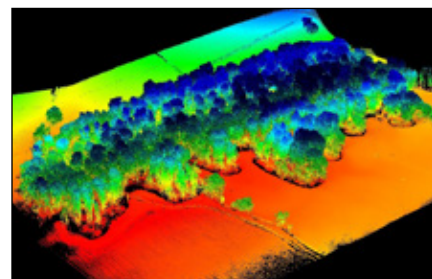


A körlap becslése a távérzékelés szent grálja

Kottek Péter¹, Szabó Károly², Czirok István³

A körzeti erdőtervezés állományfelvételeit támogatandó, 2017 óta foglalkozunk távérzékelési alkalmazások fejlesztésével. Írásunkban az elvégzett munkáról szeretnénk szemelvényeket a szakközönség elé tárni. A nyitó cikkben a körlap és a törzszám LiDAR-alapú becsléséről lesz szó, mely az első teszt-területünkön működött.



alatti viszonyokról. A körlap detektálása tehát közvetlen módszerrel egyelőre nem megy.

A körzeti erdőtervezési felvételeket mintegy 60 fő végzi, évente durván 200 000 hektár erdőt érintve, viszont a szakközönség kényes ízlése (egybehangzóan saját elvárásainkkal) a faállományok felvételének pontosságával és megbízhatóságával szemben ugyanolyan követelményeket támaszt, mintha csak egy becslőversenyen indulnánk.

Olyan adatforrásokat próbálunk tehát használni, melyeknél a nagy területi lefedés biztosított (a napi 60–100 hektárt lerepülni képes drónok egyedi vizsgálatokhoz kiválóak, de ekkora területen nem oldják meg az adatgyűjtési feladatot); és olyan módszereket találni, melyek képesek javítani az Országos Erdőállomány Adattár pontosságán és megbízhatóságán.

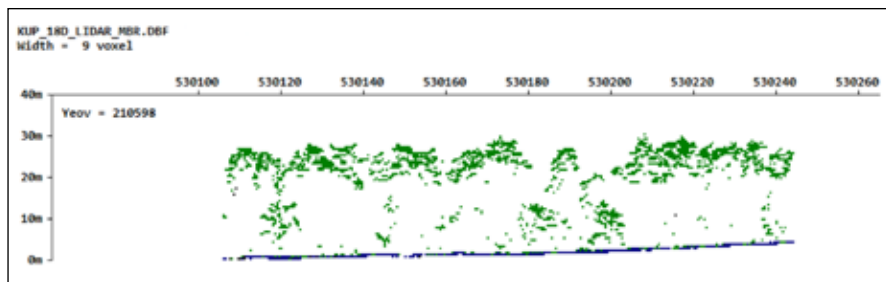
Fotogrammetrikus eljárásokból származó távérzékelte magassági adatokból elég jól lehet algoritmikusan záródást és faállomány-átlagmagasságot becsülni (a tárgyban sok személyes tapasztalatunk van a Lechner TK 80 cm-es felbontású modelljeivel kapcsolatban).

A lézeres letapogatásból (LiDAR) nyert pontfelhőkről és a származtatott magassági adatokról számosan igazolták a szakirodalomban, hogy általában a faállományok esetében és bizonyos koronaméret felett az egyesfák magasságának detektálására is alkalmasak.

A LiDAR esetében a repülőgépre telepített műszer lézernyalábja a lombkoronán keresztül a talajszintig hatol, adatok nyerhetők tehát a talajszint tengerszint feletti magasságáról, ahogy a lombkoronaszínről is, a kettő különbsége a normalizált borított felszínmodell (nBFM) – ami kis leegyszerűsítéssel a magasság.

A faállomány magasságából és záródásából (továbbá a fafajok, elegyará-

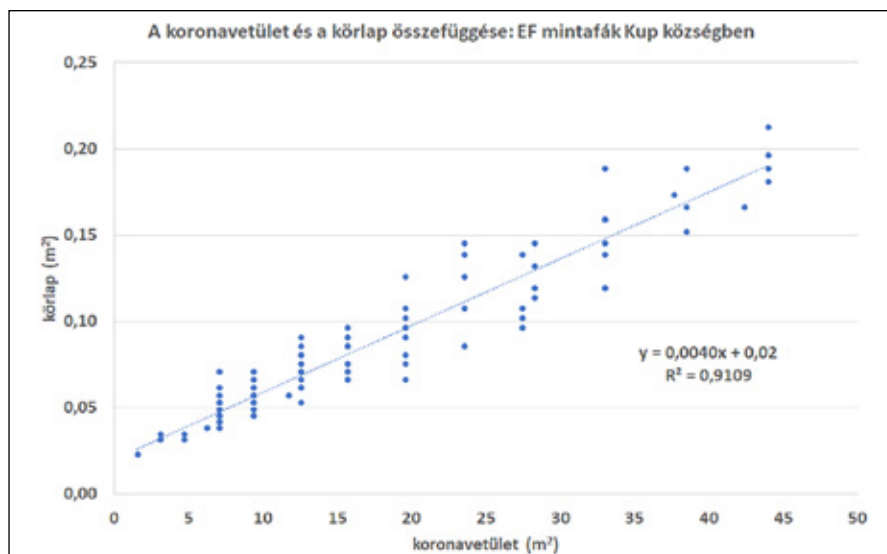
nyok ismeretéből) korrekt fatermési táblás fakészlet-meghatározás készíthető. A fakészletbecslés pontosításának következő lépése a körlap, majd az átmérőeloszlás detektálása, s utóbbi a választéktervezés alapja.



1. ábra. A lézeres letapogatásból nyerhető pontfelhő a mintaterület (Kup 18D erdőrészt) egyik kelet-nyugat irányú metszetében. Kékkel a talajpontok.

Sajnos a körlap és a törzsek átmérője a felülről, jobbra függőleges irányból érkező letapogató sugarak számára rejtve marad, még lombtalan állapotban is; és jelenleg nem elérhetőek olyan távérzékelési eszközök, melyekkel gyorsan és nagy területről lehetne adatokat gyűjteni a lombkoronaszínről

A körlap közvetett módszerrel való meghatározásról szóló elképzelések viszont léteznek. A fatermestáblából ismert összefüggés az egyesfák körlapja és koronavetülete között szoros, egyszerű terepi eszközökkel kimérhető (2. ábra). A távérzékelés segítségével pedig bizonyos koronaméretek felett a törzs-

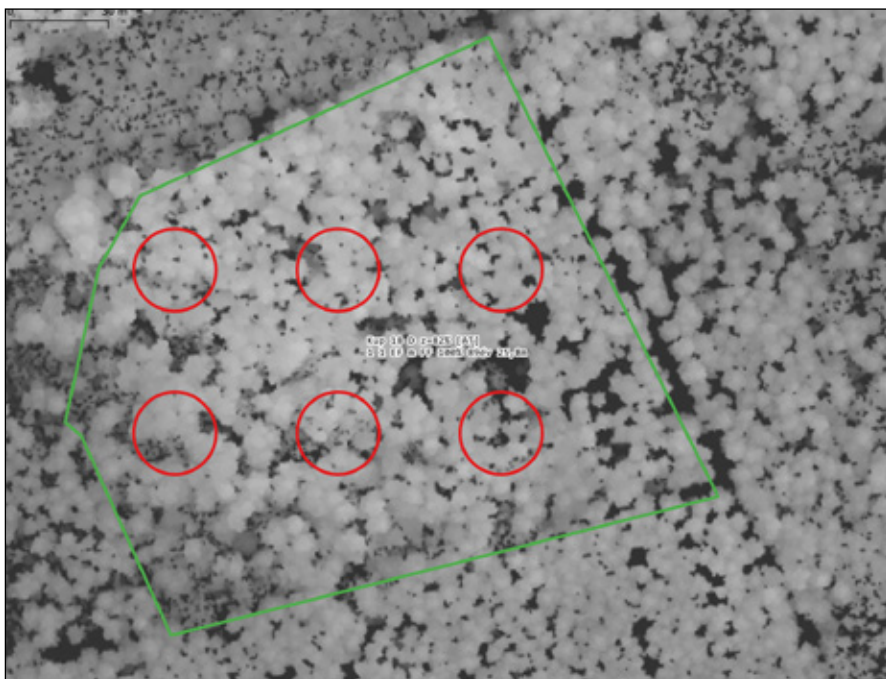


2. ábra. Lineáris regresszió erdeifenyő mintafák koronavetülete és körlapja között, Kup községben (Szabó Károly, 2022)

¹ NFK Erdészeti Főosztály

² egyéni vállalkozó

³ NFK Erdészeti Főosztály



3. ábra. Kup 18D erdőrézlet batárai a faállomány 2022-es adattári leírásának főbb adataival, illetve a terepi felmérés mintakörei, a háttérben a LiDAR-alapú normalizált borított felszínmodell (nBFM)

szám és a koronavetületek detektálhatók.

A lombkoronasátor felszíne egy 3d-s, hepehupás felület, amin az egyes kiemelkedések facsúcsoknak (vagy ágkinövéseknek, villás törzsek másik csúcsának stb.) feleltethetők meg. A lombkoronasátor felszínét az alacsony pontsűrűségűnek mondott LiDAR-alapú felszínmodell kellő részletességgel adja vissza, a kiemelkedések tehát azonosíthatók.

A LiDAR pontfelhőből 0,5×0,5 méter felbontású nBFM-et készítettünk (AgiSoft Metashape szoftverrel, 3. ábra). A koronák centrumait paraboloid-illesztéssel detektáltuk az nBFM felületén (5. ábra), majd a borítottnak tekinthető területet Voronoi-cellák⁴ segítségével felosztottuk a centrumok közt (6. ábra), és így nyertünk koronavetületeket.

A detektált korona-centrumokhoz tartozó magasságok az nBFM-ről származtak; a mellmagassági átmérőket a koronavetület-körlap összefüggésből (2. ábra) vezettük le. Az nBFM feldolgozása saját fejlesztésű algoritmusokkal és programokkal történt, a paraméterek egyszerűek és jól interpretálhatóak: minden paraméter értelmezhető méterben, és nincsenek önkényesen megválasztott szorzók.

⁴ A Voronoi-cella azon pixelek halmaza, melyek az adott törzs-centrumhoz vannak a legközelebb. Lásd: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Voronoi-cella>

Erdeifenyő fafajra Szabó Károly kolléga 2022-ben mért ki és vezetett le lineárisnak tekinthető, kiváló regressziós paraméterekkel rendelkező összefüggést a körlap és a koronavetületek között Kup község erdeinek kereken 100 db mintafáját megmérve.

Az összefüggés kimérésekor igyekeztünk lefedni a teljes átmérotartományt (15–50 cm), a mintába uralkodó magassági osztályú, egészséges egyedek kerültek, változatos koronaalakokkal (zászlós, aszimmetrikus koronák is), változatos záródású állományokból.

A koronavetületeket hagyományos mérőszalaggal, 1 méteres élességgel, É-D-i és K-Ny-i irányban; a mellmagassági átmérőket Pi-szalaggal, centiméteres élességgel mértük. A koronavetületeket ellipszissel közelítettük.

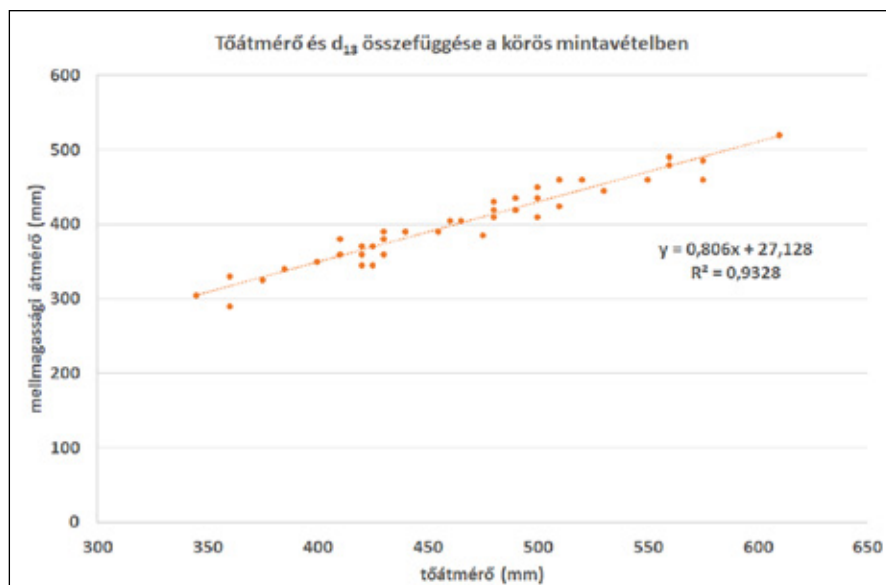
Körlap-becslési mintaterület

A távérzékeléssel nyert körlap-becslési kísérlet konkrét mintaterülete a Kup 18D erdőrézlet volt: 2,27 hektár területű, sík területen fekvő, a felső szintben majdnem 100%-os elegyarányú, az adattári leírás szerint 82%-os záródású, 2022-ben 89 éves erdeifenyő állomány. A mintakörökben 1db felső szintű akác törzset találtunk. A nem túl sűrű, 6–10 méteres alsó szint (KH, A, GY, MJ) fakészletével nem foglalkoztunk.

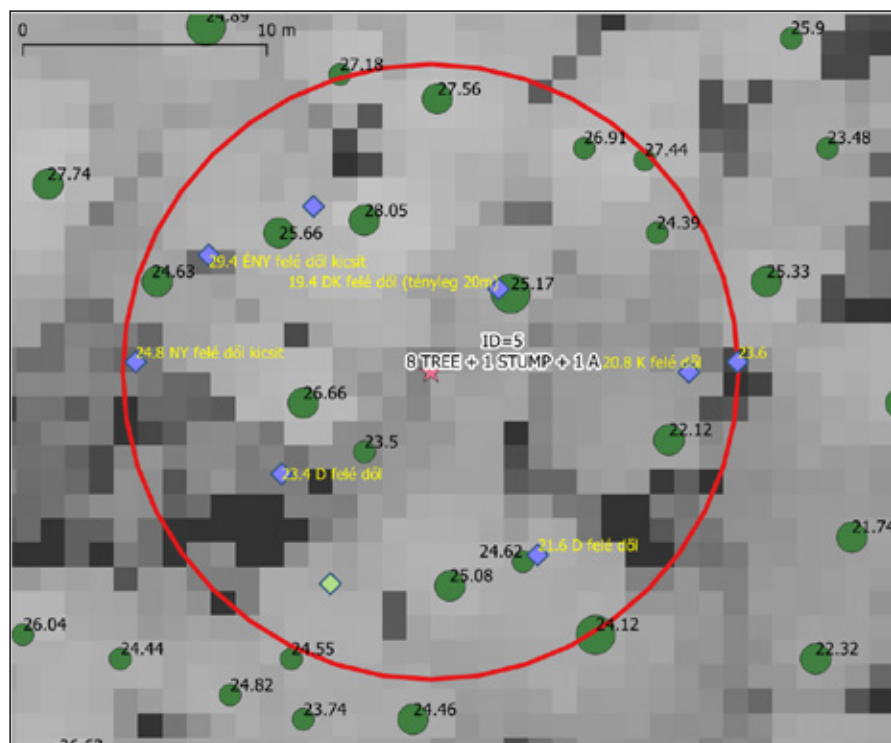
A LiDAR adatokat 2022.02.09-én repülték (3. ábra), s mi egy évvel később, 2023.03.29-én jutottunk ki a részletbe terepi felvételezést végezni, és a felkészített faanyag mellett, reggelink közben meg is voltunk ijedve a repülés óta elvégzett friss gyérítés nyomait látva, de utólag a tuskókból remekül és megítélésünk szerint hiánytalanul vissza le-

Mindebből származtatható a faállomány fakészlete (lásd az 1. táblázatot):

- egyszerű fatermési táblás módszerrel (8-as becslés);
- egyszerű körlap méréssel szintén fatermési táblából (7-es becslés);
- egyesfa-szinten az átmérő- és magassági adatokból Király-képlettel (Veperdi, 1999) (1-es becslés).
- Illetve rendelkezésünkre áll a terepen mért hagyományos eszközökkel kivitelezett körös mintavétel eredménye is (2-es becslés), amit referenciának vettünk fel (erről később).



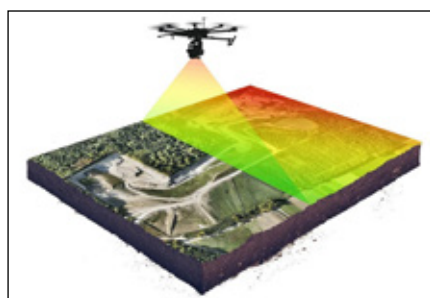
4. ábra. A tőátmérő és a mellmagassági átmérő összefüggése Kup 18D erdőrézletben



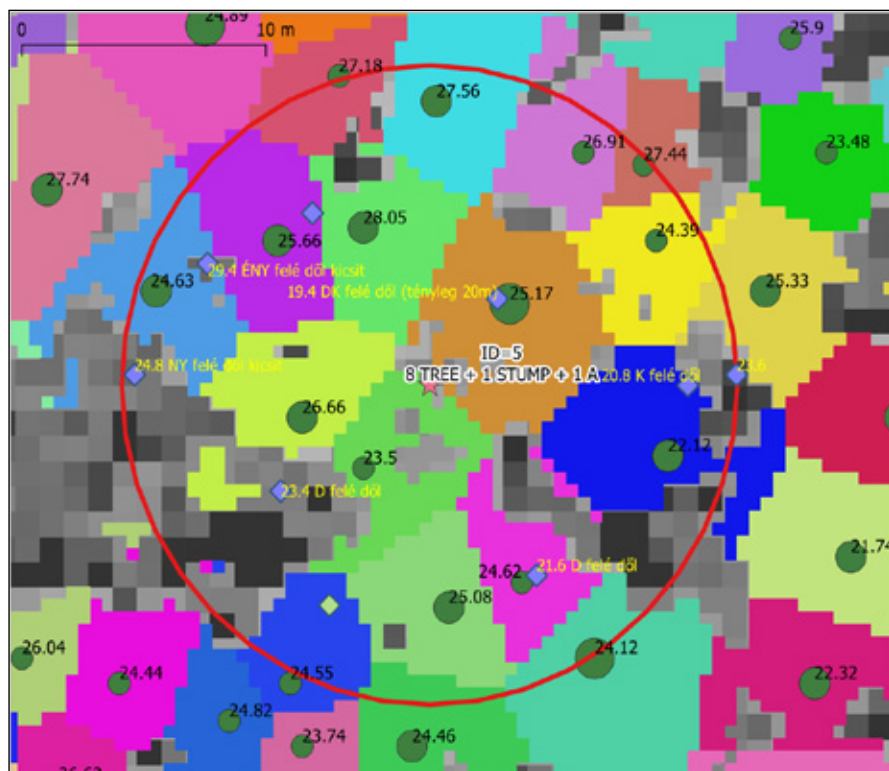
5. ábra. Az 5-ös mintakör normalizált borított felszínmodellje, rajta a terepen felvett élő fák kék, a tuskók zöld rombuszokkal. A körlappal arányos méretű sötétzöld körökkel távérzékeléssel detektált lombkorona-centrumokat jelöltük. A törzsek egyedi azonosítási kétséges, a kihajlások a terepen szemlélve is nagyok voltak.

hetet állítani a mellmagassági átmérőket (4. ábra), így a repülés idején érvényes körlap a rendelkezésünkre állt. A kitermelt törzsek magasságát a körös mintavételből felállított magassági görbélből becsültük.

Az erdőrésztletben 6 darab, szisztematikus rácshálón elhelyezett, egyenként 500 m² területű mintakörben vettük fel az összes előforduló faegyed pozícióját (polárszög, távolság), fafaját, mellmagassági átmérőjét.



Az erdei fenyő törzsekhez magasságot és tuskómagasságban tőátmérőt is mértünk, és részletes jegyzeteket igyekeztünk készíteni a koronák alakjáról és méretéről a későbbi azonosítás végett. A gyérítés során keletkezett tuskók (16 db) pozícióját és tőátmérőjét szintén rögzítettük a mintakörökben. A körös mintavételre a részletre vonatkozó törzsszámbecslés ellenőrzése miatt volt szükség. Egyszerű tájolót, mérőszalagot és Pi-szalagot használtunk, tájékozódáshoz és pozicionáláshoz a mobiltelefon GPS-ét. (A friss gyérítés munkái miatt legalább nem volt túl sok szeder.)



6. ábra. A lombkoronasátor felső szintje által borított terület felosztása a detektált lombkoronacentrumok közt, Voronoi-cellákkal. A különböző színek ez egyes centrumokhoz tartozó koronavetületeket jelölik.

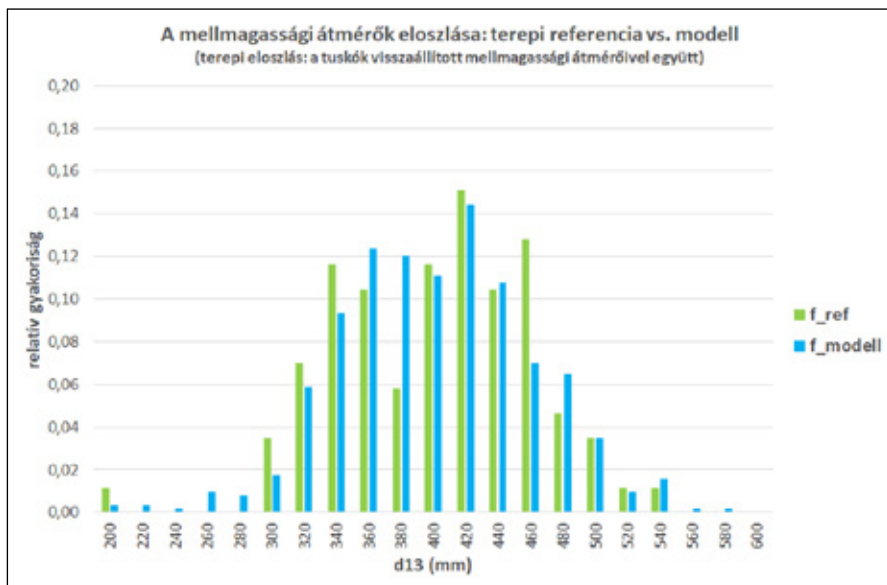
A felső szint záródását vizuálisan becsültük (a gyérítés után az egész részletre vonatkozóan átlagosan mintegy 65%), de ez nem releváns a gyérítés előtti, egy évvel korábbi állapotra nézve.

Eredmények

A faegyedek nem rendelhetők össze egyértelműen a mintakörökben felvett törzsekkel, de a koronacentrumok darabszáma faállományszinten jól adja a törzsszámot, a távérzékelés pedig remekül illeszkedik a mintakörökben felvett átmérők eloszlásához (7. ábra).

A módszert egyelőre egy fafajra (EF) paramétereztük, és eddig egyetlen erdőrésztletben teszteltük le, amiből felelős kutató nem von le általános következtetéseket, bármilyen zseniális algoritmusai és bármilyen szép ábrái is vannak – de nagy öröm, hogy az eljárás működni látszik, és megfelel a hagyományos terepi mérések pontossági elvárásainak.

A távérzékeléssel detektált körlap eltérése 2 m²/ha (5%) a terepi körös mintavétellel becsültől, ami pl. közvetlen körlap-méréskor, kettes szorzó mellett megfelel egy darab határtörzs elhibázásának. A fatermési táblák szerint a körlap növedéke egy év alatt 0,1 m²/ha/év alatti, tehát az eltérés



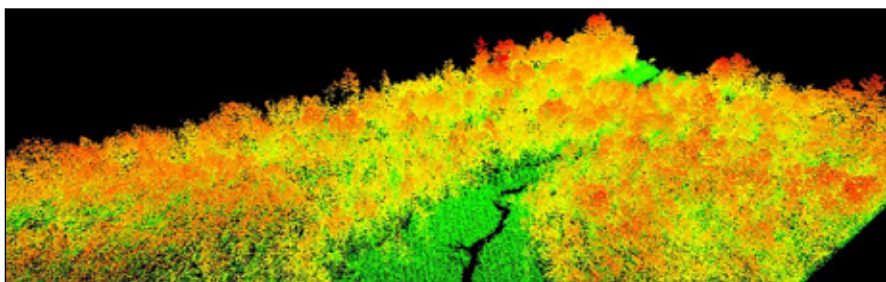
7. ábra. A mellmagassági átmérők modellezett eloszlása (f_{modell}) a terepen mért eloszlással (f_{ref}) összevetésben. E távérzékelte átmérőeloszlásból nagy meglepésre lehetne fabasználatti választéktervet készíteni.

nem írható az egy éves növekedés számlájára. 2022 különben is nagyon aszályos volt.

Az átlagmagasság eltérése egy méternél nagyobb, ami viszonylag jelenős, de jelenleg nem tudjuk eldönteni, hogy a terepi méréseink szubjektív hibája vagy a távérzékelési eljárás módszertani hibája-e.

Az eredmények tehát megfelelőek, és a paraméterezés, illetve a módszer-tan fejlesztésével valószínűleg még javulni is fognak. Nagyon bízunk benne, hogy lesz mód máshol is, pl. lombos állományban kipróbálni. 🌲

Illusztráció: gisresources.com, Wingtra, GeoLab



1. táblázat. Kup 18D: a felső szint (EF) állománybecslése

	Körös mintavétel a tuskókkal együtt (2023-ban)	Fatermési tábla (Solymos 1971. III. fto interpoláció nélkül, csak főállomány)	Fatermési tábla (Solymos 1991. IV. fto interpoláció nélkül, fő- és mellékállomány)	Nomogram (Király – Dr. Solymostól átdolgozva, 1971)	LiDAR-alapú becslés (2022-ben)
Kor (év)	90	90	90	90	89
Átlagmagasság (m)	25,8	26,7	24,5	25,8	24,5
Záródás (%)	-	82	82	82	73
100%-os sűrűségre:					
Törzsszám (db/ha)		441	445	-	
Körlap (m ² /ha)		34,7	34,8	39,8	
Fakészlet (m ³ /ha)		445	421	525	
Záródással korrigálva:					
Törzsszám (db/ha)	290	362	365	-	278
Körlap (m ² /ha)	36,5	28,5	28,5	32,6	34,1
Fakészlet (m ³ /ha)	458	365	345	431	421

Szakirodalom:

- Chang A., Eo Y. D. Kim, Y., Kim, Y. (2013): Identification of individual tree crowns from LiDAR data using a circle fitting algorithm with local maxima and minima filtering. Remote Sensing Letters. Vol 4, Issue 1, Pages 29-37.
- Perrin G., Descombes X., Zerubia J. (2006): Point processes in forestry: an application to tree crown detection. [Research Report] RR-5544, INRIA. 2006, pp.78.
- Silva C., Hudak A., Vierling L., Valbuena R., Cardil A., Mohan M., Almeida D., Broadbent E., Almeyda Z. A., Wilkinson B., Sharma A., Drake J., Medley P., Vogel J., Prata G., Atkins J., Hamamura C., Jonson D., Klauber C. (2022). Treetop: A Shiny-based Application and R package for Extracting Forest Information from LiDAR data for Ecologists and Conservationists. Methods in Ecology and Evolution. 13. 10.1111/2041-210x.13830.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetünket kifejezni a projekt támogatójának, az Agrárminisztérium Erdőkért és Földügyekért Felelős Államtitkárságának a több éves kitartó finanszírozásért és bizalomért.

Szeretnénk megköszönni az Envirosense Hungary Kft.-nek (<https://envirosense.hu>) a teszt-célokra rendelkezésünkre bocsátott lézeres letapogatással készült magassági adatokat és a szakmai támogatást.

Szeretnénk megköszönni Király Géza, Czímber Kornél, Brolly Gábor és Kalicz Péter egyetemi oktatóknak és kutatóknak mindenkor készséges tanácsaikat és a témában végzett úttörő munkájukat, melynek eredményeit felhasználtuk.