

UAV fotogrammetriai felvételezés alkalmazhatósága hulladékdepóniák térbeli paramétereinek meghatározására egy szegedi hulladéklerakó példáján

PETRÓCZY Máté Dániel¹, TOBAK Zalán¹, MUCSI László¹, SZALMA Elemér², ZÁDORI Adrián³, SZATMÁRI József¹

¹Légkör- és Téradatudomány Tanszék, Szegedi Tudományegyetem

²PlantaDrone Kft.

³Interplaninfo Kft.

E-mail: petroczy.mate@geo.u-szeged.hu

[DOI: 10.30921/GK.77.2025.4.4](https://doi.org/10.30921/GK.77.2025.4.4)

Absztrakt

A tanulmány célja a drónos LIDAR (ALS) és a fotogrammetriai (SfM) módszerrel előállított pontfelhők alapján számított térbeli paraméterek, valamint térfogatbecslések összehasonlítása egy szegedi hulladékdepónia példáján. A tanulmány további célja, hogy bizonyítsa a drónok alkalmazhatóságát a hulladéktelepek felmérésében és monitorozásában. A légifelvételek feldolgozása után fotogrammetriai és CAD szoftverekben végeztünk térfogatbecsléseket, ezt követően pedig CloudCompare pontfelhőfeldolgozó szoftverrel tisztítottuk és elemeztük a pontfelhőket, majd a pontfelhők közti eltéréseket vizsgáltuk. Az eredmények alapján a fotogrammetriai felmérés megfelelőnek bizonyult a hulladékdepónia térfogatának pontos meghatározásához, illetve a depónián történő jövőbeli változások becsléséhez.

Abstract

The study aims to compare the spatial parameters and volume estimations of a waste landfill in Szeged, using drone LIDAR (ALS) and photogrammetric (SfM) based point clouds. A further aim of the study is to demonstrate the applicability of drones for surveying and monitoring landfills. After processing the aerial photographs, volume estimates were performed in photogrammetric and CAD software, followed by point cloud processing software CloudCompare. Furthermore, the discrepancies between the point clouds were investigated. The results showed that the photogrammetric survey was sufficiently accurate to determine the volume of the landfill and to estimate its future changes.

1. Bevezetés

Az elmúlt években Magyarországnak is szembe kellett néznie azzal a kihívással, hogy a különböző típusú hulladékok mennyisége növekvő tendenciát mutat. A lerakással ártalmatlanított települési, illetve az építési-bontási hulladék mennyisége országos szinten 2022-ben meghaladta a 3,5 millió tonnát (KSH 2024). A fogyasztói szokások változásával egyre több "eldobható" termék kerül a háztartásokba. Az ipari tevékenységek a hulladéklerakókba kerülő hulladékok és melléktermékek mennyiségének és típusának növekedéséhez vezettek. A hulladéklerakás elkerülhetetlen ökológiai, egészségügyi (Ozbay et al. 2021), tájképi és gazdasági (Liu et al. 2013) hatásokkal jár, ezért a hulladéklerakók elhelyezése, tervezése és üzemeltetése során nagy gondossággal kell eljárni

(Csöke 2011). A depónációk környezeti állapotának ellenőrzésére, folyamatos monitoringjára a 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet kötelezi az üzemeltetőt, amelynek része a lerakó térbeli paramétereinek, mozgásainak geodéziai módszerekkel történő vizsgálata. Magyarországon az utóbbi évek hulladékgazdálkodással kapcsolatos jogszabályai és rendeletei mind arra irányulnak, hogy megvédjék a természetes és mesterséges környezetet az ember okozta környezeti terhelésektől (KvVM 2007). A környezetvédelmi szabályozás egyre szigorodó feltételei között, bonyolult mérnöki megoldások kivitelezésére és üzemeltetésére van szükség (Szabó I. 2006). Az Európai Unió hulladéklerakókra vonatkozó irányelve meghatározza, hogy a hulladéklerakók biztonságos üzemeltetése érdekében szükség van megfigyelő rendszer (monitoring) kialakítására (European Council 1999).

A megfigyelő rendszer elemeinek feladata, a depónián belüli változások figyelemmel kísérése, valamint a lerakóból esetlegesen kijutó szennyezőanyagok lehető legrövidebb időn belüli észlelésének és nyomon követésének a biztosítása. A megfigyelő rendszer elemeit, a mérések lebonyolításának rendjét, a vizsgálandó paramétereket hulladéklerakónként egyedileg kell meghatározni. A lerakó üzemelése alatt és bezárása után is folyamatosan ellenőrizni kell az elsődleges technológiai létesítmények (tárolóterek, műtárgyak) műszaki állapotát, állapotváltozását (Szabó és Szabó 2012). A hulladéklerakók kiterjedésének és állapotának felmérése hagyományosan a nagyméretarányú térképek, rendelkezésre álló műholdfelvételek, ortofotók, földi geodéziai felmérési eljárások segítségével történik. Ezek a felmérések általában elegendő adatot szolgáltathatnak a hulladéklerakók kiterjedésének meghatározásához, valamint a környezetgazdálkodás és a monitoring tervezéséhez vagy módosításához. Sok esetben azonban a földi felmérési lehetőségek korlátozottak és költségesek lehetnek. Az összetettebb telephelyek esetében (nagyobb területek, komplexebb hulladékkezelés, egyenetlen talajú területek) jellemzően nagyobb lefedettségi szintre van szükség.

Az elmúlt évtizedek technológiai fejlődésének köszönhetően a drónos (UAV), illetve a műholdas alkalmazások széles körben elterjedtek, és hatékonyan alkalmazhatók a hulladéklerakók térbeli meghatározására és folyamatos monitoringjára (Filkin et al. 2021, Zhang et al. 2021). A térbeli változások vizsgálata főként ALS (Airborne Laser Scanning) és fotogrammetriai technológiáival érhető el, amelyek teljes lefedettséget biztosítanak és amelyeknél a feldolgozott térbeli adatokból, térmodellekből a pontos térfogat gyorsan kiszámítható (Son et al. 2020). Lidarral, RGB, multispektrális, hő-, gáz- és geofizikai szenzorokkal felszerelt drónos felmérési platformok segítségével nagyobb lefedettséget lehet biztosítani, és olyan információkat lehet nyerni, amely a földi felméréssel nem lehetséges, vagy rendkívül költséges és időigényes (Mønster et al. 2019; Pasternak et al. 2023; Tanda et al. 2020).

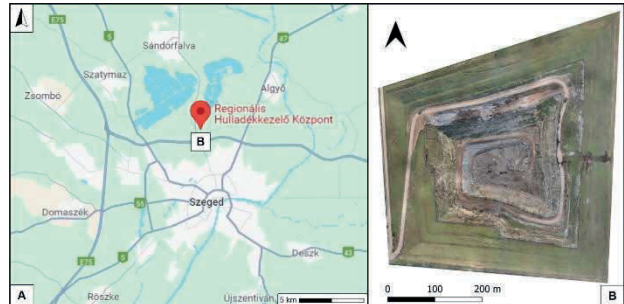
Tanulmányunkban az UAV LIDAR (ALS) és az UAV fotogrammetriai (SfM – Structure from Motion) technológiával generált pontfelhőket hasonlítottuk össze térbeli jellemzőik, pontosságuk és hatékonyságuk elemzésével a nagyterjedésű, szegedi hulladéklerakó példáján. A tanulmány konkrét célkitűzései a következők voltak:

1. Pontfelhők készítése és összehasonlítása ALS és SfM technológiák felhasználásával,
2. Hulladékkészlet-mennyiség (térfogat) számítások elvégzése és összehasonlítása,
3. A technológiák felhasználhatóságának értékelése a monitoringban és a mozgásvizsgálatokban.

2. Módszertan

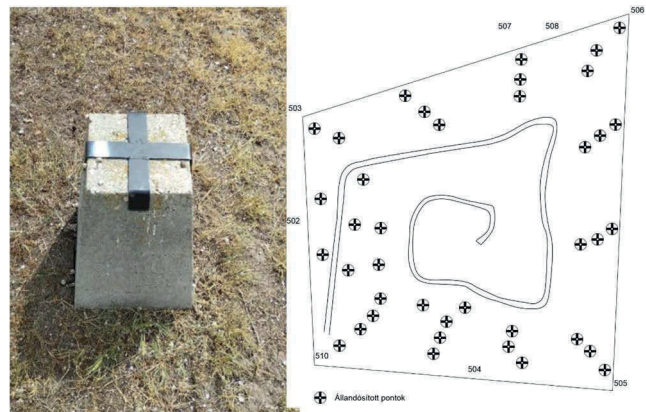
A vizsgálati terület Szeged északi külterületén található hulladéklerakó telephely volt (1. ábra). A pontos és tervezett

hulladékgazdálkodás kényszerítő feladat a városi környezetgazdálkodás számára, ezért a hulladékelszállítási tervhez elengedhetetlen a pontos hulladékmennyiség-számítás. A vizsgált területként kiválasztott hulladéklerakó közel 24 ha-on terül el, a hulladékhalom csúcsmagassága körülbelül 44 m a terepszint felett és jelentős mennyiségű hulladékot tartalmaz, amelynek mérése kihívást jelent. A depónia többnyire lakossági kommunális hulladékot tartalmaz, de egyéb, vegyes törmelék is megjelenik a hulladéklerakóban.



1. ábra Szeged északi külterületén található hulladéklerakó elhelyezkedése (A) és ortofotója (B)

A hulladéklerakó területén az Interplaninfo Kft. 2012 óta évi rendszerességgel végez felméréseket a Szegedi Hulladékgazdálkodási Nonprofit Kft. megbízásából. A területen előre meghatározott helyeken, összesen 45 db mozgásvizsgálati pontot (2. ábra) létesítettek, amelyeket földi geodéziai módszerrel, mérőállomással a lerakó közelében lévő állandósított alappontokról rendszeresen fölmértek. A mérések alapján lehet következtetni a mozgások irányára és nagyságára.



2. ábra Állandósított mozgásvizsgálati pont (A) és elhelyezkedésük (B) (Interplaninfo Kft. alapján)

A felmérések során zárt sokszögvonalt vezettek a lerakó körül, a méréseket és számításokat a korábbi évek gyakorlatának megfelelően helyi rendszerben végezték, így a vizsgálati pontok elmozdulásának mértéke és iránya összehasonlítható volt az előző évek méréseinek eredményeivel. A mérések szerint 2016 és 2022 között a horizontális elmozdulások mértéke nem haladta meg a 15 cm-t, míg a vertikális elmozdulások a magasabban fekvő rétegekben elérték az 50-75 cm-t is.

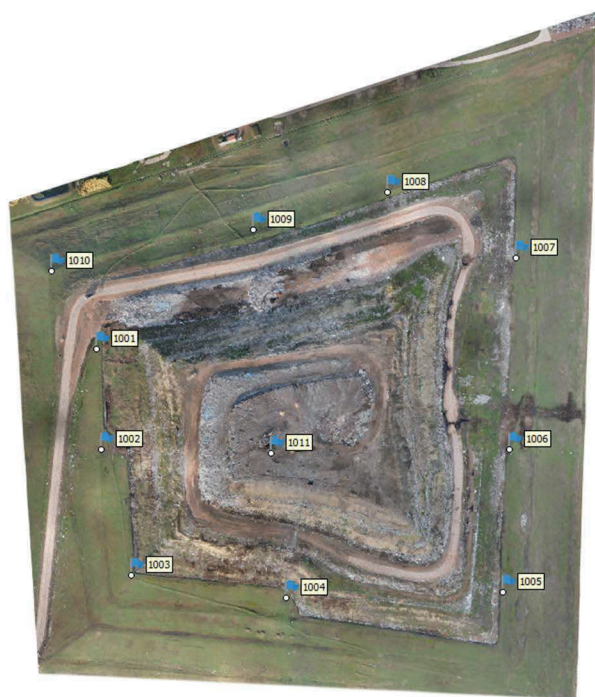
A vizsgálat során részben ezeket az állandósított mozgásvizsgálati pontokat használtuk illesztőpontként (GCP – Ground Control Point) az RTK-val felszerelt drónos felméréseink pontosabb kiértékeléséhez.

3. Adatok bemutatása

A drónos felmérésekre 2024. január 12-én került sor a kora délutáni órákban. A terepi adatgyűjtés folyamán bemérésre kerültek a földi illesztőpontok, valamint elvégeztük a különböző távérzékelési eljárásokon alapuló drónos repüléseket. A mérések során a Lechner Tudásközpont valós idejű GNSS korrekciós szolgáltatásait vettük igénybe. A téli felmérés miatt fontos megjegyezni az ionszférikus hibát, amely a felmérés napján 3cm-es maximummal rendelkezett.

3.1. Terepi illesztőpontok bemérése

A HD72/EOV és EOMA rendszerben lévő illesztőpontokat (GCP) egy Leica Viva GS16 RTK GNSS roverrel mértük be. GCP pontként az előzőekben említett mozgásvizsgálati hálózat 10 db mérőpontját, valamint a magassági értelemben nagyobb pontosság elérése érdekében a depónia tetején általunk kijelölt további egy GCP pontot (3. ábra) használtuk.



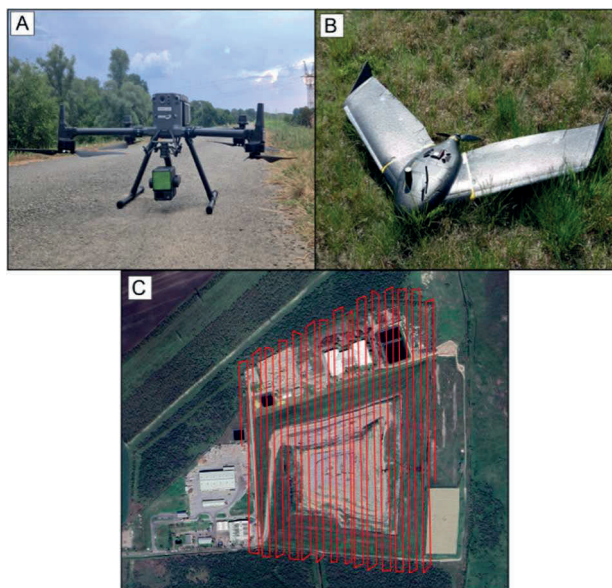
3. ábra A GCP-k elhelyezkedése a vizsgált területen.

3.2. LIDAR UAV felvételezés (ALS)

Az ALS felméréshez egy DJI Matrice 350 RTK típusú kvadkoptert használtunk, DJI Zenmuse L2 szenzorral felszerelve (4. ábra). Az alkalmazott drón előnye, hogy ellenáll az erősebb szélnek is, valamint a közel 40 perces repülési ideje miatt nagy területet képes felvételezni, akár 15 m/s sebességgel. A repülési útvonalat a DJI Pilot 2 applikációban terveztük meg felszínkövető repüléssel. A felvételezés 117 m AGL (Above Ground Level) felszín feletti repülési magasságon történt, átlagosan 8 m/s sebességgel. A Zenmuse L2 szenzor 905 nm-es hullámhosszúságú infravörös lézerekkel dolgozik, távmérési pontossága 150 m AGL-ről 2 cm és a gyári adat szerint az elérhető magasságmérési pontosság 4 cm, a vízszintes 5 cm (DJI 2024).

3.3. UAV fotogrammetriai felvételezés (SfM)

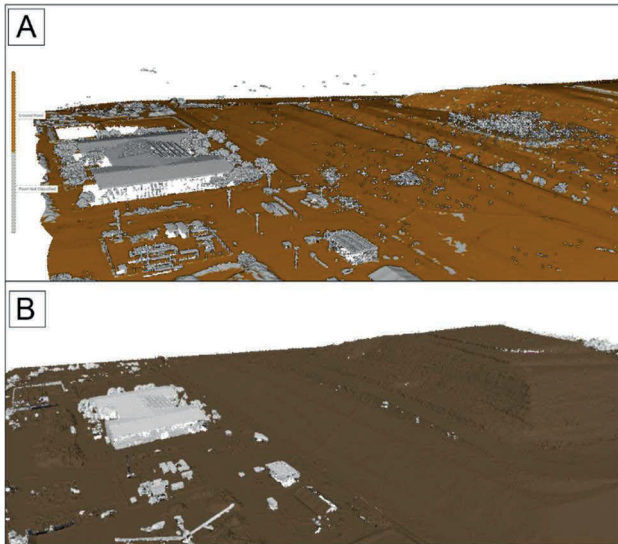
Az SfM alapú pontfelhő elkészítéséhez egy SenseFly eBee merevszárnyú UAV-t használtunk (4. ábra). A repülési útvonalat az eMotion 3.23v programban terveztük meg. A LiDAR-os felméréssel ellentétben a merevszárnyú UAV egyazon magasságban repült, így a felvételezés nem volt felszínkövető. A drónra csatlakoztatott SenseFly S.O.D.A. típusú RGB szenzor 993 db, 5472x3648 pixel felbontású felvételeket készített 119 m-es repülési magasságon. A soron belüli átfedést 85%-ban a sorok közötti átfedést 80%-ban adtuk meg a repülés tervezésénél. A felvételek átlagos terepi felbontása (GSD) 2,5 cm, a lefedett terület 0,33 km² volt.



4. ábra DJI Matrice 350 RTK forgószárnyas UAV Zenmuse L2 szenzorral (A), SenseFly eBee merevszárnyú UAV (B), valamint a merevszárnyú UAV tényleges repülési útvonala (C) (szerzők felvétele)

3.4. ALS és SfM adatok feldolgozásának módszerei

Az ALS nyers adatok feldolgozására és georeferálására a DJI Terra program 4.0.1 verziójában került sor, a LIDAR pontfelhőt a DJI Terra automatikus nagyfelbontású beállításaival generáltuk le. Ezt követően a pontfelhő osztályozás során terepi (ground points), valamint osztályozatlan (unclassified) pontok kerültek leválogatásra (5. ábra). Az SfM feldolgozását az Agisoft Metashape Pro 1.8.4. verzióban végeztük el nagyfelbontású beállításokkal. Az RGB felvételek kamerakoordinátáinak korrekcióját PPK (Post Processing Kinematic) utófeldolgozással végeztük el. A fotogrammetriai sűrű pontfelhőt szintén két kategóriába osztályoztuk: földi, illetve osztályozatlan pontok. Mindkét pontfelhő esetében azonos GCP-k kerültek felhasználásra az általunk bemért RTK GNSS mérésekből. Az elkészült pontfelhőket a CloudCompare szoftverbe importáltuk, majd a SOR (Statistical Outlier Removal) algoritmust alkalmazva megtisztítottuk a kisebb zajokkal terhelt állományokat.



5. ábra Az osztályozott LIDAR (A) és a SfM (B) pontfelhők (a földi pontok barna színnel jelöltek, az osztályozatlan pontokat szürkével ábrázoltuk).

3.5. Pontfelhők összehasonlítása és a térfogatszámítás módszerei

Az összehasonlítás első lépéseként a közel 137 millió pontból álló osztályozott pontfelhőkből kiszűrtük az osztályozatlan pontokat, így az épületeket, valamint a LIDAR pontfelhőn látható sűrű madarállomány leképződéseit is eltávolítottuk. Ennek célja az volt, hogy az elemzésünk kizárólag a földi pontokat tartalmazza. A következő lépésben a LIDAR pontfelhőt távolság alapján ritkítottuk a nyílt forráskódú CloudCompare szoftverben, hogy végeredményként egy olyan pontfelhőt generáljunk, amelyben a pontok közötti átlagos távolság 1 cm. Ezt követően a két pontfelhőt egy adott poligon mentén metszettük el, hogy kiterjedésük azonos legyen. A legközelebbi pontok (CPS - Closest Point Set) eszközzel kiválogattuk azokat a pontokat a SfM pontfelhőn, amelyek a legközelebb állnak a LIDAR pontfelhőhöz, hogy eredményként azonos pontszámból álló pontfelhőket kapjunk.

A pontfelhőtisztításokat követően, az ALS és SfM pontfelhők közti eltérést a pontfelhő-pontfelhő távolságon alapuló (C2C Distance) összehasonlító algoritmus segítségével határoztuk meg. A C2C Distance összehasonlítás során beállítottuk az X, Y, Z tengelyek mentén történő számítását is, ezáltal tudtuk külön vizsgálni a pontok horizontális, vertikális és 3D távolság szerinti eltéréseit.

A térfogatszámításokat a pontfelhőkből generált digitális felszínmodelleken végeztük. A térfogati összehasonlító elemzésre a Metashape program Volume eszközét használtuk azonos alapsíkot alkalmazva a két felszínmodellre. A pontfelhők, illetve a felmérési módszertan összehasonlításához a feldolgozószoftverek által automatikusan létrehozott jegyzőkönyvekben (Report) szereplő adatokat is felhasználtuk.

3.6. Jövőbeli térfogatbecslés

A hulladékdepó jövőbeli térfogatának becslése kritikus jelentőségű lehet a hulladékgazdálkodás tervezésében, mivel megközelítő információt nyújt arról, hogy mennyi idő áll még rendelkezésre a jelenlegi lerakóhely kapacitásának teljes kihasználásáig.

A hulladéklerakó maximális kapacitásának felmérése érdekében, térfogati becslést végeztünk Autodesk Civil 3D szoftver segítségével. A becsléshez két felszín térfogatának különbségét vettük alapul. Az első felszín, a jelenlegi állapotot bemutató SfM pontfelhőből előállított TIN modellel generáltuk le. A második felszín létrehozásához szintén a fotogrammetriai pontfelhő szolgált kiindulópontként. Ezt a felszín kiegészítettük a hivatalos tervezési határozatban szereplő maximális magassáig, amely 127 mBf magasságban lett rögzítve. Ez a szint határozta meg a hulladéklerakó maximális magasságát, azaz a legmagasabb feltöltési szintet.

4. Eredmények

4.1. GCP mérések értékelése, georeferencia

A georeferáláshoz felhasznált, RTK GNSS-szel mért GCP pontok pontossági ellenőrzéséhez az Interplaninfo Kft.-től kapott, földi geodéziával mért pontkoordinátákat használtuk, melyek a felmérés időpontja előtt, pár hét eltéréssel lettek bemérve. A pontok földi és műholdas geodéziai koordinátái között mindössze az RTK mérési pontosságnak megfelelő 1,5–2 cm eltérést találtunk.

Az ALS pontfelhő GCP-ken mért átlagos magassági eltérése 3,3 cm, míg RMS reprojekciós hibája és az átlag szórása is egyaránt 9,1–9,2 cm közötti értéket mutatott. A fotogrammetriai feldolgozás során a GCP 3D hiba 3,4 cm, a pontfelhő RMS reprojekciós hiba értéke 17,2 cm (0,98 pixel) volt. A földi geodéziai mérések alapján meghatároztuk a fotogrammetriai pontfelhő valós RMS hibáját, amelyet az 1. Táblázat tartalmaz.

1. Táblázat A SfM pontfelhő négyzetes középérték hibái méterben, a földi geodéziai mérések alapján

RMSE Y	RMSE X	RMSE Z	RMSE 3D
0,027	0,030	0,143	0,149

4.2. Térfogatomérés eredményei és a pontfelhők összehasonlítása

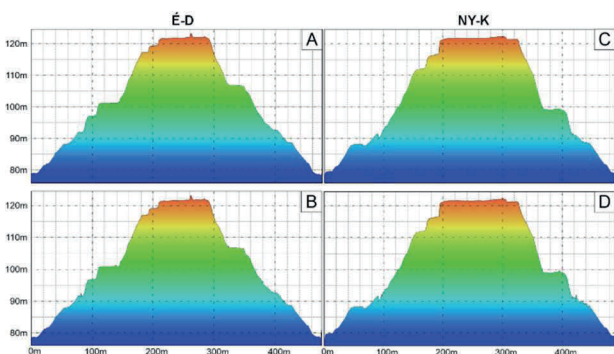
A Metashape szoftverben generált ALS és SfM felszínmodellekből számított térfogatok eltérése 80,00 m Balti tszf. magassági alapszintre vonatkoztatva nem releváns, kevesebb mint 0,1%. A LIDAR felmérésből származtatott hulladék térfogata 3,319 millió m³, a fotogrammetriai felmérésünk eredménye 3,321 millió m³ (2. Táblázat).

2. Táblázat A SfM és az ALS pontfelhők feldolgozása közti különbség

	SfM pontfelhő	ALS pontfelhő
Térfogat (millió m ³)	3,321	3,319
Átlagos pontsűrűség (pont/m ²)	391	407
Repülési magasság (fsz.f)	119	117
Repülési idő (perc)	70	60
Feldolgozási idő (perc)	882	51
Átlagos GCP error (cm)	4,5	3,32
RMS reprojekciós hiba (m)	0,172	0,091

A táblázatban látható, hogy a pontfelhők átlagos sűrűségében, ezáltal a pontfelhők pontjainak számában sincs jelentős eltérés. Az ALS pontfelhő átlagos pontsűrűsége 407 pont/m², míg a SfM pontfelhő 391 pont/m² volt. A repülési idők közti különbségek nem számottevők, azonban a feldolgozási időkülönbség igen jelentős. A feldolgozási idő a LIDAR pontfelhő esetében 51 perc volt, a fotogrammetriai sűrű pontfelhő generálása több mint 14 órát vett igénybe. A feldolgozási idők közti jelentős különbség nagymértékben függ a számítógép műszaki paramétereitől. A LIDAR pontfelhőt egy 12. generációs Intel(R) Core(TM) i9-12900H 5.0GHz processzorral ellátott, NVIDIA GeForce RTX 3070 Ti Laptop 8GB videokártyával rendelkező, valamint összesen 64 GB RAM memóriakapacitású laptoptal generáltuk le. A SfM pontfelhő esetében egy régebbi generációs Intel(R) Core(TM) i7-7740X 4.30GHz processzorral, valamint egy kevésbé korszerű NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB videokártyával, illetve 64 GB rendelkezésre álló RAM-kapacitással történt a feldolgozás. Mivel a feldolgozásra használt hardverek kapacitása nagymértékben különbözik, a pontfelhőgenerálás idejének összehasonlítása nem releváns; az értékek csupán nagyságrendi tájékoztatást nyújtanak.

A Metashape-ben történő térfogatmérést követően, hossz- illetve keresztmetszeteket készítettünk azonos metszésvonalak mentén, hogy a morfológiai különbségeket vizualizálhassuk (6. ábra).

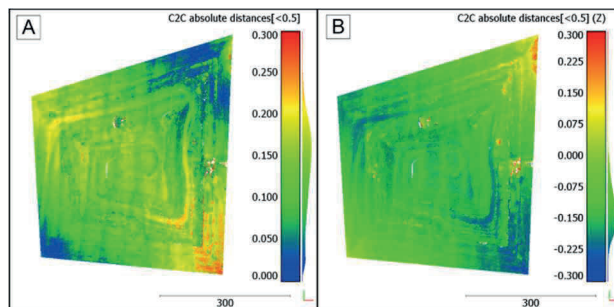


6. ábra Az ALS (A, C) illetve a SfM (B, D) hossz- és keresztmetsvények eredménye Metashape programban

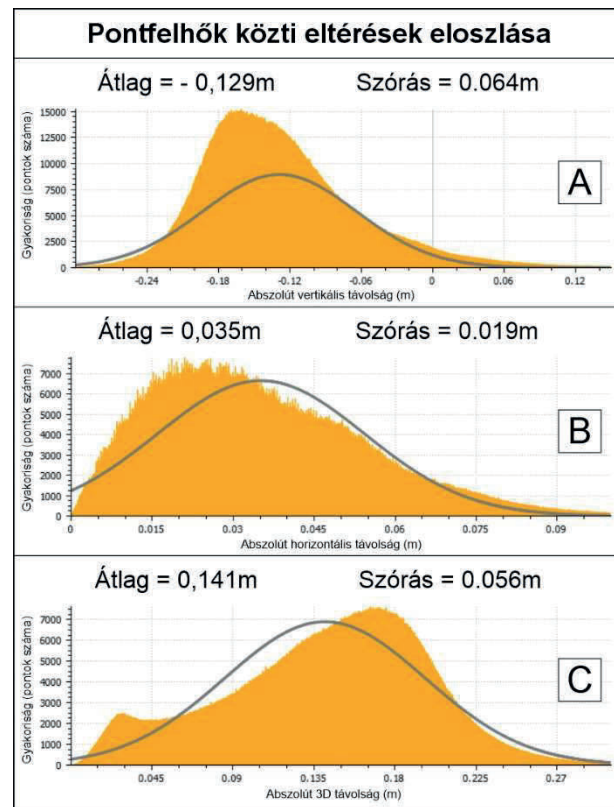
A hossz- és keresztmetszeteket vizsgálva a különbség nem szembetűnő. A kisebb kiugró értékek a SfM metszeteken (B, D) a kissé pontatlanabb, automatikus pontfelhő osztályozásnak tulajdoníthatóak. A digitális domborzatmodell magasságait vizsgálva a maximális magasság az ALS esetében 123,59 mBf, a

SfM magassága 123,34 mBf. A magasságkülönbségek a pontfelhők közti különbségekből, illetve a depónia tetején található különböző hulladékok eltérő pontfelhő-osztályozásából eredhetnek. A domborzatmodellek legalacsonyabb pontjaiban ez a különbség már csekélyebb. A LIDAR domborzatmodell 77,90 mBf, a fotogrammetriai pedig 77,97 mBf értéket mutatott.

A pontfelhők közti eltérések pontos számszerűsítéséhez az osztályozott, letisztított ALS pontjait vettük alapul. Az eltérések mértékeit a 7. ábra, eloszlásait pedig a 8. ábra tartalmazza.



7. ábra Az ALS és a SfM pontfelhők pontjainak euklideszi távolság szerinti eltérése (A), illetve vertikális eltérése (B) méterben



8. ábra Az ALS és SfM pontfelhők közti vertikális (A), horizontális (B), illetve 3D (C) eltérések eloszlása

A SfM pontfelhő pontjainak kb. 95%-a 30 cm-en belüli eltérést mutattak az ALS pontfelhőhöz képest. A 15 cm-nél kisebb eltéréseket zöld és kék pontokkal ábráztuk, az ennél nagyobb hibákat sárga, narancs és piros színekkel jelöltük (7A. ábra). A magassági eltérések összehasonlításánál (7B. ábra) a -20 cm alatti értékeket mutató pontokat kézzel, a +7 cm-t meghaladó pontokat pedig sárgával és pirossal jelöltük. Az eltérések mértékét vizsgálva kirajzolódik egy szemmel látható geometriai

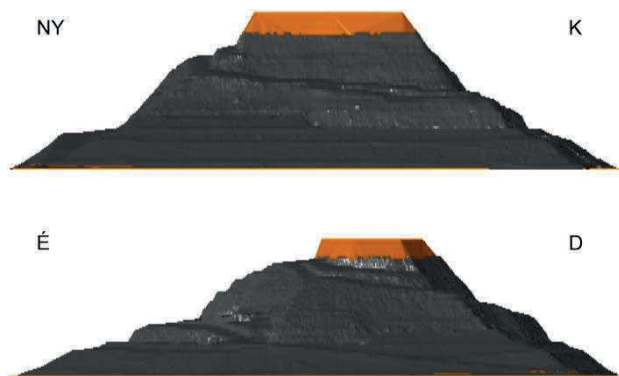
mintázat ÉNY-DK-i irányban. Feltételezzük, hogy a GCP-k nem egyenletes magassági eloszlása okozhatott torzulást, valamint geometriai mintázatot a fotogrammetriai pontfelhőben.

Az eloszlásokat tartalmazó ábráról (8. ábra) leolvasható, hogy a két pontfelhő euklideszi távolság szerinti eltéréseinek középértéke 14,1 cm, szórása 5,6 cm (8C. ábra). A vertikális eltérést vizsgálva a SfM pontfelhő eltéréseinek középértéke -12,9 cm, szórása 6,4 cm (8A. ábra), még a horizontális eltérés átlaga 3,5 cm, szórása pedig 1,9 cm (8B. ábra). Ezekből az értékekből egyértelműen látható, hogy a magassági eltérésben csökkentette az SfM pontfelhő megbízhatóságát.

4.3. Jövőbeli térfogatbecslés eredménye

A két felszín közötti különbség kiszámítása során a Civil 3D szoftver térfogatelemző eszközeit használtuk. Ezzel a módszerrel meghatároztuk a jelenlegi hulladéklerakó felszíne és a maximális feltöltési szint közötti térfogatkülönbséget (9. ábra). Az elemzés végeredményeként egy becsült értéket kaptunk, amely megadja, hogy nagyságrendileg mennyi hulladékot lehet még elhelyezni a lerakóban anélkül, hogy meghaladnánk a meghatározott maximális szintet. Mivel a lerakóban vegyes hulladék kerül lerakásra, ezért a tömörödés mértékét nem vettük bele a számításba.

A számítások alapján (amennyiben a lerakót kizárólag magassági értelemben bővítik) a hulladéklerakó további befogadó kapacitása közel 53 000 m³, amely a korábbi évek mérései és számításai alapján körülbelül egy évi hulladéklerakási mennyiségnek felel meg.



9. ábra A hulladéktelep jelenlegi (szürke), illetve elméleti modellének (narancssárga) nyugat-keleti, illetve észak-déli nézete.

5. Összefoglalás

Tanulmányunkban Szeged város északi hulladéklerakójának depóniáját vizsgáltuk. A térbeli felmérésekhez geodéziai RTK GNSS technológiát, egy merevszárnyú drónt RGB kamerával felszerelve, valamint egy LIDAR szenzorral ellátott kvadkoptert használtunk. A mérési adatokból illesztőpontok (GCP) segítségével HD72/EOV és EOMA kombinált rendszerbe georeferált pontfelhőket, magassági modelleket (DFM, DTM) generáltunk.

A kapott modellek pontosságát földi ellenőrző pontokon vizsgáltuk és meghatároztuk az ALS és a SfM pontfelhők eltéréseit. A mérési adatok alapján magasságmérési összehasonlítást, a különböző modellek alapján számított térfogatok összevetését végeztük el. Kísérletet tettünk a hulladékdepó területén korábban végzett mozgásvizsgálati mérések és az általunk elvégzett mérések és számítások alapján kapott értékek összevetésére.

A számítási eredmények és a mérések során szerzett tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az ALS és a SfM technológia nem szolgáltat szignifikánsan eltérő eredményeket sem a közös pontokon elvégzett vízszintes és magassági koordinátaeltérés-számítások alapján, sem a térfogatszámítások tekintetében. A mozgásvizsgálati számítások nem mutattak a vizsgált félre vonatkoztatva szignifikáns eltéréseket, mind a horizontális, mind a vertikális mozgások a mérési hibahatáron belül, vagy azt kis mértékben átlépve, annak a közelében voltak (0-4 cm/év).

A mérési és kiértékelési munkafolyamat során tapasztaltak és a tanulmányban bemutatott eredmények alapján a drónos technológia bevezetése a hulladékdeponáció térbeli változásainak monitoring jellegű vizsgálatában véleményünk szerint indokolt és támogatásra érdemes. A fotogrammetriai módszer vizsgálatunk szerint kisebb magassági pontossággal rendelkezik. Ez a pontosság azonban lényegesen javítható pontosabb georeferenciával, és alacsonyabb, szintkövető repülési magasságban végzett kvadkopteres felvételezéssel. Nem egyszerű eldönteni, hogy az SfM vagy az ALS felmérés és adatfeldolgozás bizonyul hatékonyabbnak és gazdaságosabbnak, ugyanis az SfM – rendkívüli költséghatékonysága ellenére – az ALS-felméréshez képest többszörös feldolgozási időt igényel.

A jövőben további méréseket tervezünk végezni a mozgásvizsgálati sokszögpontok esetében, hogy megismerjük az új mozgásirányokat és azok mértékeit. A tanulmány kiegészíthető további drónos térfogatmérésekkel a jövőbeli becslés ellenőrzésére, valamint a hulladék tömörödésének számítására.

Irodalomjegyzék

- Csóke, B. (szerk.) 2011. Hulladékgazdálkodás I. 12. Kötet, *Környezetmérnöki Tudástár*, Pannon Egyetem, p. 95. ISBN: 978-615-5044-37-3
- DJI. 2024. Zenmuse L2 Specs. *Link*: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-l2/specs> (utolsó elérés: 2025. október 08.)
- European Council. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. *Official Journal of the European Communities*, L182, 16.7.1999.
- Filkin, T. – Sliusar, N. – Ritzkowski, M. – Huber-Humer, M. 2021. Unmanned Aerial Vehicles for Operational Monitoring of Landfills. *Drones*, 5(4), 125. <https://doi.org/10.3390/drones5040125>
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. 2006. 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a

- hulladéklerakóval kapcsolatos szabályokról és feltételekről. *Link:* <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600020.kvv> (utolsó elérés: 2025. október 08.)
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. 2007. 92/2007. (XI. 28.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet módosításáról. *Link:* <https://njt.hu/jogszabaly/2007-92-20-0N> (utolsó elérés: 2025. október 08.)
- Központi Statisztikai Hivatal. 2024. 15.1.1.29. Az egyes hulladékfajták mennyisége a kezelés módja szerint. *Link:* https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0029.html (utolsó elérés: 2025. október 08.)
- Liu, G. – Yang, Z. – Chen, B. – Zhang, Y. – Su, M. – Zhang, L. 2013. Emergency Evaluation of the Urban Solid Waste Handling in Liaoning Province, China. *Energies*, 6(10), 5486-5506. <https://doi.org/10.3390/en6105486>
- Mønster, J. – Kjeldsen, P. – Scheutz, C. 2019. Methodologies for measuring fugitive methane emissions from landfills: A review. *Waste Management*, 87, 835-859. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.047>
- Ozbay, G. – Morgan, J. – Mohana, G. – Shehu, I. – Tahera, A. 2021. Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health, *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, 6921607, 4-10. <https://doi.org/10.1155/2021/6921607>
- Pasternak, G. – Zaczek-Peplinska, J. – Pasternak, K. – Józwiak, J. – Pasik, M. – Koda, E. – Vaverková, M. D. 2023. Surface Monitoring of an MSW Landfill Based on Linear and Angular Measurements, TLS, and LIDAR UAV. *Sensors*, 23(4), 1847. <https://doi.org/10.3390/s23041847>
- Son, S.W. – Kim, D.W. – Sung, W.G. – Yu, J.J. 2020. Integrating UAV and TLS Approaches for Environmental Management: A Case Study of a Waste Stockpile Area. *Remote Sensing*, 12(10), 1615. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1615>
- Szabó, I. 2006. Hulladéklerakók tervezése, üzemeltetése. Oktatási segédlet, *Miskolci Egyetem*.
- Szabó, I. – Szabó, A. 2012. Hulladéklerakók rekultivációja, utógondozása. *Miskolci Egyetem, Gazdász-Élaxtik Kft.* p. 342.
- Tanda, G. – Balsi, M. – Fallavollita, P. – Chiarabini, V. 2020. A UAV-Based Thermal-Imaging Approach for the Monitoring of Urban Landfills. *Inventions*, 5(4), 55. <https://doi.org/10.3390/inventions5040055>
- Zhang, S. – Lu, Y. – Yang, H. – Han, Y. – Peng, J. – Lan, J. – Zhan, L. – Chen, Y. – Bate, B. 2021. Monitoring and Quantitative Human Risk Assessment of Municipal Solid Waste Landfill Using Integrated Satellite-UAV-Ground Survey Approach. *Remote Sensing*, 13(22), 4496. <https://doi.org/10.3390/rs13224496>

GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA az Interneten

Lapunk 2024 óta már az
Interneten is olvasható!

Látogasson meg minket a

<https://ojs.elte.hu/geodeziaeskartografia>

oldalon!

Hirdessen a GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA oldalain!

egész oldalas: 75.000 Ft+ÁFA

1/2 oldalas: 50.000 Ft+ÁFA

1/4 oldalas: 30.000 Ft+ÁFA

Hirdetését leadhatja az az alábbi e-mail
címen:

mftt.titkarsag@gmail.com