

Fakészlet-meghatározás felülnézetből

Szász Botond – okl. erdőmérnök, doktorandusz, SOE EMK¹

Az UAV-k (Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli repülőeszköz) alkalmazása több szempontból is megkönnyítheti az erdészetek dolgát. A piacon egyre több ilyen repülőeszköz (drón vagy kopter) jelenik meg, melyek beszerzése nem jár csillagászati nagyságrendű kiadásokkal, alkalmazásukkal pedig új fejezet nyílik az erdőbecslés, illetve az erdőtervezés történetében.

Vizsgálatainkat a Szombathelyi Erdészeti Zrt. Szentgotthárdi Erdészeti Igazgatóságának területén található erdőrészleteken végeztük Farkas Rolf tervezővel, és egy *DJI Phantom 4 Pro* típusú repülőeszközzel (1. ábra). Mind a négy erdőrészlet véghasználati időszak alatt áll, az első bontóvágások már megtörténtek és végvágásra várnak.

Az UAV-k által készített nagy felbontású légifelvételek felhasználása az erdőbecslésben több szempontból is praktikus. A repülés útvonala egy előre elkészített repülési terv alapján van meghatározva, amelyet a beépített GPS-szel rendelkező eszközünk a felszállás után mindenféle „földi” beavatkozás nélkül végrehajt.

Ehhez több szoftver is a rendelkezésünkre áll, ilyen például a *DroneDeploy*, a *PrecisionFlight*, vagy az *Altizure*. Normál esetben a fel-, illetve a leszállást is automatikusan végzi a kopter, azonban amikor egy keskeny nyiladékot használunk leszállópályaként, a műholdakkal való kapcsolat nem tökéletes, ezért előfordulhat, hogy korrigálni kell a távirányító segítségével. A felvételeket szabályos időközönként, szintén automatizálva készíti el a repülőeszközre szerelt kamera, amely a látható spektrumot érzékeli három különböző sávban (vörös, zöld, kék).

Maga a repülés igen kevés időbe telik, például egy kéthektáros terület lerepülése alig 10 percet vesz igénybe, tehát időbeli hatékonysága figyelemre méltó. Hátránya, hogy a változó időjárási körülmények csak egy szűkebb intervallumban lehet biztonságosan és eredményesen elkészíteni a légifotókat. Az erős szél, illetve az esős idő teljes mértékben kizáró ok, de a fényviszonyok is nagyban befolyásolják a készített képek minőségét. A legjobb minőségű képeket szórt fényben lehet elkészíteni.

Figyelni kell az érzékelő beállításaira, így a fényérzékenységre, záridőre, valamint a rekesz nagyságára. A nem megfelelő beállítások alul-, illetve túlexponált képeket eredményezhetnek, ami kihathat a feldolgozás sikerességére. Ezeket a beállításokat az érzékelő általában automatikusan választja meg, de előfordulhat, hogy a manuális kamerabeállítás jobb képeket eredményez.

További befolyásoló tényező a megválasztott repülési sebesség. Túl nagy sebesség esetén a képek bemozdulhatnak, elmosódhatnak, ez pedig a későbbi feldolgozásban jelentős hibákat generálhat. A túl lassú sebesség sem jó megoldás, ugyanis az akkumulátor töltöttsége is véges.

Az egymást követő felvételek előre megadott mértékben átfedik egymást. Kétféle képátfedést különböztetünk meg:

sorirányú és sorok közötti átfedés. Utóbbi szintén befolyásolja a repülés idejét, minél nagyobb a sorok közötti átfedés, annál több a repülési sor, tehát a repülés ideje is. Az átfedő képeknek köszönhetően a vizsgált objektumok több szemszögből is lefényképezésre kerülnek.

Ahhoz, hogy a vizsgált állomány paramétereit megismerhessük, a készített képek felhasználásával, azok egymáshoz való illesztésével, illetve különböző műveletek elvégzésével többféle felületmodellt is előállítunk a feldolgozás során. A felületmodellek szabályos adatmodellek (raszter), amelyek pixelekre vannak osztva. Minden pixel tartalmaz egy magasságértéket. Az általunk készített modellek nagy felbontásúak, ami azt jelenti, hogy a pixelek oldalhossza a valóságban pár centiméternek felel meg. Tehát ha például egy pixel oldalhossza a terepen 5 centiméter, akkor az azt jelenti, hogy ez a pixel 25 négyzetcentimétert, azaz 0,0025 négyzetmétert fed le.

Első lépésként az átfedő képekből egy úgynevezett borított felszínmodell (BFM) kell előállítanunk, amely lényegében háromdimenziós digitális modellként jeleníti meg az erdőt a számítógép képernyőjén. Ehhez a művelethez az *Agisoft Metashape* nevű szoftvert használtuk. A kopter be-



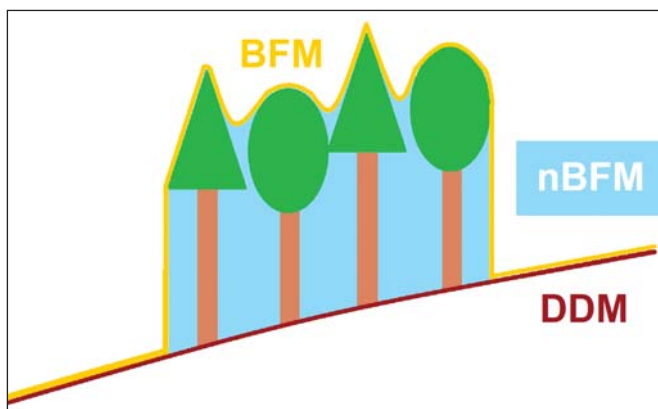
1. ábra. Bevetés közben

szerzési ára mellett ez a szoftver, valamint az ezt megfelelően futtató PC jelenti a beruházás jelentős költségkíméjét.

A borított felszínmodell pixelei által tárolt magasságértékek azonban nem a faegyedek konkrét magasságát, hanem a tengerszinttől számított magasságeltérését írják le. Ezért következő lépésként a borított felszínmodell normalizálni kell, melynek végeredménye a normalizált borított felszínmodell (nBFM), vagy famagasságmodell.

Ennek előállításához szükségünk van az adott erdőrészlet digitális domborzatmodelljére (DDM), amely nevéből ki-következtethető, hogy az adott terület domborzatát írja le.

¹ A cikkanyag az Erdészeti Lapok 2020. évi cikkpályázatára benyújtott pályamű.



2. ábra. A különböző felületmodellek

A famagasságmodellt úgy kapjuk meg, hogy kivonjuk a BFM-ből a DDM-et, így az már a faállományt alkotó faegyedek magasságait írja le a talajszintől számítva (Király és mtsai. 2017). A felületmodellek egyszerűbb megértését a 2. ábra segíti.

A famagasságmodell feldolgozása során az azt alkotó pixelek elhelyezkedését, valamint azok egymáshoz való viszonyát vizsgáljuk, így meghatározhatók a különböző állomány-paraméterek.

Az egyesfák azonosítása, valamint azok koronavetületének lehatárolása történhet manuálisan is, viszont ez akár órákat is igénybe vehet, így pedig az időbeli hatékonyság és a kevesebb élömunkaigény, mint az UAV-alapú becslés előnye, érvényét veszítené. Az informatika rohamos fejlődésével azonban ez a folyamat automatizálható. Ennek köszönhetően jóval kevesebb az élömunkaigénye a famagasságmodell feldolgozásának, így pedig a faállomány-paraméterek meghatározásának is.

Noha sok ilyen ingyenesen elérhető algoritmus, program, bővítmény kering már az interneten, ezek jellemzően nem a magyarországi állományviszonyokra lettek optimalizálva, ezért a vizsgálataink során kapott famagasságmodellek feldolgozását, illetve az állomány-paraméterek meghatározását egy saját fejlesztésű programmal végeztem, amely programot a diplomamunkámhoz készítettem. A program képes azonosítani a faállomány faegyedeinek csúcspontjait (tehát azonosítani az egyesfákat), meghatározni azok magasságát, valamint lehatárolni a koronavetületeiket, így megkapjuk azok területét.

A famagasságmodellről közvetlen módon határozható meg többek között a törzsszám, az átlagmagasság, illetve a koronavetületek nagysága. A törzsszám meghatározása lokális maximumpontok keresésén alapszik. A program egy előre megadott oldalhosszúságú négyzethálóra osztja a raster, ezután minden négyzeten belül megjelöli a legmagasabb értékkel rendelkező pixelt. Ezután különböző simítási és korrekciós műveletek elvégzésével kapjuk meg végül a törzsszámot, ami a lokális maximumpontok számával egyenlő. Az átlagmagasság innen már egy lépésre van, a dolgunk csak annyi, hogy átlagot számítsunk a kapott maximumpontok magassági értékeiből.

A fakészlet becslése már közvetett módon történik. Mind-egyik állományban felvételre került 15 faegyed (az átmérő átlalóval, valamint a famagasság lézeres famagasságmérővel), melyek fafajmegoszlása az állományra jellemző elegyarány szerinti, méreteiket tekintve pedig megfelelően reprezentálják a faállományt.

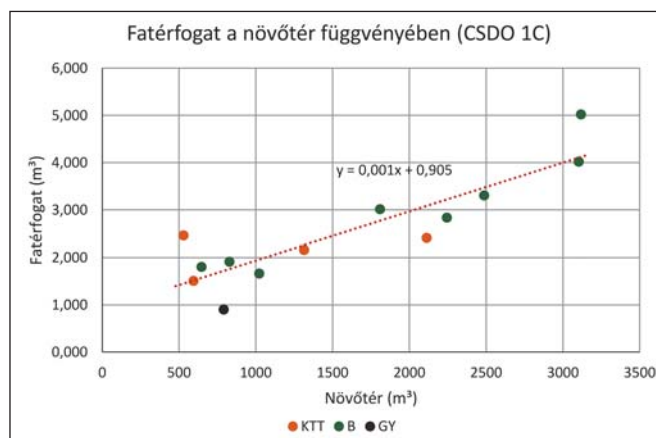
Ezen faegyedek helyzetét GPS segítségével rögzítettük, így pedig a famagasságmodellen is beazonosíthatók lettek.

A mintafák esetén így összefüggéseket kerestünk a növtér (a magasság és a koronavetület szorzata) és a fatérfogat között. A mintafák fatömegét a szakmában széleskörűen alkalmazott Király-féle fatérfogatfüggvénnyel határoztuk meg. Az így kapott növtér-fatömeg arányok grafikonon való ábrázolásával, lineáris összefüggést feltételezve, mindegyik állományra kapunk egy-egy függvényt, amely megadja az egyesfák fatömegét a növtér függvényében. Egy ilyen függvényt mutat be a 3. ábra. Az így kapott fatömegek összegzésével pedig megkapjuk a faállomány teljes fakészletét. Hogy vizsgálataink pontossága értékelhető legyen, a kapott eredmények összehasonlításra kerültek az egyes erdőrészekre törzsenkénti felvétel révén elkészített fatömegbecslési jegyzőkönyveinek adataival.

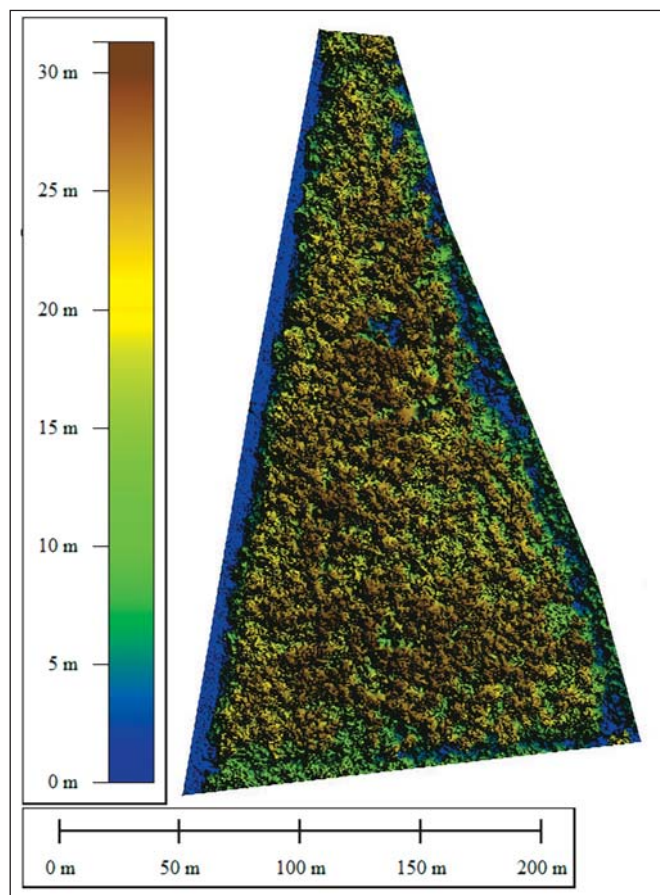
Diplomamunkámban arra a következtetésre jutottam, hogy az általam kifejlesztett módszer azokon az állományokon a legpontosabb, amelyekben már elvégezték az első bontóvágásokat. Ennek tekintetében választottunk ki négy darab faállományt, külön odafigyelve arra, hogy fafajösszetételük változatos legyen, így a végeredmények meghatározása mellett azt is vizsgálni tudjuk, hogy melyik fafaj esetén milyen pontosság érhető el. A vizsgált erdőrészek a következők voltak: Csákánydoroszló 1C, Rábagyarmat 3F, Óriszentpéter 10J, Ispánk 2A.

A Csákánydoroszló 1C erdőrészet, egy bükkös-gyertyános-kocsánytalan tölgyes faállomány, néhány szál erdeifejnyővel tarkítva, még 2018-ban került lerepülésre, feldolgozása pedig az ezt követő évben volt esedékes. Ekkor a becslési jegyzőkönyv szerint 126 db/ha volt a törzsszám, a program pedig 109 db/ha-ra becsülte ezt a paramétert.

Azóta a 6,46 hektáros erdőrészet egy részterületén végrehajtották a végvágást, melynek következtében ez a szám 89 db/ha-ra apadt. Az átlagmagasság értéke is jó eredményt hozott, mindössze 1,2 méterrel becsülte alá a program a becslési jegyzőkönyvben szereplő értéket. Fakészlet tekintetében itt kaptam a legjobb eredményt, ugyanis a végvágás első ütemének végrehajtása előtt készített becslési jegyzőkönyv szerinti 291 m³/ha-tól épp egy hajszálnyit eltéréssel 298 m³/ha-t becsült a program. Ez köszönhető volt elsősorban a kiemelkedő minőségű famagasságmodellnek, amelyen az egyes koronák szépen lehatárolhatók voltak, így ez kizárta a nagyobb hibák lehetőségét. A kapott koronaterkép segítségével a végvágás utáni törzsszám, illetve fakészlet is leolvasható volt, azonban meglepő módon a megmaradt állományrész ekképpen meghatározott paramétereire jóval alacsonyabb számok jöttek ki a fakitermelés után készített becslési jegyzőkönyv szerinti értékeknél. Ez azzal ma-



3. ábra. Fatérfogat a növtér függvényében (CSDO 1C)



4. ábra. Ispánk 2A famagasságmodell

gyarázható, hogy a felvett faegyedek az erdőrészt teljes területére nézve reprezentatívak voltak, azonban a végvágással nem érintett részterületre már nem.

A *Rábagyarmat 3F* erdőrészt nagyjából kétharmad-egyharmad arányban bükk és kocsánytalan tölgy fafajú egyedek alkotják, a faállomány jellegében és területi kiterjedésében is hasonlít a csákánydoroszlóira. Az erdőrészt területén tekintélyes mennyiségű és magasságú újulat is felverődött, így a végvágás végrehajtható volt. Az egyesfák koronái kiválóan elkülöníthetők egymástól a famagasságmodellen, ezt tükrözi a becsült törzszám is, ugyanis a becsült jegyzőkönyv értékénél mindössze 1 egységgel kisebb eredmény született erre a paraméterre (54, illetve 53 db/ha), ami a négy vizsgált erdőrészt tekintetében a legjobb eredményt jelentette. Az átlagmagasságot vizsgálva kisebb eltérés, mintegy 2 méternyi különbség volt tapasztalható az UAV-s becslés javára, ez pedig ugyan kis mértékben, de közvetlenül kihatott a fakészletre is. A jegyzőkönyv szerinti 238 m³/ha mellett 249 m³/ha lett a becsült érték, ami bőven a 10%-os hibahatáron belül van, úgyhogy a fakészletbecslés eredményesnek tekinthető.

Az *Őriszentpéter 10J* és *Ispánk 2A* (4. ábra) erdőrészt jellegükben igencsak hasonlítanak egymáshoz. Mindkét faállomány felső szintjében az erdeifenyő az uralkodó fafaj, helyenként a bükkel osztozva (5. ábra). Ez utóbbi az alsó szintben is megtalálható igen nagy számban, mellette a gertyán van jelen számottevően. Ezt tükrözik a két erdőrészt becsült jegyzőkönyv szerinti igen magas törzszámértékei: 491 db/ha, illetve 530 db/ha.

A famagasságmodellről mindkét erdőrészt esetében jelentősen, körülbelül a valós érték felére lett alábecsülve a törzszám, amin keresztül így megismerhető a légifénykép-alapú állománybecslés hátránya, miszerint a közbeszorult,

alászorult faegyedek azonosítása nem kivitelezhető. Az ilyen jellegű állományokban az átlagmagasságot sem lehet pontosan meghatározni, a kapott érték minden esetben nagyobb lesz a valós magasságnál, pontosan azért, mert az alászorult faegyedek magasságai nem vesznek részt az átlagszámításban, az így kapott magasságot pedig nem átlagmagasságnak, hanem inkább felsőmagasságnak lehet titulálni. Ez a hátrány a fakészletre való következtetés eredményében is meglátszik, egyes esetekben kisebb, de van, ahol már sokkal jelentősebb mértékben.

A két tárgyalt erdőrészt esetében sincs ez másként. Az *Őriszentpéter 10J* faállományának fakészlete jelentősen kevesebb az UAV-alapú becslés szerint, mindössze 68%-a a jegyzőkönyvben található referenciaadatnak. Az *Ispánk 2A* erdőrészt ily módon becsült fakészlete azonban jóval kisebb eltérést hozott: 93%-a a valós fakészletnek, ami már hibahatáron belüli. Hogy mi befolyásolja ezt az eltérést a hasonló jellegű erdőrészteteknél, az nem jelenthető ki teljes biztonsággal, de feltételezhetően a mintafák reprezentativitása, valamint a famagasságmodell élessége is jelentősen közrejátszik ebben.

A négy vizsgált erdőrészt alapján kijelenthető, hogy az alsó szint nélküli, közvetlenül végvágás előtt álló, nagy erélyvel megbontott faállományok esetében használható a legeredményesebben a kifejlesztett módszer. Jól látható volt az is, hogy a jelentős számú alászorult faegyed alábecsült eredményezhet mind a törzszám, mind pedig fakészlet tekintetében, de esetenként az utóbbira mégis megfelelő érték kapható.

Összességében elmondható, hogy az UAV-k segítségével készített légifényképek alkalmazása az erdészletben igencsak ígéretes, a számítástechnika rohamos fejlődésének köszönhetően pedig a jelentősége egyre inkább növekedni fog, akár irányadóvá is válhat az egyes szakterületeken belül (így például az erdőtervezésben).

A különböző módszerek fejlesztése, parametrizálása, valamint optimalizálása a magyarországi állományviszonyokra nézve lehet a következő évek legfontosabb feladata, amely várhatóan lényegesen felgyorsítja a faállomány-paraméterek meghatározásának folyamatát, valamint a pontosságát. Az automatizálás fejlesztésével ráadásul egyre kevesebb lesz az élőmunkaigénye ezeknek a műveleteknek.



5. ábra. Erdeifenyves-bükkös

Felhasznált irodalom

Király G. – Balla C. – Barton I. – Mészáros Gy. – Petrányi B. – Szabó K. (2017): Borított felszínmodellek erdészeti felhasználása. In: Bidló A. – Facskó F. (szerk.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 118 pp.