



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

МИЛЕ ВАЈКИЋ

**УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕСА ОСПОСОБЉАВАЊА
ЗАПОСЛЕНИХ У ОБЛАСТИ БЕЗБЕДНОСТИ И
ЗДРАВЉА НА РАДУ ПРИМЕНОМ
ТЕХНОЛОГИЈА ВИРТУЕЛНЕ СТВАРНОСТИ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Крагујевац, 2026.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING

Mile Vajkić

**IMPROVING THE EMPLOYEE TRAINING
PROCESS IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL
SAFETY И HEALTH THROUGH THE USE OF
VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2026.

Аутор
Име и презиме: Миле Вајкић
Датум и место рођења: 02.09.1985.
Садашње запослење: Професор машинске групе предмета, Средњошколски центар Лакташи, Босна и Херцеговина
Докторска дисертација
Наслов: Унапређење процеса оспособљавања запослених у области безбедности и здравља на раду применом технологија виртуелне стварности
Број страница: 110
Број слика: 33
Број библиографских података: 172
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК): Индустијско инжењерство и инжењерски менаџмент
Ментор: титула, име и презиме, звање, назив факултета/института и универзитета
Проф. др Марко Ђапан, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације:
IV-04-269/7 од 17. 04. 2024. год.

ЗАХВАЛНИЦА

Ова докторска дисертација настала је као резултат дугогодишњег ангажмана у научно-истраживачком раду током докторских студија на Факултету инжењерских наука. Пре свега, захвалан сам свим учесницима који су својим ангажманом допринели спровођењу истраживања, без чијег учешћа ово дело не би било могуће.

Овом приликом желим да изразим искрену захвалност свима који су допринели изради ове дисертације и мом професионалном развоју. Посебно се захваљујем директору Техничке школе Градишка, Влади Томићу, на уступању потребне опреме за истраживање (*Class VR*). Такође овом приликом се захваљујем свима који су учествовали у процесу истраживања.

Велика захвалност припада и мом ментору, проф. др Марку Ђапану, ванредном професору Факултета инжењерских наука, за несебичну и стручну подршку, драгоцене савете и конструктивне критике током израде дисертације. Његова посвећеност, охрабрење и подршка били су од непроцењиве вредности у савладавању свих изазова.

Захвалност дугујем и проф. др Евици Јовановић, редовном професору Факултета заштите на раду, као и проф. др Биљани Врањеш, ванредном професору Машинског факултета Бања Лука, на дугогодишњој несебичној помоћи и подршци.

Највећу захвалност изражавам својој породици

РЕЗИМЕ

Оспособљавање за безбедан и здрав рад је основа превентивне безбедности на раду. Процес оспособљавања има за циљ да радници стекну потребне вештине и знања за безбедан начин обављања радних задатка. Током процеса оспособљавања радници се упознају са потенцијалним опасностима и штетностима на радном месту, ризицима који се појављују у процесу рада и безбедносним прописима за управљање идентификованим ризицима.

Процес оспособљавања за безбедан и здрав рад на радном месту према устаљеној методологији састоји се из два дела, први део је теоријски, а други део је практично оспособљавање на радном месту. Развојем нових технологија и њиховом имплементацијом у области едукације добија се могућност унапређења постојећег конвенционалног процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад. Нове, савремене технологије чија би примена унапредила процес оспособљавања за безбедан и здрав рад су технологија виртуелне стварности и технологија проширене стварности.

Ова докторска дисертација истражује могућности унапређења процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад применом технологије виртуелне стварности. Основа за истраживање је креирани иновативни модел оспособљавања за безбедан и здрав рад у коме је за оспособљавање коришћена технологија виртуелне стварности (*Virtual reality - VR*) са приказом 360⁰. У оквиру овог модела су интегрисани поступци за иницијално оспособљавање за процес рада и оспособљавање за безбедан и здрав рад на радном месту. Модел је пројектован и реализован за радно место *CNC* оператера. Ово радно место узето је као референтни пример за процес оспособљавања за безбедан и здрав рад.

На основу креираног модела оспособљавања вршена су истраживања о могућностима унапређења процеса оспособљавања на два узорка. Први узорак у истраживању чинили су ученици у завршним разредима средње школе за занимање *CNC* техничар код којих је извршено поређење конвенционалног начина оспособљавања и оспособљавања применом виртуелне стварности. Други узорак на којем је извршено истраживање чинили су радници са искуством у раду на *CNC* машинама, код којих је на основу имплементираног модела оспособљавања применом технологије виртуелне стварности, извршено истраживање о применљивости овог модела.

Добијени резултати истраживања показали су да је могуће унапредити процес оспособљавања за безбедан и здрав рад применом технологије виртуелне стварности. Такође, добијени резултати истраживања указују да је начин оспособљавања за безбедан и здрав рад употребом виртуелне стварности бржи, једноставнији, мобилнији, али и квалитетнији од тренутног конвенционалног приступа.

Кључне речи: оспособљавање, безбедан и здрав рад, виртуелне технологије (*Virtual reality - VR*), *CNC* оператер.

ABSTRACT

Training for safe и healthy work is the foundation of preventive occupational protection. The purpose of the training process is to equip workers with the necessary skills и knowledge for safely performing work tasks. During the training, workers are introduced to potential hazards и harmful factors in the workplace, the risks that may arise during work processes, и the safety regulations for managing identified risks. The process of training for safe и healthy work in the workplace, according to established methodology, consists of two parts: the first part is theoretical, while the second part involves practical training in the workplace. The development of new technologies и their implementation in the field of education has created opportunities to enhance the existing conventional training process for safe и healthy work. Modern technologies that could improve the training process include virtual reality (VR) и augmented reality (AR) technologies.

This doctoral dissertation explores the possibilities of improving the training process for safe и healthy work through the application of virtual reality technology. The foundation for the research is an innovative training model for safe и healthy work. In this model, virtual reality (VR) technology with a 360° display was used. The model was designed и implemented for the workplace of a CNC operator, which was selected as a reference example for the training process for safe и healthy work. This model integrates procedures for initial training in work processes и training for safe и healthy work at the workplace.

Based on the developed training model, research was conducted on the possibilities of improving the training process using two samples. The first sample consisted of final-year high school students specializing in CNC technology, where a comparison was made between the conventional training method и training using virtual reality. The second sample included experienced CNC machine operators, who were presented with the training model utilizing virtual reality technology. Afterward, these workers were surveyed to assess the potential applicability of this model.

The research results demonstrated that the training process for safe и healthy work can be enhanced through the application of virtual reality technology. The findings indicate that training for safe и healthy work using virtual reality is faster, simpler, more mobile, и of higher quality compared to the current conventional approach.

Keywords: training, safe и healthy work, virtual reality (VR) technologies, CNC operator.

САДРЖАЈ

Листа слика	I
Листа табела	II
Листа скраћеница	III
Преглед страних речи и израза	IV
1. УВОД	1
1.1. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА	2
1.2. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	4
1.3. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	5
1.4. СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ	5
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО РАДА	7
2.1. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ОСПОСОБЉАВАЊА- МЕТОДИКА И ДИДАКТИКА .	8
2.2. ПРИМЕНА АНДРАГОШКИХ ПРИНЦИПА У ОСПОСОБЉАВАЊУ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД	14
2.3. КОНВЕНЦИОНАЛНИ НАЧИН ОСПОСОБЉАВАЊА ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД	17
2.4. ПОЈАМ ВИРТУЕЛНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ	19
2.5. ПРИМЕНЕ ВИРТУЕЛНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ОСПОСОБЉАВАЊУ	26
2.6. ПРИМЕНА ТЕХНОЛОГИЈЕ ВИРТУЕЛНЕ СТВАРНОСТИ У ОСПОСОБЉАВАЊУ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД	30
3. ЕМПИРИЈСКИ ДЕО РАДА	37
3.1. ВАРИЈАБЛЕ И ИНСТРУМЕНТИ ИСТРАЖИВАЊА	37
3.2. УЗОРАК ИСТРАЖИВАЊА И ОБРАДА ПОДАТАКА	39
3.3. МОДЕЛ ОСПОСОБЉАВАЊА ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД ПРИМЕНОМ VR ТЕХНОЛОГИЈЕ	41
3.4. КРЕИРАЊЕ ВИРТУЕЛНОГ САДРЖАЈА ЗА ОСПОСОБЉАВАЊЕ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД ПРИМЕНОМ VR ТЕХНОЛОГИЈЕ	43
3.4.1. Снимање или фотографисање корака модела у формату 360°	44
3.4.2. Увезивање снимљеног материјала са релевантним информацијама и монтажа у складу са корацима модела	48
3.4.3. Постављање припремљеног материјала у софтвер за VR приказ.....	57
3.4.4. Преглед виртуелног садржаја применом VR технологије.....	59
3.5. ИСТРАЖИВАЊЕ А	60
3.6. ИСТРАЖИВАЊЕ Б	62
3.7. ИСТРАЖИВАЊЕ В	65

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	66
4.1. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА А	67
4.2. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА Б.....	75
4.3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА В	81
4.4.ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА	83
5. ЗАКЉУЧАК	86
ЛИТЕРАТУРА	91
ПРИЛОЗИ	101

ЛИСТА СЛИКА

Ознака	Назив слике
Слика 1.	Сенсорамa
Слика 2	„Sword of Damocles“ (први HMD уређај)
Слика 3.	Концепт виртуелне стварности
Слика 4.	Модел оспособљавања за безбедан и здрав рад
Слика 5.	Приказ 360° радног места CNC оператера
Слика 6.	Приказ 360° правилног постављања обрадка на радни сто машине
Слика 7.	Приказ 3600 постављања алата на исправан начин
Слика 8.	Приказ 360° умеровање обрадка
Слика 9.	Исечак видео-записа у формату 360° - умеровање алата и обрадка
Слика 10.	Приказ 360° листе програма приказане на дисплеју машине
Слика 11.	Исечак видео-записа у формату 360° - процес графичке симулације
Слика 12.	Исечак видео-записа у формату 360° - процес обраде
Слика 13.	Приказ 360° процеса мерења готовог дела
Слика 14.	База података у оквиру платформе Thinglink
Слика 15.	Мапа података увезаних у први корак модела
Слика 16.	Мапа података увезаних у други корак модела
Слика 17.	Мапа података увезаних у трећи корак модела
Слика 18.	Мапа података увезаних у четврти корак модела
Слика 19.	Мапа података увезаних у пети корак модела
Слика 20.	Мапа података увезаних у шести корак модела
Слика 21.	Мапа података увезаних у седми корак модела
Слика 22.	Мапа података увезаних у осми корак модела
Слика 23.	Мапа података увезаних у девети корак модела
Слика 24.	Креирани садржај постављен на меморијски простор софтверске компоненте ClassVR платформе
Слика 25.	Едукативни материјал у корацима модела постављен на листу за преглед садржаја унутар ClassVR платформе
Слика 26.	VR наочаре
Слика 27.	Тастатура VR наочара
Слика 28.	Учесници у истраживању самостално прегледају едукативни виртуелни материјал
Слика 29.	Обука ученика конвенционалним начином оспособљавања
Слика 30.	Оспособљавање ученика коришћењем VR технологије
Слика 31.	Приказ и организације прикупљених података у SPSS софтверу
Слика 32.	Варијансе по варијаблама истраживања
Слика 33.	Приказ организације прикупљених података истраживања у SPSS софтверу

ЛИСТА ТАБЕЛА

Ознака	Назив табеле
Табела 1.	<i>Примена андрагошких принципа у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад</i>
Табела 2.	<i>Поређење конвенционалне обуке за безбедност и здравље на раду и обуке коришћењем VR технологије</i>
Табела 3.	<i>Приказ интерактивних тачака са њиховим значењем</i>
Табела 4.	<i>Мерна скала варијабле „Могућност употребе VR технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад“.</i>
Табела 5.	<i>Мерна скала варијабле „Знање о начину рада на CNC машини“</i>
Табела 6.	<i>Мерна скала варијабле „Знање за безбедан рад на CNC машини“</i>
Табела 7.	<i>Питања постављена у тесту знања</i>
Табела 8.	<i>Пол</i>
Табела 9.	<i>Године старости</i>
Табела 10.	<i>Степен стручне спреме</i>
Табела 11.	<i>Дужина радног стажа на CNC машинама</i>
Табела 12.	<i>Испитивање нормалности дистрибуције резултата</i>
Табела 13.	<i>Тестирање статистичке корелације независних варијабли са зависним варијаблама</i>
Табела 14.	<i>Тестирање статистичке корелације радног стажа на CNC машинама и укупне могућности коришћења VR</i>
Табела 15.	<i>Ниво корелације за сваку зависну варијаблу</i>
Табела 16.	<i>Провера статистички значајних разлика</i>
Табела 17.	<i>Резултати дескриптивне статистике</i>
Табела 18.	<i>Пол</i>
Табела 19.	<i>Резултати о претходном знању у области CNC технологија</i>
Табела 20.	<i>Резултати о претходном знању у области БЗР</i>
Табела 21.	<i>Резултати о начину оспособљавања</i>
Табела 22.	<i>Поузданост мерне скале за варијабле „Знање о начину рада на CNC машини“</i>
Табела 23.	<i>Поузданост мерне скале за варијабле „Знање о БЗР“</i>
Табела 24.	<i>Анализа нормалности расподеле података</i>
Табле 25.	<i>Mann Whitney test</i>
Табела 26.	<i>Median test</i>
Табела 27.	<i>Упоредна анализа добијених резултата за варијабле о знању на CNC машини</i>
Табела 28.	<i>Упоредна анализе добијених резултата за варијабле о знању БЗР</i>
Табела 29.	<i>Резултати теста знања</i>

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА

Скраћеница	Значење
VR	<i>енгл. Virtual reality</i>
CNC	<i>енгл. Computer Numerical Control</i>
HMD	<i>енгл. Head-Mounted Display</i>
SPSS	<i>енгл. Statistical Package for the Social Sciences</i>
БЗР	Безбедност и здравље на раду
OSH	<i>енгл. Occupational Safety u Health</i>
ISO	<i>енгл. International Organization for Stuardization</i>
LCD	<i>енгл. Liquid Crystal Display</i>
OLED	<i>енгл. Organic Light-Emitting Diode</i>
QLED	<i>енгл. Quantum Dot Light-Emitting Diode</i>
CAVE	<i>енгл. Cave Automatic Virtual Environment</i>
BCI	<i>енгл. Brain-Computer Interface</i>
ЕЕГ	Електроенцефалограм
STEM	<i>енгл. Science -Technology -Engineering - Mathematics</i>
ЛЗС	Лична заштитна средства
BIM	<i>енгл. Building Information Modeling</i>

ПРЕГЛЕД СТРАНИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА

<i>Virtual reality</i>	<i>енглески</i>	виртуелна стварност
<i>Sword of Damocles</i>	<i>енглески</i>	Дамоклов мач
<i>Thinglink</i>	<i>енглески</i>	-
<i>ClassVR</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Mann Whitney</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Median test</i>	<i>енглески</i>	медијански тест
<i>OSHwiki</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>	<i>енглески</i>	статистички софтвер за друштвене науке
<i>Microsoft Excel</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Methodos</i>	<i>енглески</i>	метода
<i>Didaktikos</i>	<i>енглески</i>	дидактика
<i>Contributions to the Physiology of Vision</i>	<i>енглески</i>	Доприноси физиологији вида
<i>View-Master</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Head-Mounted Display</i>	<i>енглески</i>	уређај за приказ на глави
<i>Sensorama</i>	<i>енглески</i>	-
<i>VPL Research</i>	<i>енглески</i>	-
<i>EyePhone</i>	<i>енглески</i>	-
<i>DataGlove</i>	<i>енглески</i>	рукавица за унос покрета
<i>DataSuit</i>	<i>енглески</i>	
<i>Massive Multiplayer Online Games</i>	<i>енглески</i>	масовне онлајн мултиплејер игре
<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>	<i>енглески</i>	аутоматизовано виртуелно окружење
<i>through the window</i>	<i>енглески</i>	поглед кроз прозор (VR)
<i>Oculus Rift</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Google Cardboard</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Leap Motion</i>	<i>енглески</i>	сензор за праћење покрета руку
<i>PrioVR</i>	<i>енглески</i>	уређај/систем за праћење покрета целог тела у VR окружењу
<i>Virtuix Omni</i>	<i>енглески</i>	терадмил за VR који омогућава ходање у виртуелном свету
<i>Cybershoes</i>	<i>енглески</i>	уређај за ношење на ногама који омогућава ходање у VR окружењу
<i>HaptX</i>	<i>енглески</i>	хаптички систем који омогућава осећај додира и отпора у VR окружењу
<i>Dexto</i>	<i>енглески</i>	хаптичка рукавица за праћење и осећај покрета прстију у VR
<i>Teslasuit</i>	<i>енглески</i>	комплетан костим за VR са хаптичком и биометријском функцијом
<i>Bhaptics TactSuit</i>	<i>енглески</i>	хаптички костим за VR који пружа осећај удара, вибрације и додира
<i>Siri</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Alexa</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Google Assistant</i>	<i>енглески</i>	-

<i>Feelreal</i>	<i>енглески</i>	хаптички маск/маска за VR која омогућава осећаје мириса и ветра
<i>Brain-Computer Interface</i>	<i>енглески</i>	технологија која омогућава контролу уређаја помоћу мозга
<i>Birdly®</i>	<i>енглески</i>	имерзивни симулатор лета
<i>off-the-shelf apps</i>	<i>енглески</i>	спремне апликације
<i>Street View</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Cardboard Camera</i>	<i>енглески</i>	апликација за снимање 360°
<i>PowerPoint</i>	<i>енглески</i>	-
<i>simulator sickness</i>	<i>енглески</i>	симулаторска болест
<i>Spearman's Rank Correlation Coefficient</i>	<i>енглески</i>	Спирманов коефицијент рангиране корелације
<i>ANOVA Test</i>	<i>енглески</i>	статистички тест за поређење средњих вредности
<i>Hotspot</i>	<i>енглески</i>	-
<i>Playlist</i>	<i>енглески</i>	списак медијских садржаја
<i>Skewness</i>	<i>енглески</i>	скјунис
<i>Kurtosis</i>	<i>енглески</i>	куртозис
<i>Statistic</i>	<i>енглески</i>	статистика
<i>Spearman's rho</i>	<i>енглески</i>	Спирманов коефицијент
<i>Cronbach's alpha</i>	<i>енглески</i>	Кронбахова алфа
<i>Listwise</i>	<i>енглески</i>	по листи
<i>Outliers</i>	<i>енглески</i>	екстремне вредности
<i>Building Information Modeling</i>	<i>енглески</i>	процес креирања и коришћења дигиталних модела

1. УВОД

Безбедност на радном месту представља један од кључних процеса у индустријским системима, јер од њеног нивоа директно зависи ефикасност, продуктивност и стабилност рада. Ризици на раду присутни су у свим областима – од производних и оперативних до услужних процеса. Чак и на данашњем нивоу развоја индустријских технологија, потенцијалне опасности и штетности постоје упркос примени мера безбедности и здравља на раду (БЗР), што захтева континуирано унапређивање система заштите. Индустријски системи који улажу у процесе безбедног и здравог рада бележе нижу стопу повреда на раду и мање трошкове повезане са тим повредама. Поред тога, овакви системи уживају бољу репутацију и имају задовољније запослене, што позитивно утиче на организациону културу и укупан имиџ предузећа.

Безбедност, у најширем смислу, подразумева стање ослобођено од опасности. Она је вишедимензионална појава која се може односити на појединца, предузеће, животну средину и целокупно друштво. Безбедност представља способност постизања стања заштите од непредвиђених изазова и флексибилан повратак у нормално функционисање уз минималну штету. Безбедност система дефинише се као вероватноћа да систем у датим условима, током одређеног времена, обезбеђује заштиту људи и материјалних добара (Анђелковић, 2010). У савременим условима пословања, безбедност је стање које омогућава нормалан ток пословних процеса и функционисање пословних система, а тиме и постизање бољих привредних резултата (Палачић, 2015).

Према *OSHWiki* мрежној енциклопедији о безбедности и здрављу на раду: „Безбедност и здравље на раду је интердисциплинарна активност која се бави превенцијом ризика сваке радне активности, са циљем промовисања и одржавања највишег степена безбедности и здравља на раду, стварајући услове за избегавање настанка радних незгода и оштећења здравља“ (Nunes, 2017).

Безбедност и здравље на раду генерално се дефинише као наука о предвиђању, препознавању, процени и контроли опасности које настају у или са радног места и које могу угрозити здравље и добробит радника, узимајући у обзир могући утицај на околне заједнице и опште окружење (Alli, 2008). У општем случају, безбедност представља одсуство опасности, односно непостојање услова који могу довести до реалног или потенцијалног угрожавања људи, материјалних и природних добара. Безбедност је својство радне средине да у одређеним условима функционисања одржи такво стање у којем се са задатом вероватноћом искључују ризични догађаји условљени дејством фактора опасности на незаштићене елементе система и окружења (Анђелковић, 2010). Појам безбедности тиме добија специфичан значај у домену превенције — јер неке грешке у саставним елементима система могу нарушити рад система, а друге његову безбедност.

Безбедност и здравље на раду подразумевају обезбеђивање таквих услова рада којима се, у највећој могућој мери, смањују повреде на раду, професионалне болести и болести у вези са радом, у циљу остваривања физичког, психичког и социјалног благостања запослених. У том смислу, безбедност и здравље на раду обухватају стварање услова рада на радном месту, радној средини и у животној околини који ће спречити дејство извора опасности по организам, радну способност и здравље радника и других лица, омогућавајући раднику да врши своју радну делатност и остварује одређени радни учинак без угрожавања здравља и живота (Палачић, 2015).

Најефикаснији начин смањења ризика на радном месту јесу превентивне мере безбедности, чију основу чини континуирана едукација запослених о безбедности и здрављу на раду. Ефикасно оспособљавање радника омогућава боље препознавање опасности, смањује несигурност током рада и доприноси безбедном руковању радним алатима. Циљ процеса оспособљавања је стицање неопходних знања и вештина за безбедно извођење радних задатака. У процесу оспособљавања радник треба да се упозна са свим опасностима и штетностима, утврђеним нивоима ризика на радном месту, као и са безбедносним правилима за управљање идентификованим ризицима. Оспособљавање обухвата и едукацију из области ергономије, правилног руковања опремом и алатима, кретања у радном процесу и манипулације теретима.

Оспособљавање и оспособљеност за безбедан и здрав рад предуслов су за учешће радника у сваком индустријском процесу што је регулисано законским прописима али и дефинисано стандардом *ISO 45000*, тако да оспособљавање радника је обавезан процес сваког послодавца. У литератури постоји велики број научно-стручних радова који изучавају процес оспособљавања за БЗР. Тренутна истраживања углавном се фокусирају на методологију, предности и недостатке процеса оспособљавања. Постојећа истраживања о примени савремених технологија у процесу оспособљавања, посебно виртуелне технологије, послужила су као иницијална основа за креирање истраживања представљеног у овој докторској дисертацији.

Најзаступљенији облик оспособљавања у индустријским системима јесте конвенционални приступ, који обухвата теоријски и практични део обуке. Код конвенционалног приступа оспособљавању, усвајање и прихватање знања у теоријском делу зависи од компетенција предавача, док се практични део одвија директно на радном месту. Практични део оспособљавања за безбедан и здрав рад најчешће је интегрисан у процес припреме радника за обављање послова на конкретном радном месту. Оспособљавање и демонстрације у реалним условима могу бити ефикасне у проширењу концепата безбедности, разумевању опасности и начина њихове контроле, као и у промовисању добрих радних пракси. Упркос напорима који се данас улажу у конвенционални начин оспособљавања запослених за безбедан и здрав рад, анализа резултата и повреда на раду показује да овај приступ често не доприноси довољно ефикасном повећању свести о ризицима на радном месту и њиховим последицама. Због тога је неопходно размотрити могућности унапређења постојећег процеса оспособљавања. Развој иновативних технологија отворио је могућност њихове примене у оспособљавању ради модернизације овог процеса.

Технологија виртуелне стварности (енг. *Virtual Reality – VR*) препозната је у области едукације као квалитетно средство за приказ едукативног садржаја. Примена ове технологије у области оспособљавања за безбедан и здрав рад омогућава радницима да се нађу у реалистичном, симулираном, али контролисаном окружењу, што води ка стицању стварних радних искустава. Поред тога, радници се могу суочити са потенцијалним опасностима и ванредним ситуацијама без ризика по своју безбедност и здравље. На тај начин оспособљавање постаје ефикасније, с бољим задржавањем информација и развијањем самопоуздања у реаговању у опасним ситуацијама у складу са безбедносним процедурама.

1.1. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет рада ове докторске дисертације је истраживање могућности примене напредних технологија виртуелне стварности у области едукације, обуке и оспособљавања радника за рад на радном месту, јер пружа значајан допринос

побољшању конвенционалног приступа обуци запослених у области оспособљавања за безбедан и здрав рад. Дакле, предмет истраживања ове докторске дисертације јесте унапређење процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад применом напредних технологија виртуелне стварности.

Спроведена истраживања у оквиру ове докторске дисертације односе се на прихватљивост и ефикасност оспособљавања радника уз употребу виртуелних технологија, могућа ограничења у практичној примени ових технологија, као и на економску корист, али и софтверску и хардверску прилагодљивост ових технологија за ову врсту оспособљавања.

Истраживања су базирана на практичној примени модела оспособљавања за безбедан и здрав рад који укључује употребу технологија виртуелне стварности. Основа за истраживање представља креирани иновативни модел оспособљавања за безбедан и здрав рад коришћењем технологија виртуелне стварности са приказом од 360° при чему је извршено креирање едукативног садржаја за процес оспособљавања, као и компаративна анализа између конвенционалног приступа оспособљавања и новоформираног модела оспособљавања развијеног за потребе истраживања у овој докторској дисертацији. Креирани модел је имплементиран у пракси на примеру радног места *CNC* оператера, које је узето као референтни пример за процес оспособљавања за безбедан и здрав рад. Радно мјесто *CNC* оператера погодно је за израду *VR* модела оспособљавања за безбедан и здрав јер обухвата јасно дефинисане и стандардизоване радне операције које се могу прецизно симулирати у виртуелном окружењу. Такође на радном месту *CNC* оператера могуће је интегрисати кораке оспособљавања за рад и оспособљавања за безбедан и здрав рад.

Поред наведеног радног места *CNC* оператера су била доступна аутору ове дисертације да може спровести планирана истраживања. У оквиру модела интегрисани су поступци иницијалног оспособљавања за рад и оспособљавања за безбедан и здрав рад на радном месту. За реализацију истраживања и примену модела коришћена је хардверска компонента (*VR* наочаре) и лиценцирани софтвер виртуелне технологије. Анализом литературе дошли смо до закључка да слична истраживања постоје, али до сада није спроведено нити представљено истраживање које разматра могућности унапређења процеса оспособљавања за БЗР оваквим приступом.

Полазни циљ докторске дисертације јесте приказ могућности примене виртуелне технологије у оспособљавању радника за безбедан и здрав рад, односно представљање иновативног модела оспособљавања који укључује напредне технологије виртуелне стварности. Такође, циљ је испитати ефикасност оваквог типа модела оспособљавања. Тренутни конвенционални приступ оспособљавању обухвата теоријски део (знања о безбедности и здрављу на одређеном радном месту) и практични део који се спроводи на радном месту. Класични приступ се ослања на знање, вештине и мотивацију особе која спроводи оспособљавање, што често може бити његов недостатак. Развој новог модела оспособљавања, омогућио би практичну примену технологије виртуелне стварности у оспособљавању за безбедан и здрав рад, чинећи процес оспособљавања бржим, једноставнијим, мобилнијим и квалитетнијим у односу на тренутни класични приступ оспособљавања.

Научни циљ ове докторске дисертације је развој иновативног модела оспособљавања радника за безбедан и здрав рад уз коришћење напредних технологија виртуелне стварности, који може бити применљив у пракси у свим индустријским системима. Ово би допринело повећању ефикасности и интерактивности самог процеса оспособљавања.

Фокус дисертације је и на приказу иновација у оспособљавању, осавремењивање материјала за едукацију запослених и повећање заинтересованости за нови модел оспособљавања. Аналитички се приказује путем чулних и визуелних ефеката током процеса оспособљавања што доприноси трајнијем памћењу приказаног садржаја. Узрочно-последична веза оваквог приступа са кључним индикаторима перформанси безбедности и здравља на раду огледа се у смањењу стопе повреда на раду, изградњи културе безбедности и здравља, интерактивној сарадњи и учешћу запослених, бољим људским перформансама, смањењу ризика од професионалног стреса, као и могућности учења на даљину.

Докторска дисертација са дефинисаним предметом и циљевима истраживања, веома је значајна, због чињенице да су истраживања ове проблематике последњих година све присутнија у светској теорији и пракси, док је ситуација у домаћим условима још увек таква да се овом проблему не придаје адекватна пажња. Како проблематика о примени напредних технологија виртуелне стварности за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад у домаћој теорији и пракси није довољно имплементирана, не треба сумњати да ће резултати истраживања имати научни значај, друштвени утицај, као и практичну примену.

Очекивани резултати, који су производ изворних истраживања аутора, представљају оригиналан научни допринос у области безбедности и здравља на раду који се огледа у свеобухватном и систематичном креирању новог, иновативног модела оспособљавања (примена савремених техничких решења у оспособљавању, пре свега примена *VR* технологије) радника за рад на радном месту и за БЗР, који је практично тестиран на радном месту оператер на *CNC* машини. У том контексту, посебна пажња посвећена је креирању едукативних садржаја, а са циљем њиховог трајнијег памћења употребом *VR* технологије и повећања ефикасности, флексибилности и персонализације у овом процесу оспособљавања радника. Потврда добијених резултата истраживања указује на могућност трансформације конвенционалног приступа оспособљавању с циљем подизања нивоа знања запослених о БЗР што доприноси широј примени оваквог начина оспособљавања у свим областима едукације.

Ова докторска дисертација, поред проширивања постојећих теоријских и практичних сазнања, има и шире друштвено значење, јер резултати истраживања могу послужити као подлога за развој будуће законске регулативе у области безбедности и здравља на раду.

1.2. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

На основу дефинисаног предмета и циљева истраживања постављена је **општа хипотеза**:

Примена савремених технологија виртуелне стварности за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад утиче да се едукативни садржаји трајније усвајају и памте (захваљујући чулним и визуелним ефектима), и доприноси постизању високих перформанси у области безбедности и здравља на раду.

Из опште хипотезе изведене су следеће **посебне хипотезе**:

X1: Виртуелне технологије су једноставне за употребу, не захтевају неку посебану обуку, а представљају реално, сигурно и контролисано дигитално окружење за обуку.

X2: Применом технологије виртуелне стварности у оспособљавању за безбедан и здрав рад подиже се ефикасност обуке и интерактивност процеса учења (лице које спроводи обуку и лице које се обучава су активни учесници у процесу оспособљавања).

X3: Постоји повезаност између конвенционалног начина оспособљавања и појаве монотоније што за последицу има смањење перформанси БЗР.

X4: Примена технологија виртуелне стварности за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад је економски прихватљива.

1.3. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Структура истраживања и методе истраживања условљене су предметом, постављеним циљевима истраживања и хипотезама. Методолошки приступ истраживања заснива се на аналитичко-синтетичком моделу истраживања. Аналитичко-синтетичке методе научног истраживања у конкретном случају састоје се од анализе досадашњих резултата истраживања, претраге литературе, и оних који су резултат истраживања аутора, као и синтезе база знања и правила одлучивања за реализацију иновативног модела оспособљавања за безбедан и здрав рад. Због тога су и методе истраживања подељене на оне које се користе за теоријски и оне које се користе за истраживачки део докторске дисертације.

Први, теоријски део истраживања подразумева претрагу литературе посвећене предметној проблематици, укључујући проучавање прописа у области оспособљавања за безбедан и здрав рад, као и примену виртуелних технологија у овом процесу, са нагласком на оспособљавање за безбедан и здрав рад. Од метода примењене су анализа садржаја, компаративна метода, аналитичко-синтетичка, индуктивно-дедуктивна.

Други део рада је истраживачки и усмерен је на прикупљање података о примени виртуелних технологија у практичном оспособљавању за безбедан и здрав рад. Спроведено је анкетно истраживање с циљем утврђивања везе између конвенционалног и савременог (примена *VR*) начина оспособљавања за безбедан и здрав рад. Метод моделовања коришћен је при креирању модела оспособљавања уз употребу технологије виртуелне стварности, док је анкетно истраживање (посебно дизајнирани упитник за потребе ове докторске дисертације) примењено за прикупљање и анализу мишљења и ставова радника о могућностима примене виртуелних технологија у процесу оспособљавања. За статистичку обраду и анализу података коришћени су софтверски пакети *SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)* и *Microsoft Excel*. Поред дескриптивне статистике, примењене су регресиона и корелациона анализа, као и методе тестирања постављених хипотеза.

1.4. СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Имајући у виду све напред изложено, а у складу са предметом, циљевима и хипотезама истраживања, докторска дисертација осим Увода садржи још три поглавља, Закључак, Литературу и Прилоге.

У *Уводу* дат је предмет истраживања, циљеви, хипотезе и методе истраживања, а затим је приказана структура докторске дисертације (садржај рада).

Теоријски део докторске дисертације односи се на теоријске основе тренутног, конвенционалног начина оспособљавања за безбедан и здрав рад, укључујући методологију, методику и дидактику самог процеса оспособљавања, као и примену андрагошких принципа у оспособљавању за безбедан и здрав рад. У овом поглављу представљене су и теоријске могућности примене виртуелне технологије за унапређење процеса оспособљавања радника уопште. Такође, у овом делу рада дата је и библиографска анализа досадашњих истраживања у области оспособљавања, са

посебним акцентом на примену технологија виртуелне стварности за оспособљавање за безбедан и здрав рад.

У поглављу, *Емпиријски део рада*, детаљно су објашњене варијабле и инструменти истраживања, као и узорак истраживања са комплетним описом активности у току истраживања, као и начини обраде података. Затим је приказан дизајниран модел оспособљавања за безбедан и здрав рад, који укључује примену виртуелне технологије у процесу оспособљавања, начин креирања и имплементације виртуелног едукативног садржаја намењеног за оспособљавање (приказ софтверског алата за креирање едукативних материјала у виртуелној технологији и коришћење технологије виртуелне стварности у формату 360°), као и примена виртуелног садржаја на примеру радног места оператер на *CNC* машини. У овом поглављу докторске дисертације извршена је и анализа ефикасности модела оспособљавања који се ослања на примену виртуелних технологија.

Резултати и дискусија, је поглавље у коме су приказани резултати за сваку фазу истраживања засебно. Након што је урађена интерпретација резултата извршено је повезивање добијених резултата истраживања са општом хипотезом и изведеним (посебним) хипотезама. Такође, у овом делу рада извршена је компарација добијених резултата истраживања са постојећим истраживањима у овој области, као и поређење конвенционалног начина оспособљавања и предложеног модела оспособљавања. На крају овог поглавља приказане су предности и ограничења у практичној примени предложеног модела оспособљавања.

У последњем поглављу, *Закључак*, дат је осврт на релевантне резултате добијене истраживањем за доказивање постављених посебних хипотеза, а у циљу потврђивања опште хипотезе истраживања. У овом делу рада приказан је и допринос извршеног истраживања у подручју оспособљавања за безбедан и здрав рад употребом виртуелних технологија, а дати су и предлози и смернице за будућа истраживања у овој области.

Након закључка дата је *Литература* која је коришћена за потребе израде ове докторске дисертације. Коришћене референце су сложене према месту појављивања у раду.

На крају докторске дисертације дата су три прилога који се односе на инструменте истраживања тј. на садржај анкетних упитника који су коришћени у процесу спровођења истраживања.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО РАДА

У овом поглављу детаљније су разрађена теоријска разматрања која се односе на тему ове докторске дисертације. Поглавље је подељено на пет потпоглавља.

Прво потпоглавље обрађује теоријске основе оспособљавања, пружајући темељно разумевање основних појмова и концепата.

Друго потпоглавље фокусира се на примену андрагошких принципа у процесу оспособљавања, што је кључно за ефикасну едукацију одраслих радника.

Треће потпоглавље описује конвенционални начин оспособљавања за безбедан и здрав рад, укључујући његове предности и недостатке.

У четвртом потпоглављу анализирани су могућности примене виртуелне технологије у процесу оспособљавања, са посебним освртом на њене иновативне аспекте и потенцијал за унапређење.

На крају, пето потпоглавље представља библиографску анализу досадашњих истраживања у области оспособљавања за безбедан и здрав рад, као и примену технологија виртуелне стварности у овом контексту.

2.1. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ОСПОСОБЉАВАЊА – МЕТОДИКА И ДИДАКТИКА

Образовање и оспособљавање су повезани, али суштински различити појмови. **Образовање** има шири циљ – усмерено је на развој знања, вештина и ставова кроз дужи временски период, док је **оспособљавање** практичније усмерено и има непосредни циљ – стицање конкретних знања и вештина потребних за безбедно и ефикасно обављање одређених радних задатака. Управо због те специфичности, оспособљавање одраслих радника захтева другачији приступ у односу на класичне образовне моделе.

Теоријске основе оспособљавања обухватају појмове андрагогије и целоживотног учења, као и методiku и дидактику образовања одраслих. Ови концепти представљају основ за разумевање специфичности у процесу едукације радника, односно особа које су већ у радном односу или се припремају за улазак у свет рада.

Још у деветнаестом веку, немачки педагог Александар Кап (*Alexuer Kapp*), анализирајући педагошку литературу, уочио је да се она не односи искључиво на образовање младих, већ да се један њен део односи и на образовање одраслих. Тај део педагошке грађе он је тада назвао „андрагогија“. Међутим, као засебна научна дисциплина, андрагогија добија свој савремени облик тек у новије време, нарочито кроз рад Малколма Ноулса, који нуди једноставну, али суштински јасну дефиницију: андрагогија је уметност и наука помагања одраслима да уче (*Knowles, 1989*).

Шире схватање андрагогије, које укључује и вредносни аспект дефинишу аутори (*Merriam и Brockett, 1997*) као науку засновану на хуманистичким вредностима, која појединца ставља у центар образовног процеса.

Истраживања у области андрагогије и њена повезаност са педагогијом довела су до дефинисања новог појма у оквиру образовања човека – појма целоживотног учења. Овај концепт произилази из потребе да се образовање не посматра као завршена фаза у младости, већ као континуиран процес који траје током целог живота појединца.

Целоживотно учење дефинише се као важан део планираног развоја појединца, друштва, државе и нације. Оно представља одговор на основне изазове савременог образовања, како у садашњости тако и у будућности, јер је усмерено на целовито, динамично људско биће и све аспекте његовог живота кроз све животне фазе. Овај концепт превазилази устаљене границе између академског и неакадемског образовања, као и традиционалну поделу између формалног јавног образовања и образовања одраслих (*Singh и Nayak, 2005*).

Целоживотно образовање обухвата више од самог образовања одраслих – оно укључује све нивое, области и стандарде учења. Његова суштина је у томе да људи треба да буду стално посвећени развоју свести и разумевању света који их окружује, како би водили испуњен, сврсисходан и одговоран живот. Према истраживању (*Titmus, 1996*), образовање одраслих треба посматрати као процес који траје током целог живота и који служи задовољавању свих образовних потреба одраслих особа, како би оне могле у потпуности да функционишу у друштву.

Програми за целоживотно учење треба да буду флексибилнији у односу на класичне програме образовања. За разлику од традиционалног приступа, ови програми морају бити прилагођени захтевима тржишта рада и потребама одраслих који већ имају радно искуство. Важно је истаћи да програми за целоживотно учење нису обавезни, јер су

намењени одраслима који су већ професионално активни и ангажовани на одређеним радним местима.

Аутори (*Thijssen u Vernooij, 2004*) описују концепт „учења на захтев“ у контексту програма за целоживотно учење као могућност да сам полазник активно утиче на ток и структуру сопственог образовног процеса. На тај начин, омогућено је стицање специфичних знања која су непосредно применљива у оквиру свакодневних радних задатака и обавеза. Суштински, програми за целоживотно учење имају за циљ остваривање основних начела образовања одраслих. Различити аутори формулисали су ове циљеве на различите начине, али се у литератури најчешће издвајају три основна циља образовања одраслих:

- Хуманистички, који указује да је циљ образовања одраслих постизање успешног и активног функционисања у свим сферама живота.
- Економски, као увећање ефикасности радника на свим нивоима, односно стицање компетенција, вештина и знања које побољшавају процес рада.
- Социјални, су од кључног значаја за функционисање у социјално-друштвеној околини омогућавајући усвајање знања потребног за адаптирање сталним променама у друштву (*Бралић, 2021*).

Како би се успешно остварили циљеви образовања одраслих, неопходно је прецизно одредити одговарајући начин спровођења образовног процеса за сваку конкретну ситуацију. Тај начин, односно пут којим се долази до постављених образовних циљева, назива се **метода образовања**. Појам „метода“ (грч. *methodos*) у општем смислу означава пут или редослед корака који воде ка остварењу одређеног циља (*Terhart, 2001*). У контексту образовања одраслих, методе представљају скуп поступака и активности којима се подстиче активно учење и усвајање знања, уз уважавање специфичности одраслог ученика.

Методе које се најчешће користе у образовању одраслих су:

- *Предавање* је најстарија метода преношења знања како у формалном тако и у неформалном образовању. Предавање је пажљиво припремљена усмена презентација квалификоване особе (*Farrah, 2004*). Позитивна страна ове методе је економичност и широк опсег преноса података – док су њене слабости пасивност ученика и некритичко прихватање садржаја (*Савићевић, 2009*). Предавање је метода где се учење одвија кроз давање упутстава, образложења и разумевања, а процес предавања у потпуности контролише предавач (*Griffin, 2003*). Предавање је упућено групи учесника и оно даје исту информацију свима учесницима без обзира на разноврсност и неједнака значења информација за појединце. Иако предавање као метода има много недостатка, оно није заступљено само у формалном образовању већ је заступљено и у програмима целоживотног учења односно у неформалном образовању. Ову заступљеност потврђују и истраживања која указују на склоност одраслих ка овој методи (*Farrah, 2004*). Заступљеност и употреба методе предавања огледа се у склоности учесника да бирају методе „лицем у лице“ односно у наклоности учесника ка усменим методама у односу на остале облике и типове метода.
- *Дискусија* је инклузивна и партиципативна метода (*Brookfield, 2004*). Главна функција дискусије је размена мишљења што представља изазов за предавача који покреће дискусију у образовном контексту. Поставља се питање да ли је дискусија препуштена слободном току или се контролише. У идеалној примени дискусије предавач би требао да буде у другом плану и да се укључује само по потреби у

циљу побољшања ефикасности дискусије (Савићевић, 2009). Ток дискусије условљен је околностима, структуром и групом учесника, као и контекстом одвијања. Циљеви дискусије као методе су решавање неких проблема, разјашњавање и промена ставова. Дискусија усмерена ка достизању ових циљева сматра се вођеном односно контролисаном дискусијом, у литератури познатој као образовна дискусија (Brookfield, 2004). У овим дискусијама предавач има главну улогу у одабиру проблема и начину вођења дискусије. Имајући у виду могућност да учесници уче једни од других и да се кроз дискусију јављају нове идеје, нови начини разумевања, дискусија као метода образовања одраслих има велики потенцијал и може лако да допринесе новим видицима. Комуникацијске вештине учесника и одлично познавање проблема и теме о којој се дискутује доприноси успешности примене ове методе. Конструктивна дискусија зависи од правила, дужине, идентификовања сврхе због чега се води. Са образовне стране познавање учесника, као и компетенције и отвореност предавача врло су важни за успех примене ове методе. Најчешћи начини имплементације методе дискусије су: дебата, дискусија у малим групама и панел дискусија.

- *Дебата* се може посматрати и као засебна метода и као један од облика дискусије. Заједничке карактеристике свих метода дебате укључују учешће у изношењу и размени мишљења, што може довести до преиспитивања и промене ставова. Специфичности дебате су у томе што учесници заступају супротне ставове и имају задатак да своје ставове бране пред слушаоцима, а да истовремено оспоравају ставове противника који заступају супротна гледишта (Савићевић, 2009). Дебата се одликује сучељавањем опречних ставова и мишљења, односно тежњом да се победи други снагом аргумената. У литератури се често сусреће и појам „конструктивне дебате“, која комбинује елементе дебате и дијалога. Њен основни циљ је аргументовано суочавање различитих перспектива ради преиспитивања одређеног проблема, уз истовремено оспоравање ставова супротне стране на основу чињеница (Петровић, 2019). Дебате често приказују различита мишљења, погледе и битност аргумената, који су темељени на чињеницама, па се зато дебата као метода сматра основом стицања критичког мишљења. Дебата се сврстава у методе драматизације, у контексту подучавања се циљано бирају тимови који разматрају одређену тему и који заступају одређено мишљење један против другог. Дебата као метода има значајну улогу у образовању, јер омогућава увид у различите перспективе и подстиче развој критичког мишљења код ученика. Овај процес подразумева одабир важне и често контроверзне теме, формулисање аргумената „за“ и „против“, као и спровођење дебате у складу са унапред договореним правилима, уз нагласак на употребу релевантних и чињеницама поткрепљених аргумената.
- *Демонстрација* као наставна метода повезује се са приказивањем одређене процедуре или корака у извођењу конкретних активности, најчешће техничке природе односно процеса рада. Она укључује представљање карактеристика одређеног производа, поступка или технике рада. Извођење ове методе образовања прати традиционални модел шегртовања, који се састоји од усменог објашњавања како се нешто ради, показивања поступака рада и омогућавања ученику да сам учествује у процесу рада (Gilley, 2004). Демонстрација се сврстава међу презентацијске методе (Seaman, 1989), односно ово је метода у којој предавач показује одређени поступак рада кроз практичан пример, теоријски га објашњавајући. Реализација процеса демонстрације укључује наставника и ученике и може се одвијати на неколико нивоа. Први ниво је да предавач објашњава и показује, а други ниво је да неко од учесника демонстрира задатак.

На трећем нивоу процеса демонстрације сви изводе задатак уз дискусију о раду. Четврти ниво је обука где предавач (инструктор) показује поступак рада којег учесници понављају, а након тога предавач оцењује квалитет рада учесника. Креирање понашања је највиши ниво демонстрације у коме инструктор демонстрира или приказује модел одређеног понашања у неком контексту док ученици дискутују и демонстрирају тај модел. Демонстрација нуди широк избор наставних помагала, омогућавајући индивидуализацију приступа који уважава различите стилове учења и подстиче укључивање свих аспеката личности у процес подучавања. Ефективна демонстрација захтева од инструктора висок ниво стручности и увежбаности у вештини или понашању које представља ученицима, као и темељно планирање свих аспеката, укључујући простор, распоред ученика, потребну опрему и време.

- *Игра улога* се у образовном контексту сматра важном методом, посебно када је циљ едукатора да учесници развију увиде у своје и туђе ставове, емоције и понашање (Савићевић, 2009). У створеној ситуацији, учесници добијају прилику да преузму различите улоге и ослободе се уобичајених реакција, чиме имају могућност да се понашају на нове, другачије начине (Newman, 2006). Ова метода се често користи као практично решење, како у стручним обукама, тако и у програмима усмереним на развој појединца и групе. Истовремено, све више се јављају критике и упозорења да се не би требала примењивати без темељног промишљања и адекватне припреме. При припреми и спровођењу ове методе, едукатор одраслих, било да је у улози водитеља, фацилитатора, тренера или наставника, не би смео да дозволи да процес буде препуштен случају. Јасан след корака у припреми и пажљиво вођење ове активности у овој методи, самим тим и добра процена када применити ову методу кључни су за успех у учењу. Примену симулације у процесу образовања можемо сматрати методом игре улога. Симулацију можемо дефинисати као технику која омогућава одраслим учесницима да развијају вештине, компетенције, знања или понашања кроз учешће у ситуацијама које подсећају на реалне. У образовању одраслих, најчешће коришћене симулацијске форме укључују игру улога, али и студију случаја, критични инцидент и друге методе. Симулација у основи представља репродукцију стварности, омогућавајући учесницима да кроз активно и потпуно учешће прођу кроз процес искуственог учења и рефлексije. Примена стеченог знања у новим и нетипичним ситуацијама, као и способност доношења исправних одлука у таквим околностима, представљају кључне предности употребе методе игре случаја у настави.
- *Студија случаја* представља методу која повезује теоријска знања са праксом, спајајући процес учења и подучавања са реалним животним ситуацијама и питањима. Иако је позната и као истраживачка метода, у наставном процесу се чешће користи као метода случаја, заснована на примерима из стварног живота (Marsick, 2004). Случај подразумева детаљан опис, који је често поткрепљен аналитичким подацима, а понекад и видео или другим пратећим материјалом. Он представља учесницима реалну животну ситуацију и проблем, укључујући подробен приказ главних ликова и њихових дилема у вези са доношењем одлука, решавањем проблема или суочавањем са животним изазовима. Опис или извештај може да укључује и решење проблема, које се обично саопштава учесницима тек након што они предложе сопствено решење. Рад на студији случаја најчешће се спроводи у малим групама или тимовима, при чему чланови преузимају или договарају конкретне улоге, као што су вођа групе, записничар, координатор времена или представник који износи групно решење. Након излагања решења

организује се дискусија, чији је главни циљ критичка анализа предложених решења и издвајање претпоставки на којима су тимови засновали своје предлоге. Метода случаја има широку примену у настави различитих области, као што су право, медицина, менаџмент и друге. Често се комбинује са методама као што су игра улога или панел-дискусија током представљања решења које тим предлаже након анализе случаја. Ова метода спада у оне које подстичу повезивање апстрактних концепата са практичним учењем, спајајући вештачке ситуације подучавања са стварним животним околностима. С обзиром на то да се процес решавања случаја може посматрати као приступ решавању проблема, метода случаја се често сврстава међу методе сродне учењу заснованом на решавању проблема. Метода случаја обухвата учење засновано на решавању проблема, у којој је наставни приступ усмерен на ученике те их оспособљава да спроводе истраживања, повезују теорију и праксу и примењују вештине и знања како би дошли до одговарајућег решења конкретног проблема (Savery, 2006). С обзиром на сложеност методе случаја и употребу елемената других раније поменутих и сродних метода у њеној примени, важно је поново истакнути њену основну специфичност. То је учење из претходног искуства на којем се заснива случај, кроз интеракцију ученика у садашњости, интегришући њихова животна искуства у процес рада на случају, али и развој вештина које ученици препознају као важне за будућност.

Заједничка карактеристика свих метода које се примењују у образовању одраслих јесте настојање да се теоријска знања повежу са практичним искуствима, односно да се процес подучавања што више приближи реалним животним ситуацијама. Та интеграција се остварује на различите начине, у зависности од одабране методе. На пример, код предавања се та веза постиже путем конкретних примера из праксе који илуструју теоријске појмове. У методама као што су дебата и дискусија, повезаност са животом огледа се у избору тема које одражавају актуелне проблеме, изазове или друштвене ситуације. Са друге стране, методе као што су демонстрација, симулација, игра улога и студија случаја ову повезаност имају као своју суштинску основу. Управо кроз овакве методе одрасли полазници активно уче, ангажујући се кроз интеракцију са реалним или веродостојно симуираним проблемима, што омогућава дубље разумевање и дуготрајније усвајање знања и вештина.

Поред основне карактеристике метода које се примењују у образовању одраслих – повезаности теорије са праксом – важно је истаћи да одрасли учесници имају изражену склоност ка учењу кроз решавање конкретних животних проблема. У процес учења активно се укључују њихова претходна искуства, као и тренутна и будућа радна и животна ситуација. Због тога се методе образовања прилагођавају њиховим потребама и карактеристикама, омогућавајући учење кроз примере и ситуације које су полазницима блиске, препознатљиве и значајне. Од успешног образовања одраслих очекује се да буде искуствено, што значи да процес учења треба да буде заснован на реалним искуствима самих учесника. Овакво образовање треба да буде усмерено у неколико правца:

- прво, да се ослања на претходна искуства учесника и да их користи као основу за развој нових знања и вештина,
- друго, да буде партиципативно, да подстиче активно учење полазника кроз дискусије, сарадњу и размену искустава, као и кроз заједничко тумачење и реинтерпретацију ранијих искустава,

- треће, да укључује акциону компоненту, односно примену стечених знања у будућим реалним ситуацијама, чиме се осигурава континуитет у учењу и практичном развоју.

Оваквим приступом, образовање одраслих постаје сврсисходно, динамично и усмерено на конкретне резултате у личном и професионалном развоју полазника.

Дидактика је наука која се бави теоријом и праксом образовања и подучавања. Њена основна сврха је проучавање, планирање и усмеравање наставног процеса како би се постигли образовни циљеви. Основна дефиниција дидактике долази од саме грчке речи *didaktikos*, што значи спреман да подучава. Дидактика у суштини проучава односе између учитеља, ученика и садржаја у процесу учења. Примена дидактике у образовању одраслих фокусира се на проучавање и осмишљавање наставног процеса који је прилагођен одраслим особама. За разлику од образовања деце и младих, дидактика у образовању одраслих модификује наставне стратегије тако да одговарају потребама полазника, узимајући у обзир њихову мотивацију, искуство и жељу за практичним знањем.

Кључни аспекти успешног образовања одраслих укључују примену флексибилних метода учења, интеграцију технологије и креирање практично усмерених садржаја. У дидактичкој литератури постоје различити приступи образовању одраслих, али два су најчешће истакнута. Први приступ је оријентисан на програм, односно традиционални приступ, који подразумева да наставници и стручњаци за одређене области одређују циљеве учења у смислу онога што ће бити изучавано. У овом приступу програм се своди на списак тема које ће бити излагане, што се често своди на педагошки редуccionизам. Други приступ је оријентисан на исходе, где се програм дефинише као оно што ће ученик/полазник бити у стању да зна или уради након завршетка процеса образовања и учења. За успешну реализацију образовања одраслих, потребно је придржавати се основних дидактичких принципа.

Дидактички принципи су општа и темељна начела која наставници примењују у процесу планирања, организације и реализације наставе. Они произилазе из суштине наставног процеса, утврђују се анализом наставне праксе, захтевима друштва и нивоом развоја педагошке науке. Због тога су дидактички принципи подложни променама и развоју, што их чини флексибилним и прилагодљивим. Ови принципи важе за све врсте и нивое наставе као општи захтеви. У савременој пракси постоји више научно заснованих система дидактичких принципа, који се класификују према различитим критеријумима. У литератури се најчешће наводе следећи принципи (*Poljak, 1991*):

- принцип научности наставе;
- принцип очигледности и апстрактности;
- принцип поступности и систематичности у настави;
- принцип вођења рачуна о узрасту ученика;
- принцип индивидуализације у настави;
- принцип свесне активности ученика;
- принцип рационализације и економичности.

Поред поштовања дидактичких принципа, за реализацију процеса образовања одраслих неопходна су дидактичка средства и материјали. За процес образовања одраслих потребна су техничка средства, као што су рачунар, пројектор, табла, телевизор, камера и друга опрема за савремене технологије. Циљ техничких средстава је да програме образовања учине рационалнијим, једноставнијим, занимљивијим и лакшим за

усвајање, како би се избегле фрустрације и губитак мотивације код полазника. Савремени предавачи имају могућност да организују наставу на прихватљив и ефикасан начин, користећи електронске материјале уместо традиционалних писаних верзија. Симулатори и модели представљају посебну и изузетно важну категорију техничке опреме у образовању одраслих. Поред техничких средстава, веома су важна и дидактичка средства која подржавају наставни процес. То укључује различите материјале и белешке које предавачи користе како би структурисали и боље пренели знање. Такође, показни материјали, као што су фотографије, модели, различити предмети или графичке презентације, помажу ученицима да боље разумеју и визуализују теоријске концепте.

Пратећи материјали за презентације су корисне за поделу кључних информација полазницима, док ситни дидактички материјали као што су дидактичке карте, таблице, графикони или упутства, омогућавају активније учешће ученика у наставном процесу и подстичу њихову креативност и самосталност. Сва ова дидактичка средства, у комбинацији са савременим техничким уређајима, чине наставу интерактивном и доступнијом свим полазницима.

2.2. ПРИМЕНА АНДРАГОШКИХ ПРИНЦИПА У ОСПОСОБЉАВАЊУ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД

При организацији и спровођењу сваког васпитно-образовног рада треба се увек држати одређених и утврђених општих смерница, јер би у супротном такав рад био несистематски, неплански, стихијски и подложен произвољности. Те смернице омогућавају доследност, ефикасност и усмерено деловање у образовном процесу. Оне нису произвољно одређене, већ се ослањају на чврсте темеље постављене кроз друштвену, логичку и психолошку призму. Наиме, неки од захтева на којима се заснивају и изграђују принципи васпитно-образовног рада поставља друштво (социолошка група), изражавајући потребе заједнице и циљеве које образовни систем треба да испуни; друге поставља логика (логичка група), која обезбеђује рационалност, структуру и повезаност садржаја; док треће поставља психологија (психолошка група), полазећи од сазнања о развојним особинама и могућностима учења појединаца. Према томе, принципи васпитно-образовног рада представљају скуп општих, теоријски и емпиријски заснованих правила и закономерности која су се обликовала у складу са друштвеним вредностима, циљевима образовања и сазнањима о учењу.

Принципи васпитно-образовног рада представљају темељни оквир који обезбеђује да образовање не буде спонтана и хаотична делатност, већ промишљен и сврсисходан процес. На основу општих принципа, који се примењују у образовању уопште, изведени су и принципи образовања одраслих – андрагошки принципи. Ови принципи, иако утемељени на истим основама као и општи педагошки принципи, додатно узимају у обзир специфичне карактеристике одраслих полазника, као што су претходно искуство, унутрашња мотивација, потреба за самоуправљањем и оријентација ка практичним резултатима.

Андрагошки принципи представљају диференцирану, али комплементарну примену општих васпитно-образовног смерница у контексту образовања одраслих, чиме омогућавају да овај сегмент образовања буде делотворан, релевантан и усклађен са реалним потребама одраслих појединаца и друштва у целини. Принципе андрагогије, односно принципе образовања одраслих, можемо поделити у два основна облика. Први облик чине општи андрагошки принципи настали из педагошко-дидактичких принципа (*Андриловић, 1985*), а то су:

- *Принцип добровољности и принуде* – боља мотивација доводи до бољих резултата. Одсек за људске ресурсе треба да води рачуна да су сви полазници којима је организација одредила обавезу образовања, буду присутни и ангажовани током процеса.
- *Принцип апстрактности* – усвајање чињеница и њихова генерализација. Како би процес образовања био успешан, неопходно је укључити претходна знања полазника и на основу њих изграђивати нова, релевантна знања.
- *Принцип активности и развоја* – да би полазници усвојили нова знања, потребно их је подстаћи да активно учествују у образовном процесу кроз разне облике интеракције и практичне примене.
- *Принцип систематичности и поступности* – неопходно је одредити правилан редослед учења и решавања задатака, кретајући се од лакших ка тежим, од познатих ка непознатим садржајима.
- *Принцип примерености и напора* – андрагог је дужан да процес образовања прилагоди потребама и могућностима полазника, осмишљавајући задатке који представљају изазов, али не и препреку. При томе треба водити рачуна да задаци не прелазе капацитете полазника како се не би изгубило интересовање за учење.
- *Принцип савремености* – образовање почиње од познавања прошлости, али се не задржава на њој, већ се усмерава ка савременим и будућим потребама.

На основу досадашњих истраживања утврђено је да је образовни модел код образовања одраслих, који је доминирао током већег дела двадесетог века, заснован на техникама и стратегијама подучавања деце (*Knowles и сарадници, 1998*). Ова сазнања довела су до развоја новог приступа и дефинисања општеприхваћених принципа андрагогије. Основни принципи андрагогије су (*Knowles и сарадници, 1998*):

- *Потреба за знањем* – овај принцип означава разлоге због којих одрасла особа учи, односно које бенефите стиче процесом учења. Учешће у образовању је мотивисано конкретним потребама које одрасли препознају у свом животу или раду.
- *Самопоимање ученика* – одрасли људи имају развијену свест о себи као одговорним појединцима са властитим ставовима и знањем. Овај принцип истиче значај поштовања самоперцепције одраслих и њихове потребе за аутономијом у процесу учења.
- *Улога искуства ученика* – искуство је претходно стечено знање које укључује и учење из личних грешака. Ово искуство помаже одраслима да боље разумеју и примене теоријске концепте и граде нова знања на основу оног што већ поседују.
- *Спремност за учење* – одрасли постају спремни за учење када препознају да им је ново знање потребно, на пример, због професионалног напредовања или других животних изазова. Овај принцип означава моменат када се активира мотивација за учење.
- *Оријентација ка учењу* – учење одраслих је усмерено ка решавању конкретних проблема и примени у стварном животу, што значи да се нова знања уче у контексту практичних потреба.

- *Мотивација* одраслих је унутрашња и повезана је са личним циљевима, као што су професионални развој, побољшање квалитета живота или лична испуњеност, што је важан покретач образовног процеса.

На основу андрагошких принципа које је дефинисао Ноулс, група аутора (*Elwood и сарадници, 2008*) формулисала је осам кључних елемената процеса образовања одраслих. Ти елементи обухватају: припрему полазника, климу за учење, планирање, дијагнозу потреба, постављање циљева учења, креирање плана учења, активности у учењу и евалуацију. Сваки од ових елемената одражава основне поставке андрагогије и подржава специфичности учења одраслих, као што су потреба за практичном применом знања, искуствено учење, уважавање личне одговорности и унутрашње мотивације.

Оспособљавање за безбедан и здрав рад подразумева систематски процес стицања знања, вештина и ставова који су неопходни да би радник безбедно и здраво обављао свој посао. Циљ оспособљавања је да се смање ризици од повреда и болести на раду, да се повећа свест о безбедносним процедурама и да се обезбеди поштовање прописа и стандарда који штите раднике и радно окружење. За успешно оспособљавање одраслих лица за безбедан и здрав рад, неопходно је применити како принципе, тако и елементе карактеристичне за андрагошки модел образовања. Управо оваквим приступом могу се постићи трајнији и ефикаснији исходи учења, при чему полазници не само да усвајају знања, већ их и активно примењују у свакодневној радној пракси.

У табели 1 приказана је примена андрагошких принципа у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, што пружа основ за даљи развој програма обука у складу са потребама радника, односно одраслих људи. Истраживања у пракси (*Albert и Hallowell, 2013*) потврђују да примена оваквог приступа процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад доприноси значајном пасности и превенцији повреда.

Табела 1. Примена андрагошких принципа у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад

Елементи процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад	Повезани принцип андрагогије (<i>Knowles и сарадници, 1998</i>)	Примена у обуци за безбедан и здрав рад
Припрема полазника	Самопоимање ученика	Подстицајно окружење омогућава радницима да се осећају уважено и безбедно, што их мотивише да уче, деле искуства и активно учествују у дискусијама.
Клима	Самопоимање ученика	
Планирање	Учествовање и мотивација	Радници учествују у планирању садржаја обуке, што повећава њихову посвећеност. Фасилитатор ¹ подстиче сарадњу и постављање приоритета на основу потреба радног места.
Дијагноза потреба	Потреба за знањем	Радници заједно са фасилитатором идентификују безбедносне ризике на радном месту, што повећава мотивацију јер препознају непосредну корист од обуке.

¹ особа која води процес учења одраслих

Табела 1 (Наставак). Примена андрагошких принципа у процесу оспособљавања за безбедан и здрав

Постављање циљева учења	Усмереност на учење	Заједничко формулисање циљева омогућава радницима да виде конкретне исходе и развијају осећај одговорности за сопствено учење.
Креирање плана учења	Искуство, активност	Активне методе (симулације, студије случаја) засноване на радном искуству радника чине учење релевантним, интересантним и директно применљивим.
Активности у учењу	Искуство	Радници деле искуства са радног места и уче кроз интерактивне вежбе, што олакшава повезивање новог знања са постојећим искуствима.
Евалуација	Мотивација	Континуирана евалуација помаже радницима да сагледају сопствени напредак, добију повратну информацију и буду додатно мотивисани кроз признање за постигнуте резултате.

2.3. КОНВЕНЦИОНАЛНИ НАЧИН ОСПОСОБЉАВАЊА ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД

Конвенционални начин оспособљавања за безбедан и здрав рад подразумева традиционалан приступ у коме се оспособљавање спроводи путем стандардизованих предавања, штампаних материјала, усмених упутстава и практичних демонстрација. Овај приступ се најчешће реализује у учионици или непосредно на радном месту, уз присуство инструктора или лица овлашћеног за безбедност на раду.

Сврха конвенционалног начина оспособљавања јесте да се радници упознају са основним опасностима и штетностима на радном месту, мерама заштите, употребом личне заштитне опреме и поступањем у ванредним ситуацијама. На тај начин се подиже ниво свести запослених о значају безбедног понашања на раду. Спровођење оспособљавања за безбедан и здрав рад представља обавезу прописану Законом о безбедности и здрављу на раду, и то у већини земаља (укључујући и Републику Србију). Послодавац је дужан да обезбеди да сви запослени прођу кроз оспособљавање пре почетка рада, као и периодично, након промена радног места, увођења нових технологија или измена у процесу рада. Оспособљавање се завршава полагањем теста знања, а о томе се води евиденција у виду писаног доказа (потврда, записник, сертификат).

Према бројним истраживањима безбедност и здравље на раду су у тесној вези са адекватном едукацијом запослених (*Papadaki, 2008*). Велики број организација спроводи иницијална оспособљавања за новозапослене, као и редовна усавршавања за све раднике, с циљем умањења могућности за повреде и настанак професионалних болести. У оквиру конвенционалног приступа, оваква оспособљавања су најчешће заснована на једносмерном преносу информација, при чему предавачи користе унапред припремљене презентације и писану документацију како би учесницима пренели потребна правила и процедуре. Оспособљавање је по правилу усмерено на одређену тематску област која се односи на специфичности радног места. Често је регулисано законским актима и

представља обавезу, те се организује са намером да се испуне формални услови, али и да се допринесе унапређењу радне безбедности. Иако функционалан у организационом смислу, овај модел не одговара увек у потпуности различитим потребама и претходним искуствима одраслих полазника.

Према дефиницији (*Goldstein, 1993*), оспособљавање се може описати као „систематско стицање вештина, правила, концепата и ставова који доводе до унапређеног понашања у другом окружењу“. Ова дефиниција је у складу са конвенционалним схватањем оспособљавања, које нагласак ставља на пренос стандардизованог знања од стране инструктора ка полазницима. У конвенционалном моделу, оспособљавање за безбедност и здравље на раду обично подразумева једносмерно предавање садржаја, употребу презентација и писаног материјала, као и проверу усвојеног знања кроз тестирање. Иако неки аутори (*Demirkesen u Arditi, 2015*), указују да је оспособљавање ефикасније када се реализује у форми тзв. ефективне обуке, јер конвенционални приступ често занемарује интеракцију, практичне активности и активно укључивање полазника. Аутори (*Culvenor u Else, 1997*) наглашавају да се стварна ефикасност оспособљавања повећава уколико се код учесника подстиче креативно размишљање и развијање различитих приступа у решавању безбедносних изазова. Међутим, конвенционални приступ ређе омогућава овакав вид учења, јер се ослања на унапред утврђене програме који не остављају довољно простора за прилагођавање индивидуалним потребама и искуствима одраслих полазника. Конвенционални модел оспособљавања радника за безбедан и здрав рад темељи се на законски регулисаном поступку који укључује израду и примену формализованог програма.

Послодавац организује оспособљавање у складу са актом о процени ризика, уз учешће лица задуженог за послове безбедности и здравља на раду. Садржај програма прописан је правилником и обухвата више компоненти: дефинисање циљева оспособљавања, идентификацију радних места са повећаним ризиком и мера заштите које се на њих односе, опис услова рада, коришћених средстава и опреме за личну заштиту, као и карактеристике опасних материја које могу бити присутне у радном окружењу. Програм даље прецизира трајање теоријског и практичног дела оспособљавања, као и методе њихове реализације. Теоријски део оспособљавања обухвата упознавање радника са прописима из области рада и безбедности на раду, њиховим правима, обавезама и одговорностима, као и са организацијом заштите на нивоу послодавца. Посебан нагласак ставља се на идентификацију ризика, опасности и штетности карактеристичних за конкретно радно место, као и на ергономске и психофизичке захтеве радне средине. Теоријски део програма је дизајниран тако да покрије све битне аспекте који утичу на безбедност и здравље током радних активности, уз уважавање специфичности радног места и процене ризика.

У склопу теоријског дела оспособљавања, радници се упознају са следећим темама:

- Увод у безбедност и здравље на раду: објашњење појмова као што су несрећа и незгода на раду, професионална болест, као и основна начела безбедности и здравља на раду.
- Систем и правила безбедности и здравља на раду: законска регулатива, међународни прописи, улога и обавезе послодавца, радника и службе безбедности и здравља на раду.

- Организација радног простора и радне околине: услови за безбедан и здрав рад, процедура евакуације и спасавања.
- Хигијена рада и професионалне болести: физички напори, микроклима, изложеност физичким и хемијским факторима ризика.
- Лична заштитна средства: врсте и употреба заштитне опреме за различите делове тела (глава, очи, слух, дисајни органи, руке, тело, ноге).
- Прехрана и зависности: утицај здраве исхране на радну способност и могући ризици од зависности.
- Знакови безбедности: типови знакова (опасности, забране, обавезе), њихова сврха и правилна употреба.

Поред ових темељних области, теоријски део обуке обухвата и детаљну анализу специфичних ризика и опасности карактеристичних за одређене радне процесе и средине, као што су:

- механичке опасности, електричне опасности и употреба средстава за рад,
- опасности при кретању на раду, рад на висини и у сложеним просторима,
- елементи ергономије и правилне организације радног места,
- превентивне мере при ручном преношењу терета и рад са помагалима,
- хемијске и физичке штетности у радној средини.

Овако конципиран теоријски део оспособљавања представља базу на којој се гради практична примена знања и вештина, као и развој одговорног односа радника према сопственој безбедности и здрављу на раду.

Практични део оспособљавања реализује се директно на радном месту уз надзор непосредног руководиоца. Овај део обухвата обучавање радника за безбедно руковање радним средствима, правилну употребу заштитне опреме и примену мера за смањење ризика. У зависности од процењених опасности, у практични део могу се укључити и додатне специфичне мере које се односе на конкретне услове рада и специфичности посла. По завршетку оспособљавања, спроводи се провера оспособљености радника, која обухвата и теоријски и практични део. Проверу спроводи стручна комисија, чији је циљ да се утврди да ли радник поседује довољна знања и вештине за безбедан и здрав рад. Теоријска провера се обично врши писаним путем, док се практична спроводи на радном месту, при чему радник демонстрира своју способност да безбедно обавља радне задатке, као и правилну употребу заштитне опреме и алата.

Овакав модел, иако формално прецизно структуриран и заснован на прописаним стандардима, представља конвенционални приступ оспособљавању, који се најчешће ослања на фронталну наставу и ригидну проверу знања. Такав приступ често не пружа довољно простора за индивидуалне потребе полазника и њихово активно укључивање, што може утицати на мању ефикасност учења и смањити мотивацију за самосталан развој. Управо због тога, савремени процеси оспособљавања теже ка већој интерактивности и прилагођавању методологија различитим типовима полазника.

2.4. ПОЈАМ ВИРТУЕЛНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Виртуелна стварност представља једну од најиновативнијих технологија данашњице, омогућавајући корисницима да уђу у компјутерски генерисана, тродимензионална окружења која симулирају стварни свет. Ова технологија омогућава

интерактивно искуство које је имерзивно и прилагођено корисничким потребама, а њен развој прати значајне технолошке прекретнице кроз историју.

Почеци развоја виртуелне стварности као самосталне технологије могу се пратити још од средине 19. века, када је 1838. године у раду „*Contributions to the Physiology of Vision*“ уведен концепт стереоскопије и описан стереоскоп као уређај за приказивање тродимензионалних слика (*Wheatstone, 1838; Nunes de Vasconcelos и сарадници, 2019*). Ово откриће покренуло је развој различитих уређаја који су корисницима омогућавали посматрање стереоскопских слика, а један од најзначајнијих представника ове генерације је *View-Master*, уређај из 1939. године, чији принцип рада и данас лежи у основи јефтиних *HMD* (енгл. *Head-Mounted Display*) система (*Jovanović и Milosavljević, 2017*). У истраживању развоја виртуелне стварности аутори (*Gatalo и сарадници, 2006*) сматрају да се развој може пратити кроз значајне технолошке прекретнице као што су машина коју је конструисао Едвин Линк (*Edwin Link*) 1929. године, а која је кориснику пружала симулацију летења, као и Сенсорама (*Sensorama*) – мултисензорски симулатор који је почетком 1960-их развио Мортон Хеилиг (*Morton Heilig*). Сенсорама, која је приказана на слици (Слика 1), представља један од првих покушаја стварања имерзивног окружења³ и сматра се претечом данашњих виртуелних стварности, с тим што је њена оптика и визуелна технологија и даље знатно ограничена у односу на савремене системе.



Слика 1. Сенсорама

Извор: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensorama-morton-heilig-virtual-reality-headset.jpg>,
модификовано, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Према аутору (*Winn, 1993*), развој технологије виртуелне стварности тесно је повезан са напретком уређаја за приказ слика на глави (*HMD*). Први *HMD* уређај представио је 1968. године Ајван Садерленд, назвавши га „*Sword of Damocles*“ (Слика 2) (*Sutherlu, 1968*). Овај уређај био је способан да прати положај корисника и приказује слике засебно за лево и десно око, што је омогућавало стереоскопски приказ (*Gatalo и сарадници, 2006*). Међутим, због значајне тежине и обима, *HMD* је био причвршћен за плафон, а његово видно поље ограничено на око 40 степени (*Sutherlu, 1968*).

³ Имерзивно окружење је окружење које кориснику ствара осећај присуства у другом простору путем интерактивне и мултисензорне симулације.



Слика 2. „Sword of Damocles“ (први HMD уређај)

Извор: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Headsight.jpg>, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Након представљања првог HMD система, развој виртуелне стварности наставио је да се ослања на усавршавање уређаја који кориснику омогућавају ураћање у симулирано окружење. Развијени су различити типови HMD уређаја који пружају визуелни и аудитивни приказ виртуелног простора, уз могућност интеракције путем покрета главе, као и применом различитих навигационих и хаптичких уређаја, најчешће у облику специјализованих рукавица (*Savičić u Egić, 2010*). Ипак, технолошка ограничења, попут ниске резолуције екрана који су се у то време углавном заснивали на LCD технологији (сада замењеној напреднијим типовима попут OLED и QLED) (*Jang u сарадници, 2019*), представљала су значајну препреку за реалистични приказ. Поред тога, висока цена ових система значајно је ограничавала њихову комерцијалну и широку примену у последњим деценијама XX века (*Youngblut, 1997*).

Термин *виртуелна стварност* (енгл. *Virtual Reality – VR*) ушао је у широку употребу 1987. године, а његово увођење и/или популаризација најчешће се приписује америчком научнику и предузетнику Џерону Ланијеру (*Jaron Lanier*), који се сматра једним од пионира у овој области. Ланијер је у оквиру своје компаније „VPL Research“ развио и пласирао прве комерцијалне уређаје за виртуелну стварност, међу којима се издвајају HMD систем „EyePhone“, који је садржавао интегрисане сензоре за праћење покрета главе, као и иновативни уређаји попут „DataGlove“ – рукавице намењене интеракцији са виртуелним објектима, и „DataSuit“ – специјализовано одело које је омогућавало праћење покрета целог тела корисника (*Blascovich, Bailenson, 2012; Lanier, 2017; Martirosov, Корецек, 2017; Orlosky u сарадници., 2017*).

Ови уређаји представљају темељ првих имерзивних система који омогућавају интуитивну интеракцију корисника са дигитално симулираним окружењима. Иако су ови рани прототипи били технолошки ограничени, представљали су значајан искорак у правцу развоја савремених VR решења. Гатало и сарадници (*Gatalo u сарадници, 2006*) наглашавају да се функционисање виртуелне стварности темељи на стимулацији основних чула, пре свега вида, слуха и додира, што омогућава кориснику да стекне осећај присутности у вештачки генерисаном окружењу. Са друге стране, аутори (*Freina u Ott,*

2015) указују на значај интеграције свих пет људских чула како би се постигла пуна имерзија, иако је у пракси доминантан нагласак и даље на визуелним и аудитивним аспектима. Ово указује да је развој технологије виртуелне стварности континуиран процес, који тежи ка све потпунијем обухватању сензорног искуства човека у дигиталној симулацији.

У савременој литератури, појам виртуелне стварности обухвата широк спектар технологија и система, укључујући симулаторе различитих врста (као што су симулације летења, хируршке симулације и друге), виртуелне светове, масовне вишекорисничке онлајн видео игре (енгл. *Massive Multiplayer Online Games*), *CAVE* системе (енгл. *Cave Automatic Virtual Environment*), као и разноврсне уређаје за приказивање виртуелне стварности, попут наочара и кацига за виртуелну или микс стварност (*Jensen и Konradsen, 2018*). Ова термилошка ширина указује на комплексност и мултидимензионалност концепта виртуелне стварности, која се развијала паралелно са технолошким напретком.

Виртуелна стварност се у стручној литератури најчешће дефинише као тродимензионално, компјутерски генерисано окружење које се извршава у реалном времену и омогућава кориснику интеракцију са дигиталним садржајем, најчешће уз примену посебних улазно/излазних уређаја као што су *HMD*, контролери покрета, хаптичке рукавице и слично (*Boud и сарадници, 1999*). Ова дефиниција истиче три кључна аспекта виртуелне стварности: просторност, реалновременску реактивност и интерактивност.

Технолошки гледано, *VR* системи се састоје од специјализоване опреме која омогућава вишезначну перцепцију, укључујући *VR* наочаре, слушалице, уређаје за праћење покрета и контролере, као и друге периферне уређаје који пружају визуелну, аудитивну и хаптичку повратну информацију, чиме се постиже потпуна имерзија корисника у виртуелни амбијент (*Burdea и Coiffet, 2003*). Поред технолошких дефиниција, постоје и она тумачења која појму виртуелне стварности приступају из угла когнитивно-перцептивних процеса. У раду аутора (*LaValle, 2017*) виртуелна стварност се дефинише као технологију која „изазива циљано понашање у организму користећи вештачку сензорну стимулацију, притом организам има мало или нема свест о уплитању“. Ова формулација ставља у фокус ефекат имерзије и симулације стварности – односно способност система да обмане људска чула до те мере да корисник реагује као да је заиста присутан у симулираном окружењу.

С друге стране, виртуелна стварност се дефинише као мултидисциплинарни концепт који обухвата више компоненти, укључујући: техничку инфраструктуру (уређаје и системе за генерисање и приказ садржаја), софтверску подршку (алате за моделовање, симулацију и интеракцију), као и хуману компоненту која се односи на психофизичку реакцију корисника у имерзивном окружењу (*Parisi, 2015*). Ова свеобухватна анализа подвлачи чињеницу да виртуелна стварност није само скуп хардверских и софтверских решења, већ и сложени систем који укључује интеракцију између технологије и људске перцепције. Термин „имерзивно виртуелно окружење“ се у литератури често користи као синоним за виртуелну стварност (*Blascovich и Bailenson, 2005*).

Имерзивност, као својство технологије, представља централни елемент у разумевању и теоретском оквиру виртуелне стварности, о чему сведоче бројна

истраживања (Tavčar, 2016). Због тога се у појединим научним изворима концепт виртуелне стварности редукује на три кључне димензије (Слика 3): имерзивност, интерактивност и имагинарност (Burdea, Coiffet, 2003), чиме се указује на међусобну повезаност технолошких и перцептивних аспеката виртуелног искуства.



Слика 3. Концепт виртуелне стварности Извор: Wang, Y. и Liu, Q. (2023).

Имерзивност представља један од кључних концепата у разумевању и примени виртуелне стварности, а у овом контексту најчешће се тумачи као степен у којем технологија омогућава кориснику да доживи осећај „присутности“ у вештачки генерисаном окружењу, што се у психолошкој литератури означава као „искуство бити тамо“ (Cumings и Bailenson, 2016). Овај осећај није ограничен само на визуелни приказ, већ укључује и тачност праћења корисничких покрета, временску усклађеност система и степен реалистичности виртуелног простора. У том смислу, имерзивност се може посматрати као техничка димензија, док је присутност психолошки ефекат који из ње произилази (Markowitz и сарадници, 2018; Hite и сарадници, 2019). Када је имерзивност довољно висока, корисник може доживети виртуелно окружење као аутентично, што доводи до интернализације искуства сличне стварном свету. Ова просторна имерзивност виртуелне стварности подразумева стварање осећаја физичке присутности у окружењу које је нефизичко и симулирано (Freina и Ott, 2015). У пракси, то значи да појединац може занемарити чињеницу да се налази у виртуелном свету и реаговати на догађаје у њему као на стварне (Blascovich и Bailenson, 2012; Markowitz и сарадници, 2018). Овај ниво имерзивности даје виртуелној стварности снажан потенцијал за примену у едукацији, обукама и психолошким интервенцијама.

Са друге стране, појам „неимерзивне“ или „десктоп“ виртуелне стварности, (Robertson и сарадници, 1993), је заснован на приказу тродимензионалних окружења на рачунарским екранима, где корисник комуницира помоћу уобичајених улазних уређаја као што су тастатура и миш. Овај мање интензиван облик виртуелног искуства, познат и као „ниско имерзивна виртуелна стварност“, све више се у савременој литератури назива и *through the window*, јер се виртуелни садржаји могу посматрати и на екрану преносних рачунара, таблета или мобилних уређаја (Southgate и сарадници, 2016). Међутим, иако је просторна имерзивност овде ограниченија, у оваквим системима могуће је постићи високу интелектуалну и емоционалну ангажованост корисника (Freina и Canessa, 2015). Ово указује да имерзивност није само просторна категорија, већ укључује и ниво

менталне укључености. Без менталне имерзивности систем се не може сматрати потпуном виртуелном стварношћу (*Muhanna, 2015*). Савремени системи виртуелне стварности прелазе границе класичног приказа на екрану, јер корисничко тело више није пасивни посматрач, већ постаје активни учесник у виртуелном простору. Управо због тога се данас виртуелна стварност најчешће дели на имерзивну и десктоп категорију (*Southgate и сарадници, 2016; Freina и Ott, 2015*).

До пре неколико година, имерзивна виртуелна стварност била је ретко присутна у широј јавности и практично неискоришћена у формалном образовању, осим у оквиру научних истраживања (*Merchant и сарадници, 2014*). Преломни тренутак представља развој приступачних *HMD* уређаја, као што је *Oculus Rift*, који кориснику пружају могућност потпуне визуелне имерзије. Посебан искорак у широј популаризацији ових технологија уследио је 2014. године појавом приступачнијег решења *Google Cardboard* (*Jensen, Konradson, 2018*). Савремени технолошки напредак означава нову етапу у развоју виртуелне стварности, која се може сматрати другим развојним таласом ове технологије (*LaValle, 2017*).

Уз све већи развој и комерцијалну доступност уређаја као што су *Oculus Rift* (уређај за визуелизацију виртуелне стварности који се носи на глави и омогућава доживљај тродимензионалног окружења), *Google Cardboard* и сличне *HMD* системе, значајно се унапредила могућност да корисници искусе висок степен имерзивности. Један од основних циљева имерзивне виртуелне стварности управо је да код корисника створи снажан осећај присутности у симулираном окружењу, односно да га убеди да се заиста налази у другом простору. Да би се овај осећај „бити тамо“ успешно постигао, *HMD* уређаји као и пратеће слушалице, физички изолују корисника од стварног света блокирајући спољне визуелне и звучне надражаје (*Parisi, 2015*). Иако ова изолација значајно доприноси имерзивности, она истовремено отежава или онемогућава употребу традиционалних улазних уређаја попут тастатуре и миша. Уместо тога, све се више користе специјализовани инпут уређаји који омогућавају природнију интеракцију са виртуелним окружењем.

Да би виртуелно окружење функционисало у складу са очекивањима корисника, системи виртуелне стварности морају бити у стању да у реалном времену препознају и интерпретирају корисникове физичке реакције и понашање (*Tavčar, 2016*). Управо ова двосмерна интеракција у којој корисник утиче на виртуелно окружење и истовремено доживљава његове реакције суштински дефинише имерзивно искуство.

У циљу повећања имерзивности, интерактивности и осећаја присутности, у савременим *VR* системима примењују се различите технологије и компоненте, међу којима су (*Anthes и сарадници, 2016; Kuntz и сарадници, 2018; Martín Gutiérrez и сарадници, 2017; Southgate и сарадници, 2016*):

- Контролери који долазе уз већину *HMD* уређаја имају три или шест степени слободе и омогућавају манипулацију у виртуелном простору.
- Различити сензори и носиве технологије праћења покрета тела, посебно главе и руку, што је важно за избегавање мучнине. *Leap Motion* омогућава интеракцију покретима шаке и прстију, а *PrioVR* одело прати покрете без додатних камера.
- Постоља за ходање у месту (омнидирекционе траке) као што су *Virtuix Omni* или *KATVR* преносе кретање у виртуелни свет, док додаци као *Cybershoes* омогућавају кретање у седећем положају.

- Хаптички интерфејси симулирају додир и силу, омогућавајући кориснику да осети виртуелне објекте; пример су хаптичке рукавице (*HaptX*, *Dexmo*) и одела као што су *Teslasuit* и *Bhaptics TactSuit*, која пружају тактилне сензације по целом телу.
- Гласовни интерфејси омогућавају интеракцију корисника гласом, широко су распрострањени кроз личне асистенте као што су *Siri*, *Alexa* и *Google Assistant*, а неке *VR* апликације већ користе ову опцију.
- Олфакторни интерфејси симулирају мирисе повезане са виртуелним окружењем, као што је маска *Feelreal* која додаје мирисе, вибрације и ефекте ветра или топлоте.
- Мозак-рачунар интерфејси (енг. *Brain-Computer Interface - BCI*) претварају активности мозга у команде за интеракцију, најчешће се користи ЕЕГ (Електроенцефалограм), а ова технологија је у развоју за примену у виртуелној стварности.
- Симулатори су специјално направљени системи који користе *HMD* уређаје или пројекционе и десктоп системе, уз додатне физичке елементе који смањују разлику између стварног и виртуелног искуства. Често се користе за обуку пилота, али постоје и забавни симулатори као што је *Birdly*®.
- Додатна опрема као што су посебне столице, држачи и подлоге доприносе бољој имерзивности и комфору корисника (*Stojšić, 2018*).

Осим наведених уређаја, интерфејса и додатака који повећавају интерактивност и имерзивност у виртуелним окружењима, важно је нагласити и све већу доступност алата за креирање сопственог *VR* садржаја. Поред коришћења већ готових апликација (енгл. *off-the-shelf apps*), данас је постала стварност да сами корисници – укључујући истраживаче, наставнике и ученике – могу да креирају виртуелне садржаје и окружења према сопственим потребама (*Martín-Gutiérrez u сарадници, 2017*).

Према ауторима (*Anthes u сарадници, 2016; Duk u Шехић, 2017; Jovanović u Милосављевић, 2017; Kuntz u сарадници, 2018; Parisi, 2015; Herman u сарадници, 2018*), постоји више начина за развој оваквих апликација и они се најчешће деле према техничкој сложености и потребном предзнању, чиме се отвара простор да у процес стварања садржаја уђу и они без дубљег програмерског искуства. Ово представља значајан корак ка широј примени виртуелне стварности у образовању, јер омогућава активнију улогу наставника и ученика у креирању прилагођених, интерактивних и педагошки осмишљених окружења. Поред могућности развоја интерактивних *VR* апликација и модела, посебан сегмент примене виртуелне стварности представљају 360° скенирани простори, фотографије и видео записи (*Rothe u сарадници, 2019*). Ова врста садржаја захтева мање техничког знања, што је чини изузетно погодном за примену у образовном контексту. Апликације као што су „*Street View*“ и „*Cardboard Camera*“ омогућавају креирање сопствених 360° фотографија и панорама уз коришћење само паметног телефона или таблета (*Stojšić u сарадници, 2016*), док напредније системе чине специјализоване камере и скенери за снимање простора и израду 360° видео материјала.

У овом контексту, наративна компонента добија све већи значај. Према аутору (*Caldwell, 2017*), наратив у *VR* садржајима омогућава дубљу контекстуализацију, јача емоционалну повезаност корисника са садржајем и подстиче развој емпатије. Овај аутор разликује три основне категорије *VR* видеа:

- 360° VR видео – пружа кориснику потпуну прегледност окружења, али без дефинисане наративне структуре. Користи се углавном за документарне сврхе, истраживање простора и слично.
- Имерзивни VR видео – укључује наратију из првог лица, чиме се корисник води кроз искуство унутар окружења. Иако је преглед 360°, кретање кроз причу је усмерено.
- Прави VR видео – идеална форма која је још увек у развоју. Омогућава интерактивност, слободу избора и промену токова приче, чиме корисник постаје активан учесник у виртуелном наративу.

Интеграцијом оваквих медијских форми у образовни процес, ученицима се могу приближити реални контексти, подићи мотивација и омогућити дубље разумевање кроз активно учешће у симулираним ситуацијама.

2.5. ПРИМЕНЕ ВИРТУЕЛНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ОСПОСОБЉАВАЊУ

Развој и све већа доступност имерзивне виртуелне стварности донели су значајне промене у начину приступа учењу, преносу знања и развоју вештина. Савремени *HMD* уређаји, симулатори, хаптички и гласовни интерфејси, као и могућност креирања сопствених VR садржаја, омогућили су трансформацију образовних пракси у бројним областима. У претходним поглављима детаљно су представљене технолошке основе виртуелне стварности, као и опрема и системи који подржавају имерзивно искуство корисника. Сви ти елементи представљају предуслове за примену VR технологије у различитим контекстима образовања, а посебно у процесима оспособљавања.

Оспособљавање, као специфичан облик образовања одраслих, усмерен на развој радних вештина и безбедносних компетенција, захтева практичан и интерактиван приступ учењу. У том контексту, VR технологија долази до пуног изражаја, пружајући реалистичне, контролисане и репродуктивне симулације радних ситуација. Она омогућава полазницима да стекну знање, увежбају поступке и развију свест о ризицима, све у окружењима која би у стварном свету могла бити високоризична. Виртуелна стварност не само да побољшава мотивацију и укљученост учесника, већ и унапређује квалитет усвојених знања кроз искуствено учење (*Martín-Gutiérrez u сарадници, 2017*).

Технологија виртуелне стварности постепено добија значајну улогу у образовном контексту због својих карактеристика као што су симулације реалистичних окружења, омогућавања интеракције у реалном времену и дубоког имерзивног искуства учења. Ова технологија, у облику десктоп и имерзивне виртуелне стварности, деценијама се примењује у специјализованим областима као што су медицина, инжењерство и војна обука (*Blascovich u Bailenson, 2012; Dalgarno u Lee, 2010; McLellan, 2004*). Потенцијал ових технологија у ширем образовном систему препознат је већ током 1990-их година (*Mikropoulos u Natsis, 2011; Hite u сарадници, 2019*), али је њихова широка примена у формалном образовању и едукацији остала ограничена због технолошких и логистичких изазова (*Jensen u Konradson, 2018*).

Као што истичу аутори (*Velev u Zlateva, 2017*), виртуелна стварност поседује трансформативни потенцијал у више области, међу којима се образовање издваја као кључна сфера где VR може донети највеће и најдубље промене. Ове промене обухватају побољшање квалитета наставе, повећани ангажман ученика и стварање могућности за учење кроз практично искуство у безбедном окружењу. Нарочито се истиче примена у наукама као што су медицина, архитектура, физика и биологија, где се сложене појаве и процеси могу визуелизовати и симулирати на начин који омогућава дубље разумевање.

Према истраживању (*Martín-Gutiérrez u сарадници, 2016*), *VR* технологија у образовању доноси кључне предности: значајно повећава мотивацију и ангажовање ученика, омогућава активну улогу у процесу учења, подстиче конструктивистички приступ и олакшава интеракцију са окружењем и другим учесницима. Овај конструктивистички модел, у коме ученик активно гради знање кроз искуство, идеално се уклапа у концепт виртуелне стварности.

Виртуелно учење у овом контексту представља процес стицања знања и вештина у симулираном, тродимензионалном окружењу, које одговара на корисничко понашање у реалном времену (*Jorđiћ, 2013*). На тај начин, ученик није само пасивни посматрач, већ активни субјекат у дигиталном простору, што води ка дубљим когнитивним процесима и бољој усвојености знања (*Winn, 1993*).

Једна од највећих вредности виртуелне стварности у образовању и едукацији јесте њена способност да симулира ситуације које су у стварности тешко доступне, скупе или ризичне. На пример, у медицини студенти могу вежбати хируршке интервенције без угрожавања пацијената, док техничке школе могу користити *VR* за симулацију рада на индустријској опреми. Овакви приступи доприносе практичној припреми, уз обезбеђење безбедности учесника и очување ресурса.

Истраживање (*Mikropoulos u Natsis, 2011*) показује да су у периоду од 1999. до 2009. године доминантна истраживања спроводила употребу десктоп *VR* окружења, што указује на њихову приступачност и лакшу интеграцију у школски систем. Имерзивна решења, као што су *HMD* уређаји или *CAVE* системи, била су мање заступљена, али су с временом стекла на значају како је технологија напредовала. Неимерзивна виртуелна стварност, која укључује приказ на екрану и коришћење контролера без потпуног урањања у виртуелни свет, нашла је широку примену кроз видео игре, симулације и виртуелне светове у едукацији (*Merchant u сарадници, 2014*). Ови алати се све више користе не само у формалном образовању, већ и у стручној обуци и корпоративном усавршавању.

Истраживања указују да интерактивни и динамични садржаји као што су игре подстичу мотивацију, креативност, критичко мишљење и решавање проблема (*Shute u сарадници, 2019*). Виртуелне лабораторије у *STEM* дисциплинама доприносе флексибилности учења, омогућавају истовремену употребу од стране већег броја ученика и олакшавају визуализацију невидљивих појава, али указују и на изазове као што су високи хардверски захтеви и потенцијална ограничена ефикасност у напредним фазама када је контакт са стварном опремом незамењив (*Potkonjak u сарадници, 2016*). Растући тренд примене имерзивне виртуелне стварности у формалном образовању, посебно у областима које захтевају просторну визуализацију као што су медицина, физика и астрономија, истиче се у литератури (*Freina u Ott, 2015*). Такође, све више се истражује примена *VR* у образовању одраслих, где ова технологија представља вредну алтернативу традиционалним методама у оспособљавању за сложене задатке (архитектура, војска, здравство). Мета-анализа показује да је употреба *HMD* уређаја у образовању довела до значајног побољшања образовних исхода у чак 92,12% испитаних студија, што указује на снажан потенцијал ових технологија у трансформацији образовних приступа, нарочито у послесредњошколском образовању и професионалном усавршавању (*Concannon u сарадници, 2019*).

Успешна имплементација *VR* технологије у образовним процесима зависи не само од технолошких капацитета, већ и од педагошке интеграције и спремности корисника. Мотивација и отвореност ученика и наставника према новим технологијама критични су

фактори успеха (*Baker и сарадници, 2009*). Бројна истраживања показују да студенти и ученици имају позитиван став према *VR* технологијама, сматрајући их занимљивим, интерактивним и корисним за учење (*Baxter и Hainey, 2019; Domingo и Gates Bradley, 2018; Ip и сарадници, 2019*).

Иако тренутна истраживања примене технологије виртуелне стварности углавном усмеравају пажњу на њену улогу у општем образовању и едукацији, у последњих неколико година значајан део академске заједнице и индустрије усмерио је своје напоре ка развоју и примени ове технологије у оквиру професионалних обука (*Grabowski, Jankowski, 2015; Mantovani и сарадници, 2003; Sacks и сарадници, 2013*). Док већина постојећих студија анализира утицај виртуелне стварности на наставне процесе у школским и универзитетским окружењима, све је приметнији растући број аутора који посвећују пажњу ефикасности *VR* решења у специфичним обукама и обукама намењеним радним местима. Ове студије настоје да прикажу како резултати добијени применом виртуелне стварности могу бити искоришћени за унапређење и прилагођавање будућих програма оспособљавања, побољшавајући тако методологију рада и квалитет обуке, што на крају доприноси већој безбедности, ефикасности и продуктивности на радним задацима.

Анализом релевантне научне и стручне литературе, може се закључити да је примена технологије виртуелне стварности у процесима оспособљавања најчешће повезана са секторима као што су индустрија, заштита од пожара, ваздухопловство, медицина, безбедност и војска. У овим областима, *VR* подржане обуке све више добијају на значају јер омогућавају реалистичну симулацију сложених и потенцијално опасних ситуација у потпуно контролисаном, безбедном и интерактивном окружењу. Овакве симулације омогућавају полазницима да стекну практична искуства, развију и усаврше критичне вештине без излагања ризику по сопствено здравље или опрему, што је од изузетног значаја нарочито у високоризичним и специјализованим занимањима. У даљем тексту биће детаљније представљена и анализирана најзначајнија истраживања која су фокусирана на примену виртуелне стварности у овим областима, указујући на њихове конкретне резултате и перспективе за будући развој:

- Индустријска обука представља једно од кључних подручја примене *VR* технологије, пре свега у стицању процедуралних вештина за склапање и одржавање (*Boud и сарадници, 1999; Carlson и сарадници, 2015; Bowling и сарадници, 2008*). Фокус је углавном на когнитивним способностима полазника, као што су памћење редоследа радњи, препознавање делова и оријентација компоненти (*Carlson и сарадници, 2015; Dwivedi и сарадници, 2018*). Слично, побољшани просторни показатељи, попут ширег поља гледања, значајно унапређују резултате у задацима који захтевају меморисање процедура (*Ragan и сарадници, 2010*). Већина студија указује на позитивне ефекте *VR* обуке, иако постоје и изузеци. На пример, аутори (*Kozak и сарадници, 1993*) нису уочили трансфер знања са *VR* на реалне задатке, али су њихови резултати касније доведени у питање (*Psotka, 1995*). У већини случајева, полазници су били студенти и волонтери, а примена се односила на индустрије попут производње, енергетике, авио-одржавања и аутомобилске индустрије.
- Обука безбедности коришћењем *VR* технологије у области спасилачких и ватрогасних интервенција. Ефикасна обука представља кључ добрих припрема за ванредне ситуације, а у оквиру хитних служби, ватрогасци се издвајају по томе што се свакодневно суочавају са великим бројем ризичних сценарија и сложеним

задацима (Dunn, 2015). VR технологија омогућава симулацију реалистичних и комплексних сценарија који су тешко изводљиви у стварном окружењу због трошкова или безбедносних ризика, што је разлог зашто овај вид обуке добија све више пажње (Hsu и сарадници, 2013). У идентификованим студијама, VR обука за ватрогасце најчешће је била усмерена на развој вештина просторне навигације током интервенција у зградама и спасилачким операцијама. Ова технологија се препоручује као ефикасна и безбедна алтернатива традиционалним методама обучавања, посебно у условима који су скупи или ризични за симулацију у реалном свету.

- Обука безбедности и припрема за ванредне ситуације представљају значајну област примене VR технологије, обухватајући чак 25% прегледаних студија VR се у овом контексту препознаје као реалистична, безбедна и економична алтернатива традиционалним методама, омогућавајући симулацију различитих кризних сценарија без ризика по здравље учесника. Симулације у VR окружењу помажу полазницима да стекну применљива знања и просторно разумевање критичних ситуација (Li и сар., 2017a, b), што доводи до бољег препознавања опасности и адаптивних реакција (Gamberini и сарадници, 2003). Истраживања су показала да активна навигација у VR окружењу доприноси бољем учинку и побољшању безбедносног понашања, попут адекватне самоевакуације у тунелима (Burigat и Chittaro, 2016; Kinateder и сарадници, 2013). Већина студија указује да VR обука надмашује класичне приступе, попут практичних вежби и стоних симулација, и истиче висок ниво ангажовања учесника током обуке (Buttussi и Chittaro, 2017; Haller и сарадници, 1999).
- Здравство представља једну од најразвијенијих области примене VR технологије у обуци, посебно када је реч о симулацијама хируршких процедура (Gallagher и сарадници, 2005). VR омогућава лекарима и стоматолозима да више пута увежбавају комплексне интервенције у безбедном окружењу, без ризика и стреса који прате реалне захвате. Велики број успешних апликација позиционира здравство као зрелу област за VR обуку (Ghanbarzadeh и сарадници, 2014), при чему студије потврђују побољшање исхода учења у различитим медицинским процедурама (Ahlberg и сарадници, 2007; Bharathan и сарадници, 2013). Међутим, обука у хирургији често захтева специјализовану опрему, укључујући хаптичке уређаје, што HMD системима (уређајима за виртуелну стварност за главу) ограничава примену у неким процедурама, попут лапароскопије (Li и сарадници, 2017a, b). Ипак, постоје области у којима HMD уређаји доносе значајне предности – као што су обуке клиничких компетенција медицинских сестара (Dang и сарадници, 2018) или безбедносне процедуре у операционим салама (Sankaranarayanan и сарадници, 2018). Обука у здравству обухвата широк спектар вештина од когнитивних (нпр. хируршке процедуре) до моторичких, као што су руковање инструментима и просторна координација (Anglin и сарадници, 2017; Yoganathan и сарадници, 2018).

Приказана истраживања служе као основа за разумевање тренутних домета, предности, али и изазова интеграције VR технологије у различите форме стручног оспособљавања, са циљем унапређења ефикасности и безбедности процеса оспособљавања.

Преглед доступне литературе указује на снажан и свеобухватан раст интересовања за примену виртуелне стварности у различитим облицима оспособљавања. Од почетне примене у високо специјализованим областима као што су војна обука и медицина, VR

технологија је постепено нашла место и у ширем образовном систему, са посебним нагласком на практичне и безбедносне обуке. Истраживања показују да *VR* доприноси већој мотивацији полазника, омогућава реалистичне и интерактивне симулације, као и стицање применљивих вештина у окружењима која су тешко доступна, ризична или скупа у реалном свету.

Досадашње студије конзистентно потврђују позитивне ефекте *VR* обуке у индустријским системима (*Carlson и сарадници, 2015; Dwivedi и сарадници, 2018*), здравству (*Gallagher и сарадници, 2005; Dang и сарадници, 2018*), ваздухопловству (*Logan, 1998; Loftin и Kenney, 1995*), безбедносним обукама (*Burigat и Chittaro, 2016*), као и у војним симулацијама (*Singer и сарадници., 1997; Stevens и Kincaid, 2015*). Упркос различитим контекстима примене, заједничка карактеристика већине ових истраживања је потврда да имерзивна технологија доприноси дубљем когнитивном учењу, бољем просторном сналажењу и вишем степену ангажовања учесника. Истовремено, истраживања указују на еволуцију технологије од неимерзивних десктоп решења ка савременијим HMD уређајима који омогућавају дубље ураћање и интеракцију у реалном времену (*Mikropoulos и Natsis, 2011; Conannon и сарадници, 2019*). Ови технолошки напредак праћен је трансформацијом педагошких приступа, од пасивне перцепције садржаја до конструктивистичких модела у којима је корисник активни учесник у процесу стицања знања.

Тренутно ипак постоје одређене ограничености примене уочене у досадашњим радовима. Као кључне изазове аутори наводе високе трошкове опреме, потребу за техничком подршком, али и ризик од пренаглашене употребе *VR* у фазама обуке које захтевају директан контакт са физичком опремом (*Поткоњак и сарадници, 2016*). Поред тога, ограничена је количина новијих студија у областима као што је војска, што се делом приписује поверљивости података. Ипак свеукупна анализа показује да је *VR* технологија стекла чврсту позицију као ефикасан алат у процесима стручног оспособљавања. Њена способност да симулира ризичне сценарије, прилагоди обуку индивидуалним потребама и повећа безбедност и ефикасност учења чини је перспективним решењем у будућности професионалног образовања.

2.6. ПРИМЕНА ТЕХНОЛОГИЈЕ ВИРТУЕЛНЕ СТВАРНОСТИ У ОСПОСОБЉАВАЊУ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД

Технологија виртуелне стварности у последњих неколико деценија показала се као изузетно користан и иновативан алат у различитим областима стручног оспособљавања. Од свог раног коришћења у симулаторима летења, који су омогућавали безбедну и ефективну обуку пилота како у војним јединицама, тако и у цивилним школама, *VR* је постепено прошао кроз бројне примене у образовању и обуци (*Kennedy и сарадници, 1989*). Иако је примена виртуелне стварности у овим областима већ дуго присутна, њена употреба у обукама из домена безбедности на раду релативно је новијег датума.

Посебно су индустрије као што су грађевинарство, рударство и хемијска индустрија препознале значајан потенцијал *VR* технологије у контексту обуке својих радника. Ове области карактеришу високи нивои ризика и честе несреће и повреде на раду, а *VR* пружа могућност симулације опасних радних ситуација у безбедном, контролисаном окружењу (*Sacks и сарадници, 2013; Patle и сарадници, 2019; Tichon и Burgess-Limerick, 2011*). На тај начин, радници могу бити обучени да препознају и правилно реагују у опасним условима без стварне угрожености живота и здравља, што

значајно унапређује безбедност и смањује број незгода на радном месту (*Lucas и сарадници, 2008; Sacks и сарадници, 2013*).

С тим у вези, примена виртуелне стварности у процесу стручног оспособљавања за здрав и безбедан рад постаје све значајнија, нудећи интерактивна, реалистична и прилагођена окружења за учење која доприносе бољој припреми радника за изазове које носи њихов посао. На овај начин, *VR* обука пружа радницима могућност да стекну вештине процене сложених ситуација и да изаберу најефикаснији и најсигурнији ток деловања у различитим радним условима којима могу бити изложени (*Lucas и сарадници, 2008*). Ово је посебно важно у индустријама са високим нивоом ризика, где су радне повреде и опасности честе, јер *VR* омогућава безбедно искуство суочавања са потенцијалним претњама без стварне изложености ризику.

Једна од кључних предности *VR* технологије за обуке у области безбедности и здравља на раду јесте могућност креирања реалистичних симулација различитих врста претњи и незгода које се могу догодити на радном месту (*van Wyk и de Villiers, 2019; Guo и сарадници, 2012*). Поред стицања искуства у препознавању и реаговању на потенцијалне опасности, *VR* омогућава и интензивније вежбање у симулираним условима него што је то могуће у стварном окружењу, где би честе вежбе биле скупе, временски захтевне и понекад ризичне (*van Wyk и de Villiers, 2019*). Ово директно доприноси повећању спремности и ефикасности радника у реалним ванредним ситуацијама.

Додатно, значајан аспект овакве обуке јесте што радници у виртуелним симулацијама могу непосредно да уоче потенцијалне последице својих одлука и поступака, што утиче на дубоко разумевање безбедносних процедура и подстиче одговорније понашање на радном месту (*Higgins, 2017; van Wyk и de Villiers, 2019*). Поред тога, истраживања указују и на економску оправданост *VR* обуке, јер се сматрају исплативијим у поређењу са конвенционалним методама обуке, које укључују физичке симулације, теренске вежбе или обуке уживо, а које често захтевају високе трошкове опреме, простора и времена (*Grabowski и Jankowski, 2015; Patle и сарадници, 2019*).

Група аутора (*Grabowski и Jankowski, 2015; Cyta-Wejchenig, Tarnas и Marciniak, 2020*) спровела је детаљну анализу и упоређивање различитих аспеката конвенционалне обуке за безбедности и здравља на раду на раду са обуком која користи технологију виртуелне стварности. Њихово истраживање је открило кључне разлике и предности које *VR* доноси у процесу едукације запослених, посебно у погледу интерактивности, реализма и ангажовања током обуке.

Ради јаснијег приказа ових поређења, резултати су систематизовани у табели 2, и обухватају кључне елементе обуке, као што су презентација правних прописа, идентификација и приказ опасности на радном месту, правила поступања у случају незгода, заштита од пожара и правила прве помоћи. Овакав приказ омогућава лакше и прегледније сагледавање начина на који *VR* технологија може унапредити конвенционалне методе обуке, чинећи процес ефикаснијим, реалистичнијим и прилагођенијим конкретним потребама запослених.

Табела 2. Поређење конвенционалне обуке за безбедност и здравље на раду и обуке коришћењем VR технологије

Аспект обуке	Конвенционалне обука	Обука коришћењем VR технологије
Презентација правних прописа	Презентација може бити изведена читањем најважнијих одредби у назначеним законима о БЗР	Презентација правних прописа из области БЗР и ергономије.
Презентација опасности на радном месту	Презентација може бити изведена преко <i>PowerPoint</i> презентације са фотографијама из компаније, а претње се могу приказати и приликом обиласка радног места	Презентација може бити изведена преко <i>PowerPoint</i> презентације са фотографијама из компаније, а претње се могу приказати и приликом обиласка радног места
Правила поступања у случају незгоде	Презентација интерних процедура везаних за поступање у случају незгода и пријављивање њиховог настанка	Презентација интерних процедура везаних за поступање у случају незгода и пријављивање њиховог настанка, могуће допуњавање VR модулом незгода и приказ ситуација блиских стварним (нпр. ергономија)
Презентација правила заштите од пожара	Презентација интерних процедура везаних за заштиту од пожара и како користити апарат за гашење пожара	Презентација интерних процедура везаних за заштиту од пожара, могућност презентације запосленима VR модулом о томе, на пример, шта радити у запаљеној згради или како користити апарат за гашење пожара
Презентација правила прве помоћи	Презентација правила прве помоћи на лутки или путем инструкцијских видео записа	Презентација правила прве помоћи у VR модулу, нпр. како третирати посекотину, шта радити у случају срчаног удара, шта радити у случају гушења итд.

Иако развој и имплементација VR технологије захтевају значајна почетна улагања, све чешће се истиче да ће ова инвестиција бити исплативија на дуге стазе. Разлог за то лежи у чињеници да, упркос високим почетним трошковима, VR обука омогућава организацијама значајне уштеде времена и новца, посебно у сегментима као што су путовања до обука центара, логистика и реализација обука у конвенционалним условима (Cardoso и сарадници, 2017). Истраживања показују да је коришћење виртуелне стварности смањило како време потребно за обуку, тако и саме трошкове симулација, што је посебно важно у индустријама где је обука комплексна и захтева високе ресурсе. Поред економских аспеката, обука из области безбедности уз подршку VR технологије

нуди и бројне педагошке предности, које се ослањају на принцип „учења кроз рад” (*Patle и сарадници, 2019*).

Један од прегледа примене *VR* технологије у безбедносној обуци у процесној индустрији истакао је да виртуелна стварност пружа природније и интуитивније окружење за учење, што значајно унапређује пренос стеченог знања и вештина у стварне радне ситуације (*Patle и сарадници, 2019*). Овакав приступ омогућава радницима да лакше схвате и усвоје безбедносне процедуре, као и да се увереност у сопствене способности повећа. Поред тога, *VR* технологија доприноси и бољем разумевању и усмеравању ка јасно дефинисаним циљевима обуке, као и олакшава приступ обука капацитетима, чиме се проширује могућност обуке већег броја радника у краћем временском периоду. Ови фактори доприносе ефикаснијем и квалитетнијем процесу оспособљавања запослених.

Истраживањем (*Grassini и Laumann, 2020*) којим је испитивана примена *VR* технологије у области безбедности и здравља на раду потврђено је да обуке засноване на виртуелној стварности значајно помажу запосленима да се адекватно припреме за ванредне ситуације које могу настати на радном месту. Увођењем оваквих симулација, радници добијају могућност да безбедно увежбају реаговање на ризичне догађаје, што доприноси смањењу стреса и повећава њихову спремност у реалним условима. Такође, бројна истраживања указују да примена *VR* технологије у безбедносној обуци позитивно утиче на промену понашања запослених у вези са свесношћу о ризицима, као и да повећава њихову будност према потенцијалним опасностима (*Grassini и Laumann, 2020; Zhao и Lucas, 2015*). Овај аспект је кључан за изградњу културе безбедности и здравља на раду у организацијама и за дугорочно смањење броја повреда и инцидената на радном месту.

Поред наведених користи, и остали прегледи примене *VR* технологије у обуци из области безбедности и здравља на раду потврђују позитивне налазе у погледу њене ефикасности и сврсисходности (*Bhoir и Esmaeili, 2015; Li и сарадници, 2018*). Истраживања показују да *VR* системи имају вишеструку примену, посебно у области идентификације опасности, развијања ситуационе свести и формирања одговарајућих реакција у кризним и ризичним условима. Способност учесника обуке да препознају и разликују нивое ризика у контролисаним, али реалистично симулираним *VR* окружењима представља важну предност у односу на конвенционалне облике обуке, нарочито у секторима у којима је ризик по безбедност радника висок (*Li и сарадници, 2018*). Идентификација ризика у раној фази и појачана свест о потенцијалним опасностима доприносе бољој способности радника да адекватно реагују у стварним ситуацијама, што директно утиче на смањење инцидената и побољшање укупне безбедности и здравља на раду (*Li и сарадници, 2018*).

Управо ова превентивна функција *VR* обуке чини је изузетно вредним алатом за управљање безбедносним ризицима у различитим индустријским гранама. Још један важан аспект је могућност прилагођавања *VR* обука специфичностима појединачних сектора, технологија и радних процеса. Захваљујући флексибилности коју ова технологија нуди, могуће је дизајнирати сценарије који одговарају конкретним радним условима, што повећава релевантност садржаја за полазнике и доприноси ефикаснијем стицању практичних вештина (*Grassini и Laumann, 2020*). Највећа предност оваквог приступа лежи у томе што се све симулације и обуке одвијају у безбедном, контролисаном и репродуктивном окружењу. Ово омогућава радницима да уче на

сопственим грешкама без стварног излагања опасности, што *VR* чини изузетно драгоценим ресурсом за учење и оспособљавање у области безбедности и здравља на раду (*Grassini u Laumann, 2020; Sacks u сарадници, 2013*). У контексту савремених безбедносних изазова, ова технологија се све више препознаје као незаобилазан део модерног приступа обуци и професионалном развоју запослених.

Иако бројна истраживања јасно указују на значајне предности примене *VR* технологије у обуци из области безбедности и здравља на раду, као и све чешће препоруке стручњака у корист њене интеграције у програме обуке запослених, у пракси и даље постоји одређена резерва и неизвесност у погледу потпуног прихватања овог савременог приступа (*Bhoir u Esmaeili, 2015*). Подаци показују да многи практичари, односно стручњаци који директно реализују или организују обуке, и даље више преферирају конвенционалне или практичне облике обуке у односу на примену *VR* технологије (*Bhoir u Esmaeili, 2015*). Овај раскорак између академских препорука и стварне примене у радним организацијама јасно указује на постојање неслагања у перцепцији стварне вредности и ефикасности савремених технолошких решења у области безбедности и здравља на раду. У том контексту, спроведена истраживања су идентификовала више различитих фактора који могу утицати на ниво прихватања и успешне примене *VR* технологије у безбедносној обуци. Неки од најзначајнијих фактора укључују ниво технолошке писмености код запослених, претходна искуства са *VR* решењима, перцепцију трошкова у односу на добити, али и отпор према промени када је организациона култура јако усмерена ка конвенционалним методама рада (*Huygelier u сарадници, 2019; Mutterlein u Hess, 2017*). Поред тога, важан аспект представља и питање кредибилитета и поверења у нове методе обуке.

Практичари често сматрају да *VR* не може у потпуности да замени физичку обуку или директан контакт са радним окружењем, посебно када се ради о специфичним, комплексним или ризичним радним активностима. Стога је неопходно да се у процесу имплементације *VR* обука обезбеде не само технички и финансијски предуслови, већ и адекватна информисаност, обука и едукација практичара, како би се створило повољно окружење за прихватање и интеграцију ових савремених алата у редовне програме оспособљавања из области безбедности и здравља на раду. Међутим, бројна истраживања указују на више препрека у практичној примени ове технологије. Један од најзначајнијих изазова представља недовољно прихватање од стране практичара који, упркос јасним препорукама истраживача, и даље преферирају конвенционалне облике обуке (*Bhoir u Esmaeili, 2015*). Овај раскорак може се делимично објаснити различитим нивоима технолошке писмености међу корисницима, старосном структуром учесника обуке, као и отпором према променама у оквиру организационе културе која је усмерена ка задржавању утврђених радних процедура (*Huygelier u сарадници, 2019; Mütterlein u Hess, 2017*).

Један од значајнијих разлога због којег неке организације и појединци показују резервисаност према примени *VR* технологије у обукама из безбедности и здравља на раду јесте појава такозване „симулаторне болести“ (енг. *simulator sickness*) осећаја мучнине, дезоријентације или опште нелагодности који се јављају код корисника током излагања виртуелним окружењима (*Fernues u сарадници, 2016; Grassini u Laumann, 2020*). Ова појава представља једну од најчешћих нуспојава коришћења *VR* технологије и може утицати на то да појединци преферирају конвенционалне облике обуке уместо виртуелних решења.

Поред физиолошких реакција као што је мучнина, други значајни фактори који утичу на прихватање и ефикасност *VR* обуке укључују старосну доб и претходно искуство корисника са овом технологијом. Истраживања показују да млађе особе у већој мери доживљавају *VR* искуства као позитивна у поређењу са старијим корисницима (*Plechata u saradnici, 2019*). Ипак, важно је напоменути да старије особе, упркос почетној резерви, могу развити позитиван став након првог директног сусрета са *VR* технологијом, што јасно указује на значај првог искуства и улогу навикавања у процесу прихватања ове технологије (*Huygelier u saradnici, 2019; Plechata u saradnici, 2019*). Ови налази су посебно релевантни и корисни у контексту осмишљавања приступа обуци који узимају у обзир разноликост старосне структуре запослених.

Технолошки недостаци, као што су ниска резолуција слике, ограничено видно поље или кашњење у приказу (тзв. „лаг“), такође могу негативно утицати на корисничко искуство и смањити спремност организација да уложе у ову врсту обуке (*Mütterlein u Hess, 2017*). Иако је технолошки напредак у области *VR* значајно убрзан и многи од ових недостатака су у новијим генерацијама уређаја знатно ублажени, постоји константна потреба за унапређењем хардверских капацитета и педагошког дизајна *VR* обука како би се осигурала њихова што већа ефикасност и прихватљивост.

Анализа постојећих истраживања показује да примена *VR* технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад има бројне позитивне ефекте. *VR* се све више препознаје као изузетно ефикасан алат за реалистичну и интерактивну обуку у контролисаним условима, што је посебно значајно у индустријама са високим нивоом ризика, као што су грађевинарство, рударство и хемијска индустрија (*Sacks u saradnici, 2013; Patle u saradnici, 2019; Tichon u Burgess-Limerick, 2011*). Оваква обука омогућава запосленима да вежбају препознавање опасности, реаговање у ванредним ситуацијама и правилну процену ризика без стварне изложености опасностима и штетностима (*Lucas u saradnici, 2008; van Wyk u de Villiers, 2019*).

Истраживања су доказала да *VR* симулације побољшавају свест о опасностима и штетностима и подстичу веће ангажовање запослених, што директно доводи до бољег разумевања безбедносних процедура и позитивних промена у понашању, усмерених ка већој одговорности и опрезности (*Higgins, 2017; Zhao u Lucas, 2015; Grassini u Laumann, 2020*). Поред тога, *VR* обуке могу бити економски исплативије на дужи рок, јер значајно смањују потребу за физичким просторима, скупом опремом и логистичким трошковима који прати конвенционалну обуку (*Grabowski u Jankowski, 2015; Cardoso u saradnici, 2017*). Захваљујући могућности прилагођавања сценарија и садржаја, *VR* омогућава персонализовано учење и учење кроз искуство, што је у потпуности у складу са савременим андрагошким приступима који наглашавају активну улогу ученика у процесу стицања знања (*Patle u saradnici, 2019*). Све у свему, иако постоје бројне предности примене *VR* у обуци из области безбедности и здравља на раду, потребна су додатна истраживања како би се детаљније разумело који конкретни аспекти, било технички, физиолошки или психолошки, имају кључну улогу у прихватању или одбијању ове технологије од стране корисника и организација (*Manis u Choi, 2019; Mütterlein u Hess, 2017*). Ова сазнања могу у великој мери допринети развоју ефикаснијих и сврсисходнијих стратегија за имплементацију *VR* решења у оквиру програма оспособљавања за безбедност и здравље на раду.

Упркос наведеним изазовима, бројна истраживања недвосмислено потврђују велики потенцијал примене *VR* технологије у безбедности и здравља на раду посебно када се ова

технологија користи као допуна постојећим методама у оквиру добро осмишљених и теоријски утемељених програма обуке (*Manis u Choi, 2019; Grassini u Laumann, 2020*). За постизање ширег прихватања и успешну имплементацију потребно је у наредном периоду фокусирати се на дубље разумевање фактора који утичу на корисничко искуство, као и на подизање свести и поверења практичара у вредност и ефективност ових савремених *VR* метода обуке.

3. ЕМПИРИЈСКИ ДЕО РАДА

У овом поглављу докторске дисертације дат је преглед и анализа добијених резултата спроведене анкете у циљу утврђивања везе између конвенционалног начина оспособљавања радника и оспособљавања применом напредних технологија виртуелне стварности. Такође, у овом поглављу, извршена је анализа резултата који се односе на могућност примене технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, а испитани су и ефекти различитих начина оспособљавања на ниво усвојеног знања учесника у процесу оспособљавања.

3.1. ВАРИЈАБЛЕ И ИНСТРУМЕНТИ ИСТРАЖИВАЊА

Варијабле представљају квантитативна или квалитативна својства или карактеристике феномена који се испитује у оквиру научног истраживања. Другим речима, варијабле су предмети анализе који се операционализују, односно дефинишу кроз конкретне мере или показатеље, како би се могли систематски посматрати и мерити (*Ђурић, 2003*). У контексту истраживања, постављају се питања везана за стање, варијације или међусобне односе одређених својстава неког феномена, било да се ради о појединцу, групи или већем истраживачком узорку. Сваки посматрани ентитет може поседовати више различитих карактеристика, које се у истраживачком процесу означавају као варијабле, а које могу бити различите природе и узајамних релација (*Милас, 2005*).

Са методолошког аспекта, варијабле се према својој природи и метричким својствима деле на две основне категорије: квантитативне и квалитативне варијабле. Квантитативне варијабле су оне које се могу изразити бројчано, односно њихова вредност може бити измерена и категорисана на некој мерној скали, која указује на количину, интензитет или смер посматраног феномена (*Пеџ, 1985*). За разлику од њих, квалитативне варијабле одражавају својства која се не могу изразити бројчано, већ се њихове вредности описују преко различитих атрибута или модалитета као што су пол, занимање, образовање и слично.

У оквиру сваког истраживања неопходно је направити разлику између зависних и независних варијабли. Зависне варијабле, често називане и критеријумским, су оне чије се вредности или промене посматрају и анализирају у процесу испитивања. Насупрот њима, независне варијабле су оне које истраживач уводи или контролише, мењајући њихове вредности ради испитивања утицаја на зависне варијабле (*Бујас, 1967*). Иако истраживања могу утврђивати постојање корелације између варијабли, само стабилна и поуздана повезаност омогућава даље анализе узрочно-последичних односа, што је кључно за разумевање механизма и процеса у посматраном феномену (*Пеџ, 1985*).

Разумевање и јасна дефиниција ових појмова представљају основни предуслов за структурирање и методолошки приступ у оквиру ове докторске дисертације. У складу са тим, у наставку ће бити представљено како су концепти зависних и независних варијабли примењени у конкретном истраживачком моделу, као и на који начин су варијабле прилагођене специфичностима узорака и циљевима анализе.

У истраживању, за потребе ове докторске дијертације, коришћена су два одвојена узорка испитаника, где су варијабле пажљиво дефинисане и операционализоване како би се омогућила детаљна и релевантна анализа резултата, као и провера постављених хипотеза.

Први део истраживања имао је за циљ да испита перцепцију радника о могућностима примене технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања за здрав и безбедан рад. Методолошки, истраживање је реализовано методом анкетања. У овом сегменту истраживања, независна варијабла била је „Профил радника“, док је зависна варијабла дефинисана као „Могућност употребе *VR* технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад“.

Независна варијабла „Профил радника“ операционализована је кроз следеће појединачне варијабле: пол, године старости, степен стручне спреме, радни стаж на *CNC* машини, ниво знања о *VR* технологији и познавање прописа и процедура из области безбедности и здравља на раду у контексту *CNC* технологије.

Зависна варијабла је, са друге стране, операционализована кроз сет од девет индикатора који обухватају различите аспекте примене *VR* технологије у едукативном процесу, укључујући јасноћу садржаја, реалистичност симулације радног места, разумевање процеса рада, употребу заштитне опреме и препознавање потенцијалних ризика и нелагодности током примене *VR* наочара.

Други део истраживања спроведен је на другом узорку испитаника, такође методом анкетања, са фокусом на испитивање ефеката различитих начина оспособљавања на ниво усвојеног знања. У овом случају, независне варијабле биле су пол и начин оспособљавања, док су зависне варијабле биле: знање о начину рада на *CNC* машини и знање за безбедан рад на *CNC* машини.

Варијабла „Знање о начину рада на *CNC* машини“ обухвата пет индикатора који се односе на практична знања и вештине у раду са *CNC* машинама, као што су постављање алата, избор програма, симулација и пуштање машине у рад. Варијабла „Знање за безбедан рад на *CNC* машини“ операционализована је помоћу шест индикатора, који покривају разумевање радног простора, препознавање механичких и електричних опасности, познавање личне заштитне опреме и система безбедности на раду.

Овако структуриран истраживачки оквир омогућио је дубљу квантитативну анализу односа између профила испитаника, начина едукације и нивоа стечених знања. Истовремено, омогућено је вредновање потенцијала *VR* технологије као иновативног алата за унапређење ефикасности и квалитета процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад у контексту савремених индустријских технологија.

У оквиру **трећег истраживања**, спроведен је тест знања на две групе испитаника: прва је прошла обуку користећи виртуелну стварност, док је друга имала конвенционалну обуку. Независна варијабла овог истраживања представља тип обуке (*VR* у односу на конвенционалну), а зависна варијабла је ниво знања измерен резултатима теста. За потребе овог истраживања коришћени су различити инструменти истраживања, прилагођени специфичностима разматране проблематике.

Најпре је креиран и имплементиран виртуелни едукативни садржај, који је служио као основа за практичну обуку радника и ученика. Овај садржај је омогућио интерактивну и веома реалистичну симулацију рада на *CNC* машинама, са посебним фокусом на безбедносне и здравствене аспекте који се морају поштовати на радном месту. Таква симулација омогућила је корисницима да у безбедном и контролисаном окружењу стекну неопходна знања и вештине.

Поред виртуелног садржаја, за прикупљање релевантних података о ефектима оспособљавања, коришћена су и два анкетна упитника. Први упитник, садржао је 15 питања и био је намењен запосленима који раде на *CNC* машинама. Циљ је био да се упореди њихово претходно знање са знањем које су стекли кроз коришћење виртуелног едукативног садржаја. Други упитник, са истим бројем питања, намењен је ученицима завршних разреда средњих стручних школа, занимања техничар *CNC* технологије, и служио је за поређење традиционалног (конвенционалног) начина оспособљавања са оспособљавањем уз примену *VR* технологије. Ови упитници су били усмерени на прикупљање података о перцепцији корисника, нивоу задовољства процесом обуке, као и о стеченом нивоу знања и свести у вези са безбедношћу и здрављем на раду.

Као додатни инструмент у истраживању коришћен је и тест знања који је обухватао 10 прецизно осмишљених питања. Овај тест имао је задатак да објективно процени стручне компетенције учесника у раду на *CNC* машинама, као и познавање важних прописа и мера безбедности на радном месту. Тест је служио као кључни елемент за процену ефикасности оспособљавања уз примену *VR* технологије, омогућавајући директно упоређивање знања учесника након различитих облика обуке.

3.2. УЗОРАК ИСТРАЖИВАЊА И ОБРАДА ПОДАТАКА

Истраживања о унапређењу процеса оспособљавања запослених у области безбедности и здравља на раду применом технологије виртуелне стварности реализована су у више међусобно повезаних фаза. Ова истраживачка активност осмишљена је тако да обухвати различите аспекте примене *VR* технологије у професионалној обуци, при чему је посебна пажња посвећена адаптацији садржаја и метода према специфичностима узорака и циљевима истраживања. У оквиру овог истраживања, подаци су прикупљани од три одвојена узорка испитаника, а свака појединачна студија или сегмент истраживања означени су као:

- 1) **истраживање А,**
- 2) **истраживање Б и**
- 3) **истраживање В.**

Важно је напоменути да су сва ова истраживања спроведена у контексту радног места *CNC* оператера, из више разлога. Пре свега, радно место *CNC* оператера омогућава добру визуелизацију радних операција које су критичне за безбедност и здравље на раду, што га чини изузетно погодним за примену виртуелне стварности као алата за обуку. Такође, *CNC* оператер представља савремено и релевантно радно место у индустријском сектору, а његова приступачност и организованост омогућила је спровођење овако комплексног и мултифазног истраживања.

Кључне активности које су спроведене у оквиру целокупног истраживачког процеса обухватају следеће:

- **Предлог модела оспособљавања за безбедан и здрав рад применом VR технологије** – Ова фаза подразумевала је развој концептуалног модела који интегрише андрагошке принципе учења одраслих са технолошким могућностима виртуелне стварности, како би се обезбедила ефикасна и примењива платформа за обуку запослених у индустријском окружењу.
- **Креирање виртуелног садржаја за оспособљавање за безбедан и здрав рад применом VR технологије** – На основу предложеног модела, конструисан је интерактивни виртуелни обука који симулира реалне услове рада, укључујући препознавање опасности, коришћење личне заштитне опреме и примену безбедносних процедура.
- **Истраживање А** – Фокусирано је на испитивање перцепције и прихватања VR технологије од стране запослених као алата за обуку у области безбедности и здравља на раду.
- **Истраживање Б** – Усмерено је на анализу ефеката различитих начина оспособљавања, укључујући традиционалне методе и обуку помоћу VR технологије, са посебним освртом на ниво усвојених знања и вештина.
- **Истраживање В** – Сprovedено је са циљем провере дугорочних ефеката примене VR технологије у обуци и процене њеног утицаја на безбедносно понашање и свест запослених.

Током реализације истраживања прикупљени су квалитативни подаци. Ради објективне анализе прикупљених података, примењени су савремени софтверски алати за статистичку обраду, и то *SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)* и *Microsoft Excel*. Ови алати омогућили су систематичну обраду и интерпретацију података, као и примену различитих статистичких техника у складу са врстом и расподелом података.

У првој фази анализе примењена је дескриптивна статистика, која је обухватила израчунавање средњих вредности, медијане, стандарне девијације, као и других релевантних мера централне тенденције и дисперзије. Ова анализа послужила је као основа за даље хипотетичко-дедуктивно тестирање.

У складу са постављеним истраживачким хипотезама, примењени су одговарајући статистички тестови. С обзиром на карактер и структуру прикупљених података, пре свега неуједначеност величина група анализираних независних варијабли, као и честу девијацију зависних варијабли од нормалне расподеле, одлучено је да се користе непараметарски статистички поступци. Овакав приступ је у складу са препорукама релевантне литературе (*López и сарадници, 2015*), која указује на поузданост и применљивост непараметарских метода у условима нарушене нормалности и хетерогености узорака.

Примена непараметарских тестова омогућила је валидно поређење група и процену статистички значајних разлика, чиме су створени услови за доношење релевантних закључака и евалуацију постављених истраживачких хипотеза. Конкретно, у анализи су коришћени следећи непараметарски тестови:

- испитивање нормалности дистрибуције резултата;
- медијан тест (енг. *median test*) – примењен ради утврђивања да ли постоје статистички значајне разлике у медијанама између више група;
- ман-витни у тест (енг. *mann–whitney u test*) – коришћен за поређење два независна узорка, с циљем да се испитају разлике у расподели резултата између група;

- спирманов тест рангиране корелације (енг. *spearman's rank correlation coefficient*) – примењен ради утврђивања постојања и јачине статистичке зависности између две рангиране променљиве;
- провера статистички значајних разлика (енг. *anova test*);
- тест поузданости мерних скала;
- анализа нормалности расподеле података.

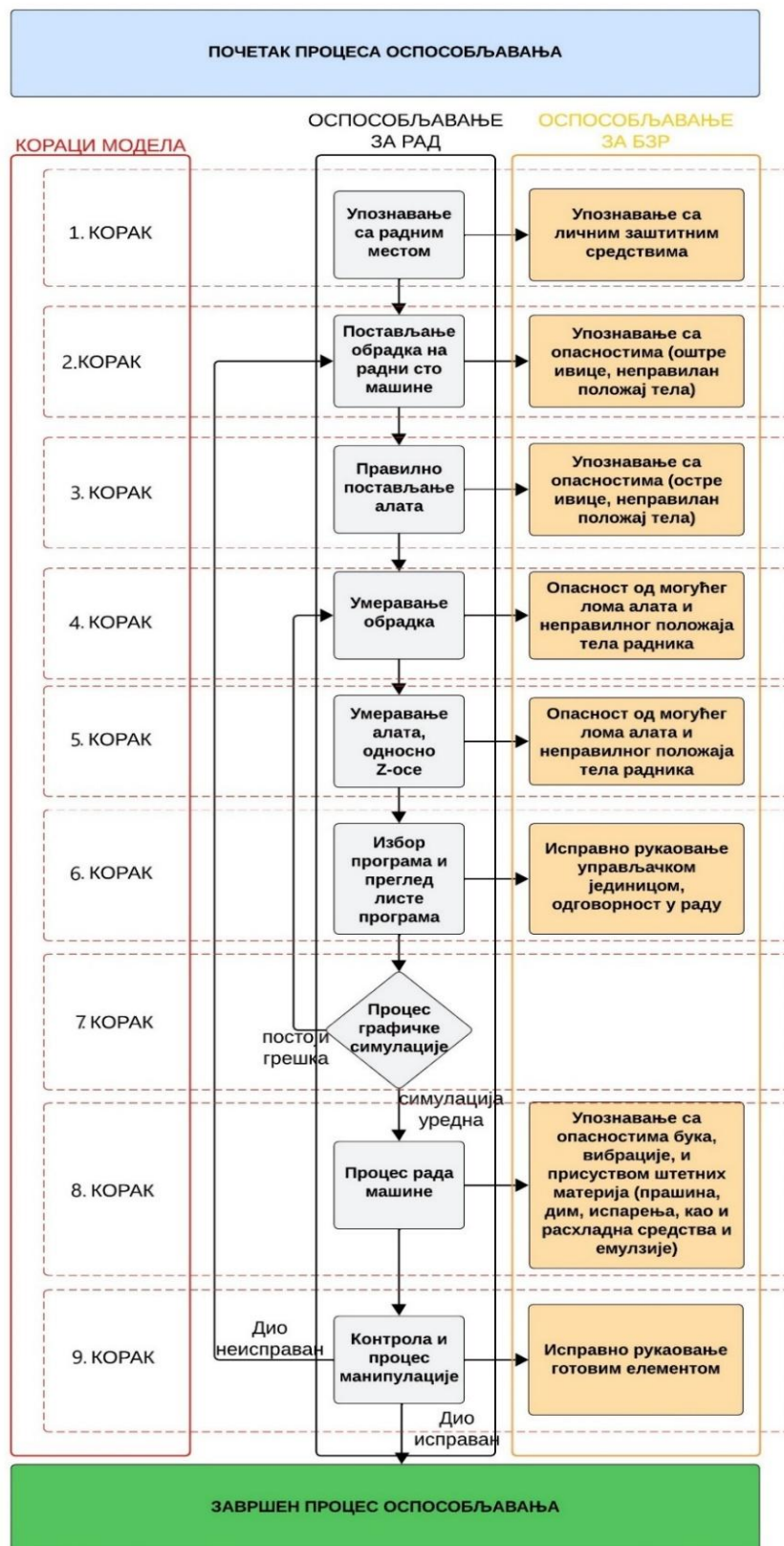
Овим систематским приступом истраживачки пројекат је обезбедио свеобухватну и темељну анализу примене виртуелне стварности као иновативног алата у области професионалног оспособљавања за здрав и безбедан рад на радном месту *CNC* оператера. Добијени резултати истраживања који се односе на радно место *CNC* оператера релевантни су и примењиви и на друге радне позиције у индустрији које захтевају сличан ниво безбедносне и техничке обуке.

3.3. МОДЕЛ ОСПОСОБЉАВАЊА ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД ПРИМЕНОМ *VR* ТЕХНОЛОГИЈЕ

За потребе истраживања усмереног на унапређење процеса оспособљавања запослених у области безбедности и здравља на раду путем примене *VR* технологије, креиран је посебно прилагођен модел оспособљавања за безбедан и здрав рад на радном месту оператера *CNC* машина. Овај модел је дизајниран тако да интегрише не само аспекте едукације за безбедан и здрав рад на радном месту, већ и суштинске елементе који се односе на сам радни процес, односно на основне техничке и оперативне компоненте рада на *CNC* машинама. Узимајући у обзир специфичности самог радног места и природу послова које *CNC* оператери обављају, модел је конципиран тако да обухвати обуку која у себи садржи инструкције како за правилно извођење радних задатака, тако и за примену безбедносних мера у свакој фази процеса. Наиме, у реалним условима рада, у многим индустријским окружењима, тешко је јасно раздвојити техничка упутства за извршавање задатака од мера безбедности на раду, јер су ова два сегмента дубоко повезана и међузависна. Неправилно извођење технолошких операција често директно доводи до повећаног ризика од повреда или угрожавања здравља, што потврђује нужност њиховог заједничког третирања у оквиру процеса оспособљавања. Из тог разлога, предложени модел оспособљавања не само да симулира техничке аспекте рада, већ ставља акценат и на препознавање и избегавање потенцијалних опасности, правилну употребу личне заштитне опреме, познавање система заштите на самој машини, као и адекватно реаговање у ситуацијама повећаног ризика. Тиме се обезбеђује да радници не само да стичу оперативне вештине, већ и критичку свест о значају безбедносних протокола, што је суштински предуслов за безбедан рад у сложеном индустријском окружењу.

Модел је осмишљен тако да омогућава флексибилност у спровођењу процеса оспособљавања, при чему се на основу њега може реализовати традиционална, конвенционална обука, али и савремено оспособљавање уз примену технологије виртуелне стварности. За основу развијеног модела послужили су стандардни и систематски дефинисани кораци процеса оспособљавања радника за рад на *CNC* машинама, при чему је сваком кораку пажљиво додељен интегрисан елемент који се односи на оспособљавање за безбедан и здрав рад. Овакав приступ омогућава да се безбедносни аспекти не посматрају као одвојени сегмент, већ као неодвојиви део сваке фазе стручне обуке.

Модел (Слика 4) обухвата низ елемената који прате логичан ток процеса рада на CNC машини, при чему је сваки корак допуњен аспектима који се односе на безбедност и здравље на раду.



Слика 4. Модел оспособљавања за безбедан и здрав рад

Елементи модела су следећи:

- 1) **Упознавање са радним местом и личним заштитним средствима** – радник се прво упознаје са конфигурацијом радног простора, функцијом појединих делова *CNC* машине, као и обавезом и правилном употребом личне заштитне опреме (шлем, заштитне наочаре, рукавице, заштита за слух итд.), у циљу смањења изложености ризицима.
- 2) **Правилно постављање обратка на радни сто машине** – овај корак подразумева обуку о коришћењу стега и алата за фиксирање, уз истовремено упозоравање са потенцијалним опасностима које могу настати услед неправилног постављања, као што су покретни делови машине или незграпан положај тела који може довести до повреда.
- 3) **Правилно постављање алата** – у овом кораку радници се упознају са процедурама за правилну монтажу и демонтажу алата, као и са опасностима које проистичу из контакта са оштрим ивицама како на алатима, тако и на одређеним деловима машине.
- 4) **Умеравање обратка** – током ове фазе акценат се ставља на прецизност, али и на безбедност, јер су честе опасности у виду оштрих ивица на материјалу, могућег лома алата или неправилног положаја тела радника, које могу довести до повреда.
- 5) **Умеравање алата, односно Z-осе** – обука обухвата и прецизно подешавање алата у односу на референтне осе машине, при чему се указује на потенцијалне ризике као што су оштре ивице и незгодни положаји тела који се често заузимају приликом визуелне контроле или мерења.
- 6) **Избор програма и преглед листе програма** – радник се обучава да чита и правилно тумачи листу програма са јасно истакнутим упутствима, што је важно како са аспекта прецизности у обради, тако и са аспекта безбедности, с обзиром на то да неправилан избор програма може довести до опасних ситуација.
- 7) **Процес графичке симулације** – пре почетка обраде, врши се симулација програма у софтверском окружењу, што омогућава рано откривање потенцијалних грешака чиме се спречавају оштећења и угрожавање безбедности.
- 8) **Процес рада машине** – током реалне обраде, радник се упознаје са опасностима као што су бука, вибрације, присуство штетних материја (прашина, дим, испарења, као и расхладна средства и емулзије), уз посебан нагласак на мере заштите које се морају предузети.
- 9) **Готов део/производ и процес манипулације** – по завршетку обраде, радник учествује у уклањању готовог дела/производа, при чему се указује на могуће опасности услед оштрих ивица, које представљају ризик током мерења, премештања или визуелне контроле квалитета.

3.4. КРЕИРАЊЕ ВИРТУЕЛНОГ САДРЖАЈА ЗА ОСПОСОБЉАВАЊЕ ЗА БЕЗБЕДАН И ЗДРАВ РАД ПРИМЕНОМ *VR* ТЕХНОЛОГИЈЕ

На основу предложеног модела, развијена је интерактивна виртуелна обука који симулира реалне услове рада у контролисаном виртуелном окружењу. Обука је осмишљена тако да омогући полазницима препознавање потенцијалних опасности на радном месту, правилно коришћење личне заштитне опреме и примену безбедносних процедура у складу са прописима о безбедности и здрављу на раду. Суштински, за сваки појединачни елемент модела оспособљавања креиран је адекватан едукативни виртуелни садржај, који садржи све релевантне информације потребне за разумевање и правилну примену конкретног сегмента процеса рада. Садржај је дизајниран тако да омогући

кориснику да се кроз интерактивну и визуелно богату симулацију упозна са специфичностима радног задатка, ризицима и одговарајућим безбедносним мерама.

Виртуелни садржај је реализован у технологији *VR* 360°, која омогућава приказ радног окружења у облику панорамских снимака или видео-записа снимљених под углом од 360°. За потребе креирања виртуелног садржаја намењеног оспособљавању за безбедан и здрав рад применом *VR* технологије, спроведене су активности које садрже техничке, педагошке и организационе кораке. Процес креирања виртуелног садржаја спроведен је кроз следеће фазе:

- 1) **Снимање или фотографисање корака модела у формату 360°** – у овој фази, сваки појединачни корак модела оспособљавања је визуелно документован снимањем панорамских фотографија и видео-записа у 360°. Посебна пажња посвећена је позиционирању камере како би се омогућио потпун преглед радног окружења и критичних тачака са становишта безбедности.
- 2) **Увезивање снимљеног материјала са релевантним информацијама и монтажа у складу са корацима модела** – након снимања, извршена је обрада и монтажа материјала. У овом сегменту, снимцима су додаване едукативне ознаке, објашњења, симболи упозорења, текстуалне и звучне инструкције. Циљ ове фазе био је да се визуелни садржај претвори у функционалан наставни ресурс који прати логичку структуру модела оспособљавања.
- 3) **Постављање припремљеног материјала у софтвер за *VR* приказ** – у завршној фази, компетиран садржај је интегрисан у специјализовани *VR* софтвер који омогућава интерактивно искуство кроз употребу *VR* наочара. Софтвер подржава навигацију кроз различите сцене, активирање додатних информација и комуникацију са симулацијом у реалном времену, чиме се обезбеђује ангажованост корисника и боље усвајање садржаја.

3.4.1. Снимање или фотографисање корака модела у формату 360°

У циљу креирања адекватног виртуелног садржаја, први корак модела односи се на израду фотографије у формату 360° која приказује реално радно окружење за радно место *CNC* оператера, и представља полазну тачку у процесу оспособљавања (Слика 5). Фокус снимка је стављен на саму *CNC* машину, као кључни елемент радног места, са свим релевантним детаљима који се односе на просторну организацију, распоред елемената и окружење у коме радник обавља задатке (фотографија је настала у кабинету за *CNC* технологије Машинске школе у Приједору, Босна и Херцеговина).



Слика 5. Приказ 360° радног места *CNC* оператера

Други корак модела оспособљавања обухвата активности које се односе на правилно постављање обрадка на радни сто машине. За потребе визуелизације овог сегмента, израђена је фотографија у формату 360° (Слика 6), при чему је фокус усмерен на сам обрадак, као и на стезни алат који је монтиран на радни сто *CNC* машине.



Слика 6. Приказ 360° правилног постављања обрадка на радни сто машине

Постављање алата на исправан начин представља трећи корак модела оспособљавања, а визуелизовано је путем фотографије у формату 360° (Слика 7). На овој слици централно место заузима правилно постављен алат у главном вретену машине, док је у бочном делу снимка јасно видљив екран са табелом алата, што омогућава полазницима да се упознају са означавањем и организацијом алатних позиција. Важно је напоменути да *CNC* машина која је коришћена за снимање едукативног материјала не поседује интегрисани аутоматски измењивач алата, већ се измена алата обавља ручно.



Слика 7. Приказ 360° постављања алата на исправан начин

Следећи корак модела односи се на умеровање обратка, односно на постављање нулте тачке обратка, што представља једну од кључних фаза у припреми процеса обраде на *CNC* машини. У складу с тим, израђена је фотографија у формату 360° која приказује поступак умеровања обратка дуж X осе (Слика 8). На снимку је јасно видљив алат у положају за умеровање, на екрану машине видљива је табела са почетним тачкама обраде, што кориснику пружа увид у параметре задатка и значај прецизног постављања координатног система обратка у односу на алат.



Слика 8. Приказ 360° умеравње обрадка

У петом кораку модела описан је поступак умеравња алата, односно подешавање Z-осе, што представља важан сегмент у прецизној припреми CNC машине за рад. Ради што једноставнијег и јаснијег приказа овог процеса, израђен је видео-запис у формату 360°, у трајању од 38 секунди (Слика 9). У видеу се може видети тренутак додира алата за умеравње са површином обратка, што представља кључну тачку за дефинисање нулте координате у Z-оси. Поред самог процеса, на дисплеју машине јасно су приказане табеле алата као и табела са почетним тачкама (координатама), што омогућава полазницима да стекну потпуну слику о поступку подешавања алатне референтне тачке. Суштински, овај видео обухвата и садржај претходне тачке модела, умеравње обратка, те кроз једну симулацију омогућава разумевање оба процеса: како постављање нулте тачке обратка, тако и постављање нулте тачке алата. На тај начин се кроз један визуелно богат приказ постиже ефикасније оспособљавање и боље разумевање логике припреме CNC машине.



Слика 9. Исечак видео-записа у формату 360° - умеравње алата и обрадка

Након што су успешно одређене референтне тачке, наредни корак у моделу оспособљавања односи се на правилан одабир програма за обраду. У ту сврху израђена је фотографија у формату 360°, на којој је фокус усмерен на листу програма приказану на дисплеју машине (Слика 10). Слика омогућава полазнику да јасно уочи визуелни изглед менија за избор програма, као и да се упозна са начинима идентификације и провере исправности програма пре његовог покретања.



Слика 10. Приказ 360° листе програма приказане на дисплеју машине

Седми корак модела односи се на процес графичке симулације, који представља завршну контролу пре самог покретања реалне обраде на машини. Графичка симулација служи као важан алат за проверу исправности програма, путање алата, као и за уочавање евентуалних грешака које би могле довести до оштећења машине, алата или обрадка. У оквиру креирања едукативног виртуелног садржаја, за ову сврху је снимљен видео у формату 360°, у којем је фокус стављен на покретање процеса графичке симулације програма (Слика 11). Видео омогућава полазницима да на практичан начин прате симулацију кретања алата у односу на обрадак, као и интеракцију оператера са интерфејсом машине током провере.



Слика 11. Исечак видео-записа у формату 360° - процес графичке симулације

Претпоследњи корак модела уједно представља и завршни корак у самом процесу рада на CNC машини, односно фаза у којој се одвија реални процес обраде. Овај сегмент је од кључног значаја јер обухвата све претходно припремљене кораке и показује њихову примену у пракси. Ради што јаснијег и веродостојнијег приказа, извршено је снимање процеса обраде у реалним условима, при чему је посебна пажња посвећена активностима оператера током рада. У снимку се јасно виде положај тела радника, интеракција са контролним панелом, надзор над током обраде, као и услови у радном окружењу (Слика 12).



Слика 12. Исечак видео-записа у формату 360° - процес обраде

Последњи корак модела односи се на контролу процеса израде, односно проверу тачности и димензионалне исправности готовог дела након завршене обраде. За потребе израде едукативног виртуелног садржаја, урађена је фотографија у формату 360° која приказује процес мерења готовог дела помоћу помичног мерила (Слика 13). Слика је настала у реалном индустријском окружењу, на сложеном елементу, како би се на најјаснији могући начин представио овај корак у условима који верно осликавају захтеве праксе.



Слика 13. Приказ 360° процеса мерења готовог дела

3.4.2. Увезивање снимљеног материјала са релевантним информацијама и монтажа у складу са корацима модела

Након што је за сваки корак модела појединачно извршено снимање применом технологије 360°, приступило се процесу увезивања снимљеног материјала са релевантним информацијама које су неопходне за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад. Овај корак је представљао кључну фазу у изградњи интерактивног и едукативног виртуелног окружења. За креирање такозване „виртуелне туре“, односно структурираног мултимедијалног садржаја који обухвата целокупан процес

оспособљавања, коришћена је апликација *Thinglink*, која омогућава повезивање визуелних материјала са текстуалним, звучним и видео информацијама.

Thinglink је платформа намењена креирању интерактивног и имерзивног садржаја и посебно је погодна за едукацију, јер омогућава једноставно постављање интерактивних тачака на 360° сликама и видео записима, што повећава ниво ангажовања корисника и омогућава активну улогу у процесу учења.

У првој фази рада у овој апликацији, унети су сви неопходни материјали – укључујући слике и видео записе у 360°, као и пратећи текстуални и графички садржај. На тај начин је формирана централна база података (Слика 14) у оквиру саме платформе *Thinglink*, што је омогућило логичку и тематску организацију целог едукативног модула.









Слика 14. База података у оквиру платформе *Thinglink*

Апликација *Thinglink* повезује садржај тако што омогућава додавање интерактивних тачака (*hotspot*) на слике или видео записе, укључујући и 360° материјал. На сваку од тих тачака могу се прикачити различити облици садржаја као што су текстуалне информације, аудио-записи, видео-објашњења, као и линкови ка спољашњим ресурсима или релевантним документима. На тај начин, корисници кроз један визуелни приказ могу да приступе већем броју информација у реалном контексту, чиме се омогућава дубље разумевање и активније учење у виртуелном окружењу. Ове могућности апликације *Thinglink* у потпуности су искоришћене за коначно креирање едукативног виртуелног садржаја намењеног оспособљавању за безбедан и здрав рад на радном месту *CNC* оператера. За сваки корак предложеног модела осмишљен је и реализован виртуелни едукативни садржај на такав начин да су на основни, унапред снимљени 360° материјал, додане све релевантне информације потребне за успешно оспособљавање.

У табели 3 приказане су употребљене интерактивне тачке са њиховим значењем, чиме је омогућено лакше разумевање структуре и садржаја сваког корака. Виртуелни садржај је повезан у логичку целину и сваки наредни корак модела директно је повезан са претходним, све до завршног корака. Поред тога, остављена је и могућност кориснику да се у било ком тренутку врати на претходни корак или да се врати на сам почетак модела, чиме се омогућава флексибилно учење у складу са индивидуалним потребама и темпом напредовања.

Табела 3. Приказ интерактивних тачака са њиховим значењем

	Информације (едукативни садржај) о процесу рада у оквиру корака модела
	Информације (едукативни садржај) о безбедности и здрављу на раду у оквиру корака модела
	Додатне информације у оквиру корака модела
	Прелазак на следећи корак модела
	Повратак на предходни корак модела
	Повратак на почетни корак модела

Као коначан резултат процеса креирања виртуелног садржаја намењеног за оспособљавање запослених за безбедан и здрав рад, добијена је свеобухватна виртуелна тура која обухвата девет корака, дефинисаних у оквиру предложеног модела оспособљавања за радно место *CNC* оператера. Сваки корак у оквиру ове туре представља једну целину у процесу оспособљавања и садржи интегрисане информације релевантне за безбедносне аспекте рада, као и практичне активности које се изводе у реалном радном окружењу.

У даљем тексту кратко је описан и приказан изглед виртуелног садржаја за сваки корак понаособ, са циљем да се прикаже структура, начин интеракције и врсте информација које су доступне корисницима у сваком сегменту модела.

• I корак

Први корак (Слика 15) у овој виртуелној тури, која одговара представљеном моделу оспособљавања за безбедан и здрав рад, креиран је тако да се на слику у формату 360° радног места *CNC* оператера додају интерактивне тачке. Активирањем ових тачака приказују се кључне информације о самом радном месту, врстама и начину коришћења личних заштитних средстава (ЛЗС) која се користе на том радном месту, као и листа основних безбедносних правила коју је неопходно поштовати. Поред тога, постављена је и интерактивна тачка која омогућава кориснику прелазак у наредни корак виртуелне туре, чиме се осигурава логички и хронолошки ток процеса оспособљавања.

Keb05ZFZiZ ih^ZIZdZ m\m aiZ\pbdhjZd kfb dZ ZihklZ\,_gZ _jIbdZegh
x ,, dhjZd

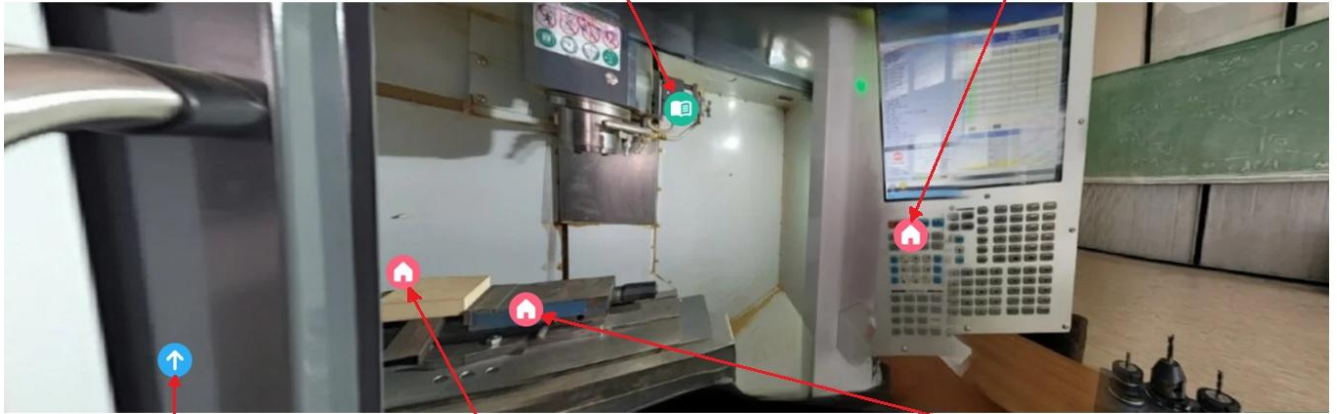
<bjlm_egb kZ^j`Z• m(K\hfdZ hjZdgrb\Z k_ gZ keb360° mhrZ jfZIm
ijbdZam•_ ijZ\beqh ihklZ\,_g h[jZ^Zd gZ jZ^gb klh fZrbg_ GZ
bgl_jZdlb\g_ lZqd_ qb•bf hl\ZjZf_f dhjbkgbd ^h[b•Z ijb
bgnhjZpb•ZfZ m h[-fZ d_mj_b\Z^eZh b l_dklmZefZboDm]gZr_flg djha
h_ lZqd_ ijbdZam•m k_ ihklmiZd ihf_jZfZ jZ^gh] klheZ fZr
h[jZ^dZ m kl_aghf ZeZIm dZh b mihahj_fZ gZ ihl_gpb•Zeg_ h
lhdf ijhp_kZ ihklZ\,ZfZ h[jZ^dZ GZ h\Z• gZqbZlghfh]m„_
jZamf_\Zf_ l_ogbqdbo b [_a[_^ghkgbo Zki_dZIZ h\h] dhjZdZ n
LZdh{ihklZ\,_gZ •_ b bgl_jZdlb\gZ lZqdZ dh•Z hfh]m„Z\Z dh
gZj_^gb dhjZd \bjlm_eg_ lmj_ Zeb b ih\jZIZd gZ ij_loh^gb



Безбедан процес стезања обрадка (видео)

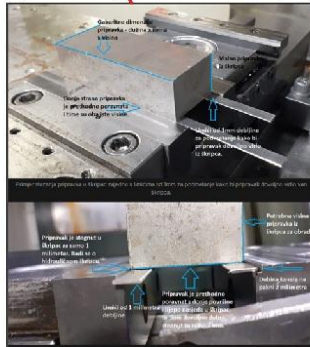


Процес стезања обрадка



Прелазак на следећи
корак модела

Упутство за правилно стезање обрадка



Постављање стезних алата на столу CNC машине

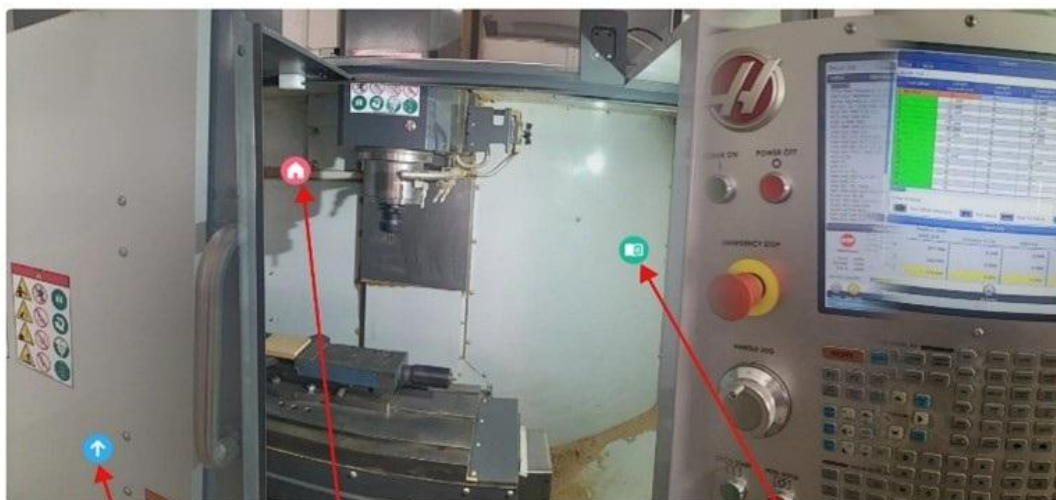


Слика 16. Мапа података увезаних у други корак модела

III корак

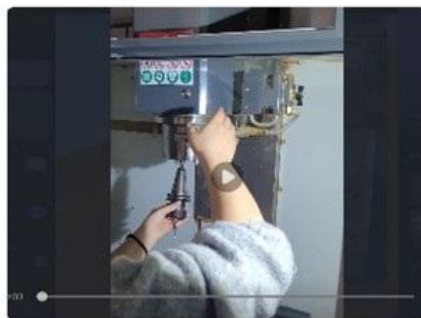
Слика у формату 360°, која приказује правилно постављен алат, представља наредни корак у виртуелној тури (Слика 17). На ову слику додате су интерактивне тачке чијим активирањем корисник добија прецизне инструкције за постављање алата, као и визуелну информацију у виду слике са јасно означеним зонама опасности и то пре свега оштрим ивицама на машини и самом алату. Инструкција за правилно постављање алата доступна је у видео формату и обухвата све неопходне радње, корак по корак, које је потребно предузети како би постављање било безбедно и технички исправно. На овај начин корисник стиче јасну слику и о техничком поступку и о мерама безбедности које га морају пратити.

У овом кораку такође се налазе интерактивне тачке које омогућавају прелазак на наредни корак модела, као и повратак на претходни корак или на сам почетак виртуелне туре. Ове навигационе тачке кориснику пружају могућност лаког и логичног кретања кроз све елементе модела, чиме се омогућава флексибилно учење и поновно прегледање садржаја по потреби.



Прелазак на следећи корак модела

Приказ процеса постављања алата (Видео)



Назначене опасности (оштри делови)



Слика 17. Мапа података увезаних у трећи корак модела

• IV корак

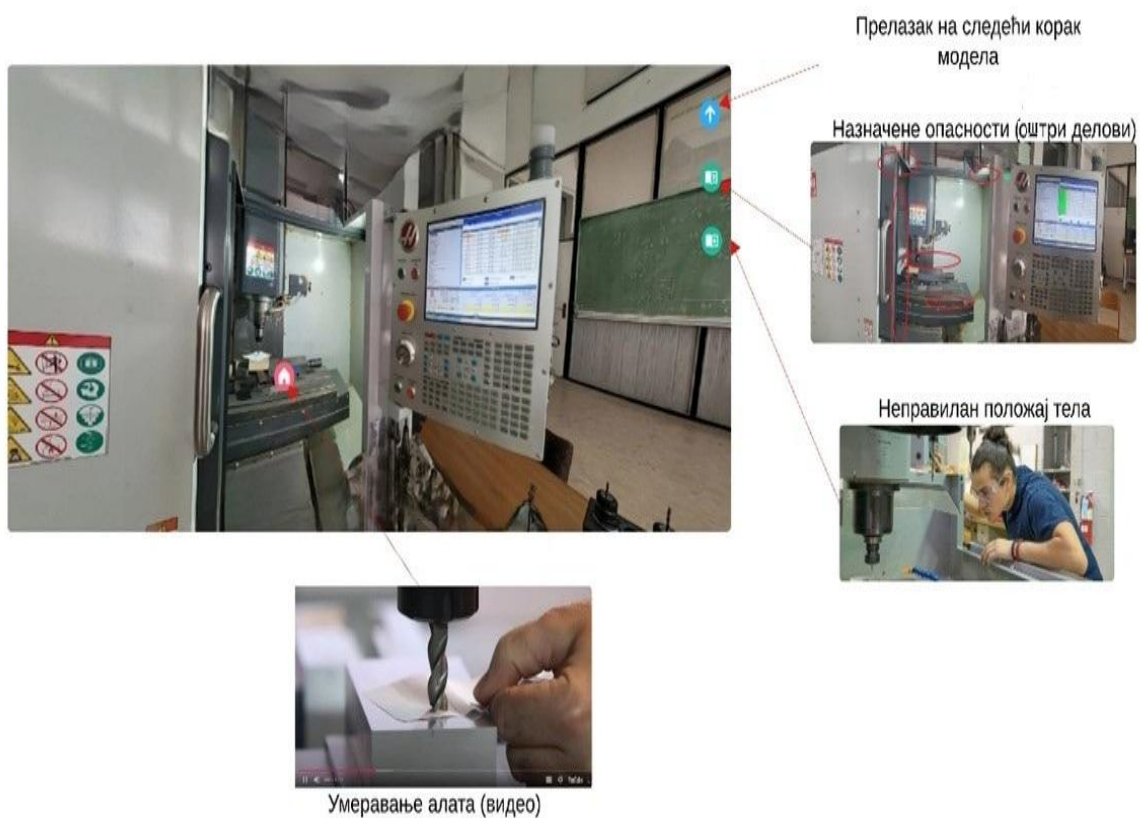
Умеравање обрадка, представља четврти корак виртуелног садржаја, приказано је кроз видео запис у формату 360°. Положај камере из које је снимљен овај видео омогућава јасно сагледавање свих радњи током процеса умеравања како обрадка, тако и алата (Слика 18). По завршетку гледања видеа, корисник може да отвори додатне интерактивне тачке у облику слика на којима су илустроване потенцијалне опасности у овом кораку као што су оштре ивице, могућност лома алата, као и неправилан положај тела радника током умеравања.



Слика 18. Мапа података увезаних у четврти корак модела

- **V корак**

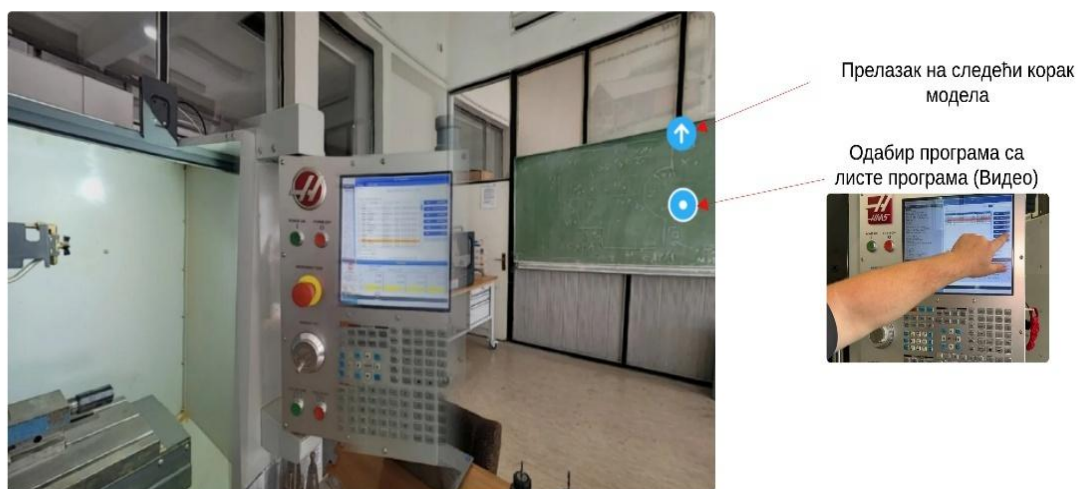
Умеравање алата, односно Z-осе, представља наредни корак у виртуелном садржају за оспособљавање, и приказано је кроз слику у 360°. Овај корак је директно повезан са претходним, умеровањем обрадка, и чини логичан наставак процеса. Отварањем интерактивних тачака на слици, кориснику се приказује инструкција за умеровање алата, као и илустрације са потенцијалним опасностима као што су оштре ивице и неправилан положај тела радника. Иако су ове опасности већ приказане у претходном кораку, њихово понављање у овом контексту има сврху појачавања ефекта учења и подстицања дугорочног памћења кључних информација у вези безбедности и здравља на раду (Слика 19).



Слика 19. Мапа података увезаних у пети корак модела

• VI корак

У шестом кораку виртуелног садржаја је слика у 360° која приказује листу програма на CNC машини. На ову слику постављене су интерактивне тачке које омогућавају кориснику навигацију ка претходном или наредном кораку виртуелне туре, чиме се обезбеђује флексибилност у кретању кроз образовни материјал. Поред тога, додата је и интерактивна тачка која садржи јасно означене инструкције за правилан одабир програма (Слика 20).



Слика 20. Мапа података увезаних у шести корак модела

- VII корак

Седми корак виртуелног садржаја односи се на процес графичке симулације, који је приказан у виду видео-записа у формату 360°. У самом видеу су додате интерактивне тачке које омогућавају кретање ка претходним или наредним корацима унутар виртуелне туре (Слика 21).



Слика 21. Мапа података увезаних у седми корак модела

- VIII корак

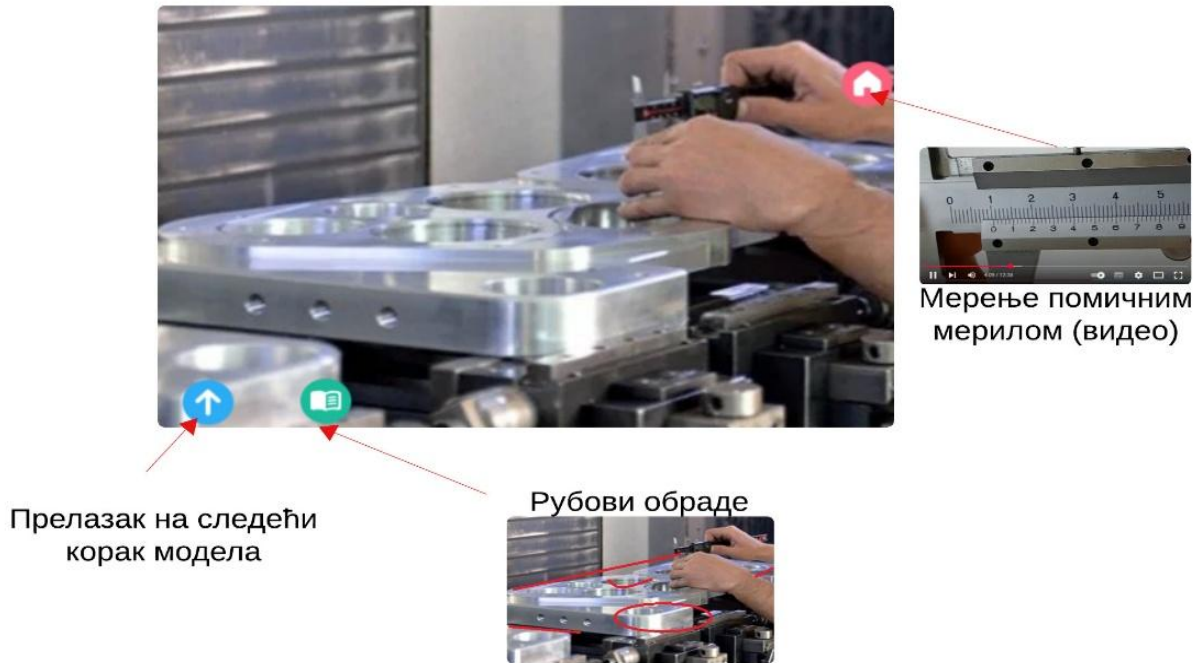
Осми корак виртуелног садржаја обухвата сам процес рада CNC машине и представљен је у виду видео-записа у формату 360°. Видео је снимљен са позиције иза леђа оператера како би се корисницима омогућило да јасно прате све радње које оператер изводи током процеса обраде (Слика 22). Посебна пажња је посвећена амбијенталном звуку. Бука током рада машине је засебно снимљена и интегрисана у искуство путем слушалица повезаних са VR наочарима, чиме се постиже потпуни доживљај радног окружења. По завршетку видеа, активирају се интерактивне тачке које воде до слика на којима су приказане потенцијалне штетности као што су прашина и испарења емулзије, чиме се корисници додатно информишу о ризицима по здравље у току самог процеса рада.



Слика 22. Мапа података увезаних у осми корак модела

- IX корак

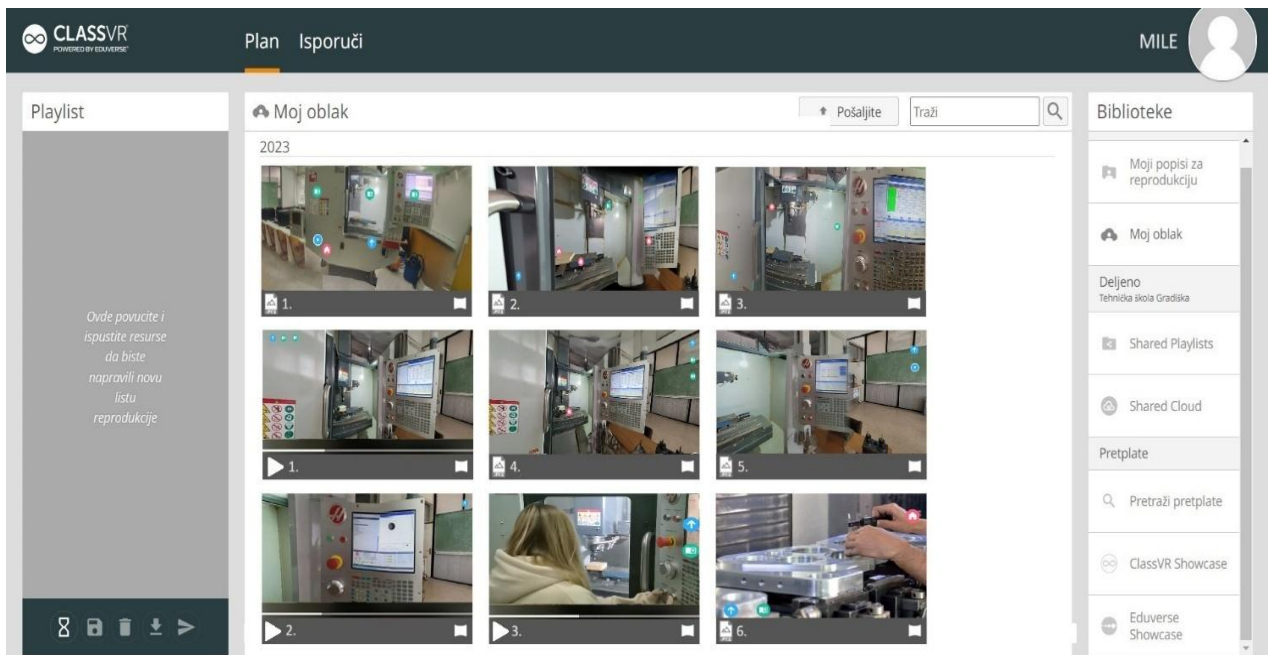
Процес мерења обрадка, представљен сликом у формату 360°, чини завршни корак у оквиру виртуелног садржаја. На ову слику постављене су интерактивне тачке које омогућавају кориснику да детаљније испита мерење: једна тачка приказује употребу мерног инструмента, док друга указује на оштре ивице на предмету, које представљају потенцијалне опасности током самог процеса мерења (Слика 23).



Слика 23. Мапа података увезаних у девети корак модела

3.4.3. Постављање припремљеног материјала у софтвер за VR приказ

Након завршног креирања виртуелног садржаја за оспособљавање за безбедан и здрав рад на радном месту CNC оператера, следећи корак је био постављање припремљеног материјала у софтвер за VR приказ. За потребе овог истраживања коришћена је ClassVR платформа, која представља интегрисано и свеобухватно решење за приказивање едукативног садржаја у виртуелној стварности, омогућавајући истовремено управљање и персонализован приступ учесницима. Креирани садржај је успешно постављен на меморијски простор софтверске компоненте ClassVR платформе (Слика 24), чиме је обезбеђено његово лако покретање и интерактивна употреба путем VR наочара.



Слика 24. Креирани садржај постављен на меморијски простор софтверске компоненте ClassVR платформе

Како би се креирани садржај могао покренути и приказати на VR наочарама, неопходно је да се претходно испоручи на такозвану листу за преглед (*Playlist*). Листа за преглед представља организовану секвенцу садржаја унутар ClassVR платформе, која омогућава наставнику или инструктору да контролише редослед и динамику приказивања материјала на VR уређајима. На тај начин, сваки учесник у обуци синхронизовано пролази кроз предвиђене кораке виртуелне туре, чиме се обезбеђује структурирано и педагошки ефективно искуство учења (Слика 25).



Слика 25. Едукативни материјал у корацима модела постављен на листу за преглед садржаја унутар ClassVR платформе

3.4.4. Преглед виртуелног садржаја применом *VR* технологије

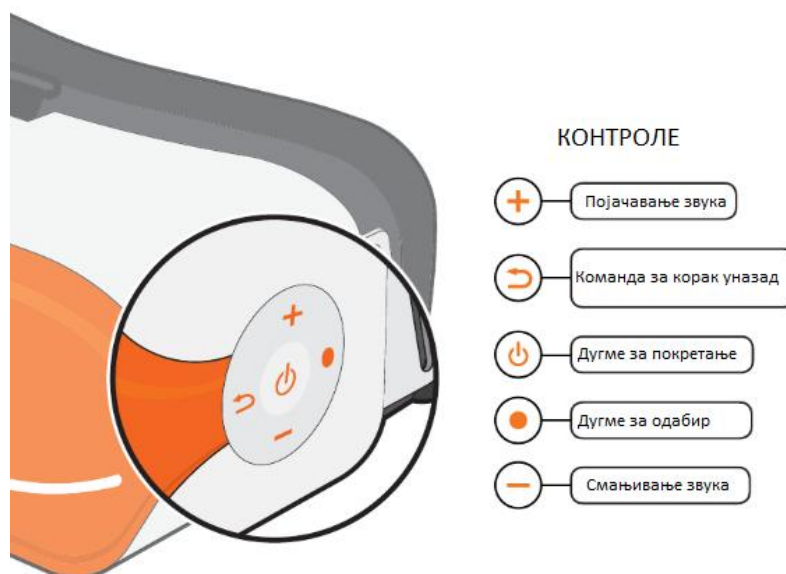
За преглед креираног виртуелног садржаја коришћена је платформа *ClassVR*, која представља интегрисано решење намењено за образовне сврхе. *ClassVR* обједињује хардвер и софтвер за коришћење виртуелне и проширене стварности у учионици. Платформа омогућава наставницима да унапред креирају, организују и управљају *VR* садржајима кроз прегледне листе, као и да у реалном времену прате ангажованост ученика. Овај систем је дизајниран тако да буде једноставан за употребу, чак и за кориснике без техничког предзнања, што га чини посебно погодним за примену у процесима обуке и образовања.

Софтверски део ове платформе описан је у претходном подпоглављу, док хардверску компоненту чине *VR* наочаре, преко којих се врши интеракција са садржајем. Хардверски део *ClassVR* платформе чине самосталне *VR* наочаре (Слика 26) које раде без потребе за спољним рачунаром или телефоном. Уређаји су опремљени високорезолуцијским екраном, уграђеним звучницима, жироскопом и сензорима покрета који омогућавају потпуни урон у виртуелно окружење. Такође, садрже уграђену меморију за складиштење садржаја и подршку за повезивање на бежичну мрежу, што омогућава директно преузимање и управљање *VR* материјалом преко централизованог софтвера. Уређаји су прилагођени за употребу у образовним и обукама намењеним радном окружењу, са нагласком на једноставност руковања, издржљивост и безбедност у раду.



Слика 26. *VR* наочаре

Преглед виртуелног садржаја за оспособљавање за безбедан и здрав рад на овим *VR* наочарама омогућен је захваљујући курсору (тачки) који се налази у централном делу видног поља. Померање курсора врши се померањем погледа у имерзивној околини, а мануелно путем тастатуре (слика 27) која је саставни део *VR* уређаја омогућава се покретање интерактивних тачака и других елемената садржаја у оквиру виртуелног окружења. Оваква форма интеракције омогућава интуитивно коришћење и активну укљученост полазника у процес обуке. Током прегледа садржаја, репродуковани приказ на *VR* наочарама истовремено је видљив и на рачунару инструктора или администратора система. Ова функција омогућава надзор над начином коришћења, као и праћење напретка и интеракције корисника у реалном времену, што додатно унапређује квалитет обуке и педагошку контролу.



Слика 27. Тастатура VR наочара

3.5. ИСТРАЖИВАЊЕ А

Испитивање перцепције и прихватања *VR* технологије од стране запослених као алата за обуку у области безбедности и здравља на раду представља истраживање А. Ово истраживање спроведено је у девет предузећа уз учешће укупно 130 радника, у периоду од августа до новембра 2023. године. Радници који су учествовали у овом истраживању имају практично искуство рада на различитим типовима *CNC* машина. Њихово радно искуство, као и ниво познавања *CNC* технологије, варирају у зависности од радног места, године стажа и претходних обука. Заједничка карактеристика свих испитаника јесте да су претходно били оспособљени за безбедан и здрав рад применом традиционалних метода оспособљавања. Сваком раднику појединачно је приказан креирани модел оспособљавања за безбедан и здрав рад, при чему су учесници имали прилику да самостално прегледају едукативни виртуелни садржај уз помоћ *VR* наочара (Слика 28). Преглед садржаја обухватао је девет корака дефинисаних у моделу, а сваки радник је имао максимално 10 минута на располагању за индивидуални пролазак кроз материјал. Током прегледа, учесници су коришћењем курсора у видном пољу *VR* наочара приступали интерактивним тачкама, покретали видео-садржаје, читали текстуалне информације и улазили у наредне кораке модела. Преглед се одвијао у контролисаним условима, а сам процес је праћен од стране истраживача.



Слика 28. Учесници у истраживању самостално прегледају едукативни виртуелни материјал

Након тога је спроведено анкетно истраживање с циљем оцењивања могућности употребе технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад. Анкета је садржала укупно 15 питања, од чега се 6 питања односило на прикупљање података о раднику, док се преосталих 9 питања односило на испитивање мишљења радника о могућности и прикладности примене *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад.

Питања из друге групе била су затвореног типа, са понуђеним одговорима у складу са Ликертовом скалом (од „у потпуности се не слажем“ до „у потпуности се слажем“), што је омогућило квантификацију ставова испитаника и даљу статистичку обраду података. Истраживање је конципирано тако да обухвати анализу односа између независне варијабле „Профил радника“ и зависне варијабле „Могућност употребе *VR* технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад“.

Мерна скала независне варијабле „Профил радника“ формирана је на основу следећих појединачних варијабли: пол, године старости, стручна спрема, радни стаж на *CNC* машинама, знање о технологији виртуелне стварности и знање о безбедности на раду у области *CNC* технологије.

Мерна скала зависне варијабле „Могућност употребе *VR* технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад“ састоји се од сета појединачних варијабли које се односе на ставове испитаника о корисности, приступачности, реалистичности и ефективности виртуелног садржаја. Наведене појединачне варијабле детаљно су приказане у табели 4.

Табела 4. Мерна скала варијабли „Могућност употребе *VR* технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад“.

Могућност употребе <i>VR</i> технологије у оспособљавању за безбедан и здрав рад	
Садржај за оспособљавање је прецизан и јасан	(VR1)
<i>VR</i> технологија омогућава реалан приказ радног места	(VR2)
Коришћењем <i>VR</i> технологије схватио сам начин рада на <i>CNC</i> машини	(VR3)
Садржај едукативног материјала на <i>VR</i> наочарима је довољан за иницијална знања о управљању <i>CNC</i> машином	(VR4)
Путем едукативног садржаја на <i>VR</i> наочарима схватио сам потребна лична заштитна средства за рад на <i>CNC</i> машини	(VR5)
Коришћењем <i>VR</i> технологије могуће је разумети системе заштите на <i>CNC</i> машини	(VR6)
Коришћењем <i>VR</i> технологије могуће је разумети системе заштите на <i>CNC</i> машини	(VR7)
Коришћењем <i>VR</i> наочара могу се разумети безбедносне процедуре у раду	(VR8)
При коришћењу <i>VR</i> наочара осетио сам нелагоду (главобоља, бол у очима, нејасна слика)	(VR9)

3.6. ИСТРАЖИВАЊЕ Б

Други део истраживања (истраживање Б) усмерено је на анализу ефеката различитих начина оспособљавања, укључујући традиционалне методе и обуку помоћу *VR* технологије, са посебним освртом на ниво усвојених знања и вештина. Ово истраживање спроведено је са ученицима завршних разреда средњих стручних школа, образовног профила техничар *CNC* технологија. Истраживање је реализовано на самом почетку школске 2023/24. године, односно пре отпочињања практичне наставе у реалним производним условима. Ученици који су учествовали у истраживању већ су стекли теоријска знања из области техничке документације, технологије обраде, мерне технике и *CNC* програмирања, као и основна знања о раду и структури управљачке јединице *CNC* машина. Међутим, у тренутку спровођења истраживања, нису имали практично искуство у раду на самим *CNC* машинама. У тренутку почетка истраживања, ученици нису поседовали знања из области безбедности и здравља на раду, што потврђују и резултати претходних истраживања (*Vajkić и сарадници, 2019*). У поменутих истраживањима је указано да ученици током школовања немају посебан предмет који се бави темом безбедности и здравља на раду, нити се ова област систематски обрађује у оквиру других наставних предмета. Иако су ученици били упознати са појмом и основним карактеристикама технологије виртуелне стварности, већина њих до тада није имала практично искуство у коришћењу ове технологије.

У овом истраживању учествовало је укупно 174 ученика завршних разреда образовног профила техничар *CNC* технологија. Истраживање је спроведено у шест средњих стручних школа у периоду од септембра до децембра 2023. године. Према подацима доступним у моменту реализације истраживања, укупан број ученика завршних разреда овог образовног профила у Републици Српској – Босни и Херцеговини износио је 480, што значи да је у истраживању учествовало приближно 36% целокупне популације ученика те генерације.

С обзиром на то да је истраживање замишљено као компаративна анализа два приступа у оспособљавању за безбедан и здрав рад, ученици су подељени у две групе. Прва група ученика је обучавана традиционалном методом, који је обухватао теоријску наставу и практичан рад на *CNC* глодалици. За реализацију овог приступа коришћена је стручна литература, едукативни видео материјали и троосна *CNC* глодалица (на истом моделу машине је креиран и *VR360°* едукативни садржај).

Од шест школа у којима је спроведено истраживање, у четири школе су практичне вежбе реализоване на троосним глодалицама произвођача *Haas*, док су у преостале две школе коришћене глодалице произвођача *Hurco*. Обуку је реализовао наставни кадар са одговарајућим стручним компетенцијама, а време потребно за оспособљавање једне групе од десет ученика кретало се у распону од шест до осам сати.

Методолошки оквир оспособљавања био је усклађен са корацима дефинисаним у моделу креираном у оквиру истраживања за потребе ове докторске дисертације, чиме је осигурана упоредивост резултата у даљој анализи. Након спроведеног процеса оспособљавања, ученици су попуњавали анкетни упитник с циљем процене стеченог знања. Упитник је обухватао две главне области: познавање начина рада на *CNC* машини и знање о безбедном и здравом раду при руковању *CNC* машином.



Слика 29. Обука ученика конвенционалним начином оспособљавања

Друга група ученика оспособљена је коришћењем технологије *VR360⁰*, односно моделом оспособљавања који је приказан у овом раду. Ученици су индивидуално, уз употребу *VR* наочара, самостално прегледали креирани едукативни садржај који симулира радне кораке на *CNC* машини у виртуелном окружењу. Временски интервал предвиђен за преглед садржаја био је до 10 минута (Слика 30). Овај модел оспособљавања спроведен је у истих шест средњих школа у којима је извршено и традиционално оспособљавање, чиме је омогућено спровођење валидне компаративне анализе ефикасности два приступа. Након завршеног прегледа садржаја, ученици су попуњавали идентичан анкетни упитник као и ученици који су били оспособљени традиционалним начином, с циљем провере знања о начину рада и безбедном раду на *CNC* машини.



Слика 30. Оспособљавање ученика коришћењем *VR* технологије

Ово истраживање реализовано је као компаративна анализа ефеката два различита приступа у оспособљавању ученика за рад на *CNC* машинама и то традиционалног и виртуелног модела. Независне варијабле у истраживању су „пол“ и „начин оспособљавања (НО)“, док су зависне варијабле „Знање о начину рада на *CNC* машини“ и „Знање за безбедан рад на *CNC* машини“. Мерна скала варијабле „Знање о начину рада на *CNC* машини“ формирана је од сета појединачних варијабли које су детаљно приказане у табели 5. Сва питања везана за зависне варијабле била су затвореног типа, са понуђеним одговорима по Ликертовој скали.

Упитници су били конципирани тако да испитаници исказују степен сагласности са одређеним тврдњама, при чему је скала варијабле од 1 – „не слажем се“ до 5 – „потпуно се слажем“. Ова структура омогућава свеобухватну анализу утицаја различитих приступа у едукацији на ниво стечених знања, уз контролу по полу испитаника.

Табела 5. Мерна скала варијабле „Знање о начину рада на *CNC* машини“

„Знање о начину рада на <i>CNC</i> машини“	
Оспособљавањем сам добио довољно знања о постављању алата и обрадка.	(CNC1)
Оспособљавањем сам савладао коришћење листе програма и начин одабира програма.	(CNC2)
Оспособљавањем сам савладао појмове умеровања алата и обрадка.	(CNC3)
Оспособљавањем сам савладао начин прегледа симулације <i>CNC</i> програма.	(CNC4)
Савладао сам пуштање машине у рад.	(CNC5)

Мерна скала варијабле „Знање за безбедан рад на *CNC* машини“ формирана је од појединачних варијабли које су приказане у табели 6. Ове варијабле обухватају кључне аспекте безбедносних процедура, препознавање ризичних ситуација, правилну употребу личне заштитне опреме и познавање мера заштите током рада на *CNC* опреми. Оваква конструкција скале омогућава детаљну процену нивоа усвојеног знања о безбедности.

Табела 6. Мерна скала варијабле „Знање за безбедан рад на *CNC* машини“

„Знање за безбедан рад на <i>CNC</i> машини“	
Упознат сам са радним простором намењеним за рад на <i>CNC</i> машини.	(ZNR1)
При оспособљавању разумео сам механичке опасности које се појављују на радном месту <i>CNC</i> оператера.	(ZNR2)
Разумео сам коју личну заштитну опрему треба да користим.	(ZNR3)
Упознат сам са системима заштите на <i>CNC</i> машини.	(ZNR4)
При оспособљавању разумео сам штетности које се појављују на радном месту <i>CNC</i> оператера.	(ZNR5)
При оспособљавању разумео сам опасности од електричне енергије које се појављују на радном месту <i>CNC</i> оператера.	(ZNR6)

3.7. ИСТРАЖИВАЊЕ В

Провера дугорочних ефеката примене *VR* технологије у обуци и процена њеног утицаја на безбедносно понашање и свест запослених обележени су као истраживање В. Дакле, поред упоредне анализе ефикасности различитих метода оспособљавања, у овом сегменту истраживања спроведено је и истраживање усмерено на процену трајања и задржавања стечених знања, односно дужину памћења усвојених информација. Истраживање је обухватило укупно 60 ученика, који су насумичним избором распоређени у две експерименталне групе, са по 30 полазника у свакој групи. Групе су формиране на основу различитих модалитета оспособљавања којима су ученици били изложени током реализације истраживања.

У циљу мерења ефеката процеса оспособљавања и процене нивоа дугорочног задржавања знања, примењен је стандардизовани тест знања, конципиран тако да обухвати кључне тематске области из домена рада на *CNC* машинама, као и из области безбедности и здравља на раду. Структура и садржај теста били су пажљиво припремљени у складу са наставним циљевима и приказани су детаљно у табели 7. Тест је са питањима затвореног типа, а испитаник је морао да изабере (заокружи) један или више тачних одговора.

Тестирање ученика спроведено је након временског интервала од четири месеца од завршетка формалног процеса оспособљавања. Овај временски размак омогућио је да се на објективан начин сагледају дугорочни ефекти примењених начина оспособљавања и стекне увид у степен трајности стечених знања.

Табела 7. Питања постављена у тесту знања

Тест знања	
Питање о начину пуштања машине у рад	(PC1)
Питање шта садржи радно место <i>CNC</i> оператера	(PC2)
Питање о безбедносним процедурама на <i>CNC</i> машинама	(PC3)
Питање о начину обраде на <i>CNC</i> глодалицама	(PC4)
Питање о обавезном коришћењу ЛЗС	(PC5)
Питање о опасностима и штетностима на <i>CNC</i> машинама	(PC6)
Питање о појави буке, прашине и испарења на <i>CNC</i> машинама	(PC7)
Питање о начину контроле производа на <i>CNC</i> машинама	(PC8)
Питање о управљачкој јединици на <i>CNC</i> машинама	(PC9)
Питање о најчешћим повредама на <i>CNC</i> машинама	(PC10)

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом поглављу докторске дисертације приказани су резултати три одвојена, али међусобно повезана истраживања која су спроведена у циљу процене ефективности примене технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад на *CNC* машинама. Прелиминарни резултати истраживања претходно су приказани у раду аутора (*Vajkic i saradnici, 2025*).

Прво истраживање (Истраживање А) обухватило је анализу ставова запослених радника у индустрији, који су већ традиционално оспособљени за рад, о могућности примене *VR* технологије у процесу оспособљавања. Истраживање је усмерено на процену перцепције и прихватљивости *VR* приступа, у односу на профил радника.

Друго истраживање (Истраживање Б) спроведено је међу ученицима завршних разреда средњих стручних школа, у форми компаративне анализе два модела оспособљавања – традиционалног и модела који користи технологију виртуелне стварности (*VR360°*). Циљ овог дела истраживања био је да се утврди утицај различитих метода на ниво стеченог знања из области рада на *CNC* машинама и безбедности на раду.

Треће истраживање (Истраживање В) било је усмерено на испитивање дуготрајности памћења усвојених садржаја. Ово истраживање је спроведено након временске дистанце од четири месеца, како би се упоредила одрживост знања код ученика оспособљених традиционалним и *VR* моделом.

Резултати сва три истраживања представљени су у наставку текста кроз дескриптивну и инференцијалну статистичку анализу, са посебним освртом на односе између независних и зависних варијабли у сваком истраживачком оквиру. Такође, у овом делу рада извршена је упоређивање добијених резултата истраживања са постојећим истраживањима у овој области, као и поређење конвенционалног начина оспособљавања и предложеног модела оспособљавања.

4.1. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА А

Прикупљање и организација података везаних за истраживање А приказани су на слици 25 и у табелама од 8 до 11.

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	ID	Numeric	3	0		None	None	12	Right	Scale	Input
2	Pol	Numeric	1	0		{1, muški}...	None	12	Right	Nominal	Input
3	God.st	Numeric	1	0	God. st.	{1, od 18 do...	None	12	Right	Nominal	Input
4	Str.sp	Numeric	1	0	Str.sp.	{1, NK}...	None	12	Right	Nominal	Input
5	Rad.stažna...	Numeric	1	0	Rad. staž na C...	{1, do 1 god...	None	12	Right	Nominal	Input
6	ZnanjeoVR	Numeric	1	0	Znanje o VR	{1, Imam}...	None	12	Right	Nominal	Input
7	ZnanjeoZNR...	Numeric	1	0	Znanje o ZNR u...	{1, Imam}...	None	12	Right	Nominal	Input
8	VR1	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
9	VR2	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
10	VR3	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
11	VR4	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
12	VR5	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
13	VR6	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
14	VR7	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
15	VR8	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
16	VR9	Numeric	1	0		{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
17	UMKVR	Numeric	8	2	Ukupno moguć...	None	None	10	Right	Scale	Input
18											
19											
20											
21											

Слика 31. Приказ и организације прикупљених података у SPSS софтверу

Табела 8. Пол

	Број	Процент
Мушки	99	87%
Женски	15	13%
Укупно	114	100%

Табела 9. Године старости

	Број	Процент
18-30 год.	30	26,3%
30-40 год.	54	47,3%
Преко 40	30	26,3%
Укупно	114	100%

Табела 10. Степен стручне спреме

	Број	Процент
Неквалификовани радник	3	2%
Квалификовани радник	34	30%
Средња стручна спрема	77	68%
Укупно	114	100%

Табела 11. Дужина радног стажа на CNC машинама

	Број	Процент
До 1 год.	20	18%
1 - 5 год.	56	49%
5 - 10 год.	27	24%
Преко 10 год.	11	9%
Укупно	114	100%

Испитивање нормалности дистрибуције резултата извршено је у циљу одабира статистичке методе за обраду добијених резултата. Ово испитивање приказано је у табели 12.

Табела 12. Испитивање нормалности дистрибуције резултата

		Статистика	Стандардне грешке	
Укупно могућност кориштења VR	Аритметичка средина	31,1491	,23550	
	95% интервал поузданости за арит.средину	Доња граница	30,6825	
		Горња граница	31,6157	
	Средња вриједност з одбачених 5 % екстремних резултата	31,1920		
	Медијана	31,0000		
	Варијанса	6,323		
	Стандардна девијација	2,51450		
	Минимална вриједност	25,00		
	Максимална вриједност	37,00		
	Распон	12,00		
	Интерквартилни распон	4,00		
	Скјунис	-,195	,226	
	Куртозис	-,247	,449	

Пошто је видљиво да су вредности за скјунис и куртозис у колони статистика негативне, може се закључити да дистрибуција добијених резултата одступа од нормалне расподеле. Негативна вредност скјунис указује на асиметрију у леву страну, што значи да већи број испитаника има резултате изнад просека. Истовремено, негативна вредност куртозис указује на то да је расподела више раширена и са мање израженим „врхом“ него што је то случај код нормалне расподеле. Имајући у виду наведено, примена параметарских статистичких метода није оправдана, те је у даљој анализи неопходно користити непараметарске статистичке методе које не подразумевају нормалност расподеле. Након испитивања нормалности дистрибуције резултата извршено је тестирање статистичке корелације независних варијабли са зависним варијаблама (Табела 13).

Табела 13. Тестирање статистичке корелације независних варијабли са зависним варијаблама

Корелације				
			Пол	Укупно могућност кориштења <i>VR</i>
(Spearman's rho) Спирманов коефицијент корелације	Пол	Коефицијент корелације	1,000	-,054
		Статистичка значајност	.	,565
		Број испитаника	114	114
	Укупна могућност кориштења <i>VR</i>	Коефицијент корелације	-,054	1,000
		Статистичка значајност	,565	.
		Број испитаника	114	114
Корелације				
			Укупно могућност кориштења <i>VR</i>	Године старости
(Spearman's rho) Спирманов коефицијент корелације	Укупно могућност кориштења <i>VR</i>	Коефицијент корелације	1,000	,033
		Статистичка значајност	.	,726
		Број испитаника	114	114
	Године старости.	Коефицијент корелације	,033	1,000
		Статистичка значајност	,726	.
		Број испитаника	114	114
Корелације				
			Укупно могућност кориштења <i>VR</i>	Стручна спрема
(Spearman's rho) Спирманов коефицијент корелације	Укупно могућност кориштења <i>VR</i>	Коефицијент корелације	1,000	,140
		Статистичка значајност	.	,136
		број испитаника	114	114
	Стручна спрема.	Коефицијент корелације	,140	1,000
		Статистичка значајност	,136	.
		Број испитаника	114	114

Овим статистичким тестовима утврђено је да не постоји значајна корелација између независних варијабли као што су пол, године старости и стручна спрема, са зависним варијаблама које су предмет истраживања у овој докторској дисертацији. То значи да ове независне варијабле, које описују основне демографске и професионалне карактеристике испитаника, немају утицај на резултате у оквиру овог истраживања. У том смислу, ове варијабле служе пре свега као информативни подаци о профилу радника и не представљају кључне факторе који објашњавају варијабилност у посматраним зависним променљивим у овом истраживању.

Једина статистички значајна корелација у овом истраживању утврђена је између варијабле која представља дужину радног стажа на *CNC* машинама и зависних варијабли. Овај налаз је и очекиван и логичан, с обзиром на то да променљиве као што су пол, године старости, па чак и стручна спрема, нису довољно утицале на разлике у ставовима или мишљењима испитаника у вези са могућношћу коришћења *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад. Другим речима, радно искуство и практична примена *CNC* машина представљају значајнији фактор у формирању ставова о овом виду технологије, док демографски и образовни параметри имају мањи утицај на ту перцепцију.

Табела 14. Тестирање статистичке корелације радног стажа на *CNC* машинама и укупне могућности коришћења *VR*

Корелације				
			Радни стаж на <i>CNC</i> машини	Укупно могућност коришћења <i>VR</i>
(Spearman's rho) Спирманов коефицијент корелације	Радни стаж на <i>CNC</i> машини	Коефицијент корелације	1,000	,204*
		Статистичка значајност	.	,029
		Број испитаника	114	114
	Укупно могућност коришћења <i>VR</i>	Коефицијент корелације	,204*	1,000
		Статистичка значајност	,029	.
		Број испитаника	114	114

*.Корелација је на нивоу значајности 0,05

С обзиром на то да је утврђена статистички значајна корелација између варијабле дужина радног стажа и појединих зависних варијабли, у наредној табели приказан је степен и правац те повезаности за сваку зависну варијаблу појединачно. На тај начин омогућен је јаснији увид у интензитет и карактер односа између посматраних варијабли.

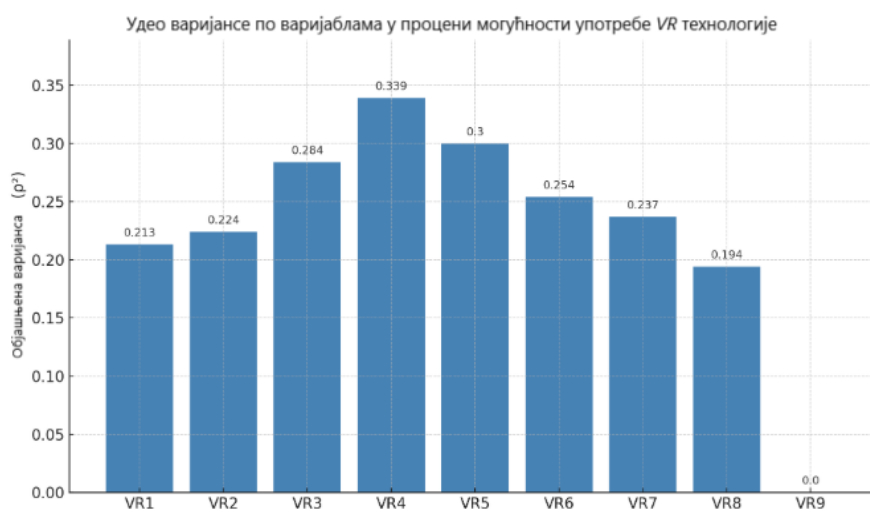
Табела 15. Ниво корелације за сваку зависну варијаблу

			VR1	VR2	VR3	VR4	VR5	VR6	VR7	VR8	VR9	
Спирманов коэффициент корелације (rho)	Могућност кориштења VR	Коефицијент корелације	.461**	.473**	.533**	.582**	.548**	.504**	.487**	.441**	-.018	
		Статистичка значајност	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.849
		Број испитаника	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114

Резултати Спирманове корелације показују да постоји статистички значајна позитивна веза између дужине радног стажа и већине ставки мерне скале које се односе на процену могућности кориштења VR технологије у оспособљавању радника за безбедан и здрав рад. Испитаници са дужим радним стажом у већој мери позитивно оцењују различите аспекте примене VR технологије и то од јасноће садржаја до разумевања безбедносних процедура.

Посебно се издваја варијабла VR4, „Садржај едукативног материјала на VR наочарама је довољан за иницијална знања о управљању CNC машином“, са највишим коефицијентом корелације ($\rho = 0.582$, $p < 0.01$) и VR5, „Путем едукативног садржаја на VR наочарама схватио сам потребна лична заштитна средства за рад на CNC машини“, са другим највишим коефицијентом корелације ($\rho = 0.548$, $p < 0.01$). Ово указује да управо перцепција квалитета и довољности садржаја у VR окружењу најснажније утиче на општи утисак о могућности примене VR технологије у контексту оспособљавања.

Према додатној анализи (Слика 26), овај степен корелације значи да садржај едукативног материјала на VR наочарама (VR4) објашњава око 34% варијансе у одговорима испитаника на скали процене могућности употребе VR у оспособљавању ($\rho^2 = 0.582^2 \approx 0.34$). Овај податак има посебну тежину јер указује да квалитет и релевантност едукативног садржаја у VR окружењу нису само субјективне импресије, већ статистички значајан фактор у обликовању ставова радника.



Слика 32. Варијансе по варијаблама истраживања

Све остале варијабле (осим VR9, која мери нелагоду током коришћења VR наочара) такође показују позитивну и статистички значајну корелацију на нивоу значајности $p < 0.01$. Варијабла VR9 показује веома ниску и статистички незначајну корелацију ($\rho = -0.018$; $p = 0.849$), што значи да физичка нелагода при коришћењу VR опреме нема утицај на општу процену могућности њене употребе у едукативне сврхе. На основу добијених резултата истраживања можемо закључити да искуснији радници прецизније препознају вредност добро структурираног VR садржаја и реалистичног приказа радног окружења у процесу едукације. Провера статистички значајних разлика унутар четири групе испитаника, варијабле дужина радног стажа на CNC машинама (ANOVA тест), приказане су у табели 16

Табела 16. Провера статистички значајних разлика

ANOVA						
		Сума квадрата	Степени слободе	Средња квадратна вредност	Вредност	Статистичка значајност
VR1	Између група	,334	4	,084	,345	,847
	Унутар група	26,446	109	,243		
	Укупно	26,781	113			
VR2	Између група	1,508	4	,377	,747	,562
	Унутар група	54,983	109	,504		
	Укупно	56,491	113			
VR3	Између група	,851	4	,213	,664	,618
	Унутар група	34,903	109	,320		
	Укупно	35,754	113			
VR4	Између група	2,774	4	,694	1,540	,196
	Унутар група	49,085	109	,450		
	Укупно	51,860	113			
VR5	Између група	1,926	4	,481	,936	,446
	Унутар група	56,074	109	,514		
	Укупно	58,000	113			
VR6	Између група	4,796	4	1,199	4,091	,004
	Унутар група	31,941	109	,293		
	Укупно	36,737	113			
VR7	Између група	2,187	4	,547	1,638	,170
	Унутар група	36,383	109	,334		
	Укупно	38,570	113			
VR8	Између група	1,319	4	,330	1,022	,399
	Унутар група	35,172	109	,323		
	Укупно	36,491	113			

Табела 16(Наставак). Провера статистички значајних разлика

VR9	Између група	2,579	4	,645	,599	,664
	Унутар група	117,360	109	1,077		
	Укупно	119,939	113			

Од девет анализираних варијабли, само VR6 показује статистички значајну разлику између група независне варијабле дужина радног стажа на CNC машинама ($p = 0.004$), а све остале варијабле немају статистички значајне разлике ($p > 0.05$). Ово у суштини значи да разлика у годинама радног стажа не доноси разлику у ставовима по питању примене технологије виртуелне стварности у оспособљавању за безбедан и здрав рад. Односно указује да су слични ставови по питању технологије VR у различитим групама по дужини радног стажа.

Пошто је у претходним анализама доказана постојећа корелација између варијабле „дужина радног стажа“ и зависних варијабли које су предмет истраживања, резултати те корелације су детаљније обрађени применом дескриптивне статистике (Табела 17). Ова анализа има за циљ да пружи упоредни приказ и боље разумевање утицаја дужине радног стажа на перцепцију о приказаном VR садржају, који симулира процес рада и процес оспособљавања за безбедан и здрав рад.

Табела 17. Резултати дескриптивне статистике

Радни стаж на CNC машини		VR1	VR2	VR3	VR4	VR5	VR6	VR7	VR8	VR9
до 1 година	Аритметичка средина	3,95	4,00	3,24	2,76	3,81	2,81	2,81	4,33	1,86
	Број испитаника	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	Стандардна девијација	,384	,632	,539	,831	,680	,680	,512	,577	,854
од 1 до 5 година	Аритметичка средина	4,04	4,27	3,16	3,09	4,07	3,27	3,18	4,48	2,16
	Број испитаника	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Стандардна девијација	,466	,674	,565	,640	,735	,522	,606	,603	1,023
од 5 до 10 година	Аритметичка средина	4,11	4,19	3,11	3,11	4,00	3,11	3,04	4,63	2,07
	Број испитаника	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Стандардна девијација	,577	,786	,577	,577	,679	,506	,587	,492	1,174

Табела 17 (Наставак). Резултати дескриптивне статистике

преко 10 година	Аритмети-чка средина	4,10	4,00	2,90	3,10	4,00	2,80	3,00	4,50	2,30
	Број испитаника	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Стандардна девијација	,568	,816	,568	,738	,816	,422	,471	,527	1,059
укупно	Аритмети-чка средина	4,04	4,18	3,14	3,04	4,00	3,11	3,06	4,49	2,10
	Број испитаника	114	114	114	114	114	114	114	114	114
	Стандардна девијација	,487	,707	,563	,677	,716	,570	,584	,568	1,030

У циљу испитивања ставова испитаника о могућностима употребе виртуелне стварности у процесу обуке за рад на *CNC* машинама, спроведена је дескриптивна статистичка анализа девет тврдњи (означених као VR1 до VR9), при чему су резултати приказани у зависности од радног стажа испитаника на *CNC* машинама. Укупно је анкетирано 114 испитаника подељених у четири групе према дужини радног искуства: до 1 године, од 1 до 5 година, од 5 до 10 година и преко 10 година радног стажа.

Резултати анализе показују да испитаници генерално имају позитивне ставове према употреби *VR* технологије у обуци за безбедан и здрав рад. Укупни средњи резултати указују на то да су највише оцене добиле тврдње које се односе на разумевање безбедносних процедура кроз *VR* (VR8; $M=4,49$; $SD=0,568$), као и реалистичан приказ радног места који *VR* технологија омогућава (VR2; $M=4,18$; $SD=0,707$). Ове високе оцене су индикативне за висок степен прихватања технологије у контексту едукације о безбедности и радном окружењу.

Такође, високо су оцењене тврдње које се односе на јасноћу садржаја обуке (VR1; $M=4,04$; $SD=0,487$) и разумевање личне заштите при раду на *CNC* машини (VR5; $M=4,00$; $SD=0,716$), што указује на то да испитаници перципирају *VR* као користан алат за стицање основних безбедносних знања и вештина.

С друге стране, најниже оцене добиле су тврдње VR3 ($M=3,14$; $SD=0,563$) и посебно VR4 ($M=3,04$; $SD=0,677$), које се односе на разумевање начина рада и стицање иницијалних знања о управљању *CNC* машином путем *VR* садржаја. Ово може указивати на то да, иако *VR* добро симулира радно окружење и подстиче разумевање безбедносних аспеката, он још увек није довољно разрађен као примарни извор за стицање техничких вештина везаних за *CNC* машинску обраду. Према томе, *VR* се више доживљава као допуна традиционалној едукацији, а не као њена потпуна замена.

Такође, мерена је и перцепција физичке нелагоде приликом коришћења *VR* технологије (VR9), која је добила релативно ниску оцену ($M=2,10$; $SD=1,030$), што значи да већина испитаника није имала изражене симптоме као што су главобоља, бол у очима

или нејасна слика. Овакав резултат је значајан јер указује на добру технолошку прилагођеност и удобност *VR* уређаја у контексту обуке.

Посматрајући резултате по групама радног стажа, уочава се да испитаници са средњим стажом (од 1 до 10 година) доследно дају више оцене код већине тврдњи, посебно у погледу јасноће садржаја, реалистичности симулације и разумевања безбедносних аспеката. Супротно томе, испитаници са најмање стажа (до 1 године) показују нешто нижи ниво перцепције ефикасности *VR* обуке, нарочито у домену техничких аспеката (нпр. VR3 и VR4). Испитаници са најдужим стажом (преко 10 година) показују стабилне, али умерене оцене, што може указивати на одређени отпор према новим технологијама или мању потребу за основном *VR* обуком.

4.2.РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА Б

Прикупљање и организација података везаних за истраживање Б приказани су на слици 33.

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	ID	Numeric	3	0		None	None	12	Right	Scale	Input
2	Pol	Numeric	1	0		{1, muški}...	None	12	Right	Nominal	Input
3	ZnanjeCNC	Numeric	1	0	Pret.znanje CNC	{1, ima}...	None	12	Right	Nominal	Input
4	ZnanjeZNR	Numeric	1	0	Pret. znanje ZNR	{1, ima}...	None	12	Right	Nominal	Input
5	NO	Numeric	1	0		{1, na CNC ...	None	12	Right	Nominal	Input
6	CNC1	Numeric	2	0	CNC 1	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
7	CNC2	Numeric	2	0	CNC 2	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
8	CNC3	Numeric	2	0	CNC 3	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
9	CNC4	Numeric	2	0	CNC 4	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
10	CNC5	Numeric	2	0	CNC 5	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
11	ZNR1	Numeric	2	0	ZNR 1	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
12	ZNR2	Numeric	2	0	ZNR 2	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
13	ZNR3	Numeric	2	0	ZNR 3	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
14	ZNR4	Numeric	2	0	ZNR 4	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
15	ZNR5	Numeric	2	0	ZNR 5	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
16	ZNR6	Numeric	2	0	ZNR 6	{1, uopšte s...	None	12	Right	Scale	Input
17	UCNC	Numeric	8	2	Ukupno znanje ...	None	None	10	Right	Scale	Input
18	UZNR	Numeric	8	2	Ukupno znanje ...	None	None	10	Right	Scale	Input
19											

Слика 33. Приказ организације прикупљених података истраживања у SPSS софтверу

У наредним табелама приказани су резултати истраживања који се односе на независне варијабле.

Табела 18. Пол

		Фреквенција	Процент	Важећи проценат	Кумулативни проценат
П	мушки	147	84,5	84,5	84,5
	женски	27	15,5	15,5	100,0
Л	укупно	174	100,0	100,0	

Табела 19. Резултати о претходном знању у области CNC технологија

		Фреквенција	Процент	Важећи проценат	Кумулативни проценат
Знање CNC	има	13	7,5	7,5	7,5
	нема	161	92,5	92,5	100,0
	укупно	174	100,0	100,0	

Табела 20. Резултати о претходном знању у области БЗР

		Фреквенција	Процент	Важећи проценат	Кумулативни проценат
Знање БЗР	има	15	8,6	8,6	8,6
	нема	159	91,4	91,4	100,0
	укупно	174	100,0	100,0	

Табела 21. Резултати о начину оспособљавања

		Фреквенција	Процент	Важећи проценат	Кумулативни проценат
Укупно	На CNC машини	87	50,0	50,0	50,0
	VR 360 ⁰	87	50,0	50,0	100,0
	Укупно	174	100,0	100,0	

Поузданост мерне скале – с обзиром да је ово истраживање конципирано као компаративна анализа ефеката два начина оспособљавања, било је неопходно утврдити поузданост мерних скала зависних варијабли, како би се осигурала валидност и релевантност добијених резултата. Провера поузданости извршена је путем коефицијента интерне конзистентности, односно Кронбахове алфе, који омогућава процену степена у којем су ставке унутар скале међусобно повезане (Табела 22 и 23). Вредности α веће од 0,70 сматрају се задовољавајућим за друштвена истраживања, док вредности ближе 0,90 указују на високу поузданост скале. На овај начин је омогућено да се резултати интерпретирају с већим поверењем у стабилност и конзистентност инструмента мерења.

Табела 22. Поузданост мерне скале за варијабле „Знање о начину рада на CNC машини“

	Просек скале ако се ставка избрише	Дисперзија скале ако се ставка избрише	Коригована корелација ставке и укупног резултата	Квдрат мултипле корелације	Кронбахова алфа ако се ставка избрише
CNC 1	15.36	9.527	.721	.536	.852
CNC 2	15.44	9.115	.680	.491	.862
CNC 3	15.41	9.365	.714	.512	.853
CNC 4	15.48	9.187	.718	.552	.852
CNC 5	15.48	8.806	.733	.563	.849

Провером унутрашње поузданости мерне скале, добијена је вредност Кронбахове алфе од приближно 0,85, што указује на високу поузданост скале. Све ставке показују

задовољавајуће кориговане корелације са укупним резултатом (изнад 0,68), што значи да су добро усклађене и доприносе конзистентности скале.

Такође, ниједна ставка не би значајно побољшала поузданост скале уколико би била уклоњена, што додатно потврђује квалитет конструисаног инструмента.

Табела 23. Поузданост мерне скале за варијабле „Знање о БЗР“

	Просек скале ако се ставка избрише	Дисперзија скале ако се ставка избрише	Коригована корелација ставке и укупног резултата	Квдрат мултипле корелације	Кронбахова алфа ако се ставка избрише
ZNR 1	18.53	13.915	.664	.476	.869
ZNR 2	18.60	13.096	.714	.535	.861
ZNR 3	18.49	13.789	.671	.475	.868
ZNR 4	18.74	13.698	.659	.456	.870
ZNR 5	18.64	13.111	.724	.555	.860
ZNR 6	18.55	13.000	.745	.585	.856

Показатељи унутрашње поузданости указују да је скала високо поуздана, са вредношћу Кронбахове алфе од приближно 0,87. Све ставке имају високе кориговане корелације са укупним резултатом (у распону од 0,659 до 0,745), што указује на добру усклађеност сваке ставке са остатком скале. Такође, вредности Кронбахове алфе у случају брисања појединачних ставки не показују значајна побољшања, што значи да ниједна ставка не нарушава унутрашњу конзистентност инструмента. На основу тога, може се закључити да је скала поуздан инструмент за процену ставова у вези са безбедним и здравим радом.

Анализа нормалности расподеле података - у циљу процене нормалности расподеле података, израчунате су вредности мере асиметрије (*Skewness*) и зашиљености (*Kurtosis*) за све укључене варијабле. Табела 24 показује да већина променљивих, као што су „Пол“, „Знање из CNC технологије“, „Знање из области безбедности и здравља на раду“ и „НО“, не испуњавају услове нормалне расподеле. Вредности мере асиметрије код ових променљивих прелазе границе ± 1 , што указује на значајну девијацију од симетричне расподеле. Нарочито високе негативне вредности *Skewness* и позитивне вредности *Kurtosis* указују на нагомилавање испитаника у једној категорији и оштру расподелу резултата, што је очекивано код дихотомних и номиналних променљивих.

Табела 24. Анализа нормалности расподеле података

	Број испитаника	Минимално	Максимално	Аритметичка средина	Стандардна девијација	Асиметричност		Спљоштеност	
	Статистика	Статистика	Статистика	Статистика	Статистика	Статистика	Стандардна грешка	Статистика	Стандардна грешка
Пол	174	1	2	1.16	.363	1.921	.184	1.711	.366
Знање CNC	174	1	2	1.93	.264	-3.263	.184	8.749	.366
Знање ZNR	174	1	2	1.91	.281	-2.974	.184	6.926	.366
NO	174	1	2	1.50	.501	.000	.184	-2.023	.366
Укупно знање CNC	174	9.00	25.00	19.2931	3.73551	-.576	.184	-.475	.366
Укупно знање ZNR	174	11.00	30.00	22.3103	4.34844	-.485	.184	-.357	.366

С друге стране, збирне (квантитативне) варијабле „Укупно знање из CNC технологије“ и „Укупно знање из области безбедности и здравља на раду“ показују вредности *Skewness* и *Kurtosis* унутар прихватљивог интервала (± 1), што указује на приближно нормалну расподелу ових података. Ипак, имајући у виду да већина укључених променљивих у анализи не испуњава претпоставку о нормалној расподели, одлучено је да се у даљој статистичкој обради података примењују непараметарске статистичке методе, које не захтевају нормалност расподеле као предуслов.

Mann-Whitney test - за потребе анализе разлика у ефектима различитих начина оспособљавања, примењен је *Mann-Whitney U* тест, као непараметарска метода погодна за поређење две независне групе. Тестирана је статистички значајна разлика у знању испитаника у две области (Табела 25): прво, у погледу „Знања о начину рада на CNC машини“, које је добијено као збирна вредност варијабли CNC1 до CNC5, и друго, у погледу „Знања за безбедан рад на CNC машини“, заснованог на збирним вредностима варијабли ZNR1 до ZNR6.

Табела 25. Mann-Whitney тест

Статистика теста ^а		
	Знање о начину рада на CNC машини	Знање за безбедан рад на CNC машини
Mann-Whitney U	3491.500	3259.500
Wilcoxon W	7319.500	7087.500
Z вредност	-.885	-1.585
Асимптотска значајност (двострани тест)	.376	.113
а. групна варијабла: начин оспособљавања		

Mann-Whitney U тест није утврдио статистички значајне разлике у нивоу знања о начину рада и знања за безбедан рад на *CNC* машинама у зависности од начина оспособљавања, било традиционалног на *CNC* машинама или коришћењем *VR* технологије. За знање о начину рада на *CNC*, медијана за традиционални начин оспособљавања износила је 18,97 ($n = 87$), док је за групу која је користила *VR* технологију била 19,62 ($n = 87$), уз вредности $U = 3491,5$, $z = -0,88$ и $p = 0,38$, што указује на недостатак статистички значајне разлике (ефекат $r = 0,07$, што је веома мали ефекат).

Слично, за знање о безбедном раду на *CNC* машинама, медијана је била 21,72 за традиционалну групу и 22,9 за *VR* групу, са вредностима $U = 3259,5$, $z = -1,58$ и $p = 0,11$, што такође није статистички значајно, а ефекат је мали ($r = 0,12$).

Ови резултати указују да начин оспособљавања (традиционални или *VR*) није довео до значајних разлика у нивоу знања испитаника, иако се медијане показују мало вишим у корист *VR* групе, али не довољно да се та разлика статистички потврди.

Median test (тест медијане) је непараметарски статистички тест који се користи за проверу да ли две или више група имају исту медијану. Он не претпоставља нормалну расподелу података и погодан је средство када желимо да упоредимо централну тенденцију код група код којих подаци нису нормално распоређени или када постоје изражени екстреми (*outliers*).

За разлику од теста *Mann-Whitney U*, који упоређује расподелу вредности између група, *Median test* директно проверава да ли је средња вредност (медијана) иста у свим групама (Табела 26).

Табела 26. *Median test*

Нулта хипотеза	Тест	Значајност	Одлука
1. медијане укупног знања о <i>CNC</i> машинама су исте у свим категоријама NO	Тест медијане за независне узорке	,647	Задржава се нулта хипотеза
2. медијане укупног знања о <i>ZNR</i> нису исте у свим категоријама NO	Тест медијане за независне узорке	,121	Задржава се нулта хипотеза

Приказане су асимптотске значајности. Ниво значајности је 0,05.

Добијени резултати показују да не постоји статистички значајна разлика у медијани укупног знања о *CNC* машинама између полазника који су обучавани традиционалним методама и оних који су користили *VR* технологију ($Sig. = 0,647$). Слично томе, није утврђена ни статистички значајна разлика у укупном знању о безбедном раду на *CNC* машинама у односу на примењени начин обуке ($Sig. = 0,121$).

На основу ових налаза може се закључити да у испитиваном узорку начин оспособљавања (традиционални или *VR*) није имао значајан утицај на медијан постигнутог знања у наведеним областима.

Упоредна анализа резултата - пошто анализе нису показале постојање статистички значајних разлика у начину оспособљавања, може се приступити спровођењу упоредне анализе добијених резултата за оба начина оспособљавања, како је приказано у табели 27.

Табела 27. Упоредна анализа добијених резултата за варијабле о знању на *CNC* машини

Начин оспособљавања		CNC 1	CNC 2	CNC 3	CNC 4	CNC 5
на <i>CNC</i> машини	Аритметичка средина	3,87	3,76	3,79	3,76	3,78
	Број испитаника	87	87	87	87	87
	Стандардна девијација	,818	1,000	,990	1,011	1,104
<i>VR 360°</i>	Аритметичка средина	3,99	3,94	3,97	3,87	3,85
	Број испитаника	87	87	87	87	87
	Стандардна девијација	,856	,907	,738	,790	,815

Анализом просечних оцена за сваку појединачну тврдњу (*CNC1–CNC5*) уочава се да ученици који су прошли обуку коришћењем *VR 360°* технологије доследно дају нешто више просечне оцене у поређењу са ученицима који су били обучени на традиционалан начин, директно на *CNC* машини.

За тврдњу *CNC1* („Оспособљавањем сам савладао коришћење листе програма и начин одабира програма“), група са *VR* обуком има просечну оцену 3,99, у односу на 3,87 у групи традиционалне обуке. Код *CNC2* („Савладао сам појмове умеравња алата и обрадка“), *VR* група бележи оцену 3,94, а традиционална 3,76. За *CNC3* („Савладао сам начин прегледа симулације *NC* програма“) резултати су 3,97 (*VR*) према 3,79 (традиционална). Сличан образац се појављује и код *CNC4* („Савладао сам пуштање машине у рад“) – 3,87 (*VR*) према 3,76 (традиционална), као и код *CNC5* – 3,85 (*VR*) у односу на 3,78 (традиционална). Такође, стандардне девијације су у већини случајева ниже у *VR* групи, што може указивати на нешто уједначенију перцепцију учесника о степену усвојености садржаја. На основу ових резултата може се закључити да ученици који су користили *VR 360°* током оспособљавања имају благо позитивнији утисак о усвојености кључних знања и вештина у раду на *CNC* машинама. Иако разлике у просечним оценама нису велике, доследност тренда указује на потенцијал виртуелне стварности да допринесе ефикаснијем и самопоузданијем учењу у овом домену.

Анализом резултата анкете (Табела 28) која је обухватила тврдње везане за безбедност и здравље на раду при раду на *CNC* машинама (*ZNR1 – ZNR6*), уочава се да ученици који су били обучавани коришћењем *VR 360°* технологије постижу више просечне оцене у већини тврдњи, у поређењу са онима који су били обучавани традиционално – на *CNC* машини.

Табела 28. Упоредна анализе добијених резултата за варијабле о знању БЗР

Начин оспособљавања		ZNR 1	ZNR 2	ZNR 3	ZNR 4	ZNR 5	ZNR 6
На CNC машини	Аритметичка средина	3,78	3,61	3,62	3,59	3,59	3,54
	Број испитаника	87	87	87	87	87	87
	Стандардна девијација	,908	1,060	,892	,971	1,040	,974
VR 360°	Аритметичка средина	3,78	3,80	4,01	3,56	3,76	3,98
	Број испитаника	87	87	87	87	87	87
	Стандардна девијација	,813	,819	,814	,831	,821	,849

За тврдњу ZNR1 („Упознат сам са радним простором намењеним за рад на CNC машини“) обе групе показују исту просечну оцену 3,78, што указује на сличан ниво разумевања о радном окружењу без обзира на начин обуке. За тврдњу ZNR2 („При оспособљавању разумео сам механичке опасности које се појављују на радном месту CNC оператера“) VR група бележи већу просечну оцену 3,80 у односу на 3,61 у традиционално обученој групи, што сугерише бољу перцепцију ризика при употреби VR технологије. Тврдња ZNR3 („Разумео сам коју личну заштитну опрему треба да користим“) добија оцену 4,01 код VR групе, што је значајно више у односу на 3,62 код групе обучене на машини. За тврдњу ZNR4 („Упознат сам са системима заштите на CNC машини“), традиционално обучени ученици постижу незнатно већу оцену 3,59, у односу на 3,56 код VR групе – што је једини случај у којем традиционални приступ има предност. У погледу тврдње ZNR5 („Разумео сам штетности које се појављују на радном месту CNC оператера“) и ZNR6 („Разумео сам опасности од електричне енергије које се појављују на радном месту CNC оператера“) VR група поново постиже боље оцене – 3,76 и 3,98, у односу на 3,59 и 3,54 у другој групи.

4.3 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА В

Резултати теста знања (Табела 29) приказани су у облику процента тачних одговора на појединачна питања, што омогућава прецизнију анализу нивоа усвојеног знања код испитаника. Ови подаци су систематизовани и представљени у табели, чиме се омогућава увид у то која су конкретна питања била најуспешније решена.

Табела 29. Резултати теста знања

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	Σ
Ученици оспособљени традиционалним начином	77%	60%	83%	77%	90%	63%	50%	70%	63%	67%	70%
Ученици оспособљени применом VR360°	77%	90%	57%	83%	87%	87%	80%	60%	53%	87%	76%

Поређењем резултата две групе ученика, који су оспособљавани традиционалним путем и применом *VR360°* технологије, уочава се да су ученици обучавани уз помоћ *VR* технологије остварили нешто бољи укупни резултат (76% прецизних одговора) у односу на традиционалну групу (70%).

PC1 – „Начин пуштања машине у рад“ – Обе групе показују једнако добар ниво знања (77%), што указује да је ова тема добро усвојена без обзира на начин оспособљавања.

PC2 – „Шта садржи радно место CNC оператера“ – Ученици обучавани *VR* технологијом постижу значајно бољи резултат (90%) у односу на традиционално обучене (60%), што може значити да визуелна и интерактивна обука помаже бољем разумевању простора и опреме на радном месту.

PC3 – „Безбедност процедура на CNC машини“ – Традиционална група има бољи проценат (83%) од *VR* групе (57%), што указује да су теоријски аспекти безбедносних процедура боље усвојени класичним методама.

PC4 – „Начин обраде на CNC глодалицама“ – Ученици обучавани *VR* технологијом имају бољи резултат (83%) од традиционалне групе (77%), што указује на боље разумевање практичних аспеката обраде путем визуелних симулација.

PC5 – „Обавезно коришћење ЛЗС“ – Резултати су приближни (традиционална 90%, *VR* 87%), што значи да је ово питање добро разумљиво у обе групе.

PC6 – „Опасности и штетности на CNC машинама“ – Значајно бољи резултат имају ученици који су обучавани уз *VR* (87%) у односу на традиционалне (63%), што говори о предности визуелне презентације опасности.

PC7 – „Бука, прашина и испарења на CNC машинама“ – *VR* група показује боље разумевање (80% у односу на 50%), што опет потврђује да интерактивна технологија може ефикасније пренети овакве информације.

PC8 – „Начин контроле производа на CNC машинама“ – Традиционална група је боља (70%) од *VR* групе (60%), што сугерише да су неки аспекти контроле боље покривени класичном наставом.

PC9 – „Управљачка јединица на CNC машинама“ – Традиционална група има бољи резултат (63% у односу на 53%), што показује да се одређени технички делови боље уче традиционално.

PC10 – „Најчешће повреде на CNC машини“ – Ученици обучавани *VR* технологијом имају значајно бољи резултат (87%) у поређењу са традиционалном групом (67%), што указује да *VR* може ефикасно да приближи опасности и безбедносне ризике.

Детаљније посматрано, ученици обучавани *VR* технологијом боље су одговорили на питања везана за садржај радног места (PC2), начин обраде (PC4), коришћење личне заштитне опреме (PC5), препознавање опасности и штетности (PC6), буку и прашину (PC7) и најчешће повреде (PC10). Ово указује на потенцијалну предност интерактивног и визуелног учења које *VR* пружа у разумевању комплекснијих и практичних аспеката безбедног рада. Са друге стране, традиционално обучени ученици боље су се снашли код

питања о безбедносним процедурама (PC3) и контроли производа (PC8), што може указивати на то да неки аспекти теоријске наставе остају релевантни за усвајање одређених знања.

4.4. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Основна идеја приликом конципирања истраживања за потребе ове докторске дисертације је разматрање могућности примене технологије виртуелне стварности у циљу унапређења процеса оспособљавања запослених у области безбедности и здравља на раду. Полазиште истраживања представља уверење да савремене технологије, као што је виртуелна стварност, могу значајно допринети подизању квалитета обуке, побољшању ангажованости полазника и ефикаснијем усвајању знања и вештина неопходних за безбедно извршавање радних задатака.

У оквиру докторске дисертације спроведена су три различита истраживања која се ослањају на јединствени модел оспособљавања за безбедан и здрав рад, осмишљен у складу са актуелним стандардима и потребама циљне групе. За потребе модела развијен је и прилагођен виртуелни едукативни садржај који симулира реалне радне ситуације у сврху унапређења процеса учења и практичне примене знања из области безбедности и здравља на раду. Овај садржај је дизајниран тако да омогући активну улогу полазника и већу интерактивност. Виртуелни садржај који је коришћен у истраживању креиран је у технологији *VR360°*, са циљем да се омогући боље разумевање ризичних ситуација и безбедносних протокола у различитим радним условима. У литератури, овакав облик едукативног садржаја препознат је као ефикасан и иновативан. *VR* и стерео-панорамска окружења за оспособљавање у области безбедности у грађевинском сектору развијена су у истраживању (*Jeelani и сарадници, 2020*), док се наводи да посебан сегмент примене виртуелне стварности чине и *360°* скенирани простори, фотографије и видео-записи, који обезбеђују висок ниво реалистичности и имерзије (*Rothe и сарадници, 2019*).

У првом спроведеном истраживању, у којем су учествовали радници запослени на радном месту *CNC* оператера, утврђено је да испитаници са дужим радним искуством на *CNC* машинама изражавају позитивније мишљење о примени *VR* технологија у процесу оспособљавања. Ова тенденција указује на то да радници са више радне праксе боље препознају потенцијал иновативних метода обуке, посебно у контексту безбедности и здравља на раду. У суштини, резултати свеобухватне анализе овог истраживања показују да већина испитаника генерално има афирмативне ставове према употреби виртуелне стварности у едукацији, што сугерише висок ниво прихватања технологије као подршке у стицању практичних знања и безбедносних вештина.

Добијени резултати у овом истраживању у великој мери се подударају са налазима претходних истраживања, чиме се потврђује релевантност добијених података. Употреба проширене и виртуелне стварности у индустријском оспособљавању показује се као ефективна за унапређење вештина и знања (*Gavish и сарадници, 2015*), док се истиче да виртуелно оспособљавање омогућава корисницима да на безбедан начин симулирају рад у опасним окружењима (*Bosché и сарадници, 2016*). Такође, позитивно мишљење испитаника о употреби *VR* технологије у складу је са наводима да *VR* оспособљавање има значајан потенцијал за унапређење процеса оспособљавања у домену безбедности и здравља на раду, нарочито у високоризичним индустријама (*Toyoda, Russo-Abegão и Glassey, 2022*).

С обзиром на сличност резултата овог истраживања са налазима других аутора, може се закључити да постоји реална могућност успешне примене *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад. Ови налази указују на то да употреба виртуелне стварности може значајно унапредити постојеће методе обуке, повећати ангажовање полазника, побољшати пренос знања у практичне ситуације и допринети стварању безбеднијег радног окружења.

Друго истраживање спроведено у оквиру ове докторске дисертације представља компаративну анализу два различита, али методолошки усклађена приступа оспособљавању за безбедан и здрав рад. Циљ овог истраживања био је да се утврде разлике и сличности између традиционалног облика оспособљавања и савременог модела који користи *VR* технологију као основ за пренос знања и симулацију реалних радних ситуација. Резултати су усмерени на приказ ефикасности оба приступа, са посебним акцентом на то у којој мери *VR* технологија може да унапреди процесе учења у односу на класичне методе. Важно је истаћи да су оба процеса оспособљавања реализована пратећи исте кораке унапред дефинисаног модела оспособљавања, чиме су обезбеђени услови за релевантну и упоредиву анализу ефеката различитих едукативних приступа.

Резултати другог истраживања указују на то да примењени начин оспособљавања било традиционални или заснован на употреби *VR* технологије – није довео до статистички значајних разлика у нивоу стеченог знања код испитаника. Добијени резултати сугеришу да употреба савремених технологија, као што је виртуелна стварност, може равноправно заменити традиционалне облике обуке у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, без губитка у ефикасности преноса знања. Напротив, иако статистички незначајна, анализа медијанских вредности показује благо виши ниво знања код испитаника који су били оспособљавани коришћењем *VR* технологије, што указује на додатне потенцијале и предности овог приступа, посебно у контексту визуелизације ризичних ситуација и активнијег учешћа полазника у процесу учења.

Добијени резултати добијају додатну потврду у релевантној литератури, у којој бројне студије указују на супериорност *VR* решења у односу на традиционалне методе обуке. Мета-анализе показују да су *VR* решења ефикаснија у стицању знања (*Chen и сарадници, 2020; Woon и сарадници, 2021; Howard и Gutworth, 2020; Merchant и сарадници, 2014*). Такође, анализа потврђује да су имерзивна решења, попут *VR* технологије, ефикаснија у поређењу са мање урањајућим системима (*Wu и сарадници, 2020*), док је ефекат знања стеченог кроз *VR* оспособљавање у односу на традиционалне облике оспособљавања оцењен као средњег до великог значаја (*Borenstein и сарадници, 2017; Higgins и сарадници, 2003; Durlak, 2009*).

Узевши све наведено у обзир, може се закључити да резултати овог истраживања упућују да је коришћењем *VR* технологије могуће унапредити процесе оспособљавања за безбедан и здрав рад, што је у складу са доминантним научним сазнањима и потврђује оправданост даље примене и развоја оваквих решења у области безбедности и здравља на раду.

Овим истраживањем потврђена је не само едукативна ефикасност већ и економска исплативост, односно прихватљивост примене *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад. На основу добијених резултата, који показују да се коришћењем

VR технологије може постићи ниво знања једнак оном који се постиже традиционалним методама обуке, долази се до важног закључка да је *VR* не само подједнако ефикасан, већ у појединим аспектима и исплативији у односу на конвенционалне облике оспособљавања.

Кључни параметар који указује на економску предност *VR* метода јесте значајно скраћено време потребно за оспособљавање једног полазника. Док је за традиционално оспособљавање потребно у просеку 48 минута по полазнику, обука уз примену *VR* садржаја траје само 10 минута. Осим тога, након једнократног креирања *VR* садржаја, у процесу оспособљавања није неопходно ангажовање стручног лица, јер учесници самостално пролазе кроз програм, што додатно смањује трошкове, а истовремено повећава доступност и флексибилност обуке.

Ови резултати налазе своју потврду и у релевантној литератури. Истиче се да је *VR* дугорочно исплативији у поређењу са традиционалним методама оспособљавања, посебно у контексту индустријског и техничког оспособљавања (*Grabowski u Jankowski, 2015; Patle u сарадници, 2019*). Додатно, указује се да *VR* не само да смањује време потребно за оспособљавање, већ у значајној мери редукује и трошкове укупног процеса (*Cardoso u сарадници, 2017*). Сви ови подаци упућују на закључак да *VR* представља одрживо, исплативо и ефикасно решење за савремене потребе оспособљавања у областима где је безбедност и здравље на раду од кључног значаја.

Треће истраживање, спроведено у оквиру анализе примене *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, било је усмерено на испитивање ефикасности дугорочног задржавања знања, односно на дужину памћења усвојеног едукативног садржаја. Циљ овог истраживања био је да се утврди да ли употреба виртуелне стварности као алата у обуци доприноси бољем и дугорочном памћењу у поређењу са традиционалним методама оспособљавања.

Резултати истраживања показују да је група испитаника која је прошла обуку користећи *VR* технологију остварила виши ниво знања чак и четири месеца након завршетка процеса оспособљавања, у односу на групу обучену традиционалним методама. Ови подаци указују на јасан ефекат дугорочног памћења у корист *VR* обуке. Поред тога, указује се да оспособљавање уз примену *VR* технологије доводи до повећања самопоуздања испитаника у препознавању опасних ситуација, чак и месец дана након спроведеног оспособљавања, чиме се додатно потврђује трајни ефекат овог приступа (*Zhao u Lucas, 2015*).

Подршка овим резултатима налази се у више независних научних студија. Тако, анализа више истраживања доследно показује да су *VR* решења супериорна у односу на традиционалне методе када је реч о дугорочном задржавању знања (*Portelli u сарадници, 2020; Kuaw u сарадници, 2019; Merchant u сарадници, 2014; Villena-Taranilla u сарадници, 2022*). Ове налазе потребно је посебно нагласити у контексту безбедности и здравља на раду, где је од суштинске важности да стечена знања и вештине буду не само усвојена већ и трајно задржана и примењена у пракси.

5. ЗАКЉУЧАК

Безбедност и здравље на раду представљају један од кључних сегмената у функционисању сваке организације, без обзира на њену величину или делатност. Основни циљ овог система је заштита запослених од потенцијалних ризика и штетности који могу настати у радном окружењу. Иако се безбедност често посматра као скуп прописаних процедура, њена суштина лежи у свести радника, знању и доследној примени превентивних мера. Управо због тога процес оспособљавања за безбедан и здрав рад има изузетно значајну улогу и не сме се посматрати формално, већ као континуиран и прилагођен процес у складу са ризицима радног места.

У пракси је потврђено да је највећи број повреда на раду последица недовољне обучености радника, непрепознавања опасности и недовољне пажње приликом извођења радних задатака. Због тога је од изузетне важности да сваки запослени буде адекватно оспособљен, не само кроз теоријску наставу, већ и кроз практичне симулације, посебно у индустријама високог ризика. Ефикасно оспособљавање доприноси смањењу броја повреда, већем нивоу продуктивности, као и већој безбедности запослених, што директно утиче на репутацију и одрживост саме компаније.

Увођењем савремених метода обуке, као што је употреба технологије виртуелне стварности, омогућава се симулација опасних ситуација у контролисаним условима, што значајно повећава ефикасност учења. Радници кроз овакве моделе могу на безбедан начин да развију вештине реаговања у кризним ситуацијама, што је нарочито важно за превенцију озбиљних акцидентата. Као и код сваког система, и овде је кључ успеха у континуитету, праћењу резултата обуке и њеном прилагођавању стварним потребама радног места. Због свега тога, јасан фокус на безбедност и стално унапређење процеса оспособљавања представљају основу за стварање здравијег и безбеднијег радног окружења, у којем се штите животи, смањују трошкови повреда и јачају људски ресурси као најважнији елемент сваке производне целине.

Научни циљ ове докторске дисертације је развој и валидација напредног модела оспособљавања радника за безбедан и здрав рад, који се ослања на савремене технологије виртуелне стварности и чија је примена могућа у различитим индустријским секторима. Овако конципиран модел има за циљ да унапреди ефикасност процеса оспособљавања, повећа степен интерактивности и учешћа запослених, те укаже на могућности примене иновативних приступа у образовању одраслих. Увођењем технологије виртуелне стварности омогућава се симулација реалних и ризичних радних ситуација у контролисаним условима, што не само да подиже квалитет обуке већ и доприноси бољем разумевању безбедносних процедура и усвајању жељених образаца понашања.

Један од значајних аспеката на који се ова докторска дисертација фокусира јесте унапређење едукативних материјала и методологије учења, у циљу повећања ангажованости полазника и мотивације за учешће у процесу оспособљавања. Иновативни приступи у образовању радника имају потенцијал да савремене начине обуке учине динамичнијим, практичнијим и ближим потребама радног места. Посебан акценат стављен је на чулне и визуелне ефекте, које *VR* омогућава током симулација, јер је управо таква вишеканална стимулација један од кључних фактора за трајније памћење и боље усвајање приказаних садржаја.

За потребе ове докторске дисертације, а у складу са предметом и циљевима истраживања, формулисана је општа хипотеза, из које су изведене четири помоћне/посебне хипотезе, чије је испитивање омогућило дубље сагледавање ефеката примене технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања радника за безбедан и здрав рад. Основна сврха постављених хипотеза била је да се, поред општег теоријског оквира, омогући и практично вредновање ефеката *VR* технологије кроз различите аспекте обуке, приступа учењу, степена усвојености знања и перцепције самих радника.

У циљу провере опште хипотезе, „Примена савремених технологија виртуелне стварности за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад утиче да се едукативни садржаји трајније усвајају и памте (захваљујући чулним и визуелним ефектима), и доприноси постизању високих перформанси у области безбедности и здравља на раду“, дефинисане су и анализиране помоћне хипотезе, чија је потврда омогућила вишеслојно сагледавање ефикасности модела оспособљавања радника за безбедан и здрав рад, који се ослања на савремене технологије виртуелне стварности.

Помоћна хипотеза X1: *Виртуелне технологије су једноставне за употребу, не захтевају посебну обуку, а представљају реално, сигурно и контролисано дигитално окружење за обуку.*

Ова хипотеза је емпиријски потврђена у истраживању спроведеном међу радницима са искуством рада на *CNC* машинама. Резултати упитника су показали висок степен сагласности испитаника са наведеном тврдњом, при чему је просечна оцена износила 3,47, што указује на позитивну перцепцију корисника о једноставности и функционалности *VR* технологије. Посебно је значајно што ова позитивна оцена долази од испитаника који већ имају радно искуство у индустријском окружењу, што показује да технологија није препрека чак ни за запослене који нису дигитално натпросечно писмени.

Додатну потврду ове хипотезе пружа и анализа статистичке корелације између дужине радног стажа и мишљења испитаника о употребљивости *VR* технологије. Резултати су показали да испитаници са дужим радним стажом на *CNC* машинама имају израженије позитивне ставове према могућностима примене виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад.

Помоћна хипотеза X2: *Применом технологије виртуелне стварности у оспособљавању за безбедан и здрав рад подиже се ефикасност обуке и интерактивност процеса учења (лице које спроводи обуку и лице које се обучава су активни учесници у процесу оспособљавања).*

Ова хипотеза потврђена је резултатима истраживања које је спроведено кроз компаративну анализу два различита начина оспособљавања радника. Добијени резултати истраживања су показали да не постоји статистички значајна разлика у нивоу усвојеног знања између испитаника оспособљених традиционалним методама и оних који су обучавани уз помоћ технологије виртуелне стварности. Међутим, важно је истаћи да су полазници који су прошли обуку коришћењем *VR* технологије показали тенденцију ка вишем нивоу знања, што указује на потенцијал овог приступа да повећа ефикасност саме обуке.

Поред тога, интерактивна природа *VR* обуке значајно повећава ангажованост и мотивацију полазника током процеса учења. У поређењу са традиционалним методама које се често заснивају на пасивном усвајању информација, *VR* технологија омогућава имерзивно и динамично окружење које подстиче активно учешће и дубље разумевање безбедносних процедура свих учесника у процесу.

Помоћна хипотеза Х3: *Постоји повезаност између конвенционалног начина оспособљавања и појаве монотоније што за последицу има смањење перформанси БЗР.*

Ова хипотеза је потврђена резултатима теста знања спроведеног четири месеца након завршене обуке. Наиме, испитаници који су били оспособљавани уз помоћ виртуелне технологије постигли су боље резултате у односу на групу која је прошла кроз класичан, традиционални облик оспособљавања. Ова разлика у дугорочном памћењу указује на предности имерзивног, визуелно и чулно обogaћеног окружења које *VR* технологија пружа, а које има позитиван утицај на ангажованост полазника, њихову мотивацију за учење, као и на дубљу когнитивну обраду представљених садржаја.

Помоћна хипотеза Х4: *Примена технологија виртуелне стварности за оспособљавање радника за безбедан и здрав рад је економски прихватљива.*

Ова хипотеза је потврђена кроз индиректну анализу односа између трајања процеса оспособљавања и постигнутог нивоа знања код полазника. Наиме, у истраживању је утврђено да се применом *VR* технологије може постићи исти ниво усвојеног знања као и традиционалним методама, што отвара могућност директног поређења економске исплативости два приступа. Упоредна анализа је показала да обука реализована уз помоћ *VR* садржаја траје знатно краће – у просеку 10 минута по полазнику, док класична, традиционална обука траје око 48 минута. Разлика у времену спровођења обука указује на значајан потенцијал уштеде времена, што у директном смислу подразумева и уштеду финансијских ресурса – како на нивоу трошкова радних сати, тако и у погледу организације и логистике процеса обуке. Додатно, вредно је истаћи да је, након креирања *VR* садржаја, процес обуке самовођен и не захтева ангажовање стручног предавача за сваког појединачног полазника. То резултира смањењем оперативних трошкова, као и могућношћу да се обука реализује више пута без додатних улагања у људске ресурсе.

Иако почетна инвестиција у *VR* опрему и развој садржаја може бити релативно висока, дугорочна анализа трошкова показује да се улагање исплати већ након неколико циклуса обуке, нарочито у системима где је потребно редовно и масовно оспособљавање запослених.

На основу добијених резултата истраживања и анализе истих, а у оквиру потврђивања постављених помоћних хипотеза, може се закључити да је и општа хипотеза овог истраживања потврђена. Све четири помоћне хипотезе дале су емпиријску потврду кључних елемената који подржавају ову тврдњу — од технолошке прихватљивости и лакоће коришћења, преко едукативне ефикасности и дугорочног памћења, па све до економске оправданости примене *VR* технологије. Ови налази заједно чине основу за усвајање опште хипотезе, јер показују да *VR* обука, поред иновативног приступа, заиста има и реалне, практичне ефекте у контексту безбедности и здравља на раду.

На основу свега претходно наведеног, може се с правом закључити да употреба технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања радника представља значајан корак напред у модернизацији образовања одраслих у области безбедности и здравља на раду. Она не само да омогућава боље разумевање и трајније усвајање безбедносних процедура, већ и подстиче већу мотивацију, интерактивност и активну улогу самих полазника у процесу учења. Стога, примена оваквих технологија на радном месту има потенцијал да значајно унапреди постојеће моделе оспособљавања, допринесе изградњи културе безбедности, смањи број повреда и унапреди целокупан систем управљања ризицима у радном окружењу.

Допринос ове докторске дисертације огледа се у унапређењу процеса оспособљавања за безбедан и здрав рад у индустријским системима применом технологије виртуелне стварности. Ова иновативна технологија доприноси повећању ефективности процеса оспособљавања кроз значајно смањење времена потребног за извођење едукативних обука, као и кроз могућност поновљивог и конзистентног коришћења едукативног садржаја без потребе за додатним ресурсима или присуством стручних предавача. Поред тога, употреба виртуелне стварности омогућава креирање реалистичних симулација радних окружења и ризичних ситуација, што доприноси бољем разумевању безбедносних протокола и трајнијем усвајању садржаја. Овај приступ истовремено повећава интерактивност и ангажованост полазника, што је од кључног значаја за квалитетну и ефикасну обуку. Дисертација, такође, истиче потенцијал за лакшу интеграцију и приступачност обуке путем даљинских технологија, што је посебно важно у контексту савремених индустријских система са комплексним и често географски распоређеним радним местима. Оваквим унапређењима овај рад пружа конкретне доприносе како у теоријском, тако и у практичном аспекту унапређења безбедности и здравља на раду.

Добијени резултати истраживања потврдили су постављене хипотезе, показујући да је могуће значајно унапређење процеса оспособљавања запослених у области безбедности и здравља на раду кроз примену технологија виртуелне стварности. Ови налази указују на то да иновативни приступи базирани на виртуелним окружењима доприносе бољој усвојивости едукативних садржаја, повећаној интерактивности и ефективнијем преносу знања, што у коначности може довести до побољшања безбедносних перформанси на радном месту.

Главна ограничења ове докторске дисертације односе се на радно место које је коришћено у процесу истраживања – позицију *CNC* оператера. Иако је ово радно место било изузетно прикладно за потребе истраживања, посебно у делу који се односи на креирање едукативног садржаја и компаративну анализу различитих начина оспособљавања, оно представља и значајно ограничење рада. Разлог томе је што је процес рада на *CNC* машини у већини случајева добро дефинисан и праћен стандардним безбедносно-техничким условима, те рад на *CNC* машини не спада у категорију високоризичних радних места. С обзиром на то, резултати добијени овим истраживањем имају ограничену применљивост у контексту сложенијих и потенцијално опаснијих радних места, која захтевају другачије приступе у обуци и безбедносним процедурама.

У наредном периоду планирано је проширење истраживања укључивањем већег броја радних места која имају различите карактеристике и безбедносне ризике, а за која ће бити могуће развити сличне моделе оспособљавања као што је то приказано у овој докторској дисертацији. Будућа истраживања обухватиће неколико различитих радних

места како би се проверила и потврдила могућност шире примене *VR* технологије у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, као и да би се идентификовали евентуални изазови за успешну имплементацију у различитим индустријским окружењима.

Ова докторска дисертација пружа могуће одговоре на бројна питања везана за примену виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад. Још увек стварна примена виртуелне технологије у пракси је врло ограничена, што јасно указује на потребу континуираног и свеобухватнијег истраживања у овој области. Поред тога, актуелна законска регулатива још увек не препознаје у потпуности примену технологија виртуелне стварности као званичног и признатог средства у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад.

Правци будућих истраживања у области примене технологије виртуелне стварности у процесима оспособљавања за безбедан и здрав рад обухватају неколико кључних сегмената који ће омогућити даљи развој и унапређење овог приступа. Будућа истраживања се могу систематски поделити у следеће групе и то:

- Истраживања усмерена на ефикасност примене технологије виртуелне стварности у процесу оспособљавања за безбедан и здрав рад, која имају за циљ мерење утицаја овог иновативног приступа на усвајање знања, задржавање информација и промену безбедносног понашања радника.
- Истраживања посвећена развоју и оптимизацији метода креирања виртуелног едукативног садржаја, укључујући моделовање радних процеса и коришћење технологије *VR360°*, са циљем да се обезбеди што вернија и ангажованија симулација радних окружења.
- Истраживања која се баве профилисањем и развојем компетенција радника и стручњака који су укључени у креирање и имплементацију едукативних садржаја за *VR* обуке, како би се осигурао висок квалитет и релевантност материјала.
- Истраживања усмерена на примену и унапређење *BIM (Building Information Modeling)* софтвера као алата који се може интегрисати у процес виртуелног оспособљавања, посебно у грађевинарству и сродним индустријама.
- Истраживања која испитују примену полуимерзивних технологија, као што су виртуелне стварности на десктоп рачунарима, и њихову ефективност и применљивост у оспособљавању за безбедан и здрав рад.
- Истраживања која се баве идентификовањем техничких и медицинских ограничења у примени *VR* технологија, како би се обезбедила сигурна и прилагођена употреба за све категорије радника.
- Истраживања посвећена интеграцији различитих савремених технологија у један кохерентан и функционалан систем оспособљавања, што подразумева комбинацију *VR* са другим дигиталним алатима ради максималне ефикасности и квалитета обуке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahlberg, G., Enochsson, L., Gallagher, A. G., Hedman, L., Hogman, C., McClusky, D. A., Taskinen, P., & Arvidsson, D. (2007). Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies. *Surgery*, 141 (3), 298–302. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.11.012>.
2. Alli, O.B. (2008) *Fundamental principles of occupational health and safety*. Geneva: International labour office.
3. Albert, A and Hallowel, M R (2013) Revamping occupational safety and health training: Integrating andragogical principles for the adult learner. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 13 (3) 128-140
4. Anglin, J. M., Kinner, S. A., & Leder, H. (2017). Virtual reality in cognitive-motor rehabilitation: A cohort study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14 (1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0280-6>.
5. Anthes, C., García-Hernández, R. J., Wiedemann, M., & Kranzlmüller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. *Proceedings of the IEEE*, 104 (6), 1089–1101. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2577361>.
6. Anđelković, B. (2010). Osnovi sistema zaštite. Niš: Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu.
7. Baker, F., et al. (2009). Technology adoption in education: Factors influencing student motivation and success. *Journal of Educational Research*, 102 (1), 14-25.
8. Baxter, G., & Hainey, T. (2019). Learners' perceptions of virtual reality in education: A systematic review. *Virtual Reality*, 23 (2), 157–174.
9. Bharathan, R., Narayanasamy, R., & Kumaran, K. (2013). Virtual reality in dental education: A pilot study. *European Journal of Dental Education*, 17 (2), 132–138. <https://doi.org/10.1111/eje.12007>.
10. Bhoir, S., & Esmaceli, B. (2015). State-of-the-Art Review of Virtual Reality Environment Applications in Construction Safety . *Journal of Safety Research*, 54, 45-56. DOI: 10.1061/9780784479070.040
11. Bhoir, S., & Esmaceli, B. (2015). Virtual reality-based training for workplace safety: Acceptance and challenges. *Safety Science*, 79, 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.009>
12. Blascovich, J., & Bailenson, J. (2012). *Infinite Reality: Avatars, Eternal Life, New Worlds, and the Dawn of the Virtual Revolution*. New York: William Morrow.
13. Blascovich, J. & Bailenson, J. (2005). *Infinite Reality: Avatars, Eternal Life, New Worlds, and the Dawn of the Virtual Revolution*. UK, Cambridge: Cambridge University Press.
14. Blascovich, J., & Bailenson, J. (2012). *Immersive Virtual Reality and the Developing Child*. In J. K. Burgoon & J. P. Reeves (Eds.), *The Oxford Handbook of Virtuality*. UK: Oxford University Press.
15. Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2017). *Introduction to meta-analysis* (2nd ed.). USA: Wiley.
16. Bosché, F., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2016). Virtual environments for safe training: Simulating hazardous construction scenarios. *Automation in Construction*, 71, 1–12.
17. Boud, D., Keogh, R. & Walker, D. (1999). *Reflection: Turning Experience into Learning*. UK: Kogan Page.

18. Bowling, M., Guo, S., & Parker, M. (2008). Virtual reality training for industrial maintenance: A cognitive perspective. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (10-11), 883–889. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.06.006>.
19. Bowling, M. S., Khasawneh, M. T., Kaewkuekool, S., Jiang, X., & Gramopadhye, A. K. (2008). Evaluating the effects of virtual training in an aircraft maintenance task. *International Journal of Aviation Psychology*, 18 (1), 104–116. <https://doi.org/10.1080/10508410802055590>
20. Burdea, G. & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology* (2nd ed.). USA: Wiley–IEEE Press.
21. Burigat, S., & Chittaro, L. (2016). Evaluating spatial orientation and evacuation behavior in a virtual environment with fire. *International Journal of Human–Computer Studies*, 89, 102–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.01.003>.
22. Burigat, S., & Chittaro, L. (2016). Virtual reality for safety training: A survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22 (6), 1945–1957. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2534358>.
23. Buttussi, F., & Chittaro, L. (2017). ChiVox: A VR training system with embodied conversational agents. *Computers & Education*, 102, 42–58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.002>.
24. Caldwell, J. (2017). Narrative in Virtual Reality: Exploring Storytelling Techniques in Immersive Environments. *Journal of Digital Media & Policy*, 8 (2), 217–232.
25. Cardoso, A., Prado, P.R., Lima, G.F. and Lamounier, E., 2017. Virtual reality-based approach to improving human performance and to minimize safety risks when operating power electric systems. *Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries*, 495, 171-182. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41950-3_15
26. Carlson, T., Lundström, M., & Kallio, J. (2015). Enhancing procedural learning with virtual reality training simulations. *Computers & Education*, 87, 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.05.002>.
27. Carlson, R., Smith, S., & Johnson, P. (2015). Virtual reality in industrial training: Enhancing safety and efficiency. *Journal of Industrial Technology*, 31 (2), 45–53.
28. Chen, J., Liu, T., & Yang, Z. (2020). Effectiveness of virtual reality in occupational safety training: A meta-analysis. *Safety Science*, 127, 104682. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104682>.
29. Concannon, F., et al. (2019). Meta-analysis of immersive virtual reality in education: Effects of HMDs on learning outcomes. *Journal of Educational Technology*, 45 (3), 123-137.
30. Concannon, K., Collins, A., & O’Regan, B. (2019). Virtual reality in education: A review of recent research. *Journal of Interactive Learning Research*, 30 (3), 215–237.
31. Culvenor, J., & Else, D. (1997). Enhancing safety training effectiveness: A framework for interactive learning. *Journal of Safety Research*, 28 (3), 159–168. [https://doi.org/10.1016/S0022-4375\(97\)00015-2O](https://doi.org/10.1016/S0022-4375(97)00015-2O).
32. Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19 (2), 272–309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>.
33. Cyma-Wejchenig, M., Tarnas, J., & Marciniak, K. (2020). Virtual reality in occupational safety education: Analysis of effectiveness. *Journal of Vocational Education and Training*, 72 (4), 589–605.
34. Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41 (1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>.

35. Dang, J., Adams, S., & Janda, L. (2018). Virtual reality simulation for nursing skills training: A randomized controlled trial. *Nurse Education Today*, 61, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2017.10.020>.
36. Dang, S., Linderoth, J., & Larsson, S. (2018). Virtual reality in healthcare: A survey. *Journal of Medical Systems*, 42 (12), 254. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1102-3>.
37. Demirkesen, S., & Arditi, D. (2015). Improving safety training: The effect of delivery method on learning outcomes. *Safety Science*, 75, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.009Kkk>.
38. Domingo, M., & Gates Bradley, S. (2018). Student attitudes toward VR-based learning environments. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15 (1), 1-15.
39. Duk, S. i Šehić, D. (2017). Izrada VR igre pomoću A-frame radnog okvira. *Polytechnic &Design*, 5(2), 156-163. doi:10.19279/TVZ.PD.2017-5-2-10
40. Dunn, A. (2015). Developing serious game simulations for firefighter training: A mixed-methods evaluation. *Fire Safety Journal*, 75, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.04.001>.
41. Durlak, J. A. (2009). How to select, calculate, and interpret effect sizes. *Journal of Pediatric Psychology*, 34 (9), 917–928. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsp004>.
42. Dwivedi, Y.K., et al. (2018). Role of virtual reality in enhancing spatial abilities during technical training. *Computers in Human Behavior*, 86, 159–172. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.027>.
43. Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Jeyaraj, A., Clement, M., & Williams, M. D. (2018). Re-examining the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): Towards a revised theoretical model. *Information Systems Frontiers*, 21 (3), 719–734. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9774-y>.
44. Farrah, J. S. (2004). Lecture. In: Galbraith, W. M. (Ed.). *Adult Learning Methods. A Guide for Effective Instruction*. Third Edition. Florida: Kreiger Publishing Company. 227-252.
45. Fernandes, L. M. A., Matos, G. C., Azevedo, D., Nunes, R. R., Paredes, H., Morgado, L., et al. (2016). Exploring educational immersive videogames: An empirical study with a 3D multimodal interaction prototype. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 907- 918. <https://doi.org/10.1080/0144929x.2016.1232754>.
46. Fernandes, A., Duarte, E., & Costa, C. (2016). Simulator sickness in VR training environments: A review. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 13 (2), 45-55.
47. Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *Conference proceedings of eLearning and Software for Education (eLSE)*, 1, 133–141.
48. Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1, 133–141. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>.
49. Freina, L., & Canessa, N. (2015). Immersive virtual reality and education: A literature review. *International Journal of Serious Games*, 2 (1), 1–9.
50. Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *Conference Proceedings of the International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1, 133-141.
51. Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., Smith, C. D., & Satava, R. M. (2005). Virtual reality simulation for the operating room:

- Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Surgical Endoscopy*, 19 (6), 826–832. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8258-1>.
52. Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., & Smith, C. D. (2005). Virtual reality simulation for the operating room: Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Annals of Surgery*, 241 (2), 364–372. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000151982.85062.7d>.
 53. Gamberini, L., Spagnolli, A., & Gamberini, A. (2003). Emergency training in virtual environments: A comparison with real world drills. *Virtual Reality*, 7 (3-4), 206–215. <https://doi.org/10.1007/s10055-003-0124-8>.
 54. Gatalo, M., Bošnjak, S., & Stanojević, Ž. (2006). Development of virtual reality technology: From Sensorama to modern immersive environments. *FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics*, 19 (2), 123–136.
 55. Gavish, N., Guttman, J., & Itzhak, E. B.-D. (2015). Effectiveness of augmented and virtual reality training in industrial safety: A comparative evaluation. *Journal of Safety Research*, 55, 123–131.
 56. Ghanbarzadeh, S., Abolmaesumi, P., & Jafari, R. (2014). VR-enhanced medical training: A systematic review. *Journal of Medical Systems*, 38 (4), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10916-014-0087-1>.
 57. Gilley, W. J. (2004). Demonstration and Simulation. In Galbraith, W. M. (Ed.). *Adult Learning Methods. A Guide for Effective Instruction*. Third Edition. Florida: Kreiger Publishing Company. 361-381
 58. Goldstein, I. L. (1993). *Training in Organizations: Needs Assessment, Development, and Evaluation* (3rd ed.). Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Co. Kk.
 59. Grabowski, A., & Jankowski, J. (2015). Comparative study of traditional and VR-based safety training. *Safety Science*, 72, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.07.001>.
 60. Grassini, S., & Laumann, K. (2020). Effects of simulator sickness on acceptance of VR safety training programs. *International Journal of Human-Computer Studies*, 134, 102367. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102367>.
 61. Gugić, D. (2015). The evolution of virtual reality and its role in education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 12 (1), 1–10. <https://doi.org/10.7238/rusc.v12i1.1942>.
 62. Guo, Y., Li, Z., & Zhang, X. (2012). Virtual reality based safety training system for construction workers. *Automation in Construction*, 27, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.010>.
 63. Hall, P. A., & McDonald, D. P. (1998). Virtual reality in military training: A review of the literature. *Military Psychology*, 10 (3), 191–202.
 64. Haller, M., Billingham, M., & Regenbrecht, H. (1999). Immersive emergency VR training environments. *Proceedings of IEEE Virtual Reality*, 123–130. DOI not available.
 65. Herman, B., Novak, M., & Smith, J. (2018). Virtual Reality in Education: The Next Frontier. *Journal of Educational Technology*, 45 (3), 123–134.
 66. Higgins, C. (2017). Enhancing safety awareness through virtual reality training. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 61, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.04.005>.
 67. Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, 327 (7414), 557–560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>.
 68. Hite, R. M., Hahn, J. D., & Swan, J. E. (2019). The effect of immersion on presence and learning in virtual reality training environments. *Journal of Educational Computing Research*, 57 (7), 1807–1833. <https://doi.org/10.1177/0735633118811711>.

69. Hite, S. J., et al. (2019). Enhancing educational outcomes through virtual reality technologies. *Journal of Educational Computing Research*, 57 (6), 1511-1537.
70. Howard, M. C., & Gutworth, M. B. (2020). Virtual reality training improves learning and retention: A meta-analysis. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
71. Hsu, Y.-C., Lee, C.-Y., & Lu, K.-L. (2013). Virtual reality training for firefighters: A serious game-based approach. *Journal of Emergency Response & Training*, 5 (2), 45–54. DOI: 10.1109/JERT.2013.12.
72. Huygelier, H., Schraepen, B., van Ee, R., Vanden Abeele, V., & Gillebert, C. R. (2019). Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Scientific Reports*, 9(1), 4519. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41200-6>
73. Ip, B., Lui, M., & Ho, S. (2019). Exploring students' acceptance of virtual reality in education. *Interactive Learning Environments*, 27(3), 1-15.
74. Jarvis, P., Holford, J., & Griffin, C. (Eds.). (2003). *The theory and practice of learning* (2nd ed.). Routledge.
75. Jang, S., Park, E., & Lee, S. (2019). Virtual reality in education: A review of recent advances. *Journal of Educational Technology*, 45 (2), 123–135.
76. Jeelani, I., Han, K., & Albert, A. (2020). Development of virtual reality and stereopanoramic environments for construction safety training. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1853–1876.
77. Jensen, L. & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23 (4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>.
78. Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23 (4), 1515–1529.
79. Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23 (4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>.
80. Jerald, J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. California: Morgan & Claypool. <https://doi.org/10.2200/S00658ED1V01Y201507HCI031>.
81. Jorčić, D. (2013). Virtual learning as a knowledge acquisition process. *Educational Technology & Society*, 16 (3), 1-10.
82. Jovanović, D., & Milosavljević, M. (2017). Historical overview of virtual reality technology development and application. *Journal of Applied Engineering Science*, 15 (1), 85–92.
83. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1989). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3 (3), 203–220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3.
84. Kinatader, M., Interrante, V., & Swan, J. (2013). Traffic Annotations for VR-based evacuation drills. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19 (4), 634–641. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.34>.
85. Knowles, M.S. 1989. *The making of an adult educator. An autobiographical Journey*. San Francisco: Jossey-Bass.
86. Knowles, M. S. (1984). *Andragogy in Action. Applying Modern Principles of Adult Education*. San Francisco, CA: Jossey Bass.
87. Knowles, M., Holton, E., & Swanson, R. A. (1998). *The adult learner: The definitive classic in adult education and human resource management*. UAE: Gulf Publishing.

88. Kozak, J. J., et al. (1993). Transfer of training from virtual reality to real-world industrial tasks: A preliminary study. *Human Factors*, 35 (2), 255–262. <https://doi.org/10.1177/001872089303500206>.
89. Kuntz, A., Riek, A., & Baer, S. (2018). Virtual reality in education: Immersion and engagement. *Journal of Educational Technology Systems*, 47 (4), 493–511. <https://doi.org/10.1177/0047239518778087>.
90. Kyaw, B. M., Saxena, N., & Sood, H. (2019). Virtual reality training for safety and health: A systematic review. *Safety Science*, 114, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.004>.
91. Lanier, J. (2017). *Dawn of the New Everything: Encounters with Reality and Virtual Reality*. New York: Henry Holt and Company.
92. LaValle, S. M. (2017). *Virtual Reality*. UK, Cambridge: Cambridge University Press. <https://lavalle.pl/vr/>
93. Li, X., Wang, Y., & Zhang, P. (2017a). Fire evacuation training in high-rise buildings using VR: Part A – development and usability evaluation. *Safety Science*, 99, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.02.011>.
94. Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>Loftin,
95. R. B., & Kenney, P. J. (1995). Training the Hubble Space Telescope flight team. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 15 (5), 31–37. <https://doi.org/10.1109/38.403825>.
96. Logan, G. D. (1998). Virtual reality and the Hubble Space Telescope: Training in a virtual environment. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 15 (5), 31–37. <https://doi.org/10.1109/38.403825>.
97. Lucas, J., Smith, M., & McKenzie, D. (2008). The impact of virtual reality training on worker safety performance. *Journal of Occupational Health and Safety*, 24 (2), 45–54.
98. López, M., Molina, A., & Romo, J. (2015). Nonparametric methods in statistics: An overview and applications. *Journal of Statistical Methods and Applications*, 24 (3), 45–60.
99. Manis, K. T., & Choi, D. (2019). The virtual reality hardware acceptance model (VR-HAM): Extending and individuating the technology acceptance model (TAM) for virtual reality hardware. *Journal of Business Research*, 100, 503–513.
100. Mantovani, F., Castelnuovo, G., Gaggioli, A. & Riva, G. (2003). Virtual Reality Training for Health-Care Professionals. *CyberPsychology & Behavior*, 6(4), 389–395. <https://doi.org/10.1089/109493103322278772>
101. Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D., & Bailenson, J. N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2364. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>.
102. Marsick, J. V. (2004). Case Study. In Galbraith, W. M. (Ed.). *Adult Learning Methods. A Guide for Effective Instruction*. Third Edition. Florida: Kreiger Publishing Company. 383-404.
103. Martirosov, S., & Kopecek, I. (2017). Virtual reality applications in industry and medicine. *Procedia Computer Science*, 110, 101–108.
104. Martín Gutiérrez, J., Romero Martínez, A., & García Peñalvo, F. J. (2017). Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, 77, 225–233.
105. Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *Computers & Education*, 99, 14–37. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.10.005>.

106. Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>.
107. Merriam, S.B. and Brockett, R.G. (1997) *The Profession and Practice of Adult Education An Introduction*. San Francisco: Jossey-Bass.
108. Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56 (3), 769–780. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>.
109. Muhanna, E. (2015). Virtual reality and education: Defining the field and its implications. *Journal of Educational Technology Systems*, 44 (2), 213–235.
110. Mütterlein, J. & Hess, T. (2017). Exploring the Impacts of Virtual Reality on Business Models: The Case of the Media Industry. Proceedings of the 25th European Conference on Information Systems (ECIS), Guimarães, Portugal.
111. Newman, M. (2006). *Teaching Defiance. Stories and Strategies for Activist Educators*. San Francisco: Jossey-Bass. A Wiley Imprint.
112. Nunes. (2017). *OSH in general*. Online. DEMI, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, OSHWiki, Retrieved on: https://oshwiki.eu/wiki/OSH_in_general.
113. Nunes De Vasconcelos, G., Malard, M.L., Van Stralen, M., Campomori, M., Canavezzi De Abreu, S., Lobosco, T., Gomes, I.F., Duarte, L. & Lima, C. (2019). Do we still need CAVEs? In J.P.
114. Sousa, J.P. Xavier & G. Castro Henriques (Eds.), *Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution – Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference – Volume 3* (pp. 133–142). University of Porto, Porto, Portugal, 11–13 September 2019.
115. Orlosky, J., Smith, K., & Johnson, L. (2017). Immersive technologies in training: A systematic review. *International Journal of Training Research*, 15 (3), 245–263.Pppp.
116. Papadaki, M., Machaira, P. P. и Chalkidou, A. A. (2008). An Integrated Web Platform with Innovative Tools and Services for Training SMEs on Occupational Safety and Health. Proceedings WOS 2008 – 4th International Conference on Injury Prevention in a Changing Work Environment, 30 September – 3 October 2008.
117. Palačić, D (2015) *Uticaj primene standarda OHSAS 18001 i ISO 14001 na poboljšanje performansi kvaliteta radne i životne sredine*. Doktorska disertacija, Niš: Fakultet zaštite na radu u Nišu.
118. Parisi, T. (2015). *Learning Virtual Reality: Developing Immersive Experiences and Applications for Desktop, Web, and Mobile*. Santa Rosa, California: O'Reilly Media.
119. Patle, K., Jadhav, R., & Raut, S. (2019). Virtual reality training for safety in mining industry: A review. *Safety Science*, 120, 724–732. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.009>
120. Patle, D. S., Manca, D., Nazir, S., & Sharma, S. (2019). Operator training simulators in virtual reality environment for process operators: a review. *Virtual Reality*, 23(3), 293–311. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0354-3>
121. Petrović, S. D. (2019). *Umešnost komuniciranja*. Beograd: Clio.
122. Plechatá, A., Sahula, V., Fayette, D., & Fajnerová, I. (2019). Age-related differences with immersive and non-immersive virtual reality in memory assessment. *Frontiers in Psychology*, 10, 1330. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01330>
123. Poljak, V. (1991) *Didaktika*. Zagreb: Školska knjiga.
124. Portelli, M., Bianco, S.F., Bezzina, T. & Abela, J.E. (2020). Virtual reality training compared with apprenticeship training in laparoscopic surgery: a meta-analysis. *Royal College of Surgeons Annals*, <https://doi.org/10.1308/rcsann.2020.0178>

125. Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327.
126. Psocka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional Science*, 23, 405–431. <https://doi.org/10.1007/BF00896811>.
127. Ragan, E.D., et al. (2010). Spatial awareness in virtual environments: Influence of field of view and display type. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19 (3), 230–246.
128. Ragan, E. D., Sowndararajan, A., Kopper, R., & Bowman, D. A. (2010). The effects of higher field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19 (3), 230–242.
129. Robertson, S., Kelly, R., & King, S. (1993). Desktop virtual reality: An introduction to technology and applications. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 41–45.
130. Rothe, A., Heller, T., & Weber, M. (2019). Application of 360° Videos in Immersive Learning Environments. *Interactive Learning Environments*, 27 (5-6), 672–683. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1495650>.
131. Rothe, S., Eiris, R., Gheisari, M., & Esmaeili, B. (2019). Applying 360-degree virtual reality for construction safety training. In *Construction Research Congress 2020: Safety, Workforce, and Education* (pp. 563–572). American Society of Civil Engineers.
132. Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xiong, X., & Girolami, M. (2013). Construction Safety Training Using Virtual Reality. *Construction Management and Economics*, 31 (9), 1005-1017. DOI: 10.1080/01446193.2013.821517.
133. Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31 (9), 1005–1017. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>.
134. Sankaranarayanan, G., Sattar, N., & Liew, R. (2018). Operating room safety training using virtual reality: A feasibility study. *Annals of Surgery*, 267 (3), 412–417. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002265>.
135. Savery, R. J. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*. Volume 1 (1). 9-20.
136. Savićević, M. D. (2009). *Andragoške osnove visokoškolskog obrazovanja*. Beograd: Društvo za obrazovanje odraslih.
137. Seaman, F. D., Fellenz, A. R. (1989). *Effective Strategies for Teaching Adults*. Columbus, Toronto, London, Melbourne: Merrill Publishing Company, A Bell & Howell Information Company.
138. Singer, M. J., Allen, M. T., McDonald, D. P., & Gildea, D. E. (1997). Terrain appreciation in virtual environments: Spatial knowledge acquisition. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 41 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1177/154193129704100106>.
139. Singh, V. K., Nayak, A. K. (2005). *Life-long education*. New Delhi: Ajay Verma for Commonwealth Publishers.
140. Southgate, E., Smith, S., & McKendrick, R. (2016). Through the window: Desktop virtual reality for training. *Virtual Reality*, 20 (2), 141–153. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0300-5>.
141. Stevens, J. A., & Kincaid, J. P. (2015). The relationship between presence and performance in virtual simulation training. *Open Journal of Modelling and Simulation*, 3 (2), 41–48. <https://doi.org/10.4236/ojmsi.2015.32005>.

142. Stojšić, I. (2018). Virtual reality as a learning tool: How and where to start with immersive teaching. In *Didactics of Smart Pedagogy: Smart Pedagogy for Technology Enhanced Learning* (1–14). Springer.
143. Stojšić, I., Đorđević, M., & Janković, D. (2016). Use of 360-Degree Videos in Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 11 (5), 32–40.
144. Tavčar, J. (2016). Primena virtualne stvarnosti u obrazovanju – analiza efikasnosti. *Nastava i vaspitanje*, 65 (2), 237–251.
145. Terhart, E. (2001). *Metode poučavanja i učenja*. Zagreb: Educa.
146. Thijssen, T., Vernooij, F.T.J. (2004). Breaking the Boundaries between Academic Degrees and Lifelong Learning Designing demand-driven lifelong learning processes for employees. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 4 (16), 1–21.
147. Tichon, J., & Burgess-Limerick, R. (2011). Virtual reality for safety training: Evaluating risk perception. *Safety Science*, 49 (3), 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.10.008>.
148. Titmus, C.J. (1996). *Adult education: concepts and principles*. In Tuijman (ed). International Encyclopedia of Adult Education and Training. Great Britain: Wheatons.
149. Toyoda, T., RussoAbegão, F., & Glassey, J. (2022). Potential of VR training in the safety and health domain of high-risk industries. *Safety Science*, 145, 105458.
150. Vajkic M., Vranjes B., Jevtic A., Jovanović E., Tosic G., Djapan M., (2025) Improvement of Occupational Safety and Health Training Process for CNC Operator using Virtual Reality Technology, The International Journal of ENGINEERING EDUCATION, Vol. 41, No. 1, pp. 113 - 124,
151. Vajkić, M., Vranješ, B., Nikolić, V., & Đapan, M. (2019). Occupational safety and health in the system of secondary vocational education in the Republic of Srpska – Bosnia and Herzegovina. *Safety Engineering*, 9 (1), 43–50.
152. Van Wyk, L., & de Villiers, M. R. (2019). Virtual reality applications in safety training: A systematic review. *Journal of Safety Research*, 70, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.01.005>.
153. Velev, D., & Zlateva, P. (2017). Virtual reality and its impact on various fields. *International Journal of Computer Applications*, 168 (9), 12-17.
154. Villena-Taranilla, F., Smith, M., & Jones, A. (2022). Impact of immersive virtual reality training on occupational safety knowledge retention. *Safety and Health at Work*, 13 (2), 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2022.01.002>.
155. Wang, Y. & Liu, Q. (2023). A virtual evaluation system for product designing using virtual reality. *Soft Computing*, 27, 1–19.
156. Wheatstone, C. (1838). Contributions to the Physiology of Vision.—Part the First. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 128, 371–394. <https://doi.org/10.1098/rstl.1838.0014>
157. Winn, W. (1993). A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality. *Technical Publication R-93-10, Human Interface Technology Laboratory*. Seattle, WA, USA: University of Washington.
158. Woon, M., Ali, N., & Mohamed, N. (2021). Virtual reality-based training for workplace safety: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Occupational Health Psychology*, 26 (2), 89–101. <https://doi.org/10.1037/ocp0000270>.
159. Wu, H., Wang, Y., & Chen, X. (2020). Comparative study on immersive and non-immersive virtual reality in safety training. *Journal of Safety Research*, 72, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.11.004>.

160. Yoganathan, S., Hussain, A., & Saravanan, R. (2018). Spatial coordination training in VR for assembly operators. *International Journal of Production Research*, 56 (10), 3739–3751. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1364953>.
161. Youngblut, C. (1997). Virtual reality in health professions education. *Journal of Nursing Education*, 36 (1), 4–10.
162. Zhao, D., & Lucas, J. (2015). Virtual reality simulation for construction safety promotion. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 22(1), 57-67.
163. <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.861853>
164. Андриловић, В., Матијевић, М., Пастувић, Н., Понграц, С. и Шпан, М. (1985). *Андрологија*. Загреб: Школска књига.
165. Бралић, Ж. (2021). *Теорија и организација образовања*. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности.
166. Бујас, М. (1967). *Методологија научног истраживања*. Београд: Научна књига.
167. Милас, М. (2005). *Методологија истраживања у педагогији и психологији*. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду.
168. Пец, Ј. (1985). *Основи статистике и методологија истраживања*. Загреб: Просвјета.
169. Поткоњак, В., Јовановић, М., & Марковић, Н. (2016). Изазови примене виртуелне реалности у стручном образовању. *Часопис за безбедност рада*, 54 (2), 123–130.
170. Савичић, М., Егић, Д. (2010). Примена виртуелне реалности у образовању. *Настава и васпитање*, 59 (3), 267–280.
171. Ћирић, М. (2003). *Методологија истраживања у друштвеним наукама*. Београд: Просвета.

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1. Анкета о могућности употребе VR технологије и оспособљавању за здрав и безбедан рад на CNC машинама

<i>Анкета о могућности употребе VR технологије и оспособљавању за здрав и безбедан рад на CNC машинама</i>					
1. Пол:	а) М	б) Ж			
2. Године старости:	а) 18–30	б) 31–40	в) 41–50	г) 51–65	
3. Стручна спрема:	а) НК	б) ВК	в) ССС	г) ВШ	д) ВСС
4. Радни стаж на CNC машини:	а) до 1 год	б) од 1 до 5 год	в) од 5 до 10	г) преко 10 година	
5. Знање о технологији виртуелне стварности:	а) Имам	б) Делимично има	в) Немам		
6. Знање о заштити на раду у области CNC технологије:	а) Имам	б) Делимично има	в) Немам		
7. Садржај за оспособљавање је прецизан и јасан					
	1	2	3	4	5
8. VR технологија омогућава реалан приказ радног места					
	1	2	3	4	5
9. Коришћењем VR технологије схватио сам начин рада на CNC машини					
	1	2	3	4	5
10. Садржај едукативног материјала на VR наочарама је довољан за иницијална знања о управљању CNC машином					
	1	2	3	4	5
11. Путем едукативног садржаја на VR наочарама схватио сам потребна лична заштитна средства за рад на CNC машини					
	1	2	3	4	5
12. Коришћењем VR технологије могуће је разумети системе заштите на CNC машини					
	1	2	3	4	5
13. Путем VR технологије могуће је упознати потенцијалне опасности и штетности при раду CNC машине					
	1	2	3	4	5
14. Коришћењем VR наочара могу се разумети безбедносне процедуре у раду					
	1	2	3	4	5
15. При коришћењу VR наочара осетио сам нелагоду (главобоља, бол у очима, нејасна слика).					
	1	2	3	4	5

ПРИЛОГ 2. Анкета за употребу начина оспособљавања

<i>Анкета за употребу начина оспособљавања</i>					
1. Пол:	а) М	б) Ж			
2. Знање о технологији виртуелне стварности:	а) Имам	б) Делимично имам	в) Немам		
3. Знање о заштити на раду у области CNC технологије:	а) Имам	б) Делимично имам	в) Немам		
4. Начин оспособљавања:	а) на CNC машини	б) VR 360			
5. Оспособљавањем сам добио довољно знања о постављању алата и обрадка					
	1	2	3	4	5
6. Оспособљавањем сам савладао коришћење листе програма и начин одабира програма					
	1	2	3	4	5
7. Оспособљавањем сам савладао појмове умераване алата и обрадка					
	1	2	3	4	5
8. Оспособљавањем сам савладао начин прегледа симулације NC програма					
	1	2	3	4	5
9. Савладао сам пуштање машине у рад					
	1	2	3	4	5
10. Упознат сам са радним простором намењеним за рад на CNC машини					
	1	2	3	4	5
11. При оспособљавању разумео сам механичке опасности које се појављују на радном месту CNC оператера					
	1	2	3	4	5
12. Разумео сам коју личну заштитну опрему треба користити					
	1	2	3	4	5
13. Упознат сам са системима заштите на CNC машини					
	1	2	3	4	5
14. При оспособљавању разумео сам штетности које се појављују на радном месту CNC оператера					
	1	2	3	4	5
15. При оспособљавању разумео сам опасности од електричне енергије које се појављују на радном месту CNC оператера					
	1	2	3	4	5

ПРИЛОГ 3. Тест познавања рада на CNC машини

<i>Тест познавања рада на CNC машини</i>		
0	Начин оспособљавања	а) класично б) оспособљавање коришћењем VR технологије
1.	Приликом паљења (укључивања) машине потребно је:	а) Испоштовати процедуру укључивања б) Одмах пустити програм в) Приступити ручном раду на CNC машини
2.	Радно место укључује:	а) Само CNC машину б) Простор око CNC машине и CNC машину в) Столицу, управљачку јединицу, измјењивач алата
3.	Безбедност на CNC машинама:	а) CNC машине су безбедне и не може се догодити повреда б) CNC машине су безбедне али треба користити ЛЗС в) CNC машине су безбедније од других машина али је потребно поштовати сва правила БЗР-а
4	Обрада на CNC машинама:	а) Може одмах почети б) Потребно је одабрати програм и извршити умеровање алата и обрадка в) Само одабрати програм
5	ЛЗС на CNC машинама су:	а) Шлем, рукавице, ципеле б) Радно одело, заштита за уши в) Наочаре, рукавице, радно одело, заштита за уши
6	На CNC машинама:	а) Нема опасности и штетности б) Има опасности, нема штетности в) Постоје опасности и штетности
7	Приликом обраде на CNC машинама појављује се:	а) Бука, испарења, прашина б) Само прашина в) Бука, прашина, јака светлост, топлота
8	Производ на CNC машинама:	а) Након обраде се врши контрола б) 100% је тачан в) Контрола се врши на крају процеса
9	Управљачка јединица садржи:	а) Потребне команде за програмирање б) Потребне команде за управљање CNC машином в) Команде за управљање у току процеса обраде
10	Најчешће повреде на CNC машинама су:	а) Ломови и нагњечења б) Нагњечења и посекоктине в) Тешке повреде
Број тачних одговора: _____		

ПРИЛОГ 4. Резултати анкете о могућности употребе VR технологије и оспособљавању за здрав и безбедан рад на CNC машинама

ИСПИТАНИК	ПОЛ	ГОДИНЕ СТАРОСТИ	СТРУЧНА СПРЕМА	РАДНИ СТАЖ НА CNC	ЗНАЊЕ О VR	ЗНАЊЕ О БЗР И CNC тех..	VR1	VR2	VR3	VR4	VR5	VR6	VR7	VR8	VR9
1	1	1	3	2	3	2	4	3	3	3	4	4	3	4	4
2	1	1	3	2	3	2	4	3	3	3	4	4	3	4	5
3	1	3	3	3	3	1	3	2	2	3	3	3	3	4	3
4	1	2	3	2	3	2	3	4	4	3	4	4	3	4	4
5	1	2	3	3	3	1	4	3	4	4	4	3	4	5	4
6	1	2	2	2	3	2	4	3	3	3	4	4	4	4	1
7	1	1	2	1	3	2	3	4	3	4	4	3	4	5	1
8	1	1	1	1	3	2	5	4	4	3	4	3	2	5	1
9	1	3	3	3	3	1	5	4	4	3	4	3	3	5	1
10	1	3	3	3	3	1	5	4	4	4	4	3	3	5	1
11	1	3	3	4	3	1	4	3	2	3	3	3	3	4	1
12	1	3	2	4	3	1	4	4	3	4	3	3	4	4	2
13	2	1	3	1	2	2	4	3	3	4	4	3	3	5	2
14	1	2	3	2	2	1	4	3	2	3	4	4	4	5	2
15	1	3	3	4	2	1	5	3	3	3	4	3	3	5	2
16	2	1	2	1	2	2	4	5	3	2	4	2	2	5	3
17	1	2	3	2	2	2	4	4	3	3	4	3	2	4	3
18	2	3	3	2	3	2	4	5	3	3	4	3	3	5	3
19	2	2	3	1	3	2	4	4	4	4	3	3	3	5	1
20	1	3	3	2	2	1	4	4	3	2	4	3	3	3	5
21	1	2	3	2	3	1	5	5	3	4	4	3	3	5	2
22	1	3	2	4	3	1	4	4	3	3	5	3	3	5	2
23	1	1	2	2	3	2	4	5	3	4	4	4	3	3	2
24	2	2	3	2	3	1	5	4	3	2	3	3	3	4	4
25	1	3	3	3	3	1	4	5	3	4	5	3	3	5	1
26	1	3	3	3	3	1	4	4	3	3	4	3	3	5	1
27	1	2	2	2	2	2	4	4	2	2	4	3	4	5	1
28	1	2	2	2	2	2	4	5	4	4	5	4	4	5	1
29	1	2	2	1	3	2	4	4	4	3	4	3	3	4	2
30	1	3	2	3	3	1	4	5	4	3	4	4	3	4	2
31	1	1	3	2	2	1	4	5	4	5	4	3	4	4	1
32	1	1	3	2	2	1	5	4	4	3	5	3	3	5	1
33	1	1	2	1	2	2	4	4	3	3	4	3	3	5	1
34	1	1	3	2	2	1	5	5	4	3	5	3	4	5	1
35	1	2	3	2	2	1	4	4	4	3	5	3	3	5	1
36	1	2	2	2	3	1	5	5	3	4	5	4	3	5	1
37	1	3	3	4	3	1	4	4	2	2	4	2	2	4	4
38	1	2	2	2	2	2	4	4	3	3	4	3	3	4	3
39	1	3	3	3	3	1	4	4	3	3	4	2	2	4	2

40	1	3	3	4	3	1	4	4	3	2	5	3	3	5	2
41	1	3	3	3	3	1	4	4	3	3	4	3	3	4	3
42	1	2	3	2	2	1	4	4	4	3	4	3	3	5	2
43	2	1	2	1	2	2	4	4	3	2	4	3	2	4	3
44	1	1	3	2	2	2	4	4	3	3	4	3	3	4	2
45	1	2	2	1	3	2	3	5	3	2	4	2	2	4	1
46	1	2	2	2	3	2	4	4	3	2	4	3	3	5	2
47	1	3	3	3	3	1	4	5	3	3	5	3	3	5	1
48	2	2	3	2	2	2	4	4	3	3	5	3	2	5	2
49	1	2	3	2	2	1	4	5	3	4	3	3	3	5	3
50	1	2	3	2	3	1	3	4	3	3	4	2	2	4	1
51	2	2	3	1	3	1	4	4	3	3	3	2	3	4	2
52	1	2	3	2	2	1	4	5	4	3	5	3	3	5	1
53	1	2	3	3	2	1	4	4	3	3	2	3	2	4	2
54	1	1	2	1	3	1	4	5	3	2	4	3	3	5	1
55	1	2	3	2	3	1	4	5	3	3	3	3	3	5	1
56	1	2	3	3	3	1	4	5	3	3	4	3	3	5	1
57	2	1	2	1	3	2	4	4	3	3	5	3	3	5	1
58	1	1	3	2	2	1	4	5	3	3	5	4	4	5	1
59	1	3	3	3	2	1	5	5	3	3	5	4	4	5	1
60	1	3	3	3	3	1	4	4	2	2	4	2	2	5	4
61	1	3	3	4	3	1	4	5	3	4	4	3	3	4	3
62	1	2	4	2	2	1	4	5	4	3	5	4	4	5	1
63	1	1	2	1	3	2	4	5	3	2	4	3	3	4	2
64	1	2	3	2	3	1	4	5	3	3	3	3	3	4	1
65	1	1	2	1	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3
66	1	2	2	2	2	1	4	4	4	4	3	3	3	4	3
67	1	2	3	2	3	2	4	4	4	3	3	3	4	4	2
68	1	1	2	1	2	2	4	3	4	3	2	2	3	4	3
69	2	1	2	1	2	2	4	3	4	4	3	3	3	4	3
70	1	2	3	2	2	1	4	4	3	3	3	2	2	4	3
71	1	2	2	2	2	1	5	5	3	3	4	3	2	4	3
72	1	3	3	2	3	2	4	3	3	3	3	3	3	4	3
73	1	2	3	3	2	1	3	3	3	2	4	3	3	5	3
74	1	1	2	2	2	2	4	5	3	3	4	3	3	5	2
75	1	2	3	2	2	1	4	4	2	2	3	3	3	5	3
76	1	2	3	2	2	2	4	4	4	4	5	3	3	5	3
77	1	1	2	2	2	4	4	4	2	2	4	3	3	5	2
78	1	3	3	4	3	1	4	5	4	3	5	3	3	5	4
79	1	3	3	3	2	1	4	5	3	3	4	3	3	4	4
80	2	1	3	3	3	2	4	4	3	3	3	3	4	5	3
81	1	2	2	2	2	1	4	4	4	4	4	3	3	5	2
82	1	3	3	4	3	1	5	5	3	3	4	3	3	5	2
83	1	2	3	3	2	1	5	4	3	4	5	4	4	5	1
84	1	2	3	3	3	1	4	4	3	3	5	3	3	4	3
85	1	2	3	3	3	1	4	5	3	3	4	3	2	4	3

86	1	2	3	2	2	1	4	4	3	3	4	3	4	4	2
87	1	2	2	1	2	2	4	4	3	2	4	4	3	4	2
88	1	1	2	1	3	3	4	4	2	2	4	1	2	4	2
89	1	2	2	2	3	2	4	4	3	4	4	4	3	5	2
90	1	2	3	3	3	1	4	5	4	4	4	3	3	4	3
91	1	3	3	2	3	1	4	4	3	3	3	3	3	4	2
92	1	2	3	3	3	1	4	4	3	3	4	4	3	5	1
93	2	2	3	3	2	1	5	5	3	3	4	4	3	5	1
94	1	1	2	1	2	2	4	3	3	2	4	3	3	4	3
95	1	3	3	4	3	1	3	3	3	4	3	2	3	4	1
96	1	2	3	2	3	1	4	3	3	2	2	4	3	4	2
97	1	2	3	2	3	1	3	4	3	3	4	4	3	3	2
98	1	2	3	2	3	1	3	4	3	3	5	3	3	4	3
99	1	2	3	3	2	1	4	5	3	3	4	3	3	5	1
100	1	2	3	2	3	1	4	5	3	3	5	3	4	5	2
101	1	3	3	3	3	1	4	4	3	3	3	3	3	5	1
102	1	3	3	2	3	1	4	5	3	3	4	3	3	5	2
103	1	1	2	1	3	2	4	4	3	2	4	3	3	4	1
104	2	1	3	2	2	1	4	5	3	3	4	3	3	4	1
105	2	2	3	2	3	1	4	5	3	3	5	3	4	5	2
106	1	2	3	2	3	1	4	5	3	3	4	3	3	5	2
107	1	2	2	2	3	1	3	3	2	2	4	3	3	4	2
108	1	1	2	2	2	1	4	5	3	3	4	4	3	4	3
109	1	2	2	2	3	1	4	5	3	3	5	4	4	5	2
110	1	2	3	2	1	1	5	4	4	4	5	4	5	5	1
111	1	3	3	5	3	1	4	4	3	4	5	4	3	5	3
112	1	2	3	3	3	1	5	4	4	4	4	3	4	5	1
113	1	3	3	3	3	1	3	3	2	2	4	3	3	4	4
114	2	1	3	1	3	2	4	4	3	2	5	3	3	4	1

ПРИЛОГ 5. Резултати анкете за упоредбу начина оспособљавања

ИСПИТАНИК	ПОЛ	ЗНАЊЕ CNC	ЗНАЊЕ ZNR	НАЧИН ОСПОСОБЉА ВАЊА	CNC 1	CNC 2	CNC 3	CNC 4	CNC 5	ZNR 1	ZNR 2	ZNR 3	ZNR 4	ZNR 5	ZNR 6
1	1	2	2	1	3	2	1	1	2	3	4	3	2	3	4
2	2	2	1	1	5	3	2	5	5	5	5	4	5	5	5
3	1	2	2	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	2	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	1
5	1	1	2	1	5	5	5	5	5	4	3	3	3	3	2
6	1	2	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3
7	1	2	2	1	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5
8	1	2	2	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
9	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	1	1	1	1	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4
11	2	2	2	1	4	4	5	4	4	4	3	3	4	3	4
12	1	2	2	1	4	3	2	3	2	4	4	3	3	4	4
13	2	2	2	1	4	3	3	4	3	3	3	2	3	2	3
14	1	2	2	1	3	4	3	4	4	3	3	4	4	4	3
15	1	2	2	1	3	2	2	3	3	4	3	3	3	4	3
16	1	2	2	1	3	3	4	3	2	3	3	4	3	4	4
17	1	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3	3	2	1	2
18	1	2	2	1	3	2	4	3	2	2	3	2	3	4	3
19	1	2	2	1	3	2	3	3	3	4	3	4	3	4	4
20	1	2	2	1	4	3	4	4	5	4	5	4	5	5	5
21	1	2	2	1	4	4	3	3	3	3	3	4	4	5	4
22	1	2	2	1	3	3	2	2	2	3	3	4	4	3	4
23	1	2	2	1	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4
24	1	2	2	1	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4
25	1	2	2	1	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4
26	1	2	2	1	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4
27	1	2	2	1	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4
28	1	2	2	1	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4
29	1	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	3	3	3	4
30	1	2	2	1	4	5	4	3	5	4	4	3	4	4	3
31	1	2	2	1	4	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5
32	1	2	2	1	4	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5
33	2	2	2	1	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4
34	1	1	1	1	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4
35	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
36	1	1	1	1	4	5	4	5	5	4	4	4	4	5	5
37	1	2	2	1	5	5	4	4	3	4	3	4	3	4	4
38	1	2	2	1	4	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
39	1	2	2	1	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	3
40	1	2	2	1	3	4	2	2	3	3	2	3	2	2	2

41	2	2	2	1	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3
42	1	2	2	1	4	5	4	3	4	3	2	3	3	3	3
43	1	2	2	1	4	3	3	4	4	3	2	2	3	3	2
44	1	2	2	1	4	5	5	5	4	5	4	3	4	3	4
45	2	2	2	1	4	5	4	3	4	4	4	3	4	3	5
46	1	2	2	1	4	3	4	5	4	4	4	3	4	4	4
47	1	2	2	1	4	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2
48	1	2	2	1	3	2	3	2	3	3	2	2	1	1	2
49	1	2	2	1	3	3	2	2	1	2	2	3	2	1	1
50	1	2	2	1	2	3	2	3	2	3	3	4	3	4	4
51	1	2	2	1	4	4	4	4	4	5	4	5	3	3	4
52	1	2	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	2	3	3
53	1	2	2	1	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4
54	2	2	2	1	4	4	5	4	3	4	4	3	3	2	3
55	2	2	2	1	4	4	4	3	4	3	2	2	2	3	2
56	1	2	2	1	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2	3
57	1	2	2	1	4	4	5	4	5	3	4	5	4	4	3
58	1	2	2	1	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4
59	1	2	2	1	4	3	3	5	5	5	5	4	4	5	3
60	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	4
61	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3
62	1	2	2	1	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4
63	1	2	2	1	2	3	4	4	3	4	4	4	2	3	2
64	1	2	2	1	4	5	5	4	4	4	3	3	4	4	4
65	1	2	2	1	3	2	3	2	2	3	3	3	3	4	3
66	1	2	2	1	4	3	4	4	3	4	3	4	4	3	3
67	2	2	2	1	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4
68	1	2	2	1	4	3	5	4	5	4	4	4	5	4	3
69	1	2	2	1	4	5	3	4	3	4	4	3	3	3	2
70	1	2	2	1	3	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3
71	1	2	2	1	4	5	4	4	4	3	2	2	3	2	2
72	1	2	2	1	4	4	3	3	2	3	2	3	3	2	2
73	1	2	2	1	4	4	3	5	4	5	5	4	4	3	4
74	1	2	2	1	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2
75	1	2	2	1	5	4	3	4	3	4	4	3	3	3	2
76	1	2	2	1	4	3	4	3	3	2	2	3	2	3	2
77	1	2	2	1	5	4	4	5	5	5	3	3	3	3	3
78	1	2	2	2	4	5	4	3	4	4	3	4	4	3	5
79	1	2	2	2	4	3	4	4	4	4	5	3	3	3	4
80	2	2	2	2	5	5	5	5	4	4	4	5	4	4	5
81	1	1	2	2	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5
82	2	2	2	2	4	4	5	4	3	4	4	3	3	4	4
83	2	2	2	2	5	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4
84	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5
85	1	2	1	2	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5
86	1	2	2	2	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	4

87	1	1	1	2	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4
88	2	2	2	2	5	5	4	4	4	4	3	5	4	5	5
89	1	2	2	2	4	4	4	4	5	2	5	5	3	5	4
90	1	2	2	2	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4
91	1	2	2	2	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4
92	1	2	2	2	3	2	4	3	3	4	3	4	3	3	3
93	1	2	2	2	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4
94	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5
95	2	2	2	2	5	5	5	5	5	4	4	4	5	4	5
96	1	2	2	2	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4
97	2	2	2	2	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4
98	1	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	4	2	3	3
99	1	2	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	1	2	2	2	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	5
101	1	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	4	3	4	4
102	2	2	2	2	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4	5
103	1	2	2	2	4	5	4	4	5	4	4	4	3	4	4
104	1	2	2	2	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4
105	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	2	3	4
106	1	2	2	2	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	5
107	1	2	2	2	5	4	5	4	4	3	3	3	3	3	4
108	1	2	2	2	5	4	4	5	4	3	4	4	4	3	4
109	1	2	2	2	5	4	4	4	4	4	5	4	5	4	5
110	1	2	2	2	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4
111	1	2	2	2	4	5	4	3	4	4	4	5	3	4	5
112	1	2	2	2	4	5	4	3	4	4	4	5	3	4	4
113	1	2	2	2	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4
114	2	2	2	2	5	4	5	4	4	4	4	5	4	3	4
115	1	2	2	2	4	5	4	3	4	4	4	3	4	4	4
116	1	2	2	2	4	4	5	4	4	3	3	4	4	3	4
117	1	2	2	2	5	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4
118	1	2	2	2	5	4	5	5	5	4	3	5	3	5	4
119	1	2	2	2	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5
120	1	2	2	2	3	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3
121	1	2	2	2	3	2	3	2	4	3	4	4	2	2	3
122	1	2	2	2	3	4	4	3	4	2	2	3	4	3	4
123	2	2	2	2	4	4	4	5	5	4	5	4	4	3	4
124	1	2	2	2	5	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4
125	2	2	2	2	4	4	3	4	4	3	5	5	3	4	3
126	1	2	2	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4
127	1	2	2	2	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4
128	1	2	2	2	3	3	4	5	4	3	4	4	3	4	3
129	1	2	2	2	4	4	4	2	3	4	3	4	2	4	4
130	1	2	2	2	5	5	5	4	4	4	4	5	3	5	4
131	1	2	2	2	5	4	4	4	4	5	4	5	3	5	4
132	1	2	2	2	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4

133	1	1	1	2	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5
134	1	1	1	2	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5
135	1	2	2	2	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4
136	1	2	2	2	4	5	4	4	4	4	5	4	3	5	5
137	1	2	2	2	4	5	4	5	5	5	4	5	2	4	3
138	1	2	2	2	4	5	4	4	3	4	4	5	3	5	5
139	1	2	2	2	5	5	4	4	3	4	4	4	3	4	4
140	1	2	2	2	5	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4
141	1	2	2	2	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4
142	1	2	2	2	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	5
143	1	2	2	2	4	5	4	4	4	4	4	3	3	4	4
144	1	2	2	2	4	4	5	4	5	5	4	4	4	4	5
145	2	2	2	2	4	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5
146	1	2	2	2	4	4	5	3	3	4	4	3	3	4	4
147	1	2	2	2	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5
148	2	2	2	2	4	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5
149	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4
150	1	2	2	2	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3
151	1	2	2	2	4	3	3	3	2	3	3	4	3	2	3
152	1	2	2	1	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5
153	1	2	2	1	5	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5
154	1	2	2	1	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5
155	1	2	2	1	4	5	4	4	5	4	4	4	5	4	4
156	1	2	2	1	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
157	1	2	2	1	5	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4
158	1	2	2	1	4	4	4	4	5	3	4	3	5	4	4
159	1	2	2	1	4	4	4	4	5	3	5	5	5	3	4
160	1	2	2	1	5	3	5	4	5	5	3	5	4	5	4
161	1	2	2	1	4	3	5	5	4	5	4	3	4	4	3
162	1	2	2	1	4	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4
163	1	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3
164	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2
165	1	2	2	2	2	2	3	4	3	2	2	4	3	2	3
166	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	4	3	3	4
167	1	2	2	2	2	2	3	4	2	2	2	3	2	3	2
168	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2
169	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2	4	5	4	4
170	1	2	2	2	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3
171	1	2	2	2	4	4	3	3	2	2	3	4	3	2	3
172	1	2	2	2	4	4	3	3	4	4	3	4	3	2	3
173	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
174	2	2	2	2	4	3	4	4	3	4	2	4	3	4	4

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Рођен је 02. септембра 1985. године у Сарајеву, Босна и Херцеговина. Основну школу „Младен Стојановић“ у Лакташима завршио је 2000. године. Након завршетка основне школе уписао је Техничку школу у Бањој Луци, коју је завршио 2004. године. Исте године уписао је Машински факултет у Бањој Луци. Основне студије на Машинском факултету, смер Заштита на раду, завршио је са просечном оценом 7,24, а у децембру 2010. године одбранио је дипломски рад са оценом девет (9) под називом „Анализа параметара радне околине на Машинском факултету Бања Лука“, под менторством проф. др Сњежане Петковић.

Студије другог циклуса уписао је 2016. године на Рударско-геолошко-грађевинском факултету у Тузли, смер Сигурност и помоћ. Студије је завршио са просечном оценом 9,16, а у јуну 2018. године одбранио је магистарски рад са оценом 10 под називом „Мере за смањење пожарног ризика у индустријским системима са високим степеном опасности од пожара и експлозије“.

Докторске академске студије Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент, у трајању од три године према плану и програму, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу уписао је 2018. године. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом, са просечном оценом 9,33.

По завршетку основних студија запослио се у струци у области контроле квалитета производа у предузећу Термоклима д.о.о. Лакташи. Две године касније прелази у предузеће Јакше д.о.о. Лакташи, где је радио на пословима технолога. Након седам година укупног рада у индустрији запослио се у Машинској школи у Приједору као професор машинске групе предмета. Тренутно је запослен у Средњошколском центру Лакташи на пословима професора машинске групе предмета.

Оснивач је и потпредседник Удружења инжењера заштите и здравља на раду Републике Српске.

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Миле Вајкић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕСА ОСПОСОБЉАВАЊА ЗАПОСЛЕНИХ У ОБЛАСТИ БЕЗБЕДНОСТИ И ЗДРАВЉА НА РАДУ ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОГИЈА ВИРТУЕЛНЕ СТВАРНОСТИ и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам¹

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, 14.02.2026 године


потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:
УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕСА ОСПОСОБЉАВАЊА ЗАПОСЛЕНИХ У ОБЛАСТИ
БЕЗБЕДНОСТИ И ЗДРАВЉА НА РАДУ ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОГИЈА ВИРТУЕЛНЕ
СТВАРНОСТИ истоветне.

У Крагујевцу, 14.02.2026 године


потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕСА ОСПОСОБЉАВАЊА ЗАПОСЛЕНИХ У ОБЛАСТИ
БЕЗБЕДНОСТИ И ЗДРАВЉА НА РАДУ ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОГИЈА ВИРТУЕЛНЕ
СТВАРНОСТИ

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког
рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 14.02.2026 године,



потпис аутора