



ESZKÖZFEJLESZTÉS A VIRTUÁLIS VALÓSÁG (VR)- TECHNOLÓGIA FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGÉNEK BŐVÍTÉSÉRE, AZ ÉPÍTÉSHELYI ZUHANÁSBIZTONSÁG TERÜLETÉN

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR EXPANDING THE USE OF VIRTUAL REALITY (VR) TECHNOLOGY IN THE FIELD OF CONSTRUCTION SITE FALL PROTECTION

Bakai Nándor,¹ Zagorác Márk Balázs,² Rák Olivér,³ Hillebrand Péter⁴

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki Ismeretek Tanszék, Breuer Marcell Doktori Iskola, bakai.nandor@mik.pte.hu

^{2, 3, 4} Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport zagoracz.mark@mik.pte.hu

³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport, rak.oliver@mik.pte.hu

⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport, PTE 3D Nyomatatási és Vizualizációs Központ, hillebrand.peter@pte.hu

Abstract

In the construction industry, the occurrence of work accidents is considered to be a critical issue. With advancements in technology, various innovative tools and methodologies have emerged that may provide solutions to mitigate this risk. One of these technologies could be virtual reality that has the potential to enhance worker safety by providing a controlled environment for practicing relevant safety tasks during safety training. The objective of the research and development was to create a system that links fall protection equipment in the physical environment with the virtual space. This study presents a comprehensive examination of the methodology, outcomes of the tool development, and the evaluation of this system.

Keywords: *health and safety, fall protection, virtual reality, AEC industry.*

Összefoglalás

Egy építkezésen a munkabalesetek bekövetkezésének kockázata kiemelten magasnak tekinthető. A technológia fejlődésével számos új eszköz és módszertan jelent meg, mely megoldást jelenthet az említett probléma csökkentésére. Az egyik ilyen technológia lehet a virtuális valóság, mely lehetőséget biztosíthat a munkabiztonság szempontjából releváns feladatok begyakorlásához, a munkavédelmi oktatás biztonságos környezetben történő megtartásához. A kutatásfejlesztés fő célja az volt, hogy létrejöjjön egy olyan eszköz, amely képes összekötni a fizikai térben létező leesésvédelmi eszközöket a virtuális térrel. Jelen tanulmány ismerteti az eszközfejlesztés és az ehhez tartozó kutatás módszertanát, valamint annak eredményeit.

Kulcsszavak: *munkavédelem, zuhanásbiztonság, leesésvédelem, virtuális valóság, építőipar.*

1. Bevezetés

Az építőiparban a munkabalesetek bekövetkezésének kockázata kiemelten magas. Kimutatásra került, hogy 2001 és 2020 között a magyarországi

munkabalesetek 5%-a az építőiparban következett be, valamint egy szűkebb, 5 éves időintervallumban, 2014 és 2018 között a balesetek 17%-át a munkavállalók alacsonyabban lévő szintre történő leesése okozta [1]. Ez az arány is jól mutatja,

hogy kiemelten fontos vizsgálni annak a lehetőségét, miként előzhetőek meg a leeséses munkabalesetek. A technológia fejlődésével számos olyan újítás jelenik meg, amely megoldást jelenthet a fent említett problémára. Ezek közül az egyik a virtuális valóság (VR)-technológia alkalmazása lehet. Kutatások vizsgálják a VR építőipari felhasználásának különböző lehetőségeit, melyek nagy számban az építészeti tervezés támogatására, építészeti vizualizációra, az építményinformációs modellezés (BIM) és a VR-technológia kapcsolatának megteremtésére, valamint minőség-ellenőrzésre és az oktatásra fókuszálnak [2]. Az utóbbi években jelentek meg olyan eszközfejlesztések [3] és publikációk, amelyek a VR-technológia leesésvédelmi felhasználására irányulnak [4]. Jelen tanulmány egy olyan kutatás és eszközfejlesztés részleteit ismerteti, amely azt vizsgálja, hogy összekapcsolható-e a virtuális tér valós leesésvédelmi eszközökkel, ezzel kibővítve a VR-technológia leesésvédelemre irányuló alkalmazási lehetőségeit.

2. A kutatás és eszközfejlesztés ismertetése

2.1. A megfelelő VR- és leesésvédelmi eszközök kiválasztása

A kutatás első lépéseként meghatározásra kerültek azok a VR- és leesésvédelmi eszközök, amelyek alkalmasak lehetnek a fejlesztési célok elérésére. A professzionális VR-eszközöket jellemzően két fő kategóriára bonthatjuk, a standalone VR-megoldásokra és PC VR-megoldásokra. A standalone VR-megoldások nagy előnye, hogy az alkalmazások futtatása az eszközön történik, ezért nem igényel számítógépes kapcsolatot. Ez a megoldás a vezetékes PC VR-szemüvegekhez képest sokkal nagyobb mozgásteret és szabadságot biztosít a felhasználók számára. A futtatott alkalmazások kezelésére két lehetséges megoldást alkalmaznak, az egyik a kontrollerek használata, a másik pedig a kéznyomkövetés (hand tracking). A kéznyomkövetéshez az eszközök jellemzően infrakamerát használnak, és ez alapján határozzák meg a kéz pozícióját. A fejlesztendő eszköz szempontjából ennek a megoldásnak az a hátránya, hogy a kéz követésén túl nehezen vagy egyáltalán nem alkalmazható más tárgyak követésére. A PC VR-megoldások esetén a VR-szemüveg vezetékekkel vagy, egyes eszközök esetén, vezetékek nélkül csatlakozik egy számítógéphez, és az alkalmazás futtatása a számítógépen történik. A futtatott VR-alkalmazás kezelése jellemzően ezeknél az eszközöknél is kontrollerral történik, de vannak olyan gyártók,

melyek biztosítanak különböző fejlesztői megoldásokat egyedi kiegészítők készítésére. Ezt figyelembe véve, a kutatáshoz és eszközfejlesztéshez a HTC cég által forgalmazott Vive PRO VR-szett került kiválasztásra, amely a mobilitás növelése miatt egy vezeték nélküli adapterrel került kiegészítésre.

A termék kibővíthető a VIVE Tracker 3.0 nevű érzékelővel, mely alkalmas lehet a zuhanásbiztonsági eszközök virtuális térbe történő integrálására.

A zuhanásbiztonsági eszközök közül az egyik legelterjedtebb megoldás az energiaelnyelővel ellátott heveder alkalmazása, melynek használata könnyen elsajátítható, és nem igényel előképzettséget. Az energiaelnyelővel ellátott heveder egyik vége a felhasználónál található testhez vagy derékhevederhez csatlakozik, a másik végét pedig egy kikötési ponthoz kell rögzíteni. A kikötési ponthoz történő rögzítés rugós vagy csavarzáras karabinerrel, illetve horogkarabinerrel vagy más néven állványkapoccsal történik. A lehetséges eszközöket megvizsgálva megállapítható, hogy a rugós vagy csavarzáras karabinerek mérete 10–15 cm között változik, amely nem elegendő a hozzávetőleg 8 cm méretű HTC Vive Tracker 3.0 rögzítésére úgy, hogy az a karabiner funkcionális működését ne befolyásolja. A horogkarabinerek mérete jelentősen nagyobb, átlagosan a hosszuk 21–35 cm, amely alkalmas lehet az érzékelő rögzítésére. A fenti paramétereket figyelembe véve a kutatáshoz a Portwest FP51-típusú Y heveder került kiválasztásra, amely FP 35-típusú horogkarabinerrel van ellátva.

A kutatás során felhasznált eszközök az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. A kutatás során felhasznált eszközök: (1) HTC Vive PRO VR-szemüveg, (2) VIVE Wireless Adapter, (3) SteamVR Base Station 2.0, (4) Portwest FP51 Y-heveder, (5) Portwest FP35-horogkarabiner, (6) CADO AT 150 fix kikötési pont, (7) CADO AT 150 fix kikötési pont

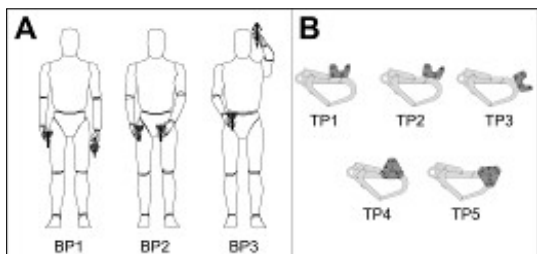
2.2. A lehetséges megoldások vizsgálata 3D-elemzéssel

A HTC Vive Pro a SteamVR Base Station 2.0-típusú bázisállomás segítségével képes lekövetni a felhasználó térbeli mozgását és ez alapján meghatározni a felhasználó pozícióját és mozgását a virtuális térben. Ehhez a VR-szemüveget a kontrollereken, valamint a Vive Tracker 3.0-érzékelőn található szenzorokról visszaverődő jeleket használja. A vizsgálat célja, hogy meghatározásra kerüljön a bázisállomások megfelelő helyzete, valamint az érzékelő pozíciója a karabineren.

A bázisállomás függőleges irányban 110° -os, vízszintes irányban 150° -os szögben képes érzékelni 7 m-es távolságból [5]. A „játéktér” mérete két bázisállomás felhasználásával 5 m^2 , amely 10 m^2 -re bővíthető 4 db bázisállomás alkalmazásával [6].

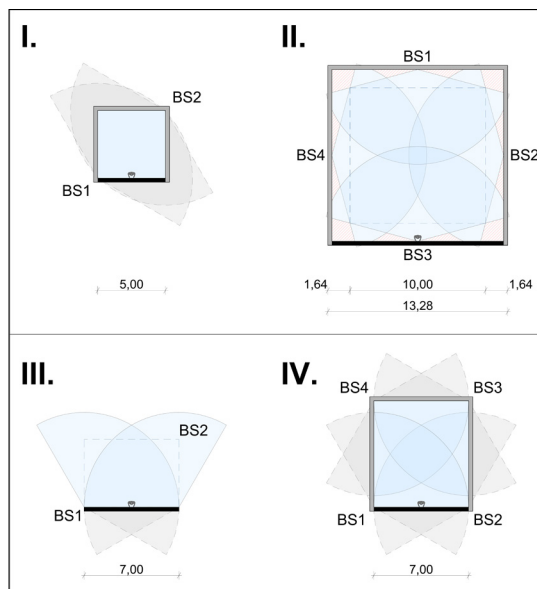
A lehetséges elrendezések háromdimenziós elemzése ArchiCAD 25 tervezőszoftverrel történt, amelyben megmodellezésre kerültek a vizsgálandó térbeli elrendezések (3. ábra), figyelembe véve a vizsgált testhelyzeteket és érzékelőpozíciókat (2. ábra).

A szoftverben található „kamera” eszköz lehetőséget biztosít a bázisállomások valós pozíciójának és pontos látóterének beállítására. A vizsgálat során a bázisállomások pozícióján felül elemzésre került az is, hogy három, a felhasználás közben előforduló testhelyzetből (2. ábra A) miként látszik a különböző lehetséges pozícióban a karabinerre rögzített érzékelő (2. ábra B). A megbízható működéshez arra van szükség, hogy legalább két bázisállomásból egy időben látszódjon az érzékelőn legalább 3 db szenzor. A vizsgálat során rögzítésre került, hogy az eltérő bázisállomás-elrendezések esetén (3. ábra), eltérő testtartásban és eltérő érzékelő pozícióban (2. ábra), a jobb és bal kézben lévő karabinereken hány darab szenzor látható az egyes bázisállomásokról. Az elemzés első lépéseként megvizsgáltuk a gyártói utasításban javasolt bázisállomás-pozíciókat (3. ábra I., II.). A bázisállomások javasolt helyzete



2. ábra. (A) Vizsgált testhelyzetek és (B) vizsgált érzékelő pozíciók

úgy van meghatározva, hogy a felhasználó lehetőség szerint a tér közepén álljon, ami a tervezett eszköz esetén nem megoldható, mivel a kikötési pontokat valamilyen függőleges felületre, például falra kell rögzíteni. A II. számú, 4 db bázisállomást tartalmazó beállítás esetén jól látszik, hogy a falfelületek mellett számos olyan térrész található, amely kívül esik a bázisállomások javasolt érzékelési tartományán. Az I. számú, két bázisállomást tartalmazó elrendezés esetén megállapításra került, hogy a három vizsgált testhelyzetben a hátsó bázisállomással (BS2) ellentétes kézben található karabiner, illetve az azon található érzékelő nem látható, így fennáll annak a veszélye, hogy használat közben a karabiner pozíciója pontatlan lehet a virtuális térben. Az elsődleges vizsgálat tapasztalatai alapján meghatározásra került két olyan elrendezés (3. ábra III., IV.), amellyel biztosítható a bázisállomások megfelelő rálátása az érzékelőkre. Megállapításra került, hogy a III. számú elrendezés esetén mindhárom testhelyzetből megfelelő számú szenzor látható a TP1 és TP2 érzékelő pozíciók esetén, illetve a BP2-testhelyzetben minden érzékelő pozíció esetén. A többi esetben a látható szenzorok száma nem érte el a 3 db-ot. A IV. számú elrendezés esetén az összes testhelyzetben az összes érzékelő elrendezés esetén biztosított volt az, hogy legalább két bázisállomásról legalább 3 szenzor látható legyen. Továbbá, az érzékelők lehetséges pozícióit vizsgálva megállapításra került az is, hogy a karabiner



3. ábra. A bázisállomások lehetséges elrendezései

felső síkján elhelyezett (TP1, TP2, TP3) érzékelők esetén kisebb az esélye annak, hogy a szenzorok kitakarásra kerülnek. A TP1, TP2, TP3 érzékelő pozíciókat vizsgálva megállapítható, hogy nincs közöttük számottevő különbség.

2.3. A lehetséges megoldások elemzése fizikai teszteléssel

A virtuális térben történő elemzést követően megtörtént az eszközök fizikai tesztelése, melynek fő célja az volt, hogy meghatározásra kerüljön, milyen módon rögzíthető fel az érzékelő a karabinerre úgy, hogy az nem akadályozza a karabiner működtetését, nem gátolja a karabiner kikötési pontba történő beakasztását, és nem áll fenn az érzékelő sérülésének kockázata. A tesztelés során a karabiner két különböző kikötési ponthoz történő rögzítése került megvizsgálásra annak érdekében, hogy megállapítható legyen, melyik lehet alkalmas a későbbi VR-fejlesztés során. Az első egy, egy ponton rögzíthető acéllemezből készült, CADO AT 180-típusú kikötési pont volt, a második pedig egy, két ponton rögzülő CADO AT 150-típusú kikötési pont. Annak érdekében, hogy elkerülhető legyen a Vive Tracker 3.0 sérülése a teszteléshez, az eszköz 3D-nyomtatott pontos mása került felrögzítésre a karabinerre (4. ábra). A fizikai tesztek során a 2. ábrán bemutatott érzékelő pozíciókat vettük alapul.

A tesztelés során a következők kerültek megállapításra:

- a TP1 rögzítési mód esetén az érzékelő nagymértékben zavarja a karabiner záró mechanizmusának kioldását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;
- a TP2 rögzítési mód esetén az érzékelő kismértékben zavarja a karabiner nyitását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;

- a TP3 rögzítési mód esetén az érzékelő nem befolyásolja a karabiner nyitását, viszont a karabiner akasztása közben az érzékelő sérülhet;
- a TP4 rögzítési mód esetén az érzékelő nagymértékben zavarja a karabiner záró mechanizmusának kioldását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;
- a TP5 rögzítési mód esetén az érzékelő nem befolyásolja a karabiner nyitását, viszont a karabiner akasztása közben az érzékelő sérülhet;
- az összes vizsgált rögzítési mód esetén megállapítható, hogy a rögzítést követően a karabiner elfordulása miatt fennáll az érzékelő sérülésének kockázata;
- továbbá megállapításra került, hogy az acéllemezből készült CADO AT 150-típusú kikötési ponton található lyuk, méretéből adódóan, megfelelő a horogkarabiner beakasztására, de túl kicsi ahhoz, hogy VR-szemüveg viselése közben pontos akasztást tegyen lehetővé.

2.4. Az eszközfejlesztés ismertetése

A háromdimenziós és fizikai térben végzett vizsgálatok eredményeit alapul véve Shapr3D szoftverben megtervezésre került az érzékelő karabinerre történő rögzítésére alkalmas kiegészítő (5. ábra). A tervezés során kiemelt szempont volt, hogy a kiegészítő csökkentse az érzékelő sérülésének kockázatát, és megfelelő helyet biztosítson a karabiner zárómechanizmusának működtetéséhez. Ezenfelül a gyártói utasításoknak megfelelően [7] meg kellett oldani azt is, hogy az érzékelő alsó síkjától legalább 30 mm-es távolságba kerüljön a karabiner. A karabiner virtuális térben történő integrálása Unity fejlesztői környezetben történt a horogkarabiner, HTC Vive Tracker 3.0 és a rögzítést biztosító kiegészítő mérethelyes 3D-modelljének felhasználásával.



4. ábra. Fizikai tesztelés



5. ábra. A tervezett eszköz 3D-modellje

2.5. Az eszköz prototípusának tesztelése

Egy nem reprezentatív felmérés részeként 5 fő próbálta ki az eszköz első verzióját (6. ábra). A felhasználók visszajelzése egyöntetűen az volt, hogy az eszköz megfelelően pontos és alkalmas a horogkarabiner virtuális térben történő integrálására, illetve alkalmas lehet a későbbi fejlesztésekhez. Hiányosságként emelték ki, hogy a karabiner nyitása jelenleg nem megoldott a virtuális térben, ami a karabiner beakasztása közben zavaró.

Megállapításra került az is, hogy a 3D-nyomtatással készült felfogatással kellő védelmet biztosít a HTC Vive Tracker 3.0 érzékelő a sérülések megelőzésére.

4. A kutatás további célkitűzései

A célok között szerepel az elkészült eszköz továbbfejlesztése, a nyitási mechanizmus megoldása a virtuális térben. Emellett cél olyan szimulációs pályák elkészítése, amelyek a fizikai és virtuális teret összekapcsolva alkalmasak különböző zuhanásbiztonsággal kapcsolatos feladatok elsajátítására és begyakorlására. A tervek között szerepel a szimulációs pályák oktatási célú felhasználási lehetőségeinek részletes vizsgálata és azok validálása tudományos módszerekkel.

5. Következtetések

A tanulmány a zuhanásbiztonsági eszközök és a VR-technológia közötti kapcsolat megteremtésére irányuló eszközfejlesztést és az ezzel összefüggő

kutatás részleteit ismerteti. Bemutatásra kerültek azok a háromdimenziós elemzések és fizikai tesztek, amelyek alapját képezték a fejlesztésnek. Ezek eredményei alapján bemutatásra került az eszközfejlesztés, és felvázolásra kerültek további kutatási irányok. A kutatás eredményeként megállapítható, hogy megfelelő VR-megoldások felhasználásával lehetséges a VR-technológia és a zuhanásbiztonsági eszközök összekapcsolása.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3-II kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

A kutatáshoz használt HTC Vive Pro VR szettet a BIM Skills Lab kutatócsoport biztosította.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bakai N. et al.: Az építőipari munkabalesetek megelőzésére és csökkentésére irányuló beavatkozási területek – statisztikai adatelemzéssel történő – meghatározása. Magyar Építőipar, 3–4. (2021) 90–99.
- [2] S. Safikhani, S. Keller, G. Schweiger, J. Pirker: *Immersive Virtual Reality for Extending the Potential of Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction Sector: Systematic Review*. International Journal of Digital Earth, 15/1. (2022) 503–526.
<https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2038291>.
- [3] Bakai N., Etlinger J., Simon D. E., Rác V. N., Rák O., Zagorác M. B., Hillebrand P.: *Application of Virtual Reality Technology for Fall Protection in the AEC Industry*. In: 2022 1st IEEE International Conference on Cognitive Aspects of Virtual Reality (CVR), Budapest, Hungary, 2022, 000035–000036.
<https://doi.org/10.1109/CVR55417.2022.9967533>.
- [4] Y. Shi, J. Du, C. R. Ahn, E. Ragan: *Impact Assessment of Reinforced Learning Methods on Construction Workers' Fall Risk Behavior Using Virtual Reality*. Automation in Construction, 104. (2019) 197–214.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.015>.
- [5] Tips for Setting up SteamVR Base Station 2.0.
https://www.vive.com/eu/support/vive-pro2/category_howto/tips-for-setting-up-base-station2.html (letöltve 2023. február 26.).
- [6] What Things Should I Consider when Installing More than Two SteamVR Base Stations 2.0?
https://www.vive.com/eu/support/vive-pro2/category_howto/considerations-to-make-when-installing-more-than-two-base-stations.html (letöltve 2023. február 9.).
- [7] HTC_Vive_Tracker_3.0_Developer_Guidelines_v1.1_06022021(letöltve 2023. február 26). [Online]. <https://developer.vive.com/>



6. ábra. A fejlesztett eszköz működés közben