

Németh András – Szabó András

ZRÍNYI-ÚJVÁR ÖRÖKSÉGE DISZRUPTÍV TECHNOLÓGIÁKON ALAPULÓ DIGITÁLIS REKONSTRUKCIÓJÁNAK ÉS BEMUTATÁSÁNAK TECHNIKAI LEHETŐSÉGEI

*Nem szégyen attul tanulni, aki többet
tud, szégyen megkötni tudatlanságban
magát s nem tanulni. ZRÍNYI MIKLÓS*

BEVEZETÉS

A „honnan jöttünk, és hová tartunk” kérdés első ránézésre nem tűnik megválaszolhatatlannak, amennyiben néhány éves időszakot vagy egyetlen emberöltőt vizsgálunk, ugyanakkor egyre szélesebb történelmi távlatokba helyezve napjaink történéseit lényegesen komplexebb válaszokat tudunk csak megfogalmazni a jövő kihívásaira. Bár léteznek általános érvényű (például a fizika törvényei) vagy általánosan elfogadott (ember által alkotott) törvényszerűségek, az esetek jelentős részében azok újra és újra felülvizsgálatra szorulnak, amikor egy-egy olyan, eddig ismeretlen vagy ismeretlennek vélt jelenséget, problémát próbálunk megmagyarázni aktuális ismereteink alapján, amely nem illeszkedik az általunk elfogadott világképbe vagy felvázolt tendenciákba. Ez a megállapítás érvényes a természet-, a társadalom-, a gazdaság- vagy éppen a műszaki tudományokra egyaránt. Az anomáliát legtöbbször az okozza, hogy feltételezzük magunkról (egyéni, csoportos, szakmai vagy társadalmi szinten), hogy ismereteink adott pillanatban elegendők a problémák megértéséhez, a megfelelő módszerek kiválasztásához, a megoldás kidolgozásához és a szükséges intézkedések végrehajtásához. A valóság azonban az, hogy ismereteink nemcsak hogy hiányosak, de sok esetben helytelenek is, hiszen azokhoz szubjektív szűrőkön keresztül

jutottunk hozzá, különböző külső hatások által akaratlanul vagy tudatosan befolyásolt forrásokból. Az igazság pedig az, hogy a 21. század hálózatalapú, információs társadalmában politikai, vallási vagy egyéb nézetek, elvek, értékek, illetve érdekek mentén kialakult, egymással a fizikai és logikai térben folyamatosan változó tulajdonságú torzított interfészeken keresztül kapcsolódó virtuális világok és párhuzamos igazságok egyre sűrűsödő erdejében egyre nagyobb erőfeszítésbe kerül a tények szintetizálása, az igazság feltárása. Elsőre azt gondolhatnánk, hogy a technológia ebben is a segítségünkre siethet, de a hitelesnek tekinthető primer források egyre csökkenő arányának köszönhetően a torzítás folyamatosan növekszik az információs térben. Ez nemcsak az átlagembereknek, de a tudomány művelőinek is nagy fejtörést okoz, nem csoda tehát, hogy egyre többen fogadják el a „konzerv” értelmezéseket és megoldásokat. Ezzel aztán a politikai, a vallási és a gazdasági élet szereplői hol szemmel is jól látható módon, hol pedig észrevétlenül, de egyre nagyobb mértékben élnek vissza. Ez az aggasztónak tekinthető jelenség nagyban befolyásolja a jelen társadalmainak fejlődését, felerősíti a történelmileg kialakult, valamint újonnan gerjesztett ellentéteket, és rányomja bélyegét ezáltal a jövő fegyveres konfliktusaira, háborúira is.

Ez a módszer ugyanakkor nem a 21., de még csak nem is 20. század találmánya, hanem az emberiség történelmét végigkísérő jelenség, amelyet éppen a technológia „felforgató” vívmányai erősítenek fel egyre nagyobb mértékben. Ez olyan egyre gyorsuló öngerjesztő folyamattá vált, amely fokozza mikro- és makrokörnyezetünk változásának ütemét, és amelyben a „hagyományosnak” tekintett módszerek egyáltalán nem vagy nem a korábban megszokott hatással és/vagy hatékonysággal működnek. Ebben a világban az adaptáció képessége nélkül csak nagyon nehezen vagy egyáltalán nem lehet boldogulni.

Ugyanakkor ha a technológia vívmányait tudatosan építjük be életünkbe, és tudományos alapossággal használjuk fel szakterületeink művelése során (például oktatás, gyógyítás, kutatás, igazgatás), úgy képessé válhatunk a releváns információforrások felkutatására, az információk hatékony értékelésére, elemzésére, valamint új információk létrehozására egyaránt. Ezt minden tudományterületen meg tudjuk tenni, és meg is kell tennünk, legyen szó a jövő, a jelen vagy éppen a múlt kutatásáról. A történelem ismerete nélkül nem tudjuk megérteni vagy éppen helyesen értelmezni a jelen történéseit, így nem leszünk képesek befolyásolni a jövő alakulását sem. A múlt eseményeinek megismerése nem egyszerű feladat, és egyre bonyolultabbá válik, minél inkább vissza szeretnénk tekinteni az időben. Forradalmi megoldás lehetne az időgép

feltalálása, de ennek tudományos szempontból ma még nem sok relevanciája van, bár az irodalmat és a filmművészetet már régóta foglalkoztatja ez a lehetőség. Az időutazás mint a *fantasy* és a *science fiction* művek közkedvelt témája önmagában is a nagy tudományos felfedezéseknek, technológiai áttöréseknek köszönhetette létét és népszerűségét, hiszen azok jövőbeni felhasználhatóságát állította a középpontba. Egyik korai megjelenésének tekinthető az 1733-ban Samuel Madden író tollából származó *Memoirs of the Twentieth Century* (*A huszadik század emlékiratai*) című levélregény, amelynek narrátora az 1997–1998-as évekből kap dokumentumokat őrangyalától 1728-ban. Habár az írás nem tér ki ennek módjára, technikájára, mégis figyelemre méltó darabja a műfajnak. Az időgép kifejezés megalkotójaként H. G. Wells angol író, tanárt és történészt szokták említeni 1895-ben megjelent *The Time Machine*¹ című regényének köszönhetően,² amelyből George Pal forgatott filmet 1960-ban.³ Ugyanakkor az időutazás kultuszát a *Back to the Future* (*Vissza a jövőbe*) című filmtrilógia teremtette meg, amelynek első részét⁴ 1985-ben mutatták be az amerikai mozikban. Ebben az időutazás megvalósítása egy lehetséges technikai megoldásának bemutatása mellett (fluxuskondenzátor) a vezérfonal az, hogy a múlt megváltoztatása milyen hatással lehet a jelenre és a jövőre. Ez átvitt értelemben akár a történetírás történelemformáló hatása kritikai szemléletű megjelenítésének is tekinthető, hiszen a jövő generációinak gondolkodását nagyban befolyásolja, hogy adott történelmi eseményt hol, milyen tankönyvből, kik, hogyan, és milyen szemszögből tanítanak (például 1956-os forradalom és szabadságharc a 2023-as magyar és orosz történelemkönyvekben). A történelem szubjektivitását sokan sokféleképpen fejezték már ki, az egyik legszélsőségesebb megfogalmazást ugyanakkor általában Napoléon Bonaparte-nak tulajdonítják, aki szerint „a történelem egy csokor hazugság, amelyben többen megegyeztek”. Ezzel a megállapítással nehéz is lenne vitatkozni, ugyanakkor kutatóként mindent el kell követnünk, hogy a lehető legtöbb ellenőrizhető, mérhető, bizonyítható információ alapján vázoljuk fel egy történelmi esemény lehetséges forgatókönyveit.

Ezt az elvet szem előtt tartva végzi kutatócsoportunk 2006 óta Zrínyi-Újvár lokalizációjának és 1664-es ostromának vizsgálatát, a kapcsolódó védelmi

¹ WELLS 2017.

² PILKINGTON 2017: 137.

³ *The Time Machine* 1960.

⁴ *Back to the Future* 1985.

rendszer elemeinek és a történelmi eseményeknek az értékelését, a kapcsolódási pontok beazonosítását, valamint az elért eredmények lehető leghitelesebb bemutatását. Ebben a hagyományos módszerek mellett, mint a forráskutatás, valamint a régészeti feltárások eredményeinek értékelő elemzése, évről évre egyre nagyobb mértékben tudunk támaszkodni a korszerű technológiák által kínált technikai megoldásokra, legyen szó akár magukról a kutatás folyamatát támogató műszaki módszerekről, akár az eredmények láthatóvá tételének lehetőségeiről. Jelen tanulmányban azon diszruptív technológiák bemutatására és a segítségükkel elért eredményekre fókuszálunk, amelyek lehetővé teszik az érdeklődők számára, hogy Zrínyi Miklós halálának 360. évfordulóján akár a helyszínen, akár a virtuális térben belépjenek a költő és hadvezér egyetlen, a jelenlegi Magyarország területén egykoron állott, majd 1664-ben a törökök által lerombolt várának falai közé, megismerve a katonák életét, felszerelését, fegyvereit, vagy akár szemtanúi legyenek az ostrom egyes mozzanatainak.

A CSATA- ÉS HADSZÍNTÉRKUTATÁST VALAMINT AZ EREDMÉNYEK BEMUTATÁSÁT TÁMOGATÓ DISZRUPTÍV TECHNOLÓGIÁK

De mik is azok a „felforgató” (diszruptív) technológiák, amelyek napjainkban a figyelem középpontjában állnak, és alapjaiban változtatják meg világunkat napról napra? A „diszruptív innováció” kifejezés a Harvard Business School professzorának, Clayton M. Christensennek és kutatócsoportjának köszönhető, akik 1995-ben fogalmazták meg a felforgatás elméletét, amely gazdasági szempontból közelíti meg az új technológiák bevezetésének hatását. Lényege, hogy az innovációvezérelt növekedés dinamikája jelentősen felülmúlhatja a hagyományos üzleti modellekét, így lehetségessé válik, hogy egy kisvállalkozás, startup akár rövid idő alatt is komoly konkurensévé váljon egy lényegesen nagyobb piaci részesedéssel és jelentős múlttal, beágyazottsággal rendelkező vállalatnak. A bomlasztónak tekintett vállalkozások kedvezőbb feltételeket kínálva, a piaci résekre koncentrálnak, szereznek kezdetben ügyfeleket, és ezáltal referenciákat, majd a magasabb jövedelmezőségre törekvő piaci szereplőktől kezdik meg az ügyfélkör átcsabítását, mivel azok nem képesek megfelelő dinamikával, vagy nem is akarnak reagálni a piaci helyzet változására. A diszruptivitás eredetileg tehát nem termékre vagy szolgáltatásra

vonatkozó kifejezés volt, hanem az új szemléletű üzleti modell növekedési ütemét jellemezték ezzel.⁵

Ugyanakkor egyrészt a gyorsuló technológiai fejlődésnek, másrészt az új technológiákhoz való egyre könnyebb hozzáférésnek köszönhetően lényegesen kisebb befektetéssel vált lehetővé olyan vállalkozások indítása, amelyek a fenti folyamatokra alapozva generáltak saját termékeik számára keresletet innovatív technikai megoldások, illetve azokra épülő szolgáltatások fejlesztésével. Az elmúlt évtizedben az ilyen vállalkozások közül számos cég nötte ki magát napjainkra piacvezetővé. Példaként említhetnénk a drónipar területén a DJI-t,⁶ a személyszállítás piacán az Ubert,⁷ míg a nyelvoktatási platformok közül a Duolingót.⁸ Tulajdonképpen azok a technológiák, amelyek lehetővé tették ezt a dinamikus növekedési ütemet, örökölték a diszruptív jelzőt, így ezeket nevezzük napjainkban felforgató technológiáknak.

Ezek körét a különböző források különböző módon határozzák meg, de van néhány olyan terület, amely minden megközelítésben, illetve csoportosításban szerepel. Tágabb polgári értelmezés szerint a diszruptivitás egyik alapvető feltétele, hogy az adott technológiához a lakosság jelentős része hozzáférjen. Ezt támasztja alá az alábbi, akár definícióként is elfogadható megfogalmazás, miszerint a bomlasztó technológia olyan innováció, amely képes jelentősen megváltoztatni a fogyasztók gondolkodását, a piaci keresletet, ezen keresztül iparágak, vállalkozások működését. Egy ilyen technológia akár teljesen el is törölheti az általa leváltott megoldásokat, rendszereket, szokásokat, mert felismerhetően kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik, és jelentős előnyöket kínál azok használata a fogyasztók számára.⁹ Eszerint a megfogalmazás szerint ugyanakkor minden korszaknak megvannak azok a technikátörténeti jelentőségű újításai, amelyek alapjaiban változtatták meg életünket és világunkat. Így például a tűz, a kerék, a puskapor, a könyvnyomtatás, a gőzgép, a beton, a villamosság, a villanykörte, a televízió, a tranzisztor, a számítógép, az internet és a mobiltelefon és még több ezer, a maga idejében forradalminak számító találmány nevezhető mai szóhasználat szerint diszruptívnak. Ami miatt mégis úgy érezhetjük, hogy a 21. század kifejezetten ezen technológiák korszaka, az azért van, mert mostanra

⁵ CHRISTENSEN–RAYNOR–MCDONALD 2015.

⁶ DJI [é. n.].

⁷ Uber [é. n.].

⁸ Duolingo [é. n.].

⁹ CHRISTENSEN–RAYNOR–MCDONALD 2015.

teremtődtek meg annak a technikai feltételei, hogy akár évszázadokkal ezelőtt megfogalmazott, akkor lehetetlennek tűnő megoldások a gyakorlatban és főleg valóban mindenki számára hozzáférhető módon megvalósulhatnak. Ennek köszönhetően, ha nem is naponta, de évente mindenképpen számíthatunk egy-egy szokatlan, sokszor elsőre idegennek ható megoldásra, amellyel aztán az emberek vérmérséklettől, érdeklődési területtől, iskolai végzettségtől, társadalmi, gazdasági helyzettől, vallási meggyőződéstől, korosztálytól, tájékozottságtól függetlenül napok, hetek vagy hónapok, de legrosszabb esetben is néhány év alatt nemcsak hogy kapcsolatba kerülnek, de hozzá is szoknak.

Ezen technológiák megjelenésének és robbanásszerű terjedésének ugyanakkor nemcsak általános, mindennapi életünket befolyásoló polgári vetületei vannak, de nagyon jelentős katonai aspektusokkal is számolhatunk. A 21. századi hadviselésre gyakorolt hatását sajnálatos módon nap mint nap nyomon követhetjük az orosz–ukrán és a Hamász–izraeli háborúban, ahol bár a multidomén műveleteket még alapvetően a hagyományos fegyverekkel vívott összecsapások dominálják, mégis egyre látványosabban befolyásolja egy-egy katonai tevékenység kimenetelét a felhasznált felforgató technológiák mennyisége és minősége, gondoljunk csak a légi és vízi drónok tömeges alkalmazására vagy az információs, illetve azon belül is a kibertérben zajló műveletekre. A felhasznált innovatív megoldások (például integrált légvédelmi, illetve tűzvezetési rendszer) nemcsak a jelenleg is zajló háborúk menetét, de a hadviselés jövőjét is alapvetően befolyásolják majd. Kiragadva a drónok példáját megállapíthatjuk, hogy egyre inkább ezek dominálnak majd a jövő háborúiban. Becslések szerint Ukrajna nagyságrendileg 100 ezer ilyen eszközt használ és veszít havonta, miközben nagy hatékonysággal semmisít meg vagy tesz harcképtelenné segítségükkel katonai eszközöket szárazföldön és vízen egyaránt. Ugyanakkor az ilyen jól dokumentálható akciók hatása messze túlmutat az okozott veszteségeken, a közzétett videók jelentős hatással vannak egyrészt a saját csapatok harci moráljára, a háttérország és a donorállamok (az ukrán törekvéseket anyagi erőforrásokkal és fegyverekkel támogató országok) közvéleményének támogató hozzáállására, miközben rombolja a szemben álló fél képességeiről kialakult képet is.¹⁰ Hatásukkal tehát katonai szempontból is foglalkozni kell, így az ezekre a megoldásokra való utalás például a NATO¹¹ kommunikációjában, munkacsoportjainak ülésein és

¹⁰ DUNN–WOLFF 2023.

¹¹ North Atlantic Treaty Organisation (Észak-atlanti Szerződés Szervezete).

dokumentumaiban is megjelenik. A terminológia itt többnyire különbözik a polgáritól, és habár használják a diszruptív kifejezést is, a hivatalos szóhasználatban az *emerging technologies*, azaz feltörekvő technológiák kifejezés az elterjedtebb.¹²

A következőkben az egyes technológiák jelentőségének általános bemutatására szorítkozunk egy-egy példát kiemelve. Azok csata- és hadszíntérkutatásban, illetve a hadirégészetben való felhasználhatóságával részletesebben különálló részben foglalkozunk.

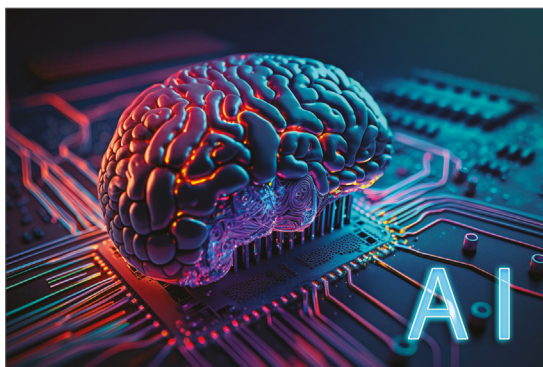
A korábban megfogalmazott kritériumoknak megfelelő innovatív megoldások közül különböző források más-más szempontrendszer szerint emelnek ki egyes technológiákat, de ellentét nem különösebben feszül az egyes nézőpontok között, ezért első megközelítésben próbáljuk minél szélesebb áttekintést nyújtva felsorolni a diszruptív jelzővel illetett területeket. Azt érdemes előrebocsátani, hogy bár önállóan életképes megoldásokról van szó, azok egyre kevésbé kezelhetők egymástól függetlenül, hiszen például ha csak az önvezető járműveket kiemeljük, azok megvalósítását a különböző technológiák együttes alkalmazása teszi lehetővé. Ugyanakkor az ma már nehezen vitatható, hogy a kialakulóban lévő technológiai ökoszisztéma csúcsán a *mesterséges intelligencia* (AI)¹³ áll (9.1. kép), hiszen az egyre újabb és újabb megoldások már nem nélkülözhetik valamely változatának vagy területének¹⁴ jelenlétét (*gépi tanulás, mesterséges neurális hálózatok, mélytanulás, gépi látás, természetes nyelvi feldolgozás*). Ez a dominancia a következő évtizedekben várhatóan exponenciálisan növekszik majd, ha a fejlődés ütemével képes lesz lépést tartani az anyagtudomány, a mikroelektronika, a távközléstechnika és a számítástechnika (hardver- és szoftvertechnológia) is. Erre van reális esély, hiszen ezekhez a területekhez is köthető számos felforgatónak tartott technológiai megoldás.

A felforgató technológiák közül a *nanotechnológia* minősül az egyik legfontosabbnak, hiszen ez biztosítja a miniatürizáció, így a „számítási sűrűség”, a számítási kapacitás növelésének feltételeit. Ezen a területen nagy áttörés történt az IBM NorthPole (9.2. kép) névre keresztelt neurális architektúrán alapuló mikroprocesszorának köszönhetően, amely forradalmasíthatja a mesterséges-intelligencia-alapú megoldások fejlesztését és alkalmazását. A tesztekéről szóló híradások alapján a számítási teljesítmény minden mérés szerint felülmúlja a jelenleg hasonló feladatokra széles körben használt grafikus processzorokét

¹² SOARE 2021.

¹³ *Artificial Intelligence*.

¹⁴ NÉMETH–VIRÁGH 2022.



9.1. kép. A mesterséges intelligencia fantáziaképe

Forrás: AIMST University Malaysia [é. n.]

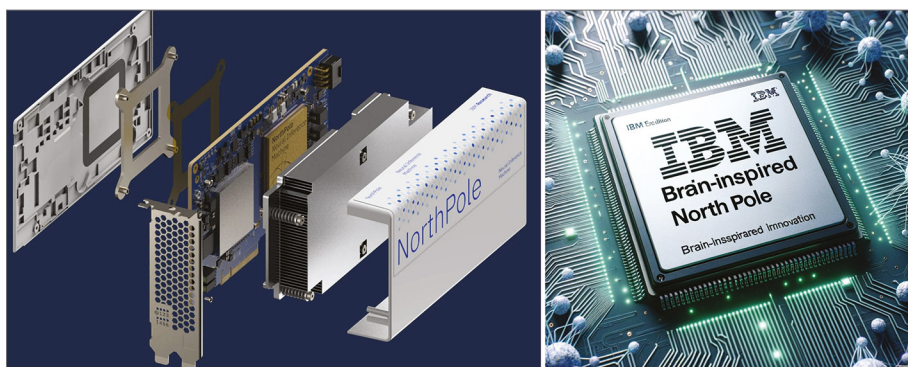
(GPU),¹⁵ miközben energiaigénye mindössze 4%-a azokénak. Az új fejlesztésben 22 milliárd tranzisztort csoportosítottak 256 magba, amelyek az emberi agy idegsejtjeihez hasonló módon osztják el egymás között a feladatokat (neurálisháló-alapú feladatmegosztás). A magok saját memóriával is rendelkeznek, de hozzáférnek a központi memóriához is. A fejlesztés előzménye a 2014-ben bemutatott TrueNorth chip volt, amelynél az új fejlesztés négyszer annyi tranzisztorával 640-szer nagyobb AI-modellek futtatására képes, és 3000-szer annyi számítás elvégzésére alkalmas. A grafikus processzorok területén jelenleg piacvezető gyártó AI-ra optimalizált nagy teljesítményű NVIDIA V100 GPU-kártyájánál a NorthPole 22-szer gyorsabbnak, 25-ször energiahatékonyabbnak bizonyult, miközben alapterülete mindössze ötöde konkurensének.¹⁶ Az új architektúrában rejlő lehetőségek ugyanakkor messze túlmutatnak a jelenlegi eredményeken, hiszen a fejlesztők előrejelzései szerint a következő generációban már elérhetik a négyzetmilliméterenként 2 milliárd tranzisztort, ami felülírja az 1965-ben publikált törvényszerűséget, amely szerint az áramkörüi lapkákra integrálható tranzisztorok száma 18–24 havonta megduplázódik. Ezt a szabályt 1975 óta megalkotója, a 2023 márciusában elhunyt Gordon Earle Moore amerikai mérnök, az Intel társalapítója után Moore-törvénynek nevezik.¹⁷

A hardverek fejlődése szempontjából szintén kiemelten fontos felforgató technológia a *kvantum-számítástechnika*, amely az előző területen elért

¹⁵ Graphics Processing Unit.

¹⁶ CASTELVECCHI 2023.

¹⁷ Intel 2023.



9.2. kép. Az IBM NorthPole processzora

Forrás: bal oldal: CHOI 2023; jobb oldal: STEELE 2023

eredményekhez hasonlóan szintén 2023-ban érkezett el az áttörés küszöbére, azaz a gyakorlati hasznosítás fázisába. Egyes tudósok ezt úgy fogalmazták meg, hogy megkezdődött a kvantumkorszak hajnala.¹⁸ Ez azt is jelenti, ma már nem engedhetjük meg magunknak, hogy csak legyintsünk a kifejezés hallatán, arra hivatkozva, hogy ez még a távoli jövő, mivel nagyon úgy tűnik: a távoli jövő már elkezdődött. Célszerű éppen ezért röviden áttekinteni, hogy mi is az a kvantum-számítástechnika, és miben tér el a bináris számrendszer használatán alapuló hagyományos számítógépek világától. Ha le akarjuk egyszerűsíteni a kérdést, azt mondhatnánk, hogy igazából mindenben, ami magára a működési elvre vezethető vissza. A digitális eszközök bináris rendszerben végzik a számításokat, azaz az információ mérőszáma a bit, amely két értéket (állapotot), 0-ást és 1-est vehet fel. A kvantumszámítógépek ezzel szemben tulajdonképpen szabályozható kvantummechanikai eszközök, azaz a kvantumfizikai tulajdonságokra építve végzik a számításokat. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy egyes feladatok elvégzését akár exponenciálisan felgyorsítsuk a kvantumfizikában kódolt komplex számok alkalmazásával. Ez az eszköz tehát nem olyan számítógép, amely minden feladatot képes sokkal gyorsabban elvégezni társainál, hanem jól skálázható, a különböző problémák megoldására optimalizálható rendszer. Jelenleg is zajlik azon területek feltárása, ahol valós megoldást jelenthet ilyen eszközök alkalmazása, de az már bizonyított, hogy olyan esetekben, ahol számos lehetséges kombináció számítására van

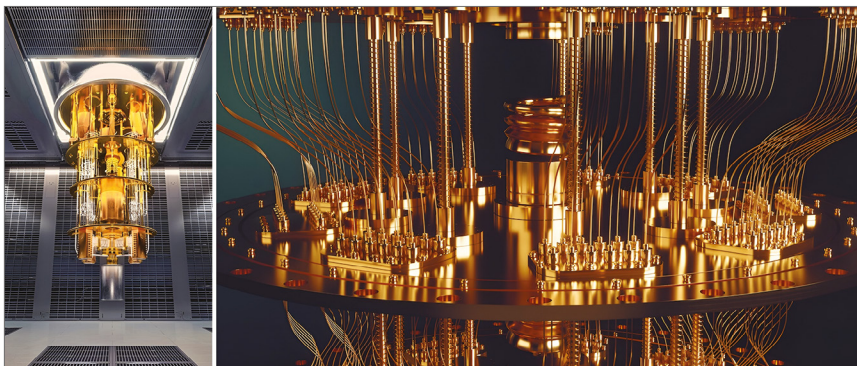
¹⁸ FERRIE 2023.

szükség, mint például a kriptológia, a logisztikai és kereskedelmi optimalizálás, a fizikai törvényszerűségek, a kémiai reakciók, a biológiai folyamatok modellezése, jelentős előrelépést jelent használata. Segítségükkel elérhetővé válik például az egyénekre szabott gyógyszerek megalkotásának lehetősége. Ez a technológia annak köszönhető, hogy az előforduló természetes állapotok ábrázolására a kvantumbitek sokkal jobban használhatók a hagyományos digitális megoldásoknál. Ugyanakkor nemcsak a természettudományokban lehet vélhetően előnyös az új rendszerek használata, hanem akár általános társadalmi, demográfiai folyamatok vagy fegyveres konfliktusok kimenetelének előrejelzésében, illetve történelmi események vagy éppen bűncselekmények utólagos rekonstrukciójában is. A hagyományos számítástechnikához képest a jelentős gyorsulást három kvantummechanikai jelenség, a szuperpozíció (koherencia), az interferencia és az összefonódás (kvantumkorreláció) eredményezi, amelyek alapja a kvantumbitek (qubit) speciális viselkedése, amely szerint egy qubit állapota nemcsak A (0) vagy B (1) lehet, hanem A és B is egyszerre. Azaz két érvényes kvantumállapot mellett azok bármely lineáris kombinációja ($\alpha A + \beta B$) is érvényes kvantumállapot lesz, ahol α és β az A és B valószínűségi amplitúdója ($|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$). Ebből következik, hogy amíg 2 hagyományos bittel 4 különböző állapotból (00, 01, 10, 11) tudunk tárolni egyet, addig 2 szuperpozícióban lévő qubit segítségével – amelyek mindegyike lehet 0, 1 és mindkettő – egyszerre mind a 4 állapot kifejezhető. Ezen logika alapján 3 qubit már 8 értéket jelölhet egyszerre, 4 qubit pedig már 16-ot.¹⁹ Az ezen a területen zajló robbanásszerű fejlődés szemléltetésére érdemes áttekinteni az IBM kvantumfejlesztési ütemtervét, amelyből kiderül, hogy 2019-ben bemutatott kvantumrendszere a 27 qubites Falconból 2022-re 433 qubites Osprey-jé fejlődött, 2023-ban pedig átlépve az 1000 qubites lélektani határt sikerült megalkotni az 1121 qubites Condort. Ha tudják tartani ezt az ütemet, 2026-ra a qubitek száma átlépheti a 10 ezret, de akár a 100 ezer is elérhető közelségbe kerül.²⁰ Mit jelent ez a gyakorlatban? Példaként vizsgáljuk meg a rivális Google Sycamore rendszerének teljesítményét, amely már 2019-ben mindössze 200 másodperc alatt végzett egy olyan számítással, amely egy akkori hagyományos technológián alapuló szuperszámítógéppel csak 10 ezer év alatt lett volna lehetséges.²¹ Ezt az időpontot tekintjük a Google

¹⁹ SoniaLopezBravo et al. 2024; FERRIE 2023.

²⁰ IBM [é. n.].

²¹ ARUTE et al. 2019.



9.3. kép. Kvantumszámítógép

Forrás: bal oldal: Shukla 2023; jobb oldal: SERCO [é. n.]

kvantumfölénye kialakulásának, azaz amikor a kvantumszámítógép felülmúlta számítási kapacitásban/műveleti sebességben a hagyományos számítógépet. Érdekes, hogy a Sycamore még 2022-ben is „mindössze” 53 qubittel rendelkezett, amikor az IBM Ospreyje már 433-mal. A fentiek alapján nem nehéz megjósolni, hogy a kvantumszámítógépeken futtatott mesterséges intelligenciák, a kvantum-gépitanulás hamarosan alapjaiban forgatja fel majd az általunk ismert világot (9.3. kép).

Ezen a ponton célszerű megemlíteni azokat a további feltörekvő technológiákat (9.4. kép) is, amelyek szorosan kapcsolódnak az előzőekben ismertetett diszruptív innovációk által biztosított infrastrukturális háttérhez, és amelyek fejlődési üteme hasonló dinamikájú felfutás előtt áll. Idesorolható a „nagy adat” (*Big Data*), amely az adatgyűjtés és -elemzés folyamatait teszi hatékonyabbá az információkhoz való lehető leggyorsabb hozzáférés érdekében. A felhőszolgáltatások (*cloud services*) vagy felhőalapú számítástechnika az adattárolás és az erőforrás-megosztás területén hoz újabb és újabb áttöréseket, miközben a kiberbiztonság (*Cybersecurity*) vagy technológiai biztonság alapvető feladata, hogy megvédje a felhasználók adatait a kibertérben, legyen szó a magánélet vagy a piaci, illetve állami szereplők érzékeny információiról. A kibertérhez kapcsolódó további felforgató technológiák közé sorolható az *IoT-eszközök*,²² okos- (*smart*) megoldások, okosvárosok világa, amelyek küldetése az állampolgárok kényelmének, biztonságának és életminőségének javítása,

²² *Internet of Things*.



9.4. kép. Hálózatalapú feltörekvő technológiák

Forrás: bal oldal: Soothsayer Analytics [é. n.]; jobb oldal: Botnation [é. n.]

a fenntartható fejlődés feltételeinek megteremtése. Szintén a bitek világához köthető a *blokklánc- (blockchain) technológia*, amelyet különböző digitalizált munkafolyamatokban alkalmaznak az átláthatóság és a biztonság fokozása érdekében. Piaci oldalról külön ki szokták emelni a *hiper-személyreszabást (hyper-personalization)* is, amely lehetővé teszi, hogy a piaci szereplők minden időpillanatban személyre szabott, egyedi szolgáltatásokat, termékeket, felhasználói élményt tudjanak létrehozni, illetve kínálni a fogyasztóknak, a mesterséges intelligencia és valós idejű információk segítségével. Ehhez a területhez sorolható a *chatbotok és intelligens asszisztensek* világa is, amelyek a felhasználókkal való kapcsolattartás területén hoztak forradalmi változásokat az utóbbi években.²³ Bár ezek a technológiák biztosan meg fognak jelenni (egyes helyeken már meg is jelentek) a történelmi és kulturális örökségek bemutatására fejlesztett digitális platformokon, virtuális múzeumokban, kiállítóterekben is, mégsem ezek lesznek véleményünk szerint a legnagyobb hatású változások ezen a területen.

Érdemes lehet külön megemlíteni a *szoftverrádió-technológiát*, amely nagyobb múltra tekint vissza fent felsorolt társainál, talán ezért nem is jelenik meg egységesen minden felsorolásban, véleményünk szerint viszont éppen a fenti technológiákban elért áttöréseknek köszönhetően jelenleg ezen a területen is dinamikus fejlődés zajlik. Ennek eredményének is tekinthető a vezetékek nélküli szolgáltatásokat támogató különböző technikai megoldásokban zajló folyamatos

²³ Repsol [é. n.].

fejlődés, amely ma már lehetővé teszi, hogy helytől és időtől függetlenül beszélhessünk családtagjainkkal, ismerőseinkkel, munkatársainkkal, hozzáférjünk saját otthoni, vállalati, állami vagy szolgáltatói informatikai rendszerekhez, szolgáltatásokhoz, ezáltal távolról is tudjunk munkát végezni, vásárolni, vagy akár megnézni egy világ másik felén zajló előadást. A korszerű rendszereken keresztül kvázi valós időben tudunk akár nagy felbontású *videostreameket* továbbítani és fogadni, vagy akár fejten viselhető virtuálisvalóság- (VR)²⁴ vagy más kiterjesztettvalóság-alapú megjelenítők (szemüvegek) segítségével beléphetünk különböző alternatív világokba, teljesen szintetikus vagy virtuális és valós elemeket is tartalmazó helyszínekre, terekbe, illetve akár részesei lehetünk történelmi eseményeknek vagy teljesen fiktív történeteknek.

A szoftverrádió-alapú technológiák közül a legnagyobb figyelmet napjainkban a különböző *műholdas kommunikációs és adatátviteli rendszerek* mellett az 5G, azaz az 5. generációs *mobilszolgáltatások* kapják, amelyek a nagy adatátviteli sebesség mellett minimális válaszidőt (késleltetést) kínálnak, ami már megteremti a technikai feltételeit az önvezető járművek teljesen autonóm módon történő alkalmazásának is.²⁵ Bár még az 5G rendszerek szolgáltatásaihoz való hozzáférés sem biztosított teljeskörűen, és a technológiában is bőven van még tartalék, a kutatók mégis már a 2030-as évekre készülve dolgoznak a következő generációval (6G) szemben támasztott követelmények megfogalmazásán és a hálózati architektúra kidolgozásán. Európai szinten jelenleg (2023–2026) is kutatási projekt zajlik *Deep Programmability and Secure Distributed Intelligence for Real-Time End-to-End 6G Networks*²⁶ címmel, amelynek stratégiai célja, hogy a kontinens hatékonyan tudja majd képviselni érdekeit a globális szabványok kidolgozása során, ezáltal versenyképes tudjon maradni az egyre gyorsabban fejlődő mobil távközlési eszközök piacán. A kutatás a hálózatok mélyprogramozhatóságára, biztonságára, valamint a hálózati kommunikációs problémákra valós időben reagálni képes elosztott intelligens vezérlésre fókuszál. A mesterséges intelligenciára épülő autonóm vezérlő, irányító és forgalomszervező platform akár szélsőséges teljesítményszükségletű alkalmazási igényeket is képes lesz majd kiszolgálni.²⁷

²⁴ *Virtual Reality*.

²⁵ GULYÁS 2022.

²⁶ A 6G hálózatok mélyen programozható és biztonságos, valós idejű végpontok közötti elosztott intelligenciája.

²⁷ ELTE 2023.



9.5. kép. Globális műholdas helymeghatározás

Forrás: NovAtel [é. n.]

Szintén több évtizedes múltra tekint vissza a globális helymeghatározás (9.5. kép) története, amelynek köszönhetően ma már négy *globális navigációs műholdas rendszer* (GNSS),²⁸ az amerikai NAVSTAR,²⁹ (GPS),³⁰ az európai Galileo, az orosz GLONASS³¹ és a kínai BeiDou³² szolgáltatásai érhetők el, emellett több regionális navigációs rendszer, illetve a helymeghatározási pontosságot növelő kiegészítő rendszer (DGPS)³³ is működik szerte a világon.³⁴ Megfelelő vevőkészülékek alkalmazásával akár centiméteres pontosság is elérhető. Napjainkban a mobil kommunikációs eszközök (mobiltelefon, táblagép, okosóra) jelentős többsége rendelkezik ilyen modullal, amely a hagyományos navigációs funkciók mellett geolokációs szolgáltatások (például kereskedelmi, kulturális, idegenforgalmi) igénybevételére is lehetőséget biztosít.

A 3D nyomtatás az elmúlt évtizedben látványos fejlődésen ment keresztül, a meglévő módszerek és alapanyagok tökéletesedtek, új gyártástechnológiai megoldások és alapanyagok jöttek létre. A gyors prototípusgyártás világából indulva az additív gyártástechnológia egyes módszerei mára lehetővé teszik

²⁸ Global Navigation Satellite System.

²⁹ Navigation Satellite Timing and Ranging.

³⁰ Global Positioning System.

³¹ Globalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Szisztjema (Глобальная навигационная спутниковая система).

³² BeiDou Navigation Satellite System (BDS: 北斗卫星导航系统).

³³ Differential Global Positioning Systems.

³⁴ KÁROLY 2018.

akár nagyobb darabszámok költséghatékony előállítását is, így az elektronikai iparban, az autógyártásban, az építészetben, a regeneratív gyógyászatban, a művészetben, sőt az élelmiszerszektorban is egyre szélesebb körben terjed használatuk. Ezt a folyamatot jelentősen felgyorsították a Covid-19 megjelenése és gyors terjedése következtében világszerte elrendelt korlátozások, amelyek addig kvázi zökkenőmentesen működő globális ellátási láncokat szakítottak meg. Így egyes szektorok működőképességének helyreállításához, illetve fenntartásához szükségessé vált egyes alkatrészek helyben történő előállítása, amire kézenfekvő megoldást jelentett a 3D nyomtatási képességek helyben történő kialakítása. Ma már egyre több helyen váltják ki a meghibásodott, eltörött, elöregedett alkatrészeket saját készítésű pótalkatrészekkel, ezáltal lerövidítve a javítási folyamatokat. Nincs ez másként a különböző katonai alkalmazások, haditechnikai eszközök esetében sem, ahol nemcsak az időtényező rövidülése jelentkezik előnyként, de sok esetben a költségek is jelentősen csökkenthetők.³⁵ Az első 3D nyomtatási módszerek, mint a műanyagszál-olvasztás (FDM)³⁶ és a sztereolitográfia (SLA),³⁷ az 1980-as évek második felében jelentek meg és műanyag alapanyagokat használtak. Néhány évvel később már a porágyfúzió elvén működő megoldások is megjelentek, mint a szelektív lézeres szinterezés (SLS),³⁸ a szelektív lézeres megolvasztás (SLM)³⁹ vagy éppen az elektronsugaras megolvasztás (EBM),⁴⁰ amelyekkel már nemcsak műanyag, de fém alapanyagokból is lehetővé vált akár a hagyományos gyártástechnológiai megoldásokkal készült termékekhez hasonló, sőt akár esetenként jobb tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek előállítása is.⁴¹ Az alapanyagok száma azóta gyorsan növekszik, miközben tulajdonságaik egyre szélesebb tartományokban állíthatók be akár speciális alkalmazási igényekhez. Ugyanakkor vannak olyan esetek, amikor a legegyszerűbb eljárás és alapanyag felhasználása is elegendő ahhoz, hogy innovatív módon, költséghatékonyan állítsunk elő speciális katonai eszközöket, mint például kumulatív

³⁵ CLEMENT 2023.

³⁶ *Fused Deposition Modelling.*

³⁷ *Stereolithography Apparatus.*

³⁸ *Selective Laser Sintering.*

³⁹ *Selective Laser Melting.*

⁴⁰ *Electron Beam Melting.*

⁴¹ GÁL–NÉMETH 2019.



9.6. kép. Kutatócsoportunk által használt 3D nyomtatók
 Forrás: bal oldal: a szerzők; jobb oldal: i.all3dp.com [é. n.]

töltetházakat,⁴² béléstartesteket⁴³ vagy vágótölteteket.⁴⁴ A fémnyomtatás, bár jelenleg még lényegesen költségesebb, mint a műanyagalapú megoldások, számos esetben a különböző eszközök, járművek pótalkatrészei előállításának leghatékonyabb módszere lehet.⁴⁵ A technológia terjedésével ugyanakkor egyre nagyobb figyelmet kell szentelni a 3D nyomtatás környezet- és egészségvédelmi hatásainak vizsgálatára is.⁴⁶

Tekintettel arra, hogy a módszer kiválóan alkalmas egyedi tervezésű, speciális kialakítású, rendeltetésű, felépítésű és anyagú tárgyak létrehozására, a hadirégészet, a csata- és hadszíntérkutatás területén is számos tevékenység, feladat végrehajtását támogathatják hatékonyan a különböző 3D nyomtatási módszerek⁴⁷ (9.6. kép).

A továbbiakban azon önmagukban is kiemelt jelentőségű diszruptív technológiákat mutatjuk be, amelyek alkalmazásában kutatócsoportunk csaknem egy évtizedes felhasználási tapasztalattal rendelkezik a hadirégészet, a csata- és hadszíntérkutatás, a kutatási eredmények digitális archiválása, virtualizációja és vizualizációja területén.⁴⁸

⁴² EMBER-ÁDÁM 2022.

⁴³ EMBER 2022.

⁴⁴ EMBER 2023.

⁴⁵ FICSOR-HEGEDŰS 2023.

⁴⁶ RÁKOSI et al. 2023.

⁴⁷ NÉMETH-SZABÓ-BALOG 2020.

⁴⁸ KÁLLAI 2016; PADÁNYI 2015.

DRÓNTÉCHNOLÓGIA

A dróntechnológia elképesztő ütemű fejlődésének motorját az utóbbi évtizedekben a polgári felhasználások jelentik, amelyeknek köszönhetően olyan eszközök férhetők hozzá ma már a piacon, amelyek képességeire a lenyűgöző lehet a legjobb kifejezés. Az alapvető, alkalmazási szempontból fontos paraméterek tekintetében az üzemidő és a hasznos teher nagysága az egyik legmeghatározóbb, amelyet az eszköz fizikai méretei, hajtása, üzemanyaga, kialakítása, és vezérlése együttesen határoz meg (9.7. kép). A technikai dimenziók és a műszaki tartalom tekintetében kiemelt figyelmet érdemes még szentelni az autonómia szintjére, azaz hogy milyen arányban oszlanak meg a feladatok egy tevékenység végrehajtása során a távpilóta és a fedélzeti számítógép, robotpilóta között.⁴⁹ A gyakorlati alkalmazások szempontjából releváns eszközök esetén, ahol a könnyű kezelhetőség kiemelt prioritást élvez, az operátornak nem kell foglalkoznia az eszköz térbeli stabilitásával, az irány- és sebességvektorok manuális vagy előre programozott módon történő megadása mellett figyelmét az irányítás helyett a feladat végrehajtására fordíthatja (*payloadok* kezelése). Ez természetesen jelentősen növeli a repülésbiztonságot, amely az ilyen eszközök tömeges, integrált légtérben való alkalmazásának elengedhetetlen feltétele. A közös légtérben történő balesetmentes közlekedés magas szintű autonómiát, valamint szigorú, egységes közlekedési szabályokat és központi felügyeletet, forgalomirányítást követel meg. Ami biztosan kijelenthető, hogy a közúti vagy *off-road* önvezető járművekhez⁵⁰ hasonlóan az autonóm alkalmazás korlátja már nem elsősorban technikai, inkább jogi és morális kérdés.⁵¹

A drónautonómia magasabb szintje lehet a rajintelligencia megvalósítása, amelynek segítségével lehetőség nyílik arra, hogy a cél elérése érdekében több azonos vagy hasonló felépítésű, költséghatékonyan előállítható eszköz működjön együtt, elosztva egymás között a kapcsolódó feladatokat. Az intelligencia igazi mivolta abban rejlik, hogy mindezt folyamatosan változó körülmények között, adaptívan tudják megtenni, azaz például ha a raj egy eleme kiesik, a többiek átveszik a feladatát, újraoptimalizálva a végrehajtási folyamatot.⁵² A fentiek alapján a műszaki tartalom tekintetében a lehető legszélesebb skálán mozoghat

⁴⁹ NÉMETH 2018a.

⁵⁰ NÉMETH et al. 2019.

⁵¹ NÉMETH 2018b.

⁵² NÉMETH–PÁPICS 2019.

	VTOL (Hibrid)	Multicopter (Forgószárnyas)	Merevszárnyú
Helyből fel- és leszállás	✓	✓	✗
Hosszú repülési idő	✓	✗	✓
Egyszerű használat	✓	✓	✗

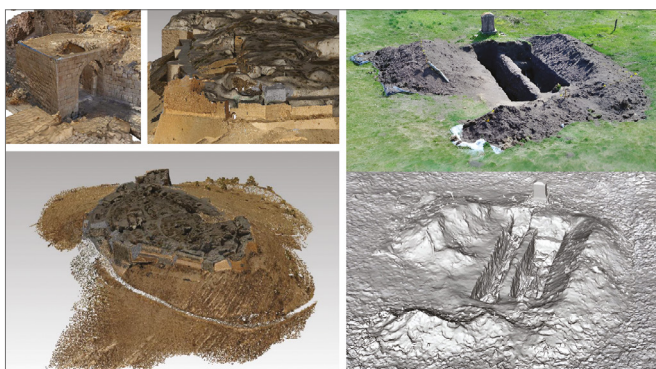
9.7. kép. A különböző kialakítású UAV-k tulajdonságai

Forrás: JOUAV [é. n.]

a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása, amelyet elsősorban a hasznos teher vagy terhek funkciói és képességei határoznak meg, de nem lehet figyelmen kívül hagyni magának a hordozóeszköznek a repülési tulajdonságait sem, amelyeket a fedélzeti szenzorrendszerek működése alapjaiban határoz meg. Ezek működését a hatékony feladat-végrehajtás érdekében gondosan össze kell hangolni. Az elmúlt időszakban ismét a katonai alkalmazások kezdtek el látványosan dominálni, hiszen a jelenleg is zajló háborúkban korábban soha nem látott tömeges alkalmazást tapasztalhatunk, legyen szó a hagyományos felderítési, megfigyelési feladatokról vagy éppen csapásmérésről. Másik fontos tapasztalat, hogy a minőség mellett a mennyiségi szempontok sem hanyagolhatók el, így kerül sor egyre nagyobb tömegben polgári célokra fejlesztett eszközök katonai alkalmazására. A polgári területen az ipari, kereskedelmi és hobbicélú felhasználások mellett a közszolgálat különböző feladatrendszereiben történő alkalmazásra⁵³ való egyre növekvő igény is megfigyelhető, így a rendőrség, a büntetés-végrehajtás, a katasztrófavédelem vagy éppen az egészségügyi ellátórendszer egyes elemei (például sürgősségi vér- és gyógyszer szállítás) is használják már a drónokat szerte a világon.

Ugyanakkor mára a régészet területén is számos lehetőség rejlik a pilóta nélküli eszközök felhasználásában, sőt egyenesen annak nélkülözhetetlen eszközévé⁵⁴ is váltak, hatékonyságnövelő szerepük megkérdőjelezhetetlen. Már

⁵³ NÉMETH 2018c.⁵⁴ Drone Girl 2022.

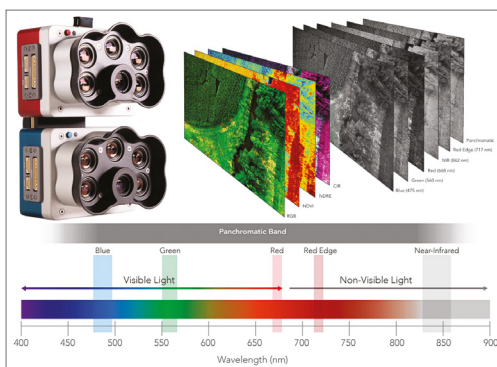


9.8. kép. Példák fotogrammetriai modellek létrehozására

Forrás: bal oldal: MDPI [é. n.]; jobb oldal: a szerzők szerkesztése

optikai tartományú vizsgálatokkal is jelentős eredmények érhetők el. Ha csak a nagy kiterjedésű lelőhelyek, egykori hadszínterek nagy felbontású, a korábban említett GNSS-ek segítségével megvalósított georeferált feltérképezésére gondolunk, már az is óriási segítség a szakemberek számára, de ha a repüléseket különböző napszakokban, természetes megvilágítás mellett végezzük, a terepen megjelenő árnyékokból következtethetünk egykori települések, épületek vagy akár természetes képződmények nyomaira is. Különösen nagy segítség lehet a drónok alkalmazása nehezen vagy más módon egyáltalán nem megközelíthető helyszíneken történő kutatás, felmérés során. Az optikai tartománynál maradva lehetőségünk van a fotogrammetria segítségével egy területről vagy objektumról 3D textúrázott modelleket is előállítani (9.8. kép), több szögből készült nagy mennyiségű fénykép felhasználásával, célszoftverek segítségével. Ugyanakkor nemcsak a látható fény tartományában van lehetőségünk felvételek készítésére, hanem az infravörös sávban is, de vannak már céleszközök, amelyek segítségével multispektrális vizsgálatokat (9.9. kép) is végezhetünk, ami lényegesen több információt tud szolgáltatni az adott helyszínről.⁵⁵ A fotogrammetria alkalmazása jelentős szoftveres támogatást és utómunkát igényel, pontossága pedig sok esetben nem kielégítő, így más megoldásra is szükség lehet. Különösen igaz ez azokon a területeken, ahol a növényzet eltakarja a terepfelszínt vagy az objektumot. Ebben az esetben lehetőségünk van a lézeres távolságmérés

⁵⁵ FIZ et al. 2022.



9.9. kép. Multispektrális kamera, kameraképek és hullámtartományok

Forrás: AgEagle [é. n.]

elvén alapuló LIDAR⁵⁶ használatára: ezt alkalmazva lézernyalábbal pásztázzuk a felszínt, amelyről reflektálódva a detektorba visszatérő sugár késleltetése alapján ki tudjuk számítani minden egyes pont távolságát. Ezeket a kisugárzás helyéhez rögzített koordináta-rendszerben ábrázolva, majd az adatokat szűrve, tisztítva, transzformálva megkapjuk a felszín pontos háromdimenziós leképezését, modelljét. A LIDAR-os és a fotogrammetriai eljárások ötvöztetésével nagy pontosságú, kiváló valósághűségű textúrával rendelkező 3D modellek állíthatók elő, amelyek a kulturális örökség digitális megőrzésének érdekében archiválhatók, de felhasználhatók a helyszínek bemutatásában vagy utólagos digitális rekonstrukciójában is. Lehetőséget teremt akár olyan épületek, települések nagyközönség számára történő bemutatására, amelyek akár már évszázadokkal korábban elpusztultak. Ezt tűztük ki célul Zrínyi-Újvár esetében is.

A technológia fejlődésével ugyanakkor egyre komplexebb, magasabb technikai színvonalú, pontosabb és gyorsabb eszközök és módszerek állnak a kutatók rendelkezésére. Ennek szemléltetése érdekében a korábban már említett DJI cég professzionális ipari felhasználásra tervezett eszközt mutatjuk be, amely az általunk elvégzett tesztek alapján új távlatokat nyithat a hadirégészet, a csata- és hadszíntérkutatás területén is. A Mavic 350 RTK (9.10. kép) műszaki paraméterei impozánsak, kialakítása funkcionális, és támogatja a nem optimális meteorológiai

⁵⁶ Light Detection and Ranging.



9.10. kép. A Zenmuse H20N multikamera, a DJI Matrice 350 RTK drón és a Zenmuse L1 LIDAR

Forrás: bal oldal: DJI Official [é. n.]; középen: Florida Drone Supply [é. n.]; jobb oldal: Wsfnd [é. n.]

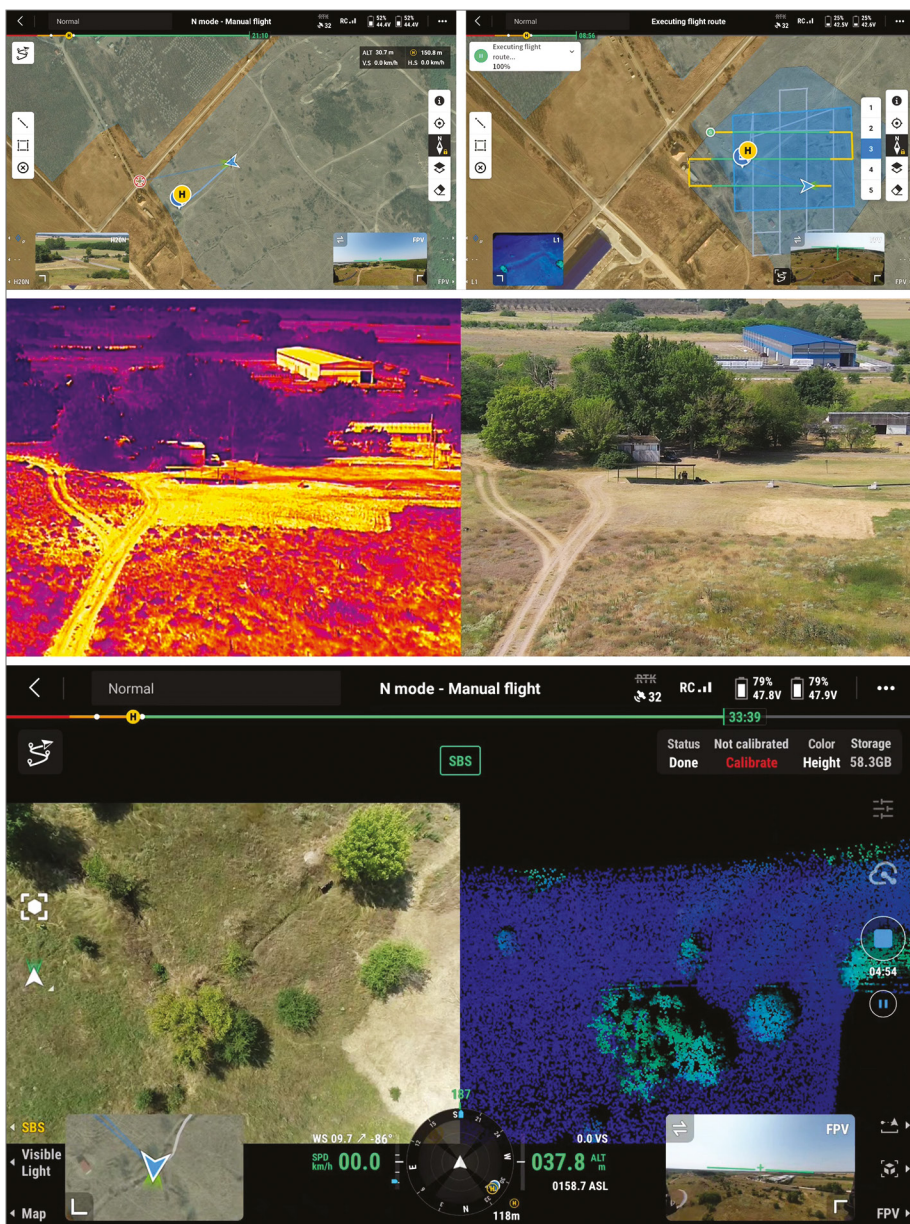
körülmények közötti alkalmazás lehetőségét is. A repülési idő meghaladhatja az 50 percet (a hasznos teher méretével és a szélsősebességgel arányosan ez az érték csökken), a drón IP55-ös védelemmel rendelkezik, -20°C és $+50^{\circ}\text{C}$ között is képes repülni és a 12 m/s-os szélnek is ellenáll.

A biztonságos és precíz alkalmazást hatirányú szenzorrendszer biztosítja, az éjszakai műveleteket éjjelató FPV⁵⁷ kamera támogatja. Technikailag 7000 m-es magasságba is képes felemelkedni akár 2,7 kg-os hasznos teherrel és egy időben több *payload* hordozására is képes.⁵⁸ A *payload*ok tekintetében a felhasználók többféle megoldás közül választhatnak, mi a Zenmuse H20N éjjeli üzemmóddal is rendelkező széles látószögű kamerát, csillagfény-érzékelőt, kettős hőkamerát és 1200 m-es hatótávolsággal rendelkező lézeres távolságmérőt is tartalmazó eszközt választottunk, amely képes szinkronizálni az egyes érzékelők által megjelenített képet, és osztott képernyőn megjeleníteni akár 20-szoros hibrid optikai nagyításban a kijelölt célobjektumot vagy területet.⁵⁹ Az alsó kettős gimbal segítségével emellé egy Zenmuse L1 LIDAR-t társítottunk, ezzel maximalizálva az egyetlen felszállással elvégezhető méréseket. Ez az eszköz is tartalmaz egy 20 megapixeles RGB-kamerát, amely egyrészt megkönnyíti a tevékenység ellenőrzését, másrészt a LIDAR által előállított pontfelhőt ennek

⁵⁷ First Person View.

⁵⁸ Enterprise DJI [a].

⁵⁹ Enterprise DJI [b].



9.11. kép. A DJI Matrice 350 RTK drónról készült felvételek a két payloaddal

Forrás: a szerzők szerkesztése

segítségével kiegészíthetjük a színinformációval is. A lézeres letapogatás hatásos távolsága 450 m, az eszköz 240 ezer (pts/s) pont távolságát tudja megmérni másodpercenként, aminek a pontossága 5 cm. Az eszköz GNSS-időbélyeggel tárolja a felvételeket, amelyek pontossága DGPS-állomás segítségével tovább növelhető ideális esetben akár 1–2 cm-re.

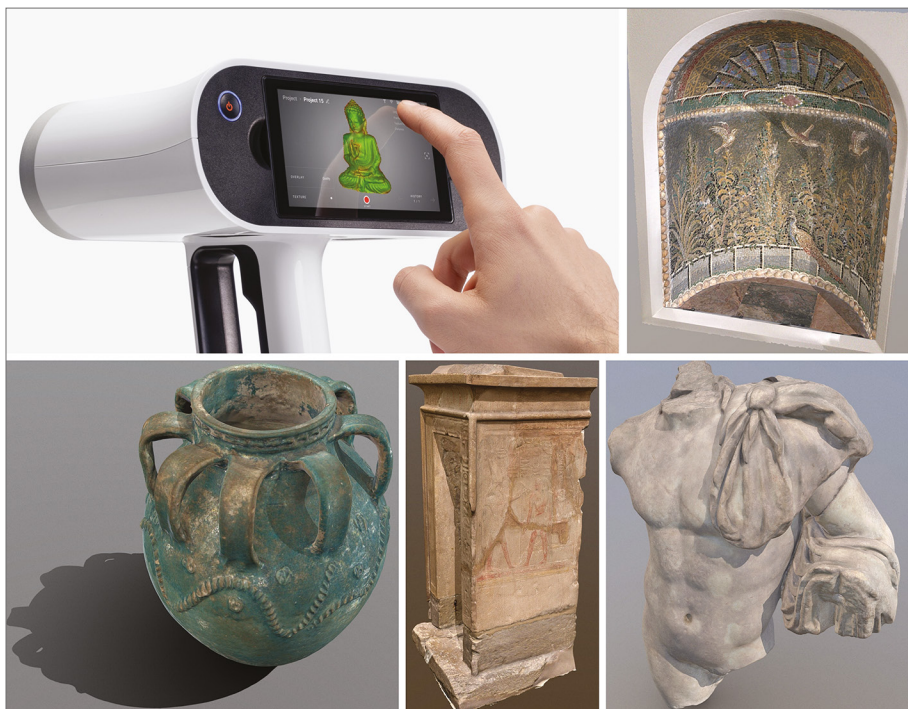
A mérési eredményeket az eszköz távirányítóján valós időben követhetjük nyomon, egy felszállással akár 2 km² terület felmérését is elvégezhetjük.⁶⁰ Az elvégzett tesztek eredményesnek bizonyultak, amelyekről néhány felvétel a 9.11. képen látható.

3D SZKENNELÉS ÉS MODELLEZÉS

A 3D szkennelés különböző méretű valós objektumok 3D modelljének előállítására alkalmas technológia. Eszközrendszere az elmúlt években jelentős fejlődésen ment keresztül, az alkalmazott módszerek ugyanakkor lényegében nem változtak. A drónok fedélzetén alkalmazott, korábban ismertetett *payloadok* működési elveihez hasonló módon strukturált fény vagy lézerfény felhasználásával lehetséges a különböző tárgyak felszínén végzett mérések eredményeit 3D koordináta-rendszerben ábrázolva, majd azokra zárt felületet illesztve a 3D modellek előállítására. A drónok segítségével tehát nagyobb területek, települések, épületek, szkenner alkalmazásával pedig belső terek, kisebb-nagyobb tárgyak digitális mása készíthető el.

A korszerű 3D szkenner alkalmazásában rejlő lehetőségeket az általunk is használt eszköz példáján keresztül mutatjuk be. Az Artec Leo szkenner, bár pontosságban messze elmarad a metrológiai eszközöktől, 0,1 mm-es pontossága bőven elegendő az alkalmazások túlnyomó többségéhez, és messze meghaladja a régészeti felhasználás során elvárt precizitást. Nagy méretű céltárgyak, munkadarabok esetén a pontosság méterenként 0,3 mm-rel csökken. Az eszköz 3D felbontása 0,2 mm, a mérési távolság (eszköz-munkadarab távolság) 0,35–1,2 m között változhat. Legelőnyösebb tulajdonsága a sebessége, hiszen másodpercenként akár 35 millió adatpontot is képes rögzíteni. A szkenner igazi erőssége azonban felhasználóbarát kialakítása. Alkalmazása különösebb szakértelmet, felkészültséget nem igényel, néhány gombnyomással indítható a munkafolyamat,

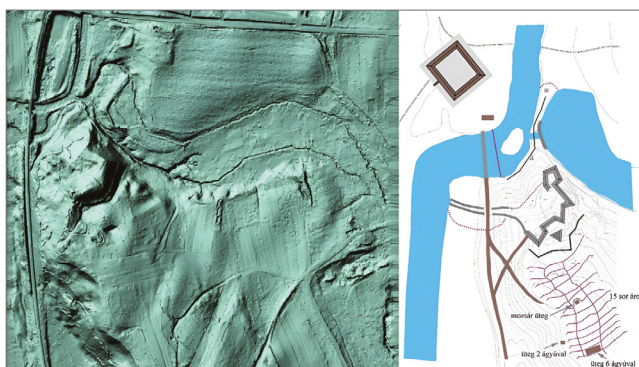
⁶⁰ Enterprise DJI [c].



9.12. kép. Artec Leo szkennerek és a segítségével készített modellek

Forrás: balra fent: CDN Artec 3D [é. n.]; jobbra fent: Fitzwilliam Museum 2020b; balra lent: Fitzwilliam Museum 2020d; középen lent: Fitzwilliam Museum 2020c; jobbra lent: Fitzwilliam Museum 2020a

amely közben az eszköz folyamatosan, valós időben mutatja a már elkészült pontfelhőt és azokat a területeket, ahonnan még nem áll rendelkezésre elég mérési eredmény. Egy megkezdett projekt bármikor megszakítható, majd újra folytatható. A nagy részletességű HD módot és az eszköz funkcióit mesterséges intelligencia támogatja, ami hozzájárul a nagy látószögű kamera képrögzítési sebességének jelentős növekedéséhez is. A másodpercenként 80 képkocka rögzítése során a tárgy távolság csökkentésével a felbontás nő. Az eszköz tartalmazza a vezérlő és a feldolgozó számítógépet, valamint a háttértárat is, így kábelek nélkül, akkumulátorról, mindenféle infrastruktúrától függetlenül használható. Ennek köszönhetően akár egy kutatóárkban a szántóföld vagy az erdő közepén is lehet rövid idő alatt pontos 3D pontfelhőt rögzíteni segítségével, amelyet aztán wifi-, Ethernet- vagy felhőkapcsolaton keresztül lehet áttölteni laptopra,



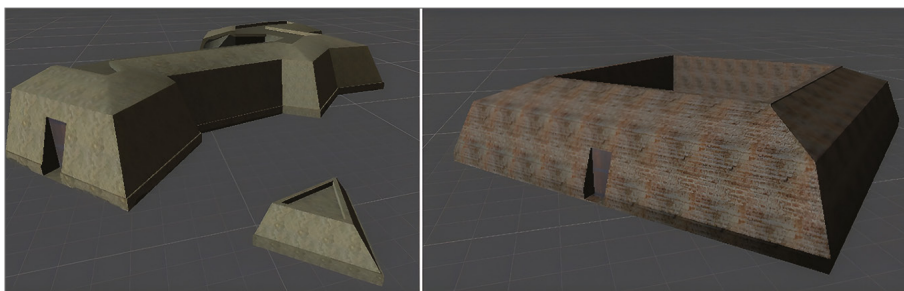
9.13. kép. Zrínyi-Újvár LIDAR-képe és a helyszínről készült vázlat

Forrás: NÉMETH–SZABÓ–BALOG 2020

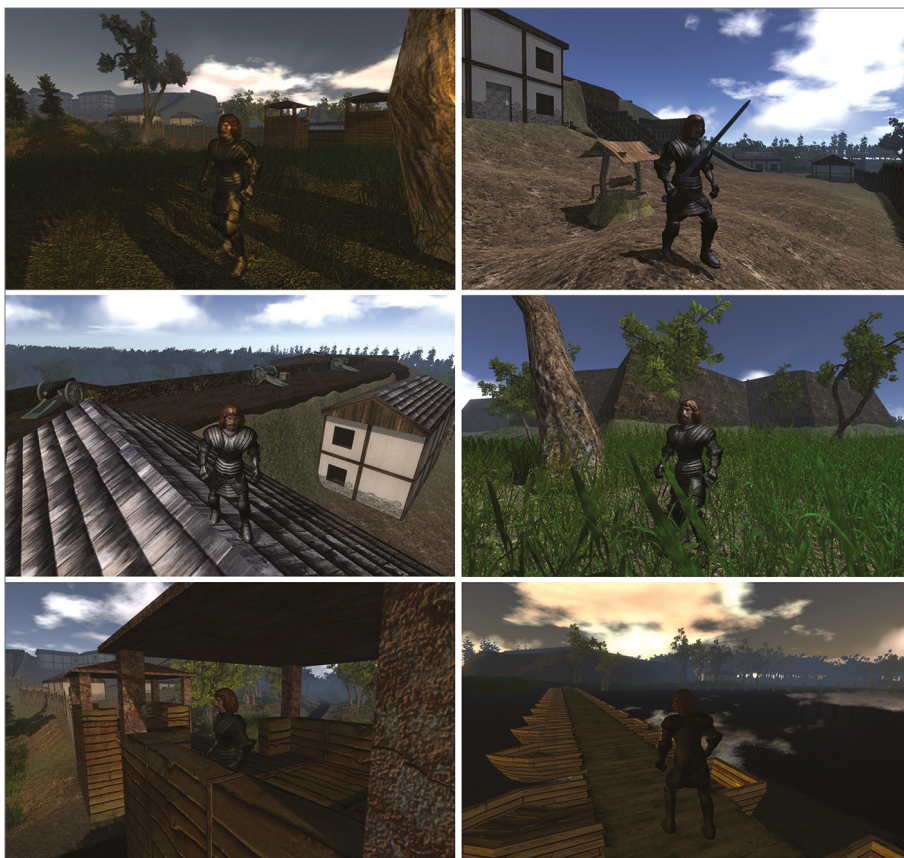
illetve számítógépre az utómunkák elvégzéséhez. Az esetek többségében nincs szükség külön referenciapontok használatára, a szkennert automatikusan képes illeszteni a képkockákon található jellegzetes mintázatok alapján (ennek hiányában célszerű a referenciapontok alkalmazása). Kilenc szabadságfokkal rendelkező inerciarendszere van, amely segítségével mindig tisztában van relatív pozíciójával és környezetével, így automatikusan el tudja távolítani a háttérrel és más nemkívánatos adatokat. A 3D HDR módnak köszönhetően az eszköz megbirkózik a nehezen szkennelhető fényes vagy fekete felületekkel is. Ugyanazt a lencserendszert használja a 3D pontok és az RGB-színtartomány rögzítésére, ami nagy pontosságú textúraillesztést biztosít. A rendszer részét képezi az Artec Studio szoftver, amely lehetőséget teremt minden utómunka hatékony elvégzésére. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően sokoldalú felhasználásra van lehetőség számos területen, mint például az autóipar, az alkatrészgyártás, a bűnügyi helyszínelés, az orvosi diagnosztika vagy éppen a régészet, a muzeológia vagy a hadszíntérkutatás.⁶¹ Az Artec Leo szkennelvel készült modellek fotói láthatók a 9.12. képen, a hivatkozásokon keresztül pedig elérhetők maguk a 3D modellek is.

A fenti módon nyert 3D objektumokat korlátlanul módosíthatjuk, méréseket tudunk rajtuk újra és újra végezni, archiválhatjuk azokat, virtuális múzeumokat rendezhetünk be velük, vagy bármilyen digitális manipulációt meg tudunk valósítani rajtuk. Ennek köszönhetően lehetőség nyílik a rendelkezésre álló

⁶¹ Artec 3D [é. n.].



9.14. kép. A vár modellje
 Forrás: NÉMETH–SZABÓ–BALOG 2020



9.15. kép. Zrínyi-Újvár bejárható modellje
 Forrás: a szerzők szerkesztése Balog Ferenc szoftverét felhasználva



9.16. kép. Ócsa bázis nagy pontosságú 3D
modellezésével nyert virtuális környezet
Forrás: az Infinit Simulation Kft. felvételei

információk, eredeti fotódokumentációk, grafikák, történeti leírások és mások talált, azonos korból származó leletanyagokból nyert adatok alapján a sérült, hiányos tárgyak vagy épületek, megváltozott helyszínek digitális rekonstrukciójára. Ez utóbbira tettünk is már kísérletet, amelynek eredményeként a 2010-es évek közepére elkészült Zrínyi-Újvár játékszerűen bejárható digitális mása.

A vár modelljének alapját az akkoriban még hagyományos repülő eszköz segítségével készített georeferált LIDAR-felvétel (9.13. kép) jelentette, amely alapján a korabeli vázlatok felhasználásával sikerült betájolni a vár – korabeli leírásokban szereplő – alaprajzát, amelyet a helyszínen folytatott geodéziai mérések és a hadszíntérkutatás eredményei alapján pontosítottunk.

Ezt követően számos 3D szoftveres tervező- és szerkesztőprogramot felhasználva lépésről lépésre felépítettük a várat (9.14. kép) és az abban található objektumok modelljét, amelyeket integráltunk a bejárható digitális környezetbe.

A Balog Ferenc által készített szoftver futása közben készített képernyőfelvételek a 9.15. képen láthatók.

Bár annak idején súlyt helyeztünk a látványra, a grafikából jól látszik, hogy az mára meglehetősen idejétnak hat. Napjainkban lényegesen realisztikusabb

ábrázolásra, illetve megjelenítésre van lehetőség, mint ahogy az a 10.16. ábrán is látható egy másik projektünk keretében – 2022 óta az Infinit Simulation Kft. és kutatócsoportunk által – fejlesztett virtuálisvalóság-alapú környezetben, amelyen megfigyelhető annak részletgazdagsága. Ezért is tűztük ki célul, hogy a kor színvonalának megfelelő, magas szintű immerzivitásélményt kínáljon virtuális környezetet alakítsunk ki, amelyet a felhasználó kiterjesztett- vagy virtuálisvalóság-szemüveg segítségével be is tud majd járni, megcsodálhatja a 17. századi erőd egyes elemeit, épületeit vagy akár a katonák fegyvereit, használati tárgyait is.

XR-TECHNOLÓGIÁK, ALTERNATÍV VALÓSÁGOK

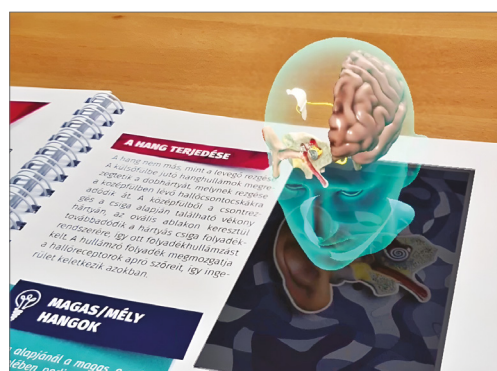
A fején viselhető kijelzők területén az elmúlt években végbement látványos fejlődésnek köszönhetően mára a különböző alternatívvalóság- (XR)⁶² megoldások váltak a diszruptív technológiák egyik húzóágává. Az XR kifejezést gyűjtőfogalomként használják a szakirodalomban, amely alá az alábbi technikai megoldások sorolhatók a megjelenített környezet jellemzői alapján: virtuális valóság (VR),⁶³ kiterjesztett valóság (AR),⁶⁴ kevert valóság (MR).⁶⁵ Különböző források a VR fogalomkörébe időben sokkal korábbi megoldásokat is beleértene, mint például a térhatású festészetet vagy a sztereofotográfiát. Mai értelemben a virtuális valóság ugyanakkor olyan számítógép által létrehozott környezetet jelent, amelyben a felhasználó érzékszerveinek bevonásával valós időben tud érintkezni a virtuális világgal. Azaz a VR fő funkciója az olyan mesterséges világ létrehozása technikai eszközök segítségével, amely az emberi érzékelés (látás, hallás, szaglás, tapintás) manipulálásán keresztül valóságosnak tűnő környezetet hoz létre. Az AR vagy kiterjesztett valóság a teljes virtualizációval szemben ugyanakkor a valóságos környezetet egészíti ki virtuális elemekkel, objektumokkal, amelyekkel interakcióba is léphetünk tevékenységünk során. Ehhez nincs is feltétlenül szükségünk speciális megjelenítőeszközökre, hiszen az első ilyen jellegű alkalmazások mobiltelefonokra, illetve táblagépekre íródtak, amelyek valós idejű kameraképén

⁶² *Extended Reality.*

⁶³ *Virtual Reality.*

⁶⁴ *Augmented Reality.*

⁶⁵ *Mixed Reality.*



9.17. kép. AR-tartalommal kiegészített tananyag

Forrás: AR Books LibrARy [é. n.]

jelenítettek meg digitálisan 3D figurákat (például Pokémon GO applikáció, 2016). Napjainkban a mobil eszközökben már integráltan jelennek meg olyan funkciók (filterek), amelyek segítségével virtuális tartalmakkal kiegészítve készíthetünk fényképet vagy videófelvételt. Ugyanakkor ma már az oktatás, az ismeretterjesztés területén is léteznek olyan megoldások (9.17. kép), amelyek a nyomtatott tankönyveket egészítik ki interaktív 3D tartalmakkal, ezáltal segítve az információ feldolgozását, megértését.

Természetesen a technológia ma már lehetővé teszi azt is, hogy a szemünk elé helyezett átlátszó lencsére vetítsünk digitális tartalmakat, ezáltal kezünk felszabadul, és azt a virtuális objektumokkal való interakciókra, az eszköz, illetve a szoftver vezérlésére használhatjuk, akár kontrollerek nélkül is. Katonai szempontból AR-megoldásnak tekinthetők azok a sisakok is, amelyekben keresztül a vadászpilóta különböző adatokkal kiegészítve látja valós környezetét. Az MR, azaz a kevert vagy hibrid valóság elnevezés arra utal, hogy a VR és az AR jellegzetességei egyaránt megtalálhatók ezekben a technikai megoldásokban, azaz a valóságos és a virtuális objektumok egymás mellett léteznek, amelyekkel interakcióba is lehet lépni részben a valós, részben pedig a mesterséges környezetben. Ezzel a megoldással találkozhatunk például a Windows 10 operációs rendszer esetén is, amely fejre helyezhető kijelző (HMD)⁶⁶ és kontrollerek segítségével teszi lehetővé a Windows Mixed Reality használatát. A perifériák kalibrációját követően tetszőlegesen alakíthatjuk valós környezetünket az

⁶⁶ Head Mounted Display.



9.18. kép. HoloLens 2 MR-szemüveg és a szemüveg kijelzőjén látott kép digitális tartalommal

Forrás: fent: TurboSquid [é. n.]; lent: a szerzők szerkesztése,

MR-térben, de *streamelhetünk* is, immerzív videókat nézhetünk vagy applikációkat használhatunk.⁶⁷ Kutatócsoportunk jelenleg a Microsoft HoloLens 2 ergonomikus vezeték nélküli, önálló működésre képes holografikus eszközt használja, amelyet a professzionális ipari és egészségügyi alkalmazások mellett oktatási célokra is ajánl a gyártó. Honlapja szerint a tanítási folyamat ilyen eszközök és megfelelő oktatási tartalmak segítségével 80%-kal csökkenthető, miközben a tanulmányi eredmények 50%-kal javulnak. A gyártásban 90%-os hatékonyságnövelést, míg a szükséges utazások számában 40%-os csökkenést is tapasztaltak egyes ipari szereplők esetén. Műszaki tartalmát tekintve, bár

⁶⁷ NÉMETH–VIRÁGH 2021.

ma már messze nem számít a legerősebb ilyen jellegű hardvernek a piacon, specifikációja még mindig alkalmassá teszi akár professzionális felhasználásra is. Az átlátszó holografikus lencsékre 2k felbontású, 3:2 arányú képet vetít, miközben a kijelzőt a valós 3D szempozícióhoz optimalizálja. A fej pozíciójának követését 4 db optikai tartományban, a szemek valós idejű követését pedig 2 db infravörös tartományban működő kamera segítségével végzi az eszköz. Inerciális mérőegysége gyorsulásmérőt, giroszkópot és magnetométert tartalmaz, kamerája 8 MP-es állóképek és 1080p30 videók rögzítésére képes a kevert valóságban. Ötcsatornás mikrofontömb segítségével van lehetőség a hangvezérlés és a hangrögzítés megvalósítására, hangszórói pedig térhatás biztosítására képesek. Vezérlése megvalósulhat tehát kézmozdulatokkal és hanggal egyaránt. Az autonómiát a beépített számítógép biztosítja, amely második generációs holografikus processzort, 4 GB rendszermemóriát tartalmaz, és 64 GB háttértároló kapacitással rendelkezik. Wifi 5 segítségével képes közvetlenül a vezeték nélküli hálózatokhoz való csatlakozásra, de rendelkezik Bluetooth 5 rádiós interfésszel is.⁶⁸ Az eszköz és egy alkalmazás közbeni kijelzőkép a 9.18. képen tekinthető meg.

Összefoglalva tehát VR esetén a környezet teljes egészében mesterségesen generált tér virtuális objektumokkal, így ragadva ki a felhasználókat a lehető legnagyobb mértékben valós környezetükből, AR esetén a minket körülvevő valós környezetet látjuk virtuális objektumokkal kiegészítve, MR esetén pedig mindkét dimenzióban képesek vagyunk tevékenységet folytatni. Kiterjesztett valóság esetén a környezetünkben található valós tárgyakat fel lehet ruházni digitális interaktív tartalommal (szöveges, audió, videó), míg a kevert valóságban lehetőségünk van interakcióba lépni virtuális és valós objektumokkal egyaránt.

A különböző alternatívvalóság-technológiák mára – számos más felhasználási terület mellett – alkalmassá váltak tehát arra, hogy akár teljesen virtuális környezetben mutassunk be történelmi jelentőségű helyszíneket, épületeket, eseményeket interaktív módon a felhasználók számára, vagy valós környezetben holografikus módon vizualizáljuk akár georeferált 3D tartalmak formájában az eredeti helyszínek korábbi állapotát. Mi mindkét megoldásban rejlő lehetőségeket igyekszünk kihasználni Zrínyi-Újvár digitális rekonstrukciója során.

⁶⁸ Microsoft [é. n.].

ZRÍNYI-ÚJVÁR DIGITÁLIS REKONSTRUKCIÓJA

A Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Ludovika-történeti Kutatóműhelyének lelkes csoportja immáron csaknem két évtizede foglalkozik jogelőd intézménye, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem névadójának, a költő és hadvezér Zrínyi Miklósnak, valamint családjának történelmi, illetve kulturális öröksége feltárásával és megőrzésével. Ennek során a fő hangsúly Zrínyi-Újvár helyének és környezetének vizsgálatára, az 1664-es ostrom nyomainak felkutatására, illetve a Muraköz védelmére kiépített rendszer átfogó értékelésére és elemzésére helyeződött. A hadirégészeti, csata- és hadszíntérkutatási munkálatok műszeres támogatása mellett számos más kutatás-módszertani megközelítést, korábban már ismerttetett technológiát és technikai megoldást alkalmaztunk, amelyeket a katonai műszaki képzés színvonalának emelése és gyakorlatorientált jellegének erősítése érdekében más területeken való felhasználás szempontjából is vizsgáltunk. Az egyik legizgalmasabb terület ezek közül maga a vizualizáció, hiszen az emberi érzékelés során megszerzett információ túlnyomó többsége a látásból származik. A továbbiakban tehát az ezen a területen elért eddigi eredmények megjelenítésének különböző lehetőségeit mutatjuk be, kiemelt figyelmet szentelve a kiterjesztett/kevert valóság alkalmazhatóságának.

Két kiemelt, önállóan is életképes, egymással mégis szorosan összefüggő felhasználási területet azonosítottunk, amelyek egyrészt a jelenlegi technológiai lehetőségekkel már bizonyítottan megvalósíthatók, másrészt a befektetett munka gyorsan hasznosítható eredményhez vezet. Az egyik a terepen, kutatási helyszíneken is alkalmazható kiterjesztettvalóság-alapú szimuláció, a másik a kiállítások, bemutatók, előadások támogatása érdekében készített animációk létrehozásának lehetősége. Az utóbbi igazából munkafolyamatot jelent, illetve az általa igényelt informatikai infrastruktúrális hátteret, amely lehetővé teszi a különböző elképzelésekhez, igényekhez illeszkedő tartalmak, animációk elkészítését viszonylag rövid idő alatt, akár a 3D modellezésben kevésbé jártas felhasználók számára is. Mindkettő alapja, hogy Zrínyi-Újvár korabeli környezete már rendelkezésre áll annak 3D digitális modelljének (9.14–9.15. kép) formájában. A 2016–2017-ben a vár környékén végzett LIDAR-os felmérések eredményeit felhasználva Balog Ferenc Unity számítógépes vizualizációs motor segítségével készítette el Zrínyi-Újvár szimulációját. Mivel a felmérés alapján készített terepmodell a terület aktuális állapotát tükrözte, így azt először manipulálni



9.19. kép. Zrínyi Miklós fából készült szobra (elől), a háttérben pedig annak 3D szkennel segítségével előállított digitális ikerpárja egy laptop kijelzőjén

Forrás: a szerzők szerkesztése

kellett, a hadszíntérkutatás során előkerült leletek lokalizációja, illetve a korabeli feljegyzések, leírások, vázlatok és metszetek alapján, figyelembe véve a korábban végzett geodéziai felmérések eredményeit is. A módosított terepre felépített 3D környezetet és a szimulációt számítógépes program formájában, alapvetően sík kijelzőn történő megjelenítésére fejlesztette le (9.19. kép).

A korábban bemutatott technológiai fejlődés következtében egyrészt az okos eszközök, másrészt a vizualizációs megoldások területén olyan VR-/AR-/MR-képes eszközök jelentek meg, és váltak bárki számára elérhetővé a piacon, amelyek az immerzivitás teljesen más szintjét kínálják a felhasználók számára, és lényegesen intenzívebb élmény kiváltására alkalmasak. Ezeket és a jelenleg elérhető fejlesztőkörnyezetek eszközrendszereit felhasználva létrehozhatóvá és virtuális, kiterjesztett vagy kevert valóság formájában bemutathatóvá válik az egykori vár digitális ikerpárja. Ennek kialakítása során, a lehető legnagyobb hitelesség érdekében, minden eddigi kutatási eredményt felhasználunk. Terveink szerint az eredmény egyszerűbb formája az okostelefonok kijelzőjén, lényegesen komplexebb élményt és érzetet nyújtó változata pedig VR-/AR-/MR-szemüvegek (például Microsoft HoloLens 2) segítségével válik megtekinthetővé, akár az eredeti helyszínen is.

Az erőforrások lehető leghatékonyabb kihasználása, az egyszerű kezelhetőség, valamint a széles körű hozzáférhetőség érdekében a vár egyes elemei az adott helyszínen vett perspektívával rávetíthetővé válnak az okostelefonok kijelzőjére, azaz amikor körbeforgatjuk azt a helyszínen, a kijelzőn megelevenedik a korabeli



9.20. kép. A Pokémon GO alkalmazás – valóság és annak kiterjesztése

Forrás: TechRevolve [é. n.]

táj. Ugyanakkor a környezet statikus megjelenítése mellett lehetőség van annak dinamikus tartalommal való megtöltésére is, azaz akár a katonák mindennapi életének vagy az ostrom időszakának egyes mozzanatai is megtekinthetővé válnak.

A mobiltelefonnal elérhető AR-tartalmak egyik legkorábbi példája a rövid idő alatt nagy népszerűsége szerzett Pokémon GO alkalmazás (9.20. kép) volt, egy olyan játék, amely kihasználta a kiterjesztett valóságban rejlő technológiai potenciált, és valódi földrajzi koordinátákhoz animált 3D figurákat, feladatokat és cselekményeket generált. Maga az elv egyszerűen átültethető például oktatási célú tartalmak vagy régészeti eredmények, történelmi helyszínek, épületek bemutatására (9.21. kép), így a mi esetünkben Zrínyi-Újvár régészeti feltárásának vizualizálására is.

Az interaktivitás érdekében rövid szövegek, képek, mikroszkópos anyagminta-elemzések, videók, 3D ábrák, térképek, műszeres vizsgálatok eredményei, akár a feltárt terepszakasz tárgyainak digitalizált másai is megjeleníthetők. Ezeket a lehetőségeket akár külön réteggént be, illetve ki is lehet kapcsolni.

Színészek vagy a helyi közösségből felkért jellegzetes orgánummal rendelkező, ismert előadók segítségével akár korabeli karakterek is megszólaltathatók. Ez utóbbi előnye lehet, hogy alkalmas a helyi lakosság érdeklődésének felkeltésére és közösségi aktivitása növelésére, mivel ismeretségük okán magukénak érezhetik majd a végeredményt, amelyet így büszkén terjeszthetnek, és hivatkozhatnak rá. A korszerű képi feldolgozási algoritmusok segítségével akár az ostrom magyar, horvát, osztrák, oszmán vezéralakjai is életre kelthetők hasonló megoldásokkal, mint az a 9.22. képen és a hivatkozott videón is látható két dimenzióban.



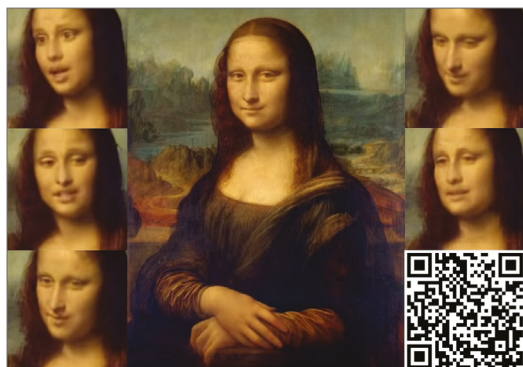
9.21. kép. Példa a kiterjesztett valóság régészeti felhasználására

Forrás: Wikimedia [é. n.]

A különböző nézetek közti váltás lehetősége, a vár teljes modellje és az aktuális tartózkodási hely közötti „ugrások” fokozzák az események áttekinthetőségét, segítik a szemlélő virtuális objektumok közötti tájékozódását, a cselekmények, személyek, leletek közötti kapcsolatok felfedezését, a történelmi múlt megismerését, a saját vélemény kialakítását. Ezzel a hagyományos „múzeumi érzet” is jelentősen csökkenthető, a résztvevő az élmény részesévé válik, sőt maga is aktívan alakíthatja a megismerés folyamatát. Például tetszőleges útvonalon járhatja be a vár és az ostrom egyes helyszíneit vagy több szemszögből újra megvizsgálhat egy-egy eseményt, jelenetet, vagy éppen az érdeklődési köre, illetve a rendelkezésre álló idő függvényében csak tematikus sétát tesz a korabeli helyszínen.

Az emberi tudat nehezen dolgoz fel olyan elvonatkoztatásokat, mint az idő évszázadokban mérve, távolságok 100 km-es léptékben vagy embertömegek tízezrei. A számítógépes animációk ezek kontextusba helyezésében, megértésében, a kapcsolódó képzettársítás, új látásmód kialakításában is segíteni tudnak, feloldva az esetlegesen kialakuló kognitív disszonanciát. Mit jelenthetett például annak idején Kanizsától Zrínyi-Újvár falai alá eljutni? Mennyi élelmet, milyen módon lehetett szállítani, tárolni? Mekkora területet foglalt el az oszmán vagy éppen az osztrák–magyar tábor? Hány ember munkájával és mennyi idő alatt épült meg a vár? Mekkora munka volt az erőd ostromot követő pusztítása?

A lehetőségek tárháza tehát csaknem korlátlan, a fentiek áttekintését követően ugyanakkor mindenképpen célszerű először végiggondolni, milyen lépéseken keresztül juthatunk el a kívánt végeredményhez, a vár és az események immerzív virtuális rekonstrukciójához.



9.22. kép. *Mona Lisa* (manipulált képek és videó)

Forrás: Artnet [é. n.]; The Telegraph 2019

Kutatás: Minden projekt legfontosabb alapozó lépése maga a kutatás folyamata, amikor is a lehető legtöbb információ birtokába kell jutni a rendelkezésre álló források kritikai elemzésén, a helyszíneken talált leletek azonosításán, a helyszínen végzett felmérések értékelésén keresztül. Az egyik legfontosabb feladat a vár fizikai kiterjedésének, falai és épületei elhelyezkedésének megállapítása, amiben segítséget nyújtanak a korabeli leírások, metszetek, vázlatok, amelyek adatait a régészeti feltárások, a csata- és hadszíntérkutatás eredményei alapján pontosítani tudjuk. Esetünkben a vár falait, a feltételezett támadási irányokat, az ostromárkokat elsősorban fémkeresők és más műszeres megoldások segítségével végzett kutatómunka eredményeként tudtuk meghatározni, a fellelt muskétagyolók, repeszek és ágyúgolyók helyének pontos meghatározásával, a geolokációs adatok és orientációk térképi adatbázisba rendezésével. Ennek folyamatát, a felhasznált eszközöket és megoldásokat korábban számos publikációban már bemutattuk.⁶⁹

Koncepciókészítés: A középkori vár pontos helyének, kiterjedésének és orientációjának meghatározását követően a látványvilág megalkotása a következő feladat, amelyhez számos koncepciórajz elkészítésére van szükség. Napjainkban már óriási segítséget jelenthet a mesterséges intelligencia eszköztára ebben, a gépi tanulási alapokon nyugvó képgeneráló szoftverek. A kielégítő eredmény érdekében ugyanakkor megfelelő tanító adatbázisok kialakítására van szükség, amelyek elemei alapvetően az adott korból származó erődítményekről, épületekről,

⁶⁹ NÉMETH–SZABÓ 2019; NÉGYESI et al. 2020; NÉGYESI et al. 2014 és 2021; PADÁNYI et al. 2015; FELETAR 2021.



9.23. kép. Égett fagerenda a vár kútjából

Forrás: a szerzők szerkesztése

fegyverekről, használati tárgyakról, öltözetekről, jelképekről készültek, rendszerezett fényképeknek, grafikáknak, metszeteknek, tervrajzoknak, alapanyagokról készített textúrák kell lenniük. Ezek alapján a szoftverek képesek legenerálni a teljes VR térre és annak egyes elemeire vonatkozó koncepciórajzokat, terveket.

Tervezés: Az elkészült koncepciórajzok alapján el kell készíteni a teljes környezet, a várfal, a várudvar, a gazdasági és lakóépületek, a kút, a folyópart, a halastó, a duzzasztógát, az ostromárokrendszer, az egyes lőállások, a redut, a kapcsolódó erődelemek, ágyúk, fegyverek, katonák textúrázott, lehetőség szerint fotorealistikus 3D modelljét. A játékfejlesztő motorok működésének, illetve a tervezett felhasználási környezet generálásának és animálásának korlátja lehet a rendelkezésre álló számítási kapacitás, ezért célszerű az egyes elemeket egymáshoz illeszkedő, de különálló projektfájlokban, modellekben elmenteni és kezelni. Ugyancsak fontos szempont lehet a 3D modellek felbontása és a textúrák részletgazdagsága, amely akár jelentősen el is térhet az egyes objektumok esetében, méretük, szerepük és láthatóságuk függvényében. A várról készült korábbi makett és digitális modellek egyaránt felhasználatók lesznek akár a tervezés, akár a végleges kialakítás során. Például megfelelő mennyiségű és minőségű maketról készített fénykép vagy modelltől generált kép segítségével ki lehet egészíteni a tervezett tanítóhalmazt a képgeneráló szoftver számára.

Objektumok létrehozása: Ennek a munkafolyamatnak négy útja lehetséges. Az egyedi, semmilyen valós lelettel vagy maradvánnyal nem rendelkező objektumtípusokat digitálisan újra kell alkotni, ami nagyon időigényes tevékenység, hiszen a modellt manuálisan kell felépíteni. Fontos, hogy a modellt



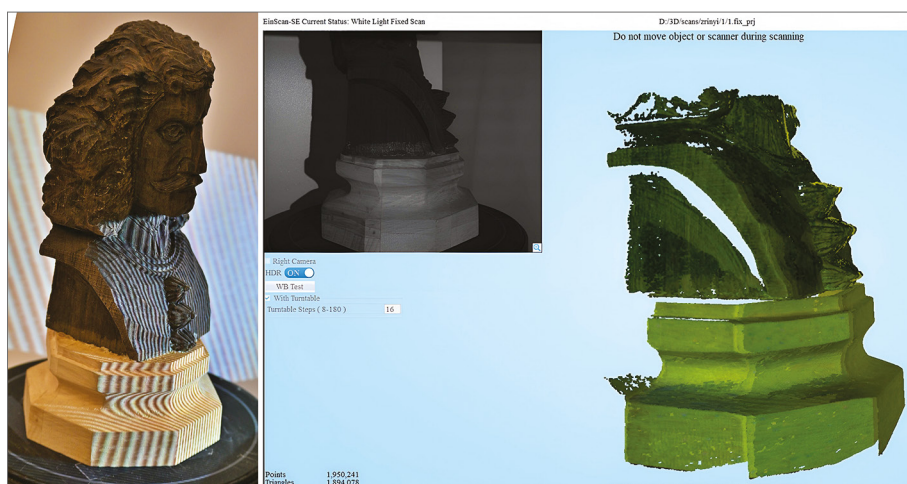
9.24. kép. Példák megvásárolható 3D modellekre

Forrás: balra fent: DE BOER 2021; jobbra fent: Dexsoft Games 2018; balra lent: GetDeadEntertainment 2022; jobbra lent: <https://turbosquid.com/3d-models/abandoned-battlefield-02-lowpoly-model-2086721>

borító textúrát is meg kell tervezni, amihez fel lehet használni valós tárgyak részletgazdag fotóit (9.23. kép). Másik módszer, hogy mások által már elkészített 3D modelleket szerzünk be (9.24. kép), olyan generikus elemeket, amelyek más virtuális környezetben, játékban, szimulációban már elfordulhattak (például vályú, ágyú, híd, bokor, fa, ló stb.). Ezeket a készítő vagy tulajdonos jogainak tiszteletben tartása mellett akár változtatás nélkül vagy digitális manipulációt követően használhatjuk fel saját projektünkben.

A harmadik lehetőség a meglévő tárgyak, leletek, maradványok digitalizálása a korábban bemutatott módszerek valamelyikével, azaz lézeres vagy strukturáltkfény-alapú 3D szkennerral (9.25. kép), továbbá nagyobb tárgyak, épületek, járművek, illetve területek esetén drónra függesztett LIDAR vagy fényképezőgép segítségével. Ez utóbbi esetben fotogrammetriai eljárások segítségével alkotható meg a térbeli modell a 2D fényképsorozatból.

A közeljövőben várhatóan egy negyedik módszer is elérhetővé válik, a korábban a tervezési lépésnél már említett mesterségesintelligencia-alapú eljárás, csak ezúttal magának a 3D modellnek a generálása történhet meg gépi tanulás segítségével (például 3DFY). Ez a megoldás egyelőre csak kísérleti stádiumban létezik és kizárólag laborkörülmények között teljesít jól, de rövid időn belül

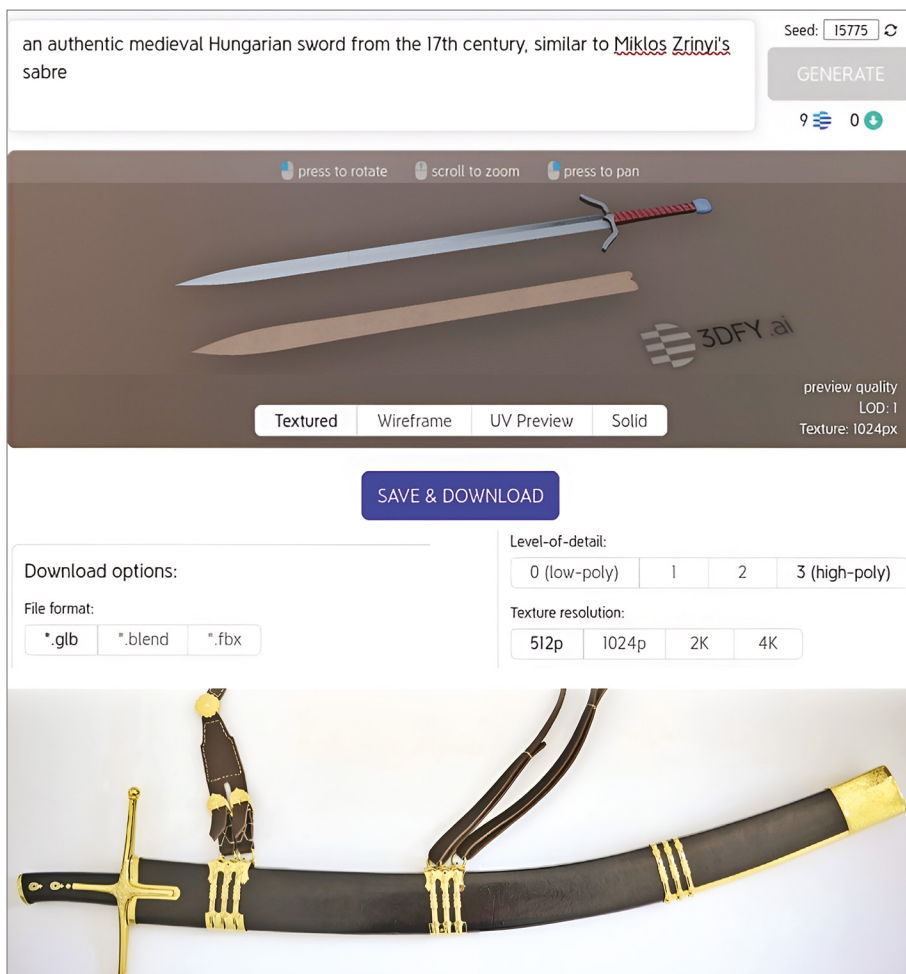


9.25. kép. A 3D szkennelés folyamata (balra)
és a mérési eredmények a számítógép kijelzőjén (jobbra)

Forrás: a szerzők szerkesztése

jelentősen lerövidítheti ezt a munkafolyamatot is. A 10.26. ábrán látszik, hogy az úgynevezett *prompt* (utasítás) mezőben angolul definiált elvárt eszköz (Zrínyi Miklós szabljájához hasonló hiteles középkori magyar kard a 17. századból) megjelenő 3D modellje számítógépes játékhoz akár megfelelő is lehet, de történelmi hitelessége nem mérhető, még nagyon messze áll akár a régészeti szempontból is elfogadható eredménytől (9.26. kép).

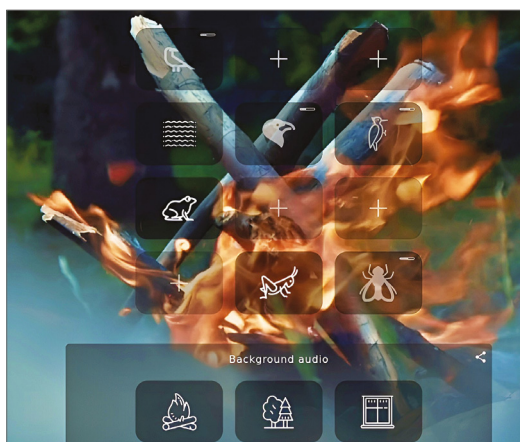
A 3D modellek megléte ugyanakkor csak szükséges, de nem feltétlenül elégséges feltétele az AR- vagy VR-környezetbe való integrálhatóságnak. Ehhez ugyanis arra van szükség, hogy a modellek paramétereit, felbontását a kiválasztott alternatívvalóság-környezetekben való valós idejű megjelenítéshez optimalizáljuk. Ha túl részletgazdagok (magas polinomszám), akkor a megjelenítés lehet rossz minőségű, amennyiben túlterheli a felhasználó által használt eszköz grafikus megjelenítőjét. Ha részletszegény, akkor pedig a grafika lesz felületes, rossz minőségű. A megfelelő vizualizáció érdekében vagy párhuzamosan generálunk különböző erőforrásigényű grafikákat, amelyek közül a futtató hardver paramétereire illeszkedőket a szoftver választja ki, és integrálja a szimulációba, vagy egységes, alacsonyabb erőforrásigényű, de elfogadható minőségű 3D modellekkel dolgozunk.



9.26. kép. Fent a 3DFY online felületen generált kard
3D modellje, lent szigetvári Zrínyi Miklós szabalyája
Forrás: fent: 3DFY [é. n.]; lent: KÖRMÖCZY 2020: 126

Programozás: A programozás a felhasználói interakciók, a fizikai szimulációk, a megvilágítási effektusok és egyéb funkciók megvalósításához szükséges kód előállítását jelenti. A Unity VR-fejlesztési eszközök és API-k⁷⁰ széles választékát kínálja e folyamat megkönnyítésére. Az utóbbi években ugyanakkor a szoftver

⁷⁰ Application Programming Interface (alkalmazásprogramozási felület).



9.27. kép. Online hanggeneráló platform kezelőfelülete tábornóz esetén

Forrás: SoundScape [é. n.]

fejlesztői sajnos jelentősen átalakították a program licenszelését, így a korábbi koncepciótól el kell majd térnünk, és nem tudjuk kizárólag ingyenes eszközökkel létrehozni a szimulációt.

Tesztelés és iterálási szakasz: Bár a szimulációs szoftverkörnyezet kialakítása is fontos lépés, annak érdekében, hogy történelmileg is a lehető leghitelesebb végeredményt kapjunk, rendszeresen tesztelni kell a megvalósított alkalmazást, hogy azonosítani és javítani tudjuk a felmerülő problémákat, hibákat. Ennek keretében egyrészt a jövőbeni felhasználói kört lemodellezve kialakított teszt-csoportokkal el kell végezni a 3D élmény és a kezelhetőség vizsgálatát, másrészt gondoskodni kell a tartalom szakmai lektorálásáról is a kutatásban részt vevő, illetve attól független kutatók, az adott történelmi kor szakértői, régészek, had-történészek és muzeológusok bevonásával.

Optimalizálás: Az elkészült projektet vizuális megjelenítés szempontjából az erőforrás-optimalizálás keretében át kell skálázni a poligonszám csökkentésével, a textúrák paramétereinek változtatásával és hatékony renderelési technikák alkalmazásával, annak érdekében, hogy a tervezett megjelenítőeszközön az zökkenőmentesen futtatható legyen.

Hanghatások: Az immerzió és a felhasználókra gyakorolt hatás fokozása érdekében elengedhetetlen, hogy az elkészült applikáció vizuális élményét valósághű hangeffektekkel, esetleg háttérzenével, illetve narrációval egészítsük ki, amelyek igénybevételéről maga a felhasználó dönthet. A hanghatások

létrehozása lehetséges valós tevékenységek, események, jelenségek során keletkező hangok rögzítésével, esetleg azok utólagos digitális manipulációjával, továbbá mesterségesintelligencia-alapú platformok felhasználásával, gépi tanulás segítségével. Ma már léteznek olyan online felületek is, ahol különböző környezetekre jellemző zajok, komplex hanghatások generálhatók. Ilyen például a *soundescape.io*, amelynek kezelőfelülete a 9.27. képen látható.

Mi a fenti módszertant követve tervezzük megvalósítani Zrínyi-Újvár környezetének virtuális rekonstrukcióját. A folyamat során szerzett tapasztalatok később más területeken is hasznosíthatóvá válhatnak.

AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSÁNAK TOVÁBBI LEHETŐSÉGEI

A fenti folyamat eredményeként megvalósuló szimulációs környezet, valamint az abba integrált 3D objektumok, modellek számos további felhasználási lehetőséget kínálnak az applikációban való alkalmazás mellett:

- szemléltetőábrák, animációk készíthetők segítségével, amelyeket előadások, publikációk illusztrálására használhatunk;
- a történelemoktatásban is hasznosíthatók azok a szimulációk, animációk, amelyek ezek felhasználásával készíthetők;
- történelmi koncepciók, hipotézisek ellenőrizhetők segítségével;
- a helyszínen végzett kutatások eredményei megoszthatók távoli kutatókkal a VR-térben, ahova akár megbeszélések, bemutatók is tervezhetők;
- a helyszín turisztikai vonzereje gazdaságosan növelhető a korhű eszközök, valamint a leletek digitalizált modelljének integrációjával, anélkül, hogy a régészeti leletek állagát veszélyeztetnénk;
- régész-, történész- és muzeológusképzésekben különböző vizsgálati módszerek, eljárások mutathatók be, és sajátíthatók el a virtuális térben.

A fenti eljárást követve kialakított digitális terek az alábbi kapcsolódó területeken jelenthetnek még hatékony segítséget a különböző szakemberek, érdeklődő felhasználók számára:

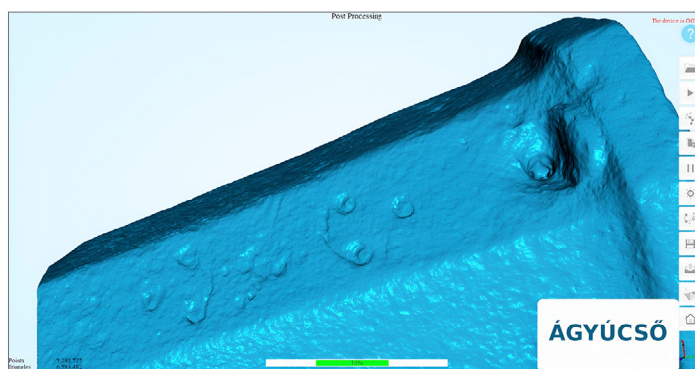
- Zrínyi-Újvár példájához hasonlóan más régészeti lelőhelyek vagy háborúkban megsérült, elpusztult városrészek újrateremtése, digitális rekonstrukciója. A technológia segíthet a történelmi jelentőségű helyszínek,



9.28. kép. Pillanatkép a Budapest születése című
filmből – a Szent Gellért szobra alatti terület
Forrás: Animatiqua 2023

események különböző korszakokban, eredeti környezetben történő bemutatásában, akár olyanok esetén is, amelyek későbbi időszakok építkezései, területrendezési törekvései vagy természeti hatások miatt jelentősen megváltoztak. Ezek hitelessége, történelmi hűsége nagyban függ a kutatások és a technikai megvalósítás érdekében tett erőfeszítések mértékétől, a beszerezhető információk mennyiségétől és minőségétől. Ennek speciális esete a korabeli fényképfelvételek felhasználásával megvalósított kvázi 3D rekonstrukció, amelynek során a vizuális manipuláció széles eszköztárának felhasználásával kelthetők életre korabeli helyszínek. Ez ugyan nem jelenti a tér tényleges 3D felépítését, mégis képes a térhatás érzetének kialakítására, látványos bemutatók készítésére. Eerre szemléletes példa az Animatiqua *Budapest születése* című filmje, amely a főváros 150 éves születésnapjára készült (9.28. kép).

- ♦ Az ásatási helyszínek, feltárási munkák dokumentálása a régészeti feladatok egyik legfontosabb eleme, amelyben a 3D vizualizációs technológiák hatékonyságnövelő szerepe mára már megkérdőjelezhetetlen. A helyszín, a leletek és azok elhelyezkedésének 3D-ben történő pontos rögzítése, a generált és helyreállított modellek kiterjesztettvalóság-szemüvegek segítségével a valós helyszínre vetítésével történő megjelenítése lehetőséget teremthet a más módon észre nem vehető összefüggések felismerésére,



9.29. kép. Jellövő mozsárról (ágyú) 3D szkennel segítségével készített nagy felbontású modell, amelyen jól kivehető a felszín mintázata

Forrás: a szerzők szerkesztése

későbbi elemzésére. A technológia lehetőséget biztosít arra, hogy ezeket a helyszíneket akár fizikai jelenlét nélkül is vizsgálni, szemléltetni tudjuk. Ennek köszönhetően egy időben akár több, helyileg távoli kutatócsoport egymástól függetlenül vagy akár együttműködve is vizsgálhatja az adott területet, külső szakértőket vonhat be például egyes leletek azonosításába. Szakmai (akár nemzetközi) adatbázis kialakítása esetén segítséget lehet kérni akár valós időben adott téma, terület, kor vagy technológia szakértőjétől, például a konzerválási módszer megválasztása során, további kutatási irányok meghatározásához vagy éppen nem kutatásspecifikus tárgyak azonosításában.

- ♦ A turisztika és ismeretterjesztés területén a technológiában rejlő potenciálok a korábban említett megoldások alkalmazásával aknázhatók ki hatékonyan. Az AR-technológia használatával az adott helyszínre látogató turistáknak lehetőségük nyílik betekinteni akár a régészeti kutatások folyamatába, miközben számos kiegészítő információhoz juthatnak, magyarázatot kaphatnak, ami segíti a kutatási eredmények disszeminációját, miközben az érdeklődők az adott helyszín egészét vagy egyes részleteit is megtekinthetik korabeli állapotukban különböző perspektívákból a rekonstruált 3D modellek segítségével.
- ♦ Az oktatás és a kutatás területén a fent már részletezett előnyökön túlmenően további lehetőségek nyílnak meg, ha nagy részletességű, esetleg textúra nélküli 3D modelleket is tárolunk adott eszközökről, amelyek

segítségével szabad szemmel nehezen észrevehető vagy egyáltalán nem látható rendellenességeket, jellegzetes jegyeket lehet felfedezni (9.29. kép), azonosítani, különböző eszközökön összehasonlítani, amivel további információkhoz juthatunk, megcáfolhatunk korábbi teóriákat, illetve újakat állíthatunk fel. Az ilyen módon szerzett tapasztalatok a kutatás mellett az oktatás számos területén is hasznosíthatók.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK, EREDMÉNYEK

A diszruptív technológiák napról napra egyre gyorsuló ütemben változtatják meg mindennapi életünket annak minden kapcsolódó szegmensével, így a tudományt, a kultúrát és az oktatást is. A számítástechnika, az informatika és az internet világában a mai fiataloknak már egészen más készségekre, ismeretekre és ingerekre van szükségük ahhoz, hogy helyt tudjanak állni az iskolában, otthon és a munkahelyen egyaránt. A lexikális tudás háttérbe szorulásával az információkhoz való hozzáférés, az azok szintetizálására való képesség és az azokkal végzett különböző műveletekben való jártasság, illetve az ennek során alkalmazott módszerek, továbbá az ezeket a folyamatokat támogató technikai eszközrendszerek hatékony használatára való affinitás határozza majd meg az egyén boldogulását. A különböző XR-technológiák innovatív megoldásokat kínálnak az információk vizualizációjára, ezáltal egyrészt felgyorsítva a megismerési és elsajátítási folyamatokat, másrészt lehetővé téve rövid időn belül olyan munkafolyamatok akár önálló elvégzését is, amelyekkel a felhasználó korábban még soha nem találkozott.

A tanulmány tematikájához közvetlenül kapcsolódva az alternatívvalóság-alapú megoldások megváltoztatják a múlt feltárásának, a kutatók közti kollaborációnak, illetve az eredmények bemutatásának módját egyaránt, miközben a mesterséges intelligenciát (AI) és a gépi tanulást (ML) integráló módszerek segíthetnek a kutatási folyamat minden egyes szakaszában annak hatékonyságának növelésében, vagy éppen trendek és törvényszerűségek felfedezésében, párhuzamok állításában, szcenáriók kidolgozásában, leletek elemzésében, rendszerezésében, kor- és anyagmeghatározásában, funkciójának kiderítésében. Ugyanakkor az AI képes lehet arra is, hogy modelleket, textúrákat, hangokat, komplex környezeteket, eseményeket, interaktív, audiovizuális és immerzív virtuális tartalmakat generáljon, ezáltal a történelem digitális

rekonstrukciójában is hatékony segítséget nyújthat. Ehhez természetesen első körben jól strukturált és feltöltött adatbázisokra, hiteles, ellenőrzött forrásokra van szükség. Ez utóbbiban rejlik az AI alkalmazásának egyik legnagyobb veszélye is, hiszen ha a tanítóhalmazokba véletlenül, gondatlanságból vagy szándékosan téves, helytelen vagy hamis adatok kerülnek, azok megváltoztatják az algoritmusok kimenetét, ezáltal a generált új információ is téves/hamis lesz. (Tanítóhalmazok is generálhatók, illetve manipulálhatók AI segítségével.) Azaz a szakemberek szerepe a történelemhez kapcsolódó tudományok területén is jelentősen meg fog változni a jövőben. A fizikai jelenlétet igénylő információk előállításában való közreműködés mellett (régészeti feltárások, hadszíntérkutatás) a tanítóhalmazok feltöltésére használható információk strukturálását és ellenőrzését, az AI által generált végeredmények visszaellenőrzését, szükség szerint módosítását is el kell majd végezniük. Ennek a jelentősége abban áll, hogy egy kutatási folyamat során keletkező új információ egy következő, mesterséges intelligencia segítségével végzett kutatás bemeneti paramétere lehet, és ha az hibás, az abból levont következtetés is hibás lesz, így könnyen kerülhetünk abba a helyzetbe, hogy a gépek olyan múltat kreálnak nekünk rövid idő leforgása alatt, amelynek a valósághoz nincs köze. Humán szakmai kontroll nélkül ez nagy valószínűséggel bekövetkező eseménynek tekinthető, amelynek hatása az emberiség jövőjére nézve jelenlegi gondolkodásmódunkkal egyszerűen megjósolhatatlan.

A fentiek alapján az mindenképpen kijelenthető, hogy a jövő legfontosabb tudományai az adat- és hálózattudományok lesznek, hiszen ezek alapjaiban befolyásolják majd – közvetlenül és közvetve egyaránt – az összes többi tudományterületen zajló kutatásokat, a végbemenő változások irányát és eredményeit.

A diszruptív technológiák használatára való felkészülés egyik leghatékonyabb módszere lehet a gamifikáció, amelyet Zrínyi-Újvár szimulációjában is tervezünk alkalmazni. A különböző alternatívvalóság-technológiák kifejezetten alkalmasak arra, hogy játékos elemekkel kiegészítve a bemutatót, oktatóanyagot az adott terület iránt kevésbé érdeklődőket is meg tudjuk szólítani. A történelmi események vagy helyszínek bemutatása ezáltal akár szórakoztató és tanulságos közösségi élménnyé is válhat. A továbbiakban bemutatunk néhány lépést, lehetőséget arra, hogyan válhat Zrínyi-Újvár szimulációja egyszerre akár történelmileg hiteles oktatóprogrammá és élvezhető játékká. Elsőként a területen azonosítani kell, majd kijelölni azokat a helyszíneket, amelyek egyrészt a régészeti feltárás, másrészt a hadszíntérkutatás eredményei szempontjából érdekesek lehetnek, vagy ahová eseményeket, jeleneteket, objektumokat tervezünk elhelyezni,

amelyekhez a felhasználó számára interakciókat, feladatokat rendelhetünk. A történelmi hűség érdekében mindenképpen célszerű megkülönböztetni a bizonyított, vélelmezett vagy akár teljesen fiktív elemeket, részleteket, hiszen annak érdekében, hogy a felhasználónak ne maradjon hiányérzete, és a hatás valóban komplex lehessen, mindenképpen ki kell egészíteni az ismert tényeket és kutatási eredményeket mostanáig nem ismert információkkal, mint például a vár „sötét kapu”-jának pontos helyével. A következő lépés, hogy a kiválasztott helyszínekhez kapcsolódó információkat strukturáljuk, amelyek lehetnek objektumok leírásai, eszközök, tárgyak, fegyverek 3D modelljei, működési leírásai, animációk, fotók, videók, metszetek, ábrák, könyvrészletek, idézetek vagy éppen konkrét eseményeket, cselekményeket bemutató interaktív jelek. Ezek megjelenítése során szintén biztosítani kell a bizonyított tények és egyéb információk egyértelmű megkülönböztethetőségét. A játékos feladatok interaktivitását biztosító „nyomok”, illetve „kincsek” körének és szerepének meghatározása, valamint elhelyezésük a virtuális térképen a következő lépés, majd meg kell vizsgálni az így kialakított pálya hosszát és a terepen történő tényleges bejárásához szükséges időt. A virtuális és a valós tér megbízható összekapcsolása érdekében lehetőség van a terepen QR-kódok kihelyezésére is, amelyek segítik az adott helyszínen végrehajtandó feladat gyors azonosítását, virtuális térben való előhívását. Többféle játékmód kialakítása is lehetséges, amelyek közül az egyik, ha a „zászlófoglaló” játékokhoz hasonlóan az egyes önálló vagy összefüggő feladatok helyes megoldásáért virtuális zászlókat adunk. A feladat helyes megoldását követően kapjuk meg a következő feladat helyszínét is, ahova a megjelenítésre használt eszköz kijelzőjén felbukkanó nyilak akár oda is vezethetnek. A felhasználó minden helyszínen megkapja az annak történelmi jelentőségéről szóló tájékoztatást és a feladat megoldásához szükséges kapcsolódó információkat akár hang, kép, videó, szöveg, animáció vagy ezek tetszőleges kombinációja formájában. Mindent el kell követni a felhasználó biztonsága érdekében, amelynek legfontosabb feltétele a terepen való mozgás balesetmentesen történő végrehajtásának biztosítása. Amikor az applikációba integrált játékos pálya elkészült, megkezdődhet a tesztelés, amelynek során ellenőrizni kell magát a felhasználói biztonságot, illetve a feladványok teljesíthetőségét, a ritmust és a figyelem fenntarthatóságát. Meg kell bizonyosodni arról is, hogy minden nyom egyértelmű, és a helyszínek az utasítások, illetve a navigáció alapján könnyen megtalálhatók. A játékhhoz különböző szabályok is rendelkezhet az arra szánt idő vagy a résztvevők létszáma, illetve kora alapján. A szabályok

rögzíthetik például az egy feladat megoldásához szükséges személyek számát, az időkorlátokat vagy éppen a helyszínek sorrendjét. A játékmenet megkezdése előtt a felhasználókat tájékoztatni kell az esetleges veszélyforrásokról, természet- és kulturális örökségvédelmi szabályokról, az applikáció korlátairól. Érdekesebbé tehető a játék például iskolás csoportok számára, ha pontrendszert is rendelünk a játékmenethez, ami lehetőséget biztosít a versenyzésre, vagy virtuális jutalmakat integrálunk a rendszerbe. Természetesen a szoftver tetszőlegesen kiegészíthető további praktikus funkciókkal is, mint például hibabejelentő, további turisztikai célpont, illetve étkezési, szállás- vagy programlehetőség-ajánló.

Tanulmányunkban a diszruptív technológiák bemutatásán keresztül az azok alkalmazásában rejlő lehetőségekre hívtuk fel a figyelmet általánosságban a történelemtudományok, szűkebb értelemben a hadirégészet, valamint a csata- és hadszíntérkutatás területén, kiemelt figyelmet szentelve az eredmények vizualizációjának, az XR-technológiák és a mesterséges intelligencia felhasználásának. Zrínyi-Újvárhoz kapcsolódó kutatási eredményeink digitális archiválását és virtuális bemutatását célzó projekttervünk ismertetésén keresztül pedig arra törekedtünk, hogy érzékeltesük történelmi és kulturális örökségünk megőrzésének és disszeminációjának fontosságát, valamint a gamifikáció jelentőségét a kapcsolódó oktatási és tudományos ismeretterjesztő tevékenységek hatékonyságának növelésében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- ARUTE, Frank et al. (2019): Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor. *Nature*, 574, 505–510. Online: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- ELTE (2023): Az ELTE is szerepet vállalt a 6G mobilhálózatok fejlesztésében. *Eötvös Loránd Tudományegyetem*, 2023. május 5. Online: <https://elte.hu/content/az-elte-is-szerepet-vallalt-a-6g-mobilhalozatok-fejleszteseben.t.28118>
- Back to the Future* (1985). Rend. Robert Zemeckis. Universal Pictures – Amblin Entertainment. Online: <https://filmaffinity.com/en/film309023.html>
- CASTELVECCHI, Davide (2023): „Mind-blowing” IBM Chip Speeds Up AI. *Nature*, 623(17). Online: <https://doi.org/10.1038/d41586-023-03267-0>
- CHRISTENSEN, Clayton M. – RAYNOR, Michael E. – McDONALD, Rory (2015): What is Disruptive Innovation? *Harvard Business Review*, (12), 44–53. Online: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>
- CLEMENT, Sven (2023): *Novel Materials and Additive Manufacturing*. Special Report, NATO Science and Technology Committee. Online: <https://nato-pa.int/download-file?filename=>

- sites/default/files/2023-10/033%20STC%2023%20E%20rev.1%20fin%20-%20NOVEL%20MATERIALS%20-%20CLEMENT%20REPORT.pdf
- Drone Girl (2022): Archaeological Surveys: How Drones Became an Essential Tool for Historians. *The Drone Girl*, 2022. január 11. Online: <https://thedronegirl.com/2022/01/13/archaeological-surveys/>
- DUNN, David Hastings – WOLFF Stefan (2023): Ukraine War: Drones are Changing the Conflict – Both on the Frontline and Beyond. *The Conversation*, 2023. augusztus 16. Online: <https://theconversation.com/ukraine-war-drones-are-changing-the-conflict-both-on-the-frontline-and-beyond-211460>
- EMBER István (2022): Modern kumulatív töltet méretezésének lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(1), 5–15. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.1.1>
- EMBER István (2023): Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére. In SZELEI Ildikó (szerk.): *A hadtudomány és a 21. század*. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) – Colorcom Media, 9–15. Online: <https://hdi.uni-nke.hu/document/hdi-uni-nke-hu/hadtudomany-es-a-21-sz-kotet-2023.pdf>
- EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- FELETAR, Dragutin et al. (2021): *Utvrdi Novi Zrin na Muri*. Čakovec: Meridijani izdavačka kuća.
- FERRIE, Christopher (2023): Quantum Computers in 2023: How They Work, What They Do, and Where They're Heading. *University of Technology Sydney*, 2023. október 19. Online: <https://uts.edu.au/news/tech-design/quantum-computers-2023-how-they-work-what-they-do-and-where-theyre-heading>
- FICSOR Botond – HEGEDŰS Ernő (2023): A 3D fémnyomtatás alkalmazhatóságának vizsgálata MALE-kategóriájú UAV-dízelmotor fejlesztésére: 3D nyomtatással gazdaságosan gyártható könnyített szerkezetű alkatrészek és részegységek a repülő szakterületen. *Katonai Logisztika*, (1–2), 38–72. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-038>
- FIZ, José Ignacio et al. (2022): Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. *Drones*, 6(3), 59. Online: <https://doi.org/10.3390/drones6030059>
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GULYÁS Attila (2022): Az 5. generációs telekommunikációs hálózatok fejlesztési irányai. I. rész. *Haditechnika*, 56(4), 13–19. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.4.03>
- IBM [é. n.]: *Technology*. Online: <https://ibm.com/quantum/roadmap>
- Intel (2023): Gordon Moore, Intel Co-Founder, Dies at 94. *Intel*, 2023. március 24. Online: <https://intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/gordon-moore-obituary.html>
- KÁLLAI Attila (2016): Zrínyi-Újvár feltárásának térképészeti munkái. *Geodézia és Kartográfia*, 68(5–6), 4–10.
- KÁROLY Krisztián (2018): Globális műholdas navigációs rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta- és erőkövetési rendszerekben (1.). *Honvédségi Szemle*, 146(1), 83–97. Online: http://real.mtak.hu/124857/1/HSZ_2018_146_1_Karoly_Krisztian.pdf

- KÖRMÖCZY Dávid (2020): Zrínyiek a haza szolgálatában. *Hadtudomány*, 30(3), 124–128. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/hadtudomany/article/view/6182/4839>
- NÉGYESI Lajos et al. (2014): Zrínyi-Újvár kutatása a terepen. In HAUSNER Gábor – PADÁNYI József (szerk.): *A Zrínyiek és a honvédelem*. Budapest: Nemzeti Közszerzői Egyetem, 39–60.
- NÉGYESI Lajos et al. (2020): Zrínyi-Újvár kutatása a hadirégészeti eszközeivel I. *Haditechnika-történet*, 54(6), 64–68. Online: http://real.mtak.hu/118227/1/HT_2020-6_cikk_13.pdf
- NÉGYESI Lajos et al. (2021): Zrínyi-Újvár kutatása a hadirégészeti eszközeivel II. *Haditechnika-történet*, 55(1), 67–70. Online: http://real.mtak.hu/121801/1/HT_2021-1_cikk_13.pdf
- NÉMETH, András (2018a): Technical Dimensions of the Development of Unmanned Aerial Systems and Their Impact on Public Service Uses. *AARMS*, 14(3), 149–163. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2018.3.10>
- NÉMETH András (2018b): UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során I. *Hadmérnök*, 12(2), 37–60. Online: http://hadmernok.hu/182_04_nemeth.pdf
- NÉMETH András (2018c): UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során II. *Hadmérnök*, 13(3), 68–86. Online: http://hadmernok.hu/183_06_nemeth.pdf
- NÉMETH András et al. (2019): A katonai alkalmazású autonóm terepjáró járművek fejlesztésének egyes kérdései. I. rész. *Haditechnika*, 53(4), 11–16. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.53.4.02>
- NÉMETH András – PÁPICZ Patrik (2019): Mini UAV-rajok alkalmazásának lehetőségei, különös tekintettel a katonai célú igénybevételre. I. rész. *Haditechnika*, 53(5), 15–19. Online: <http://doi.org/10.23713/HT.53.5.04>
- NÉMETH András – SZABÓ András (2019): Zrínyi-Újvár ostromának műszeres kutatása. In HAUSNER Gábor – NÉMETH András (szerk.): *Zrínyi-Újvár: Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest: Ludovika, 159–180.
- NÉMETH, András – SZABÓ, András – BALOG, Ferenc (2020): 3D Virtualisation and Visualisation Technologies for Archiving the Results. In HAUSNER, Gábor – NÉMETH, András (szerk.): *Zrínyi-Újvár: A Seventeenth-Century Border Defence System on the Edge of the Ottoman Empire*. Budapest: Ludovika, 225–268.
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2021): Virtuális valóság és haderő – Fejlődéstörténet. I. rész. *Haditechnika*, 55(2), 5–12. Online: <http://doi.org/10.23713/HT.55.2.02>
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2022): Mesterséges intelligencia és a haderő – A mesterséges intelligencia területei. III. rész. *Haditechnika*, 56(3), 2–7. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.3.01>
- PADÁNYI, József (2015): Exploring Zrin-Newcastle on the Field. In FELETAR, Dragutin – KOLARIĆ, Juraj (szerk.): *Nikola Zrinski VII. i utvrda Novi Zrin 350. godina: Zbornik radova sa znanstvenog skupa u Donjoj Dubravi*. Zagreb–Čakovec: Hrvatsko vojno učilište, 134–154.
- PADÁNYI József et al. (2015): A csata- és hadszíntérkutatás módszertani kérdései. In CSENGERI János – KRAJNC Zoltán (szerk.): *A hadtudomány és a hadviselés komplexitása a XXI. században*. Budapest: Nemzeti Közszerzői Egyetem, 145–173. Online: http://real.mtak.hu/31932/7/konyv_vegleges_mta_real.pdf
- PILKINGTON, Ace G. (2017): *Science Fiction and Futurism: Their Terms and Ideas*. Jefferson, NC: McFarland & Co.

- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- Repsol [é. n.]: *Disruptive Technologies. Breakthroughs that Change Our Lives*. Online: <https://repsol.com/en/energy-and-the-future/technology-and-innovation/disruptive-technologies/index.cshhtml>
- SOARE, Simona R. (2021): Innovation as Adaptation: NATO and Emerging Technologies. *GMF Policy Brief*, 2021. június 1. Online: www.jstor.org/stable/pdf/resrep33488.pdf
- SoniaLopezBravo et al. (2024): Mi az a kvantum-számítástechnika? *Microsoft Learn*, 2024. június 21. Online: <https://learn.microsoft.com/hu-hu/azure/quantum/overview-understanding-quantum-computing>
- The Time Machine* (1960). Rend. George Pal. Metro-Goldwyn-Mayer. Online: <https://filmaffinity.com/en/film194894.html>
- WELLS, H. G. (2017): *Az időgép*. Ford. Mikes Lajos. Elektronikus változat. Budapest: Magyar Elektronikus Könyvtárért Egyesület. Online: mek.oszk.hu/16500/16598/pdf/16598.pdf

FELHASZNÁLT EGYÉB ONLINE FORRÁSOK

- 3DFY [é. n.]. Online: <https://3dfy.ai/>
- AgEagle [é. n.]: *RedEdge-P*. Online: <https://ageagle.com/wp-content/uploads/2022/08/AgEagle-RedEdge-P-Brochure-EN.pdf>
- AIMST University Malaysia [é. n.]: *The Hottest AI Skills to Have in 2023*. Online: <https://aimst.edu.my/event-news/hottest-ai-skills-2023/>
- Animatiqua [@Animatiqua] (2023): Budapest születése. *YouTube*, 2023. november 16. Online: <http://y2u.be/FnuDMr7QCDo>
- AR Books LibrARy [é. n.]. Online: <https://shop.arbookslibrary.com/>
- Artec 3D [é. n.]: *Artec Leo*. Online: <https://artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>
- Artnet [é. n.]. Online: https://news.artnet.com/app/news-upload/2019/05/Mona-Lisa_artnet-News.jpg
- Botnation [é. n.]. Online: <https://botnation.ai/site/wp-content/uploads/2022/02/meille-ur-chatbot.jpg>
- CDN Artec 3D [é. n.]. Online: https://cdn.artec3d.com/block-images/heritage-hardware-06.jpg?VersionId=ZELFKLAUJVM3ruTfuVxo_Z_HqQtBSP4
- CHOI, Charles Q. (2023): IBM Debuts Brain-Inspired Chip For Speedy, Efficient AI. *IEEE Spectrum*, 2023. október 23. Online: <https://spectrum.ieee.org/neuromorphic-computing-ibm-northpole>
- DE BOER, Harold P. [@Harold1995] (2021): Cannon. *Sketchfab*, 2021. október 17. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/cannon-2d4e0fdoabda4b7888do6e930bcbcc2>
- Dexsoft Games [@dexsoft-games] (2018): Barn. *Sketchfab*, 2018. augusztus 28. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/barn-1b1doe6333af44fb9fe44a58d8f80543>
- DJI [é. n.]: *About Us*. Online: <https://dji.com/hu/company?site=brandsite&from=footer>

- DJI Official [é. n.]. Online: <https://dji-official-fe.djicdn.com/cms/uploads/4ce993f13afc79c-bf16e9a13cd7d15do.png>
- Duolingo [é. n.]: *Rólunk*. Online: <https://duolingo.com/info>
- Enterprise DJI [a]: *Matrice 350 RTK*. Online: <https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk>
- Enterprise DJI [b]: *Zenmuse H20N*. Online: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-h20n>
- Enterprise DJI [c]: *Zenmuse L1*. Online: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-l1>
- Fitzwilliam Museum [@fitzwilliammuseum] (2020a): Dionysus. *Sketchfab*, 2020. január 23. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/dionysus-3ab23db82b9b42e7af8fc1818co1b885>
- Fitzwilliam Museum [@fitzwilliammuseum] (2020b): Mosaic Niche. *Sketchfab*, 2020. február 5. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/mosaic-niche-7a9ac4412fob41889od2fb-3b6918ecec>
- Fitzwilliam Museum [@fitzwilliammuseum] (2020c): Shrine from El Kab. *Sketchfab*, 2020. január 30. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/shrine-from-el-kab-b2098875637242ca-b7ee2a027699b12e>
- Fitzwilliam Museum [@fitzwilliammuseum] (2020d): Vessel. *Sketchfab*, 2020. február 7. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/vessel-83d55b8c267c498d9af967c71889b6ab>
- Florida Drone Supply [é. n.]. Online: https://floridadronesupply.com/cdn/shop/files/EM401827-FULLRES_1800x1800_jpg.webp?v=1684417870&width=1776
- GetDeadEntertainment (2022): Log Saw Horse. *Sketchfab*, 2022. január 5. Online: <https://sketchfab.com/3d-models/log-saw-horse-d50b3e14b46245faa06f87182ec9676b>
- i.all3dp.com [é. n.]. Online: https://i.all3dp.com/wp-content/uploads/2018/01/01115340/Formlabs_2021_Fuse_1-Hero.jpg
- JOUAV [é. n.]: *Drone Comparison*. Online: <https://jouav.com/wp-content/uploads/2022/11/drone-comparison-1024x442.png>
- MDPI [é. n.]. Online: https://mdpi.com/geosciences/geosciences-07-00093/article_deploy/html/images/geosciences-07-00093-g006.png
- Microsoft [é. n.]: *HoloLens 2*. Online: <https://microsoft.com/hu-hu/hololens/hardware>
- Novatel [é. n.]: *What are Global Navigation Satellite Systems?* Online: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss>
- SERCO [é. n.]. Online: <https://serco.hu/images/kvantumszamitogep-miert-nincs-minden-kinek.jpg>
- SHUKLA, Pranaav (2023): Quantum Computing(Overview). *Medium*, 2023. november 24. Online: <https://medium.com/@shuklapranaav/quantum-computing-5dd132ea1b85>
- Soothsayer Analytics [é. n.]. Online: <https://soothsayeranalytics.com/home-assets/img/solutions-images/Internet-of-things.jpg>
- Soundescape [é. n.]: *Crackling Campfire*. Online: <https://soundescape.io/listen/campfire-ambient-sound>
- STEELE, Ethan (2023): From Brain to Chip: IBM's NorthPole Sets New AI Benchmarks. *Medium*, 2023. október 26. Online: <https://medium.com/aimonks/from-brain-to-chip-ibms-northpole-sets-new-ai-benchmarks-66cf6712of4f>
- TechRevolve [é. n.]: *Augmented-Reality-AR-Gaming*. Online: <https://techrevolve.com/wp-content/uploads/2017/02/Augmented-Reality-AR-Gaming.jpg>

- The Telegraph [@telegraph] (2019): AI Brings Mona Lisa to life. *YouTube*, 2019. május 24. Online: <https://youtube.com/watch?v=P2uZF-5F1wI>
- Turbosquid [é. n.]: *Microsoft HoloLens 2 PBR*. Online: <https://turbosquid.com/3d-models/3d-model-microsoft-hololens-2-pbr-2104087>
- Uber [é. n.]: *Rólunk*. Online: https://uber.com/hu/hu/about/?uclick_id=340ao702-6de1-4d17-8460-4ad456e9f17c
- Wikimedia [é. n.]. *Heidentor Carnuntum*. Online: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/29/Heidentor_Carnuntum_4487.jpg/2560px-Heidentor_Carnuntum_4487.jpg
- Wsfind [é. n.]. Online: https://wsfind.com/images_products/453_ofea20a8da-e973650501f33d6df9f077.jpg