



1. kép. BLK360 képalkotó lézerszkennner

Lézerszkennerek erdészeti alkalmazhatósága II.

Terepi adatgyűjtés és -feldolgozás hagyományos és mobileszközzel

Két éve az Erdészeti Lapok hasábjain nagy vonalakban ismertetésre került a lézertáv mérés elvén alapuló lézerszkennelési technológia¹ és annak alkalmazhatósága az erdészeti ágazatban. Azóta innovációs céllal a Pilisi Parkerdő Zrt. beruházott egy ilyen műszerre. Jelen írásban az eszközzel ez idáig szerzett tapasztalatokat mutatom be, illetve nagyon leegyszerűsítve egy állományfeldolgozási és -kiértékelési folyamatot ismertetek nyílt forráskódú alkalmazás segítségével.

A Budakeszi Vadaspark új mosómedve-kifutójának megtervezéséhez szükség volt a terület részletes domborzatának felmérésére valamint a mellette haladó gyalogút, a rajta található fák és egyéb berendezések térképi ábrázolására. A területet egy kisebb árok is határolja.

A környék a domborzati viszonyok miatt a korrekcióval ellátott műholdas GPS (GNSS) felmérést nem tette lehetővé, az nem adott volna kellően pontos és részletes eredményt. Mérőállomás, teodolit nem állt rendelkezésre. Társaságunk beszerzett eszköze a Leica Geosystems által fejlesztett *BLK360* névre hallgató képalkotó lézerszkennner. Másodpercenként 360 000 mért pontjával a lassabb LIDAR eszközök közé tartozik, ugyanakkor mérete nem éri el a 17x10 cm-t, tömege pedig az 1 kg-ot. Közel teljes gömbfelületen képes adatot gyűjteni, kisméretű hátizsákba is könnyedén elfér védőbúrájával együtt.

Működési sebességével arányosan háromféle pontsűrűséggel tud adatot gyűjteni, valamint a fényképkészítés minősége is állítható. A fotókkal az elkészült pontfelhőt színezi, de akár panorámaképként is kinyerhetőek. Elsősorban beltéri használatra lett megalkotva – lásd nyílt tükör és integrált kicsi Flir hőkamera – azonban IP54 védelemmel ellátott, így kültéren is megállja a helyét.

¹ Kiss Csaba: Lézerszkennerek erdészeti alkalmazhatósága – Erdészeti Lapok 155. évf. 5. sz.

² Érdemes olyan típust választani melynek középkonzolja fejjel lefelé is beállítható, mivel a BLK360 függőleges tengelye mentén tetszőleges irányban, akár fejjel lefelé is működik. Vízszintesen azonban ne használjuk!

Elméleti maximális mérési hatótávja 60 m, azonban az álláspontok közötti kellő átfedés érdekében és az erdei körülmények miatt inkább sűrűbben álljunk fel vele. Alacsonyabb felbontás esetén pedig inkább 10–15 m-enként. Egy egy felállás időigénye csupán 40 másodperc, amennyiben fényképeket nem készítünk. A felvenni kívánt területet lehetőleg cikkcakk alakban mérjük végig, annak minden egyes részéről legyen három külön álláspontból is adatunk elkerülő a csavarodást/torzulást. A kisméretű gyári alapállványt érdemes megspórolni, helyette szerezzünk be inkább extra akkumulátorokat illetve egy rendes, minél magasabb fotós háromlábát.² Speciális csatlakozó adapterre azonban szükség van.

Az eszközön egyetlen gomb található, melyet a mellékelt telefonos/táblagépes (Android és iOS) alkalmazással tudunk felprogramozni (pontosítás, fénykép, álláspont név) illetve az eszköz állapotát tudjuk megnézni (tárhely, akku) a műszer által megosztott vezeték nélküli hálózaton keresztül.

Az alkalmazás képes arra, hogy a mért adatokat folyamatosan összeillesztve már kint a terepen egy durván regisztrált eredményt kapjunk. Azonban ez erős hardverrel rendelkező mobileszközt igényel, valamint az illesztő algoritmus hatékonyan jelenleg csak az épületeket tudja jól kezelni, a szabálytalan alakzatokat kevésbé vagy egyáltalán nem. Javasolt az alkalmazást pusztán alkalmoszerű ellenőrzésre, beállítások elvégzésére használni. Így egy egyszerűbb telefon is elegendő ezekhez a műveletekhez (pl.: Samsung Galaxy A40). Továbbá jelentős akkumulátordíót takaríthatunk meg. Egy akkumulátorral alacsony szkennelési sűrűség, képkészítés és telefonos szinkronizáció nélkül kb. 45–50 percig tudunk mérni még hideg időben is. Hat darab akkuval pedig egy teljes napot is kényelmesen végig tudunk dolgozni. Társaságunk más Leica eszközeinek telepeivel kompatibilis. Fentieket leszámítva csak egy zöld-sárga-piros színű, az alsó perem mentén körbefutó LED ad visszajelzést a műszer aktuális állapotáról. Kis méretének, tömegének és nem utolsósorban vezeték nélküli vezérlésének hála, terepi körülmények között is relatív könnyedén lehet vele mozogni

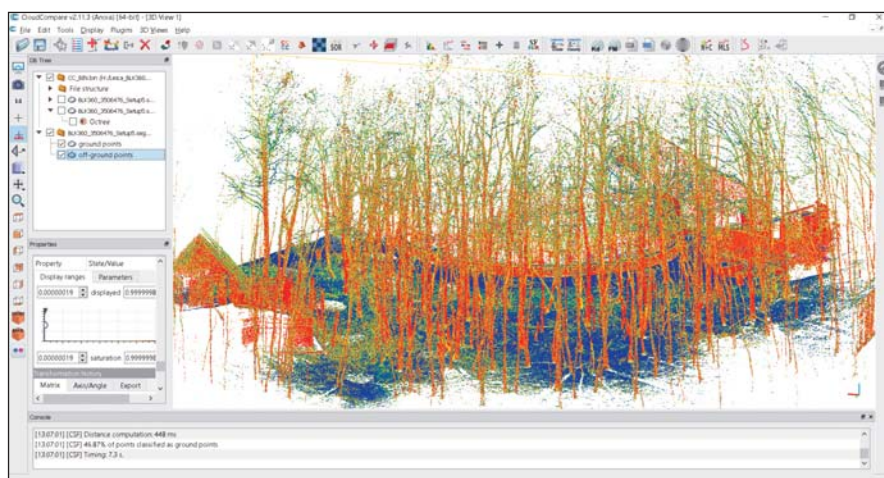
A gyűjtött adatok letöltése wifin vagy USB-C kábelen keresztül történhet. Mivel az eszköz a saját, zárt formátumban (.blk) kódolja a mérési eredményeket, az adatok kiolvasásához szükségünk lesz legalább a *Leica Cyclone Register360* Windows-os programjára és a hozzá tartozó licenckulcsra.

Az adatkinyerésen túl a szoftver elsődleges funkciója az állaspontok pontfelhőinek egymáshoz illesztése, azaz regisztrálása. Ebben egyúttal a koordináta-rendszerbe illesztést (pl. EOVS) is el tudjuk végezni, ha mértünk néhány jellemző, könnyen azonosítható tereptárgyon GNSS vevővel illesztőpontokat (GCP – *Ground Control Point*). Az összeillesztett, véglegesnek tekintett pontfelhőt a programból .e57 formátumban is van lehetőségünk exportálni, melyet a *Cloudcompare*³ segítségével fogunk kiértékelni.

A program kezelését a lap terjedelmi korlátai miatt részletekbe menően nem tudom ismertetni, ezt minden érdeklődőnek magának kell elsajátítani. Javasolom a dokumentációját, illetve *YouTube*-videókat áttekintését. Megfelelő angol-tudásra mindenképpen szükség lesz.

Először végezzünk el egy statisztikai alapú pontfelhőtisztítást, hogy a pontzaj mennyiségét (pl. szélről lengő gallyak, szembefény okozta interferencia) csökkentjük (*Tools/Clean/SOR Filter*). Ezt követően a könnyebb kezelhetőség érdekében csökkentjük a pontfelhő méretét. Ehhez használjuk a véletlenszerű részmintavételezést, ritkítást (*Edit/Subsample – Random*).

Munkaállomásunk erőforrásainak függvényében állítsuk a mértékét. Ha szükséges többször/nagyobb arányban meg-



3. kép. *Cloudcompare* nyílt forráskódú program

ismételve a műveletet, amíg a számunkra elfogadható kezelhetőség/adatsűrűség arányt elérjük. Utána számítsuk ki a normálvektorokat (*Edit/Normals/Compute*).

Ezt követően számíthatunk egy vertikálitást, függőlegességi értéket (*Tools/Other/Compute geometric features/Verticality*). Ezáltal a törzseket könnyen le tudjuk a színezett értékek alapján szűrni és külön kezelni (*Edit/Scalar fields/Filter points by value*).

Másik megoldásként használhatjuk a bővítmények közül a CSF szűrőt (*Plugins/CSF Filter*). Ennek eredményként külön pontfelhőként tudjuk kezelni a felszíni (*ground points*) és egyéb pontokat (*off-ground points*). Előbbi adatállomány közvetlenül magát a domborzatmodellét adja.

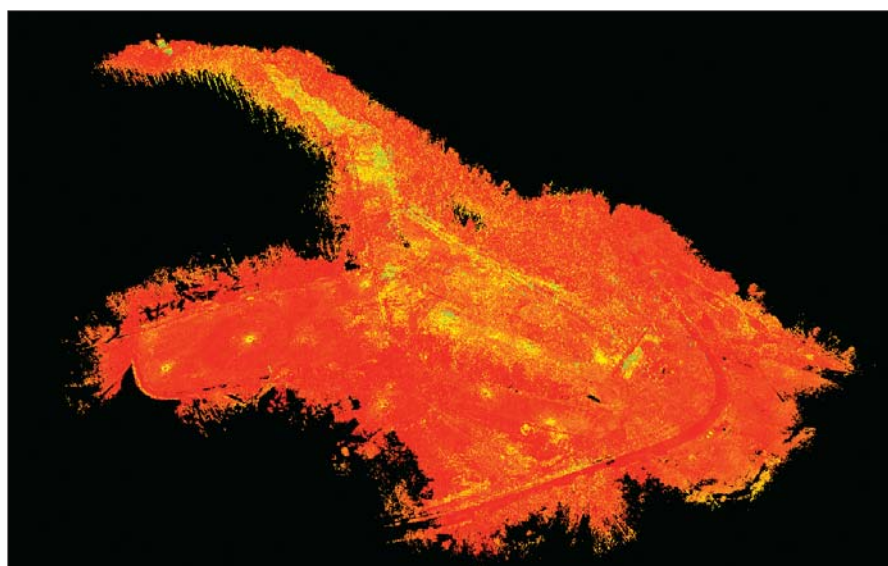
A talajpontokat alakítsuk át felületté, számítsunk rá egy háromszöghálót (*Edit/Mesh/Delaunay 2.5 [XY plane]*). Az így kapott felület (*ground points – Mesh*) és a felszíni pontok (*off-ground points*) között számítsunk távolságot (*mindkét réteg kijelölendő előbb – Tools/Distances/Cloud-Mesh Dist.*) 1,3 m-re, majd szűrjük le a kívánt pontokat. Így a domborzat lekövetésre kerül a körlapkészítés során. Következően készítsunk keresztmetszetet egy 10 cm-es darabról a Z tengely mentén (*Tools/Segmentation/Cros Section*).

Természetesen ezt a szeletelést megcsinálhatjuk tetszőleges vastagsággal és gyakorisággal. A kapott „fakorongokra” egy egyszerű hengertestet tudunk illeszteni a RANSAC⁴ algoritmus segítségével (*Plugins/RANSAC Shape Detection – Cylinder*). Az így kapott geometriák a rétegkezelőben jelennek meg átmérővel együtt.

A fent ismertetett példán keresztül egy nagyon leegyszerűsített feldolgozási folyamatot kívántam bemutatni. Az

eljárás eszközfüggetlen gyakorlatilag bármilyen forrásból származó pontfelhővel elvégezhető (pl.: *drón fotogrammetria lombtalan állományról*). Természetesen a BLK360 a fentiekén túl sok minden másra is használható: épület kültér/beltér felmérése, alaprajzkészítés, kubatúraszámítás, aprítékfelmérés, barlangtérképezés stb.

A 2020-as előzménycikkben kitértem a SLAM⁵ eljárásra is. Egy ilyen elven működő eszközt kaptam kölcsön két munkanapra tesztelés céljából a forgalmazótól, melynek so-

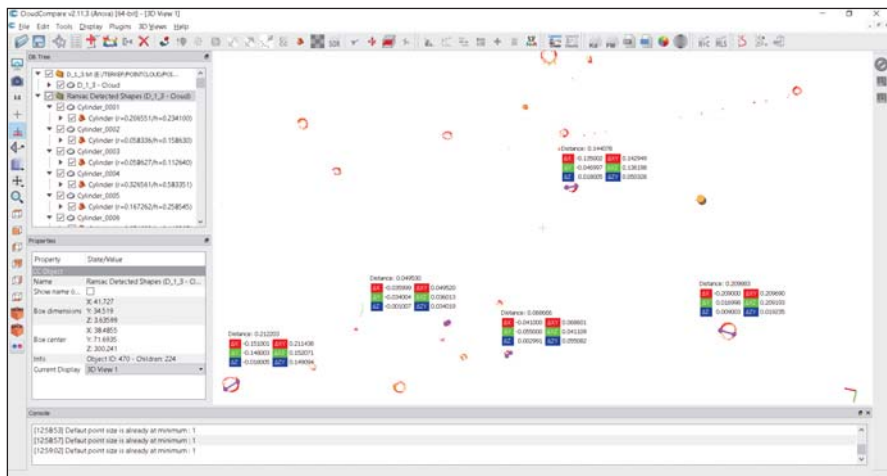


2. kép. *Mogyoróhegy sípálya* felmérés 9 ha, 2 terepi nap alatt

³ Nyílt forráskódú, több operációs rendszert is támogató 3D pontfelhő feldolgozó/elemező program mely eredetileg a francia EDF fejlesztése és Daniel Girardeau-Montaut doktori munkája. Jelenlegi stabil főverzió 2.12.1.

⁴ RANSAC – Random Sample Consensus – véletlenszerű mintavételezésen alapul, jól használhatóan primitívek, geometriák azonosítására.

⁵ SLAM – Simultaneous Localization and Mapping – egyidejű helymeghatározás és térképezés; Kiss Csaba: Lézerszkennerek erdészeti alkalmazhatósága – Erdészeti Lapok 155. évf. 5. sz.



4. kép. RANSAC, átmérők

rán terepi körülmények között tudtam azt kipróbálni. A műszer a *Leica BLK2GO*, amely lényegében egy termosz méretű hordozható BLK360, melyel folyamatosan, mozgás közben, felállások és állvány nélkül tudunk adatot gyűjteni. Az eredmény egy kész összeillesztett pontfelhő.

Pontgyűjtési sebessége másodpercenként 420 000, maximális hatótávja 20–25 méter, szintén rendelkezik IP-védelemmel. Súlya akkumulátorral együtt szűk 1 kg, ami ahhoz bőven elég, hogy az egész napos mérés végére rendesen elfáradjanak a karjaink. A töltő dokkoló egyszerre 4 akkut képes tölteni, időszükséglete kb. 45 perc. Akkumulátorai egyediek, nem kompatibilisek pl. a BLK360-nal.

A tesztelésre a hűvösvölgyi Nagyrét és környéke valamint a Nagy-Hárs-hegy északi oldalának része került bejárásra április elején. A felmérés érintette a Hűvösvölgyi Gyermevasút hárshegyi alagútját és annak megállóját valamint a Kaán Károly kilátót és az odáig vezető turistautat. Mivel még maradt idő, ezért a Budakeszi Vadaspark 5 ha-nyi területe is felvételezésre került bő két óra alatt (leszámítva a medve- és farkaskifutókat).

A fák koronái még nem, de a cserjeszint már kezdett lombosodni. A legnagyobb szedres nyiladékokat leszámítva az eszközzel szisztematikusan bejárásra kerültek az érintett erdőrészek, nem kizárólag turistautak.



5. kép. A Leica BLK2GO műszere

kon és vadcsapásokon mozogtam. Az eszközt magunk előtt és fölött kézben tartva kényelmes sétatempóval haladva – bár a növényzet ezt sokszor nem teszi lehetővé – kellő mértékű pontsűrűségben vehető fel a környezet. Nem feltétlen szükséges a törzseket minden oldalról bejárni mivel az elhaladás során akár három oldalról is gyűjt adatot a műszer róla. A hirtelen mozdulatokat és fordulásokat kerülnék. Ilyen körülmények között az eszköz vezeték nélküli állapota elengedhetetlen, nincs ami beakadjon, megsérüljön.

Indítani egyetlen gombja megnyomásával egy tenyérnyi korongról kell, ez történhet (lehetőleg) vízszintes talajszintről is. A mérés indítása után, de még a felemelés előtt érdemes 15–20 másodpercet várni miközben stabilan tartjuk, hogy kellő sűrűségű induló pontfelhővel rendelkezzen. Terepi körülmények között javasolt rövidebb felmérési sétákat tenni. A korongot biztos, ami biztos alapon ne hagyjuk ott, nadrágunk combzsebében elfér. Helyét a talajon érdemes megjelölni, hogy pontosan oda helyezzük vissza. Telefonos alkalmazáson keresztül követhetjük haladásunkat (*trajektóriát*) egy egyszerűsített valósidejű felülnézeti kép segítségével. A telefont a BLK2GO esetében sem muszáj folyamatosan használni.

A műszer a térbeli pozicionálásra nem használ műholdas rendszert, helyette a lézerszkennerből, három nagylátószögű kamerájából és a robosztus inerciarendszeréből származó adatok alapján helyezi el magát a térben (lásd SLAM).

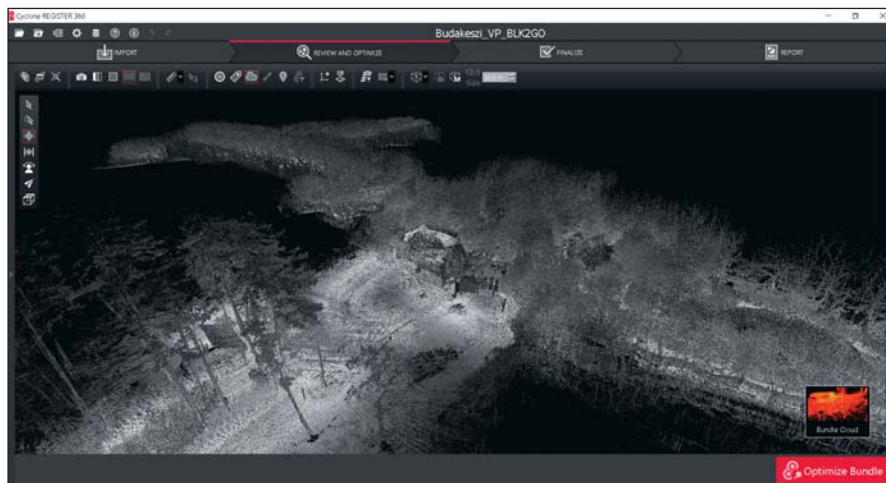
Sodródást a hurokzárás során csak úgy tudtam összehozni, ha direkt hosszabb sétákat tettem többszörös szintkülönbséggel bennük. Mivel tökéletesen pontos, hibátlan műszerek nem készíthetők, ezért a beépített inerciális vezérlő a mérés során kummulatív hibát gyűjt. Minél hosszabb ideig tart az adatgyűjtés,

annál nagyobb lesz a sodródás, azaz drift⁶ mértéke.

Ezt csökkenthetjük az egyenletes mozgással és hirtelen mozdulatok mellőzésével, rövid idejű/távú mérési séták végzésével valamint hurokzárással, azaz a kiindulási és befejezési pontok azonosak. A bejárás végén mielőtt leállítanánk az eszközt, a jó zárás érdekében szintén várjunk 15 másodpercet a korongon tartva azt. A hurkot alkotni nem kötelező, de javasolt a 2–300 m-es/5–6 perces vagy rövidebb séták tartása. Az egyes bejárások között is jó, ha van nagyobb átfedés a későbbi illesztést könnyíti meg.

A kamerakép nem feltétlenül szükséges a navigációhoz, az továbbra is pontos marad sötétben is (pl. alagút). Ugyanakkor külön nem kapcsolható, az RGB-adatot mindenképpen gyűjti, a pontfelhőt vele színezi. Ha nincs szükségünk rá akkor viszont a feldolgozás elején, az importálás során

⁶ Legismertebb és egyben legragikusabb esete a koreai KAL 007 New York – Anchorage – Soul repülőjáratának szerencsétlensége 1983. szeptember elsején. A gép inerciális rendszerének csúszása és emberi mulasztás okán a nagy távolság miatt akaratlanul is beleröpült a Szovjetunió légterébe, ahol is egy Szu-15-ös elfogó vadászgép lelőtte (Közvetlen előzménye a KAL 902 járat esete 1978 áprilisában, mely hasonló körülmények között tévedt a tiltott légterébe, de kényszerleszállással megúsza.) Az incidens vezetett azonban oda, hogy Reagan elnök díjmentes civil hozzáférést biztosított – területi szelektív zavarójellel ellátva ugyan – az amerikai GPS (Navstar) műholdas helymeghatározó rendszerhez. A zavarás kikapcsolását Bill Clinton hagyta jóvá 2000.05.01-én.



6. kép. A Budakeszi Vadaspark mérési képe

kikapcsolható, így lényegesen kisebb állományokkal tudunk dolgozni. Számítsunk rá, hogy az eszköz a kis mérete ellenére a futurisztikus kinézete és halk zümmögése miatt laikusok érdeklődését váltja ki. Az érdeklődő anyukákon és gimnazistákon túl a klasszikus „Mit kamerázol?” észrevételekkel is találkozhatunk.

A két teszt nap és napi 2x3 szett akkumulátor felhasználásával, közel 25 ha területről történt törzsenkénti adatgyűjtés több mint 2,2 milliárd mért ponttal. Belső memóriájában tömörítve 500 GB adatot tud tárolni, mely vezeték nélkül (nem javasolt) vagy vezetéken (USB-C) keresztül tud a gépünkre jutni.

Érdeemes éjszakára időzíteni a műveletet, hosszú időt vesz igénybe. Készüljünk rá, hogy a letöltött és kitömörített adat többszöröse lesz a műszeren tároltnak. A két terepi napon gyűjtött tömörített 32 GB állományból közel 100 GB lett a laptopon. Ezeket szintén a Cyclone Register 360 program segítségével tudjuk feldolgozni, szükség esetén a BLK360 adataival kombinálhatóak közös állományba.

A rendkívül nagyméretű file-ok miatt egy erősebb laptop mindenképpen szükséges (minimum javasolt RAM 16–32 GB), de így is célszerű az állományokat kisebb darabokra bontani. A CloudCompare rendelkezik parancssoros móddal is, melynek segítségével számos művelet elvégezhető (pl. ritkítás és összefűzés) anélkül, hogy vizuálisan is meg kéne jeleníteni a pontfelhőt. A későbbiekben viszont kifejezetten az ilyen és hasonló célból (pl.: drón fotogrammetria) egyedi épített asztali munkaállomáson fog történni a hasonló állományok feldolgozása (Intel i9 3.5GHz processzor, 256 GB RAM, 16 GB GPU, 2x1TB SSD, 4x12TB HDD).

A biztató eredmények mellett ugyanakkor a hatékony fafaj-meghatározás továbbra is kérdés. Az automatikus, kifeje-

zetten faegyed-szegmentálásra és paramétereinek kiértékelésére fejlesztett többféle célszoftver és megoldás is elérhető a piacon, de fafaj-azonosításra egyelőre még nem. Jelenleg is zajlanak kísérletek e célból főként a gépi tanulás irányában.

Mindkét ismertetett eszköz képes panorámaképek készítésére is, melyeken, szükség esetén, fénykép alapon, manuálisan az irodai feldolgozás során címkézhetőek a faegyedek. A BLK2GO a kezelő által igény szerint is tud gombnyomásra lokalizált fényképet készíteni a fő kamerával, az a telefonon vissza is nézhető azonnal. A képet közvetlenül a telefonon a készítés idejében címkézni, fafajkóddal ellátni azonban jelenleg még nem lehet.

Természetesen a piacon több gyártó termékei közül válogathatunk mind hardware, mind software terén. Drónos lidar kísérletek is zajlanak az országban többfelé, köztük a Pilisben is. Főként az önvezető autóipar katalizáló hatása révén egyre több, kisebb és olcsóbb megoldás születik (lásd MEMS, VCSEL, szilárdtest lidar). Jó példa erre az iPhone 12 mely elsőként integrált lidar szenzort okostelefonba.⁷ A kiterjesztett valóság alkalmazása terén is számos ipari megoldás létezik. Egyik ilyen a Trimble által a Microsoft HoloLens2 alapjaira fejlesztett „sisak” mely szintén beépített mélységérzékelőkkel rendelkezik (optikai és lidar).

Némi túlzással, de szinte már „csak” szoftver kérdése, hogy olyan megoldások legyenek elérhetőek, melyek valós időben dolgozzák fel például a telefon által készített pontfelhőből származó geometriai elemeket. Ha nincs szükségünk törzstérképre/domborzatmodellre, csak a törzs paramétereire akkor elegendő lehet az állományt bejárni (ügylve, hogy ne vegyük fel kétszer ugyanazt a területet), hogy kellő adatot gyűjtsünk. Persze a fafaj meghatározás kérdése továbbra is fennáll.

Végezetül köszönetemet szeretném kifejezni Gombás Lászlónak, a Leica Magyarország Kft. igazgatójának, aki lehetőséget biztosított a BLK2GO kétnapos intenzív terepi tesztelésére. Szintén köszönet illeti Paulusz Márk, Sáfár Tamás és Péter Tamás szakértőket, akik a technikai háttértámogatás biztosításában voltak segítségemre.

A cikkben ismertetett eszközök (és továbbiak) az idei Vándorgyűlés 6. és 7. szakmai programjának végén élőben is bemutatásra kerülnek.

(Jelen cikk semmilyen előzetes, termékpiacon érdekelte fél által származó ellenőrzésen, tartalmi változtatáson nem esett át. A cikkel kapcsolatosan a szerző továbbra sem részesült semmilyen anyagi vagy természetbeni ellenszolgáltatásban.)

Kép és szöveg: **Kiss Csaba** műszaki előadó, Pilisi Parkerdő Zrt., Informatikai Osztály



7. kép. Trajektória a BLK2GO műszerrel

⁷ Kinect V2 játékkonzol megoldása lett miniaturizálva; Kiss Csaba: Lézerszenkennerek erdészeti alkalmazhatósága – Erdészeti Lapok 155. évf. 5. sz.