users with engaging experiences, which has a positive impact on users' motivation to use AR-based solutions. This is especially recognized in the field of game-based learning, as learners nowadays require new and more interesting learning experiences. Serious games, whose main goal is not to entertain, but to impart knowledge or skills to the player, are one of the tools that can be effectively used in education. While serious games can bring many benefits to learners, most solutions developed for mainstream use do not meet the needs of a wide range of users, such as users with disabilities. Accessibility is a measure of the extent to which a product, service, or environment is suitable for all users, including people with disabilities and the elderly. It can generally be achieved by applying the principles of universal design, which is a design method that aims to integrate the needs of people with disabilities and older people into products intended for widespread use.

There are several initiatives that address the needs and requirements of people with disabilities in the area of xReality technologies (XR). XR is an umbrella term for a variety of digital reality formats, including augmented reality. However, most of the guidelines and best practices in this area focus on immersive experiences, such as virtual reality, or game accessibility. More specific and detailed guidelines are needed for developers and designers of AR to make AR-based solutions accessible. One of the goals of this dissertation is to contribute to the lack of guidelines for accessible design of AR applications. Because they offer different ways of interacting with the real world and with virtual objects superimposed on or composed with the real world, AR-based solutions are extremely suited to explore users' needs, limitations, and context in order to find ways to adapt them to the specific needs of individual users.

Tasks common to interacting with AR applications include observing AR content, establishing a physical/virtual correspondence, creating virtual content, transforming virtual content, and activating virtual content. Transforming virtual content (manipulating 3D objects in terms of translation, rotation, and scaling) is one of the most critical tasks in mobile AR. Interaction techniques implemented for head-worn displays are not suitable for handheld devices because at least one hand of the user is required to hold the device. Although the most common interaction techniques used in handheld AR include touch-based interactions, they can often lead to imprecise interactions or unexpected errors due to inaccurate coordination between the two hands. The interaction technique, the type of device, the technology used for registration and tracking in AR, and many other factors, such as environmental conditions and user movement limitations, collectively affect whether an AR application is an accessible and enjoyable for users regardless of their abilities.

For AR solutions to be accessible and provide all users with the same opportunities to perform tasks and interact with virtual objects, alternative interaction mechanisms must be enabled and different accessibility options must be offered, i.e., customization of the content and aspects of the user interface to meet the different needs of users. The ability to automatically customize is especially important for users who cannot or do not know to customize the solution themselves, such as children with disabilities or users with no prior experience. By tracking different user interactions and contextual parameters, it is possible to understand how a user interacts with the system and make suggestions for adapting the content and interaction type to facilitate the use of the game in terms of usability and accessibility.

When considering AR serious games for learning, user performance metrics such as task completion, number of errors, time required to complete the task, etc. should be considered. Various learning and game to optimize analytics tools are used to understand learning and how users play the game to optimize the learning environment and user experience of the game. When learning and game analytics methods are combined, different metrics and user data can be tracked and used for different purposes. In this dissertation, game-learning analytics methods and tools are used to track user interactions in serious games based on augmented reality for mobile devices. By tracking various interaction parameters, the usability/accessibility and user experience of AR serious games for mobile devices can be evaluated. This allows the identification of interaction parameters that have the impact on the accessibility of the solutions, which can allow the adaptation of the above solutions to the user in terms of accessibility. This

is important for users with disabilities and the elderly, but also for users who are temporarily or situationally disabled.

Without a full understanding of the different needs of users with disabilities, it is not possible to define precise requirements that meet those needs. Therefore, the key to achieving accessibility is to involve users with different disabilities to improve the understanding of user and task requirements.

The aim of the doctoral research is to analyze user interactions in serious games based on augmented reality for mobile devices, focusing on the analysis of different interaction mechanisms of users with different disabilities and different ages, in order to define ways of adapting to the user and evaluate the mentioned solutions in terms of accessibility. The main contribution is the proposal of a framework which enables the automatic tracking of user interactions in AR-based serious games for mobile devices in the context of accessibility (emphasis on interaction mechanisms and content), analysis and calculation of settings based on the collected data, adjustment of settings in AR-based serious game for an individual user, as well as evaluation of serious games with regard to accessibility based on guidelines derived from the analysis of the collected data. However, in order to propose this framework, extensive research is conducted and described in six separate chapters of this dissertation.

The chapters of this thesis are organized as follows. The first chapter provides an overview of the research area relevant to the conducted doctoral research. First, concepts from the field of universal design and accessibility are described, as well as the importance of understanding the user's needs in order to adapt the solution to the user. Then, the specifics of augmented reality as an emerging technology are described, focusing on tasks and interaction techniques as well as the virtual content in AR-based solutions for mobile devices. Next, solutions in the form of serious games are described, as well as the methods and tools used to track user interactions in the field of learning and game analytics.

In the second chapter, a model for tracking user interactions in the context of accessibility of serious games based on augmented reality for mobile devices is defined and described. The user interaction tracking model aims to enable the collection of data to understand how to improve and adapt an AR-based serious game for mobile devices in the context of accessibility for users. The model is based on features related to users, serious games, augmented reality for mobile devices, context, and accessibility. It uses event-based tracking as one of the most widely used methods to track user interactions in serious games. Key points of interactions in

an AR-based serious game are defined along with a trigger that initiates the event, i.e., the tracking of the user's interaction. The interaction parameters included in the defined events are specified to provide insight into the learning outcome and potential accessibility issues associated with using the game (i.e., parameters specific to augmented reality, the environment in which the solution is used, and user preferences associated with using various accessibility options). The event data structure is described in the context of the selected user interaction tracking mechanism, i.e., the Experience API (xAPI) standard is used to map the attributes and parameters of the previously defined user interaction events to xAPI statements. By using the xAPI standard, it is possible to integrate the specified user interactions tracking model into existing game-learning analytics systems.

The third chapter describes the methodology for automated collection, storage, and analysis of interaction parameters in the context of accessibility, based on the previously proposed user interaction tracking model, which enables the adaptation of the user interface and interaction mechanisms to the user. The methodology consists of four main activities: *understanding user needs*, which is necessary for the selection of relevant data for user interaction tracking in AR-based serious games, which enables the identification of potential accessibility issues and the overall usability and user experience of the solution; *selection of technology and implementation of user interaction tracking*, which enables the automatic tracking of users during the use of the serious game; *analysis of tracked data in the context of accessibility*, which includes selection of technology and implementation of software support for advanced analytics of user interactions (if necessary) and calculation of parameters for adaption of AR-based serious games to an individual user; *implementation of adaptation of serious games to users'* needs in the context of accessibility based on analysis of user interactions and calculated settings from the previous step. Based on the proposed methodology, a technological platform has been implemented that enables the tracking of user interactions, analysis of the stored user interactions data and adaptation of serious games based on the calculated interaction parameters in the context of accessibility. The main modules of the technological platform are described in the third chapter, including the developed prototypes of AR-based serious games and the calculation of accessibility settings for an individual user based on the selected interaction parameters.

The technological platform based on the proposed methodology and model was evaluated by conducting user testing with people with disabilities and people of different ages. The user

testing and the analysis of the results of the conducted experiment are described in the fourth chapter. The user testing was conducted with a total of 108 participants, and according to the universal design, the group of participants included people with disabilities and people of different ages. Specifically, 29 people with different disabilities (visual, hearing, physical, cognitive/neurological, specific learning difficulties, multiple disabilities) and 79 people of different ages participated in the user testing. The user testing procedure involved playing the first AR-based serious game on a tablet device (for the purpose of capturing user interaction, based on which the adaptation of interaction mechanisms and content is defined), then the use of the second AR-based serious game on a tablet device that applies the adaptation of interaction mechanisms and content to an individual user and finally filling out a questionnaire to collect qualitative data about the second game.

From the analysis of the results obtained by collecting data on user interactions, it is evident that there is no universal solution that can meet the needs of all users with different abilities, limitations, and preferences, and that it is necessary to adapt the solution to the individual user. The guidelines that emerged from the analysis of the quantitative and qualitative data collected during the experiment confirm some of the best practices and recommendations of interaction design and design of AR-based solutions in general, but also bring some new insights in the field of development of AR-based solutions in accordance with universal design. The guidelines are intended as a complement existing recommendations and best practices in the field and address the design of accessible AR-based serious games for mobile devices, the specific needs of users with different disabilities and of different ages, and the automatic adaptation of AR-based serious games for mobile devices in the context of accessibility. The guidelines and recommendations are described in the fifth chapter.

Finally, the conclusion, certain limitations of the research, and suggestions for further research in this area are given in the sixth chapter. The framework proposed in the dissertation provides the basis for further research in the field of accessibility of serious games based on augmented reality towards the application of advanced analytics techniques based on real-time data to determine how these solutions can be adapted to the individual user.

Keywords: serious games, augmented reality, accessibility, universal design, user interaction analysis, adaptation to the user

Sadržaj

Uvod.....	1
Prijedlog rješenja s obzirom na cilj istraživanja.....	6
1. Pregled područja istraživanja	9
1.1. Univerzalni dizajn i pristupačnost	9
1.2. Proširena stvarnost.....	14
1.2.1. Kategorizacija rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje 17	
1.2.2. Uobičajeni zadaci u rješenjima proširene stvarnosti za pokretne uređaje.....	19
1.2.3. Prilagodba rješenja korisniku u proširenoj stvarnosti korisniku	21
1.3. Ozbiljne igre i praćenje korisničkih interakcija.....	24
1.3.1. Analiza korisničkih interakcija.....	25
1.3.2. <i>Standard Experience API</i> (xAPI).....	27
2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje	30
2.1. Značajke korisnika.....	32
2.2. Značajke proširene stvarnosti	34
2.3. Značajke ozbiljne igre	37
2.4. Značajke pristupačnosti	39
2.5. Kontekstualne značajke	40
2.6. Specifikacija modela praćenja korisničkih interakcija	42
2.6.1. Ključne točke interakcije i okidači događaja	42
2.6.2. Podatkovna struktura događaja	43
2.6.3. Mapiranje događaja na xAPI izjave	46
3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje	52

3.1. Metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti	52
3.1.1. Razumijevanje potreba korisnika	53
3.1.2. Odabir tehnologije i implementacija praćenja korisničkih interakcija.....	54
3.1.3. Analiza podataka u kontekstu pristupačnosti	55
3.1.4. Implementacija prilagodbe ozbiljnih igara.....	57
3.2. Implementacija tehnološke platforme	58
3.2.1. Izračun parametara postavki za pojedinog korisnika	67
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata ..	71
4.1. Opis eksperimenta	71
4.1.1. Ozbiljna igra 1	74
4.1.2. Ozbiljna igra 2	75
4.1.3. Upitnik.....	75
4.2. Odabir ispitanika za korisničko testiranje	76
4.3. Analiza prikupljenih podataka i rezultata upitnika.....	80
4.3.1. Analiza kvantitativnih podataka	81
4.3.2. Analiza raspodjele postavki pristupačnosti po zadacima.....	111
4.3.3. Analiza rezultata upitnika.....	118
4.3.4. Izdvojena zapažanja provedbe korisničkog testiranja s osobama s teškoćama	140
5. Smjernice za razvoj i vrednovanje pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje	143
5.1. Smjernice vezane uz vidljivost sadržaja	144
5.2. Smjernice vezane uz operabilnost	147
5.3. Smjernice vezane uz razumljivost	151
5.4. Preporuke za implementaciju automatske prilagodbe ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti	155

6. Zaključak i budući rad.....	157
Literatura	160
Životopis.....	167
Biography	170

Uvod

Suvremeni tehnološki napredak odvija se eksponencijalnom brzinom što omogućava rješenjima temeljenim na novim tehnologijama brži prelazak iz istraživačkih laboratorija na tržište. Nove ideje i proizvode kupci prihvaćaju brže nego što je to bio slučaj prije. Da tehnologija eksponencijalno napreduje vidljivo je iz tzv. omogućavajućih tehnologija (engl. *enabling technologies*¹) koje se odnose na opremu i/ili metodologiju koja, sama ili u kombinaciji s povezanim tehnologijama, pruža sredstva za stvaranje golemih skokova u performansama i sposobnostima korisnika (npr. dizalo, telefon, internet). Napredak omogućavajućih tehnologija u pogledu računalne snage, velikih podataka, povezivosti uređaja i performansi interneta omogućava razvoj rješenja temeljenih na novim tehnologijama koje su dovoljno robusne da budu zanimljive, ali i korisne cjelokupnoj javnosti. Kako bi se razvilo programsko rješenje koje je široko prihvaćeno i koje ispunjava svoju svrhu, u njegovom razvoju je potrebno slijediti pristup usmjeren na korisnika i voditi računa o razvoju rješenja koja mogu s jednakim mogućnostima koristiti svi korisnici. U suprotnom, postoji rizik da će se to rješenje morati rekonstruirati jer ne odražava specifične potrebe određene skupine ljudi, naprimjer osoba s invaliditetom [1]. Pojedina programska rješenja osobe s invaliditetom ne mogu koristiti ako ne postoji podrška za asistivnu tehnologiju koju one koriste. Dodatno, integracija široko rasprostranjenih programskih rješenja i asistivnih tehnologija ili različitih značajki pristupačnosti mogu donijeti brojne prednosti i koristi ne samo za osobe s invaliditetom, već i za osobe bez invaliditeta. Naprimjer, titlovi u videozapisima korisni su ne samo za osobe s

¹ *Enabling technology* (Collins dictionary), <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/enabling-technology>

oštećenjima sluha, već i za osobe koje se nalaze na bučnom mjestu (imaju poteškoće zbog trenutne situacije, engl. *situational disability*) ili za osobe koje imaju infekciju uha (imaju privremene poteškoće sa sluhom, engl. *temporary disability*) [2].

Pristupačnost proizvoda općenito se može postići ako se slijede načela univerzalnog dizajna koji kao metodologija dizajna nastoji integrirati potrebe osoba s invaliditetom u proizvode namijenjene širokom tržištu. Univerzalni dizajn (UD) se definira kao „dizajn proizvoda i okoline koji je upotrebljiv svim ljudima u najvećoj mogućoj mjeri bez potrebe za prilagodbom ili specijaliziranim dizajnom” [3], a poznat je još i pod terminima *dizajn za sve* te *inkluzivni dizajn*. Uzimajući u obzir različite potrebe i sposobnosti ljudi pri dizajniranju proizvoda, mogu se postići jednake mogućnosti njegove uporabe, kao i uključivanje ljudi u različite aspekte života.

Prema studijama iz [1], većina osoba s invaliditetom ima otvoren i optimističan stav prema novim tehnologijama. Premda postoje različite definicije nove tehnologije (engl. *emerging technology*), neke od karakteristika koje obilježavaju novu tehnologiju su radikalna novost, relativno brzi rast, određeni stupanj dosljednosti tijekom vremena, neizvjesna budućnost te mogućnost značajnog utjecaja na društveno-ekonomske domene [4]. Neki od primjera novih tehnologija su holografika tehnologija te *X* stvarnost (engl. *xReality*, XR) u koju spadaju virtualna stvarnost (engl. *Virtual Reality*, VR) i proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*, AR). Navedene tehnologije omogućavaju nove načine interakcije između čovjeka i računalne opreme, tj. pružaju načine upravljanja koji se razlikuju od uobičajenih interakcija na koje su korisnici pametnih telefona ili igračih konzola navikli. Zbog navedenih specifičnosti koje donose nove tehnologije, lakoća korištenja, uporabivost i pristupačnost se nameću kao važni čimbenici za postizanje maksimalnog učinka korisnosti tehnologije za širu populaciju korisnika.

Industrije tehnologija virtualne i proširene stvarnosti brzo rastu što je djelomično potaknuto i procvatom industrije razvoja videoigara. Radi se o tehnologijama koje nude mogućnost uranjanja korisnika u virtualni svijet, odnosno stapanje virtualnih objekata sa stvarnim svijetom. Osim što su se iskazale u industriji zabave, virtualna i proširena stvarnost pokazale su potencijal korisne primjene u različitim domenama, posebno u edukaciji. Prednost proširene stvarnosti pred virtualnom je ta što ne zahtijeva uvijek specifičnu opremu za korištenje već je dostupna i na većini suvremenih pametnih telefona i tablet uređaja što je čini dostupnijom široj populaciji korisnika.

Učenje temeljeno na igrama definira se kao metoda prijenosa znanja koja koristi „igru“ koja se sastoji od nekog oblika natjecanja i sustava nagrađivanja/kazne za procjenu sveobuhvatnog znanja/vještine [5]. Prema analizi globalnog tržišta učenja temeljenog na igrama (u kontekstu edukacijskih tehnologija), tržište se nalazi u fazi procvata te se očekuje rast tržišta na više od 24 milijarde dolara u 2024. godini što predstavlja više nego učetverostručene prihode u razdoblju od 5 godina [5]. Petogodišnja složena godišnja stopa rasta koja za tržište učenja temeljenog na igrama iznosi 33.2% u izravnoj je povezanosti s inovacijama koje se integriraju u edukacijske igre sljedeće generacije, kao i napretkom u područjima neuroznanosti, psihometrije, virtualne i proširene stvarnosti te umjetne inteligencije [5].

Igre koje osim elemenata zabave sadrže i druge elemente koje za cilj imaju poboljšanje postojećih ili stjecanje novih znanja i vještina nazivaju se ozbiljne igre. Dok se učenje temeljeno na igrama odnosi na metodologiju učenja u edukacijskom kontekstu, na ozbiljne igre se može gledati kao jedan od alata za učenje temeljeno na igrama [6].

Brojne studije već su pokazale pozitivni učinak ozbiljnih igara i učenja temeljenog na igrama u području obrazovanja te da se, ako se koriste na ispravan način i način usmjeren učeniku, mogu smatrati učinkovitim obrazovnim alatom koji može olakšati i poboljšati proces učenja učenika [7]. Istraživanje potencijala ozbiljnih igara u kombinaciji s proširenom stvarnosti u brojnim je studijama također rezultiralo zaključkom da je njihovo korištenje u obrazovanju učinkovito pri čemu je posebno iskazan pozitivan utjecaj u povećanju motivacije učenika i učinkovitosti učenja [8]. Kako je opisano u [9], velik interes pokazan je i u području inkluzivnih edukacijskih igara. Pri tome su znanstveni članci fokusirani na dizajn igara i pristup dizajnu i radnim okvirima za širok spektar učenika s teškoćama. Međutim, i dalje je razvoj takvih rješenja usredotočen na određenu teškoću ili invaliditet, bez primjene načela univerzalnog dizajna koji bi omogućio razvoj igara za osobe s invaliditetom, ali i osobe bez invaliditeta sa širokim rasponom različitih karakteristika, uključujući poteškoće uslijed različitih privremenih ili situacijskih uvjeta [9]. Slična je situacija i u području igara temeljenih na proširenoj stvarnosti u inkluzivnom obrazovanju gdje je većina istraživanja usredotočena na izolirane grupe učenika s određenim tipom invaliditeta [10]. Uzevši u obzir kontekst razreda kojeg pohađaju učenici s različitim sposobnostima i koji zahtijevaju različitu podršku (ili u redovnoj školi ili u centru za odgoj i obrazovanje), postoji potreba za daljnjim studijama s fokusom na dizajn, implementaciju i evaluaciju igara proširene stvarnosti za učenike s različitim potrebama [10].

Budući da je proširena stvarnost (AR) tehnologija koja nudi različite načine interakcije s okolinom i virtualnim sadržajem, iznimno je pogodna za istraživanje potreba, ograničenja i konteksta korisnika kako bi se definirali načini prilagodbe rješenja proširene stvarnosti specifičnim zahtjevima pojedinog korisnika. Da bi rješenja zasnovana na proširenoj stvarnosti mogle koristiti i osobe s različitim teškoćama, važno je osigurati njihovu pristupačnost, posebno iz perspektive načina interakcije korisnika s rješenjem.

Analizom različitih široko dostupnih aplikacija u proširenoj stvarnosti identificirani su zadaci koji se ponavljaju kao najčešći način interakcije sa sadržajem koji se pojavljuje u proširenoj stvarnosti [11]. To su: promatranje sadržaja, skeniranje površine/markera i odabir pozicije u prostoru, postavljanje ili crtanje virtualnog objekta, transformacija virtualnog objekta (pomicanje, rotacija, skaliranje) te aktiviranje virtualnog objekta na različite načine. Transformacija virtualnog sadržaja, tj. manipulacija trodimenzionalnim objektima, može se izdvojiti kao jedan od najkritičnijih zadataka mobilne proširene stvarnosti te se u tom kontekstu razlikuju tri kategorije interakcijskih tehnika: interakcije zasnovane na dodiru (engl. *touch-based interactions*), interakcije zasnovane na gestama u zraku (engl. *mid-air gestures-based interactions*) te interakcije zasnovane na uređaju (*device-based interactions*) [12]. Mehanizmi korisničkih interakcija u proširenoj stvarnosti koji se koriste za zaslone koji se nose na glavi ne mogu se primijeniti za pokretne uređaje jer je kod pokretnih uređaja obično potrebna barem jedna ruka za držanje uređaja. Iako su istraživanja pokazala da su interakcije prirodnim gestama (rukama ili prstima) zanimljive i zabavne korisnicima, za uređaje koji se nose u ruci nisu prikladne jer korisnici pri izvođenju gesti istovremeno moraju paziti i na pomicanje uređaja [13]. Interakcije zasnovane na dodiru uključuju sve geste dodirnog zaslona uređaja koje također često mogu utjecati na preciznost interakcije ili izazvati neočekivane pogreške zbog netočne koordinacije ruku [13]. Kod interakcija zasnovanih na uređaju, korisnik rotira, naginje, iskrivljuje ili pomiče uređaj te na taj način manipulira, odnosno upravlja virtualnim sadržajem [12]. Načini na koji prethodno spomenuti mehanizmi korisničkih interakcija mogu biti primijenjeni ovise još i o korištenoj tehnologiji registracije i praćenja virtualnog sadržaja u stvarnom svijetu. S obzirom na korištenu tehnologiju, najpoznatija podjela rješenja proširene stvarnosti je na rješenja koja koriste markere (engl. *marker-based*) i na rješenja koja ne koriste markere (engl. *markerless*).

Uzimajući u obzir prethodno navedeno, evidentno je da korištenje proširene stvarnosti na pokretnom uređaju za korisnike s različitim sposobnostima može izazvati brojne izazove

prilikom interakcije s virtualnim objektima. Da bi rješenja proširene stvarnosti bila pristupačna i omogućila svim korisnicima jednaku mogućnost izvršenja zadataka te interakcije s virtualnim objektima, potrebno je omogućiti alternativne mehanizme interakcije, odnosno prilagodbu sadržaja i aspekata korisničkog sučelja tako da su zadovoljene različite potrebe korisnika [14]. Za to je najprije potrebno razlikovati sve faktore koji imaju utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo korisnika u proširenoj stvarnosti. Bitno je da korisnik razumije sve što mu je u programskom rješenju ponuđeno kao zadano ili kao opcije koje mu mogu biti od pomoći, odnosno da mu bude intuitivno koristiti sve što rješenje nudi, bez obzira na prethodno iskustvo s tehnologijom u kojoj je rješenje razvijeno. Za osobe koje nisu u mogućnosti koristiti uobičajene metode interakcije, također je važno osigurati i kompatibilnost različitih asistivnih tehnologija s programskim rješenjem [15].

Bez potpunog razumijevanja različitih potreba korisnika s invaliditetom nije moguće definirati precizne zahtjeve koji će biti u skladu s tim potrebama. Neki od načina kako razumjeti potrebe korisnika jesu provesti testiranja uporabivosti s iskusnim voditeljem korisničkog testiranja ili izgraditi platformu s aktivnim unosom interakcija korisnika koji imaju specifične potrebe, poput osoba s invaliditetom [16]. Ove metode i interakcije sa stvarnim korisnicima mogu dizajnerima i razvijateljima programskih rješenja pružiti uvid u potrebe koji će pomoći u boljoj specifikaciji zahtjeva za dizajn i razvoj programskih rješenja [16]. Parametri koji se uobičajeno analiziraju u istraživanjima vezanim uz ispitivanje uporabivosti rješenja i usporedbu različitih interakcijskih tehnika prilikom izvođenja zadataka u proširenoj stvarnosti (poput translacije, rotacije i skaliranja) su vrijeme potrebno za izvođenje zadatka, broj gubitaka praćenja virtualnog sadržaja, vrijeme potrebno za oporavak nakon gubitka, broj pogrešnih odabira, broj traženih instrukcija u igri i sl. [17]–[20]. Koncept prilagodbe sadržaja proširene stvarnosti opisan u [21] uzima u obzir parametre vezane uz okolinu, tj. osvjetljenje scene, udaljenost do cilja i ambijentalnu buku, ali je naglašena i važnost parametara vezanih uz korisnika i uređaj u kontekstu prilagodbe. Pojedine studije opisuju istraživanja o ponašanju korisnika u mobilnoj proširenoj stvarnosti u različitim kontekstima poput prilagodbe prikaza sadržaja na pametnim naočalama [22] i poboljšanja iskustvene kvalitete usluge proširene stvarnosti u ovisnosti o kretanju korisnika [23], ali, zasada, nisu pronađene studije koje se temelje na korisničkim interakcijama u kontekstu prilagodbe za pristupačnost. Model interakcije za AR sustave opisan u [24] uzima u obzir različite sposobnosti korisnika, ali se komponenta vezana uz prilagodbu korisničkog sučelja temelji na eksplicitno zadanim

preferencijama od strane korisnika. Nedostatak studija povezanih s automatskom prilagodbom korisničkih sučelja za osobe s različitim teškoćama temeljenoj na objektivnom mapiranju korisnikovih mogućnosti i parametara korisničkog sučelja te automatskom prilagodbom AR sustava [25] pokazatelj su daljnjih potrebnih istraživanja u ovom području.

Analitika velikih količina podataka (engl. *big data*) opisuje proces otkrivanja trendova, obrazaca i korelacija u velikim količinama neobrađenih podataka kako bi se pomoglo u donošenju odluka temeljenih na podacima. Prema Statisti², očekivan je značajan rast globalnog tržišta analitike velike količine podataka u narednim godinama. Ovaj trend se odražava i na ozbiljne igre koje spajaju domene videoigara i obrazovanja. Svaka domena razvila je svoje tehnike i alate za analizu korisnika, tj. proučavanje načina kako korisnici koriste digitalni sadržaj. Alati za analitiku učenja mogu donijeti brojne prednosti u području obrazovanja u kontekstu poboljšanja zadržavanja učenika u školama, povećanja uspjeha učenika te stvaranja personaliziranog učenja [26]. U područje obrazovanja se za poboljšanje procesa podučavanja i učenja postupno usvajaju i tehnike umjetne inteligencije u svrhu analitike učenja, i to za podršku nastavnim aktivnostima na različitim obrazovnim razinama [27]. Iako je pokazano da ozbiljne igre u edukaciji imaju djelotvoran učinak na ponašanje, stjecanje znanja i emocije učenika, potrebna su daljnja istraživanja povezana s tehnikama koja se koriste u području znanosti o podacima u svrhu poboljšanja uporabivosti takvih igara [28]. Iako uporaba aplikacija proširene stvarnosti u obrazovanju dobiva sve veći interes na svim obrazovnim razinama i kontekstima, naponi da se tehnike analitike učenja integriraju u uranjajuće tehnologije su ograničeni i rijetki [29]. Dodatno, integracija proširene stvarnosti i analitike učenja otvara nova pitanja povezana s privatnosti i etikom što je osobito važno za korisnike s različitim teškoćama kojima je potrebno pružiti dodatnu podršku i smjernice [30].

Prijedlog rješenja s obzirom na cilj istraživanja

Slijedom svega prethodno navedenog, cilj doktorskog istraživanja je za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje predložiti radni okvir čije će sastavnice omogućiti praćenje i analizu korisničkih interakcija sa sadržajem proširene stvarnosti te vrednovanje pristupačnosti kojom će se odrediti ključni interakcijski parametri koji utječu na pristupačnost

² Veličina tržišta analitike velikih količina podataka u svijetu od 2021. do 2029. (Statista), <https://www.statista.com/statistics/1336002/big-data-analytics-market-size/>

programskog rješenja pojedinom korisniku, kao i na korisničko iskustvo. Izvorni znanstveni doprinos koji je ostvaren u disertaciji sastoji se u sljedećem:

- model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje koji će omogućiti objektivno povezivanje korisnikovih sposobnosti i interakcijskih parametara,
- metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti temeljena na predloženom modelu praćenja korisničkih interakcija koja omogućuje prilagodbu korisničkih sučelja i mehanizama interakcije, i
- smjernice za razvoj i vrednovanje pristupačnih ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje proizašle iz ključnih parametara korisničkih interakcija koji utječu na pristupačnost i korisničko iskustvo.

Kako bi se ostvario navedeni doprinos i cilj doktorskog istraživanja, provedeno je istraživanje koje je rezultiralo prijedlogom radnog okvira za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje koji omogućava automatsko prikupljanje podataka o korisničkim interakcijama u kontekstu pristupačnosti (naglasak na mehanizmima interakcije i sadržaju), analizu i izračun postavki na temelju prikupljenih podataka, prilagodbu postavki za pojedinog korisnika, kao i vrednovanje ozbiljnih igara s obzirom na pristupačnost temeljem smjernica proizašlih iz analize prikupljenih podataka.

U radu je specificiran model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti te je predložena metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu korisničkih interakcija koja integrira navedeni model praćenja korisničke interakcije. Temeljem predložene metodologije implementirana je tehnološka platforma koja omogućuje prikupljanje podataka od strane korisnika (korisničke interakcije tijekom igre i subjektivne ocjene zadovoljstva interakcijom) te analizu pohranjenih podataka s ciljem utvrđivanja najznačajnijih interakcijskih parametara koji imaju utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo za pojedinog korisnika.

Korisničko testiranje provedeno je s ukupno 108 ispitanika te su u skladu s univerzalnim dizajnom u skup ispitanika uključene osobe s invaliditetom i osobe različite životne dobi. Konkretno, u istraživanju je sudjelovalo 29 osoba s različitim teškoćama (osobe s oštećenjem vida, oštećenjem sluha, motoričkim teškoćama, kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja te višestrukim teškoćama), te 79 osoba koje spadaju u različite

dobne skupine (sve dobne skupine od mlađih od 18 godina do 65 godina i više). Proces korisničkog testiranja uključivao je korištenje prve igre u proširenoj stvarnosti na tablet uređaju u svrhu prikupljanja korisničke interakcije temeljem koje se definira prilagodba mehanizama interakcije i sadržaja, zatim korištenje druge igre u proširenoj stvarnosti na tablet uređaju koja primjenjuje prilagodbu mehanizama interakcije i sadržaja pojedinom korisniku te, na kraju, ispunjavanje upitnika za prikupljanje kvalitativnih podataka o drugoj igri.

Temeljem provedenog korisničkog testiranja i analize rezultata, oblikovane su smjernice za razvoj i vrednovanje pristupačnosti programskih rješenja u formi ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje.

U nastavku je opisana struktura doktorskog rada.

U prvom poglavlju napravljen je pregled područja istraživanja podijeljenog na tri glavna dijela relevantna za razumijevanje problema kojim se doktorski rad bavi. U drugom poglavlju definiran je i opisan model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje na kojem se temelji metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti opisana u trećem poglavlju. Korisničko testiranje i analiza rezultata dobivenih provedenim eksperimentom s razvijenom tehnološkom platformom temeljenom na prethodno predloženoj metodologiji opisani su u četvrtom poglavlju, dok su smjernice za razvoj i vrednovanje pristupačnih ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje proizašle iz definiranih ključnih interakcijskih parametara i provedene analize prikupljenih podataka opisane u petom poglavlju. Zaključak i prijedlozi za nastavak istraživanja u ovom području navedeni su u šestom poglavlju.

1. Pregled područja istraživanja

Ovo poglavlje iznosi pregled tema koje su relevantne za provedeno doktorsko istraživanje. Najprije će se opisati pojmovi iz područja univerzalnog dizajna i pristupačnosti te važnost razumijevanja potreba korisnika u svrhu prilagodbe rješenja korisniku, zatim će se opisati specifičnosti vezane uz proširenu stvarnost kao nove tehnologije, s naglaskom na interakciju i sadržaj programskih rješenja za pokretne uređaje, nakon čega će se opisati programska rješenja u formi ozbiljnih igara te metode i tehnike praćenja korisničkih interakcija koje se koriste u svrhu prilagodbe rješenja korisniku.

1.1. Univerzalni dizajn i pristupačnost

Pristupačnost (engl. *accessibility*) se definira kao mjera koja pokazuje koliko je neki proizvod, usluga ili okruženje prikladno za sve korisnike, uključujući osobe s invaliditetom kao i starije osobe. Prema Zakonu o registru osoba s invaliditetom [31], osobom s invaliditetom smatra se osoba koja ima dugotrajna tjelesna, mentalna, intelektualna ili osjetilna oštećenja koja u međudjelovanju s različitim preprekama mogu sprječavati njezino puno i učinkovito sudjelovanje u društvu na ravnopravnoj osnovi s drugima. S obzirom na to da je riječ o različitim vrstama teškoća, nije uvijek jednostavno zadovoljiti sve potrebe osoba s invaliditetom, čak i kada osobe pripadaju istoj kategoriji invaliditeta. Iako je riječ o heterogenoj skupini korisnika i njihovi zahtjevi su često kontradiktorni, potrebno je težiti ispunjenju što većeg broja zahtjeva kako bi ostvarili uključivo društvo za sve. Ključni pristup za postizanje uključenosti i pristupačnosti je *dizajn usmjeren na korisnika* (engl. *User-Centered Design*, UCD) koji se temelji na aktivnom uključivanju korisnika u svrhu poboljšanja razumijevanja ciljeva i potreba korisnika, te iterativnom razvoju i evaluaciji rješenja [32]. Uz pristupačnost,

1. Pregled područja istraživanja

uporabivost (engl. *usability*) i korisničko iskustvo (engl. *User eXperience*, UX) vrlo su važni čimbenici u procesu širokog prihvaćanja proizvoda od strane korisnika. Sva tri pojma (pristupačnost, uporabivost, korisničko iskustvo) usko su povezana s *dizajnom usmjerenom na korisnika*. Iako mnogi koriste pojmove uporabivost i korisničko iskustvo kao istoiznačnice, pojam korisničkog iskustva ima mnogo šire značenje. Korisničko iskustvo se definira kao „percepcija i odgovori korisnika koji proizlaze iz upotrebe i/ili očekivane upotrebe sustava, proizvoda ili usluge [33]”, dok se uporabivost definira kao „mjera u kojoj sustav, proizvod ili uslugu mogu koristiti korisnici određene skupine kako bi postigli određene ciljeve djelotvorno, učinkovito i sa zadovoljstvom u određenom kontekstu uporabe [33]”. Dizajn interakcija važna je komponenta dizajna korisničkog iskustva koji za cilj ima dizajnirati interaktivni proizvod koji korisnicima omogućava ostvarenje cilja na najbolji mogući način i kod kojeg je fokus stavljen na način komunikacije s proizvodom s obzirom na korisnikove potrebe, ograničenja i kontekst [34]. Posljedično, dizajn interakcija također igra važnu ulogu i u razvoju pristupačnih interaktivnih rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti.

Digitalna pristupačnost se odnosi na mjeru u kojoj je neki računalni program, web-sjedište ili uređaj prihvatljiv i pogodan za korištenja od strane osoba s invaliditetom, kao i osoba starije životne dobi. Činjenicu da je pristupačnost iznimno važna tema pokazuju i legislative donesene u brojnim državama Europske Unije i svijeta koje obvezuju tijela javnog sektora da svoja web-sjedišta i programska rješenja za pokretne uređaje prilagode kako bi bili prihvatljivi i pogodni za osobe s invaliditetom i starije osobe [35]. Iako je pojam pristupačnosti već dugo prisutan, postao je vrlo popularan od trenutka donošenja spomenutih zakonskih obveza [15]. Iako su istraživanja u području digitalne pristupačnosti prilično zrela po pitanju dostupnih smjernica, kada je u pitanju praktična implementacija pristupačnog web-sjedišta ili aplikacija, nije jednoznačno određeno niti je jednostavno odlučiti koje opcije treba implementirati i kako zadovoljiti potrebe korisnika s različitim teškoćama [36]. Prilikom implementacije i evaluacije pristupačnosti web-sjedišta, ključnim se pokazao kriterij odabira sudionika koji sudjeluju u procesu razvoja web-sjedišta te pristup samim sudionicima. Korisnici uključeni u proces evaluacije trebaju biti predstavnici osoba s različitim vrstama invaliditeta te različite dobi [36]. Treba naglasiti da je komunikacija s ovim sudionicima ponekad sama po sebi izazovna, a preduvjet njezinog uspjeha je izgradnja odnosa povjerenja jer je proces evaluacije zahtjevan i zahtijeva aktivno uključivanje korisnika [36].

1. Pregled područja istraživanja

Za razliku od *pristupačnog dizajna* koji poseban naglasak stavlja na mogućnosti i potrebe osoba s invaliditetom, *univerzalni dizajn* podrazumijeva dizajn proizvoda i okoline koji je upotrebljiv svim ljudima u najvećoj mogućoj mjeri bez potrebe za prilagodbom. Stoga, da bi se pridonijelo univerzalnom dizajnu rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti, u ovo doktorsko istraživanje su, osim osoba koje su predstavnici različitih kategorija invaliditeta (oštećenja vida, oštećenja sluha, motoričkih teškoća, kognitivnih i neuroloških poremećaja, specifičnih teškoća u učenju, višestrukih teškoća), uključene i osobe različitih životnih dobi, s teškoćama i bez teškoća.

Jedne od najpoznatijih smjernica za postizanje pristupačnosti web-sadržaja su *Web Content Accessibility Guidelines 2.0* (WCAG 2.0) koje počivaju na četiri načela za pristup i korištenje web-sadržaja: vidljivost, operabilnost, razumljivost i robusnost [37]. Smjernice su namijenjene razvijateljima web-sjedišta i aplikacija te alata za upravljanje web-sadržajem i procjenu pristupačnosti [37]. Ove se smjernice mogu primijeniti i za postizanje pristupačnosti web-stranica i aplikacija pri korištenju pokretnih uređaja kao što su pametni telefoni i tableti. Za mobilnu pristupačnost važno je razmotriti probleme povezane s pokretnim uređajima kao što su veličina zaslona, veličina i razmak elemenata na zaslonu, geste dodira koje se koriste na zaslonu osjetljivom na dodir, grupiranje operabilnih elemenata, jednostavne metode za unos podataka, promjena orijentacije zaslona i dr. [38]. Ove se smjernice također mogu primijeniti na rješenja zasnovana na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, međutim, potrebno je razmotriti i istražiti karakteristike povezane s proširenom stvarnošću kako bi se u potpunosti razumjele potrebe korisnika i specifičnosti povezane s pristupačnošću za navedena rješenja (npr. kretanje korisnika u fizičkom okruženju, ograničenja okoline, interakcija dok korisnik drži uređaj jednom rukom/s dvije ruke, interakcija ako korisnik ne može držati uređaj itd.).

Iako postoje različite inicijative za pristupačnost tehnologija virtualne i proširene stvarnosti, komercijalni sustavi koji koriste ove tehnologije i dalje nisu široko prihvaćeni među osobama s invaliditetom i starijim osobama. Postojeće aktivnosti vezane uz istraživanje i standardizaciju pristupačnosti ovih tehnologija uglavnom se odnose na uranjajuća okruženja, kao i višemedijske sustave, međutim, bez rezultata u proširenoj stvarnosti [39]. Pristupačnost u proširenoj stvarnosti još je uvijek područje u razvoju, što pokazuje i nedostatak smjernica za razvijatelje i dizajnere u kontekstu pristupačnosti. Međutim, da je zainteresiranost u ovom području sve veća, pokazuje i činjenica da je Facebook (danas Meta) objavio smjernice za razvoj pristupačnih aplikacija u virtualnoj stvarnosti za Oculus platforme [40] te pokrenuo

1. Pregled područja istraživanja

istraživačku grupu koja se bavi razvojem inkluzivnih aplikacija u proširenoj stvarnosti [41]. Dodatno, radna grupa organizacije *World Wide Web Consortium* (W3C) koja se bavi standardizacijom tehnologija korištenih na webu, objavila je nacrt dokumenta pod nazivom *XR Accessibility User Requirements* (XAUR) [14] u kojem su navedene potrebe i zahtjevi osoba s invaliditetom kao korisnika virtualne i proširene stvarnosti te drugih srodnih tehnologija (tehnologije XR). Kao važne karakteristike pristupačnosti u navedenom dokumentu ističu se multimodalna podrška (u kontekstu podrške za različite ulazne i izlazne uređaje) te prilagodba sadržaja i korisničkog sučelja različitim potrebama korisnika [14]. Uz razumijevanje koji modalitet ulaza ili izlaza najbolje odgovara korisniku, važno je razlikovati sve ostale manje očite čimbenike koji utječu na uporabivost i korisničko iskustvo rješenja temeljenih na tehnologijama XR. Što se tiče rješenja proširene stvarnosti za pokretne uređaje (koji se nose u ruci), neki od čimbenika mogu biti, naprimjer, jasnoća zvuka, veličina teksta, kontrast boje teksta i pozadine, opcije rasporeda tipki, zahtjevi za kretanjem u okolini, interakcija s okolinom ili stapanje virtualnih objekata sa stvarnim svijetom. Kao što je spomenuto u Uvodu, mehanizmi interakcije korisnika implementirani za zaslone koji se nose na glavi nisu prikladni za pokretne uređaje jer je korisniku potrebna barem jedna ruka za držanje uređaja u ruci. Iako su dodirne geste na zaslonima osjetljivim na dodir jedna od široko korištenih metoda interakcije u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, ova metoda često može dovesti do nepreciznih interakcija ili neočekivanih pogrešaka zbog netočne koordinacije ruku [13]. Stoga se predlažu dodatne tehnike za poboljšanje preciznosti interakcija, kao što je tehnika zamrzavanja koja korisniku omogućuje zamrzavanje prikaza proširene stvarnosti ili virtualnog objekta kako bi odradio interakciju s njim [13]. Ovi i drugi čimbenici zajedno utječu na to hoće li rješenje u proširenoj stvarnosti biti pristupačno i ugodno iskustvo za korisnike bez obzira na njihove sposobnosti ili ograničenja. Nakon što se prepoznaju potrebe korisnika u kontekstu značajki pristupačnosti, važno je razumjeti kako ih implementirati i inkorporirati u rješenje ili, ako je riječ o opcijama pristupačnosti, gdje ih smjestiti tako da su uvijek dostupne [14].

Budući da se tehnologija proširene stvarnosti brzo razvija te da se mnogi korisnici često prvi put susreću s AR-om, važno je razviti proizvode koji su intuitivni i uključuju dobro objašnjene upute ili ilustracije. Postoje primjeri aplikacija s demonstracijama i smjernicama za dizajn namijenjene razvijateljima koje pokrivaju različite principe i obrasce proširene stvarnosti, kao što su [42]–[44]. Međutim, ove smjernice uključuju općenite preporuke za uporabivost, tj. okruženje, virtualni sadržaj, kretanje u stvarnom svijetu i korisničko sučelje, te nisu dovoljne za pokrivanje različitih potreba korisnika u kontekstu pristupačnosti. Smjernice

1. Pregled područja istraživanja

za razvoj pristupačnih rješenja u proširenoj stvarnosti trebale bi uključivati aspekt dizajna takvog rješenja ispočetka kako bi se izbjeglo kasnije nadograđivanje rješenja ili razvoj alternativne verzije, što nije u skladu s najboljom praksom razmatranja značajki pristupačnosti u ranoj fazi razvoja niti s univerzalnim dizajnom. Smjernica koja se odnosi na određeni invaliditet, spomenuta u [42], ističe da je potreban alternativni način korištenja aplikacije ako se korisnik ne može kretati oko objekta, tj. da je potrebno omogućiti korisniku pomicanje i okretanje objekta. Slično kao i kod web-rješenja, iako postoje mnoge preporuke za osiguravanje pristupačnosti, tehnička primjena istih nije dovoljno jasna, posebno za razvijatelje kod kojih je prisutan nedostatak svijesti o pristupačnim rješenjima [45]. U ovakvim okolnostima potrebne su specifičnije i detaljnije smjernice za razvoj pristupačnih rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za korisnike s različitim potrebama.

Pojava tehnologije proširene stvarnosti utjecala je na povećani broj istraživanja u tom području, pri čemu su, u kontekstu pristupačnosti, istraživački projekti uglavnom usredotočeni na dizajn pristupačnog AR sučelja s dva aspekta: prikupljanje i prikaz prostornih informacija u stvarnom vremenu na pristupačan način, te isporuka tih informacija putem različitih modaliteta [46]. Značajno područje istraživanja u literaturi također je usmjereno na načine korištenja proširene stvarnosti kao alata za podučavanje osoba s invaliditetom obavljanju svakodnevnih zadataka [46]. Kako bi se pridonijelo razvoju rješenja proširene stvarnosti pristupačnima za sve korisnike (u kontekstu široko rasprostranjenih rješenja za edukaciju, trening, obuku, kupovinu i sl.), postojeće rezultate istraživanja specifičnih primjena AR rješenja za osobe s invaliditetom treba inkorporirati u rješenja namijenjena svima, odnosno, prilagoditi rješenja tako da odgovaraju različitim potrebama korisnika te pronaći najbolji mogući način za to kako bi se istovremeno maksimiziralo korisničko iskustvo. Prema [41], istraživanja u području pristupačnosti vezana uz personalizaciju interakcije uglavnom su rađena za audio-vizualne medije (ne imerzivne medije). Istraživanja su uglavnom temeljila personalizaciju sučelja na korisničkom profilu za korisnike s različitim sposobnostima, bez objektivnog povezivanja sposobnosti korisnika i parametara sučelja, posebno ne u rješenjima temeljenim na tehnologijama XR [41]. Primjer zajednice koja se zalaže za pristupačnost XR rješenja je *XR Access* [39]. Iako su istraživali probleme pristupačnosti imerzivnih (uranjajućih) medija i identificirali različita područja za poboljšanje i promicanje njihove pristupačnosti, specifičnosti vezane uz pristupačnost AR-a nisu detaljno razmotrene [39],[41].

1.2. Proširena stvarnost

Proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*, AR), virtualna stvarnost (engl. *Virtual Reality*, VR), miješana stvarnost (engl. *Mixed Reality*, MR) i produžena stvarnost (engl. *Extended Reality*) često su korišteni izrazi za opisivanje kako tehnologije generiraju ili modificiraju stvarnost. Međutim, nekonzistentna uporaba ovih izraza između istraživača iz akademskog svijeta i stručnjaka dovela je do nejasnih razgraničenja u definiranju ovih pojmova [47]. Prema okviru predloženom u [47], kratica XR nije za produženu stvarnost već za *xReality*, tj. X stvarnost gdje X označava bilo koji oblik nove stvarnosti. U ovom okviru XR je krovni naziv za proširenu i virtualnu stvarnost pri čemu svaka donosi različita iskustva i opisana su vlastitim kontinuumom. Proširena stvarnost (AR) se prema tom kontinuumu može dodatno kategorizirati s obzirom na razinu lokalne prisutnosti, tj. razinu do koje korisnik doživljava da je virtualni sadržaj stvarno prisutan u stvarnom okruženju, u rasponu od potpomognute stvarnosti (engl. *assisted reality*) do miješane stvarnosti (MR). Dok se u potpomognutoj stvarnosti virtualni sadržaj doživljava kao jasno umjetan i da prekriva stvarno okruženje (niska lokalna prisutnost), u MR-u korisnici doživljavaju virtualni sadržaj kao stvarno prisutan u svom fizičkom okruženju s mogućnošću međusobne interakcije (visoka lokalna prisutnost) [47]. Sljedeća slika prikazuje kontinuum proširene stvarnosti prema ovom okviru od potpomognute do miješane stvarnosti (Slika 1.1).



Slika 1.1 Kontinuum proširene stvarnosti (slika prevedena i prilagođena iz [47])

U doktorskom istraživanju, kada se govori o proširenoj stvarnosti (AR-u), misli se na doživljaj koji se na kontinuumu proširene stvarnosti nalazi bliže visokoj lokalnoj prisutnosti (prema miješanoj stvarnosti), ali ne tolikoj da korisnici možda neće moći razlikovati virtualni od stvarnog sadržaja. Primjer na kontinuumu na slici označen je okvirom plave boje.

1. Pregled područja istraživanja

Glavna razlika između virtualne i proširene stvarnosti je u tome što virtualna stvarnost u potpunosti uranja korisnika u virtualno okruženje, tj. korisnik ne može vidjeti stvarni svijet oko sebe, dok proširena stvarnost nadopunjuje stvarnost i omogućuje korisniku da doživi stvarni svijet s virtualnim objektima postavljenim na ili ukomponiranim u stvarni svijet [48].

Najpopularnija primjena VR tehnologije je u industriji igara, a jedan od razloga je taj što VR omogućuje igračima potpuno uranjajuće iskustvo i omogućuje osjetilna iskustva u svijetu igre, uključujući vid, dodir, sluh, miris, pa čak i okus. Imajući na umu sveprisutno računarstvo i to da su ljudi prirodno više usmjereni prema stvarnom svijetu nego prema virtualnom, AR se ističe kao prikladnija tehnologija pružajući jednostavno i neposredno korisničko sučelje za elektronički poboljšan fizički svijet [49].

Prema najčešće prihvaćenoj definiciji proširene stvarnosti, neki sustav se smatra proširenom stvarnošću ako sadrži sljedeće tri karakteristike: kombinacija stvarnog svijeta i virtualnog sadržaja, interakcije u stvarnom vremenu te registracija u trodimenzionalnom (3D) prostoru (ispravno poravnavanje virtualnog svijeta sa stvarnim) [48]. Prema kontinuumu predloženom u [47], ova definicija ne uključuje primjere s najnižom razinom lokalne prisutnosti jer ne uključuju registraciju i praćenje virtualnog sadržaja u prostoru. Virtualni sadržaj koji se može postaviti na ili ukomponirati u stvarni svijet, a kojeg korisnik vidi kroz zaslon uređaja, može biti u obliku teksta, simbola i različitog grafičkog sadržaja poput slika, fotografija, objekata, animacija, videozapisa i sl. Ovisno o metodi koju AR zaslone koriste za kombiniranje stvarnog i virtualnog sadržaja, mogu se razlikovati tri kategorije AR zaslona: optički prozirni zaslone (engl. *optical see-through display*), video prozirni zaslone (engl. *video see-through display*) i prostorna projekcija (engl. *spatial projection*) [49]. Monokularni video prozirni zaslone uključuju zaslone koji se nose u ruci (engl. *handheld AR*), a to su najčešće uređaji poput pametnih telefona i tableta. Zajedno s različitim optičkim prozirnim zaslonima (pokretnim zaslonima koji se nose na glavi) spadaju u kategoriju poznatu pod nazivom *mobilna proširena stvarnost* (MAR) [49], [50]. Mnogi zaslone koji se nose na glavi se još uvijek smatraju nezgrapnima i cjenovno nepristupačnima tako da su zaslone koji se nose u ruci (trenutačno) više društveno prihvaćeni [50] iako i oni donose potencijalne probleme poput naprezanja ruku nakon duge upotrebe.

Proširena stvarnost pronašla je primjenu u različitim područjima. Osim primjene u specifičnim domenama poput industrije, građevinarstva, održavanja, obuke ili medicine, proširenu stvarnost ima potencijal koristiti širok raspon korisnika u svakodnevnom životu. Neki

1. Pregled područja istraživanja

primjeri svakodnevne primjene su pronalaženje informacija o mjestima od interesa u njihovoj okolini, podrška u navigaciji tijekom praćenja rute, pomoć u donošenju odluka za kupnju proizvoda, podrška tijekom učenja, ali i zabava, tj. igre u proširenoj stvarnosti za koje se očekuje da će biti slučaj potrošačke upotrebe s najviše ulaganja u 2024. godini, zajedno s VR igrama i videozapisima³. Većina navedenih primjena postala je dostupna zahvaljujući napretku mobilnog računarstva i brzom razvoju pametnih telefona. Proširena stvarnost na pokretnim uređajima postala je popularna i poznata široj masi ljudi kada je objavljena AR igra Pokémon GO [51].

S obzirom na prednosti koje AR može donijeti pružajući nove načine interakcije između čovjeka i računalne opreme i s obzirom na činjenicu da aplikacije u proširenoj stvarnosti postaju sveprisutne i dio naše svakodnevice, iznimno je važno da svakom korisniku bude omogućeno u potpunosti iskusiti doživljaj proširene stvarnosti i iskoristiti sve prednosti koje ona pruža. Stoga, prilikom razvoja programskih rješenja i usluga zasnovanih na proširenoj stvarnosti u obzir treba uzeti pristupačnost kako bi ih što veći broj korisnika, bez obzira na ograničenja i sposobnosti, mogao koristiti. Budući da u svijetu postoji više od milijardu ljudi koji žive s nekim oblikom invaliditeta [52], pristupačnost novih rješenja, posebno onih za koje se predviđa da će biti široko rasprostranjena i dio svakodnevnog života, nameće se kao neizbježan zahtjev za postizanje društvene uključenosti osoba s invaliditetom.

U doktorskom istraživanju naglasak je stavljen na programska rješenja proširene stvarnosti koja koriste zaslone koji se nose u ruci, tj. pokretne uređaje poput pametnih telefona i tableta, te interakcije zasnovane na dodiru koje uključuju sve geste dodirnog zaslona uređaja. Stoga, da bi se identificirali problemi pristupačnosti koje je potrebno riješiti, napravljen je sustavni pregled literature koji uključuje AR programska rješenja za pokretne uređaje razvijena za osobe s invaliditetom s naglaskom na različite interakcijske tehnike potrebne za izvršenje zadataka u proširenoj stvarnosti [53]. Važno je uzeti u obzir alternativne načine interakcije i multimodalnu podršku u kontekstu različitih ulaznih i izlaznih uređaja jer se jedino pronalaskom odgovarajućeg načina interakcije za pojedinog korisnika može ostvariti puni potencijal proširene stvarnosti. Iako se proširena stvarnost uglavnom povezuje s vizualnim „proširenjima“ stvarnog svijeta, modaliteti koji uključuju druga osjetila također mogu igrati važnu ulogu.

³ Ulaganje u tehnologiju proširene i virtualne stvarnosti u svijetu 2024. godine, prema slučaju uporabe (Statista), <https://www.statista.com/statistics/1098345/worldwide-ar-vr-investment-use-case/>

1. Pregled područja istraživanja

Naprimjer, taktilne tehnologije danas pružaju sučelja koja donose brojne prednosti osobama s različitim invaliditetom. U području tele-rehabilitacije, osobama s motoričkim teškoćama osiguravanje taktilnih povratnih informacija može biti korisno za učenje i poboljšanje kontrole pokreta [54], dok kod osoba s oštećenjima vida interaktivne taktilne mape, dijagrami te objekti iz stvarnog svijeta obogaćeni zvučnom povratnom informacijom mogu biti iznimno korisni u obrazovnim okruženjima [55].

1.2.1. Kategorizacija rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

U nastavku je opisana kategorizacija rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje prema karakteristikama koje su specifične za sustave mobilne proširene stvarnosti. Pri tome se u obzir uzima tehnologija koja je korištena za praćenje u proširenoj stvarnosti. Praćenje (engl. *tracking*) se odnosi na registraciju, tj. poravnavanje, virtualnog objekta u stvarnom svijetu te kontinuirano praćenje položaja i orijentacije korisnikovog uređaja u odnosu na neku točku ili karakteristiku u stvarnom okruženju koja predstavlja „sidro“ (engl. *anchor*) [56] i koja se koristi kao referenca za praćenje digitalnog sadržaja ili objekata u korisnikovom vidokrugu.

Postoji nekoliko uobičajenih tehnika praćenja koja se koriste, među kojima su najpopularnije tehnike iz kategorije optičkog praćenja, tj. praćenja temeljenog na vizualnoj detekciji (engl. *vision-based tracking*). Razlog tome je što pokretni uređaji poput pametnih telefona i tableta danas ispunjavaju minimalne zahtjeve hardvera koji su potrebni za ovaj pristup. Tehnike računalnog vida koje se koriste u ovoj kategoriji mogu pružiti praćenje temeljeno na markerima i bez njih sa zadovoljavajućom brzinom sličica u stvarnom vremenu [56].

Za praćenje temeljeno na markerima potrebni su vizualni markeri, tj. umjetni orijentiri, koji se dodaju okruženju kako bi omogućili praćenje u proširenoj stvarnosti. Praćenje bez markera uključuje tehniku praćenja prirodnih značajki (engl. *natural feature tracking*) koje se temelji na prepoznavanju prirodnih obilježja u stvarnom okruženju, poput tekstura, rubova, kutova i drugih karakteristika, što omogućuje precizno praćenje za realistično i intuitivno iskustvo proširene stvarnosti [56].

Tehnika optičkog praćenja bez markera koja se temelji na procesu poznatom pod akronimom SLAM (simultano lokaliziranje i mapiranje) omogućava uređaju da razumije svoju relativnu poziciju u svijetu i da bude svjestan svojeg okruženja, poput poda, zidova ili nekih

1. Pregled područja istraživanja

drugih barijera. Ova tehnika stvara prostornu mapu nepoznatog okruženja koja ostaje konzistentna tijekom kretanja korisnika [57].

Praćenje temeljeno na lokaciji (engl. *location-based tracking*) koristi tehnologiju globalnog položajnog sustava (GPS-a) te je također vrlo popularno jer omogućava praćenje položaja u vanjskim okruženjima. S točnom registracijom lokacije korisniku se mogu pružiti vrijedne informacije o točki ili mjestu interesa. Iako tehnike koje se koriste za optičko praćenje u proširenoj stvarnosti imaju prednost u odnosu na druge tehnike praćenja jer omogućuju precizno praćenje u zatvorenim prostorima (gdje je GPS manje precizan zbog blokiranja signala ili oslabljenog signala), ove tehnike mogu biti osjetljive na loše osvjetljenje te prekrivanje markera. Stoga, kako bi se osiguralo stabilno i precizno praćenje položaja i orijentacije u proširenoj stvarnosti, potrebno je kombinirati različite tehnologije praćenja. Hibridno praćenje je moguće i kod pokretnih uređaja jer su opremljeni različitim sensorima pokreta, kao što su akcelerometar i žiroskop, te drugim sensorima poput GPS-a, magnetometra, kamere [56].

Tablica u nastavku (Tablica 1.1) prikazuje kategorizaciju prema kojoj se mogu svrstati rješenja zasnovana na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u ovisnosti o tehnologiji koja je korištena za praćenje u proširenoj stvarnosti [56], [58]. Za svaku kategoriju navedena je specifičnija podjela rješenja prema tehnici ili senzoru koji se koristi te primjeri okidača (engl. *trigger*) koji predstavlja elemente koji aktiviraju određenu interakciju u proširenoj stvarnosti.

Tablica 1.1 Kategorizacija AR rješenja prema tehnologiji korištenoj za praćenje u AR-u

Tehnologija praćenja u proširenoj stvarnosti	Senzor/tehnika za praćenje u proširenoj stvarnosti		Okidač (primjer)
Optičko praćenje (praćenje temeljeno na vizualnoj detekciji)	Kamera	Praćenje temeljeno na markerima	Vizualni markeri, barkodovi
		Praćenje bez markera	Prirodne značajke (objekta ili okoline)
Praćenje temeljeno na lokaciji	GPS		Lokacija korisnika
Inercijsko praćenje	Žiroskop		Kutna brzina
	Akcelerometar		Akceleracija
Hibridno praćenje	Kombinacija (npr. senzori pokreta, magnetometar (kompas), optičko praćenje, dubinski senzor)		Pokret, promjena u orijentaciji, 3D model okruženja, vizualne značajke, interakcija korisnika

Prema sustavnom pregledu literature [53], najveći broj AR rješenja razvijen za osobe s invaliditetom u razdoblju 2010.-2022. godine spada u kategoriju rješenja temeljenih na optičkom praćenju, i to u rješenja čije se praćenje temelji na markerima. Najveći broj vizualnih

markera korištenih u rješenjima povezan je s različitim materijalima za učenje, npr. slike u udžbeniku/elektroničkoj knjizi, sličice organizirane u knjižice, kartice za učenje i sl., što odgovara tome da je najveći broj rješenja razvijen za primjenu u području edukacije, i to za osobe s kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja [53]. Kao što je i jedan od zaključaka ovog pregleda literature, potrebno je više istražiti rješenja koja se temelje na praćenju bez markera jer je to fleksibilniji oblik proširene stvarnosti. Praćenje bez markera ne zahtijeva postavljanje bilo kakvih okidača u okruženje korisnika te omogućuje poboljšano iskustvo proširene stvarnosti zbog realističnijeg stapanja i prikaza virtualnih objekata u stvarnom svijetu. Ovisno o razini lokalne prisutnosti omogućeno je skrivanje virtualnih objekata iza stvarnih objekata u stvarnosti (engl. *object occlusion*), bolja uronjenost korisnika te nove interakcije.

1.2.2. Uobičajeni zadaci u rješenjima proširene stvarnosti za pokretne uređaje

S obzirom na način na koji korisnik stupa u interakciju s virtualnim sadržajem u proširenoj stvarnosti, mogu se razlikovati sljedeće vrste korisničkih sučelja u proširenoj stvarnosti: informacijski preglednik (engl. *Information Browser*) koji služi za prikaz dodatnog sadržaja ili informacija u stvarnom okruženju, 3D korisničko sučelje (engl. *3D User Interface*) koje služi za interakciju s 3D virtualnim objektima u stvarnom svijetu pri čemu se često koriste različiti kontrolni uređaji, opipljivo korisničko sučelje (engl. *Tangible User Interface*) koje koristi fizičke objekte za interakciju s virtualnim sadržajem, prirodno korisničko sučelje (engl. *Natural User Interface*) koje koristi prirodne i intuitivne načine interakcije kao što su geste ili pokreti tijela, te multimodalno korisničko sučelje (engl. *Multimodal User Interface*) koje koristi više različitih načina interakcije, npr. glasovne naredbe i geste ili dodir i pogled [56]. Prema pregledu AR rješenja za osobe s invaliditetom iz [53], gotovo sva analizirana rješenja su informacijski preglednici koji uključuju prikaz virtualnog sadržaja postavljenog u stvarnom okruženju i pojavu dodatnog sadržaja na zaslonu nakon aktivacije, npr. pojava tekstualnih informacija na zaslonu nakon skeniranja markera.

Za rješenja koja osim samog prikaza virtualnog sadržaja u stvarnom okruženju od korisnika traže različite interakcije za uspješno obavljanje zadataka u proširenoj stvarnosti, važno je identificirati koji sve zadaci postoje te koje se interakcijske tehnike koriste za izvođenje zadataka kako bi se mogli analizirati u kontekstu pristupačnosti. Analizom široko dostupnih aplikacija u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje moguće je identificirati zadatke koji se ponavljaju kao najčešći načini interakcije sa sadržajem koji se pojavljuje u proširenoj stvarnosti

1. Pregled područja istraživanja

[11]. Zadaci koji se najčešće pojavljuju u aplikacijama mogu se grupirati u sljedećih pet kategorija zadataka: promatranje AR sadržaja, uspostavljanje fizičke/virtualne korespondencije, stvaranje virtualnog sadržaja, transformacija virtualnog sadržaja te aktiviranje virtualnog sadržaja [11]. U sljedećoj tablici (Tablica 1.2) prikazane su navedene kategorije uobičajenih zadataka u proširenoj stvarnosti te su navedene podvrste zadataka za pojedinu kategoriju s primjerima uobičajenih interakcijskih tehnika. Podvrste zadataka i primjeri interakcijskih tehnika navedeni u tablici su identificirani kao zadaci i interakcijske tehnike koji se pojavljuju u AR rješenjima razvijenim za osobe s invaliditetom [53]. Većina zadataka i interakcijskih tehnika poklapa se s onima identificiranim u [11] gdje je napravljen pregled AR rješenja dostupnih u trgovini aplikacijama *App Store* za pokretne uređaje.

Tablica 1.2 Kategorije i podvrste uobičajenih zadataka u proširenoj stvarnosti s primjerima interakcijskih tehnika

Kategorija AR zadataka	Podvrsta AR zadatka	Primjer interakcijske tehnike
Uspostavljanje fizičke/virtualne korespondencije	Skeniranje markera	Usmjeravanje kamere uređaja prema markeru/sličici/tekstu
	Skeniranje lokacije	Usmjeravanje kamere uređaja prema mjestu interesa
	Skeniranje objekta	Usmjeravanje uređaja prema cilju/objektu
	Skeniranje površine	Usmjeravanje kamere uređaja prema površini
Stvaranje/postavljanje virtualnog sadržaja	Pozicioniranje objekta	Dodir pozicije na zaslonu uređaja
Transformacija virtualnog sadržaja	Pomicanje	Dodir objekta i povlačenje do pozicije na zaslonu (engl. <i>drag and drop</i>)
	Rotacija	Prijelaz prsta na zaslonu u jednu stranu (engl. <i>swipe</i>)
	Skaliranje	Dodir zaslona s dva prsta i razdvajanje za povećanje (engl. <i>pinch to zoom</i>)
	Bojanje	Klik na tipku za promjenu boje
Aktiviranje virtualnog sadržaja	Odabir objekta	Dodir objekta na zaslonu uređaja
	Aktiviranje efekta	Dvostruki dodir objekta za aktiviranje animacije objekta
Promatranje virtualnog sadržaja		Obilazak oko sadržaja noseći uređaj

Generalno gledano, sva AR rješenja uključuju neku vrstu zadatka iz kategorije uspostavljanja fizičke/virtualne korespondencije jer je to neophodno za stvaranje odnosa između stvarnog svijeta i virtualnog sadržaja koji se pojavljuje na zaslonu. Također, zadatak promatranja virtualnog AR sadržaja je prisutan u svakom rješenju zasnovanom na proširenoj stvarnosti jer to jest njegova svrha, da korisnik uoči i promatra virtualni sadržaj stvoren u stvarnom okruženju kroz zaslon uređaja, razlika je jedino u tome što je cilj promatranja sadržaja. Prema pregledu AR rješenja za osobe s invaliditetom iz [53], može se uočiti kako za

1. Pregled područja istraživanja

kategoriju rješenja za osobe s kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja, koja je ujedno i najbrojnija kategorija rješenja, nisu pronađeni zadaci koji uključuju skeniranje okoline, transformaciju virtualnog sadržaja u formi skaliranja i promjene boje objekta te odabir objekta. Slično, za rješenja za osobe s motoričkim teškoćama nisu pronađeni zadaci za skeniranje lokacije i postavljanje virtualnog objekta. Također, rješenja za osobe s oštećenjem vida nisu zahtijevala od korisnika skeniranje markera ili objekta ili transformaciju objekta u bilo kojem obliku. Budući da se u rješenjima proširene stvarnosti od korisnika mogu zahtijevati različite vrste interakcija za izvršenje AR zadataka, te da iste ovise i o korištenoj tehnologiji i domeni primjene, važno je korisniku omogućiti izvršenje zadataka na način koji će biti u skladu s njegovim potrebama. S obzirom na navedeno, potrebna su daljnja istraživanja koja bi uključila osobe s različitim teškoćama u dizajn interakcija i razvoj rješenja u proširenoj stvarnosti kako bi se definirali alternativni načini korištenja za sve korisnike koji rješenje ne mogu koristiti na uobičajeni način. Time je moguće osigurati jednaku mogućnost korištenja svih rješenja u skladu s načelima univerzalnog dizajna što je jedan od ciljeva ovog doktorskog istraživanja.

1.2.3. Prilagodba rješenja korisniku u proširenoj stvarnosti korisniku

Prvi korak prema poboljšanju pristupačnosti i korisničkog iskustva rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje jest razlikovati sve faktore koji imaju utjecaj na to. Budući da svako korištenje proširene stvarnosti na početku uključuje neki oblik skeniranja okruženja kako bi se uspostavila veza između stvarnog svijeta i virtualnog sadržaja koji se pojavljuje na zaslonu, vrijedno je razmotriti interakcijske tehnike potrebne za uspješno obavljanje tog zadatka. U većini slučajeva potrebno je da korisnik usmjerava uređaj s kamerom koja se nalazi na poleđini uređaja prema cilju skeniranja, bilo da je riječ o vizualnom markeru, objektu ili okruženju, pri čemu korisnik pokretni uređaj drži s jednom ili obje ruke. Način na koji korisnik drži uređaj također može ovisiti i o vrsti pokretnog uređaja jer su pametni telefoni puno manji od tablet uređaja. Dodatno, ovisno o aplikaciji, uređaj se može koristiti u portretnom ili pejzažnom načinu rada. Za osobe s motoričkim teškoćama navedene činjenice mogu otežati ili onemogućiti korištenje proširene stvarnosti na uobičajeni način zbog ograničenja poput slabije pokretljivosti ruku, tremora, slabije kontrole hvatanja, ograničenosti kretanja (uz invalidska kolica) i sl. Zbog toga je prilikom dizajna interakcija važno uzeti u obzir način držanja ili postavljanja uređaja za korištenje te zahtjeve za kretanjem u određenom rješenju, što od koristi može biti ne samo osobama s trajnim motoričkim teškoćama, već i osobama koje

1. Pregled područja istraživanja

imaju privremene poteškoće zbog, npr. slomljene ruke. Za osobe s oštećenjem vida, kojima je često izazov precizno usmjeravanje uređaja prema cilju, od pomoći mogu biti zvučni opisi ili upute koje će ih usmjeravati što trebaju napraviti. Također, osobama s intelektualnim teškoćama ili specifičnim teškoćama u učenju korištenje rješenja može biti intuitivnije uz jednostavne animacije s prikazom geste ili drugog načina interakcije kako bi uspostavili scenu za proširenu stvarnost. Ovo od koristi može biti i osobama koje nemaju prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću. Samo ovih nekoliko primjera pokazuje različite potrebe korisnika koje upućuju na to da bi bilo korisno imati alternativne mogućnosti korištenja rješenja u proširenoj stvarnosti. Da bi se definirali zahtjevi za razvojem odgovarajućih značajki pristupačnosti uključenih u postavke ili uključenih u dizajn rješenja, potrebno je provesti istraživanje potreba različitih korisnika u proširenoj stvarnosti što je jedan od ciljeva doktorskog istraživanja.

Potrebe korisnika ne ovise samo o sposobnostima korisnika, već i o dobi korisnika. Naprimjer, važnim se pokazala mogućnost više načina prikaza sadržaja u rješenjima proširene stvarnosti koja su namijenjena djeci, posebno onima namijenjenima za učenje, dok se za rješenja namijenjenima odraslima, posebno osobama starije životne dobi, pokazalo važnim osigurati podršku za asistivnom tehnologijom kao što je čitač zaslona, ili alternativni način ulazne interakcije kao što su glasovne naredbe [53]. Dok bi uglavnom starijim korisnicima koristile velike tipke za interakciju, svim dobnim skupinama bi bilo korisno pružiti opcije pristupačnosti u kontekstu promjene izgleda sučelja i AR sadržaja (promjene boje/kontrasta, vrste fonta, veličine teksta i sadržaja). Postoji niz različitih zahtjeva koje je potrebno adresirati na pravi način kako bi se zadovoljile različite potrebe korisnika što je u naravi vrlo složen zadatak s obzirom na to da su ovi zahtjevi često kontradiktorni, pa čak i ako se promatraju samo zahtjevi korisnika svrstanih u istu dobnu skupinu ili skupinu s istim teškoćama. Naprimjer, istraživanje opisano u [59] pokazalo je kako ne postoji univerzalno rješenje u pogledu fonta, veličine teksta, razmaka između slova te kontrasta korištenih boja koje se koristi za osobe s disleksijom. Stoga je personalizacija na individualnoj razini vrlo važna za poboljšanje pristupačnosti i korisničkog iskustva.

Pojam personalizacije je usko povezan s pojmom prilagodbe. Ključ pristupačnosti za sve veću raznolikost korisnika u području interakcije čovjeka i računala leži u (automatskoj) prilagodbi, pri čemu se prilagodba definira u smislu načina na koji se softver može prilagoditi određenim fizičkim i kognitivnim sposobnostima korisnika, kao i situaciji korištenja i mogućnostima platforme [60]. Iako provedba različitih upitnika (npr. upitnik za evaluaciju

iskustva igre ili standardiziranih upitnika za ispitivanje uporabivosti) može pružiti generalni uvid o korisničkom iskustvu igre i percipiranoj uporabivosti rješenja, rezultati ne mogu izravno pomoći u identificiranju tehničkih problema, problema s načinom igranja i uporabivosti [61]. Uz provođenje intervjua s korisnicima kako bi se točnije identificirali elementi koji utječu na igrivost (engl. *playability*), tj. ugodnost i jednostavnost korištenja igre, praćenje različitih objektivnih mjera u igri moglo bi pomoći u identifikaciji specifičnijih problema uporabivosti, kao i različitih korisničkih preferencija. Autori preglednog članka [62] koji uključuje korisničke studije temeljene na proširenoj stvarnosti provedene između 2005. i 2014. godine, potiču daljnja istraživanja s pristupom kvalitativne i kvantitativne analize podataka za procjenu uporabivosti aplikacija proširene stvarnosti. Također naglašavaju važnost praćenja što više različitih metrika performansi, uz vrijeme završetka zadatka, kako bi se u potpunosti razumjelo kako korisnik komunicira sa sustavom. Kako bi se omogućila automatska prilagodba rješenja u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u svrhu poboljšanja pristupačnosti, osim objektivnih mjera povezanih s uporabivosti i pristupačnosti rješenja, potrebno je u obzir uzeti i kontekstualne parametre iz okoline u kojoj se rješenje koristi te karakteristike korisnika.

Primjer pristupa personalizaciji korisničkog sučelja radnicima starije životne dobi koji rade sa strojevima u proizvodnji i koriste proširenu stvarnost opisan je u [63]. Studija je rezultirala prototipom prilagodljivog korisničkog sučelja (engl. *Adaptable User Interface*) koji uzima u obzir korisnikove karakteristike poput vještina, dobi, stupnja edukacije, teškoća, te koristi skup pravila temeljenih na znanju (engl. *knowledge-based rules*) za konfiguriranje komponenti korisničkog sučelja (npr. vrste sadržaja koja se prikazuje, količina sadržaja koja se prikazuje, karakteristika sučelja u pogledu fonta, teksta, ikona, boje itd.) u određenom kontekstu, tj. zadatku kojeg korisnik treba obaviti.

Razvijatelji web-sadržaja odavno su svjesni potrebe personaliziranog sadržaja korisniku te mnogi internetski portali već nude jednostavne alate za filtriranje informacija, međutim, većina ovakvih alata se oslanja na ručno postavljanje ovih opcija što postaje sve zamorniji proces za korisnike. Očigledna je potreba za povećanom personalizacijom u mnogim područjima interaktivnih softvera, posebno u načinima automatizacije ovog procesa što sugerira korištenje tehnika strojnog učenja kako bi se personalizirala sučelja [64]. Temeljem analize interakcije i performansi korisnika tijekom korištenja ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti u ovom radu odredit će se ključni interakcijski parametri koji utječu na pristupačnost rješenja pojedinom korisniku, kao i na njegovo korisničko iskustvo. Na taj način ostvarit će se temelji za daljnju

specifikaciju modela prilagodbe mehanizama interakcije i sadržaja potrebama pojedinog korisnika koji uključuje vrlo zahtjevan i složen proces zasnovan na postupcima strojnog učenja.

1.3. Ozbiljne igre i praćenje korisničkih interakcija

Ozbiljne igre su igre kojima primarna svrha nije zabava već poboljšanje postojećih ili stjecanje novih znanja i vještina. U ozbiljnim igrama se koriste tradicionalne karakteristike igara poput natjecanja, pravila, izazovnih aktivnosti, postizanja ciljeva, odluka, elemenata mašte, i sl., koje u ovakvim rješenjima utječu pozitivno na motivaciju igrača, a samim time i na veću angažiranost te učinkovitije stjecanje znanja, odnosno vještina [7]. Ozbiljne igre se mogu smatrati pomoćnim alatom za učenje pri čemu učenici sami odabiru vrijeme i mjesto prikladno za učenje, posebno ako ozbiljne igre koriste na pokretnom uređaju. Danas je već široko prihvaćeno da ozbiljne igre, integrirane kao pomoćno sredstvo za učenje različitih nastavnih predmeta, igraju važnu ulogu u učenju i pomažu učenicima da se usredotoče na cilj učenja [65].

Prema pregledu literature iz [65], neki od faktora koji utječu na učinak učenja uz pomoć ozbiljnih igara su percipirana korisnost, jednostavnost korištenja te jasnoća cilja, zatim, prilagodljivost prema potrebama korisnika, povratna informacija (ocjena ozbiljne igre i odgovor igre korisniku), upute za igru (koje su uz lakoću igranja važniji čimbenici za poticanje korištenja igre nego užitak), zatim, čimbenici iznenađenja kroz stimulaciju kognitivnih struktura, vrsta ozbiljne igre, godine, te ozbiljne igre s različitim značajkama. Jedna od negativnih značajki korištenja ozbiljnih igara pokazala se kod ozbiljnih igara koje su imale veće mentalno opterećenje, odnosno, pokazalo se da ozbiljna igra koja ima veće mentalno opterećenje za korisnika, također ima negativan utjecaj na učinak učenja [66]. Budući da rješenja proširene stvarnosti omogućuju novi način interakcije, važno je da one budu dizajnirane na način da budu intuitivne, a ne opterećujuće. U tom kontekstu također je važno da budu pristupačne, tj. da se mogu prilagoditi potrebama pojedinog korisnika kako ne bi izazivale frustraciju i opterećenje kod korisnika koji ne mogu koristiti uobičajene načine interakcije.

Kako bi se potaknulo korištenje ozbiljnih igara kao alata za učenje, postoji potreba za razvojem dubljeg razumijevanja o tome kako one zapravo utječu na proces učenja, kakve vještine i tehnike mogu pružiti te kako ih uskladiti s preferencijama učenika [67]. Znanje o navedenom se može dobiti procjenom učinkovitosti igara, a sve je popularniji pristup procjeni korištenjem samih igara kao alata za procjenu. Prikupljanje osnovnih informacija se oduvijek

provodilo pomoću sustava za upravljanje učenjem (engl. *Learning Management Systems*, LMS) koji omogućuju određeni stupanj uvida u aktivnosti učenika. Detaljnije praćenje načina igranja može sadržavati vrijedne informacije o tome kako su korisnici igrali igru, gdje su naišli na različite prepreke ili probleme s razumijevanjem ključnih koncepata, što može biti od koristi nastavnicima, ali može dati vrijednu povratnu informaciju i u kontekstu dizajna same igre. Dakle, dubinskom analizom interakcija korisnika ozbiljnih igara moguće je pružiti bolje razumijevanje načina na koji korisnici koriste ozbiljne igre te kako ih učiniti učinkovitijima [67].

Analiza velikih količina podataka o interakcijama korisnika trend je koji doživljava vrlo brzi rast u posljednjih nekoliko godina. Jedan od najpoznatijih primjera davatelja usluge analize velikih količina podataka jest *Google* koji nudi uslugu web analitike u kontekstu praćenja i izvještavanja o prometu na web-stranicama te prometu i događajima u mobilnim aplikacijama. Trend se odrazio i na domene obrazovanja i videoigara te je svaka razvila svoje tehnike za analizu interakciju korisnika poznate pod nazivima analitika učenja (engl. *Learning Analytics*) i analitika igre (engl. *Game Analytics*) [67].

1.3.1. Analiza korisničkih interakcija

Analitika učenja se definira kao mjerenje, prikupljanje, analiza i izvješćivanje podataka o učenicima i njihovim kontekstima, u svrhu razumijevanja i optimiziranja učenja i okruženja u kojima se pojavljuje [68]. S porastom interesa za javnim online tečajevima (engl. *Massive Open Online Courses*, MOOC), sve je veći broj njihovih korisnika te se analitika učenja tada može promatrati kao problem velike količine podataka. Tada je potrebno poslužiti se tehnikama inteligentnog rudarenja podataka (engl. *intelligent data-mining*) kako bi se otkrile neke manje očite korelacije koje uključuju određene uzorke ponašanja korisnika [67]. Dok se analitika učenja bavi poboljšanjem učinka učenja u različitim online okruženjima, analitika igre se koristi u svrhu poboljšanja korisničkog iskustva igre. Analitika igre je pojam koji se koristi u industriji videoigara za primjenu analitike u razvoju igara i istraživanju za bolje razumijevanje kako korisnici igraju igre, pronalazak greški i poboljšanje iskustva igranja [69]. Većina sustava za analitiku igara prati korisničke podatke (engl. *user data*), koji mogu biti podaci u kontekstu korisnika kao kupca neke igre/komponente u igri ili člana različitih zajednica povezanih s igrom (forumi, društvenih mreža), ili metrika u kontekstu igre, odnosno sve što se odnosi na izravnu interakciju korisnika s igrom (engl. *game metrics*) [67].

1. Pregled područja istraživanja

U slučaju ozbiljnih igara koje se koriste u edukacijske svrhe, potrebno je pratiti i podatke vezane uz proces učenja i podatke vezane uz igru. Krajnji cilj analize ovih podataka je razumjeti kako korisnik uči te kako treba dizajnirati igru da bi korisnik postigao što bolji rezultat iz interakcije s njom. Kada se kombiniraju alati i tehnike iz analitike učenja te analitike igre, onda je riječ o analitici učenja temeljenog na igrama (engl. *Game-Learning Analytics*). Osnovna implementacija sustava za analitiku učenja temeljenog na igrama (GLA) trebala bi sadržavati: instrumentacijski alat koji pohranjuje podatke o korisničkoj interakciji u igri koji se obično šalju kolektoru (engl. *collector*) na poslužiteljskoj strani, alate na poslužiteljskoj strani koji primaju i pohranjuju interakcije, pristup analitici u stvarnom vremenu (za intervenciju tijekom igranja za povećanje učinkovitosti učenja), skupne analize podataka agregiranih po različitim sesijama, ključne pokazatelje uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators*, KPIs) kao što su ocjene, završetak ili učinkovitost učenja, te nadzornu ploču ili skup analiza i vizualizaciju ključnih pokazatelja s mogućnosti konfiguracije za pojedinog korisnika [67].

Kako bi iskoristili prednosti GLA, potrebno je sve komponente sustava implementirati na način da podržavaju proces od prikupljanja podataka do prilagodbe igre pojedinom korisniku. Budući da proces započinje s igrom koja šalje podatke kolektoru, bitno je da igre budu dizajnirane i implementirane na način da podržavaju analitiku učenja te prikupljanje i slanje dodatnih aspekata korisničkih interakcija koji će omogućiti povezivanje korisničkog ponašanja s modelom temeljenim na kompetencijama koji se može iskoristiti za zaključivanje ishoda učenja [67]. Dodatno, GLA može biti koristan u otkrivanju kako se korisnici grupirani prema različitim demografskim karakteristikama (poput spola i dobi) razlikuju u igranju igre što može pomoći u razvoju ili prilagodbi igre prema preferencijama određene populacije [67].

Za uspješan sustav analitike učenja temeljenog na igrama potrebna je integracija s postojećim platformama za analitiku učenja te platformama za razvoj ozbiljnih igara. Budući da su se domene analitike učenja i igranja razvijale odvojeno te s različitim ciljevima, načini komunikacije između komponenata takvih sustava se razlikuju pa se pojavljuje problem interoperabilnosti [67]. Klijentske aplikacije koje služe kao izvori podataka o korisničkim interakcijama moraju komunicirati s platformom za prikupljanje, pohranu i analizu podataka. S obzirom na to da postoje različite platforme za razvoj igara, bitno je koristiti standardizirani format za prikupljanje podataka kako bi se osigurala interoperabilnost platformi.

1.3.2. *Standard Experience API* (xAPI)

Od specifikacija koje se bave dinamičkim podacima kao što su interakcije u ozbiljnim igrama, poznata je specifikacija *Activity Streams* [70] koja omogućava više uvida u rezultate učenja jer osigurava više detalja o aktivnostima i interakcijama korisnika. Ovom specifikacijom moguće je predstaviti niz aktivnosti koje izvode korisnici u određenom kontekstu, odnosno svaki događaj predstavljen je s aktivnosti (engl. *activity*) čiji su glavni atributi *akter* (engl. *actor*) – tko izvodi aktivnost, *glagol* (engl. *verb*) – koja aktivnost se izvodi, i *objekt* (engl. *object*) – cilj/meta aktivnosti [71]. U kontekstu analitike učenja postoje specifikacije koje su uvelike inspirirane specifikacijom *Activity Streams*, a to su *Experience API* (ili xAPI) i IMS Caliper.

Specifikaciju xAPI razvila je otvorena zajednica koju predvodi inicijativa *Advanced Distributed Learning* (ADL) [72]. Cilj specifikacije je definirati model podataka koji će omogućiti praćenje aktivnosti korisnika unutar okruženja koji se koristi za učenje. Specifikacija xAPI svaki događaj koji se prati u aktivnosti učenja definira kao *izjavu* (engl. *statement*) pri čemu su, slično kao u specifikaciji *Activity Streams*, glavni/obavezni atributi akter, glagol i objekt. Specifikacija xAPI prepoznata je kao bolja opcija za praćenje interakcija u ozbiljnim igrama jer, za razliku od specifikacije IMS Caliper, ne postavlja nikakva ograničenja na rječnik koji se može koristiti u izjavama, tj. moguće je specificirati vlastite glagole i objekte/aktivnosti kako bi se definirao rječnik za specifičnu domenu [71]. Moguće je stvoriti i vlastiti xAPI profil koji uz definiciju novog rječnika sadrži proširenja specifikacije koji odgovaraju novim ili jedinstvenim potrebama, npr. rječnik za praćenje interakcija u e-knjigama ili video zapisima [71].

Sve xAPI izjave se šalju u bazu podataka (engl. *Learning Record Store*, LRS) gdje se pohranjuju u sekvencijalnom redoslijedu. Izjave mogu sadržavati dodatne attribute s više informacija o iskustvu, npr. *rezultat* koji sadrži ishode određenog iskustva ili *kontekst* koji predstavlja okruženje za učenje.

Primjer xAPI izjave u formatu JSON prikazan je u nastavku na preslici zaslona LRS-a otvorenog koda pod nazivom *Learning Locker* [73] (Slika 1.2). Prikazana izjava bilježi da je Ana pokrenula ozbiljnu igru *AnaliticARka*, pri čemu je Ana akter, pokrenula (engl. *launched*) glagol, a *AnaliticARka* objekt (ozbiljna igra).

1. Pregled područja istraživanja

▼ Ana launched AnaliticARka Serious Game

3 months ago

```
{
  "stored": "2023-07-04T20:57:49.103Z",
  "active": true,
  "completedForwardingQueue": [],
  "failedForwardingLog": [],
  "client": "6082fc96b073eb0cd382bf2d",
  "lrs_id": "6082fc96b073eb0cd382bf2c",
  "completedQueues": [],
  "activities": [
    "http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka"
  ],
  "hash": "0f843228ee28240e272d44324fbbbe83a2d62d45",
  "agents": [
    "http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/users/15d4eedf779d59bd2edd09f6a9499bd6ff34cbad"
  ],
  "statement": {
    "actor": {
      "objectType": "Agent",
      "name": "Ana",
      "openid": "http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/users/15d4eedf779d59bd2edd09f6a9499bd6ff34cbad"
    },
    "verb": {
      "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched",
      "display": {
        "en-US": "launched"
      }
    },
    "object": {
      "objectType": "Activity",
      "id": "http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka",
      "definition": {
        "type": "https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/serious-game",
        "name": {
          "en-US": "AnaliticARka Serious Game"
        },
        "description": {
          "en-US": "AR serious game for tracking user interactions"
        }
      }
    }
  }
},
```

Slika 1.2 Preslika zaslona s primjerom xAPI izjave u JSON formatu

Evaluacija pristupačnosti ozbiljnih igara ključni je čimbenik u promicanju evaluacije njihovih edukacijskih sadržaja. Među glavnim prednostima pristupačne ozbiljne igre mogu se nabrojati sljedeće: (1) omogućava uključivanje svih vrsta korisnika, (2) poboljšava pristup sadržajima za učenje, (3) pomaže u postizanju boljih ishoda učenja, (4) omogućava ponovnu upotrebu sadržaja na više uređaja, (5) omogućava korisnicima s trajnim ili privremenim teškoćama percipiranje i razumijevanje njenog edukacijskog sadržaja, kao i ispravno korištenje [74].

S obzirom na to da primjena ozbiljnih igara i učenja temeljenog na igrama postaje sve prisutnija, analitika učenja temeljenog na igrama omogućuje sveobuhvatan način praćenja

1. Pregled područja istraživanja

ponašanja korisnika i procjene izvedbe kako bi se dali prijedlozi za prilagodbu sadržaja i mehanizama interakcije za pristupačnije korištenje igre. Postojeće platforme za analitiku učenja temeljenog na igrama omogućuju praćenje različitih metrika i korisničkih podataka kako bi se mogli koristiti u različite svrhe. Kombinacija ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti u svrhu edukacije, analitike učenja temeljenog na igrama, najboljih pristupa za procjenu uporabivosti rješenja u proširenoj stvarnosti općenito i za osobe s invaliditetom, mogu se iskoristiti za daljnja istraživanja usmjerena na prilagodbu navedenih rješenja korisniku u kontekstu pristupačnosti, što je posebno važno za korisnike koji najčešće ne mogu sami prilagoditi rješenje (osobe s različitim teškoćama, djeca, starije osobe).

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Model interakcija je konceptualni model koji predstavlja komunikaciju između korisnika i sustava ili između komponenti sustava te opisuje kako se komunikacija odvija, uključujući ulaze koje korisnik i/ili sustav osiguravaju, izlaze koje primaju i akcije koje izvode. S druge strane, model praćenja korisničkih interakcija specifičnije opisuje na koji način se korisničke interakcije prikupljaju i pohranjuju unutar nekog sustava. Korisničke interakcije se odnose na sve aktivnosti korisnika, ponašanje i preferencije korisnika tijekom interakcije sa sustavom. Stoga, model praćenja korisničkih interakcija definira kako strukturirano prikupiti i pohraniti podatke o interakciji, uključujući događaje, različite parametre i kontekstualne podatke koji se prate te omogućava lakšu obradu i analizu podataka u svrhu razumijevanja podataka za donošenje relevantnih zaključaka. Dok model interakcija postavlja temelj za razumijevanje i dizajn korisničkih interakcija, model praćenja interakcija korisnika usmjeren je na prikupljanje podataka u svrhu definiranja poboljšanja i prilagodbi sustava za bolje korisničko iskustvo.

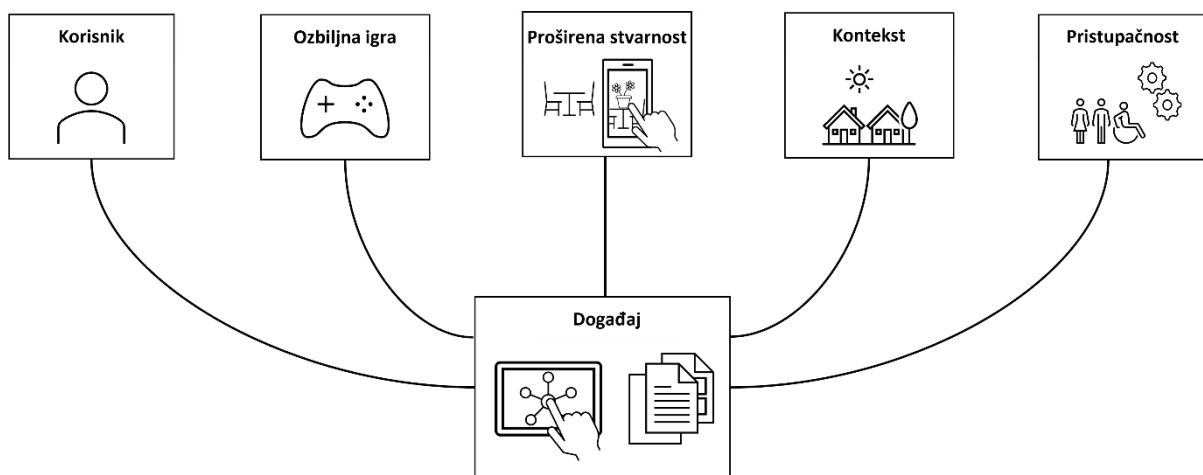
Krajnji cilj modela praćenja korisničkih interakcija u ovom doktorskom istraživanju jest razumjeti na koji način poboljšati i prilagoditi ozbiljnu igru zasnovanu na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u kontekstu pristupačnosti. Interaktivna priroda proširene stvarnosti čini je bogatim izvorom podataka ako se u obzir uzmu različite mogućnosti interakcija s virtualnim

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

objektima u stvarnom okruženju. Praćenje i pohrana korisničkih interakcija tada može biti od koristi svim dionicima koji sudjeluju u procesu stvaranja pristupačne proširene stvarnosti za sve. Naprimjer, iz pohranjenih podataka o korisničkim aktivnostima i rezultatima moguće je provesti dublju analizu za razumijevanje korisničkog ponašanja i performansi korisnika tijekom korištenja AR-a i na taj način koristiti te podatke za personalizaciju sadržaja i mehanizama interakcije kako bi odgovarale pojedinom korisniku.

Pristup praćenju korisničkih interakcija u navedenom kontekstu nije jednoznačno određen. Različiti su čimbenici koji mogu utjecati na pristupačnost rješenja u formi ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje te oni utječu na to koje podatke je potrebno pratiti tijekom interakcije korisnika. Iz tog razloga su u ovom poglavlju najprije opisane značajke na kojima se temelji model praćenja korisničkih interakcija, a zatim je model i detaljnije specificiran.

Na slici u nastavku (Slika 2.1) prikazan je konceptualni model podataka s prikazom komponenti na kojima se temelji model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje i koje su opisane u nastavku.



Slika 2.1 Konceptualni model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje
-

2.1. Značajke korisnika

Kako bi se omogućilo objektivno mapiranje značajki korisnika i interakcijskih parametara, u model praćenja korisničkih interakcija potrebno je uključiti značajke korisnika koje će omogućiti prilagodbu rješenja pojedinom korisniku prema njegovim karakteristikama, preferencijama, sposobnostima i ponašanju. Ovisno o kontekstu prema kojem se rješenje želi prilagoditi korisniku, u obzir se uzimaju različite karakteristike korisnika. U kontekstu pristupačnosti iznimno je važno u obzir uzeti teškoće koje korisnik ima koje će potencijalno odrediti smjer u kojem prilagodba mehanizma interakcija i vizualnog sadržaja može ići. Naprimjer, za prilagodbu komponenti korisničkog sučelja radnicima starije životne dobi za rješenje opisano u [63] u obzir se uzimaju karakteristike poput vještina, dobi i stupnja edukacije koje određuju profil korisnika, kao i teškoće korisnika (motoričke, kognitivne, vizualne i slušne).

Izvori informacija koje današnji sustavi koriste za prilagodbu su raznoliki, od korisničkih profila za statičku prilagodbu do kontekstualno svjesnih sustava koji koriste informacije iz okoline korisnika i sveprisutnih senzorskih tehnologija [75]. U [75], sadržaj, prezentacija i interakcija predstavljeni su kao tri kritična elementa prilagodbe sadržaja i vizualizacije. Pri tome, za prilagodbu sadržaja koji se odnosi na preferencije i angažman korisnika, bitno je u obzir uzeti prethodno znanje i interes korisnika, zatim, za prilagodbu prezentacije koja utječe na korisnička sučelja ili vizualizacije, moguće je u obzir uzeti korisnikovo slobodno perceptivno opterećenje, nelagodu i razinu stresa (i s obzirom na to pojednostavniti prikazane informacije, osvjetljenje i dr.), a za prilagodbu interakcije moguće je obuhvatiti različite paradigme. Jedan primjer je izmjena modaliteta interakcije od npr. geste do interakcije bez upotrebe ruku.

Model interakcija predložen u [24], a vezan uz rješenja proširene stvarnosti i prilagodbu korisničkog iskustva, sadrži tri glavne komponente: komponentu korisnika i računalnog sustava, kao u uobičajenoj komunikaciji između korisnika i računalnog sustava, te dodatnu komponentu vezanu uz okolinu. Komponenta korisnika u ovom primjeru u obzir uzima identitet korisnika tako da ga sustav može prepoznati (npr. korisničko ime, podaci za ovjeru autentičnosti korisnika), zatim osobne informacije o korisniku (npr. ime, spol, godine) i psihološko stanje korisnika (potrebe, sposobnosti, invaliditet, ciljevi, interesi, društveni odnosi itd.), te preferencije korisnika u kontekstu ručnog podešavanja pojedinačnih parametara u rješenju (npr. kulturološke preferencije, sheme boja i sl.) [24].

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Uzimajući u obzir prethodno navedene, kao i ostale faktore koji imaju utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo rješenja zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, moguće je definirati što bi trebao sadržavati korisnički profil, odnosno koje su to značajke korisnika koje mogu odrediti smjer prilagodbe navedenih rješenja:

- korisničko ime
- dob
- spol
- teškoće (koje definiraju zahtjeve pristupačnosti)
- prethodno iskustvo s tehnologijom
- preferencije korisnika.

Ovakav je korisnički profil moguće stvoriti tijekom procesa registracije te ga je moguće dinamički ažurirati ovisno o praćenim korisničkim interakcijama. Teškoće su značajke korisnika koje su vrlo relevantne za definiranje modela praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti. U nastavku su navedeni primjeri kako određena teškoća ili oštećenje koje korisnik ima može utjecati na prilagodbu rješenja u svrhu poboljšanja pristupačnosti:

- motoričke teškoće - razumijevanje motoričkih sposobnosti korisnika može biti ključno za prilagođavanje interakcije i sučelja rješenja proširene stvarnosti. Ovo uključuje procjenu finih motoričkih sposobnosti, pokretljivosti ruku, koordinacije i sposobnosti praćenja pokreta. Ove informacije mogu pomoći u prilagodbi načina interakcije, poput upravljanja gestama ili glasovnim naredbama.
- oštećenja vida - različiti korisnici mogu imati različite vidne sposobnosti. Stoga je važno uzeti u obzir čimbenike poput vida (npr., oštrina vida, boje koje su vidljive korisniku), osjetljivosti na svjetlost ili kontrast, kao i druga oštećenja vida. Ove informacije mogu pomoći u prilagodbi virtualnih objekata proširene stvarnosti, ali i elemenata korisničkog sučelja kako bi bili vidljiviji korisniku.
- oštećenja sluha - za korisnike koji imaju oštećenja sluha, važno je uzeti u obzir prilagodbu zvuka i zvučnih elemenata rješenja proširene stvarnosti. To može uključivati osiguravanje alternativnih načina komunikacije, poput tekstualnih prikaza ili vibracija, ili prilagođavanje zvuka prema potrebama korisnika.

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

- kognitivni i neurološki poremećaji - svaki korisnik ima različite razine kognitivnih sposobnosti i razumijevanja. Za poboljšanje pristupačnosti, potrebno je uzeti u obzir razumijevanje, koncentraciju, pamćenje i druge kognitivne faktore. Sučelje i interakcija trebaju biti jednostavni, intuitivni i prilagođeni kako bi korisnicima omogućili lako korištenje rješenja.

2.2. Značajke proširene stvarnosti

Budući da se radi o rješenjima temeljenim na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, potrebno je uzeti u obzir sve zadatke i interakcijske tehnike koji se uobičajeno pojavljuju u takvim rješenjima koja su široko rasprostranjena (opisano u poglavlju 1.2.2.). Stoga se model podataka za praćenje korisničkih interakcija prvenstveno temelji na podacima koji predstavljaju događaje ili stanja vezana uz zadatke koji se traže od korisnika u proširenoj stvarnosti. Primjerice, jedan od prvih koraka, tj. zadataka, u većini aplikacija proširene stvarnosti je uspostavljanje scene za proširenu stvarnost na način da se skenira stvarno okruženje ili marker/sličica na kojem će se zatim pojaviti virtualni objekt. Interakcijska tehnika potrebna za izvršenje ovog zadatka razlikuje se od interakcijskih tehnika za izvršenje zadataka iz drugih kategorija zadataka. Kod zadataka vezanih uz postavljanje, transformaciju ili aktiviranje virtualnog sadržaja potrebno je držati uređaj s kamerom usmjerenom prema željenom objektu i izvršiti interakciju, dok je kod uspostave scene za proširenu stvarnost potrebno i fizičko pomicanje uređaja prema objektu ili površini na način da se isti prepoznaju. Ako upute za obavljanje ovog zadatka nisu prikazane ili nisu intuitivne, korisnik možda neće znati kako izvršiti ovaj zadatak, u kojem smjeru je potrebno pomicati uređaj i sl. Praćenjem podataka poput broja pokušaja skeniranja, trajanja izvršenja zadatka i veličine prepoznate površine, mogu se donijeti zaključci o uporabivosti i pristupačnosti načina izvođenja ovog zadatka za pojedinog korisnika. Na sličan način je moguće definirati podatke za praćenje vezane uz ostale zadatke u proširenoj stvarnosti.

U nastavku je prikazana tablica s primjerima parametara za praćenje u događajima, tj. korisničkim interakcijama, vezanim uz pojedini zadatak u proširenoj stvarnosti (Tablica 2.1). Promatranje virtualnog sadržaja uključeno je u tablicu kao zasebni događaj iako je promatranje u proširenoj stvarnosti prisutno cijelo vrijeme. U ovom kontekstu se misli na promatranje koje može uslijediti nakon izvršenja pojedinog zadatka, npr. promjene boje ili veličine objekta, te s obzirom na to, praćenje korisnikova ponašanja od tog trenutka također može ukazati na

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

potencijalne poteškoće u daljnjem korištenju rješenja. Iako uz taj događaj nije konkretno vezana interakcija korisnika, mogu se definirati parametri za praćenje poput vremena koje je korisnik proveo u promatranju objekta te promjene udaljenosti od objekta tijekom promatranja.

Tablica 2.1 Primjeri parametara (metrike) koji se mogu pratiti u pojedinom AR zadatku

Događaj u proširenoj stvarnosti	Vrsta AR zadatka	Primjeri parametara za praćenje
Uspostavljanje scene za proširenu stvarnost	Skeniranje markera/lokacije/objekta/površine	Vrijeme potrebno za skeniranje Broj pokušaja Veličina površine (poda, zida, stola) Udaljenost od točke interesa
Postavljanje virtualnog sadržaja	Pozicioniranje objekta	Vrijeme potrebno za pozicioniranje Pozicija na zaslonu uređaja
Transformacija virtualnog sadržaja	Pomicanje	Vrijeme potrebno za transformaciju
	Rotacija	Veličina objekta
	Skaliranje	Vrsta interakcije
	Bojanje	Broj korištenja pojedine interakcije Udaljenost od objekta
Aktiviranje virtualnog sadržaja	Odabir objekta	Vrijeme potrebno za aktiviranje
	Aktiviranje efekta	Broj pokušaja Vrsta interakcije
Promatranje virtualnog sadržaja	Promatranje objekta	Vrijeme promatranja (između dva događaja) Vrijeme izvan vidnog polja kamere Udaljenost od objekta

Većina navedenih parametara iz tablice su parametri koji se najčešće prate u razvijenim programskim rješenjima za otkrivanje problema uporabivosti, posebno u istraživanjima koja uspoređuju različite interakcijske tehnike za izvođenje AR zadataka. U istraživanjima opisanim u [17]–[20], [76] se tako prati vrijeme potrebno za izvođenje zadatka, broj gubitaka praćenja AR-a, vrijeme potrebno za oporavak nakon gubitka, broj pogrešnih odabira, broj traženih instrukcija u igri, preciznost u izvođenju zadatka, udaljenost do cilja i sl. Najčešće se prati metrika u zadacima vezanim uz 3D manipulaciju objektima koji predstavljaju jedne od najkritičnijih zadataka mobilne proširene stvarnosti.

U aplikacijama proširene stvarnosti razvijenima za pametne telefone i tablete, interakcija s virtualnim objektima se najčešće radi gestama dodira, tj. određenim pokretima prstiju na zaslonu osjetljivom na dodir. Vrsta geste dodira koja se koristi ovisi o vrsti zadatka pa se tako gesta dodira prstom koristi za odabir ili postavljanje virtualnog objekta, gesta povlačenja prstom po zaslonu za pomicanje/translaciju virtualnog objekta, primicanje ili razdvajanje dva prsta za smanjivanje ili povećavanje virtualnog objekta te okretanje dva prsta u smjeru kazaljke sata ili suprotno za rotaciju virtualnog objekta. Pojedine dodirne geste se mogu implementirati na više

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje






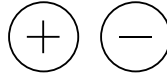


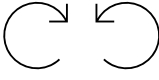

načina, naprimjer, za rotaciju objekta može se, osim navedenog okretanja dva prsta, koristiti i povlačenje jednog prsta u smjeru u kojem se želi rotirati objekt ili rotirati objekt koristeći dva palca (koristeći dvije ruke) [77]. Iako većina aplikacija koristi upravo dodirne geste, u nekim slučajevima se predlaže korištenje neizravnih kontrola, tj. tipki na zaslonu, i to na način da korisnik ne treba mijenjati način na koji drži uređaj te se preporuča korištenje transparentnosti tipki kako bi se izbjeglo prikrivanje scene proširene stvarnosti [44]. Iako se preporuča korištenje transparentnosti tipki, u obzir treba uzeti korisnike kojima transparentne tipke ne bi bile dovoljno uočljive na zaslonu te u skladu s tim prilagoditi prikaz sadržaja korisničkog sučelja.

Postoje primjeri gdje su istovremeno omogućene različite vrste interakcija za isti zadatak (npr. dvije različite geste dodira za zadatak translacije), no u tom slučaju treba paziti da interakcije nisu konfliktne [76]. Kada je riječ o istovremeno omogućenim interakcijama u kombinaciji gesta-tipka, potrebno je vidjeti koliku ometanost može izazvati prikazivanje neizravnih kontrola jer je korisniku u slučaju proširene stvarnosti ili uputa za interakciju u proširenoj stvarnosti potrebno omogućiti potpunu usredotočenost na sadržaj. Budući da je riječ o pokretnim uređajima manje veličine zaslona, u tom slučaju bi bilo poželjno sakriti ili ne prikazati neizravne kontrole (tipke) korisničkog sučelja ako su nepotrebne. To je dodatan motiv za praćenje metrike vezane uz različite vrste interakcija u AR zadacima kako bi se, u slučaju da korisnik nema poteškoća s korištenjem dodirnih gesti, omogućilo nesmetano korištenje aplikacije, a time i utjecalo na korisničko iskustvo, ili kako bi se, u slučaju da korisnik ima poteškoće s izvršavanjem dodirnih gesti, omogućilo korištenje tipki kao alternativan način interakcije i time utjecalo na bolju uporabivost i korisničko iskustvo.

S obzirom na prethodno navedeno, u modelu praćenja korisničkih interakcija potrebno je razlikovati vrstu interakcije koju je korisnik koristio u zadanom zadatku proširene stvarnosti. Ako su istovremeno omogućene različite vrste interakcija za isti zadatak, potrebno je omogućiti praćenje vrste interakcije koju je korisnik koristio i koliko puta. U tablici u nastavku (Tablica 2.2) prikazane su različite vrste interakcijskih parametara koje je moguće pratiti s obzirom na korišteni mehanizam interakcije (dodirna gesta ili neizravna kontrola) u zadacima proširenoj stvarnosti. Svaki interakcijski parametar predstavljen je i primjerom vizualne reprezentacije za lakše razlikovanje.

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Tablica 2.2 Vrste interakcijskih parametara s obzirom na mehanizam interakcije u AR zadatku

AR zadatak	Interakcijski parametri za navedeni mehanizam interakcije	
	Dodirna gesta	Neizravna kontrola
Pozicioniranje objekta, odabir objekta, promjena boje	Dodir (engl. <i>tap</i>) 	Tipka (engl. <i>button</i>) za odabir 
Translacija objekta	Povlačenje (engl. <i>drag</i>) 	Tipke sa strelicama (engl. <i>arrow buttons</i>) 
Skaliranje objekta	Primicanje prstiju (engl. <i>pinch</i>) za smanjivanje objekta 	Tipka za povećanje/smanjenje (engl. <i>plus/minus button</i>) 
	Razdvajanje prstiju (engl. <i>zoom</i>) za povećanje objekta 	
Rotacija objekta	Povlačenje ulijevo/udesno (engl. <i>swipe left/right</i>) 	Tipka za rotaciju ulijevo/udesno (engl. <i>left/right rotate button</i>) 
	Rotacija s dva prsta (engl. <i>two-finger rotate</i>) ulijevo/udesno 	

Uz navedene interakcije u tablici koje se smatraju osnovnima, moguće su dodatne vrste interakcija vezane uz ostale zadatke u proširenoj stvarnosti koje mogu ovisiti i o vrsti ozbiljne igre. Naprimjer, efekt virtualnog objekta (zadatak *aktiviranje efekta*) može se izazvati interakcijom povlačenja prstom prema gore za efekt skakanja virtualnog objekta u igri, no isti efekt se može postići i odabirom tipke sa strelicom prema gore. Bitno je razlikovati i primjereno označiti parametrom svaku interakciju te po mogućnosti pronaći alternativni mehanizam interakcije. U primjeru za efekt skakanja objekta je to povlačenje prema gore (*swipe up*) i strelica prema gore (*button up*).

2.3. Značajke ozbiljne igre

Osim parametara koji mogu ukazati na potencijalni problem pristupačnosti povezan s interakcijom koju je korisnik imao u proširenoj stvarnosti za zadani zadatak, moguće je pratiti događaje vezane uz sam tijek ozbiljne igre. Ako se u obzir uzme da je riječ o rješenju u formi ozbiljne igre te da za cilj, uz zabavu, ima poboljšanje postojećih ili stjecanje novih znanja i vještina, tada praćenje događaja koji predstavljaju napredak u igri (npr. prijelaz razine,

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

dostignuće postavljenog cilja, promjena vrijednosti varijable) te vremenske oznake kada su se dogodili, mogu upućivati na napredak samog korisnika/učenika u ozbiljnoj igri, posljedično i u učenju. Također, praćenje događaja, tj. interakcije s korisničkim sučeljem u igri (npr. interakcije s tipkama) mogu pomoći u otkrivanju korisničkog ponašanja tijekom same igre te potencijalno otkriti probleme s uporabivosti i pristupačnošću (npr. prečesti izlaz iz igre, preskakanje zadatka ili traženje pomoći).

Prema istraživanju opisanom u [71], većina zabilježbi događaja tijekom praćenja ozbiljnih igara za potrebe analitike učenja sadrže najmanje dva atributa: vremensku oznaku kad se dogodio i korisnički identifikator. Osnovni podaci poput ovih omogućavaju saznanje o broju igrača, koliko puta su pristupili igri ili vrijeme igranja. Osim vremenskom oznakom i korisničkim identifikatorom, događaj u ozbiljnoj igri može se definirati s dodatnim atributima koji omogućavaju detaljniju analizu napretka u igri, a posljedično i u učenju. Akcija je atribut koji predstavlja vrstu interakcije koju izvodi igrač, zatim, meta je atribut koji predstavlja cilj igračeve akcije, te atribut koji predstavlja opcionalnu vrijednost koja se pridodaje akciji ako je potrebno [71].

U sljedećoj tablici (Tablica 2.3) prikazani su primjeri ciljeva igračevih akcija (meta) u ozbiljnim igrama te s njima povezane akcije koje se mogu povezati u događaj koji se bilježi u ozbiljnoj igri (prilagođeno prema modelu interakciju definiranom u [71]). Za svaki cilj igračeve akcije naveden je primjer metrike koja se može pratiti za pojedinog korisnika. Da bi bilo moguće kvantificirati rezultat pojedine interakcije, nekim događajima je potrebno dodati dodatne parametre, npr. kada korisnik ostvari napredak u igri ili nivou u igri, pridružena vrijednost mora biti decimalni broj ili postotak koji predstavlja stupanj napretka. Preskok kao značajna varijabla može biti vezan uz uspješno prijeđen zadatak, tj. zadatak može biti prijeđen, ali će biti uspješan ako korisnik nije koristio opciju preskoka zadatka. Ako je koristio preskok, tada se uzima u obzir da korisnik nije uspio samostalno prijeći zadatak što može utjecati i na sveukupno znanje na kraju igre.

Prilagođene interakcije predstavljaju elemente ozbiljne igre za događaje koji se mogu definirati ovisno o tome što se detaljnije želi pratiti u igri, a nije pokriveno s već postojećim događajima. Upotreba interakcija specifičnih za igru neophodna je za procjenu performansi korisnika u ozbiljnim igrama [71]. Ova činjenica navodi na to da će i za ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti također biti potrebno definirati interakcije specifične za pojedinu ozbiljnu igru, a to može ovisiti o tehnologiji korištenoj za praćenje u AR-u ili samoj prirodi igre.

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Tablica 2.3 Uobičajeni događaji koji se prate u ozbiljnoj igri predstavljeni ciljem igračeve akcije i akcijom (vrstom interakcije) igrača s primjerima metrike

Cilj igračeve akcije (primjer)	Akcija (vrsta interakcije)	Primjer metrike
Napredak (igra, sesija, nivo)	Početak	Stupanj završenosti Vrijeme završetka
	Napredak	Vrijeme potrebno za završetak (minimalno, maksimalno, srednja vrijednost)
	Završetak	Broj igranja
Odluka u igri (odgovor, izbornik)	Odabir	Odabrane opcije Vrijeme za odabir Omjer točnih/netočnih odgovora
Značajna varijabla (rezultat, pozicija, preskok, uvjet igre)	Postavljanje	Konačni rezultat Dinamika (napredak) varijable
Prilagođena interakcija (ovisno o igri, npr. pomoć/podrška)	Npr. zahtjev	Broj zahtjeva Vrsta zahtjeva (npr. upute)

2.4. Značajke pristupačnosti

Sve prethodno navedene značajke mogu utjecati na pristupačnost, no u ovom potpoglavlju su navedeni interakcijski parametri koje je moguće dodatno pratiti jer su usko vezani uz opcije pristupačnosti koje korisnik ima mogućnosti primijeniti ili promijeniti. Praćenjem promjene ili uključivanja određene opcije u postavkama može ukazati na to da korisnik želi promjenu kako bi mu rješenje bilo pristupačnije ili kako bi imao bolje korisničko iskustvo. Stoga, bitno je zabilježiti promjenu svake opcije tijekom izvršavanja zadatka/interakcije te pratiti stanje na kraju igre.

Prema istraživanjima provedenim vezano uz potrebe osoba s različitim vrstama invaliditeta u kontekstu web-pristupačnosti i mobilne pristupačnosti [78], [79], alatna traka s opcijama pristupačnosti koja je dostupna na nekoj web ili mobilnoj stranici trebala bi sadržavati sljedeće opcije: promjenu veličine i vrste fonta, odabir kombinacije kontrastnog prikaza (boje pozadine i teksta), podcrtavanje i isticanje poveznica, slike sivih tonova, isključivanje svjetla/noćni prikaz, te vraćanje na početne postavke. S obzirom na navedeno te na činjenicu da proširena stvarnost na pokretnim uređajima s mobilnim aplikacijama ima zajedničkih komponenata poput istih/sličnih dijelova korisničkog sučelja te pojedinih zaslona/stranica koji su sastavni dio rješenja, korisno je odabrati skup opcija za koje je potrebno definirati interakcijske parametre

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

kako bi se promjene istih mogle pratiti. S obzirom na specifičnosti interakcije i prikaza sadržaja koje proširena stvarnost nudi, poželjno je definiranje praćenja dodatnih značajki koje se mogu smatrati opcijama pristupačnosti u AR-u, kao što je opcija zamrzavanja koja omogućava zamrzavanje pozadine dok korisnik ne napravi traženu interakciju s virtualnim objektom ili ne završi zadatak koji mu je iz određenih razloga bilo izazovno riješiti na uobičajeni način.

Neke od dodatnih značajki pristupačnosti koje se mogu pronaći u rješenjima proširene stvarnosti za osobe s invaliditetom su: uključivanje zvučne podrške, dodatna vizualna podrška (npr. u aplikacijama za navigaciju), veći razmak između teksta, opcija visokog kontrasta za prikazane 3D objekte, upravljanje govorom, povećane tipke za upravljanje, klizači umjesto tipki i obrnuto [53].

U sljedećoj tablici (Tablica 2.4) prikazane su opcije pristupačnosti koje je moguće posebno pratiti te primjeri parametara iz određene skupine opcija pristupačnosti čije je promjene ili stanja korisno pratiti. Dvije su skupine opcija, pri čemu je jedna vezana uz prikaz elemenata korisničkog sučelja poput tekstualnih elemenata i tipki, dok je druga vezana uz opcije koje se mogu primijeniti na virtualni sadržaj koji se prikazuje u proširenoj stvarnosti i s kojim je moguća interakcija.

Tablica 2.4 Opcije pristupačnosti i primjeri parametara za praćenje u rješenjima proširene stvarnosti

Opcija pristupačnosti	Primjeri parametara za praćenje
Korisničko sučelje	Veličina fonta Vrsta fonta Kombinacija kontrasta Zvučna podrška Veličina tipki
AR sadržaj	Zamrzavanje Visoki kontrast Isticanje rubova objekta Tipke/klizači

2.5. Kontekstualne značajke

Kontekstualni podaci uvelike mogu utjecati na iskustvo i sadržaj proširene stvarnosti zbog mogućnosti personalizacije svakom korisniku prema njegovoj lokaciji, interesima i potrebama, posebno danas kada su uređaji (pametni telefoni, tableti) opremljeni sensorima koji omogućavaju praćenje pokreta i percepciju dubine za sveobuhvatnije i interaktivnije iskustvo

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

proširene stvarnosti [80]. Uzimajući u obzir da se kontekstualni podaci mogu mijenjati u stvarnom vremenu, pojavljuje se potreba za dinamičkom prilagodbom interakcije i sadržaja. Posljedično, za prilagodbu interakcije i sadržaja u kontekstu pristupačnosti, također je potrebno praćenje različitih kontekstualnih podataka.

Model interakcije za sustave proširene stvarnosti, osim komponenti koje su vezane uz uobičajeni model interakcije čovjek-računalo (računalo i korisnik koji njime upravlja), u obzir treba uzeti i komponentu vezanu uz okolinu, tj. kontekstualne podatke vezane uz okolnosti okruženja u kojemu korisnik koristi aplikaciju (npr. količina svjetlosti, atmosferski uvjeti, buka i sl.) [24]. Uvjeti vezani uz osvjetljenje utječu na mogućnost prepoznavanja prikladnog okruženja, posebno kod površina/podloga koje imaju odsjaj, te ispravnog prikazivanja virtualnih objekata u stvarnoj okolini (neprepoznavanje, okluzija, preklapanje/superimpozicija), posebno kod proširene stvarnosti temeljene na markerima [81].

Postoje različiti primjeri prilagodbe AR sadržaja korisniku u ovisnosti o promjenama u okolini. Naprimjer, praćenjem relativne udaljenosti korisnika od cilja (ili točke interesa) moguće je utjecati na prilagodbu veličine virtualnog sadržaja koji se prikazuje u proširenoj stvarnosti, mjerenjem intenziteta ambijentalnog svjetla moguće je utjecati na razinu osvjetljenja scene, dok je u ovisnosti o izmjerenoj ambijentalnoj buci, korištenoj platformi i slušnim sposobnostima korisnika moguće prilagoditi razinu zvuka [21]. Mjerenjem intenziteta svjetla moguće je utjecati na prilagodbu boje virtualnih objekata što može biti korisno ne samo za poboljšanje pristupačnosti nego i za poboljšanje korisničkog iskustva igre općenito.

Osim kontekstualnih podataka vezanih uz okolinu, utjecaj može imati i vrsta pokretnog uređaja koju korisnik koristi. Naprimjer, pametni telefoni su općenito manji od tablet uređaja o čemu može ovisiti način na kojeg korisnik drži uređaj i upravlja njime, npr. s jednom ili obje ruke. Također, pametni telefoni imaju manji zaslon od tablet uređaja što može utjecati na količinu i vrstu sadržaja koja se prikazuje na zaslonu ili na raspored tipki na zaslonu uređaja.

U nastavku je prikazana tablica s primjerima za praćenje kontekstualnih parametara vezanih uz okolinu i platformu, a koje mogu imati utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo proširene stvarnosti na pokretnim uređajima (Tablica 2.5).

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Tablica 2.5 Primjeri kontekstualnih parametara (metrike) vezanih uz okolinu i platformu

Kontekst	Primjeri parametara za praćenje
Okolina	Intenzitet svjetla Ambijentalna buka Udaljenost od cilja
Uređaj	Vrsta uređaja Veličina zaslona

2.6. Specifikacija modela praćenja korisničkih interakcija

Nakon razumijevanja značajki koje mogu imati utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, moguće je detaljnije specificirati model praćenja korisničkih interakcija u navedenim rješenjima u svrhu poboljšanja pristupačnosti i korisničkog iskustva. Predloženi model koristi događaje koji predstavljaju interakciju korisnika u rješenju jer je praćenje temeljeno na događajima jedno od najraširenijih načina praćenja korisničkih interakcija u ozbiljnim igrama.

2.6.1. Ključne točke interakcije i okidači događaja

U nastavku je prikazana tablica u kojoj su određene ključne točke interakcija u kojima se prati korisnik te je za svaku točku interakcije definiran okidač koji inicira događaj, odnosno praćenje interakcije korisnika.

Tablica 2.6 Ključne točke interakcija s okidačem koji inicira praćenje interakcije korisnika

Točka interakcije	Okidač događaja
Pokretanje ozbiljne igre	Korisnik pokrenuo ozbiljnu igru instaliranu na uređaju
Otvorena stranica s uputama	Korisnik odabrao tipku koja vodi na stranicu s uputama
Stranica s uputama pročitana	Korisnik listao stranicu s uputama do kraja
Otvorena stranica s informacijama	Korisnik odabrao tipku koja vodi na stranicu s informacijama
Pokretanje prve stranice igre	Korisnik odabrao tipku koja vodi na igru
Unos korisničkog imena/Prijava korisnika	Korisnik odabrao tipku za nastavak nakon unosa ispravnog korisničkog imena
Slaganje s uvjetima igre	Korisnik ispunio potvrdni okvir za slaganje s uvjetima igre
Pokretanje sesije u igri	Korisnik odabrao tipku za pokretanje igre u proširenoj stvarnosti
Pokretanje uspostave proširene stvarnosti	Korisnik odabrao tipku za početak skeniranja

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Uspostavljena fizičko/virtualna korespondencija	Korisnik uspostavio scenu za proširenu stvarnost
Početak razine igre	Korisnik odabrao tipku za početak razine igre
Odabir virtualnog objekta za interakciju	Korisnik odabrao virtualni objekt za interakciju
Interakcija s virtualnim objektom	Korisnik napravio interakciju s virtualnim objektom
Završetak razine igre	Korisnik završio razinu igre
Preskok razine igre	Korisnik preskočio razinu igre odabirom tipke za preskok
Izlazak iz trenutne sesije igre	Korisnik odabrao tipku za izlaz i potvrdio izlazak iz trenutne sesije igre
Završetak sesije igre	Korisnik završio sve razine u jednoj sesiji igre
Odabir postavki	Korisnik otvorio postavke u igri odabirom tipke za postavke
Promjena postavki	Korisnik odabrao tipku za spremanje postavki
Uključeno zamrzavanje	Korisnik uključio opciju zamrzavanja odabirom tipke za zamrzavanje
Pomoć u igri	Korisnik otvorio dodatne upute odabirom tipke za pomoć
Ocjena interakcije	Korisnik odabrao ocjenu za interakciju

2.6.2. Podatkovna struktura događaja

U nastavku su opisani atributi koji definiraju događaj interakcije korisnika ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti. Po uzoru na događaj interakcija u ozbiljnim igrama definiran u [71], događaj sadrži sljedeće atribute: vremensku oznaku, korisnički identifikator, akciju, metu i opcionalnu vrijednost. Opis atributa naveden je u nastavku:

- Vremenska oznaka (engl. *timestamp*) – trenutak kada je događaj generiran u igri
- Korisnički identifikator (engl. *user id*) – identificira korisnika koji je generirao događaj
- Akcija (engl. *action*) – vrsta interakcije koju je korisnik napravio
- Meta (engl. *target*) – element igre koji je cilj korisničke akcije
- Opcionalna vrijednost (engl. *optional value*) – dodatni parametri vezani uz ishod događaja.

U primjeru za okidač događaja za ključnu točku interakcije *Preskok razine igre* (*Korisnik preskočio razinu igre odabirom tipke za preskok*) vrijedi da akcija odgovara glagolu odabrati, dok metu označava tipka za preskok. Moguće opcionalne vrijednosti u ovom događaju bile bi kontekstualne informacije poput trenutne razine igre, trenutnog rezultata u igri, vremena koje

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

je prošlo u razini igre nakon koje je korisnik odlučio preskočiti razinu/zadatak ili način na koji je korisnik *odabrao* tipku (npr. pritiskom prsta na zaslon, klikom hardverske tipke uređaja i sl.).

Kako bi događaj interakcije korisnika ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti omogućio praćenje koje u obzir uzima različite faktore koji utječu na pristupačnost, potrebno je definirati interakcijske parametre čija će analiza omogućiti uvid ne samo u ishod učenja koji je cilj ozbiljnih igara, nego i u potencijalne probleme pristupačnosti cjelokupnog rješenja. Dakle, u praćenje događaja potrebno je uvrstiti parametre koji su specifični za proširenu stvarnost, okolinu u kojoj se rješenje koristi te preferencije korisnika u kontekstu korištenja različitih opcija pristupačnosti. U sljedećoj tablici (Tablica 2.7) prikazani su novodefinirani parametri koji će omogućiti prethodno spomenutu analizu u kontekstu pristupačnosti.

Tablica 2.7 Interakcijski parametri definirani za praćenje događaja u kontekstu pristupačnosti

Parametar	Tip podatka	Opis
Trajanje (<i>duration</i>)	<i>float</i>	Vrijeme provedeno u određenoj razini igre (<i>s</i>)
Broj igranja (<i>times-played</i>)	<i>int</i>	Broj igranja igre
Rezultat (<i>score</i>)	<i>float</i>	Omjer točnih i netočnih odgovora, konačni rezultat
Broj zahtjeva (<i>used-help</i>)	<i>int</i>	Broj zahtjeva za pomoć
Preskok (<i>skipped</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li zadatak preskočen
Veličina zaslona (<i>screen-size</i>)	<i>string</i>	Veličina zaslona uređaja na kojem je pokrenuta igra (<i>širina zaslona x visina zaslona</i>)
Intenzitet svjetla (<i>ambient-intensity</i>)	<i>float</i>	Vrijednost intenziteta svjetla u okolini
Ambijentalna buka (<i>ambient-noise</i>)	<i>float</i>	Vrijednost ambijentalne buke u okolini
Ciljna udaljenost (<i>target-distance</i>)	<i>float</i>	Udaljenost korisnika (uređaja) od cilja (npr. virtualnog objekta)
Uvjet interakcije (<i>condition-value</i>)	<i>float/int</i>	Vrijednost koja označava uvjet kojeg treba postići, npr. vrijeme ili veličina
Udaljenost objekata (<i>object-distance</i>)	<i>float</i>	Udaljenost između pozicija dvaju virtualnih objekata
Vrijeme za interakciju (<i>time-for-interaction</i>)	<i>float</i>	Vrijeme potrebno da korisnik napravi interakciju
Napredak (<i>progress</i>)	<i>float</i>	Postotak napretka (vrijednost između 0 i 1), može biti vezan uz napredak u igri ili interakciju s objektom
Vrsta i broj interakcije (<i>interaction-type, number</i>)	<i>string:int</i>	Vrsta interakcije koja je korištena te broj koliko se puta interakcija detektirala
Smjer rotacije (<i>rotate-direction</i>)	<i>string</i>	Smjer u kojem korisnik okreće virtualni objekt (<i>left, right, none</i>)

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Broj pokušaja (<i>attempt-number</i>)	<i>int</i>	Broj pokušaja
Promjena u udaljenosti (<i>change-in-distance</i>)	<i>float</i>	Omjer razlike u promjeni udaljenosti kamere uređaja u odnosu na početnu udaljenost od virtualnog objekta i same početne udaljenosti. Negativni broj označava udaljavanje, a pozitivni približavanje korisnika virtualnom objektu
Vrijeme izvan vidokruga kamere (<i>out-of-fov-time</i>)	<i>float</i>	Vrijeme koje virtualni objekt koji se promatra (s kojim je potrebna interakcija) nije u vidnom polju (<i>s</i>)
Veličina objekta (<i>scaled-item</i>)	<i>float</i>	Veličina virtualnog objekta (u jedinicama specifičnim za igru)
Zamrzavanje (<i>freeze</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li “Zamrzavanje zaslona” korišteno u nekom zadatku/razini igre
Zamrzavanje uključeno (<i>freeze-enabled</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li zamrzavanje uključeno
Promjena veličine teksta (<i>scale-text</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li mijenjanje veličine teksta korišteno (tijekom cijele sesije igre)
Veličina teksta (<i>text-size</i>)	<i>float</i>	Veličina teksta (koraci povećanja definirani ovisno o igri)
Promjena fonta (<i>change-font</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li mijenjanje fonta korišteno
Vrsta fonta (<i>used-font</i>)	<i>string</i>	Font teksta na kraju igre (naziv vrste fonta, ovisi o igri)
Kombinacija kontrasta (<i>contrast-combination</i>)	<i>int</i>	Odabrana kombinacija kontrasta boje pozadine i teksta
Zvučna podrška (<i>audio-support</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li zvučna podrška korištena/uključena
Veličina tipki (<i>button-size</i>)	<i>float</i>	Veličina tipki (koraci povećanja definirani ovisno o igri)
Visoki kontrast (<i>high-contrast</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li visoki kontrast virtualnog objekta korišten/uključen
Isticanje rubova (<i>edge-highlight</i>)	<i>boolean</i>	Zastavica koja označava je li isticanje rubova virtualnog objekta korišteno/uključeno

Vrijednosti koje parametri mogu poprimiti ovise o tipu podatka koji je definiran za parametar, a to su sljedeći: *string* (niz znakova), *float* (decimalna vrijednost), *int* (cijeli broj), *boolean* (logički tip podatka *true* ili *false*). Ako u opisu u tablici nije navedeno koju vrijednost parametar može poprimiti, riječ je o proizvoljnim vrijednostima koje su definirane unutar skupa pojedinog tipa podatka, dok je za ostale parametre definirano koju vrijednost mogu poprimiti. Parametar koji se ističe je parametar *Vrsta i broj interakcija* koji u sebi sadrži parove *naziv_interakcije:broj_korištenja* (*string:int*), a nazivi interakcije odgovaraju interakcijskim parametrima za mehanizme interakcije dodirne geste i neizravne kontrole u proširenoj stvarnosti, tj. *drag* (povlačenje), *button_up* (tipka gore), *button_down* (tipka dolje), *button_left* (tipka lijevo), *button_right* (tipka desno), *button_rotate_left* (tipka za rotaciju ulijevo),

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

swipe_left (povlačenje ulijevo), *button_rotate_right* (tipka za rotaciju udesno), *swipe_right* (povlačenje udesno), *button_increase* (tipka za povećanje), *zoom* (razdvajanje prstiju), *button_decrease* (tipka za smanjenje), *pinch* (primicanje prstiju), *two_finger_rotate* (rotacija s dva prsta).

Specifikacija navedenih interakcijskih parametara nastala je pregledom uobičajenih rješenja u proširenoj stvarnosti s promišljanjem o dizajnu novog rješenja koji obuhvaća zadatke ili razine igre u kojima bi ovi interakcijski parametri mogli imati ulogu u identifikaciji potencijalnih problema pristupačnosti ili definiciji poboljšanja u kontekstu korisničkog iskustva rješenja. Kako bi se specificirani interakcijski parametri mogli pratiti u pojedinim događajima interakcije, potrebno je definirati podatkovnu strukturu događaja u kontekstu odabranog mehanizma praćenja korisničkih interakcija. S obzirom na to da je u području analitike učenja temeljenog na igri standard *Experience API* (xAPI) široko prihvaćen te da postoji definirani xAPI profil za ozbiljne igre⁴, predlaže se koristiti mapiranje atributa prethodno definiranog događaja interakcije korisnika ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti i interakcijskih parametara specificiranih u svrhu praćenja za poboljšanje pristupačnosti na xAPI izjave (engl. *statements*). Navedeno mapiranje opisano je u sljedećem potpoglavlju.

2.6.3. Mapiranje događaja na xAPI izjave

Standard xAPI strukturu interoperabilnost omogućava korištenjem formata za razmjenu poruka JSON (*JavaScript Object Notation*) koji se koristi za reprezentaciju struktura podataka kao niza parova u obliku ključ-vrijednost, dok semantičku interoperabilnost postiže primjenjujući semantička pravila određena definiranim rječnicima za pojedina područja primjene.

Izjava xAPI smatra se najznačajnijim objektom xAPI modela podataka čiji su obavezni atributi *actor* (akter), *verb* (glagol) i *object* (objekt), a neki od opcionalnih atributa *result* (rezultat), *context* (kontekst) i *timestamp* (vremenska oznaka). Standardom su definirana pravila sintakse za vrijednosti koje ovi atributi mogu poprimiti te kako su predstavljeni [72]. Iako postoje xAPI profili i rječnici koji sadrže termine koji se mogu koristiti u xAPI izjavama za opis određenog događaja, xAPI izjavama se mogu dodati ekstenzije kao dio atributa koji opisuje rezultat ili kontekst događaja. Ovo proširenje izjave omogućava praćenje događaja tako da

⁴ <https://adlnet.gov/news/2016/12/09/a-serious-games-profile-for-xapi/>

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

odgovara specifičnoj domeni za koju ne postoji definiran profil ili rječnik, kao što je područje pristupačnosti.

Atributi događaja interakcije korisnika ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti mapiraju se na attribute xAPI izjave na način kako je definirano za interakcijske događaje u ozbiljnim igrama [71] (Tablica 2.8) uz dodatak da se opcionalna vrijednost ne mapira samo na rezultat nego i na kontekst. Standard xAPI attribute *verb* i *object* identificira s jedinstvenim internacionaliziranim identifikatorom resursa, tj. IRI-jem (engl. *Internationalized Resource Identifier*). Osim glagola i objekta, ekstenzije izjava unutar rezultata i konteksta su također identificirane s IRI-jima.

Tablica 2.8 Mapiranje atributa događaja interakcije na attribute xAPI izjave

Atribut događaja interakcije	Atribut xAPI izjave
Korisnički identifikator (<i>user id</i>)	<i>actor</i> (akter)
Akcija (<i>action</i>)	<i>verb</i> (glagol)
Meta (<i>target</i>)	<i>object</i> (objekt),
Opcionalna vrijednost (<i>optional value</i>)	<i>result</i> (rezultat), <i>context</i> (kontekst)
Vremenska oznaka (<i>timestamp</i>)	<i>timestamp</i> (vremenska oznaka)

U sljedećoj tablici (Tablica 2.9) su prikazani xAPI glagoli koje je moguće koristiti kako bi se pokrile akcije događaja koje se mogu pojaviti u ozbiljnoj igri u proširenoj stvarnosti na pokretnom uređaju. Uz svaki glagol i njegov opis naveden je primjer događaja kao jedne od točaka interakcije definirane u potpoglavlju 2.6.1.

Tablica 2.9 Mapiranje xAPI glagola na odabrane događaje

Glagoli	Opis	Primjer interakcije/događaja
http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched	Označava da je akter pokušao pokrenuti aktivnost.	Pokretanje ozbiljne igre
https://w3id.org/xapi/seriousgames/verbs/pressed	Označava da je akter napravio fizički kontakt s objektom. Koristi se kada igrač pritisne neku tipku na ulaznom uređaju.	Otvorena stranica s uputama
https://w3id.org/xapi/adb/verbs/read	Označava da je akter pročitao objekt. Obično se odnosi na objekte koji predstavljaju tiskani ili pisani sadržaj (knjiga, poruka, komentar).	Stranica s uputama pročitana

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/input	Unijeti podatke u računalo.	Unos korisničkog imena/Prijava korisnika
http://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized	Označava da je pružatelj aktivnosti utvrdio da je akter uspješno započeo aktivnost.	Pokretanje sesije u igri
https://w3id.org/xapi/seriousgames/verbs/accessed	Igrač pristupio dijelu igre.	Pokretanje uspostave proširene stvarnosti
https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/scanned	Pregled dijelova nečega kako bi se otkrila neka značajka.	Uspostavljena fizičko/virtualna korespondencija
http://id.tincanapi.com/verb/selected	Označava da akter odabire objekt iz kolekcije ili odabire objekt za korištenje u aktivnosti.	Odabir virtualnog objekta za interakciju
https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/performed	Provesti, ostvariti ili ispuniti radnju, zadatak ili funkciju.	Interakcija s virtualnim objektom
http://adlnet.gov/expapi/verbs/preferred	Označava odabrane izbore aktera, preferirane opcije ili postavke u odnosu na objekt ili aktivnost.	Promjena postavki
http://adlnet.gov/expapi/verbs/completed	Označava da je akter uredno završio aktivnost.	Završetak razine igre
http://id.tincanapi.com/verb/skipped	Označava da je akter preskočio ili izostavio interval, zaslon, segment ili korak igre.	Preskok razine igre
http://adlnet.gov/expapi/verbs/exited	Označava da se akter namjerno udaljio od aktivnosti ili objekta.	Izlazak iz trenutne sesije igre
http://adlnet.gov/expapi/verbs/terminated	Označava da je akter uspješno završio aktivnost.	Završetak sesije igre
https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/assessed	Ocjenjivanje ili procjena kvalitete, prirode ili sposobnosti.	Ocjena interakcije

U sljedećoj tablici (Tablica 2.10) prikazane su najčešće mete (mapirane na xAPI objekte/aktivnosti) koje se mogu pojaviti u ozbiljnim igrama u proširenoj stvarnosti na

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

pokretnim uređajima. Uz tip objekta/aktivnosti i njegov opis, naveden je primjer mogućeg objekta/aktivnosti u rješenju.

Tablica 2.10 Mapiranje vrsti objekata/aktivnosti na odabrane mete

Tip objekta/aktivnosti	Opis	Primjer
https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/menu	Izbornik s nekoliko tipki/opcija čiji odabir uzrokuje različite efekte. Predstavlja izbornik, integriran u korisničko sučelje, s nekoliko opcija.	Opcija u glavnom izborniku
https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/item	Predmet koji se može koristiti ili s kojim se radi interakcija u igri. Česti su u videoigrama i igrači ih mogu skupljati, koristiti ili kombinirati.	Virtualni objekt u AR sceni
http://adlnet.gov/expapi/activities/cmi.interaction	Omogućuje različite vrste interakcija poput odabira između točnog i netočnog odgovora, odabir između više opcija, unos odgovora u polje, odabir ocjene na Likertovoj skali i sl.	Unos korisničkog imena
https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/level	Razina igre ili igrificirane platforme za učenje. Prelaskom razine igrač napreduje i u igri.	Razina igre ili zadatak
https://w3id.org/xapi/seriousgames/activity-types/serious-game	Igra čija primarna svrha nije čista zabava (npr. edukacijska igra ili simulacija nalik igri).	Ozbiljna igra
https://w3id.org/xapi/acrossx/activities/page	Pojedinačni prikaz određene stranice ili sadržaja na toj stranici u bilo kojem digitalnom ili pisanom materijalu.	Stranica s uputama
http://adlnet.gov/expapi/activities/attempt	Pokušaj je diskretan skup iskustava učenika u aktivnosti. Ova aktivnost omogućava jedinstvenu identifikaciju iskustva kada se dogodilo u različitim interakcijama unutar iste aktivnosti	Pokušaj nove igre/AR sesije
http://id.tincanapi.com/activitytype/scenario	Učenje temeljeno na scenariju se odnosi na sadržaj ugrađen u priču ili scenarij/scenu. Obično priča ili scenarij služi kako bi se od učenika zahtijevalo djelovanje/povratna informacija.	Scena za proširenu stvarnost

Što se tiče opcionalnih vrijednosti događaja koje su mapirane na attribute *rezultat* i *kontekst* xAPI izjave, za praćenje nekih od specificiranih interakcijskih parametara u potpoglavlju 2.6.2

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

dovoljni su parametri definirani xAPI standardom za navedene atribute, naprimjer, atribut konteksta može sadržavati parametar *platform* koji označava vrstu platforme/uređaja korištenu za igru, a atribut rezultata sadrži parametre *score*, *success*, *completion*, *response* te *duration* koje je moguće koristiti za praćenje napretka u igri, ali isto tako i kao praćenje uspješnosti ili detaljnijeg uvida u interakciju korisnika, npr. koliko mu je vremena trebalo za obavljanje određene interakcije, broj pokušaja te koje je interakcije koristio. Za preostale interakcijske parametre potrebno je definirati ekstenzije kako bi ih bilo moguće pratiti. U sljedećoj tablici (Tablica 2.11) su navedene ekstenzije atributa *rezultat* i *kontekst* s primjerima IRI-ja koji ih definiraju, iz postojećih xAPI profila ili novodefinirani. Prva tri retka u tablici (označena žutom bojom) su kontekstualne ekstenzije pri čemu se parametar *environment* odnosi na intenzitet osvjetljenja iz okoline, *condition-value* se odnosi na uvjet kojeg je potrebno ispuniti u određenom događaju (npr. minimalna površina koju je potrebno skenirati za uspostavu proširene stvarnosti) te *screen-size* koji označava veličinu zaslona uređaja. Ostale ekstenzije se odnose na atribut *rezultat* xAPI izjave te se s njima mogu pratiti preostali interakcijski parametri. Posljednja tri retka u tablici (označena zelenom bojom) odnose se na primjere ekstenzija rezultata s IRI-jima iz postojećih xAPI profila dok su preostali IRI-ji novodefinirani. U tablici nisu navedeni svi IRI-ji interakcijskih parametara koje treba samostalno definirati.

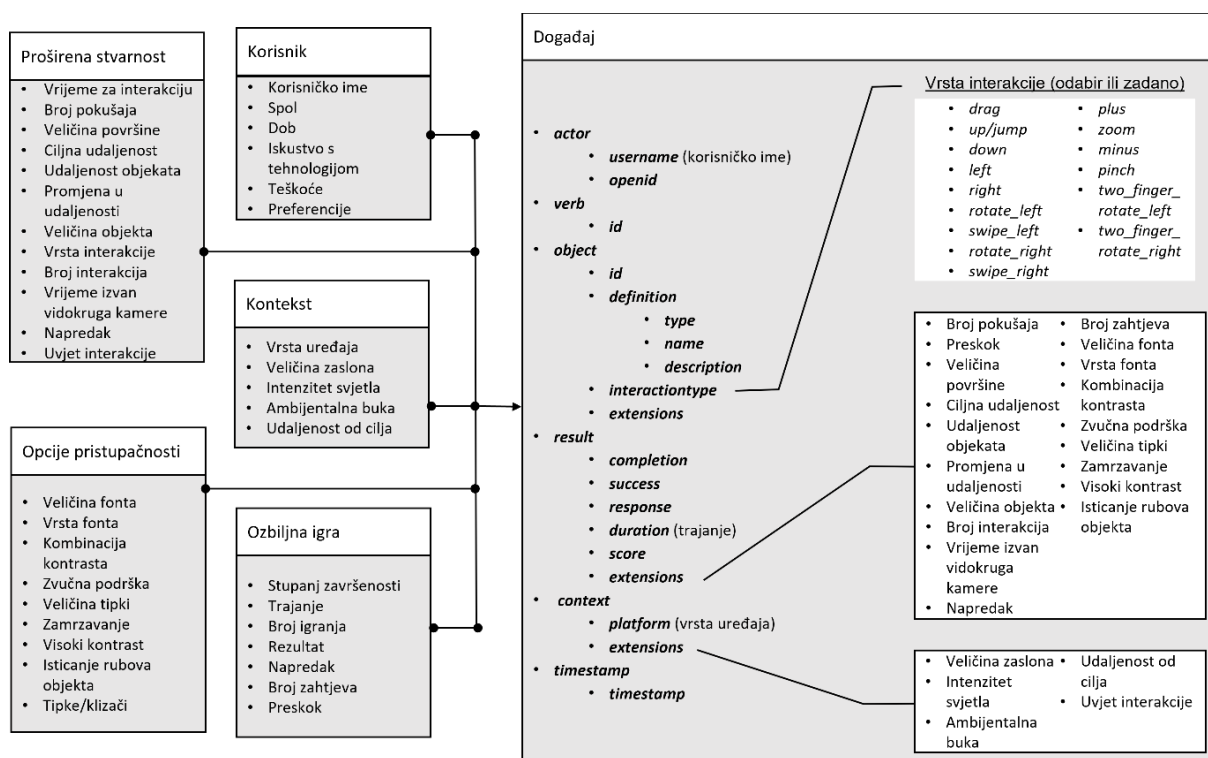
Tablica 2.11 Mapiranje ekstenzija na definirane interakcijske parametre

Naziv parametra	IRI ekstenzije
<i>environment</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/context-extensions/environment
<i>condition-value</i>	http://id.tincanapi.com/extension/condition-value
<i>screen-size</i>	https://w3id.org/xapi/video/extensions/screen-size
<i>plane-size</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/plane-size
<i>used-help</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/used-help
<i>freeze-enabled</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/freeze-enabled
<i>freeze</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/freeze
<i>change-font</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/change-font
<i>scale-text</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/scale-text
<i>used-font</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/used-font
<i>text-size</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/text-size
<i>skipped</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/skipped
<i>out-of-fov-time</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/out-of-fov-time
<i>object-distance</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/object-distance
<i>rotate-direction</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/rotate-direction
<i>scaled-item</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/scaled-item
<i>input-attempts</i>	http://usluge.ict-aac.hr/analiticARka/result-extensions/input-attempts

2. Model praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre zasnovane na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

progress	https://w3id.org/xapi/seriousgames/extensions/progress
starting-point	https://w3id.org/xapi/acrossx/extensions/starting-point
ending-point	http://id.tincanapi.com/extension/ending-point

Specificirani model podataka omogućuje praćenje korisničkih interakcija u programskim rješenjima u formi ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje s naglaskom na pristupačnost i korisničko iskustvo. Ovakav model podataka moguće je integrirati u sustave za analitiku učenja temeljenog na igrama jer koristi standard koji se koristi u sustavima za e-učenje (xAPI). Na sljedećoj slici (Slika 2.2) prikazan je model podataka za praćenje definiranih interakcijskih parametara na način da preslikava praćenje pojedinog parametra na parametre atributa u xAPI izjavama.



Slika 2.2 Model podataka za pohranu interakcijskih parametara u događaj temeljen na standardu xAPI

U sljedećem poglavlju opisana je implementacija mehanizma praćenja korisničkih interakcija koji integrira model praćenja korisničkih interakcija predložen u ovom poglavlju kao neizostavni dio metodologije za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu korisničkih interakcija u ozbiljnim igrama u proširenoj stvarnosti u kontekstu pristupačnosti.

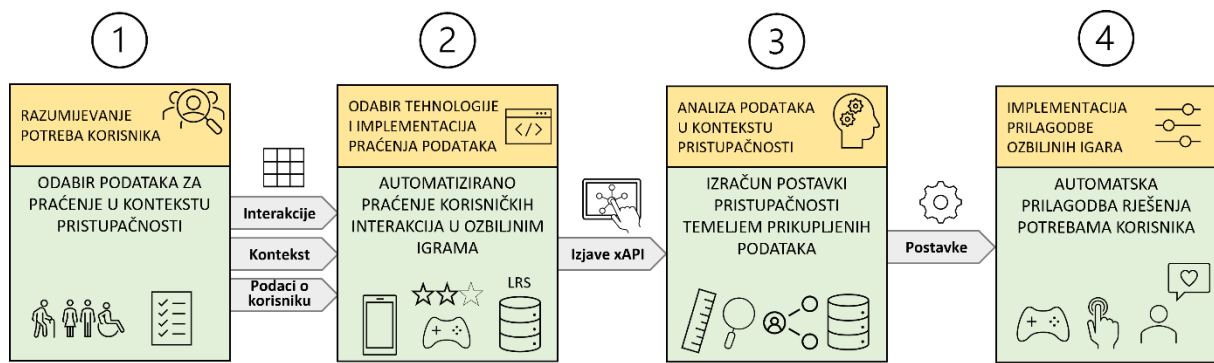
3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

U ovom poglavlju opisana je metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti koja integrira model praćenja korisničkih interakcija opisan u prethodnom poglavlju. Krajnji cilj metodologije je omogućiti prilagodbu korisničkih sučelja i mehanizama interakcije u ozbiljnim igrama zasnovanim na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u svrhu poboljšanja pristupačnosti rješenja pojedinom korisniku temeljem prikupljenih podataka o korisničkim interakcijama u navedenim rješenjima.

3.1. Metodologija za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti

Na sljedećoj slici prikazan je grafički prikaz metodologije za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu korisničkih interakcija u obliku slijeda aktivnosti (Slika 3.1). U nastavku poglavlja svaka aktivnost metodologije je zasebno opisana.

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.1 Grafički prikaz metodologije za automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu korisničkih interakcija u obliku slijeda aktivnosti 1-4

3.1.1. Razumijevanje potreba korisnika

Aktivnost pod nazivom *Razumijevanje potreba korisnika* vezana je uz razumijevanje problema koji se pojavljuje u domeni ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje s obzirom na pristupačnost. Kao što je prethodno definirano, pristupačnost je mjera koja označava koliko neko rješenje odgovara potrebama svih korisnika, bez obzira na sposobnosti i dob. Kako bi doprinijeli razumijevanju problema, kao preliminarno istraživanje obavljen je sustavni pregled literature vezan uz rješenja proširene stvarnosti razvijena za osobe s invaliditetom s naglaskom na interakcijske tehnike i zadatke u proširenoj stvarnosti koji se zahtijevaju od korisnika s različitim vrstama invaliditeta. Rezultati su opisani u [53]. Također, napravljen je pregled literature vezan uz postojeće smjernice za pristupačnost rješenja u proširenoj stvarnosti te široko dostupna rješenja u proširenoj stvarnosti zbog identifikacije najčešćih zadataka i interakcija u proširenoj stvarnosti u različitim domenama, uključujući ozbiljne igre u edukaciji. Pronalasci temeljem spomenutog pregleda literature opisani su u Poglavlju 1. Za razumijevanje i zadržavanje pristupa usmjerenom potrebama korisnika, korisno je stvaranje korisničkih persona koje predstavljaju ključne skupine korisnika rješenja.

Cilj razumijevanja potreba korisnika, tj. prve aktivnosti metodologije jest odabir relevantnih podataka za praćenje tijekom korištenja ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti koji će omogućiti otkivanje potencijalnih problema pristupačnosti i općenito uporabivosti i korisničkog iskustva rješenja. Za odabrane značajke rješenja i interakcije korisnika potrebno je utvrditi cilj praćenja. Poglavlje 2 detaljno opisuje značajke koje je potrebno razmotriti prilikom definiranja modela praćenja korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti za ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje.

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Sažeto, u okviru prve aktivnosti metodologije potrebno je provesti:

- identifikaciju krajnjih korisnika (u skladu s univerzalnim dizajnom svaka osoba je potencijalni korisnik rješenja),
- upoznavanje s postojećim smjernicama pristupačnosti i dobrom praksom za upoznavanje koncepta pristupačnosti,
- istraživanje o načinima korištenja rješenja (s naglaskom na mehanizme interakcije i prikaz sadržaja), te
- odabir značajki rješenja koje je potrebno pratiti s utvrđenim ciljem praćenja u kontekstu pristupačnosti.

3.1.2. Odabir tehnologije i implementacija praćenja korisničkih interakcija

Druga aktivnost metodologije jest odabrati tehnologiju te programski implementirati podršku za praćenje korisničkih interakcija. Cilj ove aktivnosti je omogućiti automatizirano praćenje korisnika tijekom igranja ozbiljne igre. Da bi se svaka sesija igre razlikovala po korisniku, potrebno je, osim podrške za praćenje interakcija, u ozbiljnu igru implementirati način prijave, tj. registracije korisnika.

Nakon što su odabrani podaci za praćenje u kontekstu pristupačnosti u prethodnom koraku, potrebno je definirati mehanizam praćenja korisničkih interakcija. Programska rješenja koja generiraju događaje za praćenje potrebno je integrirati s platformom za analitiku koja podržava praćenje događaja. S obzirom na to da se radi o prikupljanju korisničkih interakcija iz programskih rješenja koja su ozbiljne igre, potrebno je razmotriti razvojna okruženja koja se uobičajeno koriste za razvoj video igara te načine na koji ona mogu podržati praćenje podataka nakon što se odabere tehnologija. Među najpoznatijim razvojnim okruženjima za video igre su Unity [82] i Unreal Engine [83]. Tijekom razvoja igre, potrebno je u ključnim točkama interakcije implementirati podršku praćenja interakcijskih parametara te slanja istih na programsku podršku koja je zadužena za prihvatanje i pohranu interakcija, tj. platformu za analitiku.

Za mehanizam praćenja koji se temelji na modelu praćenja korisničkih interakcija definiran u prethodnom poglavlju koristi se standard xAPI. Izjave xAPI se obično spremaju u bazu podataka (LRS) koja ima definirane točke prihvata (engl. *endpoints*) na koje se šalju podaci te koja ih sigurno pohranjuje i omogućuje daljnje procesuiranje. Neki od poznatijih LRS-ova koji podržavaju standard xAPI su: *Learning Locker* [73], *Watershed* [84], *Rustici LRS* [85], *Yet*

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Analytics LRS [86]. Iako je primarni fokus LRS-ova na pohrani i upravljanju xAPI izjavama, pojedini LRS-ovi nude manje ili više napredne opcije analitike. Većina platformi nudi mogućnost osnovnog izvještavanja i vizualizacije podataka. Ako su potrebne naprednije opcije analitike koje odabrana platforma za analitiku ne pruža (npr. modeliranje podataka, prediktivna analitika, algoritmi strojnog učenja), potrebno ih je integrirati s alatima ili platformama namijenjenima za to ili samostalno implementirati podršku za analitiku prema vlastitim zahtjevima (što je opisano u sljedećoj aktivnosti).

Ukratko, u sklopu druge aktivnosti metodologije potrebno je:

- odabrati tehnologiju za mehanizam praćenja korisničkih interakcija temeljen na predloženom modelu praćenja korisničkih interakcija,
- implementirati odabrani LRS u sustav praćenja korisničkih interakcija, te
- u ozbiljne igre implementirati prijavu/registaciju korisnika, podršku za praćenje događaja koje korisnik generira i slanje xAPI izjava na definirane točke prihvata odabranog LRS-a.

3.1.3. Analiza podataka u kontekstu pristupačnosti

Treća aktivnost metodologije uključuje odabir tehnologije i implementaciju programske podrške za naprednu analitiku korisničkih interakcija (ako je potrebno) i izračun parametara za prilagodbu ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti pojedinom korisniku. Ako odabrani LRS ne podržava mogućnost napredne analitike prema definiranim zahtjevima, potrebno je integrirati postojeći alat za naprednu analitiku ili implementirati vlastitu podršku. Razvojem korisničkih sučelja koja služe kao kontrolne ploče ili generiranjem izvještaja za analizu metrike poput uspješnosti rješavanja zadataka u ozbiljnoj igri, načina interakcije u proširenoj stvarnosti ili dinamike promjena postavki u rješavanju, moguće je uvidjeti koji dijelovi igre ili mehanizmi interakcije imaju najviše utjecaja na stjecanje znanja, pristupačnost i sveukupno korisničko iskustvo korisnika.

Cilj ove aktivnosti je temeljem prikupljenih podataka o korisničkim interakcijama odrediti interakcijske parametre koji u kontekstu pristupačnosti odgovaraju potrebama pojedinog korisnika. S obzirom na specifičnost zahtjeva (izračuna postavki igre s obzirom na način interakcije i izgled sadržaja), potrebno je implementirati dohvaćanje relevantnih podataka o

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

korisničkoj interakciji te analizu podataka s ciljem određivanja interakcijskih parametara, tj. postavki za pojedinog korisnika.

Kako bi se dohvatili podaci o korisničkoj interakciji (prikupljeni u formatu izjava xAPI), potrebno je integrirati odabrani LRS s programskom podrškom za izračun postavki. Integracija je moguća kada LRS-ovi osiguravaju mogućnost pristupa pohranjenim xAPI izjavama, kao što to omogućuje *Learning Locker* putem definiranih programskih sučelja aplikacije, tj. API-ja (engl. *Application Programming Interface*) [73]. Općenito, API omogućava komunikaciju između različitih sustava putem razmjene unaprijed definiranih poruka u formatu kao što su JSON ili XML.

Način implementacije programske podrške za navedeni cilj ovisi o odabranom programskom jeziku za pisanje skripti/aplikacija za analizu podataka, pohranjivanje rezultata i komunikaciju s drugim aplikacijama (npr. Python, R, Java, JavaScript, itd.). Za obradu i analizu podataka iz LRS-a moguće je koristiti analitičke biblioteke ili alate koji odgovaraju odabranom programskom jeziku. Rezultate analize, koji predstavljaju postavke za pojedinog korisnika, potrebno je pohraniti u odabranu bazu podataka, a kako bi se drugim aplikacijama pružio pristup i dohvat postavki, potrebno je implementirati API, tj. točke pristupa, što je dio sljedećeg koraka metodologije. Prilikom implementacije važno je razmotriti aspekte poput sigurnosti, performansi, skalabilnosti i prilagodljivosti te temeljem toga odabrati najprikladnije tehnologije.

U sklopu treće aktivnosti metodologije, ukratko, potrebno je:

- integrirati postojeći alat za naprednu analitiku ili implementirati vlastitu podršku ako odabrani LRS ne podržava mogućnost napredne analitike prema definiranim zahtjevima,
- odabrati tehnologiju i implementirati programsku podršku za:
 - dohvaćanje relevantnih podataka o korisničkoj interakciji iz LRS-a,
 - analizu podataka s ciljem određivanja postavki za prilagodbu ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti pojedinom korisniku, i
 - pohranu izračunatih postavki za pojedinog korisnika.

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

3.1.4. Implementacija prilagodbe ozbiljnih igara

Cilj posljednje aktivnosti metodologije je omogućiti prilagodbu ozbiljnih igara potrebama korisnika u kontekstu pristupačnosti temeljem analize korisničkih interakcija i izračunatih postavki iz prethodnog koraka. Kako bi se to omogućilo, izračunate i pohranjene postavke za pojedinog korisnika potrebno je u prikladnom obliku izložiti drugim aplikacijama, tj. ozbiljnim igrama zasnovanim na proširenoj stvarnosti. Stoga je najprije potrebno implementirati API, tj. točke pristupa, u postojećem poslužiteljskom dijelu sustava koji će pružiti pristup i dohvat postavki iz baze podataka, a zatim odabrati tehnologiju i u ozbiljne igre implementirati podršku za dohvaćanje postavki pojedinog korisnika (API) te mehanizam prilagodbe odabranih postavki. Kako bi se postavke mogle prilagoditi pojedinom korisniku, ozbiljna igra mora sadržavati komponentu prijave/registracije korisnika.

Prilagodba interakcija i sadržaja u ozbiljnoj igri uključuje dohvaćanje postavki za pojedinog korisnika slanjem zahtjeva (engl. *request*) na prethodno definiranu i implementiranu točku pristupa na poslužiteljskom dijelu, te primjenu definiranih postavki za prilagodbu ovisno o odgovoru (engl. *response*) kojeg šalje poslužitelj za pojedinog korisnika. Primjena postavki ovisi o mehanizmima interakcije i postavkama pristupačnosti koje se koriste u ozbiljnoj igri. Naprimjer, ako je jedna postavka vezana uz vrstu fonta, tada je vrijednost postavke potrebno implementirati na sve tekstualne objekte koji se pojavljuju u ozbiljnoj igri.

Ukratko, u sklopu posljednje aktivnosti metodologije potrebno je:

- implementirati točke pristupa u postojećem poslužiteljskom dijelu sustava koji će pružiti pristup i dohvat postavki iz baze podataka drugim aplikacijama,
- u ozbiljnim igrama implementirati:
 - podršku za dohvaćanje postavki pojedinog korisnika slanjem zahtjeva na definiranu točku pristupa, te
 - podršku za prilagodbu interakcija i sadržaja igre koje se koriste u igri u ovisnosti o dobivenim vrijednostima postavki.

Kako bi verificirali i teorijski i praktično utvrdili valjanost metodologije predložene u ovom poglavlju, a time i predloženi model praćenja korisničkih interakcija na kojem se metodologija temelji, razvijena je tehnološka platforma koja omogućava automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti s ciljem prilagodbe

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

korisničkih sučelja i mehanizama interakcije u ozbiljnim igrama zasnovanim na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje pojedinom korisniku te je provedeno korisničko testiranje kako bi se utvrdilo zadovoljava li krajnji cilj metodologije stvarne potrebe i očekivanja korisnika. U nastavku slijedi opis razvijene tehnološke platforme dok je u Poglavlju 4 opisana validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja.

3.2. Implementacija tehnološke platforme

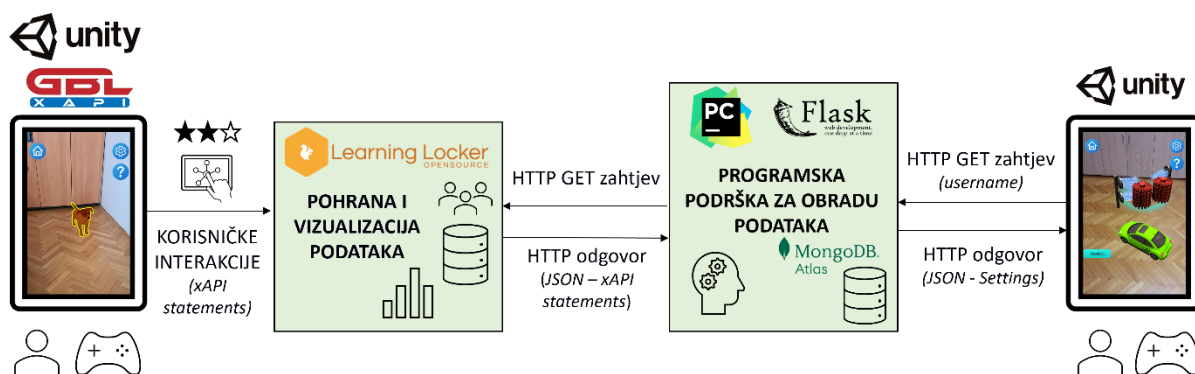
U ovom potpoglavlju opisana je implementacija tehnološke platforme s mogućnošću proširenja temeljena na metodologiji predloženoj u prethodnom potpoglavlju. Praktična primjena ove platforme sadržava dva prototipa programskih rješenja u formi ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje od kojih jedan služi kao prototip izvora skupa podataka o korisničkim interakcijama dok drugi služi kao prototip ozbiljne igre koji se automatski prilagođava korisniku temeljem prikupljenih podataka.

Glavni moduli tehnološke platforme su:

- ozbiljna igra s podrškom za prikupljanje i slanje podataka o korisničkoj interakciji i preferencijama korisnika (AnalitičARka),
- platforma za analitiku koja pohranjuje podatke koje ozbiljna igra pošalje te omogućava osnovne vizualizacije i analizu rezultata,
- programska podrška za napredniju analizu koja dohvaća odabrane podatke o korisničkim interakcijama i omogućava izračun parametara postavki za pojedinog korisnika koje se spremaju u bazu podataka,
- ozbiljna igra s podrškom za prilagodbu odabranih postavki korisničkog sučelja i interakcijskih mehanizama koja uključuje dohvaćanje parametara postavki za pojedinog korisnika u ozbiljnoj igri (BubamARac).

Moduli su na sljedećoj slici prikazani redom s lijeva na desno kako su opisani (Slika 3.2). Implementacija svakog modula odgovara aktivnostima predložene metodologije (Slika 3.1). U nastavku je opisana korištena tehnologija za komponente tehnološke platforme.

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.2 Grafički prikaz glavnih modula razvijene tehnološke platforme

Ozbiljna igra pod nazivom *AnaličARka* razvijena je koristeći razvojno okruženje Unity [82] koje ima podršku za razvoj proširene stvarnosti. Konkretno, za razvoj komponente vezane uz proširenu stvarnost korišten je paket *AR Foundation*⁵. Ovaj paket omogućava razvoj AR-a za više platformi unutar Unityja uz odgovarajuće dodatke (engl. *plugins*) ovisno o uređajima na kojima se rješenje planira koristiti. Za razvoj ove ozbiljne igre korišten je dodatak *ARCore XR Plugin*⁶ koji omogućava razvoj proširene stvarnosti za uređaje s operacijskim sustavom Android.

Razvijena ozbiljna igra sadrži devet zadataka u kojima je korisniku ili zadano koji interakcijski mehanizam treba koristiti ili mu je dano na slobodan izbor. Prije početka igre, potrebno je skenirati površinu na kojoj se zatim stvara virtualni sadržaj igre. Glavni lik ozbiljne igre je pas s kojim je potrebno izvršiti različite radnje ovisno o zadatku. Zadatak je moguće i preskočiti u slučaju da korisnik ne zna ili ne može riješiti zadatak pri čemu se tipka za preskok prikazuje 10 sekundi nakon početka zadatka. Također, u igri je moguće promijeniti postavke vezane uz korisničko sučelje. U prvom zadatku igre potrebno je odabrati virtualni objekt psa kako bi ga aktivirali za daljnje akcije. U drugom zadatku je potrebno dovesti psa do zdjelice (zadatak translacije) pri čemu korisnik treba koristiti gestu povlačenja (**Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**). Svaki zadatak transformacije psa (translacije, skaliranja i rotacije) u igri se pojavljuje dva puta pri čemu je u jednom zadatku potrebno koristiti dodirnu gestu, a u drugom neizravne kontrole, odnosno tipke. U trećem zadatku tako korisnik treba dovesti psa

⁵ AR Foundation Manual, <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@3.1/manual/>

⁶ ARCore XR Plugin, <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arcore@4.1/manual/>

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

do zdjelice korištenjem tipki sa strelicama (**Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**). U četvrtom zadatku potrebno je skalirati objekt kekisa korištenjem gesti (Slika 3.5), dok je to isto potrebno napraviti korištenjem tipki u petom zadatku (Slika 3.6). Šesti zadatak igre nudi korisniku izbor mehanizma interakcije za zadatak translacije objekta psa do tuša (Slika 3.7). U sedmom i osmom zadatku pojavljuje se zadatak rotacije objekta (u sedmom zadatku korištenjem dodirnih gesti, u osmom zadatku korištenjem tipki). Preslike zaslona zadataka rotacije prikazane su na slikama Slika 3.8 i Slika 3.9. Deveti i posljednji zadatak igre je ujedno i najsloženiji zadatak u kojem korisnik odabire mehanizme interakcije koji će ga dovesti do krajnjeg cilja zadatka, a to je unos brojeva s ogrlice objekta psa u polje za unos (Slika 3.10).



Slika 3.3 Prikaz virtualnih objekata na skeniranoj površini igre i uputa za drugi zadatak

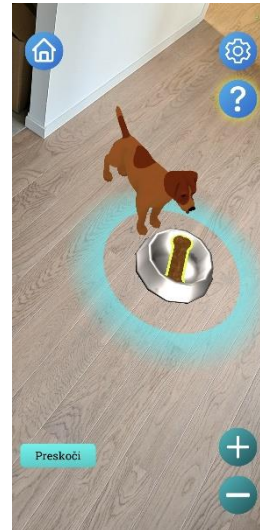


Slika 3.4 Treći zadatak igre – translacija korištenjem tipki sa strelicama

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.5 Četvrti zadatak igre i prikaz upute za skaliranje objekta



Slika 3.6 Peti zadatak igre – skaliranje korištenjem tipki



Slika 3.7 Prikaz upute za šesti zadatak igre – translacija objekta psa do tuša



Slika 3.8 Sedmi zadatak igre i prikaz upute za rotaciju objekta

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.9 Osmi zadatak igre – rotacija korištenjem tipki



Slika 3.10 Deveti zadatak igre – izbor mehanizama interakcije i unos brojeva u polje

U ozbiljnoj igri AnalitičARka implementirana je podrška praćenja odabranih interakcijskih parametara u ključnim točkama interakcije igre. Odabrani parametri koji se prate opisani su u sljedećoj tablici (Tablica 3.1), a definirani su po uzoru na interakcijske parametre za praćenje događaja u kontekstu pristupačnosti opisane u potpoglavlju 2.6.2.

Tablica 3.1 Interakcijski parametri definirani za praćenje događaja u ozbiljnoj igri AnalitičARka (preuzeto iz [87])

Parametar	Tip podatka	Moguće vrijednosti	Opis
<i>uuid</i>	<i>string</i>	*	Jedinstveni identifikacijski broj svake igre/sesije
<i>time</i>	<i>float</i>	*	Vrijeme provedeno u određenom zadatku (s)
<i>assistRequests</i>	<i>int</i>	*	Broj zahtjeva za pomoć
<i>isSkipped</i>	<i>boolean</i>	{ <i>true, false</i> }	Zastavica koja označava je li zadatak preskočen
<i>screen-size</i>	<i>string</i>	*	Veličina zaslona uređaja na kojem je pokrenuta igra (<i>širina zaslona x visina zaslona</i>)
<i>platform</i>	<i>string</i>	{ <i>smartphone, tablet</i> }	Označava je li ozbiljna igra pokrenuta na tabletu ili pametnom telefonu
<i>planeSize</i>	<i>float</i>	*	Veličina skenirane površine
<i>distance</i>	<i>float</i>	*	Udaljenost između početne pozicije psa i objekta s kojim se traži interakcija

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

<i>timeToSelect</i>	<i>float</i>	*	Vrijeme potrebno da korisnik odabere objekt
<i>percentage</i>	<i>float</i>	{0-1}	Postotak riješenosti zadatka
<i>progress</i>	<i>float</i>	{0-1}	Postotak riješenosti cijele igre
<i>input</i>	<i>string</i>	{up:0, down:0, left:0, right:0, rotate_left:0, swipe_left:0, swipe_right:0, two_finger_rotate_left:0, two_finger_rotate_right:0, drag:0, plus:0, minus:0, zoom:0, pinch:0}	Vrsta korištene interakcije te broj koliko puta je interakcija detektirana (interakcija:broj)
<i>rotation</i>	<i>string</i>	{left, right, none}	Smjer rotacije virtualnog objekta psa
<i>numberOfAttempts</i>	<i>int</i>	*	Broj pokušaja
<i>changeInDistance</i>	<i>float</i>	*	Omjer razlike u promjeni udaljenosti kamere uređaja u odnosu na početnu udaljenost od virtualnog objekta i same početne udaljenosti izražen u postotku. Negativni postotak označava udaljavanje, a pozitivni približavanje korisnika virtualnog objektu
<i>timeObjectIsNotInFOV</i>	<i>float</i>	*	Vrijeme koje virtualni objekt koji se promatra (s kojim je potrebna interakcija) nije u vidnom polju (s)
<i>dogScaleLastTask</i>	<i>float</i>	*	Veličina virtualnog objekta psa u zadnjem zadatku
<i>isFreezeUsed</i>	<i>boolean</i>	{true, false}	Zastavica koja označava je li "Zamrzavanje zaslona" korišteno u nekom zadatku
<i>isTextScaleUsed</i>	<i>boolean</i>	{true, false}	Zastavica koja označava je li mijenjanje veličine teksta korišteno (tijekom cijele sesije igre)
<i>textScale</i>	<i>float</i>	{1.0-1.5}	Veličina teksta na kraju igre
<i>isFontChangeUsed</i>	<i>boolean</i>	{true, false}	Zastavica koja označava je li mijenjanje fonta korišteno (tijekom cijele sesije igre)
<i>font</i>	<i>string</i>	*	Font teksta na kraju igre
<i>ambientIntensity</i>	<i>float</i>	{0 - 1}	Vrijednost koja označava jačinu osvjetljenja u stvarnom prostoru u kojem korisnik skenira površinu. Vrijednost 0 označava potpuni mrak, dok vrijednost 1 označava jako osvjetljenje

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Odabrani parametri sa svojim vrijednostima mapiraju se na atribute xAPI izjava po uzoru na mapiranje događaja na izjave xAPI opisano u potpoglavlju 2.6.3 kako bi se poslali u formatu podobnom za prihvata od strane odabrane platforme za analitiku. Odabrani API koji se koristi u Unityju za stvaranje, raščlanjivanje i slanje xAPI izjava je GBLxAPI⁷. Detaljne upute za instalaciju i implementaciju API-ja nalaze se u [87]. Osim prethodno navedenih parametara, u izjavama se šalju i subjektivne ocjene zadovoljstva pojedinim interakcijama po zadacima koje korisnik može dati nakon odigrane igre.

Odabrana platforma za analitiku na čiju točku prihvata se šalju izjave xAPI je **Learning Locker** [73]. To je **skalabilna baza podataka (LRS)** otvorenog koda i besplatna za korištenje (s ograničenim funkcionalnostima) koju je jednostavno postaviti na vlastiti poslužitelj. *Learning Locker* osigurava mogućnost pristupa pohranjenim izjavama putem definiranih API-ja [73]. U ovom sustavu se, konkretno, koriste dva aplikacijska programska sučelja: *xAPI Statements HTTP Interface* za dohvaćanje svih pohranjenih izjava xAPI, te *Aggregation API* za dohvaćanje izjava filtriranih po korisniku.

Budući da *Learning Locker* (LL) ne omogućava naprednu analitiku kakva je potrebna za analizu korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti koje su definirane u ovom radu, implementirana je **programska podrška za dohvat i obradu korisničkih interakcija** čiji je cilj izračun parametara postavki pristupačnosti za pojedinog korisnika. Programska podrška za navedenu funkcionalnost sastoji se od web-poslužitelja razvijenog u Flasku⁸, razvojnom okruženju za programski jezik Python, te baze podataka MongoDB koja je smještena u oblaku i kojom se upravlja putem usluge MongoDB Atlas⁹. MongoDB Atlas olakšava korištenje baze podataka MongoDB jer osigurava administrativne funkcionalnosti, skalabilnost i visoku dostupnost bez potrebe za upravljanjem infrastrukturom. U bazu podataka se pohranjuju izračunate postavke za svakog korisnika, pri čemu se korisnik razlikuje po korisničkom imenu kojeg korisnik upisuje prilikom prijave u ozbiljnu igru AnalitičARka. Način izračuna postavki za pojedinog korisnika opisan je u sljedećem potpoglavlju (3.2.1).

⁷ GBLxAPI, <https://gblxapi.org/>

⁸ Dokumentacija za Flask, <https://flask.palletsprojects.com/>

⁹ MongoDB Atlas, <https://www.mongodb.com/atlas/database>

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

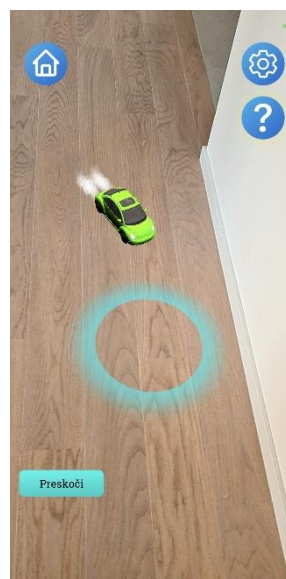
Ozbiljna igra pod nazivom *BUBAmARac* prototip je ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti s implementiranom podrškom za prilagodbu mehanizama interakcije u pojedinom zadatku transformacije virtualnog objekta te opcija pristupačnosti. Također je razvijena u razvojnom okruženju Unity te je funkcionalnostima slična prvoj ozbiljnoj igri AnalitičARka. Sastoji se od šest zadataka u kojima je korisniku zadano koji interakcijski mehanizam treba koristiti (prema izračunatim postavkama). Glavni lik ozbiljne igre ovdje je automobil s kojim je potrebno izvršiti različite radnje ovisno o zadatku. I ovdje je moguće preskočiti zadatak i promijeniti postavke vezane uz korisničko sučelje. Korisnik se prije ulaska u igru treba prijaviti s korisničkim imenom nakon čega se dohvaćaju i lokalno spremaju postavke za tog korisnika. Ako korisnik prethodno nije odigrao cijelu sesiju igre AnalitičARka, za njega će se dohvatiti zadane postavke.

Kao i u AnalitičARki, prije same igre potrebno je najprije skenirati površinu na kojoj će se stvoriti virtualni sadržaj igre. Zatim slijede zadaci u kojima se primjenjuju interakcijski mehanizmi dodijeljeni korisniku (ili dodirne geste ili neizravne kontrole). U prvom zadatku igre potrebno je promijeniti boju automobilu (dodirom na automobil ili zaslon (Slika 3.11) ili odabirom obojane tipke). U drugom zadatku igre korisnik treba translirati automobil do označenog mjesta (gestom povlačenja (Slika 3.12) ili tipkama sa strelicama). U trećem zadatku potrebno je skalirati objekt automobila gestom rotacije ili tipkama (Slika 3.13). U četvrtom zadatku automobil je potrebno translirati do praonice (Slika 3.14), dok ga je u petom zadatku potrebno rotirati za puni krug (Slika 3.15), također korištenjem gesti ili tipki. U posljednjem, šestom zadatku koji je ujedno i najsloženiji, korisnik treba upisati broj s registracije automobila u polje za unos brojeva pri čemu može koristiti interakcijske mehanizme skaliranja i rotacije (Slika 3.16).

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.11 Prvi zadatak igre – odabir boje automobila (dodirnom gestom)



Slika 3.12 Drugi zadatak igre – translacija automobila do označenog mjesta (gestom)



Slika 3.13 Treći zadatak igre – skaliranje (povećanje) automobila



Slika 3.14 Četvrti zadatak igre – translacija automobile do praonice

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.15 Peti zadatak igre – rotacija automobila



Slika 3.16 Šesti zadatak igre – unos brojeva registracije u polje

Postavkama za pojedinog korisnika pristupa se slanjem zahtjeva na definiranu točku pristupa poslužiteljskog dijela sustava čiji odgovor sadrži vrijednosti postavki u formatu JSON. Osim točke pristupa za dohvaćanje postavki za jednog korisnika u ozbiljne igre, definirane su još sljedeće rute za izvršavanje različitih funkcionalnosti: osvježavanje postavki za sve korisnike, dohvaćanje postavki za jednog korisnika uz osvježavanje, te dohvaćanje postavki za jednog korisnika bez osvježavanja. Pristup definiranim rutama moguć je jedino ako zahtjev sadržava ispravnu autorizaciju zbog zaštite podataka.

Implementacijom navedenih modula razvijen je prototip tehnološke platforme koji omogućava automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu korisničkih interakcija u svrhu prilagodbe odabranih mehanizama interakcije i sadržaja ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti s ciljem poboljšanja pristupačnosti i korisničkog iskustva korisnicima, temeljeno na podacima korisničke interakcije i prikupljenim preferencijama korisnika o pojedinom mehanizmu interakcije.

3.2.1. Izračun parametara postavki za pojedinog korisnika

Značajke koje su odabrane za prilagodbu u prototipu rješenja ozbiljne igre navedene su i opisane u sljedećoj tablici (Tablica 3.2). Iste ove značajke su evaluirane upitnikom provedenim

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

u korisničkom testiranju (proces korisničkog testiranja sustava te dobiveni rezultati opisani su u sljedećem poglavlju).

Tablica 3.2 Odabrane značajke za prilagodbu rješenja korisniku

Grupa značajki	Naziv značajke	Opis značajke	Opcije prilagodbe	
			Zadana	Pristupačna
Opcije pristupačnosti	Vrsta fonta (<i>textFont</i>)	Vrsta fonta koja se primjenjuje na sve tekstualne objekte u igri	Roboto	OpenDyslexic
	Veličina teksta (<i>textScale</i>)	Veličina teksta koja se primjenjuje na sve tekstualne objekte u igri	1	>1, max 1.5
Mehanizmi interakcije	Odabir (<i>tapStyle</i>)	Način interakcije za odabir (virtualnog objekta ili opcije koja utječe na virtualni objekt)	Dodir	Tipka za odabir
	Translacija (<i>movingStyle</i>)	Način interakcije za pomicanje virtualnog objekta s jednog mjesta na drugo	Povlačenje	Tipke sa strelicama
	Rotacija (<i>rotationStyle</i>)	Način interakcije za okretanje virtualnog objekta u dva smjera (ulijevo/udesno)	Geste rotacije (<i>swipe, two-finger-rotate</i>)	Tipke za rotaciju ulijevo/ udesno
	Skaliranje (<i>scaleStyle</i>)	Način interakcije za promjenu veličine virtualnog objekta (smanjivanje/povećanje)	Gesta skaliranja (<i>pinch, zoom</i>)	Tipka za povećanje/smanjenje

Način na koji su određene postavke za prilagodbu opisan je u nastavku. U prototipu ozbiljne igre pod nazivom *AnalitičARka* implementirani su zadaci proširene stvarnosti vezani uz istoimene značajke *Translacija*, *Rotacija* i *Skaliranje* te postavke u kojima korisnik može mijenjati opcije pristupačnosti, a povezane su uz značajke *Vrsta fonta* i *Veličina fonta* iz prethodne tablice. Svaka od navedenih značajki ima alternativne opcije koje su implementirane u postavkama igre ili kao interakcijski mehanizmi u zadacima. Prikupljanjem podataka o korisničkoj interakciji prema definiranim interakcijskim parametrima, moguće je iz skupa izjava xAPI vezanih uz navedene zadatke izvući metriku koja će odrediti prilagodbu pojedinom korisniku.

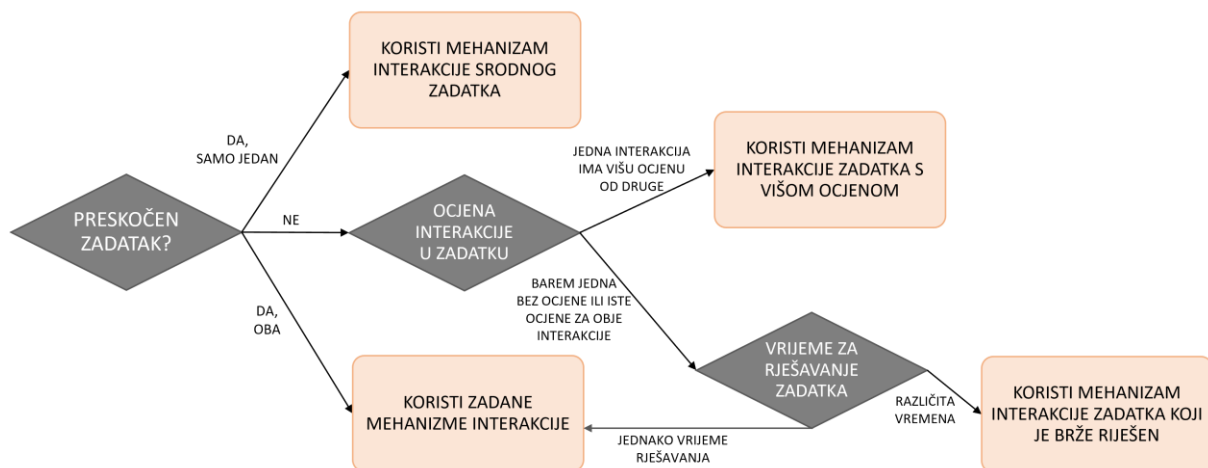
Postavke za pojedinog korisnika računaju se temeljem metrike prikupljene u zadacima u kojima se pojavljuju navedene opcije mehanizama interakcije te temeljem odabranih opcija pristupačnosti s kojima je korisnik završio igru. U zadacima se prikuplja metrika vezana uz preskok zadatka (parametar *skipped* atributa *results (extensions)* za glagol *completed* određenog

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

zadatka), ocjenu interakcije (parametar *score* atributa *result* za glagol *assessed* određene interakcije u zadatku), vrijeme izvršavanja zadatka (parametar *duration* atributa *result* za glagol *completed* određenog zadatka), te korišteni font i veličina teksta (parametri *used-font* i *text-size* atributa *results (extensions)* za glagol *terminated* cjelokupne igre).

Budući da uobičajeni mehanizmi interakcije u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje koriste dodirne geste, i ovdje se kao zadana (engl. *default*) opcija interakcije korisniku nudi **dodirna gesta**. Ako se pokaže da je korisniku potrebna pristupačnija opcija, nudit će mu se mehanizam **neizravne kontrole, tj. tipki**. Način određivanja mehanizma interakcije u pojedinom zadatku prikazan je dijagramom toka na sljedećoj slici (Slika 3.17). Ako je korisnik preskočio jedan od srodnih zadataka (srodni zadaci su zadaci koji imaju isti cilj transformacije objekta), tada se korisniku kao mehanizam interakcije nudi mehanizam drugog zadatka. Naprimjer, ako je korisnik za zadatak čiji je cilj translacija objekta uz mehanizam interakcije povlačenja koristio opciju preskoka, tada će se korisniku kao postavka interakcije za zadatak translacije postaviti tipke. Ako je korisnik koristio opciju preskoka u oba zadatka, tada će mu se ponuditi zadana interakcija. Ako nije preskočen niti jedan zadatak, analizira se subjektivna ocjena korisnika za zadovoljstvo interakcijom u zadatku. Ako postoji interakcija zadatka koja je ocijenjena s višom ocjenom, koristit će se mehanizam interakcije iz tog zadatka. Ako su interakcije srodnih zadataka ocijenjene istom ocjenom ili barem jedna interakcija nije ocijenjena, analizira se vrijeme potrebno za izvršenje srodnih zadataka pri čemu prednost ima zadatak s kraćim trajanjem te se onda korisniku kao postavka interakcije postavlja ona iz zadatka kraćeg trajanja.

3. Automatizirano prikupljanje, pohrana i analiza korisničkih interakcija u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje



Slika 3.17 Dijagram toka za određivanje postavki iz srodnih zadataka s različitim interakcijskim mehanizmima (slika preuzeta i prilagođena iz [88])

Posebna je značajka za zadatak *Odabira* koja nema alternativnu opciju mehanizma interakcije stoga se kao postavka interakcije za zadatak *Odabira* korisniku postavlja ona koja je postavljena za zadatak *Translacije*. Pretpostavka je ta da, ako korisniku za zadatak *Translacije* više odgovara gesta povlačenja da će mu i za zadatak *Odabira* više odgovarati dodirna gesta, odnosno dodir zaslona jer gesta povlačenja u sebi sadržava odabir objekta prstom (dodir zaslona) i povlačenje prsta bez podizanja. Ako mu više odgovara tipka za zadatak *Translacije*, tada će mu se i u zadatku *Odabira* pojaviti tipka.

Što se tiče postavki pristupačnosti, provjeravaju se opcije korištene nakon završetka igre s pretpostavkom da je korisnik, ako je mijenjao postavke, završio igru s onima koje mu najbolje odgovaraju.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Kako bi se utvrdila teorijska i praktična valjanost radnog okvira predloženog u ovom radu, proveden je eksperiment koji uključuje korisničko testiranje programskog sustava temeljenog na predloženoj metodologiji (opisan u potpoglavlju 4.1) u koji su bili uključeni ispitanici s različitim vrstama teškoća i dobnih skupina (demografija ispitanika opisana u potpoglavlju 4.2) te su analizirani rezultati dobiveni provedenim eksperimentom (opisano u potpoglavlju 4.3).

4.1. Opis eksperimenta

Eksperiment se odvio u proljeće 2023. godine (od 20. travnja do 9. svibnja) u različitim okruženjima i gradovima u Hrvatskoj. Najveći udio ispitanika testirao je u prostoriji Laboratorija za asistivne tehnologije i potpomognutu komunikaciju (ICT-AAC) na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) u Zagrebu, dok su preostala mjesta testiranja uključivala prostorije udruga i ustanova koje su posječene u svrhu testiranja s korisnicima različitih tipova invaliditeta. U tom kontekstu daju se izdvojiti udruge CeDePe¹⁰ (testiranje se odvijalo u prostoriji udruge), UPIM¹¹ (testiranje se odvijalo u prostorima Muzeja suvremene umjetnosti u

¹⁰ Društvo osoba s cerebralnom i dječjom paralizom Zagreb (CeDePe), <https://cedepe.hr/>

¹¹ Udruga za promicanje istih mogućnosti (UPIM), <https://www.upim.hr/>

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Zagrebu nakon svečanosti koju je organizirala udruga UPIM te osim osoba s invaliditetom, testiranju su pristupile i druge osobe različitih dobnih skupina) i Arka Korablja¹² (testiranje se odvijalo u kući u kojoj borave korisnici udruge). S ostalim ispitanicima s teškoćama dogovoren je posjet Laboratoriju ICT-AAC. Testiranju u Laboratoriju ICT-AAC pristupili su i studenti FER-a koji su se odazvali na poziv za sudjelovanje u istraživanju, pri čemu se najveći udio studenata odazvao pozivu u sklopu kolegija Ergonomija u računarstvu na preddiplomskom studiju FER-a. Dodatno, testiranju su pristupili zaposlenici Zavoda za telekomunikacije različitih dobnih skupina. Pojedini ispitanici su testirali u kućnom okruženju.

Za testiranje su se koristila dva modela tablet uređaja Samsung (Galaxy Tab S6 Lite, 4/64GB i Galaxy Tab A8, 3/32GB), i to više primjeraka od svakog modela kako bi se omogućilo paralelno testiranje igara te ispunjavanje anketnog upitnika.

Prije pristupanja korisničkom testiranju svaki ispitanik ispunio je i potpisao obrazac za informirani pristanak u kojem je opisano u okviru kojeg istraživanja se provodi korisničko testiranje, koji podaci se pritom prikupljaju, procedura testiranja te način na koji je osigurana privatnost svakog korisnika. Pri tome je ispitivač naglasio važne informacije i odgovorio na dodatna pitanja ispitanika. U slučaju ispitanika koje su osobe s invaliditetom koje ne mogu samostalno potpisati obrazac, za njih su to učinili roditelji ili skrbnici. Dodatno, u provedbi testiranja u udrugama, istraživač je imao pomoć dvije studentice FER-a kako bi istovremeno više ispitanika moglo pristupiti testiranju. U udrugama je prije testiranja održano kratko, 10-minutno, predavanje o proširenoj stvarnosti s demonstracijom različitih aplikacija na tablet uređajima, uz prilagodbu terminologije i način na koji bi se i osobama s intelektualnim teškoćama približilo korištenje ove tehnologije. U nastavku je prikazana fotografija nastala tijekom posjeta udruzi CeDePe (Slika 4.1).

¹² Arka Korablja – L'Arche Zagreb, <https://korablja-arka.hr/>

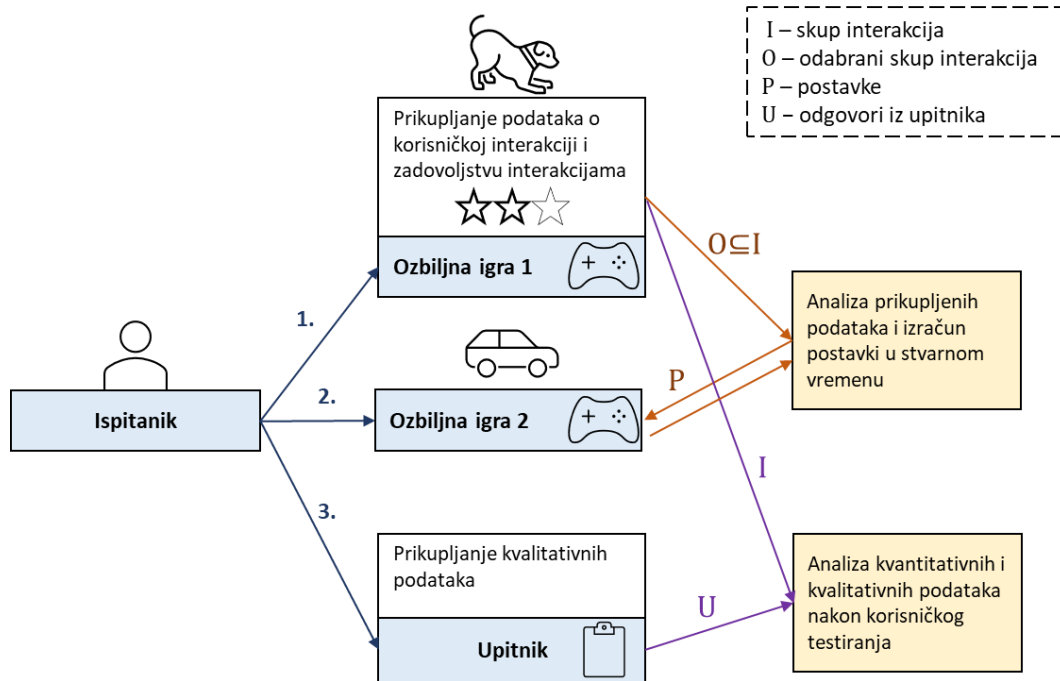


Slika 4.1 Fotografija prije korisničkog testiranja u udruzi CeDePe

Proces provedbe korisničkog testiranja te glavne aktivnosti koje on uključuje prikazan je na slici u nastavku (Slika 4.2). Prva aktivnost u procesu korisničkog testiranja uključuje ozbiljnu igru pod nazivom *AnalitičARka* (na slici *Ozbiljna igra 1*), druga aktivnost uključuje ozbiljnu igru pod nazivom *BUBAmARac* (na slici *Ozbiljna igra 2*) te treća aktivnost uključuje ispunjavanje upitnika izrađenom u alatu Microsoft Forms (na slici *Upitnik*). Ukupno trajanje testiranja procijenjeno je na 10 minuta po ispitaniku, uz iznimku testiranja s ispitanicima s različitim tipovima invaliditeta koje je trajalo od 20 do 30 minuta, ovisno o poteškoćama s kojima se ispitanik susretao tijekom korištenja igri. Dodatno, s pojedinim ispitanicima s teškoćama i/ili njihovim skrbnicima/prateljima se nakon ispunjavanja upitnika pokrenula diskusija vezana uz prijedlog rješenja za pojedine probleme pristupačnosti rješenja te je u tom slučaju cjelokupna provedba testiranja trajala duže (do 45 minuta).

Svakom ispitaniku dodijeljeno je jedinstveno korisničko ime s kojim se u bazi podataka povezuju prikupljeni podaci o interakciji u prvoj igri za izračun parametara pristupačnosti koji se primjenjuju u drugoj igri te se upisuje i pri ispunjavanju upitnika. Korisničko ime (*ictaacXY*, pri čemu je XY jedinstveni broj dodijeljen svakom ispitaniku) pročitano je svakom ispitaniku prije unosa ili upisano umjesto ispitanika (slučaj kod pojedinih ispitanika s teškoćama).

Scenarij testiranja prema slici u nastavku (Slika 4.2) opisan je u nastavku.



Slika 4.2 Proces korisničkog testiranja s redoslijedom aktivnosti

4.1.1. Ozbiljna igra 1

Svrha prve aktivnosti korisničkog testiranja je prikupiti podatke o korisničkoj interakciji i zadovoljstvu interakcijama te ova aktivnost uključuje sljedeći tijek scenarija: ispitanik pokreće aplikaciju AnalitičARka na tablet uređaju, klikom na tipku *Igra* se otvara zaslon s unosom korisničkog imena kojeg ispitanik ili ispitivač upisuje, klikom na tipku *Nastavi* prikazuje se zaslon s uvjetima korištenja igre (tekst kao u obrascu za informirani pristanak) te slaganjem s uvjetima i klikom na tipku *Igra* pokreće se sesija igre s proširenom stvarnošću pri čemu ispitanik mora skenirati površinu na kojoj će igrati igru.

Igra se sastoji od devet zadataka čije upute korisnik dobije na zaslonu prije početka svakog zadatka. Zatvaranjem uputa mjeri se vrijeme potrebno za izvršenje zadatka te se bilježe interakcije korisnika tijekom izvršavanja tog zadatka. Ispitaniku se za svaki zadatak transformacije prikazuju po dva zadatka u kojima mora koristiti različite interakcijske mehanizme. Ispitanik prolazi kroz sve zadatke igre te nakon završetka sesije igre, prikazuje mu se zaslon za ocjenjivanje pojedine interakcije za svaki od zadataka (detaljnije opisano kod analize ocjena).

Ozbiljna igra 1 (*AnalitičARka*) ima implementiranu podršku za prikupljanje podataka o korisničkim interakcijama (događaji interakcije korisnika definirani u poglavlju 2.6) pa se prikupljeni podaci o korisničkoj interakciji i zadovoljstvu interakcijama u stvarnom vremenu

šalju u bazu podataka (LRS). Odabrani skup podataka o interakcijama se zatim koristi za izračun postavki interakcija i pristupačnosti u dijelu sustava za obradu podataka koje se dohvaćaju iz druge igre. Zbog ovoga je potrebno da uređaj bude spojen na internetsku vezu kako bi se podaci mogli pohraniti i dohvatiti.

4.1.2. Ozbiljna igra 2

Svrha druge aktivnosti korisničkog testiranja je u Ozbiljnoj igri 2 primijeniti postavke interakcija i pristupačnosti izračunate za pojedinog ispitanika temeljem prve aktivnosti te ova aktivnost uključuje sljedeći tijek scenarija: ispitanik pokreće aplikaciju BubamARac na tablet uređaju, klikom na tipku *Igra* se otvara zaslon s unosom korisničkog imena kojeg ispitanik ili ispitivač upisuje (pri čemu se pazi da se za ispitanika koristi isto korisničko ime kao u prvoj igri), klikom na tipku *Nastavi* pokreće se sesija igre s proširenom stvarnošću pri čemu ispitanik mora skenirati površinu na kojoj će igrati igru.

Unosom korisničkog imena te klikom na tipku *Nastavi*, pokreće se funkcionalnost dohvaćanja postavki za korisnika. Ovisno o tome jesu li postavke za pojedinog korisnika već pohranjene u sustavu, iste se dohvaćaju i primjenjuju, dok u slučaju da postavke nisu već pohranjene, iste se najprije izračunaju, pohrane i zatim primijene u igri.

Igra se sastoji od šest zadataka čije upute korisnik dobije na zaslonu prije početka svakog zadatka te zadaci imaju cilj sličan onima iz prve igre. U svakom zadatku ispitaniku su za interakciju dostupni mehanizmi interakcije koje mu je sustav dodijelio temeljem prikupljenih podataka iz prve igre. Ispitanik prolazi kroz sve zadatke igre te nakon završetka sesije igre pristupa sljedećoj aktivnosti testiranja.

4.1.3. Upitnik

Svrha treće aktivnosti korisničkog testiranja je prikupiti kvalitativne podatke vezane uz Ozbiljnu igru 2 kako bi se evaluirala njezina uporabivost/pristupačnost, zadovoljstvo interakcijama te generalni dojam igre. Dodatno, posebno se ocjenjuju zadaci s dodijeljenim interakcijskim mehanizmima kako bi se usporedila jednostavnost/lakoća korištenja u odnosu na prvu igru gdje su korisnici imali iskustvo oba interakcijska mehanizma.

Upitnik je izrađen u alatu Microsoft Forms koji je odabran zbog mogućnosti korištenja različitih opcija pristupačnosti u slučaju da pojedinom ispitaniku to bude potrebno. Kada je to bilo lakša opcija (za ispitanika ili ispitivača), upitniku se pristupilo na papiru. Osim pitanja za

uporabivosti, pristupačnosti i korisničkog iskustva ozbiljne igre *BUBAmARac*, upitnik sadrži pitanja za prikupljanje osnovnih demografskih podataka o korisniku. Upitnik je detaljno opisan u potpoglavlju analize rezultata upitnika.

Nakon provedbe korisničkog testiranja s ispitanicima, pristupilo se analizi prikupljenih kvantitativnih i kvalitativnih podataka, a rezultati analize su prikazani kasnije u poglavlju. U sljedećem potpoglavlju opisani su ispitanici koji su sudjelovali u korisničkom testiranju.

4.2. Odabir ispitanika za korisničko testiranje

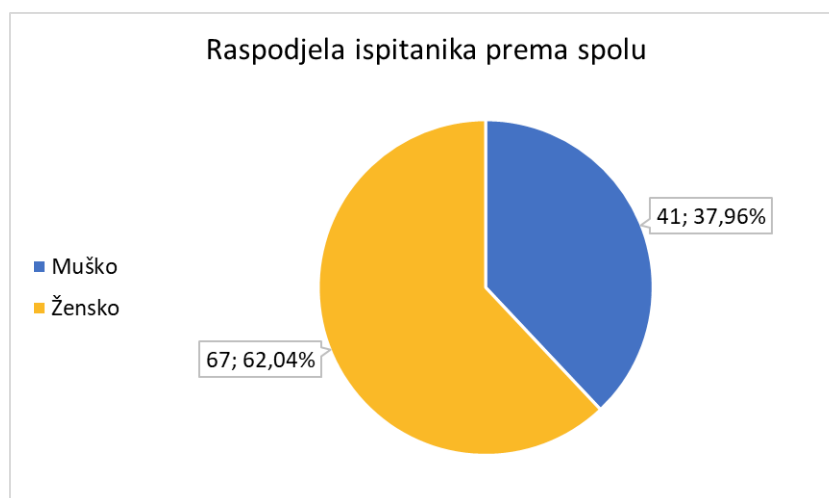
S obzirom na to da je glavni cilj ovog istraživanja poboljšanje pristupačnosti ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti za sve korisnike, bez obzira na dob i sposobnosti, odnosno da navedena rješenja budu u skladu s univerzalnim dizajnom, grupe ispitanika odabrane za sudjelovanje u korisničkom testiranju sadržavale su osobe različitih vrsta teškoća, ali i osobe bez teškoća te svih kategorija dobne starosti (osim djece).

Prema istraživanju iz [89], za testiranje uporabivosti rješenja dovoljno je pet sudionika u testiranju jer se s pet ispitanika pronađe gotovo onoliko problema uporabivosti kao kada bi se uključilo mnogo više ispitanika, što nije uvijek isplativo jer se pronalasci s više ispitanika preklapaju te se ne uoči puno novih problema. S druge strane, neki stručnjaci iz područja smatraju da je raspon od pet do deset sudionika razuman raspon pri čemu se raspon sudionika treba povećavati sukladno rastu složenosti studije i kompleksnosti/kritičnosti rješenja [90]. Formula iz [89] vrijedi kada su u pitanju korisnici koji na sličan način koriste proizvod. Kada je riječ o izrazito različitim skupinama korisnika kao što je slučaj kod osoba s različitim tipovima invaliditeta, tada je potrebno proizvod testirati s korisnicima iz svake skupine. Iako su skupine korisnika vrlo različite, postojat će određena preklapanja u pronalascima grešaka, pa je stoga preporuka da iz svake skupine korisnika bude najmanje tri sudionika ako se radi o tri ili više skupina korisnika [91]. Prema tome, u odabiru ispitanika za korisničko testiranje u ovom istraživanju, vodilo se računa o tome da se prikupi barem najmanji broj predstavnika osoba s različitim vrstama teškoća te osoba različitih dobnih skupina potreban kako bi se pronašli relevantni problemi uporabivosti za svaku skupinu.

U nastavku je opisana raspodjela ispitanika koji su sudjelovali u korisničkom testiranju, najprije prema spolu, a zatim prema vrsti teškoće i dobi korisnika. Navedeni podaci dobiveni su analizom upitnika iz treće aktivnosti korisničkog testiranja.

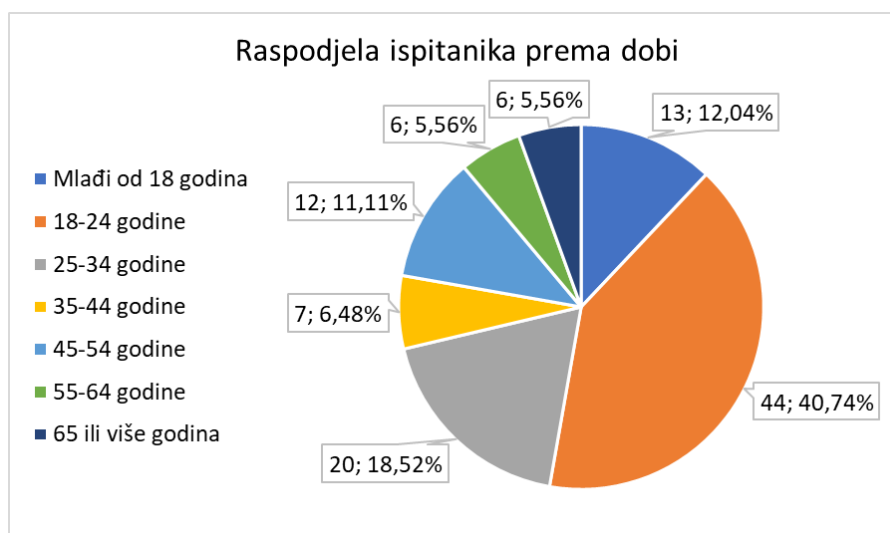
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Raspodjela ispitanika prema spolu vidljiva je iz grafa na sljedećoj slici (Slika 4.3). Ukupan broj ispitanika u korisničkom testiranju je **108** (N=108), pri čemu je 67 ili 62,04% osoba ženskog spola, a 41 ili 37,96% osoba muškog spola.



Slika 4.3 Raspodjela ispitanika prema spolu (N=108)

Na sljedećoj slici (Slika 4.4) vidljiva je raspodjela ispitanika prema dobnim skupinama, pri čemu je najzastupljenija dobna skupina između 18 i 24 godine, tj. 44 osobe ili 40,74% od ukupnog broja ispitanika. Sljedeća skupina po zastupljenosti je skupina između 25 i 34 godine sa 20 ispitanika, tj. 18,52% ispitanika, zatim skupina mlađih od 18 godina sa 13 ispitanika ili 12,04%, 12 sudionika ili 11,11% je između 45 i 54 godine, 7 sudionika ili 6,48% je iz dobne skupine između 35 i 44 godine, te je po 6 sudionika ili 5,56% od ukupnog broja sudionika u dobnim skupinama između 55 i 64 godine te starijih od 65 godina koji ujedno predstavljaju i skupinu osoba starije životne dobi.



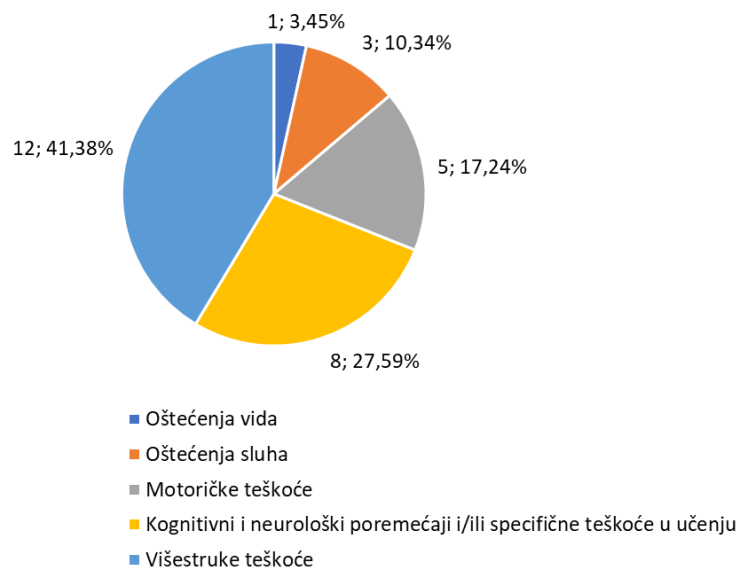
Slika 4.4 Raspodjela ispitanika prema dobnim skupinama (N=108)

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

U korisničkom testiranju sudjelovalo je **29 osoba** koje su osobe s invaliditetom ili osobe s privremenim teškoćama, tj. **26,85%** od ukupnog broja ispitanika ($N_{teškoće}=29$). Važno je za napomenuti kako u ovu kategoriju nisu uzeti u obzir ispitanici koji su za oštećenje vida naveli *kratkovidnost, dalekovidnost, manja dioptrija, astigmatizam*. Razlog tome je što navedeni odgovori ne spadaju pod oštećenje vida prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) [92]. Takvih ispitanika je bilo 19 (17,59% ispitanika). Iz tog razloga za kategoriju ispitanika koji imaju samo oštećenje vida nije zadovoljen preporučeni broj sudionika u testiranju uporabivosti prema Nielsenu što predstavlja jedno od ograničenja ovog istraživanja.

Sljedeća slika (Slika 4.5) prikazuje udio pojedinih vrsta teškoća među ispitanicima koji su se u upitniku izjasnili da imaju jednu ili više vrsta oštećenja/teškoća. Iz slike je vidljivo kako su među ispitanicima s teškoćama **najzastupljenije višestruke teškoće** koje ima 12 ispitanika, tj. 41,38% od ukupnog broja ispitanika s teškoćama, zatim je najzastupljeniji broj ispitanika s kognitivnim ili neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama u učenju, odnosno njih 8 ili 27,59% ispitanika. Sljedeća po zastupljenosti je skupina ispitanika s motoričkim teškoćama u koju spada 5 ispitanika ili 17,24%. Slijede skupine ispitanika s oštećenjem sluha sa po 3 ispitanika (10,34%) te jedan ispitanik (3,45%) s oštećenjem vida.

Raspodjela ispitanika s teškoćama prema teškoći



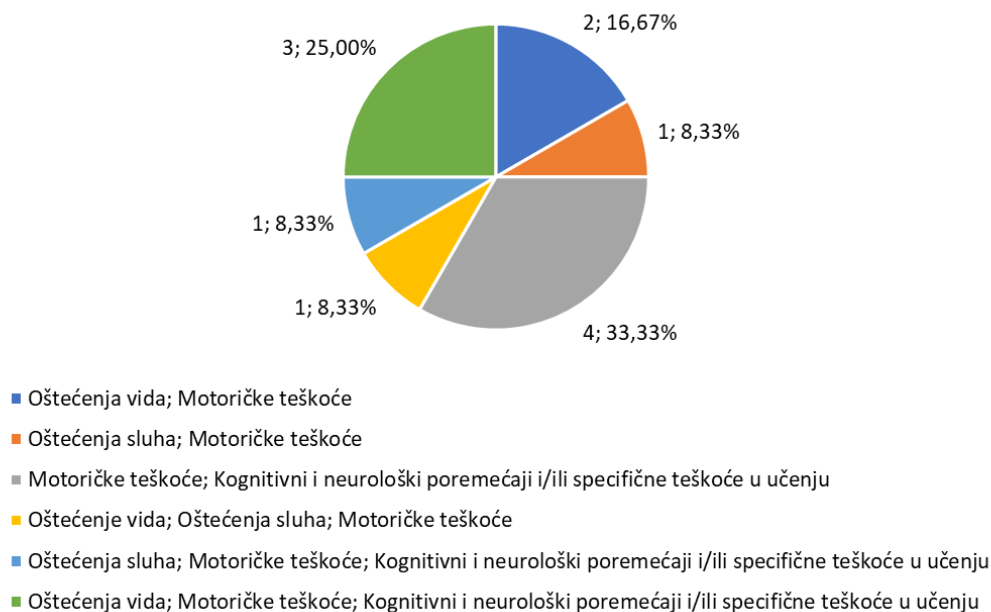
Slika 4.5 Raspodjela ispitanika s teškoćama prema vrsti teškoće ili oštećenja koju ima ($N_{teškoće}=29$)

U nastavku je navedena raspodjela ispitanika s višestrukim teškoćama ($N_{višestruke}=12$) prema kombinaciji teškoća i/ili oštećenja koje ima, a ista je prikazana na grafu na slici ispod (Slika 4.6):

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

- motoričke teškoće i kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (4 ispitanika ili 33,33%),
- oštećenja vida, motoričke teškoće i kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (3 ispitanika ili 25%),
- oštećenja vida i motoričke teškoće (2 ispitanika ili 16,7%),
- oštećenja sluha i motoričke teškoće (1 ispitanik ili 8,33%),
- oštećenja vida, oštećenja sluha i motoričke teškoće (1 ispitanik ili 8,33%),
- oštećenja sluha, motoričke teškoće i kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (1 ispitanik ili 8,33%).

Raspodjela ispitanika s višestrukim teškoćama prema vrsti teškoća i/ili oštećenja



Slika 4.6 Raspodjela ispitanika s višestrukim teškoćama prema vrsti teškoća i/ili oštećenja ($N_{višestruke}=12$)

U kategoriji višestrukih teškoća, motoričke teškoće su prisutne kod svih ispitanika s višestrukim teškoćama, zatim su najrasprostranjeniji kognitivni i neurološki poremećaji/specifične teškoće u učenju iza kojih slijede oštećenja vida te oštećenja sluha. Sljedeća tablica (Tablica 4.1) prikazuje apsolutnu i relativnu frekvenciju pojavljivanja pojedine teškoće u kategoriji ispitanika s višestrukim teškoćama, u skupini ispitanika s jednom teškoćom te u cjelokupnoj skupini ispitanika s teškoćama.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

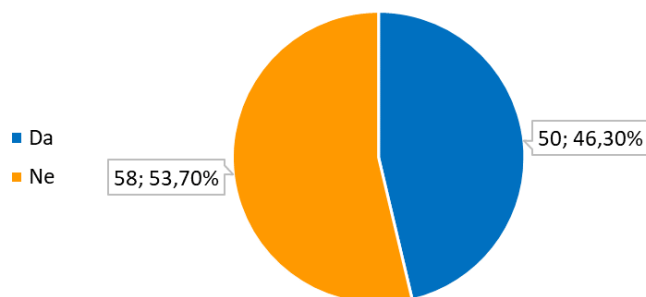
Tablica 4.1 Frekvencija pojavljivanja pojedine teškoće u skupini ispitanika s višestrukim teškoćama, kod ispitanika s pojedinačnom teškoćom te sumirano

	Skupina ispitanika	Višestruke teškoće		Pojedinačne teškoće		Sumirano	
	Broj ispitanika	N _{višestruke} = 12		N _{pojedinačno} =17		N _{teškoće} =29	
	Apsolutna i relativna frekvencija	f	%	f	%	f	%
Vrsta teškoće	Motoričke teškoće	12	100	5	29,41	17	36,96
	Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju	8	66,67	8	47,06	16	34,78
	Oštećenja vida	6	50	1	5,88	7	15,22
	Oštećenja sluha	3	25	3	17,65	6	13,04

U analizi koja slijedi, ispitanici su kategorizirani u skupine prema vrsti teškoće pri čemu se ispitanici s višestrukim teškoćama promatraju kao zasebna kategorija.

Prije daljnje analize podataka, važno je napomenuti još neke demografske činjenice prema prikupljenim podacima iz upitnika. Sljedeći graf (Slika 4.7) prikazuje da većina ispitanika nije imala prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću (njih 58 ili 53,70%) dok je njih 50 ili 46,30% imalo prethodnog iskustva, pri čemu je njih 10 proširenu stvarnost koristilo samo jednom u životu, 36 nekoliko puta, a samo 4 sudionika koristi često.

Prethodno iskustvo s proširenom stvarnošću



Slika 4.7 Raspodjela sudionika prema prethodnom iskustvu s proširenom stvarnošću

U nastavku slijede rezultati analize kvantitativnih i kvalitativnih podataka prikupljenih tijekom procesa korisničkog testiranja.

4.3. Analiza prikupljenih podataka i rezultata upitnika

Najprije slijedi analiza kvantitativnih podataka prikupljenih tijekom prve aktivnosti korisničkog testiranja, tj. tijekom igranja ozbiljne igre *AnalitičARka*.

4.3.1. Analiza kvantitativnih podataka

Temeljem interakcijskih parametara definiranih za praćenje događaja u kontekstu pristupačnosti u ozbiljnoj igri *AnalitičARka*, prikupljena je kvantitativna metrika koja čini temelj za analizu uporabivosti, pristupačnosti i korisničkog zadovoljstva interakcijama. U nastavku su opisani rezultati analize odabranih interakcijskih parametara: vrijeme po zadatku, opcija traženja pomoći u zadatku, opcija preskoka zadatka, promjena postavki igre te subjektivna ocjena interakcija. Automatski pohranjene podatke o interakcijama sudionika u korisničkom testiranju moguće je izvesti iz *Learning Lockera* u formatu .csv te iz njih izvući parametre/metriku za analizu.

4.3.1.1. Vrijeme po zadacima

Najprije će se analizirati uobičajena metrika koja se koristi pri evaluaciji uporabivosti rješenja, tj. vrijeme potrebno po zadatku. Kako je ranije spomenuto, *AnalitičARka* sadrži devet zadataka koji u sebi inkorporiraju različite mehanizme interakcije u proširenoj stvarnosti. U nastavku je prikazana tablica koja preslikava pojedini zadatak na mehanizam interakcije koji se koristi u zadatku (Tablica 4.2). Dakle, zadatak u ozbiljnoj igri koncipiran je na način da korisnik mora odraditi traženu interakciju za nastavak igre, s mogućnosti odabira mehanizma interakcije u pojedinim zadacima (prema intuitivnosti). U slučaju nemogućnosti odrade tražene interakcije, korisnik može preskočiti zadatak što nije slučaj za zadatak *Skeniranja* koji je nužan za uspostavljanje scene za proširenu stvarnost kako bi se testiranje obavilo. Kompleksnost preostalih zadataka u tablici određena je uzimajući u obzir minimalni broj potrebnih interakcija da se zadatak izvrši koristeći interakcije na raspolaganju.

Tablica 4.2 Mogućnosti interakcija po zadacima u ozbiljnoj igri *AnalitičARka*

Zadatak	Mehanizam interakcije	Kompleksnost
Zadatak 1	Dodir	1
Zadatak 2	Povlačenje	1
Zadatak 3	Tipke sa strelicama	2
Zadatak 4	Dodir i geste za skaliranje	2
Zadatak 5	Tipke za skaliranje	1
Zadatak 6	Dodir, povlačenje i tipke sa strelicama (izbor)	3
Zadatak 7	Geste rotacije (povlačenje i rotacija s dva prsta, izbor)	2
Zadatak 8	Tipke za rotaciju	1
Zadatak 9	Geste/tipke za rotaciju, geste/tipke za skaliranje (izbor)	4

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Za vrijeme potrebno za izvršavanje pojedinog zadatka (*Skeniranje* i *Zadatak 1-9*) izračunata je deskriptivna statistika koja uključuje sve ispitanike ($N=108$). Izračunate mjere (prosječna vrijednost M , medijan C , standardna devijacija Sd , minimalna i maksimalna vrijednost (min i max), raspon R , prvi i treći kvartil (Q_1 i Q_3), interkvartilni raspon IQR , indeks simetričnosti Sk (*Skewness*), indeks spljoštenosti distribucije Ku (*Kurtosis*) te interval pouzdanosti CI) prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4.3). Vrijeme po zadatku za sve sudionike prikazano je i grafički korištenjem kutijastog dijagrama (engl. *Box and whisker plot*) na slici ispod (Slika 4.8) te uključuje oznaku sljedećih vrijednosti za svaki zadatak: max , min , IQR , M , C , kao i stršee vrijednosti.

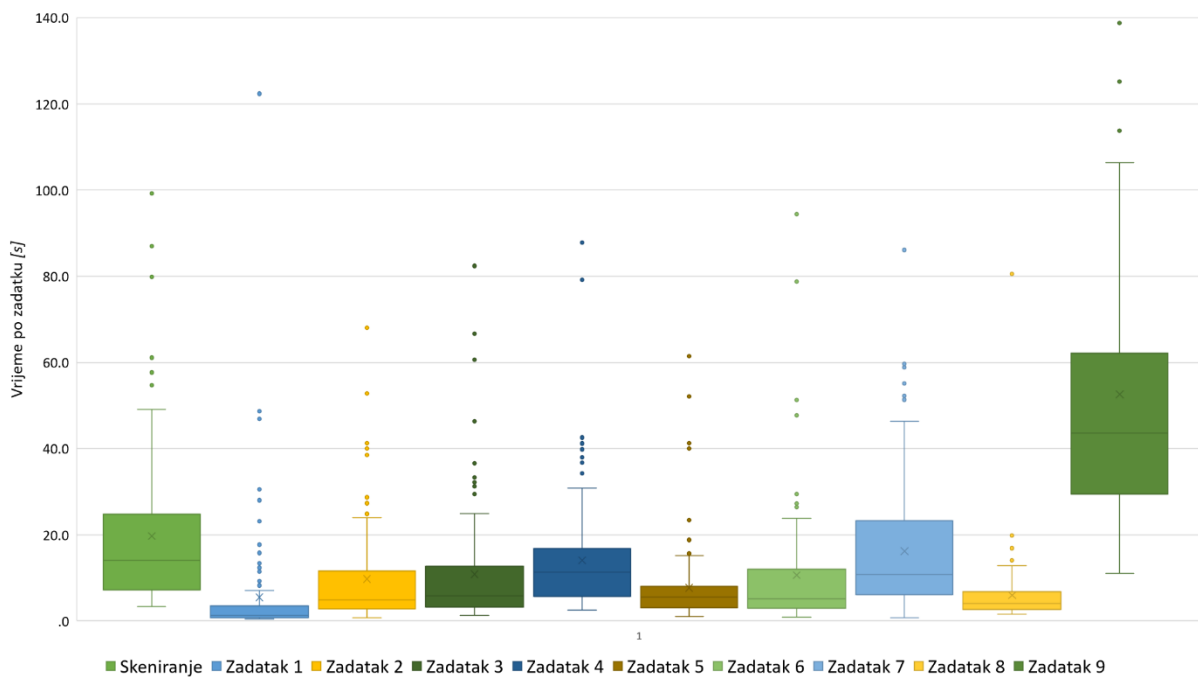
Iz mjera deskriptivne statistike se da zaključiti kako postoji znatna varijabilnost u vremenima izvođenja zadataka. Prvenstveno se ističe *Zadatak 9* kao zadatak za kojeg je sudionicima bilo potrebno najviše vremena što nije iznenađujući rezultat jer je ovaj zadatak najstroženiji i uključuje unos broja u polje prije čega je virtualni objekt potrebno transformirati (ili mu se približiti) kako bi broj bio vidljiv. Također, za ovaj su zadatak podaci najraspršeniji. Sljedeći se ističe *Skeniranje* kao zadatak koji je nužan za igru u proširenoj stvarnosti. Za ovaj zadatak također nije iznenađujuće da zahtijeva više vremena jer ovisi o okolini u kojoj se korisnik nalazi, ali ulogu može igrati i prethodno iskustvo s proširenom stvarnošću te ponovljeni postupak skeniranja ako korisnik nije zadovoljan s odabranom površinom. Ističu se *Zadatak 4* i *Zadatak 7* koji imaju veće vrijednosti M i C od preostalih zadataka. Oba zadatka uključuju dodirne geste pri čemu je u *Zadatku 4*, prije odrađivanja tražene interakcije s virtualnim objektom, potrebno najprije odabrati objekt dodiranjem na objekt te je moguće da pojedini ispitanici nisu to odmah uočili. U *Zadatku 7* su moguća dva načina dodirnih gesti za rotaciju (povlačenje u stranu i rotacija s dva prsta u stranu). Rotacijom objekta korisnik treba napraviti puni krug što je prikazano indikatorom u obliku kruga ispod objekta. Više vremena za rješavanje ovog zadatka stoga može proizaći i iz toga da je indikator korisnika navodio na gestu rotacije povlačenjem prsta u krug što u igri nije prepoznato kao ispravan mehanizam interakcije. *Zadatak 1* ima najmanje vrijednosti M , C i IQR što ukazuje na to da je interakcija dodira za odabir objekta zahtijevala najmanje vremena za većinu ispitanika i da su podaci najmanje raspršeni za ovaj zadatak. Iza *Zadatka 1* po nižim spomenutim vrijednostima slijedi *Zadatak 8* u kojem se koriste neizravne kontrole (tipke) za rotaciju objekta.

Dijagrami za sve zadatke pokazuju pozitivno asimetričnu distribuciju podataka.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Tablica 4.3 Mjere deskriptivne statistike za vrijeme potrebno za rješavanje zadataka za sve ispitanike (N=108) u sekundama

Zadatak	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M	19,68	5,48	9,78	10,86	14,04	7,69	10,67	16,20	5,94	52,58
C	14,03	1,25	4,83	5,85	11,26	5,50	5,20	10,82	4,10	43,63
Sd	17,62	13,99	11,96	14,13	13,41	9,17	14,38	15,12	8,11	35,84
min	3,33	0,50	0,73	1,30	2,56	1,07	0,90	0,73	1,60	11,03
max	99,25	122,36	68,07	82,4	87,83	61,44	94,43	86,13	80,53	229,23
R	95,92	121,86	67,34	81,1	85,27	60,37	93,53	85,4	78,93	218,2
Q1	7,44	0,8	2,77	3,28	5,72	3,16	3	6,15	2,7	29,5
Q3	24,66	3,47	11,55	12,4	16,77	8,01	12,01	23,11	6,53	61,54
IQR	17,22	2,67	8,78	9,12	11,06	4,85	9,01	16,95	3,83	32,03
Sk	2,18	6,19	2,44	2,95	3,03	3,91	3,47	1,97	7,53	2,19
Ku	5,7	46,9	6,59	9,68	12,47	17,52	14,97	4,59	67,88	6,55
CI=95%	16.35; 23	2.84; 8.12	7.52; 12.03	8.19; 13.52	11.51; 16.57	5.96; 9.42	7.95; 13.38	13.35; 19.05	4.41; 7.47	45.82; 59.33



Slika 4.8 Kutijasti dijagram s prikazom vremena za rješavanje pojedinog zadatka (N=108)

Izdvajanjem vremena po zadacima **prema kategoriji teškoće**, dobiju se rezultati predstavljeni u nastavku. Za ispitivanje statistički značajne razlike u srednjim rezultatima vremena za rješavanje pojedinog zadatka između ispitanika iz dvije glavne kategorije *Bez teškoća* i *Teškoće* korišten je *Mann-Whitney U* test. Rezultati ukazuju na to da nema statistički značajne razlike između ove dvije kategorije ispitanika za vrijeme izvođenja zadataka *Skeniranje* i *Zadatak 2* ($p > 0.05$), dok za preostale zadatke postoji statistički značajna razlika

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

u vremenu izvođenja: *Zadatak 1, Zadatak 3, Zadatak 4, Zadatak 5, Zadatak 6, Zadatak 7, Zadatak 8 i Zadatak 9* ($p < 0.05$). Deskriptivna statistika i rezultati *Mann-Whitney U* testa prikazani su u sljedeće dvije tablice (Tablica 4.4 i Tablica 4.5).

Tablica 4.4 Deskriptivna statistika za vrijeme po zadatku za kategorije *Teškoće* ($n=29$) i *Bez teškoća* ($n=79$)

		Srednja vrijednost	Medijan	Standardna devijacija
Skeniranje	Teškoće	19.52	15.93	17.22
	Bez teškoća	20.57	13.9	18.42
Zadatak 1	Teškoće	11.74	4.27	23.56
	Bez teškoća	3.16	0.97	7.06
Zadatak 2	Teškoće	13.45	5.8	16.4
	Bez teškoća	8.46	4.77	9.74
Zadatak 3	Teškoće	20.83	13.87	19.66
	Bez teškoća	7.06	4.53	8.88
Zadatak 4	Teškoće	23.18	16.63	20
	Bez teškoća	10.65	8.99	7.86
Zadatak 5	Teškoće	10.13	8.6	7.73
	Bez teškoća	6.33	4.47	7.67
Zadatak 6	Teškoće	21.72	13.79	22.44
	Bez teškoća	6.62	4.63	6.32
Zadatak 7	Teškoće	23.03	18.2	15.28
	Bez teškoća	13.92	9.22	14.57
Zadatak 8	Teškoće	9.65	6.43	14.33
	Bez teškoća	4.61	3.51	3.07
Zadatak 9	Teškoće	67.63	62.4	39.74
	Bez teškoća	47,52	39,23	33.38

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Tablica 4.5 Rezultati Mann-Whitney U testa za sve zadatke

	U	z	p
Skeniranje	1041	-0.27	.792
Zadatak 1	537	-4.11	<.001
Zadatak 2	957	-1.13	.261
Zadatak 3	443.5	-4.72	<.001
Zadatak 4	559.5	-3.95	<.001
Zadatak 5	613.5	-3.56	<.001
Zadatak 6	449.5	-4.68	<.001
Zadatak 7	581.5	-3.73	<.001
Zadatak 8	648.5	-3.25	.001
Zadatak 9	704	-2.85	.004

Iako je za očekivati bilo da će statistički značajna razlika između ispitanika s teškoćama i bez teškoća biti prisutna za srednje vrijeme izvođenja svih zadataka, pokazalo se da to nije slučaj za zadatke *Skeniranje* i *Zadatak 2*. Potencijalni uzrok tome za slučaj *Skeniranje* jest to što su ispitivači pojedinim korisnicima s teškoćama uskočili u pomoć te skenirali okolinu umjesto njih te su stoga brže obavili ovaj zadatak nego što bi to samostalno učinili. Budući da bez *Skeniranja* nije moguć nastavak igre, ispitivači su u ovom zadatku intervenirali na ovaj način. S druge strane, u *Zadatku 2* se koristi gesta povlačenja za translaciju objekta te je moguće da je ispitanicima s teškoćama ovaj mehanizam interakcije poznat i intuitivan te nije stvarao probleme u izvođenju.

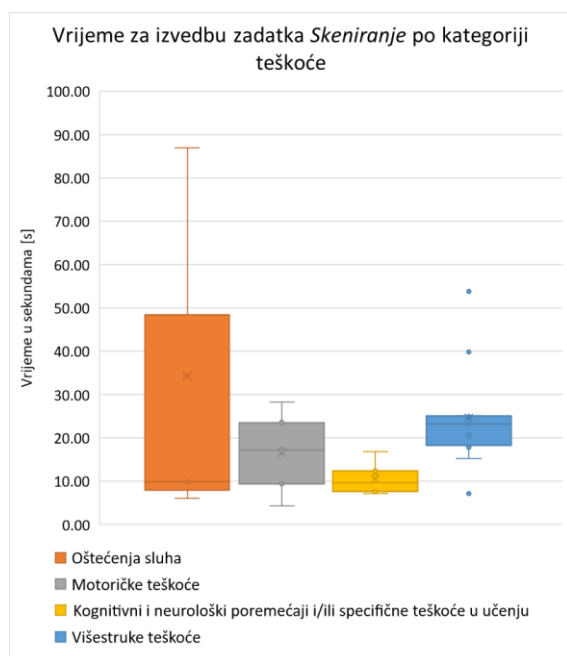
U sljedećoj tablici (Tablica 4.6) izdvojena je deskriptivna statistika (srednja vrijednost M , medijan C i standardna devijacija Sd) za vrijeme izvođenja pojedinih zadataka prema kategoriji teškoće, i to kategorije *Oštećenje sluha* ($N=3$), *Motoričke teškoće* ($N=5$), *Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* ($N=8$) i *Višestruke teškoće* ($N=12$). Za kategoriju *Oštećenje vida* ($N=1$) prikazane su izravne vrijednosti. Iz tablice je vidljivo kako pojedine kategorije teškoća imaju značajno veću srednju vrijednost vremena izvođenja zadatka u odnosu na ostale, naprimjer, to je vidljivo kod kategorije *Oštećenje sluha* za zadatke *Skeniranje* i *Zadatak 8* pri čemu je prisutna velika vrijednost Sd što ukazuje na znatnu raznolikost u rezultatima te potencijalne stršeće vrijednosti. Općenito najveće odstupanje u rezultatima ima *Zadatak 9* za sve kategorije teškoća, dok se za većinu preostalih zadataka ističe kategorija *Višestruke teškoće* koja prosječno ima najveće vrijednosti vremena izvođenja.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

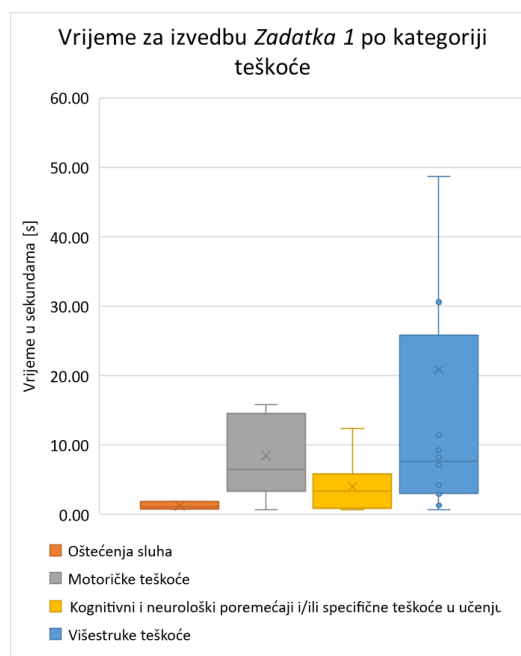
Tablica 4.6 Vrijeme po zadacima prema kategoriji teškoće [s] s izračunatim mjerama M, C i Sd

Zadatak	Oštećenja vida	Oštećenja sluha			Motoričke teškoće			Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju			Višestruke teškoće		
		M	C	Sd	M	C	Sd	M	C	Sd	M	C	Sd
Skeniranje	7,53	34,25	9,83	45,69	16,50	17,17	9,85	10,44	9,67	3,39	24,85	23,07	12,56
Zadatak 1	11,63	1,27	1,13	0,55	8,48	6,50	6,28	4,03	3,40	3,91	20,88	7,68	34,93
Zadatak 2	11,53	2,39	2,4	0,35	9,1	8,17	7,53	13,70	4,15	22,84	18,01	11,68	16,33
Zadatak 3	46,30	11,05	4,5	11,43	15,71	12,89	10,75	16,42	10,36	19,35	26,23	17,2	23,16
Zadatak 4	11,43	10,72	11,89	4,52	17,91	17,03	8,56	15,24	10,82	11,48	34,77	27,99	25,39
Zadatak 5	1,77	8,47	7,53	6,23	10,39	11,6	4,48	7,73	8,16	5,64	12,74	10,77	9,93
Zadatak 6	6,87	11,35	7,20	10,05	16,60	18,67	5,36	18,11	10,53	25,44	30,09	22,03	26,35
Zadatak 7	46,30	11,21	9,83	6,22	16,52	12,3	7,31	25,82	25,02	17,32	24,89	21,57	16,16
Zadatak 8	2,70	28,71	3,4	44,88	6,94	6,26	3,92	5,93	6,63	2,85	9,08	7,83	5,32
Zadatak 9	45,97	69,80	53,59	38,58	43,78	46,23	22,55	54,87	52,27	36,18	87,33	75,34	43,45

Grafički prikaz rezultata vremena pojedine kategorije teškoća za svaki zadatak dan je u nastavku u obliku kutijastih dijagrama (Slika 4.9-Slika 4.18). Pri tome je izostavljena kategorija *Oštećenje vida* zbog ograničenja u broju ispitanika. Provedba Kruskal-Wallis testa za ispitivanje statistički značajne razlike u vremenu izvršavanju pojedinog zadatka nije rezultirala statistički značajnim razlikama između pojedinih kategorija teškoća.

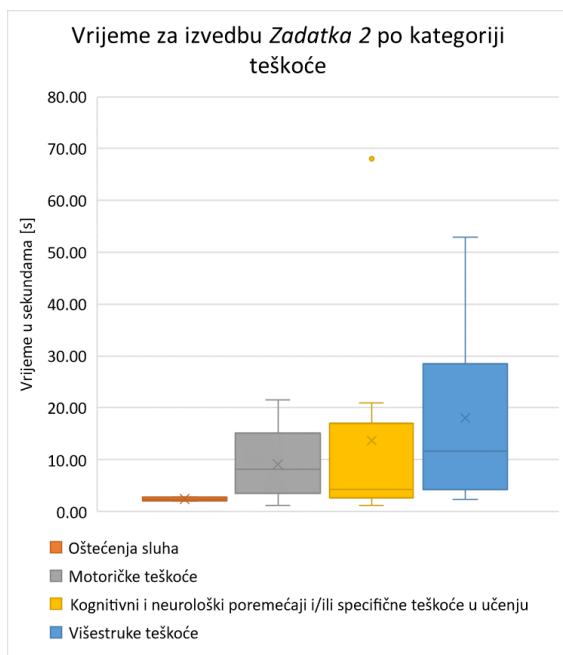


Slika 4.9 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe zadatka Skeniranja po kategoriji teškoće

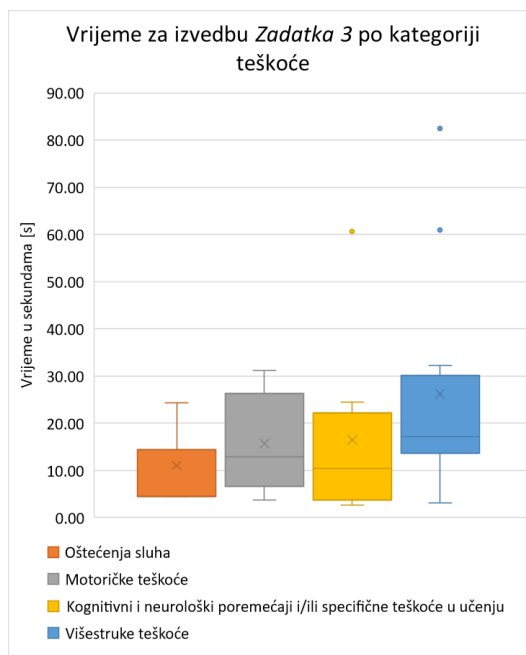


Slika 4.10 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 1 po kategoriji teškoće

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



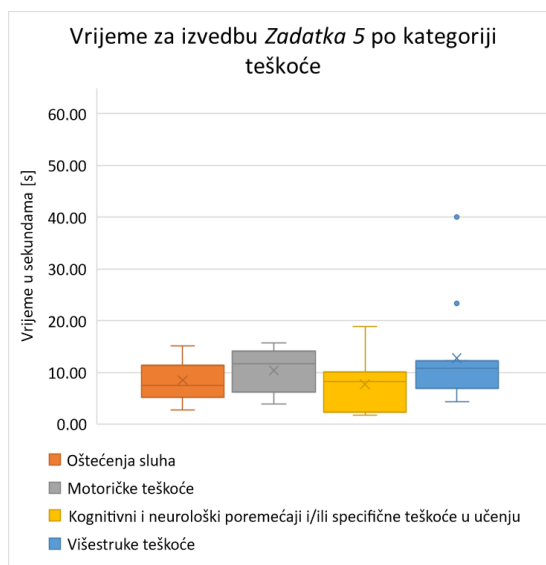
Slika 4.11 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 2 po kategoriji teškoće



Slika 4.12 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 3 po kategoriji teškoće

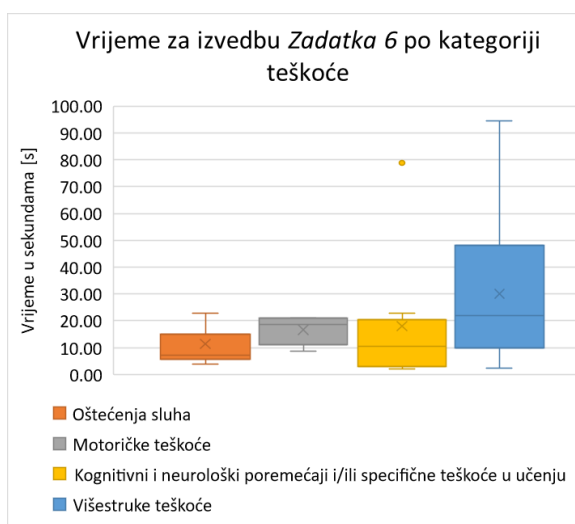


Slika 4.13 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 4 po kategoriji teškoće

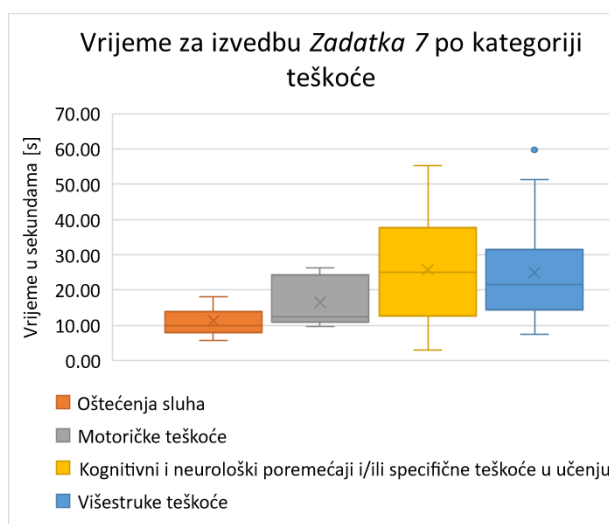


Slika 4.14 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 5 po kategoriji teškoće

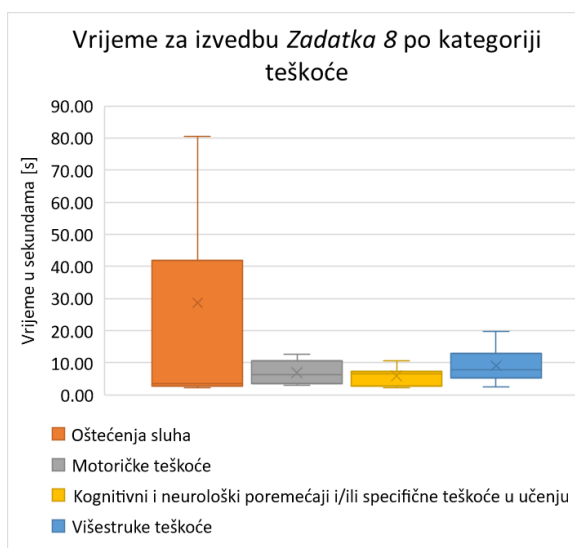
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



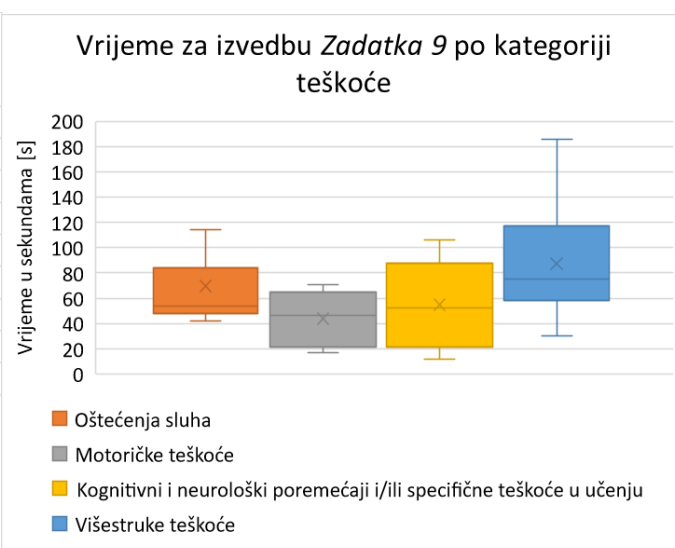
Slika 4.15 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 6 po kategoriji teškoće



Slika 4.16 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 7 po kategoriji teškoće



Slika 4.17 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 8 po kategoriji teškoće



Slika 4.18 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 9 po kategoriji teškoće

Budući da je naglasak u ovom istraživanju stavljen na različite mehanizme interakcije, ima smisla istražiti ima li statistički značajne razlike u rezultatima za pojedinu kategoriju teškoće u zadacima koji imaju isti cilj, a implementiraju različite mehanizme interakcije. U sljedećoj tablici (Tablica 4.7) su prikazani parovi zadataka i njihove interakcije za koje je napravljen *Mann-Whitney U* test za utvrđivanje postojanja statističke značajnosti u rezultatima za istu kategoriju teškoće. Iz analize su izuzete kategorije *Oštećenja vida* i *Oštećenja sluha* zbog

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

minimalnog potrebnog broja ispitanika za provedbu ovog testa. Zadaci navedeni u tablici su uzeti u obzir jer su to zadaci u kojima ispitanik nema izbora između više mehanizama interakcije te temeljem rezultata performansi korisnika i subjektivne ocjene za ove zadatke, ispitaniku su dodijeljeni mehanizmi interakcije u drugoj ozbiljnoj igri.

Tablica 4.7 Parovi zadataka i mehanizmi interakcije uzeti u obzir

Parovi zadataka (Zadatak A-Zadatak B)	Mehanizmi interakcije	
	Zadatak A	Zadatak B
Zadatak 2-Zadatak 3 (Translacija A-Translacija B)	Povlačenje	Tipke sa strelicama
Zadatak 4-Zadatak 5 (Skaliranje A-Skaliranje B)	Gesta skaliranja (<i>pinch, zoom</i>)	Tipka za povećanje/smanjenje
Zadatak 7-Zadatak 8 (Rotacija A-Rotacija B)	Geste rotacije (<i>swipe, two-finger-rotate</i>)	Tipke za rotaciju ulijevo/udesno

Rezultati *Mann-Whitney U* testa prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 4.8) impliciraju kako nema statistički značajnih razlika u rezultatima za kategoriju *Motoričke teškoće*, dok u kategoriji *Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* postoji statistički značajna razlika za par zadataka *Zadatak 7-Zadatak 8* ($U=6, p=.005, r= 0.68$) te u parovima zadataka *Zadatak 4-Zadatak 5* u kategorijama *Višestruke teškoće* ($U=21, p=.002, r= 0.6$) i *Bez teškoća* ($U=1554.5, p<.001, r=0.41$) i u parovima zadataka *Zadatak 7-Zadatak 8* u kategorijama *Višestruke teškoće* ($U=18, p=.001, r= 0.64$) i *Bez teškoća* ($U=1062.5, p<.001, r= 0.55$). Prema izračunatoj deskriptivnoj statistici te iz pogleda na prethodne grafove, da se zaključiti kako su vrijednosti *Zadataka 4 i 7* veće od vrijednosti njihovog para, odnosno *Zadataka 5 i 8*, što znači da je ispitanicima iz navedenih kategorija teškoća trebalo **više vremena za odraditi zadatke uz geste skaliranja i rotacije nego uz tipke za skaliranje i rotaciju objekta**. Ovaj rezultat pokazuje da izbor mehanizma interakcije za zadatke skaliranja i rotacije objekta ima značajan utjecaj na vrijeme izvršenja zadatka unutar ovih kategorija teškoća: *Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* (samo za rotaciju), *Višestruke teškoće* i *Bez teškoća* (skaliranje i rotacija). Isto se pokazalo i u ispitivanju rezultata za cjelokupan skup ispitanika, stoga je generalni zaključak da se zadaci skaliranja i rotacije u proširenoj stvarnosti mogu smatrati lakšima kada se obavljaju uz interakcijske mehanizme neizravnih kontrola, tj. tipki jer se pokazalo da je vrijeme izvođenja uz ove interakcijske mehanizme značajno kraće nego uz dodirne geste.

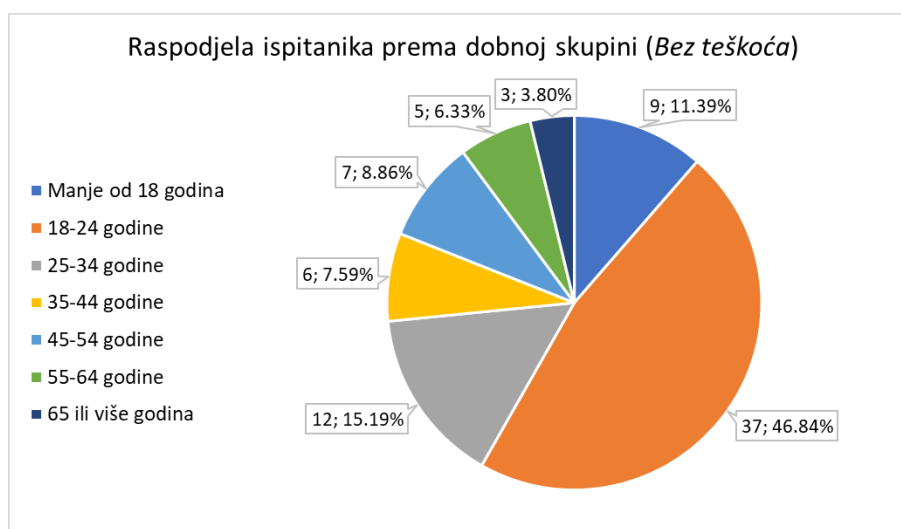
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Tablica 4.8 Rezultati Mann-Whitney U testa za parove zadataka i pojedinu kategoriju teškoće

Kategorija teškoće		U	z	p
Motoričke teškoće	Zadatak 3-Zadatak 2	7	-1.15	.31
	Zadatak 5-Zadatak 4	6	-1.36	.222
	Zadatak 8-Zadatak 7	3	-1.98	.056
Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju	Zadatak 3-Zadatak 2	25.5	-0.68	.505
	Zadatak 5-Zadatak 4	17	-1.58	.13
	Zadatak 8-Zadatak 7	6	-2.73	.005
Višestruke teškoće	Zadatak 3-Zadatak 2	52	-1.15	.266
	Zadatak 5-Zadatak 4	21	-2.94	.002
	Zadatak 8-Zadatak 7	18	-3.12	.001
Bez teškoća	Zadatak 3-Zadatak 2	2869	-0.21	.837
	Zadatak 5-Zadatak 4	1554.5	-5.1	<.001
	Zadatak 8-Zadatak 7	1062.5	-6.73	<.001
Svi ispitanici	Zadatak 3-Zadatak 2	5101.5	-1.05	.297
	Zadatak 5-Zadatak 4	3041.5	-5.77	<.001
	Zadatak 8-Zadatak 7	2084.5	-7.79	<.001

U nastavku su opisani rezultati analize vremena izvođenja zadataka **prema dobnoj skupini** pri čemu je promatrana kategorija *Bez teškoća* (N=79). Raspodjela ispitanika prema dobnoj skupini tada izgleda kao na grafu slike ispod (Slika 4.19). Kako je vidljivo iz grafa, najveći udio čine ispitanici iz dobne skupine 18-24 godine (46.84%, 37 ispitanika). Većina ovih ispitanika su studenti preddiplomskog studija FER-a koji su se odazvali na poziv istraživanju na kolegiju Ergonomija u računarstvu te su zbog toga najbrojnija skupina. Sljedeća najbrojnija skupina su ispitanici iz dobne skupine 25-34 godine (15.19%, 12 ispitanika), zatim iz dobne skupine *Manje od 18 godina* (11.39%, 9 ispitanika), potom iz dobne skupine 45-54 godine (8.86%, 7 sudionika), iz dobne skupine 35-44 godine (7.59%, 6 ispitanika), 55-64 godine (6.33%, 5 ispitanika), te iz dobne skupine 65 godina ili više (3.80%, 3 ispitanika).

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.19 Raspodjela ispitanika bez teškoća prema dobnoj skupini (N=79)

U nastavku je prikazana izračunatom deskriptivnom statistikom (srednja vrijednost M , medijan C i standardna devijacija Sd) za vrijeme izvođenja pojedinih zadataka prema dobnoj skupini ispitanika (Tablica 4.9). Kako bi imali sličan uzorak među skupinama i uzorak podoban za kasnije ispitivanje statistički značajne razlike u izvođenju vremena među grupama, odlučeno je spojiti posljednje dvije dobne skupine u jednu čime se dobiva dobna skupina *55 godina i više* (N=8).

Tablica 4.9 Vrijeme po zadacima prema dobnoj skupini [s] s izračunatim mjerama M , C i Sd

Zadatak	Manje od 18 godina			18-24 godina			25-34 godina			35-44 godina		
	M	C	Sd	M	C	Sd	M	C	Sd	M	C	Sd
Skaliranje	12,06	9,57	8,90	16,70	12,52	12,56	38,58	34,41	30,01	11,94	9,78	8,10
Zadatak 1	3,52	1,93	4,82	2,37	0,87	4,58	1,07	0,92	0,52	1,31	1,18	0,58
Zadatak 2	6,5	6,22	4,61	7,86	4,73	10,14	5,56	3,18	4,05	5,71	4,15	5,29
Zadatak 3	5,06	3,2	4,67	6,51	3,85	10,68	4,58	5,25	2,02	12,67	6,77	12,32
Zadatak 4	8,62	4,6	6,81	9,65	7,83	7,59	8,72	9,01	3,96	7,76	8,68	3,39
Zadatak 5	5,42	3,6	4,51	4,82	3,43	3,83	4,79	4,3	3,15	6,18	6,3	1,54
Zadatak 6	8,23	5,66	6,32	3,83	3,16	2,30	7,48	6,37	7,01	5,00	4,98	1,93
Zadatak 7	11,97	10,8	7,45	10,72	7,19	9,98	8,06	5,28	8,05	25,74	27,69	20,74
Zadatak 8	5,24	5,1	3,11	4,10	2,77	3,07	4,40	3,14	4,15	5,35	5,18	2,10
Zadatak 9	34,72	33,07	20,28	43,02	36,59	24,92	45,04	43,75	24,36	35,15	35,2	11,65
	45-54 godina			55 ili više godina								
	M	C	Sd	M	C	Sd						
Skeniranje	18,56	12,73	15,14	23,38	19,66	15,41						
Zadatak 1	5,74	1,67	9,88	8,71	0,87	16,54						
Zadatak 2	17,76	14,65	14,42	8,92	4,64	10,52						
Zadatak 3	7,42	7,43	3,44	12,33	10,55	8,9						
Zadatak 4	17,98	17,12	9,00	18	16,74	11,47						
Zadatak 5	6,35	6,77	1,78	16,04	6,96	22,45						

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Zadatak 6	11,04	4,86	11,73	16,13	17,27	6,49
Zadatak 7	33,24	24,82	27,93	13,48	12,33	4,92
Zadatak 8	4,32	4,33	1,11	6,58	5,03	2,89
Zadatak 9	93,69	60,95	69,75	58,01	53,53	27,86

Najveće odstupanje u performansama se ponovno da zamijetiti za *Zadatak 9*, i to za sve dobne skupine, dok su ispitanici većine dobnih skupina najbrže riješili *Zadatak 1* i *Zadatak 8*. Iako se još neke vrijednosti iz tablice mogu izdvojiti, uz prisutnost velike standardne devijacije koja ukazuje na raspršenost i varijabilnost podataka, u ovom kontekstu nije moguće donositi zaključke za određenu dobnu skupinu i zadatak. Provedbom *Kruskal-Wallis* testa za ispitivanje statistički značajne razlike u vremenu izvršavanja pojedinog zadatka između dobnih skupina rezultirala je sa statistički značajnom razlikom za *Zadatak 6* i *7*. Post-hoc *Dunn-Bonferroni* testom je potvrđeno između kojih dobnih skupina je pronađena statistički značajna razlika (vrijednost *p* nakon *Bonferroni* korekcije je manja od 0.05):

- u *Zadatku 6* između skupine *18-24 godina* i *55 ili više godina* pri čemu su ispitanici dobne skupine *18-24 godine* značajnije brže izveli *Zadatak 6*. Radi se o zadatku u kojem je potrebno odabrati i translirati objekt do traženog mjesta interakcijom po izboru stoga je moguće da su ispitanici stariji od 55 godina imali poteškoće s razumijevanjem ove kombinacije interakcija dok je mlađoj skupini ovo bilo intuitivnije.
- u *Zadatku 7* između skupine *25-34 godina* i *45-54 godina* pri čemu je skupina *25-34 godina* brže riješili navedeni zadatak. Ovdje se radi o rotaciji objekta gestama na dva moguća načina, no očito ispitanicima dobne skupine *45-54 godina* to nije bilo dovoljno intuitivno ili su imali drugih poteškoća prilikom izvedbe.

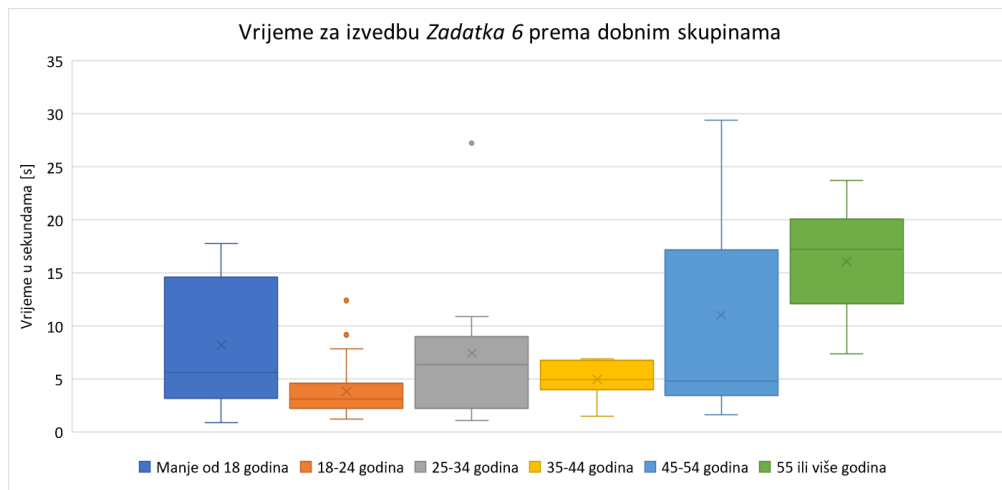
Tablica 4.10 Rezultati *Kruskal-Wallis* testa za zadatke s potvrđenim značajnim razlikama u vremenu

Zadatak	Skupine	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>p*</i>
<i>Zadatak 6</i>	<i>18-24 godina</i> i <i>55 ili više godina</i>	17.29	5	.004	.004
<i>Zadatak 7</i>	<i>25-34 godina</i> i <i>45-54 godina</i>	14.79	5	.011	.026

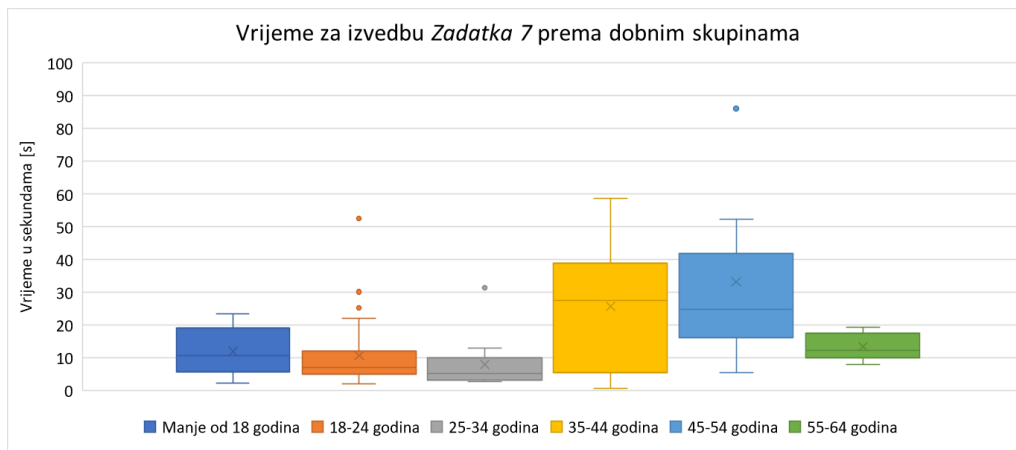
*p** - vrijednost *p* nakon *Bonferroni* korekcije

Za navedene zadatke (6 i 7) su prikazani kutijasti dijagrami za sve dobne skupine (Slika 4.20 i Slika 4.21), a iz kojih su daju naslutiti pronađene razlike među navedenim dobnim skupinama.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.20 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 6 prema dobnim skupinama



Slika 4.21 Kutijasti dijagram za vrijeme izvedbe Zadatka 7 prema dobnim skupinama

Kako bi ispitali ima li statistički značajne razlike u rezultatima vremena za pojedinu dobnu skupinu za parove zadataka navedene u tablici Tablica 4.7 (par zadataka koji za cilj ima istu transformaciju objekta, ali s različitim mehanizmima interakcije), napravljen je *Mann-Whitney U* test. Rezultati testa su prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 4.11). Statistički značajna razlika u vremenu izvođenja zadataka potvrđena je za dobnu skupinu *Manje od 18 godina* za *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=14$, $p=.019$, $r= 0.55$), zatim za dobnu skupinu *18-24 godine* za *Zadatak 5-Zadatak 4* ($U=279$, $p<.001$, $r= 0.51$) i *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=216$, $p<.001$, $r= 0.59$), zatim za skupinu *25-34 godine* i *Zadatak 5-Zadatak 4* ($U=29$, $p=.012$, $r= 0.51$) i *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=34$, $p=.028$, $r= 0.45$), za skupinu *45-54 godine* te *Zadatak 5-Zadatak 4* ($U=6$, $p=.017$, $r= 0.63$) i *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=1.5$, $p=.001$, $r= 0.79$), te za skupinu *55 i više godina* za *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=2$, $p=.032$, $r= 0.7$). Jedina dobnu skupina unutar koje nije pronađena niti jedna

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

statistički značajna razlika u vremenu izvođenja navedenih parova zadataka je *35-44 godine*, no uzrok tome može biti i mali uzorak. Za par zadataka vezan uz **rotaciju** objekta je u svim preostalim dobnim skupinama potvrđena je statistički značajna razlika u vremenu izvođenja, dok je za par zadataka vezan uz **skaliranje** objekta pronađena statistički značajna razlika za dobne skupine 18-24, 25-34 i 45-54 godine. Razlika je pronađena u smislu da su vrijednosti *Zadataka 4 i 7* veće od vrijednosti njihovog para, odnosno *Zadataka 5 i 8*, što znači da je ispitanicima iz navedenih dobnih skupina trebalo **više vremena za odraditi zadatke uz geste za skaliranje/rotaciju nego uz tipke za skaliranje/rotaciju objekta**. Ovaj rezultat pokazuje da izbor mehanizma interakcije za zadatke skaliranja i rotacije objekta može imati značajan utjecaj na vrijeme izvršenja zadatka.

Tablica 4.11 Rezultati Mann-Whitney U testa za parove zadataka i pojedinu dobnu skupinu

Dobna skupina		U	z	p
Manje od 18 godina	Zadatak 3-Zadatak 2	26.5	-.91	.37
	Zadatak 5-Zadatak 4	27	-1.19	.258
	Zadatak 8-Zadatak 7	14	-2.34	.019
18-24 godine	Zadatak 3-Zadatak 2	609.5	-0.62	.538
	Zadatak 5-Zadatak 4	279	-4.38	<.001
	Zadatak 8-Zadatak 7	216	-5.07	<.001
25-34 godine	Zadatak 3-Zadatak 2	67	-0.29	.799
	Zadatak 5-Zadatak 4	29	-2.48	.012
	Zadatak 8-Zadatak 7	18	-3.12	.001
35-44 godine	Zadatak 3-Zadatak 2	10	-1.28	.24
	Zadatak 5-Zadatak 4	11	-1.12	.31
	Zadatak 8-Zadatak 7	8	-1.6	.132
45-54 godine	Zadatak 3-Zadatak 2	15	-1.05	.297
	Zadatak 5-Zadatak 4	6	-2.36	.017
	Zadatak 8-Zadatak 7	1.5	-2.94	.001
55 i više godina	Zadatak 3-Zadatak 2	11	-1.12	.31
	Zadatak 5-Zadatak 4	12	-0.96	.394
	Zadatak 8-Zadatak 7	2	-2.2	.032

4.3.1.2. Opcija traženja pomoći po zadacima

U nastavku je analizirano korištenje opcije traženja pomoći po zadacima. Prije pokretanja svakog zadatka, korisnik dobije tekstualnu uputu što treba napraviti (npr. dovesti virtualni objekt do traženog mjesta). Pomoć se odnosi na dodatne upute u igri za pojedini zadatak koje korisnik može odabrati klikom na tipku s upitnikom (Slika 4.22). Dodatne upute opisuju što se točno očekuje od korisnika da napravi, uključujući opis interakcijskog mehanizma, da uspješno završi zadatak.

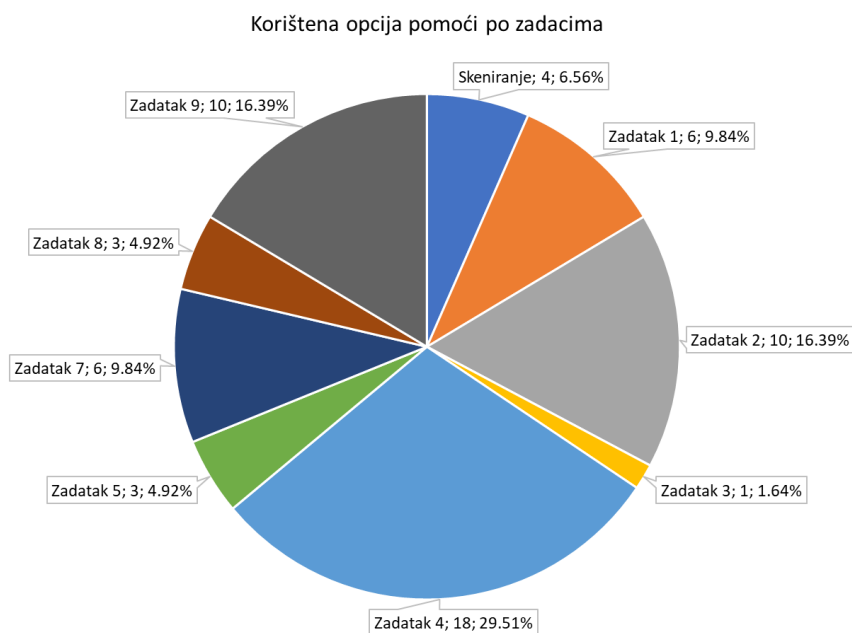


Slika 4.22 Preslika zaslona s označenom tipkom za Pomoć

Raspodjela traženja pomoći po zadacima prikazana je na grafu na sljedećoj slici (Slika 4.23). Ispitanici su tražili pomoć ukupno 67 puta. Najveći udio traženja pomoći je u *Zadatku 4* (29,51% od ukupnog traženja pomoći u igri ili 18 zahtjeva). Budući da je ovo zadatak u kojem je potrebno najprije odabrati objekt pa ga zatim povećati, moguće je da pojedini ispitanici nisu odmah uočili da treba odabrati objekt te su zbog toga tražili dodatne upute. Sljedeći po udjelu traženja pomoći su *Zadatak 2* i *9* (16,39% ili 10 zahtjeva u svakom zadatku). *Zadatak 2* uključuje gestu povlačenja objekta (translacije) pri čemu je potrebno prst povlačiti po zaslonu od objekta prema traženom mjestu. Budući da zadatak navodi korisnika da objekt *odvede* do traženog mjesta, moguće je da je korisnicima trebalo dodatno pojašnjenje kako točno to napraviti. *Zadatak 9* je kompleksniji od ostalih te traži ulaganje dodatnog napora kako bi se riješio. U zadatku je potrebno *pronaći* detalj na objektu koji omogućava rješavanje zadatka. Ako korisniku nije bilo jasno kako to može napraviti, moguće da je tražio dodatne upute. *Zadatak 1* i *7* su sljedeći po udjelu traženja pomoći (9,84% ili 6 zahtjeva u svakom zadatku). U

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

prvom zadatku je nakon skeniranja potrebno dotaknuti objekt kako bi se nastavila interakcija s njim. S obzirom na to da je ovo prvi zadatak te da korisnici u većinskom udjelu nisu imali prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću, moguće je da im nije bilo intuitivno što je potrebno raditi bez obzira na uputu zadatka. U *Zadatku 7* objekt je potrebno okrenuti gestama rotacije. Jedan od razloga traženja pomoći moguće je nerazumijevanje načina ispunjavanja zadatka, odnosno, moguće je da je pojedine ispitanike zbunjivao indikator oko objekta navodeći ih na krivi način izvedbe interakcije. Iz grafa na slici vidljivo je da nema *Zadatka 6* jer nijedan ispitanik u tom zadatku nije tražio pomoć. Razlog tome može biti to što je u ovom zadatku potrebna interakcija koja se već pojavila u *Zadacima 2 i 3* pa je korisnik znao što treba napraviti. Preostali zadaci (3, 5 i 8) imaju udio traženja pomoći manji od 5%, odnosno manje od 4 zahtjeva.



Slika 4.23 Raspodjela traženja pomoći po zadacima (zadatak; broj zahtjeva; udio od ukupnog traženja pomoći)

Frekvencije korištenja opcije pomoći u pojedinom zadatku prema kategoriji teškoće prikazane su u tablici ispod (Tablica 4.12). U *Zadatku 4*, koji je zadatak s najvećim udjelom tražene pomoći, pomoć su tražili ispitanici iz svih kategorija osim iz kategorije *Oštećenja vida*. Za *Zadatke 2 i 9* koji su sljedeći po udjelu traženja pomoći, vidljivo je kako taj udio dolazi najviše od ispitanika bez teškoća. Ističe se još *Zadatak 1* u kojem su po 2 ispitanika iz kategorija *Motoričke teškoće*, *Višestruke teškoće* i *Bez teškoća* tražile pomoć. Kategorija *Bez teškoća* se ističe kao kategorija u kojoj je barem 1 ispitanik tražio pomoć u svim zadacima (osim *Zadatku*

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

6 u kojem nitko nije tražio pomoć). Izračun prosjeka broja korištenja opcije pomoći po korisniku implicira vrlo rijetko traženje pomoći, odnosno korisnici iz svih kategorija teškoća, isključujući *Oštećenje vida*, tražili su pomoć manje od jedanput kroz sve zadatke.

Tablica 4.12 Frekvencija i prosjek broja korištenja pomoći po korisniku prema kategoriji teškoće

Zadatak	Oštećenja vida (N=1)		Oštećenja sluha (N=3)		Motoričke teškoće (N=5)		Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (N=8)		Višestruke teškoće (N=12)		Bez teškoća (N=79)	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Sken.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8,33	3	3,8
1	-	-	-	-	2	40	-	-	2	16,67	2	2,53
2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8,33	10	12,66
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,27
4	-	-	1	33,33	1	12,5	1	12,5	4	33,33	11	13,92
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3,8
7	1	100	-	-	-	-	-	-	2	16,6	2	2,53
8	-	-	1	33,33	-	-	-	-	-	-	2	2,53
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	13,92
Σ	1	-	2	-	3	-	1	-	10	-	45	-
Prosjek (Σ/N)	1	-	0,67	-	0,6	-	0,125	-	0,83	-	0,57	-

Ista tablica s prikazom frekvencije korištenja opcije pomoći u pojedinom zadatku, ali prema dobnim skupinama prikazana je u nastavku (Tablica 4.13). Potrebno je napomenuti kako su i u ovoj analizi izdvojeni ispitanici prema dobnim skupinama isključujući ispitanike s teškoćama (N=79) te da u tablici nije prikazan *Zadatak 6* jer u njemu niti jedan ispitanik nije tražio pomoć.

U skupini ispitanika *Bez teškoća* najveći udio tražene pomoći je u *Zadatku 4* i *9* te su u njima pomoć tražili ispitanici dobnih skupina *Manje od 18 godina* (po 11% ispitanika u svakom zadatku), *18-24 godine* (18,92% u *Zadatku 4* i 24,32% u *Zadatku 9*), *45-54 godine* (14,29% u *Zadatku 4*) i *55 ili više godina* (25% u *Zadatku 4* i 12,5% u *Zadatku 9*). U *Zadatku 2* koji je sljedeći po udjelu traženja pomoći, pomoć su tražili ispitanici iz većine dobnih skupina: *Manje od 18 godina* (11% ispitanika), *18-24 godine* (13,51%), *45-54 godine* (28,57%) i *55 ili više godina* (25%). U preostalim zadacima je bio mal broj zahtjeva za pomoći.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Izračun prosjeka broja korištenja opcije pomoći po korisniku implicira vrlo rijetko traženje pomoći u svim dobnim skupinama, odnosno prosječno traženje pomoći kroz zadatke je manje od jedanput po korisniku.

Tablica 4.13 Frekvencija i prosjek broja korištenja pomoći po korisniku prema dobnj skupini

Zadatak	< 18 (N=9)		18-24 (N=37)		25-34 (N=12)		35-44 (N=6)		45-54 (N=7)		55 ili više godina (N=8)	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Sken.	-	-	2	5,00	1	8,33	-	-	-	-	-	-
1	-	-	1	3,00	-	-	-	-	1	14,29	-	-
2	1	11,00	5	13,51	-	-	-	-	2	28,57	2	25,00
3	-	-	1	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1	11,00	7	18,92	-	-	-	-	1	14,29	2	25,00
5	1	11,00	2	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	1	3,00	-	-	1	16,67	-	-	-	-
8	1	11,00	1	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1	11,00	9	24,32	-	-	-	-	-	-	1	12,5
Σ	5	-	29	-	1	-	1	-	4	-	5	-
Prosjek (Σ/N)	0,56	-	0,78	-	0,08	-	0,17	-	0,57	-	0,625	-

Valja napomenuti da je potrebno dodatno istražiti razloge vrlo rijetkog traženja pomoći. Iako se ovaj rezultat može interpretirati kao pozitivan ishod sugerirajući da je dizajn korisničkog sučelja i same igre intuitivan, isto tako postoje drugi razlozi zbog kojih ispitanici nisu koristili pomoć. Naprimjer, dio ispitanika koje su osobe s teškoćama ne zna čitati te su im upute za pojedini zadatak bile izgovorene tijekom testiranja. Ako je ispitanik tražio dodatna pojašnjenja, ispitivač mu ih je odmah izgovorio, bez odabira opcije pomoći.

Generalno promatrajući retke tablica za raspodjelu pomoći prema kategorijama teškoće i dobnim skupinama, da se zaključiti da je veći udio traženja pomoć u parovima zadataka koji implementiraju različite interakcijske mehanizme (Zadatak 2-3, Zadatak 4-5 i Zadatak 7-8) u zadacima koji implementiraju dodirne geste u odnosu na one koji implementiraju neizravne kontrole (tipke).

4.3.1.3. Opcija preskoka po zadacima

U svakom zadatku igre, osim skeniranja, dostupna je opcija preskakanja zadatka koju korisnik može iskoristiti ako ne zna sam riješiti zadatak ili iz nekog drugog razloga. Ova opcija se pojavi na zaslonu na mjestu označenom na sljedećoj slici (Slika 4.24), i to nakon što prođe 10 sekundi od početka zadatka. Nakon odabira preskoka, trenutni zadatak se izvrši automatski te se pojavi

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

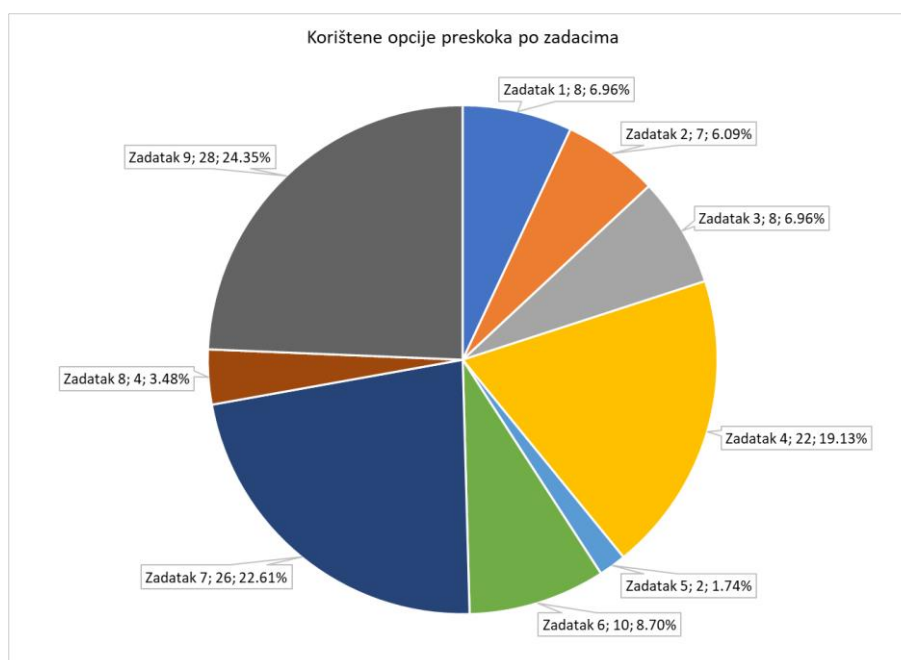
uputa za novi zadatak. Zadatak skeniranja nije moguće preskočiti jer je on nužan da bi se igra u proširenoj stvarnosti mogla nastaviti.



Slika 4.24 Tipka Preskoči u jednom od zadataka Ozbiljne igre 1

U nastavku je prikazan graf s udjelom korištenja preskoka po zadacima (Slika 4.25). Iz grafa je vidljivo da se *Zadatak 9* i *7* ističu kao zadaci s najviše preskoka, tj. 28 preskoka (25,93% ispitanika) u *Zadatku 9* te 26 preskoka (24,07% ispitanika) u *Zadatku 7*. *Zadatak 9* je najkompleksniji zadatak te se sastoji od kombinacije različitih interakcija koje je potrebno napraviti da bi se riješio, a nerijetko zahtijeva i pomicanje korisnika bliže objektu kako bi pronašao detalj koji se traži. Slijedi ga *Zadatak 7* s interakcijom geste rotacije za kojeg je već komentirano kako je primijećeno moguće zbunjivanje korisnika indikatorom oko objekta zbog kojeg su pojedini ispitanici pokušavali koristiti neodgovarajući interakcijski mehanizam. Sljedeći je *Zadatak 4* sa 22 preskoka (20,37% ispitanika) u kojem je trebalo povećati objekt gestom skaliranja. Jedan od mogućih razloga preskoka kod *Zadatka 4* jest to što ne postoji jasno vidljiv indikator koji ukazuje na to koliko objekt treba povećati (osim u tekstu) pa je moguće da je ispitanik, i nakon što je djelomično objekt povećao, nakon toga preskočio zadatak. Ističe se još *Zadatak 6* sa 10 preskoka (9,26% ispitanika) koji uključuje kombinaciju interakcija dodira i povlačenja do traženog mjesta. Po 8 preskoka (7,41% ispitanika) imali su *Zadatak 1* (odabir objekta) i *Zadatak 3* (tipke za pomicanje objekta), 7 preskoka (6,48% ispitanika) *Zadatak 2* (pomicanje gestama) te 4 preskoka (3,7% ispitanika) *Zadatak 8*. Najmanji broj preskoka korišten je u *Zadatku 5* gdje je mehanizam interakcije tipka za skaliranje objekta.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.25 Udio korištenja opcije preskoka po zadacima

U nastavku je izdvojena analiza korištenja opcije preskoka **prema kategoriji teškoće**. Tablica 4.14 prikazuje frekvenciju korištenja preskoka po zadacima za pojedinu kategoriju. Iz tablice je vidljivo kako je najveći udio traženja pomoći kod ispitanika s teškoćama u *Zadatku 7* (rotacija objekta gestama) pri čemu su zadatak **preskočili ispitanici s višestrukim teškoćama** (njih 66,67%) i **motoričkim teškoćama** (njih 60%). Sljedeći je *Zadatak 4* (skaliranje objekta gestama) pri čemu su ponovno iste kategorije u većinskom udjelu preskočile zadatak. *Zadatak 9* su u podjednakom udjelu preskočili ispitanici iz kategorije *Motoričke teškoće* (njih 40%), *Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* (njih 37,5%) te *Višestruke teškoće* (njih 33,33%). Promatrajući prosjek korištenja preskoka po korisniku kroz sve zadatke ističe se kategorija *Motoričkih teškoća* sa 2.2 preskoka po korisniku (ne uključujući kategoriju *Oštećenja vida* koja broji samo jednog ispitanika).

Korištenje opcije preskoka analizirano je i **prema dobnim skupinama**. Tablica 4.15 prikazuje frekvenciju korištenja opcije preskoka po zadacima za svaku dobnu skupinu. Kao i kod raspodjele prema kategoriji teškoće, i ovdje se ističu Zadaci 9, 7 i 4 po najvećem udjelu korištenja preskoka. Za sva tri zadatka se ističe skupina *Manje od 18 godina* čiji je najveći udio ispitanika iz skupine tražio pomoć (njih 44,4% u Zadatku 9, i po 33,3% u Zadatku 7 i 4). Dodatno, zadaci 4 i 9 su zadaci u kojima je barem jedan ispitanik iz svake dobne skupine preskočio zadatak. Po prosjeku korištenja preskoka po korisniku za sve zadatke ističe se dobnu skupina *Manje od 18 godina* sa po 1.78 preskoka po korisniku.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Tablica 4.14 Frekvencija korištenja preskoka po zadacima prema kategoriji teškoće

Zadatak	Oštećenje vida (N=1)		Oštećenja sluha (N=3)		Motoričke teškoće (N=5)		Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (N=8)		Višestruke Teškoće (N=12)		Bez teškoća (N=79)	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Zadatak 1	1	100	-	-	1	20	1	12,5	-	-	5	6,33
Zadatak 2	1	100	-	-	-	-	1	12,5	1	8,33	4	5,06
Zadatak 3	1	100	-	-	1	20	2	25	-	-	4	5,06
Zadatak 4	1	100	-	-	3	60	1	12,5	6	50	11	13,92
Zadatak 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,53
Zadatak 6	-	-	-	-	1	20	1	12,5	3	25	5	6,33
Zadatak 7	-	-	-	-	3	60	2	25	8	66,67	13	16,46
Zadatak 8	-	-	1	33,3	-	-	-	-	-	-	3	3,8
Zadatak 9	1	100	-	-	2	40	3	37,5	4	33,33	18	22,78
Σ	5	-	1	-	11	-	11	,	22	-	65	-
Prosjek (Σ/N)	5.00	-	0.33	-	2.20	-	1.38	,	1.83	-	0.82	-

Tablica 4.15 Frekvencija korištenja opcije preskoka po zadacima prema dobnoj skupini

Zadatak	Manje od 18 godina (N=9)		18-24 godine (N=37)		25-34 godine (N=12)		35-44 godine (N=6)		45-54 godine (N=7)		55 ili više godina (N=8)	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Zadatak 1	1	11,1	3	8,11	-	-	-	-	1	14,29	1	12,5
Zadatak 2	1	11,1	-	-	1	8,33	-	-	2	28,57	-	-
Zadatak 3	0		2	5,41	-	-	1	16,67	-	-	1	12,5
Zadatak 4	3	33,3	1	2,7	4	33,33	1	16,67	1	14,29	1	12,5
Zadatak 5	1	11,1	-	-	1	8,33	-	-	-	-	-	-
Zadatak 6	3	33,3	-	-	-	-	-	-	1	14,29	1	12,5
Zadatak 7	3	33,3	5	13,5	2	16,67	-	-	1	14,29	2	25
Zadatak 8	-	-	1	2,7	1	8,33	-	-	-	-	1	12,5
Zadatak 9	4	44,4	6	16,22	3	25	2	33,33	1	14,29	2	25
Σ	16	-	18	-	12	-	4	-	7	-	9	-
Prosjek (Σ/N)	1.78	-	0.49	-	1.00	-	0.67	-	1.00	-	1.13	-

Generalno promatrajući retke tablica za raspodjelu pomoći prema kategorijama teškoće i dobnim skupinama, da se zaključiti da je veći udio preskoka za parove zadataka Zadatak 4-5 i Zadatak 7-8 u zadacima koji implementiraju dodirne geste u odnosu na one koji implementiraju

neizravne kontrole (tipke), dok je za slučaj Zadatak 2-3 slučaj drugačiji. Za kategoriju sudionika s teškoćama veći udio preskoka (ali ne značajan) je za zadatak koji implementira tipke za **translaciju** u odnosu na zadatak koji implementira geste, dok je za dobne skupine jednak broj preskoka za oba zadatka.

4.3.1.4. *Promjena postavki igre*

U ozbiljnoj igri je dostupna tipka koja vodi na *Postavke* i u kojoj je moguće promijeniti vrstu fonta, veličinu teksta te uključiti prikaz opcije zamrzavanja, međutim, tijekom igre, niti jedan sudionik (od 5 sudionika ili 4,63% koji su kliknuli na tipku *Postavki*) nije mijenjao postavke. Iz ovoga se da zaključiti kako se korisnici uglavnom fokusiraju na samu igru te nemaju tendenciju istraživati različite opcije koje su prikazane na zaslonu (vrlo često i zbog razmišljanja da će nešto „pokvariti“ ako kliknu na određenu opciju) ili da nisu imali potrebu mijenjati ili prilagoditi ikakve opcije u postavkama. Potrebno je daljnje istražiti razloge zbog kojih ispitanici nisu mijenjali postavke, odnosno ispitati je li im trebalo eksplicitno sugerirati da promijene neku od opciju pristupačnosti u slučaju potrebe te kojim skupinama korisnika bi mogućnost automatske prilagodbe sadržaja i interakcije koristila.

4.3.1.5. *Subjektivne ocjene interakcija po zadacima*

Privođenjem igre do kraja, ispitaniku se u ozbiljnoj igri *AnalitičARka* prikazuje zaslon na kojem može ocijeniti zadovoljstvo interakcijom u pojedinom zadatku odabirom broja zvjezdica (ocjene) od 1 do 5, pri čemu 5 zvjezdica izražava izrazito zadovoljstvo, a 1 zvjezdica izrazito nezadovoljstvo sudionika interakcijom. Korisničko zadovoljstvo interakcijama je u ovom kontekstu definirano kao stupanj u kojem su korisnikove potrebe, očekivanja i preferencije zadovoljene interakcijom, s naglaskom na jednostavnost/lakoću korištenja kao faktorom koji utječe na ovo zadovoljstvo interakcijom, odnosno uporabivost. Prikaz zaslona na kojemu ispitanik ocjenjuje interakcije prikazan je na sljedećim slikama (Slika 4.26 i Slika 4.27). Iz slika je vidljivo kako je svaka interakcija podržana vizualnim prikazom kako bi ispitanicima bilo lakše raspoznati koja interakcija je bila u kojem zadatku. Dodatno, pojedinim ispitanicima s teškoćama je bilo teško razumjeti što ocjenjuju pa im se pitanje usmeno prilagodilo kako bi ocjena vjerodostojnije odražavala lakoću korištenja pojedine interakcije.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.26 Prikaz ocjenjivanja interakcije u Zadacima 1-5



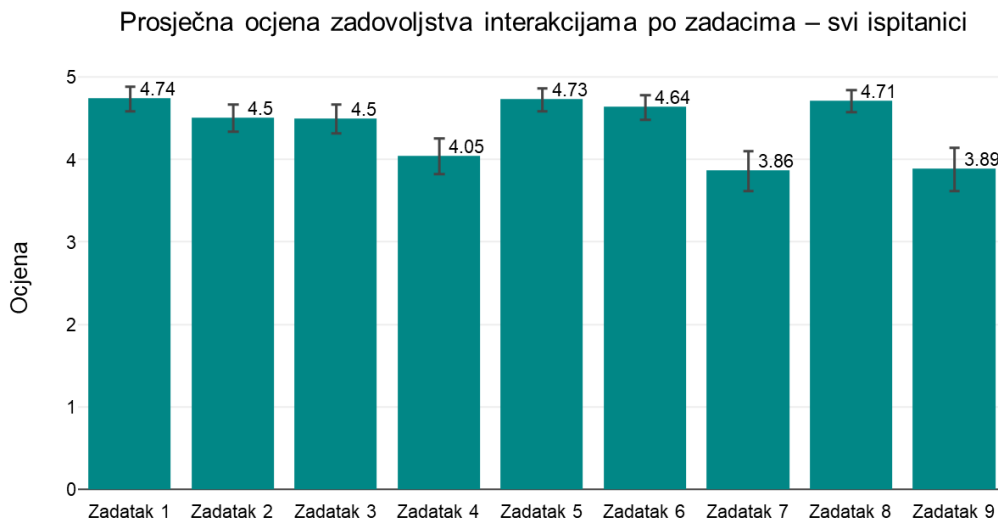
Slika 4.27 Prikaz ocjenjivanja interakcije u Zadacima 5-9

Za analizu subjektivne ocjene interakcija po zadacima (*Zadatak 1-9*) izračunata je deskriptivna statistika koja uključuje sve ispitanike ($N=108$). Izračunate mjere (prosječna vrijednost M , medijan C , standardna devijacija Sd , minimalna i maksimalna vrijednost (min i max), indeks simetričnosti Sk (*Skewness*), indeks spljoštenosti distribucije Ku (*Kurtosis*) te interval pouzdanosti $CI=95\%$) prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4.16). Prosječne subjektivne ocjene po zadatku prikazane su korištenjem stupčastog grafikona na slici ispod (Slika 4.28) s prikazom intervala pouzdanosti $CI = 95\%$.

Tablica 4.16 Mjere deskriptivne statistike za subjektivnu ocjenu zadovoljstva interakcijom u pojedinom zadatku za sve ispitanike ($N=108$)

Zadatak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M	4.74	4.5	4.5	4.05	4.73	4.64	3.86	4.71	3.89
C	5	5	5	4	5	5	4	5	4
Sd	0.79	0.87	0.93	1.16	0.76	0.79	1.31	0.74	1.39
Min	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Max	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sk	-3.37	-1.85	-1.98	-1.28	-3.01	-2.48	-0.82	-2.59	-1.02
Ku	11.12	2.97	3.44	0.95	8.75	6.2	-0.55	5.68	-0.32
CI = 95%	4.59; 4.89	4.34; 4.67	4.33; 4.67	3.83; 4.26	4.59; 4.87	4.49; 4.78	3.62; 4.11	4.57; 4.85	3.62; 4.15

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

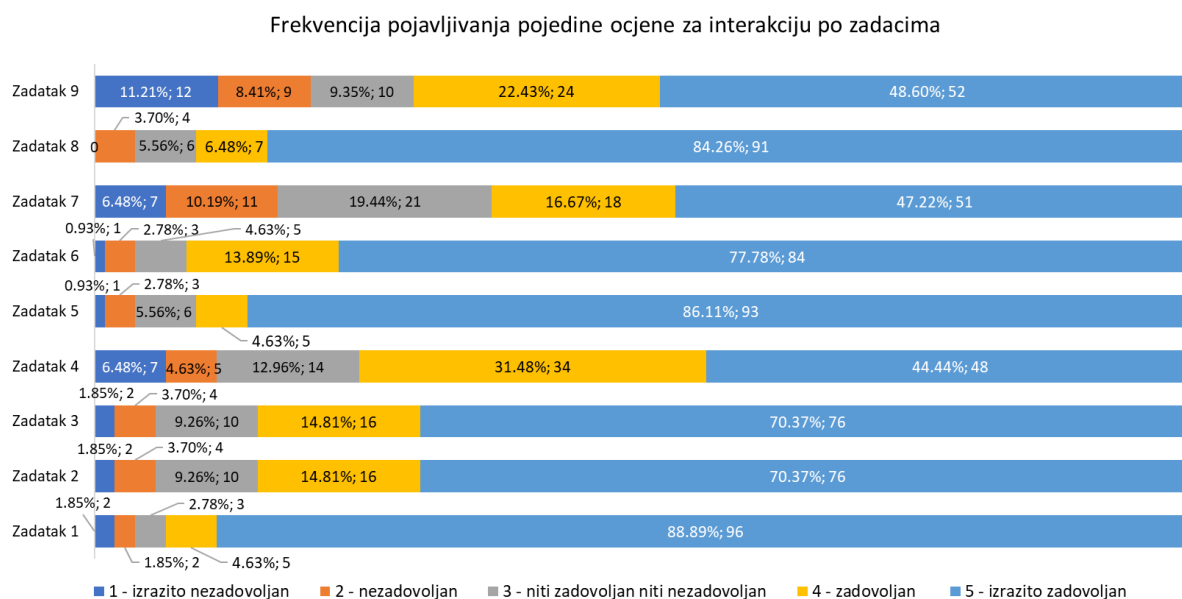


Slika 4.28 Prosječna ocjena zadovoljstva interakcijama po zadacima - svi ispitanici ($N = 108$)

Iz tablice se da zaključiti kako su ocjene za većinu zadataka distribuirane oko ocjene 5, odnosno ispitanici su najčešće bili izrazito zadovoljni interakcijom u zadatku osim u zadacima 4 (interakcija skaliranja gestama), 7 (interakcija rotacije gestama) i 9 (izbor interakcija i unos broja u polje) gdje je najčešća ocjena bila 4 sa značenjem da su samo zadovoljni interakcijom. U ovim zadacima je također prisutna veća varijabilnost u ocjenama u odnosu na ostale zadatke pri čemu *Zadatak 9* ima najveću varijabilnost. Ispitanici su za ocjenu interakcije po zadacima koristili cijeli raspon ocjena 1-5 u svim zadacima osim u *Zadatku 8* (interakcija rotacije tipkama) gdje je korišteni raspon ocjena 2-5. Iz tablice i grafa koji prikazuje srednju ocjenu s intervalom pouzdanosti $CI=95\%$, generalno se da zaključiti kako su ispitanici izrazito zadovoljni interakcijama u većini zadataka, osim u zadacima gdje se za skaliranje i rotaciju koriste geste (*Zadatak 4* – skaliranje i *Zadatak 7* – rotacija) te gdje se koristi izbor interakcija te unos broja u polje, u kojima su ispitanici samo zadovoljni interakcijom.

Na sljedećoj slici nalazi se graf koji prikazuje relativnu frekvenciju pojavljivanja pojedine ocjene u svakom zadatku (Slika 4.29). Vidljivo je kako se u zadacima 1, 5 i 8 ocjena 5 pojavila u većoj mjeri u odnosu na ostale ocjene, stoga se može zaključiti kako je najveći broj ispitanika izrazito zadovoljan interakcijama upravo u ovim zadacima. Interakcije koje se koriste u ovim zadacima su dodir za odabir objekta, tipke za skaliranje objekta te tipke za rotaciju objekta.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.29 Frekvencija pojavljivanja pojedine ocjene (1-5) za interakciju po zadacima

Za ispitivanje statistički značajne razlike u ocjenama za interakcije u pojedinom zadatku između ispitanika iz dvije glavne kategorije *Bez teškoća* i *Teškoće* korišten je *Mann-Whitney U* test. Rezultati ukazuju na to da nema statistički značajne razlike između ove dvije kategorije ispitanika u srednjim ocjenama za interakcije u svim zadacima ($p > 0.05$). Deskriptivna statistika po zadacima za ove dvije kategorije prikazana je u sljedećoj tablici (Tablica 4.17).

Tablica 4.17 Mjere deskriptivne statistike subjektivnih ocjena prema kategorijama *Teškoće* ($N=29$) i *Bez teškoća* ($N=79$)

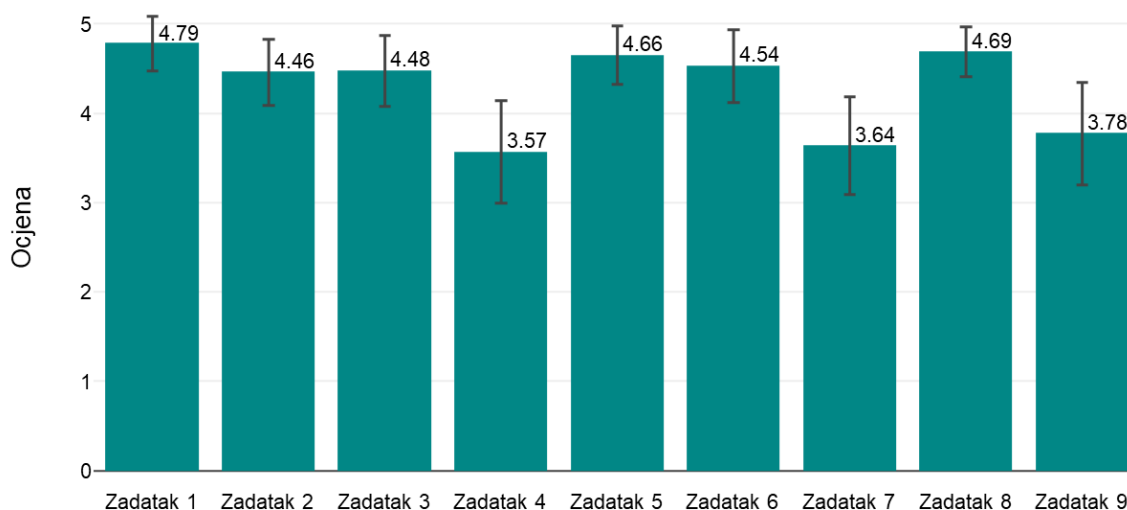
		M	C	St	Min	Max	95% CI
Zadatak 1	Teškoće	4.79	5	0.83	1	5	4.48; 5.09
	Bez teškoća	4.72	5	0.79	1	5	4.55; 4.89
Zadatak 2	Teškoće	4.46	5	1	1	5	4.09; 4.83
	Bez teškoća	4.52	5	0.83	2	5	4.34; 4.7
Zadatak 3	Teškoće	4.48	5	1.09	1	5	4.09; 4.88
	Bez teškoća	4.51	5	0.87	1	5	4.32; 4.69
Zadatak 4	Teškoće	3.57	4	1.55	1	5	3; 4.15
	Bez teškoća	4.2	4	0.9	1	5	4; 4.41
Zadatak 5	Teškoće	4.66	5	0.9	2	5	4.33; 4.98
	Bez teškoća	4.76	5	0.7	1	5	4.6; 4.91
Zadatak 6	Teškoće	4.54	5	1.1	1	5	4.13; 4.94
	Bez teškoća	4.67	5	0.65	2	5	4.53; 4.81

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

		M	C	St	Min	Max	95% CI
Zadatak 7	Teškoće	3.64	4	1.47	1	5	3.1; 4.19
	Bez teškoća	3.94	4	1.25	1	5	3.67; 4.21
Zadatak 8	Teškoće	4.69	5	0.76	2	5	4.41; 4.97
	Bez teškoća	4.72	5	0.74	2	5	4.56; 4.88
Zadatak 9	Teškoće	3.78	5	1.53	1	5	3.2; 4.35
	Bez teškoća	3.93	4	1.35	1	5	3.63; 4.22

U nastavku je prikazan graf s prosječnim ocjenama i intervalom pouzdanosti ($CI=95\%$) za sve zadatke i **ispitanike s teškoćama** (Slika 4.30). Najmanju prosječnu ocjenu su dobili *Zadaci 4, 7 i 9*, međutim, za ove zadatke su najširi intervali pouzdanosti što sugerira na varijabilnost u podacima te ima smisla analizirati razlike u ocjenama između kategorija teškoća.

Prosječna ocjena zadovoljstva interakcijama po zadacima – ispitanici s teškoćama



Slika 4.30 Prosječna ocjena ispitanika s teškoćama za zadatke 1-9 ($CI=95\%$)

U nastavku se nalaze rezultati ocjenjivanja interakcije u zadacima **prema kategorijama teškoće**. Izračunate srednje vrijednosti i standardne devijacije po zadacima za svaku kategoriju teškoća prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4.18). Iz tablice je vidljivo kako je najmanja prosječna ocjena u svim zadacima dana od strane ispitanika s motoričkim teškoćama, ali je isto tako prisutna velika varijabilnost što ukazuje na heterogenost uzorka iz ove kategorije. Uvidom u podatke se uistinu pokazuje kako se u ovoj skupini nalaze 3 ispitanika s iznimnim motoričkim teškoćama (osobe s cerebralnom paralizom koje koriste invalidska kolica), osoba teže pokretljivosti (također koristi invalidska kolica) te osoba smanjene pokretljivosti jedne ruke.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Najniže prosječne ocjene dobili su *Zadaci 4 i 7* što nije iznenađujući podatak jer se u ovim zadacima koriste geste za skaliranje i rotaciju objekta što je pojedinim osobama s motoričkim teškoćama iznimno teško ili nemoguće izvršiti (npr. osoba sa skupljenim šakama).

Ispitivanje statistički značajne razlike u ocjenama za interakciju u pojedinom zadatku između ispitanika iz različitih kategorija teškoća (pomoću *Kruskal-Wallis* testa) pokazalo je da nema statistički značajne razlike.

Tablica 4.18 Deskriptivna statistika za ocjenu interakcije u pojedinom zadatku po kategoriji teškoće

Zadatak	Oštećenja vida			Motoričke teškoće		Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju		Višestruke teškoće	
	M	M	Sd	M	Sd	M	Sd	M	Sd
1	5	5	0	3.4	2.19	5	0	4.83	0.58
2	5	5	0	3.2	2.05	4.88	0.35	4.25	0.97
3	5	4.33	1.15	3.6	1.95	5	5	4.5	0.9
4	5	4.33	1.15	2.4	1.67	4.63	0.74	2.83	1.59
5	5	5	0	4.4	1.34	4.75	0.71	4.58	1
6	5	5	0	3.8	1.3	5	0	4.25	1.42
7	5	4.33	1.15	2.6	1.82	4.25	1.16	3.17	1.53
8	5	4.67	0.58	4.4	1.34	5	0	4.58	0.79
9	5	3.67	2.31	3.5	1.91	4.38	1.41	3.17	1.47

U nastavku su opisani rezultati dobiveni ispitivanjem ima li statistički značajne razlike u ocjenama parova zadataka koji implementiraju različite mehanizme interakcije (Tablica 4.7). Za ispitivanje je korišten *Mann-Whitney U* test s obzirom na to da podaci, tj. ocjene ne prate normalnu distribuciju. Iz analize su isključene kategorije *Oštećenja vida* i *Oštećenja sluha* zbog ograničenja u broju ispitanika potrebnog za razinu značajnosti $\alpha=0.05$, a uključeno je ispitivanje i za ispitanike bez teškoća. Rezultati testa su otkrili statistički značajnu razliku u ocjenama za kategoriju *Višestruke teškoće* za parove zadataka *Zadatak 5-Zadatak 4* ($U=23.5$, $p=.004$, $r=0.61$) i *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=34$, $p=.028$, $r=0.49$), te za *Bez teškoća* za parove zadataka *Zadatak 5-Zadatak 4* ($U=2072$, $p<.001$, $r=0.4$) i *Zadatak 8-Zadatak 7* ($U=2086$, $p<.001$, $r=0.39$). Radi se o zadacima u kojima je potrebno skalirati objekt (gestom ili tipkama) i rotirati objekt (gestom ili tipkama). Dobiveni rezultati se mogu povezati s rezultatima dobivenim usporedbom vremena izvođenja zadataka prema kategoriji teškoće, a koji su pokazali statistički značajnu razlike za iste parove zadataka i kategorije teškoća, osim za par *Zadatak 8-Zadatak 7* za kategoriju *Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* za koji je

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

dobivena značajna razlika u vremenu izvođenja, ali ne i u ocjenama zadataka. Rezultati testa prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 4.19).

Tablica 4.19 Rezultati Mann-Whitney U testa za ocjene između parova zadataka prema kategoriji teškoće

Kategorija teškoće	Smjer usporedbe	U	z	p
Motoričke teškoće	Zadatak 3-Zadatak 2	12	-0.11	1
	Zadatak 5-Zadatak 4	4.5	-1.8	.095
	Zadatak 8-Zadatak 7	4.5	-1.8	.095
Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju	Zadatak 3-Zadatak 2	28	-1	.721
	Zadatak 5-Zadatak 4	28.5	-0.54	.721
	Zadatak 8-Zadatak 7	20	-1.85	.235
Višestruke teškoće	Zadatak 3-Zadatak 2	48.5	-1.8	.178
	Zadatak 5-Zadatak 4	23.5	-3.01	.004
	Zadatak 8-Zadatak 7	34	-2.41	.028
Bez teškoća	Zadatak 3-Zadatak 2	3442.5	-0.01	.996
	Zadatak 5-Zadatak 4	2072	-5.18	<.001
	Zadatak 8-Zadatak 7	2086	-5.01	<.001

Prema izračunatoj deskriptivnoj statistici te iz pogleda na prethodne tablice, da se zaključiti kako su ocjene *Zadataka 4 i 7* manje od ocjena njihovog para, odnosno *Zadataka 5 i 8*, što znači da su ispitanici iz navedenih kategorija ocijenili sa značajnije **manjom ocjenom** interakcije u **zadacima gdje se koriste dodirne geste nego u zadacima gdje se koriste tipke (zadaci skaliranja i rotacije objekta)**. Ovaj rezultat pokazuje da izbor mehanizma interakcije za zadatke skaliranja i rotacije objekta ima značajan utjecaj na ocjenu interakcija unutar ovih kategorija: *Višestruke teškoće* i *Bez teškoća*.

Rezultati opisani u ovom potpoglavlju (4.3.1) dobiveni su analizom odabranih interakcijskih parametara prikupljenih automatski tijekom korištenja Ozbiljne igre 1 (*AnalitičARka*), a to su: vrijeme potrebno za izvršavanje zadataka, broj traženja pomoći, broj preskoka, promjena postavki te ocjena zadovoljstva interakcijom. U sljedećem potpoglavlju izdvojeni su glavni zaključci analize.

4.3.1.6. Zaključci kvantitativne analize

Rezultati analize su pokazali razliku u potrebnom vremenu za izvođenje zadataka s obzirom na cjelokupno promatrani skup ispitanika. Pri tome se Zadatak 9 ističe kao zadatak za koji je svim sudionicima potrebno više vremena za izvođenje u odnosu na preostale zadatke. Ovaj zadatak je potvrdio njegovu složenost u odnosu na preostale zadatke jer je potreban veći broj interakcija korisnika kako bi se uspješno samostalno riješio.

Usporedba rezultata za vrijeme izvođenja između skupa ispitanika s teškoćama i bez teškoća pokazala je statistički značajnu razliku za većinu zadataka, što je u skladu s očekivanjima i pretpostavkom da je ispitanicima s teškoćama potrebno više vremena za završetak određenih zadataka.

Analizom rezultata za vrijeme izvođenja parova zadataka koji za cilj imaju istu transformaciju objekta (translaciju, skaliranje, rotaciju), a različite mehanizme interakcije, utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u vremenima izvođenja zadataka skaliranja i rotacije za cjelokupni skup ispitanika pri čemu je vrijeme za izvođenje navedenih zadataka značajno kraće uz korištenje neizravnih kontrola, tj. tipki, nego uz dodirne geste. Isto se pokazalo općenito za sudionike *bez teškoća* te za ispitanike kategorije *višestrukih teškoća* za oba zadatka te *kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju* za zadatak rotacije.

Uzimajući u obzir podjelu ispitanika prema dobnim skupinama i vrijeme potrebno za izvršenje zadatka, analiza rezultata pokazala je da postoji značajna razlika u vremenu između dobnih skupina *18-24 godina* i *55 ili više godina* za zadatak u kojem je potrebno odabrati i translirati objekt do traženog mjesta interakcijom po izboru te između dobnih skupina *25-34 godina* i *45-54 godina* za zadatak u kojem je potrebno rotirati objekt gestama.

Usporedba rezultata za vrijeme izvođenje parova srodnih zadataka pokazala je da postoji statistički značajna razlika za određene dobne skupine za zadatke rotacije i skaliranja objekta, pri čemu je ponovno pokazano da je više vremena bilo potrebno za navedene zadatke uz dodirne geste nego uz tipke.

Ovaj rezultat pokazuje da izbor mehanizma interakcije za zadatke skaliranja i rotacije objekta može imati značajan utjecaj na vrijeme izvršenja zadatka.

Uzevši u obzir korištenje pomoći po zadacima, zadatak u kojem je potrebno skalirati objekt gestama se ističe kao zadatak u kojem je pomoć najviše tražena. Analiza rezultata prema

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

kategoriji teškoće i dobnim skupinama pokazala je kako nema izdvajanja pojedinih skupina ispitanika, odnosno traženje pomoći korisnika pojedine skupine po zadacima je vrlo rijetko.

Iako nema izdvajanja pojedine skupine ispitanika u kontekstu traženja pomoći, može se uvidjeti da je udio traženja pomoći u parovima zadataka koji implementiraju različite interakcijske mehanizme veći u zadacima koji implementiraju dodirne geste u odnosu na one koji implementiraju neizravne kontrole (tipke).

Rezultat analize korištenja preskoka po zadacima pokazao je isticanje *Zadatka 9, 7 i 4* po najvećem udjelu preskoka. Analizom po dobnim skupinama se za navedene zadatke izdvaja skupina *Manje od 18 godina* kao skupina koja je najviše koristila preskok. Usporedbom korištenja preskoka između sudionika kategorija s teškoćama daju se izdvojiti kategorije *Motoričke teškoće* i *Višestruke teškoće* za zadatke u kojima je potrebna interakcija gesti za skaliranje i rotaciju objekta.

Analizom promjeni postavki igre utvrđeno je kako sudionici nisu imali potrebu mijenjati ili prilagoditi opcije u postavkama.

Analiza subjektivnih ocjena za interakcije u pojedinom zadatku pokazala je da su sudionici najčešće bili izrazito zadovoljni interakcijama u zadacima osim u *Zadatku 4* (interakcija skaliranja gestama), *7* (interakcija rotacije gestama) i *9* (izbor interakcija i unos broja u polje) gdje su najčešće bili samo zadovoljni. Usporedba ocjena pokazala je da postoji statistički značajna razlika u ocjenama zadataka skaliranja i rotacije unutar kategorija *Višestruke teškoće* i *Bez teškoća*, pri čemu su značajnije manjom ocjenom ocijenjene interakcije u zadacima gdje se koriste dodirne geste nego u zadacima gdje se koriste tipke.

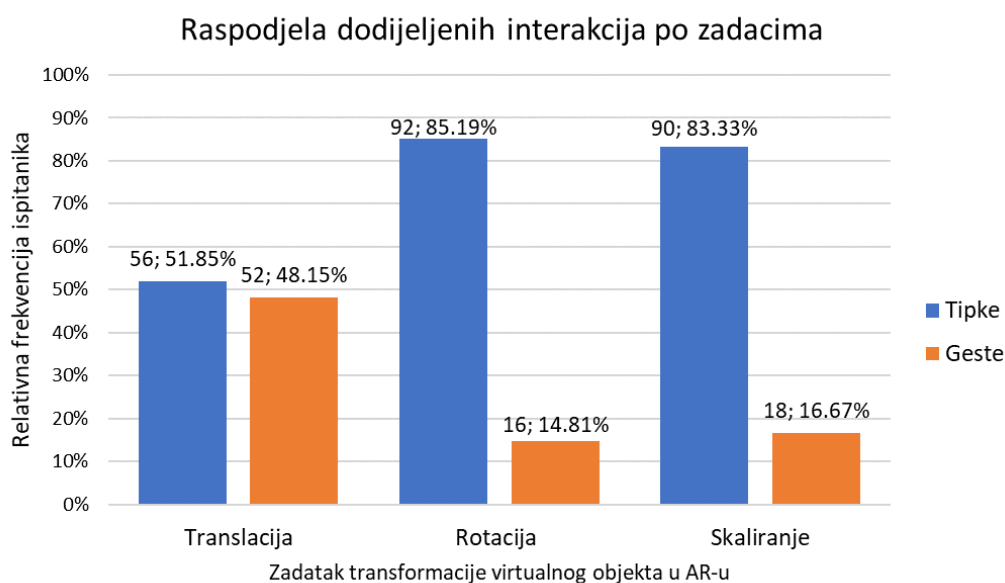
Iz analize rezultata dobivenih prikupljanjem podataka o korisničkim interakcijama, vidljivo je da ne postoji jedinstveno rješenje koje bi moglo zadovoljiti potrebe svih korisnika, korisnika koji spadaju u određenu kategoriju teškoće ili dobnu skupinu, već da pojedincima iz pojedine kategorije odgovaraju različite postavke i kombinacije interakcijskih mehanizama, ovisno o zadatku ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti.

U nastavku je analizirana raspodjela dodijeljenih postavki, tj. mehanizama interakcije, koje je sustav izračunao temeljem prikupljenih podataka o interakcijama sudionika tijekom korisničkog testiranja.

4.3.2. Analiza raspodjele postavki pristupačnosti po zadacima

Tijekom druge aktivnosti procesa korisničkog testiranja, prijavom korisnika u ozbiljnu igru *BUBAmARac*, analiziraju se i dohvaćaju izračunate postavke za korisnika. Način izračuna postavki temeljem odabranih interakcijskih parametara i zadovoljstva korisnika pojedinom interakcijom opisan je u potpoglavlju 3.2.1, a u nastavku je opisana raspodjela dodijeljenih mehanizama interakcije ispitanicima.

Slika 4.31 prikazuje raspodjelu iz perspektive cjelokupnog skupa ispitanika (N=108). Vidljivo je kako su za zadatak translacije virtualnog objekta podjednako zastupljena oba mehanizma interakcije. Neizravna kontrola, tj. tipke, dodijeljene su 51.85% (56) ispitanika, dok su dodirne geste dodijeljene 48.15% (52) ispitanika. Za zadatke rotacije i skaliranja virtualnog objekta situacija je drugačija, odnosno, neizravne kontrole su dodijeljene znatno većem udjelu ispitanika u odnosu na dodirne geste. Točnije, neizravna kontrola (tipke) je za zadatak rotacije dodijeljena čak 85.19% (92) ispitanika dok su ostatku ispitanika, tj. 14.81% (16) dodijeljene dodirne geste. Slično je i za zadatak skaliranja za koji je 83.33% (90) ispitanika dodijeljen mehanizam interakcije neizravne kontrole (tipke), a 16.67% (18) ispitanika dodirne geste. Ovakvi rezultati odgovaraju rezultatima kvantitativne analize gdje se pokazalo kako su zadaci rotacije i skaliranja koristeći mehanizam dodirnih gesti teži od onih koje koriste neizravne kontrole (prema vremenu izvođenja zadatka te subjektivnoj ocjeni), dok su za zadatak translacije ispitanici imali podjednako vrijeme izvođenja i subjektivnu ocjenu u ovisnosti o korištenom mehanizmu interakcije u zadatku.



Slika 4.31 Raspodjela postavki mehanizama interakcije za cijeli skup ispitanika po zadacima

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

U nastavku su analizirani dodijeljeni mehanizmi interakcija prema vrsti teškoće i dobnoj skupini ispitanika. Najprije su prikazani rezultati za ispitanike s teškoćama (grafovi na slikama Slika 4.32-Slika 4.35), kategorije: Oštećenje sluha (N=3), Motoričke teškoće (N=5), Kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju (N=8) i Višestruke teškoće (N=12). Graf za kategoriju *Oštećenje vida* nije prikazan. Jednom ispitaniku s oštećenjem vida dodijeljena je neizravna kontrola (tj. tipke) za sve zadatke transformacije virtualnog objekta.

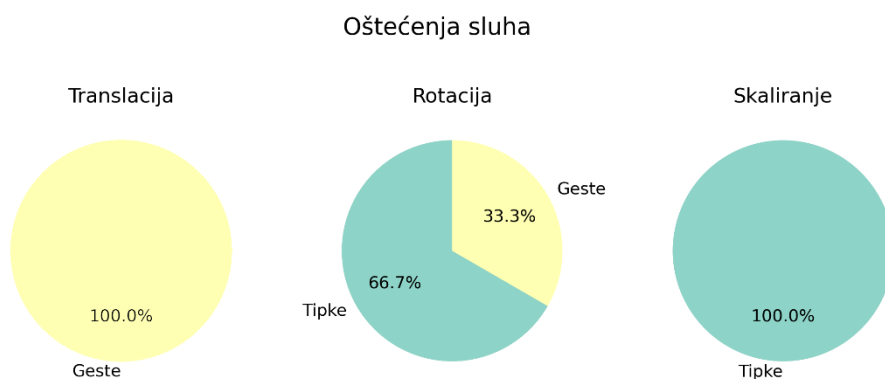
Iz rezultata je vidljivo da su ispitanici iz kategorije oštećenja sluha jedini kojima je **svima** za zadatak **translacije** dodijeljena interakcija **dodirne geste**. Preostale kategorije imaju približno jednaku podjelu gdje je nešto većem udjelu ispitanika za zadatak translacije dodijeljena **neizravna kontrola**, tj. **tipke** (60% motoričke teškoće, 62.5% kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju, 58.3% višestruke teškoće), a ostatku **dodirna gesta** (40% motoričke teškoće, 37.5% kognitivni i neurološki poremećaji i/ili specifične teškoće u učenju, 41.7% višestruke teškoće).

Iz grafova priloženih za zadatak **rotacije**, vidljivo je kako su **svim** ispitanicima iz kategorija motoričkih teškoća, kognitivnih i neuroloških poremećaja i/ili specifičnih teškoća u učenju te višestrukih teškoća dodijeljene **tipke**, dok su ispitanicima iz kategorije **oštećenja sluha** u većem udjelu dodijeljene **tipke** (66.7%) u odnosu na dodirnu gestu.

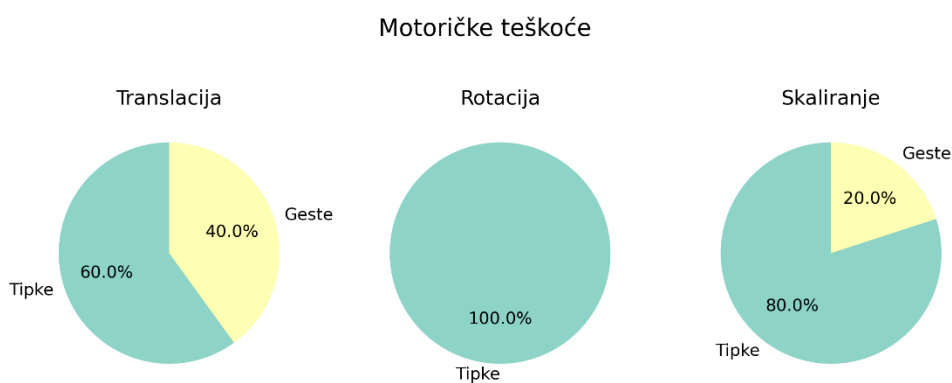
Svim ispitanicima s oštećenjem sluha za zadatak **skaliranja** virtualnog objekta su dodijeljene **tipke**. Ispitanicima iz kategorije motoričkih teškoća su većinom dodijeljene **tipke** (80%), isto kao i ispitanicima iz kategorije kognitivnih i neuroloških poremećaja i/ili specifičnih teškoća u učenju (75%) te višestrukim teškoćama (91.7%).

Iz rezultata se može zaključiti kako ispitanicima s teškoćama većinski odgovaraju tipke za sve zadatke, bilo da je rezultat došao zato što je ispitanik preskočio zadatak s interakcijom koja mu nije dodijeljena, jer je dodijeljenu interakciju ocijenio s većom ocjenom ili je imao manje vrijeme za izvršenje zadatka s dodijeljenom interakcijom). Iznimka je zadatak translacije i kategorija oštećenja sluha iz koje je svim ispitanicima dodijeljena dodirna gesta.

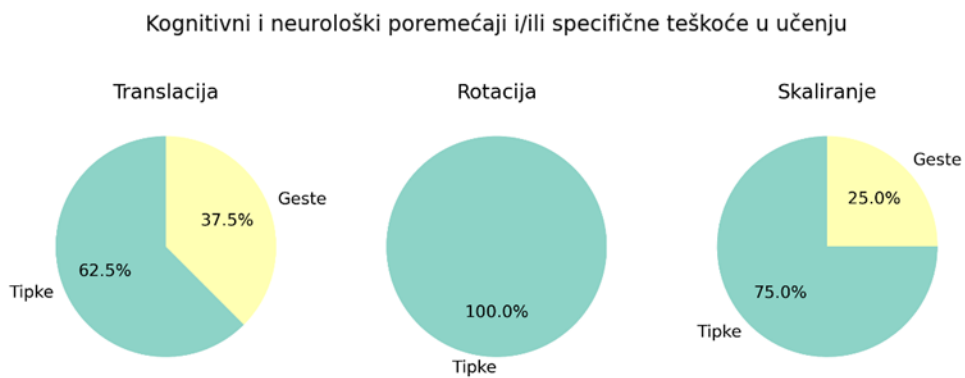
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.32 Raspodjela postavki interakcije za korisnike s oštećenjima sluha po zadacima

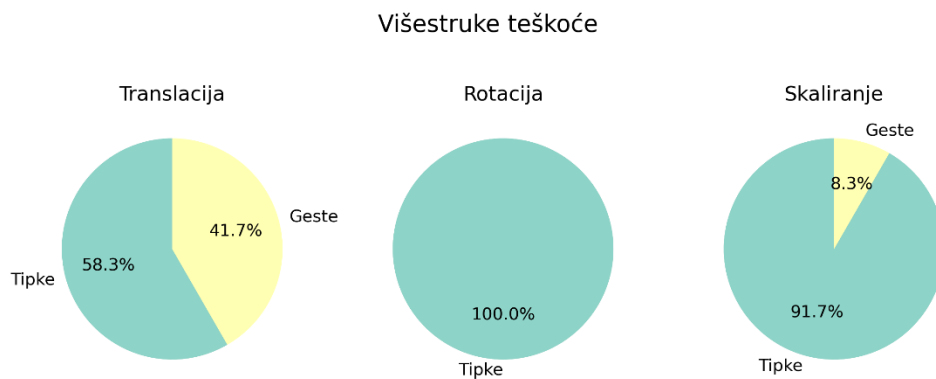


Slika 4.33 Raspodjela postavki interakcije za ispitanike s motoričkim teškoćama po zadacima



Slika 4.34 Raspodjela postavki interakcije za korisnike s kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama u učenju po zadacima

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.35 Raspodjela postavki interakcije za korisnike s višestrukim teškoćama po zadacima

Grafovi na sljedećoj slici (Slika 4.36) prikazuju raspodjelu dodijeljenih interakcijskih mehanizama ispitanicima bez teškoća za zadatke translacije, rotacije i skaliranja virtualnog objekta (N=79). **Dodirna gesta i tipke** su kao mehanizmi interakcije **podjednako zastupljeni** za zadatak **translacije** (tipke su dodijeljene 50.6% ispitanika (njih 40), dok je 49.4% ispitanika (njih 39) dodijeljena dodirna gesta). U zadacima **rotacije i skaliranja** većem dijelu korisniku su dodijeljene **tipke**, i to 81% ispitanika (64) za zadatak rotacije te 82.3% (65 ispitanika) za zadatak skaliranja, dok je ostatku ispitanika dodijeljena dodirna gesta (19% za zadatak rotacije te 17.7% za zadatak skaliranja).



Slika 4.36 Raspodjela postavki interakcija za korisnike bez teškoća po zadacima

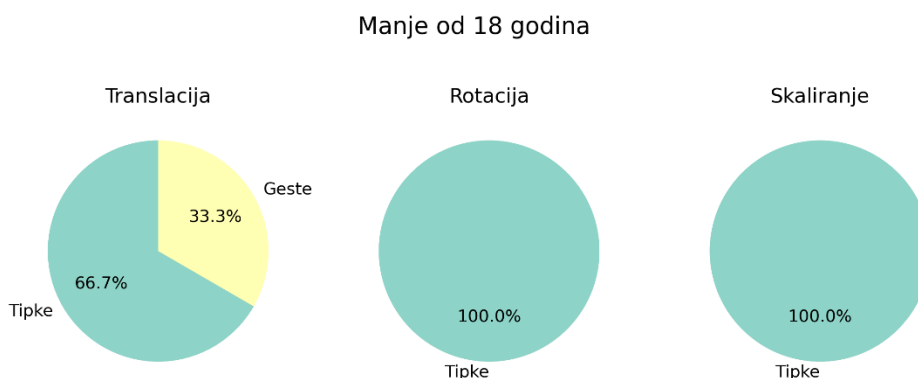
U nastavku slijedi analiza rezultata dodijeljenih mehanizama interakcije prema dobnim skupinama. Potrebno je napomenuti kako je za analizu prema dobnim skupinama razmatrana skupina ispitanika bez teškoća (N=79), i to sljedeće kategorije: *Manje od 18 godina* (N=9), *18-24 godine* (N=38), *25-34 godine* (N=12), *35-44 godine* (N=6), *45-54 godine* (N=7), *55-64 godine* (N=5) te *65 ili više godina* (N=3).

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Prema rezultatima prikazanim na grafovima na sljedećim slikama (Slika 4.37-Slika 4.43) vidljivo je kako za zadatak **translacije** pojedinim dobnim skupinama u većinskom udjelu dodijeljen mehanizam interakcije **dodirne geste**, i to za skupine 25-34 godina (58.3%), 35-44 godina (**83.3%**) i 65 ili više godina (66.7%), dok su preostalim skupinama za ovaj zadatak dodijeljene većinski **tipke**, i to skupinama Manje od 18 godina (66.7%), 18-24 godine (55.3%), 45-54 godine (71.4%) te 55-64 godine (60%).

Za zadatak **rotacije** ističu se dobne skupine Manje od 18 godina, 45-54 godina i 65 ili više godina za koje su **svim** sudionicima dodijeljene **tipke** kao mehanizam interakcije. Ispitanicima iz preostalih dobnih skupina su većinski dodijeljene neizravne kontrole (**tipke**) kao interakcijski mehanizam za zadatak rotacije, i to **81.6%** ispitanika skupine 18-24 godine, 66.7% ispitanika skupine 25-34 godina, **83.3%** ispitanika skupine 35-44 godina, 60% ispitanika skupine 55-64 godina. Preostalim sudionicima dobnih skupina su dodijeljene **dodirne geste** kao mehanizam interakcije za rotaciju virtualnog objekta.

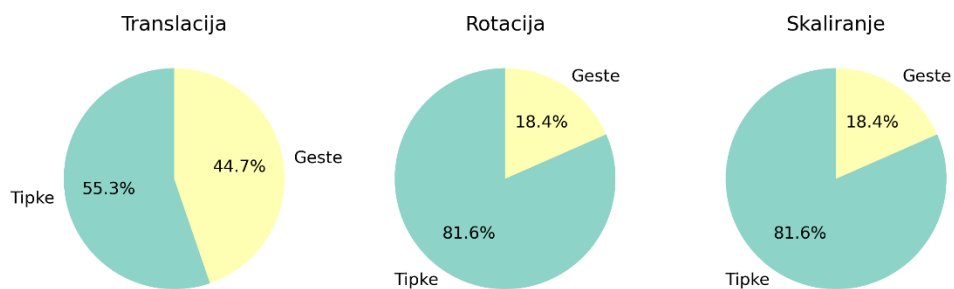
Skaliranje virtualnog objekta je zadatak za koji su, jednako kao i za zadatak rotacije, **svim** ispitanicima dobnih skupina Manje od 18 godina, 45-54 godina i 65 ili više godina dodijeljene **neizravne kontrole**, odnosno **tipke**. Za zadatak skaliranja se ističe se još dobna skupina 25-34 godine u kojoj su za čak **91.7%** ispitanika dodijeljene tipke. Skupine koje su također imale isti udio dodijeljenog mehanizma interakcije za skaliranje kao za rotaciju su dobne skupine 18-24 godine (tipke su dodijeljene **81.6%** ispitanika) i 55-64 godina (tipke su dodijeljene 60% ispitanika). Dobna skupina 35-44 godina specifična je po tome što su u jednakom omjeru u ovoj skupini ispitanicima dodijeljeni mehanizmi interakcije (tipke, kao i geste, dodijeljene su **50%** ispitanika).



Slika 4.37 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobnih skupina manje od 18 godina po zadacima

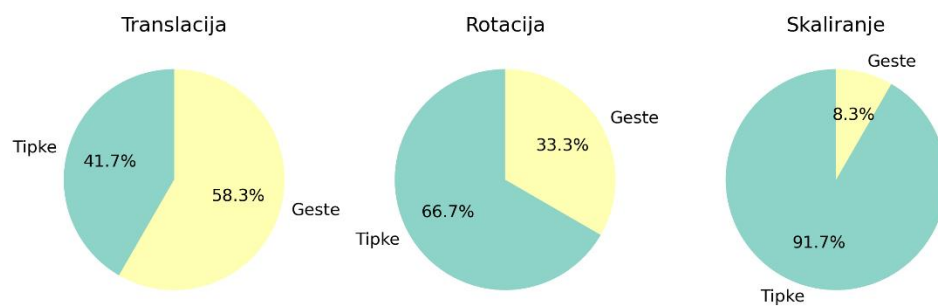
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

18-24 godina



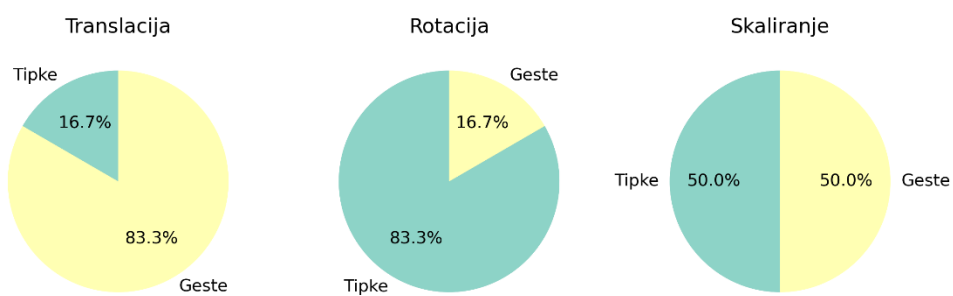
Slika 4.38 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 18-24 godina po zadacima

25-34 godina



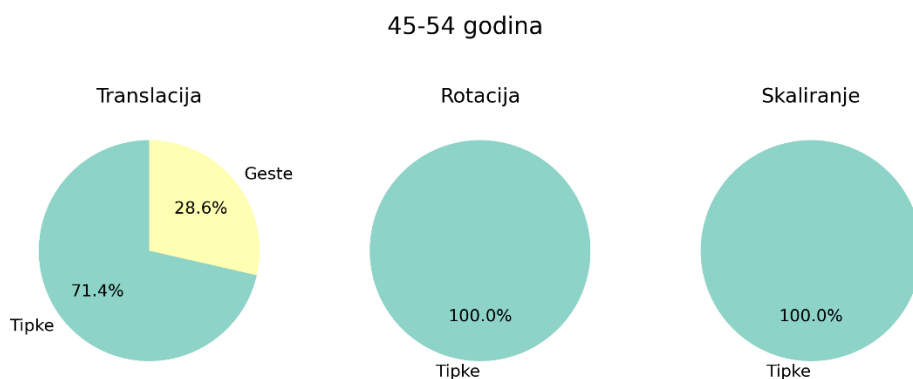
Slika 4.39 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 25-34 godina po zadacima

35-44 godina

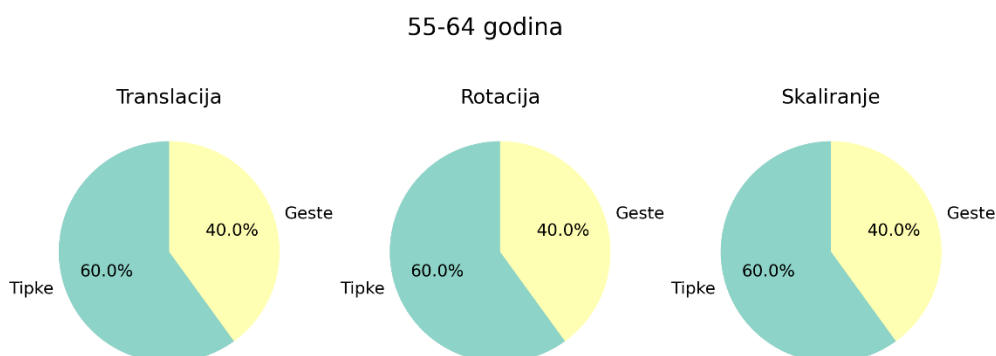


Slika 4.40 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 35-44 godina po zadacima

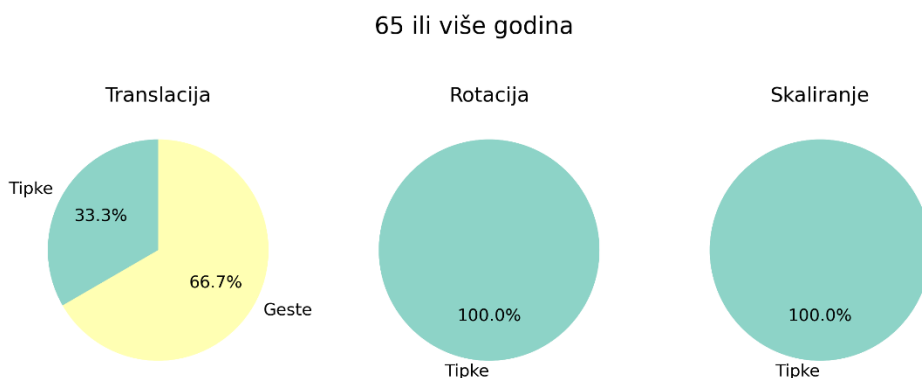
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.41 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 45-54 godina po zadacima



Slika 4.42 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 55-64 godina po zadacima



Slika 4.43 Raspodjela postavki interakcije za korisnike dobne skupine 65 ili više godina po zadacima

Generalno gledajući, rezultati potvrđuju izdvajanje zadatka translacije od zadataka rotacije i skaliranja s obzirom na raspodjelu interakcijskih mehanizama. Gledajući cjelokupne rezultate, za zadatak translacije su u podjednakom omjeru dodijeljeni mehanizmi interakcije (tipke i gesta povlačenja). Promatrajući dodijeljene interakcije za ovaj zadatak za različite kategorije teškoća, ističe se kategorija *Oštećenja vida* u kojoj je jedinoj svim ispitanicama dodijeljena gesta kao

mehanizam interakcije dok je ispitanicima iz preostalih kategorija većinski dodijeljena neizravna kontrola (tipke). U kontekstu dobnih skupina i zadatka translacije, posebno se ističe skupina *35-44 godine* u kojoj je u najvećem udjelu dodijeljena dodirna gesta kao mehanizam interakcije.

Zadaci rotacije i skaliranja ističu se kako cjelokupno tako i promatrajući kategorije ispitanika s teškoćama i bez teškoća tako što je u značajno većem udjelu ispitanicima za ove zadatke dodijeljen mehanizam interakcije neizravne kontrole, tj. tipke. U kontekstu dobnih skupina se ponovno ističe skupina *35-44 godine* u kojoj su u podjednakom omjeru ispitanicima dodijeljene neizravna kontrola (tipke) i dodirne geste za zadatak skaliranja.

U nastavku slijedi analiza rezultata upitnika provedenog nakon odigrane Ozbiljne igre 2 (BubamARac) te komentar na zadovoljstvo interakcijama koje su prethodno dodijeljene korisnicima temeljem prikupljenih podataka iz Ozbiljne igre 1.

4.3.3. Analiza rezultata upitnika

Prikupljanje kvalitativnih podataka posljednja je aktivnost korisničkog testiranja. Kvalitativni podaci prikupljeni su upitnikom izrađenom u Microsoft Formsu kojem su sudionici pristupili na tablet uređaju na kojem su igrali ozbiljne igre ili ispisanom na papiru, ovisno o mogućnostima ispitanika.

Upitnik služi za ispitivanje uporabivosti/pristupačnosti te korisničkog iskustva ozbiljne igre. U protokolu testiranja uporabivosti koje naglasak stavlja na testiranje problema pristupačnosti rješenja, s ispitanicima (s teškoćama) korištena je metoda *think-out-loud* ili „razmišljanje na glas“ tijekom korištenja rješenja, s visokom interaktivnošću ispitivača, kao što je preporučeno u [93]. Pronalasci važni za pristupačnost rješenja u ovoj formi proizašli iz ove metode i promatranja ispitivača tijekom korisničkog testiranja opisani su u poglavlju vezanom za smjernice pristupačnosti. Nadalje, pitanja u upitniku sastavljena su uzimajući u obzir WCAG načela [37] te osim pitanja vezanih uz uporabivost (lakoću izvođenja interakcija i zadovoljstvo interakcijom) sadrži pitanja kojima se ispituje zadovoljenost smjernica vezanih uz pojedino načelo pristupačnosti (koja su primjenjiva za ozbiljnu igru) te potreba za dodatnim opcijama pristupačnosti. U upitniku se još ispituje korisničko iskustvo ozbiljne igre pitanjima odabranim iz upitnika za ispitivanje korisničkog iskustva (UEQ). Potrebno je napomenuti kako su sva pitanja u upitniku oblikovana tako da ih mogu razumjeti i osobe s teškoćama, posebno osobe s

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

intelektualnim teškoćama. Stoga su u pitanjima korišteni jednostavni izrazi te su pitanja i odgovori preuzeti iz standardiziranih upitnika prilagođeni s obzirom na to.

Upitnik se sastojao od četiri cjeline pitanja pri čemu je prva cjelina pitanja sadržavala demografska pitanja čiji su odgovori opisani u potpoglavlju 4.2. U drugoj cjelini upitnika pitanja su vezana uz načelo vidljivosti sadržaja, u trećoj cjelini upitnika pitanja su vezana uz načela razumljivosti i operabilnosti, dok je četvrta cjelina upitnika sadržavala pitanja koja se odnose na sveukupno zadovoljstvo interakcijama te korisničko iskustvo ozbiljne igre. U nastavku su opisani rezultati upitnika grupirani prema povezanim stavkama upitnika. Broj ispitanika koji su popunili upitnik je 108.

4.3.3.1. Čitljivost fonta, veličina fonta, boja teksta i pozadine

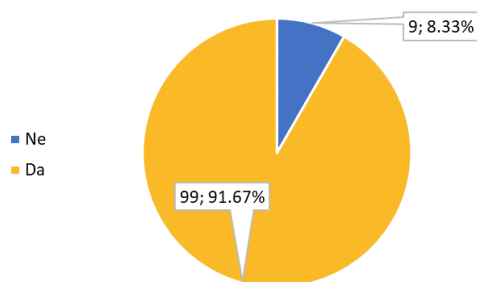
Prvo pitanje vezano uz načelo vidljivosti je pitanje čitljivosti fonta korištenog u igri. Udio od **91.67% (99)** ispitanika je odgovorilo da im je **font čitljiv**. Samo 8,33% (9) sudionika smatra da font korišten u igri nije čitljiv (Slika 4.44), pri čemu je većina sudionika s različitim teškoćama koja ne zna čitati i koja nije koristila opcije promjene fonta u postavkama. Zatim, ispitanici su pitani je li **font dovoljne veličine za čitanje** te je **88.89%** ispitanika (**njih 96**) odgovorila da je, dok 11,11% (12) sudionika smatra da font nije dovoljne veličine za čitanje (Slika 4.45) Pri tome je također većina sudionika s različitim teškoćama koja ne zna čitati i koja nije koristila opcije promjene veličine fonta u postavkama. Nakon toga, ispitanici su pitani je li im **tekst čitljiv s obzirom na boju teksta i pozadine** te je njih **90.74% (98)** ispitanika odgovorilo da je, dok je 9,26% (10) ispitanika odgovorilo da nije (Slika 4.46). Pri tome je ponovno većina sudionika s različitim teškoćama koja ne zna čitati.

Iz ovih se rezultata da zaključiti kako su font i prikaz teksta na pozadini pristupačni velikoj većini ispitanika s obzirom na to da je uvidom u odgovore zaključeno da većinu sudionika koji su odgovorili niječno čine osobe s teškoćama koje ne znaju čitati.

Sudionika koji su koristili opcije promjene fonta i veličine fonta bilo je samo 3,7% (4 ispitanika) od čega je njih 50% reklo da im je to bilo vrlo lako, a 50% niti lako niti teško. Grafovi vezani uz postavke prikazani su na slici u nastavku (Slika 4.47). Ovaj rezultat je u skladu s prethodnima, tj. moguće je zaključiti da ispitanici nisu imali potrebu mijenjati postavke jer su im font i prikaz teksta bili pristupačni.

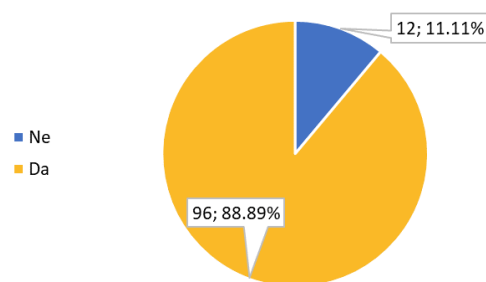
4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Je li font korišten u igri čitljiv?



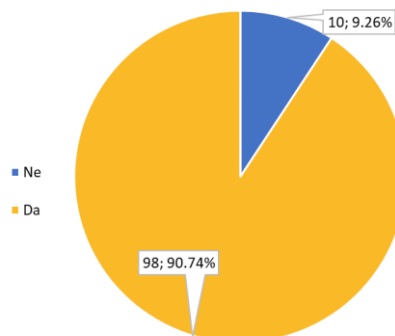
Slika 4.44 Raspodjela odgovora sudionika za čitljivost fonta

Je li font dovoljne veličine za čitanje?



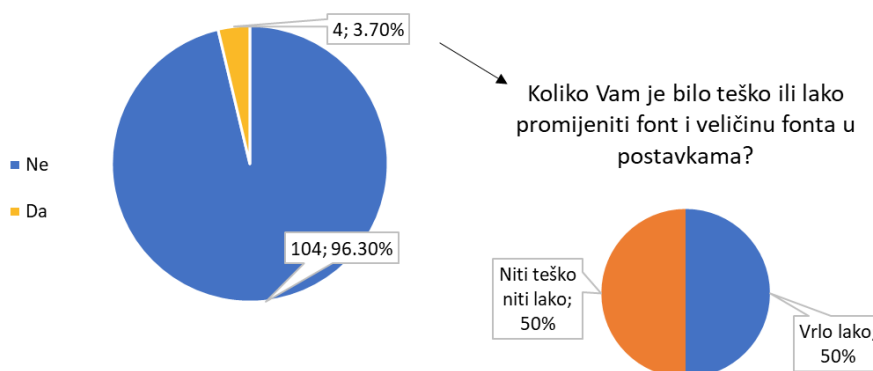
Slika 4.45 Raspodjela odgovora sudionika za veličinu fonta

Je li tekst čitljiv s obzirom na boju teksta i pozadine?



Slika 4.46 Raspodjela odgovora sudionika za čitljivost teksta s obzirom na boju teksta i pozadine

Jeste li koristili opcije promjene fonta i veličine fonta u Postavkama?



Slika 4.47 Udio sudionika koji su koristili Postavke te odgovori koliko im je to bilo teško ili lako

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Iz navedenog se da zaključiti da je font *Roboto* (**font bez zavijutaka, sans-serifne tipografije**), korišten u Ozbiljnoj igri 2 kao zadani, za veliku većinu ispitanika čitljiv, da je veličina fonta zadana u igri dovoljne veličine za čitanje za veliku većinu sudionika, kao što je i zadana kombinacija boje teksta i pozadine elemenata korisničkog sučelja velikoj većini čitljiva s obzirom na boju teksta i pozadine. Izuzmemo li sudionike koji ne znaju čitati, samo jedan sudionik bez teškoća i dobne skupine **55-64 godine** smatra da **font nije čitljiv**, a koristio je opciju promjene fonta u postavkama te mu to nije bilo niti teško niti lako promijeniti. Dodatno, dva sudionika koja nisu koristila opciju promjene veličine fonta u postavkama, a smatraju da **font nije dovoljne veličine za čitanje**, osobe su bez teškoća dobne skupine **55-64 godine** te s oštećenjem vida i motoričkim teškoćama starije životne dobi (**65 ili više godina**).

Među sudionicima koji smatraju da font nije čitljiv i dovoljne veličine je i jedan sudionik s višestrukim teškoćama koji zna čitati i koji nije koristio opciju promjene fonta i veličine fonta u postavkama. Nakon odigrane igre, pokazan mu je primjer zaslona igre s primijenjenom opcijom promjene veličine fonta (povećani tekst) te je sudionik tekst mogao pročitati.

Preostale sudionike od onih koji su označili da im tekst nije čitljiv s obzirom na boju teksta i pozadine čine osobe različite životne dobi iznad 35 godina (bez teškoća) koje nisu koristile postavke. Tijekom razvoja ozbiljne igre, za koju su sudionici ocijenili čitljivost teksta s obzirom na boju teksta i pozadine, u obzir su se uzele preporuke WCAG za **omjer kontrasta korištenih boja (minimalno 4.5:1)**. Premda je u dizajnu korisničkog sučelja korištena paleta boja koja zadovoljava preporučeni omjer kontrasta, tekst nije bio čitljiv nekolicini osoba (pored osoba koje ne znaju čitati). Stoga, da bi ozbiljna igra bila u skladu s univerzalnim dizajnom (da ju može koristiti što veći broj korisnika), korisniku je potrebno omogućiti odabir boja koji će poboljšati čitljivost, tj. pristupačnost rješenja.

S obzirom na navedeno, postavlja se pitanje je li kao obavezan korak korisničkog testiranja ozbiljnih igara trebalo ubaciti promjenu ili potvrdu postavki prije same igre kojom bi si ispitanici prilagodili font, tekst i kontrast boja. Jedan od rezultata istraživanja je da velika većina ispitanika nije koristila postavke koje su bile dostupne na zaslonu s prikazom igre te je potrebno daljnje istražiti koji su razlozi iza nekorištenja tih postavki.

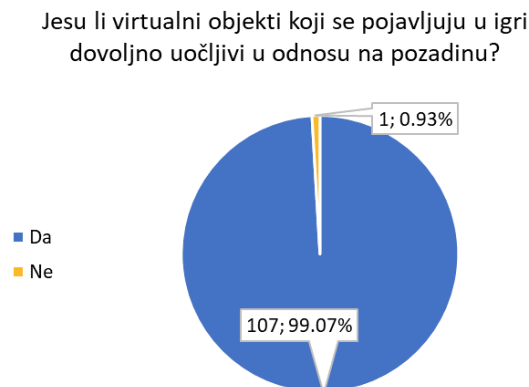
Uzevši u obzir sudionike koji su na barem jedno pitanje o čitljivosti fonta, veličini fonta i čitljivosti teksta s obzirom na boju teksta i pozadine odgovorili niječno (njih 13.89% od ukupnog broja sudionika u testiranju), velika većina smatra da bi izgovorene upute bile poželjne kao opcija pristupačnosti. S obzirom na to da su među ovim sudionicima osobe svih životnih

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

dobi te osobe različitih teškoća i bez teškoća, i to ne samo osobe koje ne znaju čitati, može se zaključiti kako bi ova opcija bila nužna i od koristi većini korisnika bez obzira na dob i sposobnosti što je u skladu s univerzalnim dizajnom. Stoga, kad je god moguće, potrebno je implementirati izgovorene upute u ozbiljnim igrama.

4.3.3.2. Uočljivost virtualnih objekata

Na pitanje jesu li im **virtualni objekti koji se pojavljuju u igri dovoljno uočljivi u odnosu na pozadinu**, tj. površinu prostorije u kojoj su koristili rješenje, skoro svi sudionici u korisničkom testiranju, njih **99,07%**, odgovorili su da **jesu** (Slika 4.48). Točnije, samo je jedan sudionik (bez teškoća, srednje životne dobi) označio da mu nisu bili dovoljno uočljivi. Razlog dobrom rezultatu mogu biti dobri uvjeti okoline tijekom provedbe testiranja (dobro osvjjetljenje u prostoriji, odgovarajuća površina na kojoj su se stvorili objekti) te, dodatno, preporuke koje su praćene za dizajn AR aplikacija (kao što su [42]). Pri ovome se misli na to da je se vodilo računa o veličini virtualnih objekata tako da odgovaraju veličini unutarnjeg prostora, zatim prikaz indikatora kada se objekt ne nalazi na zaslonu (unutar vidokruga kamere) koji korisnika usmjeravaju da okrene kameru uređaja u smjeru u kojem se nalazi objekt. Dodatno, u Ozbiljnoj igri 2 (BubamARac) korisnik u prvom zadatku sam odabire boju objekta (automobila) pri čemu je moguće da je korisnik odabrao boju s kojom je objekt uočljiviji.

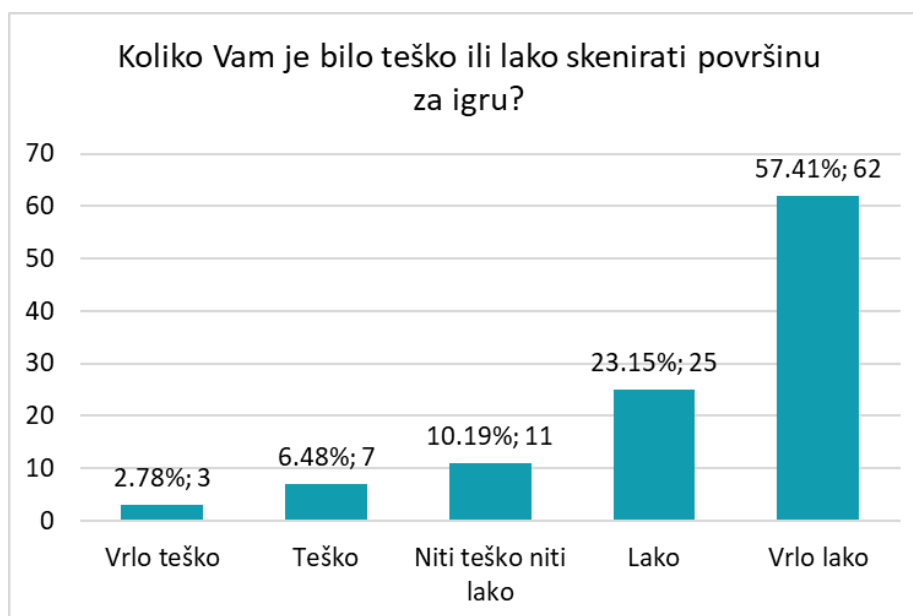


Slika 4.48 Raspodjela odgovora sudionika za uočljivost virtualnih objekata

4.3.3.3. Uspostava fizičke/virtualne korespondencije

Zadatak skeniranja važno je zasebno analizirati jer je to zadatak koji je nužan za nastavak igre u proširenoj stvarnosti zbog uspostavljanja fizičke/virtualne korespondencije stoga je važno uzeti sve faktore koji mogu utjecati na pristupačnost ili korisničko iskustvo korisnika. Ispitanici su pitani koliko im je bilo lako ili teško skenirati površinu za igru, a odgovorili su odabirom ocjene od 1 do 5 pri čemu je: 1=Vrlo teško; 2=Teško; 3=Niti teško niti lako; 4=Lako; 5=Vrlo lako.

Prema odgovorima sudionika, **57.41% (62)** ispitanika smatra da je uspostaviti površinu za proširenu stvarnost skeniranjem **vrlo lako** te **23.15% (25)** ispitanika smatra da je **lako**, kao što je vidljivo iz grafa na slici dolje (Slika 4.49). Od preostalih sudionika (njih 21) kojima je bilo vrlo teško, teško ili niti teško niti lako skenirati površinu, velika većina su osobe koje nisu imale prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću ili su je koristile jednom u životu pa je moguće da prethodno nisu bile upoznate s načinom uspostavljanja scene za proširenu stvarnost te im stoga samo tekstualne upute nisu bile dovoljne. Među ovim ispitanicima se ne može uočiti izdvajanje neke od skupina korisnika, bilo da je riječ o dobi ili kategoriji teškoća. Od ispitanika s teškoćama prevladavaju oni iz kategorije višestrukih teškoća pri čemu je većina osoba koje imaju cerebralnu paralizu, koje koriste invalidska kolica i/ili imaju slabu (ili nikakvu) pokretljivost ruku (hemipareza, skupljene šake i sl.) te je jasno da im je zbog toga bilo teško skenirati površinu (jer ova interakciju zahtijeva pomicanje uređaja (s dvije ruke) u prostoru dok se ne označi odgovarajuća površina).



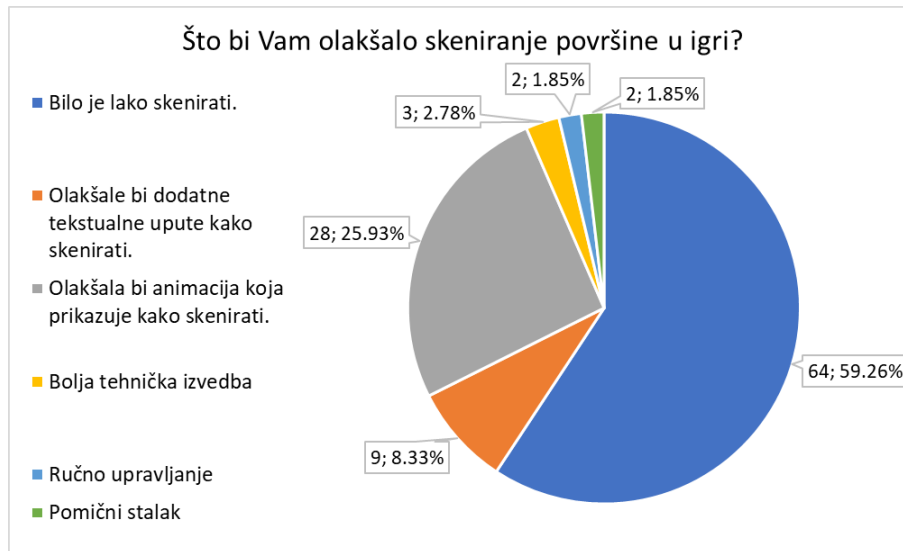
Slika 4.49 Raspodjela odgovora sudionika za skeniranje površine

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Kao odgovor na pitanje o tome što bi im **olakšalo skeniranje** površine u igri, većina ispitanika je odgovorila da im je bilo lako skenirati (64 ispitanika ili 59.26%). Preostali ispitanici su odgovorili tako da ih je najviše glasalo za opciju da bi im od pomoći bila „**animacija koja prikazuje kako skenirati**“ (28 ispitanika ili 25.93%), zatim „**dodatne tekstualne upute kako skenirati**“ (9 ispitanika ili 8.33%), kao što je vidljivo iz grafa na slici dolje (Slika 4.50). Uz izgovorene upute, vizualna podrška u formi animacije koja prikazuje koje točno pokrete korisnik treba napraviti skupa s uređajem bile bi od koristi i osobama koje ne znaju čitati, koje imaju intelektualne teškoće ili nemaju prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću. Dodatna tekstualna uputa s navođenjem kamo treba usmjeriti kameru uređaja dok se uređaj pomiče odnosi se posebno na situacije kada korisniku nije naznačeno koja površina treba biti skenirana za uspostavljanje scene za proširenu stvarnost (npr. uređaj treba biti usmjeren tako da je kamera **paralelna** s podom, stolom ili zidom). Ono što se da zaključiti iz analize rezultata kvantitativnih podataka jest da korisnici nemaju tendenciju koristiti pomoć koja je u ozbiljnoj igri bila ponuđena u obliku dodatnih tekstualnih uputa za zadatak nakon što se klikne na tipku s upitnikom što je slično iskustvo kao s korištenjem postavki aplikacije. Dakle, u ovom kontekstu bi animirane upute prikazane na početku iskustva s AR-om bile korisnija i intuitivnija opcija za većinu korisnika.

U manjem broju su ispitanici još naveli da bi skeniranje površine olakšala **bolja tehnička izvedba** što se zaključuje iz odgovora „da se površina bolje prepozna“, „da se bolje razlikuje zid od poda (jer u nekim slučajevima je površina ulazila u zid)“, te „da kamera brže prepozna površinu“. Također, kao dodatnu opciju su neki korisnici naveli „ručno upravljanje površinom“ u smislu odabira željene površine od prepoznatih ili korekcija veličine površine što bi bilo korisno za naprednije korisnike proširene stvarnosti.

Neki od odgovora sudionika s motoričkim teškoćama upućuju na to da je za **samostalno** korištenje rješenja u proširenoj stvarnosti gdje je fizičku/virtualnu korespondencije potrebno uspostaviti na način da se uređaj pomiče i usmjerava u određenom smjeru (klasični primjer skeniranja), potreban **pomični stalak za pokretni uređaj** koji se montira na invalidska kolica. Ovo je posebno važno za osobe koje ne mogu koristiti obje ruke tijekom korištenja pokretnog uređaja ili imaju ograničenu pokretljivost ruku.



Slika 4.50 Raspodjela odgovora vezanih uz načine olakšavanja skeniranja površine u igri

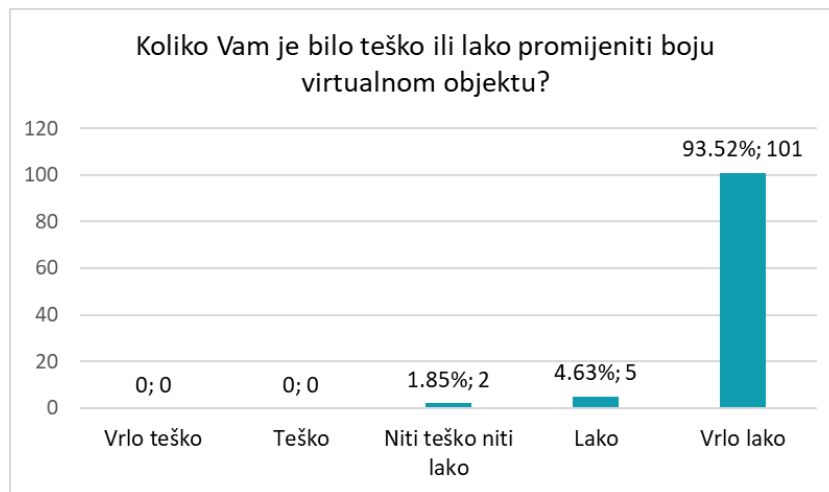
4.3.3.4. Interakcije transformacije virtualnog objekta

U ovom potpoglavlju analizirane su ocjene ispitanika vezane uz zadatke transformacije virtualnog objekta pri čemu su sudionici ocjenjivali interakcijske mehanizme korištene u pojedinom zadatku, a koje im je sustav dodijelio temeljem analize prikupljenih korisničkih interakcija iz Ozbiljne igre 1. Nakon prikaza raspodjele odgovora za pojedini zadatak transformacije, prikazana je usporedba ocjena zadataka iz Ozbiljne igre 2 s ocjenama za ekvivalentne zadatke iz Ozbiljne igre 1. Potrebno je napomenuti kako su pitanja formirana korištenjem jednostavnog rječnika kako bi bila razumljiva i osobama s intelektualnim teškoćama ili osobama koje nemaju iskustva s AR-om. U tom smislu umjesto odabira stupnja slaganja s tvrdnjom, npr. „Smatram da je interakcija u zadatku s translacijom/skaliranjem virtualnog objekta laka za korištenje.“, ispitanike se pitalo da ocijene koliko im je bilo teško ili lako napraviti ono što je bio cilj konkretnog zadatka, npr. pomaknuti objekt do traženog mjesta, povećati automobil i sl. Cilj ovih pitanja je ispitati lakoću korištenja dodijeljenih interakcija, a odgovorili su na pitanje odabirom ocjene od 1 do 5 pri čemu je: 1=Vrlo teško; 2=Teško; 3=Niti teško niti lako; 4=Lako; 5=Vrlo lako.

Najprije su sudionici pitani koliko im je bilo teško ili lako **promijeniti boju** virtualnom objektu što je zadatak gdje su mogući interakcijski mehanizmi *dodir* na objekt i *tipka za odabir* boje objekta. Kao što je vidljivo iz grafa na sljedećoj slici (Slika 4.51), **gotovi svi** ispitanici su odgovorili da im je bilo **lako ili vrlo lako**, tj. 4,63% (njih 5) ispitanika je odgovorilo lako, a čak

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

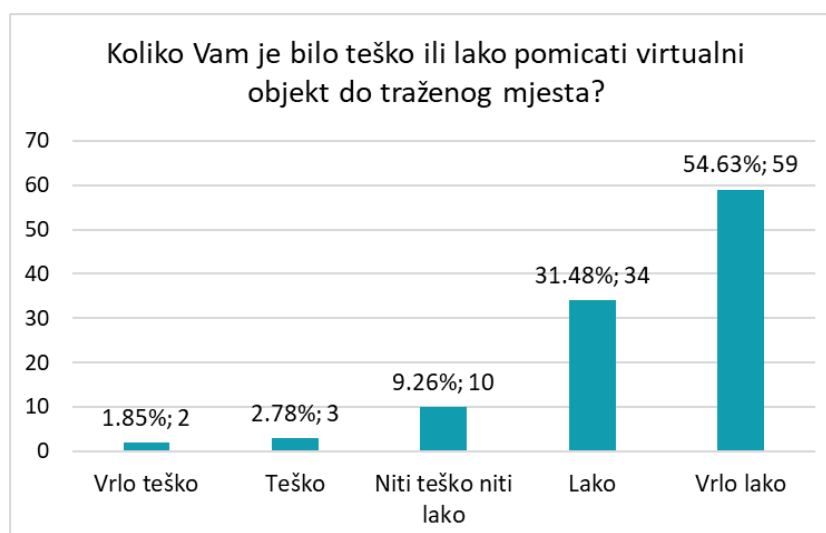
93,52% (101 ispitanik) da im je bilo vrlo lako promijeniti boju objekta. S obzirom na to da nije bilo sudionika kojima je bilo teško ili vrlo teško odraditi ovaj zadatak, možemo zaključiti kako je većini sudionika dodijeljena interakcija za ovaj zadatak odgovarala.



Slika 4.51 Raspodjela ocjena za težinu zadatka promjene boje objekta

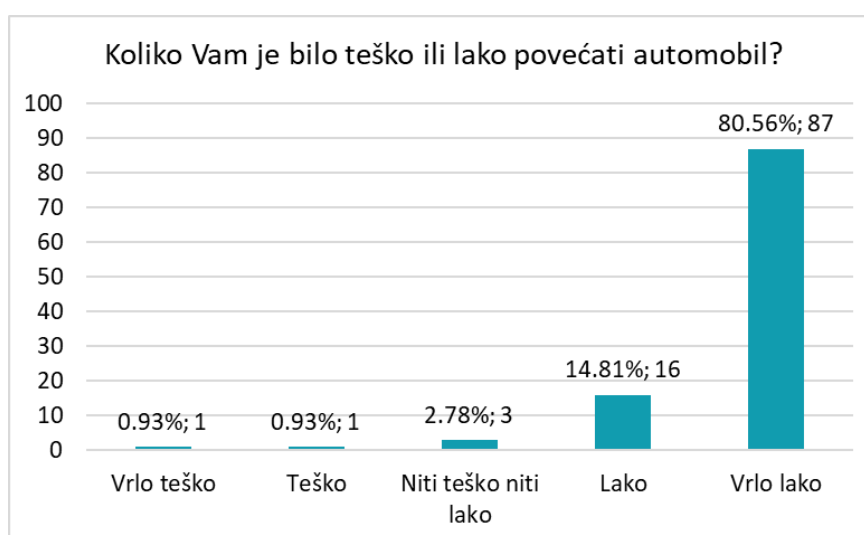
Sljedeće pitanje bilo je vezano uz zadatak **translacije** virtualnog objekta do traženog mjesta pri čemu su mogući interakcijski mehanizmi *povlačenje* i *tipke sa strelicama*, ovisno što je kojem ispitaniku dodijeljeno). Većina sudionika je odgovorila da im je bilo **vrlo lako** (54,63%, tj. 59 ispitanika) ili **lako** (31,48% ili 34 ispitanika) pomaknuti virtualni objekt do traženog mjesta dodijeljenom interakcijom. Postotak od 9,26% ispitanika smatra da im nije bilo niti teško niti lako riješiti navedeni zadatak, dok je ostatak ispitanika odgovorio da im je bilo vrlo teško (1,85% ili 2 ispitanika) ili teško (2,78% ili 3 ispitanika) pomaknuti objekt. Među ispitanicima koji su dali ocjenu 3 (*Niti teško niti lako*) ili nižu, većina su osobe bez teškoća pripadnici dobnih skupina u rasponu 18-34 godine te stariji od 55 godina. Ispitanici kojima je bilo teško ili jako teško su uglavnom stariji ispitanici (55 godina i više).

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.52 Raspodjela ocjena za težinu zadatka translacije objekta

Sljedeće pitanje vezano je uz **skaliranje** virtualnog objekta pri čemu je u zadatku bilo potrebno samo povećati objekt. Velika većina ispitanika je na pitanje je li mu to bilo teško ili lako napraviti odgovorila da im je bilo **vrlo lako** (80,56%, 87 ispitanika) ili **lako** (14,81%, 16 ispitanika), kao što je vidljivo iz grafa na sljedećoj slici (Slika 4.53). Interakcijski mehanizmi koji su bili mogući za dodjelu su gesta *razdvajanja prstiju* ili *tipka* za povećanje objekta. Manji dio sudionika (oko 2,78%, tj. 3 ispitanika) smatra da im nije bilo niti teško niti lako dok po 1 ispitanik smatra da mu je bilo teško ili vrlo teško riješiti ovaj zadatak. Većina ovih sudionika su bez teškoća i pripadnici dobnih skupina 55 godina i više.

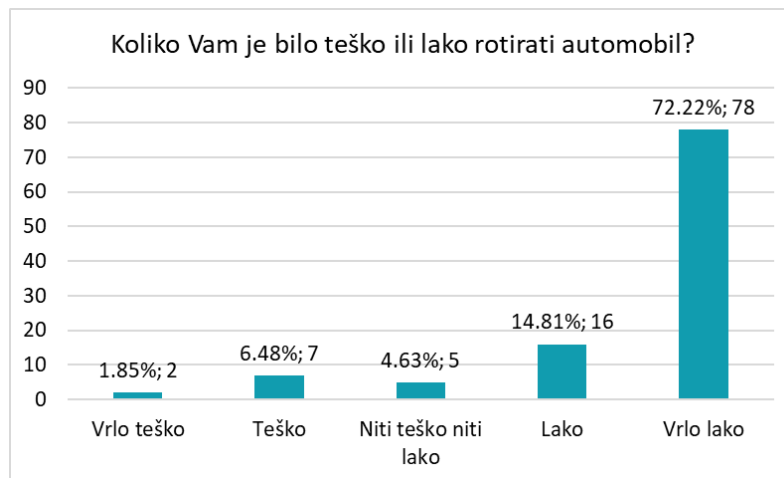


Slika 4.53 Raspodjela ocjena za težinu zadatka skaliranja objekta (N=108)

Za zadatak **rotacije** virtualnog objekta ispitanici su ocijenili težinu zadatka/interakcijskog mehanizma kako je prikazano na grafu sljedeće slike (Slika 4.54). Ponovno je većina ispitanika

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

odgovorila da im je bilo **vrlo lako** (72,22%, 78 ispitanika) ili **lako** (14,81%, 16 ispitanika) rotirati virtualni objekt s dodijeljenom interakcijom. Manji dio sudionika smatra da im nije bilo niti teško niti lako odraditi rotaciju (4,63%, 5 ispitanika) dok 6.48% (7) ispitanika smatra da im je bilo teško i 1.85% (2) ispitanika vrlo teško (1,85%) riješiti ovaj zadatak. Među ispitanicima koji su dali ocjenu 3 (*Niti teško niti lako*) ili nižu, podjednak je udio sudionika s teškoćama i bez teškoća. Pri tome, sudionici s teškoćama su većinom osobe s kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja te osobe koje uz navedene imaju motoričke teškoće ili motoričke teškoće i oštećenja vida. Ispitanici bez teškoća su pripadnici različitih dobnih skupina.



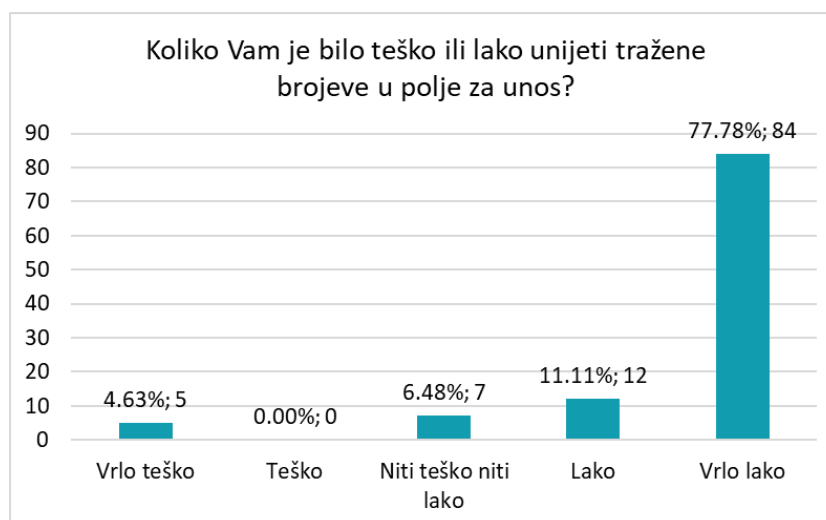
Slika 4.54 Raspodjela ocjena za težinu zadatka rotacije objekta

Iz navedenog se može zaključiti kako je dijelu ispitanika iz kategorije teškoća s kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja zadatak rotacije virtualnog objekta bio težak za odraditi te je u tom kontekstu provedena dublja analiza interakcija i odgovora ovih ispitanika. Dio ispitanika osobe su koje ne znaju čitati pa su im upute bile pročitane te se temeljem zapažanja ispitivača ovakvih izoliranih slučajeva može zaključiti kako je za pojedince iz ove kategorije potrebno **dodatno pojednostavniti neke od korištenih termina u uputama**, npr. umjesto termina *rotirati* koristiti termin *okrenuti*, jer je to utjecalo na razumijevanje zadatka te posljedično ocjenu interakcije. Dodatno, dalo se zamijetiti kako je određenim ispitanicima **intuitivnije odraditi neki zadatak dodirnom gestom** pa su, bez obzira na prikaz tipki za interakciju, ovi ispitanici pokušali odraditi zadatak najprije gestom što je također jedan od utjecaja razumijevanja i ocjene interakcije. Ovo također ukazuje na to kako je za određivanje načina interakcije za zadatak rotacije za ovu kategoriju teškoća potrebno uzeti dodatne parametre i/ili izbaciti subjektivni dojam, u slučajevima kada

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

ispitanici iz ove kategorije teškoća nisu u mogućnosti razumjeti razliku između ocjena zadovoljstva interakcijama. U ovim slučajevima su ocjene bile ili iskaz izrazito dobrog korisničkog iskustva (gdje su osobe vidno oduševljene igranjem igre dale ocjenu 5 sa značenjem da su *vrlo zadovoljne*) ili su dane na temelju promatranja ispitivača koji je provodio testiranje s tim ispitanikom).

Ozbiljna igra 2, kao i Ozbiljna igra 1, sadržava **zadatak koji je kompleksniji od drugih** te inkorporira zadatke transformacije virtualnog objekta za lakše rješavanje zadatka. Stoga je sljedeće pitanje vezano uz ocjenjivanje težine rješavanja ovog zadatka pri čemu se ponovno nude interakcijski mehanizmi za skaliranje i rotaciju koji su dodijeljeni korisniku za ovu igru, a osim transformacije objekta, potreban je unos broja u polje. Udio od **77.78%** (84) ispitanika odgovorio je da im je bilo **vrlo lako** te **11.11%** (12) ispitanika da im je bilo **lako** riješiti ovaj zadatak. Ostatak ispitanika odgovorio je da im je bilo niti teško niti lako (6,48%, 7 ispitanika) te vrlo teško (4,63%, 5 ispitanika), kao što je vidljivo na grafu na slici (Slika 4.55). Od ispitanika koji su odgovorili ocjenom 3 (*Niti teško niti lako*) ili 5 (*Vrlo teško*), najveći je udio ispitanika s **višestrukim teškoćama**, i to osoba s motoričkim teškoćama te kognitivnim i neurološkim poremećajima i/ili specifičnim teškoćama učenja. Preostali udio su većinom osobe starije od 55 godina. Potrebno je napomenuti kako većina navedenih ispitanika s motoričkim teškoćama ima cerebralnu paralizu te **koristi invalidska kolica** pa im je teško riješiti zadatke poput ovih koji po potrebi iziskuju kretanje korisnika, pogotovo **ako se potrebno sagnuti** kako bi se uočio nekakav detalj na objektu. Iz tog razloga, u takvim su slučajevima **potrebni dodatni načini interakcije kako bi se omogućilo približavanje objekta korisniku bez potrebe za kretanjem**.



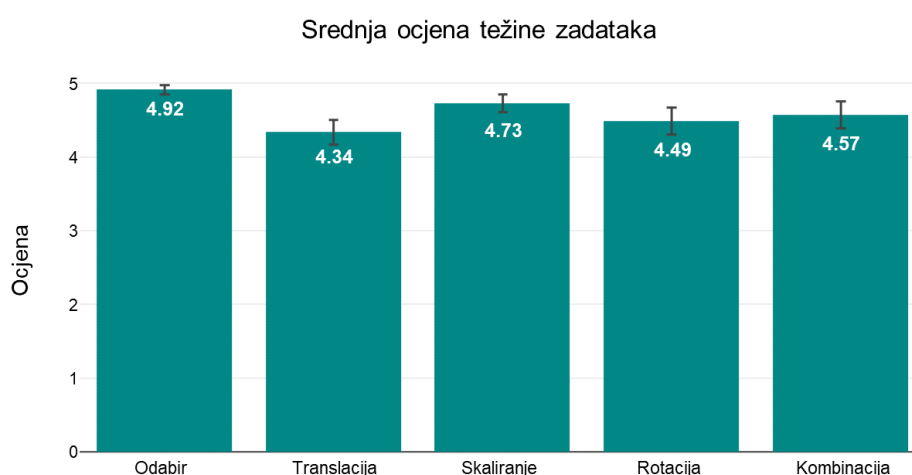
Slika 4.55 Raspodjela ocjena za težinu kompleksnijeg zadatka

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

Za analizu ocjene interakcijskih mehanizama po zadacima (*Odabir boje, Translacija, Skaliranje, Rotacija, Kombinacija*) izračunata je deskriptivna statistika koja uključuje sve ispitanike ($N=108$). Izračunate mjere (prosječna vrijednost M , medijan C , standardna devijacija Sd , minimalna i maksimalna vrijednost (min i max), indeks simetričnosti Sk (*Skewness*), indeks spljoštenosti distribucije Ku (*Kurtosis*) te interval pouzdanosti $CI=95\%$) prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4.16). Prosječne subjektivne ocjene po zadatku prikazane su korištenjem stupčastog grafikona na slici ispod (Slika 4.56) s prikazom intervala pouzdanosti $CI = 95\%$.

Tablica 4.20 Mjere deskriptivne statistike za ocjenu interakcije u pojedinom zadatku *Ozbiljne igre 2* za sve ispitanike ($N=108$)

Zadatak	Odabir	Translacija	Skaliranje	Rotacija	Kombinacija
M	4.92	4.34	4.73	4.49	4.57
C	5	5	5	5	5
Sd	0.34	0.9	0.65	0.98	0.97
Min	3	1	1	1	1
Max	5	5	5	5	5
Sk	-4.39	-1.6	-3.21	-2.03	-2.63
Ku	19.94	2.75	12.5	3.29	6.6
CI = 95%	4.85; 4.98	4.17; 4.51	4.61; 4.85	4.31; 4.68	4.39; 4.76



Slika 4.56 Prosječna ocjena težine zadatka s objektom u proširenoj stvarnosti

Generalno gledajući ocjene interakcijskih mehanizama koje su ispitanicima dodijeljeni za izvršavanje zadataka transformacije virtualnog objekta može se zaključiti kako su velikoj većini ispitanika zadaci bili laki ili vrlo laki za riješiti što se može vidjeti i iz srednje ocjene po zadatku. Budući da je cilj univerzalnog dizajna omogućiti korištenje rješenja što većem broju korisnika, dodatno su analizirani ispitanici koji su dodijelili ocjenu 3 ili niže za svaki od navedenih zadataka, kako bi se uočili problemi koji onemogućuju korisnika za izvršavanje pojedinog zadatka. Iako je riječ o manjem udjelu ispitanika, rezultati ove analize pretočeni su u preporuke za osiguravanje pristupačnosti za specifične korisnike rješenja.

Usporedba subjektivnih ocjena Ozbiljne igre 1 i 2

Kako bi ispitali je li način izračuna parametara postavki, tj. dodjele interakcijskog mehanizma pojedinom korisniku za pojedini zadatak, **uspoređene su ocjene koje su ispitanici dali za interakcijske mehanizme u Ozbiljnoj igri 1 sa ocjenama koje su dali za dodijeljene interakcijske mehanizme u Ozbiljnoj igri 2.** Pretpostavke iza odluke dodjele interakcijskog mehanizma u pojedinom zadatku (opisano u potpoglavlju 3.2.1) jesu da su ispitanici u prvoj igri preskočili zadatak koji im je bio težak (te za tu interakciju dali nižu ocjenu), da su barem jednoj interakciji dali veću ocjenu (te im je temeljem toga **ista** dodijeljena u drugoj igri) i da im je za težu interakciju trebalo više vremena (te im je temeljem toga **alternativna** interakcija dodijeljena u drugoj igri (ako su dodijelili iste ocjene)). Temeljem ovih pretpostavki, ispitaniku bi u Ozbiljnoj igri 2 trebala više odgovarati dodijeljena interakcija u pojedinom zadatku transformacije (u odnosu na alternativnu interakciju) te bi ispitanik za nju dao veću (ili jednaku) ocjenu u odnosu na prosjek danih ocjena za interakcije u ekvivalentnim zadacima u Ozbiljnoj igri 1. Jednadžba koja opisuje prethodno napisano prikazana je ispod:

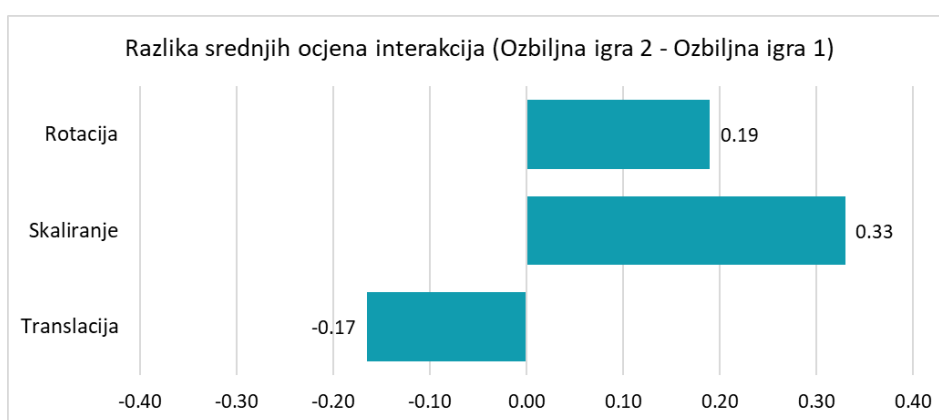
$$I_2 \geq I_1, I_1 = \frac{\bar{I}_A + \bar{I}_B}{2},$$

pri čemu su \bar{I}_A i \bar{I}_B srednje ocjene ispitanika za različite interakcijske mehanizme (A i B) za isti zadatak transformacije u Ozbiljnoj igri 1, I_1 srednja vrijednosti ocjena I_A i I_B za jedan zadatak transformacije te I_2 srednja ocjena interakcija za ekvivalentan zadatak transformacije u Ozbiljnoj igri 2.

Zadatak transformacije u Ozbiljnoj igri 1 odnosi se na zadatak translacije (par zadataka Zadatak 2-Zadatak 3), skaliranja (Zadatak 4-Zadatak 5) i rotacije (Zadatak 7-Zadatak 8). U nastavku je prikazan graf (Slika 4.57) koji prikazuje rezultat usporedbe ocjena do kojeg se došlo oduzimanjem ocjene I_1 od I_2 ($I_2 - I_1$). Iz grafa je vidljivo kako je za zadatak rotacije i skaliranja

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

dobiven pozitivan rezultat koji ukazuje na to da su ispitanici u prosjeku bili zadovoljniji interakcijom u ovim zadacima u Ozbiljnoj igri 2 nego interakcijama u ekvivalentnim zadacima u Ozbiljnoj igri 1. Negativan rezultat za zadatak translacije ukazuje na to da su ispitanici u prosjeku ipak bili zadovoljniji interakcijama u Ozbiljnoj igri 1 u odnosu na dodijeljenu interakciju u Ozbiljnoj igri 2. Kako bi utvrdili je li dobivena razlika statistički značajna, napravljen je *Wilcoxon signed-rank test* (N=108). Najprije je za svakog korisnika izračunat prosjek ocjena dodijeljenih interakcijama za parove zadataka (Translacija 1, Skaliranje 1, Rotacija 1) u Ozbiljnoj igri 1 te su oni uspoređeni s ocjenama interakcija svih korisnika u istim zadacima u Ozbiljnoj igri 2 (Translacija 2, Skaliranje 2, Rotacija 2). Rezultati napravljenog testa prikazani su u tablici ispod Tablica 4.21.



Slika 4.57 Razlika srednjih ocjena interakcija $I_2 - I_1$

Tablica 4.21 Rezultati *Wilcoxon signed-rank* testa za usporedbu ocjena interakcija u Ozbiljnim igrama 1 i 2

	W	z	p
Translacija 2 – Translacija 1	983	-1.36	.173
Skaliranje 2 – Skaliranje 1	399	-4.61	<.001
Rotacija 2 – Rotacija 1	962.5	-2.61	.009

Kako je vidljivo iz tablice, razlika u ocjenama interakcija za zadatak translacije nije statistički značajna stoga se ne mogu donositi zaključci vezani uz način dodjele interakcijskog mehanizma pojedinom ispitaniku za zadatak translacije. S druge strane, razlika u ocjenama interakcije za zadatke rotacije i skaliranja je statistički značajna stoga se može zaključiti kako

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

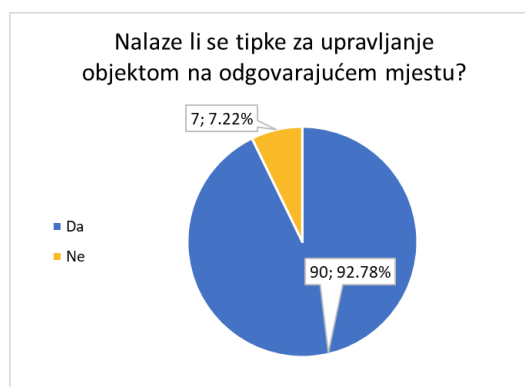
su ispitanici generalno zadovoljniji interakcijskim mehanizmima u zadacima rotacije i skaliranja u Ozbiljnoj igri 2 nego u Ozbiljnoj igri 1, odnosno, način dodjele interakcijskog mehanizma za ove zadatke je odgovarajući.

4.3.3.5. Neizravne kontrole

Budući da je u većini rješenja u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje uobičajeno koristiti dodirne geste, posebna je pozornost usredotočena na neizravne kontrole, tj. na veličinu i poziciju tipki koje se koriste kao alternativna opcija za dodirne geste. Stoga su ispitanici, koji su u nekom od zadataka (odabir, translacija, skaliranje, rotacija) koristili tipke (N=97), pitani jesu li im tipke za upravljanje virtualnim objektom **dovoljno velike** te **nalaze li se na odgovarajućem mjestu zaslona**. Ovo može biti vrlo relevantno za igre u proširenoj stvarnosti jer je bitno da elementi korisničkog sučelja i drugi sadržaji na zaslonu ne prekrivaju sadržaj proširene stvarnosti. Na sljedećim slikama prikazana je raspodjela odgovora na oba pitanja (Slika 4.58 i Slika 4.59). Iz grafova je vidljivo da većina ispitanika koji su koristili tipke smatra da su tipke za upravljanje objektom dovoljno velike (96,91%, 94 ispitanika) te da većina smatra da se tipke za upravljanje objektom nalaze na odgovarajućem mjestu (92,78%, 90 ispitanika). Ispitanici koji su odgovorili da se tipke ne nalaze na odgovarajućem mjestu su većinom osobe bez teškoća različite dobi stoga je potrebno dalje istražiti koji su čimbenici koji utječu na odgovarajuću poziciju tipki osim činjenice da to može ovisiti o tome je li korisniku dominantna ruka lijeva ili desna za korištenje pokretnog uređaja.



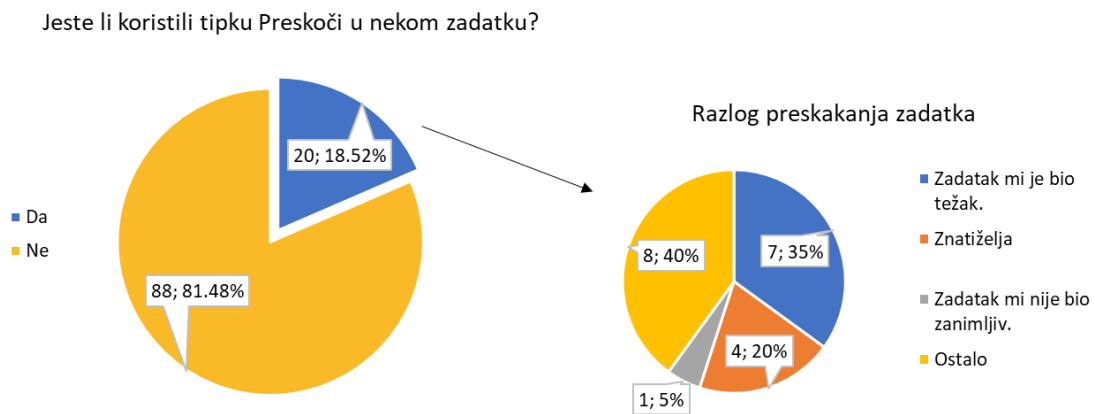
Slika 4.58 Raspodjela odgovora za veličinu tipki



Slika 4.59 Raspodjela odgovora za odgovarajuće mjesto tipki

4.3.3.6. Opcija preskoka

U Ozbiljnoj igri 2 postojala je opcija *Preskoka* koju su ispitanici mogli koristiti ako nisu mogli samostalno riješiti zadatak ili iz drugog razloga. Prema odgovorima ispitanika, njih 18,52% (20 ispitanika) je koristilo opciju *Preskoka* pri čemu je njih 7 ispitanika preskočilo zadatak jer im je bio težak, 4 ispitanika je odabralo kliknuti na tipku *Preskoči* zbog znatiželje što ta tipka radi, 1 ispitanik je preskočio jer mu zadatak nije bio zanimljiv, a ostalih 8 ispitanika su imali različite slobodne odgovore, kao što je vidljivo iz slike (Slika 4.60). Neki od odgovora pod opcijom *Ostalo* sugeriraju da razlozi za *Preskok* mogu biti: prerano zatvaranje uputa zadatka pa korisnik ne zna što treba raditi u zadatku (nepažljivo čitanje uputa), tehnički problem u igri (prekrivanje ključnog dijela igre za nastavak ili ne prihvaćanje određene interakcije), nerazumljivost tipke *Preskoči* (u kontekstu da virtualni objekt napravi akciju *preskoka* ili ako osoba ne zna čitati) te slučajno pritisnuta tipka dok je rađena gesta.



Slika 4.60 Korištenje opcije preskoka te razlozi preskakanja zadatka

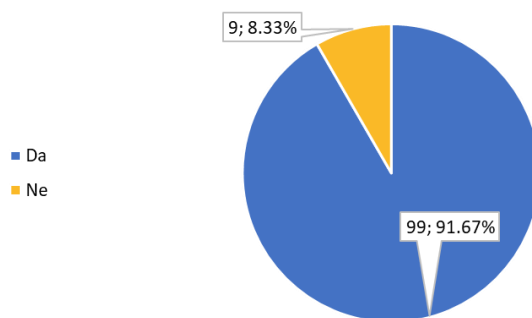
4.3.3.7. Razumljivost uputa

Posljednje pitanje iz treće cjeline pitanja u upitniku vezano je uz razumljivost i jasnoću uputa za pojedini zadatak, tj. je li korisnik dobro upućen u to što treba raditi u pojedinom zadatku pri čemu je velika većina ispitanika odgovorila da su **upute jasne i razumljive (91,67%, 99** ispitanika) dok preostali dio (8,33%, 9 ispitanika) smatra da nisu, što je vidljivo iz grafa na slici dolje (Slika 4.61). Od ispitanika koji su odgovorili da upute nisu jasne, većina su osobe s višestrukim teškoćama s pri čemu većina ne zna čitati te je to bio razlog njihovog odgovora.

Iz odgovora na ovo pitanje te pitanje vezano uz font i tekst, da se zaključiti kako je **nužno implementirati opciju izgovaranja uputa** zbog dijela ispitanika koji ne znaju čitati **ili neki oblik vizualne podrške** koji bi zamijenio upute.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

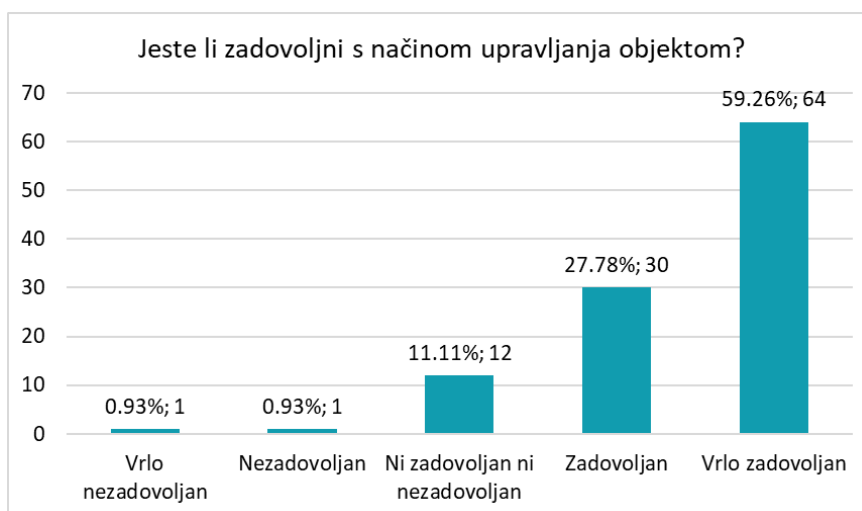
Jesu li upute za pojedini zadatak jasne i razumljive?



Slika 4.61 Raspodjela odgovora za razumljivost i jasnoću uputa

4.3.3.8. Sveukupno zadovoljstvo interakcijama i korisničko iskustvo

U posljednjoj cjelini pitanja ispitanici su odgovorili na pitanje o sveukupnom zadovoljstvu s načinom upravljanja virtualnim objektom odabirom ocjene od 1 do 5 pri čemu je: 1=Vrlo nezadovoljan; 2=Nezadovoljan; 3=Ni zadovoljan ni nezadovoljan; 4=Zadovoljan; 5=Vrlo zadovoljan. Iz grafa na slici (Slika 4.62) vidljivo je da je većina ispitanika (59.26%, 64 ispitanika) **vrlo zadovoljna** ili **zadovoljna** (27.78%, 30 ispitanika). Od preostalih sudionika, njih 11,11% (12 sudionika) nije niti zadovoljno niti nezadovoljno dok je samo po jedan ispitanik vrlo nezadovoljan ili samo nezadovoljan. Ovaj rezultat potvrđuje da su ispitanici većinski zadovoljni s načinom upravljanja objektom u proširenoj stvarnosti interakcijskim mehanizmima koji su im dodijeljeni.



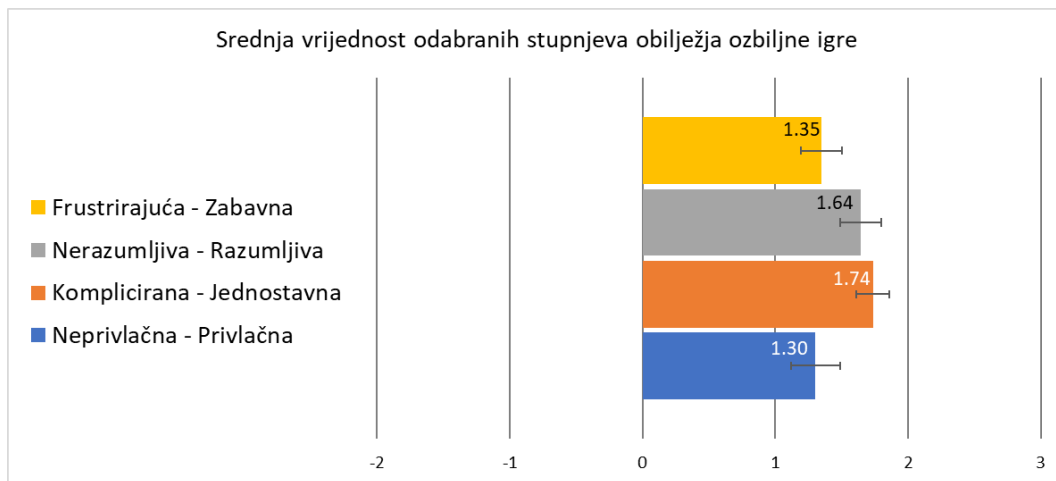
Slika 4.62 Raspodjela odgovora sudionika za zadovoljstvo načinom upravljanja objektom

Ispitanicima su zatim postavljena pitanja koja sadrže parove suprotnih obilježja koja se mogu odnositi na ozbiljnu igru. Sudionici su odabrali stupanj slaganja s određenim obilježjem na način da su odabrali jedan od pet stupnjeva (kružića) koji se nalaze između para suprotnih obilježja, a koji najbliže odražava njihov dojam o igri. Stavke su vrednovane bodovima od -2 do +2 pri čemu -2 predstavlja najnegativniji odgovor, 0 neutralan odgovor, a +2 najpozitivniji odgovor. Za ispitivanje generalnog dojma korisničkog iskustva ispitanika odabrana su 4 pitanja iz skupa pitanja standardiziranog upitnika za korisničko iskustvo (UEQ) s prilagodbom korištenih termina za bolje razumijevanje od strane osoba s teškoćama (konzultirano sa stručnjakom iz edukacijsko-rehabilitacijskog područja).

Rezultati su prikazani na grafu sljedeće slike (Slika 4.63) gdje je prikazana srednja vrijednost odabranih stupnjeva te interval pouzdanosti $CI = 95\%$. Iz grafa je vidljivo da sve srednje vrijednosti pokazuju izrazito pozitivnu evaluaciju (vrijednosti veće od 1). Ukupan pozitivan dojam sudionika o igri odaju pozitivne srednje ocjene za stavke vezane uz to da im je igra zabavna (1.35) te da im je privlačna u kontekstu da bi je poželjeli ponovno igrati (1.30). Odgovor na pitanje je li ispitanicima bilo lako upoznati se s igrom i je li im bilo lako naučiti koristiti igru (s obzirom na to da većina ispitanika nije imala prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću) daju pozitivne srednje ocjene za stavke razumljivosti (1.64) i jednostavnosti (1.74).

Analizirajući skup ispitanika koji su naginjali prema negativnom ili neutralnom odgovoru, može se zaključiti kako najveći udio ispitanika koji je neutralno odgovorio o ukupnom dojmu igre pripada dobnim skupinama u rasponu od 55 godina i više, dok najveći udio ispitanika koji je negativnije nastrojen prema ukupnom dojmu igre pripada dobnim skupinama od 18 do 24 godine. Budući da dizajn ozbiljne igre nije prilagođen starijoj populaciji, razumljivi su ovi većinski neutralni odgovori od dobnih skupina u rasponu od 55 godina na više. Također, što se tiče nerazumljivosti i kompliciranosti igre, najveći udio negativnih odgovora dolazi od osoba s motoričkim i intelektualnim teškoćama što ne čudi jer većina njih ne zna čitati i imali su problema s određenim interakcijama, dok su ponovno ispitanici s neutralnim odgovorima osobe pripadnici dobnih skupina starijih od 55 godina.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

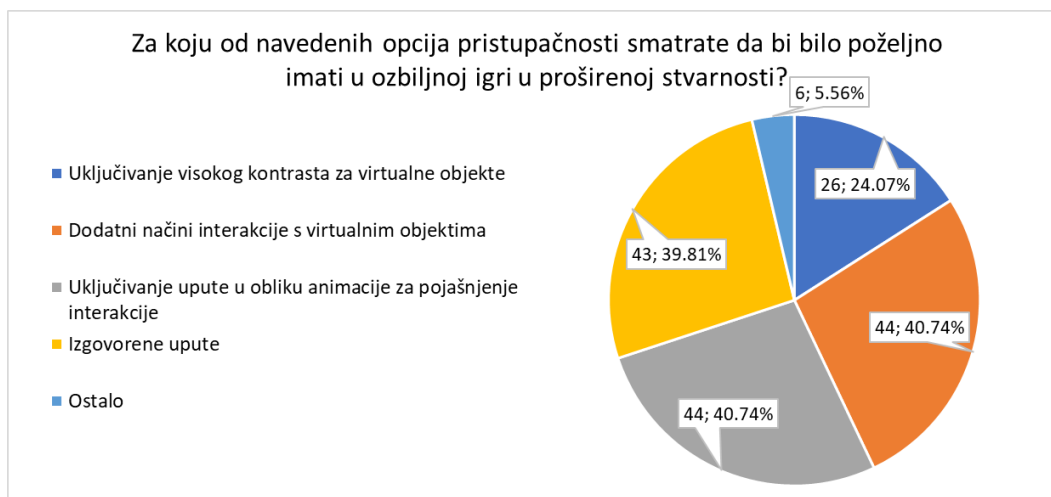


Slika 4.63 Srednja vrijednost odabranih stupnjeva suprotnih obilježja igre (CI=95%)

4.3.3.9. Opcije pristupačnosti

Sudionici u testiranju su pitani za mišljenje oko toga koje opcije pristupačnosti bi bile poželjne u ozbiljnoj igri u proširenoj stvarnosti te za dodatan komentar vezan uz igru ako ga imaju. Ispitanici su mogli izabrati više od jednog odgovora. Najveći udio ispitanika smatra da bi to bili **dodatni načini interakcije s virtualnim objektima** (40.74%, tj. 44 ispitanika) te **uključivanje uputa u obliku animacija za pojašnjenje interakcije** (40.74%, 44 ispitanika). Sličan udio ispitanika (39,81%, 43 ispitanika) smatra da bi bilo poželjno imati **izgovorene upute**, dok 24.07% (26) ispitanika smatra da bi bilo korisno imati opciju **uključivanja visokog kontrasta za virtualne objekte**. Raspodjela odgovora vidljiva je iz sljedećeg grafa (Slika 4.64). Od preostalih odgovora mogu se izdvojiti **poticanje na kretanje** (npr. u slučaju da je virtualni objekt skriven iza drugoga) te opcija ponovnog prikaza uputa koji bi svakako pridonijeli poboljšanju pristupačnosti i uporabivosti rješenja.

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata



Slika 4.64 Raspodjela odgovora ispitanika o poželjnim opcijama pristupačnosti

Izdvojeni dodatni komentari ispitanika na kraju procesa korisničkog testiranja prikazani su u nastavku u tablici s dodatnim komentarom (Tablica 4.22).

Tablica 4.22 Prikaz komentara nekolicine ispitanika na kraju korisničkog testiranja

Komentar ispitanika	Komentar
<i>Mogućnost korištenja oba načina interakcije, tj. i tipka i dodir</i>	U pojedinim slučajevima određenim korisnicima bilo je intuitivnije koristiti oba načina interakcije
<i>Objekt je bilo teško povećati jer je bio mali na zaslonu pa sam morao biti vrlo precizan s prstima</i>	Ovaj komentar upućuje na to da pojedini ispitanici nisu bili toliko uronjeni u proširenu stvarnost da im bude intuitivno približiti se objektu kamerom kako bi mu objekt izgledao veći i na zaslonu
<i>Odmah na početku vožnje auto krene prebrzo, pa je kasnije ok</i>	Potrebna bolja izvedba pojedinih interakcija transformacije za bolje korisničko iskustvo, a osobama s teškoćama za lakšu izvedbu
<i>Mogućnost igre unutar igre, nešto nalik pranju auta, ali da dulje traje. Možda neki poligon ili slično; Prikaz dodatnih objekata</i>	Iz komentara se da zaključiti kako bi pojedini korisnici željeli sadržajnije i izazovnije igre od prototipa
<i>Ulaz u autopraonicu je trebao biti precizan, krug nije dobro označavao gdje treba doći.</i>	Za pojedine korisnike, posebno osobe s motoričkim i/ili intelektualnim teškoćama potrebno je smanjiti potrebu za preciznošću odrade zadatka
<i>Kod tipki za kretanje možda da se u upute doda da se tipka može ili pritisnuti više puta zaredom ili duže zadržati kako bi se ostvario pomak ili promjena veličine.</i>	Potrebne jasnije upute za bolju izvedbu interakcija, posebno za tipke koje se koriste za translaciju objekta
<i>Mislim da bi bilo bolje kad bi postajalo više tipki za pomicanje auta, ne samo gore dolje lijevo desno nego i druge 4 tipke - za pomicanje sjeverozapadno, sjeveroistočno, JI i JZ</i>	Komentar sugerira da bi za neizravnu kontrolu translacije objekta bilo korisno omogućiti translaciju u svim smjerovima. Osim navedenog, potrebno je istražiti kakav bi utjecaj imala interakcija korištenjem tzv. gljive prikazane na zaslonu (po uzoru na <i>joystick</i>)

4. Validacija radnog okvira primjenom korisničkog testiranja sustava i analiza rezultata

<i>Predložio bih malo veći prostor igre. Povećanje i smanjenje objekta prstima moglo bi prethoditi animacijom sa strelicama. Redoslijed je dobro objašnjen. Poneka tamna boja za automobil bi dobro došla. Čini mi se da se rotacije objekta malo prebrzo odvija.</i>	Ideja za sadržajnije igru te preporuke za poboljšanje razumijevanja i pojedinih interakcija
---	---

4.3.3.1. Zaključci kvalitativne analize

Prema provedenoj analizi rezultata kvalitativnih podataka generalno se može zaključiti kako je većina korisnika zadovoljna sa stavkama ozbiljne igre za koje su pitani, od vidljivosti sadržaja, operabilnosti i razumljivosti, pri čemu je detaljnija analiza odgovora koji su mogli uputiti na različite probleme pristupačnosti ili nezadovoljstvo korisnika rezultirala definiranjem preporuka koje bi se trebale uvažiti u razvoju ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti kako bi bile u skladu s univerzalnim dizajnom. Također, posebno je stavljen naglasak na ispitivanje zadovoljstva i težine izvedbe interakcijskih mehanizama koji su ispitanicima dodijeljeni temeljem korisničkih interakcija u prvoj ozbiljnoj igri te se može zaključiti kako većini korisnika zadaci nisu bili teški te da su im dodijeljeni interakcijski mehanizmi odgovarali.

4.3.4. Izdvojena zapažanja provedbe korisničkog testiranja s osobama s teškoćama

Izdvojena zapažanja provedbe korisničkog testiranja s osobama s teškoćama zapisana su u sljedećoj tablici. Neka zapažanja su napisana grupno za nekoliko ispitanika.

Tablica 4.23 Zapažanja ispitivača nakon korisničkog testiranja s ispitanicima s teškoćama

Rd. br.	Zapažanje
1.	<p><i>Korištenje tipki za pomicanje psa i automobila bilo je jako teško. U jednom trenutku automobil je otišao van ekrana jer se ispitanik teško snalazio s tipkama i nije mu bilo razumljivo da se automobil treba dovesti do kruga. Kad je automobil nestao sa zaslona, izgubljen je interes za igru. Ispitaniku se jako sviđjelo to što na zaslonu može uočiti i predmete iz okoline pa je prstom upirao na dijelove prostorije kojima se automobil približio i stavljao ruku iza zaslona. Zbog hemipareze nije bilo moguće samostalno držanje tableta, ali je većina akcija uz navođenje isprobano. Promjena veličine kosti u AnalitičARki zahtijeva malo više preciznosti pa su gumbi za povećavanje bili bolja opcija. Gumbi kao sredstvo izvođenja akcija općenito su se pokazali puno boljima od gesti, osim u slučaju translacije. Što se tiče čitanja, zbog toga što se koristi znakovnim jezikom i zbog intelektualnih teškoća, tekst je objašnjavan na druge načine.</i></p> <p><i>Prilikom rotacije objekata nije bilo jasno da krug treba promijeniti boju da akcija završi. Bilo bi dobro kada bi promjenu boje kruga zamijenio neki indikator sa strane. Za upisivanje registracije i broja s ogrlice ispitanik je navođen koje brojeve treba pritisnuti.</i></p>
2.	<p><i>Ispitanik ima cerebralnu paralizu pa nije mogao samostalno i držati uređaj i izvršavati akcije na njemu.</i></p> <p><i>Za vrijeme ovog testiranja bilo je dosta problema sa skeniranjem površine u aplikaciji jer bi se objekti nakon inicijalnog postavljanja scene premještali na neke druge dijelove scene koji se ili ne vide ili nemaju smisla, primjerice 20 centimetara iznad tla. Zbog toga smo više puta morali pokrenuti igru ispočetka pa je mislio da nešto pogrešno radi. U ovom slučaju bi bilo poželjno kada bi korisnik dobio nekakvu povratnu informaciju ako se to dogodi da nije njegova greška već da se to može dogoditi u igri ili kada bi postojala animacija koja prikazuje kako izgleda uspješno skeniranje (npr. da piše ohrabrujuća poruka da aplikacija ne uspije uvijek u skeniranju, ali da je zato korisnik tu da joj pomogne).</i></p> <p><i>Najveći problem s kojim smo se susreli je bio s pritiskanjem gumba u cijeloj aplikaciji koji zahtijevaju samo kratki dodir na gumb. Korisnik ima cerebralnu paralizu pa otežano koristi ruke, kada bi pritisnuo gumb primjerice za nastavak zadatka, uređaj njegov pritisak ne bi uopće registrirao jer bi držao prst na gumbu po nekoliko sekundi. Bilo bi dobro kada bi se omogućilo da dugi pritisak gumba isto predstavlja odabir. Zbog osjetljivosti strelica nije mogao izvoditi precizna pomicanja objekta koje zahtijeva igra te je bolja opcija bilo pomicanje gestama. Rotacija gestama nije bila uspješna kao ni promjena veličine gestama. Preferirani oblik interakcije bili su gumbi. U zadnjem koraku teško je bilo pročitati broj s ogrlice psa jer se pas stalno micao te je korisnik zatražio pomoć u unosu.</i></p>
3.	<p><i>Korisnica ima cerebralnu paralizu pa nije mogla i držati uređaj i izvršavati akcije na njemu. Samostalno je isprobala svaki zadatak, a kada ne bi uspjela u obavljanju neke akcije koristila je gumb za preskakanje zadatka. Intuitivno je rješavala većinu zadataka jer se svakodnevno koristi mobitelom. Iako je bila zadovoljna veličinom teksta i odabirom fonta zbog slabovidnosti, zatražila je da joj se tekst čita te je kasnije rekla da bi joj bilo puno lakše da se upute izgovaraju kao što smo radili u testiranju. Korisnica ima cerebralnu paralizu pa je isto bilo problema s korištenjem gesti kao i kod prošlog korisnika. U zadnjem koraku gdje</i></p>

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

	<p><i>je trebalo upisati broj s ogrlice psa, bilo je problema jer se pas stalno pomicao pa nije mogla pročitati brojeve.</i></p>
4.	<p><i>Korisnici A bilo je potrebno držati tablet zbog toga jer ima ljevostranu hemiparezu pa za to nije mogla koristiti lijevu ruku, a desnu ruku koristila je za tipkanje po tabletu.</i></p> <p><i>Korisnicama A, B i C bila je potrebna pomoć za skeniranje površine na kojoj će biti prikazan autić. Bilo bi lakše da postoji animacija koja pokazuje što treba raditi s tabletom (pomicati ga lijevo-desno usmjerenog prema podu), jer su ga držale samo usmjerenog prema jednoj točki pa aplikacija nije mogla “shvatiti” gdje je pod te im je oko toga bila potrebna pomoć ili ponovno skeniranje.</i></p> <p><i>Korisnice A i B ne znaju čitati pa im je bilo potrebno čitati svaki zadatak i zbog toga su u upitniku pitanja vezana uz font odgovorena sa “ne”. Glasovne upute bi bile vrlo korisne za korisnike koji dobro ne vide ili ne znaju čitati. Trebalo bi razmisliti i o pojednostavljenju nekih riječi iz uputa, npr. riječ “rotirati” zamijeniti s “okrenuti”. Valja uzeti u obzir i da korisnice znaju razliku između nekih krajnjih pojmova, npr. 1 i 5, no teško im je razumjeti da postoje ocjene između 1 i 5, pa su u pitanjima gdje je trebalo nešto ocijeniti većinom dale najbolju ili najgoru ocjenu.</i></p> <p><i>Korisnica C zna čitati, no trebalo joj je dodatno objasniti cilj zadatka kako bi ga lakše shvatila. Također joj je bilo teško pročitati brojeve s ogrlice psa zato jer se pas stalno pomicao, a kad bi ga htjela zarotirati da bolje vidi, rotacija psa (pomoću gumba) je bila prebrza i zbog nije mogla naciljati željeni kut.</i></p> <p><i>Vođenje psa do zdjelica pomoću gumba (strelica) pokazalo se kao zahtjevno svim trima korisnicama. Više puta im se događalo da pas ode van zaslona i ne bi ga znale pronaći. Vjerojatno bi gljiva bila spretnije rješenje od trenutne četiri strelice. Također bi moglo biti korisno usporavanje psa zbog toga što korisnice nisu imale osjećaj kad treba pustiti gumb, i onda ako bi sekundu-dvije predugo držale gumb, pas bi taman “pobjegao” sa zaslona.</i></p> <p><i>Ono što se još pokazalo zahtjevnim bila je rotacija psa pomoću jednog ili dva prsta. Prilikom rotacije s jednim prstom došlo bi se do pola kruga i nakon toga unatrag, korisnicima je bilo komplicirano napraviti puni krug. S druge strane, rotacija pomoću dva prsta bila je još zahtjevnija jer to zahtijeva finu motoriku. Korisnici bi pomoću jednog prsta dotaknuli zaslon tableta, no nikako nisu uspijevali pomoću dva prsta. Prvo bi doticali pomoću npr. kažiprsta i onda umjesto da dodaju drugi prst, oni bi s kažiprsta prešli na doticanje zaslona pomoću samo palca.</i></p>
5.	<p><i>Osoba ima cerebralnu paralizu te ne može hodati (kreće se pomoću kolica), ima sporije reflekse i malo slabiju finu motoriku (cerebralnu paralizu i neurološki poremećaj). Osoba je vrlo dobro razumjela upitnik i bila joj je potrebna minimalna pomoć pri ispunjavanju. Valja napomenuti da je ona bila ispitanik koji razumije razliku između svih ocjena od 1 do 5, a ne samo krajnosti, tj. samo 1 i 5 (kao da ocjene između ne postoje).</i></p> <p><i>Vrlo dobro se snašla sa svim zadacima u obje igre, osim sa čitanjem brojeva s ogrlice psa jer joj je, kao i prethodnim ispitanicima, smetala njegova glava. Igra BUBAmARac je ostvarila svoju svrhu i bila joj je puno lakša i brže ju je odigrala nego AnalitičARku. Lakoća igranja BUBAmARca vidljiva je i u odgovorima koji su dani u upitniku.</i></p>
6.	<p><i>Osoba nije najbolje shvaćala koncept proširene stvarnosti te je zahtijevala dodatne upute za rješavanje zadataka, npr. nije shvaćala da, dok stoji na mjestu, može odvesti psa ili auto do traženog mjesta već bi se fizički pomaknula u smjeru gdje u AR-u stoji pas/auto te bi si time zaklonila pogled s njih. Ovdje bi možda pomogle upute koje upućuju korisnika da se odmakne od auta.</i></p> <p><i>Osoba slabije vidi, ali može čitati kada si ekran približi vrlo blizu očima.</i></p>

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

	<i>Osoba je na sva pitanja odgovorila da joj je bilo lagano što je vjerojatno posljedica toga što joj je bilo zabavno igrati ovakvu igru što se da zaključiti i iz komentara.</i>
7.	<i>Osoba je sjedila dok je testirala aplikacije. Morali smo ponovno pokrenuti AnalitičARku jer se dogodila pogreška u kontekstu premještaja skenirane površine i psa izvan dosega/vidokruga korisnice koja je sjedila. U tom slučaju bi bilo dobro da postoji indikator i za pronalazak psa, ne samo tuša i zdjelice jer inače korisnik uopće ne zna gdje je objekt nestao niti da se površina za igru premjestila.</i>
8.	<i>Osoba s cerebralnom paralizom, skupljenih šaka, koristi uglavnom desnu ruku: Osoba ne može samostalno držati tablet te nije mogla odraditi zadatke skeniranja ili koje uključuju geste. Zadatke s tipkama je mogla odraditi, ali tek kad bi joj se tablet namjestio ispred dijela šake ili prsta s kojim vrši interakciju. Ne zna čitati (govorila je da ne vidi) pa nije čitala tekst ni brojeve u zadnjim zadacima. Zbog toga su odgovori 'ne' kod pitanja s fontom.</i>
9.	<i>Osoba s cerebralnom paralizom, slaba pokretljivost desne ruke, lijevu slabo koristi; potpuno slijepa na desno oko, lijevo oko visoka slabovidnost. Osoba ne može samostalno držati tablet – za zadatke poput skeniranja površine pomogao bi pomičući stalak (koji se može staviti na kolica). Osoba može čitati, ali joj je zadani font bio premali (nije koristila postavke, ali je za naknadno povećani tekst rekla da je puno bolji/veći, a da je OpenDyslexic jako nečitak). Imala je problem s dovoženjem auta do praonice jer se praonica stvorila ispred auta tako da je zaklanjala pogled korisniku. Pomogle bi upute ili animacije koje bi korisnika potaknule da se pomakne i proba doći sa strane tako da vidi automobil. Upute nisu bile razumljive, odnosno puno bi olakšalo da postoje izgovorene upute, npr. tipka s ikonom zvučnika pored teksta.</i>
10.	<i>Ispitanik je sam čitao zadatke i držao tablet te uz malo dodatnog usmjeravanja u nekoliko zadataka, većinu zadataka rješavao bez problema. Korištenje tipki pokazalo se dosta jednostavnijim i bržim iako je zadatke uspio obavljati i s gestama bez problema, osim u slučaju rotacije objekta. Kao i u već nekim prethodnim ispitivanjima strelice su se pokazale lošijom opcijom od povlačenja jer nije baš shvaćao kada treba pritisnuti koju strelicu za pomicanje psa i automobila, a i osjetljivost dodira na strelicu je bila prevelika pa bi se objekt previše pomaknuo. Što se tiče teksta, rekao je da mu je bio dovoljno velik i čitljiv te je čitao sav tekst. Tipka za rotaciju objekta pokazala se puno boljom opcijom, dok je rotacija gestama bila zahtjevnija.</i>
11.	<i>Osoba ne zna čitati tako da nije mogla ocijeniti font u igri niti upisivati brojeve s ogrlice psa niti s registracije automobila. Svidjela joj se igra i nije bilo problema s igranjem BUBAmARca nakon AnalitičARke, no teško bi ju odigrala sama, tj. bez da je netko uz nju. Tablet joj je nakon nekog vremena postao težak pa ga je bilo potrebno držati.</i>
12.	<i>Osoba ne zna čitati iako je u zadnjem zadatku prepoznala brojeve koje treba upisati u polje. Jako voli aute pa je bila oduševljena s drugom igrom. Koristi pametni telefon za fotografiranje te se činilo da joj nijedna interakcija ne čini problem, geste su se u određenim situacijama pokazala intuitivnijima, pogotovo pri pomicanju auta (u jednom trenutku je auto odvezen toliko da smo ga morali tražiti)</i>
13.	<i>Osoba ima blage intelektualne te je uspješno odigrala sama zadatke, osim u pojedinim slučajevima kada je Preskok slučajno pritisnula jer joj se tipka našla na putu dok je radila interakciju gestama (iako je u tom zadatku interakciju trebalo obaviti tipkama)</i>

5. Smjernice za razvoj i vrednovanje pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

U ovom poglavlju opisane su smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara temeljenih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje proizašle iz ključnih parametara korisničkih interakcija koji utječu na pristupačnost i korisničko iskustvo te analize rezultate korisničkog testiranja opisane u prethodnom poglavlju.

Pojedine komponente i sadržaji prototipova ozbiljnih igara koji su korišteni u korisničkom testiranju razvijeni su slijedeći načela pristupačnosti WCAG koja su primarno namijenjena web i mobilnim aplikacijama za pokretne uređaje te internetske preglednike. Budući da su prototipovi razvijeni za pokretne uređaje (pametne telefone i tablete), određeni dio smjernica WCAG se mogao primijeniti, međutim, zbog specifičnosti sadržaja i interakcija u proširenoj stvarnosti te nedostatka smjernica i standarda pristupačnosti za razvoj AR rješenja, određeni dijelovi prototipova razvijeni su temeljem osnovnih pretpostavki o korisnicima različite sposobnosti i dobi i slijedeći saznanja iz prethodnih istraživanja, tj. korisničkih studija vezanih uz osobe s invaliditetom, ozbiljne igre i proširenu stvarnost.

Smjernice koje su proizašle iz analize kvantitativnih i kvalitativnih podataka prikupljenih tijekom provedbe korisničkog testiranja ozbiljnih igara potvrđuju neke od dobrih praksi i preporuka dizajna interakcija i općenito dizajna ovakvih rješenja te donose neka nova saznanja

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

u području razvoja pristupačnih rješenja u proširenoj stvarnosti u skladu s univerzalnim dizajnom. Smjernice su namijenjene kao nadopuna postojećim preporukama i dobrim praksama u ovom području, a vezane su uz općenito dizajn pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje, specifične potrebe korisnika koji su pripadnici pojedine kategorije teškoća te pojedine dobne skupine, te automatsku prilagodbu ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje u kontekstu pristupačnosti.

Smjernice su podijeljene prema načelima pristupačnosti po uzoru na smjernice za osiguravanje pristupačnosti internetskog sadržaja WCAG: vidljivost, operabilnost i razumljivost, uz dodatne preporuke vezane uz implementaciju rješenja s podrškom praćenja korisničkih interakcija te prilagodbu pojedinom korisniku.

5.1. Smjernice vezane uz vidljivost sadržaja

Načelo vidljivosti odnosi se na to da informacije i komponente korisničkog sučelja korisniku trebaju biti prezentirane na način da ih korisnici mogu percipirati (barem jednim osjetilom), a u kontekstu pristupačnosti ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje odnose se na čitljivost fonta, veličinu fonta, boju teksta i pozadine te uočljivost virtualnih objekata.

Smjernice vezane uz vidljivost sadržaja (G1-G4) proizašle iz analize prikupljenih podataka, a koje se odnose na ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 5.1). Navedene smjernice smatraju se **nužnima** za osiguravanje pristupačnosti rješenja osobama različite dobi i sposobnosti. Dio smjernica može se primijeniti i koristiti kao preporuka za ozbiljne igre na pokretnim uređajima koje nisu zasnovane na proširenoj stvarnosti jer se odnose i na dizajn korisničkog sučelja i prikaz tekstualnih i drugih informacija koje se pojavljuju na zaslonu igre.

Tablica 5.1 Smjernice iz kategorije načela vidljivosti s dodatnim komentarom

	Smjernica	Rezultat analize	Komentar/dodatno objašnjenje
G1	Kao zadani font preporuča se koristiti font iz skupine sans-serif fontova, npr. font <i>Roboto</i>	91.67% (99) ispitanika je potvrdilo čitljivost fonta (4.3.3.1)	Sans-serif fontovi nemaju nastavke na kraju slova, tzv. zavijutke ili ukrase, koji mogu otežati čitljivost teksta
G2	Kao zadani omjer kontrasta boje teksta i pozadine preporuča	90.74% (98) ispitanika je potvrdilo da je tekst čitljiv s obzirom na boju teksta i pozadine (4.3.3.1)	Najmanji zadani omjer kontrasta preporuča se i za tekst koji se u igri pojavljuje kao uputa za obavljanje zadatka, i za tekst koji služi kao

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

	se najmanje 4.5:1 za normalan tekst (u skladu sa smjernicom WCAG za normalni tekst). U rješenju je korištena kombinacija boja s omjerom 7:1		obavještenje o napretku igre. Dodatno, preporuča se i za omjer kontrasta boje teksta ili ikone na tipkama korisničkog sučelja koje korisnika upućuju dalje kroz igru
G3	Kao zadanu boju objekta koristiti onu koja stvara visoki omjer kontrasta naspram površine pozadine. (Budući da omjer kontrasta uvelike ovisi o površini na kojoj se igra koristi, smjernica se odnosi i na odabir boja u postavkama koje nude alternativne boje objekata)	99,07% ispitanika virtualni smatra objekte koji se pojavljuju u igri dovoljno uočljivima u odnosu na pozadinu, tj. površinu prostorije u kojoj su koristili rješenje (4.3.3.2)	Korištenje svijetlih predmeta na tamnim površinama ili obrnuto može poboljšati vidljivost. Preporuča se odabir živih i zasićenih boja za bolju uočljivost objekata (bolje se ističu od prigušenih boja). Pri odabiru boja koristiti shemu boja koje odgovaraju i osobama s teškoćama raspoznavanja boja
G4	Omogućiti pauziranje ili zamrzavanje virtualnog objekta u kretnji (animacija) kako bi se omogućilo promatranje objekta za daljnji napredak korisnika u igri	Pojedinim ispitanicima s ograničenim mogućnostima kretanja i/ili kognitivnim sposobnostima nije pristupačno promatrati virtualni objekt s animacijom/kretnjom – pogledati zapažanja iz 4.3.4	Iako korištenje animacija virtualnog objekta pridonosi atraktivnosti rješenja, potrebno je omogućiti pauziranje animacije, pogotovo kada je promatranje objekta ključno za daljnji napredak u igri/učenje

U nastavku se nalaze posebno odvojene preporuke vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti u kontekstu načela vidljivosti koje nisu nužne, ali prema rezultatima analize se smatraju potrebnima i dobrom praksom za osiguravanje pristupačnosti za što veći broj korisnika. Tablica 5.2 prikazuje preporuke P1-P4, a ispod tablice su diskutirane smjernice i preporuke.

Tablica 5.2 Preporuke za vidljivost vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih AR igara

Preporuke za osiguravanje vidljivosti		Komentar/dodatno objašnjenje
P1	Kao zadanu veličinu fonta teksta preporuča se koristiti vrijednost od (najmanje) 22 točke (engl. <i>points</i>)	Točka se odnosi na jedinicu za veličinu fonta korištenu u razvojnom okruženju Unity. Vrijednost u točkama se postavlja svojstvu tekstualnog objekta <i>fontSize</i> . Stvarna veličina teksta ovisi o razlučivosti i veličini zaslona te odabranom fontu. Veličinu teksta moguće je procijeniti u pikselima koristeći formulu:

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

		$pixelSize = pointSize * (dpi / 72)$, pri čemu je <i>pixelSize</i> veličina u pikselima, <i>pointSize</i> veličina u točkama, a <i>dpi</i> rezolucija zaslona
P2	Kao zadanu veličinu stvorenog virtualnog sadržaja u prostoru preporuča se koristiti veličinu objekta iz stvarnog života kada je to moguće, a kada nije, potrebno je odrediti veličinu objekta tako da odgovara veličini prostora određenog za igru te da bude dovoljne veličine da bude uočljiv svakom korisniku	Veličina objekata trebala bi biti proporcionalna veličini prostora za igru (ovisno o tome stvara li se scena za igru na površini poda, stola, zida i sl.). Veličinu objekta u razvojnom okruženju Unity moguće je podesiti promjenom komponente <i>Transform</i> koju sadrži svaki objekt, točnije promjenom vrijednosti varijable <i>transform.localScale</i> koja sprema veličinu objekta u Unity jedinicama koje je moguće pretvoriti u jedinice iz stvarnog svijeta
P3	Implementirati indikatore za objekte koji se nađu izvan vidokruga korisnika (tj. kamere uređaja)	Za sve objekte važne za postizanje cilja u igri odabrati uočljive indikatore koji korisnika usmjeravaju u kojem smjeru treba okrenuti kameru uređaja za pronalazak objekta
P4	Omogućiti opciju uključivanja visokog kontrasta ili isticanja rubova virtualnog objekta	Opcija uključivanja visokog kontrasta odnosi se na objekte kojima je jednostavno promijeniti boju cijelog ili većeg dijela objekta, dok se opcija isticanja rubova odnosi na isticanje granice cijelog objekta za bolju uočljivost u odnosu na površinu ili isticanje pojedinih dijelova objekta za osobe koje teže uočavaju detalje. Isticanje rubova posebno može biti od koristi kod objekata za koje je bitno da ostanu u svom prvobitnom izgledu, pogotovo edukacijski sadržaj. 24.07% ispitanika smatra opciju uključivanja visokog kontrasta za virtualne objekte korisnijom opcijom pristupačnosti u odnosu na ostale (4.3.3.9)

Smjernice navedene u Tablici 5.1 mogu poslužiti kao smjernice razvijateljima rješenja koji se pitaju koje opcije mogu postaviti **kao zadane** (engl. *default*) kako bi bile u skladu s univerzalnim dizajnom, odnosno kako bi odgovarale što većem broju korisnika rješenja bez obzira na dob i sposobnosti. Ipak, potrebno je korisniku ostaviti mogućnost odabira između različitih opcija vrste i veličine fonta. Stručnjaci se slažu da ne postoji vrsta fonta koja omogućava najbolju čitljivost jer jedna vrsta fonta ne odgovara svim korisnicima jednako (npr. ne postoji jedna vrsta fonta koja je optimalna za sve osobe s disleksijom) [94]. Također, razmatrajući koju vrstu fonta koristiti u dizajnu rješenja kao zadanu ili alternativnu opciju, bitno je istražiti koji fontovi imaju podlogu u kontekstu dokaza poboljšanja čitljivosti korisnicima s teškoćama u čitanju, npr. font OmoType [95]. Dodatno, prilikom povećanja veličine fonta ili virtualnog sadržaja u obzir valja uzeti veličinu zaslona te prekrivanje bitnog sadržaja igre u proširenoj stvarnosti te na taj način odrediti maksimalno povećanje teksta, odnosno sadržaja.

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Uočljivost virtualnih objekata nadopuna je načela vidljivosti u kontekstu proširene stvarnosti te se odnosi na prikaz virtualnih objekata u stvarnoj okolini korisnika na način da ih korisnici mogu percipirati (barem jednim osjetilom). Budući da uočljivost objekata uvelike ovisi o okolini u kojoj korisnik koristi igru, tj. boji površine na kojoj se stvori objekt, važno je osigurati mogućnost prilagodbe objekta tako da bude uočljiviji. Ovo je moguće učiniti na način da se boja objekta promijeni tako da bude u visokom omjeru kontrasta u odnosu na boju površine ili da se rubovi objekta istaknu na način da ne smetaju prepoznatljivosti objekta ili detalja prikazanih na samom objektu. Naglašavanjem rubova objekta moguće je dati jasnije granice između objekta i pozadine te je moguće stvoriti osjećaj dubine i olakšati razumijevanje prostornog odnosa između objekta i okoline za pojedine osobe. Bitno za napomenuti je da su nekim osobama s kognitivnim poremećajima potrebne kombinacije boja ili nijansi niskog omjera kontrasta, stoga je mehanizam prilagodbe pojedinom korisniku važno osigurati i za promjenu boje virtualnog sadržaja s mogućnošću povratka boja na zadane vrijednosti [96]. Mogući su različiti načini kako bi se navedeno moglo implementirati: opciju promjene boje postaviti na zaslon igre tako da je stalno dostupna (postavlja se pitanje je li ova dodatna opcija na zaslonu ometajuća za sadržaj u proširenoj stvarnosti), boju promijeniti u postavkama igre koje će biti dostupne klikom na tipku na zaslonu (postavlja se pitanje hoće li korisnik imati tendenciju koristiti postavke), opciju promjene boje učiniti dostupnom dugim pritiskom (engl. *long press*) objekta (u ovom slučaju korisnika treba upoznati s postojanjem ove opcije, pogotovo ako inače nema iskustva s igrama ili proširenom stvarnosti). Zbog navedenog, automatska prilagodba pojedinom korisniku se i ovdje nameće kao optimalno rješenje, na način da je objekt u igri prikazan na način za koji sustav prilagodbe prepozna prema uvjetima iz okoline i/ili profilu korisniku da bi bio odgovarajući.

5.2. Smjernice vezane uz operabilnost

Načelo operabilnosti se kod web-stranica odnosi na osiguravanje lakoće uporabe korisničkog sučelja i navigacije korisničkim sučeljem za širok spektar korisnika, uključujući osobe s invaliditetom. To uključuje osiguravanje pristupa korisničkom sučelju i navigaciji putem tipkovnice, osiguravanje dovoljno vremena korisnicima za čitanje i korištenje sadržaja, dizajn sadržaja na način za koji je poznato da ne uzrokuje napadaje ili fizičke reakcije, osiguravanje pronalaska sadržaja i pomoći u snalaženju na web-stranici te omogućavanje upravljanja sadržajem putem različitih ulaznih modaliteta, npr. tipkovnice, miša, dodira i drugih asistivnih tehnologija [37]. Jedna od WCAG smjernica iz kategorije načela operabilnosti vezana je uz to

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

da uz pokazne/dodirne geste poput povlačenja i primicanja ili razdvajanja prstiju treba osigurati alternativne metode interakcije za osobe koje navedene geste ne mogu izvesti. Primjenjujući ovo načelo na zadatke u proširenoj stvarnosti, u nastavku slijede komentari i smjernice proizašle iz analize provedenog korisničkog testiranja i prikupljenih kvantitativnih podataka o korisničkim interakcijama.

Posebnu pozornost treba obratiti na dizajn interakcija jer su one ključne za uspješnu izvedbu zadataka u proširenoj stvarnosti, posebno za osobe s motoričkim teškoćama. Prema rezultatima korisničkog testiranja, većina sudionika je zadovoljna s načinom upravljanja, tj. interakcijskim mehanizmima koje su im dodijeljene za interakciju/upravljanje s virtualnim objektom. Pri tome su većini sudionika dodijeljene neizravne kontrole, tj. tipke kao interakcijski mehanizam za zadatke koji su se pokazali težima u proširenoj stvarnosti. Stoga, generalna smjernica vezana uz osiguravanje alternativnih metoda interakcije za osobe koje ne mogu izvesti dodirne geste jest da se omoguće i neizravne kontrole, tj. tipke koje omogućavaju interakcije potrebne za izvršenje različitih zadataka u proširenoj stvarnosti.

Specifičnije smjernice vezane uz operabilnost, s naglaskom na pojedine zadatke u proširenoj stvarnosti, prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 5.3). Ove smjernice su **nužne** za osiguravanje pristupačnosti pojedinim korisnicima.

Tablica 5.3 Smjernice iz kategorije načela operabilnosti s dodatnim komentarom

Smjernica	Rezultat analize	Komentar/dodatno objašnjenje
G5 Potrebno je implementirati prepoznavanje površine s ograničenim pokretima korisničkog uređaja za samostalno korištenje rješenja	Iz odgovora sudionika s motoričkim/višestrukim teškoćama na pitanje što bi olakšalo skeniranje površine u igri (4.3.3.3), jasno je da za samostalno korištenje rješenja u proširenoj stvarnosti gdje je fizičku/virtualnu korespondencije potrebno uspostaviti na način da se uređaj pomiče i usmjerava u određenom smjeru, potreban pomični stalak za pokretni uređaj koji se montira na invalidska kolica (posebno važno za osobe koje ne mogu koristiti obje ruke tijekom korištenja pokretnog uređaja ili imaju ograničenu pokretljivost ruku) – pogledati zapažanja u 4.3.4	Kada korisnik ne može koristiti obje ruke ili ima smanjenu pokretljivost ruku te koristi pomični stalak uz pomoć kojeg je moguće samo grubo pomicanje uređaja koji se nalazi na stalku, implementacija prepoznavanja površine treba biti omogućena (koliko tehnologija dozvoljava)
G6 Neizravne kontrole (npr. tipke za interakciju) s istom	Većina ispitanika koji su koristili tipke smatra da su tipke za upravljanje objektom dovoljno	Korisničko sučelje s neizravnim kontrolama potrebno je organizirati na način da se

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

	funkcionalnošću grupirati ili postaviti na odgovarajućem mjestu na zaslonu	velike (96,91% , 94 ispitanika) te se nalaze na odgovarajućem mjestu (92,78% , 90 ispitanika) (4.3.3.5). Tipke u igrama su grupirane prema funkcionalnosti i boji.	olakša upotreba i da iskustvo korištenja bude zadovoljavajući. Pri tome u obzir treba uzeti u kojoj orijentaciji uređaja (pejzažnoj ili portretnoj) se rješenje koristi. Npr. u portretnoj orijentaciji tipke za upravljanje objektom treba postaviti u donjem dijelu zaslona kako bi bili lakše dostupne korisnicima, a bez ometanja sadržaja proširene stvarnosti
G7	Implementirati umjerenu brzinu virtualnih objekata nakon interakcije transformacije (translacije, skaliranja i rotacije)	Zbog osjetljivosti interakcija pojedini ispitanici nisu mogli izvesti precizna pomicanja objekta koje zahtijeva igra – pogledati zapažanja u 4.3.4	Izvedba translacije, skaliranja i rotacije ne smije biti prebrza kako bi se postigla realistična simulacija upravljanja objektima za bolje korisničko iskustvo, ali i za lakšu izvedbu zadatka, posebno za osobe s teškoćama ili starije osobe
G8	Implementirati dodatne načine interakcije za osobe s ograničenim kretanjama oko virtualnih objekata kako bi riješile određeni zadatak	Zbog korištenja invalidskih kolica i ograničenosti kretanja, pojedini ispitanici se nisu mogli dovoljno približiti objektu - pogledati analizu odgovora u 4.3.3.4.	Za korisnike koji nemaju uvjete za kretanje oko virtualnih objekata (npr. osobe s motoričkim teškoćama, koja koriste invalidska kolica ili imaju prostorno ograničenje), potrebno je omogućiti interakcije koje omogućavaju približavanje virtualnih objekata bez potrebe za kretanjem (npr. u zadatku gdje je potrebno sagnuti se da bise uočio neki detalj)

U nastavku se nalaze posebno odvojene preporuke vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti u kontekstu načela operabilnosti koje nisu nužne, ali prema rezultatima analize se smatraju potrebnima i dobrom praksom za osiguravanje pristupačnosti za što veći broj korisnika. Tablica 5.4 prikazuje preporuke P5 i P6, a ispod tablice su diskutirane smjernice i preporuke.

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Tablica 5.4 Preporuke za operabilnost vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih AR igara

Preporuke za osiguravanje operabilnosti		Komentar/Dodatno objašnjenje
P5	Za izvršavanje zadataka u proširenoj stvarnosti omogućiti više interakcijskih mehanizama istovremeno bez konfliktnosti (npr. dodirne geste i tipke)	Pojedinim korisnicima u pojedinim zadacima u AR-u bolje odgovaraju dodirne geste od neizravnih kontrola i obrnuto. Ovisno o kontekstu i uređaju, istom korisniku za isti zadatak mogu biti intuitivniji ili pristupačniji različiti interakcijski mehanizmi zbog čega je potrebno učiniti dostupnima različite interakcijske mehanizme. Pri tome je važno voditi računa da neizravne kontrole ne ometaju sadržaj proširene stvarnosti te ih je moguće ukloniti ako su nepotrebne
P6	Ciljeve i mete u igri implementirati na način da nije potrebna totalna preciznost interakcije za rješavanje zadatka	Za pojedine korisnike, posebno osobe s motoričkim i/ili intelektualnim teškoćama, potrebno je smanjiti potrebu za preciznošću odrade zadatka, tj. implementirati ciljeve i mete dovoljno velikima i/ili povećati komponente koje se koriste za koliziju objekata u prostoru. Naprimjer, u razvojnom okruženju Unity komponenta <i>Collider</i> se koristi za definiranje oblika i ponašanja kolizija objekata u 3D ili 2D prostoru

Vezano uz istovremeno omogućavanje različitih interakcijskih mehanizama, praćenjem odgovarajućih interakcijskih parametara uz kontekstualne podatke, sustav može prepoznati potrebu za određenih interakcijskih mehanizmom te ga ponuditi korisniku, kao i to da određena kontrola nije potrebna pa će ju ukloniti. Naprimjer, osobama s oštećenjem vida neizravne kontrole (tipke) mogu predstavljati ometanost na malim zaslonima pokretnih uređaja jer im odvlače pozornost ili prekrivaju glavni sadržaj ozbiljne igre pa bi u tom slučaju bilo korisno ukloniti prikaz tipki na zaslonu, dok osobama s motoričkim teškoćama omogućenost dodirnih gesti može predstavljati smetnje u kontekstu nenamjernih dodirnih gesti korisnika zbog teže pokretljivosti i kontrole ruku ili tremora, stoga su veće neizravne kontrole u ovom slučaju najkorisnija opcija. S obzirom na to da je dizajn interakcije ključan najprije za uporabivost, a zatim i korisničko iskustvo rješenja, preporuča se daljnje istraživanje vezano uz najintuitivnije vrste neizravnih kontrola vezane uz pojedine zadatke u proširenoj stvarnosti, a koje ovise o vrsti ozbiljne igre i transformaciji objekta za potrebe igre. U prototipovima ozbiljne igre koriste se tipke sa strelicama gore, dolje, lijevo i desno za translaciju objekta pri čemu se za translaciju može više puta kliknuti na tipku ili držati pojedina tipka. Potrebno je istražiti za koje korisnike su oba omogućena načina konfliktna te postoji li druga vrsta neizravne kontrole translacije objekta koja bi imala utjecaj na bolje korisničko iskustvo za pojedine korisnike (npr. korištenje

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

tzv. gljive prikazane na zaslonu (po uzoru na *joystick*) koja omogućuje translaciju u svim smjerovima).

Grupacija neizravnih kontrola na zaslonu je izrazito važna u slučaju kada korisnici drže ili koriste pokretne uređaje na drugačije načine. Valja uzeti u obzir različite mogućnosti, npr. korisnik s dominantnom desnom rukom, korisnik s dominantnom lijevom rukom (držanje uređaja jednom rukom, interakcija se radi drugom rukom), obje ruke jednako dominantne (držanje uređaja s obje ruke, interakcije se radi s jednom ili obje ruke), te su ove mogućnosti različite ako se radi o pametnom telefonu ili tablet uređaju. Stoga je preporuka implementirati različite mogućnosti rasporeda kontrola prema kojima će korisnik moći odabrati odgovarajuću ili će sustav preporučiti temeljem praćenja podataka i ispunjenog korisničkog profila.

Dodatno, za poboljšanje korisničkog iskustva na koje jak utjecaj ima početno skeniranje površine, odnosno uspostava fizičko/virtualne korespondencije, prema komentarima nekih od sudionika u testiranju, preporuča se omogućavanje ručnog upravljanja u kontekstu odabira površine od više prepoznatih, korekcije veličine površine ili granice površine (npr. granica između poda i zida ili drugih prepreka). U svakom slučaju, korisnici trebaju biti obaviješteni o tome kako napreduju u procesu skeniranja, uz prepoznatljivu vizualnu podršku, te obaviješteni o tome ako se dogodi pogreška.

5.3. Smjernice vezane uz razumljivost

Načelo razumljivosti generalno je vezano uz to da informacije i interakcije (funkcioniranje korisničkog sučelja) moraju biti razumljivi korisnicima. To, naprimjer, u kontekstu teksta znači da je tekst čitljiv i jasan, ne koriste se neuobičajene riječi, fraze, idiomi te tekst koji zahtijeva napredniju razinu sposobnosti čitanja. U kontekstu interakcija to znači da su komponente korisničkog sučelja i interakcijskih mehanizama predvidljivi i prepoznatljivi, da promjene inicira korisnik ili da postoje mehanizmi kako se vratiti na zadanu vrijednost, da su pogreške jasno naznačene i sl. [37].

U tablici u nastavku (Tablica 5.5) navedene su smjernice vezane uz načelo razumljivosti koje se odnose na ozbiljne igre u proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje i koje su se prema rezultatima ankete pokazale nužnima za uspješno korištenje igri u proširenoj stvarnosti.

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

Tablica 5.5 Smjernice iz kategorije načela razumljivosti s dodatnim komentarom

Smjernica		Rezultat analize	Komentar/dodatno objašnjenje
G9	Nužna je implementacija opcije izgovorenih uputa	39,81% ispitanika smatra izgovorene upute korisnijom opcijom pristupačnosti u odnosu na ostale (4.3.3.9); ova opcija je nužna za osobe koje ne znaju čitati (4.3.3.1 i 4.3.3.7)	Mogućnost izgovorenih uputa preporuča se implementirati na način da se automatski krenu čitati dolaskom na scenu s novim zadatkom, s mogućnošću ponovnog pokretanja klikom na za to predviđenu tipku. Pri tome je za tipku potrebno koristiti prepoznatljivu ikonu (npr. zvučnik). Komentar proizlazi iz diskusije s ispitanicima/njihovim skrbnicima
G10	Tijekom uspostavljanja scene za proširenu stvarnost skeniranjem, korisniku je potrebna vizualna podrška koja ga upućuje što treba raditi	Pogledati odgovore na pitanje kako olakšati skeniranje površine od strane 19.4% ispitanika kojima nije bilo lako skenirati (4.3.3.3) te zapažanja u 4.3.4	Potrebno je prikazati vizualnu podršku u obliku animacije koja prikazuje kako skenirati ili slikovnog prikaza što korisnik treba raditi. Pri tome trebaju biti prikazani točni pokreti koje korisnik treba napraviti skupa s uređajem (ovo je izrazito korisno osobama koje ne znaju čitati, koje imaju intelektualne teškoće ili nemaju prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću)
G11	Tekstualne upute trebaju sadržavati riječi koje su jednostavne i shvatljive cjelokupnoj populaciji	Pogledati zapažanja u 4.3.4 i analizu odgovora u 4.3.3.4	Upute za zadatke kao i dodatna pojašnjenja u igri trebaju koristiti pojmove koji su razumljivi cjelokupnoj populaciji te izbjegavati korištenje stručnih pojmova ili pojmova nejasnog značenja za osobe koje se prvi put susreću s proširenom stvarnošću (npr. umjesto pojma <i>rotirati</i> koristiti <i>okrenuti</i> , umjesto pojma <i>skenirati</i> objasniti s više riječi što se očekuje od korisnika i sl.)
G12	Implementirati opciju preskoka određenog zadatka kako bi se korisniku omogućio nastavak igre	Kada im je ponuđena samo jedna interakcija i kada nisu u mogućnosti istu odraditi, ispitanici su preskočili zadatak – Pogledati zapažanja u 4.3.4	Ako korisnik nije u mogućnosti obaviti interakciju, potrebno je implementirati opciju preskoka zadatka/interakcije na način da korisnik odabere tu opciju/tipku. Kako bi se izbjegao slučajni preskok, opciju je potrebno smjestiti na zaslonu gdje nije na putu interakcijama s virtualnim objektom. Preporuča se pri prvom korištenju opcije prikazati pojašnjenje što opcija označava te želi li korisnik uistinu preskočiti zadatak
G13	Implementirati načine poticanja kretanja korisnika u proširenoj stvarnosti	Problem zaklanjanja pogleda korisniku (objekt iza objekta) kada je statičan/u invalidskim kolicima.	Implementacija znakova ili pokazatelja koji upućuju korisnika na kretanje prema/oko objekata, trebalo bi korisnika upućivati prema daljnjem koraku za rješavanje zadatka. Pri tome je potrebno u obzir uzeti korisnikovu okolinu te ne

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

		Pogledati zapažanja u 4.3.4	uključivati kretnje korisnika unatrag radi sigurnosti
--	--	-----------------------------	---

U nastavku se nalaze posebno odvojene preporuke vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti u kontekstu načela razumljivosti koje se smatraju potrebnima i dobrom praksom za osiguravanje pristupačnosti za što veći broj korisnika. Tablica 5.6 prikazuje preporuke P7-P10, a ispod tablice su diskutirane smjernice i preporuke.

Tablica 5.6 Preporuke za osiguravanje razumljivosti vezane uz razvoj i dizajn pristupačnih AR igara

Preporuke za osiguravanje razumljivosti		Komentar/Dodatno objašnjenje
P7	Elemente korisničkog sučelja koji predstavljaju oprečne akcije označiti različitim bojama ili oblikom/ikonom	Odnosi se na tipke koje nude različit izbor korisniku kako nastaviti igru (npr. tipke za ponovni pokušaj i nastavak igre, pri čemu treba paziti da se koriste boje koje su intuitivne za pojedino značenje interakcije, npr. ne označavati crvenom bojom tipku za ponovni pokušaj jer crvena boja obično označava da je nešto krivo). Dobra je praksa uz boju koristiti prepoznatljivije ikone, pogotovo ako se radi o korisniku koji ne zna čitati
P8	Interakcije u proširenoj stvarnosti potkrijepiti dodatnom vizualnom podrškom	Nakon tekstualne upute zadatka koje uključuju interakciju u proširenoj stvarnosti može uslijediti vizualna podrška u obliku animacije (npr. prikaz određene dodirne geste sa strelicama), posebno za korisnike koji nemaju prethodnog iskustva s AR-om te osobe starije životne dobi kojima ove interakcije nisu intuitivne
P9	Neizravne kontrole s različitom funkcionalnošću označiti drugom bojom ili oblikom/ikonom	U slučaju kada korisniku više odgovaraju tipke za upravljanje virtualnim sadržajem, tipke koje predstavljaju različitu transformaciju objekta trebaju biti različito kodirane (bojom ili oblikom) za bolje razumijevanje interakcije koju tipka predstavlja, po mogućnosti uz korištenje prepoznatljivije ikone
P10	Upute za zadatke trebaju biti napisane na način da je jasno što se od korisnika traži i/ili omogućiti opciju pomoći	Tekstualne upute te dodatna pojašnjenja trebaju biti napisani jednostavnim rječnikom s konkretnim koracima, bez mogućnosti da korisnik upute shvati višeznačno (po mogućnosti uz vizualnu podršku)

Pod ovu kategoriju smjernica može se smjestiti i općenito razumijevanje proširene stvarnosti koja bi trebala poticati korisnika na kretanje i istraživanje svijeta koji okružuje korisnika, a koji je nadopunjen virtualnim objektima/sadržajima. Promatranjem pojedinih korisnika tijekom korisničkog testiranja, dalo se zamijetiti kako su rijetki intuitivno koristili tu mogućnost (kretanje oko objekta) za rješavanje određenog zadatka. Štoviše, kada se pojedinim

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

sudionicima s intelektualnim teškoćama sugeriralo približavanje virtualnom objektu, sudionik je približio uređaj k sebi, ili kada se sugeriralo pomicanje virtualnog objekta na označeno mjesto, sudionik je sam otišao na to mjesto te izgubio objekt iz vidika. Iz ovoga se da zaključiti kako je proširena stvarnost za pojedine korisnike uistinu novo iskustvo te da su pojedine interakcije kontra intuitivne u odnosu na uobičajene slične interakcije u stvarnosti. Stoga je potrebno za korisnike bez prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću na odgovarajući i intuitivan način prikazati kako ju koristiti.

Nadalje, kada je to moguće, dizajnom igre ne treba navoditi korisnika na interakciju koja nije podržana u igri. Naprimjer, interakcija rotacije objekta može biti implementirana uključujući različite mehanizme dodirnih gesti. Ono što se pokazalo izazovnim u prototipu ozbiljne igre jest okrugli indikator oko objekta koji se punio kako se objekt rotirao. Međutim, okrugli indikator je većinu korisnika navodio da prstom trebaju proći po krugu (dodirna gesta ukруг) kako bi rotirali objekt, a dizajnom su bile predviđene samo interakcije povlačenja u stranu te rotacija s dva prsta. U ovom slučaju dodirna gesta ukруг ne bi bila konfliktna s ostalima, ali općenito valja izbjegavati višeznačnosti.

Dodatno, korisnicima je potrebno naglasiti kada pojedina interakcija prethodno zahtijeva akciju prije interakcije. Ovo je općenito potrebno kada se u igri nalazi više objekata s kojima su interakcije moguće te ako se prelazi s interakcije jednog objekta na interakciju drugog objekta. Naprimjer, da bi odradili interakciju skaliranja objekta koja nužno ne zahtijeva doticaj s objektom na zaslonu već je dodirnu gestu za skaliranje moguće odraditi i pored objekta, tada je najprije potrebno odabrati objekt (dotaknuti ga na zaslonu) kako bi ga aktivirali. Iz analize podataka se da zaključiti kako je sudionicima u zadatku gdje se pojavila ova kombinacija interakcije trebalo duže vremena te su više puta tražili pomoć nego kasnije u igri kada se pojavila ista kombinacija. Ovakvi rezultati navode da bi korisnicima bilo korisno pripremiti kratki igrificirani vodič kroz sve moguće interakcije prije ulaska u ozbiljnu igru, posebno za korisnike koji se prvi puta susreću s proširenom stvarnošću.

5.4. Preporuke za implementaciju automatske prilagodbe ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti

Prednost praćenja korisničkih interakcija i automatske prilagodbe jest da sustav pamti izravnu promjenu korisnika te će pri korištenju drugog rješenja uzeti u obzir korisničke preferencije. Međutim, prema kvantitativnoj i kvalitativnoj analizi podataka, može se zaključiti kako korisnici nemaju tendenciju koristiti postavke koje se prikazuju u ozbiljnoj igri iako bi to pridonijelo poboljšanju pristupačnosti i korisničkog iskustva rješenja. Mogućnost automatske prilagodbe korisničkog sučelja i sadržaja igre je u ovom slučaju opravdana. Kao alternativno rješenje automatskoj prilagodbi nudi se mogućnost odabira različitih opcija postavki kao obavezan korak prije samog ulaska u igru što za korisnika može predstavljati nepovoljniju opciju zbog mogućnosti odustajanja od igre ako bi količina takvih opcija kod korisnika izazivala frustraciju. U svakom slučaju, kao vrlo bitnom stavkom se ističu početno zadane opcije, odnosno što će se korisniku pojaviti kao zadane opcije (pogotovo ako su jedine, bez mogućnosti prilagodbe).

Osim opcija pristupačnosti vezanih uz tekst korisničkog sučelja, postavke u prototipu ozbiljne igre sadržavale su i opciju zamrzavanja koja se, prema literaturi, pokazala korisnom opcijom pristupačnosti za proširenu stvarnost. Budući da je ovu opciju bilo potrebno aktivirati u postavkama kako bi postala dostupna na zaslonu same igre te da korisnici nisu mijenjali postavke igre, opciju zamrzavanja nisu koristili. Kako bi se iskoristila prednost korištenja opcije zamrzavanja za pojedine korisnike, potrebno je istražiti najbolji način omogućavanja ove opcije za pojedinog korisnika. Moguće je da bi korisniku, kojem ova opcija nije potrebna, bila ometajuća ako bi bila postavljena kao zadana na zaslonu igre proširene stvarnosti, pogotovo ako je riječ o zaslonima pametnih telefona koji imaju manju veličinu zaslona od tablet uređaja. Zbog navedenog, trebala bi postojati mogućnost da korisnik ukloni ovu opciju sa zaslona ako mu nije potrebna. I u ovom slučaju je opravdana mogućnost automatske prilagodbe korisniku u trenutku u kojem sustav prepozna da bi korisniku ova opcija bila korisna za interakciju u određenom zadatku, npr. ako korisniku za rješavanje zadatka treba više vremena od prosjeka, opcija zamrzavanja će mu se automatski aktivirati ili pojaviti kao mogućnost samostalnog aktiviranja.

Iako opcija odabira kombinacije različitih boja (teksta i elemenata korisničkog sučelja) ne postoji u postavkama prototipa ozbiljne igre, prema analizi rezultata upitnika vezanih uz

5. Smjernice za razvoj i evaluaciju pristupačnih ozbiljnih igara zasnovanih na proširenoj stvarnosti za pokretne uređaje

korisničko iskustvo, dalo se primijetiti kako različita životna dob ima drugačiji pogled na isti dizajn. Stoga bi bilo dobro omogućiti automatsku prilagodbu dizajna i sadržaja igre prema različitoj životnoj dobi gdje mlađi korisnici preferiraju sadržajnu i izazovnu igru, dok korisnici starije životne dobi preferiraju dizajn i sadržaj u ozbiljnijem tonu.

6. Zaključak i budući rad

Univerzalni dizajn rješenja važan je aspekt postizanja društvene i digitalne uključenosti. Iako su rješenja zasnovana na proširenoj stvarnosti već postala dio naše svakodnevnice, od početka se nije pridavalo dovoljno pozornosti na pristupačnost takvih rješenja što većem broju korisnika. S obzirom na korisnost ovakvih rješenja u formi ozbiljnih igara u različitim domenama primjene, a posebno u edukaciji, važno je razumjeti potrebe različitih korisnika u kontekstu pristupačnosti.

U doktorskom radu predložen je model praćenja korisničkih interakcija temeljen na značajkama pristupačnosti, ozbiljnih igara i proširene stvarnosti za pokretne uređaje te je predložena metodologija koja omogućava automatizirano prikupljanje, pohranu i analizu interakcijskih parametara u kontekstu pristupačnosti za pojedinog korisnika. Implementacijom i evaluacijom tehnološke platforme zasnovane na predloženoj metodologiji i modelu pokazano je da je praćenjem i analizom ponašanja korisnika s različitim sposobnostima i različite dobi moguće specificirati interakcijske parametre koji imaju utjecaj na pristupačnost i korisničko iskustvo navedenih programskih rješenja.

Analiza rezultata provedenog eksperimenta pokazala je kako određeni zadaci proširene stvarnosti i zadani mehanizmi interakcije predstavljaju izazov za pojedine korisnike u kontekstu pristupačnosti, a za određene korisnike i nemogućnost korištenja u zadanom obliku, pa je time potvrđena činjenica da zadani interakcijski mehanizmi ne mogu predstavljati univerzalno rješenje za sve korisnike. Kako bi neko rješenje bilo u skladu s načelima univerzalnog dizajna, potrebna je mogućnost prilagodbe rješenja pojedinom korisniku. Iako su se određene kategorije teškoća i dobne skupine istaknule u načinu korištenja i rješavanja zadataka ozbiljne igre te je moguće oblikovati generalne smjernice za poboljšanje pristupačnosti ozbiljnih igara u

proširenoj stvarnosti, za postizanje maksimalnog učinka pristupačnosti i korisničkog iskustva rješenja potrebna je prilagodba rješenja na individualnoj razini.

Način određivanja parametara postavki interakcija i pristupačnosti za pojedinog korisnika u ovom radu pokazao se zadovoljavajućim za većinu korisnika. Pri tome su u obzir uzete odabrane objektivne i subjektivne metrike prikupljene u prvoj ozbiljnoj igri. S obzirom na kompleksnost područja istraživanja u kontekstu broja i kombinacije različitih faktora koji mogu utjecati na pristupačnost i iskustvo korištenja ozbiljnih igara u proširenoj stvarnosti na pokretnim uređajima, u budućem radu se predlaže korištenje naprednijih tehnika zaključivanja na temelju podataka kao što su različite metode strojnog učenja za određivanje načina prilagodbe ovih rješenja pojedinom korisniku.

Iako je važno postojanje mogućnosti da korisnik samostalno može u svakom trenutku prilagoditi rješenje prema vlastitim preferencijama, ponekad korisnik to ne može učiniti sam za sebe zbog različitih ograničenja (ili neznanja) stoga se automatska prilagodba rješenja pojedinom korisniku pokazuje kao moćan alat u postizanju pristupačnosti, posebno za korisnike s teškoćama koje nemaju tendenciju ručno podešavati postavke. U budućnosti se ova funkcionalnost itekako može pokazati korisnom u području edukacije i rehabilitacije djece s teškoćama u razvoju koja ne mogu samostalno podesiti postavke ili imaju složenih komunikacijskih potreba.

U nastavku su navedena ograničenja provedenog istraživanja. Prvo ograničenje se odnosi na skup ispitanika koji je sudjelovao u korisničkom testiranju. U pojedinim skupinama ispitanika s teškoćama i dobnim skupinama nije prikupljen dovoljan **broj ispitanika** kako bi se donijeli zaključci za cijelu populaciju. To se prvenstveno odnosi na uzorak ispitanika iz kategorije *Oštećenja vida* što djelomično proizlazi iz tehnološkog ograničenja jer tehnologija u kojoj su razvijane ozbiljne igre (Unity) ne podržava pretvorbu teksta u govor (engl. *text-to-speech*) na hrvatskom jeziku te stoga osobe koje su slijepe ili visokoslabovidne i koriste čitač ekrana nisu mogle sudjelovati u testiranju. S obzirom na definiciju osobe s oštećenjem vida koja se koristi kada se oštećenje vida predstavlja invaliditetom, ona ne uključuje osobe koje imaju određenu dioptriju, astigmatizam, kratkovidnost i slična stanja. Zbog toga su sve osobe koje su navele ove odgovore kod oštećenja vida izuzete iz istraživanja kao osobe s oštećenjima vida. U tom pogledu, budući rad može uključivati razvoj rješenja koji će implementirati podršku za čitač ekrana za hrvatski jezik te potom istražiti probleme pristupačnosti i način prilagodbe za takve korisnike.

Osim čitača ekrana, budući rad bi mogao uključivati i ostale oblike **asistivne tehnologije** koje osobe s teškoćama koriste. Kao što se pokazalo rezultatima iz provedenog testiranja, pojedini ispitanici nisu bili u mogućnosti samostalno držati uređaj te im je u tom slučaju nužan stalak. S obzirom na specifičnost tehnologije proširene stvarnosti, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se definirao najbolji način implementacije pojedinih zadataka u proširenoj stvarnosti, posebno skeniranje površine.

Drugo ograničenje se odnosi na **određivanje prilagodbe korisniku u kontekstu dodjele mehanizma interakcije i opcija pristupačnosti**. Za tu svrhu je u ovom istraživanju odabrana analiza sljedeće metrike: vrijeme izvršenja zadatka, preskok zadatka, ocjena interakcije, promjena veličine i vrste fonta. Kao što je opisano u Poglavlju 3, tijekom interakcije korisnika prate se i brojni drugi parametri te je model praćenja interakcije na jednostavan način moguće proširiti i s novim parametrima. Stoga je ovako implementirani sustav podoban za korištenje u daljnjim istraživanjima u kontekstu izračuna utjecaja ostalih parametara na pristupačnost i uporabivost korištenja te definiranja novih smjernica za razvoj i dizajn rješenja.

Zaključno, provedenim istraživanjem identificirani su problemi pristupačnosti koji pojedinim korisnicima onemogućuju izvršavanje zadataka u proširenoj stvarnosti. U skladu s univerzalnim dizajnom, potrebno je pronaći rješenje koje će omogućiti korištenje ovih rješenja što većem broju korisnika što je lakše kada su poteškoće koje imaju identificirane ili se mogu identificirati s obzirom na praćenje različitih parametara tijekom korištenja rješenja što sustav razvijen u ovom istraživanju omogućuje.

Literatura

- [1] European Parliament, Directorate-General for Parliamentary Research Services *et al.*, *Assistive technologies for people with disabilities . Part III, Perspectives, needs and opportunities*. European Parliament, 2018. doi: doi/10.2861/11162.
- [2] T. Gjørseter, J. Radianti, and W. Chen, “Understanding Situational Disabilities and Situational Awareness in Disasters,” in *Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, Valencia, Spain: ISCRAM, May 2019, pp. 940–949.
- [3] United Nations, “Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD) – Article 2,” New York, 2006.
- [4] D. Rotolo, D. Hicks, and B. R. Martin, “What is an emerging technology?,” *Research Policy*, vol. 44, no. 10, pp. 1827–1843, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.respol.2015.06.006.
- [5] S. S. Adkins, “The 2019-2024 Global Game-based Learning Market: Serious Games Industry in Boom Phase,” Metaari, Serious Play Conference, 2019. [Online]. Available: https://seriousplayconf.com/wp-content/uploads/2019/11/Metaari_2019-2024_Global_Game-based_Learning_Market_Executive_Overview.pdf
- [6] C. Schrader, “Serious Games and Game-Based Learning,” in *Handbook of Open, Distance and Digital Education*, O. Zawacki-Richter and I. Jung, Eds., Singapore: Springer Nature, 2023, pp. 1255–1268. doi: 10.1007/978-981-19-2080-6_74.
- [7] T. Anastasiadis, L. Georgios, and S. Kerstin, “Digital Game-based Learning and Serious Games in Education,” *IJASRE*, vol. 4, no. 12, pp. 139–144, 2018, doi: <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2018.33016>.
- [8] A. Alper, E. Ş. Öztaş, H. Atun, D. Çınar, and M. Moyenga, “A Systematic Literature Review towards the Research of Game-Based Learning with Augmented Reality,” *International Journal of Technology in Education and Science*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Mar. 2021, doi: 10.46328/ijtes.176.
- [9] M. Hersh and B. Leporini, “Editorial: Serious games, education and inclusion for disabled people,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 49, no. 4, pp. 587–595, 2018, doi: 10.1111/bjet.12650.
- [10] M. Cai, G. Akcayir, and C. D. Epp, “Exploring Augmented Reality Games in Accessible Learning: A Systematic Review.” arXiv, Nov. 15, 2021. doi: 10.48550/arXiv.2111.08214.
- [11] J. Herskovitz *et al.*, “Making Mobile Augmented Reality Applications Accessible,” in *The 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Oct. 2020, pp. 1–14. doi: 10.1145/3373625.3417006.

- [12] G. E. Su, M. S. Sunar, and A. W. Ismail, "Device-based manipulation technique with separated control structures for 3D object translation and rotation in handheld mobile AR," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 141, p. 102433, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ijhcs.2020.102433.
- [13] S. Ahmad Chowdhury, H. Arshad, B. Parhizkar, and W. K. Obeidy, "Handheld Augmented Reality Interaction Technique," in *Advances in Visual Informatics*, H. B. Zaman, P. Robinson, P. Olivier, T. K. Shih, and S. Velastin, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2013, pp. 418–426. doi: 10.1007/978-3-319-02958-0_38.
- [14] W3C Web Accessibility Initiative (WAI), "XR Accessibility User Requirements." Accessed: Dec. 20, 2020. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/xaur/>
- [15] ITU and G3ict, "Model ICT Accessibility Policy Report," ITU, model policy report, Nov. 2014. Accessed: Apr. 14, 2020. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Digital-Inclusion/Persons-with-Disabilities/Documents/ICT%20Accessibility%20Policy%20Report.pdf>
- [16] J. O Connor, S. Abou-Zahra, M. Covarrubias Rodriguez, and B. Aruanno, "XR Accessibility – Learning from the Past and Addressing Real User Needs for Inclusive Immersive Environments," in *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, R. Manduchi, M. Covarrubias Rodriguez, and P. Peñáz, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 117–122. doi: 10.1007/978-3-030-58796-3_15.
- [17] H. Arshad, S. A. Chowdhury, L. M. Chun, B. Parhizkar, and W. K. Obeidy, "A freeze-object interaction technique for handheld augmented reality systems," *Multimed Tools Appl*, vol. 75, no. 10, pp. 5819–5839, May 2016, doi: 10.1007/s11042-015-2543-3.
- [18] I. Radu, B. MacIntyre, and S. Lourenco, "Comparing Children's Crosshair and Finger Interactions in Handheld Augmented Reality: Relationships Between Usability and Child Development," in *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children*, in IDC '16. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Jun. 2016, pp. 288–298. doi: 10.1145/2930674.2930726.
- [19] I. Radu and A. Antle, "Embodied learning mechanics and their relationship to usability of handheld augmented reality," in *2017 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual Augmented Reality (KELVAR)*, Mar. 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/KELVAR.2017.7961561.
- [20] A. Samini and K. L. Palmerius, "Popular Performance Metrics for Evaluation of Interaction in Virtual and Augmented Reality," in *2017 International Conference on Cyberworlds (CW)*, Sep. 2017, pp. 206–209. doi: 10.1109/CW.2017.25.
- [21] N. Ghouaiel, J.-M. Cieutat, and J.-P. Jessel, "Adaptive augmented reality: plasticity of augmentations," in *Proceedings of the 2014 Virtual Reality International Conference*, in VRIC '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Apr. 2014, pp. 1–4. doi: 10.1145/2617841.2620695.
- [22] C.-H. Tsai and J.-Y. Huang, "Augmented reality display based on user behavior," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 55, pp. 171–181, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.csi.2017.08.003.
- [23] M. Makolkina and A. Paramonov, "Modeling and Investigation of the Movement of the User of Augmented Reality Service," in *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*, O. Galinina, S. Andreev, S. Balandin, and Y. Koucheryavy, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 217–228. doi: 10.1007/978-3-030-65726-0_20.

- [24] M. Salazar, C. Laorden, and P. G. Bringas, “[POSTER] A Comprehensive Interaction Model for AR Systems,” in *2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Sep. 2015, pp. 104–107. doi: 10.1109/ISMAR.2015.32.
- [25] P. Biswas, P. Orero, M. Swaminathan, K. Krishnaswamy, and P. Robinson, “Adaptive Accessible AR/VR Systems,” in *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021, pp. 1–7. Accessed: Jun. 05, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3411763.3441324>
- [26] M. Hernández-de-Menéndez, R. Morales-Menendez, C. A. Escobar, and R. A. Ramírez Mendoza, “Learning analytics: state of the art,” *Int J Interact Des Manuf*, vol. 16, no. 3, pp. 1209–1230, Sep. 2022, doi: 10.1007/s12008-022-00930-0.
- [27] S. Z. Salas-Pilco, K. Xiao, and X. Hu, “Artificial Intelligence and Learning Analytics in Teacher Education: A Systematic Review,” *Education Sciences*, vol. 12, no. 8, Art. no. 8, Aug. 2022, doi: 10.3390/educsci12080569.
- [28] I. Daoudi, “Learning analytics for enhancing the usability of serious games in formal education: A systematic literature review and research agenda,” *Educ Inf Technol*, vol. 27, no. 8, pp. 11237–11266, Sep. 2022, doi: 10.1007/s10639-022-11087-4.
- [29] A. Christopoulos, S. Mystakidis, N. Pellas, and M.-J. Laakso, “ARLEAN: An Augmented Reality Learning Analytics Ethical Framework,” *Computers*, vol. 10, no. 8, Art. no. 8, Aug. 2021, doi: 10.3390/computers10080092.
- [30] I. Kazanidis, N. Pellas, and A. Christopoulos, “A Learning Analytics Conceptual Framework for Augmented Reality-Supported Educational Case Studies,” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/mti5030009.
- [31] “Zakon o Registru osoba s invaliditetom NN 63/22,” *Zakon.hr*. Accessed: Jun. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.zakon.hr/z/3178/Zakon-o-Registru-osoba-s-invaliditetom>
- [32] J.-Y. Mao, K. Vredenburg, P. W. Smith, and T. Carey, “The state of user-centered design practice,” *Commun. ACM*, vol. 48, no. 3, pp. 105–109, Mar. 2005, doi: 10.1145/1047671.1047677.
- [33] International Organization for Standardization (ISO), “Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems ISO 9241-210:2019(en).” Accessed: Jan. 15, 2021. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>
- [34] The Interaction Design Foundation, “Interaction Design.” Accessed: Jun. 10, 2021. [Online]. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/interaction-design>
- [35] Web Accessibility Initiative (WAI), “Web Accessibility Laws & Policies.” Accessed: Mar. 20, 2020. [Online]. Available: <https://www.w3.org/WAI/policies/>
- [36] M. Zilak, I. Rasan, A. Keselj, and Z. Car, “Process Model for Accessible Website User Evaluation,” in *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2020*, in Smart Innovation, Systems and Technologies. Singapore: Springer, 2020, pp. 57–68. doi: 10.1007/978-981-15-5764-4_6.
- [37] “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) Overview,” W3C Web Accessibility Initiative (WAI). Accessed: Dec. 19, 2020. [Online]. Available: <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>
- [38] W3C Web Accessibility Initiative (WAI), “Mobile Accessibility: How WCAG 2.0 and Other W3C/WAI Guidelines Apply to Mobile.” Accessed: Dec. 20, 2020. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/mobile-accessibility-mapping/>

- [39] Cornell Tech, Verizon Media, and Partnership on Employment & Accessible Technology (PEAT), “XR Access Initiative,” XR Access | Virtual, Augmented, and Mixed Reality for People with Disabilities. Accessed: Jan. 15, 2021. [Online]. Available: <https://xraccess.org/>
- [40] Oculus VR, “Introducing the Accessibility VRCs,” Oculus Developer Blog. Accessed: Jun. 04, 2021. [Online]. Available: <https://developer.oculus.com/blog/introducing-the-accessibility-vrcs/>
- [41] P. Biswas, P. Orero, M. Swaminathan, K. Krishnaswamy, and P. Robinson, “Adaptive Accessible AR/VR Systems,” in *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, in CHI EA '21. Yokohama, Japan: Association for Computing Machinery, 2021, pp. 1–7. doi: 10.1145/3411763.3441324.
- [42] Google Developers, “Augmented Reality Design Guidelines.” Accessed: Jan. 12, 2021. [Online]. Available: <https://designguidelines.withgoogle.com/ar-design/>
- [43] “ARCore Elements – Apps on Google Play.” Accessed: Jan. 12, 2021. [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.ar.unity.ddelements>
- [44] Apple Inc., “Augmented Reality - System Capabilities - iOS - Human Interface Guidelines - Apple Developer.” Accessed: Jan. 13, 2021. [Online]. Available: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/system-capabilities/augmented-reality/>
- [45] M. Zilak, A. Keselj, and T. Besjedica, “Accessible Web Prototype Features from Technological Point of View,” in *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, May 2019, pp. 457–462. doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757115.
- [46] S. Hollier, “Augmented Reality and Accessibility,” W3C Web Accessibility Initiative (WAI). Accessed: Dec. 20, 2020. [Online]. Available: https://www.w3.org/WAI/APA/task-forces/research-questions/wiki/Augmented_Reality_and_Accessibility
- [47] P. A. Rauschnabel, R. Felix, C. Hinsch, H. Shahab, and F. Alt, “What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality,” *Computers in Human Behavior*, vol. 133, p. 107289, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.chb.2022.107289.
- [48] R. T. Azuma, “A survey of augmented reality,” *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, Aug. 1997, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [49] D. Schmalstieg and T. Höllerer, *Augmented Reality: Principles and Practice*, 1st ed. Boston: Mark L. Taub, 2016.
- [50] A. B. Craig, “Mobile Augmented Reality,” in *Understanding Augmented Reality*, Elsevier, 2013, pp. 209–220. doi: 10.1016/B978-0-240-82408-6.00007-2.
- [51] Niantic, Inc., “Pokémon GO,” Pokémon GO. Accessed: Dec. 16, 2020. [Online]. Available: <https://pokemongolive.com>
- [52] UN World Health Organization and The World Bank, *World report on disability*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2011.
- [53] M. Žilak, Ž. Car, and I. Čuljak, “A Systematic Literature Review of Handheld Augmented Reality Solutions for People with Disabilities,” *Sensors*, vol. 22, no. 20, Art. no. 20, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22207719.
- [54] S. Handelzalts, G. Ballardini, C. Avraham, M. Pagano, M. Casadio, and I. Nisky, “Integrating Tactile Feedback Technologies Into Home-Based Telerehabilitation: Opportunities and Challenges in Light of COVID-19 Pandemic,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, 2021, doi: 10.3389/fnbot.2021.617636.
- [55] L. Thevin and A. M. Brock, “Augmented Reality for People with Visual Impairments: Designing and Creating Audio-Tactile Content from Existing Objects,” in *ICCHP 2018*:

- Computers Helping People with Special Needs*, Lecture Notes in Computer Science, 2018, pp. 193–200. doi: 10.1007/978-3-319-94274-2_26.
- [56] M. Billingham, A. Clark, and G. Lee, “A Survey of Augmented Reality,” *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, vol. 8, no. 2–3, pp. 73–272, 2015, doi: 10.1561/11000000049.
- [57] J. Liu, Y. Xie, S. Gu, and C. Xu, “A SLAM-Based Mobile Augmented Reality Tracking Registration Algorithm,” *IJPRAI*, vol. 34, no. 01, 2020, doi: 10.1142/S0218001420540051.
- [58] A. Sadeghi-Niaraki and S.-M. Choi, “A Survey of Marker-Less Tracking and Registration Techniques for Health & Environmental Applications to Augmented Reality and Ubiquitous Geospatial Information Systems,” *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 10, p. 2997, May 2020, doi: 10.3390/s20102997.
- [59] T. Gupta, M. Sisodia, S. Fazulbhoj, M. Raju, and S. Agrawal, “Improving Accessibility for Dyslexic Impairments using Augmented Reality,” in *2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Jan. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICCCI.2019.8822152.
- [60] M. H. Miraz, M. Ali, and P. S. Excell, “Adaptive user interfaces and universal usability through plasticity of user interface design,” *Computer Science Review*, vol. 40, p. 100363, May 2021, doi: 10.1016/j.cosrev.2021.100363.
- [61] C. Boletsis and S. McCallum, “Augmented Reality Cubes for Cognitive Gaming: Preliminary Usability and Game Experience Testing,” *IJSG*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2016, doi: 10.17083/ijsg.v3i1.106.
- [62] A. Dey, M. Billingham, R. W. Lindeman, and J. E. Swan, “A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014,” *Front Robot AI*, vol. 5, p. 37, Apr. 2018, doi: 10.3389/frobt.2018.00037.
- [63] M. Mengoni, M. Iualè, M. Peruzzini, and M. Germani, “An Adaptable AR User Interface to Face the Challenge of Ageing Workers in Manufacturing,” in *Human Aspects of IT for the Aged Population. Design for Everyday Life*, J. Zhou and G. Salvendy, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 311–323. doi: 10.1007/978-3-319-20913-5_29.
- [64] P. Langley, “User Modeling in Adaptive Interface,” in *UM99 User Modeling*, J. Kay, Ed., in CISM International Centre for Mechanical Sciences. Vienna: Springer, 1999, pp. 357–370. doi: 10.1007/978-3-7091-2490-1_48.
- [65] Y. Zhonggen, “A Meta-Analysis of Use of Serious Games in Education over a Decade,” *International Journal of Computer Games Technology*, vol. 2019, p. e4797032, Feb. 2019, doi: 10.1155/2019/4797032.
- [66] B. Cowley, M. Fantato, C. Jennett, M. Ruskov, and N. Ravaja, “Learning When Serious: Psychophysiological Evaluation of a Technology-Enhanced Learning Game,” *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 17, no. 1, pp. 3–16, 2014.
- [67] M. Freire, Á. Serrano-Laguna, B. M. Iglesias, I. Martínez-Ortiz, P. Moreno-Ger, and B. Fernández-Manjón, “Game Learning Analytics: Learning Analytics for Serious Games,” in *Learning, Design, and Technology: An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*, M. J. Spector, B. B. Lockee, and M. D. Childress, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 1–29. doi: 10.1007/978-3-319-17727-4_21-1.
- [68] G. Conole, Gašević, P. Long, and G. Siemens, “Proceedings of the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge,” New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2011. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/action/showFmPdf?doi=10.1145%2F2090116>

- [69] M. Seif El-Nasr, A. Drachen, and A. Canossa, Eds., *Game Analytics: Maximizing the Value of Player Data*. London: Springer, 2013. doi: 10.1007/978-1-4471-4769-5.
- [70] J. M. Snell, M. Atkins, W. Norris, C. Messina, M. Wilkinskon, and R. Dolin, “JSON Activity Streams 1.0,” Activity Streams Working Group. Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://activitystrea.ms/specs/json/1.0/>
- [71] Á. Serrano-Laguna, I. Martínez-Ortiz, J. Haag, D. Regan, A. Johnson, and B. Fernández-Manjón, “Applying standards to systematize learning analytics in serious games,” *Computer Standards & Interfaces*, vol. 50, pp. 116–123, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.csi.2016.09.014.
- [72] Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative, “xAPI Specification.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/adlnet/xAPI-Spec>
- [73] Learning Pool, “Learning Locker - Open Source Documentation,” Confluence. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://learninglocker.atlassian.net/wiki/spaces/DOCS/overview>
- [74] L. Salvador-Ullauri, P. Acosta-Vargas, M. Gonzalez, and S. Luján-Mora, “Combined Method for Evaluating Accessibility in Serious Games,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 18, Art. no. 18, Jan. 2020, doi: 10.3390/app10186324.
- [75] F. Chiossi *et al.*, “Adapting visualizations and interfaces to the user,” *it - Information Technology*, vol. 64, no. 4–5, pp. 133–143, Aug. 2022, doi: 10.1515/itit-2022-0035.
- [76] D. Fiorino, M. Collotta, and R. Ferrero, “Usability evaluation of touch gestures for Mobile Augmented Reality applications,” *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, vol. 10, no. 2, pp. 22–36, Jun. 2019, doi: 10.22667/JOWUA.2019.06.30.022.
- [77] “Content manipulation | ARCore | Google Developers.” Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available: <https://developers.google.com/ar/design/content/content-manipulation>
- [78] Ž. Car *et al.*, “Pristupačno web-sjedište za osobe s invaliditetom,” Projekt suradnje s Hrvatskom regulatornom agencijom za mrežne djelatnosti (HAKOM), Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, Projektni izvještaj, 2018.
- [79] Ž. Car, I. Rašan, M. Žilak, I. Topolovac, and Jakov Vidak, “Pristupačnost mobilnih aplikacija i povećanje društvene svijesti o izazovima s kojima se susreću osobe s invaliditetom,” Projekt suradnje s Hrvatskom regulatornom agencijom za mrežne djelatnosti (HAKOM), Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Projektni izvještaj Faze 1, 2020.
- [80] H. Papagiannis, *Augmented Human: How Technology Is Shaping the New Reality*. O’Reilly Media, Inc., 2017.
- [81] J. Luna, R. Treacy, T. Hasegawa, A. Campbell, and E. Mangina, “Words Worth Learning - Augmented Literacy Content for ADHD Students,” in *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM)*, Aug. 2018, pp. 1–9. doi: 10.1109/GEM.2018.8516483.
- [82] Unity Technologies, “Unity Real-Time Development Platform,” Unity. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://unity.com>
- [83] Epic Games, “Unreal Engine | The most powerful real-time 3D creation tool.” Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US>
- [84] “Learning Analytics Platform for Organizations,” Watershed. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.watershedlrs.com/>
- [85] “Rustici LRS: Add an LRS to your learning analytics platform or LMS,” Rustici Software. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://rusticisoftware.com/products/rustici-lrs/>

- [86] “SQL LRS,” Yet Analytics. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.yetanalytics.com/sql-lrs>
- [87] F. Mišadin, “Analiza i evaluacija korisničkih interakcija u proširenoj stvarnosti,” Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektotehnike i računarstva, 2021.
- [88] B. Katović, “Programska podrška za obradu podataka o interakcijama korisnika u proširenoj stvarnosti,” Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektotehnike i računarstva, 2022.
- [89] J. Nielsen and T. K. Landauer, “A mathematical model of the finding of usability problems,” in *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, in CHI '93. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, May 1993, pp. 206–213. doi: 10.1145/169059.169166.
- [90] W. Albert and T. S. Tullis, *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting UX Metrics*, 3rd ed. Morgan Kaufmann, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-00693-3>
- [91] J. Nielsen, “Why You Only Need to Test with 5 Users,” Nielsen Norman Group: World Leaders in Research-Based User Experience. Accessed: May 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>
- [92] World Health Organization, *International statistical classification of diseases and related health problems*, 5th ed. Geneva: World Health Organization, 2015. Accessed: Aug. 29, 2023. [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/246208>
- [93] S. L. Henry, *Just Ask: Integrating Accessibility Throughout Design*. Madison: Lulu.com, 2007. Accessed: Apr. 01, 2023. [Online]. Available: <http://uiaccess.com/accessud/>
- [94] Institute for Disability Research, Policy, and Practice, “WebAIM: Typefaces and Fonts,” Web Accessibility In Mind (WebAIM). Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://webaim.org/techniques/fonts/>
- [95] “OmoType i ostali fontovi za osobe s disleksijom,” OmoType. Accessed: Jun. 08, 2023. [Online]. Available: <https://omotype.com/hr/blog>
- [96] Accessibility Guidelines Working Group (AG WG) Participants, “Contrast (Minimum) (Level AA),” W3C Web Accessibility Initiative (WAI). Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/contrast-minimum>

Životopis

Matea Žilak rođena je 1993. godine u Slavonskom Brodu. Svoju prvostupničku diplomu u području računarstva stekla je 2015. godine na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER-u). Obrazovanje nastavlja na diplomskom studiju istog fakulteta gdje je magistrsku diplomu u području informacijske i komunikacijske tehnologije (IKT) stekla 2017. godine.

Od 2017. godine zaposlena je kao asistentica na Zavodu za telekomunikacije na FER-u. Kao članica Laboratorija za asistivne tehnologije i potpomognutu komunikaciju (ICT-AAC) i Laboratorija za društveno umrežavanje i društveno računarstvo (SocialLAB) provodi istraživanja vezana uz rješenja zasnovana na IKT-u za poboljšanje kvalitete života osoba s invaliditetom kao i starijih osoba te istražuje potencijal novih tehnologija poput virtualne i proširene stvarnosti u svrhu poboljšanja kvalitete života i društvene uključenosti osoba s invaliditetom.

Kao asistentica i izvoditeljica laboratorijskih vježbi sudjeluje na više kolegija preddiplomskog i diplomskog studijskog programa na FER-u. U ulozi neposredne voditeljice pomaže studentima u izradi seminara, završnih i diplomskih radova te u radu na projektima u okviru kolegija. Osim u znanosti i nastavi, sudjeluje i u aktivnostima vezanim uz organizaciju i sudjelovanje na događanjima čija je svrha popularizacija struke. Članica je strukovne udruge IEEE.

Popis objavljenih radova

Izvorni znanstveni radovi u indeksiranim časopisima

1. **M. Žilak**, Ž. Car, and I. Čuljak, “A Systematic Literature Review of Handheld Augmented Reality Solutions for People with Disabilities,” *Sensors*, vol. 22, no. 20, Art. no. 20, doi: 10.3390/s22207719.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom

1. Kešelj, I. Topolovac, **M. Žilak**, and I. Rašan, “The impact of legislation on website accessibility: Croatian case-study,” in *2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, Sep. 2021, pp. 488–493. doi: 10.23919/MIPRO52101.2021.9596947.
2. **M. Zilak**, I. Rasan, A. Keselj, and Z. Car, “Process Model for Accessible Website User Evaluation,” in *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2020*, in Smart Innovation, Systems and Technologies. Singapore: Springer, 2020, pp. 57–68. doi: 10.1007/978-981-15-5764-4_6.
3. M. Begic, M. Cirimotic, I. Farkas, I. Skoric, Z. Car, I. Rasan, and **M. Zilak**, “Software Prototype Based on Augmented Reality for Mastering Vocabulary | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore,” in *2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, Opatija, Croatia: IEEE, 2020, pp. 446–451. doi: 10.23919/MIPRO48935.2020.9245260.
4. Gace, L. Jaksic, I. Murati, I. Topolovac, **M. Zilak**, and Z. Car, “Virtual Reality Serious Game Prototype for Presenting Military Units,” in *2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, Jul. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ConTEL.2019.8848505.
5. **M. Zilak**, A. Keselj, and T. Besjedica, “Accessible Web Prototype Features from Technological Point of View,” in *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, May 2019, pp. 457–462. doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757115.
6. F. Dudaković, M. Maskarin, V. Matecic, L. Razenj, Z. Car, I. Rasan, and **M. Zilak**, “Learning Colors - Application for Children with Developmental Disabilities,” in *2018*

International Symposium ELMAR, Sep. 2018, pp. 27–30. doi: 10.23919/ELMAR.2018.8534588.

7. **M. Žilak**, Z. Car, and G. Jezic, “Educational Virtual Environment Based on Oculus Rift and Leap Motion Devices,” presented at the 26. International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2017, 2018. doi: 10.24132/CSRN.2018.2802.18.
8. Pirša, L. Rokić, H. Vdović, L. Vertlberg, **M. Žilak**, Ž. Car, and V. Podobnik, “Analysis of ICT-based assistive solutions for people with disabilities,” in *2017 14th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, Jun. 2017, pp. 13–18. doi: 10.23919/ConTEL.2017.8000013.
9. A. Pirša, B. Stanić, L. Štracak, Z. Todorović, H. Vdović, **M. Žilak**, M. Vuković, and Ž. Car “Front-end solution for enhancing web sites accessibility,” in *2015 13th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, Jul. 2015, pp. 1–8. doi: 10.1109/ConTEL.2015.7231202.

Biography

Matea Žilak was born in 1993 in Slavonski Brod. She obtained her bachelor's degree in computing in 2015 at the Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb (FER). She continues her education in the master's programme of the same faculty, where she obtained her master's degree in Information and Communication Technology (ICT) in 2017.

Since 2017, she has been working as an assistant in the Department of Telecommunications at FER. As a member of the Laboratory for Assistive Technologies and Augmentative and Alternative Communication (ICT-AAC) and the Laboratory for Social Networking and Computing Laboratory (SocialLab), she conducts research on ICT-based solutions to improve the quality of life of people with disabilities and the elderly, and explores the potential of new technologies, such as virtual and augmented reality, to improve the quality of life and social inclusion of people with disabilities.

As a teaching assistant, she conducts teaching activities in several undergraduate and graduate courses at FER. She helped supervise students in preparing seminars, bachelor's and master's theses, and in conducting projects within the courses. In addition to her academic and teaching activities, she is also involved in organizing and participating in events aimed at popularizing STEM. She is a member of the professional association IEEE.