

**THREE-DIMENSIONAL IMAGE CAPTURE
METHODS AND VR VISUALIZATION IN
THE FIELD OF CRIMINALISTICS****HÁROMDIMENZIÓS KÉPRÖGZÍTÉSI
MÓDSZEREK ÉS VR-SZEMLÉLTETÉS
A KRIMINALISZTIKA TERÜLETÉN**RUCSKA András¹**Abstract**

The study examines three-dimensional image capture technologies that can be used in crime scene documentation. Its aim is to compare these methods according to a uniform set of criteria in terms of accuracy, scene applicability, costs, data management, evidential value, and virtual reality compatibility, with a particular emphasis on applications optimized for the Meta Quest 3 device. The study shows that while laser scanning and photogrammetry provide the highest measurement reliability, 360° systems and drone photogrammetry are primarily suitable for quick, immersive overviews and global reconstruction of large sites. Neural, NeRF-based solutions appear to be a promising complementary tool for visualization, but their validation for forensic purposes is still limited. The study provides practical recommendations for integrating 3D models into VR environments and highlights that hybrid approaches offer the most balanced solution for forensic practice.

Keywords

three-dimensional image recording, crime scene, VR glasses, virtual reality, forensic science

Absztrakt

A tanulmány a bűnügyi helyszíndokumentálásban alkalmazható 3D képrögzítési technológiákat vizsgálja. Célja, hogy egységes szempontrendszer mentén hasonlítsa össze e módszereket pontosság, terepi alkalmazhatóság, költségek, adatkezelés, bizonyító erő és virtuális valóság kompatibilitás szempontjából, különös hangsúllyal a Meta Quest 3 eszközre optimalizált felhasználási lehetőségeken. A vizsgálat bemutatja, hogy míg a lézerszkennelés és a fotogrammetria biztosítja a legmagasabb méretezési megbízhatóságot, addig a 360°-os rendszerek és a drónos fotogrammetria elsősorban gyors, immerszív áttekintésre, nagy kiterjedésű helyszínek globális rekonstrukciójára alkalmasak. A neurális, NeRF-alapú megoldások ígéretes kiegészítő eszközként jelennek meg a szemléltetésben, de kriminalisztikai célú validációjuk még korlátozott. A tanulmány gyakorlati javaslatot ad a 3D modellek VR-környezetbe történő integrálására, és rámutat arra, hogy a hibrid megközelítések kínálják a legkiegyensúlyozottabb megoldást a kriminalisztikai gyakorlat számára.

Kulcsszavak

háromdimenziós képrögzítés, bűnügyi helyszín, VR szemüveg, virtuális valóság, krimináltechnika

¹ rucska.andras@uni-nke.hu | ORCID: 0000-0002-1431-7258 | master teacher, Ludovika University of Public Service, Faculty of Law Enforcement, Department of Forensic Sciences | mesteroktató, Nemzeti Közszo l gál ati Egyetem, Rendészettudományi Kar, Krimináltechnikai Tanszék

BEVEZETÉS

A bűnügyi helyszínek dokumentálása a modern krimináltechnika egyik alapvető feladata, amelyre a hagyományos eszközök – jegyzőkönyv, helyszínvázlatrajz, fénykép- és videódokumentáció – évtizedeken keresztül önmagukban is elegendőnek bizonyultak. E módszerek közös jellemzője azonban, hogy a helyszín térbeli viszonyait csupán közvetetten, kétdimenziós ábrázolás révén jelenítik meg, ami a perspektívatorzulás, a takarások miatt korlátozza az értelmezhetőséget. A büntetőeljárás résztvevői – különösen a döntéshozók – számára ez megnehezítheti az események térbeli rekonstrukcióját, a cselekmény lefolyásának elképzelését és a bizonyítékok egymáshoz viszonyított helyzetének értékelését is.

Az elmúlt másfél évtized technológiai fejlődése ezen korlátokra egyre komplexebb válaszokat kínál: a háromdimenziós helyszíndokumentálás mára több, egymástól jelentősen eltérő megoldással érhető el, tehát már nem az a kérdés, hogy készítünk-e 3D felvételt, hanem az, hogy milyen módszerrel tesszük azt. A professzionális lézerszkennerek milliméteres pontossággal rögzítik a térbeli geometriát, míg a fotogrammetria – akár földi, akár légi (UAV) platformról – nagy pontosságú, textúrázott modellek előállítását teszi lehetővé már viszonylag széles körben hozzáférhető eszközökkel, mint egy egyszerű digitális fényképezőgép. Ezzel párhuzamosan elterjedtek a kézi 3D szkennerek, a 360°-os képalkotó rendszerek, valamint a mindennapi eszközök – okostelefonok, akciókamerák, sőt kiterjesztett valóságot támogató szemüvegek – által kínált, különböző szintű 3D rekonstrukciós lehetőségek.

A technológiák sokfélesége ugyanakkor új típusú problémákat vet fel a kriminalisztikai gyakorlat számára. Az egyes módszerek eltérnek egymástól a mérési pontosság, a terepen történő alkalmazhatóság, az eszközigény, a költségek, az adatkezelési követelmények és nem utolsósorban a bizonyítási eljárásban betölthető szerep szempontjából. A szakirodalomban és a gyakorlatban egyre több publikáció és esettanulmány foglalkozik egyes technikák – elsősorban a fotogrammetria és a lézerszkennelés – alkalmazásával, ugyanakkor jóval kevesebb olyan munka található, amely egységes keretben, azonos szempontok mentén hasonlítani össze a különböző 3D dokumentációs eljárásokat.

További kihívást jelent, hogy a háromdimenziós modellek hasznosítása egyre inkább túllép a statikus megjelenítésen és a síkbeli kivetítésen. A virtuális valóság eszközei – különösen a széles körben elérhető, önálló működésre képes eszközök, mint a Meta Quest 3 – lehetővé teszik a bűnügyi helyszínek immerszív, bejárható formában történő megjelenítését. Ezzel új távlatok nyílnak a nyomozás, a helyszíni szemle utólagos elemzése, a szakértői munka, valamint a tárgyalótermi szemléltetés számára. Felmerül a kérdés, hogy a jelenleg elérhető 3D dokumentációs technológiák kimenete milyen mértékben és milyen kompromisszumokkal illeszthető ehhez a felhasználási módhoz.

Jelen tanulmány célja, hogy szisztematikus áttekintést adjon a bűnügyi helyszíndokumentálás szempontjából releváns háromdimenziós adatgyűjtési módszerekről, különös tekintettel a fotogrammetriára, a lézerszkennelésre, a kézi 3D szkennerekre, a 360°-os képalkotó rendszerekre, a mobil eszközökkel végzett 3D rekonstrukcióra és az újabb neurális alapú megoldásokra. Az elemzés középpontjában az egyes technológiák mérési pontossága, terepi alkalmazhatósága, eszközigénye, költségvonzata, adatkezelési sajátosságai és kriminalisztikai bizonyító ereje áll. A vizsgálat speciális fókusza annak feltárása, hogy a különböző módszerekkel előállított 3D modellek milyen mértékben és milyen – technikai, jogi, metodikai – feltételek mellett integrálhatók olyan virtuális valóság alapú bejárési környezetbe, amely Meta Quest 3 eszköz segítségével a gyakorlatban is alkalmazható.

A tanulmány a bevezetést követően röviden ismerteti a vizsgált technológiák működési elvét, majd összehasonlító módon elemzi azokat a fenti szempontok mentén. Ezt követi a VR-alapú megjelenítésre, különösen a Meta Quest 3-ra vonatkozó kompatibilitási kérdések tárgyalása, végül a gyakorlati ajánlások és a további kutatási irányok bemutatása.

RELEVÁNS HÁROMDIMENZIÓS ELJÁRÁSOK

Fotogrammetria

A fotogrammetria olyan képalkotó eljárás, amely több fényképfelvételből geometriai és képfeldolgozási módszerek segítségével állít elő mérhető, háromdimenziós modelleket. Forenzikus alkalmazásban a módszer alkalmas teljes bűnügyi helyszínek, részletek — például vérnyom-mintázatok, lövési csatornák — valamint emberi testek és holttestek dokumentálására, nagyfokú részletesség és pontosság mellett. A hazai szakirodalomban is dokumentált, hogy a fotogrammetria kiválóan alkalmazható kriminalisztikai helyszínrekonstrukciókra, holttestek és tárgyak térbeli modellezésére [1]. A legújabb vizsgálatok szerint a gondosan megtervezett közeli fotogrammetria gyors, költséghatékony és a gyakorlatban is reprodukálható alternatívája lehet bizonyos optikai szkennereknek, miközben a létrehozott modellek fotorealisztikus megjelenítést is biztosítanak [2]. A módszer pontossága függ többek között a kamera felbontástól, az alkalmazott optikától, a felvételek számától és geometriájától, valamint a fényviszonyoktól, amelyekre a helyszíni protokoll kialakításakor kiemelt figyelmet kell szentelni.

Háromdimenziós lézerszkennelés

A lézerszkennelés olyan aktív távérzékelési technika, amely a vizsgált objektum vagy helyszín felszínéről visszaverődő lézerimpulzusok idő- vagy fázismérésén alapuló távolságmérés révén nagy sűrűségű, háromdimenziós pontfelhőt hoz létre. A bűnügyi helyszínek dokumentálásban a 3D lézerszkennelők előnye a nagy kiterjedésű terek gyors, kvázi teljes körű, milliméteres pontosságú felmérése, amely lehetővé teszi a geometriai viszonyok és távolságok utólagos, objektív rekonstrukcióját. Több tanulmány kiemeli, hogy a lézerszkennelt pontfelhőkből előállított modellek a hagyományos fényképes dokumentációhoz képest pontosabb méréseket és részletesebb térbeli áttekintést biztosítanak, ami különösen fontos komplex bűnügyi helyszínek — vagy akár közlekedési balesetek — rekonstrukciójánál [3]. Ugyanakkor az eszköz magas költsége, a speciális képzés és a nagy mennyiségű adat kezelése olyan korlátok, amelyek befolyásolják a technológia szélesebb körű gyakorlati elterjedését.

360°-os képalkotás és virtuális túrák

A 360 fokos képalkotó rendszerek - egy- vagy több objektívvel rendelkező panorámakamerák - egyetlen álláspontból teljes gömbpanorámát rögzítenek, amelyből interaktív, virtuális bejárás jellegű megjelenítés valósítható meg. A kriminalisztikai gyakorlatban ezek a megoldások különösen a helyszín vizuális összképének gyors, kontaminációt mérséklő rögzítésére és a későbbi, távoli bejárhatóság biztosítására bizonyultak hasznosnak. A szakirodalom szerint a 360 fokos virtuális túrák támogatják a nyomozók, szakértők és bírósági szereplők térbeli orientációját, ugyanakkor a mérések pontossága és metrológiai megbízhatósága rendszerint elmarad a lézerszkennelő vagy fotogrammetriai rögzítési módszerektől [4]. Mindezek ellenére a technológia alacsony eszközígénye, gyors alkalmazhatósága és

erős szemléltető ereje miatt fontos kiegészítő eszközzé válhat hazánkban is a bizonyítási folyamatban.

Kézi 3D szkennerek és felszíni optikai szkennelés

A kézi, hordozható 3D szkennerek - jellemzően strukturált fényen alapuló felszíni szkennerek - kisebb objektumok, releváns tárgyak, anyagmaradványok nagy felbontású, mérhető 3D dokumentálására szolgálnak. Kriminalisztikai szempontból különösen fontos szerepe lehet a sérülések, löcsatornák és egyéb morfológiai jegyek részletes rögzítésében, illetve a boncolás vagy exhumálás során végzett vizsgálatok kiegészítéseként. A kutatások azt mutatják, hogy a felszíni optikai szkennerek és a fotogrammetria kombinációja lehetővé teszi a külső és belső — például CT-alapú — információk integrálását, ezáltal komplex, multimodális 3D rekonstrukciók létrehozását a testek és sérülések vizsgálatára [5]. A kézi szkennerek ugyanakkor érzékenyek a mozgásra, fényviszonyokra és a kezelő ügyessége is kiemelten fontos, ezért alkalmazásuk egységes protokollokhoz és megfelelő képzéshez kötött.

Légieszközökkel végzett 3D dokumentálás

A pilóta nélküli légi járművekre (UAV, drón) szerelt kamerák és szenzorok lehetővé teszik a nagy kiterjedésű, nehezen megközelíthető helyszínek - például közlekedési balesetek, természeti katasztrófák - gyors, háromdimenziós dokumentálását. A mikro-UAV-vel végzett fotogrammetriai rekonstrukciókról szóló vizsgálatok rámutatnak, hogy viszonylag rövid idő alatt, minimális személyi jelenlettel és költséghatékony módon hozhatók létre részletes 3D modellek, amelyek alkalmasak a helyszín részleteinek utólagos elemzésére és mérésére [6]. A légi alapú felvételek különösen hasznosak a helyszín teljes geometriájának, a járművek, nyomok és objektumok egymáshoz viszonyított helyzetének áttekintésében, de az apróbb részletek - például kisebb nyomok, vércseppek - dokumentálása mindenképpen földi kiegészítő eljárásokat igényel. A jogi és légtérhasználati korlátok, valamint az időjárási és fényviszonyok szintén fontos tényezők a technológia kriminalisztikai alkalmazhatóságának értékelésekor.

Multimodális és újabb (neurális) megoldások

Az utóbbi években egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a különböző 3D technológiákat - például CT, MRI, lézerszkennelés és fotogrammetria - integráló multimodális megközelítések, amelyek célja az egyéb releváns elváltozások minél teljesebb rekonstrukciója. Ezzel párhuzamosan megjelentek olyan neurális reprezentációkon alapuló eljárások — például neurális sugármezők (NeRF) — amelyek hagyományos képi adatokból képesek fotorealisztikus, interaktív 3D megjelenítést biztosítani, bár a mérési megbízhatóságuk és forenzikus validációjuk még korlátozott [7]. A szakirodalom jelenlegi állása szerint ezek az új módszerek ígéretes kiegészítő eszközök lehetnek a szemléltetés és a törvényszéki vizualizáció terén, ugyanakkor alkalmazásuk során fokozottan indokolt az alapadatok, a rekonstrukciós eljárás és a mérhetőség kritikus értékelése.

KUTATÁSI EREDMÉNYEK

Az alábbiakban ezeket az eljárásokat hasonlítom össze. A megfelelő átláthatóság érdekében két külön szempontrendszerű táblázatban jelenítem meg az eltéréseket.

Technológia	Pontosság	Költség	Terepi idő	Adatméret	Kezelői kompetencia
Fotogrammetria	0,5–2 mm	Alacsony	15–60 perc	Közepes (0,5–5 GB)	Közepes
Lézerszkennelés	1–5 mm	Magas	30–120 perc	Nagy (5–50 GB)	Magas
360° képalkotás	5–20 mm	Alacsony	5–20 perc	Közepes (0,5–3 GB)	Alacsony
Kézi 3D szkennер	0,1–1 mm	Közepes	10–30 perc	Közepes (1–10 GB)	Közepes
UAV/drón 3D	1–10 mm	Közepes	10–40 perc	Közepes (1–10 GB)	Közepes
Neurális (NeRF)	1–5 mm (vizuális)	Alacsony (szoftver)	10–30 perc	Nagy (modellfüggő)	Magas

1. táblázat Technikai paraméterek és költségek (saját szerkesztés)

Technológia	VR/Quest 3	Bizonyító erő	Fő előnyök	Fő hátrányok
Fotogrammetria	Kiváló (OBJ/GLB)	Magas	Fotorealisztikus, olcsó	Fénytől függ
Lézerszkennelés (TLS)	Jó (E57→OBJ)	Nagyon magas	Pontos, teljes lefedettség	Drága, nehéz
360° képalkotás	Kiváló (VR tour)	Közepes	Gyors, immerszív	Gyenge pontosság
Kézi 3D szkennер	Kiváló (PLY/OBJ)	Magas	Finom részletek, hordozható	Mozgási artefaktum
UAV/drón 3D	Jó (fotogrammetria)	Közepes-magas	Nagy terület	Időjárásfüggő
Neurális (NeRF)	Kísérleti	Alacsony	Fotorealisztikus, új	Mérhetőség bizonytalan

2. táblázat: Alkalmazhatóság és értékelés (saját szerkesztés)

Összehasonlító elemzés kriminalisztikai szempontok szerint

A vizsgált háromdimenziós dokumentációs technológiák összehasonlítását a kriminalisztikai gyakorlat számára meghatározó szempontok mentén végeztem: pontosság, költség, gyorsaság (helyszíni tevékenységgel eltöltött idő), kezelhetőség, adatkezelés, bizonyító érték és VR-kompatibilitás.

Mérési pontosság és reprodukálhatóság

A pontosság tekintetében a kézi 3D szkennerek (0,1–1 mm) és a fotogrammetria (0,5–2 mm) bizonyultak a legmegbízhatóbbnak finom részletek - például sérülések, nyomok - rögzítésére [2][8], míg a lézerszkennelés (1–5 mm) nagy kiterjedésű helyszínek teljes geometriájának milliméteres pontosságú felmérésére alkalmas. A 360 fokos rendszerek (5–

-20 mm) és UAV-alkalmazások (1-10 mm) a globális térbeli viszonyok szemléltetésére elegendők, de mérés technikai validációhoz nem nyújtanak megfelelő megbízhatóságot. A neurális módszerek vizuális pontossága ígéretes, azonban mérettudományi reprodukálhatóságuk kriminalisztikai célra nem elfogadható, vagyis jelenleg nem minősül hiteles eszköznek.

Költség és gazdasági hatékonyság

Költség szempontból a fotogrammetria és 360 fokos képalkotás kiemelkedik: mindkét módszer alapfelszerelése (kamerák, szoftverek) 1000-5 000 EUR körüli beruházást igényel, így széles körben elérhetővé teszi a 3D dokumentációt kisebb költségvetésű rendőri szervek számára is [9]. Ezzel szemben a lézerszkennelés (20 000--100 000 EUR) és kézi szkennerek (5 000-30 000 EUR) jelentős kezdeti befektetést követelnek, míg az UAV-rendszerek (2 000-20 000 EUR) és neurális megoldások (szoftver-alapú) közepkategóriába sorolhatók. Költséghatékony számítás során azonban a lézerszkennelő magas pontossága és hosszú élettartama indokolhatja a kiemelkedő árat speciális egységek számára.

Terepi alkalmazhatóság és gyorsaság

A 360 fokos képalkotás (5-20 perc) a leggyorsabb, így ideálisak a helyszín korai fázisában, mielőtt jelentős beavatkozás történik [4]. A kézi szkennerek (10-30 perc) lokális, kisméretű elváltozások, tárgyak rögzítésére szolgálnak, így a megjelenített időtartam nem releváns, hiszen nem az egész helyszín feltérképezésére irányul. A fotogrammetria (15-60 perc) és UAV (10-40 perc) közepes időtartamot igényel, míg a lézerszkennelés (30-120 perc) alapos előkészítést és több állaspontot követel meg. A neurális rekonstrukciók felvételi ideje rövid, de a számítási igény jelentős üzenetet hordoz. A kezelői kompetencia követelménye szintén döntő: míg a 360° automatikus, a lézerszkennelés és neurális módszerek speciális képzést igényelnek.

Adatkezelés és utófeldolgozás

A 360 fokos rendszerek kisebb adatmérete (0,5-3 GB) azonnali megtekintést tesz lehetővé, míg a lézerszkennelés (5-50 GB) és neurális modellek nagy volumene specializált tárolást, tömörítést és feldolgozást igényel [10]. A fotogrammetria és kézi szkennerek közepes méretű (1-5 GB) texturázott mesh-jei (OBJ, PLY) a legelterjedtebb formátumok, így könnyen integrálhatók meglévő programokba - például RealityCapture, Meshroom. A pontfelhő-adatok (E57, LAS) konvertálása mesh/VR-célra elengedhetetlen, ami további időt és szakértelmet kíván.

Bizonyító érték és jogi megfontolások

A lézerszkennelés és fotogrammetria rendelkezik a legmagasabb bizonyító erővel, mivel mindkettőnél standardizált metrológiai protokollok és validációs eljárások állnak rendelkezésre, amelyek megfelelnek annak az elvnek, hogy büntetőeljárássban a rögzített objektum bizonyítékként felhasználható legyen [11]. A kézi szkennerek dokumentációi kiemelkedőek, míg a 360° elsősorban szemléltetésre alkalmas. Az UAV és neurális módszerek alkalmazása jelenleg korlátozott a szabályozási (légtérhasználat) és validációs (algoritmus-függő torzítás) kérdések miatt.

Virtuális valósággal való kompatibilitás

A fotogrammetria, kézi szkennerek és 360 fokos rendszerek natívan támogatják a virtuális szemüvegek rendszerét OBJ/GLB exporton keresztül [12]. A lézerszkennelés

E57/PLY/OBJ konverzió után hasonlóan működik, míg az UAV fotogrammetriai kimenete azonos ezzel. A neurális (NeRF) modellek speciális splat-renderereket igényelnek, amelyek még kísérleti stádiumban vannak a virtuális szemüvegek platformján. A 360 fokos kamera felvételei azonnal használhatók VR-szemüvegen, minimális utómunkával.

Meta Quest 3 kompatibilitás

A Meta Quest 3 önálló VR-headsetként kiválóan alkalmas a bűnügyi helyszínek immerszív bejárására, mivel natívan támogatja a modern 3D formátumokat (GLB/GLTF, OBJ, FBX), amelyek közvetlenül importálhatók VR-alkalmazásokba. A kriminalisztikai jellegű 3D modellek megtekintéséhez azonban a nyers kimeneteket (pontfelhő, fotogrammetriai mesh) megfelelő formátumra kell konvertálni, ami technológiánként eltérő nehézségi fokot jelent [13].

Natívan támogatott technológiák, mint a fotogrammetria és kézi 3D szkennerek kimenete (OBJ, PLY, GLB) közvetlenül kompatibilis: RealityCapture vagy Meshroom szoftverekkel texturázott mesh-eket lehet létrehozni, amelyeket Unity/Unreal motorokba importálva Quest 3-ra telepíthetők önálló APK-ként (Android operációs rendszer alkalmazáscsomag-fájlformátuma). A 360 fokos képalkotás natív VR-túrája a formátumának köszönhetően — például Matterport, Kuula — böngésző-alapú streaminggel azonnal működik Quest 3-on, minimális utófeldolgozással [14]. Ezeknél a módszereknél - érzékelhetőségi szempontból - a jelenlét kiemelkedő, könnyen rögzíthető a fotorealisztikus textúra és a természetes mozgás.

A konverzió-igényes technológiák, mint a lézerszkennelés nagy pontfelhői (E57, LAS) először PLY/OBJ mesh-re konvertálандók - például CloudCompare, ReCap -, majd optimalizálva Quest 3-ra. Szakértői vizsgálatok szerint a konvertált pontfelhők Quest 3-on kiválóan alkalmasak helyszíni rekonstrukcióra, különösen Resolve vagy hasonló VR viewer appokkal, PC-streaminggel [15]. Az UAV/drón fotogrammetriai modelljei hasonló munkafolyamatot követnek, mint a földi fotogrammetria.

Az igazságszolgáltatás területén alkalmazható előnyök és korlátok

A Quest 3 lehetővé teszi a tárgyaltermi immerszív szemléltetést, ahol a döntéshozók természetes skálában, valós perspektívából vizsgálhatják a helyszínt, jelentősen javítva a térbeli megértést. Korlátok: a nagy modellek (>1 GB) teljesítményproblémákat okoznak önálló módon - PC streaming ajánlott -, valamint a jogi validáció némely esetben még kialakulóban van. Összességében a fotogrammetria és a 360° hibrid kínálja a legjobb egyensúlyt gyorsaság, minőség és Quest 3-kompatibilitás között az igazságszolgáltatás számára.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgált háromdimenziós helyszíndokumentációs technológiák átfogó elemzése alapján megállapítható, hogy egyetlen „legjobb” megoldás sem létezik a kriminalisztikai gyakorlatban. A választás mindig a helyszín típusától, a rendelkezésre álló erőforrásoktól, a vizsgálati céltól és a bizonyítási követelményektől függ. A Meta Quest 3 VR szemüveg bevezetése forradalmasíthatja a nyomozók, az igazságügyi szakértők munkáját, emellett a tárgyalótermi szemléltetést is, hiszen közelebb hozhatjuk a döntéshozókhoz a bűnügyi helyszínt.

A jövőben érdemes lenne azzal kapcsolatos kutatásokat végezni, hogy kialakításra kerüljön egy olyan protokoll rendszer, ami figyelembe veszi a rögzítendő objektum sajátosságait, időjárási körülményeit, valamint az adott szervezeti egység gazdasági helyzetét.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány szisztematikus áttekintést ad a kriminalisztikai helyszíndokumentációban alkalmazható háromdimenziós képkészítési technológiákról – fotogrammetria, lézerszkennelés, kézi 3D szkennerek, 360° képalkotás, UAV/drón-felmérések és neurális rekonstrukciók –, egységes szempontok (pontosság, terepi alkalmazhatóság, költségek, adatkezelés, bizonyítékkérték, VR-kompatibilitás) szerinti összehasonlításukkal, különös hangsúllyal a Meta Quest 3 VR szemüvegre optimalizált alkalmazásokra. A következtetés szerint nincs egyetlen univerzális legjobb módszer, mert a választás a helyszín típusától, rendelkezésre álló erőforrásoktól, vizsgáló céltól és bizonyítási követelményektől függ; a lézerszkennelés és fotogrammetria kínálja a legmagasabb mérési megbízhatóságot komplex helyszíneken, a 360° rendszerek és drónok gyors immerszív áttekintésekre, a kézi szkennerek finom részletekre, míg a neurális (NeRF) megoldások ígéretesek vizualizációra, de forenzikus validációjuk korlátozott. Hibrid megközelítéseket – különösen lézerszkennelés, fotogrammetria és 360° VR-túrák kombinációját – javasol a legkiegyensúlyozottabb megoldásként, amelyek a virtuális szemüvegekkel forradalmasíthatják a nyomozásokat, szakértői munkát és tárgyalótermi szemléltetéseket.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] D. Metzger, M. Újvári, és Z. Gárdonyi, „A fotogrammetria kriminalisztikai célú alkalmazása: helyszínek, holttestek, tárgyak rekonstrukciója három dimenzióban,” *Belügyi Szemle*, 2020. [Online]. Elérhető: <https://belugyiszemlejourn.org/index.php/belugyi-szemle/article/view/743>.
- [2] F. Dedouit et al., „The current state of forensic imaging – perspectives,” *Int. J. Legal Med.*, vol. 139, no. 6, pp. 2819–2827, Mar. 2025. [Online]. Elérhető: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12532732/>.
- [3] „Crime Scene Documentation: Weighing the Merits of Three-Dimensional Laser Scanning,” *NIJ*, 2020. [Online]. Elérhető: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/crime-scene-documentation-weighing-merits-three-dimensional-laser-scanning>.
- [4] „360 Virtual Tours in Crime Scene Investigation,” *CSI 360*, 2023. [Online]. Elérhető: <https://www.csi360.net/blog/360-photography/360-virtual-tours-in-crime-scene-investigation>.
- [5] C. Villa, N. Lynnerup, és C. Jacobsen, „A Virtual, 3D Multimodal Approach to Victim and Crime Scene Reconstructions,” *Forensic Sci. Int.*, vol. 325, Oct. 2021. [Online]. Elérhető: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10894066/>.
- [6] „Micro-Quadcopter UAV for Crime Scene Documentation,” *ETASR*, vol. 12, no. 6, pp. 9626–9630, 2022. [Online]. Elérhető: <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/6260>.
- [7] J. T. Kajiya és B. P. Von Herzen, „Ray tracing volume densities,” *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 18, no. 3, pp. 165–174, Jul. 1984. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212478017300916>.

- [8] C. Herke, „A mesterséges intelligencia kriminalisztikai aspektusai," *Belügyi Szemle*, vol. 69, no. 10, pp. 1709–1724, 2021. [Online]. Elérhető: <https://belugyiszemlejournal.org/index.php/belugyiszemle/article/download/888/889/1396>.
- [9] „3D Documentation Methods Comparison," *Learning Gate*, vol. 5, no. 2, pp. 45–59, 2022. [Online]. Elérhető: <https://learning-gate.com/index.php/2576-8484/article/download/1717/594>.
- [10] C. Villa, N. Lynnerup, és C. Jacobsen, „Multimodal 3D Reconstruction in Forensic Science," *Forensic Sci. Int.*, 2023. [Online]. Elérhető: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10894066/>.
- [11] D. Metzger, M. Újvári, és Z. Gárdonyi, „Forenzikus 3D dokumentáció validációja," *Belügyi Szemle*, vol. 68, no. 11, pp. 57–70, 2020. [Online]. Elérhető: <https://real.mtak.hu/117021/1/Metzger-Ujvari-GardonyiBelugyi-Szemle2020.ev11.szam57-70.pdf>.
- [12] „Meta Quest 3 GLB Format Support," *Meta*, 2024. [Online]. Elérhető: <https://www.meta.com/experiences/glimpse-glb/25467602739525995/>.
- [13] „Download 3D Scanning & Photogrammetric 3D Models in GLB and USDZ," *AR Code*, Jan. 2024. [Online]. Elérhető: <https://ar-code.com/blog/download-3d-scanning-photogrammetric-3d-models-in-glb-and-usdz>.
- [14] „360 Virtual Tours in Crime Scene Investigation," *CSI 360*, 2023. [Online]. Elérhető: <https://www.csi360.net/blog/360-photography/360-virtual-tours-in-crime-scene-investigation>.
- [15] „Micro-Quadcopter UAV for Crime Scene Documentation," *ETASR*, vol. 12, no. 6, pp. 9626–9630, 2022. [Online]. Elérhető: <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/6260>.