

Zrínyi-Újvár hadszíntérkutatási eredményeinek hasznosulása a katonai műszaki oktatásban

Bevezetés

A magyar katonai felsőoktatásnak mindig központi eleme volt a hagyományok ápolása, elődeink szellemiségének, elveinek, tetteinek és érdemeinek megőrzése, valamint a kapcsolódó ismeretek minél szélesebb körben történő megosztása. Ezekre a hagyományokra építve lehet az évszázados értékeket hatékonyan közvetíteni, és azokat a felnövekvő generációk honvédelmi nevelésében, katonai szocializációja során felhasználni.

Jelen cikk a 2006-ban – egyetemünk jogelődje, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem kutatói által – megkezdett, Zrínyi-Újvár lokalizációját célzó kutatások katonai műszaki vetületeit mutatja be. A közel másfél évtized során felgyülemlett hadirégészeti eredmények áttekintésén keresztül próbáljuk bemutatni a kapcsolódó műszaki ismeretek átadásának egy lehetséges módszerét is. A tanulmány közvetlenül kapcsolódik a szerzők korábbi években folytatott hadirégészeti kutatásainak eredményeihez,¹ illetve a katonai műszaki oktatásra vonatkozó koncepciójához.² Bemutatjuk a projektalapú tanulásban rejlő potenciált és annak a katonai felsőoktatásban való alkalmazásának egy-egy jellemző példáját.

Társadalmunk és gazdaságunk egyik legjelentősebb mozgatórugójává az innováció vált, ugyanakkor az ezzel járó műszaki-technikai fejlődés dinamikáját az iskola-rendszer, az oktatás és képzés, illetve szűkebben értelmezve a felsőoktatás nem tudta maradéktalanul lekövetni. Ennek egyik következménye, hogy ma a képzési rendszer nem katalizálja elég hatékonyan az innovációs folyamatokat, sőt egyes esetekben akár kifejezetten akadályozhatja is azokat. Éppen ezért elsősorban a műszaki képzési területen jelentkezik folyamatosan növekvő igény a korszerű és egyre rövidebb periodicitással megújuló, jövőbe mutató ismeretek átadására, illetve olyan módszerek kidolgozására, amelyek akár a gyakorlatba közvetlenül átültethető tudásanyagon keresztül a hallgatók innovációs készségét is képesek hatékonyan fejleszteni. Ennek természetesen csak egy szűkebb szegmense maga a felsőoktatás, majd a műszaki felsőoktatás, azon belül pedig

¹ Németh András – Szabó András: A katonai műszaki képzés rendszerének kihívásai és lehetséges fejlesztési irányja. *Hadtudományi Szemle*, (2019a), 12. klsz. 261–288.; Hausner Gábor – Négyesi Lajos – Padányi József: Novi Zrin u svjetlu izvora i istrazivanja terena. In Bene Sándor – Zoran Ladič – Hausner Gábor (szerk.): *Susreti dviju kultura: Obitelj Zrinski u hrvatskoj i mađarskoj povijesti*. Zagreb, Matica Hrvatska, 2012. 189–218.

² Németh András – Szabó András: Zrínyi-Újvár ostromának műszeres kutatása. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Dialóg Campus, 2019b. 159–180.

a katonai műszaki képzés területe. A védelmi célú műszaki kutatások (például távérzékelés, robotika, korszerű kommunikációs technológiák stb.)³ problémaorientált megközelítése, illetve a projektalapú tanulás egy lehetséges válasz ezekre a jelenlegi, illetve a jövőben fokozódó kihívásokra, a kutatási, fejlesztési és innovációs (K+F+I) igényekre.

Jelen kutatási téma egyik fontos előnye – a klasszikusan zárt, sokszor minősített katonai kutatásokkal szemben – nyitottsága, amely révén lehetőség van a hazai és nemzetközi partnerintézményekkel való szorosabb együttműködésre és a kutatási eredmények nyílt disszeminációjára. További előny lehet a gyakorlatias, problémaközpontú hadirégészeti megközelítés műszaki vetületeinek oktatásba való integrálhatósága. Ez elősegíti a korszerű, az információs társadalom elvárásaihoz illeszkedő módszertanok és demonstrációs eszközök hatékony alkalmazását és a fiatal generációk „gamifikáció”⁴ útján történő megszólítását. A felmerülő műszaki kihívások jól modellezik azokat a problémákat, amelyekkel kutatási projektjük során gyakran találkozhatnak a fiatal kutatók. A bemutatásra kerülő korszerű eszközrendszer jövőbemutató, a gyakorlatban is jól felhasználható tudás átadását teszi lehetővé interaktív, mégis költséghatékony módszerekkel, ezért eredményesen lehet integrálható az oktatási intézmények „kreatív tanulási programjaiba” a képzési szinttől kvázi függetlenül.

Az oktatók szerepét a jövő oktatási rendszerében célszerű lehet átgondolni és a mentori (tutori) tevékenységek dominanciáját erősíteni. Ebben egyébként Magyarország komoly hagyományokkal és nagy tapasztalattal rendelkezik a tudományos diákköri mozgalom révén, amely 2021-ben ünnepelte fennállásának hetvenéves évfordulóját. (A katonai felsőoktatás 1977-ben kapcsolódott be a mozgalom tevékenységébe, míg az önálló Hadtudományi Szekció és a Szakmai Bizottság megalapítására 1987-ben került sor, így ezek 2021-ben 44., illetve 34. évfordulójukat ünnepelték.⁵) Az elmúlt évtizedekben az oktatói és mentori tevékenység alapelvei kevésbé, módszerei és eszközrendszere azonban jelentősen megváltoztak. Napjainkban a technikai feltételek már adottak ahhoz, hogy különböző e-learning (digitális oktatási, távoktatási) megoldások segítségével, akár virtuális laborfeladatokkal⁶ támogatva, a hagyományos módszerekhez képest nagyobb hatékonysággal, a hallgatók szakmai orientációjának és innovációs hajlandóságának erősítésével, akár nagyobb létszámú hallgatói csoport esetén is minőségi képzést lehessen nyújtani.

³ Bleszity János et al.: Műszaki kutatások és hatékony kormányzás. *Hadmérnök*, 9. (2016), 3. 221–242. „Játékosítás”.

⁵ Németh András: A tehetséggondozás és tudományos utánpótlás-nevelés múltja, jelene és jövője a hadtudományok területén, különös tekintettel a tudományos diákköri mozgalom szerepére I. *Hadtudomány*, 25. (2015), elektronikus szám. 296–308.

⁶ Például az Egyesült Államok Nemzeti Park Szolgálatát által a műszeres leletvizsgálathoz kialakított feladatsorok: www.nps.gov/teachers/classrooms/archeology-and-magnetometry.htm; www.nps.gov/teachers/classrooms/archeology-and-x-ray-fluorescence-xrf.htm; www.nps.gov/teachers/classrooms/archeology-at-fort-frederica.htm

A műszaki képzés szerepe a katonai felsőoktatásban

A korszerű haditechnikai rendszerek fejlesztése és üzemeltetése ma már számos szakterület szoros együttműködését követeli meg. A kapcsolódó ismeretanyag ezeken a területeken folyamatosan változik (új technológiák jelennek meg, illetve a régié elavulnak, kivonják őket a használatból), és az interdiszciplináris jelleg erősödése miatt egyre nagyobb igény jelentkezik az együttműködő szakterületeken a kölcsönös tájékozottságra. Az ilyen környezetben történő tevékenységre való felkészülésnek, valamint a kapcsolódó innovatív módszerek megismerésének egyik hatékony eszköze lehet az úgynevezett problémaalapú tanulás (*problem-based learning* – PBL).

A problémaalapú tanulás (PBL)

A PBL tulajdonképpen egy olyan oktatásmetodikát jelent, amelynek központjában egy előre meghatározott komplex probléma áll, amelyre nem létezik egyetlen egzakt megoldás, és amelynek értékelése az oktató által előre meghatározott faktorok alapján zajlik. A PBL során a tanulók csoportban dolgozva, közösen oldják meg a felvetett problémát, amely következtében a kapcsolódó szervezési-tervezési feladatok mellett a csoportkommunikációval, a részfeladatok menedzselésével is foglalkozniuk kell. A tutornak (oktatónak) feladata a rendelkezésre álló időben a résztvevők tevékenységének figyelemmel kísérése, a résztvevők motiválása, segítségnyújtás az eltervezett mérföldkövek időben való elérése érdekében, illetve a csapat- és az egyéni tevékenység értékelése.

A PBL felhasználásával akár mindennapi problémák megoldásán keresztül a kijelölt tananyagot és a gondolkodásmódot is elsajátítják a tanulók, valamint meggyőződhetnek elméleti ismereteik hasznosságáról, relevanciájáról. Az aktív tanulás (kutatás és problémamegoldás) szakaszában a résztvevők hasznos tapasztalatokat szerezhetnek, és mivel a gyakorlatban egyből alkalmazzák is a megszerzett ismereteket, az a hosszú távú memóriájukban rögzülhet, mert az elsajátított tudás praktikus felhasználásához pozitív élmények is fognak párosulni.

Fontos, hogy olyan feladatot válasszanak ki, amelynek megoldása során a résztvevők elsajátítják a tervezett ismeretanyagot (amennyiben új tudás elsajátítását célozza a feladat), illetve amely a konkrét példákon keresztül segíti általános érvényű következtetések levonását is (induktív tanulás). Pedagógiai szempontból ugyancsak fontos olyan feladatot választani, amely egyenlő részfeladatokra osztható, és így a hallgatók közti munkamegosztás, illetve a későbbi értékelés is igazságos lesz.

A PBL utolsó és egyben kulcsfontosságú szakasza maga a számonkérés, a csoport/egyen tevékenységének értékelése. A minőség záloga az ellenőrzés, amelyet a PBL esetén sem szabad elhagyni. Az írásos (illetve gyakorlati feladatok megoldásai, például fájlok, szoftverek stb.) beszámoltatás mellett a megoldás folyamatának demonstrációk és előadások útján történő szóbeli prezentációja, az eredmények vizualizálása is lényeges készségfejlesztő momentum. A csoportmunkát és a probléma megoldását a tutor többféle

szempont szerint tudja osztályozni, ezért célszerű azokat előre definiálni és ismertetni, így a felkészülés és a későbbi eredmények értelmezése a hallgatók számára könnyebbé válik.

A probléma kiválasztásának szempontjai a következők:

- komplex, többféle szemléletmód alkalmazását igényli;
- nyílt végű, nem determinálja a megoldást, a felhasználható eszközöket és módszereket;
- illeszkedik a résztvevők tudásszintjéhez, vagy a probléma megismerése során lehetőség nyílik a megoldáshoz szükséges ismeret elsajátítására;
- a kutatási feltételek biztosítottak, a szükséges laboratóriumi infrastruktúra rendelkezésre áll.

A csoportmunka fejleszti a kommunikációt, a tervező-szervező készséget, azonban a PBL-ben való alkalmazása nem öncélú. A komplex feladat vagy annak teljesítésének feltétele kell, hogy legyen a csoportmunka (például különböző szakértelem szükséges hozzá, a rendelkezésre álló idő kevés az egyéni megoldásra, egyéb feltétel miatt össze kell dolgozniuk a résztvevőknek). A tutor alapvetően külső szemlélő, de fontos figyelemmel kísérnie a csoport dinamizmusát és szükség esetén közbeavatkoznia. Demotiváló lehet például, ha „lehetetlen küldetést” kap a csapat, amelyhez nincs meg a kellő háttérismeret, nincs a megoldás kidolgozásához elegendő idő, vagy koordinálatlanul dolgoznak a résztvevők. Ilyen esetekben a foglalkozásvezető tud segíteni, de nem a megoldással, hanem például célirányos kérdések feltevésével, amelyek a figyelmet és az erőfeszítéseket a megfelelő irányba képesek terelni.

Segítő jellegű kérdezői stratégiák:

- helyzetisztázó, állapotegyeztető kérdések (például „Mi a vizsgált probléma műszaki háttere?”);
- figyelemfelhívó jellegű kérdések (például „Elemezték már az »xy« technológiát?” vagy „Vizsgálták már az »xy« technológia alkalmazhatóságát?”);
- projektmenedzsment, kommunikációs problémákra fókuszáló kérdések (például „Hogyan épül fel a kutatás?”, „Kinek mi a pontos szerepe a kutatásban?”);
- részfeladatok, amelyekkel a projekt bizonyos kulcskérdéseire választ adhatnak (például „Megvizsgálták már a problémát »xy« szempontból?” „Elemezték már a feladatot a »z« részproblémára fókuszálva?”);
- az alkalmazható kutatási, fejlesztési metodikával kapcsolatos kérdések (például „Milyen fejlesztési metodikát alkalmaztak?”);
- a forrásokkal és módszerekkel kapcsolatos kérdések (például „Milyen forrásokat használtak fel?”, „Milyen forrásokat értékeltek relevánsnak a kutatás szempontjából?”).

Ugyancsak segítség lehet, ha a tutor a feladat ismertetésekor összegyűjti (és egy gondolattérképen⁷ ábrázolja) a résztvevők háttértudását, ezzel alapot biztosítva a további kutatómunkához, illetve a részfeladatok megfelelő leosztásához. Több egyidejűleg mun-

⁷ Mind map, lásd például: <https://owl.massey.ac.nz/study-skills/mind-maps.php>

kálkodó csoport esetén hasznos lehet, ha a tutor körbejár közöttük, és teljesítményük függvényében több-kevesebb időt tölt el tevékenységük megfigyelésével, orientációs, segítő kérdések feltevésével.⁸

PBL a BSc-képzésben

A PBL módszereit a felsőoktatásban először a BSc-képzés második felében célszerű alkalmazni, amikor a hallgatók már megfelelő alapokkal rendelkeznek. A katonai felsőoktatásban már a múltban is gyakran alkalmaztak PBL jellegű oktatási megoldásokat (például csapatgyakorlatok során, illetve a szolgálati feladatok begyakoroltatása során), azonban ezek jellemzően a katonai vezetői tapasztalatok megszerzésére irányultak, és nem a műszaki, innovációs készségek fejlesztésére. A szükséges feltételek (korszerű laboratóriumok és eszközpark) megteremtése és a színvonalas, egymásra épülő feladatokból felépülő rendszer kidolgozása esetén ugyanakkor ilyen célokra is hatékonyan lenne felhasználható a módszer.

A BSc-képzésben alkalmazva a PBL az elméleti ismeretek elmélyítése mellett elősegíti, hogy a hallgatók maguk is meg tudják ítélni a tananyag relevanciáját (hasznosíthatóságát), illetve a gyakorlati problémamegoldáson keresztül megerősítsék szakmai elkötelezettségüket. Problémát jelenthet ugyanakkor, ha egy-egy feladat jelentősen meghaladja a résztvevők elméleti tudását, vagy olyan készségekre épít, amellyel nem rendelkeznek (például programozási/algorithmizálási háttér nélkül szoftverfejlesztési feladat megoldása, statisztikai ismeretek nélkül kérdőívek/felmérések értékelése). Ezért az oktató felelőssége előzetesen felmérni a csoport tagjainak kompetenciáit és azokhoz mérten meghatározni a feladatokat, illetve segíteni a megoldás folyamatát irányított kérdésekkel. Ugyancsak hasznos lehet előzetesen kialakított és rendelkezésre bocsátott tananyagok, felkészülési anyagok és/vagy online kurzusok segítségével a felkészültséget közel egységes szintre hozni,⁹ illetve minőségbiztosítási szempontból előremutató, ha a hallgatók elégedettségét folyamatosan figyelemmel kísérjük (például kérdőíves felmérésekkel).¹⁰

PBL az MSc-képzésben

A katonai mesterképzés (MSc) célja, hogy a korábban végzett fiatal tisztek a BSc képzésben megszerzett ismereteiket többéves gyakorlati tapasztalatszerzést követően (jellemzően a főhadnagyi/századosi/őrnagyi rendfokozatok elérése után) egy olyan átfogó látásmóddal, rendszerszemlélettel egészítsék ki, amely segítségével komplex tervezőmunkára, a szakmai vezetői feladatok ellátására és akár további önálló (például PhD-) kutatások

⁸ Cindy E. Hmelo-Silver: Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16. (2004), 3. 235–266.

⁹ Carsten Keßler et al.: *Teaching Geospatial Technologies with Problem-Based Learning*. 2018.

¹⁰ Sarah Parkinson: *Employability and Problem Solving*. 2006.

megkezdésére vagy folytatására válnak alkalmassá. Ennek révén olyan felkészült műszaki tiszteket kapunk, akik képesek önállóan műszaki problémákat megoldani, már létező és új módszereket, technológiai megoldásokat összehasonlítani, értékelni, elemezni, illetve a rendelkezésre álló elemekből akár új rendszereket tervezni és megvalósítani. Jellemzően az MSc-képzésben részt vevő hallgatók egyrészt korábbi tanulmányaik során a szükséges műszaki és vezetői alapozó ismereteket már megszerezték, másrészt már rendelkeznek olyan szakmai, parancsnoki munkatapasztalatokkal, amelyek lehetőséget teremtenek a kettő közötti kapcsolatrendszer megértésére. Ezért a hagyományos oktatási módszerek mellett képzésükben egyre nagyobb mértékben használhatók az önálló, innovatív munkára inspiráló feladatok, illetve a csapatban történő problémamegoldást ösztönző módszerek.

A problémaalapú tanulási módszerek széles körű alkalmazása a képzés lezárására szolgáló diplomamunka minőségét is képes jelentősen javítani abban az esetben, ha a hallgatók megértik és elfogadják annak működési metódusát, és képesek hatékonyan együttműködni mentoraikkal. Ebben az esetben már a képzés során megfelelő gyakorlatot szerezhetnek egyrészt az önálló kutatásban, másrészt a kutatási eredmények disszeminációjában. Ha az egymásra épülő feladatokat jól határozzuk meg a képzés elején, azok megoldásán keresztül akár fokozatosan el is tudjuk juttatni a hallgatókat a diplomamunkához mint egy minőségi, folyamatos kutatómunka eredményéhez. A PBL tehát ezen a képzési szinten akár eszköz is lehet az arra fogékony, érdeklődő hallgatók elkötelezettségének kialakításában és megerősítésében a kutatói pálya iránt, illetve a PhD-képzés irányába történő orientálás során.

PBL a PhD-képzésben

A PhD-képzés tulajdonképpen maga a rendszerszintű problémaalapú tanulás, hiszen a képzés során kapott részfeladatok, a szakterületi kapcsolódások azonosítása, új műszaki megoldások kutatása vagy a meglévők alternatív felhasználásának kidolgozása, illetve ezeknek a doktoranduszok saját kutatásában való hasznosítása valójában a tudományos témavezető által mentorált komplex PBL-feladat elemeinek tekinthetők. Ezen a területen a témavezetői tudatosság növelése lehet az egyik megoldás a doktori képzések hatékonyságának növelésében, főleg olyan hallgatók esetében, akik valós gyakorlati/munkatapasztalat nélkül, közvetlenül az MSc-szint teljesítését követően vágnak bele ebbe a képzési formába. Ez azt jelenti, hogy a PBL-módszertan a teljes képzési ciklusra előre meghatározott módon, minél pontosabban ütemezve kerüljön alkalmazásra, aminek egyik előnye, hogy fokozatosan, jól nyomon követhető módon lehet az önállóságot felépíteni úgy, hogy kialakuljon a rutin a kutatásban, a kutatási együttműködések és a disszemináció területén egyaránt, a doktori értekezés hatékony összeállítása, a doktori cselekmények eredményes lebonyolítása, valamint a kutatásvezetői készségek megalapozása érdekében.

A kutatási együttműködések során végzendő csoportmunka következtében a doktoranduszok megismerik egymás kutatási területeit, módszereit, ami megteremti az új ötletek saját kutatásokba való integrálásának lehetőségét, és a későbbiekben elősegít-

heti akár közös publikációk készítését is. Amíg az MSc-képzésben a tutorok szerepe még erősen dominál, addig a PhD-képzés során ez már folyamatosan csökken, és egyre inkább az oktató által menedzselte önálló tanulási folyamatba (*self-directed learning*), illetve kutatómunkába megy át (amely a PhD-képzés alapvető célja). A PBL-módszer doktori képzési szinten történő alkalmazása során az eredményesség egyik indikátora lehet, hogy a témavezető és témavezetett kapcsolata mennyiben tud átalakulni a képzési ciklus végére kutatói partnerkapcsolattá.

A PBL és az egyetemi oktató

A PBL feladatainak tervezése, az újszerű megközelítések és nem szokványos megoldások minden képzési szinten inspirálják az oktatókat is ismereteik folyamatos aktualizálására, az általuk vezetett kutatócsoportokban aktivitásuk növelésére, ezáltal csökkentve a „kiégésérzet” kialakulásának valószínűségét, illetve késleltetve a kapcsolódó „tünetek” megjelenését. A PBL ugyanakkor minden résztvevő, így a tutor számára is lényegesen „szórakoztatóbb”, mint a hagyományos frontális oktatási megoldások, és az értékelés is egyszerűbb, illetve informatívabb, mint egy beadandó feladat vagy egy hagyományos zárthelyi dolgozat esetén.

A PBL korlátai

A PBL nem helyettesíti a hagyományos elméleti és gyakorlati képzési elemeket, hiszen megfelelő háttértudás nélkül alkalmazhatósága, illetve hatékonysága erősen korlátozott. A problémák gyakorlatorientált megoldása megköveteli, hogy a hallgatók hozzáférjenek az adott feladat jellege által megkövetelt laborkörnyezethez, illetve annak eszközparkját biztonságosan és magabiztosan tudják használni, azaz előbb meg kell szerezniük a szükséges rutint a különböző laborgyakorlatokon. Ugyanakkor a hallgatók személyisége, motiváltsági szintje, kitartása, együttműködési hajlandósága, illetve – tanulmányi előzményeik függvényében – háttértudásuk is eltérő lehet, ami alapjaiban határozhatja meg a PBL-módszer eredményességét, határfokát. Például a szerényebb kondíciókkal rendelkezők dominanciája akadályozhatja a csoport jobb képességű tagjainak fejlődését, eredményességét, csökkentheti motivációját, míg fordított esetben (jó képességű tagok dominanciája) növekedhet a csoporton belüli szakadék a gyengébb képességűek „leszakadásának” fokozódásával. Mind a két esetben növekedhet a csoporton belüli feszültség, ami tovább csökkenti a közös munka hatékonyságát.

Ugyanakkor a fenti különbségek miatt az új ismeretanyagok körének és a kapcsolódó problémák megfelelő meghatározása, illetve megfogalmazása komoly kihívást jelenthet a tutorok számára is abban az esetben, ha nincs lehetőségük közel azonos képességű és felkészültségű tagokból álló „egyenszilárd” csoportok kialakítására. Természetesen a csoporton belüli különbségek nem törvényszerűen okoznak szélsőséges problémákat, hiszen például, ha a jobban felkészült tagok rendelkeznek hajlandósággal a kevésbé

felkészült tagok támogatására, akik pedig saját fejlődésük, illetve a közös cél érdekében hajlandók a segítség elfogadására, akkor mind a két fél számára rendelkezhet elegendő fejlődési potenciállal egy-egy feladat megoldása. Azaz a csoport tagjainak személyiségjegyei alapjaiban határozzák meg egy-egy feladat és általánosságban pedig a PBL-módszer eredményességét. Így tehát a módszer egyik legfőbb korlátja és sok esetben az alkalmazásával szembeni érvelés alapja, hogy nincsenek bármilyen csoportra és helyzetre általánosan érvényes (konzerv) mintafeladatok és megoldások, azokat mindig az adott csoport egyéni és kollektív képességeihez, hozzáállásához, illetve felkészültségéhez mérten újra és újra ki kell dolgozni, ráadásul a kor színvonalának megfelelően, a rendelkezésre álló technikai lehetőségek maximális kihasználásával. Ezt pedig az oktatók sokszor többletteleherként és nem lehetőségként élik meg.

Műszaki kihívások a hadszíntérkutatásban Zrínyi-Újvár példáján

A hadirégészet, csata- és hadszíntérkutatás eszközrendszerébe mára számos – korszerű technológián alapuló – műszaki megoldás integrálódott, amelyek közül a továbbiakban az általunk Zrínyi-Újvár lokalizációja és a kapcsolódó terepkutatások során is alkalmazott úgynevezett bolygatás-, illetve roncsolásmentes felderítési és vizsgálati módszerek alapjait, az eredmények tárolására és vizualizációjára használt eljárásokat, illetve ezek oktatásba történő integrálásának lehetőségeit mutatjuk be.

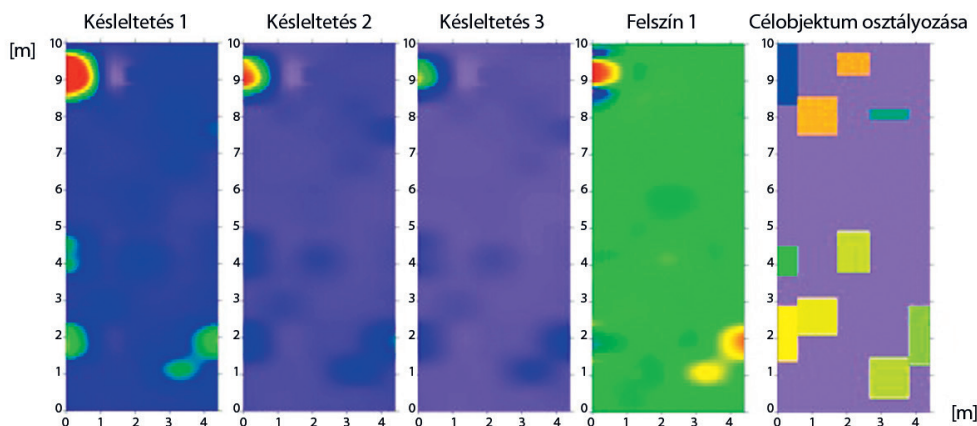
Fémkeresővel végzett mérések

Terepi kutatásaink során a fémkereső volt az első eszközcsoport, amelyet sikerült eredményesen alkalmaznunk. Ezek különböző elven, de ugyanazon fizikai törvényszerűségek felhasználásával működnek, míg hatásfokukat alapvetően az alkalmazott technikai megoldások határozzák meg. Képesek lehetnek detektálni a föld felszíne alatt elhelyezkedő mágnesezhető és nem mágnesezhető fémtartalmú tárgyakat a másodlagos indukció elve alapján. A fémkereső jellemzően az általa gerjesztett váltakozó elektromágneses tér (primer) hatására a fémtartalmú eszközökben meginduló áramok által létrehozott másodlagos (szekunder) elektromágneses teret, illetve annak megváltozását érzékeli. Ezekkel a műszerekkel – a terep szegedeltségétől és az aljnövényzettől függően – viszonylag nagy sebességgel végezhető a mérés, és kezelésük sem igényel feltétlenül műszaki szakképzettséget, az igazi kihívást az eredmények kiértékelése, értelmezése és a „fals pozitív” jelzések felismerése, kiszűrése jelenti. Ezért a kevésbé rutinos vagy az eszközök használatát még éppen csak tanuló műszerkezelők esetén célszerű először a detektálás helyszínét megjelölni (például zászlókkal), és azokat tapasztalt kollégákkal újra ellenőrizni a feltárást megelőzően.

A kutatások korai időszakában végzett mérések tapasztalatai alapján, az eredményeinek feldolgozását követően bebizonyosodott, hogy csupán az eszközök „gyári” beállításával végzett mérések önmagunkban nem hatékonyak. Ennek javítása érdekében a műszerek működési elvét képező fizikai jelenségek vizsgálatával, majd számos kísérleti mérés révén a céltárgyak alapanyagának típusára, mélységére és méretére optimalizált műszaki paramétereket (műszerbeállításokat) határoztunk meg. Emellett kialakítottuk az egyes műszer típusok alkalmazásának munkafolyamatát (*workflow*), amelynek köszönhetően mára már hatékonyan tudunk terepkutatásokat végezni. Ez az időszak jól modellezte korunk problémáinak interdiszciplináris jellegét, hiszen a hadtörténeti és régészeti alapkutatások mellett anyagtudományi ismeretekre, a fémkeresők működési elvében, a kapcsolódó fizikai (elektromágneses) törvényszerűségekben történő jártasságra, továbbá villamosmérnöki és informatikai praktikák komplex alkalmazására volt szükségünk annak érdekében, hogy a vizsgált történelmi korra jellemző fémleletek (például különböző típusú és állapotú ólom muskétagyolyók, vas repeszbombák és ágyugolyók, hidegfejverek és használati tárgyak) hatékony felderítésére alkalmas műszerbeállításokat és keresési stratégiákat tudjunk kidolgozni.

A fémkeresőknek fontos szerep jutott a vár lokalizálásában, illetve az ostrom főbb helyszíneinek azonosításában is, hiszen ez volt például az ostromágyúk lövedékei keresésének alapvető eszköze. Ezek becsapódási helyei, illetve iránya alapján vált lehetővé az ágyúállások feltételezett helyszíneinek meghatározása visszametszéssel. A feladat elsőre nem tűnik bonyolultnak, hiszen nagy felületű, tömegű (néhány kilogrammtól akár több tíz kilogrammig) és jellegzetes alakú lelettípust kerestünk. A valóságban a helyzet azért korántsem volt ilyen egyszerű, mivel egyrészt a terület az elmúlt évszázadokban mezőgazdasági művelés alatt állt, illetve az 1950-es években a déli védelmi rendszer építése kapcsán folytak ott erősítési munkálatok, így azok fémmaradványaival (például szerszámok, vasszögek, drótok stb.) erősen szennyezett. Az ezek által okozott nehezített körülmények hatását a korábban kidolgozott beállítások (amelyek egy-egy lelettípusra lettek optimalizálva), és a különböző elven működő (keretes mélykereső és kézi) műszerek komplex, szisztematikus alkalmazásával lehetett csökkenteni.

Az általunk alkalmazott műszerek és módszerek oktatásban való felhasználása releváns lehet, hiszen egyszerű metodikákat lehet segítségükkel komplex feladatok megoldására alkalmazni, míg az eszközök beszerzési és üzemeltetési költsége sem képvisel jelentős terhet. A különböző szakirányú katonai műszaki képzésekben tanulmányokat folytató honvédtisztjelöltek többek között a műszeres leletfelderítésben vagy különböző katonai feladatok műszaki támogatásában szerezhettek terepi gyakorlatot, illetve az adattároló funkcióval rendelkező speciális mélykereső eszközök mérési eredményeinek feldolgozásával, értékelésével, elemzésével és vizualizációjával kapcsolatos feladatokat hajthatnak végre, illetve komplex projektekben vehetnek részt.



1. ábra. Keretes mélykereső által mért és utólag feldolgozott adatok vizualizációja

Forrás: a szerzők szerkesztése

Talajellenállás-mérések

Ez a mérési eljárás a talaj fajlagos ellenállása területi eloszlásának meghatározására szolgál, amely alapján lokalizálhatók a földszerkezet anomáliái. A módszer elsősorban nagyobb kiterjedésű, egybefüggő (közel homogén) szerkezetek (például falak, üregek), természetes vagy mesterséges feltöltődések (például betemetett kút) nyomainak, illetve kőzetek kimutatására alkalmas. A telepített mérőponthálózat elektródáinak távolságával (fizikai áthelyezés vagy szondák közti átkapcsolás) változtatható a mérés vízszintes pontossága (minél sűrűbben helyezük el azokat, annál jobb lesz a felbontás), míg a mérés függőleges tartományát (mélységét) az elektródák leszúrásának mélysége is befolyásolja.

Mivel ilyen eszközök nem állnak kutatócsoportunk rendelkezésére, az ilyen típusú méréseket más hazai szervezetekkel, egyetemekkel folytatott szakmai együttműködés keretében tudjuk végrehajtani. Mivel ezen mérőhálózatok felhasználhatósága a katonai műszaki képzésekben korlátozott, nem indokolt saját eszköz beszerzése, így az oktatásba történő bevonás esetén, a terepi kutatások során továbbra is az együttműködésen alapuló megoldásokra kell támaszkodnunk. Ugyanakkor a korábbi mérések eredményei, a nyers adatahalmazok bármikor újra felhasználhatók modellezés, értékelés vagy más mérési módszerekkel való összehasonlítás céljából, valamint adatbázis-kezelési és adatábrázolási feladatok során.

Magnetométeres mérések

Az ilyen típusú mérések alapvetően a mágneses tér lokális anomáliáit (pozitív vagy negatív irányú eltéréseit) képesek detektálni, amelyeknek segítségével megfelelő mintavételi sűrűség esetén képesek vagyunk megjeleníteni a földfelszín alatti tárgyakat

és objektumokat. A földmágneses (magnetométeres) mérések alapja,¹¹ hogy a különböző típusú anyagok különböző mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyeket jelentősen befolyásol azok összetétele és szerkezete. A paramágneses anyagok a külső tér irányába mágneseződnek, így erősítik azt, a ferromágneses anyagok esetén ez a jelenség fokozottan jelentkezik, míg a diamágneses anyagok a külső tér irányával ellentétesen mágneseződnek, így gyengítik azt. A műszerek az ezekből az eltérésekből eredő anomáliákat képesek detektálni az alábbiak szerint:

- indukált mágnesezettség elvén detektálhatók azok a fémek (például alumínium, lágyvas), anyagok (például vulkáni és egyes metamorf kőzetek, téglák), amelyek kizárólag a külső mágneses tér fennállásának idejére mutatnak mágneses tulajdonságokat (paramágneses anyagok);
- remanens indukció elvén detektálhatók azok a fémek (például acél), anyagok (például vulkáni magmában polarizált térben mágneseződött kőzetek, pátics), amelyek a külső tér megszűnését követően is rendelkeznek valamekkora visszamaradt mágneses tulajdonsággal (ferromágneses anyagok);
- vagy az alapján is detektálhatók fémek (például réz, ólom, ezüst, higany), anyagok és emberi beavatkozások nyomai (például bolygatott talaj, árok, sír, kút) vagy természetes képződmények, hogy éppen csökkentik a külső tér mágnesező hatását, indukcióját (diamágneses anyagok).

A vizsgálati módszer egyik előnye a gyorsaság, amelynek köszönhetően nagy terepszakaszok vizsgálhatók át viszonylag rövid idő alatt (természetesen ez is függ a terep minőségétől és az aljnövényzettől). A módszer képzésbe történő bevonására a talajellenállás-mérésnél megfogalmazottak szerint nyílik lehetőség.

Talajradarral végzett vizsgálatok

A talajradar vagy más néven földradar¹² az elektromágneses (rádiófrekvenciás) hullámok talajba történő besugárzásával, majd a hullámhosszal összemérhető tárgyakról vagy eltérő összetételű anyagok határáról érkező reflexiók detektálásával érzékeli a leleteket vagy a föld alatti rejtett objektumokat.

Alkalmazott frekvenciák:¹³

- 25–50–100 MHz: sekélyföldtani kutatásoknál alkalmazott radarok;
- 200–250–450–900 MHz: geotechnika, régészeti célból alkalmazott radarok;
- 1200–2600 MHz: szerkezetkutatási (például alépítmény) célból alkalmazott radarok.

¹¹ Lenkey László: Földmágneses mérések a régészetben. In *Régészeti geofizika konferencia*. Budapest, 2013. 11. 05.

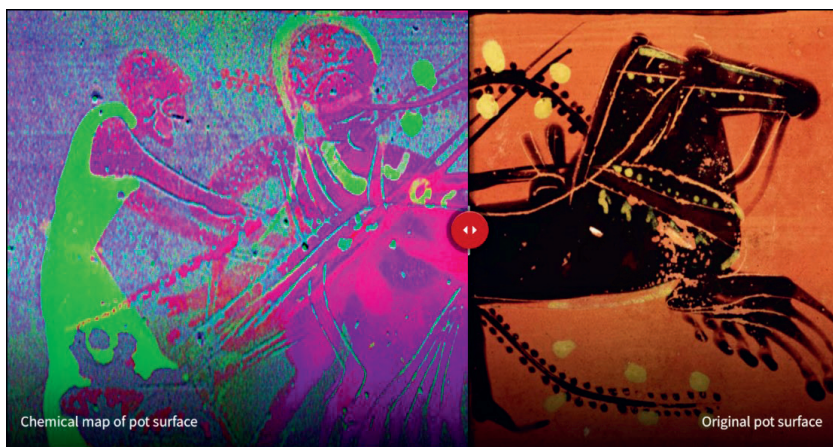
¹² GPR – *ground-penetrating radar*.

¹³ Törös Endre: *Földradar: lehetőségek és jövőkép*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 2013.

Az elektromágneses hullám hullámhosszának változtatásával – a föld vezetőképességének függvényében – növelhető, illetve csökkenthető a behatolási mélység, így a detektált tárgyak mérete és mélysége pontosítható. Magasabb frekvenciákon (1 GHz – 2,6 GHz) a behatolási mélység csökken, ugyanakkor a felbontóképesség javul. A talaj vezetőképessége számos tényezőtől függ (például anyagszerkezet, homogenitás, kőzettípus, nedvességtartalom, növényi/állati eredetű maradványok), így a detektálási mélység néhány métertől több tíz méterig terjedhet. Üregek és falmaradványok (épületromok) kutatására ideális eljárás.

Röntgenalapú eljárások

A röntgenkészülékek működési elvének, környezeti és egészségügyi hatásainak, valamint méretének is köszönhetően elsősorban a leletek laboratóriumi körülmények közötti vizsgálata során alkalmazható roncsolásmentes eljárás, amelynek használata kifejezetten akkor célszerű, ha a leletek sérülékenysége ezt indokolja. Így például akár a földlabdával együtt kiemelve végezhető el az állapot értékelése az állagromlás vagy sérülés veszélyének kockáztatása mellőzésével, és az eredmények alapján kerülhet sor a tisztítási módszer vagy a szükséges további munkafolyamatok meghatározására. Segítségével ugyanakkor az orvosi röntgenekhez hasonló módon a leletek belső szerkezetének, szabad szemmel nem látható részleteinek feltérképezésére és elemzésére nyílik lehetőség, beszéljünk akár egy kincsesládáról vagy annak zárszerkezetéről, egy fegyverről vagy egy festett ábráról egy festményen vagy cserépedényen.



2. ábra. Leletek röntgenvizsgálata

Forrás: SLAC National Accelerator Laboratory. Online: <https://news.stanford.edu/features/2016/slac/art.html>

Kutatócsoportunk rendelkezik egy HS5030si típusú csomagvizsgáló röntgenberendezéssel, amely kiválóan alkalmazható ilyen jellegű feladatok elvégzésére is, de elsősorban demonstrációs céllal, eseti mérések és vizualizációk készítésére az oktatásban is hatékonyan alkalmazható. Az ilyen eszközök használata során természetesen mindenkor a hatályos műszaki, egészség-, munka- és balesetvédelmi előírásoknak megfelelően kell eljárni, a kezelőknek megfelelő szintű sugárvédelmi ismerettel és képzéssel kell rendelkezniük, illetve a biztonságos üzemeltetés érdekében el kell végezni az időszakos felülvizsgálatokat és karbantartásokat.

Leletek archiválása és vizualizációja

Térinformatikai rendszerek

A régészeti munka során már évtizedek óta bevált gyakorlat a leletek földrajzi koordinátáinak rögzítése GNSS-rendszerek¹⁴ segítségével. Ezeket az információkat célszerű egy térinformatikai rendszerben (GIS¹⁵) tárolni, illetve feldolgozni,¹⁶ így az eredményeket akár később is bármikor, különböző alkalmazói környezetben lehet vizualizálni, illetve modellek segítségével predikciók, szimulációk végzésére is felhasználhatók (például hipotézisek igazolására, további kutatási irányok meghatározása érdekében). A katonai képzés szempontjából a geoinformációs rendszerek, a különböző digitális terepmodellek ismerete, készségszintű alkalmazása kiemelten fontos tudás, amelynek megszerzését és elmélyítését elősegítheti, ha a képzés során a hallgatók többször találkoznak ilyen jellegű feladattal és eszközökkel.

Az akár iparági standardnak is nevezhető ArcGIS mellett vannak nyílt forráskódú megoldások is (például QGIS), amelyekkel ugyan csökkentett funkcióval, de költséghatékony laborkörnyezetet tudunk kialakítani (egyszerűbb megjelenítési feladatokra a Google Earth szoftvert is fel lehet használni). Az ortofotók georeferálása, a képi információkon különböző számítások elvégzése ma már klasszikus térinformatikai feladat, de napjainkban akár geoinformációval ellátott videók (például drónfelvételek) is megjeleníthetők,¹⁷ valamint mérésekben felhasználhatók (metainformációk alapján). A légi fénykép készítési helyszínének, valamint orientációjának megállapításában a többbevörös, nagy pontosságú

¹⁴ GNSS – *global navigation satellite system* – globális műholdas navigációs rendszer.

¹⁵ GIS – *geographic information system* – geoinformációs rendszer.

¹⁶ Kállai Attila: A hadirégészeti kutatások térinformatikai alapjai, különös tekintettel Zrínyi-Újvár környezetének retrospektív térinformatikai modellezésére. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Dialóg Campus, 2019. 141–157.

¹⁷ A videóállományok térinformatikai megjelenítésére is vannak már megoldások. Lásd: FMV – ArcGIS: Introduction to Full Motion Video. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/image-analyst/introduction-to-full-motion-video-in-arcgis-pro.htm>

GNSS-rendszerek segíthetnek.¹⁸ A műholdas képek segítségével egyes régészeti kutatások kiszervezhetők,¹⁹ és olyan résztvevők is bevonhatók, akik másképpen a kutatásban nem tudnának részt venni.²⁰

LIDAR²¹

Az eljárás alapja a lézeres távolságmérés, amelyet végezhetünk a földről (ekkor oldalirányú pásztázással) vagy a levegőből (ekkor a vizsgált területre merőleges, a hordozóplatformról lefele irányuló pásztázással). Az eljárás során egy lézernyalábot mozgatunk valamilyen előre meghatározott rendszer szerint a felszínen. A lézernyaláb becsapódik a felszín, objektum vagy a céltárgy egyes pontjaira, amelyekről különböző mértékben reflektálódik. A visszavert sugarakat egy detektor érzékeli, ami minden ponthoz meghatározza a kisugárzás és a visszaérkezés között eltelt időt. A rendszer ezeket a kisugárzás helyéhez rögzített koordináta-rendszerben eltárolva lehetővé teszi a felszín akár háromdimenziós leképezését. Az így keletkező nagyméretű adathalmazon a későbbiekben különböző jelfeldolgozási, szűrési műveleteket, geometriai transzformációkat hajthatunk végre céljainknak megfelelően (például a felszínről a növényzet által okozott reflexiók eltávolítása).

Ez a megoldás jelenleg minden más ilyen felhasználású digitalizációs módszernél pontosabb méréseket tesz lehetővé, és a korlátot jelenleg még nem feltétlenül az eszköz műszaki paraméterei jelentik, hanem az alkalmazott informatikai megoldások kapacitásai (feldolgozási, tárolási). A mérési eredmények tisztítását (mérési anomáliák kiszűrése,²² normalizálása), konvertálását és a 3D utómunkálatokat (például egykori épületek ábrázolása) követően kialakuló háromdimenziós modellhez gömbpanorámákat, megjegyzéseket, leírásokat, külső linkeket (dokumentumok, videók stb.) is tudunk rendelni. Így a pusztán szöveges adatokat tartalmazó adatbázis-típusú digitális dokumentációk helyett olyan látványos és informatív, az információkat komplex formában tartalmazó eredményt kapunk, amelynek segítségével a terepmunkák lezárását követően, akár a helyszíntől távol is folytathatók a kutatások egy virtuális térben.

A LIDAR-os és/vagy fotogrammetriai eljárással végzett mérések alapján készített prediktív modellek eróziós, valamint egyéb, az ásatási helyszínek és leletek épségét veszélyeztető jelenségek korai felismeréséhez és az ezek elleni megelőző, védelmi intézkedések megtervezéséhez is komoly segítséget nyújthatnak a szakemberek számára.

¹⁸ Károly Krisztián: Globális műholdas navigációs rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta- és erőkövetési rendszerekben (1.). *Honvédségi Szemle*, 146. (2018a), 1. 83–97.; Károly Krisztián: Globális műholdas navigációs rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta- és erőkövetési rendszerekben (2.). *Honvédségi Szemle*, 146. (2018b), 2. 77–88.

¹⁹ Lásd: Eric A. Powell: Digital Archaeology 2.0. *Archaeology*, 62. (2009a), 1.

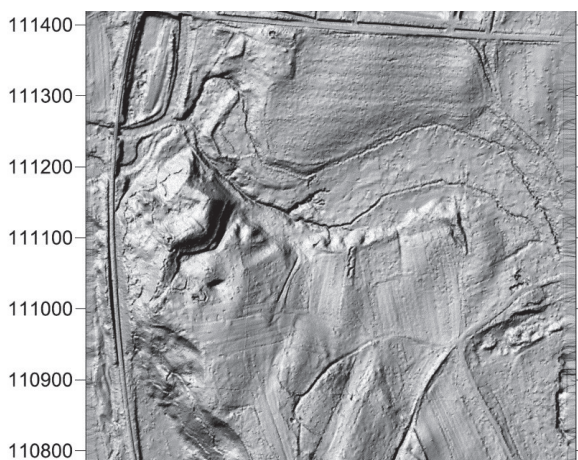
²⁰ Lásd: Volunteers Spot New Sites in Aerial Images of England. *Archaeology*, 2020. május 14. Online: www.archaeology.org/news/8695-200514-england-aerial-images és <https://earth.google.com/web/@46.32386627,16.87822708,150.65938408a,619.39978772d,35y,0h,0t,0r>

²¹ LIDAR – *light detection and ranging* – lézeralapú távérzékelés.

²² Légi felvételek esetén például a vegetáció kiszűrése.

Az elmúlt évtizedekben sajnálatos módon természeti jelenségek vagy gondatlan emberi tevékenységek miatt bekövetkező rombolások és rongálások mellett számos példát láthatunk történelmi emlékeink szándékos pusztítására is (például háborúk, terrorizmus, vandalizmus).²³ Ha ezeket megelőzni vagy kivédeni objektív okok miatt a legtöbb esetben nem is tudjuk, digitális formában mégis megőrizhetjük az utókor számára.

Ezeknek a módszereknek a katonai műszaki felsőoktatásba történő integrálása kifejezetten előremutató törekvés, hiszen a legkorszerűbb technológiákat felhasználva számos területen szerezhettek jártasságot a hallgatók az ilyen jellegű komplex feladatok megoldása során, és az így szerzett tudást a jövőben számos beosztásban, munkakörben lesz lehetőségük kamatoztatni eredményesen (például hadszíntér digitalizációja, katonai autonóm offroad járművek útvonalának felmérése, adaptív tervezése).



3. ábra. Zrínyi-Újvár LIDAR-os felmérésének eredménye

Forrás: a szerzők szerkesztése

Légi fényképezés

Korábban a régészetben a légi fényképezést elsősorban a vizsgált területek jellegzetességeinek felmérése, a lelőhelyek azonosítása céljából alkalmazták (4. ábra). Azonban a nem a felszínre merőlegesen készített, egymással össze nem illeszthető fotókat alapvetően hibásnak, használhatatlannak minősítették. Ez maradt a gyakorlat egészen az utóbbi évekig, amikor a digitális képfeldolgozás és a 3D ábrázolás lehetővé tette fejlett fotogrammetriai eljárók segítségével a különböző irányszögekből készített, egymással átlapolódó fotókból háromdimenziós modellek összeállítását (5. ábra). Manapság az erre a célra hatékonyan felhasználható szoftverek ára már a megfizethető kategóriába tartozik, míg vannak olyan megoldások is, amelyek kutatási célokra akár ingyenesen felhasználhatók.²⁴

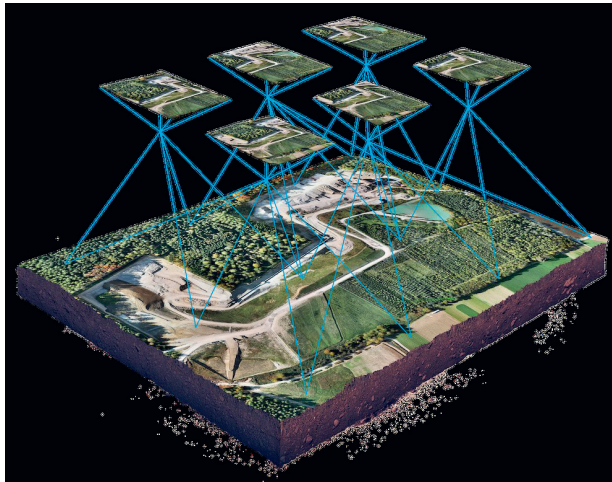
²³ Kiona Smith-Strickland: *Digital Archaeology: 3D Modeling Reveals Ancient Artifacts*. 2013.

²⁴ Például: www.autodesk.com/products/recap/overview



4. ábra: Vegetáció elemzése légifotók segítségével

Forrás: Gáti Csilla – Bertók Gábor: ARCLAND projekt 2010–2015. A JPM Régészeti Osztályának nemzetközi pályázata. *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve*, (2015), 53. 391–400.



5. ábra: A légifotók fotogrammetriai felhasználásának elve

Forrás: <https://wingtra.b-cdn.net/wp-content/uploads/201909-lidar-photogrammary-illustration-1.png>

A kamera mozgatási módszere alapján kétféle légi fényképezési stratégiát tudunk megkülönböztetni, a teljes területfedési (felszínre merőlegesen végzett) és a megfigyelő által irányított felderítést (amely lehet a céltárgyra vagy talajfelszínhez képest oldalirányú, vagy arra merőleges). A légi fényképezés a térképészeti célú felhasználás mellett a vegetáció- és a talajszerkezet-elemzések elvégzésére is alkalmas, ami komoly segítség lehet településmaradványok, korabeli útvonalak és egyéb mesterséges tereptárgyak, például erődítés, árok, töltés, halastó stb. azonosítása során.²⁵ A korabeli térképek, metszetek, illetve a későbbi ortofotók, műholdfelvételek összehasonlítása, illetve a különböző idősza-

²⁵ Padányi József – Négyesi Lajos: Zrínyi Miklós tevékenysége a Muraköz katonai védelmének megerősítésében. *Műszaki Katonai Közlöny*, 27. (2018), 3. 146–163.

kokban, évben/napszakban készített felvételek elemzése (például az árnyékok vizsgálata) egyéb összefüggésekre is rávilágíthat.

A katonai műszaki felsőoktatásban a különböző légi felvételek digitális feldolgozása, értékelése, elemzése, illetve a kapcsolódó technikai kihívások megoldása, valamint az ezek gyakoroltatása céljából kapott feladatok megoldása során a hallgatók speciális szakterületeken (például IMINT²⁶) is szerezhethetnek jártasságot az általános műszaki kompetenciák fejlesztése mellett.

3D modellezés

A leletek különböző módszerekkel történő digitalizálása (például lézer-/fotószkennelés), a mért adatokból a 3D modellek előállítása, majd azok kiegészítő információkkal történő ellátása és archiválása nagy segítséget jelenthet a kutatók számára, hiszen lehetőséget biztosít arra, hogy a valós tárgyakon végrehajtott kísérletek eredményeit kiegészítsék a modelleken végrehajtott virtuális vizsgálatok alapján levonható következtetésekkel. Ráadásul a virtuális vizsgálatok esetén sem időbeli, sem térbeli, sem mennyiségi korlát nincsen.

A 3D technológia különböző módszerei tehát több területen is hatékonyan használhatók a régészeti kutatások során. 3D szkennerek segítségével végezhető el a különböző tárgyak felszíni pontjainak digitalizációja. Ezek tárolhatók (archiválhatók) a későbbi feldolgozás érdekében, vagy a szükséges utómunkálatok segítségével előállítható a leletek nagy pontosságú 3D-s modellje, ami a virtuális térben bárhol és bármikor meg is jeleníthető egy számítógép monitorján. Ugyanakkor különféle 3D nyomtatási eljárások segítségével²⁷ a modellek felhasználásával tetszőleges mennyiségben reprodukálhatjuk formailag az eredeti tárgyakat, amelyek így kézzelfoghatóvá válnak. Régészeti szempontból fontos lehetőség, hogy a leletek, illetve azok lelőhelyének környezete kis távolságból, illetve nagyobb területre vetítve (az egyes lelőhelyek együttesen) egyaránt rögzíthetők három dimenzióban.²⁸ A műalkotások,²⁹ várak és erődítések,³⁰ régészeti lelőhelyek,³¹

²⁶ IMINT – *imagery intelligence* – képi felderítés.

²⁷ Gál Bence – Németh András: Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14. (2019), 1. 231–249.

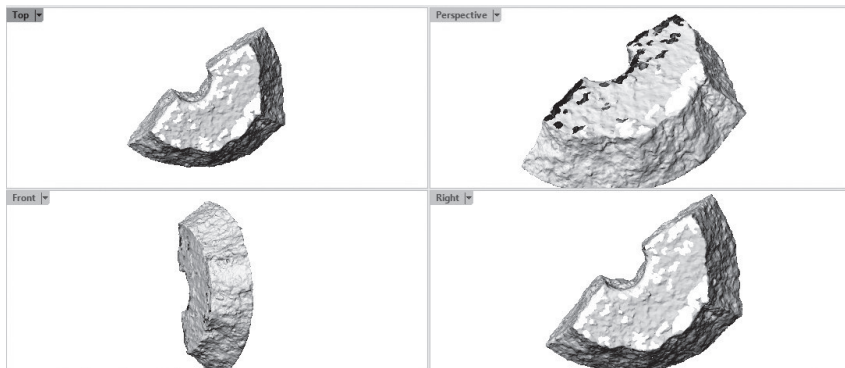
²⁸ Luca Bezzi et al.: Commercial Archaeology and 3D Web Technologies. *Journal of Field Archaeology*, 43. (2018), 1. 45–59.

²⁹ Műalkotások interaktív ábrázolása: <https://artsexperiments.withgoogle.com/beyondscrolls/>

³⁰ Lásd: www.szadvar.hu/3d/szadvar3d.html; <http://3dom.fbk.eu/repository/files/ITT/modelli3d.html>; Survey Project: Torre del Oro. Online: <https://academy.autodesk.com/portfolios/survey-project-torre-del-oro>; Survey Project: Castillo de San Jorge. Online: <https://academy.autodesk.com/portfolios/survey-project-castillo-de-san-jorge>; www.museidironzone.it/ATOR/punta_linke_v01/WebGL_build/index.html; Eger vár története 1596-ig. Online: www.youtube.com/watch?v=mZOK9tbrJL8

³¹ Lásd: Amministrazione Provincia Bolzano: La documentazione del scavo. Online: www.provincia.bz.it/arte-cultura/beni-culturali/la-documentazione-di-scavo.asp#; <https://sketchfab.com/leicester-archaeology> www.archaeology.org/news/7500-190326-egypt-amethyst-mine

leletek³² és örökségvédelmi helyszínek³³ háromdimenziós rögzítése segíti azok későbbi elemzését és a nyilvánosság számára történő interaktív bemutatását.³⁴ Az egyszerű web-lap jellegű megoldások mellett már játékok³⁵ és mobilalkalmazások³⁶ is segíthetnek ebben.



6. ábra: Strukturáltfény-alapú 3D szkennelés eredménye egy bombarepszröl

Forrás: a szerzők szerkesztése

A régészeti feltárásokon fellelt állati (például háziállatok csontjai) és növényi (például faanyagok) eredetű maradványokat gyakran nem állítják ki, és nem is őrzik meg hely- és költségtakarékosság miatt. Így a későbbiekben már nem lesz lehetőség azok vizsgálata, esetleg újraértékelésére. Gyakran kizárólag csak roncsolásos vizsgálat áll rendelkezésre bizonyos jellemzők megállapítására, ami miatt a leletek sérülnek (genetikai tesztek, radiokarbon-izotópos vizsgálat, anyagszerkezeti vizsgálatok stb.). Annak érdekében, hogy az utókor és a kutatók számára a fenti tárgyi emlékeket eredeti (fellelt) állapotukban legalább digitális formában megőrizzék, a 3D technikák kínálják a megfelelő megoldást. Az így létrehozott modelleket könnyen meg lehet őrizni, így a későbbiekben is vizsgálhatóvá és bemutathatóvá tehetők.³⁷ A 3D nyomtatás ezenfelül lehetővé teszi a leletek sérült

³² Lásd: Fort Frederica National Monument. Online: https://sketchfab.com/USF_digital/collections/fort-frederica-national-monument

³³ Volterra műemlékei: <http://research.volterra-detroit.org/>; a Notre-Dame-székesegyház tetőszerkezete (www.youtube.com/watch?v=O2z5jiJ_2tU&feature=youtu.be); műemlék jellegű épületek (<https://sketchfab.com/3d-models/heritage-building-hungary-dc4e6171d133445dafbf88bcd9577e3> és <https://sketchfab.com/3d-models/heritage-building-hungary-30b8e9a598404ddba9fbbc26ec271779>); továbbá: <https://sketchfab.com/3d-models/heritage-building-hungary-ecb28a6129084c1e8f653543dacdf47>

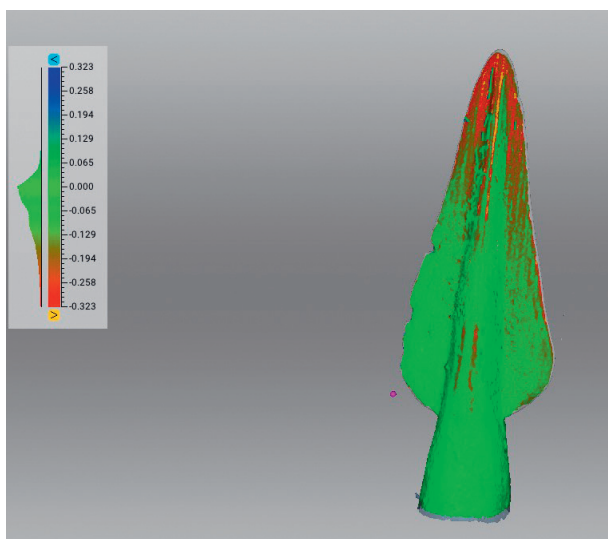
³⁴ Donald H. Sanders: Why Do Virtual Heritage? *Archaeology*, 2008. március 13.; Eric A. Powell: The Past in High-Def. *Archaeology*, 62. (2009b), 3.

³⁵ VR oktató játékok, például: The Dawn of Art. Online: https://store.steampowered.com/app/1236560/The_Dawn_of_Art/?beta=0

³⁶ M85 autót AR: https://play.google.com/store/apps/details?id=hu.pazirik.lekrim85ar&hl=en_US

³⁷ Jill A. Weber – Evan Malone: Exporting Virtual Material Culture. *The SAA Archaeological Record*, 2011. január. 15–18.

részeinek pótlását, kiegészítését³⁸ és pontosan illeszkedő támasztékok gyártását, továbbá oktatási vagy kísérleti célú demonstrációs eszközök készítését (Archaeological Institute of America 2017), ugyanakkor biztosítja adott terep különböző korok szerint, rétegenként történő ábrázolásának lehetőségét is,³⁹ amellyel a régészeti feltárások helyszíne teljes komplexitásában bemutathatóvá válik terepasztal formájában. A CT-szkennelés⁴⁰ eredményei alapján létrehozott 3D modellek nyomtatása lehetővé teszi például mumifikált holttestek roncsolásmentes vizsgálatát is.⁴¹ A 3D modellezés ugyanakkor akár történelmi személyek arcmásának rekonstrukciójában⁴² vagy digitális animációk⁴³ létrehozásában is segíthet (narrációval vagy szöveges kiegészítésekkel).



7. ábra: Strukturáltfény-alapú és lézershakkenelés eredményének összehasonlító vizsgálata – a színskála az eltéréseket mutatja mm-ben

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az oktatásban való felhasználáshoz a Zrínyi-Újvár környékének vizsgálata során végzett mérések eredményei mellett számos más, ingyenesen elérhető publikus forrás is rendelkezésre áll, ahonnan különböző 3D modellek vagy különböző LIDAR-os mérések

³⁸ Joe Flaherty: Harvard's 3D-Printing Archaeologists Fix Ancient Artifacts. 2012.

³⁹ Matt Sabo: Fairfield's Rebirth in 3-D. *Archaeology*, 2019. április.

⁴⁰ CT – *computed tomography* – komputertomográfia.

⁴¹ Jarrett A. Lobell: A Career in the Bogs. *Archaeology*, 2010. május 27.

⁴² Lásd például: Mindy Weisberger: Death Mask of King Henry VII Brought to Astonishing Life in a Digital Restoration. *Livescience*, 2020. május 21.

⁴³ Lásd például: Belvoir Slave Quarters. *Archaeology*.

(például Demo *data sets*, <https://openheritage3d.org/data>) eredményei is letölthetők. Ezek segítségével a hallgatók részére izgalmas, komplex feladatok állíthatók össze, amelyek megoldása nagyban segít a műszaki készségek és a rendszerszemlélet fejlesztésében egyaránt.

A méréseket segítő kiegészítő megoldások

Bár a 3D technológiában már számos „konzerv”-megoldás létezik, amelyek lehetővé teszik, hogy néhány kattintással készítsünk virtuális vagy nyomtatott modelleket, az ezek által kínált minőség sokszor nem elégíti ki maradéktalanul a felhasználói igényeket. A kívánt eredmény eléréséhez elengedhetetlen a műszaki szemlélet, a megfelelő elméleti háttértudás és a fokozatosan fejleszthető gyakorlati készség, valamint az ennek során szerzett tapasztalat. Például különböző jelölések alkalmazásával a 3D szkennerek működése optimalizálható. Ezek hiányában az egyébként nehezen beazonosítható, nem jellegzetes formájú vagy textúrájú tárgyak esetén, éles kontúrok hiányában az adatok feldolgozása során illesztési hibák keletkezhetnek, aminek köszönhetően az objektum felülete el- vagy szétszúszik, azaz a modell deformálódik. Vastartalmú tárgyak esetén a háttértől, illetve a tárgytól elütő színű és/vagy jellegzetes alakú, kontrasztos mintázatú mágneses jelzések, egyéb alapanyagból készült leletek szkennelése során pedig matricák vagy festett jelölések alkalmazhatók. Ez utóbbi esetben célszerű előzetesen meggyőződni arról, hogy a kiválasztott festék roncsolás nélkül eltávolítható-e a lelet felületéről. Megoldást jelenthet továbbá a céltárgy mellé helyezett referenciatárgy használata, amelynek megfelelő orientációjával térbeli támpontot biztosíthatunk a kézi vagy automatikus illesztési folyamat eredményes végrehajtásához. Referenciatárgy használatával az esetleges mérési hibák azonosíthatóvá válhatnak. A 3D szkennelés adataiból szerkesztett modell kinyomtatását követően rendelkezésünkre álló replika segítségével ellenőrizhetjük tevékenységünk eredményét, azonosíthatjuk a szkennelés során keletkező esetleges mérési, a szoftveres manipuláció során keletkező szerkesztési vagy az additív gyártási folyamat során keletkező nyomtatási hibákat.

A LIDAR és a fotogrammetriai eljárások mellett, a korábban bemutatott fémkeresős, illetve geofizikai vizsgálatok során a hiteles mérés érdekében egyaránt lényeges feladat a műszerek időszakos kalibrálása, valamint a működőképesség ellenőrzése, amelyet ismert mélységben elhelyezett ismert fizikai tulajdonságokkal rendelkező céltárgyakkal tudunk elvégezni. Ennek a működést ellenőrző tesztnek a célja, hogy csökkentsük a „fals pozitív” és „fals negatív” eredmények valószínűségét. Első esetben olyan tárgyakat használunk referenciaként, amelyeket ki kell szűrnie a műszernek (például alumíniumhulladék, söröskupak, szög, kötöződrót), míg utóbbi esetben a keresett céltárgyhoz nagyon hasonló tulajdonságokkal rendelkező referenciát kell választani.

A levegőből végzendő tevékenységek alternatív platformjai

Drónok alkalmazása

Ahogy korábbi tanulmányunkban már megfogalmaztuk,⁴⁴ a drónok ideálisak, és költséghatékony megoldást jelentenek kis magasságból végzett vizuális terepértékelésre és légi fényképezésre egyaránt. Régészeti alkalmazásuk éppen ezért már évek óta a munkafolyamatok szerves részét képezi. Kezdetben alapvetően helyszínfelderítési és terepértékelési feladatokra, valamint bemutató videók, illetve dokumentumfilmek vágóképeinek⁴⁵ készítésére használták, de mára már a terep és a különböző objektumok 3D modellezéséhez szükséges foto- és videóanyagok felvétele és utófeldolgozása dominál. Természetesen drónok segítségével a kamerákon kívül más *payloadok*⁴⁶ is a levegőbe emelhetők, amelyek közül a hadirégészet és hadszíntérkutatók eszköztárába leginkább a LIDAR-ok alkalmazása illeszkedik. Ezek beszerzési költsége ugyanakkor ma még többnyire jelentősen meghaladja a kutatást végző szakemberek és szervezetek anyagi erőforrásait, így napjainkban az ilyen felmérések szolgáltatásként történő igénybevétele tűnik járható útnak.

A drónok hallgatói projektmunkákban való felhasználásában van perspektíva, amennyiben biztosítani tudjuk a szükséges eszközparkot (biztonságos repülésre képes, stabilizált, nagy felbontású kamerával felszerelt multikopterek), a hallgatók megfelelő felkészítését (drónoperátor alaptanfolyam, típustanfolyam), valamint tevékenységük és az eszközök biztonságos üzemeltetésének feltételeit a vonatkozó jogi szabályozás keretei között. Ennek keretei nem alakultak ki, és még nem látszik hatékony megoldás a kapcsolódó költségek (eszközök, biztosítás, tanfolyam, engedély), az adminisztrációs nehézségek, valamint az időtényező (elsősorban a hallgató teljes képzési ideje és tanfolyamok elvégzéséhez szükséges idő) miatt, ezért nem várható ezen a területen gyors előrelépés. Ugyanakkor a hallgatók szoftveres utómunkálatokba, az elemzések, 3D modellek készítésébe történő bevonása lényegesen egyszerűbben megoldható.

Ballonok alkalmazása

Felderítési, kutatási és légi fényképezési célzattal évszázadok óta alkalmaznak különböző helyhez kötött vagy kontrollált helyváltoztatásra képes irányítható (például hőléggallon), illetve szabadon mozgó (például meteorológiai) ballonokat.⁴⁷ Ezek a ma elérhető multi-

⁴⁴ Szabó András – Németh András: A katonai műszaki képzés rendszerének kihívásai és lehetséges fejlesztési iránya. *Hadtudományi Szemle*, 2019a., 12. klsz.

⁴⁵ Lásd például: A szentgotthárdi csata és a vaskvári béke. Online: www.youtube.com/watch?v=6iaNB-VYKhTs

⁴⁶ Hasznos teher.

⁴⁷ Károly Krisztián – Mikó Gyula: Kis magasságú ballonok honvédelmi alkalmazásának lehetőségei, különös tekintettel a Magyar Honvédség távközlési igényeinek támogatására. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 2. 293–308.

koptereknél lényegesen nagyobb hasznos terhek felemelésére és mozgatására képesek, illetve sokkal tovább tudnak a levegőben maradni, ezért például nagy kiterjedésű területek nagy felbontású LIDAR-os felmérésének elvégzéséhez optimális légi hordozóplatformként is szolgálhatnak.

Ugyanakkor magas beszerzési és üzemeltetési költségeik, valamint alkalmazásuk körülményessége nem teszi lehetővé régészeti célzattal történő széles körű felhasználásukat. Természetesen a fenti indokok alapján a katonai műszaki oktatásba történő bevonásnak sem ma, sem később nem látjuk relevanciáját. Ez a megállapítás, ha árnyaltabban is, de érvényes a *helikite*-okra is, amelyek tulajdonképpen sárkányszerkezettel kombinált, kisebb méretű, helyhez kötött, személyzet nélküli ballonok. Könnyebben irányíthatók, és a légáramlatokkal, széllal szembeni ellenálló képességük (függetlenségük) is lényegesen nagyobb, míg költségük alacsonyabb. Alkalmazásuk mégsem elterjedt, mivel sokkal körülményesebb, mint a multikoptereké.

Sárkányszerkezetek alkalmazása

A keretes és keret nélküli sárkányszerkezeteket (az angolszász szakirodalomban *kite*-nak nevezik ezeket) először az 1906-os San Francisco-i földrengés kárfelmérése során⁴⁸ használták légi fényképek készítésére, ugyanakkor a fényképezés örökségvédelmi célú alkalmazása még ennél is régebbre tekint vissza. Először 1858-ban, Albrecht Meydenbauer építész ötlete alapján mérési céllal kezdték el fényképek segítségével felmérni és archiválni a műemlék jellegű épületeket a levegőből Németországban.⁴⁹ Alapjában véve az akkor készült felvételek és mérési eredmények tették lehetővé évtizedekkel később a két világháború pusztításait követő helyreállítási munkák elvégzését.

A sárkányszerkezetekkel végzett légi fényképezést még napjainkban is előszeretettel alkalmazzák,⁵⁰ és a régészeti kutatások során is hatékony alternatívát jelenthet különböző helyszíneken.⁵¹ Jellemzően olyan nyílt, nagy kiterjedésű régészeti lelőhelyeken alkalmazzák, ahol más eljárás túlzottan költséges vagy engedélyeztetési szempontból problémás lenne.

⁴⁸ Lásd: Peter Nurske: *Notes on George Lawrence's 1906 Aerial Panoramas of San Francisco*. Online: http://robroy.dyndns.info/lawrence/Nurkse/san_francisco.php

⁴⁹ Jörg Albrecht: Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage. *Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001*. Potsdam, 2001. szeptember 18–21. 19–25.

⁵⁰ Lásd: www.luftpandora.com/

⁵¹ Az első régészeti célú sárkányszerkezetes felvételeket 1912–1913 között Sir Henry Wellcome készítette egy szudáni ásatáson. Forrás: Georg Gerster – Charlotte Trümpler: *The Past from Above: Aerial Photographs of Archaeological Sites*. Los Angeles, J. Paul Getty Museum, 2005; Matt Schlitz: A Review of Low-Level Aerial Archaeology and Its Application in Australia. *Australian Archaeology*, (2004), 59. 51–58.; Miron Bogacki: Archaeological Kite Aerial Photography in Ptolemais in Years 2006–2008. 2013. 77–91.; Miron Bogacki et al.: GPS RTK Mapping, Kite Aerial Photogrammetry, Geophysical Survey and GIS Based Analysis of Surface Artifact Distribution at the Pre-Hispanic Site of the Castillo de Huarmey, North Coast of Peru. 2010. 121–130.



8. ábra: Az 1906-os San Francisco-i földrengésről készített légi fotó

Forrás: [Wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:San_Francisco_1906.jpg)



9. ábra: Sir Henry Wellcome által 1912–1913 között egy szudáni ásatáson használt szerkezet

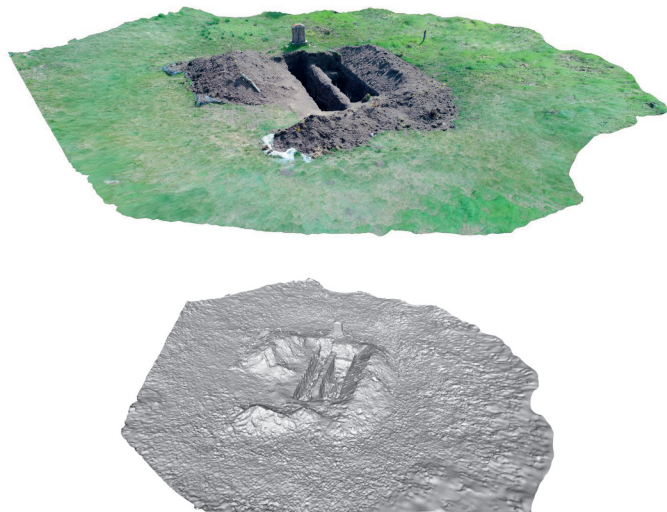
Forrás: [Wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wellcome_Archives_-_Sudan.jpg)

PBL-módszertanra kidolgozott mintaprojekt

Az eddigiekben röviden bemutatott azokat a korszerű technológiákat, mérési eljárásokat és technikai megoldásokat, amelyeket az elmúlt több mint másfél évtizedben eredményesen alkalmaztunk Zrínyi-Újvár terepi kutatásai, valamint az eredmények feldolgozása és vizualizációja során. Ezek mindamellett, hogy általánosságban is igazolták létjogosultságukat a hadirégészet, valamint a csata- és hadszíntérkutatás eszköztárában, alkalmasnak bizonyultak arra is, hogy a katonai műszaki, illetve hadtudományi képzési területen kreatív tanulási program keretében felhasználjuk őket a problémaalapú tanulás támogatására. Ennek gyakorlatban történő megvalósíthatóságának szemléltetése érdekében kidolgoztunk egy innovatív, többlépcsős, komplex mintaprojektet, amelynek végrehajtása egyrészt épít a hallgatók tanulmányai során megszerezhető műszaki alapozó és szakmai ismeretekre, ugyanakkor kreatív gondolkodást és önálló kutatómunkát egyaránt elvár

a résztvevőktől. (Hasonló gyakorlatorientált megoldások⁵² természetesen más képzési területeken is megjelenhetnek, hiszen a problémák helyes behatárolásával – figyelemmel az írás első felében megfogalmazott feltételekre –, konkretizálásával, a megoldáskeresési folyamat hatékony menedzselésével, támogatásával [tutor] lehet a jövő szakembereinek felkészülését eredményesen biztosítani.)

A mintaprojekt alapötletét az adta, hogy ugyan a drónok beszerzési és üzemeltetési költségei az elmúlt években rohamosan csökkentek, a képzésbe történő bevonásukra, gyakorlati alkalmazásukra széles körben mégsem került sor a korábban megfogalmazott indokok alapján. Ezért a hallgatóknak más megoldáson kell gondolkodniuk a fotogrammetriai eljárások alkalmazásához szükséges légi fényképezés végrehajtása érdekében.



10. ábra: Régészeti feltárás fotogrammetriai dokumentálása (fent: textúrázott modell, lent: poligon modell)
Forrás: a szerzők szerkesztése

Projekt: Sárkányszerkezet tervezése alacsony magasságban végzett légi fényképezés végrehajtására, majd fotogrammetriai eljárások alkalmazásával 3D modell előállítás

1. feladat: A projekt végrehajtásának tervezése

A projekt végrehajtásában részt vevők számának, felkészültségének és készségeinek függvényében a feladatok meghatározása során több, illetve kevesebb kezdőinformáció megadására is lehetőség nyílik, ezáltal csökkentve vagy növelve önállóságukat, a probléma megoldásának szabadságfokát. A projekt egyik legfontosabb részét képezi

⁵² Például különböző versenyek formájában, lásd: RECCS <http://reccs.uni-obuda.hu/en/history>

az egyes feladatok időszámvetésének megtervezése, a feladatok felosztása, a végrehajtás megszervezése és irányítása, a csoportmunkához szükséges kommunikációs, illetve együttműködési platformok kiválasztása és létrehozása, a vezetési, munka-, ellenőrzési és dokumentálási rend meghatározása, valamint a felhasználásra tervezett hardverek (alapanyagok, szerszámok, egyéb eszközök) és szoftverek körének kiválasztása.

2. feladat: Kite tervezése

A NASA Kite Modeler⁵³ programja segítségével a tervezési szakaszban szimulálhatók a különböző alakú és felületű sárkánytestek aerodinamikai tulajdonságai. A WingCalc⁵⁴ szoftver segítségével merevítés nélküli sárkányszerkezet tervezhető. Mindkét program ingyenesen elérhető, és lehetőséget biztosítanak a kísérletezésre, a különböző modellek összehasonlítására, így a PBL-projekt során jelentős segítséget nyújthatnak a hallgatók számára.

Szemponatok:

- repülési tulajdonságok (például stabilitás, irányíthatóság, minimális és maximális szélsébség);
- alkalmazási/funkcionális jellemzők (például robusztusság, teherbírás, kezelhetőség);
- logisztikai szempontok (például szállíthatóság, karbantartás, javíthatóság, költségek).

A projektmunka során célszerű olyan kis/közepes teherbírású modellben gondolkodni, amely a – fotogrammetriai eljárásokhoz szükséges fényképek, illetve videóanyagok készítése céljából – felfüggesztett akciókamera hordozására képes, és irányítása gyorsan, egyszerűen elsajátítható, így biztosítja a feladat eredményes végrehajtását. A feladat (az összes többi esetben is) a kapcsolódó dokumentációk elkészítésével zárul.

3. feladat: Kite megvalósítása

A feladat végrehajtása során törekedni kell a költséghatékonyan és egyszerűen beszerezhető alapanyagok használatára (lásd: tervezési szempontok), a szerszámok szabályos és biztonságos használatára, a munka-, baleset- és tűzvédelmi rendszabályok végrehajtására. A kapcsolódó dokumentációk elkészítése.

⁵³ NASA Kite Modeler letölthető: www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/kiteprog.html

⁵⁴ Lásd: Kite Design Software WingCalc. Online: www.wingworks.de/kite-design/3d-software-wingcalc/ és <https://github.com/wingworks>

4. feladat: Tesztek végrehajtása, repülési tulajdonságok vizsgálata

A feladatnak részét képezi a helyszín és a meteorológiai tényezők figyelembevételével a lehetséges idősávok kiválasztása, ami során maximális figyelemmel kell lenni a feladat szabályos és biztonságos végrehajtására. Része továbbá a tesztek lépéseinek és körülményeinek pontos megtervezése és a vizsgálatok végrehajtása, szükség esetén (akár módosításokat követően) megismétlése. A kapcsolódó dokumentációk elkészítése.

5. feladat: Légi fényképezés tervezése

Az optimális időjárási körülmények (szél, napsugárzás mértéke és napállás, árnyékhatások), valamint a repülési stratégia kiválasztása annak figyelembevételével, hogy a modellek elkészítéséhez megfelelő magasságokból és különböző irányokból (tervezési szempont) elegendő mennyiségű és jó minőségű, georeferálható fényképre van szükség. A kapcsolódó dokumentációk elkészítése.

6. feladat: Légi fényképezés végrehajtása

Az előzetes terveknek megfelelően a fényképezés végrehajtása, az eredmények visszaellenőrzése, szükség esetén a feladat (akár többszöri) megismétlése. A kapcsolódó dokumentációk elkészítése.

7. feladat: Fényképek feldolgozása

Az elkészült fényképek minőségi ellenőrzését és válogatását követően a korábban kiválasztott célszoftverek felhasználásával a szükséges javítások és manipulációs munkák elvégzése, illetve a 3D modell előállítása. A kapcsolódó dokumentációk elkészítése.

8. feladat: A projektmunka lezárása

Dokumentációk ellenőrzése, rendezése, pontosítása, valamint írásos beszámoló (publikációtervezet) és prezentáció készítése az elvégzett munka, valamint az eredmények és tapasztalatok bemutatása érdekében.

A projekt értékelése

A projekt valóban komplex, hiszen magába foglalja a probléma értelmezésétől és a megoldás folyamatának megtervezésétől kezdve a megoldási variációk értékelésén, a kivá-

lasztott módszer megtervezésén (technológiák, alapanyagok kiválasztása), kivitelezésén (hordozóplatform építése), alkalmazásán (mérések végrehajtása) keresztül az eredmények létrehozásáig és kiértékeléséig (képek, metainformációk rendezése, szűrés, javítás, 3D modell készítése) az eredményes és hatékony végrehajtáshoz szükséges összes lépcsőfokot. Segít a rendszerszemlélet kialakításában és megerősítésében, valamint a csoportmunka keretében történő tevékenységekhez szükséges kompetenciák fejlesztésében, hiszen ezek nélkül nem lehet a problémát hatékonyan megoldani. Alapvetően épít a korábban megszerzett ismeretanyagra és az önálló (csoportos) kutatómunka eredményeire, miközben fokozza az innovációs hajlandóságot és kreativitást annak a célnak az elérése érdekében, hogy a projekt végére kész megoldást tudjanak a hallgatók prezentálni.

A lehetséges megoldási változatok, illetve lehetséges implementációk széles (pontosabban a feladatmeghatározás részletezésével szabályozható szélességű) teret engednek ugyan a fantáziának, de a gyakorlatban történő megvalósítás követelménye önkorlátozó mechanizmusok kialakítását is igényli a résztvevőktől. A feladatok jól illeszthetők a hallgatók tudásszintjéhez, és lehetőséget adnak akár az egyes munkafolyamatok érdeklődés szerinti felosztására vagy a párhuzamos munkavégzés megszervezésére és végrehajtására.

A projekt kiértékelése során törekedni kell a feladat komplexitásának, valamint a résztvevők tapasztalatainak és véleményének figyelembevételére, az egyes feladatok, munkafázisok, munkafolyamatok és egyének, valamint a teljes csoport teljesítményének elemzésére, az erősségek és gyengeségek megvilágítására. Az értékelés keretében ugyanakkor lehetőség nyílik alternatív megoldások, cselekvési változatok bemutatására és elemzésére is.

Összegzés

A Zrínyi-Újvárhoz kapcsolódó kutatási projekt immáron több mint másfél évtizede tölt be méltán fontos szerepet a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, majd a Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karának kutatási portfóliójában. A terepi vizsgálatok, valamint a kapcsolódó tudományos munka eredményei azon túl, hogy jelentősen gyarapították az elmúlt időszakban hadtörténelmi ismereteinket, méltó emléket állítanak a magyar hadtudomány megalapítójának is tekintett egyik legmeghatározóbb történelmi személyiségnek, egyetemünk jogelőd intézménye névadójának, a költő és hadvezér Zrínyi Miklósnak, illetve rajta keresztül az egész Zrínyi családnak.

A kutatások kezdete óta, a technológiai fejlődés következtében az általunk alkalmazott technikai eszközök és módszerek egyaránt sokat változtak, ami rávilágított arra, hogy a közös nemzeti tudaton felül miként kapcsolódik múltunk a jelenhez és jövőnkhez. Az idő előrehaladtával folyamatosan fejlődő, legkorszerűbb technológiák történelmi kutatásba való bevonásával egyre több információhoz juthatunk egyre távolodó múltbeli eseményekről. Azaz műszaki-technikai ismereteink fejlesztésén keresztül közvetlenül nyílik lehetőségünk történelmi ismereteink bővítésére is. Ez a kettősség teszi kíváltképp alkalmassá a csata- és hadszíntérkutatást arra, hogy a jövőben kreatív tanulási programok egyik domináns területévé váljon úgy a hadtudományi, mint a katonai műszaki képzési területen.

Gazdag történelmi örökségünk, valamint a kutatások műszaki támogatásához rendelkezésre álló, egyre bővülő, fejlődő technikai eszközrendszer folyamatosan megújuló és ma még kiapadhatatlannak tűnő forrást biztosít a problémaalapú tanulást (PBL) támogató kreatív, illetve innovatív projektfeladatok kidolgozására.

Felhasznált irodalom

- Albertz, Jörg: Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage. *Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001*. Potsdam, 2001. szeptember 18–21. 19–25. Online: www.hasler.net/Meydenb.pdf
- Belvoir Slave Quarters. *Archaeology*. Online: www.archaeology.org/exclusives?slg=belvoir-slave-quarters-reconstruction
- Bezzi, Luca – Alessandro Bezzi – Christian Boscaro – Kathrin Feistmantl – Rupert Gietl – Giuseppe Naponiello – Fabiano Ottati – Margarita Guzman: Commercial Archaeology and 3D Web Technologies. *Journal of Field Archaeology*, 43. (2018), 1. 45–59. Online: <https://doi.org/10.1080/00934690.2018.1505410>
- Bogacki, Miron: Archaeological Kite Aerial Photography in Ptolemais in Years 2006–2008. 2013. 77–91. Online: http://ptolemais.uw.edu.pl/pdf/Archaeological_kite_aerial_photography_in_Ptolemais.pdf
- Bogacki, Miron – Miłosz Giersz – Patrycja Prządka-Giersz – Wiesław Małkowski – Krzysztof Misiewicz: *GPS RTK Mapping, Kite Aerial Photogrammetry, Geophysical Survey and GIS Based Analysis of Surface Artifact Distribution at the Pre-Hispanic Site of the Castillo de Huarmey, North Coast of Peru*. 2010. 121–130. Online: www.earsel.org/symposia/2010-symposium-Paris/Proceedings/EARSeL-Symposium-2010_2-10.pdf
- Bleszity János – Földi László – Haig Zsolt – Nemeslaki András – Restás Ágoston: Műszaki kutatások és hatékony kormányzás. *Hadmérnök*, 9. (2016), 3. 221–242. Online: http://hadmernok.hu/163_18_bleszity.php
- Flaherty, Joe: *Harvard's 3D-Printing Archaeologists Fix Ancient Artifacts*. 2012. Online: www.wired.com/2012/12/harvard-3d-printing-archaeology/
- Gál Bence – Németh András: Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14. (2019), 1. 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- Gáti Csilla – Bertók Gábor: ARCLAND projekt 2010–2015. A JPM Régészeti Osztályának nemzetközi pályázata. *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve*, (2015), 53. 391–400. Online: <https://docplayer.hu/1257191-Arcland-projekt-2010-2015-a-jpm-regeszeti-osztalyanak-nemzetkozi-palyazata.html>
- Gerster, Georg – Charlotte Trümpler: *The Past from Above: Aerial Photographs of Archaeological Sites*. Los Angeles, J. Paul Getty Museum, 2005.
- Hausner Gábor – Négyesi Lajos – Padányi József: Novi Zrin u svjetlu izvora i istrazivanja terena. In Bene Sándor – Zoran Ladič – Hausner Gábor (szerk.): *Susreti dviju kultura: Obitelj Zrinski u hrvatskoj i mađarskoj povijesti*. Zagreb, Matica Hrvatska, 2012. 189–218.
- Hmelo-Silver, Cindy E.: Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16. (2004), 3. 235–266. Online: <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>

- Keßler, Carsten – Henning Sten Hansen – Lise Schröder – Jamal Jokar Arsanjani: *Teaching Geospatial Technologies with Problem-Based Learning*. 2018. Online: <http://spatial.ucsb.edu/eventfiles/agile2018/Problem-Based%20Learning.pdf>
- Kállai Attila: Zrínyi-Újvár feltárásának térképészeti munkái. In Bene Sándor – Fodor Pál – Hausner Gábor – Padányi József (szerk.): *Határok fölött. Tanulmányok a költő, katona, államférfi Zrínyi Miklósról*. Budapest, MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont, 2017. 369–376.
- Kállai Attila: A hadirégészeti kutatások térinformatikai alapjai, különös tekintettel Zrínyi-Újvár környezetének retrospektív térinformatikai modellezésére. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Dialóg Campus, 2019. 141–157. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/123456789/14693/3/756_ZRINYI_HU_v1.pdf
- Károly Krisztián: Globális műholdas navigációs rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta- és erőkövetési rendszerekben (1.). *Honvédségi Szemle*, 146. (2018a), 1. 83–97. Online: https://honvedelem.hu/files/files/66992/hsz_2018_1_beliv_083_097.pdf
- Károly Krisztián: Globális műholdas navigációs rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta- és erőkövetési rendszerekben (2.). *Honvédségi Szemle*, 146. (2018b), 2. 77–88. Online: https://honvedelem.hu/files/files/109159/hsz_2018_2_beliv_077_088.pdf
- Károly Krisztián – Mikó Gyula: Kis magasságú ballonok honvédelmi alkalmazásának lehetőségei, különös tekintettel a Magyar Honvédség távközlési igényeinek támogatására. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 2. 293–308. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-21-0397-Karoly_K-Miko_Gy.pdf
- Lenkey László: Földmágneses mérések a régészetben. In *Régészeti geofizika konferencia*. Budapest, 2013. 11. 05. Online: <http://oldwww.mageof.hu/regeszet/arch/1311lenkey.pdf>
- Lobell, Jarrett A.: A Career in the Bogs. *Archaeology*, 2010. május 27. Online: https://archive.archaeology.org/online/interviews/heather_gill_robinson/
- Négyesi Lajos: Zrínyi-Újvár stratégiai jelentősége. In Bene Sándor – Fodor Pál – Hausner Gábor – Padányi József (szerk.): *Határok fölött. Tanulmányok a költő, katona, államférfi Zrínyi Miklósról*. Budapest, MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont, 2017. 343–356.
- Németh András: A tehetséggondozás és tudományos utánpótlás-nevelés múltja, jelene és jövője a hadtudományok területén, különös tekintettel a tudományos diákköri mozgalom szerepére I. *Hadtudomány*, 25. (2015), elektronikus szám. 296–308. Online: http://mhht.eu/hadtudomany/2015/2015_elektronikus/25_NEMETH_ANDRAS.pdf
- Németh András – Szabó András: Zrínyi-Újvár ostromának műszeres kutatása. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Dialóg Campus, 2019b. 159–180. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/123456789/14693/3/756_ZRINYI_HU_v1.pdf
- Németh András – Szabó András – Balog Ferenc: 3D virtualizációs és vizualizációs technológiák az eredmények archiválásában. In Hausner Gábor – Németh András (szerk.): *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Budapest, Dialóg Campus, 2019. 223–266. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/123456789/14693/3/756_ZRINYI_HU_v1.pdf
- Padányi József: A Zrínyi-Újvár területén folytatott műszeres kutatások. In Bene Sándor – Fodor Pál – Hausner Gábor – Padányi József (szerk.): *Határok fölött. Tanulmányok a költő, katona, államférfi Zrínyi Miklósról*. Budapest, MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont, 2017. 357–368.

- Padányi József – Négyesi Lajos: Zrínyi Miklós tevékenysége a Muraköz katonai védelmének megerősítésében. *Műszaki Katonai Közlöny*, 27. (2018), 3. 146–163. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2018_3_12_Padanyi%20-%20Negyesi_MKK_cikk.pdf
- Parkinson, Sarah: *Employability and Problem Solving*. 2006. Online: www.le.ac.uk/ssds/esac/employability_problemsolving.pdf
- Powell, Eric A.: Digital Archaeology 2.0. *Archaeology*, 62. (2009a), 1. Online: <https://archive.archaeology.org/0901/topten/digitalarky.html>
- Powell, Eric A.: The Past in High-Def. *Archaeology*, 62. (2009b), 3. Online: https://archive.archaeology.org/0905/etc/high_def.html
- Sabo, Matt: Fairfield's Rebirth in 3-D. *Archaeology*, 2019. április. Online: www.archaeology.org/issues/332-1903/trenches/7394-trenches-virginia-fairfield-3-d
- Sanders, Donald H.: Why Do Virtual Heritage? *Archaeology*, 2008. március 13. Online: <https://archive.archaeology.org/online/features/virtualheritage/project1.html>
- Schlitz, Matt: A Review of Low-Level Aerial Archaeology and Its Application in Australia. *Australian Archaeology*, (2004), 59. 51–58. Online: <https://doi.org/10.1080/03122417.2004.11681791>
- Smith-Strickland, Kiona: Digital Archaeology: 3D Modeling Reveals Ancient Artifacts. 2013. Online: www.popularmechanics.com/technology/gear/a8738/digital-archaeology-3d-modeling-reveals-ancient-artifacts-15222887/
- Szabó András – Németh András : A katonai műszaki képzés rendszerének kihívásai és lehetséges fejlesztési iránya. *Hadtudományi Szemle*, (2019a), 12. klsz. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.19>
- Törös Endre: *Földradar: lehetőségek és jövőkép*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 2013. Online: <http://oldwww.mageof.hu/regeszet/arch/1311toros.pdf>
- Viking King's Bones Recreated With 3-D Printer. *Archaeology*, 2017. november 21. Online: www.archaeology.org/news/6114-171121-gorm-the-old
- Weber, Jill A.– Evan Malone: Exporting Virtual Material Culture. *The SAA Archaeological Record*, 2011. január. 15–18. Online: http://pop.h-cdn.co/assets/cm/15/06/54d15040c46ef_-_weber_malone_icaz_saa_jan2011_30dc2c4e8f.pdf
- Weisberger, Mindy: Death Mask of King Henry VII Brought to Astonishing Life in a Digital Restoration. *Livescience*, 2020. május 21. Online: www.livescience.com/henry-vii-reconstruction-death-mask.html