

**LIDAR ÉS UAV ALAPÚ DIGITÁLIS DOMBORZATMODELLEK
ÖSSZEVETÉSE TÖBÖR-MORFOMETRIA SZEMPONTJÁBÓL A
JÓSVAFŐI-FENNSÍK PÉLDÁJÁN**

**COMPARISON OF DIGITAL ELEVATION MODELS CREATED
FROM LIDAR AND UAV DATA FOR DOLINE MORPHOMETRY -
THE CASE EXAMPLE OF JÓSVAFŐ PLATEAU**

LÁTOS TAMÁS –TELBISZ TAMÁS

ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány sétány 1/C.

2ELTE latostamas@gmail.com

Abstract: *In this study, our aim was to compare doline morphometric data derived from different type digital elevation models (DEMs). The DEMs were created from LiDAR data and UAV (drone) data. The study area is the eastern part of Jósvafő Plateau (Aggtelek Karst, Hungary). We used an automated method of DEM-based doline recognition for the delineation of dolines from two different datasets. Thereafter, we compared the geomorphometric parameters of two different source doline datasets. Our main question was whether the UAV based DEMs can be reliably used for doline geomorphometric analyses instead of the more expensive and more complicated LiDAR datasets. The answer is that in case of low vegetation the UAV can be a cost-effective alternative of LiDAR.*

Keywords: doline, DTM, drone, LiDAR, SfM

Bevezetés

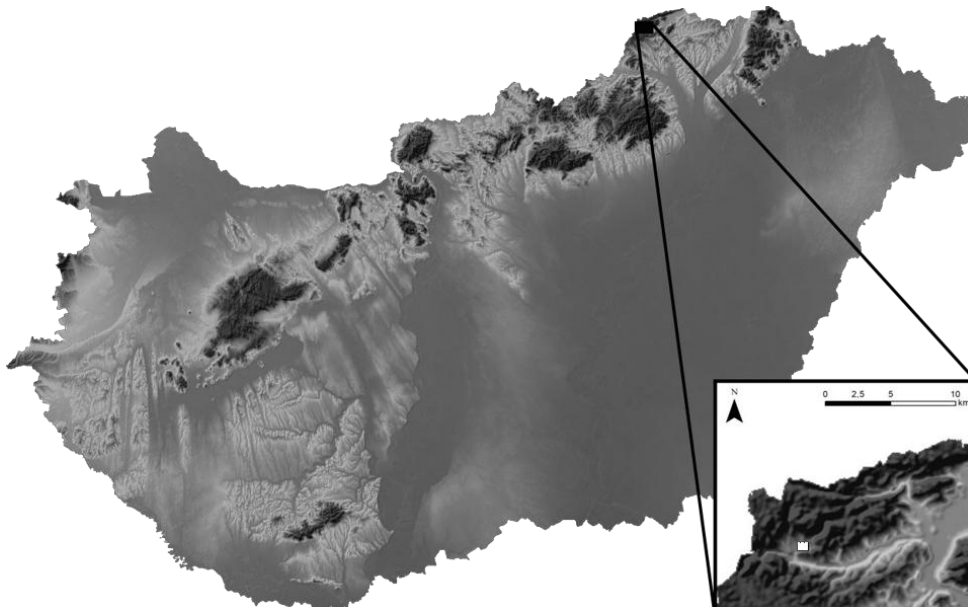
Napjaink geomorfológiai kutatásaiban a térinformatika és ezen belül is a digitális domborzatmodellek (DDM) széleskörű használata és elemzése lett az egyik legfontosabb megközelítési módszer. Ez a tendencia annak is köszönhető, hogy a DDM-k előállítása és hozzáférhetősége folyamatosan egyre könnyebbé válik a technológia fejlődésével párhuzamosan.

A legmodernebb és legpontosabb DDM előállítási módszer a LiDAR használata, ám ennek költségei egyelőre szűk kereteket szabnak a hazai felhasználás terén, de találni már példát olyan országra is, amelynek egész területére elérhető ilyen jellegű adat teljesen ingyenesen (pl. Szlovénia). Manapság a LiDAR egyfajta olcsóbb alternatívájaként kezd elterjedni az UAV (*Unmanned Aerial Vehicle* - drón) eszközök felvételeiből fotogrammetriai eljárás során előállított pontfelhőből generált DDM-k használata. Ennek

előnyei és hátrányai is vannak a LiDAR-ral szemben, ám költséghatékonysága miatt mindenképp előtérbe kerül olyan területeken, ahol a vegetáció sűrűsége megengedi a használatát.

Jelen kutatás célja az volt, hogy arra alkalmas területen összehasonlítsuk egy LiDAR és egy UAV felmérésből készült, azonos felbontású domborzatmodell töbör-morfometriai alkalmazását, hiszen ezen elemzés során csak a DDM-t használjuk fel, mint alapadatot, semmi mást.

Elemzési területként a Jósvafői-fennsíkot választottuk, erről a területről már rendelkezésünkre állt LiDAR alapú állomány, a Károly Róbert Főiskola lerepülte az egész Aggteleki-karsztot a Nemzeti Park megbízásából még 2013-ban (1. ábra). További kritériumainknak is megfelelt ez a helyszín, hiszen a vegetáció gyér a fennsíkon és a töbørsűrűség is közepesen nagyoknak mondható. Az Aggteleki-karszt és szűkebben a Jósvafői-fennsík felszínfejlődésével, töbör-morfometriai elemzésével számos kutató foglalkozott már korábban (ZÁMBÓ 1998, MEZŐSI 1984, TELBISZ 2001, SÜMEGI *et al.* 2012, KEVEINÉ *et al.* 2015, BELLA *et al.* 2016), ám jelen kutatásban mi egy módszertani megközelítést helyeztünk előtérbe az alapadatot illetően, és nem a felszínformák illetve fejlődésük értelmezése volt a cél.



1. ábra: a vizsgálati helyszín, a Jósvafői-fennsík keleti felén.
Fig. 1: The study area in the eastern part of Jósvafő Plateau (Aggtelek Karst, Hungary).

A drón-felvételek alapján készült domborzatmodellek készítése viszonylag fiatal módszernek tekinthető, ennek ellenére bőséges szakirodalommal rendelkezik a téma, többek között a miénkhez hasonló, LiDAR adattal való összevetés terén is (ROCK *et al.* 2011, FLENER *et al.* 2013, TOURNADRE *et al.* 2014, HSIEH *et al.* 2016, MORAVEC *et al.* 2017, BEGASHAW 2018).

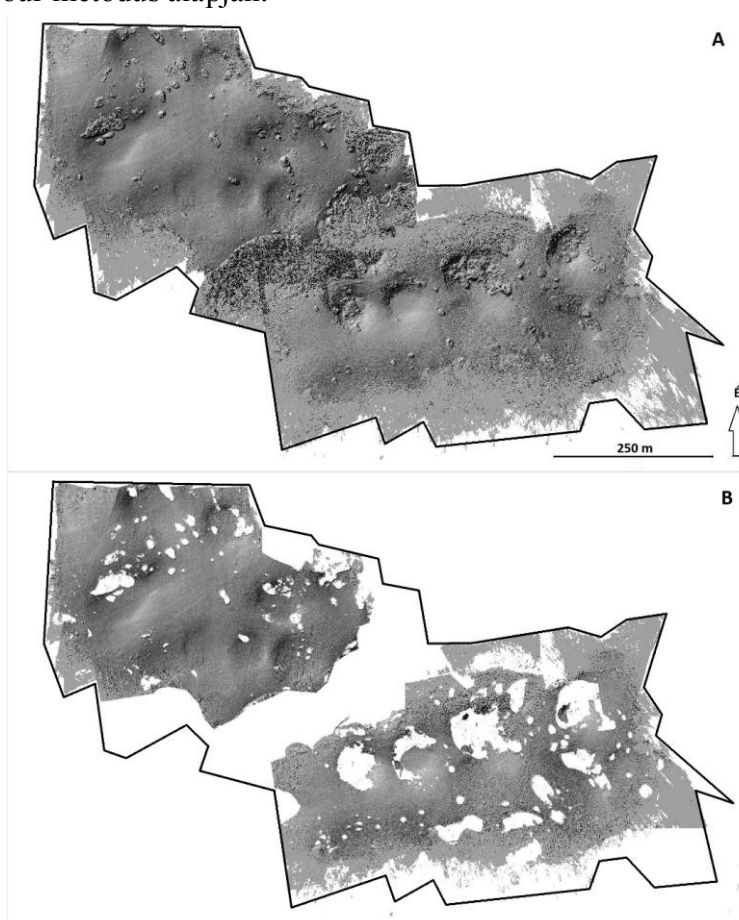
Alapvető kérdésfelvetésünk az volt a kutatás során, hogy milyen pontosságbeli eltérések figyelhetők meg abban az esetben, ha ugyanolyan felbontású LiDAR, illetve UAV adat alapján készült domborzatmodellből ugyanazzal az automatizált módszerrel lehatároljuk a töbrök körvonalát és ezeket megfeleltetjük egymásnak, majd morfológiai paramétereiket összevetjük. Végső soron a fő kérdés az volt, kiváltható-e a költségesebb és bonyolultabb eljárásnak számító LiDAR felmérés drónos adatszerzéssel.

Adat és módszer

A terület LiDAR felmérésére 2013-ban került sor, az adatok előfeldolgozása, osztályozása pedig az OPALS nevű szoftverrel történt (LÁTOS *et al.* 2015, TELBISZ *et al.* 2016). Az osztályozás során leválogatásra kerültek a felszíni pontok, így lehetővé vált DTM (digitális terepmodell) előállítás a kezdeti, még a növényzetet is ábrázoló DFM (digitális felszínmodell) helyett. A vizsgálati területünkön kerekítve 1,4 millió felszíni pont található, ez 1,8 pont/m² pontsűrűséget jelent a LiDAR adatforrás esetén. Az interpoláció során 3 m/px felbontású DTM készült a felszíni pontokból.

A drónos felmérésre 2016 márciusában került sor két részletben, a terület északnyugati felét 857 db kép, meg a délkeletit 550 db kép felhasználásával fedtük le. A felvételek kiértékelése a *Structure from motion* (SfM) módszerrel, Photoscan szoftverrel történt, amelynek során létrejött a még osztályozatlan pontfelhő. A felszíni pontok jelentős százalékának kinyerése a Cloude Compare nevű szoftver beépített automatizált algoritmusával történt (Cloth Simulation Filter: domborzattípusnál *Relief*, további paramétereknél az alapbeállításokkal hozta a legjobb eredményt), maradtak azonban olyan részek, ahol ez nem vezetett kielégítő eredményre, jellemzően a töbrök alján, illetve a terület közepén húzódó erősebb vegetációjú völgy esetében (2. ábra). Ezeken a területeken az algoritmus lefuttatása után még kézi leválogatás is történt. Ez lényegében úgy történt, hogy a töbrök alján lévő

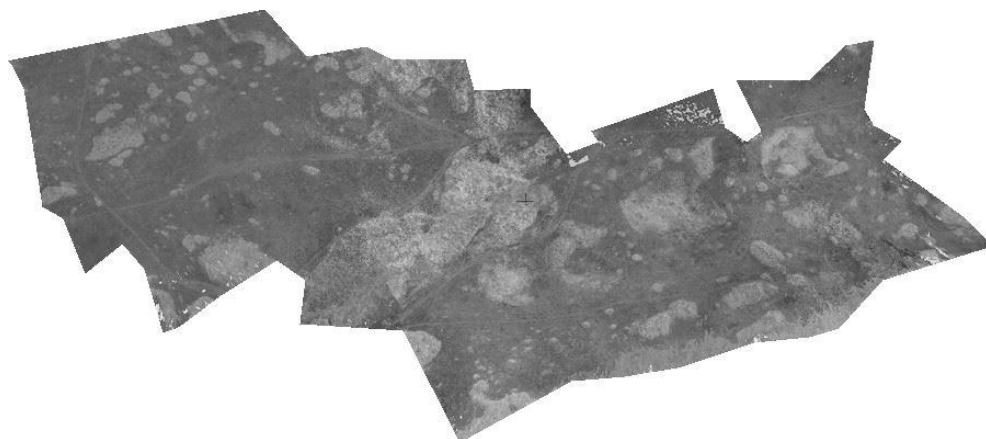
sűrű vegetációjú részeket kiemelve a teljes pontfelhőből 3D-s megjelenítés segítségével kézi leválogatással törlésre kerültek az azonosítható felszíni pontoknál magasabban elhelyezkedők. Ebben nagy segítséget nyújt, hogy a pontfelhő esetében az egyes vertexekhez hozzá tudjuk rendelni a valós színüket az adatforrásként szolgáló légifelvételekből. Ennek eredményeképpen az északnyugati területen 16,9 millió (94,3 pont/m²), míg a délkeletin 11,7 millió (56,2 pont/m²) pontot tudunk felhasználni az interpolálás során a DTM elkészítésére, amely Surfer szoftverkörnyezetben készült Natural Neighbour metódus alapján.



2.ábra: a vizsgálati helyszín pontfelhője digitális felszínmodellen (A) és digitális terepmodellen (B), domborzatárnyékolással megjelenítve.

Fig. 2: Point cloud of the study area on DSM and on DTM by hillshade effect.

Meg kell említeni, hogy utóbbi esetben problémát okozott az a csekély vegetáció is, ami jellemző erre a területre és erre az évszakra. Két típust kell megkülönböztetnünk ez esetben. A terület közepén húzódik egy sekély völgy, amely sűrűbb, bár alacsony erdőborítással fedett. Emellett jellemzően a töbrök alján található sűrű bozótosok (3. ábra). Ezeken a területeken volt nagyobb probléma a drónos adatok kiértékelésével, ezen belül is a felszíni pontok leválogatásával. A LiDAR-nak megvan az az előnye, hogy a jelek áthatolnak a növényzet levelei, ágai között. A drónos felmérés során viszont fényképeket készítünk, így ahol sűrű a növényzet, felülről nézve csaknem átláthatatlan, ott csekély számban tudunk felszíni pontot kinyerni utólag. Ennek eredményeként a drónos pontfelhő esetén nagyobb lyukakat kell interpolálással feltölteni, mint a LiDAR pontfelhő feldolgozása során.

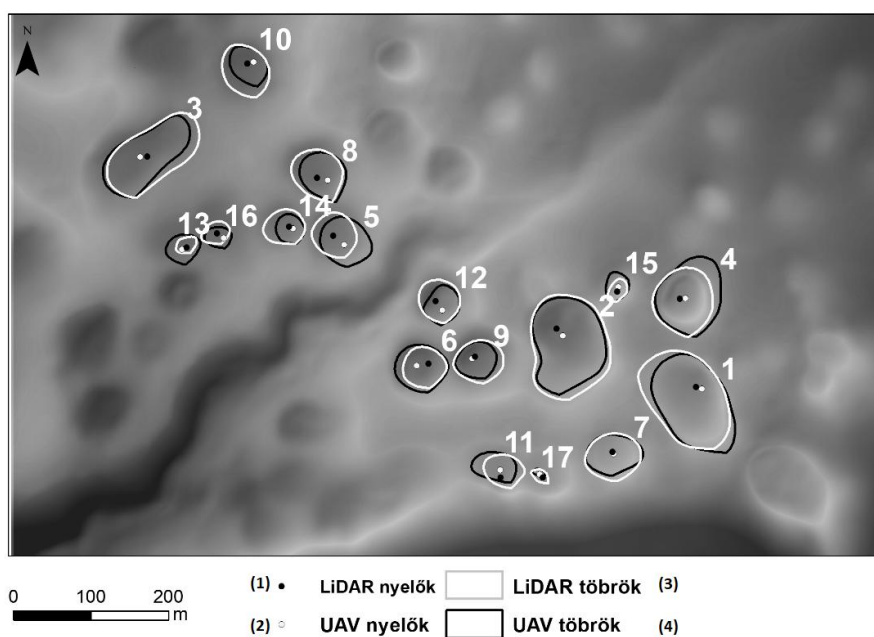


3. ábra: a nyers, osztályozatlan UAV pontfelhő, világos foltokkal a vegetáció jelenik meg.
Fig. 3: unclassified point cloud from the UAV survey, the white patches are related to the vegetation

A két azonos felbontású domborzatmodell létrehozása után a töbrök körvonalak és legmélyebb helyek automatizált lehatárolása és meghatározása volt a következő lépés. Ennek során azt az automatizált algoritmust használtuk, amelyet egy korábbi kutatás során már sikeresen alkalmaztunk az egész Aggteleki Nemzeti Park területén töbrödetektálásra és morфомetriai vizsgálatokra (LÁTOS *et al.* 2015, TELBISZ *et al.* 2016).

Jelen kutatás során 17 töbröt tudtunk bevonni az elemzésbe, mivel a drónos felmérés során egy adott nagyságú területet tudtunk lefedni (hosszvetőleg 2.25 km²-t), és erre a területre 17 darab töbrő esett teljes terjedelmével. A jövőben szeretnénk növelni a minta méretét, hogy megerősíthessük a most levont következtetéseket. A töbrök detektálása után különböző össze-

vetéseket készítettünk miután megfeleltettük egymásnak az egyes formákat a különböző forrású DTM-ekből levezetve (4. ábra). Ezután morfometriai elemzésnek vetettük alá a párokat, amelynek során vizsgáltuk a terület, kerület, kerekítettség, mélység, vízszintes megnyúltság, mélység/átmérő arány és az orientáció paraméterek egymáshoz való viszonyát.



4. ábra: a két adatforrásból levezetett és egymásnak megfeleltetett töbrőpárok és nyelők.
 Fig. 4: doline pairs based on the two different datasets and their sink points (1: sinkholes from LiDAR, sinkholes from UAV, 3: dolines from LiDAR, 4: dolines from UAV)

Eredmények

Összességében elmondható, hogy a töbrök elhelyezkedése, területe, alakja, orientációja már ránézésre is jó egyezést mutat. Megvizsgálva azt, hogy az egymásnak megfeleltetett töbrök legmélyebb helyei milyen viszonyban vannak egymással az látható, hogy 2,65 és 18,1 méter között változik a távolságadatok alakulása. Mivel a töbrőkörvonal detektálása során tulajdonképpen a legmélyebb helyhez tartozó vízgyűjtő terület alapján történik a lehatárolás, ez már önmagában predesztinálja azt, hogy a körvonalak között is legyen eltérés. A legmélyebb helyek meghatározása pont a korábban taglalt nehézségek miatt egy kardinális kérdés. Lévéen, hogy a töbrök alján, mint ahogy kifejtésre is került, sűrű bozótos növényzet található, amelynek levá-

logatása problémát okoz a drónos pontfelhő esetén, ezért az ebből készült DTM-ből történő legmélyebb hely meghatározás is bizonytalanságot hordoz magában. Így kijelenthető, hogy a LiDAR pontfelhőből készült DTM alapján kijelölt legmélyebb helyek közelebb állnak a ténylegeshez.

A morfológiai összevetés során párosával, oszlopdiagramon ábrázolva vizsgáltuk az egyes töbrök paramétereit között látható különbségeket és hasonlóságokat. A terület és kerület adatokat bemutató ábrákat vizsgálva megállapítható, hogy ebben a két adatban nagy eltérés egyik töbrőpáros esetén sem látható. Általánosságban az a megállapítás tehető, hogy a LiDAR DTM-ből levezetett töbrőknek mind a területe, mind pedig a kerülete csekély mértékben, de nagyobb, mint az UAV adatforrásból kinyerteké, de nagy különbségek nem észlelhetők (5, 6. ábra).



5. ábra: a töbrőpárok területének összevetése.
Fig. 5: comparison of doline areas.

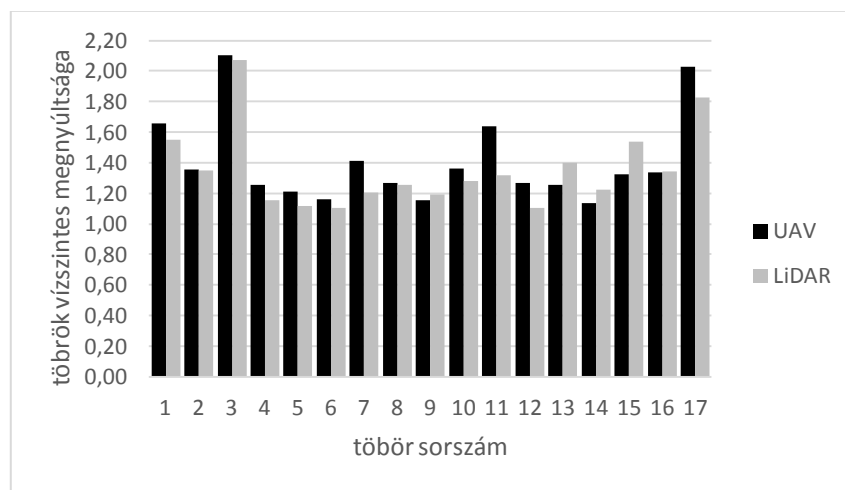


6. ábra: a töbrőpárok kerületének összevetése.
Fig. 6: comparison of doline perimeters.

A kerekítettség-adatok szinte tökéletes egyezést mutatnak a két adat-sor esetén (7-8. ábrák). A vízszintes megnyúltságot ábrázoló diagram szintén ugyanezt a tendenciát mutatja, tehát alakjukban szoros egyezés mutatható ki a töbörpárok között, ami azt jelzi, hogy jól használható mind a két adatbázis, hiszen méretre és alakra is jó egyezést mutatnak az eredmények.



7. ábra: a töbörpárok kerekítettség adatainak összevetése.
Fig. 7: comparison of doline circularities.



8. ábra: a töbrök vízszintes megnyúltság adatainak összevetése.
Fig. 8: comparison of doline elongation values

A töbrök mélységadatainak összevetése során általános trendet nem tudunk megfogalmazni (9. ábra). Tizenegy töbör esetén látható, hogy a LiDAR-os felmérésből levezetett töbör mélysége meghaladja a másik felmérésből származó formák mélységét, átlagosan fél méterrel. A maradék hat töbör esetén az UAV töbör mélysége nagyobb, átlagosan 0,7 méterrel. En-

nek oka a már többször említésre kerülő probléma, ami az UAV DTM létrehozását kísérte, vagyis a töbrök alján lévő sűrű növényzet és az ebből fakadó bizonytalanság a tényleges felszíni pontok meghatározása során. Ugyanez a probléma egyébként a LiDAR esetén is jelentkezik. Ezen pontok leválogatási problémája és a jóval nagyobb adathiányos területeket kitöltő interpoláció okozta eltérés figyelhető meg a mélységadatok nem konzekvens eltérésében. Ugyanezt a trendet követik a mélység/átmérő arányt összevető adatsorok is.



9. ábra: a töbörpárok mélység adatainak összevetése.
Fig. 9: comparison of doline depths.



10. ábra: a töbörpárok orientációjának összevetése.
Fig. 10: comparison of doline orientations.

A töbrök orientációját is megvizsgáltuk, hasonlóan jó egyezés mutatkozott az adatsorok között, mint a többi paraméter esetén (10. ábra). Csupán néhány töbörpár esetén látható nagyobb eltérés, három esetben tapasztalható 40° körüli eltérés, míg a többi esetben szoros egyezést mutatnak

az adatok. Ez is a korábban tapasztalt megállapításokat támasztja alá. Tehát az orientációt vizsgálva is azt látjuk, hogy a töbrök alakja jó egyezést mutat, ami fontos lehet például a kialakulásuk, fejlődésük vizsgálata során (pl. ha azt szeretnénk elemezni valamilyen törésvonal rendszerhez kapcsolódóan fejlődtek-e?).

Következtetések

Megállapítható, hogy az UAV felmérés alapján készült DTM jól használható töbrö-detektálás és töbrö-morfometriai vizsgálat terén. A LiDAR-UAV összevetést tekintve szintén elmondható, hogy a drónos felmérés jól használható alternatívát jelenthet a költséges, bonyolultabb, eszközigenyesebb LiDAR-ral szemben.

Az UAV esetén korlátozó tényező a vegetáció, amely – mint többször kifejtésre került – problémát okozhat. Például sűrű erdővel borított felszínen nem alkalmas a LiDAR kiváltására, mert nagyon kevés felszíni pontot kapnánk eredményül a kiértékelés után. Ez jelen kutatás során is látható volt. További korlátozó tényező a drónnal lefedhető terület nagysága, aminek leginkább az akkumulátorok mennyisége szabhat határt, ezzel ellentétben egy repülőre szerelt LiDAR műszerrel rövid idő alatt nagyméretű területet tudunk feltérképezni. Az időjárási körülmények szintén gátolhatják a drónos felmérést (nagyobb szélben nem lehet vele repülni, valamint az esőt sem tolerálja úgy, mint egy kisrepülő).

Ugyanakkor az elemzés részét tekintve az derült ki, hogy megfelelő alternatívája lehet a LiDAR-os adatforrásnak. A töbrök elhelyezkedése, mérete, alakja jó egyezést mutatott. Tehát elmondható, hogy pár négyzetkilométeres, gyér vegetációval rendelkező területen az UAV képes kiváltani a LiDAR-t, amely költséghatékonysági szempontból rendkívül fontos megállapítás.

Mivel a töbrö mintaszám, amivel dolgoztunk nem nevezhető nagyinak, ezért a jövőben tervezzük, hogy nagyobb töbrörszámmal is elvégezzük a kutatást, szintén ezen a területen, amitől a fentebb taglalt eredmények további megerősítését várjuk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKFIH K124497 számú pályázata támogatta

IRODALOM

- BEGASHAW S. (2018): Accuracy of DTM derived from UAV imagery and its effect on canopy height model compared to airborne LiDAR in part of tropical rain forests of Berklah, Malaysia. *Diplomamunka, University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation.*
- BELLA P. VESELSKY M., GAÁL L., MILNÁR J. (2016): Jósvafő paleopolje: morphology and relation to the landform evolution of Aggtelek Karst and Jósva River valley, Hungary. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, 60/3, pp. 219-235, DOI: 10.1127/zfg/2016/0212
- FLENER C., VAAJA M., JAAKKOLA A., KROOKS A., KAARTINEN H., KUKKO A., KASVI E., HYYPPA H., HYYPPA J., ALHO P. (2013): Seamless Mapping of River Channels at High Resolution using Mobile LiDAR and UAV-Photography. – *Remote Sensing*, 5(12), 6382-6407, DOI:10.3390/rs5126382
- HSIEH Y-C., CHAN Y-C., HU J-C. (2016): Digital Elevation Model Differencing and Error Estimation from Multiple Sources: A Case Study from the Meiyuan Shan Landslide in Taiwan. – *Remote Sensing*, 8, 199, pp. 1-20., DOI: 10.3390/rs8030199
- KEVEINÉ B. I., KISS M., NELIS S. (2015): Néhány további adat a hazai dolinák aszimmetriájának kialakulásához. – *Karsztfejlődés* 20, pp. 125-144, DOI: 10.17701/15.125-144
- LÁTOS T., TELBISZ T., DEÁK M., SZÉKELY B., KOMA ZS., STANDOVÁR T. (2015) – LiDAR és topográfiai térkép alapú digitális terepmodellekből levezetett, illetve kézzel digitalizált töbör-körvonalak morfológiai összehasonlítása az Aggteleki-karszt példáján. – *Karsztfejlődés* 20, pp. 145-165, DOI: 10.17701/15.145-165.
- MEZŐSI G. (1984): A Sajó-Bódva köze felszínfejlődése. – *Földr. Ért.* 33(3), pp. 181-205.
- MORAVEC D., KOMÁREK J., KUMHÁLOVÁ J., KROULÍK M., PROSEK J., KLÁPSTE P. (2017): Digital elevation models as predictors of yield: Comparison of an UAV and other elevation data sources. – *Agronomy Research* 15(1), 249-255.
- ROCK G., RIES J. B., UDELHOVEN T. (2011): Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM). – *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland

SÜMEGI GY.(IFJ)., *SÜMEGI GY.(ID).*, *VARGA B.* (2012): Töbör csoportok sajátos vonásai a Jósvalői-fennsíkon. – *Karsztfejlődés XVII*, pp. 165- 178.

TELBISZ T. (2001): Új megközelítések a töbör-morfológiában az Aggteleki-karszt példáján – *Földrajzi Közlemények*, 125 (1-2), pp. 95-108.

TELBISZ T., *LÁTOS T.*, *DEÁK M.*, *SZÉKELY B.*, *KOMA ZS.*, *STANDOVÁR T.* (2016): The advantage of LiDAR digital terrain models in doline morphometry compared to topographic map based datasets – *Aggtelek Karst (Hungary) as an example.* – *Acta Carsologica*, 45(1) pp. 5-18., DOI: 10.3986/ac.v46il.4138.

TOURNADRE V., *FAURE P. H.*, *DESEILLIGNY M. P.* (2014): UAV photogrammetry to monitor dykes – calibration and comparison to terrestrial LiDAR. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W1, 2014 EuroCOW 2014, the European Calibration and Orientation Workshop, 12-14 February 2014, Castelldefels, Spain*

ZÁMBÓ L. (1998): Az Aggteleki-karszt felszínalaktani jellemzése, – *Földrajzi Értesítő* 47(3), pp. 359-378.