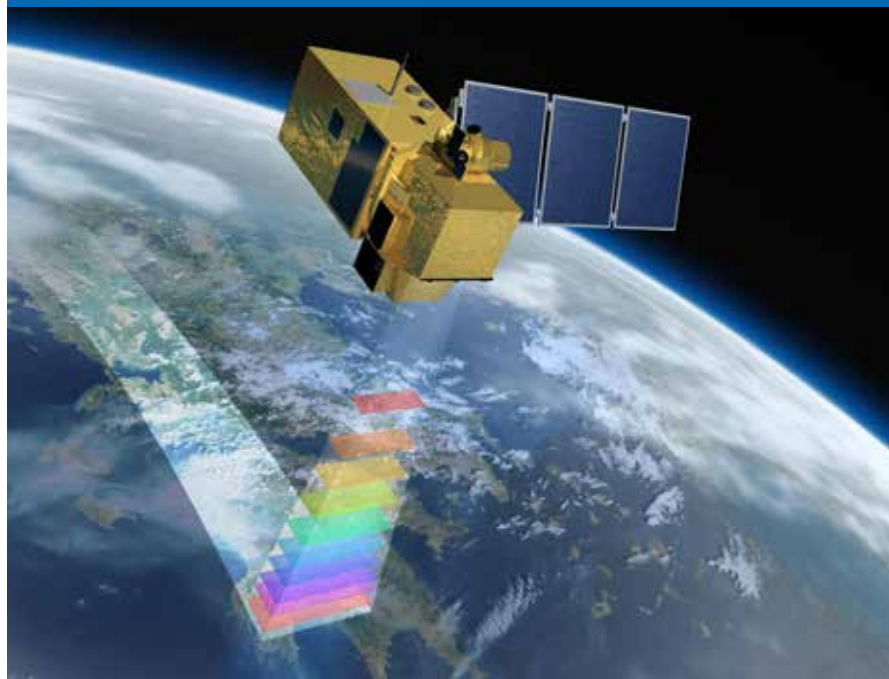


Távérzékelés a körzeti erdőtervezésben

Kottek Péter¹, Pálfalvi Zsolt², Szolnyik Csaba¹, Czirok István¹

A körzeti erdőtervezés állományfelvételeit támogató távérzékelési alkalmazások fejlesztésével 2017 óta foglalkozunk. Az alábbiakban az elvégzett munkáról szeretnénk szemelvényeket a szakközönség elé tárni. A témát érintő második cikkünkben a ma már széles körben alkalmazott módszereket mutatjuk be.



Az elmúlt időszakban elsősorban a folyamatos létszámcsökkenések miatt, az erdőtervezés terepi munkái egyre nagyobb kihívást jelentenek az erdészeti igazgatásnak. Az egy főre eső átlagos terület az elmúlt 25 évben 1500 hektárról 3500 hektárra, számos esetben még magasabbra emelkedett.

A terepi munkakörülmények jelentős változása (a szélsőséges időjárás viszontagságai és ennek terepi következményei, pl. a fokozottabb, korábbiaknál fertőzőbb rovarhatások: szúnyogok, böglyök, kullancsok) a sokat tapasztalt erdőtervezőket is próbára teszik.

A többhónapos folyamatos terepi munka napjainkban már kevésbé vonzó a fiatal erdőmérnökök számára. A nehézségeket helyenként fokozza a telephely és az erdőtervezett terület nagy távolsága, a terepi szállások kényelmetlensége, a többnapos távollét a családtól, a megszokott otthonától.

Itt a szakterület erős fluktuációval is küzd. *A nebezítő körülmények okán mára már komoly kihívást jelent az er-*

dőtervezéstől elvárható szakmai színvonal megőrzése. Időszzerű tehát, hogy az évtizedek alatt letisztult terepi adatfelvételi eljárások korszerűsítése mellett a távérzékelési adatok minél szélesebb körű felhasználása is teret kapjon, ami komoly egyszerűsítési lehetőséget jelenthet a terepi munkákban.

A másik ok, ami miatt a távérzékelés felé fordultunk, a korszerűség igénye. Visszatekintve: a Bitterlich-féle relaskópok és a szögszámláló körülmérés elvének elterjedése óta, azaz nagyjából az 1980-as évek óta *a faállomány-felvételek szűken vett területén nem történt előrelépés.*

Jobbak lettek a távolság- és magasságmérő műszerek, léteznek digitális adatgyűjtő rendszerek és a többi, de ezekkel ugyanazokat a mérési elveket használunk, mint apáink.

A távérzékelés ehhez képest tényleg merőben új paradigma: míg a hagyományos terepi felvételnél a méréseket a természeti objektumokon végezzük (a fákon, a tereptárgyakon), a távérzékelési eljárásokban egy modell jön létre mindezekről cellák, pixelek, pontfelhők vagy más szervezésű adatok

formájában, és a méréseket már ezen a virtuális erdőn végezzük el.

Míg a hagyományos erdőbecslési módszerek pontszerű megfigyelésekre, próbákra, mintakörökre épültek, addig a távérzékeléssel az erdőrézstet teljes területéről, faltól falig gyűjtünk és használunk fel információt.

A gyakorlati eredményeken túl a legérdekesebb felismerések abból adódnak, hogy a távérzékelés kibővíti a faállomány-szerkezetet leíró fogalmak repertoárját (lásd pl. a *növőtérfogatra*, a *záródás értelmezésére*, a *klaszterekbe rendeződő magassági eloszlásokra*, a *faállomány és az egyesfa közti szerveződési egységek értelmezésére* vonatkozó felismeréseket), és mindez elméleti síkon is előremutató. A távérzékelési eredmények segítségével jóval többet tudunk a faállomány-szerkezetéről.

Alkalmazások a körzeti erdőtervezés támogatására

2017 óta 20-nál több erdőtervezési körzetben használtunk távérzékelésen alapuló módszereket, adatokkal támogatjuk az erdőtervezés terepi állományfelvételeit, ellenőrzését.

Minimális költségvetéssel, terepi referenciamérésekkel validálva, nagy területen dolgozunk. A fajasorokra vonatkozó távérzékelési eredményeket *táblázatos formában³, térinformatikai szoftverekben megtekinthető fedvényekben, terepre vihető mobil alkalmazásban, hagyományos, előnyomtatott, papíralapú L-lapon és erdőrézstetenként ábrásgrafikus formában* tesszük az erdőtervezők számára elérhetővé.

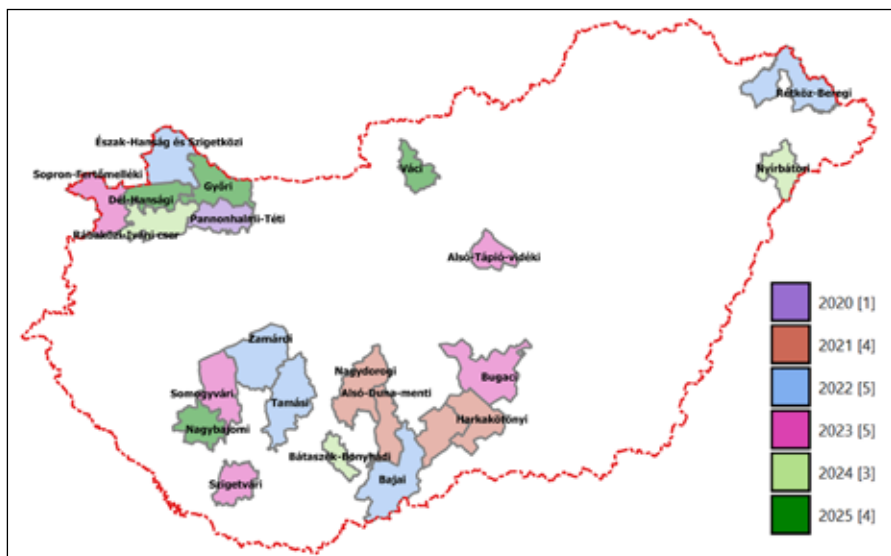
Fejlesztéseink korszerűbbé és hatékonyabbá tették az erdőtervezés munkáját, *csökkenő létszám mellett járultak hozzá az eredményességhez, és segítették az erdőtervi lemaradások felszámolását* (főleg az alföldi körzetekben).

Alkalmazásainkban tekintettel vagyunk arra, hogy az új módszerek *kompatibilitásuk legyenek* a faállomány-leírás adatszerkezetével, az erdőtervezés hagyományos módszereivel, a fatermésztan elveivel és az országos erdőállományra vonatkozó statisztikai elvárásokkal.

³ Ezekre a távérzékelési, magasság- és záródásbecsléseket tartalmazó excel-fájlokra ragadt rá a „sültgalamb” név.

¹ AM Erdőrendezési Főosztály

² AM Alföldi Erdőtervezési Osztály



1. ábra Távérzékeléssel támogatott erdőtervezési körzetek 2020–2025

A középtávú cél a *differentiált állapotfelvételen*⁴ alapuló erdőtervezés megvalósítása, ahol az elegyetlen, homogén, nem vágásérett, természetvédelmi szempontból érdektelen stb. erdőrészeket állományleírásait távérzékelési alapon, terepi felvétel nélkül készítenénk el. Összességében az erdőállomány elég nagy részéről, a hazai erdőterület mintegy 20–30%-áról van szó.

Fafajosztályozások

A fajok előfordulásának térképezése a távérzékelés alapja. A jelenleg elérhető osztályozások meghatározóan Sentinel-2 adatokra és újabban jobb felbontású űrfelvételekre (pl. planet.com) épülnek.

Minden távérzékeléssel támogatott körzetben használunk fafajosztályozásokat. A *terepi munka támogatásában* jók a tapasztalatok: ha az osztályozás nem is találja el az egyes állományfoltok fáját, hasznos abban, hogy megmutatja, hogy ott valami más van, amit érdemes alaposabban megnézni.

A legjobb osztályozásokat jelenleg az *Envirosense/Woodwiser Kft.*-től vásároljuk. *Szabó Károly* kollégánk a hosszú évek közös munkája alatt felhalmozott tudását vitte magával oda, és ez találkozott a cég akadémikus hátterével, illetve korszerű adatforrásaival. Használjuk a FIR (*Földmegfigyelési Informá-*

ciós Rendszer, jelenleg a Lechner TK kezelésében) osztályozásait is.

Kertész Péter erdőtervező kollégánk Sentinel-2-adatokra épülő, *saját fejlesztésű osztályozó alkalmazást* készített, ami támogatja, hogy az erdőtervező maga készítsen osztályozásokat az aktuális körzeteire, hiszen az osztályozások lelke a tanítóterületek kiválasztása, és ehhez *elsősorban helyismeret kell*. Jelenleg tesztfázisban van.

Dobay Gábor erdőtervező kollégánk oldotta meg a különböző osztályozások összehasonlításának objektív értékelését.

A jelenlegi osztályozásoknak erős korlátai vannak. A jónak mondható osztályozások pontossága 80–90%-os, ami még mindig csak azt jelenti, hogy minden 5. vagy 10. cella hibás.

A felbontás miatt a szórt lombos elemek megkülönböztetése szinte lehet-

etlen, a homogén és állományszerű tanítóterületek hiánya miatt kritikus invazív fajok (pl. bálványfa) osztályozása megoldhatatlan, a spektrálisan egymáshoz közeli fajok gyakran átosztályozódnak (pl. HNY/NNY, EF/FF, T/CS), az eredet szerinti elkülönítés (mag/sarj) eleve lehetetlen. *Jelenleg a kizárólag távérzékelte adatokra épülő faállomány-leírás megvalósításának legnagyobb akadálya a fafajosztályozások minősége.*

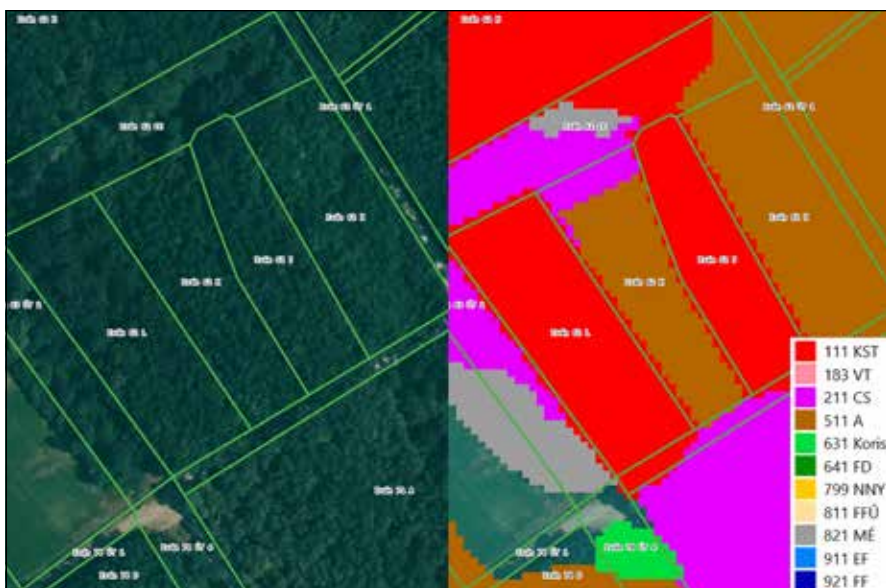
Az algoritmikus faállomány-leírás érdekében eljárásokat dolgoztunk ki az *átosztályozási problémák kezelésére*, amelyek az erdőrézset határain belül logikai alapon próbálják rendezni az osztályozás ellentmondásait, de sajnos csak részleges megoldás.

Óvatos várakozással tekintünk az AI-alapú (vagy *deep learning*) fafajosztályozási módszerekre, de még nincs tapasztalatunk ezekkel kapcsolatban.

Fotogrammetrikus forrású magassági adatok

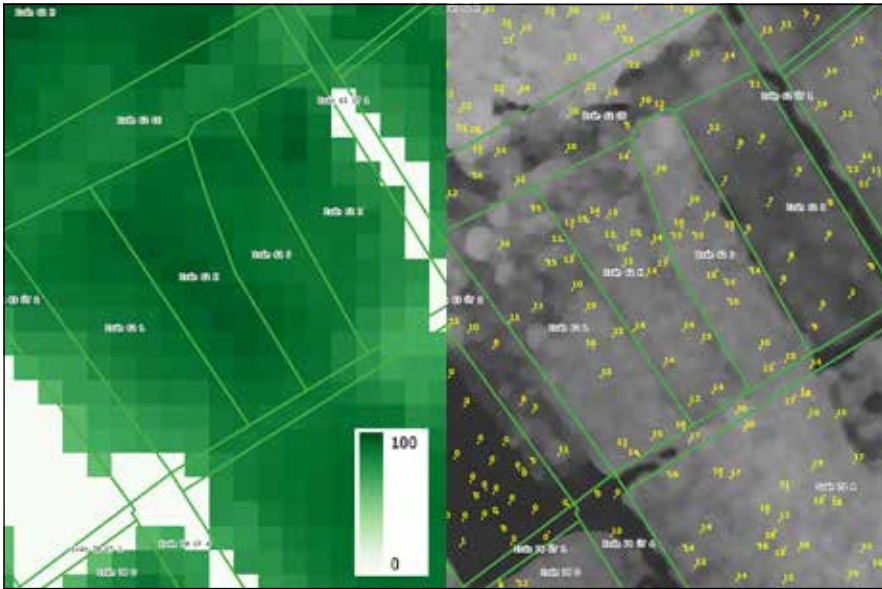
2015-ben *Király Géza* (SOE) hívta fel a figyelmünket arra, hogy a fotogrammetriai módszerrel készült normalizált borított felszínmodellek (a továbbiakban: *Lechner-féle adatok vagy nDFM*) már alkalmasak lehetnek a magasságmérésre.

Az alapadatokat a Lechner TK-tól vásároljuk. A megvásárolható nDFM 80 cm-es méretű cellákban tartalmazza a faállomány magasságának megfeleltethető adatokat méterben. Ezek a *MePAR-rendszerhez* készülő légifényképek másodlagos kiértékeléséből készülnek, s mivel a MePAR-rendszert az EU finanszírozza, az nDFM-hez töredék áron (a konkurens LiDAR adatfor-

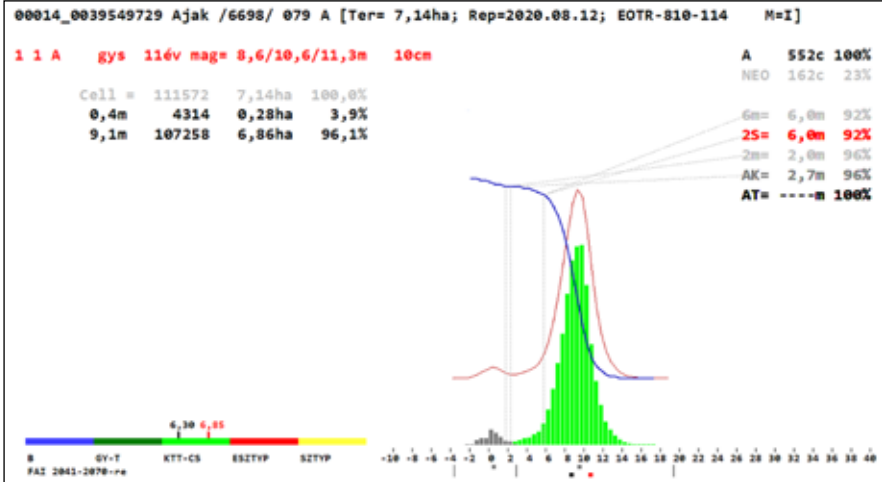


2. ábra Ortofotó (balra) és fafajosztályozás (jobbra) támogatja a fafajok felismerését

⁴ Balogh Csaba kollégánk koncepciója, ami arról szól, hogy a rendeltetés, a természetesség, a védettség, az állományszerkezet, a szükséges előírások stb. alapján az erdőrészeket csoportokba sorolhatók aszerint, hogy milyen pontosságú, részletességű, módszerű és munkaigényű terepi felmérést kell végezni erdőtervezéskor.



3. ábra TCD-forrású záródásbecslés (balra) és a lomkoronasátor magasságát leíró fedvény (nDFM, jobbra) támogatja a záródás- és magasságmérést. A detektált pontszerű magasságokból vezetjük le a részletre, ill. annak fajfajsortáblájára vonatkozó átlagmagasságokat



4. ábra A faállomány magassági szerkezete (Ajak 79A erdőrészlet). A magasságok eloszlásának hisztogramja jobbra lent. A jobb felső sarokban a fajfajsortáblázás eredménye (elegyetlen akác, ezen felül a részlet területének 23%-a nem osztályozott). Alatta a különböző záródásbecslések: az nDFM 8%-nyi záródásbiányt mutatott. Fent a piros sorban látható a fajfajsortáblázás, benne a távérzékelés és az erdőterv átvételési időpontjára növedékesített átlagmagassággal (11,3 m), alatta két sorban a faállomány magassági klaszterei. A bal alsó sarokban a várható klímaeltolódásra vonatkozó tájékoztató ábra⁵



rások árának ötvened-század részéért) jutunk hozzá, és az olcsósága miatt megoldható a teljes erdőtervezési körzetek alapadatainak megvásárlása.

További előny, hogy standard, állandó minőségű termékről van szó, és a beszerzés adminisztrációja is viszonylag egyszerű.

Az nDFM-ből származtatott famagassági fedvényeket az erdőtervezői kollektíva fogékonyabb része mára elfogadta, és terepi mobil alkalmazásokban használja az állománymagasság mérésére. Eleinte tartottunk attól, hogy tagolt terepen nem lesz alkalmas, de úgy találtuk, hogy hegy- és síkvidéken is kielégítően használható.

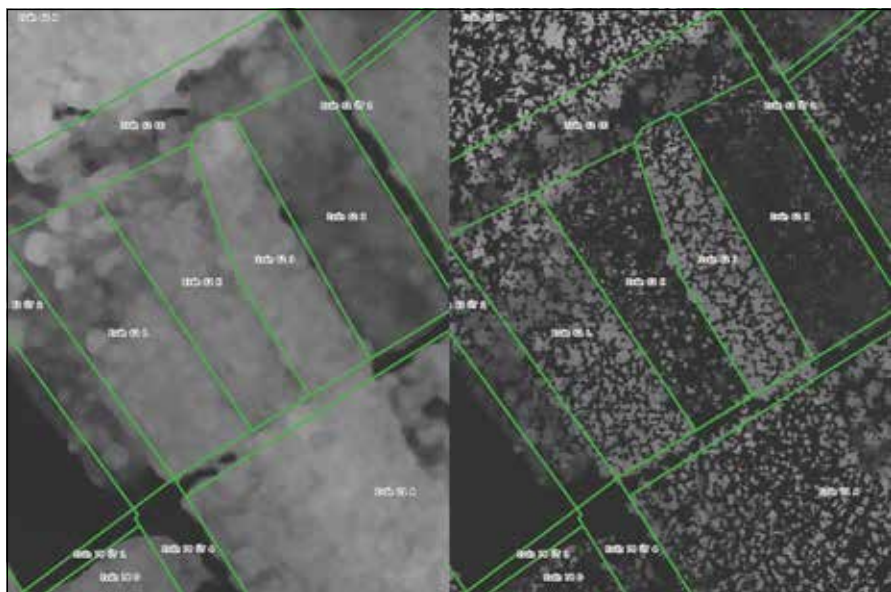
Érdekes fejlemény, hogy a távérzékelte becslések használata egységesíti, standardizálja a hagyományos terepi magasság- és záródásbecslést, közelebb hozta egymáshoz az erdőtervezők szubjektív szemléletbeli eltéréseit is, hiszen van valami, amihez mindenki viszonyíthatja a saját mérési gyakorlatát.

Saját fejlesztésű módszereket dolgoztunk ki a fotogrammetrikus forrású nDFM-re épülő záródás- és magasságbecslésre, ami lehetővé teszi az egyszerűbb részletek irodai leírását, így több idő fordítható az összetettebb állományok helyszínelésére.

Módszereink kompatibilisek a magyar faterméstani hagyományban megszokott fatermési táblás eljárásokkal, ami kulcskérdés amiatt, mert az Adattár növedékesítési és fakészlet-számítási algoritmusai erősen fatermési táblákra épülnek. Kidolgoztuk a magasság- és záródásbecslésekhez tartozó bizonytalansági elemzést, megbízhatósági minősítő rendszert.

Nagy hangsúlyt fektettünk a magassági becslések validálására és torzítatlanságára, ezért főleg az első időkben, a bizalom felépítésének időszakában

⁵ MARCHI M. et al (2020): ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. Sci. Data 2020, 7, 428., via Illés Gábor (SOE ERT), RCP4.5
FÜHRER E. (2010): A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek, 61: 98-107



5. ábra Fotogrammetrikus, lombos állapotban repült (balra, Lechner TK) és LiDAR forrású, lombtalan állapotban repült (jobbra) normalizált borított felszínmodellek (nDFM). A lézerszkennelést a Woodwiser Kft. végezte 2024 februárjában

több száz georeferált, pontszerű referenciaméréssel validáltuk az nDFM adatait.

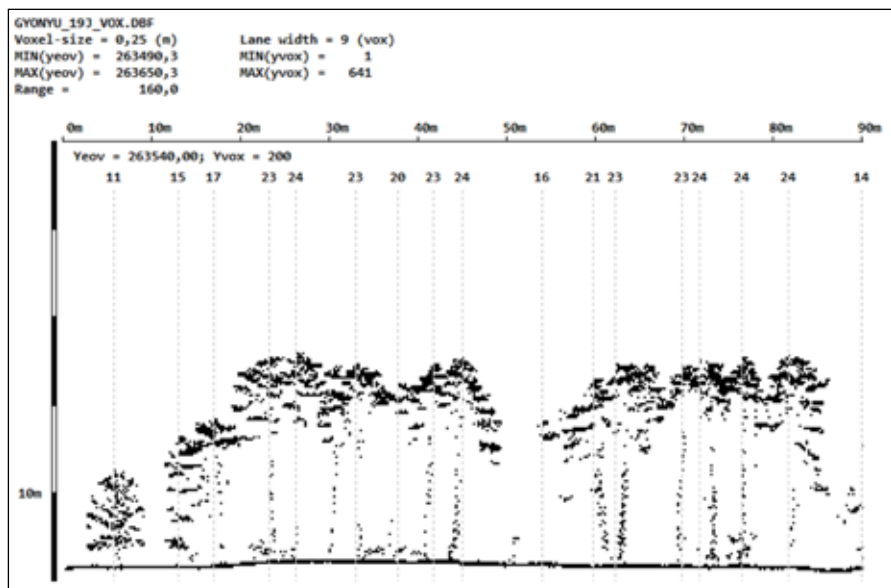
Másodsorban szeretnénk megőrizni az erdőállomány országos szintű idősorainak konzisztenciáját, ti. hogy az élőfakészlet az új módszerek miatt hirtelen meg ne változzék, vagy mindez kontrolláltan történjék, hiszen egy ilyesfajta ugrás az országos statisztikákban, pl. az üvegházgáz-leltárakban és kvótaelszámolásban komoly gondokat okozna.

Küszöbön áll az nDFM-ből származtatott növértérfogatra alapuló fakészletbecslés tesztelése, amit szintén terepi referenciafelvételekkel tervezünk validálni.

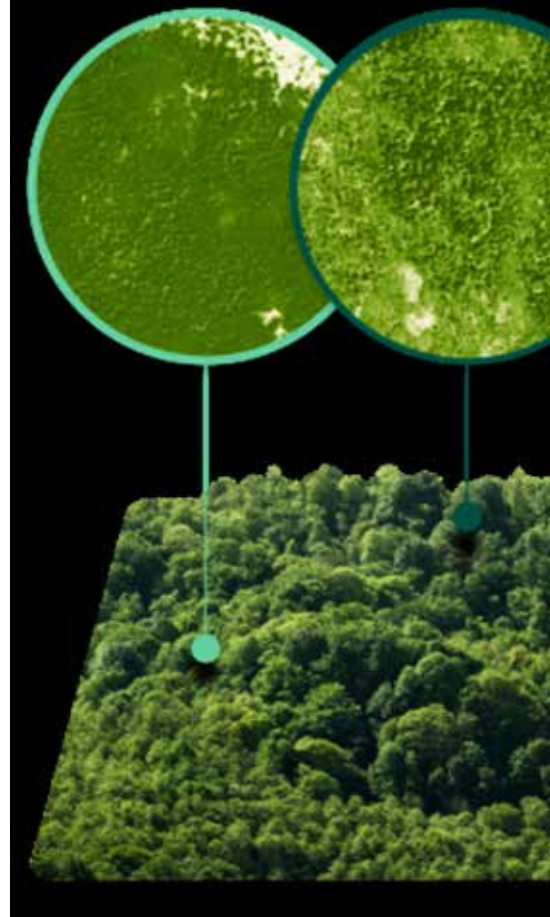
LiDAR forrású magassági adatok (ALS)

Légi lézerszkennelésből származó magassági adatokat használunk immár második éve, kísérleti jelleggel, kisebb, 1000–2000 hektáros mintaterületeken.

A LiDAR-forrású pontfelhő jóval részletesebb, gazdagabb, az állománykép keresztmetszeti ábráin a gyakorlott szem akár fafajokat is meg tud különböztetni. Egészen más minőség: elvileg megbízhatóbbak a magassági adatai, bizonyos koronaméretek felett az egyesfák elkülönítésére és a törzsszám, ill. a körlap közvetett becslésére is alkalmas, ami véghasználati korú állományokban jóval pontosabb fakészlet-



6. ábra LiDAR-forrású pontfelhő keresztmetszete magasságmérésekkel EF-állományban (Gönyű 19J). Saját feldolgozás. A lézerszkennelést a Eurosense Kft. végezte 2025 februárjában



becslést tesz lehetővé, és biztató első eredményeink vannak a faállomány átmerőeloszlásának becslésére is – de sajnos a LiDAR alapadatok sokkal drágábbak, és teljes körzetek lerepülése jelenleg finanszírozhatatlan.

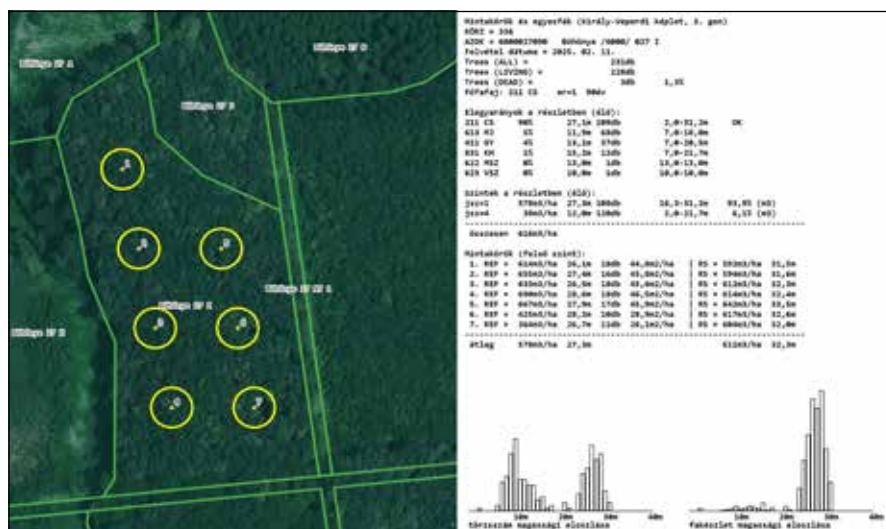
A megvásárolt adatokra épülő állománybecslési eredmények értékelésére a továbbiakban is intenzív referenciaméréseket (körös próbákat) használunk. Nagyon fontosnak tartjuk, hogy az új technológiával készült állománybecsléseket összevessük a hagyományos terepi eszközökkel nyert eredményekkel.

A LiDAR-adatok első feldolgozásáról és a faállománybecslési eredmények értékeléséről publikációt tettünk közzé (Erdészeti Lapok, 2023. szeptember⁵). Tudomásunk szerint máig ez az egyetlen magyar nyelvű közlés konkrét erdő-részlet LiDAR-alapú és hagyományos módszerekkel történő felvételeinek értékeléséről.

TCD (Tree Cover Density)

Az EU Copernicus programjában készült szabad hozzáférésű termék, ami 2018-tól már 10×10 méteres felbontásban ad a záródással analóg információkat (lásd a 3. ábrát).

⁵ URL: https://erdeszetilapok.oszk.hu/01893/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2023_09_355-358.pdf



A TCD definíciója szerint a záródással megegyezik, de értékei az erdőtervezői záródásbecslésektől szisztematikusan eltérnek. Tapasztalataink szerint a TCD *nagyon jól használható az erdőborítottság vizsgálatára* (erdőtervezett területen kívül is), és bár nem azonos vele, mégis *jól támogatja a záródásbecslést*. A TCD része az erdőtervezők rendelkezésére bocsátott távérzékelt eredmény-csomagnak.

sok szabadon elérhetőek⁶ és statikusak (nem változnak meg gyakran, ezért nem kell őket évente beszerezni).

A fenti morfológiai jellemzőkre vonatkozó becslési módszerek ismertek, és szabad szoftverekben is megvalósíthatók. Vannak értelmezési problémák a hagyományos erdőtervezői kódrendszer interpretálásában, de ez az a téma, ahol *viszonylag gyorsan lehetne teljes távérzékelésen alapuló megoldást adni*. Ősz Gábor kollégánk dolgozik a szakterületen.

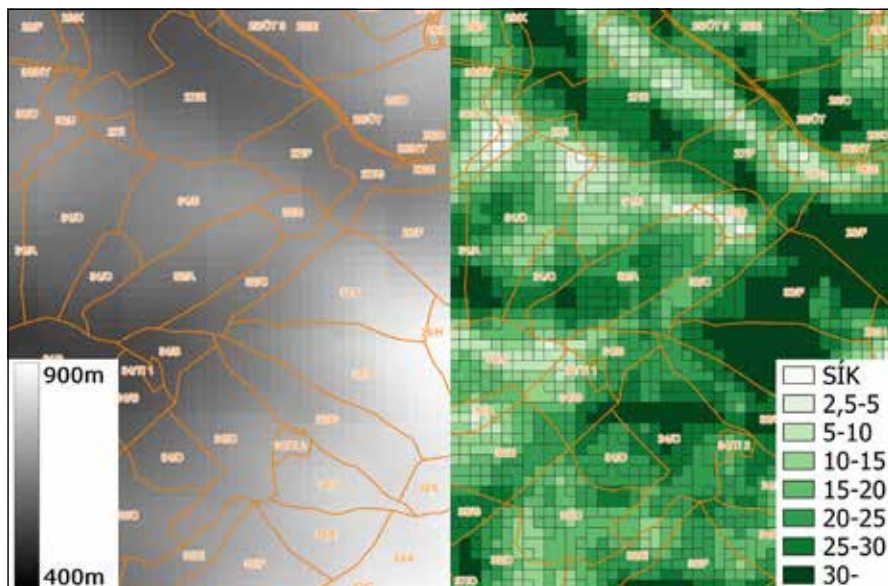
Az adattári morfológiai jellemzők (*tengerszint feletti magasság, lejtés, fekvés/kiettség, domborzat*) levezethetők távérzékelte adatbázisokból (*DDM – Digitális Domborzat Modell*).

A DDM a terep modellje, cellánként tartalmazza a nöött talaj tengerszint feletti magasságát méterben. Az adatforrá-

Az intézményen belüli képzés, információmegosztás és közösségépítés céljából létrehoztunk egy fórumot az *AM Erdőrendezési Főosztálya* dolgozói részvételével, ahol igyekszünk megosztani egymással a tapasztalatokat és egymástól tanulni. A szakkollégium online eseményei általában péntekenként vannak, és előadások hangzanak el a távérzékelés hazai és nemzetközi eredményeiről, azok erdőtervezési alkalmazhatóságáról, gyakran külső előadóktól.

Vendégünk volt eddig pl. *Kern Anikó* (ELTE), *Szabó Károly* (Envirosense/Woodwiser Kft.) és *Király Géza* (SOE). A szakkollégium kötetlen formátumába nagyon jól beleférnek pl. saját friss fejlesztéseink bemutatói, új adatforrások, új eszközök és műszerek értékelése, a folyó erdőtervezési munkák távérzékelési vonatkozású egveztetései.

Illusztráció: **CLS, planet.com**



⁶ Pl. EU DEM nevű, URL: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM>