

2022. NOVEMBER 25.

**Virtuális valóság (VR) kínálta lehetőségekkel támogatott  
építéshelyszíni organizáció szimulálása és biztonságtechnikai  
oktatások támogatása baleset megelőzés céljából.**

SIMON DÓRA ERIKA  
KYXCZC  
TMDK Dolgozat

Pécsi Tudományegyetem  
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar  
Építészeti Tanszék

**Virtuális valóság (VR) kínálta lehetőségekkel támogatott  
építéshelyszíni organizáció szimulálása és  
biztonságtechnikai oktatások támogatása baleset megelőzés  
céljából.**

Készítette: Simon Dóra Erika  
Évfolyam: 7. évfolyam

Konzulens: Dr. Rák Olivér  
Beosztása: Adjunktus

## Tartalomjegyzék:

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bevezetés .....</b>                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>Célkitűzések.....</b>                                                                                 | <b>5</b>  |
| <b>1. A kutatási témához kapcsolódó irodalmi és technológiai áttekintés.....</b>                         | <b>6</b>  |
| 1.1. A kutatási téma áttekintése .....                                                                   | 6         |
| 1.2. VR-Virtuális valóság fejlődésének főbb mérföldkövei .....                                           | 8         |
| 1.3. A kutatásban használt VR eszközök.....                                                              | 10        |
| 1.4. Mivel kínál többet a VR technológiával támogatott organizáció tervezés és biztonsági oktatás? ..... | 11        |
| 1.5. Milyen egyéb területeken használják napjainkban a VR-t oktatási eszközként? .....                   | 12        |
| <b>2. Kutatási módszertan.....</b>                                                                       | <b>13</b> |
| 2.1. Tervezett kutatás leírása: .....                                                                    | 13        |
| 2.2. Tervezett mérések és az ehhez használt, fejlesztett megoldások.....                                 | 14        |
| 2.3. A kutatáshoz kifejlesztett mozgás követő alkalmazás: .....                                          | 15        |
| 2.4. A létrehozott BIM modell.....                                                                       | 18        |
| 2.1. A létrehozott, egyszerűsített organizációs tervek .....                                             | 20        |
| 2.2. A létrehozott virtuális tér .....                                                                   | 21        |
| 2.3. A kutatásban részt vevő egyetemi polgárok .....                                                     | 23        |
| 2.4. A kutatás elemzése.....                                                                             | 24        |
| 2.4.1. Huawei Watch 3 Pro eszközzel gyűjtött adatok .....                                                | 24        |
| 2.4.2. Koncentráció vizsgálása a „Muse 2” fejpánttal .....                                               | 25        |
| 2.5. A lejárt útvonal vizsgálata mozgást követő és dokumentáló alkalmazással .....                       | 27        |
| 2.5.1. A veszély zónákba való belépés .....                                                              | 30        |
| 2.5.2. A feladatok pontos elvégzése .....                                                                | 32        |
| <b>3. A kutatás eredménye .....</b>                                                                      | <b>34</b> |
| <b>4. A kutatás értékelése és a levont következtetések .....</b>                                         | <b>36</b> |
| <b>Összefoglalás.....</b>                                                                                | <b>37</b> |
| <b>Köszönetnyilvánítás .....</b>                                                                         | <b>37</b> |
| <b>Irodalomjegyzék.....</b>                                                                              | <b>41</b> |
| <b>Hallgatói Nyilatkozat.....</b>                                                                        | <b>44</b> |
| <b>Mellékletek: .....</b>                                                                                | <b>45</b> |

## **Bevezetés**

*A digitális számítógéphez csatlakoztatott kijelző lehetőséget ad arra, hogy megismerjük a fizikai világban nem megvalósítható fogalmakat. Egy matematikai csoda országba tekintő üveg.*

*- Ivan Sutherland*

A munka világában általánosan elmondható, hogy a munkahelyi biztonság, az egyén védelme prioritást élvez, bármilyen iparágról, tevékenységről is legyen szó. Ennek érdekében számos törvény, határozat, szabály született a különböző munkafolyamatokra specifikálva, amelyek jellemzően egyre szigorúbbak lesznek, ahogy a munkafolyamatok, az eszközök fejlődésével párhuzamosan, egyre komplikáltabbá válnak. Bár ezek a szabályozások országonként eltérhetnek, mindnek egy közös célja van: az emberi élet védelme.

Ezen szabályozások azonban gyakran nem bizonyulnak elegendőnek a mindennapokban. A dolgozók sok esetben nem értik, vagy nem látják szükségesnek a szabályok betartását, nem tartják fontosnak a védőfelszerelések használatát, ezért azok nélkülözése mellett döntenek. Ezen döntések gyakran vezetnek enyhe, rövid időn belül gyógyuló, vagy akár hosszú távú, maradandó egészségkárosodáshoz (pl.: a zajszűrő fülvédő nélkülözése, kiemelten zajos környezetben halláskárosodáshoz vezethet), de szélsőséges esetben akár halálos kimenetelű balesethez is vezethetnek.

A munkahelyi balesetek között számos ok-okozati kapcsolatot fedezhetünk fel. Statisztikák szerint a balesetek leggyakoribb oka a figyelmetlenség, a védőfelszerelés hiánya vagy a megfelelő szakértelem hiánya. [1] Ezek a tényezők bármelyik iparágra igaznak bizonyulhatnak, azonban az építőiparra kiemelten jellemzőek. Mi sem bizonyítja jobban ezt a tényt, mint az építési területeken állandó jelleggel kötelezett munkavédelmi viselet. Az építőipar esetén számos veszélyforrással kell számolni. Nagy számban fordulnak elő előre látható és tervezhető különleges eljárást igénylő situációk (pl.: daruk anyagmozgatási területén való tartózkodás, bontási területen a lehulló törmelék okozta balesetveszélyes zónák, gépkezelési veszélyek). Ugyanakkor egy építési területen kialakulhatnak előre nem látható baleseti situációk (pl.: meghibásodott eszközök, hibásan felmért talajok beomlása). Ezek kezeléséhez megfelelő szaktudásra, tapasztalatra, döntéshozatali képességre és gyors reakcióidőre van szükség.

Az építési területen szükséges tapasztalat megszerzése azonban csak minimális mértékben lehetséges, valós építési munkafolyamatokban való részvétel nélkül. A munkáltatók elsősorban csak az aktuális szakági feladatok ellátására készítik fel a dolgozókat, illetve a legalapvetőbb és törvényben is előírt [2] baleset megelőzési oktatást tartanak az új munkavállalók részére. Így egy új alkalmazottnak, egy relatíve veszélyes, számára ismeretlen területen kell, hibázás nélkül bizonyosságot adnia szakmai rátermettségéről.

Egy gyártói szituációban, a betanuló munkás akár több hibás darabot is készíthet, legrosszabb esetben levonják az adott hibás termék árát a fizetéséből, vagy elbocsájtják. Egy gyártó üzem területén adottak és változatlanok a veszélyzónák, (pl.: rakodó zónák, kohók stb.), a munkát megelőzően a balesetvédelmi oktatás egyszerűen elvégezhető, például egy személyes bejárás és biztonságtechnikai bemutató keretein belül.

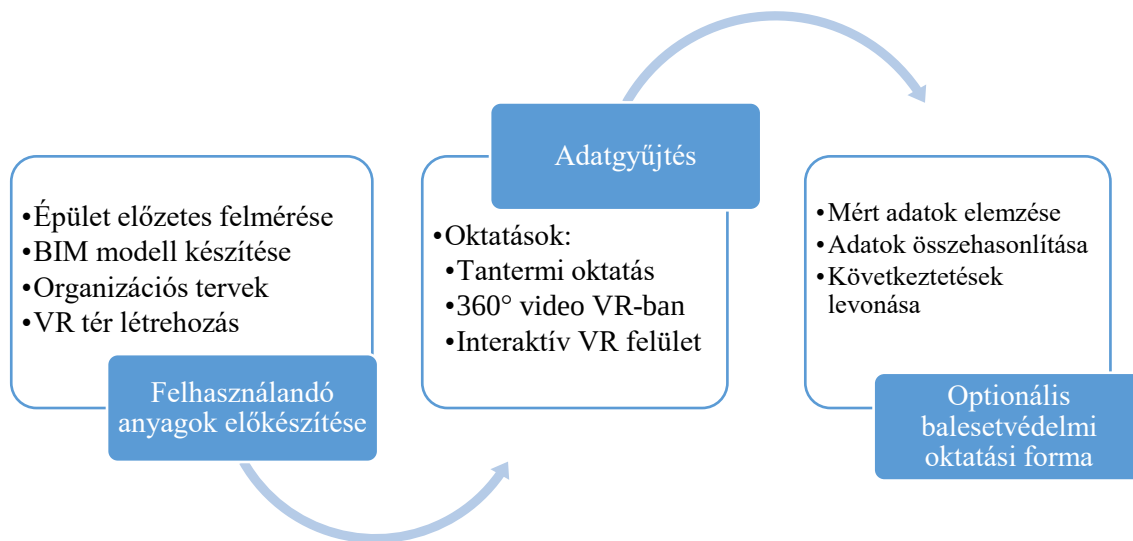
Ezzel szemben az építőipar folyamatokban kevés lehetőség van a munkafázisok közötti balesetvédelmi oktatás során helyszíni bejárásra. Ezért egy új munkavállalónak is épp olyan magabiztos tudással kell rendelkeznie a munkájáról, és az azzal járó veszélyekről, mint egy több éves tapasztalattal rendelkező építőipari dolgozónak.

A problémához hozzátartozik, hogy az új munkavállalóknak nem tudnak széleskörű balesetvédelmi oktatást biztosítani a munkáltatók. Legtöbbször ez abból adódik, hogy nincs olyan szakember, aki átlátná az organizációs tervek minden szakaszát és veszélyét, az elvégzendő munkafolyamatokat, valamint ezen felül még ideje is lenne a betanítással foglalkozni. Éppen ezért az új munkavállalók leggyakrabban 1-7 napos, csoportos felkészítést kapnak, tantermi keretek között, vagy pedig ráhagyják a tapasztalt dolgozókra a betanítást. Ez utóbbi szituáció és ennek akár szélsőségesebb változatai nem csak Magyarországra jellemzőek, hanem számos környező országra is. Erre a helyzetre jelenthet megoldást a virtuális valóságban folytatott munkavédelmi, baleset megelőzési oktatás.

A VR (virtuális valóság) sajátos eszközei révén megadhatja azt a tapasztalat alapú tudást, amelyre bármely munkavállalónak szüksége lehet, mielőtt ismeretlen építési területre lép. A technológia segítségével balesetmentes környezetben gyakorolhatók a speciális veszélyhelyzetek esetén szükséges teendők, melyek eredményességéről azonnali visszacsatolást kaphatunk.

## Célkitűzések

A fentiek alapján kutatásom célkitűzése, hogy egy komplex kutatás (1. ábra) segítségével bizonyítsam a virtuális valóság alapú balesetvédelmi oktatás implementálásának előnyeit és bemutassam a technológia által elérhető lehetőségeket az építőipar organizációs feladataival kapcsolatban.



1. ábra, A kutatás tervezett folyamata

Előzetes kutatásaim során, több hasonló témájú nemzetközi tudományos publikációt és projektek ismertem meg, illetve néhány magyar kutató eredményeit is megvizsgáltam. Az irodalom jelentős része az építőipar egy-egy kiemelten veszélyes területére fókuszál, például zuhanásbiztonság, daru kezelés, tűz és robbanás veszélyes anyagok környezetében végzendő munkák. Jelen kutatás azt hivatott megvizsgálni, hogy miként segítheti a technológia alkalmazása a baleset megelőzést, illetve hogy a mindennapi munka során, az építőiparban tevékenykedő munkavállalók VR alapú oktatása hatékonyabb eszköznek bizonyul-e a hagyományos eljárásokkal szemben.

Ezek alapján a kutatásom célja az volt, hogy tanulmányozzam, a különböző oktatási formák hatásosságát az építőipar vonatkozásában. Ennek részeként feltételeztem, hogy a VR alkalmazása segítheti a munkavállalók építési területen való mozgását, a veszélyzónák vizuális 3D élmény alapú megjelenítése és bemutatása pontosabb munkavégzést eredményezhet az élmény/tapasztalás útján átadott információ révén.

# **1. A kutatási témához kapcsolódó irodalmi és technológiai áttekintés**

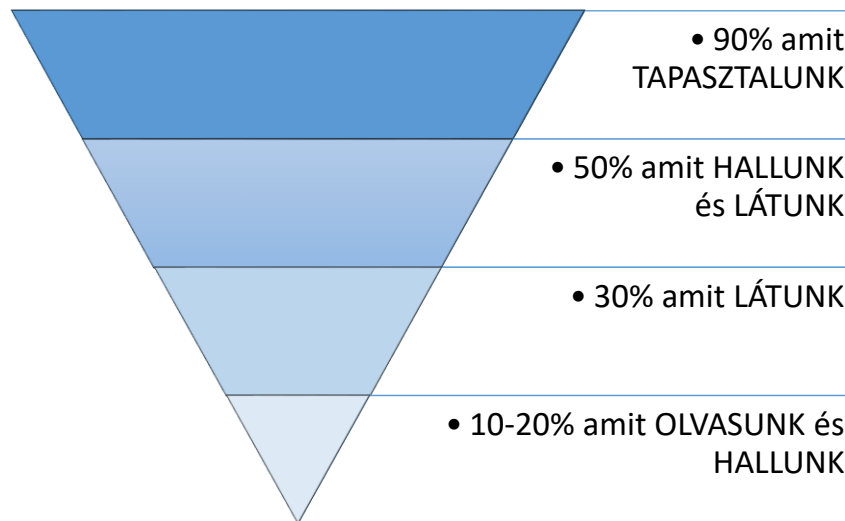
## **1.1. A kutatási téma áttekintése**

Az iparágak az elmúlt években rohamos ütemben automatizálódnak, a felmerülő feladatok és ebből kifolyólag a helyszíni organizációk tervezése, a munkaterv betartása, és a biztonsággal kapcsolatos kihívások napról napra összetettebbé válnak. Az építőipar magas baleseti kockázatú iparágnak minősül. Egy kutatás szerint, amely az elmúlt 20 év munkabaleseteinek statisztikáit elemezte, a magyarországi munkabalesetek (az összes nemzetgazdasági ágazatot figyelembe véve) több mint 5 %-a az építőiparban történik. [1] Ez a szám azonban valójában magasabb is lehet, a nem regisztrált munkabalesetekből adódóan. A tény, hogy semelyik másik iparág nem rendelkezik ilyen magas százalékkal önmagában is bizonyítja a biztonság és a baleset megelőzési óvintézkedések szükségességét az építkezéseken. Ezen felül egy másik adat is kiemelkedő a statisztikák közül. Az építőipari munkabalesetek közel 3%-a halálos kimenetelű, amely a többi ágazat adataihoz képest megközelítőleg hatszoros arányt mutat. [1]

A másik jelentős tényező balesetvédelmi oktatás minősége. Egy általános összefoglaló oktatás, melynek célja, hogy egy átfogó tudást gyorsan és hatékonyan adjon át a munkavállalónak, nem feltétlen lehet elegendő bizonyos munkakörök esetén. Egy hétköznapi helyzetben, tényeken alapuló és megtervezett szituációk alapján tartott tradicionális oktatás nehezen tartja fent a hallgatóság figyelmét, különösen, ha az oktatás egy nap alatt zajlik le, és az egyénnek akár 8 órán keresztül fókuszáltan figyelnie kell. Ez egyértelműen problémát jelent, de egy olyan szituációban, amely életek védelmét hivatott elősegíteni, különösen kiemelkedő problémának számít.

A munkavállalók tudatlansága, koncentrációjuk hiánya, valamint az iparosodás nyomán keletkezett nem megfelelő képzettség és tapasztalatlanság, jelentősen megnövekedett rizikó faktort eredményezett az építőiparban. Napjainkban a munkáltatók biztosítanak helyszíni és helyszínen kívüli biztonsági oktatást is, hogy csökkentsék a magas kockázatú lehetséges balesetek számát. Azonban az oktatási forma miatt, ez a képzés gyakran nem elegendő. Ennek fő oka a meglévő képzési módszerekben rejlik, hiszen azok nem képesek elősegíteni a kognitív tanulás mélyebb formáit, valamint a tudás megőrzését.

Ezt a jelenséget számos pedagógiai kutatásban bebizonyították már. Az egyik legismertebb összefoglaló ábrát, Edgar Dale készítette. Edgar Dale – Tanulás piramisa szerint (2. ábra), két hétre levetítve, az elmondottaknak csupán 20 %-ára emlékszünk, míg a megtapasztalt, szimulált tevékenységeknek 90%-ára. A két érték közti különbség nagymértékben befolyásolhatja a munkahelyen az organizációból eredő balesetek számát.[3]



2. ábra Edgar Dale Tanulás piramisa [2]

Napjainkban, az építőipari munkások biztonsági oktatása elsősorban a szükséges védőeszközök, felszerelések alkalmazására terjed ki, míg az organizációból, azok megértésből és betartásából adódó problémákra kevés figyelmet fordítanak. A kétdimenziós organizációs tervek sokak számára nehezen érthetők és értelmezhetők, így a terveken szereplő információk a munkások számára nagyrészt ismeretlenek. Amennyiben ismertetik az organizációból származó veszélyeket, azok hallás utáni megjegyzése és alkalmazása a mindennapi munkavégzés során kevésbé hatékony.

Az építéshelyszíni biztonsági oktatásnak épp úgy szükséges a digitalizáció felé haladnia, mint az ipar többi részének. Egy interaktív felület elkészítésével támogathatók a folyamatok, amelyen keresztül a munkavállalók, a tervezők és a munkáltatók is felismerhetik a különféle veszélyhelyzeteket, azokra megelőzési stratégiát dolgozhatnak ki, illetve gyakorolhatják a döntéshozatal folyamatát.

Az építőipari előzetes oktatások hátránya egyéb ipari ágazatokkal szemben, hogy a helyszíni gyakorlati oktatás nem lehetséges, vagy csak korlátozott mértékben kivitelezhető, hiszen az építési területre az építés megkezdése előtt többségében nem lehet

bemenni, amikor pedig az építmények építése folyamatban van, a valós veszély már fent áll. Így az oktatás a legtöbb esetben megghiúsul, hiszen nem lehet a balesetvédelmi oktatással veszélybe sodorni a munkavállalókat.

Ezeket figyelembe véve a leghatékonyabb információátadási formaként, újfajta tanulásra, bemutatásra, tervezésre nyújthat megoldást a VR technológia. Jelenleg a VR technológiát két területen alkalmazzák az építőiparban: az épületek/létesítmények tervezés támogatása során, vizualizációra, áttekintésre, marketingre, valamint az építéshelyi összeszerelési folyamatok oktatása esetén. Ezeken a területeken a tudományos publikációk nagy számossága [4; 5; 6; 7; 8] is megfigyelhető az utóbbi években, míg a munkahelyi baleset megelőzés kevésbé kutatott tématerület.

## 1.2. VR-Virtuális valóság fejlődésének főbb mérföldkövei

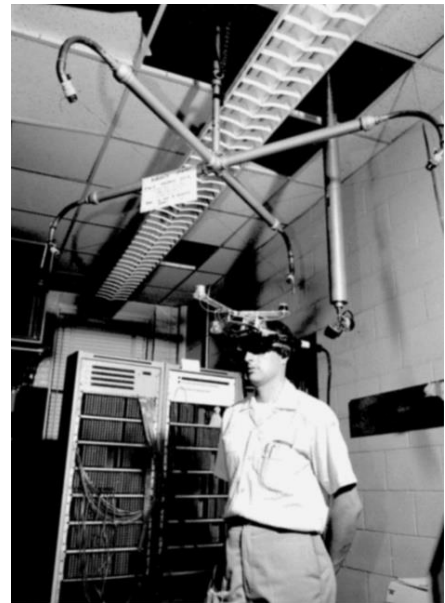
A virtuális valóság, egy olyan háromdimenziós kép vagy környezet, számítógéppel generált szimulációja, amellyel egy személy látszólag valós vagy fizikai módon interakcióba léphet speciális elektronikus berendezéssel, például egy headset segítségével, amelynek belsejében egy képernyő van vagy érzékelőkkel ellátott kesztyűvel [5]. A virtuális valóság, mint fogalom nem a 21. században született, azonban nem is lehet, egy kifejezett évszámot megnevezni a feltalálás éveként. A VR és annak formái, a kiterjesztett valóság, az immerzív virtuális valóság és kevert virtuális valóság létrejötte sokkal inkább egy hosszas, évtizedeken átívelő fejlődési folyamat.

A virtuális valóság fogalma először a katonaság oktatási nehézségei miatt kezdett kialakulni. Az első világháború után a légi erők jelentős figyelmet kaptak a nagyhatalmak hadi repertoárjában. Azonban ez nem jelentette azt, hogy akárkit felküldhettek egy repülővel gyakorlatozni. A légi erő tesztjein csak a legjobb juthattak át, a kiképzés pedig nehéz és hosszadalmas volt, azonban nem tudták szimulálni azt a stresszhelyzetet, amit több ezer méter magasan egy gépet irányítva élhet át az ember. Izom memóriával igyekeztek az oktatást színesíteni, ezáltal még magas stresszhelyzetben is jelentősen csökkenhetett a reakció idő. Ezért olyan szerkezeteket kezdtek el építeni, ami szimulálja a repülőben való létet. Egy lábazaton álló mozgó szerkezetet építettek, ami szinte megegyezett a repülő belső kialakításával. Bár ez egy jelentős esemény volt, hiszen itt fogalmazódott meg először valamely tevékenységnek a szimulálása oktatási célokból,

még sem ezeket az eseményeket szokták a virtuális valóság fejlődési folyamatának tekinteni.

A leggyakrabban elfogadott mérföldkövek a következők:

- 1962: a legtöbb tanulmány a tényleges fejlődési folyamat kezdő pontjaként definiálja, amikor is Morton Heilig szabadalmaztatta Sensorama berendezését, ami a motorozás élményét volt képes szimulálni egy speciális szemüveg és sztereó hangzású hangszórók segítségével, valamint annak érdekében, hogy mind az 5 érzékszervre hassanak illatanyagokat szórtak a felhasználó orra elé.
- 1967: a következő mérföldkö, amikor Ivan Sutherland első fej mozgás követő, Head Mounted Display (HMD) rendszerének bemutatása megvalósult (3.ábra). Ezt az eszközt a még a korban is abnormálisan hatalmasnak, élehetetlennek minősítették. Mérete és súlya miatt a plafonról kellett lelógatni, és az alacsony grafikai minőség miatt többen rosszul lettek használata közben. Az eszköz játékos csúfnevet is kapott ép ezért: „Damocles kardja”-ként emlegették a kor kutatói. Ennek ellenére a találmány jelentős volt, elindította a folyamatot. Sutherlandot gyakran nevezik a számítógépes grafika atyjának is, ő fejlesztette ki többet között a fény ceruza és sketchpad-ot.
- 1975: ekkor mutatta be Myron Krueger az általa Mesterséges Valóságnak (Artificial Reality) nevezett rendszerét. Ebben, a már mondhatni alkalmazásban, egy videós képfelismerő rendszert hozott létre Krueger, amelyben egy projektorral megjelenítve, a használó egy sziluettszerű alakkal képes volt a digitális objektumokkal interakcióba lépni.
- 1989: Jaron Lanier a „virtuális valóság”-ot mint fogalom használja egy interjú során. Ezek után sok éven keresztül az összes hasonló technológiára is azt mondják, hogy virtuális valóság. Bizonyos publikációkban a mai internet elődjére is, virtuális valósággént hivatkoztak. [10]



3. ábra Kezdetleges HMD rendszer, forrás: <https://www.britannica.com/facts/Ivan-Sutherland>

### 1.3. A kutatásban használt VR eszközök

A digitális eszközök terén az elmúlt két évtizedben rohamos fejlődésnek lehettünk tanúi. Ennek a fejlődésnek előnyei és hátrányai is vannak. Előnye, hogy a készülékek az évek során egyre olcsóbbak és a nagyközönség számára elérhetőbbé váltak. Viszont hátránya, hogy az újabb és újabb eszközök által elérhető lehetőségekkel nehéz lépést tartani az oktatás és egyéb felhasználások téren is.

A VR szemüvegek esetén kijelenthető, hogy a szoftverek átjárhatósága problémás. Majdnem minden eszköz más-más operációs rendszerrel működik, vagy pedig külső szoftveres támogatásra van szüksége a működéshez. Elérhetők olyan VR szemüvegek, amelyek képesek önmagukban működni anélkül, hogy számítógép kellene hozzájuk, ilyen például az Oculus Quest 2 eszköz. Azonban vannak olyan eszközök is, amelyek kizárólag számítógépen futott programok segítségével működnek, ilyen például a Vive VR szemüveg is. Mindkettőnek meg van a maga előnye és hátránya is, ezért mind a két említett VR eszközzel dolgoztam a kutatás során.

A fejlesztési szakaszban egy Oculus Quest 2 (4. *Ábra*) eszközzel dolgoztam. A fejlesztés során, előnyösebb volt ez az eszköz számomra, mivel nem rendelkezik külön telepítendő szenzorokkal, így az otthoni munkára tesztelésre sokkal hatékonyabbnak bizonyult. A tervezett oktatási programot Unity szoftverben készítettem, így a teszteket is Unity környezetből indítva végeztem el, ehhez pedig az Oculus szemüveget összekötöttem a számítógéppel, így a háttér számításokat a gép végezte el, nem pedig a szemüveg.



4. ábra Oculus Quest 2 eszköz

Ez azért is volt fontos, mert az oktatáshoz felhasznált BIM modellek rendkívül nagy részletességűek. Ezzel a tesztek közben problémák merültek fel, először csak az vált világossá, hogy nem engedte a VR szemüveg saját tárhelyről indítani a programot és még a gépről futtatva is néha akadozott a program.

Ezért a végső teszteket és az oktatást egy HTC VIVE (5. ábra) szemüveg segítségével végeztem, amihez az alapvető kontrollereken túl, kettő darab VIVE tracker-rel is kiegészítettem az érzékelőket, ezáltal a VR térben a lábak mozgását is nyomon követhette a felhasználó.



5. ábra HTC VIVE – VR szett

#### 1.4. Mivel kínál többet a VR technológiával támogatott organizáció tervezés és biztonsági oktatás?

A VR technológia új dimenziókat tár a felhasználók elé. Lehetőséget kínál a tervezés során készített BIM modellek valós idejű ellenőrzésére interaktív módon, valamint a hatékonyabb vizsgálatokhoz a vizualizáció révén lehetővé válik a balesetek ok-okozati összefüggéseinek felfedezése.

Az oktatás területén az immerzív tulajdonsága miatt képes gyorsítani a tanulási folyamatokat, ösztönözni a felhasználót az aktív gondolkodásra, problémamegoldásra. Lehetőséget kínál a döntéshozatali folyamatok tesztelésére, melyek során az előnytelen kimenetelű döntések és azok következményeinek megtapasztalására is van lehetőség, mindeközben pedig a felhasználó egy kockázatmentes környezetben van. [11; 12; 13]

Az építészeti oktatásban a VR egy olyan háttérmodellből fejlesztett szimulációba szervezett digitális környezetet jelent, amely a szimuláción keresztül kapcsolatot teremthet a felhasználó és a 3D BIM modell között. Interakciók alakíthatók ki, ezáltal mélyebb és hosszabban tartó ismereteket szerezhet a felhasználó, amelyek az eszköz immerzív jellegéből adódóan, valós tapasztalatot jelent a felhasználó számára. Megtapasztalhatja virtuális környezetben (Virtual Environment - VE) a számára átadni kívánt térbeli és szöveges információkat egyaránt, néhány ember-számítógép interfész berendezésen keresztül. Egy ilyen szimulátor mindennapi alkalmazása segíthet az építőipari munkások naprakész képzését, ezáltal minimalizálva az emberi hibák lehetőségét és javíthatja a folyamatbiztonságot is. [14; 15; 16]

### 1.5. Milyen egyéb területeken használják napjainkban a VR-t oktatási eszközként?

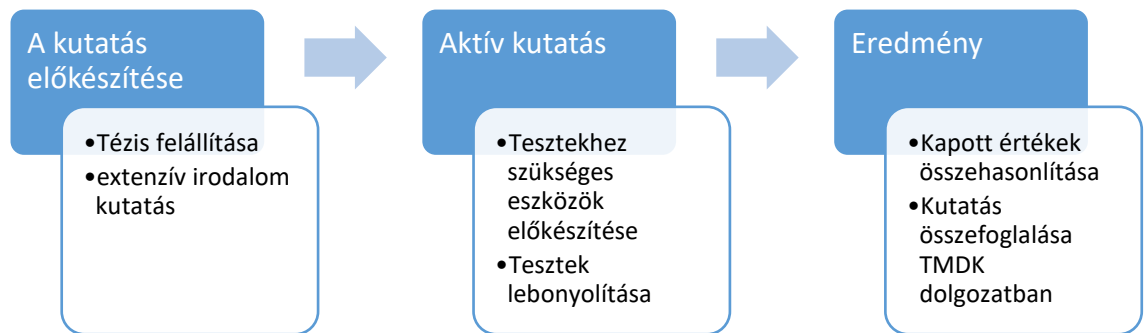
Bár hazánkban nem jellemző a VR alapú oktatás, több országban jelentős sikereket és áttöréseket értek el például a tűzbiztonság, gyalogosbiztonság, bányabiztonság, illetve a balesetek kivizsgálása során különböző iparágakban. Továbbá immerzív VR-alapú biztonsági és irányítási képzést javasolnak a szakemberek az építőiparban a toronydaruk működésének, balesetvédelmi- oktatásának, és az esetleges balesetek megfelelőbb kezeléséhez. A feldolgozó iparban segítette a VR-technológia alkalmazása a kezelők készség fejlesztésében, a terméktervezésben, a hatékony összeszerelési képzésben, folyamatminőség javításában, valamint a marketingben is. [17; 18; 19; 20]

Egy kutatás szerint még az irodai-otthoni munkát is jelentős mértékben előre lendíthetné egy virtuális valóság alapú találkozási tér. Ez azért is számított áttörő témának, mert a cikk még a Covid korlátozások előtt jelent meg. A cikk az otthonról történő munkavégzés fejlesztését kutatta. A kutatás tézise szerint a tér egy olyan rendszerre alakítja a különböző információ halmazokat, amelyre képtelen egy 2D-s felület, ezáltal az emberi agy jobban tudja kezelni és értelmezni az adott információt. [21]

A 3D térben szervezeten elhelyezett információk ember általi értelmezési, felismerési sebessége és hatékonysága magasabb fokú, mint általános esetben. A térbeli elrendezés lehetővé teszi, hogy a digitális tartalmak minden formája hatékonyabban elérhetővé, kezelhetővé és áttekinthetővé váljon, ami a munkafolyamatok sikerességének lényeges eleme.

Egy tanulmány szerint 50%-al hatásosabb az információk feldolgozásának menete, ha egy olyan virtuális térben van megosztva, amelyhez minden dolgozó hozzáfér, és amelyben az adatok egy irodai helyzet szerinti pozícióban lennének, például az asztalon a dokumentumok, a falon a képek, a telefon mellett a címek. Ezt a kutatást támasztotta alá Lampert kutatása is, aki egy átfogó munkahelyi teljesítményen alapuló összehasonlítást végzett el. Ebben a kutatásban azt is megállapították, hogy kollaborációs munkát is, közel 30%-al végzik el gyorsabban a tesztalanyok a virtuális térben. [22]

## 2. Kutatásmódszertan



6. ábra Kutatásmódszertant bemutató folyamatábra

### 2.1. Tervezett kutatás leírása:

Jelen kutatás arra kereste a választ, hogy vajon érdemileg mérhető különbséget jelenthet-e a VR alapú balesetvédelmi oktatás, a hétköznapi tantermi oktatással szemben. (6. Ábra)

A tézis bizonyításához egy átfogó, interaktív tesztet dolgoztam ki, amellyel a következőkben leírt eseteket kívántam összehasonlítani. A tesztalanyokat három csoportra osztottam. Mindegyik csoport ugyanazt az oktatást kapta, egy egyszerű építéshelyszíni szituációról. Az oktatások során ugyanazok az információk hangzanak el, más-más oktatási formában.

1. csoport hagyományos 2D terv alapú oktatás, tantermi oktatás formájában
2. csoport egy VR szemüvegen keresztül tekintett meg egy 360°-os videót, amely a kész VR környezetben készült
3. csoport VR környezetben végezte el az oktatást, teljesen interaktív módon

Az oktatásban két jelentős információ csoport került átadásra a résztvevők számára: az egyik a veszélyzónák helyzete, a másik pedig néhány egyszerű feladat volt - 3db személygyűjtő pontról kellett a szemetet egy konténerbe elhelyezni figyelve a targoncára, ami mozgó veszély zónát jelentett. Ezen felül az újonnan megérkezett alapanyagot el kellett helyezni a végső elhelyezési ponton.

Az oktatások után két héttel a tényleges területen, a korábban tanultak alapján kellett elvégeznie a tesztalanyoknak a rövid feladatokat. A teszt lényege, hogy a lehető legegyszerűbb körülmények között vizsgálhassuk meg, emlékszik-e később az oktatásokon elhangzottakra / megtapasztaltakra a tesztalany, különös tekintettel a veszélyzónák helyzetére. Az összehasonlíthatóság érdekében, a valós teszt során a

környezet ingerszegény módon került kialakításra és a tesztalanyok kis csoportokban érkeztek a teszterületre. Ezzel biztosítva, hogy valóban azt mutassák be, amire emlékeznek, nem pedig azt, amit következtetés útján a környezeti elemekből vontak le, illetve a társaik tesztje során figyeltek meg. A tesztek dokumentálása különféle módokon történt, amelyek a következő fejezetekben kerülnek kifejtésre.

## 2.2. Tervezett mérések és az ehhez használt, fejlesztett megoldások

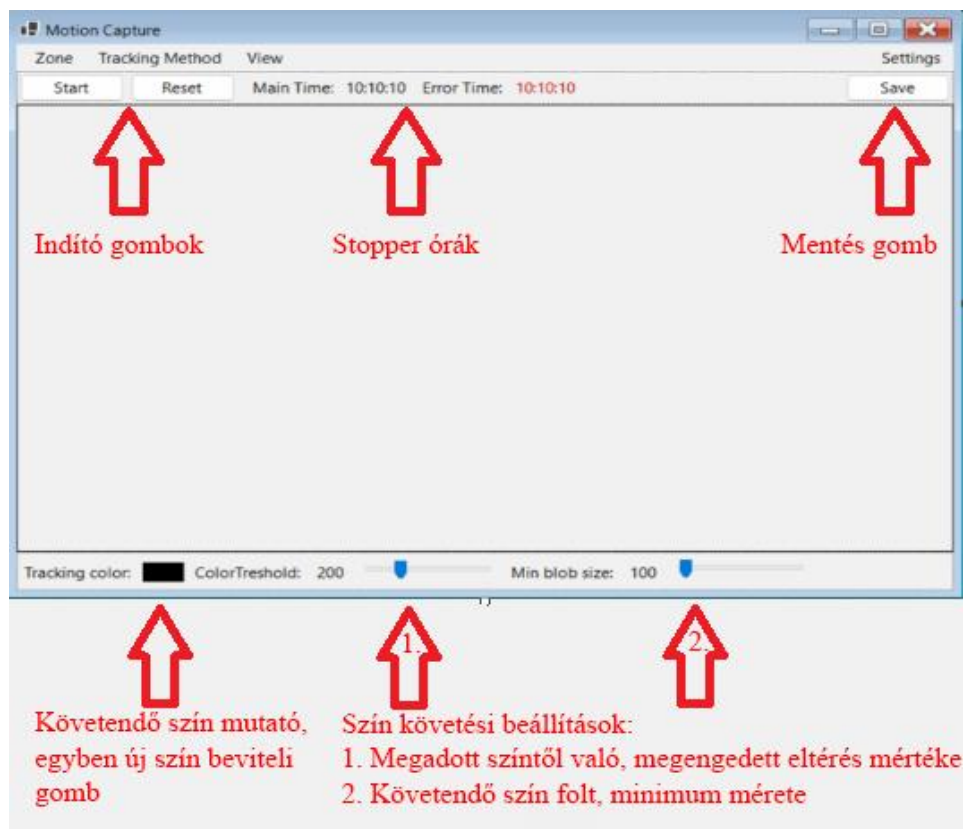
A tervezett mérésekhez az eszközbeszerzésben támogatott a Huawei Technologies Hungary Kft, amelyek az eredeti tervek szerint a következő eszközökkel, tevékenységekkel történt:

- Az oktatások során, a résztvevők között véletlenszerű kiválasztás alapján, minden oktatási csoportból legalább öt embernek az agyi tevékenységét, agyhullámaint kívántam vizsgálni egy Muse 2 headband (7. Ábra) segítségével, ezzel figyelve, mennyire köti le az alanyokat az adott oktatási típus, mennyire koncentrálnak egy adott tevékenység során. Az adatok kiértékeléséhez: muse gyártójának a saját alkalmazását használtam fel, amely az adatokat grafikusan rögzíti, így azok könnyedén feldolgozható adatokká válnak.
- Huawei watch 3 pro (8. Ábra), okos óra segítségével a GPS koordinátákat illetve a huawei health által rögzített és lementhető életjeleket pl. Pulzus szám mérés, stressz szint, bőrhőmérséklet kívántam rögzíteni. Az életjelek megfigyelése sikeres volt, ami alapján sikerült következtetéseket levonnom.
- A kutatásom egyik legfontosabb adata a tesztalanyok által lejárt útvonal összehasonlítása volt. Ezzel figyeltem elsősorban mennyire emlékeznek az oktatásokon elhangzottakra, emlékeznek-e a veszélyzónák pozícióira. Mivel ezt nem tudtam az okos órával lemérni, ezért ennek a rögzítéséhez egy saját, mozgáskövető alkalmazást hoztam létre, amelynek működését alább részletezem.



7. ábra – Muse 2 headband

### 2.3. A kutatáshoz kifejlesztett mozgáskövető alkalmazás:



8. ábra A mozgáskövető program felhasználói „interface”

A tanulmányhoz az összehasonlítás egyszerűbb és pontosabb kiértékeléséhez egy már létező mozgáskövető alkalmazás alapján [23], a jelen kutatáshoz egyedileg specifikálva, informatikus segítségével fejlesztettem egy mozgáskövető és dokumentáló programot.

Az alkalmazás egy C#.net core 3.1 alkalmazás, mely winforms technológiával készült. (8. Ábra) A programot az AForge ingyenes C# library [23] felhasználásával került létrehozásra. A program lényege, hogy futtatása közben felismeri a számítógéphez kapcsolt kamerákat, legyen ez a gép saját belső web kamerája, vagy USB-n csatlakoztatott egyéb kamera. A felismert kamera video feed-jét dolgozza fel képenként. A program a kép bal felső sarkát veszi origo pontként. Innen kiindulva, egy adott színű pixel halmazt próbál keresni. Minden képkockán végrehajt egy euklidean szín különbség számítás [24], majd deszaturálja a kapott eredményeket. A deszaturálás után megkeresi a legnagyobb egybefüggő, nem fekete pixelhalmazt, mely köré egy befoglaló négyzetet rajzol az adott képkockára. Ezzel a technikával a program a kamera élő képén követi az objektumot és a befoglaló négyzet mediánja által rajzolt útvonalat dokumentálja is. (9. Ábra)



9. ábra A programban látható színekövetéses, mozgáskövetés - a program által generált piros vonal reprezentálja a bejárt útvonalat

A felmérés ezen részéhez készült egy neon-narancssárga színű munkavédelmi sisak, amit minden tesztalanynak fel kellett vennie a mérés megkezdése előtt. A program ezt a sisakot követte a tesztek során. A szín felismeréséhez a program számára meg kellett határozni milyen színt, keresünk. Ez úgy történik, hogy az élő kamera kép közepén megjelenik egy + jel és az annak a középpontjába kerülő színt veszi fel követendő színként, miután a képernyőre kattintunk. A szískeresésben, követésben két finomhangolási lehetőségünk van, melyek közül az egyik a szín szintküszöbének állíthatósága. Ezáltal könnyedén lehet finomítani a programot ahhoz, hogy az időjárás, és a különböző fényviszonyok ne befolyásolják nagymértékben a méréseket. A második finomhangolási lehetőség, a színfolt nagyságának beállítási lehetősége. Ez annyit jelent, hogy egy csúszkás menüben lehet állítani, hogy mennyi az a minimum képkocka-folt, amit a program elkezd követni. Ennek a két beállításnak köszönhetően, könnyedén lehetett hangolni a színfelismerést, így például képes volt a program kiszűrni, ha valaki hasonló színű pulóverben volt.

A program továbbá figyelte a veszélyzónákba való belépést is. A veszélyzóna határokat, egy külső PNG állományból olvassa be a program. A követett objektum befoglaló négyzetének sarokpontjainak koordinátáit veti egybe a zónahatárok képével, és ebből állapítja meg, hogy a képen lévő objektum sérti-e valamelyik zónát. Az esetleges zónasértéseket stopperezi, illetve a befoglaló négyzet mediánja által rajzolt útvonalat

menti a program későbbi elemzés céljából. A feldolgozás során az ilyen módon kapott útvonal térképeket egymásra helyezve kívántam összehasonlítani.

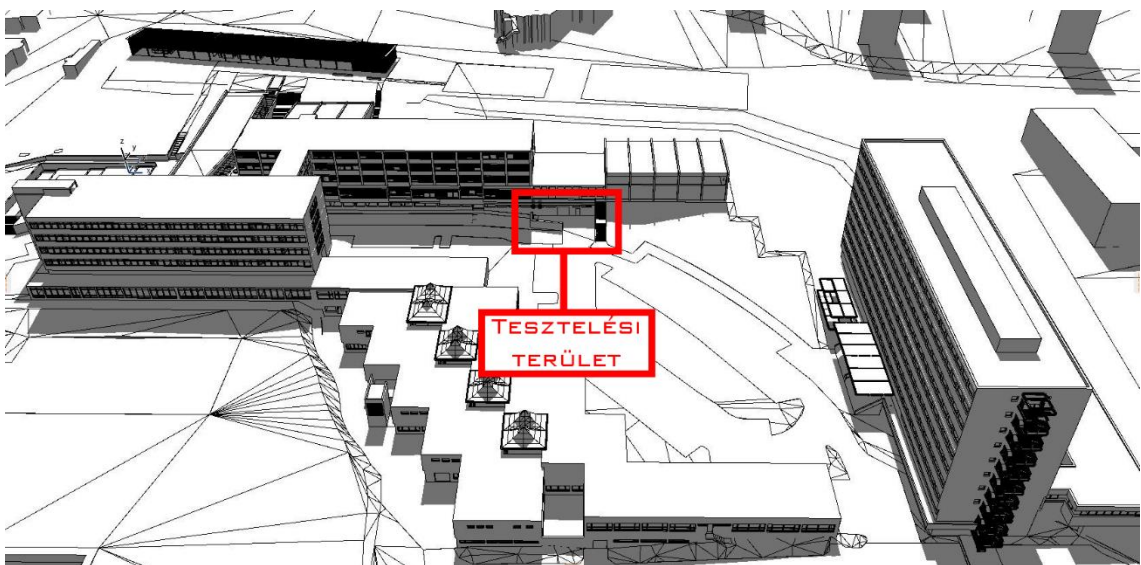
A program két kimentési módja:

1. A színfolt követésével rögzítette a tesztalany térbeli pályáját és egy háttérnélküli PNG képként ki is menti azt.
2. Időben figyelte a tesztalany mennyi időt töltött el a tesztpályán összesen és mennyi időt töltött el az egyes előre meghatározott veszélyzónákban. A program automatikusan menti az adatokat egy Excel táblázatba.

## 2.4. A létrehozott BIM modell

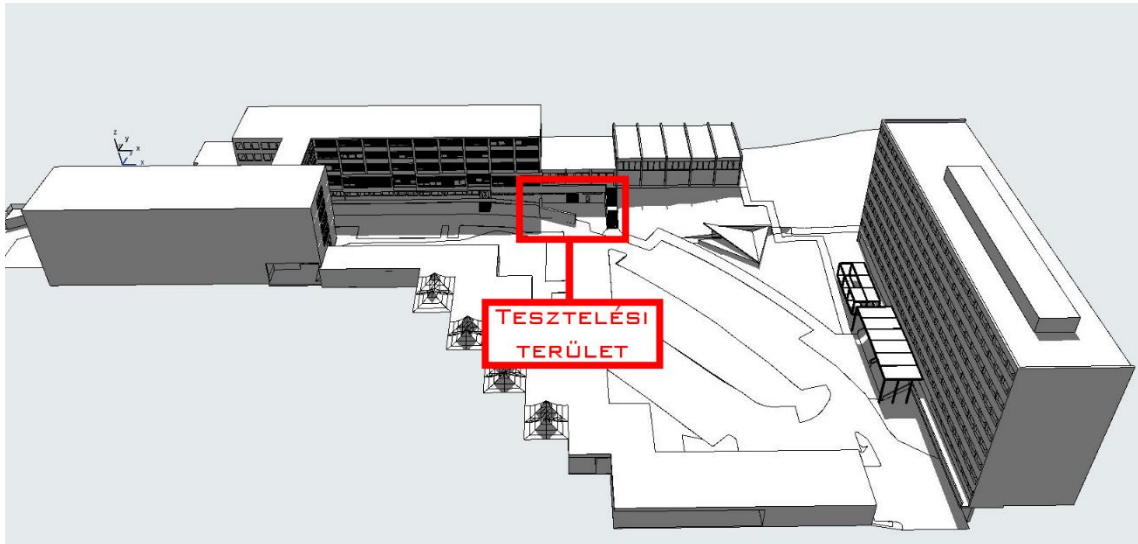
A kutatáshoz szükséges modelleket, terveket a Graphisoft – ArchiCAD 25. szoftver diák verziójában készítettem. A kutatáshoz szükségem volt egy magas minőségű BIM modellre is az építési területről és annak közvetlen környezetéről. Ebben a segítségemre volt a BIM SKILLS LAB kutatócsoport. Előzetes felméréseikkel és egy előzetes felmérési modellel tudták segíteni a munkámat, ami alapján könnyebben el tudtam készíteni a saját kutatásra specifikált modelletemet. A kutatómunka során két modellt is készítettem. Erre azért volt szükség, mert a BIM modellt használtam fel a VR tér kialakításához, azonban a saját számítógépemnek illetve a fejlesztéshez használt „Oculus quest 2” eszköznek az eredeti modell túl nagyok bizonyult a problémamentes működéshez.

Így a kutatáshoz elkészült az első eredeti modell (10. Ábra), amely részletesen tartalmazza a fiktív építési terület közvetlen környezetét, valamint a környező épületek belső falait, ajtóit, ablakait és az ahhoz tartozó árnyékolókat. Abból adódóan, hogy az eredeti modellben szerepelt a PTE MIK oktatási és a Boszorkány Kollégium teljes épülete, egy olyan magas poligonszámú modell jött létre, amihez a saját laptopom teljesítménye nem volt elegendő, ezzel akadályozva az otthoni fejlesztést. Ennek következményeképp az eredeti modell alapján létrehoztam egy letisztított változatot is. Erre a lépésre egy valódi projekt során nem lenne szükség, hiszen a tervezőirodák és szakemberek jellemzően nagy teljesítményű számítógépekkel rendelkeznek.



10. ábra Teljes ArchiCAD Modell

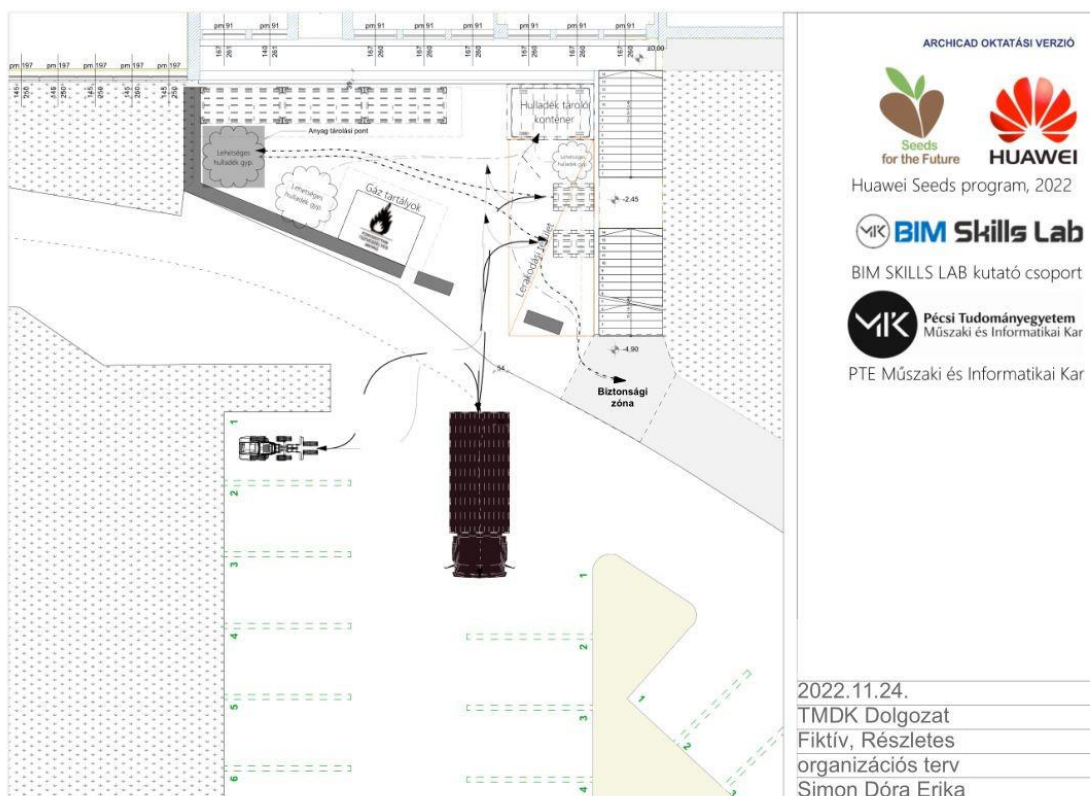
Az egyszerűsített modellben (11. Ábra), az építési terület közvetlen környezetében, megtartottam az eredeti részletességet, így az később a VR térben hasonló élményt generált. Azonban a belső tereket, környező épületeket jelentősen letisztítottam. Ebben már belső falak, ajtók nem szerepelnek, illetve a környező épületeknek is csak a külső falaik látszanak, valamint az építési terület 50 méteres környezetén túli ablakokat, kicseréltem egyszerű falnyílásokra, ezzel jelentősen csökkentve a modell poligonszámát.



11. ábra, Csökkentett poligon számú ArchiCAD modell - szűkített modell terület

Az eredeti BIM modellből kinyertem a fiktív építkezési terület alaprajzait, helyszínrajzát, metszeteit, valamint természetesen a 3D geometriát. Később ezeket tovább dolgozva készítettem el az organizációs terveket, amelyek a kutatás alap pilléreit adták.

## 2.1. A létrehozott, egyszerűsített organizációs tervek



12. ábra Fiktív, részletes organizációs terv részlet

Kutatásomban szerettem volna bebizonyítani, hogy egy használható VR oktatási tér kialakításához nincs szükség jelentős anyagi beruházásokra. Elegendő a már korábban létrehozott terveket, BIM modelleket felhasználni és kismértékű (egy gyakorlott VR fejlesztő esetében egyszerű) fejlesztéssel a VR térben elhelyezni. [25; 26; 27; 28] Annak érdekében, hogy ezt bizonyítani tudjam, készítettem egy részletes organizációs terv részletet (12. Ábra).

A kutatáshoz választott valós tér, amelynek részlete a terven is látható, a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatika kar területén található, az A épület földszintjéhez kapcsolódó garázs előtti parkoló rész.

A tervek egy bontási-felújítási munkát szimulálnak. A terven egy munkafolyamatot ábrázoltam, ahol a „dolgozónak” (tesztalany) a jelölt veszélyzónákra való kiemelt figyelemmel, meg kell tisztítania az építési területet, három hulladékgyűjtő pontról kellett összegyűjtenie a hulladékot egy konténerbe. Ezt követően megérkezik egy szállítmány az építőanyagokkal, amiket egy targonca pakol le a kamionról. A rakodás megkezdése előtt, amíg tart a rakodás, a „dolgozónak” a lépcső előtt megjelölt biztonsági zónában kell

tartózkodnia. A targonca távozása után, a tesztalany visszatérhet az építési területre, ahol az utolsó feladata az, hogy a szállítmányt a végső tároló helyén helyezze el.

A tervek elkészítésekor már segítségemre volt a VR tér. A már meglévő BIM modell behelyezésével, valamint a léptékarányos egyéb tárgyak (például: állványzat, konténer, hulladék ledobó csúszda) behelyezésével, a VR térben könnyedén meg tudtam tervezni és el tudtam helyezni az elemeket.

## 2.2. A létrehozott virtuális tér

A meglévő tervek és a BIM modellek segítségével megalkottam egy rövid szimulációt a Unity alkalmazásban. Az interakciókat ennek megfelelően a programon belül hoztam létre C# scriptekkel. Az ehhez szükséges tudást önfejlesztő módon szereztem meg, főként Youtube videókon keresztül.

A létrehozott virtuális térben nem a teljesen élethű megjelenítés volt a célom, így a textúrák és az egyéb környezeti tényezők, pusztán „high quality” minőségűek az élethűbb rendereléshez szükséges „ultra high quality” beállítással szemben.

Az általam fejlesztett VR tér elsődleges célja a veszélyzónákra való figyelemfelkeltés, illetve azok térbeli érzékelése és pozíciójuk hosszabb távú memorizálása volt. A térérzékelés támogatta a veszélyzónák helyzetének jobb memorizálását, valamint ezáltal figyelemfelkeltő módon, izgalmas körülmények között végezheték a tesztalanyok az oktatást.

A VR térben a feladatok kiadásához, elvégzéshez, értelmezéséhez, és a felhasználó tevékenységének irányításához szöveges feliratok állnak rendelkezésre. Ezek „pop up” módon vannak elhelyezve így nem válnak zavaró tényezővé.

A virtuális valóságban megalkotott építési helyszínen, az elvégzendő feladatok megegyeznek az organizációs tervnél leírtakkal. Az interaktív elemekkel teszi izgalmassá az oktatást a VR, például az építési helyszínre való bejutáshoz a felhasználónak fel kell vennie egy munkavédelmi sisakot, ehhez a valóságban is olyan mozdulatot kell tennie a kontrollerrel mintha egy sisakot venne fel.



13. ábra Virtuális valóság tér – szöveges információ, az építési helyszínre való bejutáshoz szükséges védőfelszerelés használatáról

A feladatok elvégzését a szöveges információk (13. Ábra), valamint az interaktív objektumokra mutató nyilak is segítik. A területen több veszélyzóna is van, ezekbe tilos belépni. Amennyiben a teszt közben a felhasználó véletlenül mégis belép a veszélyzónába a képernyőn egy piros háttéren megjelenik egy figyelmeztető felirat, miszerint a veszélyzónát el kell hagyni.

Az első feladat (terület megtisztítása) elvégzése után, ahogy az organizációs terv leírásánál is említésre került, el kell hagyni az építkezési területet és a biztonsági zónában kell várakozni a szállítmány lerakodásáig. Ezzel kapcsolatban a VR térben kialakításra került egy targonca szimuláció a lerakodásról. Amennyiben a targonca érkezésekor a felhasználó a területen tartózkodik és hozzáér véletlenül a targonca mozgó veszélyzónájához, úgy a szimuláció azonnali végét jelenti, amit szövegesen megjelenít a felhasználó számára a program.



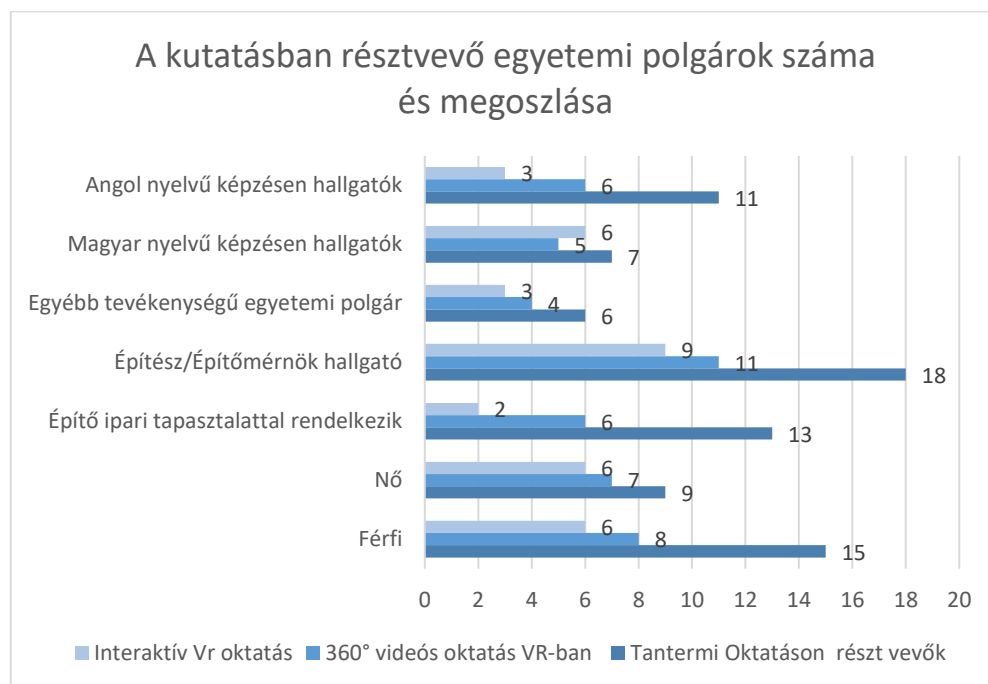
14. ábra Virtuális valóság tér – veszély zóna a VR-ban

A veszélyzónák (14. Ábra) két féle módon vannak jelölve a VR térben. A közvetlen veszély zónák, ahol életveszélyes lehet a tartózkodás, ott egy átlátszó piros „falat” lát a felhasználó, ami egyértelműen jelzi a tiltott zónát, míg a közvetlen veszély zóna körülötti, korlátozottan veszélyes zónák a földön végig futó sárga csíkkal vannak jelölve. A teszt elején erről szöveges információt is kap a felhasználó.

### 2.3. A kutatásban részt vevő egyetemi polgárok

A kutatásban szám szerint 64 személy vett részt, amelyből 51-en jelentek meg a terep felméréshez. A tesztalanyok kivétel nélkül, mindannyian egyetemi polgárok voltak, 18-40 év közötti korosztályból. Az egyetemi polgárok között vegyes megoszlás volt a következők tekintetében (15. Ábra):

- Nemzetközi és magyar anyanyelv
- Az egyetemen végzett tevékenység (hallgató, egyéb tevékenységet folytat)
- Építészeti előélettel tapasztal rendelkezik-e
- Nemi megoszlás szerint



15. ábra A kutatásban résztvevő egyetemi polgárok

## 2.4. A kutatás elemzése

A kutatás során az alábbiakban megfogalmazott kritériumok és tényezők kerültek mérésre:

- Az egyének koncentrációja az oktatás alatt
- Az egyének életjelei (pl.: pulzusa) a tesztek során
- A tényleges építéshelyi teszteken a tesztalanyok
  - által lejárta útvonal
  - koncentráció mértéke
  - a feladat pontos elvégzése
  - a teljes idő mialatt befejezte a pályát
  - az időtartam, amit veszély zónákban töltött
  - a veszélyzónákra való emlékezés
  - emlékeztek-e a mozgó veszély zóna kikerülésére

### 2.4.1. Huawei Watch 3 Pro eszközzel gyűjtött adatok

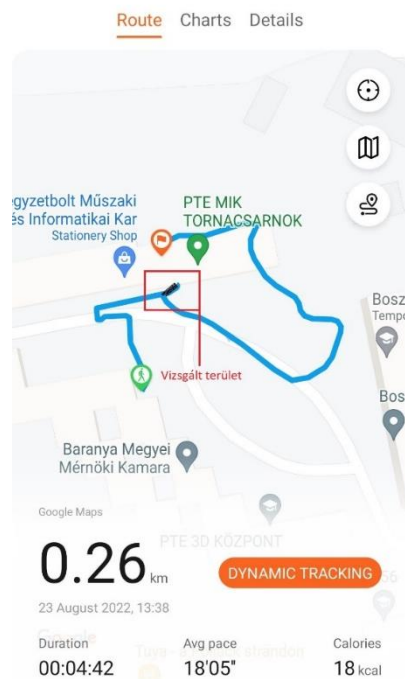


16..ábra Az Okos órával mért bőrhőmérséklet és pulzus szám

A Huawei Watch 3 Pro eszközzel, oktatásonként 5-5 személy életjeleit rögzítettem, amiket a Huawei health alkalmazáson belül tudtam kimenteni.

A kapott eredmények közel azonosak voltak a vizsgált tesztalanyoknál, kiugró értéket csak egy harmincöt évnél idősebb Úrnál tapasztaltam. Mivel a tesztek nagyon rövidek voltak (0 p 40 mp – 1 p 50 mp) illetve a környezet maga, ingerszegény környezet volt, így a kapott eredmények többségében egyhangúak a szívritmus végig 68-79 bpm között volt, míg a bőrhőmérséklet 35,6 és 36 között mozgott. (16. ábra) A bemutatott eredményekből messzemenő következtetés levonására nem volt lehetőség.

Ezekén kívül, eredetileg a Huawei watch 3 pro okos órának a beépített GPS –ből kinyert adatok (17. Ábra), alapján szerettem volna, a tesztek során a bejárt útvonalat rögzíteni, majd később összehasonlítani. Sajnos ezt nem tudtam megvalósítani, mivel nem tudtam az összehasonlításhoz szükséges pontosságú adatot kinyerni.



17. ábra A Huawei Watch által kinyert útvonal az egyetem területén

#### 2.4.2. Koncentráció vizsgálása a „Muse 2” fejpánttal

A Muse 2 headband egy olyan agyhullámokat figyelő eszköz, amely az eszköz hordása közben, méri az agyhullámokat és ez alapján visszajelzést tud adni az agyi tevékenységről.

Az eszköz eredetileg meditációs célokra lett kifejlesztve. Az applikáción keresztül, az irányított meditáció közben méri a felhasználó agyi aktivitását, a testmozgását, és a pulzus számot.

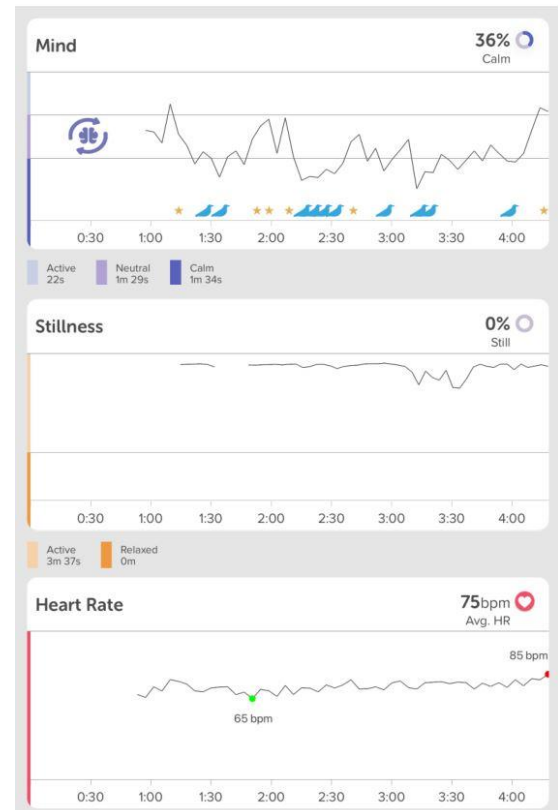


18. ábra Muse 2-Agyi tevékenység mérés a tantermi oktatás közben

A kutatás során minden oktatási kontroll csoportból 5-5 emberen mértem az agyi aktivitás szintjét az oktatás közben. Felhasznált adatként az 5 adathalmazból a középértéket használtam fel, mind a három oktatás esetében.(18-20. Ábra)



19. ábra Muse 2-Agyi tevékenység mérés VR-os 360 fokos videó megtekintése közben



20. ábra Muse 2-Agyi tevékenység mérés VR-os interaktív képzés közben

Mivel az eszköz eredetileg a meditáció mélységét segíti értékelni, így az értékeket a kutatás felhasználáshoz fordítva kell értelmezni, minél többet van az agyi aktivitás a semleges vagy az aktív zónában, annál valószínűbb, hogy az eszközt viselő teszt alany figyelt az oktatáson.

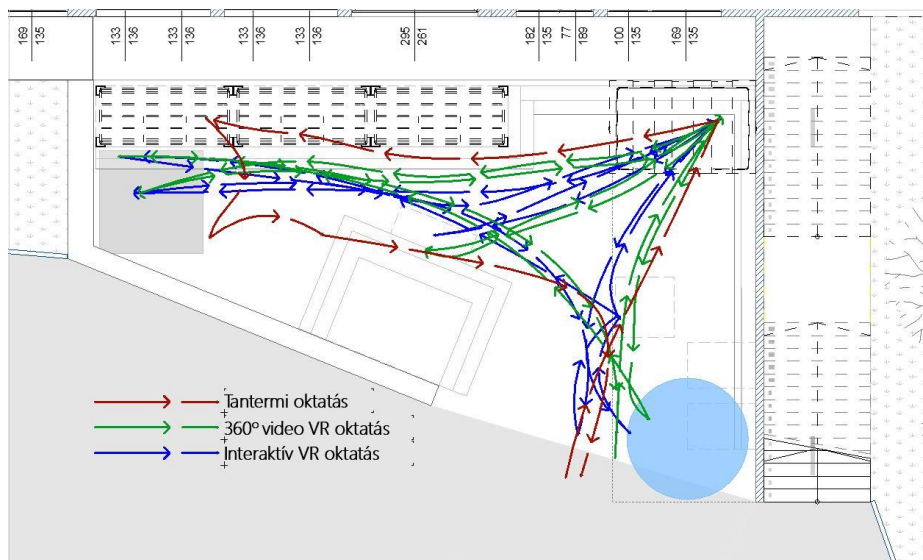
Ezt a teóriát az eredmények is alátámasztják. A legfőbb következtetéseket a „Mind” – agyi aktivitás jelző ábrákból vontam le. A tantermi oktatáson részt vett tanuló eredményein (18. Ábra) látszik, hogy a teszt kezdetén az agyi aktivitása a semleges zónában volt, majd hirtelen lezuhant a nyugodt zónába, ezután folyamatosan fel-fel ugrált a semleges zónába. Az ábra alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a hallgató próbált figyelni a tervek bemutatására, azonban mindig gyorsan eltévedt a figyelme.

A VR-ban 360°videót megtekintő személy (19. Ábra), valamint az interaktív VR-ban lezajló oktatáson résztvevő alany (20. Ábra) eredményei nagyon hasonlítanak, csupán pár százalékkal lett konzisztensebb az interaktív VR-os teszt alanyok eredménye. Mind a két

ábrán az látható, hogy a felhasználók agyi tevékenysége többségében a neutrális zónában volt, és kis időintervallumokra még az aktív zónába is átnyúltak. Ez arra enged következtetni, hogy a hallgatók figyelmét a VR-os oktatás, mind a két formája le tudta kötni, ezáltal hatásosabban tudták az információt feldolgozni és emlékezetükbe vésni.

#### 2.4.3. A lejárt útvonal vizsgálata mozgást követő és dokumentáló alkalmazással

Kifejezetten jelen kutatás, elvégzéséhez, informatikus segítségével, készítettem egy mozgás követő alkalmazást is, melynek részleteit a 2.3. számú fejezetben részleteztem.

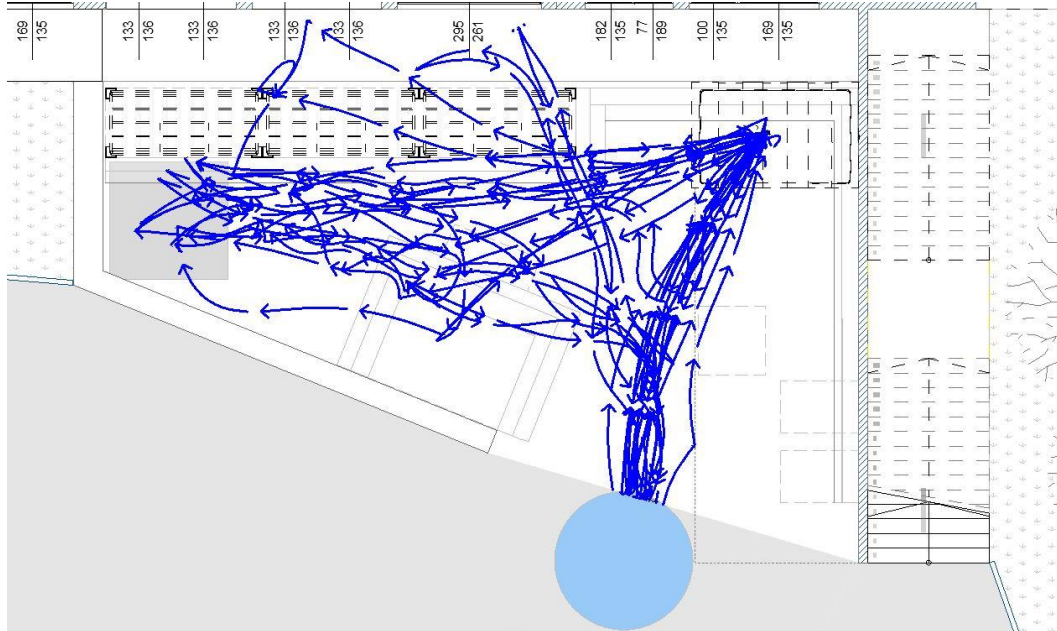


21. ábra 1-1-1 véletlenszerűen választott résztvevő útvonalai, egymásra helyezve, összehasonlítási célból

A 21. ábrán a három különböző oktatásból lett véletlenszerűen kiválasztva 1-1-1 útvonal a szemléltetés céljából. Ezek egymásra helyezésével, illetve az organizációs tervre való rá helyezésével szerettem volna megvizsgálni, hogy az átlagos útvonalak mennyire térnek el, vagy hasonlítanak a másikhöz képest. Az eredmények azt mutatják, hogy míg a kétfajta VR-os képzésen részt vett alanyok nagyjából ugyanazt az útvonalat követték, addig a tantermi oktatáson résztvevők teljesen más irányba indultak el. Az ábrán látható nyilak irányából következtetve, az alany elhelyezte a depóba az első objektumot, majd a bemutatott fésűs mozgás helyett körbe ment és a szállítmány felvételi pontjára helyezte el a „szemét” objektumokat.

A következő ábrákon azt vizsgáltam, hogy a különféle oktatásokon mennyire egységes tudást szereztek a hallgatók, emlékeznek-e a veszélyzónák helyzetére, a feladatokra, illetve arra, hogy a hulladék kezelési feladat, és szállítmány elhelyezési feladat között a fiktív tárgyonca megérkezése és rakodás miatt el kell hagyni az építési területet

Ezzel kapcsolatban annyi változás történt az eredeti tervekhez képest, hogy a „biztonsági zóna” átkerült a kék körrel jelölt területre. Erre azért volt szükség, mert a helyszíni teszt lebonyolításakor, a lépcső előtti területen egy autó parkolt, így nem tudtam azt a helyszínt használni „biztonsági zónaként”.



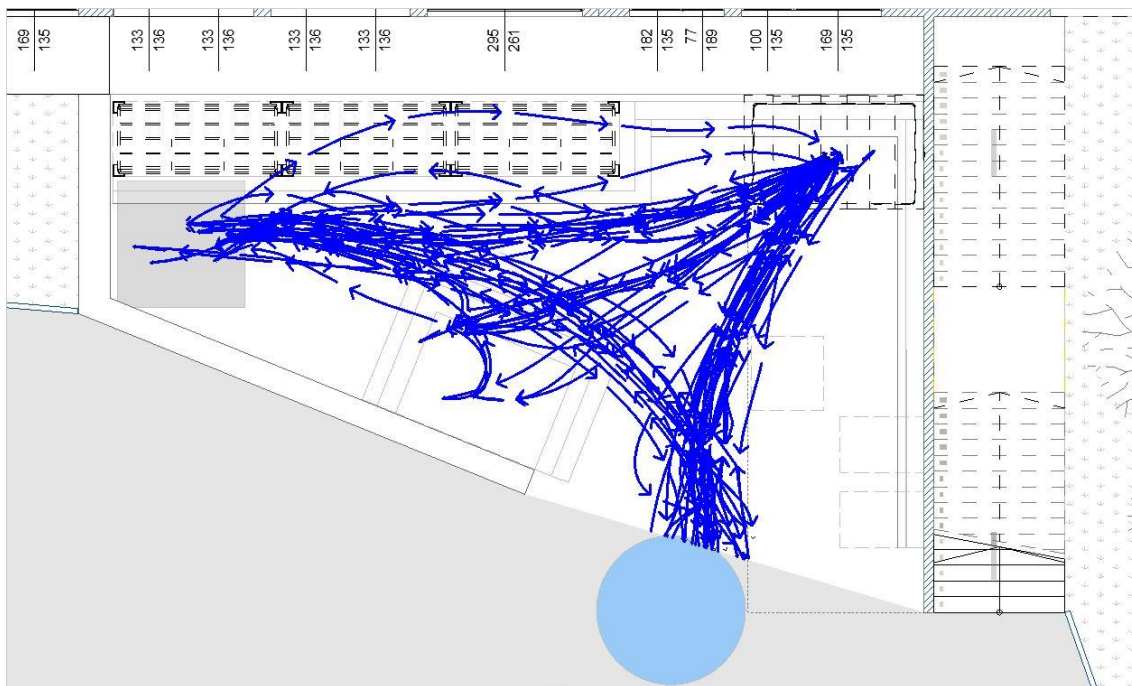
22. ábra A tantermi oktatáson részt vettek eredményei közül véletlenszerűen választott 12 útvonal összefésülve

A 22. ábrán a tantermi oktatáson részt vett személyek útvonalai közül, véletlenszerűen kiválasztottam tizenkét darabot és azokat összefésültem. A megjelenítendő adatok szűkítésére azért volt szükség, mert a rengeteg útvonal összefésülve már teljesen értelmezhetetlen vonalhalmazt alkotott.

A tantermi oktatás összefűzött ábrája alapján az a következtetés vonható le, hogy sokan elfelejtették az oktatásokon elhangzott információkat, például, mindössze egyetlen ember állt félre a targonca miatt a két feladatrész között.

Azonban maga a kép is egy kaotikus összképet mutat, számos komoly veszélyzónába lépéssel, amely arra engedett következtetni, hogy egyáltalán nem emlékeztek a tesztalanyok a zóna helyzetére, létezésére.

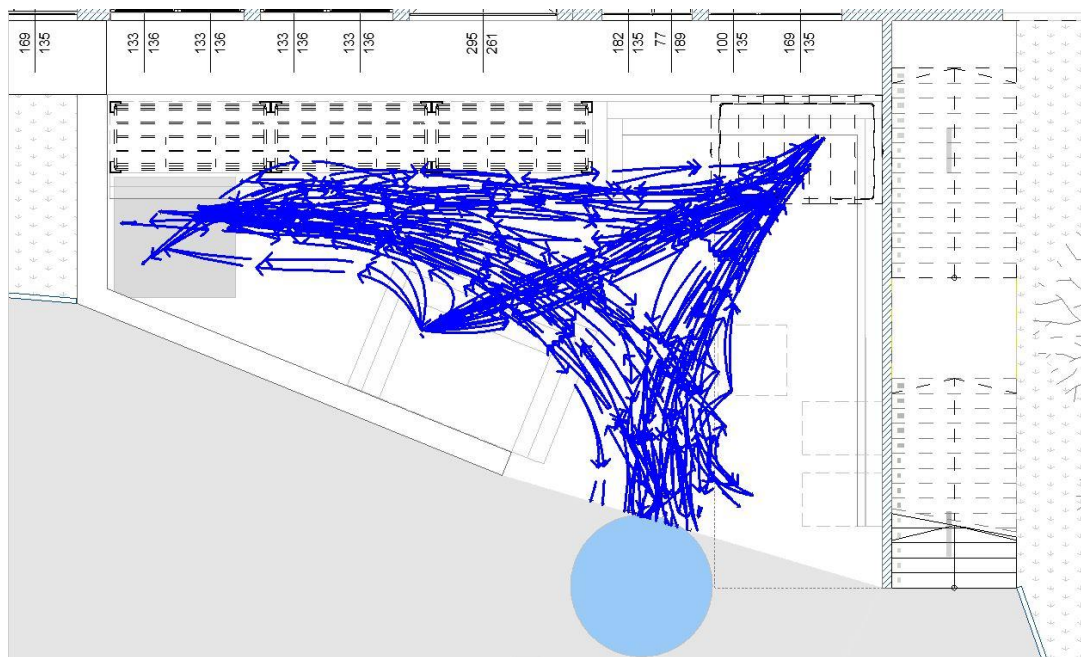
A 23. ábrán egy sokkal egységesebb, tömörebb útvonalképet láthatunk. Még ezen az ábrán is vannak szélsőséges kilengések 1-1 útvonal erejéig, de többségében majdnem ugyanazon az úton haladtak végig az alanyok. Két gyakori különbség van, az egyik a fésűs mozgás betartása, a másik pedig az egymáshoz közel lévő objektumok azonnali elvitele miatt a középső vonal nem lett olyan jól definiált, mint a többi, ellenben a körvonalak jelentősen megerősödtek a többi vonalhalmazhoz képest.



23. ábra A 360° videó VR oktatáson részt vettek eredményei közül véletlenszerűen választott 12 útvonal összefésülve

A másik jelentős eltérés jelen esetben a biztonsági zónába való kiállás volt. Jelen kontrolcsoportból, a 15-ből 6 fő, hagyta el az építési terület, a targonca szimulált megérkezése és rakodása miatt.

A 24. ábrán az interaktív VR- képzésen részt vettek útvonalait vizsgálom. Ez az ábra már egységes képet mutat, tisztán látszik a tesztalanyok haladási iránya, illetve az is, hogy a többség a biztonsági zónába is kiment a két feladat között.



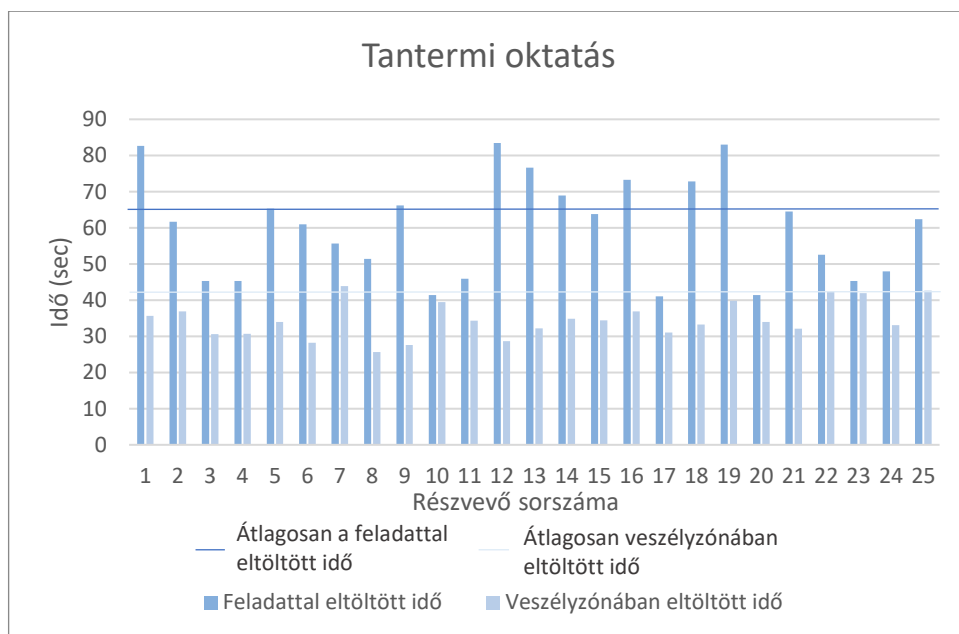
24. ábra Az interaktív VR oktatáson részt vettek eredményei közül véletlenszerűen választott 12 útvonal összefésülve

#### 2.4.4. A veszélyzónákba való belépés mérése

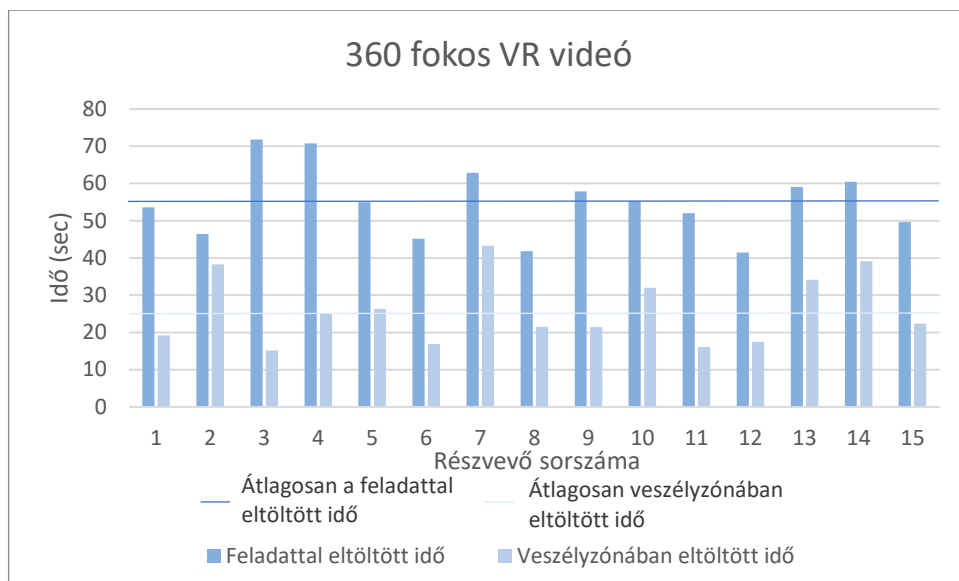
A mozgáskövető programom, mint azt feljebb is taglaltam az útvonalakon kívül az alanyok tesztelésének az idejét is mérte, valamint azt, hogy összesen mennyi időt töltöttek el az egyének a veszélyzónákban összesen.

A 25; 26 és 27-es ábrákon lehet látni az összes idő és a veszélyzónákban töltött idő egymáshoz való arányosságát. Az eredmények jól szemléltethetők a három diagram összehasonlításával. A tantermi oktatás diagramja nagyon kaotikus, tükrözi az útvonal képét is. Vannak nagyon hosszú és nagyon gyors idővel rendelkezők is. Az viszont egyértelműnek látszik, hogy a teljes idő és a veszélyzónában töltött idő aránya messze meghaladja másik két oktatás arányának a mértékét.

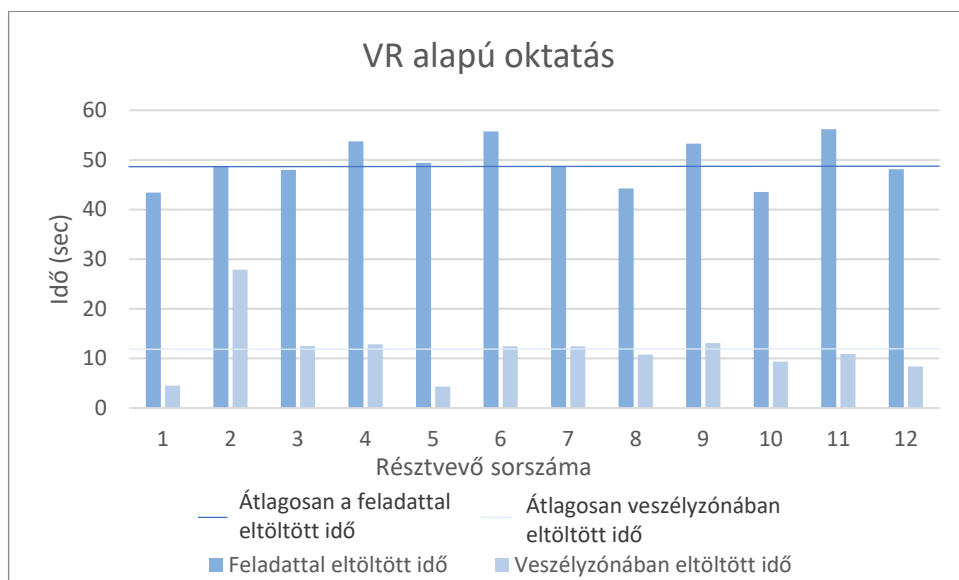
A VR alapú oktatások értékei ebben az esetben kicsit jobban szétválnak. Az interaktív VR oktatáson résztvevők esetén többségében nagyon jó a teljes idő-veszélyzónában töltött ideje, illetve a másik két oktatáshoz képest, a teljes idő is sokkal egységesebb.



25. ábra - A tantermi oktatáson mért teljes idő és a veszélyzónában töltött idő aránya

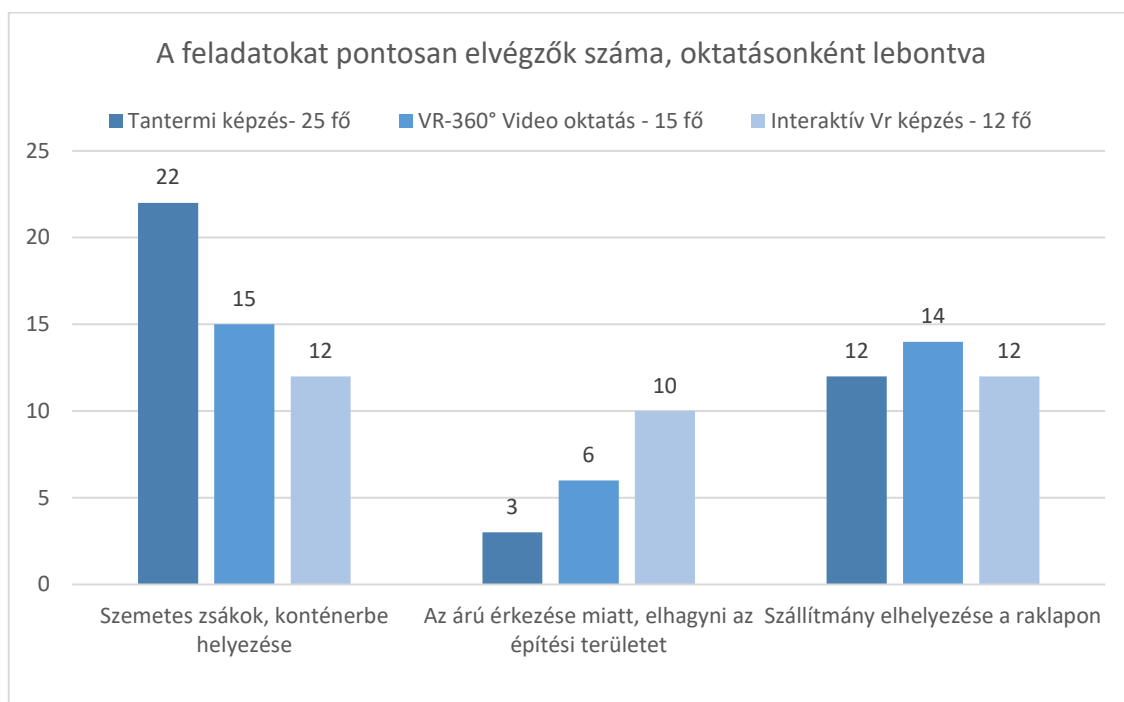


26. ábra - A 360 fokos VR videók oktatáson mért teljes idő és a veszélyzónában töltött idő aránya



27. ábra A VR alapú oktatáson mért teljes idő és a veszélyzónában töltött idő aránya

#### 2.4.5. A feladatok pontos elvégzése



28. ábra A feladatok pontos elvégzéseinek száma, kontroll csoportonként lebontva

Az oktatás nem csak a veszélyzónák pozíciójára hívja fel a figyelmet. A VR alapú oktatás a feladatok pontos elvégzésében is jelentős javulást jelenthet (jelen esetben azt tekintettem pontosnak, aki a terven lévő pozícióba tudta elhelyezni az árut, amit a mozgáskövető applikáció segítségével mértem), és ezt a teszteredmények is bizonyítják. Bár nem volt kutatási cél, mégis felmerül az oktatás során tanult eljárások hatékonyságnövelésére vonatkozó előnye is, melyet későbbi kutatások során érdemes vizsgálni.

Az oktatás során 3 feladatot kellett elvégezniük a tesztalanyoknak. (28. ábra) A szemetes zsákok, konténerbe való helyezése volt az első feladat, ez hangzott el minden oktatáson a legkorábban, erre majdnem az összes tesztalany emlékezett és gyorsan el is végezték a feladatot.

A két munkafolyamat közötti áru szállítmány érkezése és lerakódás során a tervek és az oktatás szerint is a „dolgozónak” el kell hagynia az építési területet és a biztonsági zónába kimenni. Erre kevés alany emlékezett. A tantermi képzést kapott kontroll csoportból összesen hárman emlékeztek erre a feladatra. A 360 fokos VR videót megtekintő csoportból 6, míg az interaktív VR csoportból 10 fő emlékezett erre a mozgó veszély zónára.

A „szállítmány” elhelyezését mindenki elkezdte, de voltak, akik nem emlékeztek a pontos helyre. Az interaktív VR csoportból mindenki helyesen végezte el a feladatot, míg a 360°VR videós oktatáson résztvevők közül csak egy ember nem tudta a szállítmány pontos elraktározási helyét. A tantermi oktatáson résztvevők közül azonban, közel a tesztalanyok fele nem emlékezett a pontos helyre, sokan például a „konténerbe” helyezték a szállítmány dobozt is. Ezekből az eredményekből is következtethetünk a VR oktatás hatásosságára.

### **3. A kutatás eredménye**

A kutatás során, előzetes terveimnek megfelelően megalkottam egy saját virtuális valóságbeli, építéshelyszíni szimulációt, amely baleset és munkavédelmi oktatási térként funkcionál. A kutatásban arra kerestem a választ, hogy egy VR alapú oktatásnak milyen, előnyei, hátrányai lehetnének, amennyiben az építőipari folyamatok során nagyobb mértékben alkalmazásra kerülne. Magasabb szintű aktivitással, odafigyeléssel vennének-e részt az ilyen oktatáson az emberek, mint a hagyományos tantermi oktatásokon?

Az elvégzett tesztek alapján, a kérdés egyszerre egyértelmű és még is komplikált. Egyértelműnek kellene lennie, hiszen az elvégzett tesztek és mérések alapján, mind a két féle VR alapú oktatásban részt vett kontroll csoport eredménye mesze felülmúlta a tantermi oktatáson részt vett kontroll csoport eredményeit. A leglátványosabb eredményeket a mozgáskövetéses vonaltérképekkel, az elvégzett tesztek során rögzített, teljes idő és veszély zónában töltött idő, valamint a muse headband segítségével tudtam kimutatni.

A vonaltérkép összesítései egyértelmű következtetéseknek adott teret. A különbség a VR alapú oktatáson résztvevők útvonalai és a tantermi oktatáson résztvevők útvonali között mindenképpen szembetűnő. A teszt alapján, a tantermi oktatás tesztalanyainak a többsége nem tudta felidézni az oktatáson elhangzott instrukciókat, illetve a 2D rajzon bemutatott ajánlott útvonalat sem. Többen felesleges plusz köröket, hatalmas kitérőket tettek, az eredeti tervekhez képest, ezzel negatívan hatva a „teljes idő-veszélyzónában töltött idő” eredményükre is.

Ezzel szemben a VR alapú oktatások egységes, letisztult képet adtak. A két fajta VR oktatási csoport közel hasonló eredményeket mutatott. Jelentősen többen végezték el mind a három feladatot, mint az első kontrol csoport tagjai, valamint a vizsgált útvonal mintázatuk is sokkal egységesebb, mint a tantermi oktatáson résztvevő alanyok esetén.

Az interaktív VR oktatáson részt vett tesztalanyok, egy feladat során tűntek ki igazán a 360°-os videót megtekintő csoporttal szemben. Ebben a csoportban majdnem mindenki emlékezett arra, hogy a két feladat között a targonca rakodási ideje alatt el kell hagyni az építési helyszínt. Ez nagy valószínűséggel, abból is következhet, hogy a képzésben, a targonca útvonalával történő találkozás esetén véget ér a szimuláció. Ez többekkel is

megtörtént a VR tesztelése során, így ezek az alanyok, erre nagy valószínűséggel jobban emlékeztek. Ez is azt bizonyítja, hogy a VR térben megélt események valós tapasztalatokat adnak, amelyből az ember épp úgy tanul, mint a valóságban elkövetett hibáiból.

A 360° videót megtekintő kontroll csoport, bár hasonló eredményeket produkált, mint az interaktív VR csoport, külön érdekesnek minősül a következő miatt: a tesztalanyok közül többen is jelezték, hogy az oktatás során elszédültek, be kellett csukniuk a szemüket. Azok közül, akik rosszul lettek, többen is hasonló problémát fogalmaztak meg: a VR valósághű tulajdonsága miatt, ténylegesen a szimulált térben érezték magukat és az élmény, hogy egyhelyben ülnek vagy állnak, eközben pedig a VR miatt úgy érzik mozogniuk kellene, nagyon összezavarta őket, szédülést idézett elő.

Ezek alapján kijelenthető, hogy a VR valóban egy nagyon kiemelkedő és hosszútávon jól alkalmazható oktatási eszköz lehet, amely számtalan életet menthet meg, amennyiben lehetőségeit ki tudnánk használni az építőiparban. Ezzel együtt az is kijelenthető, hogy bár a 360°-os videó is egy remek oktatási lehetőséget ad, de vannak korlátai az interaktív VR lehetőségeivel szemben, nem képes olyan átfogó, aktív tapasztalati élmény nyújtani, mint az interaktív VR, ezáltal kevésbé hatásos oktatási eszköz.

Egy hallgatói vélemény: *„Amennyiben nekem, mint munkás kellene a VR-os oktatáson részt vennem, az oktatás előtt biztos hangoztatnám, hogy felesleges az ilyesmi, csak időpocsékolás. Ennek ellenére az oktatást biztosan élvezném, hiába munkáról szól akkor is élmény az ilyen, és szerintem az első alkalommal, amikor belépnék az új építési területre, egyből megérteném miért volt szükséges a képzés, hiszen még soha nem jártam ott, de a veszélyeivel együtt ismerném a területet.”*

#### **4. A kutatás értékelése és a levont következtetések**

Jelen kutatás során, azt vizsgáltam, hogy a virtuális valóságban lebonyolított balesetvédelmi oktatással lehet-e jelentős mértékben javítani a dolgozók tudatos, pontos munkavégzésén.

Az elmúlt években megjelent publikációk, vagy csak specifikus balesetvédelmi oktatásról adtak tanúbizonyságot, vagy elvetették az általános építéshelyszíni VR oktatás lehetőségét, mint kevésbé hasznos téma. Ennek következtében az irodalomkutatás után szkeptikus voltam, mit fedezhetek fel a kutatásaim során.

Az első tesztelés utáni eredmények azonnal eloszlatták a kétségeket a kutatás életképességével kapcsolatban. A teszteken, mint azt korábban részleteztem, egyértelműen látszott ki melyik oktatásban részesült. A videó alapú VR oktatást, valamint az interaktív VR oktatást kapottak eredményei között, csak minimális eltérés mutatkozott. Ezzel ellentétben a 2D terv alapú tantermi oktatást kapottak eredményei jelentős mértékben eltérnek a másik két kontrol csoport eredményeitől. Az alanyok teszt közbeni viselkedése, magabiztossága is jelentősen eltért a VR oktatás kontroll csoportjaitól. Több alany is elismerte, hogy két héttel az oktatás után nem igazán emlékszik, még a feladatokra sem.

A fentebb részletezett eredmények alapján kijelenthető, hogy a kutatás tézise helyes volt, valóban jelentős, mérhető eltérés van a tesztalanyok teljesítményeiben, főként aszerint, milyen fajta oktatást kaptak a tényleges tesztet megelőzően.

Azonban a képzés hátrányaként ki kell emelni, az idő problémáját. Míg egy osztálytermi oktatás 4-5 percet vett igénybe 25 fő számára, addig a VR alapú oktatás fejenként 5 percig tartott. Ezen felül a VR szemüveg fel és leadásához szükséges egy alkalmazott is. Az idő problémája azonban véleményem szerint kezelhető, és egy a VR-t kezelő munkatárs, pár napi munka bére mit sem jelent, a megelőzött balesetek tekintetében.

## **Összefoglalás**

Kutatásom során egy olyan virtuális valóságbeli oktatási teret és kapcsolódó módszertani leírásokat terveztem létrehozni, melynek felhasználásával hosszútávon biztonságosabbá lehetne tenni az építési helyszíneket.

A VR technológia alkalmazása az utóbbi években egyre jobban terjed. Azonban hazánkban a VR megrekedt a szórakoztatóipar legújabb játékszereként és a mai napig nem tudott ebből a körből kitörni. Ennek számos oka van, melyeket dolgozatomban, részletesebben kifejtettem. Ezzel szemben számos külföldi kiadvány, tudományos cikk a VR különféle felhasználási módjairól számol be, amelyek bevezetését vagy tervezik a közel jövőben, vagy már meg is valósították. A leggyakrabban oktatási célú felhasználást jelölték meg a szakirodalomban, azonban több kutatás is érdeklődik robotok, valamint közlekedési eszközök távirányítási lehetősége iránt.

Az átnézett szakirodalom egyértelműen alátámasztotta dolgozatom tézisé, miszerint a virtuális valósággal támogatott oktatás, a felhasználók teljesítményében jelentős pozitív különbséget mutat a tradicionális oktatáson résztvevőkhöz képest. Ezt számos kísérlettel, és kutatással bizonyították.

Dolgozatomban a fő kérdés az volt, hogy vajon a baleset megelőzési, munkavédelmi oktatások terén is alkalmazható-e ez a technológia, kimondottan az építőiparra levetítve. Ez egy kiemelt kutatási pont volt, hiszen jelen kutatásban, nem specifikus, definíció jellegű tudás megszerzésének elősegítéséről szerettem volna tanulmányt végezni. Kutatásomban a tudatos viselkedés oktatást, és annak formáit szerettem volna megvizsgálni, további kutatásokat végezni.

Jelen esetben, arra voltam kíváncsi, vajon egy ismeretlen tér megismeréséhez, és a kapcsolódó veszélyek hosszútávon való felismeréséhez (emlékezéséhez) hozzá segítheti-e a dolgozókat egy interaktív VR környezet, vagy egy 360°-os videófelvétel megtekintése VR szemüvegen keresztül. Ennek céljából kutatásom során számos módszertani lépésen keresztül felépítettem egy oktatási VR környezetet, majd a megszerzett tudást később a tényleges helyszínen teszteltem és eredményességét mértem is a képzésen résztvevő tesztalanyok segítségével.

A VR tér elkészítéséhez kiválasztottam egy könnyen elérhető területet, amely jelen kutatás során a MIK parkolójában a mélyföldszinti garázs előtti beálló tér volt. A helyszín

tudatosan került kiválasztásra, mivel ez egy jól lekerített szűk környezet, amelyet kamerák segítségével könnyen le tudtam fedni a felette húzódó kinti folyosónak köszönhetően.

Ezután szükségem volt az épület felmérési modelljére, amit előzetes felmérések alapján, az ArchiCad modellező program diák verziójában készítettem el. A modellre azért volt szükségem, mert így a VR térben a főbb geometriák rendelkezésre álltak. Az alkalmazott módszerekkel azt is szerettem volna bizonyítani, hogy a VR oktatás létrehozásához elegendő azokat az elemeket felhasználni a VR térben, amit napjainkban már egyébként is létrehozunk, ilyenek például a BIM modellek, melyeknek így egy újabb felhasználási módját tudtam tesztelni.

A létrehozott VR környezet számos egyéb tervezési folyamat megfelelő kiegészítő eszköze lehetne, például a homlokzattervezés, kerttervezés, valamint a kivitelezés területén az organizációs tervek elkészítése során nyújthat segítséget. Ez utóbbinak külön kiemelném a hatásosságát. A 3D vizualizáció segítheti a veszélyzónák és baleseti szituációk korai, még a tervezési szakaszban történő felismerését.

Jelen kutatásban, a szükséges organizációs terv részletet, a VR tér felhasználásával dolgoztam ki. Abban jelöltem az elsődleges veszélyzónákat, és az elvégzendő feladatokat, így a későbbiekben, csak az interakciókat működtető scriptekkel kellett kiegészítenem az objektumokat.

Jelen VR térben egy egyszerű és rövid időtartamú építéshelyszíni szituációt kellett begyakorolniuk a tesztalanyoknak, akik a feladatban a dolgozók szerepét töltötték be. A szimuláció egy bontási-felújítási munkafolyamat részletét szimulálja. A cél az volt, hogy a VR technológia segítségével, egy térbeli szituációban, ismerhessék meg a veszélyzónák helyzetét és az elvégzendő feladatokat a tesztalanyok. Ezáltal egy sokkal átfogóbb tudást szerezzenek, mintha csak 2D-ben látták volna.

Ezen kívül létrehoztam egy 360°-os videót, amelyen a VR térben végrehajtott feladat látható. Ennek több előnyét és hátrányát fedeztem fel. Előnye, hogy sokkal gyorsabb, fix képzési időt biztosít emberenként, hátránya azonban, hogy a VR teret ugyan úgy létre kellett hoznom a videó megalkotásához, hiszen a már létrehozott interakciókról készült a felvétel, ezáltal nem jelent kevesebb energia befektetést a videós megoldás. További hátrányként említhető, hogy a tesztalanyok sokkal könnyebben lesznek rosszul egy ilyen oktatás során.

Az eredmények validálása és a tézis bizonyítása céljából egy összehasonlító tesztet végeztem el. Három kontroll csoportot állítottam össze, akiknek három féle oktatást tartottam. Az első csoportnak egy 2D organizációs terven alapuló tantermi oktatást, a második csoport egy 360°-os oktató videót tekintett meg VR szemüvegben, míg az utolsó csoport a fent leírt interaktív VR alapú oktatást tapasztalhatta meg. Az oktatások után 2 héttel, a valós helyszínen kellett megmutatniuk a tesztalanyoknak, hogy mire emlékeznek az oktatásokon elhangzottakból. A teszteket különféle módokon (pl.: mozgáskövetés, kérdőíves visszajelzés, időmérés, életjelek mérése stb.) dokumentáltam, a kapott eredményeket pedig kiértékeltem.

Az adatok azt mutatták, hogy két VR oktatást kapott csoport nagyon hasonlóan teljesített, az interaktív VR oktatáson résztvevő emberek eredményei csak kis mértékben voltak jobbak, mint a 360°-os videót megtekintő személyek. Ezzel szemben a tantermi kontroll csoport messze alul teljesített a másik két csoporttal szemben, annak ellenére, hogy jelen esetben a lehető legegyszerűbb formára volt redukálva az építés helyszíni szituáció.

A kutatás eredményeként kijelenthető, hogy az általános építéshelyszíni veszélyek helyzetének és az azokkal kapcsolatos baleset megelőzési oktatás VR technológiával történő támogatása pozitívan befolyásolja a „dolgozók” teljesítményét és valószínűsíthetően csökkenti az építéshelyi balesetek kockázatát.

Ezek alapján érdemes lehet bevonni a VR technológián alapuló oktatásokat az építőipar munkafolyamatokba, hiszen alkalmazásával akár életeket is lehetne menteni.



## **Köszönetnyilvánítás**

A munkát a PTE MIK Huawei SEEDs Kiválósági Ösztöndíj támogatta, a pályamunka a Huawei Technologies Hungary Kft. támogatásával készült.

Ez úton is szeretném megköszönni mentoromnak, dr. Rák Olivérnek, a rengeteg segítséget, ösztönzést, és kitartást, amivel támogatta kutatásom és jelen dolgozat létrejöttét.

A munkát a BIM Skills Lab kutatócsoport támogatta szakmai segítséggel és eszközpark biztosításával.

A kutatás a Pécsi Tudományegyetemen, Műszaki és Informatikai karon készült, tesztalanyként bevonva a hallgatóság és egyéb szervezeti egységek egy részét, akiknek ez úton is köszönöm a segítséget.

## **Irodalomjegyzék**

1. Bakai Nándor, Máder Patrik Márk, Horkai András, Etlinger József, Rák Olivér, Cebei Márk Dániel, Zagorác Márk Balázs, *Az építőipari munkabalesetek megelőzésére és csökkentésére irányuló beavatkozási területek - statisztikai adatelemzéssel történő – meghatározása* MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 2021/3-4 pp. 90-99. , 10 p. (2021)
2. 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről
3. Lee, S. J., & Reeves, T. C. (2007). Edgar Dale: *A significant contributor to the field of educational technology*. Educational Technology, 47(6), 56.
4. Kanade, S.G., Duffy, V.G. (2022). *Use of Virtual Reality for Safety Training: A Systematic Review*. In: Duffy, V.G. (eds) Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Health, Operations Management, and Design. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13320. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-06018->
5. K. G. Ahmed, "Integrating VR-Enabled BIM in Building Design Studios, Architectural Engineering Program, UAEU: A Pilot Study," *2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 2020, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ASET48392.2020.9118308.
6. Jialu Song, Sijia Huang (2018) Virtual Reality (VR) Technology and Landscape Architecture MATEC Web Conf. 227 02005 DOI:10.1051/mateconf/201822702005
7. A. Racz and G. Zilizi, (2018), "VR Aided Architecture and Interior Design," *2018 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*, pp. 11-16, DOI: 10.1109/ICACCE.2018.8441714.
8. Smit, F. A. and van Liere, R. and Fröhlich, B.(2008) An Image-Warping VR-Architecture: Design, Implementation and Applications pg.115–122 Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology DOI:10.1145/1450579.1450605
9. OxfordLanguages – The definition of virtual reality <https://languages.oup.com/google-dictionary-en/>
10. Cipresso Pietro, Giglioli Irene Alice Chicchi, Raya Mariano Alcañiz, Riva Giuseppe (2018) *The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature* In: Frontiers in Psychology DOI:10.3389/fpsyg.2018.02086

11. Baranyainé Kóczy Judit; Komlósi László Imre, *A tanulás, mint interaktív cselekvés: paradigma váltás a VR – technológia segítségével*  
2018/4. szám JEL-KÉP, kommunikáció, közvélemény, média  
DOI :10.20520/JEL-KEP.2018.4.109
12. Kuttner, Ádám. (2022). *AR és VR technológia oktatási felhasználási lehetőségei a kiállítási kommunikációban*. Iskolakultúra, 32 (2), 83–94.
13. Leder Johannes, Horlitz Tina, Puschmann Patrick, Wittstock Volker, Schütz Astrid (2018) *Comparing Immersive Virtual Reality and PowerPoint as Methods for Delivering Safety Training : Impacts on Risk Perception, Learning, and Decision Making* in: Safety Science 56
14. Fan Yang, Yang Miang Goh (2022) *VR and MR technology for safety management education: An authentic learning approach*, Volume 148, Safety Science, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105645>
15. Checa, D., Bustillo, A. (2020) *A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training*. Multimed Tools Appl **79**, 5501–5527  
<https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348->
16. Dong Zhao & Jason Lucas (2015) *Virtual reality simulation for construction safety promotion*, International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 22:1, 57-67, <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.861853>
17. Xiao Li, Wen Yi, Hung-Lin Chi, Xiangyu Wang, Albert P.C. Chan, (2018) *A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety*, Pages 150-162, Volume 86, Automation in Construction, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>.
18. Pooya Adami, Patrick B. Rodrigues, Peter J. Woods, Burcin Becerik-Gerber, Lucio Soibelman, Yasemin Copur-Gencturk, Gale Lucas,(2021) *Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation*, Advanced Engineering Informatics, Volume 50, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101431>
19. Krantiraditya Dhalmahapatra, J. Maiti, O.B. Krishna, (2021) *Assessment of virtual reality based safety training simulator for electric overhead crane operations*, Volume 139, Safety Science, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105241>
20. Hui Zhang, Xueqiu He, Hani Mitri, (2019) *Fuzzy comprehensive evaluation of virtual reality mine safety training system*, Volume 120, Safety Science,

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.009>

21. Balint Lampert, Attila Pongracz, Judit Sipos, Adel Vehrer, Ildiko Horvath (2018) *MaxWhere VR-Learning Improves Effectiveness over Classic Tools of e-learning*, vol.15, No. 3 Acta Polytechnica Hungarica
22. Borbála Berki (2018) - *2D Advertising in 3D Virtual Spaces*, Vol. 15, No. 3, Acta Polytechnica Hungarica
23. [http://www.aforgenet.com/framework/features/motion\\_detection\\_2.0.html](http://www.aforgenet.com/framework/features/motion_detection_2.0.html)
24. [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_difference](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_difference)
25. Afzal, Muneeb, and Muhammad Tariq Shafiq. (2021). *Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew Buildings* 11, no. 8: 319. <https://doi.org/10.3390/buildings11080319> DOI: 10.20378/irbo-52667
26. Ghanem S Y (2022). *Implementing virtual reality - building information modeling in the construction management curriculum*, ITcon Vol. 27, pg. 48-69, <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.003>
27. Rafael Sacks, Amotz Perlman & Ronen Barak (2013) *Construction safety training using immersive virtual reality*, *Construction Management and Economics*, 31:9, 1005-1017, DOI: [10.1080/01446193.2013.828844](https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844)
28. Ritter, K.A., Chambers, T.L. (2022) *Three-dimensional modeled environments versus 360 degree panoramas for mobile virtual reality training*. *Virtual Reality* **26**, 571–581 <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00502->

## **Hallgatói Nyilatkozat**

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a Tudományos és Művészeti Diákköri konferenciára benyújtott dolgozat a saját munkám eredménye.

A felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem, és szakszerűen kezeltem. Egyéb jelentősebb segítséget nem vettem igénybe.

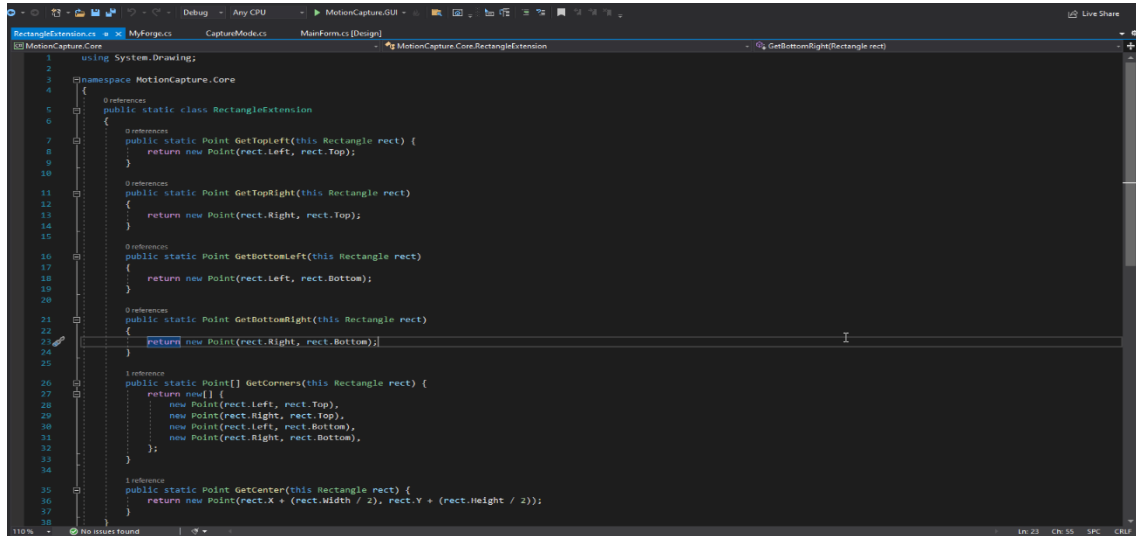
Az elkészült Tudományos és Művészeti Diákköri konferenciára leadott kutató munkám által talált eredményeket a Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai kara saját céljaira térítés nélkül felhasználhatja.

Pécs, 2022. november 24.

  
.....

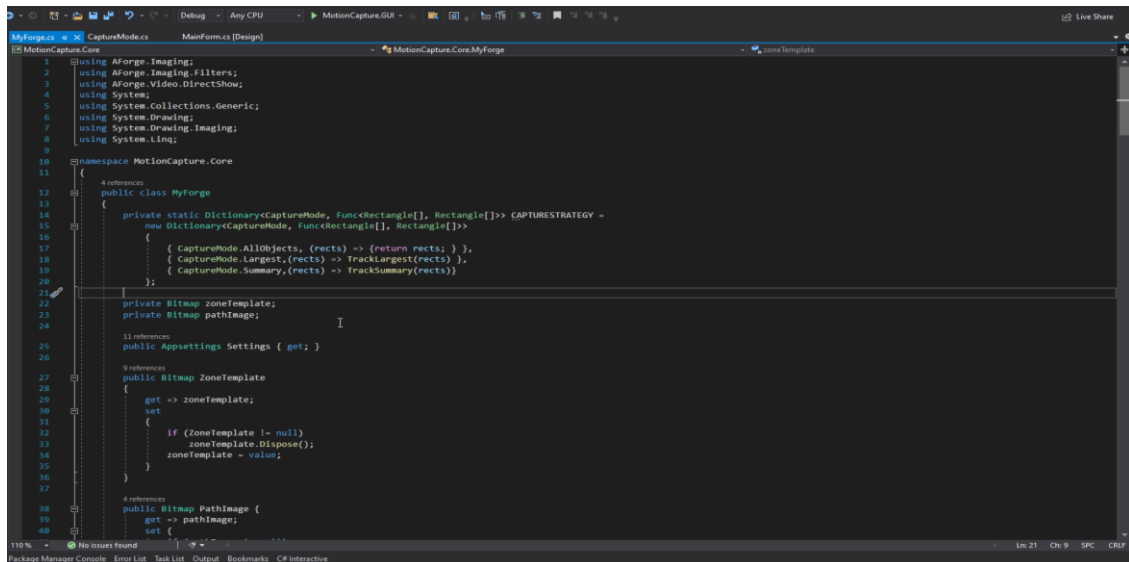
Hallgató aláírása

## Mellékletek:



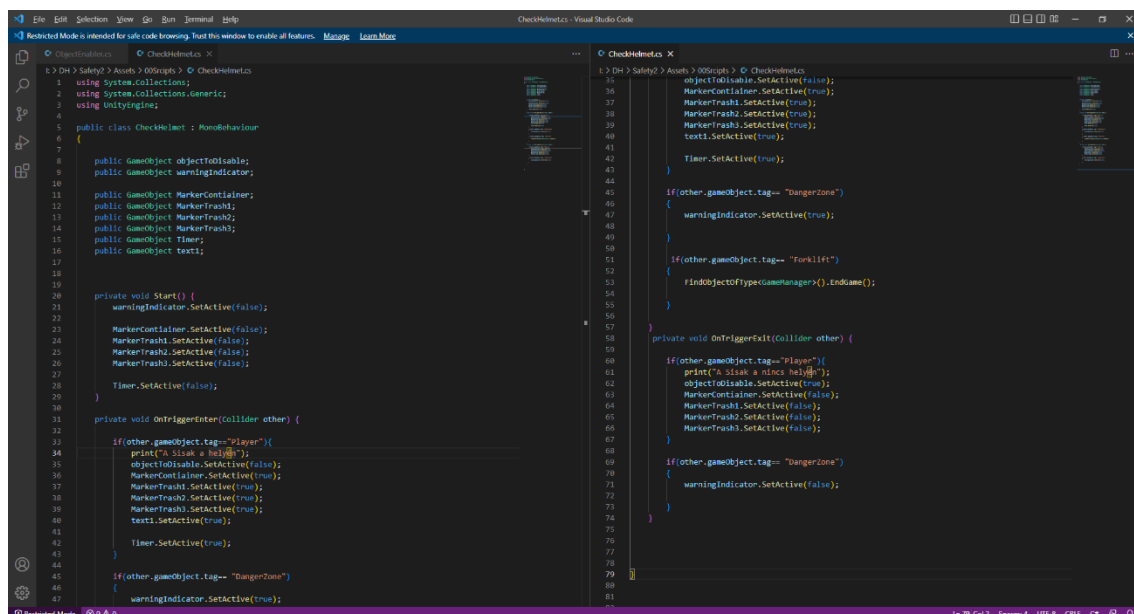
```
1 using System.Drawing;
2
3 namespace MotionCapture.Core
4 {
5     public static class RectangleExtension
6     {
7         public static Point GetTopLeft(this Rectangle rect) {
8             return new Point(rect.Left, rect.Top);
9         }
10
11         public static Point GetTopRight(this Rectangle rect) {
12             return new Point(rect.Right, rect.Top);
13         }
14
15         public static Point GetBottomLeft(this Rectangle rect) {
16             return new Point(rect.Left, rect.Bottom);
17         }
18
19         public static Point GetBottomRight(this Rectangle rect) {
20             return new Point(rect.Right, rect.Bottom);
21         }
22
23         public static Point[] GetCorners(this Rectangle rect) {
24             return new[] {
25                 new Point(rect.Left, rect.Top),
26                 new Point(rect.Right, rect.Top),
27                 new Point(rect.Left, rect.Bottom),
28                 new Point(rect.Right, rect.Bottom),
29             };
30         }
31
32         public static Point GetCenter(this Rectangle rect) {
33             return new Point(rect.X + (rect.Width / 2), rect.Y + (rect.Height / 2));
34         }
35     }
36 }
```

29. ábra A mozgás követő program kódja 1.



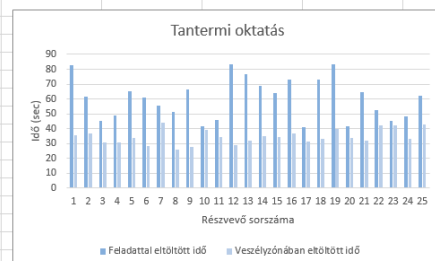
```
1 using AForge.Imaging;
2 using AForge.Imaging.Filters;
3 using AForge.Video.DirectShow;
4 using System;
5 using System.Collections.Generic;
6 using System.Drawing;
7 using System.Drawing.Imaging;
8 using System.Linq;
9
10 namespace MotionCapture.Core
11 {
12     public class MyForge
13     {
14         private static Dictionary<CaptureMode, Func<Rectangle[], Rectangle[]>> CAPTURESTRATEGY =
15             new Dictionary<CaptureMode, Func<Rectangle[], Rectangle[]>>
16             {
17                 { CaptureMode.AllObjects, (rects) => {return rects; } },
18                 { CaptureMode.Largest, (rects) => TrackLargest(rects) },
19                 { CaptureMode.Summary, (rects) => TrackSummary(rects) }
20             };
21
22         private Bitmap zoneTemplate;
23         private Bitmap pathImage;
24
25         public AppSettings Settings { get; }
26
27         public Bitmap ZoneTemplate
28         {
29             get => zoneTemplate;
30             set
31             {
32                 if (zoneTemplate != null)
33                     zoneTemplate.Dispose();
34                 zoneTemplate = value;
35             }
36         }
37
38         public Bitmap PathImage {
39             get => pathImage;
40             set {
41
42             }
43         }
44     }
45 }
```

30. ábra A mozgás követő program kódja 2.



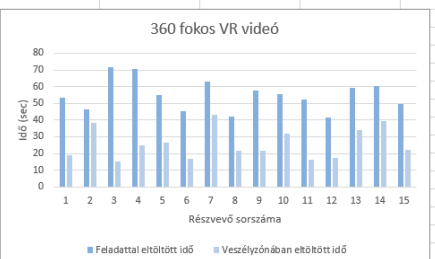
31. ábra A VR környezetben létrehozott scriptek egy része

| A program által kimentett adatok |                  | A diák kinyerésér szükséges formai |            |    |    |
|----------------------------------|------------------|------------------------------------|------------|----|----|
| h:min:S                          | h:min:S          | S,MS                               | S,MS       |    |    |
| Tantermi                         |                  |                                    |            |    |    |
| 00:01:22.6641958                 | 00:00:35.6445503 | 82,6641958                         | 35,6445503 | 1  | 1  |
| 00:01:01.7027252                 | 00:00:36.8877906 | 61,7027252                         | 36,8877906 | 2  | 2  |
| 00:00:45.3211993                 | 00:00:30.5866928 | 45,3211993                         | 30,5866928 | 3  | 3  |
| 00:00:49.1218664                 | 00:00:30.6579818 | 49,1218664                         | 30,6579818 | 4  | 4  |
| 00:01:05.3125216                 | 00:00:33.9501876 | 65,3125216                         | 33,9501876 | 5  | 5  |
| 00:01:00.9320195                 | 00:00:28.2665081 | 60,9320195                         | 28,2665081 | 6  | 6  |
| 00:00:55.6325851                 | 00:00:43.8547908 | 55,6325851                         | 43,8547908 | 7  | 7  |
| 00:00:51.4163431                 | 00:00:25.6871643 | 51,4163431                         | 25,6871643 | 8  | 8  |
| 00:01:06.1818318                 | 00:00:27.6098613 | 66,1818318                         | 27,6098613 | 9  | 9  |
| 00:00:41.4305761                 | 00:00:39.4306526 | 41,4305761                         | 39,4306526 | 10 | 10 |
| 00:00:45.8907668                 | 00:00:34.3430824 | 45,8907668                         | 34,3430824 | 11 | 11 |
| 00:01:23.4102164                 | 00:00:28.6709365 | 83,4102164                         | 28,6709365 | 12 | 12 |
| 00:01:16.6111432                 | 00:00:32.2185821 | 76,6111432                         | 32,2185821 | 13 | 13 |
| 00:01:08.9255341                 | 00:00:34.8793262 | 68,9255341                         | 34,8793262 | 14 | 14 |
| 00:01:03.8177039                 | 00:00:34.4038845 | 63,8177039                         | 34,4038845 | 15 | 15 |
| 00:01:13.2377912                 | 00:00:36.9044349 | 73,2377912                         | 36,9044349 | 16 | 16 |
| 00:00:41.0508881                 | 00:00:31.0372612 | 41,0508881                         | 31,0372612 | 17 | 17 |
| 00:01:12.7943341                 | 00:00:33.2781675 | 72,7943341                         | 33,2781675 | 18 | 18 |
| 00:01:23.0498672                 | 00:00:39.8007434 | 83,0498672                         | 39,8007434 | 19 | 19 |
| 00:00:41.4231159                 | 00:00:33.9628831 | 41,4231159                         | 33,9628831 | 20 | 20 |
| 00:01:04.5259944                 | 00:00:32.1051753 | 64,5259944                         | 32,1051753 | 21 | 21 |
| 00:00:52.5752411                 | 00:00:42.3425567 | 52,5752411                         | 42,3425567 | 22 | 22 |
| 00:00:45.3147479                 | 00:00:41.9320681 | 45,3147479                         | 41,9320681 | 23 | 23 |
| 00:00:47.9869621                 | 00:00:33.0868032 | 47,9869621                         | 33,0868032 | 24 | 24 |
| 00:01:02.4173123                 | 00:00:42.6301522 | 62,4173123                         | 42,6301522 | 25 | 25 |

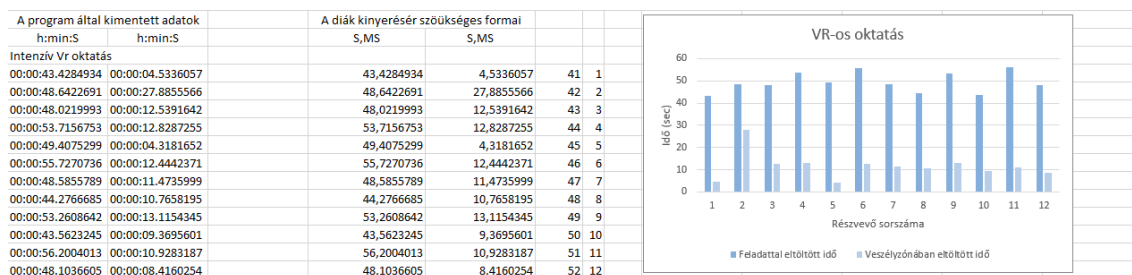


32. ábra A tantermi oktatáson részt vett kontrol csoport, stopperóra adatai

| A program által kimentett adatok |                  | A diák kinyerésér szükséges formai |            |    |    |
|----------------------------------|------------------|------------------------------------|------------|----|----|
| h:min:S                          | h:min:S          | S,MS                               | S,MS       |    |    |
| 360-as videó VR                  |                  |                                    |            |    |    |
| 00:00:53.6057128                 | 00:00:19.2214871 | 53,6057128                         | 19,2214871 | 26 | 1  |
| 00:00:46.4393081                 | 00:00:38.2956962 | 46,4393081                         | 38,2956962 | 27 | 2  |
| 00:01:11.7833328                 | 00:00:15.1520307 | 71,7833328                         | 15,1520307 | 28 | 3  |
| 00:01:10.7889709                 | 00:00:24.9706845 | 70,7889709                         | 24,9706845 | 29 | 4  |
| 00:00:54.9336357                 | 00:00:26.3058815 | 54,9336357                         | 26,3058815 | 30 | 5  |
| 00:00:45.2046699                 | 00:00:16.8638256 | 45,2046699                         | 16,8638256 | 31 | 6  |
| 00:01:0.8708648                  | 00:00:43.3113307 | 62,8708648                         | 43,3113307 | 32 | 7  |
| 00:00:41.8243942                 | 00:00:21.5537452 | 41,8243942                         | 21,5537452 | 33 | 8  |
| 00:00:57.9089508                 | 00:00:21.4076923 | 57,9089508                         | 21,4076923 | 34 | 9  |
| 00:00:55.3044242                 | 00:00:32.0457611 | 55,3044242                         | 32,0457611 | 35 | 10 |
| 00:00:52.0643806                 | 00:00:16.1338577 | 52,0643806                         | 16,1338577 | 36 | 11 |
| 00:00:41.4862671                 | 00:00:17.4671707 | 41,4862671                         | 17,4671707 | 37 | 12 |
| 00:00:59.1116624                 | 00:00:34.1479534 | 59,1116624                         | 34,1479534 | 38 | 13 |
| 00:01:00.4826054                 | 00:00:39.1399321 | 60,4826054                         | 39,1399321 | 39 | 14 |
| 00:00:49.5964162                 | 00:00:22.3760289 | 49,5964162                         | 22,3760289 | 40 | 15 |



33. ábra A 360 fokos VR videók oktatáson részt vett kontrol csoport, stopperóra adatai



34. ábra A VR-os oktatáson részt vett kontrol csoport, stopperóra adatai