

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Repülőterek elektronikus terep- és akadály
adatgyűjtése geoinformatikai módszerekkel**

Bagdi Zsolt

Témavezető: Dr. Szabó Gergely



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2025

1. Bevezetés

Doktori értekezésem témája az ICAO repülőtereken végzett elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés folyamata, ahol az eredmény egy olyan terep- és akadály adatkészlet - angol rövidítéssel eTOD (electronic Terrain- and Obstacle Data) – amely speciális légiforgalmi adatokat tartalmaz. A folyamat alapja a merevszárnyú repülőgépről végzett légi távérzékelés. A repülés során nyert pontfelhő és geoinformatikai szoftver segítségével, a szigorúan meghatározott terep- és akadály adatok adatbázisokba rendezhetők, melyeket nemzetközi szabványok és dokumentumok szabályoznak, így az akadály adatbázis nemzetközi szinten is felhasználható lesz. A légi távérzékelés és az eTOD adatgyűjtés alkalmazása révén a repülőterek jelentősen növelhették az akadály adatok pontosságát és hatékonyságát (Bakó et al. 2019). A távérzékelés során generált pontfelhők és a geoinformatikai szoftverek integrált alkalmazása lehetővé tette a terepi adatok mélyreható elemzését és modellezését (Clark et al. 2016, Prusov et al. 2022, Swain et al. 2018). A kutatás során fejlesztett technikák és módszerek kiterjedtek a drónok és más légi távérzékelő eszközök által készített nagy felbontású képek és videók elemzésére is (Congress et al. 2023, Colomina et al. 2014, Siebert et al. 2014). Ez magába foglalta az adatok 3D-s rekonstrukcióját, ami különösen hasznos volt a nehezen hozzáférhető területeken. Az eTOD adatgyűjtés alkalmazása nemcsak a repülésbiztonság növeléséhez járult hozzá, hanem értékes betekintést nyújtott a repülőtéri tervezés és fejlesztés terén is, lehetővé téve az infrastruktúra optimalizálását és a potenciális fejlesztési területek azonosítását (Xiong et al. 2018).

A kutatás során a különböző adatgyűjtési és elemzési technikák összehangolása kulcsfontosságú volt. Az eredményként létrejött akadály adatbázisok nemcsak a repülőterek napi működését

segítették, hanem alapul szolgáltak a jövőbeni biztonsági intézkedések és tervezési döntések megalapozásához is.

A disszertáció kutatási alapját a Debreceni Nemzetközi Repülőtér és a Szegedi Repülőtér begyűjtött adatai, valamint az akadályok felméréséből adódó adatbázisok szolgáltatták. A munka során a repülőterek referencia pontjaiból (ARP = Airport Reference Point) kiindulva, 10 km-es sugárban gyűjtöttük a légiforgalmi akadály adatokat, nemzetközi jogszabályoknak megfelelően. A repülések által generált pontfelhő és a kidolgozott sajátos módszer alkalmazása eredményezte a térségek mintegy 6000 akadályának adatbázisba gyűjtését, amelyek a korábbi adatbázisokhoz képest nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltattak a légiforgalmi irányító szolgálatok számára. Számos olyan terep- és akadály adat gyűjtése történt meg, amelyeket hagyományos terepi geodéziával – helyszíni tapasztalatainkra hagyatkozva – nem lehetett volna felmérni. Ily módon a közel 320 km²-es terület felmérése számos komplikációt eredményezne, mint például az objektumok takarása, a földfelszínről nem látható akadálycsúcspontok és akadályegyüttesek bemérése (Wang et al. 2020, Forlani et al. 2013, Fricke et al. 2015).

2. Célkitűzések

Doktori kutatásom és az értekezés megírása során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- 1) A hagyományos terepi geodézia és szemrevételezés alkalmazása mellett, mi az a távérzékelési módszer, amely repülőterek körzetében optimális választás légiközlekedési akadályok gyűjtésére.
- 2) Mely kombinált adatgyűjtési módszer elégíti ki az adatgyűjtés során előírt numerikus követelményeket?
- 3) A biztonságot és gazdaságossági tényezőket együttesen vizsgálva mely távérzékelési módszer a legköltséghatékonyabb ekkora nagyságú területek felmérésére?
- 4) Merevszárnyú repülőgéppel alkalmazott fotogrammetria hatékony-e az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés folyamatában?
- 5) Légi fotogrammetria és ellenőrző terepi geodézia időben párhuzamos alkalmazása időhatékony-e egy repülőtér 10 km sugarú körzetének felmérésére?
- 6) A korábban begyűjtött csupán terepi geodéziai adatbázisok milyen mértékben térnek el a kombinált módszer (légi távérzékelés és terepi geodézia) adatbázisait képző akadályok számától?
- 7) A sűrű pontfelhő által generált akadályok számát, vajon befolyásolja-e a légifelvétel akadályvizsgálata?
- 8) Az alkalmazott felbontás csökkentésével, vagy éppen növelésével hogyan változnak a manuálisan bemérendő objektumok száma?
- 9) Egy komplex repülőtéri pontfelhő és légifelvétel milyen mértékben segítenek egy repülőteret a tervezésben és a mindennapi működésben?

10) Kutatásom célja annak igazolása, hogy az általam vizsgált akadály adatgyűjtési eljárás hatékonyan és megbízhatóan alkalmazható a légitársaságokban használt adatbázisok létrehozásában.

3. Anyag és módszer

Doktori értekezésemben a Debreceni Nemzetközi Repülőtéren és a Szegedi Repülőtéren végeztem kutatásaimat. Az ország keleti régiójában található Debreceni Nemzetközi Repülőtér kiemelkedően gazdag adatbázisokat biztosított a kutatáshoz. Szeged város építészete, néhány magas épületet, víztornyot és kéményt leszámítva, nem hozott létre jelentős számú akadályt az adatbázisokban, így körülbelül huszad annyi akadályt eredményezett, mint Debrecen esetében. A kutatás során azonban először a Szegedi Repülőtérre mértem fel, itt készültek el az első adatbázisok, itt jelöltem ki a definiált területeket, és itt hoztam létre az első pontfelhőt merevszárnyú repülőgépről. A repülőtér referencia pontjából kiindulva meghatározott távolságokban megfelelő területek, azaz Area-k vannak kijelölve (ICAO Annex 15 2018). Az Area 1 a tagállam teljes területére kiterjedő gyűjtési terület. Az állam teljes területén azonosítani kell a légiforgalmat és léginnavigációt érintő akadályokat, különös tekintettel a 100 méter feletti objektumokra, azaz minden olyan akadályra, amelynek a talaj feletti magassága eléri vagy meghaladja a 100 métert. Ezeket az akadályokat az adatbázisban megfelelő jelöléssel kell ellátni. Az Area 2 a repülőtér 10 kilométeres sugarában található zóna, amely további részekre van osztva, mint például Area 2a, 2b, 2c, 2d, valamint Area 3 és 4. Vizsgáltam továbbá a meghatározott akadály felületeket is. Minden korábban kijelölt területhez tartozik egy vagy több specifikus felület (surface), amelyek célja meghatározni, hogy egy adott objektum légiközlekedési akadálynak minősül-e. Amennyiben egy objektum magasságával metszi az adott akadály felületet, akadálynak tekinthető, amelyet adatbázisba szükséges foglalni és később vizsgálni kell. Disszertációmban három legfontosabb akadály felület típust mutattam be: akadály adatgyűjtési felületek, akadálykorlátozási felületek és akadályvédelmi felületek.

A Debreceni Nemzetközi Repülőtéren végzett repülések által létrehozott pontfelhő és a kidolgozott gyűjtési módszer segítségével mintegy 5500 akadályt gyűjtöttünk adatbázisba, amely sokkal pontosabb adatokat szolgáltatott az AIS (Aeronautical Information Services) számára a korábbi és független adatbázisokhoz képest. Debrecen esetében az északkeleti futópálya küszöbről megközelíthető területek terepviszonyai nehezítették az adatgyűjtési folyamatot a terep emelkedése miatt. A délnyugati futópálya végen viszont, a gyűjtési felület kezdeti magassága után, csak néhány akadályt észleltem, ami a terep magasságának csökkenésével magyarázható, így az objektumok nem érték el a felületek magasságát és nem metszték azokat (Bagdi et al. 2021).

A Szegedi Repülőtér korábbi adatbázisait tekintve az akadály adatgyűjtési felületek szerinti akadály objektumokat vizsgáltam. A korábbi adatbázis szerint 62 akadály volt nyilvántartva, melyek többnyire magas objektumok voltak, például távközlési tornyok, aszfaltkeverő telepek, templomtornyok, árbócok, silók és nagyobb épületek. Kutatásom 229 akadályt azonosított a 10 km-es Area 2 területen belül. A légi fotogrammetria lehetővé tette számunkra a terep- és akadályok háromdimenziós, nagy felbontású képének rekonstruálását. Ez a módszer különösen hasznos volt a Debreceni Nemzetközi Repülőtér északkeleti területén, ahol a domborzati viszonyok miatt a hagyományos adatgyűjtés nehézkes lett volna. A légi fotogrammetria segítségével pontosan detektáltam a földről nehezen látható akadályokat is, beleértve az alacsony fákat és alacsonyabb lakóházakat (Mielcarek et al. 2020, Gyawali et al. 2022). Emellett az akadályok geolokációs adatait is pontosabban rögzítettük, ami kritikus fontosságú a navigációs térképek és útvonaltervezés szempontjából. Az akadályok pontos térképezése lehetővé tette specifikus javaslatok megfogalmazását az akadálymentesítési tervek frissítésére és új

biztonsági zónák kijelölésére (Silva 2016, Zhou et al. 2022). A kutatás során szerzett tapasztalatok és a technológiai újítások alkalmazása így közvetlenül hozzájárult a repülőterek működésének és biztonságának javításához.

Mind a Szegedi, mind a Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében légi távérzékelést alkalmaztam. A korábbi adatbázisok alapján egyértelmű, hogy olyan országokban, ahol a kulturális táj beépítettsége és a terepviszonyok nem nehezítik jelentősen a felméréseket, indokolt a távérzékelés alkalmazása pontfelhő, digitális terep- és felületmodell generálására.

4. Kutatási eredmények

1. Tézis

Az általam kidolgozott légi fotogrammetriára és terepi geodéziára épülő akadály adatgyűjtési módszer alkalmas a repülőtéri elektronikus terep- és akadály adatok (eTOD) nagy területeken való pontos és megbízható gyűjtésére.

Az ICAO által előírt követelmények teljesítése mellett a kutatásom során kifejlesztett módszertan azt bizonyította, hogy a merevszárnyú repülőgéppel végzett légi fotogrammetria és a terepi geodéziai mérések kombinálásával a korábbi adatbázisokhoz képest nagyságrendekkel több akadály azonosítható. A Debreceni Nemzetközi Repülőtér akadálykorlátozási felületein végzett felmérésem során a korábban érvényben lévő 9 akadállyal szemben 276 akadályt sikerült detektálni, ami egyértelműen igazolja, hogy a kidolgozott módszer a repülésbiztonság szempontjából lényegesen megbízhatóbb eredményt biztosít. A módszertan újdonsága, hogy egyaránt kihasználja a nagy területek gyors lefedésére alkalmas légi távérzékelést és a pontosságellenőrzéshez szükséges terepi méréseket. Ez biztosítja, hogy az eTOD-adatbázis teljes körű és pontos legyen.

Az alkalmazott technológiát 3; 5; 7,5 és 10 cm-es térbeli felbontással végeztem. A merevszárnyú repülőgép 230-350 km/h sebességtartományban és 650-890 méteres terep feletti magasságban gyűjtötte az adatokat (Bagdi et al. 2023).

Az 1. táblázat jól mutatja, hogy a korábbi adatbázisokhoz képest a kidolgozott módszer lényegesen több akadályt azonosított, különösen a kritikus megközelítési felületek metszésében.

1. táblázat. Korábbi és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása Debreceni Nemzetközi Repülőtéren

	Korábbi adatbázis (darab)	Jelenlegi adatbázis (darab) (légi fotogrammetria + terepi geodézia)
Megközelítési felület(ek)	5 akadály	34 akadály
Kúpos felület	1 akadály	6 akadály
Belső vízszintes felület	2 akadály	37 akadály
Átmeneti felület(ek)	1 akadály	36 akadály
Felszállási emelkedési felület	-	156 akadály
Belső átmeneti felület(ek)	-	2 akadály
Megszakított megközelítési felület	-	0 akadály
Belső megközelítési felület	-	5 akadály
Külső vízszintes felület	-	0 akadály

Az egyik legkritikusabb felület a megközelítési felület, ahol a légi járművek viszonylag alacsony magasságban repülnek. Korábbi adatbázisok 5 akadályt tartalmaztak, míg kutatásom 34 akadályt azonosított ezen a területen (Bagdi et al. 2021). Ez egyértelműen mutatja, hogy az észlelt akadályok száma közötti különbség a repülésbiztonság szempontjából nem megengedhető.

2. Tézis

A kidolgozott módszerrel a pontfelhő feldolgozása kiegészítő manuális fotogrammetriai kiértékeléssel és terepi geodéziával kombinálva jelentősen növeli az akadálydetektálás megbízhatóságát.

A légi fotogrammetriai felmérések során kapott pontfelhő önmagában nem mindig tartalmazza az összes, repülésbiztonsági szempontból releváns akadályt, ezért szükséges manuális fotogrammetriai kiértékelést alkalmazni, melynek segítségével az ortofotón manuálisan tudom beazonosítani az akadályt és lehetőség nyílik későbbi pontos terepi geodéziára. Kutatásom során bizonyítottam, hogy a manuális fotogrammetriai képiértékelés 64%-kal növeli a pontfelhőben detektált akadályok számát 10 cm-es GSD mellett. Csupán terepi geodéziát alkalmazva a detektált akadályok száma 44%, a kombinált módszert használva pedig 100% érhető el. Ez azt jelzi, hogy a különböző módszerek kombinálása biztosítja a legnagyobb teljességet és pontosságot. A kidolgozott módszertan tehát nem egyetlen felmérési technológiára épül, hanem a különböző eljárások előnyeit ötvözi. Ezáltal a repülőtéri eTOD adatgyűjtésben minden területre – akár nehezen hozzáférhető részekre is – alkalmazható.

A 2. táblázat szemlélteti a különböző módszerek akadálydetektálási eredményeit, amelyből egyértelműen látható a kombinált eljárás hatékonysága.

2. táblázat. Akadály érzékelés GSD függése (Bakó et al. 2019)

Légifelvétel térbeli felbontása (cm)	Pontfelhőben detektált akadályok (%)	Manuális fotogrammetriai kiértékelés során detektált akadályok (%)	Terepen felmért akadályok, légi távérzékelés nélkül (%)	A kombinált módszer által detektált akadályok (%)
3	85	98	44	100
5	71	96	44	100
7,5	60	94	44	100
10	27	91	44	100

3. Tézis

Kutatásaim alapján meghatároztam azokat az optimális repülési és felbontási paramétereket, amelyek biztosítják a módszer alkalmazhatóságát a repülőterek 10 km-es sugarban definiált területein.

A kidolgozott módszertan gyakorlati alkalmazása során igazoltam, hogy a repülési sebesség, a terep feletti magasság, a felvételek átfedése és a GSD beállításai kritikus szerepet

játszanak az eTOD adatgyűjtés pontosságában és költséghatékonyaságában.

Kutatásom eredményei szerint a 230–350 km/h sebesség, a 600–900 méteres terep feletti repülési magasság, valamint a 40%-os sávok közötti és 70–90%-os soron belüli átfedések biztosítják a legjobb eredményt. Az optimális GSD értékek Area 1–4 területek esetében 20 cm, 5 cm, illetve 1 cm. Ezek a paraméterek garantálják, hogy a módszertan nemcsak a vizsgált repülőterekre, hanem bármely más repülőter eTOD adatgyűjtésére is alkalmazható.

3. táblázat Kutatásom alapján ajánlott GSD paraméterek a numerikus követelmények függvényében az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés során

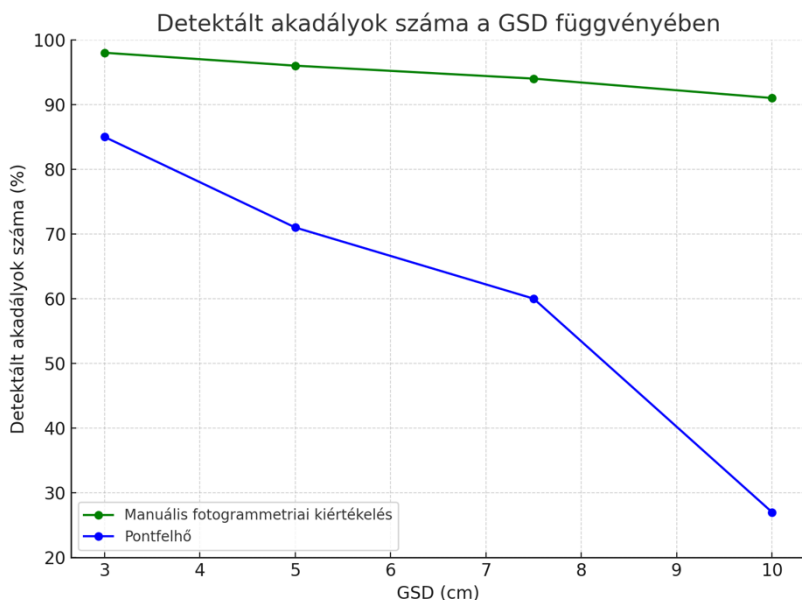
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Légifelvételek térbeli felbontása (cm)	20	5	1	1

4. Tézis

A térbeli felbontás növelésével nemlineárisan nő a pontfelhőből bemérhető objektumok száma, valamint csökken a manuális fotogrammetriai korrekció mennyisége az akadály detektálás során.

Kutatásom során kimutattam, hogy a légi fotogrammetria felbontásának növelése nagymértékben javítja a repülőterei akadályfelmérés pontosságát és teljességét. A pontfelhő részletgazdagsága miatt a kisebb objektumok is azonosíthatóvá válnak, viszont alacsonyabb felbontás mellett nem jelennek meg

a pontfelhőben, amire jó példa egy kémény tetején lévő keskeny villámhárító. Ugyanakkor a manuális fotogrammetriai korrekciós kiértékelés szükségessége a nagy felbontás miatt fokozatosan csökken, hiszen a rendszer egyre megbízhatóbban detektálja az akadályokat. Ez az összefüggés azt bizonyítja, hogy az általam kidolgozott módszer magas felbontás alkalmazása mellett a leghatékonyabb, mivel a feldolgozás pontossága és a ráfordított munkaidő optimális arányban áll egymással. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a nagy felbontású fotogrammetriai kiértékelés, különösen a kombinált módszer, a legmegbízhatóbb felmérési módszer adott idő- és pénzügyi keretek között. Az 2. táblázat adatai szerint a felbontás csökkentésével, csökken a manuálisan bemérendő objektumok száma (3. ábra).



3. ábra. Pontfelhőben, valamint a manuális fotogrammetriai kiértékelés során detektált akadályok száma a GSD függvényében

Felhasznált irodalom

1. Bagdi, Z., & Bakó, G. (2021). Comparison of ICAO airport obstacle databases by ETOD's obstacle limitation and collection surfaces. *Modern Environmental Science and Engineering*, 7(1). [https://doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/01.07.2021/006](https://doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/01.07.2021/006)
2. Bagdi, Z., & Bakó, G. (2021). Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés. *Repüléstudományi Közlemények*, 32(1), 67–73. <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.4>
3. Bagdi, Z., Bakó, G., & Molnár, Z. (2023). Combined use of aerial remote sensing and terrestrial survey in ICAO eTOD's electronic terrain- and obstacle data collection. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 51(3), 252–256.
4. Bakó, G., Szilágyi, Z., Bagdi, Z., Molnár, Z., Góber, E., & Molnár, A. (2019). The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 10, 1–7.
5. Bakó, G., Tolnai, M., & Takács, Á. (2014). Introduction and testing of a monitoring and colony-mapping method for waterbird populations that uses high-speed and ultra-detailed aerial remote sensing. *Sensors*, 14, 12828–12845. <https://doi.org/10.3390/s140712828>
6. Clark, E. (2016). Applying GIS technology in airport management (Honors thesis, Bowling Green State University). <https://scholarworks.bgsu.edu/honorsprojects/679>
7. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote*

- Sensing, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.is-prsjprs.2014.02.013>
8. Congress, S. S. C., Puppala, A. J., Treybig, C., Gurganus, C., & Halley, J. (2023). Application of unmanned aerial vehicles for monitoring airport asset surfaces. *Transportation Research Record*, 2677(3), 458–473. <https://doi.org/10.1177/03611981221115729>
 9. EUROCONTROL. (2015). Terrain and obstacle data manual (EUROCONTROL GUID-0158). Eurocontrol.
 10. Forlani, G., Nardinocchi, C., Scaioni, M., & Zingaretti, P. (2003). Building reconstruction and visualization from lidar data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV, Part 5/W12, Ancona, Italy.
 11. Fricke, H., & Thiel, C. (2015). A methodology to assess the safety of aircraft operations when aerodrome obstacle standards cannot be met. *Open Journal of Applied Sciences*, 5, 62–81. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2015.52007>
 12. Gyawali, A., Aalto, M., Peuhkurinen, J., Villikka, M., & Ranta, T. (2022). Comparison of individual tree height estimated from LiDAR and digital aerial photogrammetry in young forests. *Sustainability*, 14, 3720. <https://doi.org/10.3390/su14073720>
 13. International Civil Aviation Organization. (2018). Coverage areas and requirements for data provision. In Annex 15, Chapter 10.1. ICAO.
 14. Li, X., & Chen, X. (2018). Airport simulation technology in airport planning, design and operating management. *Applied and Computational Mathematics*, 7(3), 130–138. <https://doi.org/10.11648/j.acm.20180703.18>
 15. Mielcarek, M., Kamińska, A., & Stereńczak, K. (2020). Digital aerial photogrammetry (DAP) and airborne laser scanning (ALS) as sources of information about tree

- height: Comparisons of the accuracy of remote sensing methods for tree height estimation. *Remote Sensing*, 12, 1808. <https://doi.org/10.3390/rs12111808>
16. Prusov, D., & Boyko, O. (2022). The conceptual model of the structure and functional purpose of the geoinformation system for administrative and economic management of a regional airport. *Geodesy and Cartography*, 48(2), 46–55. <https://doi.org/10.3846/gac.2022.12570>
 17. Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
 18. Silva, D. (2016). Quantitative risk evaluation of obstacle limitation surfaces for final approaches at airports. *Journal of Aviation Technology & Engineering*, 5(2), 51–68. <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1110>
 19. Swain, S., & Haq, M. A. (2018). Site suitability analysis for a greenfield airport in Kolkata using GIS and remote sensing. In *Proceedings of the 39th Asian Conference on Remote Sensing* (pp. 2280–2289). ACRS.
 20. Wang, L., Ai, J., Zhang, L., & Xing, Z. (2020). Design of airport obstacle-free zone monitoring UAV system based on computer vision. *Sensors*, 20(9), 2475. <https://doi.org/10.3390/s20092475>
 21. Zhou, C., Cui, X., Song, X., Nie, X., & Gao, Y. (2022). Method of extracting airport curbside vehicle operation data based on point cloud data. In *2022 IEEE 7th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)* (pp. 25–34). <https://doi.org/10.1109/ICITE56321.2022.10101422>



Nyilvántartási szám: DEENK/464/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bagdi Zsolt
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10096104

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Bagdi, Z.**, Bakó, G.: Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés = Airport Survey, Electronic Terrain and Obstacle Data Collection.
RepTudKoz. 32 (1), 117-125, 2020. ISSN: 1417-0604.
DOI: <http://dx.doi.org/10.32560/rk.2020.1.4>

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

2. **Bagdi, Z.**, Bakó, G., Molnár, Z.: Combined Use of Aerial Remote Sensing and Terrestrial Survey in ICAO eTOD's Electronic Terrain- and Obstacle Data Collection.
Per. Polytech. Transport. Eng. 51 (3), 252-256, 2023. ISSN: 0303-7800.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3311/PPtr.20851>
3. **Bagdi, Z.**, Csámer, L., Bakó, G.: The green light for air transport: sustainable aviation at present.
CogSust. 2 (2), 57-63, 2023. EISSN: 2939-5240.
DOI: <http://dx.doi.org/10.55343/cogsust.55>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

4. **Bagdi, Z.**, Bakó, G.: Comparison of ICAO Airport Obstacle Databases by ETOD's Obstacle Limitation and Collection Surfaces.
Modern Environmental Science and Engineering. 7 (6), 39-45, 2021. ISSN: 2333-2581.
DOI: [http://dx.doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/01.07.2021/006](http://dx.doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/01.07.2021/006)





5. Bakó, G., Szilágyi, Z., **Bagdi, Z.**, Molnár, Z., Göber, E., Molnár, A.: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey.
CEAS Aeronaut J. 11 (1), 137-143, 2019. ISSN: 1869-5582.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.09.02.



**Short thesis for the degree of doctor of philosophy
(PhD)**

**Electronic Terrain- and Obstacle Data
collection of Airports Using Geoinformatics
Methods**

by Zsolt Bagdi

Supervisor: Gergely Szabó PhD.



**UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Earth Sciences**

Debrecen, 2025

1. Introduction

The topic of my doctoral dissertation is the process of electronic terrain- and obstacle data collection at ICAO-certified airports, referred to as eTOD (electronic Terrain and Obstacle Data) collection. This process is primarily based on airborne remote sensing conducted using fixed-wing aircraft. The point cloud obtained during the flight, in combination with geoinformatics software, enables the organization of strictly defined terrain- and obstacle data into databases regulated by international standards and documentation. As a result, the obstacle database can be utilized at an international level. The application of airborne remote sensing in eTOD collection has significantly improved the accuracy and efficiency of terrain and obstacle data collection at airports (Bakó et al., 2019).

The integration of point clouds generated through remote sensing with geoinformatics software has facilitated in-depth analysis and modeling of terrain data (Clark et al., 2016; Prusov et al., 2022; Swain et al., 2018). The research also encompassed the development of techniques and methods for analyzing high-resolution images and videos captured by drones and other airborne remote sensing tools (Congress et al., 2023; Colomina et al., 2014; Siebert et al., 2014). This included 3D reconstruction of data, which proved particularly beneficial for assessing hard-to-access areas. The application of eTOD collection has contributed not only to aviation safety but also provided valuable insights into airport planning and development, allowing for infrastructure optimization and the identification of potential expansion areas (Xiong et al., 2018).

The coordination of various data collection and analysis techniques was a crucial aspect of this research. The resulting obstacle databases have not only supported the daily operations of airports but have also served as a foundation for future safety measures and planning decisions.

The research was based on data collected from Debrecen International Airport and Szeged Airport, along with databases generated through obstacle surveys. During the study, obstacles were identified within a 10-km radius from the Airport Reference Point (ARP) in compliance with international regulations. The point cloud data generated through aerial surveys, combined with a specialized methodology developed in this research, led to the compilation of an obstacle database containing approximately 6,000 obstacles. Compared to previous databases, this dataset provides significantly more precise information for Air Traffic Control (ATC) services. Numerous terrain- and obstacle data points were collected that would have been impossible to survey using traditional ground-based geodetic methods, relying solely on on-site observations.

Surveying the nearly 320 km² area posed several challenges, including object occlusion, measurement of obstacle peak points not visible from the ground, and the assessment of complex obstacle groups (Wang et al., 2020; Forlani et al., 2013; Fricke et al., 2015).

2. Research Objectives

During my doctoral research and the writing of this dissertation, I sought to answer the following questions:

1. Beyond the use of traditional ground-based geodetic surveying and visual inspection, what remote sensing method is the most optimal choice for collecting aviation obstacle data in airport vicinity zones?
2. Which combined data collection method meets the numerical requirements prescribed for obstacle data acquisition?
3. Considering both safety and economic factors, which remote sensing approach is the most cost-effective for surveying areas of this magnitude?
4. Is photogrammetry conducted with fixed-wing aircraft an effective method in the electronic terrain- and obstacle data collection process?
5. Is the simultaneous application of aerial photogrammetry and ground-based control geodetic surveys time-efficient for mapping a 10 km radius around an airport?
6. To what extent do previously collected ground-based geodetic databases differ from obstacle datasets created using a combined method (airborne remote sensing and ground-based geodetic surveying)?
7. Does the number of obstacles identified in a dense point cloud depend on the obstacle analysis of aerial imagery?
8. How does increasing or decreasing the applied resolution impact the number of objects that require manual measurement?
9. To what extent do a complex airport point cloud and aerial imagery contribute to airport planning and daily operations?

10. The overarching goal of my research is to demonstrate that the obstacle data collection methodology I have examined can be effectively and reliably applied in the creation of aviation-related databases.

3. Materials and Methods

In my doctoral dissertation, I conducted research at Debrecen International Airport and Szeged Airport. Located in the eastern region of Hungary, Debrecen International Airport provided exceptionally rich databases for this study. In contrast, due to the architectural characteristics of Szeged, which includes only a limited number of tall buildings, water towers, and chimneys, the number of identified obstacles was significantly lower—approximately one-twentieth of that recorded in Debrecen. However, my research began at Szeged Airport, where I performed the initial surveys, established the first databases, designated defined study areas, and generated the first point cloud using a fixed-wing aircraft.

Based on the airport reference point, specific study areas (referred to as "Areas") were designated at defined distances, as outlined in ICAO Annex 15 (2018). Area 1 encompasses the entire national territory of the state, requiring the identification of aviation-related obstacles, particularly those exceeding 100 meters in height above ground level. These obstacles must be appropriately labeled in the database. Area 2 covers a 10 km radius around the airport and is further divided into subzones such as Area 2a, 2b, 2c, and 2d, along with Area 3 and Area 4. Additionally, I examined designated obstacle surfaces. Each predefined area is associated with one or more specific surfaces that determine whether an object qualifies as an aviation obstacle. If an object's height intersects a defined obstacle surface, it is classified as an obstacle and must be recorded in the database for further analysis.

In my dissertation, I introduced three key types of obstacle surfaces:

- Obstacle Collection Surfaces
- Obstacle Limitation Surfaces
- Obstacle Protection Surfaces

At Debrecen International Airport, the developed data collection method and the generated point cloud enabled the identification and cataloging of approximately 5,500 obstacles in the database. This dataset provided significantly more accurate information for Aeronautical Information Services (AIS) compared to previous independent databases. The northeastern approach path posed challenges for data collection due to terrain elevation changes, whereas the southwestern approach area contained fewer recorded obstacles. This discrepancy was primarily due to decreasing terrain height, resulting in fewer objects intersecting designated surfaces (Bagdi et al., 2021).

At Szeged Airport, obstacle collection surfaces were analyzed in comparison with previous databases. The earlier records contained 62 obstacles, primarily tall structures such as telecommunication towers, asphalt mixing plants, church spires, masts, silos, and large buildings. However, my research identified 229 obstacles within the 10 km Area 2 zone. Aerial photogrammetry enabled the three-dimensional, high-resolution reconstruction of terrain and obstacles, proving especially valuable in the northeastern sector of Debrecen International Airport, where traditional data collection methods would have been difficult due to complex topographical conditions. The aerial approach allowed the precise detection of obstacles that were not easily visible from the ground, including low vegetation and smaller residential structures (Mielcarek et al., 2020; Gyawali et al., 2022).

Additionally, the geolocation accuracy of identified obstacles was significantly improved, which is crucial for navigation charts and flight path planning. The precise mapping of

obstacles facilitated specific recommendations for updating obstacle clearance plans and defining new safety zones (Silva, 2016; Zhou et al., 2022). The experiences gained and the technological innovations applied in this research directly contributed to enhancing airport operations and safety.

For both Szeged and Debrecen Airports, aerial remote sensing was employed. The findings indicate that in countries where cultural landscapes and terrain conditions do not significantly impede surveying efforts, remote sensing is a justified method for generating point clouds, as well as digital terrain and surface models.

4. Research Findings

Thesis 1

The obstacle data collection method I developed, based on aerial photogrammetry and terrestrial geodetic measurements, is suitable for the accurate and reliable acquisition of airport electronic terrain- and obstacle data (eTOD) over large areas.

In addition to meeting the requirements set by ICAO, my research demonstrated that by combining fixed-wing aerial photogrammetry with terrestrial geodetic control measurements, it is possible to identify an order of magnitude more obstacles compared to previous databases. In the case of the obstacle limitation surfaces at Debrecen International Airport, my survey detected 276 obstacles as opposed to only 9 in earlier datasets, clearly proving that the developed method provides significantly more reliable results in terms of aviation safety.

The novelty of the methodology lies in its dual approach: it leverages aerial remote sensing, which is capable of rapidly covering large areas, while also incorporating terrestrial measurements to ensure accuracy control. This guarantees that the resulting eTOD database is both comprehensive and precise.

The applied technology was tested at ground sampling distances (GSD) of 3, 5, 7.5, and 10 cm. Data collection was carried out by a fixed-wing aircraft operating at speeds between 230–350 km/h and at altitudes of 650–890 meters above ground level (Bagdi et al. 2023).

Table 1. Comparison of obstacle limitation surface databases from previous and current research at Debrecen International Airport

	Previous database (number of items)	Current database (number of items) (aerial photogrammetry + terrestrial survey)
Approach surfaces	5 obstacles	34 obstacles
Conical surface	1 obstacle	6 obstacles
Inner horizontal surface	2 obstacles	37 obstacles
Transitional surface	1 obstacle	36 obstacles
Take-off Climb surface	-	156 obstacles
Inner transitional surface	-	2 obstacles
Balked landing surface	-	0 obstacle
Inner approach surface	-	5 obstacles
Outer horizontal surface	-	0 obstacle

Table 1 clearly illustrates that, compared to earlier databases, the developed method identified substantially more obstacles, especially on critical approach surfaces. One of the most critical areas is the approach surface, where aircraft operate at relatively

low altitudes. While earlier databases recorded only 5 obstacles, my research identified 34 obstacles in this zone (Bagdi et al. 2021). This difference in the number of detected obstacles is unacceptable from the perspective of aviation safety.

Thesis 2

Using the developed methodology, point cloud processing supplemented with manual photogrammetric evaluation and terrestrial geodetic measurements significantly increases the reliability of obstacle detection.

The point cloud generated from aerial photogrammetry surveys alone does not always contain all obstacles relevant to aviation safety, therefore, manual photogrammetric evaluation is required. This enables me to manually identify obstacles on the orthophoto and provides the possibility for subsequent precise terrestrial survey. My research demonstrated that manual photogrammetric evaluation increases the number of obstacles detected in the point cloud by 64% at a GSD of 10 cm. When using terrestrial geodetic surveying alone, the detection rate is 44%, whereas the combined method achieves 100%. This proves that the integration of different methods ensures the highest level of completeness and accuracy.

Therefore, the developed methodology is not based on a single surveying technology but combines the advantages of different approaches. As a result, it can be effectively applied to all areas of airport eTOD data collection, including zones that are difficult to access.

Table 2 illustrates the obstacle detection results of the different methods, clearly showing the effectiveness of the combined approach.

Table 2. Obstacle detection dependence on GSD (Bakó et al. 2019)

Spatial resolution of aerial imagery (cm)	Obstacles detected in the point cloud (%)	Obstacles detected during manual photogrammetric evaluation (%)	Obstacles detected through terrestrial survey without aerial remote sensing (%)	Obstacles detected using the combined method (%)
3	85	98	44	100
5	71	96	44	100
7,5	60	94	44	100
10	27	91	44	100

Thesis 3

Based on my research, I have determined the optimal flight and resolution parameters that ensure the applicability of the developed method within the areas defined within a 10 km radius around airports.

Through the practical application of the developed methodology, I demonstrated that flight speed, altitude above ground level,

image overlap, and GSD settings play a critical role in the accuracy and cost-efficiency of eTOD data collection. According to my results, a flight speed of 230–350 km/h, an altitude of 600–900 meters above ground level, and image overlaps of 40% between flight lines and 70–90% within flight lines provide the most reliable outcomes. The optimal GSD values for ICAO Areas 1–4 are 20 cm, 5 cm, and 1 cm, respectively. These parameters ensure that the methodology is not only applicable to the surveyed airports but can also be generalized for eTOD data collection at any airport.

Table 3. Recommended GSD parameters based on my research in relation to numerical requirements for electronic terrain- and obstacle data collection

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Spatial resolution of aerial images (cm)	20	5	1	1

Thesis 4

With increasing spatial resolution, the number of objects measurable from the point cloud grows in a nonlinear manner, while the amount of manual photogrammetric correction required for obstacle detection decreases.

My research demonstrated that enhancing the resolution of aerial photogrammetry substantially improves the accuracy and completeness of airport obstacle surveys. Due to the greater detail of the point cloud, smaller objects—such as a narrow lightning rod on top of a chimney—can also be identified, whereas at lower

resolutions they remain undetected. At the same time, the need for manual photogrammetric correction decreases as resolution improves, since the system itself becomes increasingly reliable in detecting obstacles. This relationship proves that the method I developed is most effective when high spatial resolution is applied, as it provides an optimal balance between processing accuracy and required labor effort.

Based on my findings, it can be concluded that high-resolution photogrammetric evaluation, particularly when combined with supplementary methods, represents the most reliable survey approach within given time and financial constraints. As shown in Table 2, a reduction in spatial resolution directly decreases the number of objects that can be manually identified (see Figure 3).

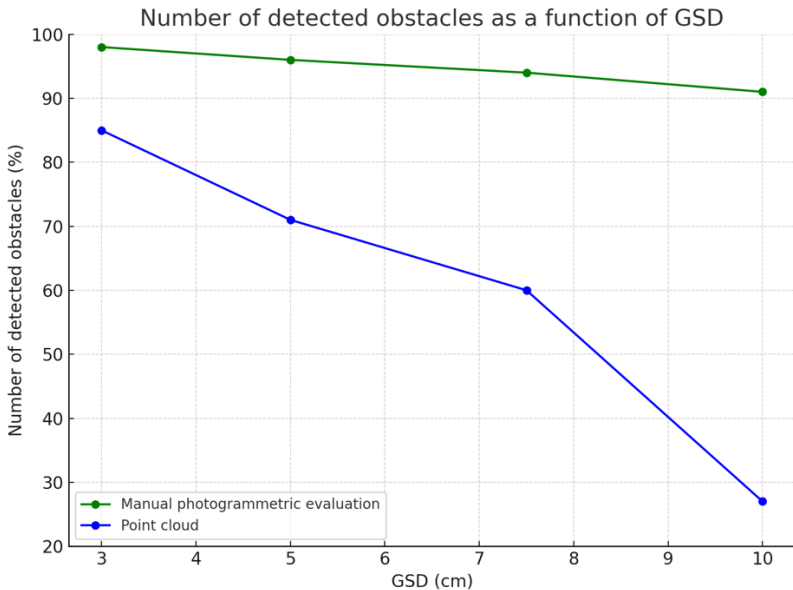


Figure 1. Number of obstacles detected in the point cloud and through manual photogrammetric evaluation as a function of GSD

References

1. Bagdi, Z., & Bakó, G. (2021). Comparison of ICAO airport obstacle databases by ETOD's obstacle limitation and collection surfaces. *Modern Environmental Science and Engineering*, 7(1). [https://doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/01.07.2021/006](https://doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/01.07.2021/006)
2. Bagdi, Z., & Bakó, G. (2021). Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés. *Repüléstudományi Közlemények*, 32(1), 67–73. <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.4>
3. Bagdi, Z., Bakó, G., & Molnár, Z. (2023). Combined use of aerial remote sensing and terrestrial survey in ICAO eTOD's electronic terrain- and obstacle data collection. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 51(3), 252–256.
4. Bakó, G., Szilágyi, Z., Bagdi, Z., Molnár, Z., Góber, E., & Molnár, A. (2019). The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 10, 1–7.
5. Bakó, G., Tolnai, M., & Takács, Á. (2014). Introduction and testing of a monitoring and colony-mapping method for waterbird populations that uses high-speed and ultra-detailed aerial remote sensing. *Sensors*, 14, 12828–12845. <https://doi.org/10.3390/s140712828>
6. Clark, E. (2016). Applying GIS technology in airport management (Honors thesis, Bowling Green State University). <https://scholarworks.bgsu.edu/honorsprojects/679>
7. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote*

- Sensing, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.is-prsjprs.2014.02.013>
8. Congress, S. S. C., Puppala, A. J., Treybig, C., Gurganus, C., & Halley, J. (2023). Application of unmanned aerial vehicles for monitoring airport asset surfaces. *Transportation Research Record*, 2677(3), 458–473. <https://doi.org/10.1177/03611981221115729>
 9. EUROCONTROL. (2015). Terrain and obstacle data manual (EUROCONTROL GUID-0158). Eurocontrol.
 10. Forlani, G., Nardinocchi, C., Scaioni, M., & Zingaretti, P. (2003). Building reconstruction and visualization from lidar data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV, Part 5/W12, Ancona, Italy.
 11. Fricke, H., & Thiel, C. (2015). A methodology to assess the safety of aircraft operations when aerodrome obstacle standards cannot be met. *Open Journal of Applied Sciences*, 5, 62–81. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2015.52007>
 12. Gyawali, A., Aalto, M., Peuhkurinen, J., Villikka, M., & Ranta, T. (2022). Comparison of individual tree height estimated from LiDAR and digital aerial photogrammetry in young forests. *Sustainability*, 14, 3720. <https://doi.org/10.3390/su14073720>
 13. International Civil Aviation Organization. (2018). Coverage areas and requirements for data provision. In Annex 15, Chapter 10.1. ICAO.
 14. Li, X., & Chen, X. (2018). Airport simulation technology in airport planning, design and operating management. *Applied and Computational Mathematics*, 7(3), 130–138. <https://doi.org/10.11648/j.acm.20180703.18>
 15. Mielcarek, M., Kamińska, A., & Stereńczak, K. (2020). Digital aerial photogrammetry (DAP) and airborne laser scanning (ALS) as sources of information about tree

- height: Comparisons of the accuracy of remote sensing methods for tree height estimation. *Remote Sensing*, 12, 1808. <https://doi.org/10.3390/rs12111808>
16. Prusov, D., & Boyko, O. (2022). The conceptual model of the structure and functional purpose of the geoinformation system for administrative and economic management of a regional airport. *Geodesy and Cartography*, 48(2), 46–55. <https://doi.org/10.3846/gac.2022.12570>
 17. Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
 18. Silva, D. (2016). Quantitative risk evaluation of obstacle limitation surfaces for final approaches at airports. *Journal of Aviation Technology & Engineering*, 5(2), 51–68. <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1110>
 19. Swain, S., & Haq, M. A. (2018). Site suitability analysis for a greenfield airport in Kolkata using GIS and remote sensing. In *Proceedings of the 39th Asian Conference on Remote Sensing* (pp. 2280–2289). ACRS.
 20. Wang, L., Ai, J., Zhang, L., & Xing, Z. (2020). Design of airport obstacle-free zone monitoring UAV system based on computer vision. *Sensors*, 20(9), 2475. <https://doi.org/10.3390/s20092475>
 21. Zhou, C., Cui, X., Song, X., Nie, X., & Gao, Y. (2022). Method of extracting airport curbside vehicle operation data based on point cloud data. In *2022 IEEE 7th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)* (pp. 25–34). <https://doi.org/10.1109/ICITE56321.2022.10101422>



Registry number: DEENK/464/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Zsolt Bagdi
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10096104

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

1. **Bagdi, Z.,** Bakó, G.: Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés = Airport Survey, Electronic Terrain and Obstacle Data Collection.
RepTudKoz. 32 (1), 117-125, 2020. ISSN: 1417-0604.
DOI: <http://dx.doi.org/10.32560/rk.2020.1.4>

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

2. **Bagdi, Z.,** Bakó, G., Molnár, Z.: Combined Use of Aerial Remote Sensing and Terrestrial Survey in ICAO eTOD's Electronic Terrain- and Obstacle Data Collection.
Per. Polytech. Transport. Eng. 51 (3), 252-256, 2023. ISSN: 0303-7800.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3311/PPtr.20851>
3. **Bagdi, Z.,** Csámer, L., Bakó, G.: The green light for air transport: sustainable aviation at present.
CogSust. 2 (2), 57-63, 2023. EISSN: 2939-5240.
DOI: <http://dx.doi.org/10.55343/cogsust.55>

Foreign language scientific articles in international journals (2)

4. **Bagdi, Z.,** Bakó, G.: Comparison of ICAO Airport Obstacle Databases by ETOD's Obstacle Limitation and Collection Surfaces.
Modern Environmental Science and Engineering. 7 (6), 39-45, 2021. ISSN: 2333-2581.
DOI: [http://dx.doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/01.07.2021/006](http://dx.doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/01.07.2021/006)
5. Bakó, G., Szilágyi, Z., **Bagdi, Z.,** Molnár, Z., Göber, E., Molnár, A.: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey.
CEAS Aeronaut J. 11 (1), 137-143, 2019. ISSN: 1869-5582.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>

The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

02 September, 2024

