



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

SZAKDOLGOZAT

Földi lézerszkennerek erdészeti felhasználhatósága állományfelmérés és vizsgálat céljából

Usability of terrestrial laser scanners in forestry
for the purpose of tree stem survey and inspection

OE-AMK

Hallgató neve: Kiss Csaba Imre



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kiss Csaba Imre

Szaktervezési szám: [REDACTED]

Törzskönyvi szám: T000509/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Földi lézerszkennerek erdészeti felhasználhatósága állományfelmérés és vizsgálat céljából

A dolgozat címe angolul: Usability of terrestrial laser scanners in forestry for the purpose of tree stem survey and inspection

A feladat részletezése:

Végezze el az erdészeti állományfelmérés céljaira használható technológiák áttekintését. Röviden térjen ki a légi drónos/kisrepülő lidar felmérésen túl különböző földi eszközökkel végzett mérési adatokra. Vesse össze több szempontot figyelembe véve (munkasebesség, pontsűrűség, hordozhatóság, pontzaj stb.) ezeket a módszereket. Külön térjen ki a kézi mobil szkennerekre is melyek SLAM algoritmusokkal folyamatos mozgás mellett képesek adatot gyűjteni, valamint az egészen kisméretű -- telefonokban megjelent -- eszközökre. Mutassa be a kiterjesztett valóság alkalmazást (pl.: MS Hololens 2) mint lehetséges jövőbeli irányt.

Intézményi konzulens neve: Molnár Gábor Péter

Külső konzulens neve: Lehoczky Máté

Munkahelye: LehoGeo Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 07. 10.

Beadási határidő: 2023. 05. 15.

A szaktervezési szám: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 05. 22.

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom. 2023. 05. 15.



[Signature]
Intézetigazgató

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozat/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2023. május 22.

.....
hallgató aláírása

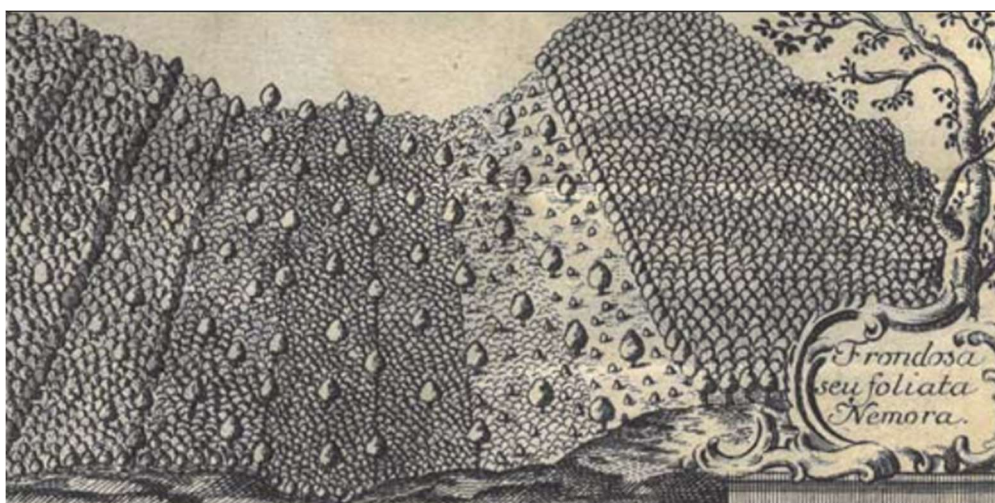
Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1	Hazai erdőtervezés áttekintése	2
1.1.1	Személyi kérdések	2
1.1.2	Területi kérdések.....	4
1.1.3	Megoldási lehetőségek.....	7
2.	Erdőtervezés.....	8
2.1	Fogalmak.....	8
2.2	Eszközök	9
2.2.1	Szoftverek	14
3.	Lézerek és alkalmazásának módszere.....	15
3.1	Fizikai alapok	15
3.1.1	Lézer	15
3.1.2	Biztonsági lézerosztályok	17
3.1.3	Visszaverődési tulajdonságok.....	18
3.1.4	Lézerrel történő optikai távolságmérés alapelve	19
3.2	Alkalmazási lehetőségek.....	20
3.2.1	Légi (ALS).....	20
3.2.2	Földi (TLS)	22
3.3	Elérhető eszközök	23
3.3.1	Nyers szenzorok, egyszerű eszközök.....	23
3.3.2	Nyíltforráskódú pontfelhő kezelő szoftverek és eszközök	26
3.3.3	Jelentősebb piaci szereplők és megoldásaik	26
3.3.4	Egyebek	28

3.4	Módszer.....	30
3.4.1	Felvételezés menete	30
3.4.2	Működési elve.....	32
3.4.3	Fejlesztési opciók.....	34
3.4.4	Lehetséges jövőbeni irány	35
4.	Eredmények	36
4.1	Mérési eredmények	36
4.2	Szabálytalan törzsek.....	41
4.3	Az eszközökről még egyszer.....	42
5.	Összefoglaló.....	43
6.	Summary.....	44
7.	Köszönetnyilvánítás.....	45
8.	Irodalomjegyzék	46
9.	Ábrajegyzék	47

1. BEVEZETÉS

A hazai erdőállományok hármass rendeltetését – gazdasági, természetvédelmi és rekreációs – az 1770-ben gyökerező, jelenleg a 2009. évi XXXVII. törvény (továbbiakban Erdőtörvény) hivatott biztosítani. Betartását az erdészeti hatóság erdőfelügyelői és erdőtervezői szakszemélyzeti gárdája látja el. Utóbbi években az eddig is jelentős forrás-, és létszámhiánnyal küzdő szervezet hatékony



1-1. ábra 1770 erdőrendtartás térképi melléklete

sága még tovább romlott. Jelen szakdolgozatban egy nyíltforráskódra támaszkodó lehetséges eszközt és munkafolyamatot vázolok fel, mely elsősorban a tervező kollégáknak lehet segítségére napi terepi munkájuk során, valamint a létszámhiány csökkenthető segítségével. Természetesen az ágazat más szereplői – pl. állami erdőgazdaságok, magánerdő gazdálkodók, nemezeti parkok – is alkalmazhatják.

Az alábbiakban bemutatásra kerülő megoldás a törzsátmérők terepi felvételezését gyorsítaná meg oly módon, hogy kis távolságról – legfeljebb 2-3 méter – lézerszkenneléssel gyűjtött pontfelhőre illeszt egy regressziós kört. Lényegében egy lézer alapú digitális átlaló.

Az utóbbi években az erdészeti ágazat más területein (erdőművelés, faki-termelés) nemzetközi szinten is egy kényszerszülte, újabb gépesítési hullám indult be. Egyre kevesebb fizikai munkást találni a hagyományos erdei munkákra, de a

képzett gépkezelők és gyakorlott ápoló/ültető munkások is hiányoznak. A négy évente, Münchenben megrendezésre kerülő InterForst erdészeti szakvásáron is egyre több önjáró és autonóm fejlesztés mutatkozik be, a drónok és mobilalkalmazások mellett.

Ebbe a sorba illene bele a szakdolgozatban ismertetésre kerülő megoldás. Ahhoz, hogy a működését megértsük, először a hazai erdészeti ágazat jelenlegi helyzetét, annak problémáját, valamint a szóba jöhető hardveres és szoftveres eszközöket szükséges ismertetni.

Külföldi kitekintést, nemzetközi gyakorlatokat nem érintek, mivel országonként eltérő módszerek alakultak ki melyek a helyi domborzati, klimatikus és fafajösszetételen túl az ottani jogszabályi előírásokhoz vannak igazítva. Norvégiában például 5 évente légi felmérés mellé fix felállási pontokon gyűjtött adatokból állítják elő az üzemterveket. Ennek oka a domborzatban, illetve az éghajlat miatt jelen lévő homogén hegyvidéki fenyves állományok.

1.1 Hazai erdőtervezés áttekintése

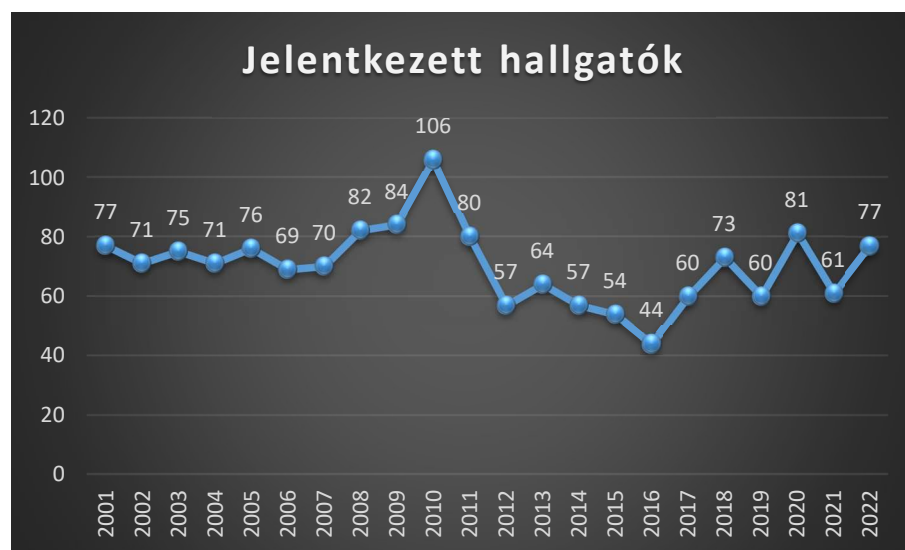
1.1.1 Személyi kérdések

Jelenlegi erdőtervezés középtávon is csak nehezen fenntartható elsősorban a képzett munkaerő elvándorlása, valamint az alacsony utánpótlás miatt. Az Sopronba az egyetemi képzésre jelentkezők létszáma jelenleg újból a 2000-es évek eleji érték körül mozog, viszont a végzősök számát tekintve a tendencia csökkenő. A frissen diplomát szerzettek számára az állami hatósági munkakörök kevésbé vonzóak, pusztán hivatástudatból a frissen végzettek közül kevesen jelentkeznek ezen pozíciókra. Ennek elsődlegesen az ágazati szinten is alacsony bérszint az oka, illetve az oktatásban a kellő hangsúly hiánya. Előbbit – általánosan az államigazgatásban – a 2023.05.16-án közzétett Magyar Közlöny 2023. évi 73. szám 180/2023. (V. 15.) Korm. rendelet hivatott javítani, elbocsájtások mellett elsősorban a be nem töltött pozíciók bértömegének szétosztásával. Ezzel ugyanakkor a személyi utánpótlás lehetőségét elvette, erősen korlátozta a jogalkotó. A meglévő erdőtervezői

gárda magasabb juttatásra számíthat, azonban vele együtt a terhei is növekedni fognak.

Fentiekén túl jelentős az állami-, és magánerdőgazdaságok elszívó hatása is, melyek elsősorban a sok éves szakmai tapasztalattal rendelkező tervezőket, felügyelőket célozza. Az ágazatra jellemző unikálisan magas szolgálati lakás/ház állomány ezt tovább erősíti, mobilabbak a munkavállalók, főként a fiatalok. További nehézség, hogy egyre több erdészeti zrt. állít fel kényszerűségből saját erdőtervezői osztályokat, melyeket a helyi hatósági állományból töltenek fel. Számos esetben a körzeti erdőtervezési adatokat is ők szolgáltatják az állami szervezetek felé. Nem segít a helyzeten a tervezők magas átlagéletkora sem.

Az egyre kevesebb tervezőre jutó egyre több erdőterület csak még több aktív kolléga távozását fogja maga után vonni, egy öngerjesztő folyamat képében. Megoldás lehet több állami forrás biztosítása mind eszközpark-, mind bérfejlesztés céljából, illetve jogszabályi változtatások melyek nagyobb mértékben támaszkodnak az elérhető távérzékelési adatok statisztikai módszerekkel történő feldolgozására. Szintén megfontolandó volna az állami erdőtervezésbe piaci szereplők bevonása is szakvégzettséggel rendelkező egyéni vállalkozók képében (pl.: erdészeti szakszemélyzet és jogos



1-2. ábra Erdőmérnök első éves hallgatók létszáma – forrás: <https://Felvi.hu>

ult erdészeti szakszemélyzet). Mindezekkel párhuzamosan kívánatos volna az alkalmazott térinformatikai alapokat egységes, nyíltforráskódú megoldásokra helyezni. Az így felszabaduló forrásokat évenkénti továbbképzésekre (akár online, akár hagyományos formában) oktatások, tananyagok kiadására lehetne fordítani.

Jelen szakdolgozatban ismertetésre kerülő eszköz, illetve munkafolyamat elsősorban a létszámhiányt hivatott csökkentheti azáltal, hogy segítségével kevésbé szakképzett munkaerő is el tudja végezni a terepi felvételezést. A szóba jöhető frissen végzett erdésztechnikusok képzésének és szakismereteik minősége ugyanakkor nagyon széles skálán mozog. Különösen magas közöttük a pályaelhagyók aránya.

1.1.2 Területi kérdések

Magyarország törvényileg meghatározott erdőterületeit a Nemzeti Földügyi Központ által nyilvántartott Országos Erdőállomány Adattár tartalmazza. Az elérhető legfrissebb, 2021-es ún. leporellőfüzetben közölt adatok szerint ez jelenleg 2.063.659 hektárt tesz ki. Ez az ország 22,18 százalékát fedi le. A tulajdonviszonyok az alábbiak szerint alakulnak:

Az ország teljes erdőterülete jelenleg 6 erdőtervezési osztályra, valamint azok alá sorolt üzemtervezési körzetekre tagolódik. A hatályos Erdőtörvény 10 éves üzemtervezési ciklusokat írnak elő, melynek keretében a hatósági erdőtervezők az üzemtervezéssel érintett községek erdőségeit bejárják, és a terepi mérésekkel a szükséges adatokat felveszik. A terepi adatfelvétel kiterjed az adott részlet fafajainak elegyarányára, átlag magasságára, mellmagassági (1.3 m) átmérőjére, átalagos körlapjára és becsült korára. Emelett leírásra kerülnek a megtalálható cserje és lágyszárúfajok, valamint a jelen levő biotikus és abiotikus károsítások. Ezen adatok felvétele – az erdőrészlet faállomány heterogenitásának függvényében – hektáronkénti, esetleg fél hektáronkénti felállással történik.

Szektor	Erdőgazdálkodók száma (db)	Terület (ha)
Erdőgazdasági Zrt.-k	19	969 519
HM vagyonkezelők	3	96 762
Egyéb állami szervek	84	19 262
Vízügyi szervek	13	16 042
Nemzeti Park Igazgatóságok	10	49 509
Önkormányzatok	933	12 626
Egyházak	29	210
Alapítványok	12	445
Egyesületek	20	213
Egyéb közösségi társulások	23	804
Erdőbirtokossági társulatok	672	97 537
Erdőszövetkezetek	20	5 255
Egyéb szövetkezetek	65	3 312
Egyéb szervezetek	52	1 863
Egyéb gazdasági társulások	864	73 588
Magánszemélyek	30 345	374 756
Gazdálkodó nélkül	-	341 955
Összesen	33 164	2 063 659

Az erdőgazdálkodást csak az így előálló adatokból, az erdészeti hatóság által kiadott ún. körzeti erdőterv határozatokban foglaltak betartásával végezheti az erdőgazdálkodó. Az ellenőrzést az Erdőfelügyelőségek végzi, melyek szervezetileg a Vármegyei Kormányhivatalokhoz tartoznak.

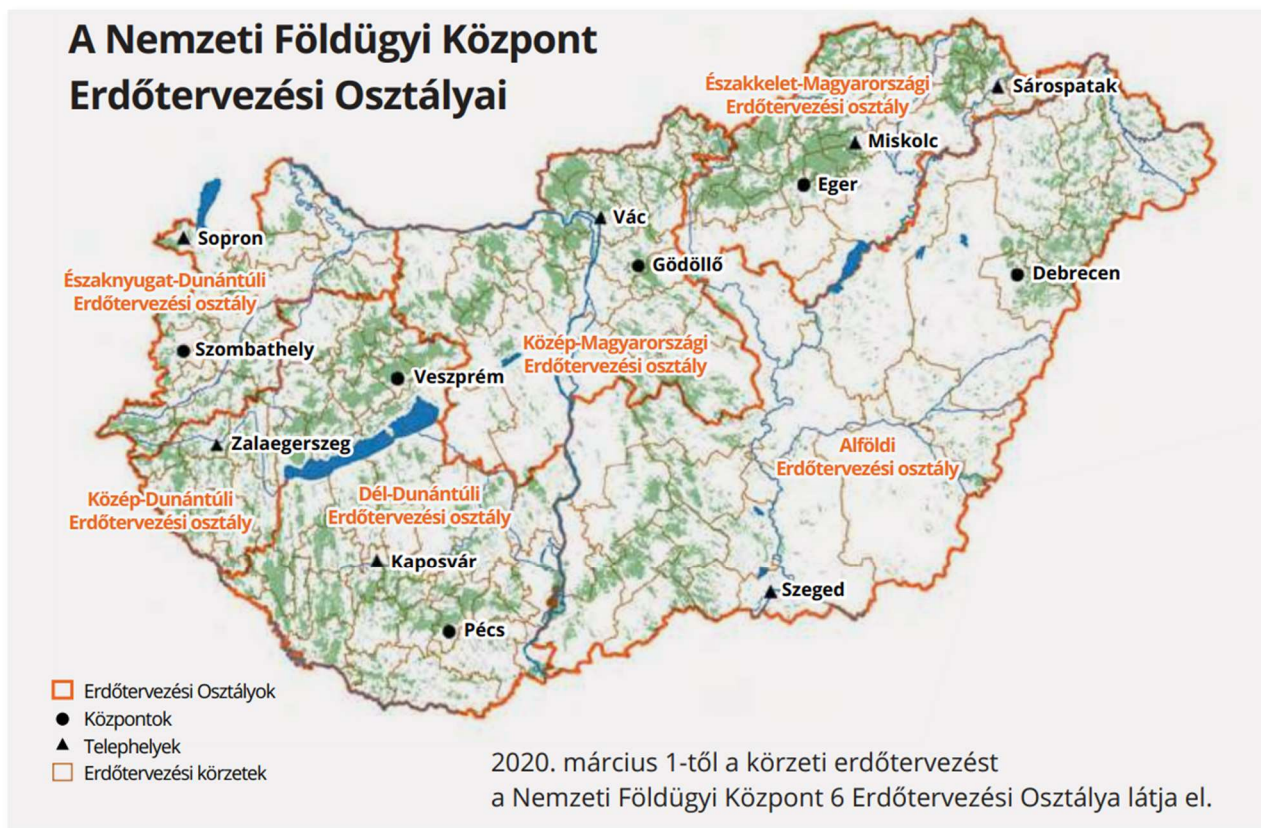
Megyéenkénti erdőterület				T U L A J D O N F O R M A			Erdősültség erdőrézlet terület alapján (%)
Megye/Régió	Összes (ha)	Erdőrézletek (ha)	Faállománnyal borított (ha)	Állami (ha)	Közösségi (ha)	Magán (ha)	
BUDAPEST FŐVÁROS	5 548	5 137	5 103	4 026	1 041	481	9,8
PEST MEGYE	173 856	164 742	159 085	105 194	2 548	66 114	25,8
Közép-Magyarország	179 404	169 879	164 188	109 220	3 589	66 595	24,6
FEJÉR MEGYE	58 916	52 868	51 441	44 425	1 184	13 307	12,1
KOMÁROM-ESZTERGOM MEGYE	65 711	61 801	60 051	53 074	862	11 774	27,3
VESZPRÉM MEGYE	154 557	135 408	131 481	100 648	747	53 162	30,3
Közép-Dunántúl	279 183	250 078	242 973	198 147	2 793	78 243	22,6
GYŐR-MOSON-SOPRON MEGYE	87 529	79 985	78 251	62 368	575	24 586	19,0
VAS MEGYE	98 709	94 159	91 683	51 571	363	46 775	28,2
ZALA MEGYE	125 915	119 566	115 300	66 603	781	58 532	31,6
Nyugat-Dunántúl	312 154	293 710	285 234	180 542	1 719	129 892	25,9
BARANYA MEGYE	117 446	112 288	108 187	64 197	1 603	51 646	25,3
SOMOGY MEGYE	192 728	181 086	175 389	110 140	680	81 907	29,9
TOLNA MEGYE	70 568	65 941	63 582	41 300	355	28 913	17,8
Dél-Dunántúl	380 742	359 314	347 157	215 638	2 638	162 466	25,3
BORSOD-ABAÚJ-ZEMPLÉN MEGYE	220 111	212 639	207 004	131 201	2 513	86 397	29,3
HEVES MEGYE	91 525	88 613	85 196	54 905	391	36 229	24,4
NÓGRÁD MEGYE	103 346	100 084	96 586	57 470	700	45 177	39,3
Észak-Magyarország	414 982	401 336	388 786	243 576	3 604	167 803	29,9
HAJDÚ-BIHAR MEGYE	74 388	70 827	67 796	33 607	455	40 326	11,4
JÁSZ-NAGYKUN-SZOLNOK MEGYE	35 320	33 016	31 212	16 583	967	17 770	5,9
SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYE	133 063	129 434	121 037	34 923	1 687	96 453	21,8
Észak-Alföld	242 771	233 277	220 045	85 113	3 110	154 549	13,2
BÁCS-KISKUN MEGYE	185 951	176 198	166 404	88 294	1 349	96 308	20,9
BÉKÉS MEGYE	27 958	26 052	24 242	17 516	935	9 506	4,6
CSONGRÁD-CSANÁD MEGYE	40 514	38 519	36 896	19 573	616	20 324	9,0
Dél-Alföld	254 423	240 768	227 543	125 384	2 901	126 138	13,1
Összesen	2 063 659	1 948 362	1 875 926	1 157 620	20 354	885 685	20,9

Kerekítések miatt egyes tételek összegei az összegző sorban vagy oszlopban feltüntetett értékektől eltérhetnek. A vegyes tulajdonú területek a magántulajdon oszlopban

1-3. ábra Megyéenkénti erdőterület – forrás: <https://nfk.gov.hu>

Jelenleg a fenti több mint 2 millió hektár erdő 10 évenkénti bejárására 80 fő erdőtervező áll rendelkezésre. A többféle munkakör, illetve 1 fő GYED és esedékes nyugdíjazások miatt, személyenként az átlagos évenkénti felmérendő és irodában feldolgozandó terület 3.000 hektár körül mozog. Ezen mennyiségen felül még a helyszínen vagy az előkészítő munka során légifotóról fellelt felhagyott, ezáltal ön-erdősült ún. „talált erdők” is hozzáadódnak. A terepi munka tempóját az időjárás és domborzat mellett az aktuális erődállomány szerkezete is erősen befolyásolja.

További nehézség a tervezési osztályok által lefedett nagy terület, emiatt a nagy távolságok jelentős utazási időt emésztene fel.



1-4. ábra Hazai tervezési osztályok és irodák – forrás: <https://nfk.gov.hu>

Rendszerezsek az „átvezénylések” is. A munkával lemaradó körzetekbe a jobban haladó osztályoktól irányítanak át erdőtervezőket, ezzel nekik plusz munkát, de főleg hosszabb utazási időket előírva. A kiegészítő anyagi kompenzáció jellemzően nincs arányban ezekkel az extra feladatokkal. Érthető módon ebből kifolyólag nem motiváltak benne, hogy a szükségesnél jobban haladjanak a saját területeiken.

1.1.3 Megoldási lehetőségek

Meglátásaim szerint a fenti problémákat két féle módon lehetne rendezni. Az egyik, hogy erős térinformatikai, valamint légi-, és földtávérzékelési alapokra lesz országosan helyezve, betagozva a Lechner Nonprofit Zrt.-be, erdészeti szakszemélyzet adatfeldolgozása és ellenőrzése mellett. A jelenlegi terepi szakember gárda csak az állandósított mintaterületekből származó adatokat biztosítaná egységes és korszerű eszközpark segítségével. Másik, és véleményem szerint az állam szempontjából költséghatékonyabb, ezáltal valószínűbb megoldás, hogy az erdő-

gazdálkodók – állami és magán egyaránt – lesznek kötelezettek az adatokat szolgáltatni. Ezeket a hatósági erdőtervezők szűrőpróbákkal, illetve kockázatelemzést követően fogják ellenőrizni a jelenlegi módszerekkel. Utóbbi esetben piaci szereplők is beléphetnének a tervezési folyamatokba.

2. ERDŐTERVEZÉS

2.1 Fogalmak

Az alábbiakban erdőtervezés és a dolgozat problematikájának megértéséhez szükséges fontosabb erdészeti fogalmak és azok magyarázatai kerülnek röviden ismertetésre.

Üzem mód: Az adott erdőállomány használati módja. Vágásos, Örökerdő, Faanyag-termelést nem szolgáló, Átmeneti

Kitettség (fekvés): A terület égtáj szerinti fekvése. Alapvetően határozza meg a csapadékviszonyokat, így a terület talajtani sajátosságait és az azon előforduló erdő-társulásokat mind fafaj és állomány sűrűség szempontjából.

Tag: A térbeli rend egysége, mely természetes (patakmeder, árok, állomány határ stb.) vagy mesterséges terepalakulatok, vonalas létesítmények (töltés, erdészeti feltáróút, közút, vasút stb.) határát követi. Községenként arab 1-es számmal kezdődik. Alegysége az (erdő)részlet. A taghatár a földhivatali ingatlanhatárokat leköveti. Az eltérések topológiai hibák eredményei.

Részlet: Olyan az erdészeti hatósági nyilvántartással, valamint az erdőgazdálkodói tevékenységgel érintett (erdő)tagon belüli alegység melyen a használati és természeti viszonyok egységesnek tekinthetők. Határait szintén jól azonosítható terepviszonyok, mesterséges létesítmények és erdőállomány határok alkotják. Jelölése Az ABC nagybetűivel történik a tag számot követően, attól „/” jellel elválasztva. Területe hektárban, két tizedes élességgel van nyilvántartva.

Fafajok és fafaj sor: (azaz állomány-összetevő): Jelen szakdolgozatban az egyszerűség kedvéért az erdő részlet uralkodó fafaját és elegyfajokat közösen értem alatta.

Cserjeszint: Az erdőrészletben megtalálható bokor alakú fásszárú növények, illetve az uralkodó fafajok fiatal, vékony egyedei alkotják. Mind a légi, mind pedig a földi távérzékelést nehezítik. Továbbá nehezítik a terepen való mozgást.

Többszintes állomány: Természetszerű erdőtársulások jellemzője. A második (harmadik) lombkoronaszinttel együtt az erdőállomány lombkoronája sűrűbb. Elsősorban a légi felméréseket nehezíti.

Záródás: Az adott területen a fafajok lombosátra által alkotott felület. Többszintes állományok esetén lehet 100% fölötti is az értéke.

Famagasság: fafajonkénti átlagmagasság, melyet méter élességgel mérnek meg. A koronával együtt értendő.

Törzsátmérő: Úgynevezett mellmagassági, azaz a talajszinttől 1.3 m magasságban mérve mérőszalaggal, átlalóval vagy más eszközzel. Centiméter élességgel kerül felvételre. A dolgozat ennek az értéknek a felvételezésére koncentrál.

Körlap: A köbtartalom számításának egyik alapadata. A mellmagassági keresztmetszet területe. Négyzetméterben kerül megadásra.

Fatérfogat: Az erdőrészlet faanyagtartalma, köbméterben adják meg.

Vegetációs időszak: Jogszabályi fogalom. Meghatározása alapján az adott év április 1. és szeptember 30. közé eső napokat foglalja magában. Az, hogy az erdőállomány ezen időszakon kívül lombos állapotban van-e vagy sem az számos tényezőtől függ (fafaj, kor, kitettség, talajviszonyok, csapadékmennyiség, hőmérséklet, egyéb biotikus és abiotikus stressz hatások). A dolgozatban a továbbiakban az egyszerűség kedvéért a lombos és lombtalan állapot kifejezéseket használom. Túlevelű állományokat külön kezelem. Légi felmérések esetében kívánatos a lombtalan állapotban történő repülés.

2.2 Eszközök

Alábbiakban a terepi felvételezés során használatos eszközök kerülnek ismertetésre. Elsősorban az állami hatósági tervezőkre, de sok esetben a gazdálkodói tervező osztályokra is igaz, lévén sokan átmentek és vitték magukkal a munkamódszereiket.

Nem csak tervezési osztályonként, hanem az egyes egységeken belül is igen nagy heterogenitást mutatnak az eszközparkok. Ez az alacsony költségvetési forrásokon túl (szélsőséges esetben a ceruzaelemet is maguknak kell megvenni) a személyi állomány, az egyes erdőtervezők több évtizedes megszokásaiban, preferált eszközökben is keresendő. Továbbá az erdőgazdálkodás ezen ágát az ilyen irányú fejlesztések kevésbé érintették, illetve nem kerültek alkalmazásra.

Tájékozódás terepen: Jellemzően régi Garmin túra navigációs eszközökkel melyre az adott erdőtervezési körzet erdőrésztérképi állománya került előzetesen felhelyezésre GPX formátumban. E mellett gyakran társul hozzá papíralapon előre nyomtatott, aktuális ortofotók és műholdképek használata is. Utóbbi időben kezdenek megjelenni az okostelefonon futatott nyíltforráskódú, ingyenes és piaci szakmai alkalmazások is. Viszont a telefonok terep-, és vízállósága, valamint üzemideje nem mérhető össze az előbbi célhardverekével. Magas IP védettségű, RTK képes terepi táblagép csak erdőgazdasági tervezőosztálynál van használatban.

Adatfelvétel: szinte mindenhol papíralapon történik A4-es írótablára. A későbbi irodai feldolgozás továbbra is hibalehetőség, illetve értékes erő-, és időforrást emészt fel. Táblagépes próbálkozások is vannak, de rendre probléma a kezelhetőség mellett az eszköz akkumulátor ideje, valamint időjárás-, és terepállósága.

Távolságmérés: A bázisléc és optikai eszköz páros mellett gyakori a lézertáv mérő és mérőszalag használata. Előfordul lépésszámlálás is.

Körlapmérés: Szinte kizárólag a Bitterlich van használatban mind hatósági mind gazdálkodói oldalon. Síkvidéki állományokban, valamint szintvonal mentén alkalmazva az Anucsin-féle szög számláló prizma is számos helyen előkerül kis mérete és könnyű kezelése folytán.



2-1. ábra Bitterlich-féle tükrös relaskóp

Famagasságmérés: A hagyományos hasonló háromszögek vagy trigonometria elvén működő optikai és manuális eszközök mellett, egyre több tervezőnél jelenik meg lézertávmerést trigonometrikus méréssel kombináló digitális famagasságmérő. A Bitterlich-el bázistávra állást követően és 90 fokkal vízszintesen elforgatva távmérőként is népszerű.

Átmérőmérés: Erdészeti átlaló és mérőszalag. Mindkét eszköz évszázadok óta használatos, változás legfeljebb az anyagminőségben történt. Mérőszalag esetében megjelentek a pi-szalagok melyek közvetlenül az átmérő értéket adják meg. Sok esetben barkácsáruházban beszerzett mérőszalagok kapnak a hátlapjukra pi-osztást.

A fából készült átlalókat felváltották az alumínium és egyéb könnyű anyagok. Fejlesztések voltak és vannak is, melyek többnyire Bluetooth kapcsolaton keresztül továbbították a mért értéket az adatrögzítőre, telefonra.

Az átlaló vagy szalag használata személyi preferencia kérdése, illetve a tervezett erdőrészlet domborzati és állománysűrűségi tulajdonságai is hatással vannak a választásra. A barkácsáruházi szalag népszerűsége a kis méret és a gyors, rugós visszahúzás.

A kitermelt, választékolt és sarangolt faanyag készletkezelésre számos telefonos alkalmazás érhető el.

Ezek az algoritmusok pixel alapon történő kontrasztdetektálással történő körül-lesztéssel értékelik ki a vágáslapok átmérőjét. Felületéből pedig az előre, manuálisan megadott fekvő törzs hosszából a fatérfogatot. Sok múlik a telefon kamera-jának lencséin túl az aktuális fényviszonyokon, belógó ágak és lágyszárú növényzeten valamint a vágáslapok („fatörzs vége”, бүтү) minőségén (szín, egészségi állapot).

Pár év került bemutatásra és kezd ágazati érdeklődést mutatni a MobileForester névre hallgató eszköz. A hazai szereplő által fejlesztett készülék egy (Leica) lézertáv mérőt kombinál kalibrált okostelefonnal egy közös markolatba. Jelenleg több erdőgazdaság is teszteli az eszközt.



2-2. ábra MobileForester – digitális körlapozó



2-3. ábra Hagyományos és digitális átlaló

2.2.1 Szoftverek

Alábbiakban a hazai erdészeti ágazatban a gazdálkodói és hatósági oldalon használt főbb szakmai számítógépes és mobiltelefonos lehetőségeket ismertetem röviden.

TERI, ETA: Hazai mobiltelefonos alkalmazások, előbbi az üzemtervi térképeket, utóbbi a készletkezelési adatokat tartalmazza. Szállítójegy és bizonylat is kiadható vele terepi nyomtatón keresztül. Naviscon Kft. terméke.

ESZIR: Előbbieket webes térinformatikai felülete.

DigiterraMap és Digiterra Explorer: Az előbbi asztali térinformatikai rendszer, utóbbi annak PDA-s verziója. A Digiterra Kft. megszűnt, a fejlesztőcsapat TopoLynx Kft. néven folytatja az asztali és androidos termékeik bővítését.

topoXmap és topoXplore: A TopoLynx Kft. platformfüggetlen termékei megtalálhatóak agrár és térinformatikai adatgyűjtő eszközökön. Továbbra is erős a Soproni Egyetemi érdek.

Qgis: Nyíltforráskódú asztali térinformatikai szoftver.

QField: Előbbi mobiltelefonos verziója

ESZIR: Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszer – Hatósági szakmai rendszer Oracle alapokon. Adattárként is ismert.

Google Earth és Locus Map: Mobiltelefonon többfelé is előfordul használatuk, kezelnek .kml illetve .shp állományokat.

3. LÉZEREK ÉS ALKALMAZÁSÁNAK MÓDSZERE

Alábbiakban csak a lézer (elsősorban földi) által előállított pontfelhők erdészeti alkalmazhatóságát fogom ismertetni. Radar és fotogrammetriai úton készítéseket nem. Utóbbi erdészeti felhasználhatósága erősen korlátozott még lombtalan állományban is.

3.1 Fizikai alapok

3.1.1 Lézer

Mivel a lézer is egy speciális fény, először a fény természetét kell megismernünk. A fény az elektromágneses sugárzás egyik fajtája. A mindennapokban a fény alatt az emberi szem számára is szabadon látható hullámtartományt értjük. Az ember számára látható fény tartománya az elektromágneses spektrumon belül egy viszonylag keskeny sávot foglal magában. Ez a sáv a körülbelül 400 nanométer (nm) és 700 nm hullámhosszak között terül el. Ezt a tartományt nevezzük látható fény spektrumának.

A látható fény spektruma színárnyalatokban jelenik meg számunkra, amelyeket különböző hullámhosszú fotonok hordoznak. Az alapszínek, amelyeket az emberi szem érzékel, a vörös, narancssárga, sárga, zöld, kékeszöld, kék és ibolya. Ezek az alapszínek képezik a szivárvány spektrumát. Más hullámhosszú sugárzás, például az infravörös és az ultraibolya, nem látható számunkra, mivel a szemünk nem rendelkezik a megfelelő receptorokkal ezeknek a hullámhosszaknak az észleléséhez. Azonban az állatvilágban számos élőlény lát más hullámhosszokat is. Jó példa erre a vadkamerák infravakuja.

A fénynek számos fizikai jellemzője van, amelyek meghatározzák viselkedését és kölcsönhatását a környezetével. Néhány fontos fizikai jellemző a következő:

Hullámtermészet: A fény elektromágneses hullám formájában terjed. Ez azt jelenti, hogy a fény rezgések sorozataként terjed a térben, és képes interferenciát, diffrakciót és polarizációt tapasztalni.

Hullámhossz: A fény hullámhossza a rezgési periódusok száma egy másodpercben. A látható fény tartománya körülbelül 400-700 nanométer között változik, ahol a kisebb hullámhosszú fényt ibolyának, a nagyobb hullámhosszú fényt pedig vörösnek észleljük.

Frekvencia: A fény frekvenciája a rezgések száma másodpercenként. A frekvencia és a hullámhossz között fordított arányosság van a fény terjedési sebességének (a vákuumban mintegy 299,792,458 méter másodpercenként) állandó értékéből adódóan.

Intenzitás azaz amplitúdó: A fény intenzitása a fényenergia időegység alatt. Az intenzitás a fényforrás erejétől és a távolságtól függ, és a fényforrásból kisugárzott energia területi egységre jutó mennyiségét jelzi.

Polarizáció: A fény lehet polarizált vagy nem polarizált. A polarizált fény rezgési iránya meghatározott, míg a nem polarizált fény rezgése véletlenszerű irányokban terjed. Ezt a jelenséget használják ki a polárszűrős napszemüvegek és fényképezőgép-objektív előtét lencsék.

A lézer (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) egy speciális fényforrás, amely kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkezik. A lézerfény az alábbiakban különbözik a hagyományos fénytől:

Monokromatikus: A lézerfény csak egyetlen hullámhosszon rezeg, ami azt jelenti, hogy nagyon szűk frekvenciasávban sugároz. Ez lehetővé teszi a rendkívül tiszta és meghatározott színű fény kibocsátását. A lézerfény jól elkülöníthető más hullámhosszú fényektől.

Koherens: A lézerfény koherens, vagyis a fotonok együtt rezegnek, és azonos fázisban vannak. Ez azt eredményezi, hogy a lézerfény egyenes vonalban terjed, és a hullámok összeadódnak, erősítve egymást. Ennek következtében a lézerfény nagyon erős és nagy intenzitású lehet.

Direktív: A lézerfény irányított és fókuszált lehet. A lézeres rendszerek gyakran rendelkeznek optikai elemekkel, például tükrökkel vagy lencsékkel, amelyek segítségével a fény koncentrált és pontosan meghatározott irányba irányítható. Ez lehetővé teszi a lézerfény célzott felhasználását, például lézeres vágásban vagy adatátvitelben.

Nagy fényerősség: A lézerfény nagyon nagy fényerősséggel rendelkezik. A lézerrendszer nagy koncentrációjú fotonokat bocsát ki, amelyek sok energiát hordoznak, és ez teszi lehetővé a lézerfény erős kölcsönhatását más anyagokkal, például égés, hegesztés vagy orvosi beavatkozások során.

A lézereknek számos alkalmazása van többek között a kommunikációban, gyógyászatban, tudományos kutatásban, iparban, geodéziában és haditechnológiában.

3.1.2 Biztonsági lézerosztályok

Biztonsági szempontból a lézereket különböző, nemzetközi szabványok szerint megalkotott osztályokba sorolják (az alosztályok ismertetésétől eltekintünk) [Shan és Tóth 2009]:

Class I. az I-es lézerosztályba tartozó lézerek sugarai nem jelentenek veszélyt az élőlényekre.

Class II: alacsony energiájú lézerek, melyek a Class I lézereknél magasabb, de 1 mW-nál kisebb sugárzási energiával rendelkeznek. Mivel az emberek és állatok ösztönösen védekeznek az erős fénnel szemben, a Class II lézerek alkalmazásával szemben nincsenek különleges követelmények.

Class III: 1-500 mW sugárzási energia tartományban lévő lézerek, az alacsony (1-5 mW) tartományúak gyakorlatilag csak a sugárba tekintve veszélyesek, a magasabb energiájúak alkalmazásánál már óvintézkedésekre (pl. védőszemüveg) van szükség.

Class IV: 500 mW-nál nagyobb energiájú lézerek szemre és bőrre is károsak valamint tűzveszélyesek is lehetnek. A légi lézerszkennerek ilyen lézereket alkalmaznak, melyek azonban a távolság és a sugarak széttartása miatt a felszínen tartózkodókra nem veszélyesek, azonban a gyártásuk, összeszerelésük során szigorú biztonsági óvintézkedéseket kell betartani. [Lovas, Berényi, Barsi 2012]

3.1.3 Visszaverődési tulajdonságok

A lézerfénynek különleges visszaverődési tulajdonságai vannak. Amikor a lézerfény találkozik egy felülettel, többféle visszaverődési jelenség léphet fel

Speculáris visszaverődés: Ez a jelenség akkor következik be, amikor a lézerfény egy sima és tükörszerű felületre érkezik, és a fénytüköröződés szabályosan történik. A beérkező fényszálak párhuzamosan verődnek vissza, és a szögük megegyezik a beérkezési szögükkel.

Diszperzív visszaverődés: Ebben az esetben a lézerfény találkozik egy durva vagy texturált felülettel. A visszaverődési szögek szétszóródnak, és a fénytüköröződés diffúz módon történik. Ennek eredményeként a visszavert fény szétszóródik és általában elveszíti a koherenciáját.

Közvetlen áteresztés: Bizonyos anyagok, például üveg vagy kristály, áteresztik a lézerfényt anélkül, hogy jelentős visszaverődés történne. Ebben az esetben a fény a közvetlenül az anyagon keresztül halad és átjut a másik oldalra.

Fontos megjegyezni, hogy a visszaverődési tulajdonságokat befolyásolhatja az anyag tulajdonságai, a felület minősége, valamint a fény hullámhossza és polarizációja. Ezekkel a reflektancia értékekkel szükséges tisztában lennünk. Például ne várjunk vízről visszaverődést, adatot a hagyományos eszközeinktől. Ahhoz kettő batimetrikus berendezés szükséges.

A lézerfény visszaverődési tulajdonságai kiemelkedően fontosak a lézeres mérésekben, távolságmérésben, lézerszkennelésben és más alkalmazásokban. A megfelelő visszaverődési viselkedés lehetővé teszi a lézerfény hatékony és pontos felhasználását a különböző területeken

3.1.4 Lézerrel történő optikai távolságmérés alapelve

LIDAR azaz Light Detecton and Ranging. A távmérés megvalósítására is két módszer terjedt el, a ToF (*Time of Flight* röpidő) és a fázismérési eljárás. A nagy energiájú lézer előtt egy lencse biztosítja a sugarak minimális divergenciáját, azaz a rendszer ezen komponense felel a lézersugár fókuszálásáért. Az impulzus kibocsátásakor annak elenyésző része jelet ad az időmérő egységnek, ami rögzíti az impulzus kibocsátási idejét. Az időmérő egység egy nagyon stabil oszcillátor, 1 cm-es távmérési pontosság eléréséhez 66 ps-os időkülönbséget kell megmérni, mely 15 GHz-es órajelnek felel meg [Shan és Tóth 2009]. A tárgyról visszaverődve a lézersugár a fogadó optikán keresztül jut az időmérőhöz, lézerszkennelés esetén már csak halvány, jelentősen csökkent energiájú sugár érke; vissza az érzékelőbe, de kisebb távolságok esetén is megfigyelhető a szóródás, energia csökkenése. A pontos érzékelés érdekében ezért a visszaérkező lézersugár jel elektronikusan erősítik és előre meghatározott küszöbérték felett fogadják rögzítendő visszaverődésnek. Időmérési távmérés esetén tehát az impulzus futási idejét mérjük meg, azaz az impulzus kibocsátása és visszaérkezése között eltelt időt. A kibocsátott impulzus a felmériendő objektumról (vagy valamilyen speciális pontjelről) visszaverődik, így a futási Idő ismertté válik (t). A vivőjel terjedési sebességének (v) ismeretében a (ferde) távolság (D) meghatározható: $D = vt/2$

A fény sebessége vákuumban $c=299\,792\,458$ m/s. A terjedési sebességét a levegőben a hőmérséklet, légnyomás és páratartalom paraméterektől függő korrekció

tényezővel (n) való osztással lehet kiszámolni, $n = 1,00025-1,0003$. Az egyszerűség kedvéért $c=3 \times 10^8$ m/s és $n=1$ értéket alkalmaznak, a lézerszkennelésben ennek hatása a távolságmérésre elhanyagolható.

Ez alapján levezethető a távolságmérés felbontása (AD):

$$AD = \Delta v t / 2 + v \Delta t / 2$$

ahol Δv a sebesség, Δt az időmérés felbontása. Mivel a fény sebessége viszonylag pontosan ismert, a távmérés pontossága alapvetően az időmérés pontosságától függ [Shan és Tóth 2009].

A fázismérési rendszerek folyamatos hullámot (*Continuous Wave* - CW) alkalmaznak diszkrét impulzusok helyett. A CW energiája korlátozott, ez az oka, hogy az ilyen elven működő rendszereknek kisebb a hatótávolságuk, ezért elsősorban a földi lézerszkennelésben terjedtek el. A lézersugarak hullámhossza rendkívül kicsi ($\sim 1 \mu\text{m}$), ezért a lézersugarat szinuszos hullámmal modulálják (amplitúdómoduláció) és ennek a fáziskülönbségét mérik. A fáziskülönbség mérésén túl az egész fázisok számát is mérni kell, ennek érdekében a modulációt folyamatosan változtatják, így azonosíthatóvá téve a visszaérkező hullámot.

[Lovas, Berényi, Barsi 2012]

3.2 Alkalmazási lehetőségek

Hordozó platform alapján három csoportra lehet bontani az eszközöket

3.2.1 Légi (ALS)

Műhold: Sarkkörök jégtakaró vastagságának változását mérik az IceSat 1 és 2 műholdak; az adatok publikusan elérhetőek.

Erdészeti alkalmazhatósága korlátozott, inkább tudományos céllal lehetséges. Faállomány magasság mérés és fatömegbecslés végezhető vele. *(Lásd Czímber Kornél: Erdőleltározás ICESat-2 műholdas lézeres profilmérésének alapján - Erdészeti Tudományos Konferencia Sopron, 2022. február 10.)*

Megemlítenéd még a GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) program is mely a bolygó biomasszaváltozását követi lézertávérzékelés alapon az Nemzetközi űrállomásról (ISS) műszerplatformjáról.

Kisrepülőgépről, helikopterről történő felmérések – jellemzően 2000 m környékén költséghatékonyan tudnak nagy területeket lerepülni. Az így előállított pontfelhőből a domborzatmodellen túl nagy biztonsággal kinyerhetőek elsősorban a felső lombkoronaszintet alkotó faegyedek terepi pozíciója, azok magassága és koronavetülete. Az alacsony pontsűrűség, a lombkorona takarása és a nagy beesési szög egyelőre még nem teszi lehetővé a törzsátmérő közvetlen kinyerését, mérését még lombtalan állapotban sem. Kísérletek jelenleg is folynak melyek például a famagasság és koronavetület viszonyszámából próbálja számítani azt. További vizsgálatokat igényel (*Lásd Czimmer, Kornél és Burai, Péter és Román, András (2020) Légi lézeres és hiperspektrális faállomány-felmérés első eredményei. In: Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar: Tudományos közlemények. University of Sopron, Sopron, pp. 51-60. ISBN 9789633343760*)

UAS - A tesztrepülések jó eredményeket hoznak, törzsátmérő viszonylatában is amennyiben nem túlevelű állományt vizsgálunk. Azonban a hazai jogszabályok miatt körülményes a repülés munkavégzés céljából. Bár az erdészeti ágazatnak némi könnyebbésgét jelent a 2020. évi CLXXIX. törvény mely a lakott területtől (sic!) mért 120 m-en túl nem ír elő (hobbi célból) eseti légtérkérelmi kötelezettséget. Viszont ezek a területek túlnyomó részt valamely nemzeti parki igazgatóság illetékesége alá is esnek (az erdőgazdasági mellett). Ebből kifolyólag környezetvédelmi korlátozással számolni szükséges. Repülőkhöz képest lényegesen kisebb az effektív hatótávja ugyanakkor a fotogrammetriai repülésekhez képest nagyobb lehet (mivel kisebb átfedéssel tud dolgozni és a széleket sem kell elhagyni. Ugyanakkor a nagyobb műszerrendszer miatti megnövekedett hasznos teher nagyobb maximális felszálló tömeget jelent, amely a repülési időt csökkenti. Merevszárnyas rendszerek alkalmazása növeli a hatékonyságát, viszont a korábban említett jogszabályi korlátozások miatt hazánkban nehezen kivitelezhető.

3.2.2 Földi (TLS)

Alapvetően két csoportot lehet megkülönböztetni.

Az egyik a hagyományosan műszerháromlábba helyezendő eszközöket fedi le, melyeket mozgatni csak két mérési felállás között lehet. Majd az így kapott különálló pontfelhőket nekünk kell utólag szoftveresen összeilleszteni (pl.: iterációs eljárással pontfelhő alapon és/vagy illesztőpontokkal (target)). Ezen eszközökből előálló pontfelhő állományok jellemzően nagyobb pontsűrűséggel, kisebb relatív és abszolút hibával rendelkeznek. Illetve az eszközök is nagyobb mérési hatótávolságúak. Ugyanakkor a terepi munkamenet és az adatok feldolgozása, összeillesztése hosszadalmasabb.

Másik nagy csoportot a mobilszkennerek alkotják (MLS). Ezek a berendezések valamilyen földi hordozó platformon (emberi (kézi, hátizsák), gépjármű, vasút, vízijármű, robotkutya stb.) kapnak helyet. Adatgyűjtésük részben vagy teljesen folyamatos, gyakorlatilag csak a hordozó platform képességeitől függ. Esetükben különösen fontos a sodródás (drift - sodródás) mértékének minimalizálása. Ezt a gépjárművekre szerelt eszközök esetén elsődlegesen az inerciális navigációs berendezés (INS) és GNSS rendszerek hivatottak biztosítani. Viszont a belterekben használatos kézi eszközök számára a külső (pl.: műhold alapú) tájékozás többnyire nem opció. Ezek csak a saját inerciális eszközeikre, kameráikra és folyamatos pontfelhő alapú illesztésre tudnak támaszkodni. Az alacsony, gyalogos (esetleg kerékpáros) sebesség mellett az egyenletes mozgás, a rövid séták és a kiinduló pontba visszatérve a hurokzárás biztosítja a megfelelő adatminőséget.

Az elmúlt néhány évben egyre több olyan megoldás született, melyek elmoszák a határt a két kategória között (pl.: Leica RTC360 és BLK360 G2, Trimble X7 és X12). Ezek a fejlesztések bizonyos keretek között, elsősorban kamerák segítségével vizuális alapon pozicionálják az eszközt két felállás között, a két pontfelhőt pedig helyben illesztik iterációs módon. Így még kint a munkaterületen, a mérések befejeztével tudjuk ellenőrizni az összeillesztett szkennelt állományt.

Az MLS eszközök kisebb területet és lassabban tudnak felmérni, mint a légi társaik. Viszont teszik azt nagyobb részletgazdagsággal és olyan helyszíneken, ahol légi

eszközzel nem volna lehetséges/gazdaságos a munkavégzés. Továbbá működtetésük – a speciális eseteket leszámítva - nem kíván külön képesítést, üzemeltetésük is költséghatékonyabb. Az erdei utakon tartható alacsonyabb sebesség miatt kellően részletes pontfelhő állhat elő még egyszerűbb rendszerek esetén is. Ugyanakkor a hazai erdők alacsony feltártsága nem segíti a helyzetet. Továbbá nagyban függ az erdőállomány szerkezetétől, hogy milyen mélységben lát bele az útról. Jellemzően az utak széle a többletfényhatás miatt cserjével jobban borított, a fák koronái is jobban szétterülnek, a törzsek „felgatyásodnak”. További nehézség a GNSS RTK vétel is. Kifejezetten lombtalan állományban javasolt, vegetációs időn kívül a használatuk.

Külön ki kell térni a mikroelektromechanikai rendszerek (MEMS) és a VCSEL azaz függőleges üregű felületkibocsátó lézer eszközökre, szenzorokra is. Ezen készülékek méretükhöz képest nagy teljesítménnyel és kis energiafelhasználással rendelkeznek. E mellett nagy tömegben és nagyságrendekkel olcsóbban állíthatóak elő, mint a hagyományos társaik. Ez annak köszönhető, hogy előállításuk során a félvezető elektronikai ipar tömeggyártásában használatos eljárások alkalmazhatóak. Ezen technológiák egyik katalizátora az önvezető gépjárművek fejlesztése körüli technológiai verseny.

3.3 Elérhető eszközök

3.3.1 Nyers szenzorok, egyszerű eszközök

Többnyire MEMS készülékeket tartalmaznak. Relatív kis méret, olcsó előállítás, alacsony áramfelvétel jellemzi őket. Szinte minden esetben a gyártó adott ki hozzájuk fejlesztői környezetet (SDK), integrálásuk könnyen megoldható.

Garmin LIDAR-Lite v3HP

Egyszerű távmérő szenzor, mely 905 nm-es hullámhosszon üzemel; pont méréseket hajthatunk végre vele. Hobbi, tanuló projektként két egymásra merőleges tengelyen működő léptetőmotorral kombinálva, és Arduino-ról I²C vagy PWM-en keresztül vezérelve egy primitív dómszkennert készíthetünk segítségével.

Effektív min-max hatótáv:	1- 40 m
Élesség:	1 cm
Hiba 2 m fölött:	+/- 2.5 cm
Frekvencia:	1 kHz
Áramfelvétel mérés közben:	85 mA
Lézer osztály és hullámhossz:	Class I. 905 nm

<https://www.sparkfun.com/products/14599>

LDS02RR

Függőleges tengelye mentén 360 fokban forgatott lézertáv mérő egység. Több Xiaomi Roborock S szériás robotporszívó „szeme”. Nincs hozzá gyári közvetlen támogatás, de könnyen működésre bírható.

Maga a porszívó pedig remek példa a SLAM rendszerek működésére. A lidar-torony valós időben térképezi a lakást, adatai kiegészülnek a kerekékbe épített távolságmérők, illetve infra-, és mechanikusérzékelők eredményeivel.

Effektív min-max hatótáv:	0,16 - 8 m
Élesség:	1 cm
Hiba 2 m fölött:	+/- 3%
Frekvencia:	5 kHz
Áramfelvétel mérés közben:	240 mA
Lézer osztály és hullámhossz:	Class I. 793 nm – még látható szabad szemmel

https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/appendix_lds_02/

Livox

Kifejezetten önvezető autók és ipari felhasználásra tervezett kínai termékcsalád, mely már a DJI csoportba tartozik. Kis méretük és nagy hatótávolságuk miatt számos főként, drón platformos ALS rendszer alapja lett. IMU és RGB optikával kombinálva is a korai rendszerek tömege is az 1 kg környékén állt meg. Ezáltal nem

volt szükség nagy hexa-, és oktokopterekre, elegendőek a hagyományos quad drónok. (Előbbiek napjainkban főként a drónos permetezésben találtak új piacra.)

Livox Mid 40

Belépő modelljük, jó ár – érték aránnyal. A jellegzetes hurkos szkennelési mintázattal dolgozik; minél tovább marad a célterületen annál sűrűbb pontfelhőt ad eredményül. Meglepően hangos.

Észlelési távolság max:	90 – 260 m 10 - 80%-os reflektancia tartományban
Sebesség:	100.000 mérés/s
Élesség:	2 cm 20 m-en
Látómező:	38.4° - kör
Lézer osztály és hullámhossz:	Class I. 905 nm
Tömeg:	760 g

<https://www.livoxtech.com/mid-40-and-mid-100/specs>

iPhone 12 Pro Max

Az Apple gyakorlatilag miniaturizálta és beépítette készülékébe a Kinect v2 konzolt. VCSEL technológiát és infraprojektort használ. Hatótávja 5m körülvan, napfényben is képes üzemelni.

Intel L515

Pár éve került piacra mint nagy teljesítményű, kisméretű és kedvező árú RGB kamerával kombinált lidar szenzor. Elsősorban logisztikai központokba és robotok tájékozódásához fejlesztették. Napfényben nem használható szinte teljesen elvakítja, interferál vele. MEMS technológián alapul, rezonáló tükör téríti el az infrafényt. Egyszerű IMU-val szerelt.

Észlelési távolság max:	0.25 m – 9 m* - 95%-os reflektancia tartományban. Gyakorlatban inkább a 4-5 m
Felbontás	1024 × 768
Sebesség:	30 fps

Látómező:	$70^{\circ} \times 55^{\circ} (\pm 3^{\circ})$
Lézer osztály és hullámhossz:	Class I. 905 nm
Tömeg:	95 g

3.3.2 Nyíltforráskódú pontfelhő kezelő szoftverek és eszközök

Röviden az alábbi eszközök javasolhatóak ilyen célból:

CloudCompare: rengeteg funkcióval ellátott pontfelhőszerkesztő és elemző program.

QGIS: 3-as főverziótól rendelkezik pontfelhő kezelő modullal. Elsősorban légi felvételekre használatos.

Blender: elsősorban professzionális 3D modellező és animáló/vágó program, de kezeli a pontfelhőket is.

Potree: Webes pontfelhő megjelenítő

PCL és Open3D: pontfelhő kezelő könyvtárak

3.3.3 Jelentősebb piaci szereplők és megoldásaik

Alább azokat az eszközöket ismertetem röviden, amelyeket ez idáig volt lehetőségem kipróbálni, vagy folyamatos munkavégzéshez használni. Jellemzően piacvezető és feltörekvő márkák termékei, melyek többnyire rendelkeznek hazai képvisellettal és/vagy szerviz hálózattal is. Ezek műszerek a hozzájuk tartozó szoftverkörnyezettel komplex rendszereket alkotnak. Igény szerint színezett pontfelhőt állítanak elő, melyet már akár a helyszínen összeillesztve nézhetünk meg. Az áraik ezekhez igazodnak.

Külön adatlapot nem kívánok közölni róluk, a típusnév alapján bárki az interneten minden szükséges információt el tud érni róluk. Ha valaki a beruházásukon gondolkodik az a terepi bemutató igénylése előtt minden bizonnyal meg is teszi ezt. Gya-

kori jellemzőjük, hogy a gyűjtött adatokat a márka saját szabadalmaztatott formátumában tárolják. Emiatt gyakorlatilag csak a saját márkás feldolgozó szoftverükkel lehet a gyűjtött adatokat kinyerni, azokat korlátozás nélkül feldolgozni. Ez a szemlélet az utóbbi időben kezd háttérbe szorulni, köszönhetően az újabb belépőknek.

Leica

BLK360 – 2015-ös megjelenésekor nagy szenzáció volt kis tömege (1kg) mérete és relatíve alacsony ára miatt. Sebessége, pontsűrűsége és hatótávolsága is széles körű felhasználását teszi lehetővé. Elsősorban beltéri használatra tervezték (nyílt tükör, hőkamera), de kültéri megállja a helyét. Fejjel lefelé is használható, de csak a függőleges tengelye mentén működtethető. Cyclone Field 360 mobiltelefonos alkalmazással lehet az egyetlen gombját felprogramozni. Az alkalmazást javasolt csak ilyen célból illetve ellenőrzésre használni a terepen, főleg egyszerűbb készülékeken.

2022 őszén mutatták be új generációját, mely az előd „nagytestvérének” (RTC360) a vizuális és a BLK2GO iterációs pozícionálási képességét is megkapta a zárt tükör és jobb kamerák mellett. A még gyorsabb mérési sebessége miatt a határ kezd elmosódni a hagyományos háromlábra felállított és kézi mozgó eszközök között.

RTC360 – Nagy pontsűrűség és nagyobb hatótávolság jellemzi. Két álláspont között a készülékházba épített kamerák segítségével tudja a térben elhelyezni magát, és ezáltal előregisztrálni a felállásokat, azt az irodában nem kell már manuálisan megtenni. Sötétben nem működik a pozícionálás. Működtethető vízszintesen is.

BLK2GO – Gyakorlatilag a BLK360 kiegészítve IMU-val és SLAM algoritmussal. Iterációs elven is dolgozik, ezért használható kivilágítatlan alagutakban, tágasabb barlangokban. SLAM eszköz lévén javasolt rövidebb sétákat tenni és azokat hurokzárással befejezni. Nagy előnye a kültéri, főként erdészeti munkák során a kompakt mérete mellett, hogy teljesen kábelmentes. Szintén egygombos eszköz.

BLK2FLY – Nagyon leegyszerűsítve az előbbi eszköz négy rotorral. Képes teljesen autonóm repülésre az előre kijelölt munkaterületen. Csak kültéren üzemképes mivel folyamatos RTK vétel szükséges hozzá.

Trimble

Trimble X7 – Könnyű, gyors eszköz mely nagy pontosságú és előregisztrált pontfelhőt ad már a helyszínen. Számos kimeneti fájlformátum közül lehet választani.

CHC Nav

Alpha Air450 – DJI Matrice 300 által is hordozható Livox szenzoron alapuló és Sony kamerával felszerelt légi felmérő rendszer. A pilisszántói erdészeti lékkísérlet részterületét lerepülve az eredmények biztatóak.

3.3.4 Egyebek

Nem kerültek említésre, de természetesen léteznek, főként a piacvezető márkák kínálataiban igen nagy hatótávolságú – több km – lézerszkennerek is. Itt kell még megemlíteni a kvázi „kettős felhasználású” eszközöket is, melyek a mérőállomást kombinálják a szkennerekkel (Leica MS60, Trimble SX10).

Az erdőtervezésben véleményem szerint nincsen létjogosultságuk az ilyen eszközöknek, főlegesen nagy a hatótávjuk az esetek túlnyomó többségében nem lehetne kihasználni. E mellé társul még magas áruk és nagy tömegük.

Leica BLK ARC – a Boston Dynamics által fejlesztett „robotkutya” kapott egy lidar „szemet”. Magas ára miatt nem valószínű, hogy a közeljövőben az erdőkben tömegesen megjelenne üzemszerű munkavégzés céljából, annak ellenére, hogy működése nem korlátozódik az utakra és környékére.

Hátizsákos megoldások – Számos cég kínál ilyen terméket (pl.: FJDynamics, GeoSLAM, Heron, Leica, Rock Robotics, Velodyne stb.). Az ár mellett szempont kell legyen a kábelmentesség és a minél áramvonalasabb/kompaktabb kialakítás az erdei terepen való közlekedés érdekében. Fontos az is, hogy a gyenge GNSS és mobilhálózat vétel esetén is tudja megbízhatóan folytatni a felmérést. Nagy előnyük a folyamatos és hosszantartó mérési ciklusok, és hogy működhetnek erdei turista-utakon, gyalogösvényeken is. Elektromos kerékpárral kombinálva arra alkalmas eszközt, kifejezetten hatékony megoldás.

Riegl – Osztrák vállalat mely fő profilja az ALS és MLS megoldások. Eszközeik igen megbízható és sűrű pontfelhőállományokat állítanak elő.

Velodyne – Szenzorgyártó mely még mindig igen népszerű az ALS és MLS fejlesztések körében. Már a másolatainak másolatai is megjelentek.

MLS

A Google (Alphabet) mellett több nagy multinacionális cég (Apple, Here, Microsoft) is készít üzleti okokból saját utcakép szintű adatbázist a StreetView mintájára. Az ezekhez szükséges felvételeket általában saját igényeikre szabott egyedi mérőautókkal állítják elő. Viszont mindegyik megoldás tartalmaz már lézerszenzenelt adatokat is a 360 fokos panoráma képek mögé. A Google 2023.05.16. jelentette be a megújuló StreetView szolgáltatását mely 2023 nyarán fog élesedni, egyelőre még csak néhány városban.

Az egyre nagyobb teret kapó vasút-, vízügyi-, és városüzemeltetési, valamint okosváros projektek folyamatos igényt támasztanak a gépkocsira, vagonra (vagy pórkocsira „bevagonírozott” gépjármű), hajóra szerelhető/átszerelhető MLS rendszerekre. Ezek keretében az urbánus infrastruktúra folyamatos monitorozását végzik, az adatokat felügyelt géptanulással automatizálva dolgozzák fel (pl. fakataszter készítéshez alap, közlekedési táblák és közmű oszlopok automatikus kinyerése). Méretük és tömegük jelentősen csökkent nem kell már kisbusz az üzemeltetésükhöz. Berekülési költségük igen magas, többszöröse a nagyobb szkennereknek. Ehhez jön hozzá még a hordozó jármű ára.

Erdészeti felhasználásuk jelentős potenciállal bír

Itt kell röviden megemlíteni a Leica GS18i geodéziai antennáját. Az vevő házába egy oldalirányba tekintő 1,2 megapixeles digitáliskamera kapott helyet. A használata során sorozat felvételt készít, mely magában az eszközben kerül fotogrammetriailag összeillesztésre és kiértékelésre. Az így előálló, és a GNSS vevő miatt vetületbe illesztett fotó alapú pontfelhőről, olyan pontok is mérhetőek lesznek, melyeket nem lehetett közvetlenül felkeresni például kitakarás vagy akadály

miatt. A 2018-ban piacra dobott eszköz véleményem szerint minden bizonnyal fog kapni a kamera mellé minimum egy, de a 360 fokos látómező érdekében inkább több MEMS alapú lézerszkennert is.

Véleményem szerint már középtávon a MEMS alapú lidar technológia további térnyerésével hasonló teljesítménybeli ugrást fogunk tapasztalni, mint amit például a digitális fényképezés terén láthattunk. Ezzel párhuzamosan az előállítási költségek drasztikus csökkenése, és a folyamatosan bővülő, javuló szoftveres választék is a még szélesebb rétegek számára teszi elérhetővé a technológiát, annak új területeken való megjelenését hozva magával. Ilyen a ma még főként a hardveres korlátok közé szorult virtuális- (VR), illetve kiterjesztettvalóság (AR) alkalmazási lehetőségek. Utóbbi mind a földmérő mind pedig az erdészeti ágazat számára hatalmas potenciállal bír. Kicsit távolabbra tekintve pedig az egyre gyorsuló vezeték nélküli adatátviteli hálózatokkal (pl.: 5G, 6G) kombinálva, megjelenhetnek a hatékony, az erdőkben is biztosan és autonóm módon navigáló, állomány alatti drónok.

3.4 Módszer

3.4.1 Felvételezés menete



3-1. ábra Mintaterület

Mintafákat a Pilisszentlászló 30 B és 44 CE erdőrészekből választottam. A terület D-NY-i részén vágáskorú, öreg bükkös, míg az É-K-i végében egy fiatalos átlag 20 cm mellmagassági és az alatti átmérőjű állomány található. Összterületük 2,91 ha, melyből felméréssel érintett 1,8 ha. Egy tervezett turisztikai fejlesztés keretében kellett domborzatmodellt előállítani, melyhez a BLK360-at használtam.

A helyszínen 88 felállást végeztem, általában 30 méternél nem messzebb. A GNSS illesztőpontokkal, valamint az L515-tel és átlalóval végzett mérések 4 órát vettek igénybe. A lézerszkennerrel színezett pontfelhőt nem készítettem. A nagy tárhely igénye mellett munkát csak fölöslegesen lassította volna. A méréseket alacsony pontsűrűség beállítással végeztem.

Az irodai feldolgozást a Cyclone Register 360-nal kezdtem. A programban az álláspontok összeillesztését végeztem pontfelhő alapon. A fiatalos homogenitása miatt okozott nehézséget. Ezt követően .e57 formátumban exportáltam, a további feldolgozást CloudCompare és QGIS nyíltforráskódú programokkal végeztem.

A CloudCompare segítségével zajszűrést követően szétválasztottam a talajszintet és a felszíni elemeket. Ezt követően felületmodellt készítettem előbbiből, amit után a QGIS-be importálva a szintvonalas térképet készítettem el.



3-2. ábra BLK360 G1 pontfelhője fatörzsről

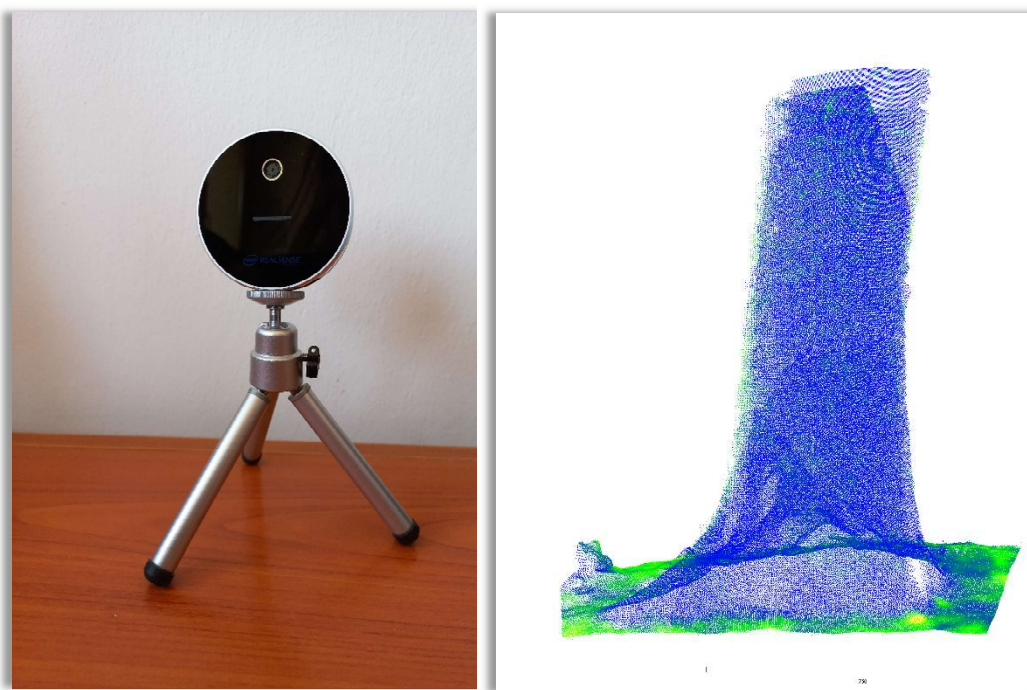
A felületmodellt függőlegesen, a Z tengely mentén a CloudCompare-ben 1.3 méterrel eltolva, majd azt vágóélként használva majd ezt még egyszer megismételve 1.35-ös eltolással majd azt követő vágással, előállt a faállomány mellmagassági átmérője. A program amúgy támogat parancssoros módot is bash scriptekkel. Így még a nagyméretű állomány megnyitása előtt tudtam volna például egy véletlenszerű ponttrikítást és zajszűrést végezni. Az ily módon előkészített pontfelhőt a feldolgozó laptop már sokkal könnyebben kezeli. Ezt most azonban nem alkalmaztam.

Mindkét eszköznel tapasztaltam minimális mértékű pontzajt tapasztaltam, a feldolgozást nem befolyásolta, a zajszűréssel érdemi adat nem veszett el.

3.4.2 Működési elve

Az L515-öt egy erősebb Androidos telefonnal (Samsung Galaxy S20) USB C-C kapcsolaton keresztül került összekötésre. Ez a készülék képes elegendő áramforrást biztosítani az OTG (On-The-Go) csatlakozón keresztül mely a lézerszkennert meg tudja hajtani. A műszerrendszeren egy egyszerű algoritmus futott, amit a gyártó által kiadott SDK-n keresztül készült el. A mérési sebességet előzetesen redukáltam 3 millió/s értékre, valamint az RGB színezést is kikapcsoltam. Ezeket a telefonon történő könnyebb működés érdekében tettem. Az L515-höz gyárilag jár egy kisméretű asztali tartóállvány, mely terepen jó fogást biztosít.

A készülékkel a kiválasztott törzseknél mellmagasságban gyakorlatilag 3D hamis színes „fényképeket” készítettem, melyből regressziós kör illesztéssel nyeri ki az átmérőt. A mért adatokat .CSV állományként tárolja.



3-3. ábra Intel L515 lézerszenzor 3-4. ábra Vele készült pontfelhő

Regressziós kör

3.4.3 Fejlesztési opciók

Hasznos funkció lenne az előállított körlapok középponti koordinátáit is hozzá rendelni az átmérő és terület adatok mellé. Ezt legegyszerűbben a telefonkészülék saját GNSS adatainak hozzárendelésével lehetne elérni. Természetesen a pontossága és megbízhatósága igen alacsony lenne, jó esetben is több méter. A koordináta pár minősége nagyban függene az alábbi tényezőktől:

- telefonkészülék műholdvevője
- domborzati tényezők
- erdőállomány tulajdonságai
 - o lombos/lombtalan állapot
 - o tűlevelű állomány
 - o többszintes állomány
- műholdak kitakarási szöge
- több utas jelterjedés az ágakon
- haladási sebességünk

Kiegészítő információként hozzárendelhetjük a telefonkészülék digitális iránytűjének a szögértékét.

További hasznos funkció bővítés lehet egy erdészeti üzemtervi térképi alapréteg mellett, külső geodéziai antenna jelének fogadása NMEA kódon keresztül. Ezt a funkciót az Android készülékeken a fejlesztői beállításokban a helyimitáló alkalmazáson keresztül lehet engedélyezni. Így lényegesen jobb pozíció értékeket rendelhetünk az átmérőkhöz. Ezen felül javasolt a telefon kamerájával fénykép készítés is, amely egy későbbi tanító adatbázisban felhasználásra kerülhet. A fényképeknek névként az ágazatban használatos fafajkódot javasolt megadni. Jó, ha van adatbázis szinkron is a gyorsabb feldolgozás érdekében.

Fenti javaslatok jelenleg is kivitelezhetőek a Qfield mobiltelefonos alkalmazás segítségével.

Nagyobb ívű, hosszabb távú fejlesztés eredménye lehetne egy grafikus kezelő felület (GUI – Graphical User Interface), melyen többek között dinamikusan, csúszka segítségével változtatható lenne a lézerszkennerek felvételezési mérettartománya is.

Továbbá a nemrég elindult ESA HAS (European Space Agency High Accuracy Service) is alkalmazható lesz hamarosan. A szolgáltatás segítségével díjmentes műholdas korrekciót kapunk mobilkészülékünkre. Így a tányérantenna és műszerárbóc elhagyásával is tudunk méter alatti megbízhatósággal dolgozni, ugyanakkor az erdőben is könnyebben mozgunk.

Végleges célul kitűzhető egy teljes értékű optikai és pontfelhő alapú, 2D SLAM működés a pontos törzstérkép érdekében.

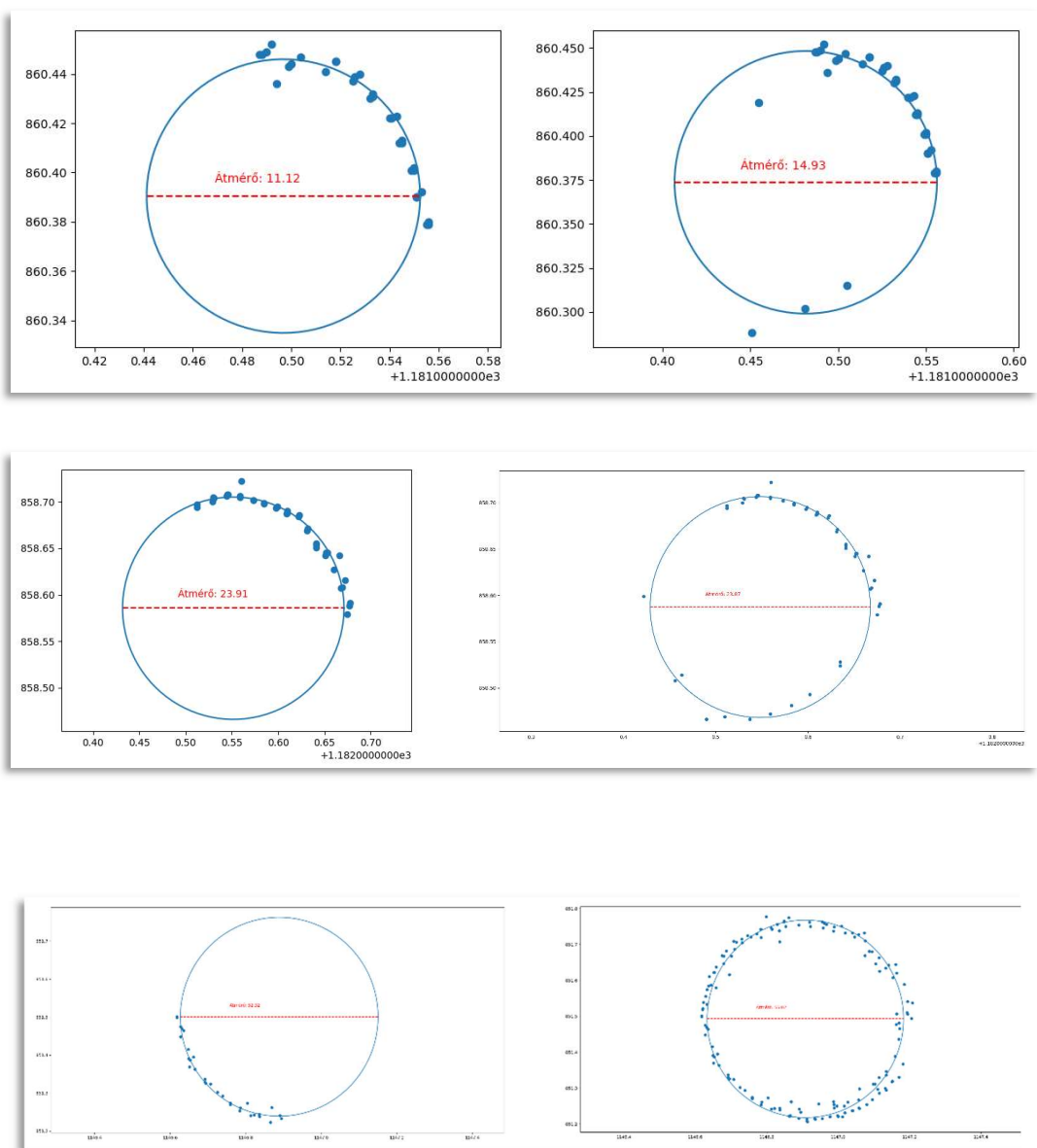
3.4.4 Lehetséges jövőbeni irány

Hosszútávon az erdészeti ágazatban is megjelenhetnek a kifejezetten – tehát nem az mobiltelefon vagy táblagép kamera képét használva – kiterjesztett valóság (AR – Augmented Reality) eszközök. Ennek egyik lehetséges eszköze a Microsoft által fejlesztett HoloLens 2 virtuális valóság sisak és szemüveg kombináció. Az eszközbe épített, a Kinect 2-höz hasonló elven működő mélységszenzorokkal tudja folyamatosan a környezetét figyelni, ahhoz kapcsolódó interakciós lehetőségeket vetít a kijelzőjére. Az ipari felhasználásra kialakított Trimble XR10-be integrálva az építőiparban már előfordul. Másik jelentős fejlesztési irány a hadiipar.

Véleményem szerint hamarabb fog az ágazati gyakorlatban hasznosulni az Apple által az iPhone-okba épített LIDAR egység. A pontosságának növekedésével és megfelelő szakmai alkalmazással hatékony eszköz lehet a közeljövőben. Ugyanígy várható, hogy a szenzorok és készülékek fejlődésével teljesértékű 3D SLAM megoldások is elérhetőek lesznek, mellyel az egész állófa felvehető és közvetlenül a pontos köbtartalom kerül kiszámításra. Mindezek mellett természetesen fejlődnek a légi megoldások is, melyek valószínűleg a hosszútávú megoldást fogják jelenteni.

4. EREDMÉNYEK

4.1 Mérési eredmények



4-1. ábra Mérési eredményekből előállított körlapokra illesztett regressziós kör

A kapott eredmények kiértékelése után az alábbi megállapításokra jutottam:

A szabályos hengeres, vastag törzseket valamennyi alkalmazott eszköz megfelelően kezelte, nem volt érdemi eltérés közöttük. A törzsvastagság csökkenése azonban már okozott eltérést főként, ha az illesztés nem volt tökéletes.

Eszköz	Törzs A [cm]		Törzs B [cm]		Törzs C [cm]	
	Részleges	Teljes	Részleges	Teljes	Részleges	Teljes
BLK360	11,12	14,93	23,91	23,87	52,32	55,02
L515	12,54	-	22,31	-	53,13	-
Átlaló	12,00		22,00		53,00	

A fenti regressziós körök számításához és rajzolásához az alábbi egyszerű Python-ban íródott scriptet használtam:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

def fit_circle(points):

    points = np.asarray(points)

    x = points[:, 0]

    y = points[:, 1]

    x_m = np.mean(x)

    y_m = np.mean(y)

    A = np.zeros((3, 3))
```

```
A[0, 0] = np.sum(x * x)
```

```
A[0, 1] = np.sum(x * y)
```

```
A[0, 2] = np.sum(x)
```

```
A[1, 0] = A[0, 1]
```

```
A[1, 1] = np.sum(y * y)
```

```
A[1, 2] = np.sum(y)
```

```
A[2, 0] = A[0, 2]
```

```
A[2, 1] = A[1, 2]
```

```
A[2, 2] = len(points)
```

```
B = np.zeros(3)
```

```
B[0] = np.sum(x * (x * x + y * y))
```

```
B[1] = np.sum(y * (x * x + y * y))
```

```
B[2] = np.sum(x * x + y * y)
```

```
C = np.linalg.solve(A, B)
```

```
xc = C[0] / 2
```

```
yc = C[1] / 2
```

```
r = np.sqrt(C[2] + xc * xc + yc * yc)
```

```
return xc, yc, r
```

```
# Example usage
```

```
points = [(1124.581, 891.173),
```

```

(1123.932,891.23),
(1124.623,891.347),
(1123.975,891.166),
(1124.066,891.179),
(1124.25,890.971),
(1124.298,891.003),
(1124.494,891.13),
(1124.53,891.192),
(1124.578,891.224),
(1124.634,891.251),
(1124.637,891.357),
(1124.551,891.738),
(1123.879,891.162),]
xc, yc, r = fit_circle(points)
print(f'Center: ({xc:.2f}, {yc:.2f})')
print(f'Radius: {r:.2f}')

x, y = zip(*points)
plt.scatter(x, y)

theta = np.linspace(0, 2*np.pi, 100)
x_circle = xc + r * np.cos(theta)
y_circle = yc + r * np.sin(theta)
plt.plot(x_circle, y_circle)

```

```
plt.plot([xc-r, xc+r], [yc, yc], 'r--')
```

```
Átmérő = r * 2 * 100
```

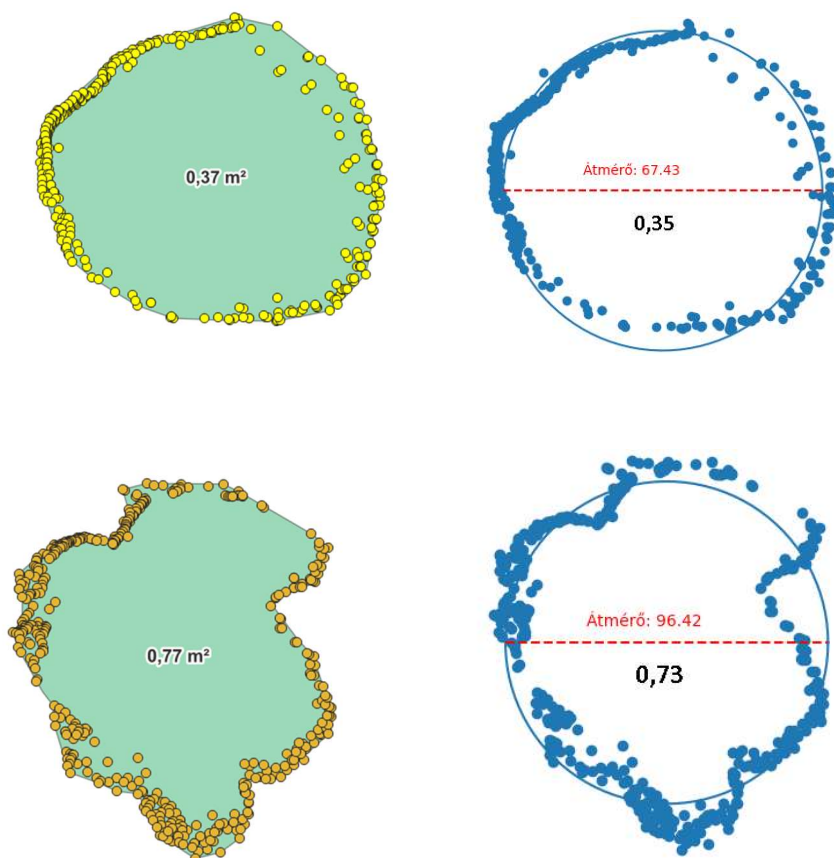
```
plt.text(xc-r/2, yc+r/10, f'Átmérő: {Átmérő:.2f}', color='red')
```

```
plt.axis('equal')
```

```
plt.show()
```

4.2 Szabálytalan törzsek

Foglalkozni szükséges a kör keresztmetszettől lényegesen eltérő faegyedekről. Az alak elváltozások lehetnek fajra jellemzőek (pl. gyertyán csavarodása), kor függvénye, károsítás vagy sérülés okozta szövetburjánzás. Az ilyen és elliptikus törzseket az átlalóval két, egymásra merőleges irányban méri, majd átlagot számol a szakirodalom. Lézerszkennerral mérve viszont más eljárást kell alkalmaznunk. Regressziós kör helyett a legkisebb konvex felületet kell meghatároznunk. Ehhez az egyik szélső pontot kell meghatározni (pl. legkisebb y érték) majd abból kiindulva az óramutató járásával azonos vagy ellentétes irányban végig venni az összes pontot. Ehhez használhatjuk a Graham – algoritmust. Az így kapott poligont utána a töréspontok mentén a háromszögekre osztjuk, és az egyes alkotó háromszögek területét összegezzük. Számottevő eltérés lehet.



4-2. ábra Szabálytalan alakú törzsek körlapszámítása legkisebb befoglaló konkáv poligonnal és regressziós körrel.

Fenti megoldást csak abban az esetben használjuk, ha a törzs egésze körbe lett mérve, rész körös felmérésnél ne, mert le fogja vágni a húr mentén.

4.3 Az eszközökről még egyszer

Meg kell említeni, hogy a két lézerszkennert összehasonlítani nem érdemes. Két teljesen különböző felhasználási célból készült eszköz. A BLK360 elsősorban épületek beltereinek felmérésére, (lásd hőkamera is), míg az L515 logisztikai célra, valamint robotok tájékozódására lett kifejlesztve. Ugyanakkor mindkettő megállta a helyét, a hagyományos erdészeti eszközökkel összemérhető az eredmény.

Erdészeti felhasználása mind a térszenner mind az önálló szenzoregység megkötésekkel ugyan, de használható. A BLK360 a nagyobb hatótávja mellé lassabb felmérési és feldolgozási idő társul. Viszont számos más munkára is használható. Úgymint: domborzat modell készítés, kubatúra számítás, teljes álló fa felmérése, épületek és barlangok felmérése. Az L515 kis tömege és mérete mellé jóval kisebb hatótáv is párosul, valamint lényegesen alacsonyabb árcédula. A kedvező energiafogyasztása lehetővé teszi a mobiltelefonokról történő használatát. Az általa előállított pontfelhő részletekben gazdag és pontos felméréseket tesz lehetővé. Nagy hátránya, hogy a Nap fényével interferál, elvakítja az. Használata felhős időben, vagy kora reggel, késő délután javasolt. A piacon viszont elérhetőek más hasonló tulajdonságokkal rendelkező eszközök is, melyek kültéri használatra is alkalmasak (pl.: Microsoft Azure Kinect), illetve a MEMS technológia folyamatos fejlődésével újabb eszközök fognak megjelenni. Az Intel sajnos az L500-as szériát megszüntette, egyetlen tagja a fentebb tárgyalt eszköz. A továbbiakban a sztereo mélységérzékelést fejlesztik tovább.

Bármilyen lézerszkennert is használunk – javasolt valamilyen mobil megoldás -, előnye mindegyiknek, hogy az emberi tényezőtől fakadó mérési hibákat, eltéréseket minimalizálni lehet segítségükkel.

5. ÖSSZEFOGLALÓ

Fenti szakdolgozatban az erdészeti ágazat, erdőtervezői dolgozóit érintő létszámhiányra próbáltam egy lehetséges megoldást találni. Ennek keretében egy olyan lézertáv mérésen alapuló eszközt mutattam be, melynek segítségével kevésbé szakképzett munkavállalók is el tudják látni az erdőtervezői feladatok egy részét.

Az első fejezetben a hazai erdőtervezés helyzetét vázoltam. Ismertetésre kerültek a létszámhiány okai, a szakmai fogalmak, a használatos eszközök. Főként a létszámhiány a fő probléma. Az egyre növekvő erdőterületre egyre kevesebb az erdőtervező, a fiatal utánpótlás sporadikus.

Utána a lézerek fizikája és a lézertáv mérés elve, valamint a piacon elérhető megoldások és eszközök kerültek sorra. A felhozatal széles, ami csak még tovább bővül. Az eszközök gyorsabbak, kisebbek és olcsóbbak lesznek, főként az önvezető járműipar „fordulatszama” miatt.

A következőkben egy mintaterületen lettek faegyedek átmérői megmérve kétféle lézereszközzel, valamint hagyományos átlalóval. Ezután regressziós körök kerültek illesztésre a fák keresztmetszeti körlapjaira. Az eredmények alapján nincs nagy eltérés az adatok minőségében, viszont a vékony törzseket célszerűbb egy felállással mérni hagyományos eszköz esetén, mert az illesztés könnyen elcsúszhat és ezáltal több centiméter eltérés is jelentkezhethet. Külön vizsgálva lett a szabálytalan törzsek esetében. Itt nem alkalmazható eredményesen a regressziós kör illesztés. Ehelyett a legkisebb befoglaló konvex felületet kell keresni, majd abból területszámítással meghatározni a körlap felületét.

6. SUMMARY

In the above thesis, I attempted to find a possible solution to the staff shortage affecting professionals in the forestry sector, specifically forest planners. Within this framework, I presented a laser-based distance measuring tool that can assist less skilled workers in performing certain forest planning tasks.

The first chapter outlined the current situation of forest planning in Hungary. The causes of the staff shortage, professional terms, and commonly used tools were discussed. The main problem lies in the shortage of staff, with fewer and fewer forest planners available to handle the increasing forested areas, and a sporadic influx of young talent.

Next, the physics of lasers and the principles of laser distance measurement, as well as available solutions and tools on the market, were presented. The range of options is wide and constantly expanding. The tools are becoming faster, smaller, and more affordable, largely due to the accelerating pace of the self-driving vehicle industry.

Subsequently, tree diameters were measured using two different laser devices and a traditional caliper on a sample area. Regression circles were then fitted to the cross-sectional circles of the trees. Based on the results, there is no significant difference in the quality of the data. However, it is more advisable to measure thin trunks with a traditional tool in an upright position, as the fitting can easily shift, resulting in several centimeters of deviation. Irregular trunks were examined separately. In these cases, fitting regression circles is not applicable. Instead, the smallest enclosing convex surface should be sought, and the surface area of the circle should be determined through area calculation.

Overall, the introduction of laser-based measurement tools provides a potential solution to the shortage of skilled personnel in the forestry sector. It allows less skilled workers to perform certain forest planning tasks effectively, contributing to the efficient management and utilization of forest resources.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton köszönöm konzulensemnek Dr. Molnár Gábor Péter tanár úrnak a segítségért és hasznos ötletekért, amivel munkámat segítette. Továbbá köszönöm Lehóczky Máténak az értékes szakmai tanácsait a távérzékelés terén.

Köszönet illeti még kollégáimat a Pilisi Parkerdő Zrt. állományából, illetve a gödöllői erdőtervezőket - köztük feleségemet is - akik a mindennapjaikban felmerülő szakmai problémákba engedtek betekintést.

Jó szerencsét!

Üdv az erdészek!

Világost a Geósnak!

8. IRODALOMJEGYZÉK

Dr. Lovas Tamás, Dr. Berényi Attila, Dr. Barsi Árpád: LÉZERSZKENNELÉS

Monográfia, Budapest: TERC 2012

Dr. Detrekői Ákos: Kiegyenlítő számítások, Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat 1991

Dr. Veperdi Gábor: Erdőbecsléstan, Sopron 2011

Bondor Antal (szerk.) (1986): Erdőrendezés, Budapest 1986

Qing Xu, Bo Li, Matti Maltamo, Timo Tokola, Zhengyang Hou: Predicting tree diameter using allometry described by non-parametric locally-estimated copulas from tree dimensions derived from airborne laser scanning, 2019

Czímber, Kornél és Burai, Péter és Román, András (2020) Légi lézeres és hiperspektrális faállomány-felmérés első eredményei. In: Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar : Tudományos közlemények. University of Sopron, Sopron, pp. 51-60. ISBN 9789633343760

Czímber Kornél: Erdőleltározás ICESat-2 műholdas lézeres profilmérésének alapján - Erdészeti Tudományos Konferencia Sopron, 2022. február 10.

Szabó Márton: Különböző lézeres letapogatások és erdészeti felhasználásuk vizsgálata - Investigation of different laser scanning and their forestry applications, Sopron 2016

9. ÁBRAJEGYZÉK

1-1. ábra 1770 erdőrendtartás térképi melléklete	1
1-2. ábra Erdőmérnök első éves hallgatók létszáma – forrás: https://Felvi.hu	3
1-3. ábra Megyéenkénti erdőterület – forrás: https://nfk.gov.hu	6
1-4. ábra Hazai tervezési osztályok és irodák – forrás: https://nfk.gov.hu	7
2-1. ábra Bitterlich-féle tükrös relaszkóp	11
2-2. ábra MobileForester – digitális körlapozó	13
2-3. ábra Hagyományos és digitális átlaló.....	14
3-1. ábra Mintaterület	31
3-2. ábra BLK360 G1 pontfelhője fatörzsről	32
3-3. ábra Intel L515 lézerszenzor	33
3-4. ábra Vele készült pontfelhő.....	33
4-1. ábra Mérési eredményekből előállított körlapokra illesztett regressziós kör. 36	
4-2. ábra Szabálytalan alakú törzsek körlapszámítása legkisebb befoglaló konkáv poligonnal és regressziós körrel.	41