

RPAS – ROBOTREPÜLŐK A RÉGÉSZET SZOLGÁLATÁBAN

BALOGH ANDRÁS¹ – SZABÓ MÁTÉ²

A távirányított repülő eszközök napjaink egyik dinamikusan fejlődő technológiáját képviselik. Alkalmazásuk terjedése a robotika fejlődéséből adódóan az egyre megbízhatóbb eszköz- és programhátérnek, valamint csökkenő árúknak is köszönhető, de ma még nem beszélhetünk általános használatukról, hiszen az eszközök biztonságos kezelése még mindig komoly szakmai és anyagi háttérrel kíván. Az általunk végzett tudományos kísérletek arra mutatnak, hogy rövidesen – számos alkalmazási területük mellett – a régészeti munkák nélkülözhetetlen segítőivé is válhatnak. Tanulmányunkban a robotrepülőök régészetben betöltött szerepéről és az elmúlt pár évben végzett kutatásaink tapasztalatairól szeretnénk rövid áttekintést adni.

Hőléggallonra vagy kite-ra³ kötött fényképezőgéppel már a légi fényképezés hőskorában végeztek felméréseket, modellrepülőket pedig évtizedekkel ezelőtt is alkalmaztak már légi felvételezési céllal. Az igazi áttörést mégis a 21. század fejlesztései hozták: hatalmas előrelépés történt mind az eszközök és irányításuk, mind a képi és videófelvétel készítése terén.

A távirányítású repülőgépek mellett egyre szélesebb körben válnak alkalmazhatóvá különböző multirotoros kopterek, melyek a repülés és a dokumentációkészítés nagyfokú szabadságát hordozzák magukban amellett, hogy a hagyományos légirégészeti technikáknak is meghagyják a maguk alkalmazási területeit és szerepét.

A pilóta nélküli, távirányítású repülő eszközök régészeti hasznosításának lehetőségeiről Magyarországon megoszlanak a vélemények, de a technológia fejlődése és a kutatási eredmények alátámasztják alkalmazásuk jelentőségét.



1. kép: Multirotoros kopteres felmérés Miskolctapolcán



2. kép: Hőléggallonos merőleges tengelyű fotózás a miskolctapolcai ásatáson

¹ Pazirik Informatikai Kft., pazirik@pazirik.hu

² PTE-Pécsi Légirégészeti Téma, szabo.mate@pte.hu

³ „papírsárkány”

PILÓTA NÉLKÜL?

A most bemutatásra kerülő eszközök számos különböző néven forognak a köztudatban. Főként katonai alkalmazásuk miatt UAV (Unmanned/Uncrewed Aerial Vehicle – Pilóta/Személyzet Nélküli Repülő Eszköz) vagy UAS (Unmanned Aircraft System – Pilóta Nélküli Repülő Rendszer) néven ismertek, de az általánosan elterjedt kifejezés hibásnak tekinthető. Habár igaz, hogy a repülők személyzet nélkül tartózkodnak a levegőben, a „bevetés” során mégis folyamatos felügyelet alatt állnak.⁴ Esetünkben helyesebb tehát az RPAS (Remotely Piloted Aircraft System – Távirányított Repülő Rendszer) kifejezés használata, mely számos előítéletet is eloszlathat.



3. kép: Az “FPV tábor” egy helyszíni kitelepülés során

Alkalmazásuknak ugyanis gátat szab(hat) az a tény, hogy a hagyományos repülőkkal ellentétben a személyzet nélküli technikát megbízhatatlannak tartják. Ebben találhatunk részizgazságokat is. Le kell azonban szögeznünk, hogy az üzemeltető legfőbb célja, hogy mind etikai és technikai szempontból, mind a felelősség oldaláról garantálja a biztonságot. Ezen múlik a felméréseknek és ezen jövőbe mutató, ma már sok esetben nélkülözhetetlen eszközök fejlesztésének sikere is az országonként eltérő vagy még ki sem alakított jogszabályi keretek között.

A távirányított repülő rendszerek napjaink egyik rendkívül innovatív és dinamikus fejlődő technológiáját jelentik. A katonaság fejlesztései mellett ma már az RPAS egyre szélesebb körű civil alkalmazása is terjed a világban. A piacon számos cég mellett egyéni, illetve egyetemi, kutatóintézeti fejlesztések is zajlanak mind az eszközök, mind a kezelőprogramok területén. Ezek egyrészt önálló kísérletezést takarnak, másrészt a gyártók eszközeinek személyre szabását jelentik, így a technológia szinte követhetetlenül szerteágazó fejlődési utat jár be. Alkalmazási területe folyamatosan formálódik, s a régészeti kutatások csupán egyetlen szegmensét alkotják.

Régészeti és más alkalmazásuk során a repülők vagy multirotoros kopterek (táv)irányítását a legtöbb esetben több, ideális esetben minimum három ember végzi. Egyikük az eszköz irányításáért felelős, gyakorlott modellpilóta. A segédpilóta irányítja a kamerákat, olvassa



4. kép: Repülésirányítás az élő videókép alapján

⁴ Léteznek olyan fejlesztési irányok is, melyeknél az eszköz repülése előre programozott módon folyik, s habár felügyelet alatt állnak, a kezelő személyzet elsősorban a repüléshez kötött megfigyelést kontrollálja, nem magát a repülő eszközt. Véleményünk szerint azonban kiemelt jelentőséggel bír, hogy a földi személyzet minden esetben kontrollálhassa a távirányítású repülő rendszereket, ennek hiánya ugyanis számos biztonsági kockázatot rejt magában.

és folyamatosan ellenőrzi a képernyőre kiírt adatokat, szükség esetén helyettesíti a pilótát. A harmadik személy végzi az eszközök folyamatos ellenőrzését és a szabad szemmel történő megfigyeléseket, valamint közeledő légi járművek esetén vagy fel- és leszálláskor a környezet megfelelő biztosítását.

A távirányított repülő rendszerek kezelői olyan szakemberek, akik egyik oldalról az eszköz biztonságos működéséért és működtetéséért felelnek, másfelől a kutatási céloknak megfelelő tapasztalattal rendelkeznek.

RPAS ESZKÖZÖK A RÉGÉSZET SZOLGÁLATÁBAN

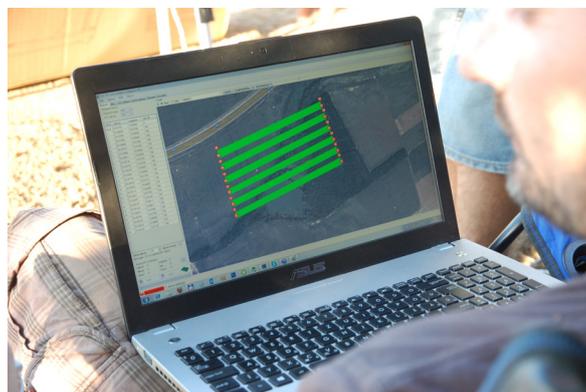
A hazai és nemzetközi eredmények azt mutatják, hogy a távirányított repülő rendszerek a régészeti kutatások során számos feladatra kiválóan használhatók. Az egyik legfontosabb terület a lelőhelyfelderítés és -megfigyelés, ahol a légirégészet eszközaletájának egyik elemeként kerülnek bevetésre.

Fontos szerepet játszanak az ásatások dokumentációjában is: segítségükkel a kutatási szelvények, illetve a lelőhely környezete is fényképezhető és videózható. Az így elkészült felvételek a tudományos dokumentáció fontos részét képezik, hiszen ezekkel az eszközökkel alacsonyabb magasságból részletesebb felmérés végezhető, mint a légirégészet hagyományos eszközeivel.

Végül, de nem utolsó sorban a megőrzött régészeti és kulturális épített örökség felmérésében, állapotának követésében (monitoring) is számíthatunk segítségükre.⁵

A lelőhelyfelderítés és -megfigyelés vitathatatlanul eredményes szegmense a légirégészet, ahol a távirányított repülő rendszerek fontos elemmel bővíthetik a rendelkezésre álló eszközkészletet. Kutatási szempontból az RPAS alkalmazási lehetőségei e téren kétfelé bonthatók.

1. A merevszárnyú FPV (First Person View) repülőgépek repülési idejük, irányíthatóságuk alapján elsősorban a kisebb, kb. 1–2 km² területen fekvő lelőhelyek felderítésében, megfigyelésében, illetve az ismert lelőhelyek szűkebb környezetének vizsgálatában játszanak szerepet. A szűkebb felderítési lehetőség a kb. 40–60 perc repülési időből, illetve a rádiófrekvenciás jelátvitel minőségéből adódik. A repülés természetesen akkumulátorcsere után újra megismételhető/folytatható, nagyobb távolságok esetében pedig a felszálló helyek változtatására is van lehetőség. A fedélzeti irányító és megfigyelő kamerarendszer nagy felbontású élőképpel segít a kielégítő megfigyelési lehetőségeket a vizsgálat során.⁶ A repülőn emellett egy további eszköz is helyet kap. Ez a kutatási célokhoz igazodóan fényképezőgép vagy kamera lehet, mely – a repülő típusától függően – a szárnyon, vagy a gép testében, ortogonális helyzetben vagy más szögben is elhelyezhető. A távirányítású repülőt előre programozott útvonalon vagy szabadon is lehet reptetni.⁷ A fejlettebb rendszerekben ma már az ismert helyszín paraméterei, valamint a térképezéshez szükséges képátfedések adatai alapján automatikus útvonaltervezésre is lehetőség van, ahol a fényképezőgép irányított exponálását is a robot végzi. A nagy részletességű és pontosságú



5. kép: Kutatási terület merőleges tengelyű fotózásának számítógépes előkészítése. A képen a tervezett repülési útvonal fordulópontjai és a kutatással érintett terület látható.

⁵ A témában jelenleg is folyik a SziMe3D AR néven futó kutatásfejlesztési projektünk, melyben a technológia szerepét és használhatóságát vizsgáljuk, összehasonlítva más felmérési technológiákkal. További információ: <http://szime3dar.com/hu/>

⁶ A technika olyan jelentős mértékben fejlődik, hogy néhány éven belül a térhatású élőképpel akár az emberi megfigyeléshez közeli lehetőségeket kínál majd. Jó példa erre, hogy egy évvel ezelőtt az élőképpel általános minősége még nagyságrenddel rosszabb volt a mai lehetőségeknél. Szabó, Máté: Nem romboló régészeti módszerek alkalmazása a pannoniai villakutatásban (Non-invasive methods in the research of Pannonian villas). *Magyar Régészet* 2012 ősz, 3. http://www.magyarregeszet.hu/wp-content/uploads/2012/10/SzaboM_12O.pdf

⁷ Kutatásaink során a magyar fejlesztésű C4S robotpilótát használjuk.

felvételezés kitűnő alapot szolgáltat a térképezéshez, akár fotó3D vagy terepmodell előállításához is.⁸ Az FPV repülések elvégzése előtt érdemes több időt fordítani a lehetséges fel- és leszálló pályák kiválasztására, hiszen itt több szempontot is figyelembe kell venni. Repülési és rádióirányítási szempontok szerint fontosak a fel- és leszálló pálya és a fotózni kívánt terület közötti domborzati viszonyok, a terepen és környezetében található növényzet, valamint a lakott területek pontos elhelyezkedése. A tervezésben nagy segítséget jelent a Google Earth program használata, hiszen itt a terepi viszonyok előzetes ismerete nélkül is nagy biztonsággal kijelölhetők a kedvező helyszínek. Érdemes több helyszínt is előre kiválasztani, hogy a kutatás során az igények szerint akár módosíthassuk is pozíciónkat.



6. kép: FPV robotrepülő indítása

2. A légitrégészeti kutatások során a multirotoros kopterek használata is nagy lehetőségeket rejt magában. Felhasználási területük technikai adottságaik szerint változik, mely elsősorban a hasznos teherhordozó képességükben és korlátozott, 6–12 perces repülési idejükben mutatkozik meg. Az arányok megfelelő kialakításával egy-egy konkrét leőhely rendkívül részletes légitrégészeti dokumentálását lehet velük elvégezni, mely térképezési, fotó3D munkákhoz, nagy pontosságú domborzatmodellek készítéséhez valamint népszerűsítő videók előállításához is tökéletes háttérrel nyújt. Repülési, pozicionálási képességük, útvonaltervezési automatizmusaik rendkívül sokoldalú segédeszközt adnak a légitrégész kezébe.



7. kép: Multirotoros kopter merőleges tengelyű fotózás közben

Az RPAS eszközökkel végzett felderítéseink alapján megállapítható, hogy a más eszközökkel – köztük a hagyományos légitrégészeti repülésekkel – folytatott kutatásokhoz hasonlóan itt is érdemes több alkalommal visszatérni az adott helyszínre, hiszen a légköri viszonyok jelentős mértékben befolyásolják az

⁸ A fotó3D dokumentáció pontos, ortokorrigált légifotó térkép készítését, valamint abból származtatott terepmodell előállítását is lehetővé teszi.

eredményeket. A jelenleg elérhető képátviteli minőség szintjén nagyon fontos a repülési magasság pontos kiválasztása is, bizonyos magasságban és légköri viszonyok között ugyanis a kamera lesugárzott képén már elveszhetnek a lelőhelyekre utaló nyomok. Repüléseink során több esetben előfordult, hogy a régészeti jelenségeket csak a repülés után visszanezett HD felbontású felvételeken vagy a nagy felbontású, merőleges tengelyű fotókon lehetett azonosítani. Ez megerősíti, hogy ez a megfigyelési mód jelenleg kiegészítő szerepet tölthet be a hagyományos légrégészeti felderítés mellett, és elsősorban az ismert helyszínek és környezetük vizsgálatára használható.

A repülések során készített nagy mennyiségű videó és légi felvétel a korábbiakhoz képest nagyságrenddel több információt szolgáltat a kutatók számára. Az élőkép mellett kiemelten fontos az utólagos feldolgozás és elemzés, amely újabb, akár nem várt eredményeket is hozhat.⁹

Az ásatási dokumentáció elkészítésének módszereiben a modern technikáknak köszönhetően a közeljövőben minden bizonnyal gyökeres változás következik be. A digitális adatrögzítés, valamint a háromdimenziós modellezés általános terjedése¹⁰ a korábinál sokkal részletesebb felmérést és feldolgozást tesz lehetővé amellet, hogy biztosítja a szükséges és értelmezett információ tárolását is. E technológiák elsősorban a rajzos régészeti dokumentációra gyakorolhatnak jelentős hatást.

A rajzok között is elsősorban a felszínrajzok előállítása vagy pontosítása során jelentenek nagy segítséget azok az ortogonális légi felvételek, melyek térképi pontossággal, vagyis az emberi mérési-rajzolás pontatlanságok kiküszöbölésével dokumentálják a feltárás egyes periódusait. Ilyen felvételek készítéséhez kézenfekvő eszköznek bizonyulnak a multirotoros kopterek, melyekkel a kívánt paraméterek szerint készíthetők el a légi felvételek. Az RPAS eszközök emellett légi felvételek sokaságával az egész szelvény fotó3D dokumentálására is lehetőséget teremtenek, így nem csupán felszínrajz, de nagy pontosságú, teljes háromdimenziós modell is készíthető segítségükkel. Az esetek többségében ráadásul sokkal egyszerűbb fotó3D felmérést készíteni a levegőből, mint a hagyományos módon, földi álláspontokból rögzíteni a szükséges részleteket.



8. kép: Római kori villa felmérése multirotoros kopterrel. A szemüvegen keresztül látható lesugárzott élőkép segítségével a vizsgálat a szakember igényei szerint módosítható.



9. kép: Római kori villa fotózása merevszárnyú FPV robotrepülővel. A repülésirányításban alkalmazott kamera nagylátószögű optikájának torzítása jól érzékelhető a felvételen.

⁹ A robotrepülők által készített digitális állományok feldolgozásáról egy következő tanulmányban szeretnénk beszámolni.

¹⁰ Fehér András: 3D szkennerek alkalmazása a régészetben (Using 3D scanners in archaeology). *Magyar Régészet* 2013 nyár, 1–5. http://www.magyarregeszet.hu/wp-content/uploads/2013/07/Feher_13Ny1.pdf

Az eszközök összetett technológiai megoldásai, komolyabb modellezési tudást követelő biztonságos üzemeltetésük és még a mai árukon is jelentős bekerülési költségük miatt úgy gondoljuk, hogy a közeljövőben nem várható általános, a kutató régész vagy régésztechnikus által kezelt eszközként való elterjedésük.

A távirányított repülő rendszerek ezen felül fontos szerepet játszhatnak az épített örökség dokumentálásában is. Ezen a területen az építészeti fotogrammetria, az ún. közel-fotogrammetria évszázados hagyományokkal rendelkezik.¹¹ Az RPAS eszközök közül elsősorban a multirotoros kopterek jelentenek újdonságot a felmérési munkák során, de szerepük a felmérések követő ellenőrzések, monitorozás során is kiemelkedő lehet.

A felméréseknél az RPAS a földi mérések kiegészítőjeként jelenhet meg. A multirotoros kopterek ugyanis részletes fotódokumentáció készítésére adnak lehetőséget olyan helyeken – elsősorban nagy magasságokban és szűk területeken –, ahol a földi eszközök, pl. lézerszkennerek használata akadályba ütközik. A távirányított repülő rendszerek teljes felmérésre, a hiányzó részek pótlására, esetleg pontos textúra rögzítésére is alkalmazhatók. Napjainkban már olyan technológia megoldásokkal is találkozhatunk, ahol egy multirotoros kopter szállítja a nagy pontosságú felméréseket végző térszkennereket.

ÖSSZEFOGLALÁS

A távirányított repülő rendszerek (RPAS) napjaink egyik dinamikusan fejlődő, rendkívül innovatív technológiáját alkotják. Szerteágazó alkalmazási területüknek csupán egy szegmense a régészeti kutatás, amely során – a tapasztalatok szerint – sikerrel használhatók. Személyre szabható eszköz- és programhatterüknek köszönhetően, a kutatási célokhoz igazodóan FPV repülőket és/vagy multirotoros koptereket használhatunk, melyeket minden esetben szakértők irányítanak. Régészeti téren három fő alkalmazási területük a légitérészeti kutatás, az ásatási dokumentáció készítése és az épített örökség dokumentálása. A robotika fejlődésének köszönhetően a kutatási célokat előre programozottan, automatikusan is dokumentálhatjuk általuk, de minden esetben mód van a valós idejű beavatkozásra, a tervek módosítására. A vizsgálatok során készült nagyszámú videó- és légi felvétel lehetőséget teremt a pontos térképezésre, akár fotó3D feldolgozásra is. Habár az RPAS térhódítása a régészet terén is várható, a technika összetettsége és ára miatt az eszközök jelenleg csak komoly szakmai háttér birtokában üzemeltethetők.



10. kép: A repülés közben lesugárzott legfontosabb repülési adatokat is mutató élő videókép

¹¹ Kiss Papp László: *Építészeti fotogrammetria* (Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1981)

AJÁNLOTT IRODALOM

EISENBEISS, H. – ZHANG, L.

Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application. In: *Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany, September 25–27, 2006*, eds Maas, H.-G. – Schneider, D., 90–96. ISPRS Archives Vol. XXXVI, Part 5 (2006) <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/>

HANKE, K. – GRUSSENMEYER, P.

Architectural Photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools. ISPRS Commission 5 tutorial. Corfu, September 2002. http://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf

SAUERBIER, M. – EISENBEISS, H.

UAVs for the documentation of archaeological excavations. In: *Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium, Close Range Image Measurement Techniques' 21–24 June 2010, Newcastle upon Tyne, UK*, eds Mills, J. P. – Barber, D. M. – Miller, P. E. – Newton, I., 526–531. ISPRS Archives Vol. XXXVIII, Part 5 (2010) <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part5/>

SEITZ, C. – ALTENBACH, H.

Project ARCHEYE – the quadcopter as the archaeologist's eye. In: *International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), 14–16 September, Zurich, Switzerland*, eds Eisenbeiss, H. – Kunz, M. – Ingensand, H., 1–6. ISPRS Archives Vol. XXXVIII-1/C22 (2011) <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/>