

Szajkó Gyula,<sup>♦</sup> Dr. Lévai Zsolt<sup>\*</sup>

## A vasúti infrastruktúra logisztikai felderítése drónok alkalmazásával

DOI 10.17047/HADTUD.2025.35.E.63

A katonai műveletek sikerességének egyik kulcsa a hadszíntér megfelelő felderítése, amelynek része a közlekedési infrastruktúrák feltérképezése, hogy biztosítani lehessen a hadianyagok, a csapatok és az utánpótlás megfelelő helyre juttatását. A szárazföldi közlekedés egyik eszköze a vasút. A cikkben az alágazat felderítési lehetőségeinek továbbfejlesztését vizsgáljuk, felhasználva a vezető nélküli légi járművek adta lehetőségeket. Empirikus kutatásunk keretében kidolgozzuk a felderítés szakmaspecifikus alapon bővített szemrevételezési listáját, valamint a terepi kísérletek eredményeire támaszkodva meghatározzuk a drónok vasúti infrastruktúrák szemrevételezéséhez való felhasználhatóságának követelményeit, amelyek jelentősen javíthatják a logisztikai felderítés eredményességét.

**KULCSSZAVAK:** hadszíntéri felderítés, drónhasználat, logisztikai támogatás, vasúti közlekedés, 3D modell

## *The Logistical Reconnaissance of Railway Infrastructure Using Drones*

*A key factor in successful military operations is proper reconnaissance of the theatre of operations, which includes mapping transport infrastructures to ensure the accurate location of materiel, troops and supplies. One of the modes of land transport is railways. In this article, the possibilities for further developing of the reconnaissance of the rail network with the use of unmanned aerial vehicles are investigated. In empirical research for an extended checklist for reconnaissance on a domain-specific basis was developed, and the requirements for the usability of drones for reconnaissance of railway infrastructure were defined based on the results of field experiments. All this can significantly improve the effectiveness of logistical reconnaissance.*

**KEYWORDS:** reconnaissance of the theatre of operations, usage of drones, logistical support, railway traffic, 3D model

### *Bevezetés*

A katonai műveleteknél fontos szempont, hogy az erők és eszközök alkalmazása az előre meghatározott követelmények figyelembevételével valósuljon meg. Ennek megfelelően a katonai szervezetek különböző elemei egy átfogó tervet készítenek a műveletek megkezdése előtt, amely segítheti a küldetések sikeres végrehajtását. A műveletek tervezésekor és szervezésekor meghatározó jelentőséggel bír, hogy rendelkezésre álljanak a hadszíntér értékeléséből származó információk. A szemben álló fél erejéről, képességéről, a kialakult politikai-, gazdasági helyzetről vagy a logisztikai támogatást befolyásoló tényezőkről (például a közlekedési hálózatról) szóló adatok hatékonyan tudnak hozzájárulni a parancsnokok törzsének döntéselőkészítési tevékenységéhez, mivel ezek az információk hatással lehetnek az alkalma-

<sup>♦</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, egyetemi tanársegéd – *Ludovika University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training, assistant lecturer*; e-mail: szajko.gyula@uni-nke.hu; <https://orcid.org/0000-0002-4347-4340>

<sup>\*</sup> Széchenyi István Egyetem, Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedési Tanszék, adjunktus – *Széchenyi István University, Faculty of Architecture Civil Engineering and Transport Sciences, Department of Transport, assistant professor*; e-mail: levai.zsolt@sze.hu; <https://orcid.org/0000-0003-2410-1730>

zandó erők nagyságára, az erőforrások mennyiségére, felhasználására és azok optimális elosztására. A művelettervezést végző törzsek számára ugyanakkor súlyponti elem, hogy valós idejű, a hadszíntéri környezetet is leíró információkkal rendelkezzenek, annak érdekében, hogy eredményesen tudják segíteni a parancsnok döntéshozatali tevékenységét. A felderítést végző szervezetek felelőssége, hogy az igényeknek megfelelően megtervezze, megszervezze, koordinálja a felderítési adatok gyűjtését és a felderítési információk pontos időben történő továbbadását.<sup>1</sup>

A jelenkori hadműveleti tervezésnél a geoinformáció kiegészül az időtényezővel is, amely a modern hadseregekben és tevékenységeikben mára az egyik legfontosabb tényezővé vált.<sup>2</sup> A gyorsaságot biztosító geoinformációs rendszerek alkalmazási területe többek között a logisztikai támogatás és a közlekedés. Az ilyen rendszerek megfelelő működéséhez szükség van az adott objektumokat jellemző információkra is (például műszaki adatokra).

A tervezéshez és szervezéshez szükséges kezdeti adatok, valamint a geoinformációs rendszerek működéséhez szükséges adatok általában a logisztikai felderítés végrehajtásán keresztül biztosíthatók. Az ide tartozó információgyűjtő folyamatok magukba foglalják a közlekedési hálózatok értékelését, az ellátási források helyének meghatározását, megközelítésének lehetőségeit, a logisztikai létesítmények, bázisok, objektumok kapacitásadatainak felmérését, amelyek feltétlenül szükségesek ahhoz, hogy egy művelet ellátási láncát az érintett szervezetek sikeresen kiépítsék és eredményesen működtessék.

A felderítés azonban több mint az információgyűjtő folyamatok összessége, mivel magába foglalja a megszerzett adatok feldolgozását, elemzését, értékelését és az így létrehozott eredményeknek a megfelelő szervezetek, parancsnokok felé történő továbbítását is. A felderítés legfontosabb célja, hogy:

- támogassa a parancsnokot;
- segítse a célok kijelölését, azonosítását és megjelölését;
- a tervezés és végrehajtás során védelmet nyújtson az ellenséges megtévesztéssel szemben;
- hatékonyan járuljon hozzá a műveletek sikeréhez és átszervezéséhez a bekövetkezett változások függvényében.<sup>3</sup>

A logisztikai felderítést alapvetően két módszer alapján lehet elvégezni. Az egyik lehetőség a helyszíni szemrevételezés, amikor a feladatra kijelölt csoportok, erők kitelepülnek a hadszíntérre és előzetes értékelést végeznek az igénybe vehető ellátási-, üzemben tartási-, elhelyezési erőforrásokról, valamint a közlekedési hálózatokról. A másik eljárás, hogy az erők az infokommunikációs eszközök segítségével szerzik be a szükséges információkat és alakítják át használható adatokká. Mindkét módszert figyelembe véve az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a vezetők a helyszíni szemrevételezéseket részesítik előnyben a modern informatikai és audiovizuális eszközök felhasználásával szemben, mert azokat főként kiegészítő

---

<sup>1</sup> Horváth 2018, 77.

<sup>2</sup> Nagy 2007, 46.

<sup>3</sup> Kovács 2004, 38.

– az információkat hitelesítő – lehetőségként kezelik, mintsem elsődleges forrást.<sup>4</sup>

A logisztikai felderítésről elmondható továbbá, hogy bár az időtáv befolyásolhatja a feladatvégrehajtást és a begyűjtendő információk körét, azonban vannak olyan kulcsfontosságú adatok, amelyekre mindenképpen kiemelt figyelmet kell fordítani. Ezek az alábbiak:

- az ellátási források adatai, megközelítésének és átcsoportosításának alternatívái;
- a logisztikai létesítmények és objektumok helye, megközelítésének lehetőségei, a hadfelszerelések lehetséges raktározását, tárolását biztosító épületek, hangárok, raktárbázisok adatai;
- az erők elhelyezését lehetővé tevő körletek, munkahelyek, szolgálati helyek, közösségi létesítmények kapacitásaira vonatkozó információk;
- a haditechnikai eszközök tárolási és üzemben tartási lehetőségei: telephelyek, műhelyek adatai;
- a közlekedési hálózatok, alágazatok kapacitásadatai, azok állapota: felvonulási, utánpótlási útvonalak, közlekedési csomópontok, terminálok, ki- és berakó állomások, anyagmozgatás, rakodás lehetőségei;
- a BNT keretében nyújtható szolgáltatások felmérése;
- a logisztikai támogatását befolyásoló külső tényezők;
- az ellátás folyamatosságának fenntarthatóságát biztosító összetevők.<sup>5</sup>

Az amerikai tengerészgyalogság a szárazföldi felderítési műveletekkel kapcsolatban a közlekedési létesítmények felderítését az előre nyomulási útvonal felderítésével fűzi össze, amely általában megelőzi a baráti erők mozgását, és egy meghatározott felvonulási vonal, például út, vasút vagy vízi út mentén történik. Az útvonal felderítése új vagy frissített információkat szolgáltat az adott útvonal mentén és a környező terepviszonyokról és tevékenységekről, amelyek befolyásolhatják a mozgást.<sup>6</sup>

Fentiek alapján a közlekedési hálózatok értékelése az egyik legfontosabb feladat a hadszíntér logisztikai felderítésekor. Az út- és vasúthálózatok főbb adatai (például a vizsgált terület hálózatsűrűsége), valamint a repülőterek, tengeri kikötők kapacitásait leíró információk hatékony segítséget nyújtanak a csapatok felvonulásának, telepítésének és visszacsoportosításának tervezéséhez. Ezt alátámasztja, hogy a kiképzések, kihelyezések alkalmával – amikor az erők helyőrségeikből a lö- és gyakorlótérre kitelepülnek – a csapatok logisztikai szervezetei mindig külön teljesítendő feladatként kezelik a közlekedési alágazatok szemrevételezését.

A közlekedési hálózatok nagysága és kiterjedt infrastruktúrája miatt érdemes alágazatonként vizsgálni a logisztikai felderítés során alkalmazható – olykor alágazatspecifikus – módszereket. Ez a cikk a vasúti szektorral foglalkozik, mert az alágazat a szárazföldön jelentős mértékben segítheti a katonai szállítási feladatok végrehajtását, mivel képes nagy tömegű áruk és jelentős számú személyi állomány nagy távolságra történő gyors eljuttatására. A vasúti infrastruktúrák mindenkori igénybevehetősége különösen fontos a honvédség

<sup>4</sup> Szajkó, Horváth 2022, 374–375.

<sup>5</sup> Magyar Honvédség Logisztikai Támogatási Doktrína 2015, 123.

<sup>6</sup> US Marine Corps 2015, F-6.

számára, mivel általuk biztosíthatók a különleges jogrendi időszakban a hadászati és hadműveleti mozgékonyság feltételei. Az országvédelmi feladatok sikeres végrehajtása ugyanis függhet attól, hogy az alágazatot milyen módon lehet használni az erők gyors felvonultatására és átcsoportosítására, valamint az utánpótlási szállításokra.

A vezető nélküli légi járművek (*Unmanned Aerial Vehicle*, a továbbiakban UAV) rugalmasságot és alkalmazkodóképességet biztosítanak a katonai alkalmazások széles skálájához, így a felderítési feladatokhoz is. A fejlett navigációs és kommunikációs rendszerek kombinálása lehetővé teszi, hogy a drónok a katonai alkalmazások széles spektrumában tevékenykedjenek.<sup>7</sup> Linker Criollo és szerzőtársai már egy 2010-es cikkükben lehetségesnek tartották a közlekedési csomópontok drónokkal történő felderítését.<sup>8</sup>

Cikkünkben a vasúti közlekedési rendszer szemrevételezésének drónokkal történő megoldását vizsgáljuk. A vasút eddig is jelentős szerepet játszott a katonai mobilitásban és Wiktor Biernikowicz kézírata szerint ezután is azt fog.<sup>9</sup> Ezért érdemes a vizsgálatot erre a közlekedési alágazatra elvégezni. A vasúti infrastruktúra feltérképezése és paramétereinek megállapíthatósága nagymértékben elősegíti a hadszíntérfelderítési tevékenységet például azáltal, hogy megállapítható a vizsgált vasúti infrastruktúrán közlekedtethető vonatok sebessége és terhelése.<sup>10</sup> Ennek érdekében elsőként meghatározzuk azokat a szempontokat, amelyekkel sikeresen végre lehet hajtani a logisztikai felderítést és az információk gyűjtését. A cikk második részében bemutatjuk a szempontlista alapján drónokkal végzett kísérleteink eredményeit és következtetéseket vonunk le a drónok vasúti hálózatok felderítésében történő alkalmazhatóságáról.

### ***A közlekedési rendszer infrastruktúra elemeinek logisztikai felderítése szemrevételezési szempontlisták alapján***

A katonai eljárásrendben elsődleges, hogy az erők mozgatása pontos és részletes logisztikai támogatási terv alapján valósuljon meg. A vasúti infrastruktúrák szemrevételezése az egyik fontos eleme a tervezésnek, amelyet a vasúti be- és kirakodás, ismeretlen útvonalak használata, valamint az országhatáron kívüli műveletben a vasútvonalak és állomások igénybevétele előtt hajtanak végre a szakemberek. A szemrevételezéskor célszerű, hogy a szakértő személyek információt gyűjtsenek a használni kívánt infrastruktúra állapotáról, kapacitásáról. Ezek a szempontok segítséget nyújtanak a logisztikai felderítést végző állománynak, hogy a vasúti infrastruktúra elemek értékelésekor a specifikus tulajdonságokra, tényezőkre fókuszáljanak. a szempontok hiányában az információk gyűjtése nagymértékben függ a személyi állomány felkészültségétől és szakmai hozzáértésétől. A feladatok végrehajtását nehezítheti, hogy a logisztikai tisztek, altisztek különböző ágazati területeken szereznek szaktudást beleértve a katonai előtanulmányaikat és kiképzésüket, majd láthatnak el feladatokat (például a hadtáp támogatás, közlekedési támogatás, vagy a haditechnikai támogatás területein). Meglátásunk szerint egy egységes, megfelelő szakmai szemrevételezési szempontokat tartalmazó lista elkészítése, majd alkalmazása jelentős mértékben segítheti a vasúti alágazatot érintő logisztikai

<sup>7</sup> Criollo et al. 2024, 120.

<sup>8</sup> Marin, Spătaru 2010, 72.

<sup>9</sup> Biernikowicz 2021.

<sup>10</sup> Lévai 2023, 151.

információk gyűjtését. Az egységesség alapján minden vasúti infrastruktúra elemről azonos adatok kerülnek begyűjtésre, amely az összehasonlítás alapja is egyben és megkönnyíti az értékelést, valamint a parancsnok döntéselőkészítési folyamatait.

A szempontlistákat tekintve nemzetközi szinten a Többszemzeti Interoperabilitási Tanács fogalmazott már meg ajánlásokat arra vonatkozóan, hogy milyen feladatokat célszerű elvégezni a közlekedési infrastruktúrák logisztikai felderítésekor. A tanács által 2012-ben kiadott dokumentum, a vasút- és úthálózatokra, a repülőterekre, valamint a tengeri kikötőkre határoz meg egyszerűsített feladatlistákat, amelyeket fel lehet használni a helyszíni szemrevételezések végrehajtásához.<sup>11</sup> Az ajánlások főként a többszemzeti béketámogató műveletek logisztikai tervezéséhez nyújtanak segítséget. Ezek a listák azonban elsősorban katonai szempontúak, ezért szükséges kiegészíteni további vasútszakmai paraméterekkel, hogy a szemrevételezési listákat felderítéskor, valamint a béke- és a különleges jogrendi időszak bevezetésekor jelentkező feladatoknál is eredményesen lehessen használni.

A bővített szemrevételezési lista követelményeinek meghatározásához különböző olyan tényezőket vettünk figyelembe, amelyek minimálisan biztosíthatják a vasúti alágazat katonai szállítási szempontok szerinti értékelését, felderítését. Ennek megfelelően a feladatlisták összeállításakor az alábbiak szerint célszerű eljárni:

- a táblázat biztosítson alapinformációkat a szemrevételezésre kijelölt hálózatra vonatkozóan (például a szemrevételezés időpontja, a vasúthálózat megnevezése, hálózatközpontok adatai, stb.);
- a listában szerepeljenek szempontok, amelyekkel beazonosíthatók a vasúti infrastruktúrák jellemző paraméterei (például raktér és útszerkezet méretei, a pályák nyomtávolsága, tengelyterhelése, a vonalakon engedélyezett sebesség stb.);
- az állomásokra vonatkozóan tartalmazzon szempontokat a be- és kirakodás feltételeinek felméréséhez (például állomási üzemi berendezések és méreteik, rakodóberendezések, biztosítóberendezések stb.);
- térjen ki a katonai szerelvények összeállításához, alkalmazásához, rakodásához szükséges fontosabb tényezőkre;
- vegye figyelembe a közlekedéshálózati tulajdonságokat (emelkedési- és lejtviszonyok, ívek sugara, hidak, alagutak elhelyezkedése stb.).

A lista az alapadatokkal kezdődik, itt szükséges szerepeltetni a szemrevételezés időpontját, az időjárási körülményeket, a vasúthálózat megnevezését és a hálózatközpontok adatait.

A vasúti infrastruktúrák jellemző paramétereinek megállapításakor alapvető kérdés, hogy a szemrevételezés állomáson vagy az azokat összekötő nyílt pályán történik-e. Mindkét esetben meghatározó a nyomtávolság, amely determinálja a rajtuk közlekedtetendő járművek típusát. Az európai vasúti nyomtáv a legtöbb országban 1435 mm, de egyes országokban ettől szélesebb is lehet (például Oroszországban 1520 mm). A különböző nyomtávolságú hálózatok találkozásánál (például Magyarország és Ukrajna határán) magas fokú koordinációt és pontos tervezést igényel az anyagok, eszközök szállítása. Az eltérő nyomtávolságú pályákon való

<sup>11</sup> Multinational Interoperability Working Group 2012.



folyamatos közlekedést segítheti elő a nyomtávkváltó berendezés alkalmazása (amelynek feltérképezése szintén a feladat része), valamint nyomtávkváltós kocsik kijelölése és használata, ennek hiányában csak a hadfelszerelések átrakásával lehet megoldani a továbbszállítási feladatokat.

A vasútvonalak villamosíthatóságának vizsgálatával továbbá adatokat lehet gyűjteni a használható vontatójármű-típusokról. Az egyes európai országokban az egységesítés hiánya miatt különböző típusú felsővezetéki rendszerek épültek ki (például az egymással határos Ausztriában 15 kv 16,6 Hz és Magyarországon 25 kV 50 Hz), amely megnehezíti a folyamatos (egy mozdonnyal történő) közlekedést. Ezt többáramnemű mozdonyok üzemeltetésével lehet megoldani. A szemrevételezéskor a különböző rendszerek látható eltéréseire kell főku-szálni (például a munkavezetékek számára).

A sínek pontos méreteinek meghatározása kiemelt fontosságú az infrastruktúra szempontjából. A sínfej méreteiből ugyanis meghatározható a pálya teherbírása (tengelyterhelése) és legtöbb esetben az alkalmazható sebesség is. Ezek a szállítási feladatok elvégezhetősége szempontjából bírnak nagy jelentőséggel.

A nyíltvonali biztosítóberendezések objektumainak helyes megállapítása a vasútvonal kapacitásáról ad képet. A pálya menti jelzők megléte vagy hiánya tájékoztatást ad a forgalom-irányítás módjáról és ezáltal az átbocsátóképességről (például az ETCS egyik pályafoldali eleme, a sárga színű dobozban elhelyezett vonatérzékelő berendezés (balíz) könnyen felismerhető a sínszálak közötti elhelyezéséből).

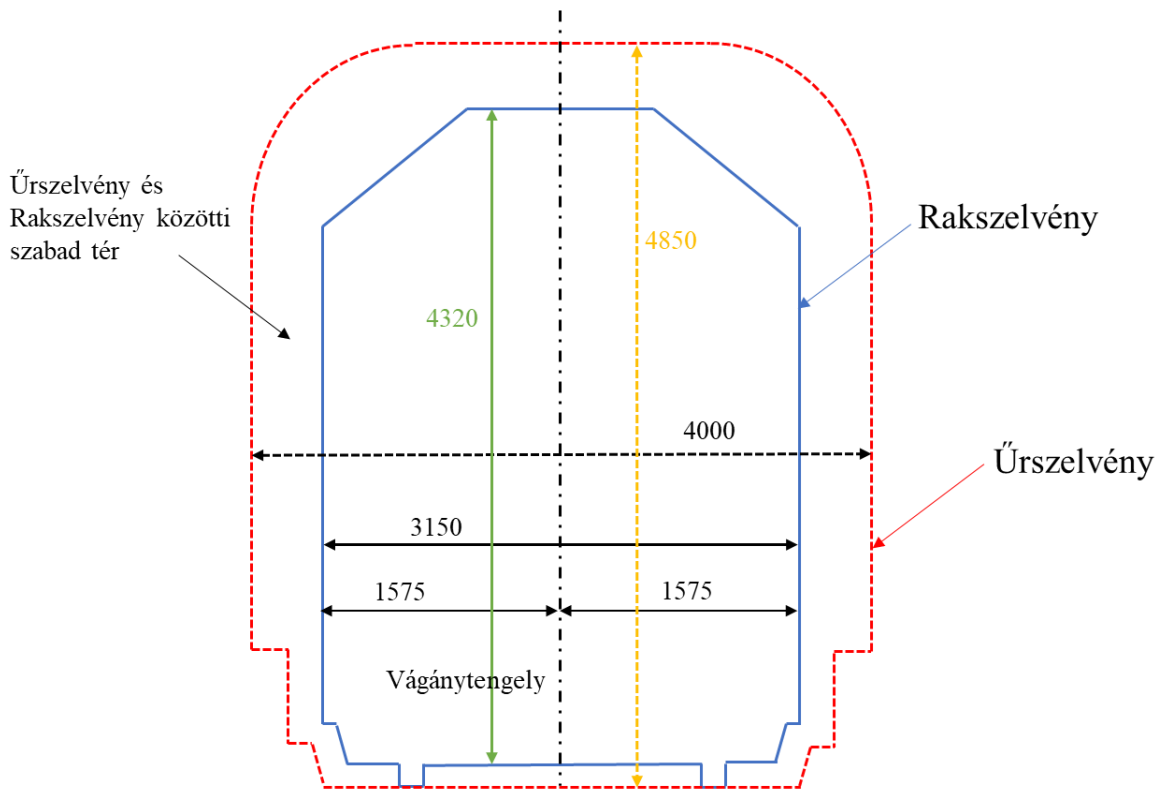
A felderítéskor szintén fontos információ lehet a vasúti pályák nyíltvonali elágazási helyének pontos ismerete. Az egyes üzemekbe, gyárakba vezető vasúti pályák feltérképezése szintén segítséget nyújt abban a tekintetben, hogy ezen gyárak közvetlenül is megközelíthetők vasúton és az esetleges (katonai) rakodási feladatok itt is elvégezhetők, nem csak vasútállomásokon.

A pálya kritikus pontjai azok a műtárgyak, amelyek a magassági különbségeket egyenlítik ki: az alagutak és a hidak. Ezek az infrastruktúra elemek a vasúti előírások szerint épültek meg és így alapvetően nincs rajtuk külön korlátozás, mégis, mint kiemelt támadási célpontok, szükséges tudni elhelyezkedésük helyét és a lehetséges kikerülési lehetőségeket (kerülő útirányokat).

A tengeri és légi kikötők vasúti kapcsolatainak logisztikai felderítése kiemelt jelentőséggel bír a hadszíntéren, hiszen a begyűjtött adatokat fel lehet használni a hadászati, hadműveleti mozgékonyaság feltételeinek értékeléséhez. Az erők stratégiai szintű átcsoportosításainál fontos alapelv, hogy a kikötőkbe teherhajókon keresztül érkező hadfelszereléseket lehetőség szerint vasúton szállítsák tovább például az állomásoztatási körzetbe. Ezért a tengeri kikötők és repülőterek vasúthálózati összeköttetésénél érdemes megvizsgálni az infrastruktúra-elemek közötti távolságot, a (kikötői, repülőtéri) vasúti pályák átbocsátó képességét, tengelyterhelését, nyomtávolságát, a rakodóberendezéseket, a vonalakra vonatkozó korlátozásokat stb.

Bár alapvetően a pálya keresztmetszetének kialakítása minden országban biztosítja a vonatok balesetmentes közlekedését, a vasúti előírások megkülönböztetnek két keresztmetszet-típust (1. ábra). A kisebb, úgynevezett rakszelvényből nem lóghat ki a vasúti szerelvény

egyetlen alkatrésze sem, beleértve a rakományokat is, a nagyobb, úgynevezett űrszelvénybe pedig nem lóghat be semmilyen tárgy a pálya környezetéből. A kettő közötti szabad terület biztosítja a vonatok akadálytalan haladását. Ugyanakkor egyes hadfelszerelések (például harci járművek) méretük miatt mégsem férnek bele a rakszelvénybe, viszont vasúti szállításuk jelentős előnyökkel jár. Egyes esetekben megengedhető, hogy a vasúti rakományok túlrjenek a rakszelvényen, azonban az űrszelvényből nem lóghatnak ki. Az ilyen szállítások szervezésénél megfelelő körültekintéssel kell eljárni és a felderítés során ellenőrizni kell, hogy nem nyúlik-e be valamilyen objektum az űr- illetve rakszelvénybe.



1. ábra

**Űrszelvény- és rakszelvénytérleletek, mértékegység: mm**

(Forrás: MÁV 2017 alapján saját szerkesztés)

A földrajzi környezetet, beleértve a domborzati- és talajviszonyokat is érdemes megvizsgálni, hogy a rossz időjárási körülmények (például az esőzések, havazások) mennyire jelentenek akadályozó tényezőt a vizsgált vasútvonal katonai igénybevételére, mivel a hadszíntéren lehetnek olyan területek, ahol a lehulló nagymennyiségű csapadék (például hó) miatt a vasútvonalak nem, vagy csak takarítási munkálatok elvégzése (hókével közlekedő vontatójárművek üzemeltetése) után használhatók.

A domborzati- és talajviszonyok hatással lehetnek egyrészt a vasútvonal kialakítására, másrészt az alkalmazásukra is. A hegyi emelkedőre épített vonalon például a vontatójárművek teljesítő képessége (a szükséges vonóerő) még inkább befolyásolhatja a katonai szerelvények összeállítását (vontatható tömeg), ennek megfelelően a mozgását is. Továbbá a vasútvonal környezetében lévő természetes domborzati elemek szintén akadályozhatják (például a bevá-

gási rézsű csúszáskor, omlásakor) a vasúti szerelvények közlekedését.

A vasútállomások szemrevételezésekor szükséges megállapítani az állomási vágányok számát és lehetőség szerint azt, hogy ezekből melyeket lehet vonatközlekedésre és rakodásra igénybe venni, illetve azt, hogy melyik vágányok villamosítottak és melyek nem. Ehhez ismerni kell a vágánykapcsolatokat, az állomási rakodóhelyek és raktárak elhelyezkedését, az állomás rakodóberendezéseit (például daru) és a térvilágítás eszközeit. A vonatok közlekedésének határt szabhat, hogy milyen hosszú szerelvények férnek be egy adott állomásra. Ezeket a hosszakat a felderítéskor meg kell határozni. A vasútállomásokon az állomások használható hosszát külön objektummal jelzik és a két objektum közötti szakaszra fér be egy vonat úgy, hogy ne keletkezzen ütközés a másik vágányon való közlekedéskor. A feladat tehát ezen objektumok helyzetének pontos megállapítása. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy Európában a 740-750 m hosszú tehervonatok közlekedtetése az elvart.<sup>12</sup>

A személyi állomány elhelyezéséhez szükséges felmérni az állomásépület kialakítását, egyes helyiségeit, a víz- és áramvételi, valamint a pihenési lehetőségeket. Ugyancsak szükséges információkat szerezni a kommunikációs lehetőségekről, informatikai hálózatokról, rádiókörzetekről.

A vasútállomás közúti kapcsolódási pontjainak felderítését (vasútállomás megközelíthetősége, állomási utak fajtái) feltétlenül végre kell hajtani, annak érdekében, hogy az infrastruktúra-elem katonai használhatóságát több tényező alapján tudják megítélni a logisztikai szervezetek. A haditechnikai eszközök, de főként a túlméretes, túlsúlyos járművek közlekedéséhez megfelelő teherbírású és pályaszélességű közutakra van szükség, hogy a vasúti rakodóterületek megközelítése biztonságosan teljesíthető legyen, vagyis a vasúti be- és kirakodást akadálymentesen meg lehessen valósítani. Itt érdemes beazonosítani az állomáshoz vezető utakat, fajtáit (például földúttal, vagy szilárd burkolatú utakkal rendelkezik) a korlátozásokat és a forgalomirányítás módját.

Az őrzésvédelmi lehetőségek felmérését a katonai anyagok, eszközök, személyek és szerelvények megóvása érdekében feltétlenül indokolt elvégezni. Itt ajánlott megvizsgálni, hogy az állomási területek, főként a raktárépületek, utasforgalmi, valamint a pihentetésre kijelölt épületek, illemhelyek, a homlok- és oldalrakodó területek védelmét – kiegészítve a katonai felszerelésekkel (például gyorstelepítésű drótakadállyal, mobil őrtornyokkal) – milyen feltételek mentén lehet biztosítani.

A hadszíntéren a vasútállomásokon kívül lehetnek olyan nyíltvonali szolgálati helyek is, ahol vonattalálkozással nincs lehetőség, ezért nem tekinthetők állomásnak, azonban alkalmassak lehetnek a személyforgalom, vagy rakodási feladatok lebonyolítására. Ilyen lehet:

- a megállóhely: csak személyszállító vonatok megállására alkalmas, az utasok (személyi állomány) le- és felszállásának céljából;
- a rakodóhely: a személyforgalomra nem megnyitott szolgálati hely, ahol a nyílt vonalból egy vagy több vágány ágazik el a teherkocsik rakodása céljából;

---

<sup>12</sup> CER 2018.



- a megálló-rakodóhely: amely mindkét funkciót ellátó szolgálati helyként üzemel.<sup>13</sup>

Egy korábbi cikkünkben bemutattuk a vasúthálózatok felderítésére vonatkozó kibővített szemrevételezési listát,<sup>14</sup> amelynek több eleme vizsgálható drónok bevonásával. A technológia lehetővé teszi, hogy a fentiek figyelembevételével, megfelelő, szinte minden részletre kiterjedő felvételek készüljenek a vasúti pálya állapotáról, így eldönthető, hogy az igénybe vehető-e a tervezett katonai mozgatási-szállítási feladatok végrehajtására.

Az ilyen jellegű logisztikai információk begyűjtéséhez érdemes olyan eszközt igénybe venni, amely elősegíti a helyszíni szemrevételezések gyors és precíz végrehajtását. A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása az egyik ilyen lehetőség, az UAV-ok hozzá tudnak járulni a közlekedési alágazatok, így a vasúti alágazat infrastruktúra elemeinek katonai értékeléséhez.<sup>15</sup>

### ***A vasúti pálya szemrevételezése drónok használatával***

Az előző fejezetben meghatározott komplex, vasútszakmai alapú szemrevételezési lista egyes elemeit véleményünk szerint drónok alkalmazásával is fel lehet mérni. A drónokkal felderített vasúti infrastruktúrán megvalósítható a katonai mobilitás, amely lehetővé teszi a szállítási feladatok minél magasabb minőségű végrehajtását. A drónok használata a vasúti közlekedésben már mindennapos esemény (például pályaelőőrés), ugyanakkor katonai felderítési alkalmazásuk még nem kiforrott. A következőkben meghatározzuk a drónok használatának követelményeit és szabályait és elemezzük a szemrevételezési feladatok elvégezhetőségét. A logisztikai felderítés elvégzésének eredményességét terepi kísérletekkel igazoljuk.

#### *Követelmények és szabályozások*

A vasúti infrastruktúra drónokkal való megfigyelése már több éve foglalkoztatja a kutatókat és a fejlesztőmérnököket. A vezető nélküli légi járművek vasúti szektorban több területen is alkalmazhatók. A cikk témájából eredően egy olasz tanulmány alapján a következő vasúti infrastruktúra megfigyelési területek azonosíthatók:

- kritikus infrastruktúra elemek megfigyelése (például hidak, alagutak, állomások);
- a környezet biztonságának megfigyelése (például úrszelvénybe nyúló objektumok észlelése);
- üzembiztonsági megfigyelés (például a pályahibák kiszűrése).<sup>16</sup>

A drónok használatának azonban több tényező is határt szab. Elsőként említhetők az időjárási körülmények (például heves esőzés vagy erős szél). A felderítés azonban nem lehet tekintettel az időjárási körülményekre, sőt a természeti hatások károkat okozhatnak a pályában (például leszakad a felsővezeték), amelyek időben történő felfedezése megelőzheti a súlyos baleseteket és növelheti a küldetés sikerességét. Ezért különösen fontos, hogy a drónok kedvezőtlen időjárási körülmények között is használhatók legyenek.

<sup>13</sup> Lévai 2019, 91–92.

<sup>14</sup> Szajkó, Lévai 2021.

<sup>15</sup> Szajkó, 2025

<sup>16</sup> Flammini et al. 2016a, 3.

További korlátozó tényező a drónok teherbíró képessége. Amennyiben sötétben is szükséges felvételek készítése, akkor reflektorral vagy infravörös kamerával is fel kell szerelni a repülő járművet, ráadásul az azonnali képfeldolgozáshoz szükséges hardver eszköz hordozása is tovább növeli a terheket.

Jelenleg a repülési idő és távolság elenyészően kicsi a vasúti pályák kiterjedéséhez képest. A 20–30 perces repülési idő és a 30–40 km-es hatótávolság<sup>17</sup> csak egy pár állomásköz felderítéséhez elegendő, utána az eszközt fel kell tölteni. Ez szükségessé teheti a vasútvonalak mentén töltési helyek kialakítását, amely nehezíti a felderítési feladatok végrehajtását.

A megfelelő adatkapcsolat kialakításához elengedhetetlen a teljes vasúti infrastruktúra mentén a megfelelő jelerősségű WI-FI hálózat megléte és üzembiztos működése. Ennek határt szabhat a vasúti felsővezeték, amelynek elektromágneses kisugárzása gyengítheti a WI-FI jeleket. A drónokat felderítéskor legtöbb esetben távolról irányítják, ehhez pedig szükséges, hogy az irányító személyzet végig tudja követni a repülési környezetet. Ennek elengedhetetlen feltétele a repülés ideje alatt a stabil adatkapcsolat. Az irányíthatatlan drón repülése súlyos következményekkel járhat, ugyanis így nekimehet tárgyaknak és veszélyhelyzet állhat elő (például a felsővezetéknek, ami ennek következtében leszakad, vagy éppen egy közlekedő vonatnak).

További fontos követelmény a megfelelően éles felvételek készítése és azok kiértékelhetősége. Horváth Balázs és Horváth Richárd tanulmányukban a távolság/pixel (DpD [cm/px]) értéket javasolják a megfelelő felbontású képek készítési távolságának megállapításához.<sup>18</sup>

A drónhasználat szabályozását nemzetközi és belföldi jogszabályok rendezik, a vasúti alkalmazásához szükséges technológiát és technikai feltételeket egy olasz tanulmány ismerteti,<sup>19</sup> ugyanakkor nem tér ki a felsővezeték környezetében tapasztalható viselkedésre. Az ENSZ munkacsoportjának tanulmánya is csak feltételezi a technikai korlátok és kockázatok közötti megemlítéssel, hogy a működő felsővezeték interferenciát okozhat a drónok fedélzeti berendezéseivel.<sup>20</sup>

### *A drónok vasúti infrastruktúrával kapcsolatos felderítési képességeinek vizsgálata*

A drónok felderítési képességeinek igazolására kísérleteket végeztünk. A kísérletek kiterjedtek a nyíltvonal és a vasútállomások feltérképezésére. Elsőként drónfelvételek segítségével vizsgáltuk a vasúti nyíltvonalai infrastruktúra állapotát, illetve az oda nem illő tárgyak azonosításának lehetőségeit. A méréseket alagútban és nyílt pályán végeztük el. A második esetben egy vasútállomást és közvetlen környezetét vizsgáltuk drónokkal és azonosítottuk az egyes infrastruktúra elemeket és használhatóságukat.

#### Vizsgálati módszer

##### 1. Nyíltvonal

A nyíltvonalai kísérlettel kapcsolatban elvárásként fogalmaztuk meg, hogy a vasúti inf-

<sup>17</sup> Flammini et al. 2016a, 4.

<sup>18</sup> Horváth, Horváth 2021, 155.

<sup>19</sup> Flammini et al. 2016b

<sup>20</sup> Working Group on the Trans-Asian Railway Network 2019.

rastruktúra apróbb rendellenességei is feltárhatók legyenek (pályahibák kiszűrése, például síntörés), illetve be lehessen azonosítani az infrastruktúra környezetében elhelyezett, apróbb, oda nem illő tárgyakat is (balesetek, terrorcselekmények elkerülése). További elvárás volt a felvételek alapján egyes paraméterek mérhetősége. Ezeket a helyszínen kézi mérőeszközzel is lemértük és a két értéket összehasonítottuk.

A vasúti közlekedés egyik sajátossága a villamos üzem, ezért külön szerettük volna vizsgálni a működő felsővezeték hatását a felvételek készítésére. A vasúti szakemberekkel való konzultációt követően ettől a kísérlettől elálltunk, mert a szakemberek nem tudták garantálni a repülő eszköz sértetlenségét. Így méréseink alkalmával csak olyan mértékben közelítettük meg a vasúti felsővezetékét, amikor még a repülő eszköz önmaga nem jelzett interferenciát (kb. 35–40 m).

A fenti feltételeknek megfelelő helyszínek közül, figyelembe véve a helyszín vonatforgalmát és tolatási mozgásait, a következőket választottuk ki:

- Budapesti Gyermekvasút területe (alagúti mérésekhez);
- Óbuda állomás erőművi iparvágány (nyíltvonalai mérésekhez).

A felvételeket AGISOFT Metashape 1.7.1 professional edition képfeldolgozó szoftverrel dolgoztuk fel. A megfelelő paraméterek megadása után a fényképfelvételek feldolgozását és 3D modellé alakítását a szoftver közel automatikusan végezte el. A fájlokat tartalmazó mappa hozzáadása után a képek egymáshoz igazítása történt meg az Align paranccsal. Miután a szoftver sikeresen azonosította a helyes elhelyezkedést, egy úgynevezett Tie Points (Ritka pontfelhő) réteg készült el, ami megmutatta azokat a pontokat, amelyek alapján fel fog épülni a modell váza (*Mesh*), a sűrű pontfelhő (*Dense Cloud*), majd a valódi textúrázott 3D modell (*Tied Maps*). A ritka pontfelhőn már kirajzolódik a felmért terület, sok olyan ponttal kiegészítve, amelyek a közvetlen vagy távolabbi környezetben helyezkednek el. Ezeket manuálisan el kellett távolítani, hogy kizárólag a célterületünkről készüljön a részletes modell. A következő lépésben a ritka pontfelhő alapján egy Mesh réteget hoztunk létre, ami már egy összefüggő felületet képző forma. A Mesh adja az alapját a 3D modellnek, amire a szoftver a fényképek alapján készített egy textúra hálót, így áthatóvá válik a felszín valódi megjelenése. Ez alapján készíthetünk, a fényképek felhasználásával, egy olyan ábrát, amelynek minden pontja felülnézetből, pontosan 90 fokot zár be a talajjal, így térképi nézetben láthatjuk a drónos felmérés eredményét (ortofoto).

## 2. Vasútállomás

Vasútállomások tekintetében repülési célterületnek egy olyan közlekedési csomópontot jelöltünk ki, amelynél a vasútállomásnak van több közvetlen közúti csatlakozása is, így az infrastruktúrák értékelését egy időben egy repülés végrehajtásával meg tudtuk valósítani. A helyszín kiválasztásakor tekintettel voltunk arra a tényezőre, hogy egy katonai objektum közelében elhelyezkedő közlekedési infrastruktúrák fontos szerepet töltenek be a katonai szervezet állományának és eszközeinek a helyőrségből a kijelölt műveleti területre történő eredményes átcsoportosításában, amelynek egyik alapfeltétele a vasút- és közúthálózatok katonai

szükségletek szerinti sikeres igénybevétele.<sup>21</sup> Ezen feltételek alapján választásunk Tata vasútállomásra esett.

Az UAV-ok vasútállomási alkalmazhatóságának vizsgálatához egy DJI Phantom 4 Pro + típusú drónt használtunk (2. ábra), mert ezt megfelelőnek találtuk a felderítési feladatok végrehajtására. A drón reptetésekor elsőként a vasútállomás, majd a hozzá kapcsolódó úthálózatok felderítését hajtottuk végre. A szemrevételezési listák alapján készített légi felvételeket pedig (a méretek azonosításához) Google Earth Pro+ alkalmazás segítségével értékeltük ki.



2. ábra  
**DJI Phantom 4 Pro + típusú drón**  
(Forrás: saját felvétel)

### *Eredmények és megállapítások*

#### 1. Alagúti mérés

Az alagút különlegessége, hogy ívben helyezkedik el, így nem lehet rajta átlátni, vagyis a belsejében teljes a sötétség (3–4. ábrák). Az alagútban életvédelmi beállók is találhatók (5. ábra).

---

<sup>21</sup> Szloszjár 2017, 43.





3. ábra  
*Az alagút bejárata*  
(Forrás: saját felvétel)



4. ábra  
*Az alagút belseje*  
(Forrás: saját felvétel)





5. ábra  
*Az alagútban található beállók*  
 (Forrás: saját felvétel)

A teljes sötétség rendkívüli nehézséget okozott, a kísérlet során a légi jármű meg is sérült és lezuhant. A repülés alatt készített felvételekből elkészítettük az alagút rész 3D modelljét (6. ábra) és az alapján méréseket végeztünk az alagút paramétereire vonatkozóan.



6. ábra  
*Az alagút 3D modellje*  
 (Forrás: saját szerkesztés)

A mérések az alagút magasságát és szélességét tekintve pontosak voltak (7. ábra), ugyanakkor az alagútban mért nyomtávolság jelentős mértékben eltért a valóságtól (760 mm tény-

leges nyomtávolság helyett 538 mm mért érték, 8. ábra). Ez már jelentős mértékű tévedés, ami döntően befolyásolhatja a hadszíntéri felderítés sikerét.



7. ábra  
Az alagút magasságának és szélességének rekonstruált méretei  
(Forrás: saját szerkesztés)



8. ábra  
A vágánytengelytávolság mérete a 3D modellben  
(Forrás: saját szerkesztés)

A pálya emelkedése a számított hosszérték és a magasság hányadosából adódóan 44,7%-re adódott, ami alapján csak fogaskerekű vontatás lenne megvalósítható a pályán (az adhéziós

vontatás maximális emelkedési értéke 30-35‰, 9. ábra). Látható tehát, hogy ennek a paraméternek a számítására a 3D modell nem szolgáltatott megfelelő eredményt.



9. ábra  
Az alagút emelkedésének mérése  
(Forrás: saját szerkesztés)

Az alagúti mérési eredményeinkből következően az alábbi megállapításokat tesszük:

- a vasúti, különös tekintettel az íves alagutakban a repülő eszközök megfelelő kiválasztása és a drónok távoli irányítása rendkívüli szakértelmet igényel, ugyanakkor ez feltétele az emberi felderítő vagy ellenőrző tevékenység kiválthatóságának;
- a mérések pontossága a rossz fényviszonyok miatt nem tekinthető megfelelőnek;
- a drón által készített felvételek alapján megrajzolható az alagút 3D modellje;
- a confidence modell mutatja, hogy a működés ideje alatt a repülő eszköz nagy biztonsággal azonosította az alagút falát, így a benne közlekedtethető vonatok ürszelvénye meghatározható;
- a fényképek alapján azonosítható az alagútban található biztonsági beállók.

## 2. Nyíltvonalai mérés

A nyíltvonalai mérés alkalmával vizsgáltuk a pálya állapotát és az oda nem illő tárgyak észrevehetőségét. Ennek érdekében egy zúzottkő ágyazatról készült fényképpel fedtünk le egy dobozt és helyeztük el az egyik sínszál belső éle mellé, amit a vágánynál fellelhető kövekkel is befedtünk (10. ábra). Ezen túlmenően a használaton kívüli pálya sínszálain köveket és faágakat helyezünk el, illetve egy sárga színű apró dobozt rejtettünk el a zúzottkő ágyazatban. A mérés alkalmával volt lehetőség a közeli vasútvonal villamos felsővezetékének elektromágneses terét is vizsgálni, de csak olyan mértékben, hogy a felvételek készítésekor (15–40 m közötti repülési magasságon) a légi jármű biztonsági rendszer jelzett-e interferenciát.



10. ábra  
*A vágányközbe helyezett nem oda illő tárgy*  
(Forrás: saját felvétel)

A mérések alapján a következő megállapítások tehetők:

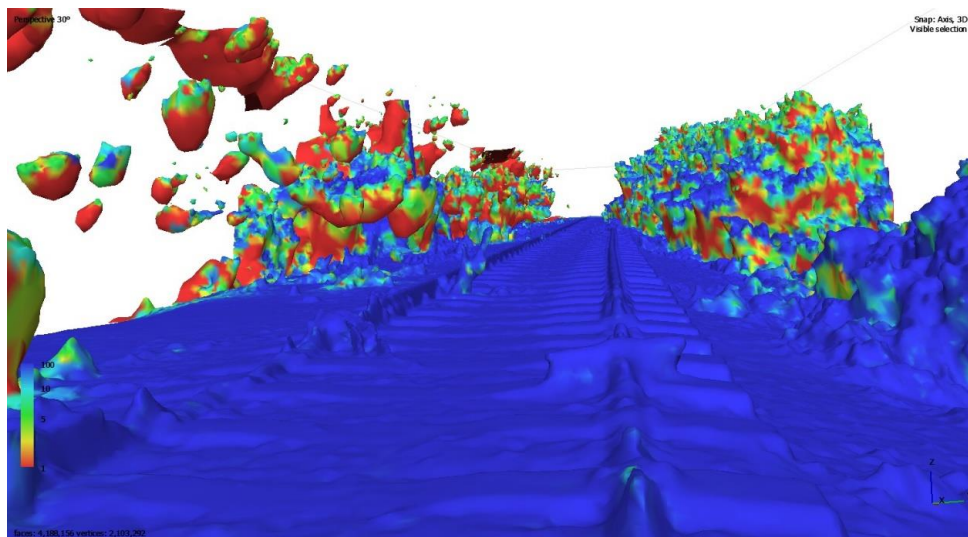
- a felvételek alapján elkészíthető volt a pálya 3D modellje (11. ábra);



11. ábra  
*Az alagút emelkedésének mérése*  
(Forrás: saját szerkesztés)

- a confidence modell alapján kijelenthető, hogy nyílt vonalon a modell megbízhatósága jelentősen nagyobb az alagúténál (12. ábra);





12. ábra

*A nyílt pálya confidence modellje, amelyen jól kivehetők a nem oda illő tárgyak*  
(Forrás: saját szerkesztés)

- a különböző repülési magasságokon készített felvételek alapján az egyes objektumok észrevehetősége különböző mértékű volt, az elrejtett sárga dobozt csak fényképfelvétel alapján lehetett azonosítani, a confidence modellben nem volt azonosítható (13. ábra);

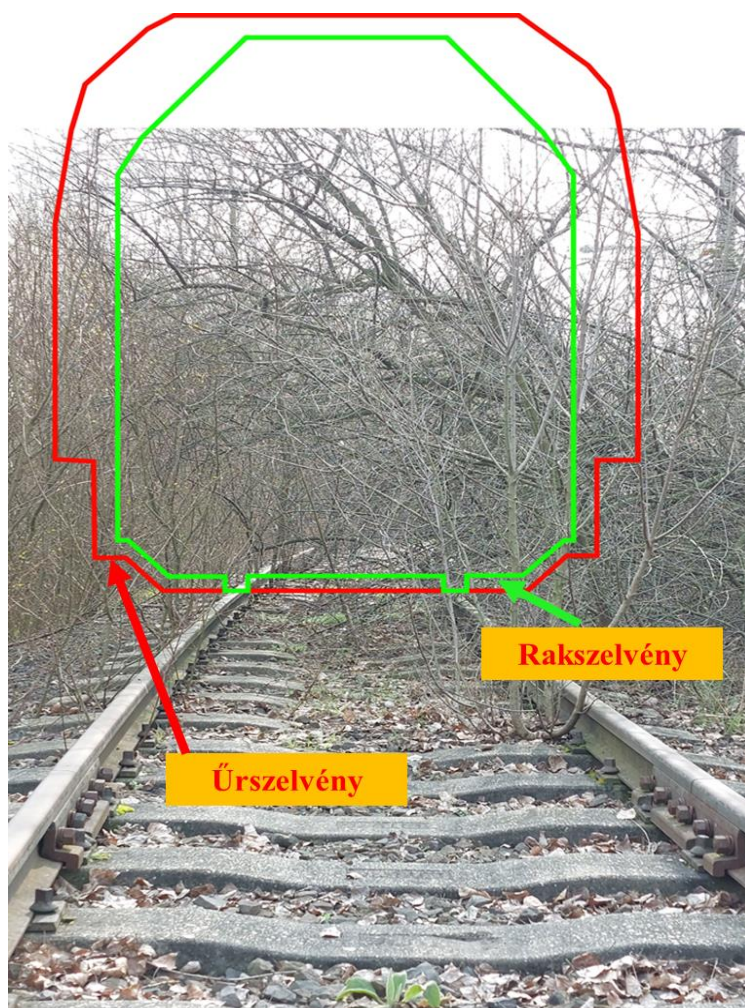


13. ábra

*Az ágyazatba rejtett sárga doboz kivehetősége*  
(Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

- a modell alapján végzett méretmeghatározások eredményének helyessége jelentős szórást mutat, a tévedés mértéke 1 és 20% közötti.

Az ür- és rakszelvény mérték ellenőrzésére felvételeket készítettünk a vágányra fókuszálva. A 14. ábrán látható, hogy a növényzet akadályozhatja a szerelvények haladását, így a vonal igénybevételéhez szükséges előmunkálatokat is elvégezni.



14. ábra

*Az űr- és rakszelvényminták illesztése a pálya kékére*  
 (Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

### 3. Vasútállomási mérések

Az alapadatokat tekintve a szemrevételezést jó látási viszonyok között 2022. április 07-én hajtottuk végre. A vasútállomás WGS84 földrajzi koordináta-adatai: északi szélesség  $47^{\circ} 39' 50''$  keleti hosszúság  $18^{\circ} 19' 38''$ . Vizsgálatunk első lépéseként beazonosítottuk az állomás típusát. A drón által készített képen jól látható (15. ábra), hogy az állomás vasútüzemi berendezései (épületek, vágányok, rakodók stb.). A képről megállapítható, hogy a szükséges őrzés-védelmi katonai felszerelések a területen telepíthetők, így megvalósítható az anyagok, eszközök, személyek és szerelvények megóvása.





15. ábra  
**Tata állomás drónfelvétele**  
 (Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

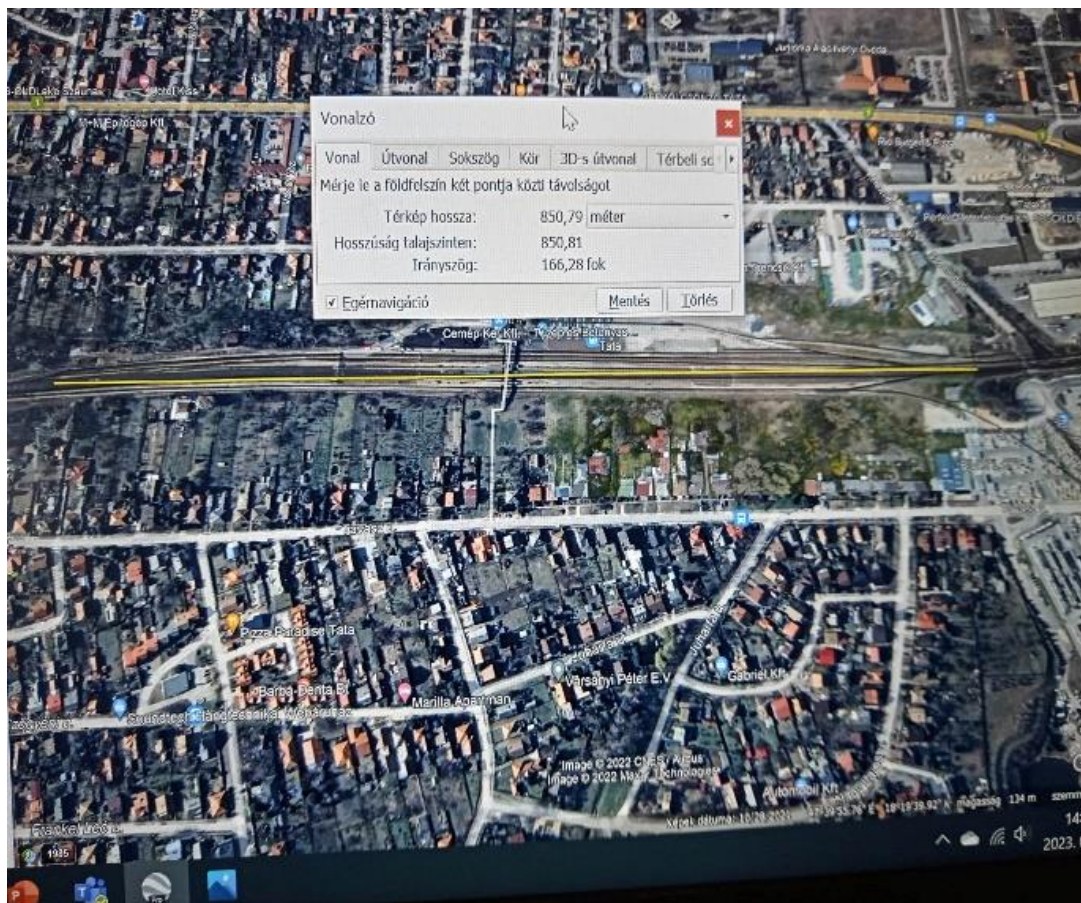
A szemrevételezési listában szereplő szempontokon tovább haladva (állomás megközelíthetősége, állomási utak fajtája) a légi felvételek alapján megállapítottuk, hogy az állomás megközelíthető például a kiépített közutakon keresztül az 1-es számú főútról, amelyek szilárd burkolattal rendelkeznek, és megfelelőek a haditechnikai eszközök közlekedtetésére (16. ábra).



16. ábra  
**A vasútállomás környéki utak drónfelvételen**  
 (Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

A vágányok használható hosszának az átmenő fővágányoknál 850 métert (17. ábra) a vonatfogadó vágányoknál 722 métert, a tároló vágányoknál 730 és 710 métert, míg a homlok- és oldalrakodónál 90 métert, valamint 260 métert mértünk. A vágányok nyomtávolságát pedig 1,51 méternek állapítottuk meg.





17. ábra

*Az átmenő fővágányok hosszának megállapítása*  
(Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

Az adatokat visszaellenőriztük a Magyar Állami Vasutak (MÁV) által kiadott 49486-10/2015/MAV nyilvántartási számú Tata Állomási Végrehajtási Utasításában szereplő információkkal. Az eltérések a vágányok hosszánál  $\pm 20$  méteres nagyságrendben, míg a nyomtávolságnál  $+0,075$  méterben (normál nyomtáv 1435 milliméter) mutatkoztak. Meg kell emléteni, hogy a nyomtávolságnál az eltérések hibahatáron túliak, mivel differenciának csak 2-3 mm engedélyezett a vasúti közlekedésben.

Az eltérések abból adódnak, hogy a légi felvételeket kezdetleges affin transzformációval illesztettük a geometriai helyükre Google pro+ alkalmazással. Ennél pontosabb mérési eredmény eléréshez az szükséges, hogy a helyszínen megmérjünk (illesztőpont kijelöléssel) néhány azonos szintben lévő terepi pontot is és fejlett fotogrammetriai célszoftverekkel térképeket hozzunk létre.

Az állomás villamosított, a biztosítóberendezések külsőteri egységei a 18. ábrán beazonosíthatók.





18. ábra

*Az állomási berendezések azonosítása*

(Forrás: saját felvétel és szerkesztés)

A pályák tengelyterhelését a légi felvételek alapján nem tudtuk megállapítani, mivel a drón nem rendelkezett a pontosabb méréshez (3D-s mérések) szükséges felszereléssel (például LIDAR-alkalmazást biztosító műszerrel, rendszerrel).

A rakodást segítő eszközöket és a rakodóterületeket vizsgálva megállapítottuk, hogy a raktárépülethez közvetlenül megépítettek oldalrakodót és az épülettől minimális távolságra homlok- és oldalrakodót is. Az áruk ki- és berakodását segítő felszerelésekkel (például darukkal, emelőberendezésekkel) a felvételek alapján nem rendelkezik az állomás, ennek megfelelően a katonai szállítások tervezésekor és szervezésekor kiemelt figyelmet kell fordítani a szükséges rakodóeszközök biztosítására.

A mérési hiányosságok, illetve az épületek belső terének drónnal való felmérhetetlensége egyben azt is jelenti, hogy amennyiben lehetőség van rá, mindenképp érdemes helyszíni szemrevételezést végrehajtani, hogy valós adatok álljanak rendelkezésre a vasúti szállítások tervezéséhez és szervezéséhez.

#### 4. Általános megállapítások

Összességében kijelenthető, hogy az általunk választott drónos felderítési módszer alkalmas a vasúti infrastruktúra vizsgálatára, az oda nem illő tárgyak felismerésére. Feltételezésünk szerint az alagúti baleset bekövetkezésének egyik lehetséges oka a drón túl nagy mérete is lehetett, ugyanakkor ismeretlen terepen nem minden esetben lehetséges az optimális repülő eszköz kiválasztása, ezért az UAV-okkal kapcsolatos repülési tapasztalatok ugyancsak meghatározó jelentőségű.

A drónokkal végzett szemrevételezési kísérletek apaján a következő, általános megállapításokat tesszük:

- a vasúti infrastruktúra állapotának felmérésére megfelelő felbontású képeket készítő repülő eszközök rendelkezésre állása szükséges, ugyanis a sínszálak hibái (például re-

pedések, törések) azonosítása csak így lehetséges;

- a 3D modellek alapján a diagnosztikai elvárásoknak megfelelő az eljárás;
- a sínszálakra helyezett nem oda illő tárgyak felismerhetősége megfelelő volt, így a közlekedési feltételek drónvizsgálatokkal megelőzhetők,
- a vasúti infrastruktúra méretei a felvételek és a modellek alapján meghatározható, ugyanakkor a kísérletek mérési pontossága nem volt megfelelő, amely szükségessé teszi a pontosabb repülő eszköz használatát;
- a felvételek alapján azonosíthatók az infrastruktúra elemei közé rejtett tárgyak, így egyes terrorcselekmények vagy rejtett támadások megakadályozhatók;
- a sínszálak pontos méreteinek megállapításához nagyon precíz mérések szükségesek;
- a megfelelő eredmény elérésének feltétele a megfelelő repülő eszköz, valamint szaktudású személyzet megválasztása.

### ***Drónokkal szemben támasztott követelmények a vasúti infrastruktúra logisztikai felderítéséhez***

Kísérleteink alapján a vasúti infrastruktúra logisztikai felderítésekor használható pilóta nélküli légi járművekkel szemben az alábbi követelményrendszert állítjuk fel.

#### **1. A felvételekkel kapcsolatban**

A pilóta nélküli légi jármű készítsen olyan fényképeket és mozgóképeket, amelyekkel beazonosíthatók:

- a vasúti- és közúti infrastruktúrák elemei;
- a vasúti-és közúti pályák elhelyezkedése;
- az infrastruktúra-elemek környezete;
- a vasúti- és közúti pályák méretei;
- legyen képes magas minőségű, nagy felbontású fotók és videók készítésére a kiértékelés hatékonyságának és pontosságának növelése érdekében, illetve amennyiben lehetséges, legyen felszerelve olyan precíziós mérőeszközzel, amellyel akár a vágányok nyomtávolságát, vagy akár a sínfej szélességét is meg lehet pontosan határozni.

#### **2. A repülő eszközzel kapcsolatban**

A légi szemrevételezésből összegyűjtött információk alapján a pilóta nélküli repülőeszközzel szemben támasztott követelmények a következők:

- rendelkezzen (teljes feltöltöttségénél): minimum 25 perc repülési idővel és cserélhető akkumulátorral, így rövid megszakításokkal akár több órás felmérések is végezhetők;
- a fedélzeti adatrögzítő minimum 4 órányi videófelvétel rögzítésére legyen képes, ami nagyobb felmérések eredményeinek ideiglenes tárolását is lehetővé teszi;
- repülési távolsága biztosítsa a hosszabb vonalak (nyíltvonali vágányok, állomásközpontok) felderítését, azaz minimum 5 kilométer legyen, de hosszabb vonalszakaszok vizsgálata

akár a 10 kilométeres nagyságrendet is megkövetelheti, amelyre a merev szárnyas eszközök hatékonyabb megoldást kínálnak multirotoros társaiknál;

- legyen képes akár 500 méteres repülési magasságra is annak érdekében, hogy a felmért infrastruktúráról és annak környezetéről átfogó képet kaphassunk, illetve a felmérést akár észrevétlenül is végrehajtható legyen.

Az elvárt paraméterek köre természetesen a lehetséges alkalmazási körülmények függvényében tovább bővíthető (például működési hőmérséklet-tartomány), itt csak a legalapvetőbb követelményeket határoztuk meg a végrehajtott szemrevételezés alapján. Ezek a követelmények figyelembe vehetők a repülőterek és kikötők helyszíni szemrevételezésekor is, mivel a vizsgálat szempontjai ezekre az infrastruktúra-elemekre szintén megfeleltethetők.

A fenti követelmények alapján, kijelölhetők azok a UAV-ok, amelyek alkalmasak a vasúthálózatok logisztikai felderítésére, valamint segíthetik a szemrevételezést végző szakértő személyek információgyűjtő folyamatainak hatékony végrehajtását.

A rendelkezésre álló drónok széles tartományban mozgó paramétereinek köszönhetően kiválasztható az az eszköz, amely az egyes feladatok jellegének leginkább megfelelő műszaki megoldásokkal rendelkezik. Azonban érdemes kiemelni, hogy a közlekedési infrastruktúrák felmérése szempontjából a legfontosabb jellemzők vizsgálata nem igényel speciális eszközöket, mivel a legtöbb információhoz hozzá lehet jutni jó minőségű felvételek készítésével és szoftveres utófeldolgozással is. Ennek köszönhetően már a polgári célra fejlesztett, közép-felső kategóriás pilóta nélküli légi járművek is alkalmasak lehetnek az említett feladatok elvégzésére.

### 3. További alkalmazási feltételek

A mesterséges intelligencia alkalmazásával tovább növelhető az infrastruktúravizsgálatok és felderítések hatékonysága. Az egyes hibákat és rendellenességeket önmagától felismerő drón olyan információkat küldhet a felderítést végző személyek felé, amely lehetővé teszi gyors intézkedések fogantatását. Fentiek realizálásához szükséges megfelelő adatkapcsolat és kiemelten fontos terület az adatkapcsolat biztonságának szavatolása, vagyis a kibervédelem erősítése. Ugyanakkor a kutatók felhívják a figyelmet a mesterséges intelligencia használatának kockázataira is (például az etikai és egzisztenciális problémákra),<sup>22</sup> valamint arra, hogy a mesterséges intelligencia algoritmusok a kibertámadásokkal szembeni sebezhetőségük tekintetében nem különböznek más szoftverektől,<sup>23</sup> amelyek tovább növelik a kibervédelem szükségességét és a megfelelő szabályozás szükségességét.

### **Összefoglalás**

A hadszíntérfelderítés a katonai logisztikai folyamatok tervezésének alapinformációit szolgáltatja. A szállítási folyamatok realizálását lehetővé tevő közlekedési hálózatok felderítése különösen fontos terület. A megfelelő információk birtokában megtehetők azok az intézkedések,

<sup>22</sup> Müller 2016; Russel et al. 2015.

<sup>23</sup> Dietterich et al. 2015.

amelyek sikeressé teszik a katonai szállítási feladatok maradéktalan és biztonságos elvégzését.

Ebben a cikkben az egyik közlekedési ágazat, a vasúti szektor felderítési lehetőségeivel foglalkoztunk. A vasút a hadszíntéri mozgékonyság egyik alapvető szállítási eszköze, így vizsgálatunk indoka megalapozottnak mondható. A megfelelő felderítési eredmény elérése érdekében drónokkal vizsgáltuk a vasúti hálózat egyes elemeit és ezen terepi kísérletek eredményeire hivatkozva tettünk megállapításokat.

A kísérletek elvégzése előtt a katonai szállítások tervezési feladatait figyelembe véve meghatároztuk azokat a szempontokat, amelyek szükségesek a felderítések sikeres elvégzéséhez és támpontot adtak a repülést követő eredmények értékeléséhez.

A kísérletek alapján általánosságban kijelenthető, hogy a vezető nélküli repülő eszközök jelentős szerepet játszhatnak a közlekedési infrastruktúrák logisztikai szemrevételezésében, azonban az eredmények rávilágítottak arra is, hogy bizonyos esetekben a technológia javítása szükségessé válhat a távoli irányítás és a precíz objektumfelismerés területén. A vizsgálat eredményeit értékelve meghatároztuk azokat a minimum követelményeket, amelyeket szükséges figyelembe venni az UAV-okkal végrehajtott helyszíni szemrevételezések során és amelyek jelentős mértékben emelhetik a vasúti infrastruktúrák logisztikai felderítésének hatásságát és ezáltal egy katonai művelet sikerességét.

Véleményünk szerint a pilóta nélküli repülőeszközök használatával biztosítható azon lényeges információk begyűjtése, amelyek segítséget nyújthatnak a logisztikai felderítéshez kapcsolódó szakfeladatok sikeres végrehajtásában. Az UAV-vel készített légifelvételek, videók nemcsak a szemrevételezési listákban szereplő szempontok kitöltéséhez járulhatnak hozzá sikeresen, hanem a katonai szállítások tervezési és szervezési folyamataihoz is, így a katonai logisztika számára a jövő alapeszközének tekinthetők. Eredményeink hozzájárulhatnak koreai kutatók által bemutatott, felderítést és szállítást figyelembe vevő járműirányítási probléma megoldásához, amelyet a kutatók is megfogalmaztak, miszerint a katonai drónok széles megfigyelési lehetőségei adatokat szolgáltathatnak a hatékony (vasúti) útvonalak kiválasztásához.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Byungjun et al. 2021, 17.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Biernikowicz, Wiktor 2021. Rail Transport in NATO's Logistics System: The Case of Poland. *European Research Studies Journal*. 24 (1): 748–761.  
<https://doi.org/10.35808/ersj/2071>
- Byungjun, Ju, Minsu, Kim, Ilkyeong, Moon 2021. Vehicle Routing Problem Considering Reconnaissance and Transportation. *Sustainability*. 13, 3188.  
<https://doi.org/10.3390/su13063188>
- Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER) 2018. *Longer trains: Facts and Experiences in Europe*. Results of the CER working group on longer and heavier trains. Bruxelles: CER.
- Criollo, Linker, Mena-Arciniega, Carlos, Xing, Shen 2024. Classification, military applications, and opportunities of unmanned aerial vehicles. *Aviation*. 28 (2): 115–127.  
<https://doi.org/10.3846/aviation.2024.21672>
- Dietterich, Thomas G., Horvitz, Eric 2015. *Benefits and Risks of Artificial Intelligence*. <https://medium.com/@tdietterich/benefits-and-risks-of-artificial-intelligence-460d288ccc3> (Letöltés ideje: 2023. 03. 12.)
- Flammini, Francesco, Pragliola, Concetta, Smarra, Giovanni 2016a. Railway Infrastructure Monitoring by Drones. *2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*. 1–6. Toulouse: IEEE <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841398>
- Flammini, Francesco, Naddei, Riccardo, Pragliola, Concetta, Smarra, Giovanni 2016b. Towards Automated Drone Surveillance in Railways: State-of-the-Art and Future Directions. In Blanc-Talon, Jacques, Distant, Cosmio, Philips, Wilfried, Popescu, Dan, Scheunders, Paul (editors): *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. 17th International Conference, ACIVS 2016*. Lecture Notes in Computer Science Vol. 10016. Cham: Springer International Publishing AG.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-48680-2\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48680-2_30)
- Horváth, Balázs, Horváth, Richárd 2021. Video based data collection in transportation. In Horváth Balázs, Horváth Gábor (szerk.): *XI. Közlekedéstudományi Konferencia – Közlekedés a járvány után: folytatás vagy újrakezdés*. 148–156. Győr: Széchenyi István Egyetem.
- Horváth Csongor 2018. Az adatgyűjtés-koordináló és felderítési követelmények menedzsmentje. Honvédségi Szemle. 146 (4): 71–78.
- Kovács László 2004. *Az elektronikus felderítés korszerű eszközei, eljárásai és azok alkalmazhatósága a Magyar Honvédségben*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- Lévai Zsolt 2019. Vasút és terrorizmus: „puha” célpontok a terroristák célkeresztjében. *Katonai Logisztika* 27 (4): 86–113.  
<https://doi.org/10.30583/2019/4/086>
- Lévai Zsolt 2023. *A vasúti infrastruktúra komplex védelmi célú felkészítésének innovatív módszerei*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola.  
<https://doi.org/10.17625/NKE.2024.002>
- Magyar Honvédség 2015. *Magyar Honvédség Összhaderőnemi Logisztikai Támogatás Doktrína*. Budapest
- Marin, Niculae, Spătaru, Pătru 2010. The role and importance of UAV within the current theaters of operations. *INCAS Bulletin*. 2 (2): 66–74.  
<https://doi.org/10.13111/2066-8201.2010.2.2.9>
- Magyar Államvasutak Zrt. (MÁV) 2017. *H.6. sz. Utasítás a rendkívüli küldemények kezelésére (UVH/VF/NS/A/3435/1/2016)*.
- Multinational Interoperability Working Group 2012. *Common Record of Logistic Reconnaissance For Coalition Partners*. Washington D.C.

- Müller, Vincent C. 2016. Editorial: Risks of Artificial Intelligence; In: Müller, Vincent C. (editor): *Risks of general intelligence*. 1–8. London: CRC Press – Chapman & Hall.  
<https://doi.org/0000-0002-4144-4957>
- Nagy Péter 2007. *Térinformatikai szolgáltatások fejlesztésének lehetőségei az átalakuló Magyar Honvédségben*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola.
- Russell, Stuart, Dewey, Daniel, Tegmark, Max 2015. Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence. *AI Magazine*, 36 (4): 105–114. <https://doi.org/10.1609/aimag.v36i4.2577>
- Szajkó Gyula, Lévai Zsolt 2021. A vasúthálózatok értékelése a hadszíntéri logisztikai felderítés végrehajtásakor. *Hadtudományi Szemle*. 14 (1): 27–51.  
<https://doi.org/10.32563/HSZ.2021.1.3>
- Szajkó Gyula, Horváth Attila 2022. A közlekedési hálózatok értékelése a hadszíntéri logisztikai felderítés végrehajtásakor. In Földi László (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*. 371–387. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó.
- Szajkó Gyula 2025. *A logisztikai felderítés rendszerének továbbfejlesztési lehetőségei a Magyar Honvédség műveleteinek előkészítésében*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: Budapesti Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola. (kiadás alatt)
- Szloszár Balázs 2017. A dandárképesség jövője – Mennyiség vagy Minőség? *Honvédségi Szemle*. 27 (5): 26–45.
- US Marine Corps 2015. *Ground Reconnaissance Operations*. Washington D.C.: Department of the Navy (MCWP 2-25).
- Working Group on the Trans-Asian Railway Network 2019. *Inspection and monitoring of railway infrastructure using aerial drones*. Bangkok: UN Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP/tarn/wg/2019/4).