



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

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

Bagdi Zsolt

Témavezető: Dr. Szabó Gergely

DEBRECENI EGYETEM

Természettudományi és Műszaki Tudományi Doktori Tanács

Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2025

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi és Műszaki Tudományi Doktori Tanács, Földtudományok Doktori Iskola Lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi/műszaki doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Nyilatkozom arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Debrecen, 2025. 08. 26.

.....

a jelölt aláírása

Tanúsítom, hogy Bagdi Zsolt doktorjelölt 2018-2022 között a fent megnevezett Doktori Iskola Lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2025. 08. 26.

.....

a témavezető aláírása

# Repülőterek elektronikus terep- és akadály adatgyűjtése geoinformatikai módszerekkel

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében  
a Földtudományok tudományágban

Írta: Bagdi Zsolt okleveles villamosmérnök

Készült a Debreceni Egyetem Földtudományok Doktori Iskolája  
(Lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programja) keretében

Témavezető: Dr. Szabó Gergely

Az értekezés bírálói:

Dr. ....  
Dr. ....

A bírálóbizottság:

elnök:  
tagok:

Dr. ....  
Dr. ....  
Dr. ....  
Dr. ....  
Dr. ....

Az értekezés védésének időpontja: 20... . . . . .



## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	7
2. Szakirodalmi áttekintés .....	9
2.1. ICAO Repülőterek funkcionális áttekintése.....	9
2.2. A légi távérzékelés alkalmazása az akadály adatgyűjtés folyamatában .....	16
2.3. A távérzékelési folyamatok és adathalmazok tulajdonságai .....	17
3. Anyag és módszer .....	20
3.1. A mintaterületek bemutatása .....	20
3.1.1. Debreceni Nemzetközi Repülőtér .....	20
3.1.2. Szegedi Repülőtér .....	22
3.2. Területfelosztások ICAO szerint .....	24
3.2.1. Area 1 terület.....	24
3.2.2. Area 2 terület.....	25
3.2.3. Area 3 és 4 Terület .....	28
3.3. Akadályobjektumokat definiáló felületek .....	28
3.3.1. Akadály adatgyűjtési felületek .....	28
3.3.2. Akadálykorlátozási felületek.....	31
3.3.3. Akadályvédelmi felület .....	36
3.4. Felhasznált, korábban érvényben lévő akadály adatbázisok.....	37
3.5. Akadály adatok és metaadatok elemzése .....	39
3.5.1. ICAO numerikus követelmények.....	39
3.5.2. Akadály objektumok definiálása .....	44
3.5.3. Metaadat halmazok .....	47
3.6. Párhuzamos felmérési folyamat: légi távérzékelés + terepi geodézia.....	51
3.6.1. Az alkalmazott légi távérzékelési folyamatok.....	54
3.6.2. Kiegészítő terepi geodéziai felmérések gyakorlati megvalósítása.....	56
3.7. Generált pontfelhő, digitális terep és felületmodell kiértékelés.....	58
3.7.1. Pontfelhő elemzés .....	58
3.7.2. Digitális Felszínmodell (DFM).....	61
3.7.3. Digitális Terepmodell (DTM) .....	62
4. Eredmények.....	63

4.1. A párhuzamos felmérési folyamat eredményei .....	63
4.1.1. Szegedi Repülőtér .....	63
4.1.2. Debreceni Nemzetközi Repülőtér .....	66
4.2. Légijármű távérzékelési hatékonyság tesztek bemutatása .....	68
4.2.1. Merevszárnyú repülőgépes távérzékelési tesztek .....	68
4.3. Korábbi és új adatbázisok összehasonlítása .....	69
4.3.1. Akadálykorlátozási felületek szerinti összehasonlítás .....	69
4.4. Akadálydetektálások a GSD függvényében .....	73
4.5. Az eredmények validálása .....	79
4.5.1. Korábbi adatbázisokkal való összehasonlítás .....	80
4.5.2. Független mérések .....	81
5. Összefoglalás .....	83
6. Summary .....	85
Felhasznált irodalom .....	88
Rövidítések jegyzéke .....	96
Ábrák jegyzéke .....	99
Táblázatok jegyzéke .....	101
Publikációim listája .....	102

## 1. Bevezetés

Minden ország repülőterein a repülésbiztonság maximálisan elvárt tényező, amit az idő előrehaladtával nem elég csupán szinten tartani, hanem fokozni kell annak mértékét és igazodni a légiközlekedési ágazat folyamatos fejlődéséhez. Ehhez nagymértékben hozzájárulnak olyan technológiák, amelyek a jelen korban állnak rendelkezésünkre. Ilyen például az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés, ahol az adatkészlet - angol nyelven és rövidítve eTOD (electronic Terrain- and Obstacle Data) – speciális légiforgalmi adatokat tartalmaz (ICAO Doc 9881 2004). Az akadály adatgyűjtés folyamat alapja egyfajta légi távérzékelés, merevszárnyú repülőgépről. A repülés során kapott pontfelhő és geoinformatikai szoftver segítségével a szigorúan definiált terep- és akadály adatok adatbázisokba rendezhetők, melyek sémáját olyan nemzetközi szabványok és dokumentumok szabályozzák, amiknek megfelelően nemzetközi szinten felhasználható lesz az akadály adatbázis. Ezekre az adathalmazokra nemcsak amiatt van szükség, mert jogszabályok követelik azok meglétét, hanem azért, mert különféle repülőgépes eljárások tervezésének alapját képezik és nagymértékben hozzájárulnak a biztonságos légiközlekedéshez.

A légi távérzékelésnek és az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtésnek köszönhetően a repülőterek képesek voltak jelentős mértékben növelni az akadály adatok pontosságát és hatékonyságát (Bakó et al. 2019). A távérzékelések során generált pontfelhők és a geoinformatikai szoftverek integrált alkalmazása lehetővé tette a terepi adatok mélyreható elemzését és modellezését (Clark et al. 2016, Swain et al. 2018, Prusov et al. 2022). A kutatás során kifejlesztett technikák és módszertanok kiterjedtek a drónok és más légi távérzékelő eszközök által készített, nagy felbontású képek és videók elemzésére is (Colomina et al. 2014, Siebert et al. 2014, Congress et al. 2023). Ez magában foglalta az adatok 3D-s rekonstrukcióját, ami különösen hasznos volt a nehezen hozzáférhető területeken. Az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés alkalmazása így nem csupán a repülésbiztonság növeléséhez járult hozzá, hanem a repülőtéri tervezés és fejlesztés terén is értékes betekintést nyújtott, lehetővé téve az infrastruktúra optimalizálását és a potenciális fejlesztési területek azonosítását (Li et al. 2018).

Doktori értekezésem témája az ICAO (International Civil Aviation Organization) repülőtereken végzett, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés folyamata. A kutatás során a különböző adatgyűjtési és elemzési technikák összehangolása kulcsfontosságú

volt. Az eredményként létrejött akadály adatbázisok nem csak a repülőterek napi működését segítették, hanem alapul szolgáltak a jövőbeni biztonsági intézkedések és tervezési döntések megalapozásához is.

Az ICAO tagállamok valamennyi repülőterének nagyszámú előírásnak kell megfelelni. Például a fizikai berendezések megléte, a gurulótak és futópályák minősége és felfestése (ICAO Doc 9674 2002), vagy a repülőtér és körzetében lévő akadályok kezelése (Zhang et al. 2014, Ayeni et al. 2018, Falavigna et al. 2021). Akadály lehet fix vagy mobilis objektum is. Számos repülőtér mellett halad például főút vagy vasútvonal. A futópálya meghosszabbított középvezetékének körzetében közlekedő magas járművek ideiglenesen is, de akadályokat képezhetnek (EUROCONTROL eTOD manual 2015). A fix objektumok külön magyarázatot nem igényelnek. Ilyenek például: fák, épületek vagy a domborzat. Légi távérzékelés nélkül a jelenlegi követelményeknek nehéz megfelelni, hiszen több száz négyzetkilométernyi területet kell „átvizsgálni” és minden akadályt felmérni és nyilvántartani.

A disszertáció kutatási alapját a Debreceni Nemzetközi Repülőtér és Szegedi Repülőtér felmért állományai és az akadályok alapján készített adatbázisok képezték. A munka során a repülőterek referencia pontjait (ARP=Airport Reference Point) felhasználva, 10 km-es sugárban gyűjtöttük a légiforgalmi akadályok adatait, nemzetközi jogszabályoknak megfelelően. A repülések által generált pontfelhő és a kidolgozott sajátos módszer alkalmazása eredményezte a két térség összesen mintegy 6000 akadály adatbázisokba gyűjtését, amelyek a korábbi adatbázisokhoz hasonlítva nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltatottak a légiforgalmi irányító szolgálatok irányába. Számos olyan terep- és akadály adat gyűjtése történt meg, melyeket hagyományos terepi geodéziával – helyszíni tapasztalatainkra hagyatkozva – nem lehetett volna felmérni. Ily módon a közel 320 km<sup>2</sup>-es területek felmérése számos komplikációt eredményezne: például az objektumok takarása, a földfelszínről nem látható akadály csúcspontok és akadály együttesek bemérése (Forlani et al. 2013, Fricke et al. 2015, Wang et al. 2020). Az optimális megoldás a légi távérzékelés és az utólagos terepi geodéziai mérések együttes alkalmazása volt (Parrish et al. 2009, Pinelli et al. 2015, Hubbard et al. 2018).

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. ICAO Repülőterek funkcionális áttekintése

Az International Civil Aviation Organization (ICAO) egy ENSZ által szakosított intézmény, mely a nemzetközi polgári légiközlekedést hivatott szabályozni. Az ICAO fontos szerepet játszik a repülésbiztonság, hatékonyság és környezetvédelem területén. Fő célja a világ légiközlekedés biztonságának és hatékonyságának növelése (ICAO Doc 9774 2001, ICAO Doc 9157 2006, ICAO Annex 6 2018). A szervezet olyan nemzetközi szabványokat és előírásokat dolgoz ki, amelyeket a tagországoknak be kell tartaniuk a légiközlekedés területén. A repülésbiztonság terén az ICAO különféle nemzetközi szabványokat és ajánlásokat fogalmaz meg, beleértve a légiforgalmi irányítást, a repülőgépek karbantartását, valamint a repülőterek szakszerű üzemeltetését is. A szervezet rendszeresen felülvizsgálja és frissíti ezeket a szabványokat az iparág fejlődésének és a technológiai változásoknak megfelelően. A szervezet kezdeményezi és támogatja a légiközlekedési rendszerek fejlesztését, hogy optimalizálja a repülőjáratok útvonalait, csökkentse a környezeti hatásokat, és növelje a repülés gazdasági hatékonyságát.

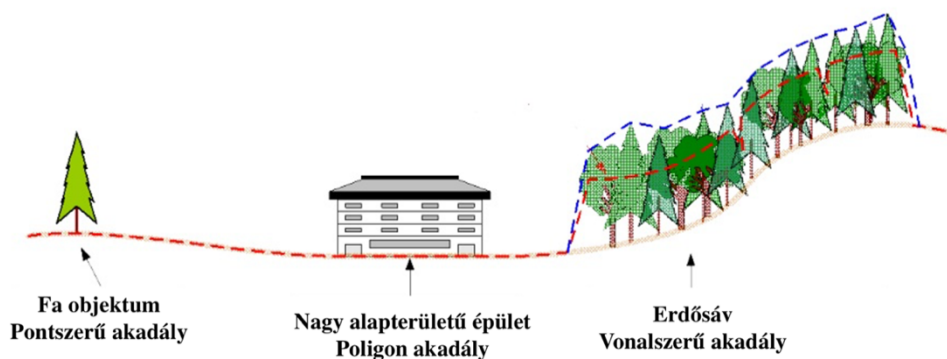
Az ICAO Annex dokumentumok a légiközlekedés nemzetközi szabályozásának alapját képezik. Az ICAO Annexek részletes előírásokat tartalmaznak a különböző légiközlekedési területeken, és azokat az egyes országoknak, tagállamoknak kell elfogadniuk és végrehajtaniuk a repülésbiztonság és a hatékony légiközlekedés érdekében. Az ICAO szerint a repülőterek napjainkban egyre fejlettebb infrastruktúrát igényelnek, és az ehhez hozzájáruló fejlesztésekhez a repülőterek környezetének feltérképezése ugyanolyan nélkülözhetetlen, mint a táj, az akadályok és a környezetben lévő, légiforgalomra potenciális veszélyforrások feltérképezése (Bakó et al. 2021). A biztonsági előírások betartásához elengedhetetlenek a pontos és részletes terep- és akadály adatbázisok megléte.

Az ICAO irányelveket, szabványokat és ajánlott gyakorlatokat (SARPs: Standards and Recommended Practices) határoz meg. Ezeket az irányelveket és ajánlásokat az ICAO tagállamai használják (ICAO Annex 19 2016). A szabványok kötelező feladatokat írnak elő a légiközlekedési szektor valamennyi résztvevőjének. Az ajánlott gyakorlat szintén a tagállamok egységes alkalmazásának követelménye; megvalósítható, de nem kötelező. Az ajánlott gyakorlatok (Recommended Practices) esetében az ICAO által, a tagállamok számára opcionális választási lehetőségeket

kínál fel, ezért a jogszabály alternatívákat, ajánlásokat és megjegyzéseket tartalmaz. A szabványok figyelembevételét az ICAO és más hatóságok is hangsúlyozzák, többek között az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés területén is.

A repülőterek számos elemet foglalnak magukban, mint például a futópályák, terminálok, légiforgalmi irányítóközpontok és földi kiszolgáló létesítmények, és mindezek együttesen alkotják a repülőterek alapstruktúráját. Kerítésen belüli területeik sok esetben több száz, vagy több ezer hektáros alapterülettel rendelkeznek, ahol számos olyan objektum képezhet akadályt, amit észlelni a nagy területek miatt igen nehézkes lehet. A repülőtér ICAO szerint is több területre van felosztva annak függvényében, hogy egy adott területen vagy terület fölött, milyen jellegű repülésbiztonsági tényezőkre szükséges nagyobb hangsúlyt fektetni.

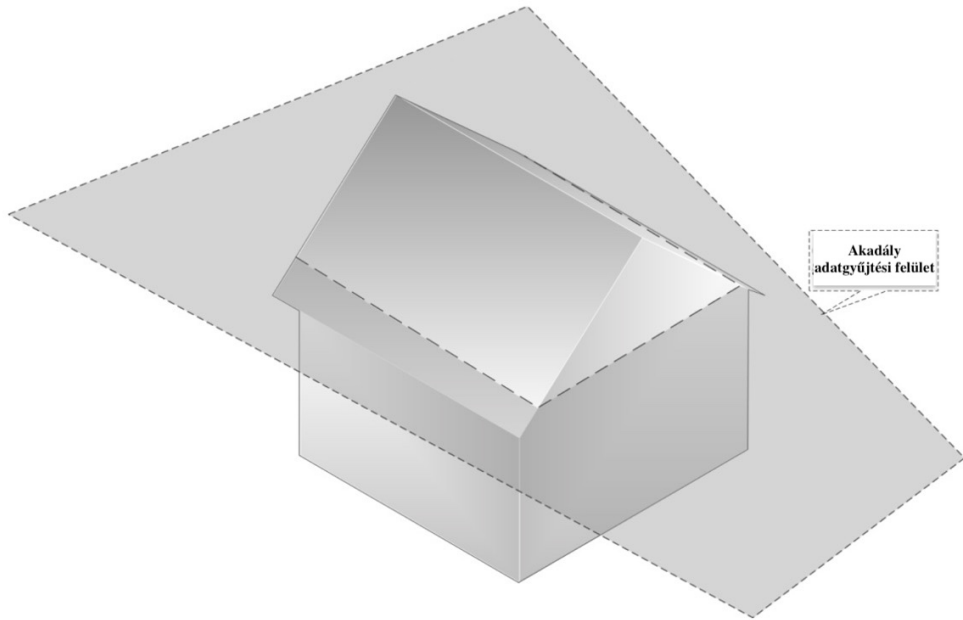
Repülőterek definiált körzetében az akadály adatalemek olyan jellemzők, amelyeket az adatkészletekben pontokkal, vonalakkal vagy poligonokkal kell ábrázolni (ICAO AFI eTOD 2011).



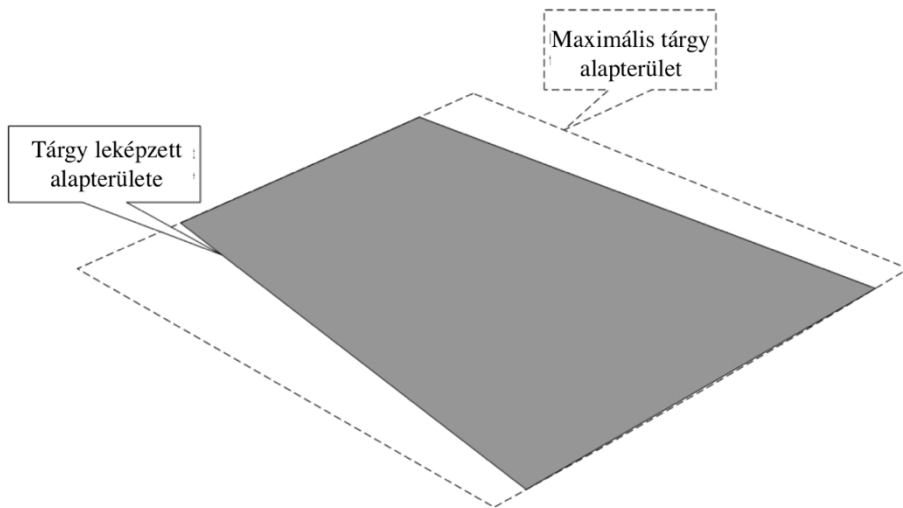
**2.1. ábra** Különbféle típusú és kiterjedésű akadályok pontként, poligonként és vonalként történő meghatározása (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)

Az akadály vízszintes kiterjedése tekintetében egy bizonyos küszöbértékig egy tárgy pontként, vonalként vagy poligonként ábrázolható (2.1. ábra). A definiáláshoz következő eljárást javasolja az EUROCONTROL:

Az akadály adatgyűjtési felületeket metsző tárgy alapterülete (2.2. ábra), valamint minimális határoló területe meghatározható (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015).



**2.2. ábra** Légiforgalmi akadály a kijelölt akadály adatgyűjtési felület metszésében (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)



**2.3. ábra** Akadály objektum felület alatti leképzett alapterülete (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)

Amennyiben az akadály leképzett alapterülete ismert (2.3. ábra), kiszámítható a minimális határoló alapterület és annak dimenziói. A következő esetek határozzák meg, hogy egy akadály pontként, vonalként vagy poligonként ábrázolandó:

- Pont ábrázolás: amennyiben sem a szélesség, sem a hosszúság értéke nem haladja meg a  $T_a$  küszöbértéket, abban az esetben az akadályt pontként szükséges ábrázolni (2.4. ábra).
- Vonal ábrázolás: hossza és szélessége közül, ha csak az egyik meghaladja a  $T_a$  küszöbértéket, akkor a tárgyat vonalként szükséges ábrázolni (2.5. ábra).
- Poligon ábrázolás: ha az alapterület hossza (H) és szélessége (Sz) meghaladja a  $T_a$  küszöbértéket, akkor az objektum poligonként ábrázolandó (2.6. ábra).

Küszöbérték definíciója:

$$T_a = 2 * P_H$$

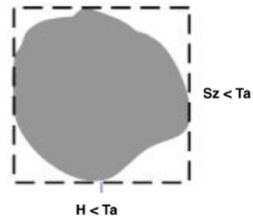
ahol

- $T_a$ : alapterület küszöbérték

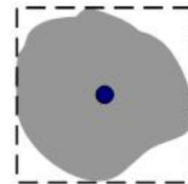
- $P_H$ : Horizontális pontosság az ICAO numerikus követelményei szerint (3-4. táblázat)



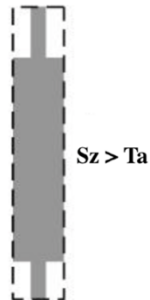
Alapterület határoló területe



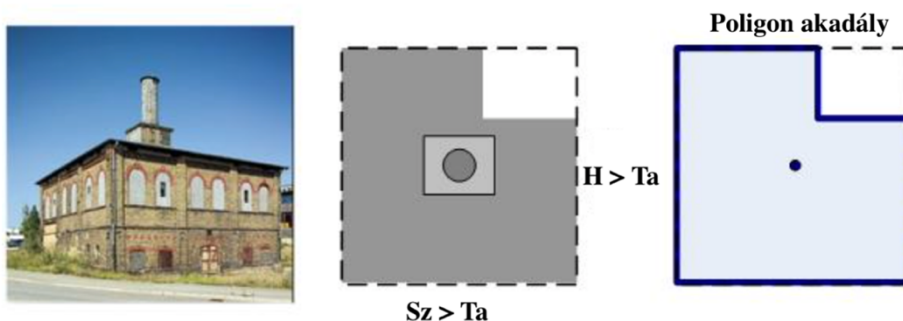
Pontszerű akadály



**2.4. ábra** Fa, mint pontszerű akadály az adatbázisokban (H: hosszúság és Sz: szélesség), (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)



**2.5. ábra** Nagyfeszültségű távvezetékoszlop, amely vonalszerű akadályt képez az adatbázisokban (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)



**2.6. ábra** Nagyobb kiterjedésű épület, amely poligonként definiálható (EUROCONTROL Terrain and Obstacle Data Manual 2015)

**1. táblázat** Akadály adatok ICAO által meghatározott horizontális pontosság követelményei (ICAO Annex 15 2018)

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Pontosság [m], ( $P_H$ )	50	5	0.5	2.5

Minimum dimenziók egy poligonként közölt akadálnál az Area 1-4 területeken, amelyek jellemzőit később fejtem ki a disszertációban:

- Area 1: 100 x 100 méter
- Area 2: 10 x 10 méter
- Area 3: 1 x 1 méter
- Area 4: 5 x 5 méter

A fentebb említett szabványok irányítják a futópályák, a terminálok, és a repülőgépek földi kiszolgálásának területén alkalmazandó legjobb gyakorlatokat, ezzel biztosítva a repülőterek megfelelő működését. Azok a szabályozások, amelyeket a szervezet kidolgoz és előír, segítenek minimalizálni a baleseti kockázatokat, és biztosítják a légitársaságok és utasok védelmét. A biztonsági intézkedések terén az ICAO

irányelveket fogalmaz meg a repülőterekre vonatkozóan, ide tartoznak a repülőterek körzetében található akadály objektumok (Wang et al. 2004).

A repülésbiztonság folyamatos kihívásokkal szembesül. A légitforgalom növekedése, különösen a forgalmas repülőtereken, további nyomást helyez a légitforgalmi irányítókra és a repülőtéri személyzetre. Az légiközlekedésre potenciálisan veszélyes akadályok sokféle formában megjelenhetnek, beleértve magas épületeket, rádió- és TV-tornyokat, hegyeket, erdőket, és más strukturális elemeket. Az ezekből eredő kockázatok minimalizálása érdekében elektronikus terep- és akadály adatgyűjtésre van szükség. Az egyik fő kihívás az épített környezet folyamatos változása, a városok fejlődése és az infrastruktúra bővülése. Magas épületek és antennák jelenthetnek veszélyt a légi járművek számára, különösen leszállás és felszállás közben (Lee et al. 2021).

A repülőterek tervezésekor és fejlesztésekor szükség van olyan intézkedésekre, amelyek az akadályokat minél távolabb tartják a futópályáktól, vagy magasságukat úgy befolyásolják, hogy ne jelentsenek légitforgalmi veszélyt (Gordon 2005, EUROCONTROL SAM 2006, Falavigna et al. 2020). A hegyvidéki területeken való repülés további kihívásokat jelent. A megfelelő magasságban történő navigálás és a hegyvidéki területeken található akadályok szigorú ellenőrzése kulcsfontosságú a biztonságos repüléshez. Az akadályok azonosításához és felméréséhez használható technológia folyamatosan fejlődik. Az automatizált repülési rendszerek, a drónokkal történő légi felmérések, valamint a nagy pontosságú légi távérzékelési eljárások mind hozzájárulnak a légitforgalmi akadályok hatékonyabb adatbázisba foglalásához (Petrovsky et al. 2018, Żebrowski 2023, Edelman et al. 2023). A valós idejű adatok és azok gyors továbbítása a repülőgépek és a légi irányítás között kritikus szerepet játszik a repülőgépek útvonalának szükség esetén történő biztonságos módosításában (Zeng et al. 2019). Az utóbbi évek fejlesztései és a technológiai innovációk lehetővé teszik, hogy az iparág hatékonyan kezelje és minimalizálja a légitforgalmi akadályokból származó kockázatokat (Barroso et al. 2014, Papadopoulos et al. 2021, Alonso et al. 2023). A folyamatos kutatás és az újítások révén a repülésbiztonság területén elért előrelépések továbbra is hozzájárulnak a légiközlekedés fenntartható (Bagdi et al. 2023) és biztonságos jövőjéhez.

## 2.2. A légi távérzékelés alkalmazása az akadály adatgyűjtés folyamatában

A felmért mintaterületek nagymértékű kiterjedése miatt, a kutatás során szükséges volt légi távérzékelési eljárásokat folytatni. A légifelvétel és a pontfelhő segítségével rendkívül részletes információkat lehetett szerezni a topográfiáról, az épületekről, a növényzetről és más fontos elemekről, mint például a légiforgalmi akadályokról. Ez az adathalmaz segít a repülőtér tervezési projekteknél, ökológiai kutatásokban és a repülőtéri infrastruktúra mindennapi menedzselésében (Uddin et al. 2011, Zhang et al. 2017, Liu et al. 2019). A légi távérzékelés és a kutatás során számos kritériumot kellett figyelembe venni annak érdekében, hogy a rendszer hatékonyan működjön és a kívánt eredményeket hozza az ICAO által támasztott numerikus követelményeknek megfelelően. A sikeres alkalmazáshoz, többek között az alábbi alap kritériumokat vettem figyelembe:

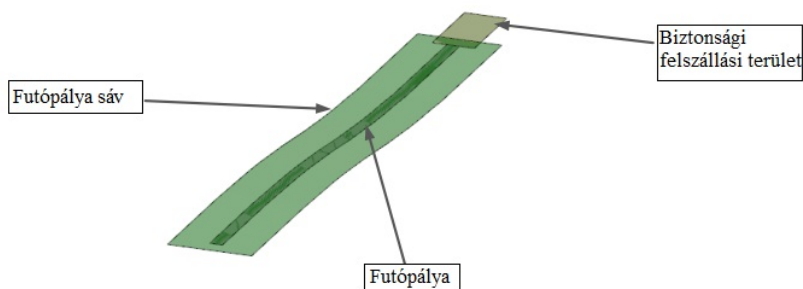
- Térbeli felbontás: A távérzékelés terület részletességének mértéke, a legkisebb megkülönböztethető felszín részlet. Minél magasabb a térbeli felbontás, annál részletesebben láthatóak az akadály objektumok.
- Temporális feloldás: Az időbeli felbontás jellemzi, hogy milyen gyakran szereznek adatokat ugyanarról a területről.
- Geometriai pontosság: A rögzített képek pontossága térbeli helyzet, méret és formátum szempontjából.
- Rendszer stabilitás: A távérzékelő rendszer stabilitása és reprodukálhatósága kulcsfontosságú tényező a kutatás során, mivel lehetővé teszi az eredmények megbízható összehasonlítását.

Háromdimenziós reprezentáció céljából a légi távérzékelés során létrehozott pontfelhő légi fotogrammetriai eljárásból adódott. Az általunk generált pontfelhők alkották azokat az adathalmazokat, amelyek később kiértékelésre kerültek és a definiált akadály adatgyűjtési felületek segítségével akadály objektumokat határoztunk meg belőlük. A kutatás alapvető célja mellett a pontfelhőket számos területen lehetett felhasználni repülőtéri üzemeltetésben úgy, mint futópálya és gurulóút tervezés és karbantartás, területhasználatok, gépjárműkövetések, környezeti felügyelet, épület infrastruktúra tervezés (Vadlamani et al. 2005, Wang et al. 2019, Ağaçsapan et al. 2019, Xiang et al. 2023).

### 2.3. A távérzékelési folyamatok és adathalmazok tulajdonságai

A légi távérzékelési folyamatok kulcsfontosságú elemei a légijárművek által hordozott szenzorok és mérőeszközök (Whitehead et al. 2013, Peasley et al. 2013, Chio et al. 2020, Kovanič et al. 2021, Qiao et al. 2016). Whitehead publikációjában alacsony költségű légi fotogrammetriai módszert mutat be, amelyet gleccserek mérésére alkalmaztak. Céljuk, hogy digitális felszínmodelleket és ortofotókat készítsenek, amelyek alapján követni lehet a jégfelszín változását. Módszerük két fő részből állt: drónos felmérés és helikopteres manuális fényképezés. A fedélzeti GPS (Global Positioning System) mellett használtak GCP (Ground Control Point) pontokat is a pontos illesztéshez. Qiao egy 2016-ban megjelent kutatás során a repülőtéri akadálykorlátozási felületeket vizsgálva, légi fotogrammetriát és műholdképeket alkalmazott repülőtéri akadály adatok felmérésére. Az általunk alkalmazott távérzékelési folyamatban alapvetően merevszárnyú repülőgépet alkalmaztunk. Fontos kiindulópont volt a repülések előtt az időjárási körülményeket megvizsgálni, azok milyen hatással lehetnek a légi fotogrammetria minőségére. Úgy mint, besugárzás mértéke, talajközeli páratartalom, felhőzet, hőmérséklet, por mennyisége, szél erőssége (Zhang et al, 2016, Cenni et al. 2021).

Repülési sorok lerepülésében jártas pilótával dolgoztunk, aminek következtében a tervezett időtartamokban tudtuk lerepülni a kijelölt, adott esetben több száz négyzetkilométeres területeket. Az ICAO által definiált elsődleges gyűjtési terület az Area 2 jelzésű, 10 km sugarú, nem egészen kör alapú terület, ami abból adódik, hogy a 10 km-es táv nem a repülőtér referencia pontjából indul ki, hanem a futópálya sáv széleitől (Runway Strip), ami egy téglalap alapú terület, amely közrefogja többek között a repülőtér futópályáját (2.7. ábra). Így a felmért Area 2-es terület valamivel több, mint 320 négyzetkilométer. Számos eTOD adatbázis létrehozása során ebbe a területbe beletartozik egy város, vagy annak része. A kutatás alapjául vett repülőterek esetében sem volt ez máshogy, mert legelső felmérésünk esetében Szeged, második kutatásunkban pedig Debrecen város teljes területét foglalta magába az akadály adatgyűjtési körzet.



**2.7. ábra** Repülőtéri futópálya és az azt körbevevő futópálya sáv (Runway Strip), valamint biztonsági felszállási terület szemléltetése (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

A felmérés eredményei azok az adathalmazok, amelyek tartalmazzák a légiforgalmi akadályokat. Azokat az objektumokat, amelyek valamilyen definiált akadály adatgyűjtési, korlátozási, vagy védelmi felületet – amelyeket a 3.3. alfejezetben mutatok be részletesebben - magasságukból adódóan metszenek. Ezek azok a repülőtér környezetében lévő tárgyak, amelyeket meg kell vizsgálni, hogy milyen mértékben veszélyesek a légiközlekedés számára. Továbbá el kell dönteni, hogy milyen további módokon kell azokat elemezni. Az akadály adatgyűjtési felületek (Obstacle Collection Surfaces, röviden: OCS) a legszigorúbb követelmények alapján határoznak meg akadályokat, az OCS szerinti adatbázisok pedig a legtöbb objektumot tartalmazzák. Későbbi kiértékelés szükséges az OLS (Obstacle Limitation Surfaces, röviden: OLS) felületek szerinti akadályok tekintetében (Kim et al. 2012, Chen et al. 2020). Ezek a síkok szigorúbbak, más kezdő magasságokkal, oldalkitérésekkel, végződési magasságokkal és felületszekciókkal rendelkeznek, így ebben az esetben, amikor egy akadály magassága meghaladja a felület magasságát, már egy potenciálisan veszélyt jelentő objektumról beszélünk. Így az OLS szerinti adatbázisok fokozott figyelmet és vizsgálatokat, kockázatelemzéseket vonnak maguk után a repülőterek, légiforgalmi irányító szolgálatok és légügyi hatóságok szakemberei számára. Korábbi nemzetközi kutatások gyakran műholdképeket és hagyományos terepi geodéziai méréseket alkalmaztak az akadálymeghatározási jelentésekhez. Kutatásom a költséghatékony légi fotogrammetria és terepi ellenőrző mérések párhuzamos alkalmazását mutatja be, egy olyan módszert, amellyel a detektált légiközlekedési akadályok száma jelentősen növekszik a korábban alkalmazott

módszerekhez hasonlítva az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés során (Contreras et al. 2020).

### 3. Anyag és módszer

#### 3.1. A mintaterületek bemutatása

##### 3.1.1. Debreceni Nemzetközi Repülőtér

A repülőtéri és légiforgalmi akadályok felméréséhez légi távérzékelési technológiákat alkalmaztunk, amelyek között szerepelt a spektrális kamerák használata, melyek részletes, háromdimenziós képet adtak a repülőtér és környezetének fizikai akadályairól. Ezek a modern geoinformatikai eszközök lehetővé tették az akadályok pontos helymeghatározását, magasságának mérését és azok térképen való ábrázolását. Az adatgyűjtési fázisban különös figyelmet fordítottunk a repülőtér környezetében lévő magas növényzet és épületek vizsgálatára, amelyek potenciálisan befolyásolhatják a légiforgalmat.

Az adatok feldolgozását követően a geoinformatikai szoftverek segítségével többféle elemzést végeztünk. Ezen elemzések egyike a területi analízis volt, amely során a repülőtér különböző zónáit vizsgáltuk akadályok szempontjából. Ezt adatvizualizációs technikák támogatták, amelyek segítségével képesek voltunk azonosítani azokat a kritikus területeket, ahol az akadályok magassága meghaladta a biztonsági limiteket. Ezenfelül, az akadályok hatásának modellezése is megtörtént, figyelembe véve azok fizikai és optikai tulajdonságait, például a fényvisszaverő képességüket, láthatóságukat és kiterjedésüket.

A projekt során külön hangsúlyt fektettünk a repülőtéri biztonsági protokollok vizsgálatára is. Az adatok alapján javaslatokat dolgoztunk ki a repülőtér üzemeltetői számára, amelyek a terep- és akadály adatok kezelésének javítására irányultak. Ezek a javaslatok tartalmaztak technikai útmutatásokat az akadályok megjelölésére, kockázat elemzésére és szükség esetén eltávolítására, valamint a navigációs és kommunikációs eszközök adatbázisainak frissítésére, amelyek a futópálya közelében helyezkedtek el. Az akadályok pontos térképezése lehetővé tette a repülőtér számára az adatszolgáltatás és validálás folyamatát. A kutatás eredményei hozzájárultak a repülésbiztonsági szabályozások pontosításához és a légiforgalom biztonságának növeléséhez. A vizsgált területen a légi távérzékelés és a geoinformatikai módszerek alkalmazása új sztemdeket állított fel a repülőtéri akadálykezelés terén.

Az ország keleti régiójában fekvő Debreceni Nemzetközi Repülőtér mintaterülete átlagon felüli készlettel rendelkező adatbázisokat szolgáltatott a kutatásban. A

légikikötő pandémia előtti időszakban elérte az éves 600 000 fő utast és rendelkezik olyan repülőtéri infrastruktúrával, amellyel akár több bázisgép kiszolgálását is lehetővé teszi. A beton futópályája 2500 méter hosszú és 40 méter széles, északi pályavéghez közel húzódik a repülőtér kerítése és a főút, így eltolt küszöb használatára van szükség. A korábban épült párhuzamos futópálya már a kutatás során sem volt használatos annak rossz felületi állapota miatt, később pedig a futópálya rekultiválására került sor. A repülőtér gurulótjai a forgalmi előtérre vezetik a repülőgépet, ahol megfelelő számú állóhely várja a parkolásra és kiszolgálásra szánt légitársaságokat. A repülőtér nemzetközi légit forgalmat bonyolít le és képes Boeing 737 vagy Airbus A320-as típusú és méretű repülőgépek fogadására is, amelyek fapados elrendezésnél akár 200 fő utast is szállíthatnak. A légikikötő utasterminálja az éves 5-600 000 fő utast megfelelően szolgálja ki a hozzá tartozó egyéb infrastruktúrákkal, úgy, mint például a parkoló vagy a check-in részleg. A repülőtér kerítésén belüli területe megközelítőleg 300 hektár, így a belső területeken a hagyományos terepi geodéziai műszerekkel való mérés több napos munkafeladatokat jelentett. A repülőtér ARP (Airport Reference Point) pontjából kiinduló Area 2-es terület 10 km-es sugara magába foglalta egész Debrecen városát. A táj nem rendelkezik kiemelkedő dombossággal, hegységgel, a kulturális táj pedig úgyszintén nem tartalmazott kiemelkedő magasságú épületeket, néhány kivételt leszámítva. Észak-nyugati irányban viszont a domborzat számunkra hátrányos módon emelkedett több tíz métert, ami azt eredményezte, hogy a kijelölt akadály adatgyűjtési és korlátozási felületeket jóval több akadály metszette, mint amire számítottunk. Így összességében egy több ezer akadályt tartalmazó akadály adatbázis keletkezett.

A szigorú numerikus követelményekkel rendelkező megközelítési felületek alatt ez a domborzati magasságkülönbség sok esetben szignifikánsan megnövelte a begyűjtendő és potenciálisan légiközlekedésre veszélyt jelentő akadályok számát. Ez azzal magyarázható, hogy a későbbiekben részletezett akadályfelületek kijelölés után már nem domborzat- és felszínkövetőek. Debrecen esetében, a futópálya közelében több magas fa is akadály objektumot jelentett, de a 10 kilométeres terület szélein is találtunk a felmérés során olyan akadályokat, amelyek metszették az ott már magasan húzódó felületeket. Ilyen akadályok voltak például a megjelöletlen, nem üzemelő, múlt században használatos gyárkéremények és egyéb épületek sarkai, nagyobb templomok csúcsai, adótoronyok. A vizuális vizsgálatok során a legtöbb magas akadály szabályszerűen volt megjelölve akadályvilágítással és/vagy felfestéssel, de relatíve nagy számban gyűjtöttünk adatokat olyan objektumokról, amelyek semmilyen szabványok által definiált megjelöléssel nem rendelkeztek. Összességében Debrecen

repülőtere és akadály adatbázisai szolgáltatták a legbővebb kutatási alapadatokat, és ezekből az adathalmazokból született a legtöbb tudományos cikk, előadás és vizsgálati anyag. Ezen a repülőtéren teljes volt az akadályfelületek spektrumának alkalmazása. A kutatás elején, az akadály begyűjtésre használatos akadály adatgyűjtési felületeket hoztuk létre, az üzemeltető kérésére kijelöltük és pontfelhő szűrés után létrehoztuk az akadálykorlátozási felületek szerinti adatbázisokat, valamint az akadályvédelmi felületek is megvizsgálásra és kijelölésre kerültek, bár utóbbi felületek a Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében sem szolgáltattak akadályokat, ugyanis a vizuális támogatást nyújtó PAPI (Precision Approach Path Indicator) optikai síklópálya jelzőfények felületei alatt szigorúan tilos akadályt képző tárgynak lennie.

### 3.1.2. Szegedi Repülőtér

Szeged repülőtérét 1915-ben adták át és mai napig egy aktívan működő légikikötőként üzemel, ahol többnyire sport és üzleti repüléseket bonyolítanak le. A repülőtér működési jellegéből adódóan a sport és üzleti repülések dominanciája miatt különösen fontos volt, hogy a repülőtéri műveletek zavartalanul, biztonságos körülmények között történhessenek. Ennek érdekében a felmérési adatokat felhasználva javaslatokat dolgoztunk ki a repülőtéri navigációs berendezések és fények optimalizálására. A javaslatok között szerepelt az akadályok megvilágításának javítása vagy éppen pótlása, valamint az objektumok megjelölése.

A légikikötő futópályája 1186 méter hosszú és 30 méter széles, felülete beton. Forgalmi előterét a futópályával, szintén egy beton felületű gurulóút köti össze. Szeged repülőtérének működési volumenét nem az érkező vagy induló utasok száma, hanem inkább a kisrepülőgépes műveletszámok határozzák meg, ami nagyban definiálja a működési jellegét. Számos tényező mellett, a repülőtéri infrastruktúra, futópálya, gurulóút és forgalmi előtér dimenziók jelenlegi állapota nem teszi lehetővé olyan légi járművek fogadását, mint ami a Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében lehetséges, például a korábban említett Boeing 737 vagy Airbus A320 típusokat. A repülőtér kerítésen belüli területe töredéke Debrecen légikikötőjének, bár ez a méret is részletes terepi geodéziai munkákat jelentett a belső területek akadály adatainak gyűjtése során. A repülőtér körzetében a domborzat többnyire sík terepet alkot, annak magasságai enyhe mértékben változtak ahogy távolodtunk a referencia ponttól. Szeged város építészete néhány magas épületet, víztornyot és kéményt leszámlítva

nem generált nagyszámú többlet akadályt az adatbázisokban. Ez összességében megközelítőleg huszad annyi akadályt jelent, mint Debrecen esetében. A kutatás szempontjából viszont Szeged Repülőtérét mértük fel elsőként, itt keletkeztek a legelső adatbázisok, itt kerültek kijelölésre a definiált felületek, itt generáltunk elsőnek pontfelhőt merevszárnyú repülőgépről. A felmérés során, a szükséges légtérengedélyek birtokában a légi távérzékelési folyamatokat indítottuk el, ezzel párhuzamosan végeztük a belső, majd később a külső területeken is a hagyományos terepi geodéziai ellenőrző méréseket. Ezenkívül a Szegedi Repülőtér belső területein végzett terepi geodéziai mérések is kiemelt figyelmet kaptak. Ezek a mérések különösen fontosak voltak az olyan területeken, ahol a légi távérzékelési adatainkat tovább kellett pontosítani.

A terepi mérések során a kutatócsoportunk különös hangsúlyt fektetett a repülőtér belső közlekedési útvonalainak és parkolóinak pontos leképezésére, ami hozzájárult a repülőtér napi működésének hatékonyabbá tételéhez. A repülőtér belső területén – hasonlóan a Debreceni Nemzetközi Repülőtér belső zónáihoz – vannak olyan eszközök, berendezések, amelyek méreteikből adódóan valamilyen kijelölt akadályfelületet metszenek, így bekerülnek az akadály adatbázisokba. Azonban ezen objektumokról már a telepítés és repülőtér tervezés folyamatában tudni lehetett, hogy tervezetten, de légiforgalmi akadályokat fognak képezni. Ilyen objektumok például navigációs berendezések, mint például az ILS (Instrument Landing System) leszállító rendszer antennái, irányító tornyon lévő antennák, navigációs fények. A felmérés során távolodva a repülőtéri referenciaponttól, figyelembe kellett venni, hogy bizonyos része a zónának, Szerbia területére esik. Ebből problémánk nem adódott, sem az engedélyezett repülések, sem pedig az akadályok bemérése tekintetében. Szegedi Repülőtér esetében könnyítő tényező volt, hogy a légikikötő belső területeire minden esetben gyorsan és egyszerűen bejutottunk előzetes üzemeltetői engedélyeket megkérve, folyamatosan kommunikálva a légiforgalmi tájékoztató szolgálattal, ami a helyi repülőtéri irányító toronyban végzi működését. Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében viszont hátráltató tényező volt, hogy mint nemzetközi repülőtér rendelkezik SRA (Security Restricted Area) belső szigorított biztonsági területtel, amelyre a belépést csak szigorú ruházati és felszerelési ellenőrzéssel lehetett végrehajtani. Így minden területen való munkavégzésnél szükséges volt ezen ellenőrzések végrehajtása az autók átvizsgálása mellett. Mindkét repülőtér esetében, amikor valamilyen légitávjármű leszállást, felszállást, vagy csak éppen gurulást hajtott végre, a toronyban lévő légitájékoztató szolgálatban dolgozó szakember ezt tudomásunkra hozta szabályozott rádiókommunikáción keresztül, így erre rendkívül

nagy figyelmet kellett fordítanunk, a Repülőtérrend és repülőtéri szabályok betartása mellett, a mindenkori repülésbiztonság meglétének érdekében, így probléma ebből nem adódott egyszer sem.

A Szegedi Repülőtér esetében végzett adatgyűjtés és az ebből származó elemzések további betekintést nyújtottak a repülőtéri akadályok kezelésének és a repülésbiztonság infrastruktúra fejlesztésének lehetőségeibe. Az adatgyűjtés során különös figyelmet fordítottunk a repülőtér körülvéő területek részletes vizsgálatára. Ennek eredményeként több olyan kritikus terület is azonosításra került, ahol a korábbi felmérésekkel összehasonlítva jelentős változásokat tapasztaltunk. Ezen adatok alapján a repülőtér vezetése döntéseket hozhatott az infrastrukturális fejlesztések, a repülésbiztonsági intézkedések megerősítése és a potenciális baleseti kockázatok csökkentése érdekében. A repülőtér kerítése mögötti területeken végzett felmérések során több új akadály is azonosításra került, amelyek korábban nem voltak nyilvántartva. Ilyenek voltak például magas fák, távközlési antennák és egyéb építmények, amelyek bizonyos időjárási körülmények között nem láthatóak, így potenciális veszélyforrást jelentettek. A légi távérzékelésnek köszönhetően ezek az objektumok is bekerültek az akadály adatbázisba, így a pilóták és a légiforgalmi irányító szolgálatok pontosabb képet kaphattak a repülőtér környezetéről.

## 3.2. Területfelosztások ICAO szerint

### 3.2.1. Area 1 terület

Az ICAO feladata, többek között, hogy átfogó módon olyan szabványokkal és ajánlásokkal lássa el a repülőtereket, amelyek a mindennapi optimális működés elérésében segítenek. Az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés folyamatát is definiálja az ICAO egyes Annex kiadványaiban, főleg az Annex 15-ben. A repülőtér referencia pontjából kiindulva definiált távolságokban megfelelő területek, vagyis Area-k vannak meghatározva (ICAO Annex 15 2018). Jelen szekcióban az Area 1 területet vizsgálom meg részletesebben. Az Area 1 a tagállam egész területén vett gyűjtési terület. Az állam teljes területén a légiforgalmat, valamint léginavigációt érintő akadályokat azonosítani kell, mégpedig azon kikötés mellett, hogy az az objektum, amelynek a talaj feletti relatív magassága legalább 100 méter, az Area 1 terület akadályának minősül. Az adatbázisba rendezett akadályelemeket ennek megfelelően azonosítani kell és egyes jelölésekkel el kell látni.

Az objektumok típusa igen fontos metaadat, ahol jelöljük azt, hogy az akadály esetében milyen alaptípusra kell gondolni, ezt később fogom kifejteni részletesebben disszertációmban. Az akadály pozícióját koordinátákkal írjuk le, ahol nagy pontosságú VITEL transzformációs számításokra és konvertálásokra van szükség. Ennek oka, hogy a magyarországi felmérések során EOVS (Egységes Országos Vetületi rendszer) koordináta rendszerben dolgozunk, azonban az ICAO WGS-84 rendszerben kívánja az adatokat feldolgozni (ICAO Doc 9674 2002), valamint a végső publikációs formátum is a WGS-84 EAD (European AIS Database, ahol AIS: Aeronautical Information Service) formátum. Az adatgyűjtési folyamatban fontos volt megfigyelni az egyes akadályok színét, esetleg megvilágítását és mindezeket feljegyezve kellett tárolni a későbbi láthatósági vizsgálatok sikeres kiértékelése érdekében.

A repülési adatok közzétételi és integritási osztályozási előírásainak megfelelően, a hosszúsági és szélességi adatok felbontása az Area 1 területen belül értelmezett akadályok esetében 1 ívmásodperc, míg a magassági értékek tekintetében, 1 méter vagy 1 láb (mindkettő megengedett) a rutin integritási osztályozások alkalmazása mellett.

### 3.2.2. Area 2 terület

Az Area 2 terület a repülőtér 10 kilométeres körzetében található zóna, ami több különböző méretű területre van felosztva (3.1. ábra). Az egyes területek elválasztása nem random jellegű, hanem a repülésbiztonság és a légiközlekedési jellemzők figyelembevételével történik. A kialakított terület egységek a következő felosztást követik:

Area 2a:

A futópálya körüli téglalap alapú terület, ami magában foglalja a futópályát és annak közvetlen környezetét, a futópálya-sávot, és ha van, akkor a biztonsági felszállási/megállási területeket is. Ebben a területben található számos navigációs eszköz, úgy, mint a földfelszín fölé nyúló futópálya szegélyfények, tábla jelölések, precíziós lámpák. A futópálya méretétől és kódjától függően, néhány kivételtől eltekintve, a futópálya hosszát a középvonalon meghosszabbítva mindkét végén 60-60 méterrel, valamint a futópálya középvonalától oldalirányban 150-150 méterre kinyúló területről beszélünk (ICAO Annex 15 2018). Ez egy szabad szemmel is jól ellenőrizhető terület az akadályok azonosításának szempontjából. Ebben a zónában

kritikus veszélyt jelentő objektumokra nem kell számítani, mégis a felmérés egyik legszigorúbban ellenőrzött területéről van szó, hiszen a légi járművek ebben a sávban igen aktívan vesznek részt a közlekedésben.

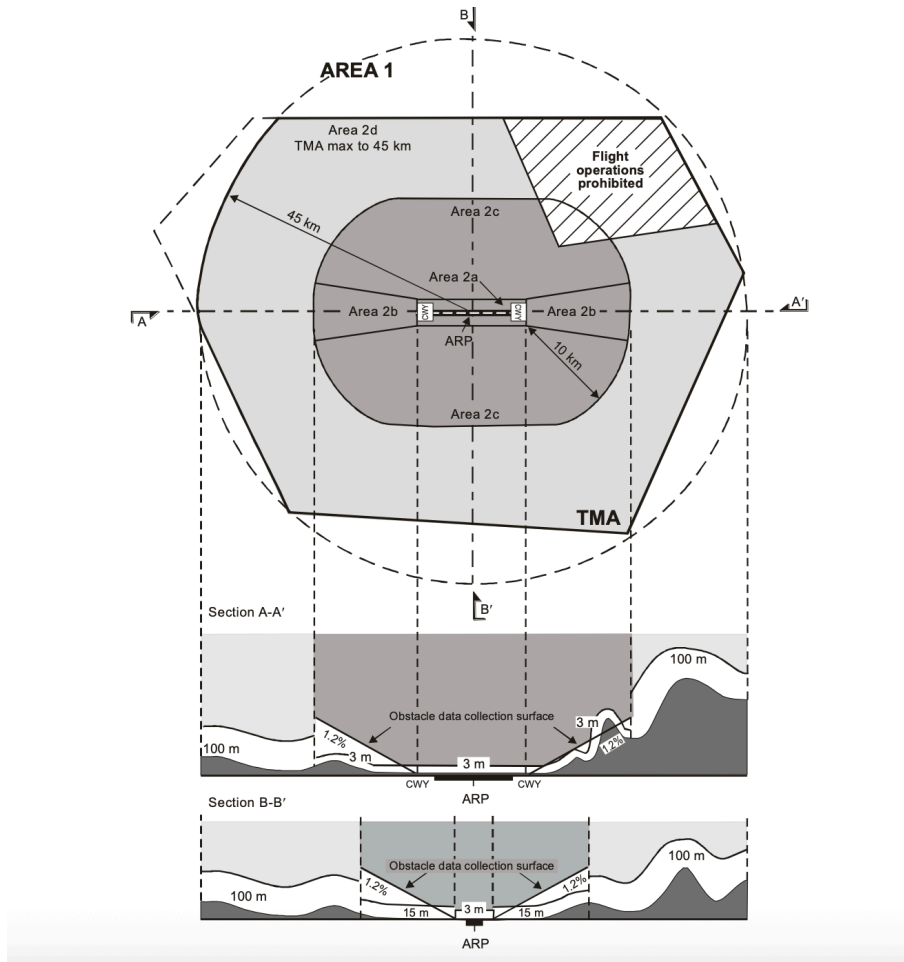
#### Area 2b:

A definiált területek közül talán a legkritikusabb zónák az Area 2b területek, hiszen a megközelítési és felszállási folyamatok zajlanak ezen területek fölött. Az Area 2a körzet végeiből induló területegységek egészen a 10 kilométeres körzethatárig érnek ki, valamint oldalirányban 15%-os kiszélesedéssel rendelkeznek. ICAO ajánlás szerint ezeken a területeken elhelyezkedő akadályokat nem szükséges begyűjteni, amennyiben azok magassága nem éri el a 3 métert. Ez az a terület, amelynek kezdő éle a futópálya küszöb magasságától indul, valamint attól - repülőtér specifikusan - néhány 10 méterre helyezkedik el. A repülőtér területén belül az üzemeltető fokozott figyelmet fordít arra, hogy ne legyenek akadályok az Area 2b területeken.

Tapasztalatom, hogy az Area 2b akadály adatgyűjtési felülete, ahol alacsony magasságban helyezkedik el, ott valóban közel nulla objektum figyelhető meg az üzemeltető hatáskörében. A felület viszont minden esetben a repülőtér kerítésén kívüli területeire is kiterjed és sok esetben a felület magassága még mindig alacsony. Kutatásom során megállapítottam, hogy a repülőtér üzemi területein kívül viszonylag sok akadály figyelhető meg a megközelítések irányában. Ezekben a területeken legtöbb detektált akadály fa és villanyoszlop volt és több esetben is főút húzódott a kerítés mentén. Ahogy távolodik a felület a küszöb ponttól, úgy emelkedik annak magassága és így jóval kevesebb akadály figyelhető meg, mint például magasabb kémények.

#### Area 2c:

A 10 kilométeres körzethatárig kinyúló, további területeket a futópályára merőleges, oldalirányban elterülő Area 2c területek teszik ki. Azaz, az Area 2a és Area 2b területeken kívül, az Area 2a terület határától legfeljebb 10 km távolságra kiterjedő területrészek. A kutatási területek nagy részét az igen nagy méretű Area 2c területek jelentették. Kevésbé szigorú előírások és numerikus követelmények vonatkoznak a területen azonosítandó akadályokra, így az ICAO ajánlása szerint, a 15 méternél alacsonyabb akadályokat ebben az esetben sem kötelező begyűjteni és az akadály adatbázisokba integrálni. Néhány kivételes esetben az akadály magassága ugyan nem éri el ezen könnyítési magasságokat, mégis indokolt lehet az objektumok adatbázisba rendezése, ami a különleges típusával, kiterjedésével, vagy valamilyen módon megállapított magas légiközlekedési kockázati tényezőjével magyarázható.



**3.1. ábra** Területi felosztások az ICAO meghatározásában. Futópálya körüli területek, úgy, mint Area 2a, Area 2b, Area 2c és Area 2d (ICAO Annex 15 2018)

Area 2d:

Az Area 2a, 2b és 2c zónákon kívüli terület, amely a repülőtér ARP (Airport Reference Point) referenciapontjától kiindulva, maximum a 45 km-es körzethatárig vagy egy meglévő TMA (Terminal Manoeuvring Area) határig húzódik.

### 3.2.3. Area 3 és 4 Terület

#### Area 3 Terület:

Ez a terület a repülőtéri mozgási terület, angolul az Airport Movement Area, amely a repülőtérnek a légi járművek fel és leszállására, valamint gurulására használatos része, amely a munkaterületet és a forgalmi előteret foglalja magába. Ez annyit jelent, hogy ahol a légi járművek gurulhatnak, mozoghatnak ott az akadályok folyamatos vizsgálata szükséges a légikikötő mindennapi működésének biztosításához.

#### Area 4 Terület:

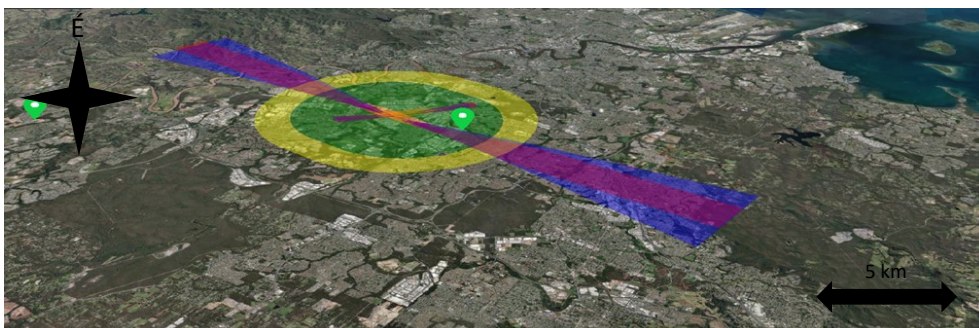
A futópálya végénél elhelyezkedő terület, amely a küszöbtől indul és 900 méteres hosszúságban húzódik, valamint szélessége mindkét irányban 60-60 méter a meghosszabbított futópálya központonál kiindulva. A repülőtéri kategóriákból kiindulva, csupán a Debreceni Nemzetközi Repülőtéren volt szükséges elvégezni ezen terület megvizsgálását, ami azért indokolt, mert ez az a zóna, ahol a repülőgépek rádiós magasságmérőjét zavarhatják kimagasló tereptárgyak.

## 3.3. Akadályobjektumokat definiáló felületek

### 3.3.1. Akadály adatgyűjtési felületek

Minden korábban meghatározott területhez tartozik egy vagy több specifikus felület vagy angolul surface, amelynek célja, hogy definiálja, hogy egy adott objektum légiforgalmi akadályt képez-e vagy sem. Amennyiben az adott tárgy magasságából adódóan valamilyen kijelölt akadályfelületet átmetsz, abban az esetben akadályról beszélünk, amelynek adatbázisba foglalása és későbbi megvizsgálása kötelező érvényű. Alapjában véve, a három legszignifikánsabb akadályfelület típust mutatom be a disszertációmban: akadály adatgyűjtési felületek, akadálykorlátozási felületek és akadályvédelmi felületek. Ebben a szekcióban az akadály adatgyűjtési vagy angolul az Obstacle Collection Surfaces-t mutatom be. A kutatás kezdeti fázisában ezeket a síkokat kellett alkalmaznunk és a pontfelhőbe szerkeszteniük hibátlanul és a legnagyobb pontossággal. Bármilyen hiba olyan nem észlelt objektumot eredményezhet, amely magas kockázatot jelent a légi járművek biztonságos

közlekedése számára. Ez a légi közlekedésben nem megengedett repülésbiztonságot veszélyeztető tényező lenne.



**3.2. ábra** Kijelölt akadálykorlátozási felületek. Jól láthatóak a padlizsán színnel jelölt megközelítési felületek a futópálya mindkét végén (alaptérkép: Google Maps)

Area 2a gyűjtési felület:

Az Area 2a téglalap alapú területet, azaz a futópálya sávot és az esetlegesen kijelölt biztonsági megállási és felszállási területet magába foglaló meghatározott terület fölött elhelyezkedő vízszintes felület, melynek magassága 3m az alacsonyabb küszöb, közép vonal magasságától mérve. Az Area 2a terület részeként említett biztonsági felszállási terület (Clearway) a föld, vagy vízfelszín felett meghatározott, az illetékes hatóság ellenőrzése alatt álló szögletes terület, amelyet úgy választottak, vagy képezték ki, hogy alkalmas legyen arra, hogy felette egy repülőgép kezdeti meghatározott magasságig tartó emelkedésének egy szakaszát végrehajthassa (ICAO Annex 14 2018). Egy repülőtér életében az Area 2a felület alatt helyezkedik el sok olyan objektum és repülőtéri berendezés, ami tervezetten megjelöléssel, esetleg törőnyakas kivitelezéssel készült, annak érdekében, ha egy légi jármű hozzáérne mozgásából adódóan, akkor a törőnyak a tervezett helyen eltörjön és lehetőleg ne befolyásolja nagy mértékben a repülőgép helyzetét. Ilyen berendezések lehetnek például a látás utáni megközelítési sikló pálya jelző rendszerek, futópálya szegélyfények, a pilótát útba igazító táblák és navigációs berendezések. Több rendelkezik sárga megfestéssel, hogy jól látható legyen, valamint vannak magasabb berendezések, amelyeknek festése vízszintes piros-fehér festésű és adott esetben konstans piros fényű akadályvilágítással is rendelkezik. Megfelelő előírásokat betartva az Area 2a területen is lehet berendezéseket létrehozni, például a futópálya mellett meghatározott távolságban meteorológiai állomást, ahol viszonylag magas antennák és eszközök működnek, amelyek a 3 méteres magasságban vízszintesen

elhelyezkedő akadály adatgyűjtési felületek metszik. A terület kiterjedése nem nagy egy repülőtér belső területéhez képest, mégis nagy pontossággal szükséges begyűjteni az akadályokat, mert a légi járművek igen közel helyezkednek el ezekhez a berendezésekhez.

Area 2b felületek:

A korábban definiált Area 2b területek akadályfelületei az Area 2a terület széleitől és a futópálya vég magasságától indulnak egészen a 10 km-es körzethatárig, mindkét szélén 15%-os oldalkiterjedéssel. A felületek 1,2%-lejtéssel rendelkeznek. Két darab felületet különböztetünk meg a futópálya sáv két végére illesztve. A 10 km-es határnál a felületek magassága már eléri a 120 métert. Kutatásom eredményeként, viszonylag sok akadály adatot gyűjtöttünk ezen felületek szerint a megközelítési zónákban. Az ICAO ez esetben igencsak szigorú numerikus követelményeket támasztott, annak érdekében, hogy jól látható legyen az akadályok helyzete azon területek fölött, ahol a légi járművek rendszeresen süllyednek vagy éppen emelkednek. Szegedi és Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében is számos objektumot észleltünk, amit később terepi geodéziai mérésekkel is validáltunk, annak ellenére, hogy az ICAO lehetővé tette, hogy a területen a 3 méternél alacsonyabb akadályokat nem szükséges begyűjteni.

Area 2c felületek:

A 10 km-es körzethatárban értelmezett, az Area 2a és Area 2b területeken kívüli részek az Area 2c területek. Ezen felületek az Area 2a és Area 2b széleitől indulnak és a 10 km-es határig húzódnak. A felületek ebben az esetben is 1,2%-os lejtéssel rendelkeznek. A felületek kezdő magasságai az Area 2a terület magasságaival egyeznek meg. A gyűjtési folyamatokat könnyítve, a szervezet előírása szerint a 15 méter alatti akadályokat nem szükséges begyűjteni. Ez a jelentős engedmény azzal magyarázható, hogy normál esetben ezen területek fölött légi járművek csak nagyobb magasságban repülnek.

Area 2d definiált terület és felülete:

Ezen terület kívül esik az Area 2a, 2b és 2c területeken és a repülőtéri referencia pontból kiindulva számított 45 km-es határig terjed vagy egy kijelölt TMA körzet határáig, alkalmazva azt, amelyik közelebb helyezkedik el. Nem irányított légterek alatt elhelyezkedő repülőterek esetében az Area 2d terület a 45 kilométeres határig értelmezett zóna. Az Area 2d akadály adatgyűjtő felület 100 méteres magasságban a talaj felett helyezkedik el, ami ebben az esetben azt eredményezi, hogy a területen 100

méteres magasságot el nem érő akadály objektumokat nem szükséges begyűjteni. Ezen numerikus követelmények szerint definiált akadályok jelenléte nem gyakori, főleg magyarországi viszonylatban, ezért megfigyelhető, hogy korábbi adatbázisok is nagyon pontossággal tartalmazzák ezen akadályokat. Ez nagy mértékben segítette a kutatásunk folyamatát mindkét repülőtér esetében.

Area 3 felület:

A korábban bemutatott mozgási terület fölött elhelyezkedő vízszintes felület, amely fél méteres magasságban helyezkedik el, a futópálya középvonalától oldalsó irányban 90 méteres, gurulóutak és forgalmi előterek széleitől számított 50 méteres szélességben. A fél méteres gyűjtési magasság igencsak szigorú, ugyanakkor könnyen megérthető, mert ezen területek fölött a légi és egyéb járművek közlekedése folyamatos.

Area 4 felület:

Az Area 4 terület lényegében az Area 2b területbe van integrálva és az Area 2b felület teljesen lefedi. Ugyanakkor ez az a terület, ahol az Area 2b akadály adatgyűjtési felületek 1,2 %-os lejtéséből adódóan, lehetnek olyan tárgyak, amelyek zavarhatják a repülőgépek rádiós RADALT (Radio Altimeter) magasságmérő műszerét.

Egy példával szemléltetve, az Area 2b felület 900 méteres távolságában a felület az 1,2%-os emelkedés miatt már 10,8 méteres magasságig terjeszkedik, így egy 10 méter magas objektum már nem fog akadályt képezni és adatbázisban sem fog megjelenni. A problémát az okozhatja, hogy a légi járművön elhelyezett rádiós magasságmérő műszert ez a 10 méter magas objektum már szignifikáns mértékben zavarhatja. Így használatos előírás, hogy az Area 4 területen elhelyezkedő, 3 méternél magasabb tárgyakat akadály adatbázisba szükséges gyűjteni.

### 3.3.2. Akadálykorlátozási felületek

Az akadály adatgyűjtési felületek fontosságát és követelményeit követve, jelen fejezetben mutatom be az akadálykorlátozási felületeket (3.2. ábra). A korlátozási felületek a begyűjtött akadály adatbázisokon alapulnak és numerikus követelményeikkel és repülőtéri kijelölésükkel tovább szűrik azt, hiszen a

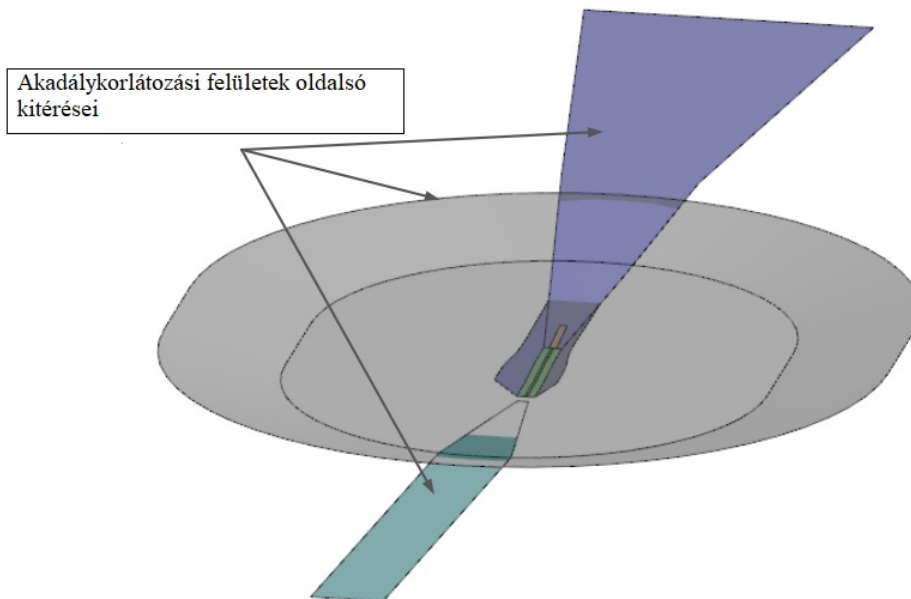
legszigorúbb követelmények szerint az akadály adatgyűjtési felületek szerinti adatbázisok már tartalmazzák a begyűjtött akadályok adatait (Kim et al. 2016).



**3.3. ábra** Debreceni Nemzetközi Repülőtér szerkesztett akadálykorlátozási felületei, ahol különböző színek mutatják a megközelítési felületek egyes szekcióit (alaptérkép: Google Maps)

Az akadálykorlátozási felületek magasabban helyezkednek el, így az az objektum, amely metsz egy vagy több ilyen felületet, már csak potenciálisan veszélyes akadálnak minősülhet és további elemzéseket tehet szükségessé.

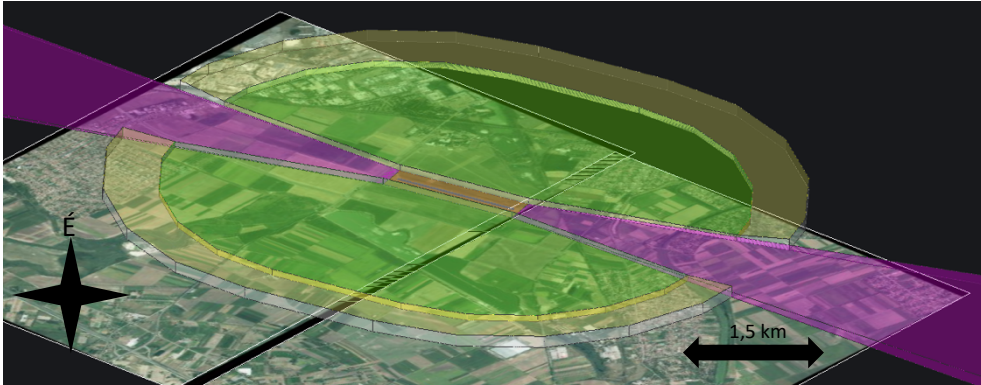
Az akadálykorlátozási felületek kijelölése repülőtér specifikus, ami annyit tesz, hogy különböző futópálya kóddal rendelkező repülőtérnek, különböző akadálykorlátozási felületeket kell kijelölni és adatbázist létrehoznia, fenntartania (Kitsakis et al. 2016). Az alábbiakban néhány - kutatásom részét képező - Szegedi és Debreceni Nemzetközi Repülőtéri felületet mutatok be, habár csupán a Debreceni Nemzetközi Repülőtér akadálykorlátozási felületek szerinti adatbázisai lettek létrehozva és publikálva. (3.3. ábra).



**3.4. ábra** OLS akadálykorlátozási felületek valamennyi síkja: több szekció megközelítési, kúpos, belső vízszintes, belső átmeneti felületek a repülőtér futópályája körül (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

Megközelítési felület (Approach Surface):

A futópálya küszöbtől induló ferde síkfelület vagy felületek összessége. A felület jellege hasonló az Area 2b gyűjtési felületekhez, de más numerikus jellemzőkkel rendelkezik. Magasabb futópálya kóddal rendelkező repülőterek megközelítési felületei 3 szekcióból is állhatnak, Szegedi Repülőtéren csupán az első szekciót kellett alkalmazni, amely az Area 2a terület végétől indul, 80 méteres kezdő szélességgel 10-10%-os oldalkitérésekkel (3.4. ábra). A felületet 2500 méterig szerkesztettük, 4%-os lejtéssel (3.5. ábra). A számokból jól látható, hogy a felület valóban az Area 2b sík fölött helyezkedik el részben. Amennyiben szükséges lenne a második és harmadik szekciót is beszerkeszteni abban az esetben különböző lejtéseket kellene alkalmazni. A felület fontosságát jól mutatja neve is, miszerint ezen felületek környezetében zajlanak a légi járművek megközelítései, ami magasság csökkentésével jár, így fokozott eljárást kell alkalmazni a vonatkozó légiforgalmi akadályok tekintetében (ICAO Annex 14 2018).



**3.5. ábra** Szegedi Repülőtér akadály adatgyűjtési és néhány akadálykorlátozási felületeinek kijelölt állapota (lila szín: megközelítési felületek, zöld szín: belső vízszintes felület, sárga: kúpos felület, alaptérkép: Google Maps)

Belső vízszintes felület (Inner Horizontal Surface):

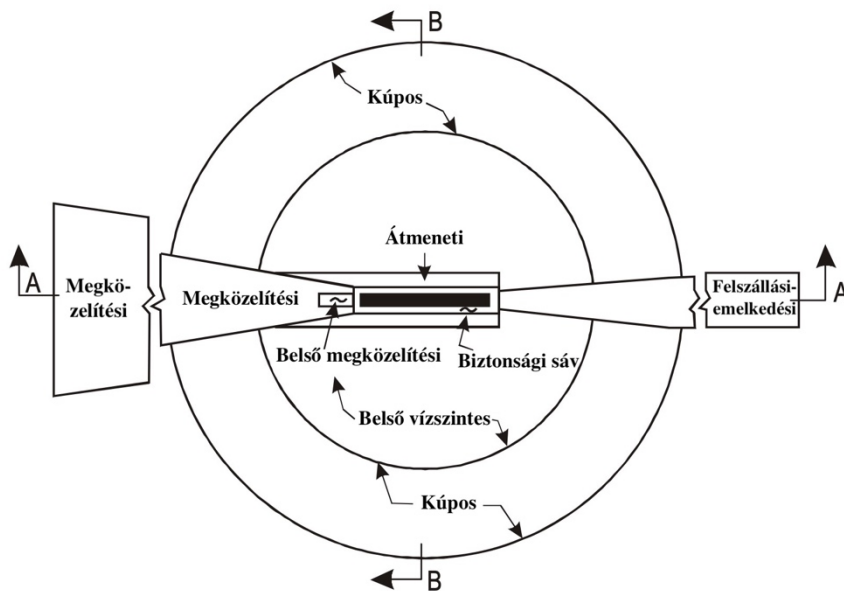
A belső vízszintes felület a repülőtér és környéke felett kijelölt vízszintes sík. Sugarát vagy külső határait a futópálya küszöbektől, magasságát az alacsonyabban elhelyezkedő küszöb felett, előírásoknak megfelelően kell meghatározni. Esetünkben a magassága 45 méter, sugara 2500 méter. A belső vízszintes felület esszenciális ahhoz, hogy a repülőtér körzetében 45 méternél magasabb, jelentős kiterjedésű akadályok adatbázisba kerüljenek.

Kúpos felület (Conical Surface):

A belső vízszintes felület (Inner Horizontal surface) külső szélétől 5%-os meredekséggel felfelé és kifelé terjedő felület, amelynek alsó éle egybeesik a belső vízszintes felület szélével, felső éle pedig a belső vízszintes felület fölött 55 méteres magasságban helyezkedik el, tehát 100 méteres magasságban lesz a felső él. A felület lejtviszonya 5%, magassága 55 méter.

Átmeneti felületek (Transitional Surfaces):

A futópálya sáv (runway strip) és a megközelítési felület oldalának egy része mentén húzódó, a belső vízszintes felületig felfelé és kifelé terjedő felület. A futópálya sáv (runway strip) mentén megegyezik a futópálya középvonal vagy annak meghosszabbítása legközelebbi pontjának magasságával. Az átmeneti felület 20%-os lejtését a futópálya középvonalára merőleges függőleges síkban szükséges mérni (ICAO Annex 14 2018).



**3.6. ábra** Akadálykorlátozási felületek ICAO szerinti felülnézeti rajza (ICAO Annex 14 2018)

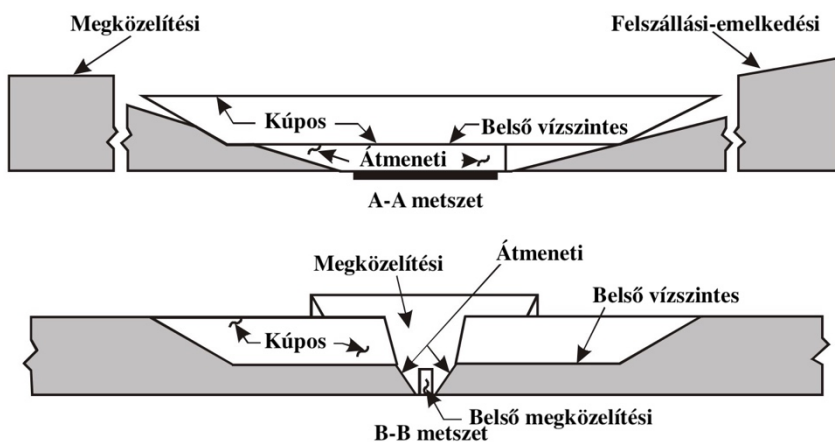
Felszállási emelkedési felület (Take-off Climb Surface):

A futópálya után elhelyezkedő lejtős felület, amelyet a következő határvonalak határoznak meg:

- a) a futópálya vége után, 60m távolságra lévő, a futópálya középvonalára merőleges, 2500m hosszúságú vízszintes belső él,
- b) a belső él végeinél kezdődő, a felszállási repülési útvonal mentén a vízszintes síktól 10%-os szögben, 580m-es szélességig egységesen eltartó, majd ez után az adott szélességben, párhuzamosan, a felszállási emelkedési felület teljes hosszában kifelé tartó oldalsó élek,
- c) a felszállási nyomvonalra merőleges, vízszintes külső él.

Egyenes felszállási repülési útvonal esetében a felszállási emelkedési felület 4%-os lejtését a futópálya középvonalát magában foglaló függőleges síkban kell mérni. Amennyiben a felszállási repülési útvonal fordulót is tartalmaz, a felszállási emelkedési felület egy összetett felület lesz, amely a középvonal mentén, arra

merőlegesen elhelyezkedő vízszintes síkokból áll (3.6. ábra, 3.7. ábra). A középvonal lejtését az egyenes felszállási repülési útvonalhoz hasonlóan kell meghatározni (ICAO Annex 14 2018).



**3.7. ábra** Akadálykorlátozási felületek ICAO szerinti oldalnézeti rajza (ICAO Annex 14 2018)

### 3.3.3. Akadályvédelmi felület

Optikai megközelítési siklópálya jelző rendszer telepítése esetén szükséges akadályvédelmi felületeket kijelölni a repülőtéren. Új vagy meglévő tárgyak nem nyúlhatnak az akadályvédelmi felület fölé, kivéve abban az esetben, ha hatósági engedéllyel megállapításra kerül, hogy az adott tárgy egy másik már meglévő, nem mozdítható objektum takarásában helyezkedik el. A felület fölé elhelyezkedő akadályokat légiforgalmi vizsgálat után, lehetőség szerint el kell távolítani. A két vizsgált repülőtér esetében ezt a felületet nem metszette semmilyen tárgy, így nem keletkezett akadályvédelmi felület szerinti adatbázis.

### 3.4. Felhasznált, korábban érvényben lévő akadály adatbázisok

A Debreceni Nemzetközi Repülőtéren a kutatást 2018-ban végeztük és a több ezer akadály adat begyűjtése közel 5 hónapot vett igénybe. A korábbi adatbázisokból nagyon kevés akadály állt rendelkezésre. Az előző felmérések technológiájáról ismeretünk nem volt, csupán azt láttuk, hogy az akadályok száma nagyságrendekkel kisebb, mint az általunk generált adatbázisokban, akár akadály adatgyűjtési, akár akadálykorlátozási felületekről beszélünk.

A Debreceni Repülőtér is több részterületre oszlik. A terület felosztását a repülőtér futópályája határozza meg. A megközelítés irányában, azaz a futópálya középvonalának meghosszabbításában lévő térszögekben az akadályok osztályozása szigorúbb magassági követelményeken alapul, mivel a repülőgépek rendszeresen repülnek át ezen területek fölött. A futópálya középvonalára merőleges, azaz oldalirányú területek más kritériumok alapján történő adatgyűjtést tesznek lehetővé. Debrecen esetében az északkeleti futópálya küszöbről megközelíthető területek terepviszonyai kedvezőtlenül alakították az akadályokra vonatkozó adatgyűjtési folyamatot. Ennek oka a terep emelkedése volt. Az akadályfelületek kezdeti magassága az egyes területek felett rögzített, és maguk a felületek nem terepkövetőek. Ezért a terep átlagos tengerszint feletti magasságának emelkedésével az érintett objektumok száma nagy mértékben nőtt. Így ez azt eredményezte, hogy kutatásom során több ezer akadály került be az adatbázisokba. Egyes – repülőtér specifikus - felületek akár több, mint 10 kilométerre is kiterjedhetnek, és a legtöbbjük a távolság növekedésével tovább emelkedik. A délnyugati futópálya végén, a gyűjtési terület kezdeti magassága után már csak néhány akadály adatot gyűjtöttünk. Ez a terep magasságának részleges csökkenésével magyarázható. Így az objektumok magassága nem érte el a felületek magasságát és nem metszették azokat (Bagdi et al. 2021).

Szegedi Repülőtér korábbi adatbázisai tekintetében az akadály adatgyűjtési felületek szerinti akadályobjektumok nyilvántartását tudtuk megvizsgálni. A korábbi adatbázis szerint 62 darab akadály volt található. Ezek rendszerint magas és szabad szemmel is jól azonosítható objektumok voltak olyanok, mint távközlési torony, aszfaltkeverő telep, templomtornyok, árbócok, silók és nagyobb épületek.

A Debreceni Nemzetközi és Szegedi Repülőtér begyűjtött akadály adatainak geoinformatikai elemzése rávilágított arra, hogy a korábbi adatgyűjtési módszerek jelentős korlátozásokkal bírnak mind adatmennyiség, mind pedig adatpontosság

szempontjából. E két repülőtér esetében a légi távérzékelés és a terepi geodéziai mérések integrációjával nem csak a korábban ismert akadályok számát sikerült jelentősen növelni, hanem új típusú akadályokat is azonosítani tudtunk, amelyek a korábbi módszerek esetében rejtve maradtak.

Az adatgyűjtés során az egyik legnagyobb kihívást az ICAO által előírt adatpontosság és a 2. táblázatban is látható felbontások biztosítása jelentette. Az kombinált módszerrel történő felmérés lehetővé tette, hogy a légi távérzékelés által generált pontfelhőből kinyert adatokat terepi mérésekkel kiegészítsük, így az adatok megbízhatósága és pontossága is jelentősen nőtt. Ez különösen fontos a repülésbiztonság szempontjából, hiszen az akadályok pontos helyzetének és magasságának ismerete nélkülözhetetlen a repülőterek és repülési útvonalak tervezésében.

**2. táblázat** Horizontális felbontás numerikus követelmények az ICAO meghatározásában (ICAO Annex 15 2018)

Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
1.0 méter	0.1 méter	0.01 méter	0.1 méter

A légi távérzékelési technológiák fejlődése lehetővé tette, hogy a Debreceni és Szegedi repülőterek akadályainak adatbázisaiba olyan objektumok is bekerüljenek, amelyek a korábbi technológiákkal nem voltak detektálhatók. Ilyen például az alacsonyabb növényzet, kisebb épületek, és egyéb tárgyak, amelyek potenciálisan veszélyeztethetik a légiközlekedést. Az adatok pontosságának növelése érdekében különös figyelmet fordítottunk a pontfelhő-szűrési technikákra, amelyek segítségével sikerült kiszűrni az irreleváns adatokat és csak a repülésbiztonsági és akadályfelületek szempontjából releváns akadályokat tartottuk meg.

### 3.5. Akadály adatok és metaadatok elemzése

#### 3.5.1. ICAO numerikus követelmények

Az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés egy gazdagon kidolgozott, szabványokkal, előírásokkal és ajánlásokkal kiegészített munkafolyamat. Az ICAO az Annex és egyéb dokumentumaiban foglal állást arról, hogy az egyes tagállamokban melyek az irányadó elvek és módok annak érdekében, hogy a légiközlekedésben igencsak fontos szerepet betöltő repülőtéri adatok és akadály adatbázisok pontos, friss és megbízható adatokat tartalmazzanak. Ennek egyik alapköve a terep- és akadály adatok numerikus követelményeinek gyűjteménye, melyet a szervezet az Area 1-4 területekre bontva határoz meg terep és akadály objektumokra is értelmezve. Megkülönböztet többek között vertikális pontosságot és felbontóképességet, horizontális pontosságot, biztonsági szintet és szögletes vagy lineáris távolságot két szomszédos magassági pont között. A kutatás témájában a horizontális pontosság az a legnagyobb megengedett eltérés egy akadály földrajzi koordinátái és annak valós helyzete között a vízszintes síkban. A mért helyzetadatok pontosságát normál körülmények között a meghatározott helyzettől mért távolságban adják meg, amelyen belül a valós pozíció egy adott bizonyossági szinttel megtalálható. A horizontális felbontás az adatok legkisebb megkülönböztethető térbeli egysége a vízszintes irányban, amely meghatározza a részletesség szintjét. A vertikális pontosság az a legnagyobb megengedett eltérés egy akadály rögzített magassági értéke és annak tényleges földfelszíni magassága között a függőleges síkban. A vertikális felbontás a magassági adatok legkisebb megkülönböztethető egysége, amely a domborzat- vagy akadálymodellek részletességét jellemzi. A korábban bemutatott Area típusok alapján mutatom be az egyes területek numerikus követelményeit.

**3.táblázat** ICAO akadály adatok numerikus követelményei az egyes területekre vonatkozóan. (A konfidenciaszint megadja, hogy egy becslés vagy mérés során mekkora valószínűséggel tartalmazza a számított intervallum a valódi értéket.) (ICAO Annex 15 2018)

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Vertikális pontosság	30 m	3 m	0.5 m	1 m
Vertikális felbontás	1 m	0.1 m	0.01 m	0.1 m
Horizontális pontosság	50 m	5 m	0.5 m	2.5 m
Konfidencia szint	90%	90%	90%	90%
Integritási osztály	rutin	alapvető	alapvető	alapvető

Area 1 terület:

Az Area 1 terület a tagállam teljes területét foglalja magában, ahol a vertikális pontosság 30 méter, a vertikális felbontás pedig 1 méter. Akadályok esetében a horizontális pontosságot 50 méterként határozták meg. A terep adatokra vonatkozó távolság követelmény szögletes vagy lineáris szomszédos magassági pontok között 90 méter. Az Area 1 terület engedékenyebb követelményei is mutatják a terület fontosságát légiforgalmi akadályok szempontjából. A terület akadály adatgyűjtési felülete 100 méteres magasságban helyezkedik el, így az, az alatti akadályokat nem szükséges begyűjteni. Ezen terület fölött a légi járművek normális esetben már több száz vagy több ezer méteres magasságban is repülhetnek így nem volt indokolt ettől szigorúbb numerikus követelményeket meghatározni és alkalmazni.

Area 2 terület:

A légiforgalmi irányító szolgálatok által legnagyobb figyelmet kapó terület az Area 2. A futópálya sávtól induló 10 km-es körzetig kinyúló terület szintén nagy kiterjedésű, közel 320 négyzetkilométer. Az Area 2a, 2b, 2c és 2d részekre felbontott terület kritikus fontossággal bíró adatbázisokat képez minden esetben, amibe bele tartoznak a megközelítési, emelkedési és felszállási felületek, valamint az azok alatti területek.

A függőleges pontosság ebben az esetben már 3 méter, még a függőleges felbontás 10 cm. Vízszintes pontossággként pedig 5 métert definiált az ICAO. Terep adatok tekintetében, a távolság követelmény szögletes vagy lineáris szomszédos magassági pontok között 30 méter, ami megközelítőleg 1 ívmásodpercnek felel meg. Itt a követelményrendszer szigorúbb, ahol például a felbontás értéke már bizonyos technológiák implementálását követeli meg.

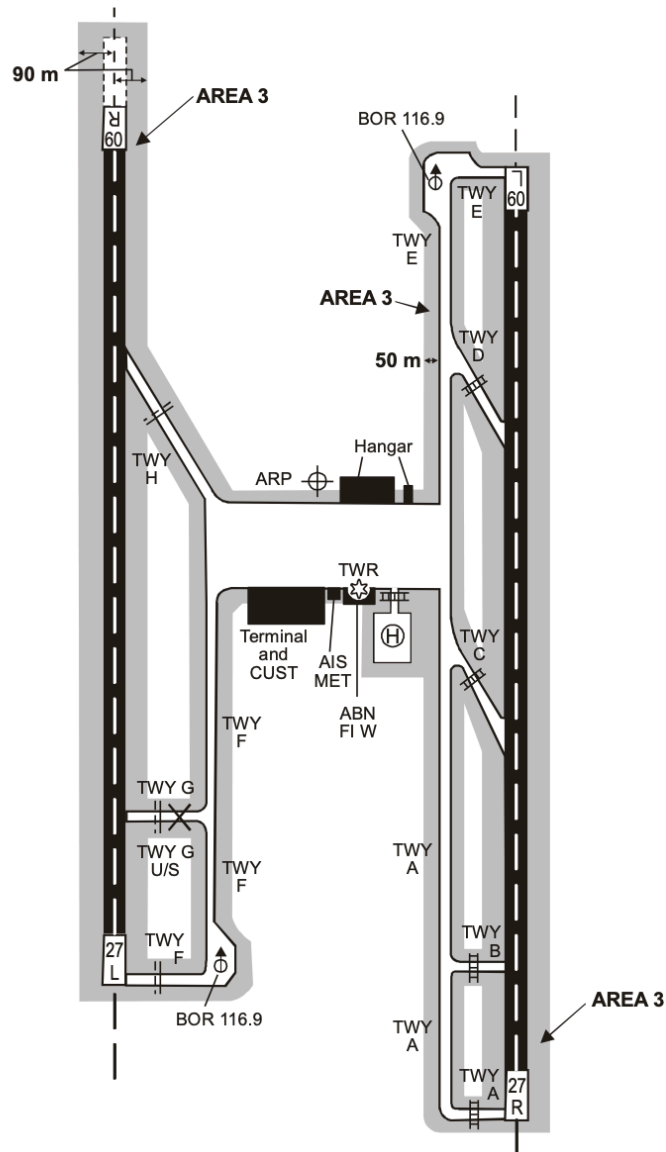
**4.táblázat** ICAO terep adatok numerikus követelményei az egyes területekre vonatkozóan (ICAO Annex 15 2018)

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Mérési pontok közötti távolság	3 ívmásodperc (megközelítőleg 90 m)	1 ívmásodperc (megközelítőleg 30 m)	0.6 ívmásodperc (megközelítőleg 20 m)	0.3 ívmásodperc (megközelítőleg 9 m)
Vertikális pontosság	30 m	3 m	0.5 m	1 m
Vertikális felbontás	1 m	0.1 m	0.01 m	0.1 m
Horizontális pontosság	50 m	5 m	0.5 m	2.5 m
Konfidencia szint	90%	90%	90%	90%
Integritási osztály	rutin	alapvető	alapvető	alapvető

Area 3 terület:

A repülőtérnek a légi járművek fel és leszállásra és gurulásra alkalmas része a mozgási terület, amely nem más, mint az Area 3 terület (3.8. ábra). Kritikus terület, amely szemrevételezéssel is jól belátható és bejárható távolságokkal bír, így érthető, hogy a követelmények itt a legszigorúbbak, úgy, mint fél méteres függőleges pontosság, 1

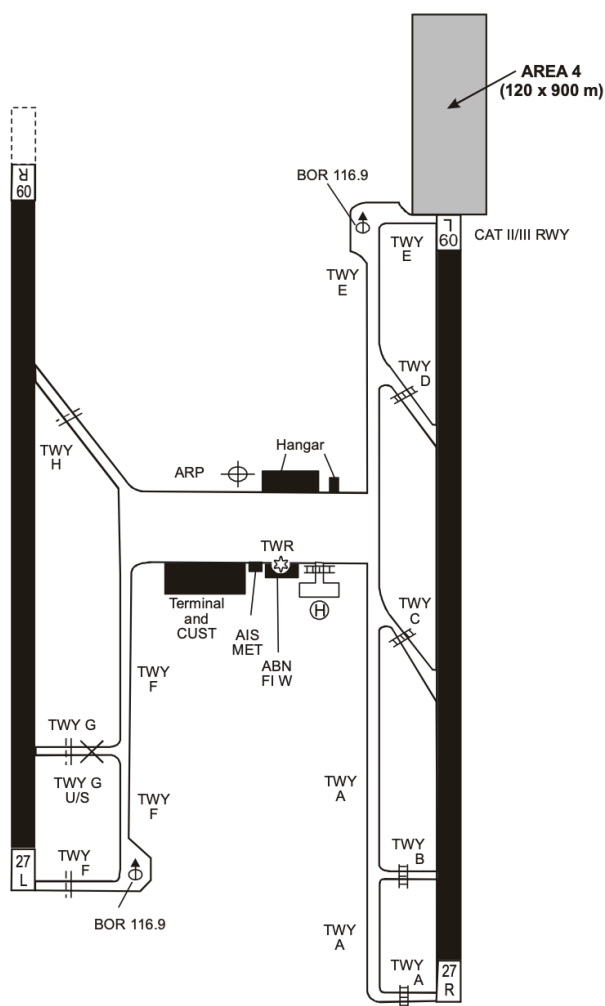
centiméteres függőleges felbontás és fél méteres vízszintes pontosság. A lineáris vagy szögletes szomszédos magassági pontok közötti távolság pedig 20 méter. Ezen a területen a fél méteres magasságban és vízszintesen elhelyezkedő akadály adatgyűjtési felület jól mutatja, hogy semmilyen tárgy nem metszheti a síkot, kivéve olyan ismert berendezések és tárgyak, amelyek a repülőtér tervezése és kivitelezése során már előre ismertek voltak és a repülőtér üzemeltető is ismerik azokat.



**3.8. ábra** Két futópályával szemléltetett és világosszürke zónával jelölt Area 3 mozgási terület (ICAO Annex 15 2018)

Area 4 terület:

Az Area 4 terület a már korábban említett, olyan repülőterek esetében használatos, ahol Cat (Category) II vagy III kategóriájú precíziós megközelítésű futópályát üzemeltetnek (3.9. ábra). Ezen területen a függőleges pontosság 1 méter, függőleges felbontóképesség 10 cm, vízszintes pontosság 2,5 méter, valamint a szögletes vagy lineáris magassági pontok közötti távolság itt a legszigorúbb, megközelítőleg 9 méter. A légi járművek rádiós magasságmérő eszközeinek biztonságos működésének érdekében, ezen a területen kiemelten fontos az akadályok megfelelő numerikus követelményekkel való kezelése.



3.9. ábra Futópályá végén jelölt Area 4 terület elhelyezkedésének szemléltetése (ICAO Annex 15 2018)

### 3.5.2. Akadály objektumok definiálása

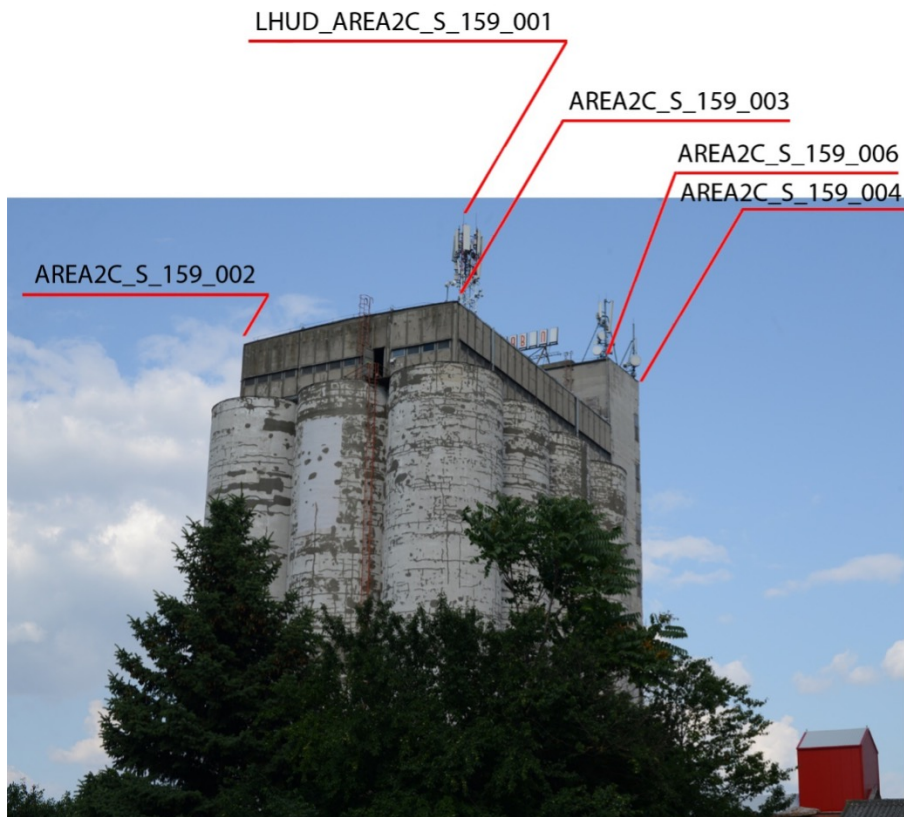
Az akadályok meghatározása és kategorizálása a repülőtéri és légiközlekedési biztonság szempontjából kulcsfontosságú. Az akadály objektumok definíciójához elengedhetetlen a magassági vizsgálatok alkalmazása, amelyek meghatározzák, hogy egy adott tárgy vagy a terep milyen mértékben képez akadályt a légiközlekedés számára. Az objektumok magassági adatai és a kijelölt akadályfelületek metszése alapján döntenek el, hogy egy objektum bekerül-e az akadály adatbázisba. A repülőtéri akadálykezelésben a típusazonosítás kiemelten fontos, mivel az akadályok sokfélesége miatt szükséges azok pontos kategorizálása.

Terep- és akadály adatok esetén nem mindig egyértelmű, hogy mely terep vagy beépített, esetleg mobilis tárgyak képeznek akadályokat. Ennek definiálására a már korábban bemutatott magassági vizsgálat ad első számú útmutatást, tehát az adott tárgy, vagy terep objektum, ha magasságából adódóan valamilyen kijelölt akadályfelületet metsz, akkor az akadály adatbázisba rendezendő. Az akadályok típusa sokféle lehet, éppen ezért a HungaroControl magyarországi légiforgalmi irányító szolgálat kiadásában megjelenő Adattermék Specifikáció (Data Product Specification) számos akadály típust különböztet meg, annak jellegéből adódóan. Ezek a kategóriák segítik a légiközlekedési szereplőket abban, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján pontosan azonosíthassák és értékelhessék az adott akadályokat. Adatgyűjtésnél fontos, hogy a tárgy megfelelően legyen típusa szerint kategorizálva, hogy a légiközlekedési szereplők ne csupán egy vagy több koordinátát és magasság adatokat lássanak az objektumról, hanem annak típusát ismerve, be tudják azt azonosítani és ismeretük legyen arról, hogy milyen akadállyal is kell számolniuk, nem beszélve ennek fontosságát a repülési eljárások tervezésének folyamataiban.

Leggyakrabban előforduló akadály típusok, angol nyelvben meghatározott típusnevekkel:

1. Antenna: Gyakori akadály a repülőterek környezetében, mivel magassága gyakran meghaladja a környező területek átlagos szintjét.
2. Bridge (Híd): A hidak magassága és helyzete fontos tényező a légiközlekedési tervezés során, különösen alacsonyan szálló légyjárművek esetében.

3. Building (Épület): Repülőterek mind belső, mind külső területein az egyik leggyakrabban előforduló akadály típusok az épületek. Lehetnek azok magas építmények, vagy akár alacsony lakóházak is, amelyek esetében gyakran csak a kimagasló antenna vagy kémény metszi a kijelölt felületet, mégis épületként szükséges definiálni a vonatkozó adatbázisban (3.10. ábra).



**3.10. ábra** Siló légiforgalmi akadály, amelyet méretei miatt több koordinátával szükséges definiálni az akadály adatbázisokban. Megfigyelhető az objektumon lévő magas és vékony antennák, melyek csúcs magasságait is szolgáltatni kell

4. Catenary (Felsővezetékek): Gyakran a felsővezetékek magassága és elhelyezkedése potenciális akadályt jelent a légi járművek számára.

5. Cooling Tower (Hűtőtorony): Ipari létesítményekben használt, nagy magasságú szerkezetek, amelyek hőcserélő funkciót látnak el. Ezek gyakran magasabbak, mint a környező épületek, szemmel is jól látható akadályok.
6. Crane (Daru): Magas torony- és karos szerkezete akadályt jelenthet a közeli légiforgalmi útvonalak számára, valamint kiemelt fontosságú tényező, hogy daruk mobilis akadályokat képezhetnek repülőterek környezetében, így kiemelt fontosságú azok kezelése és adott esetben használatuk bejelentése.
7. Dome (Kupola): Kerek, ívelt tetőszerkezet, gyakran templomokon, múzeumokon és egyéb fontos épületeken található. A magas kupolák légiforgalmi akadálynak minősülhetnek.
8. Fence (Kerítés): Repülőterek kerítései ritkán, de akadályt képezhetnek Area 3 vagy Area 2 területeken. Kutatásomban is talákoztam ilyen akadályelemmel.
9. Lighthouse (Világítótorony): Magyarországon kevésbé, külföldön jellemző akadály típus.
10. Pole (Pózna): Oszlopos szerkezetek, amelyek gyakran elektromos vezetékeket vagy utcai lámpákat tartanak. Ezek a magasabb póznák könnyen légiforgalmi akadályokat képezhetnek, főleg ott, ahol a futópályától nem messze közforgalmi utakat használnak.
11. Spire (Templomtorony): Templomok tornyai gyakran kerülnek akadály adatbázisokba.
12. Tower (Torony): Különböző célokra épült magas szerkezetek, mint például megfigyelő vagy kommunikációs tornyok, amelyek gyakran akadályt jelentenek a légi útvonalak számára.
13. Tree (Fa): A természetes vegetáció jelentős elemei, amelyek, ha megfelelő magasságúak akadályt jelenthetnek. Azon repülőterek, amelyek nem sűrűn

beépített város mellett helyezkednek el, ott a leggyakrabban előforduló akadályok a magas fák (Zhang et al. 2019).

### 3.5.3. Metaadat halmazok

Egy-egy akadálnak típusán és magasságán kívül több metaadata van, ami szükséges annak adatbázisba rendelésének és teljes megismerésének érdekében. A publikálás során legalább a következő metaadatokra van szükség (kiegészítve az 5-7. táblázatot):

- Area of coverage (területi lefedettség): Az adott terep vagy akadály tárgy mely Area területen helyezkedik el. Ebből az adatból gyorsan látható, hogy az akadály mennyire potenciálisan veszélyt jelentő területen helyezkedik el. Példa: Area 2a
- Latitude, longitude WGS-84 (szélesség, hosszúság WGS-84): Az akadály koordinátájának feltüntetése WGS-84 (World Geodetic System 1984) koordináta rendszerben, amelyet az ICAO egységesen elfogad és használ. (ICAO Doc 9674 WGS-84 manual 2002).

Példa: 461349.5026N 020065.9461E

- Ostacle identifier (akadályazonosító): Az azonosításra használt forma, amely a következő alakban használatos: LHXX\_AREAX\_Ziii , ahol LHXX az ICAO azonosítója az adott repülőtérnek, AREAX, ahol X definiálja az akadály helyét (AREA 1, 2, 2a, 2b, 2c, 2d, 3, 4), Z azonosítja az objektum geometriai típusát (P: Point (pont); L: Line (vonal); S: Surface (felület)), iii egy növekvő szám 001-el indulva mely adatik egy akadálnak. Példa: LHDC\_AREA3\_P005
- Owner (tulajdonos): Abban az esetben, ha ismert és adatvédelmi szempontból közölhető az akadály tulajdonosa, feltüntetésre kerül a metaadatok között.
- Típus: Az előző pontban részleteztem a terep vagy akadályok típusainak leírását, amely fontos részét képezi a metaadat halmaznak. Példa: TREE

- Visible material (látható anyag): Vagyis az akadály látható, külső anyagának típusa például: BRICK (tégla), ALUMINIUM (alumínium), CONCRETE (beton), GLASS (üveg), IRON (vas), WOOD (fa) stb.
- Lighted (megvilágítás): A terep vagy akadály tárgy megvilágításának állapota és típusa. Megvilágítás lehet ICAO standard szerinti, szinkronizált és fontos annak színét is közölni. Valamennyi lehetséges szín publikálásra: sárga, piros, fehér, kék, zöld, narancs, lila stb. Az egyik legfontosabb metaadat az adatbázisban, hogy egy akadály, - különösen, ha az kiemelkedő és magas – kapott-e megvilágítást vagy sem. Abban ez esetben, ha a tárgy nincs megvilágítva és légiközlekedésre veszélyes objektumként könyvelik el, úgy megvilágítására szükség lehet (3.11. ábra).



**3.11. ábra** Akadályfényvel ellátott antenna, ahol a kép jól mutatja a tényleges akadálycsúcs magasságát

- Marking és Marking pattern: azaz jelölés és amennyiben van, akkor a jelölés mintája. Egy akadály – amennyiben korábbi elemzések megkívánták-megjelölést kaphat annak tulajdonosától, üzemben tartójától. Ilyen minta lehet fehér-piros megfestés vízszintes (3.12. ábra) vagy éppen függőleges irányban. Lehet egyszínű, egyszínű festésű vagy „kockás” mintájú, két szín

használatával. Zászló vagy jelölő használata is indokolt egyes akadályoknál, például elektromos vezetékeknél.



**3.12. ábra** Vízszintes piros-fehér akadályjelölés egy magas kéményen, amely előírásoknak megfelelő akadályvilágítással is rendelkezik

- Datum (geodéziai dátum): A felmérések és publikálások által használt vízszintes referencia rendszer, amely az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés esetén megegyezik a WGS-84 koordináta rendszerrel.
- Horizontal / vertical accuracy (vízszintes / függőleges pontosság): Korábban a numerikus követelményeknél már megismert vízszintes/függőleges pontosság, amelynek feltüntetése mutatja a maximális eltérést a valódi és mért értékek között.
- Elevation (tengerszint feletti magasság): A tárgy tengerszint feletti magasságának közlése, kritikus fontosságú adat, annak mértékegységével megadva.

- Height (magasság): Az a távolság, amit a földfelszíntől mérünk az akadály legmagasabb pontjáig.
- Vertical resolution (függőleges felbontás): A függőleges felbontás mértéke megmutatja, hogy függőlegesen milyen változásokat szükséges észlelni a magasságban. Minél magasabb a függőleges felbontás, annál kisebb változásokat tudunk észlelni az akadályok magasságában.
- Vertical datum (függőleges referencia rendszer): Egy adott nullapont, amelytől egy pont vagy egy pontnak tekintett objektum függőleges távolságát mérik. Az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés során alkalmazott rendszer egységesen az EGM-96 (Earth Gravitational Model 1996).
- Mobil (mobilis): Információ arról, hogy az akadály helye változó lehet. Szegedi Repülőtéren végzett kutatásom során, erre jó példa volt egy sorompó az Area 3 területen, amely felnyitott állapotban akadályt képez, amely a 3.13. ábrán látható.



**3.13. ábra** Repülőtéri sorompó, mint mobilis akadály, amely felnyitott állapotában metszette a vonatkozó akadályfelületet, így légiforgalmi akadályt képzett

**5. táblázat** Egyetlen épület típusú akadály valamennyi metaadata magyar nyelven

WGS-84 formátum, hosszúság	EAD	WGS-84 formátum, szélesség	EAD	Név/ID	Típus
0200526.1879E		461519.4540N		LHUD_AREA2B_S_101_001	Building (Épület)

**6. táblázat** További metaadatok Building típusú akadályra vonatkozóan (N: No, Y: Yes, NA: Not Applicable)

Akadályok csoportja	Akadályfény	Típusa és színe a fénynek	Vizuális a jelölés	Magasság (csúcs)	Magasság pontossága
N	N	NA/NA	Piros fehér vízszintes	89.45	0.5

**7. táblázat** Épület típusú akadály további metaadatai

Tető magassága	Épület csúcsa	Megjegyzés
85.22	89.45	Torony épület

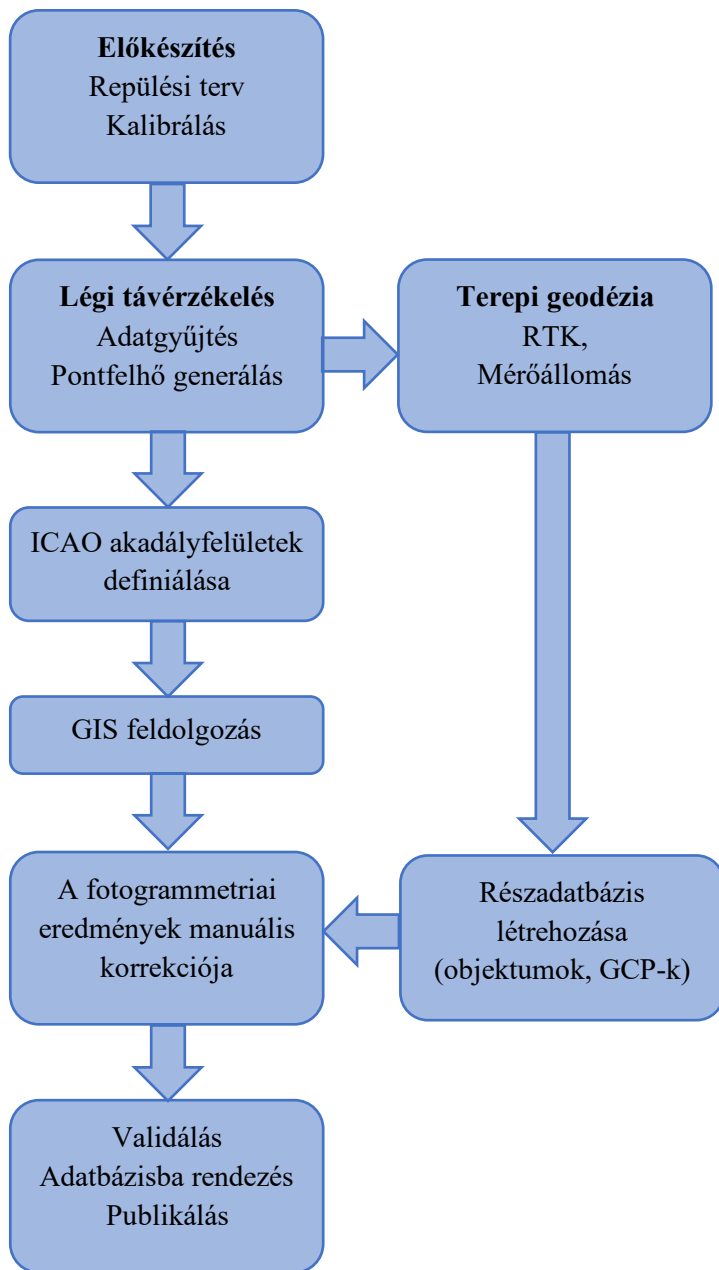
## 3.6. Párhuzamos felmérési folyamat: légi távérzékelés + terepi geodézia

A párhuzamos mérési folyamat alkalmazásának egyik kiemelt előnye a gyorsaság és hatékonyság. A hagyományos terepi geodéziai módszerekkel szemben, amelyek gyakran hetekig vagy hónapokig tarthatnak, a légi távérzékelés segítségével a teljes terület akadályainak felmérése néhány nap alatt elvégezhető. Ez idő- és költséghatékony megoldást jelentett. A kutatás során a merevszárnyú repülőgép 220-340 km/h sebességtartományban és 640-860 méteres magasságban gyűjtötte az

adatokat, 40% sávok közötti és 70-90% felvételek közötti átfedéssel. A légi fotogrammetriával és terepi geodéziával végzett repülőtér-felmérés fő fázisait a 3.14. módszertani folyamatábrán mutatom be. A folyamat első szakasza a távérzékelés és a légijármű előkészítése, repülési terv létrehozása és a műszerek kalibrálásai. A folyamat következő része a részletes légi felmérés, amelynek eredménye egy háromdimenziós pontfelhő (Özdemir et al. 2018). Ezen a ponton kezdődik a párhuzamos felmérés, azaz a légi távérzékelés mellett a terepi geodézia alkalmazása, ami egy hosszabb folyamat, egészen a manuális fotogrammetriai kiértékelés fázisáig tart. A légi felmérést követően a gyűjtési, korlátozási és védelmi felületeket szerkesztettem szoftverben, majd a pontfelhő feldolgozásával és szűrésével képeztem az akadályokat. Az adatok elektronikus feldolgozása térinformatikai GIS (Geographic Information System) rendszer segítségével történt, amely olyan eszköz, amely a térbeli és leíró információkat egyetlen rendszerbe integrálja és megfelelő környezetet biztosít a térbeli adatok elemzéséhez (Zongli 2018, Alhassanieh et al. 2021). Az adatbázisok létrehozásakor a terepi adottságok és az előre meghatározott gyűjtési felületek együttesen határozzák meg, hogy mely objektumok minősülnek akadályoknak és melyek nem. A felmérési követelmények és az akadály adatgyűjtési, korlátozási és védelmi felületek a kijelölt területeken eltérőek.

Ezt a lépést követően a manuális fotogrammetriai kiértékelés során detektált akadályokat felkerestük és mérőállomások segítségével meg tudtuk mérni a bázis, a csúcspontok és a magas objektumok (pl. villámhárítók, antennák) koordinátáit és magasságát, kiegészítve a pontfelhőből generált akadály adatbázisokat (EUROCONTROL eTOD manual 2015). A terepi geodéziai felmérés eredményei a korábban készített légi fotogrammetriai felmérés eredményeivel (beleértve a pontfelhőt is) való összehasonlítás révén még nagyobb pontossághoz és nagyobb megbízhatósághoz járultak hozzá. Összességében a terepi geodézia segítségével a mérések iterációja révén végleges biztosítékot kaptunk, mivel a legkiemelkedőbb akadályok közül néhányat többszörösen megmértünk.

Az akadályok többféle geometriai módszerrel írhatók le. A poligonok egy terület zárt felületét írják le, míg a pontok egy kis kiterjedésű akadályt tartalmazó diszkrét geolokációra mutatnak. A keskeny és hosszú akadályokat (például fasorok, magas kerítések) vonal típusú vektorok segítségével lehet megjeleníteni (Yancho et al. 2019, Næsset et al. 2021). A terep- és akadály adatok számos kötelező és választható attribútumot tartalmaznak. Ezt a lépést követően az adatkészlet egy független ellenőrzésen megy keresztül, mielőtt feltöltik a légiforgalmi irányító szolgálatok által használt nemzetközi adatbázisokba és publikálják azokat.



**3.14. ábra** A párhuzamos felmérési folyamat folyamatábrája

### 3.6.1. Az alkalmazott légi távérzékelési folyamatok

Az adatgyűjtési folyamat során számos olyan technológiai fejlesztést alkalmaztunk, amelyek célja a maximális pontosság és a terepi körülmények által okozott kihívások leküzdése volt. A légi fotogrammetria alkalmazása lehetővé tette számunkra, hogy a terep- és az akadályok háromdimenziós képét nagy felbontásban rekonstruáljuk. Ez a módszer különösen hasznos volt a Debreceni Nemzetközi Repülőtér északkeleti területén, ahol a domborzati viszonyok miatt a hagyományos módszerekkel történő adatgyűjtés különösen nehézkes lett volna.

A légi fotogrammetria segítségével a földről nehezen látható vagy elérhető akadályokat is sikerült pontosan detektálni, így a terepen található kisebb objektumok, például az alacsony fák és az alacsonyabb lakóházak is bekerültek az adatbázisba (Mielcarek et al. 2020, Gyawali et al. 2022). Emellett a légi fotogrammetria alkalmazásának köszönhetően az akadályok geolokációs adatait is pontosabban rögzítettük, ami kritikus fontosságú a navigációs térképek és az útvonaltervezés szempontjából.

A projekt során kiemelt figyelmet fordítottunk az adatok validálására is. A légi felmérésből származó adatokat rendszeresen összevetettük a terepi geodéziai mérésekkel, hogy az adatok megbízhatóságát maximalizáljuk. Ezen felül, a terepi mérések folyamatos alkalmazása és a mérési adatok szigorú ellenőrzése biztosította, hogy minden adatpont a lehető legnagyobb pontossággal kerüljön rögzítésre.

Az akadályok pontos térképezése lehetővé tette számunkra, hogy specifikus javaslatokat tegyünk az akadálymentesítési tervek aktualizálására, valamint új biztonsági zónák kijelölésére (Silva 2016, Zhou et al. 2022). A kutatás során szerzett tapasztalatok és a technológiai újítások alkalmazása így közvetlenül hozzájárul a repülőterek működésének és biztonságának javításához.

Mind Szegedi, mind Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében a kutatási területeken légi távérzékelést alkalmaztunk. A korábbi adatbázisokból egyértelműen következik, hogy olyan országokban, ahol a kultúrtáj beépítettsége és a terepviszonyok nagy mértékben nem nehezítik a felmérések menetét, ahol nincsenek magas hegységek, felhőkarcolók, ott is indokolt a távérzékelés alkalmazása. Ennek hiányában minden

esetben azt tapasztaltam a kutatási eredmények alapján, hogy potenciálisan veszélyes akadályok nem kerülnek be akadály adatbázisokba.

Az Anyag és Módszer szakaszban a kutatási módszertan és az alkalmazott eljárások bemutatása a cél, ugyanakkor néhány esetben a módszerek alkalmazásából konkrét eredmények és következtetések adódtak, amelyek már az Eredmények fejezethez tartoznak. Ennek oka, hogy e módszerek közvetlen és azonnali eredményeket hoztak, amelyek lényegesek az elemzés szempontjából. Így ezek logikusabb módon az Eredmények szakaszban kerültek kifejtésre, hogy a kutatási folyamat következetesebben követhető legyen.

Számos példa támasztja ezt alá mindkét repülőtér környezetének esetében. Debreceni Nemzetközi Repülőtér északi irányában a domborzat néhány tíz métert emelkedett így eredményezve a megközelítési felületek szerinti akadályok észlelését. Csupán terepi geodézia alkalmazásával a futópályához közeli területek sem mérhetőek fel biztonságosan és a numerikus követelményeket kielégítően. A Debreceni Nemzetközi Repülőtéren az északi futópálya véghez a főút igencsak közel helyezkedik el, ezért az üzemeltető eltolt küszöb kihelyezését rendelte el, hogy a légijárművek a futópálya azon pontján tegyék le futóművüket, ahol már biztonságosan tudnak földet érni. A felületek szoftverben történő beszerkesztésénél ezt figyelembe kellett vennünk. Szeged légikikötőjénél az egyik futópálya küszöbhez szintén közelebb helyezkedik el a repülőtéri kerítés és főút, viszont a repülőtér kisebb forgalma, valamint a gyér beépítettség miatt itt nem volt szükség eltolt küszöb kihelyezésére. Szeged esetében viszonylag kevés akadállyal találkoztunk a megközelítési felületek alatti területeken és a domborzat sem emelkedett szignifikáns mértékben. A merevszárnyú repülőgépben belső elhelyezésű digitális, előkalibrált és autokollimált, lézergiroszkóppal ellátott IS5 típusú RGB mérőkamerával, D-GPS/INS által biztosított direkt tájékozási adatgyűjtő rendszerrel gyűjtöttük az adatokat, kameraaknán keresztül, terepkövető megközelítéssel, 50 mm-es fókusztávolságú alapobjektívet használva ( $27^\circ$  repülésirányú és  $40^\circ$  transzverzális látószög). A felvételek és a pontfelhő Szeged esetében 2017-ben, Debrecen esetében 2018-ban készültek, olyan napszakban, amikor a fény mennyisége elegendő volt a légi fotogrammetria alkalmazásához. A feldolgozási módszer egy blokkban végbemenő, sugárnyalábkiegyenlítéses légi háromszögelés volt. Az ortofotók merőleges kameratengelyű digitális mérőkamerás légi fényképek feldolgozásával készültek. Így részletgazdag fényképeket állítottunk elő és alkalmaztuk a geometriailag pontos

térképekkel, így adott időpontban a felszín információkat nagy pontossággal tudtuk dokumentálni. Az ortofotó mozaik 3; 5; 7,5; 10 cm/pixel terepi felbontással készült.

A merevszárnyú repülőgéppel átlagosan maximálisan 5 métert tértünk el a tervezett repülési soroktól. Az ortofotó felvételek paraméteres torzulásait mérőkameránk kalibrációja állította helyre a kezdeti kiértékeléseknél, úgy, mint lencserendszer és kameratest elrajzolás, spektrális és geometriai jellemzők bemérése és a fedélzeti navigációs rendszer szinkronizálása. Egységes képvilágú, vágóvonalaktól mentes térkép készült, amit megfelelő szelvényezéssel készítettünk a repülőtér üzemeltetők és légiforgalmi irányító szolgálat számára (internetes hiv. 1). A több mint 300 négyzetkilométeres területek szakszerű lerepülését két nap alatt sikerült véghez vinnünk folyamatosan egyeztetve az AFIS (Aerodrome Flight Information Service) szolgálatokkal. A légi fotózás a nyújtott kör alakú terület fölött speciális légijármű irányítást követelt meg, amit szakavatott pilóta hajtott végre.

### 3.6.2. Kiegészítő terepi geodéziai felmérések gyakorlati megvalósítása

A kiegészítő terepi geodéziai felmérések alapvető jelentőséggel bírnak a repülőtéri akadályok pontos és megbízható adatgyűjtése szempontjából. Az ilyen típusú munkák célja, hogy a légi távérzékelésből származó adatokat hitelesítsék és szükség esetén pontosítsák, garantálva ezzel az adatbázisok naprakész és pontos állapotát.

A repülőtér belső területén végzett terepi geodézia különleges kihívásokat és egyedi eljárásokat igényel, hiszen a repülőtér kerítésén belül elhelyezkedő nagy, több száz hektáros területek pontos és részletes felmérését szükséges végezni. Ezen területeken található számos navigációs eszköz, infrastruktúra elem és épület, amelyek potenciális akadályokat jelentenek a légiforgalom számára.

A mérési munkák során kiemelt figyelmet kellett fordítani a légiforgalomra, különösen a repülőtér futópályáihoz közeli területeken. A biztonságos és zavartalan légiforgalom fenntartása érdekében rádiót használtunk a torony irányítóival való kommunikációra, hogy pontosan tudjuk, mikor várható légijármű érkezése vagy indulása, mikor keresztezhetjük a futópályát és gurulóutakat. Repülőgép érkezésekor vagy indulásakor a futópálya közelében végzett méréseket átmenetileg le kellett állítani, hogy ne zavarjuk a repülőgépek mozgását.

A kutatás egyik alapköve volt, hogy az akadály adatgyűjtés során a párhuzamosan alkalmazott felmérési technológiát alkalmazzuk, így légi távérzékelés mellett fontos volt, hogy hagyományos terepi ellenőrző geodéziai méréseket vigyünk végbe, valamint, hogy illesztőpontokat vegyünk fel Topcon Hyper RTK (Real-Time Kinematic) és Leica Viva GPS műszerekkel és kalibrált Topcon mérőállomásokkal, többnyire GLONASS és Galileo konstellációkat használva. A mérések idején a műholdszám 20 felett volt, PDOP (Position Dilution of Precision) érték  $<2$ , biztosítva a magasszintű megbízhatóságot. Az RTK vízszintes pontossága  $\pm 8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ , míg függőleges pontossága  $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ , ahol az 1 ppm (parts per million, azaz milliomod rész) egyenlő 1 mm hibával minden 1 km bázistávolságra vonatkozóan. A műszerekkel, valamint kalibrált mérőállomásokkal végzett mérések során az illesztőpontok felvétele mellett fontos, hogy a légi távérzékeléssel detektált akadályok pontos helyzetét és magasságát is ellenőrizzük.

A terepi mérések minden esetben alátámasztották a légi felmérések pontosságát, megbízhatóságát a repülőtér telekhatárán túli területeken is. Adódtak olyan tárgyak, épületek, amelyek tetején olyan vékony antennák helyezkedtek el, ahol szükségesek voltak a terepi bemérések eredményei. A térinformatikai rendszerekben előre megjelölt pontokhoz terepjáró autók segítségével jutottunk el. Ezek általában olyan magas objektumok voltak, hogy nagyobb távolságból is jól tudtuk a terepi méréseket elvégezni.

Előre meghatározott koordináták segítségével pontosítottuk az akadályok helyszíneinek megközelítését. Ez a módszer különösen hasznos volt a repülőtér belső, nagy kiterjedésű területein, ahol az akadályok szétszórta helyezkedhetnek el, és ahol a terepi körülmények gyakran változóak voltak. A repülőtér kerítésén belüli területek is már olyan nagyságúak, hogy szükségszerű a légi távérzékelés alkalmazása, hiszen a Debreceni Nemzetközi Repülőtér belső területe is közel 300 hektár, Szegedi Repülőtér valamennyivel kisebb. Viszont a repülőtéri belső területeken fokozott mértékben volt szükség terepi mérésekre is, különösen a navigációs eszközöknél, a bevezető fénysornál, az ILS (Instrument Landing System) leszállító rendszer antennáinál és főleg az Area 3 mozgási területeknél. Utóbbinál szemmel is jól látható akadályokat mértünk be, mint például táblák, jelölések, precíziós lámpák és egyéb navigációs és repülőtéri berendezések, amelyeket egyenként, több koordinátával kellett pontosan felmérni. Ezek az eszközök elszórta helyezkedtek el a repülőtér nagy kiterjedésű területein, ami a mérések logisztikai szervezését és végrehajtását bonyolulttá tette, mindamelllett, hogy meghatározott időt tölthettünk csak a repülőtér belső területein, kísérő személyzet mellett.

A bevezető fénysorok vizsgálata is jelentős részét képezte a méréseknek, ahol a nagyszámú lámpa közül többet is ki kellett választani és pontosan felmérni, több száz méteres hosszúságban. Ez részletes tervezést és koordinációt igényelt, hogy a lámpák közötti távolságok és elhelyezkedésük pontos dokumentálásra kerüljenek. A repülőtéren található épületek, mint az irányítótorony, a hangárok és egyéb létesítmények szintén fontos szerepet játszottak az akadály adatgyűjtésben. Sok esetben csak az épületek egyes részei, például sarkok vagy kiemelkedő szerkezeti elemek képeztek akadályt, amelyeket külön kellett kiemelni és részletesen felmérni. Végül, a repülőtéri telekhatárok pontos kijelölése is a geodéziai munka része volt, ami a repülőtér területgazdálkodásának és a területfejlesztési terveknek fontos alapadatait szolgáltatta.

Az Area 3 területe nagyban függ a futópálya, gurulóutak és forgalmi előterek nagyságától. Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében főleg, de Szegedi Repülőtérnél is szükségünk volt személyautók használatára a nagy távolságok miatt. A geodéziai műszerekbe épített fényképezőgépekkel, pedig a terepen végzett méréseknél is folyamatosan fotódokumentációt készítettünk, amelyekből később külön jegyzőkönyvek készültek. A vizuális vizsgálatoknak és a szemrevételezésnek nagy jelentősége volt, ugyanis a légiforgalmi irányító szolgálatok több olyan korábban bemutatott metaadatot igényeltek az adatbázisok publikálása és validálása során, amelyhez szükséges volt vagy élőben, vagy ortofotóról beazonosítani egyes objektumokat. Ilyen volt a tárgyak akadályfényvel ellátott megvilágítása és színe, amit leginkább éjszaka tudtunk ellenőrizni vagy ilyen volt az akadályok festése és annak színe, jelölése.

### 3.7. Generált pontfelhő, digitális terep és felületmodell kiértékelés

#### 3.7.1. Pontfelhő elemzés

Repülőtéri elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés során elengedhetetlen valamilyen háromdimenziós pontfelhő generálása és annak szoftveres kezelése. A repülőtér specifikus és ICAO által definiált akadály adatgyűjtési, korlátozási és védelmi felületek szoftveres környezetben megszerkesztésre kerülnek, majd pontfelhő szűrés után láthatóvá válnak azok a pontok, amelyek magasságukból adódóan metszték az adott akadályfelületet. Pontfelhő hiányában ez a szűrési folyamat nem lenne lehetséges (Lima et al. 2021).

A fotogrammetriai téradat előállítás során az ortofotó térképeket nagy pontosságú mérőkamera rendszerrel készítettük. Agisoft Metashape Pro 1.4.0. térfotogrammetriai szoftver és manuális feldolgozás alkalmazásával, a generált pontfelhő több milliárd pontból tevődött össze, megközelítőleg 18.000 darab felvételtől, 1,2 pixel-es reprojekciós hiba mellett.

A pontfelhők kezelése szoftveres eszközökkel történt, amelyek lehetővé tették a repülőtér specifikus és az ICAO által definiált akadály adatgyűjtési, korlátozási, és védelmi felületeinek pontos megszerkesztését (3.15. ábra). Ezek a felületek kulcsfontosságúak a légitrafordulás biztonsága szempontjából, mivel meghatározzák azokat a területeket, ahol potenciális akadályok lehetnek, így különös figyelmet igényelnek a repülőtér tervezése és a napi üzemelési tevékenységek során. Kutatásom során a több milliárd pontból álló pontfelhő alkalmazása alapvető fontosságú volt. Több mint 20 különböző akadályfelületet szerkesztettem be a pontfelhőbe Agisoft Metashape Pro, Global Mapper és QGIS szoftverek segítségével. Ezek a felületek az akadályok magasságának, helyzetének és egyéb jellemzőinek vizsgálatára szolgáltak, segítve a kritikus területek és objektumok azonosítását.



**3.15. ábra** Felület szerkesztés előtti pontfelhő részlet, amely tartalmazza a magas akadályok pontjait (Bakó et al. 2019)

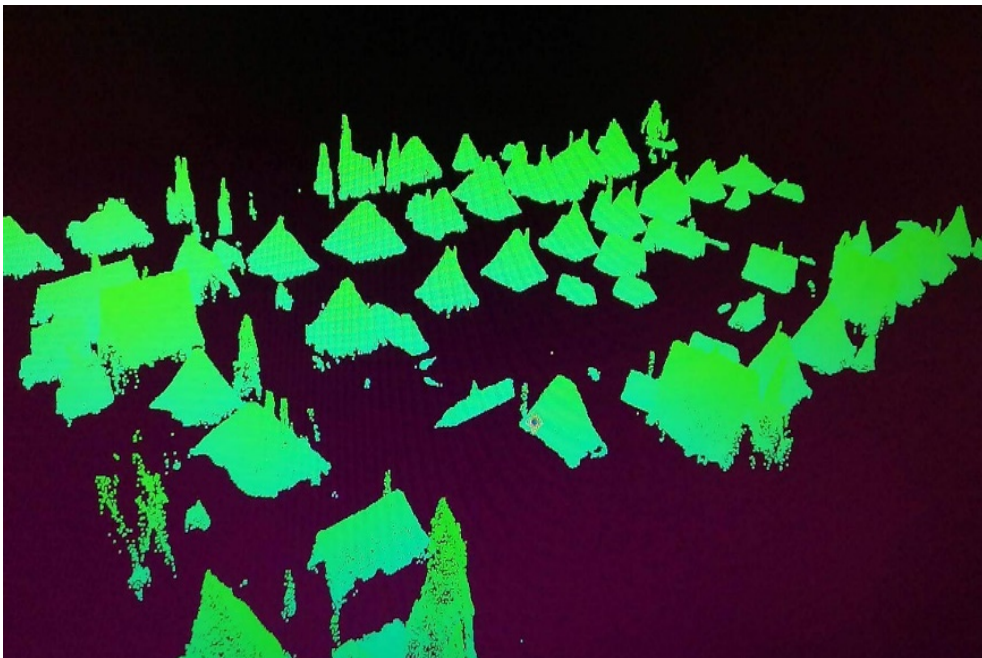
A felületek megszerkesztése után egy részletes szűrési folyamatot végeztem, amely során kiszűrtem azokat a pontokat, amelyek az előre meghatározott akadályfelületeket metsztek. A maradék pontokat megvizsgáltam, összehasonlítva őket a légi felmérések során készült ortofotókkal (3.16. ábra). Ez lehetővé tette számomra, hogy

pontosan meghatározom az akadályok helyzetét és azonosítsam őket. A generált pontfelhő sűrűsége 5 cm-es légifelvételek térbeli felbontásánál több, mint 23 pont négyzetméterenként, de 3 cm-es felbontásnál ez az érték már több, mint 55 pont/m<sup>2</sup>. Ez eredményezte a nagy fájl méreteket, így a pontfelhőt és modelleket külső HDD merevlemezen adtam át a légiforgalmi irányító szolgálatnak.

Az elemzési fázis során minden egyes akadályt beazonosítottam, figyelembe véve azok fizikai és geometriai jellemzőit. Ezt követően létrehoztam egy adatbázist, amely tartalmazta az összes releváns információt az akadályokról, mint például magasság, koordináták, típus, és egyéb korábban is bemutatott specifikus adatok.

A kutatás egyik lényeges része volt a fotók hozzárendelése az egyes akadályokhoz, amelyeket a terepi felmérések során készítettünk. Ezek a fényképek nem csak vizuális bizonyítékokat szolgáltatottak az akadályok létezéséről, hanem segítettek a metaadatok pontosításában és a szoftveres elemzések validálásában is.

Az Agisoft Metashape, a Global Mapper és a QGIS szoftverek biztosították a szükséges eszközöket és funkcionalitást, hogy a pontfelhőből származó információkat hatékonyan kezeljük és feldolgozzuk.

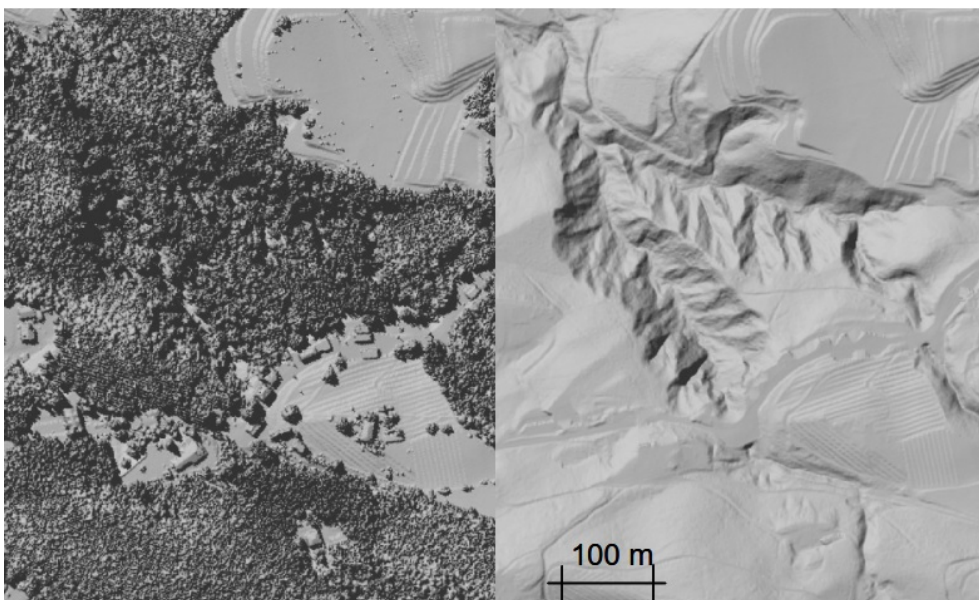


**3.16. ábra** Felületek beszerkesztése és pontfelhő megszűrése utáni állapot Debreceni Nemzetközi Repülőtéren, ahol a domborzat észak-keleti emelkedése eredményezte, hogy sok lakóház is akadállyá minősült (Bakó et al. 2019)

### 3.7.2. Digitális Felszínmodell (DFM)

A repülőterek belső területein, EOVS koordináta-rendszerben létrehozott, TIN alapú digitális felszínmodellel olyan térbeli adathalmazt kaptunk, amely az adott repülőtér földfelszínének topográfiáját és domborzatát, valamint a természetes és épített objektumok burkolófelületét digitális formában jól reprezentálta (3.17. ábra). A modell általában a földfelszín egyenlő távolságra lévő pontjait tartalmazza, amelyekhez magassági értékek vannak hozzárendelve és DFM csak nagy átfedés használatával lehet ortogonális. A 10 km sugarú területen a DFM sűrűsége 17 cm volt. Ezek az adatok lehetővé teszik a domborzat és lehetséges akadályok alapvető jellemzőinek, például hegyek, dombok pontos modellezését, amelyek kulcsfontosságúak lehetnek az akadály adatgyűjtés, térképezés, repülőtéri tervezés és egyéb területek szempontjából.

A DFM alkalmazásai a légiközlekedés területén sokrétűek lehetnek. A modell repülőtéri környezetben értelmezett használata lehetővé teszi topográfiai és felületi elemzéseket, térbeli vizsgálatokat, például repülőtér tervezés esetében vagy futópályák, gurulóutak, forgalmi előterek lejtőstabilitás elemzését.



**3.17. ábra** Digitális felszínmodell (balra) és terepmodell (jobbra)  
(EUROCONTROL eTOD manual 2015)

### 3.7.3. Digitális Terepmodell (DTM)

A szintén légi fotogrammetriával létrehozott, ortogonális vetítésű digitális terepmodell ugyancsak egy térbeli adatmodell, amely a földfelszín topográfiaját mutatja be digitális formában a 10 km sugarú Area 2 területen, ahol megközelítőleg 50 cm-es sűrűséget használtunk. Felhasználása szintén számos területen elterjedt. Repülőtér tervezés során segítséget nyújt többek között a területkihasználtsági tervek kidolgozásában. Fontos szerepe van a geológiai kutatásokban és a környezetvédelemben is, ahol támogatást nyújt a vízvezetés és a talajerózió elemzésében egy repülőtér életében. A digitális terepmodell generálása után azt átadtam a légiforgalmi irányító szolgáltatnak felhasználásra, ugyanakkor az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtésben kiemelkedően meghatározó szerepet nem alkotott.

A digitális terepmodell és a digitális felületmodell nagyon hasznosak voltak a Szegedi repülőtér működésének különböző szakaszaiban, beleértve a tervezést, a létesítmények üzemeltetését és karbantartását is. A topográfiai adatok alapján meg lehetett határozni a legmegfelelőbb területeket a repülőtér infrastruktúrájának fejlesztéséhez, figyelembe véve a domborzati viszonyokat és a környezeti feltételeket. A DTM segítségével értékelhető volt a terület lejtésvizsgálata, ami kulcsfontosságú a repülőtér tervezésénél, továbbá a digitális terepmodell segítségével értékelhető a repülőtér területén a vízvezetés és az árvízvédelem rendszereinek hatékonysága. A pontosság és részletesség lehetővé teszi a levezetési útvonalak megtervezését és optimalizálását. Egy repülőtér életében mind a DTM, mind a DFM segítségével könnyebben megfigyelhetők a terepen bekövetkező változások és károk, és ezeket az adatokat fel lehet használni a karbantartási és javítási feladatok megtervezéséhez. Ez csak néhány példa arra, hogy a DTM és a DFM milyen módon alkalmazható egy repülőtér mindennapi működésében. Összességében ezek a térbeli adatmodellek kulcsfontosságúak a repülőtér infrastruktúrájának hatékony tervezésében, üzemeltetésében és karbantartásában, amellet, hogy az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés kötelező elemeit képzik.

## 4. Eredmények

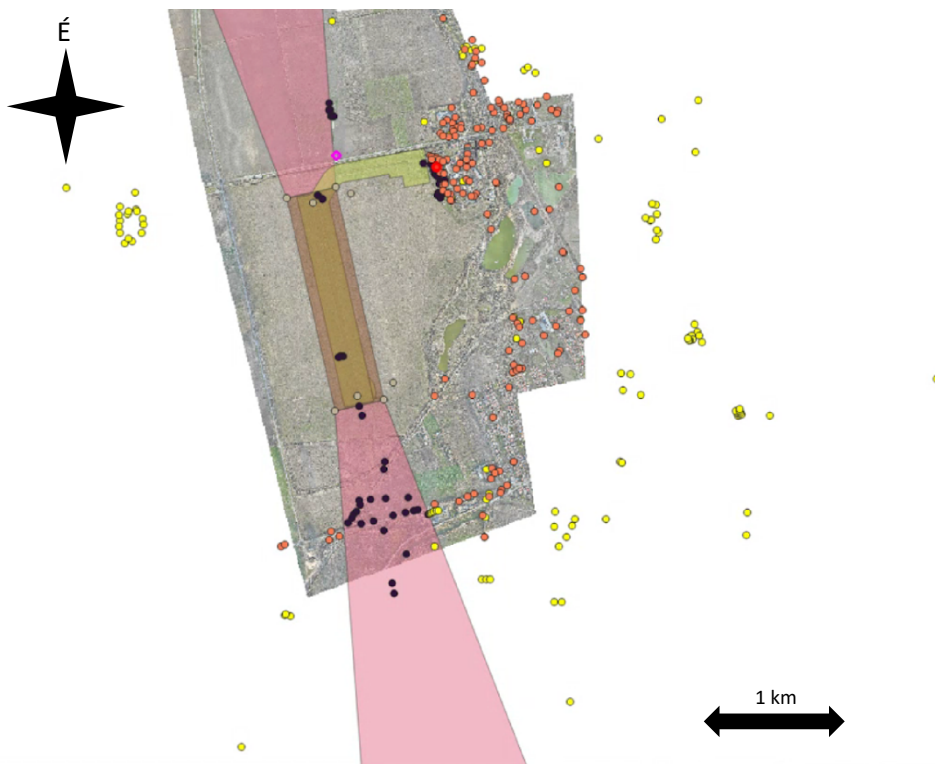
### 4.1. A párhuzamos felmérési folyamat eredményei

#### 4.1.1. Szegedi Repülőtér

A kutatás során a repülőtér referencia pontjából kiindulva, 10 km-es körzetben gyűjtöttük a légiforgalmi akadály adatokat. A generált pontfelhő, valamint a terepi geodézia időben párhuzamos alkalmazása eredményezte a térségben, 229 akadály adatbázisokba rendezését Szegedi Repülőtéren, ami a korábbi adatbázisokhoz hasonlítva nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltatott a légiforgalmi irányító szolgálatok irányába (4.1. ábra).

A korábban érvényben lévő adatbázissal szembeni különbség szignifikáns mértéket öltött. Legtöbb akadály az Area 2c területen belül generálódott és jelentős számban előfordultak magas objektumok az Area 2b területeken is. Az Area 3 területen – azaz a mozgási területen - 24 darab objektum képzett akadályt, amelyek többnyire navigációs berendezések voltak. A Szegedi Repülőtér kutatási részben az akadálykorlátozási és akadályvédelmi felületek nem kerültek GIS (Geographic Information System) szoftverben való megszerkesztésre és pontfelhő szűrésre, csupán a legszigorúbb követelményekkel rendelkező akadály adatgyűjtési felületekkel dolgoztunk. Szeged repülőtere esetében néhány akadálykorlátozási felület megrajzolásra került szemléltetési célokból, ahogyan az például a 3.5. ábrán is látható.

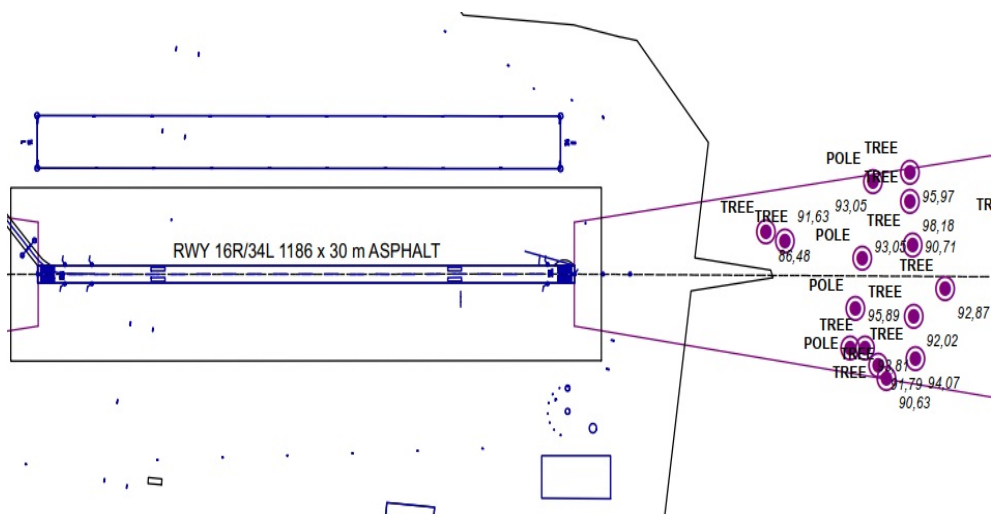
A 10 kilométeres körzetben épületeken, víztornyokon, kommunikációs antennákon kívül számos magas fát észleltünk, valamint jelentős számú olyan akadályt detektáltunk, amelynek abszolút magassága első látásra nem sorolta volna az objektumot az akadály adatbázisba (4.2. ábra). Például az Area 2b területeken 5 méter magasság alatti fák, vagy az Area 3 területen 1 és 2 méter alatti objektumok például táblák vagy egyéb navigációs berendezések. Továbbá, a 10 kilométeres körzethatár széleinél, igencsak távoleső és nehezen megközelíthető területeknél érzékeltünk olyan akadályokat, amelyek nehezen lettek volna felismerhetők és begyűjthetők megfelelő távérzékelési folyamatok alkalmazása nélkül. Ez szintén alátámasztja kutatásom tapasztalatát, miszerint a távérzékelés és ellenőrző terepi mérések párhuzamos alkalmazása eredményezett egy közel négyszer nagyobb akadály adatbázist.



**4.1. ábra** Szegedi Repülőtér kijelölt valamennyi akadály adatgyűjtési felülete. Jól láthatóak a különböző kategóriába eső akadályok, mint sárga, piros és fekete pontok

Számos olyan akadályt sikerült begyűjtenünk, ami csupán terepi geodéziával nem sikerült volna. Ekkora területnél nagy számban fordulnak elő takarásban lévő, földfelszínről nem látható akadályok. Ahogy korábban bemutattam, az optimális megoldás a légi távérzékelés és terepi geodéziai módszerek együttes alkalmazása volt. A légi kikötő a város nyugati területén fekszik (ARP WGS 84 koordináta: 461503N 0200521E). A pontfelhő az ARP pontból kiinduló 10 km sugarú területen és annak mintaterületein képződött. A megközelítés irányába eső, tehát a futópálya középvonalának hosszabbításában a területek jóval szigorúbb előírásokat követelnek meg. A futópálya középvonalra merőleges, tehát oldalirányban elhelyezkedő „areák” jóval engedékenyebb gyűjtést tesznek lehetővé. A megközelítés irányában a kritériumok nagyságrendekkel szigorúbbak, ugyanis a légi járművek ezen területek fölött repülnek rendszeresen. Szerencsés tényezőként említhető, hogy a repülőtér környezetében a domborzat nem emelkedik hátrányos mértékben. A területek fölötti kijelölt akadály adatgyűjtési, korlátozási felületek nem domborzat követők, így egy

erős szintemelkedésnél jóval több akadály kerülhet egy-egy adatbázisba. Korábbi kutatások megmutatták, hogy nem szignifikánsabb nagyobb repülőtereknél, ha már csak kilométerenként néhány tíz métert is emelkedik a domborzat, nagyságrendekkel több akadály tapasztalható.



**4.2. ábra** AOC (Aerodrome Obstacle Chart) Repülőtéri akadálytérkép részlet a futópálya körüli akadályokkal Szegedi Repülőtéren

Az egyes felületek – repülőtér specifikusan – akár több, mint 10 kilométerre is kiérhetnek és legtöbbször folyamatosan emelkedik is a távolság növelésével. A légi adatgyűjtéshez merevszárnyú repülőgépet használtunk, amire csatlakoztattunk egy nagyfelbontású kamerarendszert. A felvételek és a pontfelhő 2017 nyarán készültek, amikor a besugárzás mértéke elegendő volt a nagysebességű légi fotogrammetria alkalmazásához, mivel a repülőterek forgalma nem akadályozható és napokon keresztül a nagyrészletességű anyagok elkészítéséhez negyvennél is több repülési sorra volt szükség. Folyamatos repülőtéri és AFIS (Aerodrome Flight Information Service) egyeztetésekkel, két nap alatt tudtuk lerepülni a valamennyivel több, mint 300 négyzetkilométeres területet.

A Szegedi Repülőtér esetében a felmért akadály adatok elemzése rávilágított a környezeti változások és az emberi tevékenység hatásainak fontosságára is. A területen végzett építkezések és a természetes vegetáció növekedése jelentősen befolyásolta a repülőtéri akadálykörnyezetet. A projekt során végzett részletes mérések és az adatok összehasonlítása lehetővé tette, hogy a repülőtér üzemeltetője és a hatóságok jobban megértsék és előre jelezzék a potenciális akadályokat, így proaktívan kezelhessék a légi navigációs kockázatokat.

A 10 km sugarú terület valójában egy nyújtott kör alak. Ennek magyarázata, hogy a 10 km sugár a gyakorlatban nem az ARP pontból indul ki, hanem a futópálya körüli, Area 2a téglalap alakú terület szeleiről. A zónák lerepülését szakavatott pilóta hajtotta végre, akinek nagy gyakorlata volt a precíziós légi fotogrammetriai repülések területén. A felvételek fotogrammetriai feldolgozását Agisoft Metashape és Global Mapper szoftverrel hajtottuk végre. A szoftverek felhasználták a geodéziai GNSS (Global Navigation Satellite System) tájékozási pontokat, valamint GPS adatokat is.

#### 4.1.2. Debreceni Nemzetközi Repülőtér

A Debreceni Nemzetközi Repülőtér környezetében több, mint 20 terület fölött több, mint 20 felületet szerkesztettünk meg térinformatikai szoftverben. Az eredmény 30 adatbázis, amelyek tartalmazzák magukat a terep- és akadály adatokat, valamint metaadataikat is. Utóbbiakra azért van szükség, mert a légiforgalmi irányító szolgálatoknak és pilótáknak pontos képet kell alkotniuk az objektumokról. Az egyik legfontosabb adat a koordinátapár, amelynek meghatározását szabályzat és útmutató segíti, mivel a rendszerint sok pontból leképződő, speciális alakzatú objektumok főpontjai jogilag definiáltak. EOV vetületi rendszerben (projection) gyűjtöttük az adatokat, viszont ICAO előírás szerint az adatszolgáltatás WGS-84 vetületben történt.

A repülések által generált pontfelhő és a kifejlesztett gyűjtési módszer alkalmazásával a területen található, 5437 akadály adatbázisba gyűjtése valósult meg, amely a korábbi és független adatbázisokhoz képest nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltatott az AIS számára. Számos olyan terep- és akadály adatot sikerült összegyűjteni, amelyeket terepi geodéziai felméréssel, korábbi tapasztalatainkra támaszkodva nem lehetett volna biztonságban véghez vinni. Így egy közel 320 km<sup>2</sup> - es terület felmérése számos bonyodalommal járt volna. Ilyen például az objektumok takarása, a földről nem látható akadálycsúcsok mérése. Kutatásom egyik eredménye, hogy az optimális megoldás az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtésben a légi távérzékelés és az azt követő terepi geodéziai módszerek együttes alkalmazása.

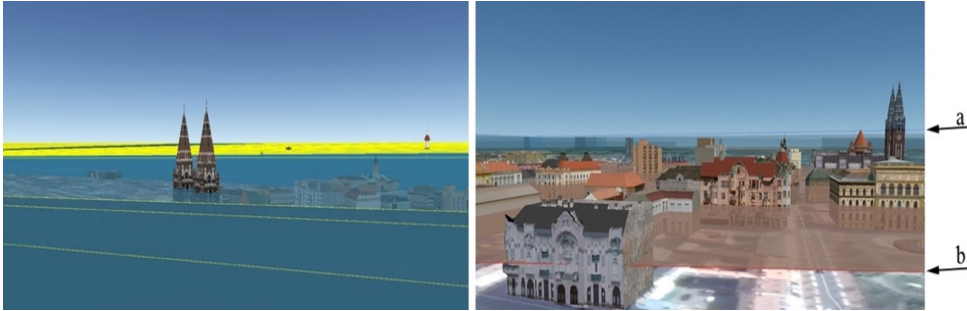
A Debreceni Repülőtér esetében tehát a kutatás nemcsak jelentős mennyiségű adatot szolgáltatott, hanem alapvetően formálta át a repülőtéri akadálykezelési és biztonságtechnikai gyakorlatokat, biztosítva ezzel a repülésbiztonságot és növelve a repülőtéri adatkezelés hatékonyságát. Az eredmények rámutattak arra, hogy a távérzékelési megoldások, mint a légi fotogrammetria, elengedhetetlen eszközök a

légiközlekedés biztonságának folyamatos javításában, amibe beletartozik az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés is.

A kutatás során szerzett tapasztalatok alapján készült jelentés részletesen tárgyalta a meglévő akadálykezelési protokollok hiányosságait és javaslatot tett a repülőtéri biztonsági szabályzatok módosítására. A javaslatok között szerepelt az akadályfelügyeleti rendszer fejlesztése, amely magában foglalta a rendszeres felülvizsgálatok megszervezését, valamint a légi távérzékelési technológiák, mint a légi fotogrammetria vagy légi lézerszkennelés (LiDAR: Light Detection and Ranging), szélesebb körű alkalmazását a jövőbeni felmérések során.

A kutatás és munkavégzés során a definiált felületeket metsző objektumok adatait szolgáltatni kellett a légiforgalmi irányító szolgálatok irányába (4.3. ábra). További, nagyon fontos tény, hogy a kisebb, 10 km sugarú területben emellett, hogy egy repülőteret kellett felmérni, ehhez csatlakozott Debrecen és Szeged városa is. Az említett városok szinte teljes területükkel beletartoztak abba a zónába, ahol nekünk pontfelhőt kellett gyűjtenünk, majd szakszerűen megszűrni azokat. A szűrés eredményezi a felületek fölött maradt pontokat, így azokkal tudunk dolgozni és ki tudtuk értékelni a terep- és akadály objektumokat. Itt megfelelő tűrésekkel dolgoztunk, nehogy a felület alá került legfelső objektumpontok feletti vékonyodó objektumkiterjedés miatt kimaradjon egy pózna vagy antenna. A korábbi, csupán terepen lezajlott felmérésekből láthattuk, hogy csupán a terepi geodézia alkalmazása nem garantálja az akadályok biztonságos gyűjtését.

A több mint négy hónapig tartó munka eredményezte azt, hogy az adatbázisba pluszban került be Szeged esetén több száz, Debrecen esetében több ezer terep- és akadály objektum. Ezek kezelése nagyon felelősségteljes munka, hiszen ezen adatbázisok képezik a tervezett eljárások alapjait. A pontosságnak, felbontóképességnek és egyéb numerikus követelményeknek való megfelelést is ezzel a technológiával tudtuk elérni. 3; 5; 7,5; 10 cm-es térbeli felbontást alkalmazva, 0,5 km<sup>2</sup> és 0,4 km<sup>2</sup> méretű mintaterületen került tesztelésre az alkalmazott technológia. A merevszárnyú repülőgép 230–340 km/h sebességtartományban és 650–890 méteres terep feletti magasságtartományban gyűjtötte az adatokat (Bagdi et al. 2023). A légi fotogrammetria és terepi geodézia együttes alkalmazása a legmegbízhatóbb módszernek tekinthető emellett, hogy jelen pillanatban ezen technológia használata ekkora területeken gazdaságosnak tekinthető.



**4.3. ábra** Jól látható, hogy egyes akadályok metszik a megszerkesztett felületeket („a” és „b” felületek)

Megállapítható, hogy 10 cm GSD (Ground Sampling Distance) alkalmazásával, merevszárnyú repülőgéppel ma már képesek vagyunk felmérni egy nap alatt közel 350 négyzetkilométernyi területet. Nagyobb teljesítményű légi járművel ez akár 1000 négyzetkilométer fölé is emelkedhet (Bakó et al. 2014).

A munkavégzés során megmutatkozott az, hogy elektronikus terep- és akadály adatgyűjtést csupán terepi geodéziával végezni kifejezetten veszélyes, hiszen én is tapasztaltam, hogy légi távérzékelés alkalmazásával nagy mennyiségű plusz akadály képződik. Ez abból adódik, hogy szükség van egy magassági rálátásra ilyen nagyságú és komplexitású területek felmérésénél, kiemelve azt a tényezőt, hogy repülésbiztonságról van szó. Minden egyes be nem gyűjtött objektum, potenciális veszélyt jelent a légi járművek számára.

## 4.2. Légi jármű távérzékelési hatékonyság tesztek bemutatása

### 4.2.1. Merevszárnyú repülőgépes távérzékelési tesztek

A kutatás részét képezték azok a távérzékelési tesztek, amelyek alátámasztották az ICAO numerikus követelményeinek kielégítését az akadályok gyűjtése során. A kijelölt tesztelési területek fölött elsőnek is a merevszárnyú repülőgéppel végzett távérzékelést vizsgáltuk. Szegedi Repülőtér forgalmát számításba véve, előre megtervezett sorokat repültünk a Cessna 182-es és Piper PA-32 típusú repülőgéppel, távérzékelésre specializálódott pilóta irányításával. Az első tesztrepüléseket 10 cm-es majd későbbi felszállások alkalmával már 7,5; 5 és 3 cm -es felbontás tartományokon

végeztük, amelynek sikeres alkalmazásával a numerikus követelményekben definiált értékektől nagyobb felbontás és pontosság értékekkel tudtunk dolgozni. A kezdeti 0,5 km<sup>2</sup>-es mintaterület magába foglalta a repülőtér valamennyi belső területét, valamint a 34L küszöbtől kezdve, déli irányban a megközelítés irányában lévő zónáit, ahol előzetesen láthatóak voltak magasabb objektumok.

A repülőgép sebességét úgy volt szükséges beállítanunk, hogy a kamerarendszer megfelelően tudja a légifelvételek készíteni, viszont mégis egy optimális sebességet találjunk meg, ami megfelelő a repülőgép számára is, figyelembe véve azt, hogy az Area 2-ben távérzékelésre szoruló területek nagysága kiemelkedően nagy. Tehát olyan sebességet kellett meghatározni, amellyel 1-2 repülési napon belül eredményesen elvégezhető a pontos adatgyűjtés. Így alakult ki a gyakorlatban is jól alkalmazható 230–340 km/h-s repülési sebesség. A másik kritikus beállítási paraméter a légi jármű sorokon alkalmazott repülési magassága volt. Az időjárási, repülőtéri forgalmi, valamint a kamerarendszer beállítási paramétereit figyelembe véve az optimális terep feletti magasság 600 és 900 méter között lett meghatározva. Ebből a magasságból olyan ortofotókat tudtunk készíteni, amelyekkel később az irodai feldolgozás során jól tudtunk dolgozni és kellő pontosságú pontfelhőt tudtunk generálni. Ezzel a repülőgép típussal és ezekkel a beállított sebességi és magassági értékekkel más repülőtereken is eredményesen tudtuk gyűjteni az akadályokat. Fontos volt definiálnunk a sávok és sorok közötti átfedéseket és kidolgoznunk olyan ellenőrzési folyamatokat, amelyek során a meghatározott átfedéseket tartani tudtuk, különös hangsúlyt fektetve a szél erősségére és irányára. Magas sorok közötti átfedéseknél nem lett volna hatékony a nagy területek lerepülése, alacsony átfedéseknél pedig veszélyeztettük volna a távérzékelés és észlelés hatékonyságát, pontosságát. Több tesztben kijelölt repülési sorok alkalmazását követően azt tapasztaltam, hogy merevszárnyú repülőgép és légi fotogrammetria alkalmazása mellett a 40% sávok közötti és 70-90% soron belüli átfedések használata nagy mértékben kielégítő és biztonságos távérzékelést tesz lehetővé a repülőtéri elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés folyamata során.

#### 4.3. Korábbi és új adatbázisok összehasonlítása

##### 4.3.1. Akadálykorlátozási felületek szerinti összehasonlítás

A kutatás során az egyik legtöbb munkát az akadálykorlátozási felületekhez köthető adatgyűjtéssel végeztük. A pontfelhő szűrése adta meg a további vizsgálatra váró pontokat, amelyek a repülőtér területén vagy azon kívül akadályt jelentenek. Ezek a

felületek igényelték a legnagyobb figyelmet a munka során, ugyanis kevésbé szigorú kritériumokkal definiálta azokat az ICAO. Ezért azt az akadályt, amely magassága miatt ezt a felületet is metszi, már potenciálisan veszélyes légiforgalmi akadálynak tekintettük. A légiforgalmi irányító szolgálat és a légügyi hatóságok is kiemelt figyelmet fordítottak az ilyen típusú akadályokra.

Amikor egy légitársaság leszáll, egy bizonyos szögben ereszkedik, ahol a sebesség alacsony, és mindez alacsony magasságban történik.

**8. táblázat** Korábbi és jelen kutatás tárgyát képező, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása Debreceni Nemzetközi Repülőtéren (Bagdi et al. 2021)

	<b>Korábbi adatbázis (darab)</b>	<b>Jelenlegi adatbázis (darab) (légi fotogrammetria + terepi geodézia)</b>
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

A földi akadályok közelsége kritikus egy repülőgép számára. E felületek részadatbázisai tartalmazzák a vizsgált akadályokat. Ennek oka, hogy egy olyan tárgy, amely meghaladja a vonatkozó akadálykorlátozási felületet, könnyen lehet olyan objektum, amely potenciális veszélyt jelenthet a légiközlekedés számára. Ebben az esetben további vizsgálatot igényel az akadályjelzés jelenléte. Akadály festése, zászlók és akadályvilágítás használata. Kutatásunk eredményei megerősítik, hogy az optimális távérzékelési módszer kiválasztása nélkül az adatbázisok nagy valószínűséggel hiányosak lesznek. Egy korábbi, tőlünk független felmérés eredménye mindösszesen 9 darab adatbázisba rendezett akadály. Ezzel szemben a terepi mérések és a légi távérzékelés kombinált módszere hozta létre azt a 276 akadály objektumot, amelyek adatait az akadály gyűjtési felületek alatti területeken gyűjtöttük a Szegedi Repülőtéren. Megállapítható, hogy a nagyfelbontású fotogrammetriai kiértékelés és a kombinált módszer (légi fotogrammetria és ellenőrző terepi geodézia) tekinthető a legmegbízhatóbb módszernek, amellyel, hogy e technológia alkalmazása az ilyen területeken jelenleg gazdaságos és időhatékony.

A 8. táblázat alapján szignifikáns különbségek figyelhetők meg a Debreceni Nemzetközi Repülőtéren. Az általam alkalmazott technológia az akadályok gyűjtésére a légi fotogrammetria alkalmazása volt ellenőrző terepi geodéziai mérésekkel. Ennek eredménye mutatkozik meg a jelenlegi adatbázisok számaiban összehasonlítva a korábbi adatbázisokkal. Az egyik legkritikusabb felület típus a megközelítési felület, amely a leszállások és felszállások irányában helyezkedik el, ahol a légi járművek viszonylag földközelségben mozoghatnak. Ebben az esetben a korábbi adatbázisban 5 darab akadály volt meghatározva. Ezzel szemben a kutatás során 34 terep- és akadály objektumot mértünk be és szolgáltatunk (Bagdi et al. 2021). Ebben az esetben kimondható, hogy a technológiák és azok által gyűjtött akadály adatok száma között nagyságrendbeli különbségek vannak, amely nem megengedhető a légiközlekedésben értelmezett repülésbiztonságban.

A kúpos felület egy jóval magasabban fekvő kúp formájú gyűjtő alakzat, amely a repülőtér nagyobb távolságban lévő, magasabb akadályait definiálja. Ezen felület esetében legalább 45 méter magasságú objektumokról beszélünk, amely Debrecen és térsége tekintetében jelenetős kiemelkedéssel bíró akadályt képezhet. A korábban érvényben lévő adatbázis szerint 1 darab ilyen akadályt észleltek és szolgáltatottak a hatóságok és légiforgalmi irányító szolgálatok irányába. Kutatásunk 6 darab akadályt közölt a kúpos felületek metszésében. Említésre méltó a belső vízszintes felület, mely felület magassága 45 méter, sugara 2500 méter. Kritikus és potenciálisan nagy veszélyt jelentő akadályok kerülhetnek ebbe az adatbázisba, amelyre az ICAO nagy

hangsúlyt fektet. Itt publikálva láthattunk korábban közölt 2 akadályt, még saját felmérésünk 37 akadályt érzékelt és mért be. Ezeknél a különbségeknél megfigyelhető, hogy megfelelő távérzékelés alkalmazása hiányában, a repülőtér aktív területeiről messzebb elhelyezkedő objektumok, amelyek akadályokat képezhetnek, sokkal nehezebben észlelhetőek. Ez kritikus az elektronikus terep- és akadály adatbázis készítés folyamatában. A belső vízszintes felület már eltávolodik mintegy 2500 méteres távolságban a repülőtértől. Csupán terepi geodéziai mérésekkel, vagy kisebb teljesítményű drónokkal a felmérés itt már nagyságrendekkel nehezebb feladat.

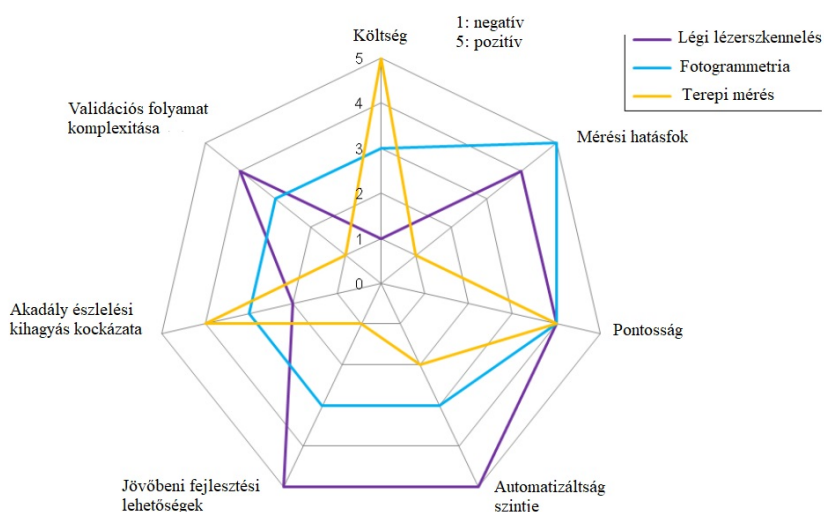
A kutatásom alapján megállapítható, hogy többek között az ICAO által leírt elektronikus terep- és akadály adatgyűjtési folyamat, nem végezhető el biztonságban csupán terepi geodéziai mérésekkel és szemrevételezési eljárásokkal. Az Area 2 terület közel 320 négyzetkilométeres területének kielégítő pontosságú és numerikus követelményeknek eleget tevő akadály adatbázisait párhuzamos távérzékelési és ellenőrző terepi geodéziai mérésekkel lehet biztonságosan létrehozni. A felszállási emelkedési, belső átmeneti, megszakított megközelítési, belső megközelítési és külső vízszintes felületek tekintetében a korábbi felmérések nem terjedtek ki ezen síkok általi vizsgálatokra, így azok adatbázisai nem tartalmaztak akadályokat.

Megfelelő időjárási és besugárzási körülmények között körülbelül 350 négyzetkilométeres területet tudunk felmérni 10 cm-es GSD-vel (Ground Sampling Distance). Egy szubszonikus repülőgéppel (jellemzően 500-1000 km/óra) ez a terület 1000 km<sup>2</sup> -re növelhető. A modern digitális CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) kamerák viszonylag nagy utazósebesség mellett is éles képet biztosítanak. Kutatásunk során bebizonyosodott, hogy az alkalmazott légi távérzékelés alkalmazása nagyságrendekkel pontosabb és megbízhatóbb akadály-adatbázisokat biztosít.

A terepi geodéziai mérések és a kombinált gyűjtési módszer adatbázisában szereplő akadályok mennyisége közötti különbség közel 1000-szeres lehet, az akadálykorlátozási felületek szerinti adatbázisok esetében pedig több mint 30-szoros. A légifelvételek eredményeként olyan potenciálisan veszélyes akadályokat is sikerült begyűjteni, amelyeket a terepviszonyok és a kulturális adottságok miatt nagyon nehéz lett volna detektálni, vagy adott esetben elkerülte volna a mérést végző személyzet figyelmét. Ez a légiközlekedési ágazatban nem megengedett, hiszen a cél a repülésbiztonság fenntartása és folyamatos fokozása, figyelembe véve a gazdasági és időbeli tényezőket is.

#### 4.4. Akadálydetektálás a GSD függvényében

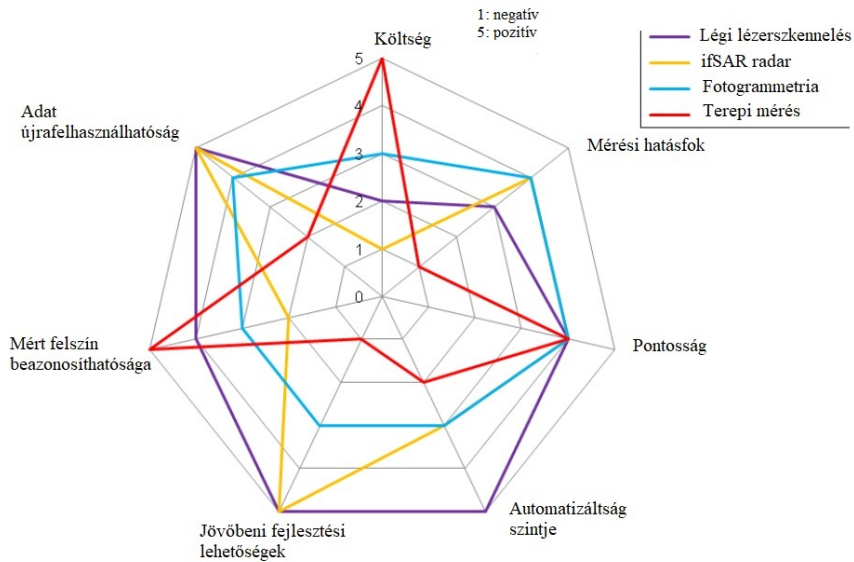
A repülőterek felmérésének egyik alternatívája a hagyományos terepi mérés, de ennek a módszernek a kizárólagos alkalmazása során a szakemberek számos nehézséggel szembesülhetnek. Ez a módszer nem teszi lehetővé a nehezen megközelíthető pontok felmérését, ráadásul időigényes és nem hatékony; összességében nagyobb területek felmérésére önmagában nem ajánlott. Ezenkívül a több száz négyzetkilométeres területek terepi geodéziai felmérése nem teszi lehetővé a megfelelő sűrűségű felmérés elvégzését.



**4.4. ábra** Felmérési technológiák összehasonlítása akadály adatok gyűjtésénél (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

Az EUROCONTROL-tól származó 4.4. és 4.5. ábrák alapján, napjainkban a repülőterek térképezéséhez a terep- és akadály adatokat az ICAO vonatkozó numerikus követelményeinek megfelelően a leghatékonyabban és legnagyobb mérési hatásokkal többek között a légi fotogrammetria módszerrel lehet összegyűjteni (Goodbody et al. 2017). Fotogrammetriai módszerrel a könnyen megkülönböztethető objektumok előírt magassági pontossága  $\pm 30$  cm-es értékkel megvalósítható. Ez messze meghaladja az ICAO által előírt értékeket. Ezt a pontosságot 55%-os és 60%-os átfedés mellett is csupán 15 cm-es GSD-vel érték el. Nagyobb térbeli felbontás esetén még nagyobb pontosság alkalmazható. Bár léteznek más, hasonlóan pontos

eljárások is például lézerszkennelés, ezek magasabb költsége gyakran szükségtelenül nagy pénzügyi terhekkel bírnak. Számos felhasználási esetben, mint például a keskeny oszlopok és az összetett akadályok gyűjtése, a LiDAR (light detection and ranging) pontfelhők további osztályozást igényelnek, ami fokozottan munkaiigényes lehet, és gyakran drága szoftvereket igényel. Az alkalmazástól függően a fotogrammetriai szolgáltatások jellemzően olcsóbbak, mint a LiDAR, ugyanakkor a lézerszkennelés egy jobban automatizált folyamat, valamint a technológia nagy előnye, hogy éjszaka és rosszabb látási viszonyok között is jól alkalmazható.



**4.5. ábra** Felmérési technológiák összehasonlítása terep adatok gyűjtésénél (ifSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar), (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

Az Eclips LiDAR például 600 méteres AGL (Above Ground Level) magasságban a talajszint felett 60°-os látómezővel 5 pont/m<sup>2</sup> -es sűrűséget ér el. Ebben az esetben a sávok körülbelül 700 méter szélesek (Bakó et al. 2019). Ehhez képest az optikai kamera 9 cm-es térbeli felbontású képeket készített. Az alacsony költségű, közepes felbontású, 50-80 MP-es légi kamera 5 cm GSD-vel bíró képeinek fotogrammetriai feldolgozásával legalább háromszor nagyobb sűrűségű pontfelhő készíthető hasonló vagy rövidebb repülési idővel. A Galaxy LiDAR esetében a sávok szélessége az AGL magasság 10-115%-a. 500 méter föld feletti magasságból, 60 pts/m<sup>2</sup>-rel 210 km/h földhöz viszonyított sebességig gyűjthetőek az akadályok. Ugyanakkor a minimális céltávolság garantálja, hogy csak a keskeny, magas, 70 cm-nél szélesebb objektumok

észlelhetőek. Például az épületek tetején lévő kis méretű antennák magasságát is meg kell határozni, de ezek alig észlelhetőek a LiDAR által generált pontfelhőben. Ezzel szemben a fotogrammetria esetében a pontfelhőben nem ábrázolt keskeny akadályok megjelennek az ortofotókon és manuális fotogrammetriai kiértékeléssel mérhetőek. A nagyon keskeny objektumok (például antennák, utcai lámpák) detektálásához a képméretnek nagyobbak kell lennie, mint a hagyományos felmérő repüléseknél és ez kisebb repülési magasságot igényel, de a legújabb technológia lehetővé teszi a nagy GSD-vel történő felmérés alkalmazását, gazdaságos repülési magasság és sebesség használatával (Petrovsky et al. 2015). Kutatásunk során 3; 5; 7,5 és 10 cm-es GSD felbontású képekkel dolgoztunk (4.6. ábra). Az így kapott térbeli pontosság jóval nagyobb, mint az előírt.



**4.6. ábra** A Debreceni Nemzetközi Repülőtér 3 cm-es GSD ortofotó-mozaikjának részletei (Bakó et al. 2019)

Az Eurocontrol szintén javasolja a légi fotogrammetria használatát a repülőterek felméréséhez - többek között gazdasági szempontból. A közvetlen georeferált

fotogrammetria pontossága, amelyet a földi ellenőrző pontok (GCP-k) is támogatnak, gyakran 1 pixel közelében van. Egyértelmű összefüggés mutatható ki a fotogrammetriai módszerrel készített pontfelhő Z irányú pontossága és a repülési sávok közötti átfedések százalékos aránya között (Bolognesi et al. 2014), ugyanis a nagy átfedés javítja a belső pontosságot (Gruber et al. 2006). Ezeknek a háromdimenziós adatbázisoknak és térképeknek a minősége egyenletes, és a helyi torzulások kiküszöbölhetők, így összességében kijelenthetjük, hogy megbízható és pontos adatgyűjtési módszerről van szó. A sűrű pontfelhővel azonban nem tudunk annyi potenciális akadályt felismerni, mint amennyit a légifelvételek felhasználásával és a manuális fotogrammetriai kiértékeléssel végzett méréssel detektálni tudunk. Vékony objektumok automatikus elemzése nem volt lehetséges, mert a bizonytalan pontokat kiszűrte a szoftver. Észlelési határ alatti pontokat is meg tudunk manuálisan állapítani, amennyiben a felvételeken láthatóak voltak a keskeny objektumok pontos geolokációi.

**9. táblázat** Akadályérzékelés GSD függése (Bakó et al. 2019)

Légifelvételek 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

A GSD-tartományok összehasonlítása mellett összevetettük a sűrű pontfelhő, a manuális fotogrammetriai kiértékelés, a terepi felmérés és mindezen adatok felhasználásával az akadályfelmérés megbízhatóságát is. Az egyes eljárások hatékonyságát a kombinált módszer eredményeivel hasonlítottam össze. A pontfelhő részletessége miatt a kis kiterjedésű akadályok észlelhetőségét rontja leginkább a légi

felmérés térbeli felbontásának csökkenése. Ezért a 10. táblázat a 40 cm-nél kisebb átmérőjű akadályokat számszerűsíti.

**10. táblázat** Az olyan akadályok észlelhetősége, amelyek átmérője 40 cm-nél kisebbek - különböző felbontással végzett felmérések közepes sűrűségű pontfelhőivel vizsgálva (Bakó et al. 2019)

Légifelvételek térbeli felbontása (cm)	Átlagos pontsűrűség (pont/m <sup>2</sup> )	40 cm-nél kisebb detektált akadályok (%)
3	55.5	58
5	23.3	39
7,5	10.2	35
10	4.5	6

Ennek eredményeként megállapítható, hogy a nagy felbontású fotogrammetriai kiértékelés, és különösen a kombinált módszer tekinthető a legmegbízhatóbb módszernek egy olyan felmérés esetében, amelyet adott idő- és pénzügyi ráfordítással végeznek. Amint a 9. és 10. táblázatban látható, a felbontási érték növelésével radikálisan csökken a manuálisan bemérendő objektumok száma.

**11. táblázat** Eurocontrol felmérési módszer ajánlása az egyes területekre (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

	ALS	ifSAR	Fotogrammetria	Terepi mérés
Area 1	+	++	+	∅
Area 2	++	++	++	∅
Area 3	+ / ++	-	+ / ++	+
Area 4	+ / ++	-	+ / ++	++

A 11. táblázatban a felmérési módszerekre vonatkozó ajánlások találhatóak. A szimbólumokat az alábbiak szerint kell értelmezni:

„++”: technikailag nagyon alkalmas és nagyon költséghatékony;

„+”: technikailag nagyon alkalmas, de nem a legköltséghatékonyabb;

„Ø”: technikailag alkalmas, de nagyon rossz a költség/haszon arány;

„-”: nem felel meg a technikai követelményeknek és nagyon rossz a költség/haszon arány.

ALS: Airborne Laser Scanning

IfSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar

A légi fotogrammetriai módszer, amely gyors és pontos, joggal tekinthető egy jól dokumentálható és biztonságos felmérési formának. Légi távérzékelés használatával az akadályok gyűjtése nem korlátozódik az előzetes, szemrevételezéssel működő terepi geodéziai mérések által magasnak ítélt objektumokra. Az 1 cm-es térbeli felbontás esetén a megbízhatóság a körülményektől függően 1 és 3 cm között van. A körülmények alatt a képek átfedésének mértékére, az élességre, a képek zajára és dinamikájára, az expozícióra és a közvetlen tájolás pontosságára, illetve a GCP-k pontosságára utalok. Emellett, 10 cm-es vagy jobb térbeli felbontású légifelvételével (4.7. ábra), legalább 70%-os felvételek közötti és legalább 40%-os sávok közötti átfedéssel az eTOD adatgyűjtési munkafolyamat felgyorsítható és megkönnyíthető, lehetővé téve a pénzügyi kiadások jelentős csökkentését (Bakó et al. 2019). Kutatásaim alapján az Area 2c terület esetében a gazdaságos, de igen részletes 5 cm-es térbeli felbontású felmérést és a kombinált gyűjtési módszert látom optimálisnak, de megjegyzem, hogy a paraméterek számos meghatározó tényezőtől és változótól függenek. A 12. táblázat tartalmazza az Area 1-4 területekre vonatkozó – kutatásaimat alátámasztó – gyakorlatban optimálisan használható felbontás paramétereket.

**12. 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



**4.7. ábra** Szegedi Repülőtér 3 cm-es GSD ortofotó-mozaikok

#### 4.5. Az eredmények validálása

A kutatás során kiderült, hogy a környezeti tényezők, mint például a fák növekedése és az ember által épített kulturális táj változásai (Nuijten et al. 2021), jelentősen befolyásolják a repülőterek akadály adatbázis készleteit. Kiemelt fontosságú, hogy az adatbázisok naprakész állapotban legyenek. A természetes vegetáció, különösen a fák növekedése, jelentős kihívást jelent a repülőtéri akadálykezelés számára. A fák magassága idővel változik, ami közvetlenül befolyásolja a repülési korlátokat és az

akadálymentes légtereket. Ezen kívül, az építési projektek és az infrastrukturális fejlesztések, mint új épületek, magas építmények vagy kommunikációs tornyok, szintén gyorsan változtathatják meg a repülőterek környezetét. Ezek a változások potenciálisan új akadályokat teremthetnek.

Mindezek fényében a kutatás azt sugallja, hogy szükséges minimum két évente elektronikus terep- és akadály adatgyűjtést végezni. Ez a gyakoriság lehetővé teszi, hogy az adatbázisok naprakész információkat tartalmazzanak, és így a repülőtéri üzemeltetők időben reagálhassanak a változásokra. Az elektronikus adatgyűjtés, mint a légi fotogrammetria vagy LiDAR használata, különösen hatékony módszerek a terep- és akadály adatok pontos gyűjtésére. Összességében, a kutatás alátámasztja az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés kritikus szükségességét minden második évben, mint egy alapvető művelet a repülésbiztonság fenntartása és javítása érdekében. Ez a megközelítés biztosítja, hogy a repülőterek képesek legyenek adaptálódni a gyors környezeti változásokhoz, és megfelelően kezelni a légiközlekedéssel kapcsolatos potenciális kockázatokat.

#### 4.5.1. Korábbi adatbázisokkal való összehasonlítás

Az összehasonlító elemzés során alaposan vizsgáltam a korábban létrehozott akadálykorlátozási felületek adatbázisait és összevettem azokat az újonnan gyűjtött adatokkal. A korábbi adatbázisok gyakran csak néhány akadályt tartalmaztak, ami rámutat arra, hogy az alkalmazott módszerek nem voltak eléggé részletesek vagy kiterjedtek, hogy megfelelően lefedjék az adott területeket. Az új adatok, amelyek a légi fotogrammetria és ellenőrző terepi geodéziai mérések kombinált alkalmazásával készültek, jelentős mértékben növelték az azonosított akadályok számát, ezáltal biztosítva a repülésbiztonság növelését. Az összehasonlítás során különösen figyelmet fordítottunk azokra a kritikus felületekre, mint a megközelítési, belső átmeneti és a belső vízszintes felületek, amelyek a repülőgépek számára a legnagyobb kockázatot jelenthetik. A korábbi adatok alacsony száma és a szűk területi lefedettség jelentős biztonsági rést képezett, amit az új technológiák alkalmazásával sikerült megszüntetni. Az új adatok felhasználásával nem csak több akadály került azonosításra, hanem a felmért területek mérete is lényegesen megnőtt, biztosítva ezzel a repülőtér és annak környezetének teljes körű vizsgálatát.

A korábbi és új adatbázisokban szereplő akadályok fizikai jellemzőit, helyzetét és potenciális veszélyeit is elemeztem. Ennek során kiemelten foglalkoztam azokkal a potenciális veszélyforrásokkal, amelyek a korábbi felmérések során nem kerültek azonosításra. Az elemzés végezetével a kutatás megerősítette, hogy a légi távérzékelési technikák és a terepi geodéziai mérések kombinációja elengedhetetlen az elektronikus terep- és akadály adatbázisok pontos és megbízható készítése számára. Az összehasonlító elemzés és a korábbi módszerek hiányosságai rámutattak arra, hogy a modern technológiák - amelyek képesek szélesebb területeket lefedni és magasabb pontosságot biztosítani - alkalmazása szükségszerű.

#### 4.5.2. Független mérések

A merevszárnyú repülőgéppel végzett légi felmérések és a terepi geodéziai módszerek párhuzamos alkalmazása lehetővé tette, hogy összehasonlító adatokat nyerjünk, amelyek kulcsfontosságúak voltak az eredmények megbízhatóságának értékelésében.

A kutatás során a légi felmérésekkel több mint 276 akadályt azonosítottunk az akadály gyűjtési felületek metszésében, míg a korábbi, hagyományos módszerekkel végzett felmérések csak 9 akadályt tártak fel a Szegedi Repülőterén. Ez a számottevő különbség rávilágított arra, hogy a modern távérzékelési technológiák mennyivel hatékonyabbak a nagyobb területek lefedésében és a pontosságban. A terepi geodéziai mérések során használt felszerelések, mint a Topcon Hyper és Leica Viva GPS műszerek, valamint kalibrált Topcon mérőállomások, kiemelkedő pontosságot biztosítottak. Az 1,5 cm vízszintes és 5 cm függőleges pontossággal rögzített illesztőpontok segítségével validáltuk a légifelvételek adatpontjait. A repülőter belső, 0,5 négyzetkilométeres területén végzett terepi geodéziai mérések során gyűjtött adatokat összehasonlítottuk a merevszárnyú repülőgépről készületekkel. Az összehasonlítás során megállapítottuk, hogy a légi fotogrammetriával detektált akadályok száma megegyezik a hagyományos terepi módszerekkel felmért akadályok számával a kijelölt mintaterületen.

Összesen 51 darab légiközlekedési akadályt azonosítottam a Debreceni Nemzetközi Repülőter, valamint 24 akadályt a Szegedi Repülőter Area 3 és az általunk kijelölt mintaterületein. A fotogrammetriai feldolgozás során a pontfelhőt az akadálykorlátozási felületek metszészvizsgálatának alapjául használtam, amely

lehetővé tette a potenciális akadályok magasságának és pozíciójának nagy pontosságú meghatározását. Az így detektált akadályok elsősorban antennák, világítóberendezések és egyéb, a repülőtér területén található navigációs objektumok voltak.

A fotogrammetriai eredmények megbízhatóságának alátámasztására minden azonosított akadályt terepi geodéziai mérésekkel validáltam, valamint a szemmel is jól belátható mintaterületen a légi fotogrammetriától függetlenül hoztam létre akadály adatbázist csupán terepi eszközökkel. A méréseket a már említett Topcon Hyper RTK és Leica Viva GPS műszerekkel, valamint kalibrált Topcon mérőállomásokkal végeztem, amelyek  $\pm 8$  mm + 1 ppm vízszintes és  $\pm 15$  mm + 1 ppm függőleges pontosságot biztosítottak RTK módban. A terepi felmérés során minden egyes akadály pontos földrajzi koordinátáját és magassági értékét meghatároztam, majd összevettem a fotogrammetriai feldolgozásból nyert adatokkal. Az összehasonlítás eredménye azt mutatta, hogy a légi felmérésből származó adatok vízszintes irányban átlagosan 1,5 cm, függőleges irányban 5 cm eltérést mutattak a geodéziai méréshez képest, valamint a mintaterületeken a fotogrammetriai módszerrel és terepi műszerrel detektált akadályok száma megegyezett.

Ez az eredmény igazolta, hogy a légi fotogrammetria és a sűrű pontfelhő-alapú objektumdetektálás alkalmas a légiközlekedési akadályok nagy pontosságú azonosítására.

Végeredményben, a kutatásom megerősítette, hogy az ICAO által leírt elektronikus terep- és akadály adatgyűjtési folyamat csak a modern légi távérzékelés és a független terepi geodéziai mérések kombinációjával végezhető el biztonságosan. Ez a megközelítés nemcsak, hogy növeli a repülésbiztonságot, hanem időt és költségeket is megtakarít, miközben javítja az adatbázisok pontosságát és teljességét.

## 5. Összefoglalás

A Debreceni Nemzetközi Repülőtér és a Szegedi Repülőtér adatbázisainak és elektronikus terep- és akadály adatgyűjtéseinek összehasonlító elemzése képezte a doktori disszertáció kutatási alapját. A felmérés során a repülőterek ARP pontjából kiindulva 10 km sugarú körzetben gyűjtöttük a légiforgalmi akadály adatokat, megfelelve a nemzetközi jogszabályoknak. Ezekben a kiterjedt területeken összesen körülbelül 6000 akadály került az adatbázisokba, amely a korábbiakhoz képest jelentősen pontosabb adathalmazokat szolgáltatott a légiforgalmi irányító szolgálat számára.

A projekt során alkalmazott módszertanunk, amely a légi távérzékelést ötvözte a terepi ellenőrző mérésekkel, kiemelkedően fontosnak bizonyult. Ezen kombinált megközelítés nélkül a közel 320 km<sup>2</sup>-es terület felmérése számos komplikációt okozott volna, úgy, mint az objektumok takarása és a földfelszínről nem látható akadálycsúcspontok mérése. A merevszárnyú repülőgép 220-340 km/h sebességgel és 640-860 méter magasságban gyűjtött adatot, valamint 40%-os sávok közötti és 70-90%-os felvételek közötti átfedéssel biztosította a szükséges pontosságot és felbontást.

A több mint négy hónapig tartó adatgyűjtési folyamat során több száz terep- és akadály objektum került be az adatbázisba. Ezek kezelése különös felelősséget igényelt, mivel ezek az adatok képezik a repülési eljárások tervezésének alapját. A felhasznált technológia lehetővé tette, hogy a pontossági, felbontási és egyéb numerikus követelményeknek megfelelő eredményeket érjünk el. Az adatgyűjtési módszer tesztelése során 0,5 km<sup>2</sup> és 0,4 km<sup>2</sup>-es mintaterületeken 3; 5; 7,5, illetve 10 cm-es térbeli felbontást alkalmaztunk, ami további bizonyítékul szolgált a technológia megbízhatóságára.

A kutatás során megállapítottuk, hogy a 10 cm-es Ground Sampling Distance (GSD) mellett, egy nap alatt akár 350 négyzetkilométernyi terület is felmérhető merevszárnyú repülőgéppel, ami 1000 négyzetkilométerre is növelhető nagyobb teljesítményű légijárművel, megfelelő időjárási körülmények mellett. A munka során bebizonyosodott, hogy az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés végzése csupán terepi geodéziával kifejezetten veszélyes lehet, mivel a légi távérzékelés nélkül számos további akadály ismeretlen marad. A magassági rálátás nélkülözhetetlen a nagy és komplex területek felmérésénél, kiemelve a repülésbiztonság fontosságát. Összességében kutatásom alapvetően alátámasztotta, hogy a légi távérzékelés és a terepi ellenőrző mérések kombinációja jelenti a legmegbízhatóbb módszert a

repülőteri adatgyűjtés területén. A légi fotogrammetria alkalmazása kivételes megbízhatóságot biztosít ebben a munkatípusban, emellett gazdaságos megoldást nyújt nagy területek felmérésére, mint amilyen egy Area 2 zóna egy repülőter térségében (Rahlf et al. 2017). A megfelelő technológia alkalmazása és a numerikus követelmények szigorú betartása kulcsfontosságú az adatok pontosságának és használhatóságának biztosítása érdekében.

Kutatásom egyik legfontosabb eredménye az volt, hogy feltárta az egyes akadály adatgyűjtési technológiák közötti jelentős különbségeket a begyűjtött akadály adatok számát illetően. Ez rávilágított arra, hogy milyen fontos a modern és integrált módszerek alkalmazása a repülésbiztonság és a légiközlekedés hatékonyságának növelése érdekében.

## 6. Summary

The comparative analysis of the electronic Terrain- and Obstacle Data collections from Debrecen International Airport and Szeged Airport formed the foundation of my doctoral dissertation research. The data collection was conducted within a 10 km radius from the Airport Reference Point (ARP) of these airports, according to international regulations. This extensive survey resulted in the accumulation of approximately 6,000 obstacles data, which, compared to previous databases, provided significantly more accurate datasets for Aeronautical Information Services.

Our project methodology, which combined aerial remote sensing with terrestrial survey, proved to be crucial. Without this combined approach, surveying the nearly 320 square kilometers would have posed numerous complications, such as obstructions and the measurement of terrain and obstacle peaks that are not visible from the ground. Data was collected by a fixed-wing aircraft flying at speed between 220-340 km/h and altitudes of 640-860 meters, ensuring the necessary accuracy and resolution with overlaps of 40% between the lines and 70-90% forward overlap between photos.

The data collection process, which lasted over four months, resulted in the addition of several hundred terrain and obstacle objects into database. The management of these data required particular responsibility as they form the basis for planning flight procedures. The technology applied, allowed us to meet the precision, resolution, and other numerical requirements effectively. The testing of the data collection method involved using spatial resolutions of 3; 5; 7,5, and 10 cm on test plots of 0,5 km<sup>2</sup> and 0,4 km<sup>2</sup>, further demonstrating the reliability of our technology.

Our research established that with a Ground Sampling Distance (GSD) of 10 cm, it is possible to survey up to 350 square kilometers in a single day using a fixed-wing aircraft, which could be extended to over 1,000 square kilometers with a higher performance aircraft under suitable meteorological conditions. The project highlighted the dangers of conducting electronic terrain- and obstacle data collection solely through terrestrial geodesy as numerous additional obstacles can form without the use of aerial remote sensing. The vertical perspective provided by aerial remote sensing is indispensable for surveying large and complex areas, emphasizing the importance of flight safety.

Overall, my research fundamentally confirmed that the combination of aerial remote sensing and terrestrial survey is the most reliable method for airport data collection. The application of aerial photogrammetry provides exceptional reliability for this type of work and offers an economical solution for surveying large areas like an Area 2

zone around an airport (Rahlf et al. 2017). The proper application of technology and the strict adherence to ICAO numerical requirements are crucial to ensuring the accuracy and usability of the data.

One of the most significant findings of my research was the discovery of considerable differences between various obstacle collection technologies in terms of the number of obstacles gathered. This highlighted the importance of using modern and integrated methods to enhance flight safety and the efficiency of aviation sectors. My dissertation underscores the substantial advancements in data accuracy and methodology, which are critical for the ongoing enhancement of aviation safety and operational procedures at airports.

## **Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretném kifejezni hálámat és köszönetemet minden egyénnek és szervezetnek, akik hozzájárultak doktori disszertációm elkészítéséhez.

Külön köszönetet szeretnék mondani a Debreceni Egyetemnek és a Földtudományok Doktori Iskolának azért a támogatásért, amit a kutatásom előremozdítása érdekében nyújtottak. Hálás vagyok a sok tudásért, amit a kutató társak és oktatók átadtak nekem, amelyek nélkülözhetetlenek voltak a kutatási munkám során.

Hálával tartozom témavezetőmnek, Dr. Szabó Gergelynek, valamint Dr. Szabó Szilárdnak, akik nemcsak, hogy irányt mutattak nekem, de támogatásukkal és szakmai útmutatásukkal hozzájárultak tudományos cikkeim sikeres megjelenéséhez is. Köszönet illeti Dr. Bakó Gábort is, akivel közös kutatásokat és cikkek írását végeztük a távérzékelés és elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés területén az elmúlt évek során. Munkája és elkötelezettsége nagyban hozzájárult szakmai fejlődésemhez. Dr. Halmi Ákos és Dr. Juhász Attila opponenseknek köszönöm kiváló bírálói munkájukat és magas szakmai felkészültségüket.

Köszönetemet fejezem ki Csámer Lorándnak is, aki az egyetemi évek alatt nem csak tanulótársam volt, hanem kölcsönösen motiváltuk egymást a képzés során.

Ezen felül köszönettel tartozom azoknak a belföldi és külföldi kutatóknak, akiknek tudományos munkásságát felhasználhattam a disszertációmban. Szintén köszönetet mondok az Erenfield és Interspect vállalkozásoknak, amelyek szintén támogatták kutatásaimat.

Külön köszönet illeti Baló Tamást, aki lehetővé tette a repülőtéri környezetben végzett kutatásaim elindítását és sikeres véghezvitelét.

Végezetül, de nem utolsósorban, szeretnék köszönetet mondani családomnak, akik az évek során folyamatosan támogattak és bíztak bennem. Különös hálával tartozom szüleimnek, különösképpen feleségemnek Bettinek, akik a doktori képzés időszakában mellettem álltak és kitartó támogatást nyújtottak.

## Felhasznált irodalom

1. Alhassanieh, M., Nassar, M., Aouad, A., et al. (2021). OLS modeling using GIS for aviation safety within a challenging topographic and urban neighborhood: The case of Beirut Rafic Hariri International Airport. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1835. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07981-9>
2. Alonso, P., Iñiguez de Gordo, J. A., Ortega, J. D., García, S., Iriarte, F. J., & Nieto, M. (2023). Automatic UAV-based airport pavement inspection using mixed real and virtual scenarios. In *Proceedings of SPIE 12701, Fifteenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2022)*, 1270118. <https://doi.org/10.1117/12.2679734>
3. Ayeni, A. O., Musah, A., & Udofia, S. K. (2018). Assessment of potential aerodrome obstacles on flight safety operations using GIS: A case of Murtala Mohammed International Airport, Lagos-Nigeria. *Journal of Geographic Information System*, 10, 1–24. <https://doi.org/10.4236/jgis.2018.101001>
4. Ağaçasapan, B., & Çabuk, A. (2019). Sustainable aviation: GIS for airport. *GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 2(1).
5. 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)
6. 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>
7. 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. <https://doi.org/10.3311/PPtr.20851>
8. Bagdi, Z., Csámer, L., & Bakó, G. (2023). The green light for air transport: Sustainable aviation at present. *Cognitive Sustainability*, 2(2). <https://doi.org/10.55343/cogsust.55>
9. Bakó, G., Molnár, Z., Bakk, L., Horváth, F., Fehér, L., Ábrám, Ö., Morvai, E., Bíró, C., Pápay, G., Fűrész, A., Penksza, K., Pácsonyi, D., Demény, K., Juhász, E., Dékány, D., Csernyava, L., Illés, G., & Molnár, A. (2021). To-

- ward a high spatial resolution aerial monitoring network for nature conservation—How can remote sensing help protect natural areas? *Sustainability*, 13, 8807. <https://doi.org/10.3390/su13168807>
10. 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. <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>
  11. 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>
  12. Barroso, L. F., & Correia, A. R. (2014). Risk assessment on runway safety areas: Assessing the severity of accidents. In *Proceedings of the 18th Air Transport Research Society World Conference*. Bordeaux, France: ATRS.
  13. Bolognesi, M., Furini, A., Russo, V., Pellegrinelli, A., & Russo, P. (2014). Accuracy of cultural heritage 3D models by RPAS and terrestrial photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 113–119.
  14. Cenni, N., Fiaschi, S., & Fabris, M. (2021). Integrated use of archival aerial photogrammetry, GNSS, and InSAR data for the monitoring of the Patigno landslide (Northern Apennines, Italy). *Landslides*, 18, 2247–2263. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01635-3>
  15. Chen, X., Ji, R., Jiang, T., & Zhao, R. (2020). A new flight procedure and obstacle limitation surface-based approach to airport clearance area analysis. In *2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)* (pp. 864–868). <https://doi.org/10.1109/ICCASIT50869.2020.9368796>
  16. Chio, S.-H., & Chiang, C.-C. (2020). Feasibility study using UAV aerial photogrammetry for a boundary verification survey of a digitalized cadastral area in an urban city of Taiwan. *Remote Sensing*, 12, 1682. <https://doi.org/10.3390/rs12101682>
  17. Clark, E. (2016). *Applying GIS technology in airport management* (Honors thesis, Bowling Green State University). <https://scholarworks.bgsu.edu/honorsprojects/679>
  18. 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.isprsjprs.2014.02.013>

19. 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>
20. Contreras-Alonso, M. R., Ezquerra-Canalejo, A., Pérez-Martín, E., Herrero-Tejedor, T. R., & López-Cuervo Medina, S. (2020). Environmental assessment of obstacle limitation surfaces (OLS) in airports using geographic information technologies. *PLOS ONE*, 15(2), e0229378. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229378>
21. de Lima, R. S., Lang, M., Burnside, N. G., Peçña, M. V., Arumäe, T., Laarmann, D., Ward, R. D., Vain, A., & Sepp, K. (2021). An evaluation of the effects of UAS flight parameters on digital aerial photogrammetry processing and dense-cloud production quality in a Scots pine forest. *Remote Sensing*, 13, 1121. <https://doi.org/10.3390/rs13061121>
22. Edelman, H., Stenroos, J., Peña Queralta, J., Hästbacka, D., Oksanen, J., Westerlund, T., & Röning, J. (2023). Analysis of airport design for introducing infrastructure for autonomous drones. *Facilities*, 41(15/16), 85–100. <https://doi.org/10.1108/F-11-2022-0146>
23. EUROCONTROL. (2006). Air navigation system safety assessment methodology (SAM) (SAF.ET1.ST03.1000-MAN-01, Ed. 2.1). Eurocontrol.
24. EUROCONTROL. (2015). Terrain and obstacle data manual (EUROCONTROL GUID-0158). Eurocontrol.
25. European Organization for the Safety of Air Navigation. (2015). Terrain and obstacle data manual. Eurocontrol.
26. Falavigna, G. P., Iescheck, A. L., & de Souza, S. F. (2020). 3D modeling to identify and quantify obstacles in aerodrome protection zone. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 26(2), e2020009. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702020000200009>
27. Falavigna, G. P., Iescheck, A. L., & de Souza, S. F. (2021). Obstacles risk classification model in aerodromes protection zones using the multi-criteria decision analysis AHP. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 27(4), e2021027. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702021000400027>
28. 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.

29. 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>
30. Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Hermosilla, T., Tompalski, P., & Crawford, P. (2017). Assessing the status of forest regeneration using digital aerial photogrammetry and unmanned aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15–16), 5246–5264. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1402387>
31. Gordon, G. (2005). Making 21st century air transportation safer. *Earth Imaging Journal*, 2(2).
32. Gruber, M., & Ladstätter, R. (2006). Geometric issues of the digital large format aerial camera UltraCam. In *Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW* (pp. 25–27). Castelldefels, Spain.
33. 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>
34. Hubbard, S., Pak, A., Gu, Y., & Jin, Y. (2018). UAS to support airport safety and operations: Opportunities and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 6(1), 1–17. <https://doi.org/10.1139/juvs-2016-0020>
35. International Civil Aviation Organization. (2001). *Manual on certification of aerodromes (Doc 9774)*. ICAO.
36. International Civil Aviation Organization. (2002). *ICAO Doc 9674 AN/946: World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual (2nd ed.)*. ICAO.
37. International Civil Aviation Organization. (2006). *Aerodrome design manual: Part I – Runways (Doc 9157, 3rd ed.)*. ICAO.
38. International Civil Aviation Organization. (2011). *Report of the second meeting of the AFI region electronic terrain and obstacle data working group (AFI e-TOD WG/2)*. ICAO.
39. International Civil Aviation Organization. (2016). *Annex 19: Safety management (Vol. 2)*. ICAO.
40. International Civil Aviation Organization. (2018). *Annex 14: Volume I*. ICAO.
41. International Civil Aviation Organization. (2018). *Annex 6: Operation of aircraft – Part I: International commercial air transport – Aeroplanes*. ICAO.
42. International Civil Aviation Organization. (2018). *Coverage areas and requirements for data provision*. In *Annex 15, Chapter 10.1*. ICAO.

43. International Civil Aviation Organization. (2018). Obstacle data numerical requirements. In Annex 15, Appendix 8, Table A8-2. ICAO.
44. International Civil Aviation Organization. (2018). Terrain data numerical requirements. In Annex 15, Appendix 8, Table A8-1. ICAO.
45. International Civil Aviation Organization. (2004). ICAO Doc 9881: Guidelines for electronic terrain, obstacle and aerodrome mapping information.
46. Kim, D., & Kim, W. Y. (2016). A case study on application of obstacle limitation criteria for specific conditions of airports. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 24(2), 25–34. <https://doi.org/10.12985/ksaa.2016.24.2.025>
47. Kim, N.-Y., & Han, C.-H. (2012). Searching through the legal requirements of airfield's obstacle limitation surface for extension of Goheung Aviation Test Center. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 20(3), 1–10. <https://doi.org/10.12985/ksaa.2012.20.3.001>
48. Kitsakis, D., & Dimopoulou, E. (2016). Possibilities of integrating public law restrictions to 3D cadastres. [Conference presentation or journal, további részletek szükségesek az APA-formázáshoz]
49. Kovanič, L., Blistan, P., Štroner, M., Urban, R., & Blistanová, M. (2021). Suitability of aerial photogrammetry for dump documentation and volume determination in large areas. *Applied Sciences*, 11, 6564. <https://doi.org/10.3390/app11146564>
50. Lee, D., Yun, S., Park, B., Kim, J., & Kim, J.-H. (2021). A study on improvement of aeronautical study system for potential obstacles in the vicinity of aerodromes. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 29(4), 166–174. <https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.166>
51. 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>
52. Li, Z. (2018). 3D visualization of aerodromes clearance analysis based on ArcGIS. *Journal of Civil Aviation*, 2(1), 11–15. <https://d.wanfang-data.com.cn/periodical/minhxb201801004>
53. Liu, Z., & Yue, X. (2009). Research and development of GIS airport pavement management system based on MapX. In 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (pp. 407–409). <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.813>

54. 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>
55. Nuijten, R. J. G., Coops, N. C., Watson, C., & Theberge, D. (2021). Monitoring the structure of regenerating vegetation using drone-based digital aerial photogrammetry. *Remote Sensing*, 13, 1942. <https://doi.org/10.3390/rs13101942>
56. Næsset, E., Gobakken, T., Jutras-Perreault, M.-C., & Ramtvedt, E. N. (2021). Comparing 3D point cloud data from laser scanning and digital aerial photogrammetry for height estimation of small trees and other vegetation in a boreal–alpine ecotone. *Remote Sensing*, 13, 2469. <https://doi.org/10.3390/rs13132469>
57. Papadopoulos, E., & Gonzalez, F. (2021). UAV and AI application for runway foreign object debris (FOD) detection. In 2021 IEEE Aerospace Conference (50100) (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/AERO50100.2021.9438489>
58. Parrish, C. E., & Nowak, R. D. (2009). Improved approach to LIDAR airport obstruction surveying using full-waveform data. *Journal of Surveying Engineering*, 135(2), 72–82. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2009\)135:2\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2009)135:2(72))
59. Peasley, B., & Birchfield, S. (2013). Real-time obstacle detection and avoidance in the presence of specular surfaces using an active 3D sensor. In 2013 IEEE Workshop on Robot Vision (WORV) (pp. 197–202). <https://doi.org/10.1109/WORV.2013.6521938>
60. Petrovsky, A., Bosman, P., Green, P., Heerbaart, A., & Brenner, F. (2015). Eurocontrol terrain and obstacle data manual (p. 140). Eurocontrol.
61. Petrovsky, A., Doole, M., Ellerbroek, J., Hoekstra, J. M., & Tomasello, F. (2018). Challenges with obstacle data for manned and unmanned aviation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W10, 143–149. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W10-143-2018>
62. Pinelli, G., & Veracini, T. (2015). Remote sensing monitoring of changes potentially associated to obstacles to air navigation. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Milan, Italy: IEEE.

63. 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>
64. Qiao, X., Lv, S. H., Li, L. L., Zhou, X. J., Wang, H. Y., Li, D., & Liu, J. Y. (2016). Application of DSM in obstacle clearance surveying of aerodrome. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B2, 227–233. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B2-227-2016>
65. Rahlf, J., Breidenbach, J., Solberg, S., Næsset, E., & Astrup, R. (2017). Digital aerial photogrammetry can efficiently support large-area forest inventories in Norway. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 90(5), 710–718. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpx027>
66. 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>
67. 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>
68. 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.
69. Uddin, W., Gutelius, B., & Parrish, C. (2011). Airborne laser survey specifications and quality management protocols for airport obstruction surveys. *Transportation Research Record*, 2214(1), 117–125. <https://doi.org/10.3141/2214-15>
70. Vadlamani, A., Smearcheck, M., & Uijt de Haag, M. (2005). Preliminary design and analysis of a lidar based obstacle detection system. In *24th Digital Avionics Systems Conference* (pp. 6.B.2–61). <https://doi.org/10.1109/DASC.2005.1563386>
71. Wang, C., Hu, Y., & Tao, V. (2004). Identification and risk modeling of airfield obstructions for aviation safety management. In *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*. Istanbul, Turkey: ISPRS.
72. 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>

73. Wang, Q., Shen, Z., Cheng, X., & Wang, H. (2019). A fast ILS electromagnetic covering analysis method for new obstacles impact at expanded airport. In 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC) (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/DASC43569.2019.9081688>
74. Whitehead, K., Moorman, B. J., & Hugenholtz, C. H. (2013). Brief communication: Low-cost, on-demand aerial photogrammetry for glaciological measurement. *The Cryosphere*, 7, 1879–1884. <https://doi.org/10.5194/tc-7-1879-2013>
75. Yancho, J. M. M., Coops, N. C., Tompalski, P., Goodbody, T. R. H., & Plowright, A. (2019). Fine-scale spatial and spectral clustering of UAV-acquired digital aerial photogrammetric (DAP) point clouds for individual tree crown detection and segmentation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(10), 4131–4148. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2942811>
76. Yin, X., Zhang, Y., Wang, X., He, J., Zhai, L., & Wang, X. (2024). Rapid location technology of power grid around airport based on three-dimensional visualization of clearance area and GIS. In *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management (ICBAR '23)* (pp. 935–939). <https://doi.org/10.1145/3656766.3656921>
77. Zeng, G., Cui, K., Quan, Q., Lin, W., & Lei, Y. (2019). An airport airspace flow control method for drones. In 2019 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS) (pp. 178–182). <https://doi.org/10.1109/ICUS48101.2019.8996012>
78. Zhang, J., & Lin, X. (2016). Advances in fusion of optical imagery and LiDAR point cloud applied to photogrammetry and remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 8(1), 1–31. <https://doi.org/10.1080/19479832.2016.1160960>
79. Zhang, X. H., Liu, Y., Wang, H., Li, C., & Zhang, Y. (2014). Research on the influence of obstacles in the airport terminal area on ILS ground station. *Applied Mechanics and Materials*, 556–562, 4672–4676. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.556-562.4672>
80. Zhang, X., Yan, H., & Kong, Y. (2017). Study on airport route planning and management based on GIS. In 2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC) (pp. 1000–1003). <https://doi.org/10.1109/CompComm.2017.8322693>

81. Zhang, Y., Wu, H., & Yang, W. (2019). Forest growth monitoring based on tree canopy 3D reconstruction using UAV aerial photogrammetry. *Forests*, 10, 1052. <https://doi.org/10.3390/f10121052>
82. 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>
83. Özdemir, E., & Remondino, F. (2018). Segmentation of 3D photogrammetric point cloud for 3D building modeling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W10, 135–142. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W10-135-2018>
84. Żebrowski, M. (2023). Assessment of the technical condition of the airport runway surface using an UAV. *Journal of KONBiN*, 53(3), 15–28. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9057>

Internetes hivatkozás:

[1] Interspect Kft. 2024. <https://www.interspect.hu>

## Rövidítések jegyzéke

ABN – Aerodrome Beacon – Repülőtéri jelzőfény

AGL – Above Ground Level – Föld feletti magasság

AFIS – Aerodrome Flight Information Service – Repülőtéri repüléstájékoztató szolgálat

AIS – Aeronautical Information Service – Légiforgalmi tájékoztató szolgálat

ALS – Airborne Laser Scanning – Légi lézerszkennelés

AOC – Aerodrome Obstacle Chart – Repülőtéri akadály térkép

ARP – Aerodrome Reference Point – Repülőtéri vonatkoztatási pont

BOR – VOR Beacon – VHF irányadó állomás

CMOS – Complementary Metal-Oxide Semiconductor – Komplementer fém-oxid félvezető

CUST – Customs – Vámkezelés

D-GPS/INS – Differential GPS / Inertial Navigation System – Differenciális GPS / Inerciális navigációs rendszer

DFM – Digitális felületmodell

DTM – Digitális terepmodell

EAD – European AIS Database – Európai AIS adatbázis

EGM-96 – Earth Gravitational Model 1996 – 1996-os geopotenciális modell

eTOD – Electronic Terrain- and Obstacle Data (collection) – Elektronikus terep- és akadály adat(gyűjtés)

EOV – Egységes Országos Vetület

GCP – Ground Control Point – Földi illesztőpont

GIS – Geographic Information System – Térinformatikai rendszer

GNSS – Global Navigation Satellite System – Globális műholdas navigációs rendszer

GPS – Global Positioning System – Globális helymeghatározó rendszer

GSD – Ground Sample Distance – Talajmintavételi távolság (képfelbontás)

ICAO – International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

ifSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar – Interferometrikus szintetikus apertúrájú radar

ILS – Instrument Landing System – Műszeres leszállító rendszer

LHUD – Szegedi Repülőtér ICAO azonosítója

LHDC – Debreceni Nemzetközi Repülőtér ICAO azonosítója

LiDAR – Light Detection and Ranging – Lézer alapú távérzékelés

MET – Meteorology – Meteorológia

MP – Megapixel

NA – Not Available / Not Applicable – Nincs adat / Nem alkalmazható

OCS – Obstacle Collection Surfaces – Akadály/terep adatok gyűjtési felületei

OLS – Obstacle Limitation Surfaces – Akadálykorlátozási felületek

OPS – Obstacle Protection Surfaces – Akadályvédelmi felületek

PAPI – Precision Approach Path Indicator – Precíziós megközelítési irányjelző fény

PDOP – Position Dilution of Precision – Műholdak geometriailag kedvező eloszlásának mutató száma

RADALT – Radio Altimeter – Radarmagasságmérő

RGB – Red Green Blue – Három alapszín színmodell

RTK – Real-Time Kinematic – Valós idejű kinematikus helymeghatározás

RWY – Runway – Futópálya

SARPs – Standards and Recommended Practices – Szabványok és ajánlott gyakorlatok

SRA – Security Restricted Area – Szigorított védelmi terület

TIN – Triangulated Irregular Network – Szabálytalan háromszögháló

TMA – Terminal Manoeuvring Area – Polgári közeli körzeti irányítói körzet

TWR – Aerodrome Control Tower – Repülőtéri irányítótorny

TWY – Taxiway – Gurulóút

UAV – Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

VHF – Very High Frequency – Nagyon magas frekvencia (ultrarövidhullám)

VOR – VHF Omnidirectional Range – VHF tartományú, útvonali körsugárzó rádió-irányadó rendszer

## Ábrák jegyzéke

- 2.1. ábra: Különbéféle típusú és kiterjedésű akadályok pontként, poligonként és vonalként történő meghatározása (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.2. ábra: Légiforgalmi akadály a kijelölt akadály adatgyűjtési felület metszésében (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.3. ábra: Akadály objektum felület alatti leképzett alapterülete (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.4. ábra: Fa, mint pontszerű akadály az adatbázisokban (H: hosszúság és Sz: szélesség), (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.5. ábra: Nagyfeszültségű távvezetékoszlop, amely vonalszerű akadályt képez az adatbázisokban (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.6. ábra: Nagyobb kiterjedésű épület, amely poligonként definiálható (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 2.7. ábra: Repülőtéri futópálya és az azt körbevevő futópálya sáv (Runway Strip), valamint biztonsági felszállási terület szemléltetése (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 3.1. ábra: Területi felosztások az ICAO meghatározásában. Futópálya körüli területek, úgy, mint Area 2a, Area 2b, Area 2c és Area 2d (ICAO Annex 15 2018)
- 3.2. ábra: Kijelölt akadálykorlátozási felületek. Jól láthatóak a padlízsan színnel jelölt megközelítési felületek a futópálya mindkét végén (alaptérkép: Google Maps), (saját szerkesztés)
- 3.3. ábra: Debreceni Nemzetközi Repülőtér szerkesztett akadálykorlátozási felületei, ahol különböző színek mutatják a megközelítési felületek egyes szekcióit (alaptérkép: Google Maps), (saját szerkesztés)
- 3.4. ábra: OLS akadálykorlátozási felületek valamennyi síkjára: több szekció megközelítési, kúpos, belső vízszintes, belső átmeneti felületek a repülőtér futópályája körül (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 3.5. ábra: Szegedi Repülőtér akadály adatgyűjtési és néhány akadálykorlátozási felületeinek kijelölt állapota (lila szín: megközelítési felületek, zöld

szín: belső vízszintes felület, sárga: kúpos felület, alaptérkép: Google Maps) (saját szerkesztés)

- 3.6. ábra: Akadálykorlátozási felületek ICAO szerinti felülnézeti rajza (ICAO Annex 15 2018)
- 3.7. ábra: Akadálykorlátozási felületek ICAO szerinti oldalnézeti rajza (ICAO Annex 15 2018)
- 3.8. ábra: Két futópályával szemléltetett és világosszürke zónával jelölt Area 3 mozgási terület (ICAO Annex 15 2018)
- 3.9. ábra: Futópálya végén jelölt Area 4 terület elhelyezkedésének szemléltetése (ICAO Annex 15 2018)
- 3.10. ábra: Siló légiforgalmi akadály, amelyet méretei miatt több koordinátával szükséges definiálni az akadály adatbázisokban. Megfigyelhető az objektumon lévő magas és vékony antennák, melyek csúcs magasságait is szolgáltatni kell (saját fénykép)
- 3.11. ábra: Akadályfényvel ellátott antenna, ahol a kép jól mutatja a tényleges akadály csúcs magasságát (saját fénykép)
- 3.12. ábra: Vízszintes piros-fehér akadály jelölés egy magas kéményen, amely előírásoknak megfelelő akadályvilágítással is rendelkezik (saját fénykép)
- 3.13. ábra: Repülőtéri sorompó, mint mobilis akadály, amely felnyitott állapotában metszette a vonatkozó akadály felületet, így légiforgalmi akadályt képzett (saját fénykép)
- 3.14. ábra: A párhuzamos felmérési folyamat folyamatábrája
- 3.15. ábra: Felület szerkesztés előtti pontfelhő részlet, amely tartalmazza a magas akadályok pontjait (Bakó et al. 2019)
- 3.16. ábra: Felületek beszerkesztése és pontfelhő megszűrése utáni állapot Debreceni Nemzetközi Repülőtéren, ahol a domborzat észak-keleti emelkedése eredményezte, hogy sok lakóház is akadálynak minősült (Bakó et al. 2019)
- 3.17. ábra: Digitális felszínmodell (balra) és terepmodell (jobbra) (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 4.1. ábra: Szegedi Repülőtér kijelölt valamennyi akadály gyűjtési felülete. Jól láthatóak a különböző kategóriába eső akadályok, mint sárga, piros és fekete pontok (saját szerkesztés)
- 4.2. ábra: AOC (Aerodrome Obstacle Chart) Repülőtéri akadály térkép részlet a futópálya körüli akadályokkal (saját szerkesztés)

- 4.3. ábra: Jól látható, hogy egyes akadályok metszik a megszerkesztett felületeket („a” és „b” felületek) (Bagdi et al. 2023)
- 4.4. ábra: Felmérési technológiák összehasonlítása akadály adatok gyűjtésénél (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 4.5. ábra: Felmérési technológiák összehasonlítása terepadatok gyűjtésénél (EUROCONTROL eTOD manual 2015)
- 4.6. ábra: A Debreceni Nemzetközi Repülőtér 3 cm-es GSD ortofotó-mozaikjának részletei (Bakó et al. 2019)
- 4.7. ábra: Szegedi Repülőtér 3 cm-es GSD ortofotó-mozaikok (saját szerkesztés)

### **Táblázatok jegyzéke**

1. táblázat: Akadály adatok ICAO által meghatározott horizontális pontosság követelményei (ICAO Annex 15 2018)
2. táblázat: Horizontális felbontás numerikus követelmények az ICAO meghatározásában (ICAO Annex 15 2018)
3. táblázat: ICAO akadály adatok numerikus követelményei az egyes területekre vonatkozóan (ICAO Annex 15 2018)
4. táblázat: ICAO terep adatok numerikus követelményei az egyes területekre vonatkozóan (ICAO Annex 15 2018)
5. táblázat: Egyetlen épület típusú akadály valamennyi metaadata magyar nyelven (saját forrás)
6. táblázat: További metaadatok Building típusú akadályra vonatkozóan (saját forrás)
7. táblázat: Épület típusú akadály további metaadatai (saját forrás)
8. táblázat: Korábbi és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása Debreceni Nemzetközi Repülőtéren (Bagdi et al. 2021)
9. táblázat: Akadályérzékelés GSD függése (Bakó et al. 2019)
10. táblázat: Az olyan akadályok észlelhetősége, amelyek átmérője 40 cm-nél kisebbek - különböző felbontással végzett felmérések közepes sűrűségű pontfelhőivel vizsgálva (Bakó et al. 2019)
11. táblázat: Eurocontrol felmérési módszer ajánlása az egyes területekre (EUROCONTROL eTOD manual 2015)

12. táblázat: Kutatásom alapján ajánlott GSD paraméterek a numerikus követelmények függvényében az elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés során (saját forrás)

## Publikációim listája

- **CEAS Aeronautical Journal (2019)**



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. <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>

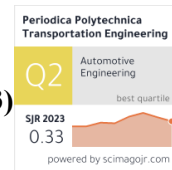
- **Repüléstudományi Közlemények (2020)**

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>

- **Modern Environmental Science and Engineering (2021)**

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)

- **Periodica Polytechnica Transportation Engineering (2023)**



**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. <https://doi.org/10.3311/PPtr.20851>

- **Cognitive Sustainability (2023)**

**Bagdi, Z.,** Csámer, L., & Bakó, G. (2023). The green light for air transport: Sustainable aviation at present. *Cognitive Sustainability*, 2(2). <https://doi.org/10.55343/cogsust.55>