

Doktori (PhD) értekezés
Soproni Egyetem
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola
Erdővagyon-gazdálkodás program

**KORSZERŰ MŰSZEREK ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA AZ
ERDŐTÉRKÉPEZÉSBEN**

Készítette: Bazsó Tamás
Témavezető: Dr. Czímber Kornél

Sopron
2017

**KORSZERŰ MŰSZEREK ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA AZ
ERDŐTÉRKÉPEZÉSBEN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskolája
Erdővagyon-gazdálkodás programja keretében.

Írta:
Bazsó Tamás

Témavezető: Dr. Czímber Kornél

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott Bazsó Tamás, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a *Korszerű műszerek és mérési módszerek vizsgálata az erdőterképezésben* című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Soproni Egyetem, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.¹

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőmet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2017. szeptember 29.

.....

doktorjelölt

¹ **1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.**

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Térképezés fás szárú növényekkel borított területen	4
2.1. Erdészeti térképészeti tevékenység	4
2.1.1. Az erdőfelmérés története a XX. századig	4
2.1.2. Az erdőrendezés térképezési utasításai	6
2.1.3. Egyéb térképi adatbázist igénylő munkálatok erdőterületen, zöldterületen.....	8
2.2. A térképezés műszerei és módszerei	9
2.2.1. Az erdészeti felmérések hagyományos műszerei	9
2.2.2. Globális helymeghatározó műholdas rendszerek (GNSS)	16
2.2.3. Ortofotó alapú térképezés.....	19
2.2.4. Korszerű és könnyen kezelhető műszerek	20
2.3. A térképezés alapjai, geodéziai műveletek, számítások.....	25
2.3.1. Alappontok, alappont-meghatározások	25
2.3.2. Részletes felmérés	28
2.3.3. A geometriai adatok minőségi jellemzői.....	29
3. A kutatás eszközei és módszerei	32
3.1. A referenciát biztosító műszerek	32
3.2. A TruPulse 360B és a Disto S910 bemutatása	35
3.3. A vizsgálat mérési sorozatai.....	39
4. Kalibráló mérések	42
4.1. A távmérés vizsgálata.....	42
4.1.1. Rövid távolságok távmérési vizsgálata	44
4.1.2. Hosszú távolságok távmérési vizsgálata	48
4.1.3. A távmérés vizsgálata nagy elemszámú mérési sorozatokkal.....	50
4.1.4. Távmérés vizsgálata különböző mérési körülmények között.....	54
4.1.5. Összegzés	61
4.2. A vízszintes szögmérés vizsgálata	61
4.2.1. A szögmérés vizsgálata mérőpályán	62
4.2.2. Irányzából adódó hiba meghatározása, határszög vizsgálatával.....	67
4.2.3. A vízszintes szögmérés vizsgálata referenciaértékekkel.....	70
4.2.4. Mágneses hatások vizsgálata a szögmérésben	74
4.2.5. Összegzés	75
4.3. A vizsgálat eredményeinek értékelése	76

5. Alappont-meghatározási módszerek vizsgálata	79
5.1. Alappontsűrítés vizsgálata sokszögeléssel	79
5.2. Alappontsűrítés vizsgálata ívmetszéssel	84
5.3. A vizsgálat eredményeinek értékelése	86
6. Mérések vizsgálata terepi körülmények között	88
6.1. Zöldfelületi kataszter készítése	88
6.2. Egyesfa szintű felvételezés erdőterületen	94
6.3. Mintakörös felvételezés.....	101
6.4. A vizsgálat eredményeinek értékelése	107
7. Következtetések	109
7.1. A TruPulse 360B alkalmazása	109
7.2. A Disto S910 alkalmazása.....	110
7.3. Javaslat egy erdészeti mérőműszer specifikációjára	111
8. Összefoglalás.....	112
9. Tézisek	113
Köszönetnyilvánítás	115
Felhasznált irodalom	116
Ábrák jegyzéke.....	122
Táblázatok jegyzéke	124

Kivonat

Az értekezés olyan kézi lézeres távmérők pontossági és alkalmazhatósági vizsgálatával foglalkozik, amelyek mérési eredményei önállóan alkalmasak térképezéshez szükséges adatok gyűjtésére. Ezek a távmérők, a távolság meghatározásán túl vízszintes- és magassági szög mérését is lehetővé teszik. A vizsgálathoz választott két műszertípus a Lasertechnology TruPulse 360B és a Leica Disto S910. A műszerek a vízszintes szögmeghatározás két irányát képviselik, a mágneses északhoz viszonyított szögeltérés, illetve szögszámlálás alapú szögelfordulás (enkóder) meghatározását.

A műszerek vizsgálata három módszertani elv szerint valósult meg, mérési pontosság meghatározása, alappont sűrítésre való alkalmazhatóság vizsgálata, valamint a részletmérés, térképezés pontosságának megállapítása. A műszerek dokumentációban leírt mérési pontosságainak tesztelése laborvizsgálatok elvégzésével és speciálisan kialakított mérőpályákon történt, majd a gyakorlatban is alkalmazott kalibrálási metódusok, valamint geodéziai számítások és statisztikai módszerek segítségével valósult meg a kiértékelés. Az alappontsűrítés vizsgálata előre meghatározott mérőpályákon történt. A műszerek pontossági eredményei alapján a vizsgálat iránya a tisztán távmérés alapú, és a vegyes, szög- és távméréssel való alappontmeghatározás pontosságának meghatározását célozta. Végül pedig terepi körülmények között végzett felmérések térképi pontosságának meghatározásával történt az erdészeti térképészetben való alkalmazhatóság megállapítása.

A vizsgálatok a pontossági meghatározáson túl a mérési módszertan szempontjából is irányt mutatnak. A műszerek és eljárások hatékonyabbá és pontosabbá tehetik az erdőrendezés és az erdészeti kutatások munkálatait.

Abstract

This thesis examines the accuracy and applicability of such laser rangefinders whose standalone measurement results can be used to gather data for mapping. These laser rangefinders can be used not only for measuring distances but for determining horizontal and vertical angles too. The two instruments (Lasertechnology TruPulse 360B and Leica Disto S910) chosen for the study represent two ways of determining horizontal angles: 1) determining the angle relative to the magnetic north 2) determining the angle by counting the degrees of the angular displacement. The comparison of the instruments focused on three areas: determination of measurement precision, applicability for setting control points and the accuracy for mapping and measurements of details. Verification of the measurement accuracy of the instruments documented in their instructions was carried out via laboratory tests and on specifically constructed measuring fields. The results were analysed by practical calibrating and statistical methods. Setting the control points network has been performed on a predetermined field. The goal was to determine the accuracy of the base point by using pure distance measuring techniques and by using mixed techniques (combination of angle and distance measuring techniques). Finally we have examined the applicability of the instruments for forestry mapping on the field.

Apart from the accuracy tests the measurement results showed us which are the leading instruments and methodologies that could make the forestry research more accurate and efficient.

1. Bevezetés

Az erdők felmérése, térképezése mindig a kor legpontosabb méréseire támaszkodott, a fejlődő térképészeti tudomány legújabb eszközeit, módszereit alkalmazta. Napjainkban is ez a folyamat tapasztalható, a különböző típusú távérzékelte adatok geoinformatikai rendszerben való feldolgozása mellett jelen van az erdőgazdálkodás hagyományos terepi adatgyűjtése, korszerű műszerekkel, mérőállomásokkal, műholdas navigációs műszerekkel (GNSS). A fejlődés ellenére még ma sem mondható el, hogy minden gyakorlati igényt kielégítő pontosságú térbeli adatok jellemeznék a térképeket. A pontatlanság sok esetben a nem megfelelő mérési eljárás megválasztásának következménye.

Az ingatlanvilvántartás pontossági követelményei az erdőhatárok mérését pontos terepi geodéziai eljárásokhoz kötik, míg az erdőtömbön belül a pontossági követelmények megengedőbbek. Napjainkra a terepi mérések háttérbe szorultak. A földmérési eljárások jelentős idő- és szaktudás igényűek, még a korszerű mérőállomásokkal is, amelyek hatékonyabban alkalmazhatók az eltűnőben lévő tradicionális teodolitokkal, tahiméterekkel szemben. Ezen okok is vezethettek oda, hogy erdőtömbön belüli terepi méréseket már ritkán végeznek, általában műholdas navigációs műszereket használnak.

Az utóbbi néhány évtizedben számos megoldás született a geodéziai mérések egyszerűbbé, hatékonyabbá tételére. A fejlesztések sok esetben kimondottan az erdészeti alkalmazás területét célozták. Ezen műszerek, eljárások hazánkban nem terjedtek el igazán, gyakorlati alkalmazásukkal javarészt erdészeti kutatóintézetek munkáiban találkozhatunk.

Hazai vonatkozásban leginkább az egyesült államokbeli Laser Technology cég műszerei ismertek, illetve épültek be műszer-összeállításokba, alkalmazásokba. A műszercsalád TruPulse 360B tagjának mérési mennyiségei egy hagyományos busszola-teodolitéval megegyezők: mérhetünk távolságot, magassági szöget és mágneses azimutot (vízszintes szöget). Ezen mennyiségek, illetve a műszer pontossága hasonló az erdészeti alkalmazott és elfogadott Wild T0 busszola-teodolitéhoz. A műszer műszaki jellemzői alapján tökéletes megoldást nyújthat a térképezési eljárásokhoz, viszont megfelelő referenciákkal egyelőre nem rendelkezik.

A kutatás célja ezen egyszerű műszer mérési pontosságának és erdészeti gyakorlatban való alkalmazhatóságának meghatározása. A pontossági vizsgálat a műszerek mérési értékein túl a terepen előforduló környezeti tényezők mérésben okozott hatásának vizsgálatát is célozza. Alkalmazhatósága mind a mérés technika vizsgálatát, mind az egyéb eljárásokkal való összevetését jelenti. Az összehasonlítás alapja a Wild T0 busszola-teodolit, ami az erdészeti felmérésekben elfogadott műszer (volt) és az útmutatók még mindig megemlítik az erdészeti felmérések műszereként. Mára azonban egy műszer használhatóságát az ortofotók által nyújtott pontossághoz, illetve a térinformatikai pontosságú (~1m) műholdas navigációs műszerek biztosította mérési lehetőségekhez célszerű megvizsgálni, mivel napjainkban az erdészeti térképezés ezen megoldásokat részesíti előnyben.

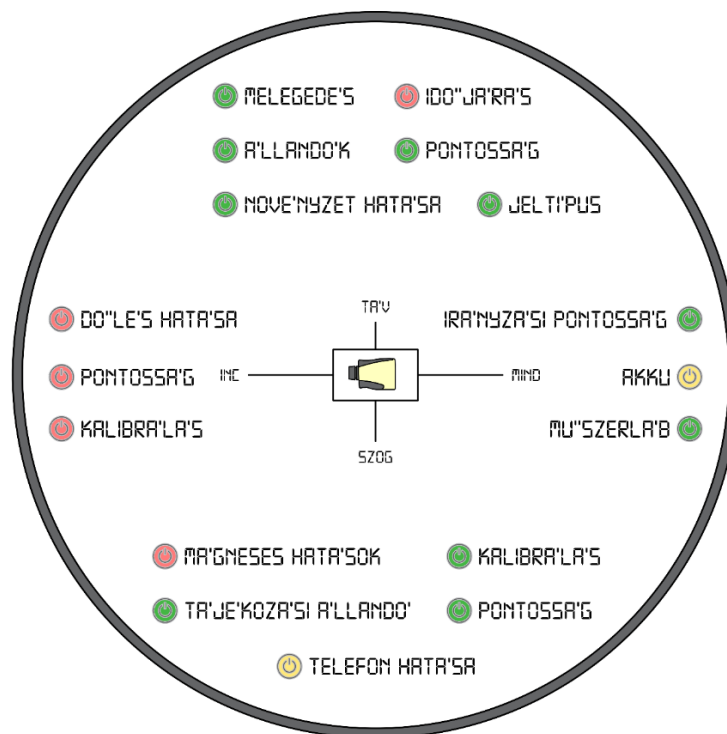
A vizsgálatban egy másik korszerű műszer mérési tulajdonságait is kiértékeltem. Ez a műszer a Leica cég Disto S910 típusú távmérője, amely már a magassági szög (inklináció) mellett vízszintes szögmérésre is alkalmas. A két műszer között a lényegi különbséget a vízszintes szögmérés jelenti, amely az utóbbi esetben egy egyszerű szögelfordulás mérése (enkóder), a TruPulse mágneses szögmérésével szemben.

A kutatásomban a következő feladatokat tűztem ki célul:

1. Méréssorozatok végzése a Laser Technology TruPulse 360B és a Leica (Hexagon) – FTA 360S típusú műszeradapterrel használt – Disto S910 műszerével.
2. A műszerek távmérésének pontossági vizsgálata. Megfelelnek-e a műszer-specifikációban megadott értékeknek, az erdészeti előírásoknak, valamint a zöldfelületi térképezés elvárásainak.
3. A műszerek vízszintes szögmérésének pontossági vizsgálata. Megfelelnek-e a műszerspecifikációban megadott értékeknek, az erdészeti előírásoknak, valamint a zöldfelületi térképezés elvárásainak.
4. A műszerek terepi körülmények között való vizsgálata. Használhatóságuknak és pontosságuknak vizsgálata és összevetése a jelen kor erdészeti térképészeti gyakorlatával.
5. A műszerek és a mérési módszerek értékelését követően, az erőterképezésben való alkalmazhatóság megfogalmazása.

A műszervizsgálatot labor körülmények között, speciálisan kialakított mérőpályákon, valamint terepi körülmények között végeztem.

A kutatás módszertanát egy geodéziai műszer vizsgálatához igazítottam, viszont a pontossági értékeinek meghatározásán túl, terepi mérések elvégzésével egészítettem ki. A TruPulse 360B vizsgálata közben olyan hibákat tapasztaltam, amelyeket egyéb (számításba nem vett) hatások okozhattak. A hatótényezők felderítése újabb vizsgálatokat eredményezett, amelyeket beépíttem a kutatásba.



1. ábra: Hatások a TruPulse 360B méréseire.

A kutatás alapján a TruPulse mérési értékeit az 1. ábrán látható tényezők befolyásolják. A tényezőket a mérési mennyiségre (táv, inc – inklináció, szög – vízszintes szög, mind – mindhárom mennyiség) gyakorolt hatása szerint csoportosítottam, valamint jelöltem, hogy a disszertáció keretében foglalkoztam-e a problémával (zöld – igen, piros – nem), illetve, hogy további vizsgálatokat igényelne (sárga).

Ahhoz, hogy ezeket a hatásokat és a műszer pontossági értékeit megállapítsam, több ezer mérést végeztem a TruPulse-zal. A disszertációban közel 2000 db mérést használtam fel a műszer értékeléséhez, amely mérések felét nem „steril” körülmények között, hanem a terepen, a valós viszonyok hatásait is figyelembe véve rögzítettem.

A disszertáció 11 különböző mérési helyszín mérési adataival foglalkozik, amelyek közül három valós terepi térképezési feladat, kettő terepi alappont-meghatározási feladat, a többi pedig valamilyen tesztpályán, illetve műszerlaborban elvégzett mérés volt.

A mérések elemzéséből így nem csak egy műszeradatlap ellenőrzésére, hanem a valós terepi használatból adódó pontosságra kapunk választ.

2. Térképezés fás szárú növényekkel borított területen

Erdővel, fával borított terület térképezése sok esetben más módszereket, eszközöket igényel, mint egy – a földmérő tevékenységet jellemző – épített környezet felmérése. A mérési körülmények említése mellett szükséges a pontossági igények meghatározása is.

Az erdészeti térképezés – különös tekintettel az erdőrendezésre – mindig pontosan meghatározta a *pontosság-eszköz-módszer* hármas tekintetében a kívánalmait, amelyet megfelelően dokumentált és kötelezővé tett az erdőtervezés gyakorlatában. Ezek az előírások a technika fejlődésével folyamatosan változtak, a kor műszaki lehetőségeit (technikai vívmányait) kihasználva, módszeresen beépítve a térképezési eljárásokba, ezzel élvonalbelivé téve azt. Az erdőterületen belüli térképezés egyszerűen kezelhető, de kellően pontos geodéziai műszereket igényel a terepi felvételezésben.

A dolgozatomban nem kizárólag erdőterületen, térképezési céllal végzett mérésekhez szeretnék vizsgálatokat végezni. Napjainkra a térképezés fontos eszköze és alapadat előállítója lett a környezetünk kezelésének, valamint mérnöki tevékenységek végzésének. A térképezés nagy mennyiségű adatot igényel, különösképp, ha az egyre nagyobb hangsúlyú környezeti változásvizsgálatokra gondolunk. Ezen nagy mennyiségű adatigény előállítása hagyományos geodéziai úton hatalmas erőforrásokat igényel, ezért kiváltására, illetve kiegészítésére a távérzékelési eljárások és globális helymeghatározó rendszerek (GNSS) alkalmazása terjedt el.

2.1. Erdészeti térképészeti tevékenység

Az erdő, mint vagyon, mindig fontos szerepet töltött be, ezáltal használatának és nyilvántartásának fontos szerep jutott. A nyilvántartás alapját az erdő területének nagysága és az elhelyezkedése jelenti, amelynek meghatározása térképi úton, felmérések segítségével történik. A területnagyságok meghatározásának pontossága a mérőműszer pontosságának és a térképezési eljárásnak a függvénye. A földmérés történetében a műszerek és a módszerek folyamatos fejlődésének lehetünk tanúi, amely az erdőterképezésben is nyomon követhető. A térképezési eljárásokat és a pontossági elvárásokat rendeletek, utasítások szabályozták az erdők kezelői számára. A dokumentumok alapján tájékozódhatunk a különböző korokban történt és történő térképezési eljárásokról.

2.1.1. Az erdőfelmérés története a XX. századig

Arra vonatkozólag nem ismertek konkrét adatok, hogy mikor kezdtek el foglalkozni az erdők megfelelő kezelésével, felméréssel (Németh 1998). Kezdetben az erdőt korlátlan erőforrásnak tekintették, így mint közvagyon kezelték és korlátozás nélkül használhatták az emberek, ami sok esetben erdőrészek eltűnéséhez vezetett. A királyi birtokok egyházaknak, városoknak, nemeseknek és egyéb magántulajdonosnak való adományozásával, valamint az erdő értékének felismerésével, folyamatos fejlődés mellett kialakult a magán erdőtulajdon (Fekete 1954). Az így létrejött erdőbirtokok pontos területi meghatározást igényeltek, amelyhez meg kellett jelölni a birtokhatárokat, esetleg tovább kellett osztani azokat. Ez vezetett el az erdőfelméréshez, erdőrendezéshez.

A legsürgetőbb tényezőt az erdők használatának megtervezéséhez a bányászat és kohászat térhódítása jelentette, amely nagy mennyiségű faanyagot igényelt, sok esetben szinte teljes erdőrészeket eltüntetve. Ez sokszor ütközött a lakossági felhasználással (Tomcsányi 1895). A bányák közelében lévő erdőterületekről a bányarendtartások külön rendelkeztek. Ezzel együtt az erdőgazdálkodás egyre fontosabb szerepet töltött be, megteremtve a lakossági és az ipar számára szükséges faanyaggal való gazdálkodás egyensúlyát. Az erdőgazdálkodás egyik alapvető tényezője az erdőterület nagysága, amely az erdőfelmérési és térképezési munkálatok elvégzését feltételezi.

Írásos emlékeink szerint az erdőrendezési munkák kezdetét, a geodézia megjelenését az erdészeten, Miksa király 1565-ben Besztercebánya részére kiadott erdőrendtartása jelentette, amely a hallstadti erdőrendtartás mintájára készült. A rendtartás az addig kialakult erdőművelési ismereteket foglalta össze, és részletesen foglalkozott a tervszerű kitermeléssel, amely az erdők felmérése és térképezése alapján készülhetett el (Németh 1998). Az első ismert erdőtérkép az akkori Magyarország területéről 1591-ből származik (Tagányi 1896). Ekkor még az erdészeti feladatokat sok esetben egyetlen lapon ábrázolták, és a térképek tartalmát a készítők határozták meg (Németh 1998). Szilas (1976) kutatásai szerint, a szűkebb értelemben vett magyarországi első erdőfelmérés 1649-ben történt, amikor III. Ferdinánd parancsára a bányavárosok körüli erdők felmérését végezték el. Az 1500-as években született szabályozások kisebb módosítással hosszú időn át fennmaradtak. Érdelemleges változtatások az 1700-as években történtek a rendtartásokban (Németh 1998).

Már a középkorban is tilos és szabad erdőként kezelték az erdőterületeket, ahol csak engedéllyel lehetett fát kivágni, illetve ahol szabadon lehetett tűzifát kitermelni. Az 1700-as években megjelent a vágásterületekre osztás, ahol biztosítva volt a folyamatos famennyiség. Ezek az erdőgazdálkodási szabályozások mind pontosabb térképezési eljárásokat igényeltek (Németh 1998).

Megfelelő térképek előállításának érdekében előrelépést eredményezett Mária Terézia 1768-ban kelt rendelete, ahol erdészeti kezelés céljára, geometriában, vagyis mérésben való jártas szakembert kerestek (Németh 1998). 1770-ben kiadott országos erdőrendtartásában pedig elrendelte az „*erdők felmérését, térképezését és állandó osztásokra való vágását*”. Leszögezi, hogy minden erdőterületre kiterjedően el kell végezni az erdőfelmérést mennyiségi és geometriai, földmérési értelemben. A mű az addigi rendeletek összefoglalása mellett az akkori erdészeti tudomány új elemeinek alkalmazásával az erdészettudomány és szakoktatás alapjaihoz is hozzájárult (Fekete 1954).

Az erdészet és ezen belül az erdészeti földmérés fontosságát jelzi, amikor 1808-ban a selmecbányai Bányászati Akadémián Wilckens Henrik Dávid vezetésével megalakult az Erdészeti Tanintézet.

A mérési pontosságra és ezzel egyetemben, a használatos geodéziai műszerek meghatározására is kitértek a rendeletek, utasítások. Az 1856. évi erdőrendezési utasítás szemléletesen leírta az erdészeti térképészet önállóságát, mikor a kataszteri térképezés mellett az „erdészeti vonalak” bemérését külön „*kataszteri-geométer*” illetve „*erdész-geométer*” szakemberhez kötötte (Németh 1998).

Az 1879. évi erdőtörvény minden közületi, egyházi, hitbizományi erdőre és a részvénytársulati erdők egy részére üzemtervi kötelezettséget írt elő, ezáltal az ország erdeinek kétharmadát

tervezés alá sorolta. Az 1880-as erdőrendezési utasítás fontos lépés volt a hazai erdőgazdálkodásban, ezzel egyetemben az erdőtérképezésben. Az utasítás egyik fő része a „*Felmérés, térképezés és térszámítás.*” feladatával foglalkozott (Fekete 1954).

Napjainkig számos újítás jelent meg a különböző erdőrendezési utasításokban, valamint erdőtörvényekben, amelyek az erdőterületen való térképezés előírásaira vonatkoztak. Ezek az adott kor szellemiségét és a technika fejlődését folyamatosan követték, precízebbé, hatékonyabbá téve az erdészeti gazdálkodást.

2.1.2. Az erdőrendezés térképezési utasításai

A 88/2000. (XI. 10.) FVM rendelet az Erdőrendezési Szabályzatról meghatározása szerint „*az erdőtervezés részét képező földmérési, térképészeti munkálatok célja az erdő és a hozzá tartozó egyéb területek gazdasági beosztásának, az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó létesítmények elhelyezkedésének, megközelítésének és a tervfeladatoknak térben jó áttekintést, valamint számítógépes feldolgozás lehetőségét nyújtó meghatározása, mérethelyes, valóságű ábrázolása, továbbá területi adatok szolgáltatása.*”

Az erdészeti üzemtervi térképek kezdetben az egyes erdőgazdaságok területére készültek. Az 1955-ös Erdőrendezési Utasítás írta elő a községhatáros, 1:10000 méretarányú üzemtervi térkép szerkesztését. Ahol nem állt rendelkezésre a kataszteri térkép, ott 1:5000 méretarányban új térképet kellett előállítani (Dávid 2010).

Az 1976-os Erdőrendezési Útmutató szerint a térképeket sztereografikus vetületi rendszerben kellett elkészíteni a földmérési alaptérkép alapján. Később a földmérésben elrendelt Egységes Országos Vetületi Rendszerben (EOV) szerkesztett topográfiai térképekre illesztetten szerkesztették (beillesztéses átrajzolással) a sztereografikus vetületi rendszerű erdészeti üzemi térképeket (Dávid 2010). Ezekben az időkben még komoly terepi geodéziai munkálatok folytak erdőterületen is (Erdőrendezési Szolgálat 1986).

Az 1990-es évek második felétől az erdészetben is megjelentek a digitális térképek. 1999-től az Állami Erdészeti Szolgálatnál (ÁESZ) országosan bevezetésre került DigiTerra MAP programcsomag, amely lehetővé tette nagyobb erdőterületek térképeinek felújítását. Ekkor már az erdészeti üzemtervek térképezése Egységes Országos Vetületi Rendszerben és az Egységes Országos Térképészeti Rendszer szelvényezése szerint történt, mint a földhivatali térképek kezelése (Dávid 2010).

Az Állami Erdészeti Szolgálat 2003-tól kialakított egy új egységes országos erdészeti informatikai rendszert, az ESZIR-t (Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszer), mely térinformatikai alapokra épül.

A 2000-es évek közepétől kezd a légifényképek alkalmazása mellett megjelenni és általánossá válni az ortofotók alkalmazása.

Az erdőről és az erdő védelméről szóló 1996. évi LIV. törvény 106. §-nak első bekezdésében kapott felhatalmazás alapján rendelte el a földművelésügyi és vidékfejlesztési miniszter az Erdőrendezési Szabályzatot a 88/2000. (XI. 10.) FVM rendeletben, melynek azóta többször módosított munkarésze a Mezőgazdasági és Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatósága (MgSzH - Budapest) által 2009-ben elrendelt Térképészeti Útmutató. A térképészeti tevékenység végzéséhez figyelembe kell venni a hatályos jogszabályokat, szakmai

szabályzatokat és szabványokat. Ezen előírások alapján és az azokban meghatározott pontossággal kell a térképezést elvégezni.

A térképezést a megyei kormányhivatalok illetékes járási hivatalainak elsőfokú erdészeti feladatkörében eljáró osztályain (továbbiakban erdészeti hatóság) dolgozó erdőtervezők végzik.

Az erdőtérképezés sajátos célú földmérési tevékenységi körbe tartozó térképészeti tevékenység. Ezáltal az országos földmérési és ingatlan-nyilvántartási rendszerekhez illeszkedő térképezési eljárás, amely az erdészeti tevékenység céljait szolgálja, annak külön térképészeti előírásaihoz igazodik, és az azokban meghatározott pontossági, valamint azonosíthatósági követelményeknek felel meg. Az erdőtérképezés a földmérési tevékenységgel egységesen az állami alapadatokra támaszkodva, azok felhasználásával állítja elő a térképi állományait.

Az erdészeti térképek készítésénél a hagyományos technikai eszközök és műszerek, valamint a mérési és feldolgozási eljárások mellett fokozatosan áttértek a korszerű és hatékony geodéziai műszerek használatára. Néhány egyedi eset kivételével a tradicionális műszerek már csak megtalálhatók, de nem használatosak az erdészeteknél. A terepi eljárások mellett egyre nagyobb mértékben alkalmaznak szoftveresen támogatott képfeldolgozási módszereket és digitális adatkezelést. A geometriai adatok és az állományadatok digitális kezelése, valamint az azokkal való műveletek végzése térinformatikai rendszerek alkalmazásával történik.

A terepi térképezési munkák elvégzéséhez szükséges eszközök és módszerek kiválasztása az erdőtervező feladata. Az aktuális térképi állapot függvényében kell a felújítási módszertant kiválasztani, a pontossági előírások betartását figyelembe véve, optimális munkaidő befektetésével.

Az erdőtervezők a térképeket digitális úton állítják elő, az adott terület térképének újrakeresztésével. Ehhez a meglévő üzemtervi térképen kívül különböző alapadatok állnak rendelkezésre digitális formátumban, ezek pedig (Szabó 2010):

- földmérési alappontok,
- a földhivatali digitális állományok,
- ingatlan-nyilvántartási (1:2000, 1:2880, 1:4000 méretarányú) földmérési alaptérképek másolatai a vitás esetek eldöntéséhez,
- lejárt érvényességű üzemtervi térképek a belső vonalak ábrázolásához,
- 1:10000 méretarányú topográfiai térképek,
- korábbi digitális térképi anyagok,
- digitális ortofotó,
- szakhatósági dokumentációk,
- GPS mérések,
- egyéb mérések.

Az erdészeti hatóságnak nem áll egységesen rendelkezésére minden adat és módszer, anyagi lehetőségeiknek megfelelően juthatnak hozzá. Az erdészeti hatóság központi beszerzésből kapta meg digitális formában a kataszteri térképeket és a TAKARNET rendszeren keresztüli online szolgáltatás előfizetésével. A jogi határokat a földhivatali digitális állományokból veszik át, amelynek megengedett legnagyobb hibája az üzemi térképen ± 3 m.

A kezdetben alkalmazott tömbkiegyenlítéses eljárás helyett központi beszerzésből kapják meg digitális formában az ortofotókat. A tervező rendelkezésére álló ortofotó méretaránya nem lehet kisebb 1:15000-nél, és nem lehet régebbi háromévesnél (MgSzH 2009).

A különböző fedvények összedolgozása a térinformatikus feladata, majd az elkészült térképen az erdőgazdasági beosztások megrajzolását a terepi dolgozók végzik. Az ortofotón nem látható vonalakat, részletpontokat hagyományos módszerekkel, valamilyen földi geodéziai eljárással bemérik. Ehhez különböző pontosságú (általában méteres pontosságú) műholdas helymeghatározó műszert használnak.

A jövő célkitűzése lehet – az erdészeti hatóság számára egységesen –, hogy térinformatikai programok segítségével a térképező akár a terepen is, tetszőleges összeállításban vizsgálhatja, vagy akár szerkesztheti is a térképet és a leíró adattartalmat.

2.1.3. Egyéb térképi adatbázist igénylő munkálatok erdőterületen, zöldterületen

Az erdészeti tudományok közül az erdőrendezés, az erdészeti feltáróutak tervezése, valamint az erdészeti vízépítés, amely a leginkább igényli a pontos térbeli meghatározást. A helymeghatározás mellett fontos szerepe van a minőségi – leíró – adatgyűjtésnek, amely a GIS technológia (térinformatika) és a geodézia összefonódásával az erdészeti tudományok szinte minden ágában (erdővédelem, erdőművelés, erdőtelepítés, vadgazdálkodás) újabb lehetőséget nyújtanak (Bácsatyai 2002). Az erdőben végzett felmérések és kutatás célú felvételezések sok esetben igényelnek pontos és részletes helymeghatározást, nem ritkán faegyed szintű felvételezést, erre ad rálátást Szmorad és társai (2013) áttekintő műve, az erdőállapot-felmérések módszertanának kidolgozásához írt összefoglaló kötetük. A felmérések egy speciális ágát a kutatást szolgáló felvételezések jelentik, ahol a pontos helymeghatározás biztosítaná az elemzések alapját. Ilyen például az erdőrezervátumok felmérése, ahol kiemelt szerepet kap a mintavételi pontok pontos meghatározása. Viszont a további geodéziai felmérések, akár faegyed szintű felvételezések fontosságában már megoszlanak a vélemények a felméréshez szükséges idő- és költségek miatt (Horváth – Borhidi 2002).

Az egyszerű – geodéziai célokra is használható – lézeres távmérővel felszerelt műszerek erdészeti célú alkalmazása kifejezetten előnyös. Az erdőt jellemző faállomány elsődleges dendrometriai tulajdonságai, mint a famagasság, törzsátmérő, ágtszta törzs magassága, koronaátmérő a műszerek speciális rutinjaival akár közvetlenül is meghatározhatók.

Egy másik terület a településeken belüli, vagy azokhoz kapcsolódó zöldterületek felmérése. Az önkormányzatok vagyongat jogszabályban meghatározott módon kötelesek nyilvántartani, amelyről az egyes állami tulajdonban lévő vagyontárgyak önkormányzatok tulajdonába adásáról szóló 1991. évi XXXIII. törvény rendelkezik. A törvény 42.§-a végrehajtására bevezetik a 147/1992. (XI. 6.) kormányrendeletet, amely szerint minden település önkormányzatának ingatlanvagyongat-katasztert kell készíteni és ezt folyamatosan vezetni szükséges (1991. évi XXXIII. tv.). Utóbbi években egyre több településen történik meg a zöldfelületek és ezen belül a fás szárú növényzet térképezése és térinformatikai rendszerbe illesztése. A felmérések az erdei felvételezésekhez hasonlóak, bár az erdőállományon belüli zártság nem csak a természetes növényzet által, hanem az épített környezet – leginkább magas

épületek – által érvényesül. A törvényileg szabályozott zöldfelületi kataszterben területi nyilvántartást kell vezetniük az önkormányzatoknak. Emellett a vagyon- és közterületgazdálkodás munkájának segítésére a faegyedek helyének és minőségi jellemzőinek meghatározására fakataszter is készülhet, amely munkai igénye jelentős.

2.2. A térképezés műszerei és módszerei

A térképezés korai időszakában egyszerű eszközök használatával, sőt emberi „erővel” – például lépéssel – meghatározható módszerekre támaszkodott a felmérő. Ezen módszerek némelyike még mindig jelen van az erdészeti gyakorlat hétköznapijában, viszont már nem a térképezés alapját jelentik. Az erdészeti felmérések kezdetén valamilyen tájoló segítségével, majd a műszerek fejlődésével, teodolittal, busszola-teodolittal határozták meg a szögeket, a távolságok megmérése pedig hossz-méréssel, majd optikai távméréssel történt. Hazánkban a Wild T0 busszola-teodolit tekinthető a napjainkban is használt erdészeti térképek elsődleges felmérő műszerének. A múlt század vége felé teret hódító távérzékelési eljárások és a GPS/GNSS technológia egyre nagyobb mértékben vette és folyamatosan veszi át a hagyományos terepi mérési eljárások szerepét. Napjainkban az erdészeti térképezés terepi adatgyűjtésének műszerei, a mai kor modern mérőberendezései: mérőállomások, GNSS műszerek, az egyre nagyobb szerepet játszó ortofotó alapú térképezés, valamint a korszerű szög- és távmérők.

2.2.1. Az erdészeti felmérések hagyományos műszerei

Az erdőterületek határainak meghatározása és az erdőt alkotó faállományok térképezésének igénye jelentette az erdészeti felmérések kezdetét. Ezen feladatokhoz legtöbbször busszola-műszer méréseire támaszkodott az erdészeti gyakorlat. Az erdőterületen, a borított felszín zártságából adódó nehézkes tájékozás ezen műszerek használatát helyezte előtérbe. A busszolás sokszögmenetekkel való mérések erdőtömbön belüli használatára már az 1500-as évekből találhatók leírások Bajorországból, amelyeket feltehetően hazánkban is alkalmaztak (Németh 1998). Használatuk még a mai napig is nagy jelentőséggel bír az erdőterületeken (Potočnik 2013).

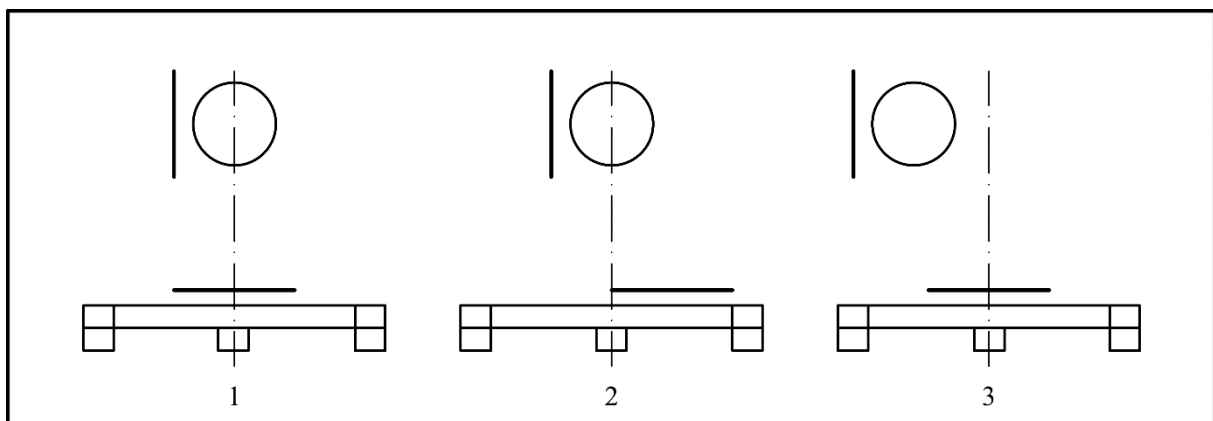
A tájoló (kompass), a mágneses északi iránytól való vízszintes szögeltérés meghatározására alkalmas, a szögolvasáshoz beosztással rendelkezik. Azon kompasszal felszerelt műszereket, amelyek felépítése álló- és fekvő tengelyre épül, valamint legtöbbször távcsőve magassági körhöz rögzített, busszoláknak nevezzük (Bezzegh 1966). Ezen típusú műszerek nagy részénél a kompass és a távcső is külpontos helyzetben van beépítve. A mérések pontosságát a külpontos busszola csak 10 km-en felüli irányzásoknál rontaná. A külpontos távcső pontatlansága 100 m alatt, két távcsőállásban való irányzással ejthető ki, 100 m feletti irányzásoknál pedig elfogadható a pontosságuk (Bezzegh 1966). A magyarországi gyakorlat a busszolákat már nem, vagy nem elterjedten alkalmazza, azonban gyártásuk és alkalmazásuk más országokban (elsősorban Ázsiában) még napjainkban is előfordul, mint például a japán Ushikata cég műszerei (www.ushikata.co.jp).

Következő lépést a busszola-teodolitok megalkotása jelentette. Ezek már precíziós műszerek, külön limbusz-, vagy vízszintes kört találunk a mágneses szögmérő mellett, esetleg a mágneshez rögzítették a vízszintes osztott kört, amely nulla osztása így a mágneses északi

irányba áll be. A tájoló ebben az esetben ki is kapcsolható, így a kör felett az alhidádé az állótengely körül elforgatható a leolvasóberendezéssel együtt, ezáltal, mint egy teodolit használható. A 2. ábrának megfelelően a busszolakát, de akár a busszola-teodolitokat is a távcső és a tájoló külpontossága szerint csoportosíthatjuk (Hazay 1957):

1. mind a tájoló, mind a távcső központos elhelyezésűek.
2. a tájoló külpontos, a távcső központos. Az ilyen felépítésű műszer külpontossága ellenére még központos műszernek tekinthető, mivel a tájoló 0-180° összekötő vonala párhuzamos az irányvonal síkjával, ezáltal helyes mágneses azimut olvasható le. Elhanyagolható hibát – másodpercnél kisebb – az állótengely és a tájoló tengelyének eltéréséből adódó mágneses meridiánkonvergencia okoz.
3. a tájoló központos, a távcső viszont külpontosan épített. Ezen műszerek nem voltak elterjedtek a gyakorlatban, mivel a távcső központosítást számítani szükséges a kellő pontosság eléréséhez.

Ezek a felépítésbeli tulajdonságok, a mai korszerű műszerek között is megtalálhatók, a kisebb pontosságot képviselő műszerek körében.



2. ábra: A busszola-teodolitok típusai a távcső és a tájoló külpontossága alapján.

Hazánkban a Wild, Heerbrugg cég, T0 típusú busszola-teodolitja volt a legelterjedtebb. A T0 mellett természetesen más típusú, más geodéziai műszergyártó cég által forgalmazott busszola elven működő teodolitokat is használtak, mint például a Kern, Aarau cég TB jelzésű busszola-tahimétere, vagy a számunkra büszkén említhető Magyar Optikai Művek (MOM) Te-E-5 típusú busszola-teodolitja (a Gamma Te-E-4 továbbfejlesztéseként). Az erdészet területén a svájci Wild T0 volt alkalmazásban. Kis mérete, valamint robusztus felépítése miatt ajánlották más gyártók által forgalmazott műszerekkel szemben (3. ábra).

Marosi György, 1973-ban, a technikai fejlődés mellett még mindig fontos műszerként ír a Wild T0 busszola-teodolitról, amely alkalmazási köre, a fotogrammetria megjelenése miatt szűkült, de „állományon belüli határvonalmérésnél, illesztőpont-meghatározásnál, illetve a kisebb pontosságú alappont mérésnél viszont továbbra is fontos helyet kap”. A műszer alkalmazhatóságában fontos lépést jelentett a numerikus adatfeldolgozás, amely hatékonyabb kiértékelést és pontosabb térképezést tett lehetővé (Marth 1973, Tvordy 1973).



3. ábra: Erdészeti célokra hirdett Wild T0, egy korabeli plakáton (www.gammatech.hu).

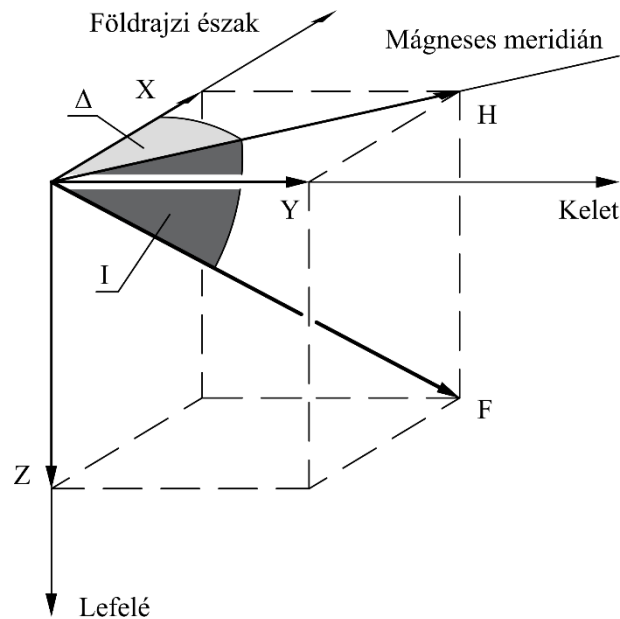
A busszola-teodolitok felépítése és működése a teodolitokéhoz hasonló. Gyakorlatilag ugyanúgy használhatók, mint egy kis pontosságú teodolit. Viszont a vízszintes szögmérő részének felépítéséből adódóan egy lényeges többlettérrel rendelkeznek, amely miatt – a nevéből adódóan is – a teodolitot használhatjuk busszola-teodolitként is. A mágneses elvű működés előnyei mellett, figyelmet kell fordítani a sajátos hibalehetőségekre is. A mágneses tér folytonos változása, és még inkább a külső körülmények okozta hatások miatt, a műszer fokozott figyelmet igényel használójától.

A Föld mágneses tere, a mágneses szögmérés elve

A mágneses jelenségeket, valamint a Föld mágneses terének létezését már hamar felismerték, görög írásos emlékek időszámításunk előtti időkből mágneses tulajdonságok megfigyeléséről tanúskodnak. Feltételezések szerint a kínaiak már ekkor iránytűt használtak navigációra, térképezésre (Pethő – Vass 2009). Európában lényegesen később, valamikor a XII. században kezdett elterjedni az iránytű használata. Tudományos szintű megfigyelések és leírások születnek ez utáni évszázadokban. Az első komoly összefoglaló mű, amely a Föld mágneses tulajdonságaival foglalkozik, William Gilbert fizikus *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* című műve 1600-ból. A Földhöz kapcsolódó mágneses tulajdonságok mérését és a változó mágneses tér megfigyeléseit pontos térképezési feladatokhoz használják fel. Az 1700-as években többek között Mikovinyi Sámuel is jelentős térképezési munkálatokat végzett busszolával (Tvordy 1973). Napjainkig számos tudós, többek között Halley, Garaham és Gauss felfedezéseivel, tudományos leírásaival hozzájárult a földi mágneses tér meghatározásához, míg eljutottunk az űrtávérzékelés felhasználásához a mágneses tér mérései kapcsán (www.esa.int).

Földünk mágneses tere, térben és időben is folyamatosan változik. Egy adott pontra vonatkozó mágneses teret, egy derékszögű térbeli koordináta-rendszerben adhatjuk meg, ahol a +x tengely a földrajzi észak irányába, a +y tengely keleti irányba, a +z tengely pedig függőlegesen lefelé mutat. A 4. ábra szerint ebben a rendszerben értelmezzük a geodéziában az egy pontra ható földi mágneses tér totális intenzitás vektorát, vagy más néven a totális térerősséget (F). A vektor vízszintes összetevőjének (vízszintes térerősség – H) a csillagászati északról való eltérése,

deklináció, vagy mágneses elhajlás (Δ), az F vektor vízszintes összetevőtől való eltérése pedig az inklináció, vagy lehajlás (I) (Kis 2007).



4. ábra: A mágneses tér komponensei, Kis (2007) alapján.

A földmágneses tér minden más földfizikai erőnél gyorsabban változik, ezért a Föld mágneses terének leírására, epochára (adott időszakra) vonatkozó adatokat használnak fel. A változások lehetnek periodikus és nemperiodikus jellegűek (Völgyesi 2002). Geodéziai méréseinkhez fontos a mágneses tér időbeli változásának figyelembe vétele. Az időbeli változás szempontjából megkülönböztetjük (Völgyesi 2002):

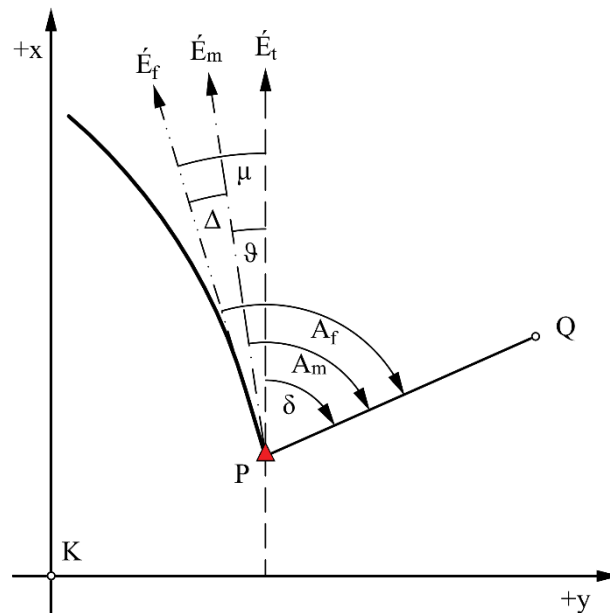
1. rövid idejű (másodpercestől néhány napos periódusú),
2. évszázados, vagy szekuláris (néhány évestől, néhány száz éves időtartamú),
3. és az ún. paleoszekuláris (földtörténeti korokra kiterjedő) változásokat.

Térképezési célú mérésekhez leginkább a rövid, periódusos változások figyelembe vétele a legfontosabb. A változásokat obszervatóriumokban regisztrálják, amelyek alapján a változások jól követhetők.

Általános geodéziai szempontból elmondható, hogy méréseinkhez leginkább a deklináció változását kell figyelembe venni. Ennek megfelelően Völgyesi 2002-ben közzétett Budakeszi Obszervatórium adatai alapján megfigyelhető, hogy délelőtt 9 órakor maximuma, 12 óra környékén pedig minimuma van, és az év különböző időszakának megfelelően is változik. A napi ingadozás 5-20' (Völgyesi 2002). Az időbeli változások térben sem állandók, a földrajzi szélességnek megfelelően változnak.

Jelentősek még a szabályos napi változásoktól eltérő mágneses zavarok, amelyeket mágneses háborgásnak nevezünk (Völgyesi 2002). Ilyenek a néhány perc periódusú pulzációk, a néhány órás időtartamú és több napig tartó öbölháborgások, valamint a néhány napig tartó mágneses viharok, amelyek akár fok nagyságú eltérést is okozhatnak.

A geodéziai mérések (ismert P pontból, ismeretlen Q pont mérése) vízszintes szögkomponensei között legfontosabb a vetületi rendszerben értelmezett irányyszög (geodéziai irányyszög – δ), ezt a vetületi rendszer északi irányától értelmezzük, azaz térképi északi iránytól. A vízszintes szögmeghatározásokat végezhetjük az adott pontban vett meridián síkba vetített egyenesének irányától, amit földrajzi azimutnak (A_f) nevezünk, illetve az előzőekben tárgyalt mágneses északi iránytól, amit mágneses azimutnak (A_m) nevezünk (5. ábra). Ennek tükrében szükséges, a térképezési feladatokhoz használt északi irányok – térképi (\acute{E}_t), mágneses (\acute{E}_m) és földrajzi (\acute{E}_f) – összefüggéseinek meghatározása.



5. ábra: Az északi irányok összefüggései.

A geodéziai irányyszög a vetületi kezdőmeridián mentén egyezik meg a földrajzi azimuttal. Az eltérés szögét vetületi meridiánkonvergenciának (μ) nevezzük és a földrajzi valamint a térképi északi irányok közti szögeltérést jellemzi előjelhelyesen.

$$\operatorname{tg} \delta_{PQ} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_Q - y_P}{x_B - x_P};$$

$$\mu = A_f - \delta$$

Egy kis súrlódási tényezőjű csapágyra helyezett mágnesezett acéltű, a Föld mágneses erőtere következtében, a mágneses észak-déli irányba fog fordulni. Ez a mágneses északi irány nem esik egybe a helyi meridián irányával, a földrajzi északkal. A mágneses- és a földrajzi északi irányok eltérését mágneses deklinációnak (Δ) nevezzük. Mértéke a földrajzi hosszúságtól függ.

A mágneses és a térképi északi irányok által bezárt szög a mágneses tájékozási szög (ϑ). A mágneses tájékozási szög értelmezhető a meridián-konvergencia és a deklináció különbségként.

$$\vartheta = \mu - \Delta$$

A deklináció egy adott pontban sem állandó érték, az idő függvényében változást mutat. A változást meghatározzák a hosszú periódusú, a rövid, napi szintű ingadozások, valamint a nem periodikus változások.

A hagyományos – tűvel felszerelt – iránytűket felváltották az elektronikus tájolók. Ezek többféle megoldással (magnetorezisztív, magnetoinduktív stb.) határozzák meg a mágneses északi irányt. Mind a hagyományos, mind pedig a korszerű megoldás sérülékeny, viszont az elektronikus meghatározás számos előnyt hordoz magában, mint például kompenzálhatóság, vagy érzéketlenség a rázkódásra, így akár specializálni, továbbfejleszteni is lehetséges. Kalibrációs eljárásokkal (Šipoš et al. 2012) akár egy járműbe telepített szenzorra ható mágneses teret módosító tényezők is kiszűrhetők (Caruso 1997).

A Wild T0 busszola teodolit ismertetése

A Wild T0 busszola-teodolit Henrich Wild gyárában készült, az amerikai kontinensen a Keuffel&Esser teodolitja ért el hasonló sikereket. 1932-1978 között az eredeti formájában gyártották (néhány kisebb változtatással), majd 1979-től a típus gyártásának befejezéséig, 1990-ig egy korszerűbb megjelenésben, pontosabb mérési értékekkel állították elő (6. ábra). A gyár feljegyzései alapján az első verziós műszerből több, mint 12 000 darab készült (www.wild-heerbrugg.com).



6. ábra: Az első sorozatú és a modernizált változatú Wild T0 busszola-teodolit (www.wild-heerbrugg.com).

A Wild T0 műszerek, kis pontosságuk folytán a kis teodolitokhoz tartoznak, így kisebb pontossági igényű feladatok megoldására alkalmasak, melyeknél bizonyos hibák kisebb súlyúak, sokszor elhanyagolhatók.

A műszeren ún. arretáló (rögzítő) kar található, amellyel a mágneslemezt tartalmazó vízszintes kör a teodolit talprészéhez köthető. Ekkor egyszerű teodolitként használható a műszer. Az arretáló kart oldva (dezarretálva), a vízszintes kör a központosan elhelyezett csapágytűn szabadon forog, így a mágneslemez a kör 0 osztásával együtt beáll a mágneses északi irányba. Ebben a helyzetben rögzített vízszintes körről az adott állásponttól irányzott pontok mágneses azimut értékei olvashatók le. A műszert jellemző adatokat az 1. táblázatban olvashatjuk.

1. táblázat: Az első szériás Wild T0 busszola-teodolit specifikációja (www.wild-heerbrugg.com).

Wild T0 busszola-teodolit specifikáció	
súly	2800 g
műszerdoboz súlya	700 g
méret	31×5×2,5 cm
a távcső nagyítása	20×
látómező, 1000 m-en	36 m
legközelebbi fókusz távolság	1,4 m
a szögérő pontossága	
a vízszintes kör osztása	2°
a leolvasás élessége	1'
a távmérés pontossága	
Reichenbach-szálakkal	jellemzően ±0,15 m/100 m

A Wild T0 busszola-műszert a teodolitok hibaforrásain felül még a mágneses tulajdonságból adódó hibák is terhelik. Ezen hagyományos mágneses elven működő műszereknél jelentős hibát okozhatnak a szabályos hibák, valamint a külső körülmények és a személyi hibák is. Ezeket a hibákat körültekintően kell kezelnünk, különös tekintettel a külső körülmények által okozott hibákra. Bácsatyai (2002) alapján a következő hibákra kell tekintettel lenni:

- *A kompasz érzékenysége:* A mágnesűt vastárggyal kb. 20°-ig kitérítjük nyugalmi helyzetéből, majd a mágneses zavart megszüntetve a tűt lengeni hagyjuk. A tű kellő érzékenységgű, ha nyugalmi helyzet eléréséhez legalább 7 lengést végez, ekkor a beállítás után annak hibája nem haladja meg a műszer leolvasó képességét. Ha a mágnesűt néhány lengés után leáll, akkor a beállási hiba is nagyobb a megengedettnél. Erről a vizsgálat ismétlésével kell meggyőződni. Ilyenkor többnyire a tű csapja, néha a csapágy, vagy mindkettő kopott. Javitása a tű csapjának, esetleg a csapágy cseréjével történik.
- *A kompasz permanenciája:* Ha az előbbi vizsgálatnál azt tapasztaljuk, hogy a mágnes a kívánt mennyiségű kilengést elvégzi, de a beállítás bizonytalan, vagy a kilengések száma lényegesen több, akkor a mágnesűt elvesztette permanenciáját. Javitása a mágneslemez újramágnesezésével lehetséges.
- *A busszola-teodolit 0 osztáshibája:* A vízszintes kör 0 osztása a mágneses északi iránytól csekély mértékben eltérő irányba áll be, akkor a busszola-teodolit 0 osztásának hibája van. Az osztáshiba és a mágneses tájékozó szög összege együttesen határozható meg, ez a tájékozási állandó. A tájékozási állandó a felmérési területen vagy annak közelében elhelyezkedő ismert irány segítségével határozható meg.

$$g' = A_m - \delta$$

- *Külső körülmények hibái:* Ne mérjünk vastartalmú tárgyak, épületek közvetlen közelében, vagy aktív elektromágneses mezővel rendelkező vezetők (villanyoszlop, transzformátor) 5m-es környezetében. A mágneses viharoknak csak egy része érzékelhető – például zivatar –, de előzetesen is tájékozódhatunk az eseményről. A mérés feldolgozásánál tapasztalható ellentmondások utalnak a hibára. Ilyen esetben meg kell ismételni a mérést.

A felsorolt hibák közül a két utolsó hatást (a 0 osztáshiba és a külső körülmények okozta hibák), az elektronikus, mágneses elven működő műszerek körében is fontos kezelni. Ezekre a dolgozat későbbi részében kitérek.

2.2.2. Globális helymeghatározó műholdas rendszerek (GNSS)

A műholdas helymeghatározó rendszerek 1970-es években lefektetett és megalkotott alapjai még mindig meghatározók. A csaknem fél évszázados fejlesztések eredményeképp a pozíció meghatározása egyre gyorsabbá vált és a rossz környezeti feltételek melletti mérések is megbízhatóbbak lettek, ezáltal az erdészeti és zöldfelület térképezési megoldások meghatározó módszerévé vált.

Az értekezés szempontjából lényeges a különböző GNSS műszertípusok és a mérési módszerek, mérési hibahatások megismerése, részletes leírást a témával foglalkozó alapművekben találhatunk (Leick – Lambert 1990, Husti et al. 2000, Ádám et al. 2004).

A műholdas helymeghatározó rendszerek a két nagyhatalom, az Amerikai Egyesült Államok – GPS (Global Positioning System) és az egykori Szovjetúnió – GLONASSZ (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) fejlesztéseiként voltak ismertek. Később újabb rendszerek is megjelentek a helymeghatározás ezen szegmensében, igaz nem mindegyik szolgáltatott globális lefedettséget. Az újabb rendszerek közül fontos megemlíteni az európai GALILEO és a kínai BEIDOU rendszereket, amelyek jelenleg még nem teljes kiépítettségűek.

A meghatározás geometriai elve egy távmérésen alapuló térbeli ívhátrametszés, a felhasználó műszerének antenna-fáziscentruma és az általa érzékelt műholdak fáziscentruma között. A környezeti tényezőkön és a rendszer hibáin kívül az érzékelt műholdak száma és a műholdak geometriai elhelyezkedése határozza meg elsődlegesen a mérési pontosságot, valamint döntő szerepe van a választott mérési módszernek és a használt műszertípusnak is. Erdőben különös figyelmet kell fordítani a külső körülmények hatásaira (Bácsatyai – Gyimóthy 2003).

A GNSS műszertípusai

Ádám és társai (2004) kategorizálása alapján a műholdas helymeghatározó műszereket pontosságuk alapján a következőképp csoportosíthatjuk:

1. geodinamikai (< 5 mm),
2. geodéziai (0,5 mm – 5 cm),
3. térinformatikai (0,5 m – 1,5 m),
4. navigációs (> 10 m).

Ezek az osztályok és a hozzájuk tartozó pontossági tartományok még napjainkban is helytállóak. Műszer tekintetében az első két csoport összevonható és geodéziai vevőként említhető, a pontosság inkább a mérési módszer megválasztásának függvénye.

A műszerek mérési pontosságát a műszer mérési elve határozza meg, amely szerint két csoportba sorolhatók. A kisebb pontosságú vevők, amelyeket leginkább navigációs célokra használnak, időmérésen alapuló kódérés, pszeudotávolság-mérés elvén működnek. Geodéziai célokra, a centiméteres pontosság elérése érdekében, fázismérésen alapuló távolság-különbség

meghatározására képes műszert szükséges használni (Leick – Lambert 1990). Az úgynevezett szubméteres pontosság elérésére a kódmerésen alapuló relatív helymeghatározás jelent egy gazdaságos megoldást (Takács 2004).

Mérési módszerek GNSS technikával

A GNSS alapú pozíció meghatározása Busics (2007a) alapján, a következő szempontok szerint végezhető:

1. abszolút vagy relatív helymeghatározás,
2. kódmerés vagy fázismérés,
3. valós idejű, vagy utólagos feldolgozás,
4. statikus vagy kinematikus módszer,
5. egybázisos vagy több-bázisos megoldás,
6. autonóm mérés vagy szolgáltatásra épülő mérés,
7. alacsonyabb vagy magasabb színvonalú GNSS szolgáltatás,
8. lokális vagy országos hatókörű transzformáció,
9. centiméteres vagy ettől eltérő pontossági igény,
10. alappontsűrítésre vagy részletmérésre irányuló mérés.

A korábban alkalmazott gyakorlati mérési eljárások, amelyeket Busics (2007b) rendszerez és részletesen ismertet, már ritkán fordulnak elő. Mint a műszertípusok esetében is, a mérési feladat határozza meg a mérési módszer megválasztását. Erdészeti mérésekre gondolva, erdőtömbök és más művelési ágak/tulajdonok határán való pontos mérések, műszaki létesítményekkel kapcsolatos feladatok, illetve alappont-meghatározások jelentik a geodéziai célú méréseket. Másik, gyakrabban előforduló feladat, a kisebb pontossági igényű, erdőtömbön belüli mérési munkálatok.

Napjainkra leginkább a hálózati RTK (Real Time Kinematic – Valós Idejű Folyamatos) és a geodéziai pontosságú mérés jellemzi a geodéziai pontossági igényű erdészeti felmérés gyakorlatát. A kezdeti RTK mérések (Borza 1995) után, amelyek saját referenciavevő korrekciójával történtek, jelentős infrastruktúra fejlesztéssel elérhetővé vált a hazai aktív hálózat szolgáltatása. A hálózati RTK szolgáltatás referenciaállomásainak kiépítésével (Borza et al. 2007a) 2007-től változás következett be a geodéziai pontmeghatározásokban. A rendszer az utófeldolgozáshoz nyújtott adatbiztosítás mellett, valós idejű szolgáltatások – FKP, VRS, MAC – használatát teszi lehetővé több, vagy akár virtuális referencia-állomás használatával (Busics 2007b). Ezen hálózati megoldásoknál internetes GPRS adatkapcsolatra van szükség a hálózat és a mérőműszer között (Bányai 2007). Egy újabb megoldást jelent a geodéziai mérés technikában a napjainkban is fejlődő PPP-RTK (Precise Point Positioning-RTK – Szabatos Abszolút Pontmeghatározás-RTK) szolgáltatás (Leica Geosystems 2006), amely kezdetben csak az abszolút pontmeghatározás módszere volt. A módszer alapja, hogy az időben változó összes, GNSS-t terhelő hibaforrást modellezve, a helymeghatározás eredményeit javítják (Wübbena et al. 2005). A centiméter, vagy pontosabb GNSS mérések kezeléséhez egy megfelelően definiált vetületi rendszerre és transzformációs eljárásra is szükség van (Borza et al. 2007b).

A néhány méteres, szubméteres pontosság eléréséhez elsősorban kódérés meghatározásával működő térinformatikai GNSS műszereket használnak. Az önmagában kódéréssel elérhető pontosság több tíz méteres lenne (Tarsoly 2013), emiatt valamilyen korrekciót kell alkalmazni, ha valós időben szeretnénk méter pontosságú adatgyűjtést végezni. A mérések pontossága differenciális GPS (DGPS, vagy manapság DGNSS) technikával növelhető. A megoldást egyrészt a műholdas alapú kiegészítő rendszerek jelentik (SBAS – Satellite Based Augmentation System), amelyek közül hazánkban az EGNOS (European Geostationary Overlay System) rendszer van általános (ingyenes) használatban. Másrészt a földi kiegészítő rendszerek nyújtanak hasonló szolgáltatást, amely működéséről Ádám és társai (2004) részletesen beszámolnak. Az EGNOS rendszer nyújtotta pontosság körülményeit Tarsoly (2013) vizsgálta részletesen, ahol a deciméteres pontosság eléréséhez ideális körülmények szükségesek, amelyek az erdészeti gyakorlatban nehezen valósíthatók meg.

GNSS mérések hibaforrásai

Ádám és társai (2004) alapján a mérések hibái a következő csoportokba oszthatók:

1. időadatok hibája,
2. pályaadatok hibája,
3. terjedés közegének hatása,
4. jelek vételével kapcsolatos hibák,
5. műholdgeometria hatása,
6. relativisztikus hatások.

Ezek a hibák besorolhatók, mint kerethibák, környezet okozta hibák, valamint a műholdak geometriája okozta hibák. A kerethibákat illetve a környezet okozta hibákat (PPP megoldás) egyedül rendszer szinten lehet kezelni, a műholdak elhelyezkedését, illetve a mérendő pont fedettségét a megfelelő időpont és a megfelelő hely kiválasztásával tudjuk befolyásolni. A mérések pontosságát DOP értékekkel, leggyakrabban PDOP (Position Dilution of Precision) műholdgeometria erősségével jellemezzük. A PDOP értékek azonban csak a geometria jóságát tükrözik, a mérési pontossággal nincs közvetlen kapcsolatban (Ádám et al. 2004), egy becslést ad méréseink pontosságára.

Erdővel borított területen való műholdas mérések alkalmazása, a tapasztalatok szerint jellemzően több méter pontosságú (eltérésű) helymeghatározást eredményez. A különböző műholdas rendszereket, illetve mérési technológiákat vizsgálva (Piriti et al. 2010) természetesen eltérő eredményeket tapasztalhatunk. Eltérések figyelhetők meg, ha erdészeti úthálózat mérése a célunk (Abdi et al. 2012), vagy akár, ha valamilyen nyitottabb területen, réten mérünk az erdőben (Iordache – Mihăila 2010).

2.2.3. Ortofotó alapú térképezés

A légifelvételeket már hosszú idő óta felhasználja az erdőtervezés a térképi és a tervezési munkálatok segítésére. Nagy változást az ortofotó megjelenése hozott az erdőtérképezésben. A 2000-es évek második felétől már központilag biztosítják az erdészeti hatóság részére az ortofotókat, amelyek az ország teljes területét négyévente fedik le. Az ortofotókészítés ezen idő alatt nagy fejlődésen ment keresztül, minőségi és pontossági követelmények szempontjából nem volt egységes az ország különböző területein.

Az egységes termékbiztosítás érdekében alkotta meg a Földmérési és Távérzékelési Intézet 2015-ben „A légifelvételek és ortofotók állami átvételi szabályzatát” (FÖMI 2015). A szabályzat szigorúan rögzíti a távérzékelte adatokat mind műszaki paraméterek, mind leadandó munkarészek szempontjából. A vízszintes mérések vonatkozásában legfontosabb megemlíteni a szabályzat azon pontját, amely az ortorektifikációhoz felhasznált digitális domborzatmodell (DDM) pontosságával, ebből eredően a végtermék pontosságával foglalkozik. Geometriailag, vízszintes értelemben ± 2 pixel a megengedett hiba, amely egy 40 centiméter terepi felbontású légifényképet alapul véve, nagyságrendileg 1 m-es térképezési pontosságot feltételez, megfelelően így az erdészeti térképezés kívánalmainak.

Erdőterületen, erdőrendezésben az ortofotók alapján való térképezés pontosságát, kivitelezését a következő körülmények ronthatják (7. ábra):

- egy határvonal nem látszik (természetes határvonalak: gerinc-, völgyvonal, patak, árok; biológiai határok: állományhatár, erdőtípushatár),
- nem látszó kitakart részek (pl. lombkorona kitakaró hatása),
- árnyékhatás okozta kitakarás,
- „fadőlés” okozta bizonytalanságok,
- a fénykép felbontása miatt nem látszó objektumok, pl. határkő.



7. ábra: Ortofotó alapján való térképezés hibaforrásai.

2.2.4. Korszerű és könnyen kezelhető műszerek

Digitális világunkban a tradicionális műszerekkel, teodolitokkal, busszola-teodolittal való felmérések lassanként eltűntek a terepi térképezési eljárások közül, még az erdészeti térképezés területén sem találkozunk már velük. A geodéziai pontosságot igénylő feladatokhoz mérőállomásokat alkalmaznak, egyéb feladatok megoldásaihoz pedig megjelentek korszerű, egyszerűen kezelhető műszerek. Az ázsiai országokban még használnak az erdészeti gyakorlatban busszola-műszereket (8. ábra), valamint egyes cégek foglalkoznak gyártásukkal, mint például a kínai Tianjin Geomaster O. E. M. Instruments vállalat és az általa gyártott műszer (www.cccme.org.cn).



8. ábra: A kínai DQL-16Z busszola műszer (www.cccme.org.cn).

A kis pontosságú műszerek kategóriáját képviselik az analóg busszola-műszereket felváltó, távmérő- és szögmérő szenzorokkal felszerelt elektronikus műszerek. Az ilyen működési elvű műszerek kezdetben az Egyesült Államokban jelentek meg, de napjainkra már a neves, geodéziai műszereket gyártó cégek – mint a Leica vagy a Trimble – is beléptek a műszerpiac ezen területére. A modul rendszerű eszköz- és szoftvergyártás lehetővé tette a sajátos célú műszerfejlesztést, így a nagyobb cégek termékeihez hasonló mérőműszerek jelennek meg kutatásokban (Varga 2016), a gyakorlati felmérésekben (Etter – Groiner 2004), vagy akár saját fejlesztésű többcélú műszergyártásban (Kilpelä et. al 2001, Eisele 2013).

A műszerek fejlesztése az egyszerűség irányába fordult. Mind a műszerek használata, mind a mérés technológia alkalmazása terén olyan megoldások születtek, amelyek segítségével kis szakértelem mellett méréseket, térképezést tud a felhasználó végezni. A műszerek eltérő pontosságot képviselnek és alkalmazhatóságuk is nagyon eltérő. A műszerpiacra belépő új cégek által kialakult versenyhelyzet következtében érezhető javulás tapasztalható a pontosság tekintetében.

Az erdészeti gyakorlat ezt a műszerkategóriát elsődlegesen nem ingatlan határpontok bemérésére, hanem inkább erdőállományok és azon belüli kisebb térképezési feladatok elvégzésére, állomány-szerkezeti meghatározásra (Feng et al. 2015), vagy faegyedek méreteinek (dendrometriai adatainak) mérésére (Frank 2010), valamint az erdészeti művelés és használat (Wing – Kellog 2001, Hédl et al. 2009, Németh 2013, Bazsó et al. 2014) feladataira alkalmazza. A műszerek az erdészeti gyakorlatban még nem terjedtek el széles körben, túlnyomórészt a kutatási feladatokhoz alkalmazzák ezen elektronikus műszereket (Kenderes 2008, Wing – Kellog 2004).

Az erdészeti alkalmazások mellett egyre több térképezési feladat megoldását végzik ilyen kategóriájú műszerekkel. Találkozhatunk kutatási célú, vagy akár alkalmazott térképezési feladatmegoldással, mint földfelszínváltozás-vizsgálatok (Mikos et al. 2005, Santangelo et al. 2010), geológiai alkalmazások (Alfarhan et al. 2008), hóréteg vastagságának meghatározása (Hood – Hayashi 2010), hidrológiai viszonyok térképezése (Scott et al. 2016), régészeti térképezés (Ted – Groenier 2004, Hayakawa – Kashima 2006, Hayakawa 2007), környezeti felmérés (Phippen 2013, Bazsó – Primusz 2014), zöldfelületi térképezés (Bazsó – Sajtos 2017), épített környezetünk térképezése (Fly 2016) és nem utolsósorban a harcászati területén (Šilinger – Blaha 2012). Ezen leírások némelyike nagyszerű eredményekkel kecsegtet, de érdemes fenntartással kezelni a pontossági, valamint az egyszerű kivitelezhetőségi, illetve alkalmazhatósági oldalát vizsgálva.

Európai viszonylatban az erdészeti felmérések műszergyártóinak egyik legfontosabb képviselője a svéd Haglöf cég. Műszereivel elsődlegesen a távolság és magassági szög meghatározásából a fa magasságok mérését célozták. Napjainkra a cég műszerpalettáján már megtalálható saját mérési elvük alapján kivitelezett pozíció-meghatározó műszerük, a Postex Laser (9. ábra), amely kisebb térképezési feladatok elvégzését célozza. Hasonló tendencia figyelhető meg a legtöbb műszergyártó esetében, ahol akár speciálisan erdészeti célú fejlesztésekkel foglalkoznak.



9. ábra: Haglöf - Postex Laser műszer (www.haglofcg.com).

A műszergyártók közül kiemelkedő a Laser Technology cég, ami több évtizedes tapasztalatával és műszerfejlesztési vonalával vált ismertté. Különböző lézeres távolságmérők és térbeli adatgyűjtő műszerek találhatók termékei között.

A Laser Technology vállalat műszerei

Az amerikai Laser Technology Inc. (LTI) 1986-os megalakulása óta vezető szerepet tölt be a lézeres mérés technika területén. Nagy hangsúlyt fektet az ipari és professzionális alkalmazások támogatására, beleértve az erdészet területét is. Elsősorban lézeres távolságmérők és sebességmérők tervezése, fejlesztése és gyártása, valamint az adatrögzítést támogató szoftverfejlesztés a fő területe. A 90-es években jelentek meg a mágneses azimut mérését is támogató műszerek a cég termékei között. A világ első kézi mérőállomásaként emlegetett (www.lasertech.com) Criterion 400 az erdőmérnöki gyakorlat számára is fontos lépés volt, elsősorban az Egyesült Államokban. Az első elektronikus műszer, amely egy kézi egységben integráltan oldotta meg az elektronikus adatgyűjtést, pontos azimut-, inklináció-, valamint prizma nélküli távmérést. A műszert azóta továbbfejlesztették, és mint második generációs műszersorozatot, Impulse névvel gyártották. Jelentős lépésre még több mint 10 évet kellett várni a térképezési irányvonal szempontjából, amikor a 2000-es évek elején a mágneses szögmérők, majd később a távmérők fejlesztését is új alapokra helyezték. A szögmérők között a MapStar Compass Module első, majd második generációs műszere, valamint azokat követően a MapStar TruAngle és MapStar Angle Encoder jelentették az előrelépést. A lézeres távolságmérők terén pedig a TruPulse sorozat első tagjának 2006-os bemutatása hozta a felhasználók számára alkalmazhatóbb és egyszerűbben kezelhető műszereket (www.lasertech.com). A TruPulse sorozat – méretéből adódóan – könnyebb terepi kezelhetőséget, hordozhatóságot jelent, ám pontosságát tekintve elmarad a korábbi műszerektől (Brach et al. 2013). A legutolsó fejlesztése a cégnek a TruPoint 300-as műszer, amely már a mérőállomások mérés technikai szintjéhez közelítette a műszer nyújtotta lehetőségeket. A gyártó által forgalmazott műszerek mérés technikában a geodéziai műszerekhez hasonlíthatók, viszont nem elsődleges céljuk a geodéziai pontosság elérése. Ennek fényében a műszerek használhatók kézből való mérésre, vagy akár műszerlábba (mono-, bi- és tripód) rögzítve is (10. ábra).



10. ábra: A Laser Technology műszerei (balról kezdve): Criterion 400, MapStar Compass Module II., TruPulse 360B, MapStar TruAngle és TruPoint 300 (www.lasertech.com).

A távmérési pontosság szempontjából meghatározó az alkalmazott technológia. A cég infravörös, félvezető GaAs lézerdíódát használ. Az előállított fény hullámhossza 900 nanométer. A távolságot az infravörös lézernyalábok egymás után kibocsátott sorozatának visszaverődési idejéből számítja. A mérést bármilyen szilárd tárgy felületéről visszavert fényenergia segítségével el lehet végezni. A lézernyaláb ismert terjedési sebességéből és a műszerekbe épített nagyon pontos kristályvezérlésű időmérővel megállapított terjedési időből számítja a megtett távolságot. A nagyobb pontosság érdekében, egy méréshez több, mint hatvan lézernyaláb kibocsátását végzi el a műszer egyre rövidebb időközönként. Az így kapott több mérési eredményből és a műszerbe épített precíz pontosság ellenőrző algoritmusok segítségével juthatunk egy megbízhatóbb eredményig. Az alkalmazott technológia megfelel az FDA Class I előírásainak (www.lasertech.com).

Szögmérési módszer szempontjából meg kell különböztetni a műszereket ebben a műszerkategóriában is. A geodéziai műszerekhez hasonlóan megtalálhatóak a digitális iránytűvel felszerelt műszerek, illetve a mérőállomásokhoz hasonló megoldásokat – például inkrementális módszert – alkalmazó elektronikus szögmérési elvek. Ezáltal a műszerek képesek a mágneses északtól való szögeltérés meghatározására, illetve a vízszintes irányérték mérésére. A két módszer együttes alkalmazásával nem találkozunk – mint a busszola-teodolitoknál –, amely sokszor gyengésként is említhető egyes műszerek esetében.

A gyártó által készített mérőműszerek mérőrendszerbe való illesztésével háromdimenziós elektronikus adatgyűjtés válik lehetővé. Az automatikus adatgyűjtés megoldhatóvá válik egy informatikai eszközzel összekapcsolva a mérőműszereket. A cég szoftveres támogatást is nyújt elektronikus terepi térképezéshez. A műszerek szabványos adatformátumának köszönhetően más gyártók is beépítik térinformatikai rendszerük adatgyűjtési lehetőségei közé, mint az általam is használt DigiTerra Explorer és TopoLynx Explorer.

A Field-Map terepi térképezési technológia

A „Field-Map” név egy teljes adatgyűjtő és elemző rendszert takar, amelyben a hardver és szoftver elemek is megtalálhatóak. A rendszer megalkotója az IFER - MMS (Institute of Forest Ecosystem Research - Monitoring and Mapping Solutions) cég, amely elsődlegesen erdészeti fejlesztésekkel, kutatásokkal foglalkozik (www.ifer.cz). A technológia hardver szempontjából szorosan a Laser Technology céghez kapcsolódik, mivel az általa gyártott adatgyűjtő műszereket építi a saját rendszerébe. Kezdetben terjedelmesebb, de pontos műszerekből állította össze a rendszer hardveres részét – MapStar Compass Module és Impulse, napjainkban pedig négy műszerösszeállítást kínál a cég, a TruAngle és TruPulse kombinációjaként, illetve a TruPulse 360B önálló műszerként is megtalálható a rendszerben (11. ábra). A rendszer hardveres részét képezik még, más gyártók által forgalmazott GNSS és adattároló, megjelenítő műszerek.

Európai viszonylatban ez a rendszer terjedt el legjobban, ami a hozzáadott szoftveres megoldások és megfelelő műszerek ötvözésének köszönhető.



11. ábra: A „Field-Map” rendszer hardver összeállításai (www.ifer.cz).

Egyéb műszergyártók termékei

A teljesség igénye nélkül és az időrendiséget, valamint a gyártó cég piacon betöltött súlyát figyelmen kívül hagyva a következő műszerek jelenthetnek komolyabb, de nem geodéziai szintű mérési és térképezési lehetőséget.

A svájci Leica cég Disto lézeres távmérősorozatának S910-es műszertípusa, amely már a magassági szög és távmérés mellett vízszintes szögelfordulás meghatározására is alkalmas. Ezt a tulajdonságot, egy rendszerbe foglalható műszerrel érhetjük el, ahol a távmérőt egy műszerlábba (TRI 200) rögzíthető adapterbe (FTA 360-S) helyezhetjük, amellyel a precíz forgatás és irányzás válik lehetővé, ezáltal a műszer mint egy mérőállomás lesz használható (www.leica-geosystems.com).

A skót alapítású Measurement Devices Ltd. (MDL) cég LaserAce Encoder típusú műszere is teljes értékű 3D-s térképező műszer, amely egy saját fejlesztésű állványról használható, deciméteres pontosság biztosításával. Erősségei között említhető, hogy mind normál, mind pedig mágneses vízszintes szögmérés végezhető vele. Távmérés szempontjából nem a kategória precízebb műszerei közé tartozik a maga 10 centiméteres pontosságával, viszont az adatlapja szerint kiemelkedő a távmérés hatótávolsága (www.mdl.co.uk).

A felsorolásban fontos említeni a Trimble cég LaserAce 1000 típusú műszerét, amely mágneses szögmérés elvén valósítja meg a térképezés lehetőségét. A műszer kiegészítő erdészeti célú funkciókat is tartalmaz, mint például famagasságmérés, vagy mellmagassági törzsátmérő mérése. A műszerspecifikáció alapján egy pontos térképezésre alkalmas kézi műszer (www.trimble.com).

A sorban következő műszerek már az adott cég termékeinek csak egy mellékágai, vagy többletfunkcióval ellátott termékei, nem kifejezetten a 3D-s térképi megoldások elvégzésére készültek. Ilyen gyártó a lézeres sebességmérők gyártására szakosodott amerikai Kustom Signals cég Contour elnevezésű műszere, amely szintén képes vízszintes szög mérésére (www.kustomsignals.com), valamint hasonlóak az amerikai Safran Optics (a svájci Vectronix AG leányvállalata) cég elsősorban katonai célokra gyártott műszerei (www.safran-electronics-defense.com).

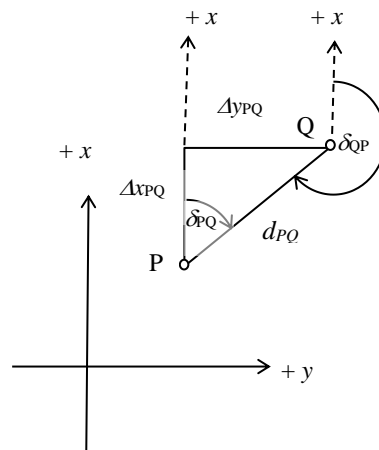
Egyre több műszergyártó cég jelenik meg az előzőekben említett műszerekhez hasonló tulajdonságú termékekkel. Az önálló fejlesztések és a versenyhelyzet is egyre pontosabb és egyre jobban használható, alkalmazható műszereket eredményez.

2.3. A térképezés alapjai, geodéziai műveletek, számítások

Az általános geodéziai feladatokat a vetületi síkon kell értelmeznünk (12. ábra). A számítások két alapfeladatra vezethetők vissza.

Az első alapfeladat esetén ismerjük a δ_{PQ} irányyszöveget, a d_{PQ} vetületi távolságot és az álláspont vetületi koordinátáit, akkor az ismeretlen pont vetületbeli koordinátái (y_Q , x_Q) számíthatók.

Az második alapfeladat esetén két ismert alappont koordinátáinak segítségével az irányyszöveget (δ_{PQ}) és a távolságot (d_{PQ}) tudjuk meghatározni.



12. ábra: A geodézia alapfeladatai a vetületi síkban.

2.3.1. Alappontok, alappont-meghatározások

Az alappontok képezik a térképezés felmérési keretrendszerét. Alapponthálózatok mind magassági, mind pedig vízszintes értelemben ismeretesek, a jelen téma szempontjából az utóbbiak a mérvadók. Erdőterületen való geodéziai mérések szempontjából mindenképp szükséges ezen alappontoknak a további sűrítése. Erdészeti gyakorlatban elsősorban V. rendű alappontsűrítés és felmérési alappontok sűrítése a feladat.

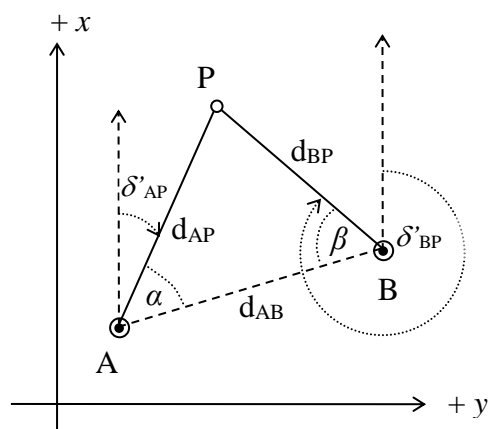
Alappontok meghatározása történhet (Oltay 1962):

- háromszögeléssel,
- pontkapcsolással,
- sokszögeléssel.

Alappontsűrítésre a pontkapcsolások, valamint a sokszögelés alkalmazható.

Pontkapcsolás alatt olyan trigonometriai feladatot értünk, ahol ismert koordinátájú pontok, valamint irány- és távolságmérések felhasználásával, új pont koordinátáit határozzuk meg (Csepregi et al. 2013). A számításokhoz minimálisan szükséges méréseken felül fölös mérések szükségesek a pontosság növeléséhez és az ellenőrzéshez. A pontkapcsolások típusait megkülönböztetjük aszerint, hogy irány-, vagy távmérést, esetleg mindkettőt végzünk, illetve, hogy a méréseinket az ismert, vagy az új pontról végezzük.

A pontkapcsolások megoldásait – mint az előmetszés, hátrametszés, oldalmetszés, ívmetszés – a szakirodalmi alpművek (Hazay 1957, Bezzegh 1966, Krauter 1995, Bácsatyai 2003, Csepregi et al. 2013) részletesen tárgyalják. Az értekezés szempontjából az ívmetszés adhat egy alternatív megoldást a vizsgált műszerekkel végzett alappontmeghatározás pontosabbá tételére. Ívmetszésről akkor beszélünk, amikor egy ismeretlen pont meghatározásához másik két adott pontról távolságokat mérünk az ismeretlen pontra (13. ábra).



13. ábra: Az ívmetszés geometriai megoldása.

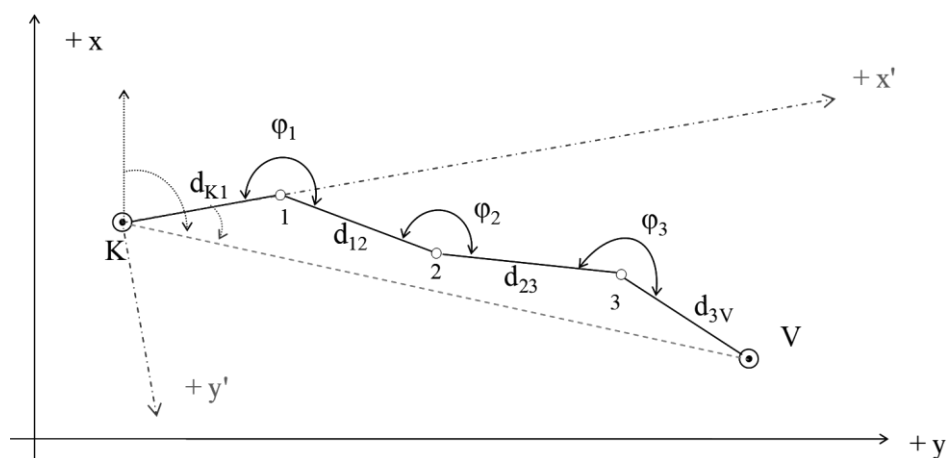
Az adott pontokról (A és B) megmért távolsági adatokból (d_{AP} és d_{BP}) számíthatók a meghatározáshoz szükséges ismeretlen adatok, amelyek segítségével az előmetszés megoldó képlete alkalmazható és meghatározhatjuk az x_P és y_P koordinátákat.

A másik meghatározási módszer a sokszögelés, ahol mind szögmérést mind pedig távmérést szükséges végezni. A sokszögelés olyan vízszintes alappont-meghatározási módszer, ahol tetszőleges számú pont helyzetét úgy határozzuk meg, hogy a vetületi síkon egyenesekkel összekötött pontok közti vízszintes távolságot és a pontokon, a szomszédos pontokra mért irányok által meghatározott, haladási irányban vett baloldali törésszögeket megmérjük (Bácsatyai, 2003). A sokszögelés megfelelő megoldást nyújt fával borított területen, ahol a pontok közötti összelátás korlátozott.

A 2001-ben kiadott „Útmutató az erdőállomány-gazdálkodási tervek (erdőtervek) készítéséhez” című útmutató módosításban a földi geodéziai eljárások alappont-meghatározási módszereként ajánlja a sokszögelést. Kitér a pontossági értékek, valamint a „A.5. szabályzat” előírásainak betartására. A mérési módszertan mellett műszertípus (pontosság) ajánlásokat is tartalmaz, ahol a busszola-teodolitok, illetve azok közül a Wild T0 típusú busszola-teodolit az erdőszeti felmérések műszere.

A mai gyakorlat általában sokszögelést alkalmaz, amelynek különböző típusait annak függvényében határozzuk meg, hogy a kezdő és a végpont koordinátával adott-e, valamint, hogy a kezdő és a végpontról mérünk-e tájékozó irányokat. Ennek alapján megkülönböztetünk mindkét végén tájékozott-, egyik végén tájékozott-, beillesztett- és szabad sokszögvonalat. Erdői környezetben a beillesztett, valamint a szabad sokszögvonal alkalmazása valósítható meg leggyakrabban.

A beillesztett sokszögvonal jellemzője (14. ábra), hogy mind a kezdő-, mind a végpont koordinátákkal adott pontok, viszont tájékozó irányokat egyikén sem tudunk mérni. Mivel nem lehetséges a tájékozás elvégzése, emiatt a számításban egy egyedi megoldással, először egy – az első sokszögoldal irányába – elforgatott koordináta-rendszerben határozzuk meg a sokszögpontok koordinátáit, majd ezután tudjuk az aktuális vetületi rendszerben a valós pozíciókat számítani. A sokszögvonal esetében hossz-záró hiba számítható.



14. ábra: A beillesztett sokszögvonal vázrajza.

Busszola-teodolittal való sokszögelés gazdaságosan végezhető, mivel elegendő minden második pontról méréseket végezni (Bácsatyai 1985). Ez a megoldás a mágneses elven működő elektronikus műszerek tekintetében is előnyt jelenthet más műszerekkel szemben.

A hagyományos geodéziai megoldások mellett meg kell említeni a napjaink alappont-meghatározásában egyre nagyobb szerepet játszó GNSS méréseket. Erdőállomány alatti mérésekre nem, vagy körültekintés mellett alkalmazható. A GNSS mérések előnye az erdővel borított területen, hogy nincs szükség összelátásra. Odafigyeléssel és meghatározott módszertannal végezhetünk magassági alappont-meghatározásokat is, amelyet Borza és társai (2007a) munkájukban részletesen ismertetnek.

A GNSS előnye ellenére sem mondható, hogy a hagyományos geodéziai mérések háttérbe szorulnának. A technológiával eltűnt a mérések viszonylagos szabadsága. Mind az alaprendszer, mind pedig az aktív hálózat szolgáltatásai tekintetében a pontmeghatározás (mérő személy) a rendszer működtetőjétől függ. Egy másik nagy hátrány az erdőterületen, hogy az égboltra való kilátás nagyon korlátozott, ezáltal a mérések pontossága romlik, esetlegesen a mérés lehetetlenné válik. A fejlesztések eredményeként azonban a mérések pontosságát negatívan befolyásoló tényezők hatását folyamatosan kiküszöbölik, javítják.

2.3.2. Részletes felmérés

Az erdészet és zöldfelületi nyilvántartás számára alapvető feladat a határok és ezzel egyetemben a területnagyságok meghatározása, az erdőrészlet határok térképezése. Az erdészeti térképezés további részletpontjai az erdészeti utak, szállítópályák, rakodók, kerítések, közjóléti létesítmények és a vadgazdálkodási berendezések, objektumok jellemző töréspontjai.

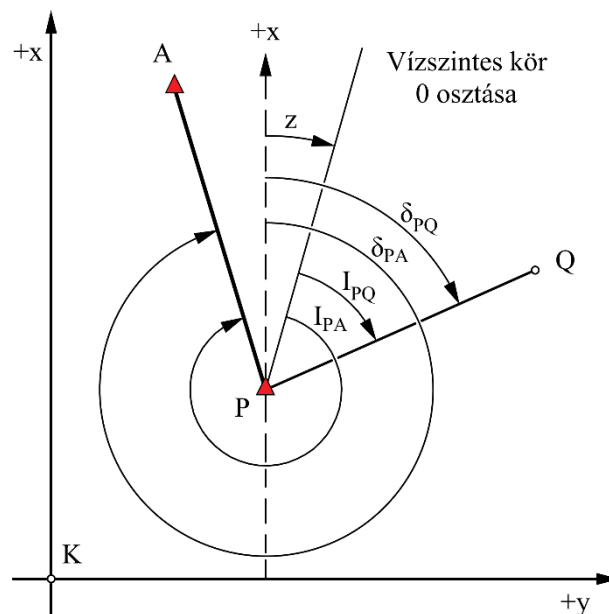
Ezen pontok együttes meghatározását nevezzük részletes felmérésnek, vagy röviden részletmérésnek, amelyet különböző módszerekkel végezhetünk el, ezeket pedig részletmérési eljárásoknak nevezzük. A részletmérés Bácsatyai (2003) szerint történhet:

1. derékszögű részletmérés,
2. poláris részletmérés,
3. részletmérés ívmetszés,
4. részletmérés előmetszés,
5. részletmérés GNSS

módszerekkel. A vizsgált műszerek tekintetében a poláris részletmérés kivitelezhető a legegyszerűbben.

Hagyományos elven (szög, távolság adatokat meghatározó) működő műszerrel egy ismert alapponton felállva iránySORozatokat mérünk ismert és új pontokra. Az iránySORozatot a megmért ismert pont(ok) alapján tájékozunk kell. Kivételt képeznek a mágneses szögmérés elvén működő elektronikus műszerek, amelyeknél a részletmérés elvégzéséhez elegendő a mágneses tájékozási szöggel javított mágneses azimut használata.

A 15. ábrának megfelelően a P ponton megmértük az ismert A és az ismeretlen Q pontra menő I_{PA} és I_{PQ} irányértékeket. Az ismert pontok koordinátái alapján, a második alapfeladat segítségével kiszámítható a δ_{PA} iránySZög, amely ismeretében a tájékozási SZög (z) az iránySZög és az irányérték különbségeként számítható.



15. ábra: Irányértékek tájékozása.

2.3.3. A geometriai adatok minőségi jellemzői

Az adatminőség szempontjából mérvado a felméréshez használt eszköz és módszer. A digitális térképre vonatkozó szabvány az adatok geometriai minőségét a pontosság, a megbízhatóság és az élesség meghatározásával adja meg (MSZ 7772-1 1996).

A geodéziai mérések mindig valamilyen hibával terheltek. A hibát okozhatja az észlelő személy, maga a műszer, vagy egyéb külső körülmény. A hibák jellege szerint megkülönböztetünk durva hibákat, amelyek nagysága lényegesen eltér a műszertől elvárt pontossági értéktől, szabályos hibákat, amelyek elsősorban a műszert jellemző hibák, valamint szabálytalan hibákat, amelyek értéke véletlenszerűen változik és az előző két csoportba nem sorolható.

A geodéziai-, térképező műszerek nem tökéletesek, a mérések javítása érdekében a műszer hordozta szabályos jellegű hibák meghatározásra kerülnek. A geodéziai szakirodalom hagyományosan a hibaelméleti megfogalmazást használja a mérések, illetve a műszerek pontosságának és megbízhatóságának jellemzésére.

A dolgozatban használt összefüggéseket Detrekői (1991) és Krauter (1995) alapján röviden foglalom össze. Valamely mérés (L) valódi mérési hibáját (ε) csak az ismert hibátlan érték (A) ismeretében tudjuk meghatározni

$$\varepsilon = L - A .$$

Az ε értékek valószínűségi változóknak tekinthetők. A Gauss által bevezetett középhiba

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}},$$

ahol n a mérések száma és szabadságfoka. Ha bevezetjük a mérések $M(L)$ várható értékét, amely konstans mennyiség, az

$$\varepsilon = L - M(L) + M(L) - A = \xi + \delta$$

összefüggéshez jutunk, ahol δ a szabályos és ξ a véletlen hiba. A Gauss féle középhiba négyzete a

$$\mu^2 = \frac{\sum \delta^2}{n} + \frac{\sum \xi^2}{n} = \mu_c^2 + \mu_v^2$$

alakban is felírható. (Mivel a véletlen hibák összege nulla, ezért a négyzetre emelésnél a $(\sum 2\xi\delta)$ tag kiesik.)

A μ értéket ezért közép teljes-, a μ_c értéket szabályos- és a μ_v értéket közép véletlen hibának is nevezik. A μ érték a méréseink pontosságát, μ_v a megbízhatóságát jellemzi.

A fentiek alapján könnyen belátható, hogy a

$$c = \frac{\sum \varepsilon}{n}$$

átlagos szabályos hiba és a

$$\mu_v = \sqrt{\frac{\sum(\varepsilon - c)^2}{n}}$$

közép véletlen hiba esetében $\mu^2 = c^2 + \mu_v^2$.

A μ , c és μ_v mennyiségek csak a hibátlan értékek ismeretében számíthatók. Ha a méréseink legalább egy nagyságrenddel pontosabb mérésekkel hasonlítjuk össze, akkor alkalmazhatók ezek az összefüggések.

Ha nem ismerjük a hibátlan értéket, a mérések várható értékét magából a mérésekből becsüljük. A legkisebb négyzetek elvének megfelelően az $M(L)$ várható érték

$$\hat{L} = \frac{\sum L}{n}$$

a mérések átlaga. A hibákat most a

$$v = L - \hat{L}$$

összefüggéssel definiáljuk, és a valódi hibától eltérően jelöljük. A mérések középhibáját a

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(L - \hat{L})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n - 1}}$$

szórással becsüljük, ahol a mérések szabadságfoka az átlagérték számítása miatt $(n-1)$. σ a mérések megbízhatóságát jellemzi, amely az esetleges szabályos hibák véletlen jellegű részét is tartalmazza, de az átlagos szabályos hiba továbbra is ismeretlen marad. A szabályos hibák véletlen jellegű részét a még kimutatható legkisebb hibával becsülhetjük, amely egy adott valószínűségi szintre vonatkozik.

A fenti összefüggések alapvetően az egy ismeretlenre végzet egysúlyú ismételt mérések esetében korrektek. A módszer többváltozós esetében is általánosítható, ahol pl. az alappontok koordinátáit független távolságok és szögek, vagy a távmérők összeadó és szorzó állandóját különböző távolságok méréséből legkisebb négyzetes kiegyenlítéssel határozzuk meg.

Ha a μ , c és μ_v értékeket több független távolságból, szögből, vagy koordinátákból számoljuk c csak az átlagos szabályos hibát jellemzi és μ_v tartalmazza a szabályos hibák véletlen jellegű eltérését is.

Az egyszerű műszerek mért mennyiségeinek pontossági mérőszámait használat előtt ugyanúgy szükséges meghatározni, mint egy geodéziai műszernél (Szczutko 2014). A távmérés ellenőrzése hasonló módszerekkel történhet, mint a földmérési kategóriában. Ezekre már

kidolgozott eljárások vannak a magyarországi gyakorlatban, de más országok is rögzítik a szabványokat (RICS 2007). A kalibrálási alapelvek hasonlóak, vagy azonosak a különböző országokban. A szögmérési hibák meghatározása – különösképp a mágneses elven működő műszereknél – sok esetben egyedi eljárásokat kíván ebben a műszerkategóriában (Šilinger és Blaha 2012, Caruso 1997).

Egy térképezési feladat megoldásához a mérés technikában és a műszer kiválasztásánál az ingatlan-nyilvántartási célú földmérési és térképészeti tevékenység 25/2013 VM rendelete szerint a következő (2. táblázat) pontossági értékeknek kell megfelelni, amely a terület elhelyezkedése és a térképezendő pontok rendűségének megfelelően változik.

2. táblázat: A részletpontok meghatározott helyzete és az ellenőrző mérésből számított helyzet közötti megengedett eltérés (25/2013 VM rendelet).

	T1	T2
	T11	T21
R1	±9 cm	±15 cm
R2	±15 cm	±21 cm
R3	±18 cm	±30 cm
R4	±24 cm	±57 cm
Tűrési osztályok: T1 belterület T11: digitális újfelméréssel és térképfelújítással történő térképkészítés, valamint kiegészítő terepi felmérésekkel végzett digitális átalakítás T2 külterület T21: digitális újfelméréssel és térképfelújítással történő térképkészítés, valamint kiegészítő terepi felmérésekkel végzett digitális átalakítás Részletpontok rendűsége: R1; R2; R3; R4 – a részletpontok rendűsége		

Az Erdőrendezési Szabályzat, Térképészeti útmutatójában (2009) szintén megtalálhatóak a mérési pontosságot jellemző „hibahatár”-ok (3. táblázat). Ezen hivatalos értékeket már korszerűsítették és a közigazgatási területekkel kapcsolatos méréseket két nagyságrenddel pontosabb mérések felé tervezik módosítani. Ezek az értékek láthatóan más nagyságrendet képviselnek(tek), amely a térképezés és ezzel párhuzamban a műszer kiválasztása szempontjából nagyobb szabadságot biztosít.

3. táblázat: Az erdészeti térképezés hibahatárai (Térképészeti útmutató szerint).

Pontcsoport	Hibahatár
Közigazgatási határok töréspontjai	±1 m
Erdőtervezett területek birtokhatár pontjai	±3 m
Erdő és egyéb részletek határpontjai	±3 m
Tájékozódást szolgáló objektumok pontjai	±5 m

A kutatásban ezen értékeknek megfelelően végeztem a vizsgálatokat a műszerek pontosságának és megbízhatóságának megállapítása érdekében. Ezen értékhatárok figyelembe vételével elmondható, hogy az erdészeti térképezés céljára alkalmas műszer és mérési módszer elegendő, ha 1 méter, ideális esetben 0,5 méter pontosságú.

3. A kutatás eszközei és módszerei

A kutatásban elsődlegesen a Laser Technology TruPulse 360B típusú műszerének mérési tulajdonságait és terepi alkalmazhatóságát vizsgáltam. Az eltérő szögmérési elv, valamint pontosabb mérési tulajdonságok miatt szükségesnek éreztem a Leica Disto S910 műszeregyüttesének vizsgálatát. Mindkét műszer megfelel a kor technikai-méréstechnikai követelményeinek, valamint a mérési, pontossági és használati tulajdonságaik, a kutatás által meghatározott feltételeknek eleget tesznek. A lényegi eltérést a vízszintes szögek meghatározása jelenti. A TruPulse 360B esetében csak mágneses északhoz viszonyítva lehet a vízszintes szöget meghatározni, a Disto S910 műszerrel viszont irányértéket, vagyis vízszintes szögelfordulást mérhetünk. A távmérés hasonló elven, lézeres technológiával történik mindkét műszer esetében.

A vizsgálati módszerek tekintetében különböző mérési körülmények között – labor, tesztpálya, terep – elvégzett mérések, méréssorozatok hagyományos geodéziai és statisztikai kiértékelése útján vizsgáltam a műszerek által biztosított térképezési pontosságot, megbízhatóságot.

3.1. A referenciát biztosító műszerek

A vizsgált műszerek mellett szükség volt, minimálisan egy nagyságrenddel pontosabb műszerek használatára a referenciaadatok előállításához. Ezek az adatok a vizsgálatban hibátlan értékeként kezelhetők. Ezek a műszerek korszerű mérőállomások és geodéziai GPS-ek voltak. A referencia-adatokat jellemzően a mérőpályák kialakításánál, illetve a terepi körülmények között az objektumok (fák) pozíciójának meghatározásához kellett biztosítani. A méréseket a következő műszerekkel végeztem:

Leica GPS 1200

A műszer egy Leica 1200 sorozatú vevőpár, amely már több, mint 10 éves technológia alapján működik (4. táblázat). A műszerek koruk ellenére nagy biztonsággal működnek, egyedüli hátrányuk, hogy csak az amerikai műholdak jeleinek vételére alkalmasak. A GPS vevők 14 műhold jelét tudják egyszerre venni L1 és L2 frekvencián. Az egyik berendezés „Smart” antennával van ellátva, amely a Leica TCR 1205 mérőállomásra is felhelyezhető és azzal vezérelhető. Mindkét vevő beállítható bázis illetve mozgó állomásnak. A műszerek alkalmasak statikus, gyors statikus, félkinematikus és folyamatos kinematikus mérésre. A vevőpár egymás közti kommunikációját URH és GSM modemmel is biztosítani lehet.

4. táblázat: A Leica GPS 1200 mérési tulajdonságai (www.leica-geosystems.com).

LEICA GPS1200 - ATX1230 és AX1202 - pontossági adatok (hálózati korrekcióval)	
Kinematikus	
vízszintes	10 mm+1 ppm
magassági	20 mm+1 ppm
Statikus	
vízszintes	5 mm+0,5 ppm
magassági	10 mm+0,5 ppm
Megbízhatóság (30 km-es bázisvonalig)	99,99%

Alkalmazás a kutatásban: A műszert, illetve műszereket egyrészt a mérőpályák kialakításához használtam a mérési pontok pozíciójának meghatározására, mint a „Kalibráló mérések V.” esetében, valamint a sokszögvonalak végpontjainak megmérésére, az alappont-meghatározási módszerek és a terepi alkalmazások esetében.

Leica TCR 1205 mérőállomás

A Leica cég első, GPS-szel integrálható mérőállomása. A kéttengelyes kompenzátor pontos és folyamatos szögméréseket (5. táblázat) tesz lehetővé. Távmérésre kétféle lehetőség is kínálkozik, egyaránt lehet prizmára és prizma nélkül – lézer távmérővel – távolságot meghatározni, így a PinPoint – prizma nélküli távmérő (RL) a részletmérés hatékonyságát nagymértékben növeli.

5. táblázat: A Leica TCR 1205 mérőállomás specifikációja (www.leica-geosystems.com).

LEICA TCR 1205 specifikáció		
szögmérési pontosság (Hz, V)		5"
kijelzési élesség		0.1"
kompenzátor	működési tartomány	4'
	pontosság	1,5"
távmérés (IR mód)		
hatótávolság	prizmára	3000 m
	főliára	250 m
	pontosság	2 mm+2 ppm (szabatos), 5 mm+2 ppm (gyors)
távmérés (RL mód) – PinPoint R100		
hatótávolság	prizma nélkül	100 m (170 m – Kodak Grey Card)
	prizmára	7500 m
	pontosság (500m alatt)	3 mm+2 ppm
	legkisebb mérhető távolság	1,5 m
a lézerpont mérete		
	20 m-ig	7×14 mm
	100 m-ig	12×40 mm

Alkalmazás a kutatásban: A műszert a mérőpályák kialakításához használtam, például a „Kalibráló mérések III.” esetében, valamint az ívmetszéses alappont-meghatározásnál. A terepi mérések vizsgálatokor a részletpontok meghatározása is ezzel a műszerrel történt.

Leica TC 2003 mérőállomás

A 90-es évek kiemelkedő pontosságú mérőállomása a Leica cég műszerpalettáján (6. táblázat). Egyediségét a szögmérési pontossága jelentette. A műszer már lézertávmérővel felszerelt, így a távmérésben nyújtott pontosság is élenjáró.

6. táblázat: A Leica TC 2003 mérőállomás specifikációja (www.leica-geosystems.com).

LEICA TC 2003 specifikáció	
szögmérési pontosság (Hz, V)	0,5"
kijelzési élesség	0.1"
kompenzátor működési tartomány	4'
pontosság	0,3"
táv mérés (IR mód)	
hatótávolság prizmára	2500 m
fóliára	200 m
pontosság	1 mm+1 ppm
legkisebb mérhető távolság	5 m

Alkalmazás a kutatásban: A műszert a műszerkalibráló laboratóriumban a mérőpálya kialakításához használtam.

Sokkia PowerSET 3000 mérőállomás

A kilencvenes évek második felének „csúcsműszere” (7. táblázat). A műszerrel viszonylag gyors szög- és távolságméréseket végezhetünk kellő pontossággal, viszont néhány jellemzője elmarad a korszerű műszerekétől. A rövid működési idő, elavult adattárolás és adatátvitel a műszer kora miatt is jelentkeznek. A műszerrel az alappont-meghatározási módszerek használata két távcsőállásban való méréshez kötött. Erre a műszerre sikerült megoldanom a TruPulse rögzítését, így a szimultán mérésekben kedvező volt a használata.

7. táblázat: A Sokkia SET3000 specifikációja (www.geoaxis.de).

Sokkia SET3000 specifikáció	
szögmérési pontosság (Hz, V)	3"
kijelzési élesség	1"
kompenzátor működési tartomány	3'
pontosság	1"
táv mérés (IR mód)	
hatótávolság prizmára	3300 m
fóliára	100 m
pontosság prizmára	2 mm+2 ppm
fóliára	4 mm+3 ppm
legkisebb mérhető távolság	1 m

Alkalmazás a kutatásban: A műszert a sokszögelés mérőpályájának kialakításához, valamint a terepi mérések alappontjainak meghatározásához használtam. Az alappontok meghatározásánál két távcsőállásban való mérések történtek. A kalibráló szögméréseket is ezzel a műszerrel végeztem.

Prizmák, jeltárcsák

A referenciát biztosító mérésekhez különösen ügyelni kell a megfelelő műszer-összeállítás használatára, amely szerint egy adott műszerhez, műszertípushoz a hozzá tartozó visszaverő jelet, prizmát alkalmazunk. Ennek megfelelően a labor- és alapvonalon való mérésekhez (Leica TC 2003 műszerhez) Leica GPH1P (a prizmán feltüntetett állandó: 0,0mm) precíziós prizmát,

a mérőpályákon, illetve a terepi mérésekhez (Leica TCR 1205 műszerhez) Leica GPR 111 (a prizmán feltüntetett állandó: 0,0mm) típusú körprizmát és Wild típusú jeltárcsát, valamint a sokszögvonala meghatározáshoz (SOKKIA SET3000 műszerhez) SOKKIA AP11 (a prizmán feltüntetett állandó: 30mm) prizmaszemet használtam.

3.2. A TruPulse 360B és a Disto S910 bemutatása

A választott műszerek a jelen kor reprezentatív képviselői annak a műszerkategóriának, amely korszerű működési elvű, könnyen kezelhető, könnyen hordozható, viszont a mérési és megbízhatósági tulajdonságai a geodéziai műszerek értékeihez közeli, jellemzően deciméteres pontosságúak. A kutatásban vizsgált műszerek egységesen lézeres távmérővel határozzák meg a távolságot, a szögmérés tekintetében viszont érdemes megvizsgálni a hagyományos vízszintes szögmeghatározás és a mágneses elven történő mérések közötti eltéréseket. Ezen szempontoknak megfelelően esett a választás a TruPulse 360B és a Disto S910 műszerekre.

TruPulse 360B

A TruPulse sorozat első tagja a TruPulse 200, amely ferde és vízszintes távmérésre, valamint három irányzással magasság mérésre alkalmas. A sorozat következő termékét, a TruPulse 360-at a cég által kifejlesztett digitális iránytűvel egészítették ki, így teljes értékű térképező műszerré fejlesztve azt (8. táblázat). A műszer $\pm 1^\circ$ pontossággal határozza meg a mágneses északtól való eltérést, innen az elnevezés is, mivel 360° -ban képes szöveget mérni.

8. táblázat: A TruPulse 360B specifikációja (www.lasertech.com).

TruPulse 360B specifikáció	
súly	285 g
méret	12×5×9 cm
iránytű szenzor típusa	magneto-recesszív szenzor
burkolat	műanyag ház
áramellátás	2 db AA típusú elem vagy CR-V3
dőlésérzékelő pontossága	$\pm 0,25^\circ$ tipikusan
azimutmérés pontossága	$\pm 1^\circ$ tipikusan
a szögmérés élessége	$0,1^\circ$
a szögmérés tartománya	$0-359,99^\circ$
távmérés pontossága	
általános jelre	± 30 cm
távoli vagy kis jelre	$\pm 0,3 - 1$ m
távmérés hatótávolsága	
reflektáló felületre	2000 m
nem reflektáló felületre	1000 m
kommunikáció	RS232, NMEA, Bluetooth
működési hőmérséklet	$-20^\circ - +60^\circ$
terepállóság	IP54

A mágneses azimutok méréséhez a műszert egy 8 lépésből álló műveletsorral kalibrálni szükséges. Hasonlóan kell eljárni a magassági szögmérés esetében is. A műszerbe épített kompenzátor folyamatos korrekcióval látja el a méréseket, így akár kézből való méréseket is

lehetővé téve. A műszerek elérhetők beépített Bluetooth adó-vevővel is (az elnevezésükben egy B jelzi – TP 360B). A műszer a belső kijelzőjén tájékoztat a mérési értékekről. A távmérést végezhetjük prizma nélkül, valamint prizma és zajszűrő használatával. A zajszűrő alkalmazása különösen fontos erdőállományban való használatkor, ahol a mérés vonalába eső ágak, levelek a durva hibák forrásai lehetnek. A műszer terepálló változata a TruPulse 360R (R – rugged = durva), amely ütésnek ellenállóbb és vízálló borítással van ellátva (www.lasertech.com).

A vizsgálathoz meg kellett oldani a műszer rögzítését és központosíthatóságát, valamint a pontraállás lehetőségét. A műszerhez egy különleges konzol állt rendelkezésre, amely megfelelő eszköz a terepi mérések vizsgálatához, viszont a pontos értékek meghatározásához, valamint a szögmérési pontosság méréseihez egyedi adaptereket, platformokat készítettem (16. ábra). A szögmérés vizsgálatánál különös figyelmet kellett fordítani a nem-mágnesezhető anyagok használatára.

A műszerrel mérhetünk prizmára is távolságot, ezért meg kellett határozni a vizsgálandó műszer-együttes elemeit. A TruPulse prizmás méréseihez egy Leica GPR11 körprizmát használtam, amelynek a feltüntetett prizmaállandója 0,0 mm (mért 30 mm).



16. ábra: A TruPulse 360B esetén alkalmazott néhány központosítási megoldás.

A TruPulse fontos jellemzőinek összefoglalása:

- Erdészeti térképezés számára megfelelő pontosság ($\pm 0,3\text{m}$ és $\pm 1^\circ$).
- Mágneses azimut meghatározás.
- Kompakt, kézreálló forma.
- Kézből és műszerállványról való mérési lehetőség.
- A mérési eredmények és a menürendszer optikában való megjelenítése.
- Bluetooth kapcsolaton keresztüli párosítás GPS- és szoftver termékekkel, így az adatgyűjtés automatikussá tehető.
- Több terepi szoftver is támogatja a mért adatok tárolását és térképi megjelenítését.

MapStar Compass Module II

A Laser Technology TruPulse 360B típus volt a vizsgált műszer, viszont elvégeztem egy összehasonlító vizsgálatot egy pontosabb szögmérő műszerrel is, cég termékei közül. A vizsgálatok egy részénél a gyártó MapStar Compass Module II típusú műszerével is végeztem méréseket, amely szintén a mágneses szögeltérést határozza meg.

A MapStar Compass Module II (MSCM II) gyártását 2013-ban megszüntették (17. ábra), helyette a cég a MapStar TruAngle műszerét ajánlja. A kutatásban az alappont-meghatározási módszereknél, a sokszögvonal mérésénél használtam.



17. ábra: A MapStar Compass Module II és TruPulse 360B.

A műszer egy nagy pontosságú digitális iránytű, amely képes kommunikálni más műszerekkel, illetve kezelni a gyártó által forgalmazott távmérők adatait. Szabványos RS232 porton keresztül csatlakoztatva a távmérőhöz, az adatokat automatikusan fogadja, majd az adatokat továbbítja egy másik adatkábelén keresztül egy adatgyűjtőbe (9. táblázat).

9. táblázat: A MapStar Compass Module II specifikációja (www.lasertech.com).

MapStar Compass Module II specifikáció	
súly	570 g
méret	31×5×2,5 cm
iránytű szenzor típusa	magneto-recesszív szenzor
burkolat	alumínium ház
áramellátás	2 db AA típusú elem
a szögmérő pontossága	
monopódon	±0,3°
tripódon	±0,3°
a szögmérés élessége	0,01°
a szögmérés tartománya	0-359,99°
kommunikáció	RS232, NMEA
működési hőmérséklet	-30° – +50°
terepállóság	IP67

A irányítú terepi kalibrációját könnyedén elvégezhetjük a műszer körbeforgatásával, hangjelzés alapú irányító funkcióval. Ez a funkció egyedüli, a gyártó által kidolgozott eljárás, amely hangjelzéseit elsajátítva, gyorsan, néhány perc alatt elvégezhető a kalibráció.

A MapStar Compass Module II fontos jellemzőinek összefoglalása:

- Pontos mágneses azimut meghatározás ($\pm 0,3^\circ$).
- Hang és vizuális jelek segítségével történő vízszintbe állítás és kalibrálás.
- Háttérvilágítással rendelkező LCD kijelzőn a mért adatokat közvetlenül is leolvashatjuk.
- Csak RS232 csatlakozón keresztül kommunikál.
- Csatlakoztatható lézeres távmérőkhöz (LTI) 3D adatgyűjtés érdekében.
- Automatikus adatgyűjtés, összekapcsolva informatikai eszközzel.

Leica Disto S910

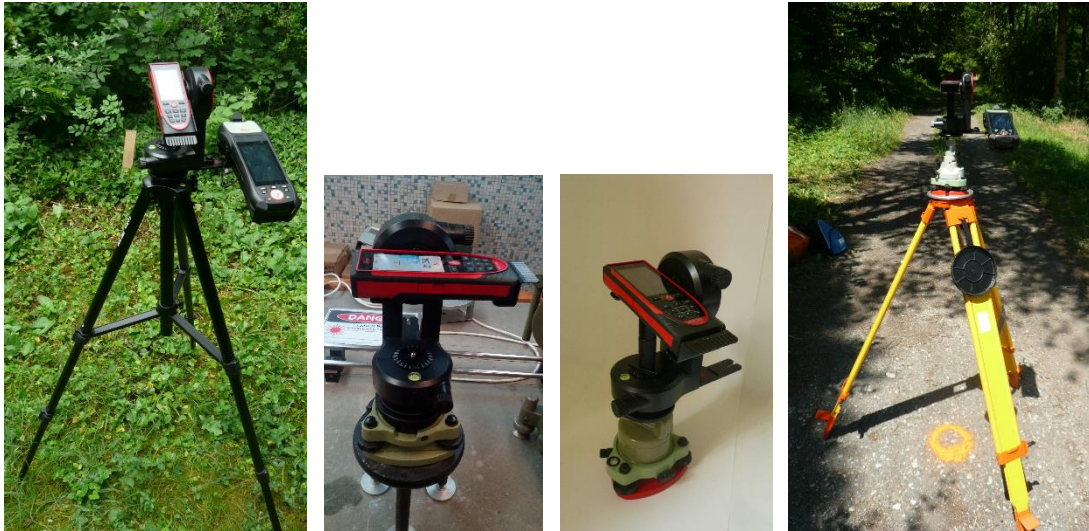
A Leica gyár terméke hasonló a Laser Technology TruPoint 300-as műszeréhez. Mérési paraméterei egy nagyságrenddel pontosabbak, mint a TruPulse műszeré (10. táblázat). A műszer irányzóberendezése egy kamera, négyszeres nagyítási lehetőséggel, amely a műszer színes kijelzőjére vetíti a célpont képét. A kijelző napfényes körülmények között nehezen használható. A műszerrel, speciális rutinok segítségével – PointToPoint technológia alkalmazásával – lehetővé válik távolságok és szögek meghatározása két pont között. WLAN és Bluetooth kapcsolaton keresztül válik lehetővé az adatgyűjtés. Ehhez a cég által rendszerlemként ajánlott Zeno 20 típusú GNSS műszert használtam. A műszer egy hozzá tartozó FTA 360-S adapterhez, és azon keresztül műszerlábhoz rögzíthető (TRI 200), így egy mérőállomáshoz hasonló, precíz irányzás válik lehetővé. A műszerállvánnyal a pontraállítás nem oldható meg geodéziai pontossággal. A mérési adatok háromdimenziós kezelésére térinformatikai-, vagy CAD rendszerekben is lehetőség van.

10. táblázat: A Disto S910 specifikációja (www.leica-geosystems.hu).

Disto S910 specifikáció	
súly	290 g + (FTA 360-S adapter)
méret	16,4×6,1×3,2 cm
vízszintes szögmérés	enkóder
burkolat	műanyag ház
áramellátás	beépített Li-ion, 4000 mérés
dőlésérzékelő pontossága (tolerancia)	$\pm 0,1^\circ$
vízszintes szögmérés pontossága (tolerancia)	$\pm 0,1^\circ$
a vízszintes szögmérés tartománya	0-359,99°
a magassági szögmérés tartománya	-40° – 80°
táv mérés pontossága általános jelre	± 1 mm
táv mérés hatótávolsága	0,05 - 300 m
kommunikáció	Bluetooth V 4.0 Smart, WLAN
működési hőmérséklet	-10° – +50°
terepállóság	IP54

A műszerrel távolságot jeltárcsára illetve egyéb szilárd felületre végezhetünk, ezért a műszer kalibráló méréseihez jeltárcsával való méréseket alkalmaztam. A központosítás megoldott a

műszer esetében, viszont a mérések vizsgálatához geodéziai műszerlábát és vetítőberendezést szükséges alkalmazni. Ehhez meg kellett oldani az FTA 360-S adapter rögzítését a műszerlábhoz (18. ábra). A műszerről vízszintes szög leolvasására nincs lehetőség. A műszerhez fejlesztett „gamtec” technológiával, a Disto S910-zel egy ismert pontról egy másik ismert pontot megmérve a tájékozás megtörténik, amely után a méréseinket nem mérési adatokkal, hanem koordinátákkal tárolja a műszerhez csatlakoztatott informatikai eszköz (Zeno 20).



18. ábra: Leica Disto S910 esetén alkalmazott központosítási megoldások.

A Disto S910 fontos jellemzőinek összefoglalása:

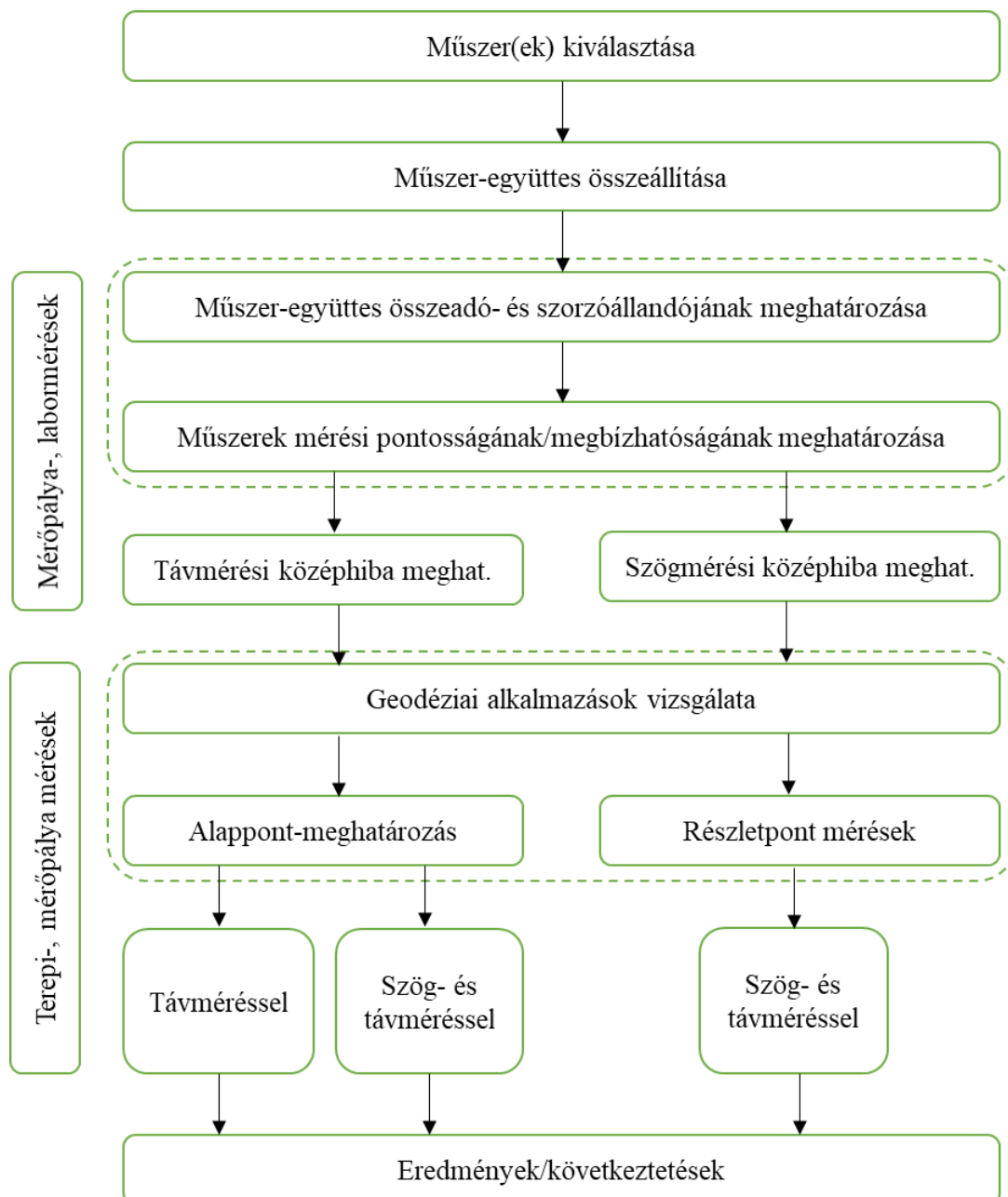
- Nagy pontosság ($\pm 1\text{mm}$, $\pm 0,1^\circ$).
- Hasonló használati mód, mint egy mérőállomásnál.
- Célkereső 4x zoom-mal.
- 360° dőlésérzékelő.
- Bluetooth Smart kapcsolati lehetőség, automatikus adatgyűjtés térinformatikai rendszerben.
- Közvetlenül csak a távolsági és a magassági szög adatok olvashatók le.

3.3. A vizsgálat mérési sorozatai

A disszertációban a műszerek által mért mennyiségek pontosságának ellenőrzésével foglalkoztam. A vizsgálatok egyik pillérét a műszerspecifikáció által megadott értékek ellenőrző mérései jelentették. Ezek a vizsgálatok adott szögekre és távolságokra végzett mérésorozatok kiértékelései. A mérésekhez a külső körülmények által okozott hibák kizárását próbáltam megoldani úgy, hogy egy ideális mérési körülményeket hozzak létre. Ezen környezetben végeztem vizsgálatokat a mérés pontosságára és megbízhatóságára, ahol a terepen előforduló hatások (például lomb), vagy az alkalmazott különböző jelfelületek eltérései megjelennek. A vizsgálatok másik fő vonulata a mérések terepi, illetve közel terepi viszonyok közti elvégzése és elemzése volt. Ezen méréseknél olyan körülményeket igyekeztem teremteni,

amelyek az erdészeti térképezés során rendszerint előfordulnak. Ez mind a terepi körülmények, mind pedig a mérési módszertan megválasztását befolyásolta. Ennek megfelelően figyelembe vettem a fával borított terület sűrűségét, a felmérés tárgyát, illetve rendűségét, azaz hogy alappont-meghatározás, vagy részletmérés a cél.

Egy geodéziai műszer hibái mellett fontos, hogy az egész rendszert jellemző értékeket vizsgáljuk. Az elektronikus távméréshez valamilyen visszaverő felületet (leggyakrabban prizmát) használunk, amely a műszerrel egységben kezelendő, műszer-együttest alkot. A vizsgálat első lépése, a rendszer elemeinek meghatározása. A következő folyamatábrán követhető az általam végzett vizsgálati eljárás (19. ábra).



19. ábra: A disszertáció keretén belül végzett vizsgálat módszertani lépései.

A geodéziai felmérések időigénye mellett nagy a munkaerő szükséglete is. A legtöbb mérést nem, vagy csak körülményesen lehetne kivitelezni önállóan, így a méréseimhez a legtöbb esetben segéderőt alkalmaztam. A mérések elvégzése és a mérendő pontok megjelölése is nagy figyelmet igényel, a mai geodéziai felméréseknél ennek megfelelően nem végezhető egy figuráns munkája kisebb odafigyeléssel, szaktudással, mint egy műszeres által végzett munka. A műszeres mérések döntő többségét magam végeztem, de esetenként a figuranciát láttam el. A mérések leírásánál nem térek ki részletesen arra, hogy melyik munkafolyamatot ki végezte, mivel sok esetben a folyton változó helyzetek határozták meg, hogy ki állt a műszernél, így nehezen dokumentálhatóvá téve azt.

Mind a Laser Technology, mind a Leica cég műszereinek szögmérése elektronikus érzékelés elvén működik, ahol a pontos mérésekhez a műszereket kalibrálni kell. Különösen igaz ez a mágneses elven működő érzékelőkre, ahol a mágneses térben bekövetkező változások miatt hely és időpont függvényében is figyelemmel kell lenni a szenzor kalibrálására. A kalibrálást minden méréssorozat előtt elvégeztem, hosszabb időtartamú mérés esetén akár többször is.

A terjedelmi korlátok miatt, a Leica Disto műszer esetében, ahol nem volt a gyár által közölt értékektől mértékadó eltérés, nem ismertetem az elemzéseket.

4. Kalibráló mérések

A műszer erdészeti célú alkalmazhatóságához a műszergyártók által közölt technikai paraméterek nyújtanak segítséget. Egy mérőműszer használata esetén hagyatkozhatunk a műszergyártó által megadott adatokra, viszont kutatási szempontból érdemes egy műszer pontosságát ellenőrizni, illetve egy mérőműszert időszakonként szükséges kalibrálni. A kalibráláshoz mérési sorozatokat végeztem, amely mérési eredmények alapján megállapítható a mérőműszer által mutatott érték és egy etalon közötti összefüggés. A műszerekre vonatkozó adatok és a terepi mérésekre való alkalmasság megállapításához laboratóriumi, illetve közel laboratóriumi körülményeket biztosító méréseket végeztem. Elsődlegesen a műszerdokumentációban szereplő mérési értékek – távolság és vízszintes szög – helyességét vizsgáltam. Másrészt pedig az erdei körülmények között tapasztalható korlátozott mérési, illetve látási körülmények hatásával foglalkoztam.

4.1. A távmérés vizsgálata

A távmérés pontosságának ellenőrzéséhez, a geodéziai távmérő műszerek esetében is alkalmazott kalibrálási eljárásokat használtam, amelyek ideális körülmények mellett, pontos adatokat szolgáltatnak. A távmérés vizsgálatát rövid és hosszú távolságok meghatározására és kiértékelésére választottam szét, a terepi alkalmazáshoz is igazodva. Erdőterületen, városi zöldfelületen fellépő zavaró hatások, valamint a felméréndő fák és a különböző jelfelületek anyagi jellemzőinek, visszaverő képességének vizsgálatához egyedi módszereket is alkalmaztam.

A távmérési vizsgálat fontos része az állandó hibahatást okozó összeadóállandó és szorzóállandó (méretaránytényező) meghatározása.

Ezen állandók értékét az elektronikus távmérő műszereknél rendszeresen vizsgálni szükséges, az alkatrészek öregedése miatt. A műszert és a visszaverő jelet (prizmát) egységben kell kezelni, a műszer- és a prizmaállandó összetartozó értékek, igaz a prizmaállandó nem változó mennyiség. Ezen állandók pontos meghatározását 5 vagy 7 pont minden kombinációban való mérésével, illetve az eljárás alapvonalon való alkalmazásával tudjuk elvégezni.

A pontosságra utaló mérőszámokat nagy elemszámmal elvégzett méréssel határoztam meg, a különböző környezeti és mérés technikai viszonyokat is figyelembe véve.

A távmérők kalibrációs vizsgálatánál az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézetében használt eljárásokat alkalmaztam.

A KALIBRÁL elnevezésű szoftvert alapvetően a Gödöllői Országos Kalibrációs Alapvonal méréseinek feldolgozására fejlesztették ki, amely az 5 pillér között Schwendener (1972) módszere szerinti távmérések kiegyenlítésén alapszik. Az alapvonal mért és levezetett távolságait Väisälä-féle fény interferométerrel és a legnagyobb távolság kétszerezésével határozták meg (www.ftf.bfkh.gov.hu).

A feldolgozás közvetítő egyenlete:

$$a + (1 + b)L_m = L,$$

ahol a az összeadóállandó, b a szorzóállandó, L_m a mért és L az ismert távolság. Az $(1+b)$ mennyiség a skálatényező.

A program az összeadóállandó és a kezdő ponthoz viszonyított négy alaptávolság kiegyenlítéssel történő meghatározását is lehetővé teszi, ahol az ismert távolságok csak előzetes értékeként szerepelnek.

A DIST-NET programmal egy tetszőleges méretű tisztán hosszmeréses 2D hálózat kiegyenlítése hajtható végre, ahol a minimális számú koordináta rögzítése mellett az összeadóállandó is becsülhető. Ha a kezdőpont koordinátát és a további pontok y koordinátáit nulla értékkel rögzítjük, akkor 1D hálózatot kapunk, ahol az x koordináták most az L távolságokat jelentik. Az ismert értékeket itt is előzetes értékeként kezeljük.

A feldolgozás közvetítő egyenlete mind két esetben

$$a + L_{m_{ij}} = (L_j + x_j) - (L_i + x_i),$$

ahol a az összeadóállandó, $L_{m_{ij}}$ az i és j pontok között mért érték, L_j és L_i a két pont előzetes (ismert) távolságai, továbbá x_j és x_i a távolságok ismeretlen változásai.

Mindkét közvetítő egyenletnél a mérésekhez ismeretlen javításokat (v) adva, a

$$v = Ax - l$$

általános javítási egyenletrendszer írható fel, ahol az A mátrix az ismeretlenek együtthatóit, x vektor az ismeretleneket és az l vektor a mért és ismert értékek ellentmondásait tartalmazza.

A KALIBRÁL program esetében az a és b a két ismeretlen, továbbá az l vektor elemei az $L_m - L$ értékeket tartalmazzák.

A DIST-NET programnál az a és x változások az ismeretlenek, továbbá az l vektor elemei a $L_{m_{ij}} - (L_j - L_i)$ értékeket tartalmazzák.

Az egyenletrendszer legkisebb négyzetes megoldása

$$\hat{x} = (A^t P A)^{-1} (A^t P l),$$

ahol t a transzponáltat jelöli. A P diagonális súlymátrix elemei a $p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$ összefüggés alapján számíthatók, ahol σ_0 a súlyegység a priori, σ_i az egyes mérések előzetes középhibája. A kiegyenlítés során meghatározhatók a kiegyenlített mérési javítások (\hat{v}), a súlyegység a posteriori középhibája ($\hat{\sigma}_0^2$), valamint az ismeretlenek és mérési javítások variancia mátrixai ($Q_{\hat{x}}$, $Q_{\hat{v}}$), amelyek főátlói a becsült középhibák négyzetösszegét tartalmazzák. A mérési javítások négyzetösszegét a $\chi^2(khi)$, az egyes mérési javítások nullától való szignifikáns elérését a τ (tau) és az ismeretlenek nullától való szignifikáns elérését a t (student) tesztekkel ellenőrizhetjük (Detrekői 1991).

A pontossági és megbízhatósági mutatószámok megadásához a 2.2.3. fejezetben ismertetett összefüggéseket alkalmaztam.

4.1.1. Rövid távolságok távmérési vizsgálata

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja a TruPulse 360B, valamint a Leica Disto S910 összeadóállandójának meghatározása, illetve pontossági vizsgálat végzése rövid hosszak (30 m–nél rövidebb) mérésével (11. táblázat). Az erdészeti gyakorlatban és a zöldfelületek térképezésénél ez a távolsági tartomány jellemzi leginkább a méréseket, ezért ezen érték alatti mérések vizsgálata az egyik legfontosabb a műszerek esetében.

A méréseket az MTA Csillagászati és Földtani Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet (CSFK GGI), soproni mérőlaborjában végeztem. A mérések kidolgozásához, előkészítéséhez és kivitelezéséhez is segítséget kaptam az intézet munkatársaitól. Az alagsori laboratórium kialakítása a kalibrálás tökéletes kivitelezéséhez mérten történt, ezáltal precízen kivitelezhető pontos mérések válnak lehetővé.

A laborban kizárólag a rövid távolságmérés pontosságához kapcsolódó méréseket végeztem, mivel a nagy távolságokba való irányzást nem lehetett biztosítani, illetve a mágneses szögmérést szabadtéren terveztem elvégezni.

A geodéziai laboratóriumban távmérési feladatok megoldásához speciális mérőpálya áll rendelkezésre. A méréseket, egy betonból egyben kiöntött mérőasztalon, a betontömb vízszintes felületén rögzített jelekkel és műszerrel végeztem. A műszerállások egy előzetesen kialakított pályán lettek rögzítve, amelyekre központosan, kényszerközponosító használatával, geodéziai pontossággal lehetett a műszereket és a prizmákat elhelyezni.

11. táblázat: Kalibráló mérések I. – rövid távolságok távmérési vizsgálata.

Kalibráló mérések I. – rövid távolságok távmérési vizsgálata		
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, CSFK GGI labor		
<i>Mérés célja:</i> rövid távolságok mérésével az összeadóállandó és pontossági értékek meghatározása		
<i>Vizsgálat módszere:</i> távolságok minden kombinációban való méréséből történő számítás		
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott		
Műszervizsgálat tárgya		
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Leica Disto S910
<i>Vizsgált paraméter:</i>	összeadóállandó (vízszintes távolság)	összeadóállandó (vízszintes távolság)

A vizsgálat mérési módszere

A vizsgálat módszerét egy, a GGI rendszeres alkalmazásban lévő kalibrációs eljáráshoz igazítottam, amelyhez egy saját feldolgozó szoftvert fejlesztettek. Ezzel a feldolgozás szabatos megoldást eredményez. A módszer lényege, hogy öt pont közötti távolság minden kombinációban való megmérést kell elvégezni, majd a számításokat egy célszoftver segítségével elvégezni, ezáltal a műszer pontossága, szorzó- és összeadóállandója meghatározható. A mérésekhez a gödöllői kalibrálási alapvonalnak megfelelően, arányosan kicsinyített távolságokban helyeztük el és rögzítettük a prizmatálpakat, egy egyenesbe eső öt ponton: 0,000 m – 0,780 m – 7,000 m – 14,000 m – 28,000 m (20. ábra). A mérőpálya kialakításából adódóan a pontok között vízszintes távolság meghatározása biztosított, azonos műszer- és jelmagasságok esetén.

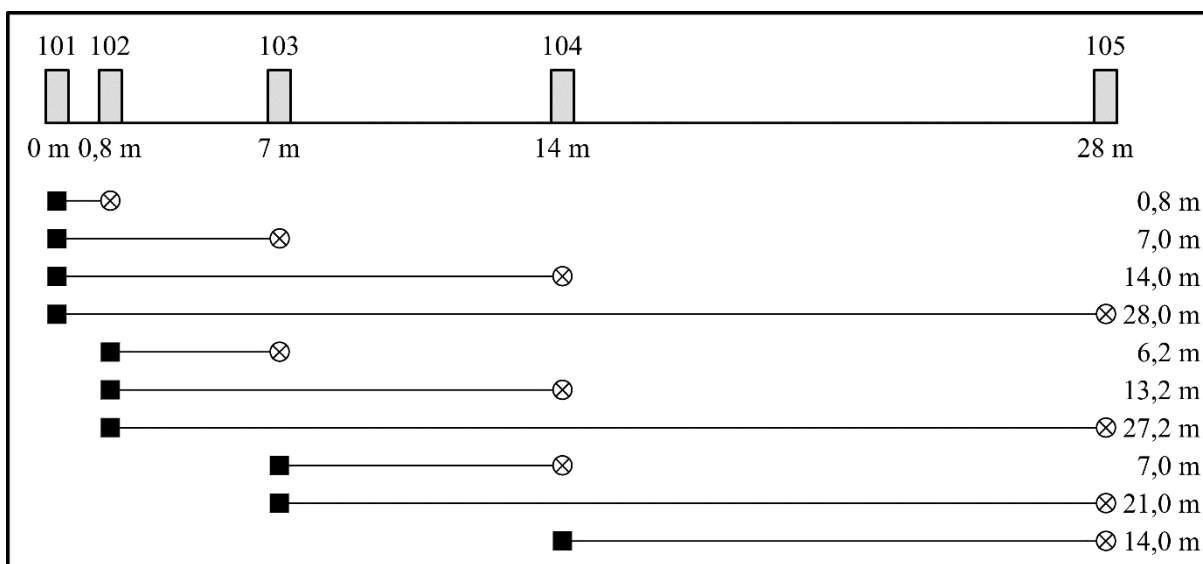


20. ábra: A Disto S910 a labormérések közben.

A mérések ismertetése

A méréseket külön időpontban végeztem a TruPulse 360B-vel és a Disto S910-zel. Mindkét műszernél ügyelni kellett a műszermagasság beállítására is. Az azonos műszermagasságra technikai szempontból nem lett volna szükség, mivel mindkét műszer képes vízszintesre redukált távolság kijelzésére, viszont a magassági szögmérésből adódó hibát ezáltal kiküszöböltnék tekinthetjük. A távmérések ellenőrzése és beállítása előzetesen egy Leica TC 2003 mérőállomással történt.

A műszerközpontosítások előkészítése után, a műszer- és jelátállások mellett a távmérést minden kombinációban (21. ábra) el kellett végezni, és az adatokat rögzíteni (manuálisan jegyzőkönyvbe).



21. ábra: A mérőpálya kialakítása és a mérési sorozat rövid távolságok mérése esetén.

A távmérést 0,000 m és 0,780 m, 7,000 m, 14,000 m, 28,000 m között, majd 0,780 m és 7,000 m, 14,000 m, 28,000 m között, majd 7,000 m és 14,000 m, 28,000 m között, végül pedig

14,000 m és 28,000 m között végeztem el. Egy adott távolságot 10 méréssel határoztam meg. Eredményül mindkét műszer esetében 10 db távolságra végzett méréssorozatot kaptam.

A TruPulse 360B esetében az ismételt mérések 0 vagy 1 dm eltérést mutattak. A Disto S910, egy adott távolságra mindig ugyanazt a mérési értéket jelezte ki, milliméter élességgel.

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A számításokhoz öt pontnak (0,000 m – 0,780 m – 7,000 m – 14,000 m – 28,000 m; a pontok megnevezése a programban: 101 – 102 – 103 – 104 – 105) minden kombinációban való tízszer ismételt megméréseinek átlagos távolsági adataiból számítja a program a paramétereket.

Az előzetes feldolgozások után, a végső eredmények számításához a DIST-NET, valamint KALIBRAL szoftvereket használtam.

A kalibrálás eredményeként megadtam a mérések hibáit, a mért és a referencia távolságok különbségét, valamint legkisebb négyzetek módszerével, kiegyenlítő számítással meghatároztam a műszer összeadóállandóját.

A TruPulse 360B eredményeinek ismertetése

A mérések feldolgozásánál a műszer előzetes középhibájának 300,0 mm-t adtam meg, amely a műszerdokumentáció szerint a műszerrel való távmérések tipikus pontossági értéke.

A távmérő apriori középhibája: $\mu_L = \pm (300.0 \text{ mm} + 0.0 \text{ mm/km} \times L[\text{km}])$

Az első vizsgálat a műszer-együttes (TruPulse 360B és Leica GPR111 prizma) összeadóállandójának meghatározása volt a DIST-NET programmal. Ennél a meghatározásnál nem rögzítjük a négy referencia távolságot, azok értékeit is megkapjuk a mérési eredményekből. Az összeadóállandó és a négy ismeretlen távolság függvényében a szabadságfok (f) értéke 5 lesz. A számítással meghatározzuk a mérési javítást és középhibáját (12. táblázat).

12. táblázat: A TruPulse mérési javításának táblázata ismeretlen alapvonal-hosszak esetén.

Mérő pillérek	$L_{\text{mért}}$	μ_L	l	v	σ_v	τ' statisztika	τ statisztika	Kiugró érték
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
101-102	0,7	300	-80	-18	41,2	0,44	1,63	
101-103	6,9	300	-100	34	48,4	0,7	1,63	
101-104	14	300	0	-54	48,4	1,12	1,63	
101-105	27,8	300	-200	38	41,2	0,92	1,63	
102-103	6,2	300	-20	22	41,2	0,53	1,63	
102-104	13,3	300	80	-66	48,4	1,36	1,63	
102-105	27,1	300	-120	26	48,4	0,54	1,63	
103-104	6,9	300	-100	82	41,2	1,99	>1,63	!
103-105	20,9	300	-100	-26	48,4	0,54	1,63	
104-105	13,9	300	-100	-38	41,2	0,92	1,63	

$L_{\text{mért}}$: TruPulse-zal mért távolság; μ_L : a műszer apriori középhibája; l : a mért – ismert távolság; v : mérési javítás; σ_v : a mérési javítás középhibája

Az egyes mérési javítások nullától való szignifikáns elérését (τ statisztikával) vizsgálva, egy esetben (103 – 104 pontok között, $1,99 > 1,63$) volt eltérés, igaz a programban beállított 95%-os valószínűség mellett. A többi javítás megfelelt a statisztikai vizsgálatnak.

Az összeadóállandót (a) és a hosszirányú javításokat az előzetes értékhez képest, t teszttel vizsgálva elmondható, hogy a műszer megfelel az előzetes elvárásoknak.

A mérések eredményeként elmondható, hogy a TruPulse 360B műszer a gyár által megadott pontossági értékeknek megfelel, az összeadóállandó becsült értékére 30,000 mm-t számolt a program, amely a műsergyár által megadott mérési pontossági érték (300 mm) mellett elhanyagolható.

A következő vizsgálat a műszer összeadóállandójának, egy másik módszerrel való meghatározása volt a KALIBRÁL programmal. Ennél a megoldásnál a programban rögzítettem a négy referencia távolságot. A négy távolságot minden kombinációban 10 db távolságméréssel határozhatjuk meg. Az összeadóállandó függvényében a szabadságfok (f) értéke 8 lesz. Az eljárással meghatároztuk a mérési javítást és középhibáját (13. táblázat).

13. táblázat: A TruPulse mérési javításának táblázata rögzített alapvonal-hosszak esetén.

Mérő pillérek	$L_{\text{mért}}$	μ_L	l	v	σ_v	τ' statisztika	τ statisztika	Kiugró érték
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
101-102	0,7	300	-80	51,4	60,7	0,85	1,65	
101-103	6,9	300	-100	49,9	67,7	0,74	1,65	
101-104	14	300	0	-74,8	70,2	1,07	1,65	
101-105	27,8	300	-200	77,3	59,1	1,31	1,65	
102-103	6,2	300	-20	-27,7	67,2	0,41	1,65	
102-104	13,3	300	80	-152,4	70,2	2,17	> 1,65	!
102-105	27,1	300	-120	-0,3	60,2	0,00	1,65	
103-104	6,9	300	-100	49,9	67,7	0,74	1,65	
103-105	20,9	300	-100	1,2	67,5	0,02	1,65	
104-105	13,9	300	-100	25,5	70,2	0,36	1,65	

$L_{\text{mért}}$: TruPulse-zal mért távolság; μ_L : a műszer apriori középhibája; l : a mért – ismert távolság; v : mérési javítás; σ_v : a mérési javítás középhibája

Az összeadóállandót (a), t statisztikával vizsgálva elmondható, hogy a műszer megfelel az előzetes elvárásoknak. Az összeadóállandó becsült értéke 26,181 mm lett, amely összhangban van a nem rögzített referencia távolságok esetén számított értékkel (30,000 mm).

A Disto S910 eredményeinek ismertetése

A feldolgozásánál a műszerdokumentáció szerinti tipikus távmérési pontossági értékhez igazodva, előzetes középhibának 1 mm-t adtam meg.

A távmérő apriori középhibája: $\mu_L = \pm (1.0 \text{ mm} + 0.0 \text{ mm/km} \times L[\text{km}])$

A vizsgálatokat a TruPulse műszerrel végzett kiértékeléssel egyezően végeztem a DIST-NET programmal. Első vizsgálatnál a programban nem rögzítettem a négy referencia távolságot. Az összeadóállandó és a négy ismeretlen távolság függvényében a szabadságfok (f) értéke szintén 5 volt. Az állandók számításához meghatároztuk a mérési javítást és középhibáját (14. táblázat). A műszer esetében az összeadóállandó a műszert terheli, mivel jelfelületnek egy központos jeltárcsát használtam, ami egy Leica GPH1P prizma része.

14. táblázat: A Disto S910 mérési javításának táblázata ismeretlen alapvonal-hosszak esetén.

Mérő pillérek	$L_{mért}$	μ_L	l	v	σ_v	τ' statisztika	τ statisztika	Kiugró érték
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
101-102	0,779	1	3	-0,2	0,6	0,26	1,63	
101-103	7,003	1	2	-0,7	0,7	1	1,63	
101-104	14,000	1	1	1,1	0,7	1,55	1,63	
101-105	28,003	1	3	-0,2	0,6	0,39	1,63	
102-103	6,224	1	-1	-0,2	0,6	0,26	1,63	
102-104	13,222	1	-1	0,7	0,7	0,94	1,63	
102-105	27,225	1	1	-0,7	0,7	0,94	1,63	
103-104	7,000	1	2	-0,8	0,6	1,24	1,63	
103-105	21,001	1	2	-0,1	0,7	0,17	1,63	
104-105	14,001	1	0	1	0,6	1,7	> 1,63	!

$L_{mért}$: Disto S910-zel mért távolság; μ_L : a műszer apriori középhibája; l : a mért – referencia távolság; v : mérési javítás; σ_v : a mérési javítás középhibája

A mérési javítások statisztikai vizsgálatánál, a táblázatból láthatóan, az utolsó mérésnél tapasztalható eltérés, amely az alacsonyabbra beállított valószínűségi szint (95%) miatt elfogadható mértékű, a többi esetben pedig megfelelt a vizsgálatnak.

Az összeadóállandót (a) és a hosszirányú javításokat az előzetes értékhez képest, t teszttel vizsgálva elmondható, hogy a műszer megfelel az előzetes elvárásoknak.

A mérések eredményeként a Disto S910 műszer a gyár által megadott pontossági értékeknek megfelel. A referenciát biztosító távolságok rögzítésével hasonló eredmények születtek, az összeadóállandó becült értékére a program által számított -0,400 mm értéket 0,0 mm-nek állapítottam meg.

4.1.2. Hosszú távolságok távmérési vizsgálata

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálta célja, hogy a TruPulse 360B műszer nagy távolságokba való mérését elemezzem. A műszerspecifikáció szerint lehetséges ilyen távolságba való távmérés (~1000m). A műszerrel erdős területen rendszerint közeli részletpontok mérését végezzük. Ha alappontok meghatározása is célunk és ehhez távmérés módszerét alkalmazzuk, akkor hosszabb távolságok mérésére van szükségünk. A Disto S910 esetében ezt a mérést nem végeztem el, mivel a műszer

300 m-nél nagyobb távolságba nem képes távmérést végezni, valamint fontos megemlíteni, hogy nagy távolság mellett az irányzás nehézkessé válik.

A méréseket a Gödöllői Országos Geodéziai Alapvonalon hajtottam végre, amely Magyarország fő, kalibrációs mérések végrehajtására létesített mérővonala. A pálya kimondottan geodéziai műszerek elektrooptikai távmérőjének kalibrálására alakították ki (15. táblázat).

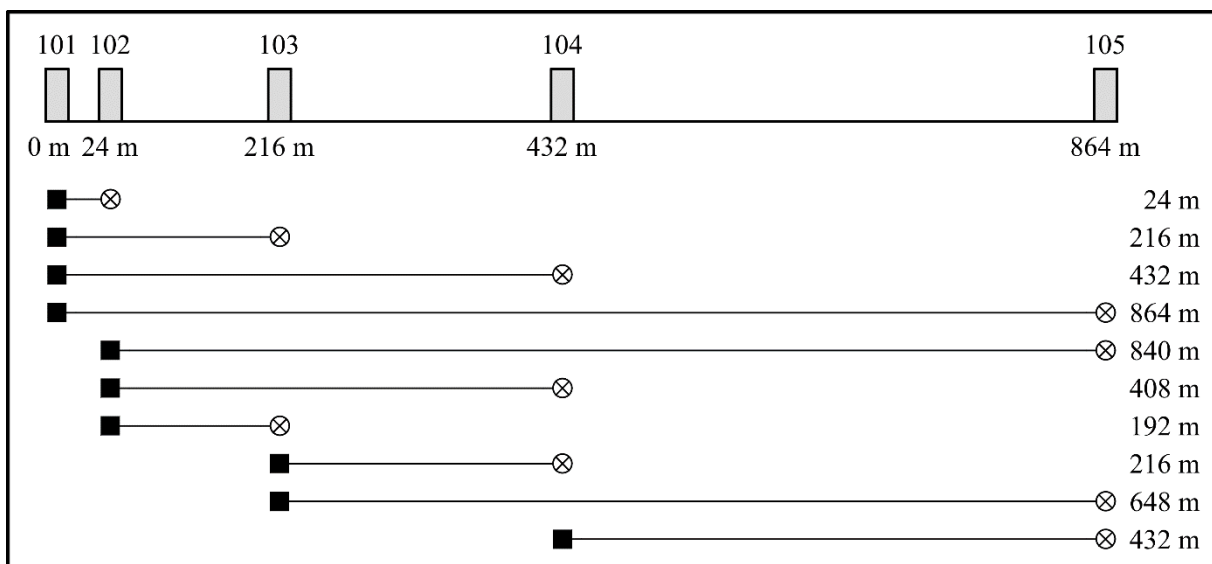
A 864 m hosszú alapvonalon 0 m – 6 m – 24 m – 72 m – 216 m – 432 m – 864 m-en található betonpillérek, amelyek a központos pontraállást biztosítják, ezekből a 0 m – 24 m – 216 m – 432 m – 864 m pilléreken végeztem méréseket.

15. táblázat: Kalibráló mérések II. – hosszú távolságok távmérési vizsgálata.

Kalibráló mérések II. – hosszú távolságok távmérési vizsgálata	
<i>Mérés helyszíne:</i> Gödöllő, kalibráló alapvonal	
<i>Mérés célja:</i> hosszú távolságok mérésével a műszerállandók és pontossági értékek meghatározása	
<i>Vizsgálat módszere:</i> távolságok minden kombinációban való méréséből való számítás	
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott	
Műszervizsgálat tárgya	
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B
<i>Vizsgált paraméter:</i>	összeadóállandó méretaránytényező (vízszintes távolság)

A vizsgálat mérési módszere

A műszer kalibrálásakor az alapvonal kiválasztott pilléreit minden kombinációban (22. ábra) megmértem. A pillérekre központosan műszertalppal rögzítettük a jeleket és a műszert. A méréseket mind jeltárcsára, mind pedig prizmára elvégeztem. A mérésnél vízszintes távolságokat rögzítettem.



22. ábra: A mérőpálya kialakítása és a mérési sorozat hosszú távolságok mérése esetén.

A mérések ismertetése

A műszertalpak rögzítését az összes pilléren elvégeztük, majd a központosító segítségével helyeztük át a műszert és a jeleket a megfelelő pillérre, és végeztük el a távméréseket. Az adatrögzítés manuálisan történt.

Minden távolságra öt mérést végeztem. Távmérést 0,000 m és 24,000 m, 216,000 m, 432,000 m, 864,000 m között, majd 24,000 m és 216,000 m, 432,000 m, 864,000 m között, majd 216,000 m és 432,000 m, 864,000 m között, végül pedig 432,000 m és 864,000 m között. A mérést 0,000 m és 432,000 m között már nem tudtam jeltárcsára meghatározni, így ezután már csak prizmára való méréssel folytattam. A 864,000 m-es szakasz megmérése már prizma használatával is nehezen volt elvégezhető, többszöri próbálkozás után jelzett csak ki távolság értéket a műszer.

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A számításoknál, csak a prizmára végzett mérések eredményeit dolgoztam fel, mert a jeltárcsával való mérést, csak 216 méter távolságig sikerült eredményesen végrehajtani. A jeltárcsával korlátozottan lehet nagy távolságok meghatározását elvégezni, a méréseim alapján 200 méterig.

A vizsgálatok a rövid távolságon mért kiértékelésekkel megegyeztek. Ebben az esetben a legvalószínűbb eredményeket a rögzített alapvonal hosszakkal való módszer adta. Eredményül a műszer összeadóállandóját, illetve a méretaránytényezőt határoztam meg. Ehhez meghatároztam a mérési javítást és középhibáját.

A statisztikai próba alapján a műszer megfelelt az elvárásoknak, egyedül a 800 méternél nagyobb távolságra végzett mérések (0 – 864 m és 24 – 864 m) mutattak kiugró értékeket ($2,58 > 1,65$ és $1,87 > 1,65$).

A becsült összeadóállandót ($\hat{a} = 36,815$ mm) és a méretaránytényezőt ($-439,748$ mm/km) Tau-statisztikával vizsgálva elmondható, hogy a műszer megfelel az előzetes elvárásoknak. A műszer összeadóállandó értéke a rövid távolságon végzett vizsgálattal összhangban van.

4.1.3. A távmérés vizsgálata nagy elemszámú mérési sorozatokkal

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja, hogy TruPulse 360B műszer távmérési pontosságát meghatározzam, és összehasonlítsam a gyártó által megadott értékekkel. A Leica Disto esetében megfelelőnek mondható a kis elemszámú labormérések felhasználása is, mivel minden távmérésnél, egy adott távolságra ugyanazt az értéket jelezte ki a műszer.

A vizsgálatához egy, a mérés idejére kiegyenlített hőmérsékletű helyszínen, egyenes aszfaltutat választottam, ahol a mérési pontokat egyenes vonalban alakítottam ki. A távolságokat rövid vonalon 10 méterenként és egy távoli pontra, 90 méternél jelöltem ki. Az így kialakított pálya: 0 m – 10 m – 20 m – 30 m – 40 m – 50 m – 90 m felosztású. A műszermagasságokat úgy állítottam be, hogy az irányvonal közel vízszintes legyen (16. táblázat).

Hasonló céllal, 30 méteres távolságig, az egyetem B épületének folyosóján is kialakítottam egy mérőpályát, ahol mindkét vizsgált műszer méréseit értékeltem.

16. táblázat: Kalibráló mérések III. – nagy elemszámú távmérés vizsgálata.

Kalibráló mérések III. – nagy elemszámú távmérés vizsgálata		
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, Botanikus kert, aszfalt úton kialakított mérővonal/Egyetem - B ép. folyosó		
<i>Mérés célja:</i> nagy elemszámú, rövid vonalú távméréssel a pontossági értékek meghatározása		
<i>Vizsgálat módszere:</i> hibaszámítás, statisztikai elemzés		
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott		
Műszervizsgálat tárgya		
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Leica Disto S910
<i>Vizsgált paraméter:</i>	ferde távolság	ferde távolság

A vizsgálat mérési módszere

Az előre felállított műszerlábakra, egy adott távolságban, különböző jelekre végeztem távméréseket. A TruPulse műszer-együtteshez meghatározott GPR 111-es prizmára, egy Wild gyártmányú jeltárcsára, valamint egy 30 × 30 centiméteres jeltárcsára, amely utóbbi, a hosszabb távolságokra végzett méréseknél jelenthet pontosító tényezőt, vizsgáltam a távmérést. Egy adott jelre 100 db távmérést végeztem.

A beltéri méréseknél vizsgáltam a műszer melegedéséből esetlegesen adódó eltéréseket, így egy adott távolságra nem egyhuzamban végeztem a méréseket, hanem 20 mért értékenként váltva a távolságok között.

A mérések ismertetése

A mérőpálya pontjainak kitűzését Leica TCR 1205 típusú mérőállomással végeztem el, milliméter pontossággal rögzítve a pontokat. A műszerlábak, illetve a jelek távolságainak meghatározásához figyelembe vettem a TruPulse műszer-együttesre megállapított összeadóállandó (30 mm) értékét is (0,000 m – 9,970 m – 19,970 m – 29,970 m – 39,970 m – 49,970 m – 90,470 m). A beltéri mérőpálya kialakítása szintén a Leica TCR 1205-ös mérőállomással történt (0,000 m – 9,970 m – 19,970 m – 29,970 m).

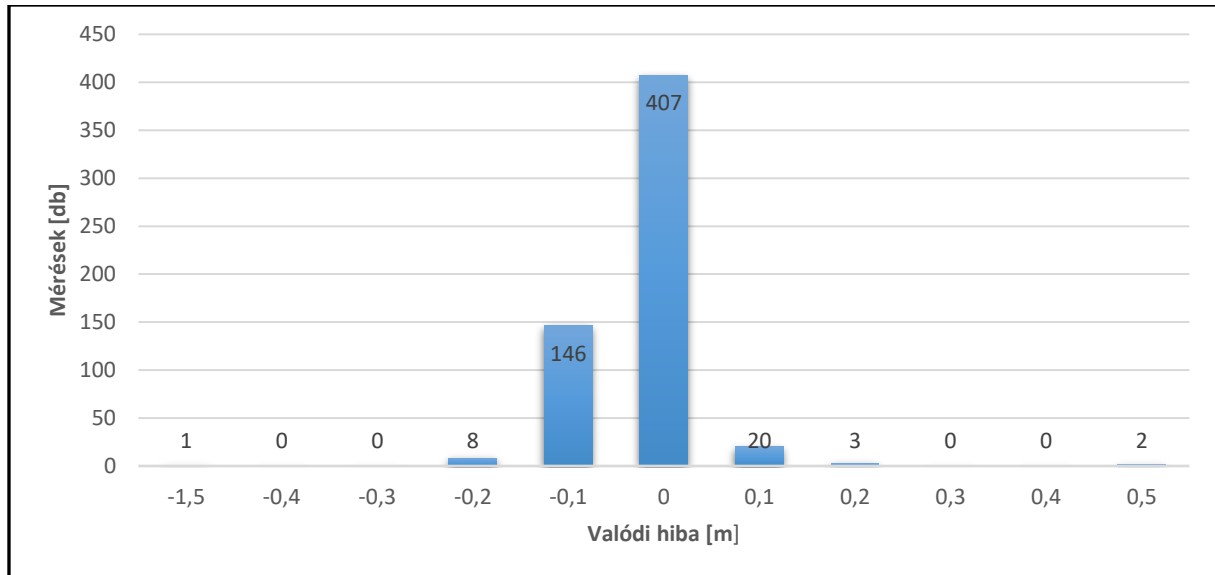
A bázisponton (0,000 m) rögzítve a vizsgált műszereket mértem a távolságokat, a TruPulse esetében a három különböző jeltípusra egymás után háromszor 100 távmérést végrehajtva. Az adatokat Bluetooth Manager, Android applikációval rögzítettem. A Disto S910 műszerrel a Wild jeltárcsára történtek a mérések, manuális rögzítéssel, csak az eltéréseket feljegyezve, mivel stabilan egy értéket jelzett ki a műszer

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A következőkben a TruPulse műszerrel, prizmára és zajsűrővel végzett mérések eredményeit ismertetem.

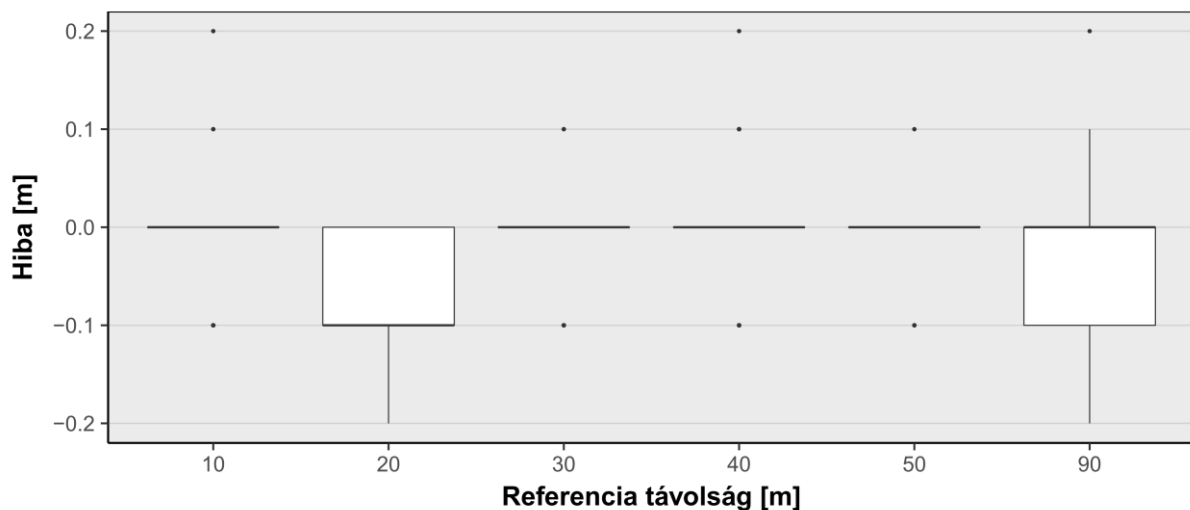
A hat távolságra végzett távmérések (600 db) elegendő elemszámot feltételeznek egy pontosság számításához. Ilyen esetben normál eloszlást várhatunk a hibákat vizsgálva. Elemelve az adatokat nem lehetett egyértelműen függvényt illeszteni az adatsorra. A hibák nagysága és

gyakorisága (23. ábra) alapján kijelenthető, hogy a mérési hibák szinte 100%-a, a műszer gyár által megadott 30 cm-es pontossági értéken belül van. 600-ból 13 darab mérés volt a műszer kijelzőjén is olvashatóan hibás. 3 darab nagyobb hiba tapasztalható, egy 150 cm-es és két 50 cm-es. A diagram alapján kijelenthető, hogy a műszerrel való távmérés, jellemzően 10 cm-nél kisebb hibát eredményez.



23. ábra: A TruPulse műszer távmérési hibái, nagy elemszámú méréssel vizsgálva.

A hibák különböző távolságok szerinti megoszlását statisztikai elemzéssel vizsgálva sem sikerült egyértelmű összefüggést kimutatni. A 24. ábra alapján látható, hogy 20 m, valamint 90 m távolságban eltérő jellegű hibaeloszlás tapasztalható.



24. ábra: A távmérést különböző távolságokban terhelő hibák.

A mérések eltéréseinek mediánja (az ábrán vastag vonallal) majd mindig 0,0 méter volt, kivéve a 20 m-re végzett mérések eredményei, ahol a távmérés medián értéke 0,1 m-rel rövidebb, mint a referencia távolság. A mérések minimum 50%-a 0,0 m pontosságú volt, kivéve a 20 és 90 méteres távolság méréseinél, ahol a mérések nagy részét (25%) 0,2 méteres eltérések is jellemzik. A 90 m-re végzett mérések így is jellemzően hibátlannak tekinthetők (a műszer

élességi tartományában). Ennél a távolságnál fordultak elő leginkább a pontatlan mérések, amelyeket a műszer is jelzett a mérés során. Kiugró értékek (maximálisan 0,2 m) minden távolság mérésénél tapasztalhatók, viszont a műszert (dokumentáció szerint) jellemző határokon belül.

A 17. táblázatban a nagy elemszámmal vizsgált jellemző statisztikai mérőszámai olvashatók. A mérőszámok a vizsgált távolságok mérési eredményeit jellemzik. A kimutatásban nem szerepelnek a műszer által kizárt (jelzett) hibás értékek (13 db), valamint az általam durva hibák közé sorolt 3 mérés.

17. táblázat: A távmérés hibáit jellemző értékek [m].

A távmérés hibáit jellemző értékek [m]	
Mért mennyiség [db]:	584
Átlagos hiba [m]:	0,0
Legnagyobb negatív eltérés [m]:	-0,2
Legnagyobb pozitív eltérés [m]:	0,2
Szórás:	0,06

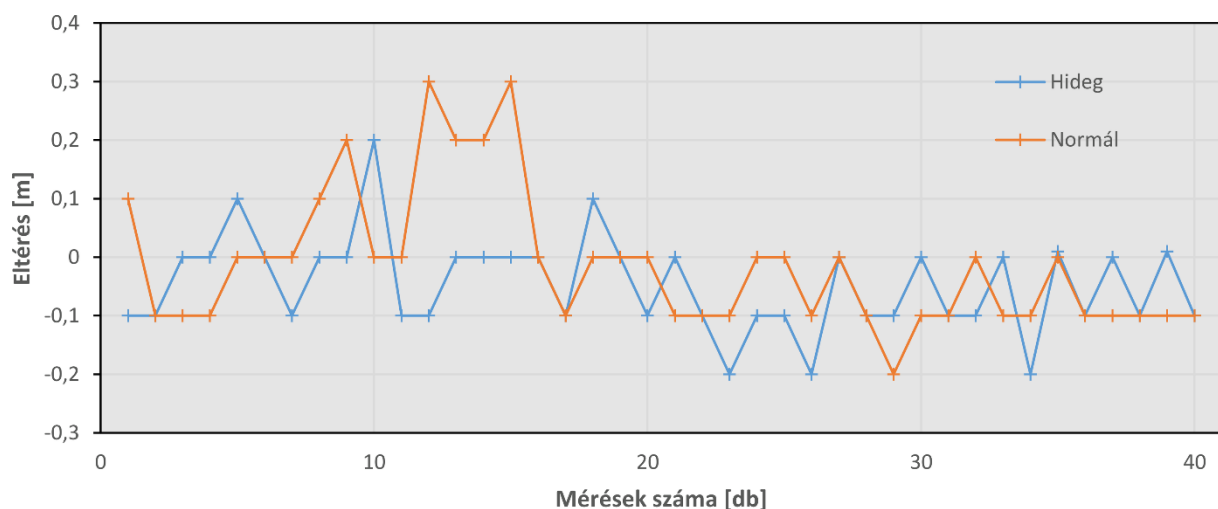
A mérőszámok alapján a műszer pontosabb, mint amit a gyár adatai alapján várni lehetett. A hibák alapján számítottam a középhibát, valamint a közép véletlen hibát:

$$\text{a távmérés középhibája} - \mu = \pm 0,06 \text{ m,}$$

$$\text{a távmérés közép véletlen hibája} - c = \pm 0,06 \text{ m.}$$

A mérések alapján az látható, hogy a műszer távmérését szabályos jellegű hiba nem terheli.

A távmérési hibák kiértékelésekor célszerűnek tartottam a műszer „melegedéséből” származó hibákat vizsgálni. Egy próbát végeztem, ahol a 10,00 és 20,00 méterre állított jelekre mértem. Konkrét méréseket nem végeztem a hőmérséklet megállapítására vonatkozóan, hanem abból a feltételezésből indultam ki, hogy a műszer használata közben melegedés történik. Először, közvetlenül a bekapcsolás után, „hideg” műszerrel az első 20 mérést tároltam, majd további mérések elvégzésével, a műszert „felmelegítve” végeztem 20 mérést, „normál” hőmérsékletű állapotban.



25. ábra: Az üzemi hőmérséklet hatásának vizsgálata a távmérésre.

A 25. ábrán a TruPulse távméréseit láthatjuk közvetlenül a műszer bekapcsolása után, valamint több (min. 100 db) mérés elvégzése után. Az első 20 mérés 10,00 m távolságra, 20-40-ig 20,00 m távolságra vonatkozik. A referenciaértékhez képest, az eltérések módusza, mindkét esetben 0,0 m volt, a „hideg” mérések szórása 0,8 (átlag: 0,1 m), a „normál” méréseké pedig 0,12 (átlag: 0,2 m) volt.

A mérési adatok között elhanyagolható a különbség, így a továbbiakban nem foglalkoztam a feltevésemmel. Nagyobb hő, vagyis a napsugárzás hatását ezzel a vizsgálattal még nem zártam ki.

A Wild jeltárcsára való mérések jellemzően 0,1 méterrel rövidebb távolság meghatározását eredményezték (átl.: -0,1 m). A 10 méterre végzett mérések egyezők voltak a prizmára való mérésekkel (átlagos hiba = 0,0 m), nagyobb távolság mérésekor nagyobb hibákat tapasztaltam, amelyek a távolsággal nem növekedtek. Az eltérések nagysága nem haladta meg a prizmára való mérésekét (legnagyobb negatív irányú eltérés -0,2 m, legnagyobb pozitív irányú eltérés +0,2 m). A Wild jeltárcsára számított pontossági és megbízhatósági mutatók szerint:

$$\text{a távmérés középhibája} - \mu = \pm 0,12 \text{ m,}$$

$$\text{a távmérés közép véletlen hibája} - c = \pm 0,08 \text{ m.}$$

A 30 × 30-as jeltárcsára a mérési eredmények közel azonosak az előzőekben tárgyalt jeltárcsás mérésekkel, azzal az eltéréssel, hogy több volt a hibás mérések száma (1,5-szöröse), amelyeket a műszer is jelzett (így kizárva azokat a feldolgozáshoz használt mérések közül).

A Disto S910 műszer mérési hibáinak elemzését nem ismertetem, mivel a gyár által közölt adatoknak megfelelt (mm-es pontossággal az adott távolságot mérte, mindig ugyanazt az értéket kijelezve; a méréseket 50 m távolságig végeztem el).

4.1.4. Távmérés vizsgálata különböző mérési körülmények között

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja a TruPulse 360B, valamint a Disto S910 távmérési pontosságának ellenőrzése, különböző terepi körülményeket szimulálva. Ezeket a körülményeket az addigi terepi tapasztalatok alapján határoztam meg és tartottam fontosnak vizsgálni. A méréseket különböző jelfelületekre, különböző fafajok kérgére, valamint levélfelületet szimuláló papírhálót alkalmazva végeztem el.

A vizsgálathoz egy közel vízszintes aszfaltúton, a mérési pontokat egyenes vonalban alakítottam ki. A különböző mérési és környezeti körülmények hatását, különböző mérési távolságok mellett vizsgáltam (18. táblázat).

A vizsgálathoz hét darab műszerlábát használtam, a távolságokat oly módon megválasztva, hogy az az erdőben történő mérések távolságát legjobban jellemezze. A mérőpálya kialakításával így, műszerközeli és rövid távolságú (< 30 m), illetve egy határtávolságnak mondható 50 m-es távolságban lévő távméréseket tudtam végezni. A pontokat nem jelöltem meg, hanem a vizsgálathoz tartozó összes mérést egy mérési kampányban végeztem el.

18. táblázat: Kalibráló mérések IV. – távmérés vizsgálata különböző mérési körülmények között.

Kalibráló mérések IV. – távmérés vizsgálata különböző mérési körülmények között		
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, Botanikus Kert		
<i>Mérés célja:</i> távmérés pontosságának vizsgálata különböző mérési körülmények között		
<i>Vizsgálat módszere:</i> sorozatmérések különböző fajok, jelek és mérést zavaró levélfelület alkalmazásával		
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott		
Műszervizsgálat tárgya		
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Leica Disto S910
<i>Vizsgált paraméter:</i>	vízszintes távolság	vízszintes távolság

A vizsgálat mérési módszere

Az egy vonalban és (közel) egy magasságba állított jelekre, a bázisponttól 2,5 m – 5 m – 10 m – 20 m – 30 m – 50 m távolságban (19. táblázat) hajtottam végre méréseket. A távolságot Leica TCR 1205 típusú mérőállomással határoztam meg. A műszerlábak magassági beállításánál a terep lejtését figyelembe véve, közel azonos irányokra állítottam a jeleket.

19. táblázat: A különböző mérési körülmények között vizsgált távmérés mérőpályája.

Referencia táv	0	2,5	5	10	20	30	50
Ferde táv [m]	0,00	2,50	5,00	10,00	20,01	30,00	50,01
Vízszintes táv [m]	0,00	2,50	5,00	10,00	20,01	30,00	50,00

A méréseket mindig a kezdő pontról végeztem és a jelet helyeztem át az egyes mérések után a következő műszerlábakra. A műszerlábakra mindig központosan, kényszerközponosítóval rögzítettem a különböző jeleket. A központos rögzítéshez egyedi megoldásokat készítettem az egyedileg készített jelek esetében. A vizsgálathoz csak vízszintes távolságokat olvastam ki a műszerből, amelyet jegyzőkönyvbe rögzítettem. Egy típusú jelre 10 db mérést végeztem.

A következő körülmények okozta hatásokat vizsgáltam méréssorozatokkal:

- különböző jelek használata (prizma, jeltárcsák, alumínium sarokreflektor) a távméréshez,
- különböző fajok kérgének jelvisszaverő hatása,
- a lézer terjedését zavaró levélfelület hatása.

A jelek közül egy Leica GPR 111 típusú 0,0 mm prizmaálladójú prizmat, egy 9 cm×7,5 cm jelfelületű, központosan szerelhető Wild típusú jeltárcsát, valamint egy 30 cm×30 cm jelfelületű egyedileg készített, központosan szerelhető jeltárcsát, valamint egy egyedi készítésű alumínium sarokreflektort használtam a mérésekhez.

Fajok szempontjából, nem törekedve a teljességre, a hazai faállomány fajaiból három olyat választottam, amelyeknek a kéregmintázatában jellemző eltérések vannak: kocsánytalan tölgy (KTT), gyertyán (GY), akác (A). A kiválasztott fajok törzséből egy 12 cm átmérőjű és nagyjából 20 cm hosszú darabot vágtam ki, és a súlykönnyítés miatt elvágtam szélirányban (26. ábra). A mintát ezután egy deszkalapra rögzítettem úgy, hogy a deszkalap átellenes oldalára egy csatlakoztatható hengeres facsapot szerelve a jel központosan a műszerállványra helyezhető, így a jel felülete az állótengely vonalába esik.

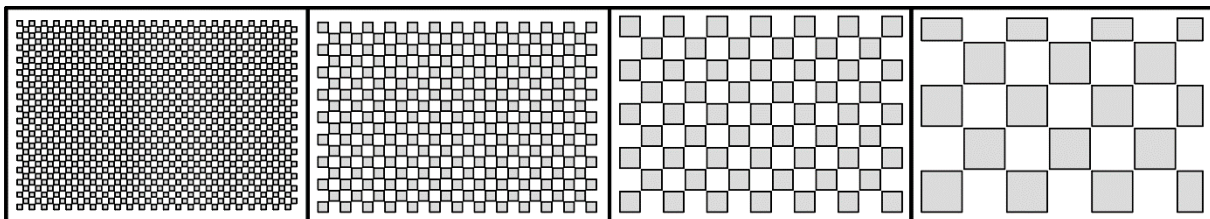


26. ábra: A távméréshez alkalmazott jelek és fafajok.

Az erdős, cserjés területeken a mérések legnagyobb nehézségét a jelterjedést akadályozó levélfelület és a belógó gallyak okozzák. Ezek a mérést sokszor a megghiúsítják, vagy durva hibát okoznak. Előfordulhat az akadályozó felület mérést módosító hatása, amikor szabálytalan hibával terhelt lesz a mérés, illetve olyan helyzet, ahol a ritka lomb nem befolyásolja a távolság meghatározását. A következőkben ezt a feltételezésemet vizsgálom. A lomb záródását igyekeztem valamilyen metrikus formába önteni, és szimuláltam a mérést akadályozó különböző sűrűségű levélfelületet, A2-es papírlapokból kivágott hálójelű felülettel. A vizsgálathoz négy sűrűségű felületet alakítottam ki, 1×1 cm, 2×2 cm, 4×4 cm és 8×8 cm négyzethálóban elhelyezett lyukméretet alkalmazva. A lapok kivághatósága miatt köztes átfedéseket kellett hagyni, a lapok egyben maradása miatt. Az így kialakított lapok 82%-os, 77%-os, 73%-os, valamint 52%-os záródottságú felületet szimulálnak (20. táblázat és 27. ábra).

20. táblázat: A levélfelületet szimuláló lapok adatlapja.

lyuk mérete [cm × cm]	lapméret [cm × cm]	lyukszám [db]	lap/lyuk arány [cm ² / cm ²]	„záródás” [%]
1×1	55×37	368	2035/368	82
2×2	55×37	117	2035/468	77
4×4	55×38	35	2090/560	73
8×8	55×37	12+6(rész)	2035/978	52



27. ábra: A levélfelületet szimuláló lapok rajzai (1×1, 2×2, 4×4, 8×8; sötét színnel a lyukak).

A mérések ismertetése

A mérésekhez a referencia-távolság meghatározását a Leica TCR 1205-ös mérőállomással hajtottam végre. Az első méréssorozatot a TruPulse 360B műszerrel végeztem. Elsőként a prizmára történtek a mérések, zajsűrítő előtéttel és „Flt” – filter üzemmódba állított a műszerrel.

A 0,00 m álláspontból minden távolságra 10 – 10 db mérést végezve jegyzőkönyvbe rögzítettem az adatokat. A jelekre, illetve a fatörzsre való mérésnél a mérési módot átállítottam „Std”, általános mérési módra és végeztem el a mérési sorozatokat (28. ábra).

A levélfelület hatását két szempontból vizsgáltam. Az egyik, hogy a prizmával való méréseket, illetve a közvetlenül fakéregre való méréseket hogyan befolyásolja a kitakarás. Másrészt pedig kitakarás hatását vizsgáltam annak függvényében, hogy hol található az akadályozó felület, a jel közelében vagy attól távolabb (a mérőműszerhez közelebb). Ennek megfelelően a jelet a különböző távolságokban lévő műszerlábakra helyezve, első mérés alkalmával a rácst mindig az adott távolságban lévő jel előtt 0,5 méterrel helyeztem el, majd a jel előtti műszerlábban. Ezalól kivétel volt az első távolság (2,5 m), amely előtt már nem volt másik műszerláb, ebben az esetben a jel előtt 1,5 méterrel állítottam fel a rácst.



28. ábra: A távmérés vizsgálata különböző viszonyok között.

A második vizsgálat a Leica Disto S910 műszerre vonatkozott. Ennél a mérési sorozatnál nem végeztem el az összes mérést, csak próbaméréseket tettem, mivel a műszer milliméter pontosan a megfelelő értékeket mérte. Egyedül a levélfelület hatásának vizsgálatakor volt tapasztalható eltérés. Néhány esetben a jel előtt felállított rácstról visszavert jelnek a távolságát mérte, erről a mérés folyamán meg is lehet győződni, mivel egy látható vörös lézertűvel megjelöli a műszer a mért felületet. A tapasztalt mérési értékek alapján, az adatok feldolgozásával nem foglalkoztam.

A különböző felületre és körülmények között végzett távmérések eredményeinek kiértékelése

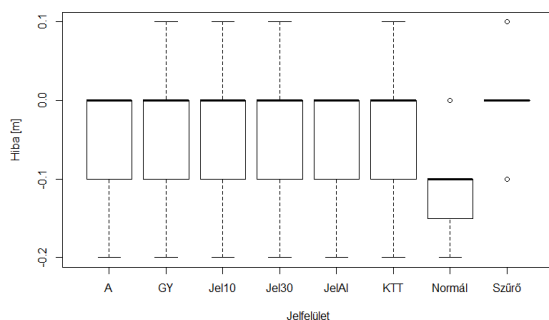
A kiértékelést csak a TruPulse 360B típusú műszer esetében végeztem el. A különböző felületekre végzett távméréseket vizsgálva a 21. táblázatban látható eredményekre jutottam. A táblázat a referenciaértékhez viszonyított eltéréseket mutatja, 10 mérés átlagából számított hibákat.

21. táblázat: A különböző felületek távmérésben okozott hatásai.

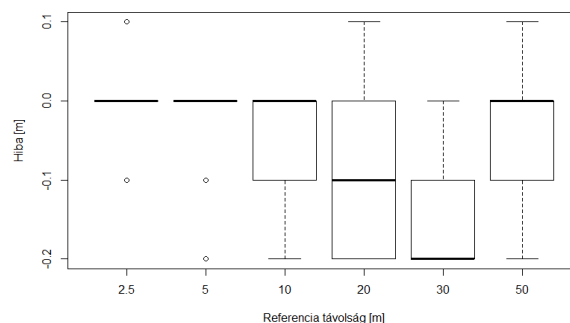
Táv.	Prizma (normál)	Prizma (szűrő)	Jeltárcsa (9×7,5)	Jeltárcsa (30×30)	sarokreflektor	KTT	GY	A
[m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]	ε [m]
2,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
30	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
50	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,0

Az adatok alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a mérések prizma és zajszűrő használatával, minden távolság mellett a referencia távolság értékét a legkisebb hibával megközelítő adatokat adnak. Ennél a beállításnál, egy adott távolságban szinte minden mérési eredmény ugyanaz az érték volt, egyedül a közeli méréseknél tapasztaltam hibát.

Az eredmények alapján prizmat szűrő nélkül nem érdemes használni. A terepi tapasztalatok alapján az erdei környezet okozta akadályok miatt sok esetben csak prizma használatával lehet a távolságot megmérni, valamint a zajszűrő képes a hibát okozó jelek korlátozására. A mérési hibák jelfelület és mérési távolság szerinti eloszlását a 29. és 30. ábra mutatja be.



29. ábra: Mérési hibák eloszlása különböző jelfelületek esetében.



30. ábra: Mérési hibák eloszlása különböző távolságok esetén.

A 29. ábra alapján egyértelműen látható, hogy a prizmával és zajszűrővel („Szűrő”) mért távolságok szinte 100%-a 0,0 m hibával lett meghatározva. Ettől nagyon eltér a prizma zajszűrő nélkül („Normál”) mérések eloszlása, ahol a mérések hibája jellemzően -0,1 és -0,2 m tartományba esik. A többi jelfelületre („A” –akác, „GY”-gyertyán, „Jel10” – 9×7,5 cm-es jeltárcsa, „Jel30” – 30 × 30 cm-es jeltárcsa, „JelAl” – sarokreflektor, „KTT” – kocsányos tölgy), hasonló mérési eredményeket tapasztalhatunk, 0,0 m medián értékkel, viszont a hibák 50%-a 0,0 és -0,1 m tartományba esik. Az összes hiba - 0,2 és 0,1 m-es értékek között helyezkedik el, egyedül az akác és a sarokreflektor esetében nem keletkezett pozitív irányú hiba.

A távolság függvényében (30. ábra) vizsgálva a méréseket, azt tapasztaljuk, hogy 10 méter fölötti távolságok mérése esetén a hibák mértéke egyre növekszik, de a műszer dokumentációjában megadott értékeket nem éri el. 50 méteres távolságban, nagyobb szórás mellett, a pontosság javulni látszik.

Az ábrák alapján feltételeztem, hogy a prizmára szűrővel, prizmára szűrő nélkül, és a többi jeltípusra mért értékek között eltérés van, valamint a távolság is befolyásolja a mérési hibát.

Ennek igazolására (és összefüggések keresésére) két tényező, a jelfelület és a mérési távolság mérési hibára gyakorolt hatására többtényezős variancia elemzést végeztem. Az elemzéssel a két tényező hatása mellett a tényezők közti interakció is kimutatható. Interakciónak nevezzük, amikor az egyik tényező szerint mért hibák nagysága a második tényező szerinti csoportokban különböző. Az elemzést az R statisztikai programcsomaggal végeztem. Mindkét tényező hatása szignifikánsnak bizonyult (jelfelület $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$, távolság $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$) valamint a két tényező közötti interakció is szignifikánsnak tekinthető ($p < 2,2 \cdot 10^{-16}$). A páronkénti összehasonlításra Tukey-tesztet használtam, aminek eredménye visszaigazolta a boxplot ábrák alapján feltételezett összefüggést.

A nem tükröző felületekre való távmérések hasonló eredményt mutatnak, viszont nagyobb távolságok esetén növekszik a hibák nagysága. A nagyobb (30×30 cm) jeltárcsa esetében nagyobb pontosság lenne feltételezhető, viszont a kis méretű jeltárcsával való mérés jobb eredményekre vezetett. Ennek oka feltételezhetően az anyagok minőségében van, mivel a kis jeltárcsa egy gyári kialakítású, homogén fényes felület, addig a másik egy festett hátfallemezből készült. A tesztmérésnél hosszabb vonalú irányzás esetén a pontosság, a nagyobb jeltárcsa javára fordulhat.

A 28. ábrán látható alumíniumból készült sarokreflektor, csak szóró felületként működött, a lézer tartományában szükséges a tükröző felület kialakítása. Egy ilyen kialakítású jel már prizmaként működne. További vizsgálatot igényelne az átalakított eszköz. Egy ilyen, viszonylag olcsó prizma hasznosan működhetne erdőterületen.

A különböző kéregtípusokra végzett távmérések hasonló eredményeket mutattak, ami azt bizonyítja, hogy a különböző kéregfelületeknek nincs számottevő hatása a mérésre. Terepi tapasztalataimra hivatkozva, hasznosnak látom további vizsgálatok végzését. A kéregfelület hatását, a méréskor a törzsfelület mellett közel haladó irányvonal esetében tartom célravezetőnek elvégezni.

A következőkben a lomb és gallyak okozta hatások eredményei mutatják a távmérésben okozott hibákat.

A táblázatok 2,5 – 5 – 10 – 20 – 30 – 40 – 50 m-re jeltárcsára és prizmára mért távolságok valódi hibáit mutatják. A négy táblázat különböző lyuksűrűségű rács okozta hatásokat tükrözi, ahol a terepen a rácsot az adott távolságban lévő jel előtt nagyjából fél méterre, majd amikor a rácsot az adott távolságban lévő jel előtti távolságban (műszerláb) helyeztük el.

Az 1×1 cm-es lyuksűrűségű rács távmérésben okozott hatásait (22. táblázat) vizsgálva megállapítható, hogy prizma nélkül mérve a távolságokat, egyáltalán nincs lehetőség a részletpont pozíciójának meghatározására. Ráadásul, ha a rács messze (30 m <) helyezkedett el a műszertől, akkor nehezen, vagy nem is volt képes a távolság meghatározására. Jeltárcsát használva minden esetben a rács távolságát határozta meg a műszer. Ezzel szemben, a mérendő ponton prizmat használva, a távolságokat minden esetben sikerült meghatározni a műszer pontossági határain belül. Az eredmények alapján az is kimutatható, hogy a jelhez, prizmához

közel eső (jelterjedést) zavaró felületek kisebb mértékben okoznak hibát a mérésben, mint a távolabbiak.

A következő vizsgálat egy dupla lyukméretű rácshálóval történt, igaz még így is csak 5%-kal kisebb záródást okozva (23. táblázat). A prizma nélküli üzemmódban az előző mérési sorozathoz hasonló mérési eredmények tapasztalhatók, a műszer minden esetben a rácsháló felület távolságát határozta meg. Prizma segítségével mérve a távolságokat, megintcsak sikeresnek mondható távmérések valósíthatók meg. A rácsháló elhelyezkedése nem befolyásolta a mérési pontosságot.

22. táblázat: Levélfelület szimuláció 1×1 cm-es lyuksűrűséggel.

1×1	rácsháló 0,5 m-rel a jel előtt – ε [m]		rácsháló az előző ponton – ε [m]	
	Jeltárcsa	Prizma	Jeltárcsa	Prizma
Referencia				
2,5 m	1,4	0,0	1,4	0,0
5 m	0,5	0,0	2,4	0,1
10 m	0,4	0,1	5,0	0,1
20 m	0,4	0,0	10,0	0,3
30 m	0,6	0,0	-	0,0
50 m	0,4	0,0	-	0,1

23. táblázat: Levélfelület szimuláció 2×2 cm-es lyuksűrűséggel.

2×2	rácsháló 0,5 m-rel a jel előtt – ε [m]		rácsháló az előző ponton – ε [m]	
	Jeltárcsa	Prizma	Jeltárcsa	Prizma
Referencia				
2,5 m	1,4	0,0	1,4	0,0
5 m	0,4	0,0	2,4	0,1
10 m	0,4	0,1	5,0	0,2
20 m	0,4	0,1	10,0	0,0
30 m	0,5	0,0	10,1	0,0
50 m	0,4	0,1	10,1	0,0

A 4×4-es lyuksűrűségű felület, záródottság tekintetében megint csak 5%-os javulás hozott, az előző rácshálóhoz képest (24. táblázat), viszont ebben az esetben már az volt tapasztalható, hogy a műszer nehezen, többszöri mérésindítás hatására tudta csak meghatározni a távolságokat (szürke színnel kiemelve a táblázatban). Prizma nélküli távmérés esetén – egy-egy mérés kivételével – még továbbra sem lehetett megmérni a célobjektum távolságát, de tapasztalható volt bizonytalan távmérés, a rácsháló felület sem mindig nyújtott kellő visszaverő felületet. Prizmával való méréseknél a távmérések pontosabbá váltak. Viszont kijelenthető, hogy a nagyobb lyukmérettel együtt járó nagyobb kitakaró felületek már növekvő akadályt képeztek a távmérésnek.

24. táblázat: Levélfelület szimuláció 4×4 cm-es lyuksűrűséggel.

4×4	rácsháló 0,5 m-rel a jel előtt – ε [m]		rácsháló az előző ponton – ε [m]	
	Jeltárcsa	Prizma	Jeltárcsa	Prizma
Referencia				
2,5 m	0,2	0,0	0,6	0,0
5 m	0,4	0,1	0,8	0,2
10 m	0,4	0,0	5,0	0,1
20 m	0,4	0,0	9,9	0,0
30 m	0,5	0,0	9,7	0,0
50 m	0,5	0,0	10,0	0,0

25. táblázat: Levélfelület szimuláció 8×8 cm-es lyuksűrűséggel.

8×8	rácsháló 0,5 m-rel a jel előtt – ε [m]		rácsháló az előző ponton – ε [m]	
	Jeltárcsa	Prizma	Jeltárcsa	Prizma
Referencia				
2,5 m	0,0	0,6	0,5	0,1
5 m	0,1	0,0	0,0	0,0
10 m	0,1	0,0	0,3	0,1
20 m	0,4	0,0	0,9	0,1
30 m	0,5	0,0	9,5	0,0
50 m	0,6	0,0	9,9	0,0

A legnagyobb lyuk – kitakaró felület arányú rácsháló egy hozzávetőlegesen 50%-os záródottságot jellemez (25. táblázat). Ez a mérettartomány (8×8 cm) már valószínűsíthetően a mérés teljes akadályozását, vagy ellenkezőleg a mérés teljes biztonságát teszi lehetővé, annak függvényében, hogy a rácsháló melyik része esik a jel útjába. Néhány esetben a mérés csak úgy volt elvégezhető, hogy elmozgattuk a rácshálót. Ennél a záródottságnál már prizma nélküli

üzemmódban is meg lehetett határozni a mért objektum távolságát, a pontosság tekintetében nem minden esetben kielégítően. Prizma használatával a mérések pontosnak mondhatók, viszont, mint a prizma nélküli módnál, néhány esetben (a táblázatban sötétszürkével jelölve) csak a rács mozgatásával sikerült eredményt nyerni a műszerből (amikor nem „kitakaró” pozícióban volt a rácsfelület).

A levélfelületet szimulálva, egyértelműen a prizmával és szűrő-előtéttel való mérés nyújt kellő biztonságot a TruPulse esetében

4.1.5. Összegzés

A TruPulse 360B és a Disto S910 típusú műszerek távmérési pontosságát vizsgáltam. Mindkét műszer lézeres távmérő egységgel felszerelt, amelyek (szinte) bármely felületre képesek távolságot meghatározni, valamint az előbbi műszer a prizmára való távmérést is támogatja.

Az elektronikus távmérés vizsgálatát a műszeregyüttest jellemző állandók meghatározásával és a távmérés hibájának kimutatásával végeztem. A méréseket rövid távolságban (< 30 m), laborban, és hosszú távolságban (~1000 m), alapvonalon is elvégeztem.

A mérés hibájának kimutatásához – megbízhatóbb eredményt nyújtó – nagy elemszámú (>100 db) mérést végeztem egy 90 m-es mérőpályán. A vizsgálat különböző jelfelületek hibahatásának kimutatására is irányult.

Az erdei körülmények között végzett távméréseket, az irányvonal útjába lógó levelek és ágak által okozott hibák is terhelik. Különböző lyukméretű rácshálók segítségével vizsgálatot végeztem a távmérés pontosságának megállapítására, ahol az akadályozó felület a jel közelében, illetve a jeltől távolabb található.

A mérések alapján megállapítható a TruPulse és a Disto műszerek erdei környezetben való használhatósága.

További vizsgálatokat igényel:

- Fatörzs mellett, közeli irányzások vizsgálata, különböző körülmények között.
- Az időjárás (eső, köd, napsütés okozta melegedés) hatásainak vizsgálata.

4.2. A vízszintes szögmérés vizsgálata

A műszerek térképezési pontosságának meghatározásához, a távmérés vizsgálata mellett a vízszintes szögmeghatározás pontossági vizsgálata szükséges. A dolgozatban két típusú szögmérő méréseit elemeztem. A TruPulse mágneses azimut meghatározásával, a Disto irányérték mérésével határozza meg a vízszintes szögeket. A mágneses azimut meghatározási mód különösen érzékeny a környezeti hatásokra. Ráadásul a TruPulse műszer nem egy rögzíthető mágneses északi irányhoz képest tud szögeket meghatározni (mint a Wild T0), hanem minden leolvasáshoz méri az északi irányt is. A szögmérés pontosságának ellenőrzéséhez egyedi megoldásokat alkalmaztam, amelyek részben igazodtak geodéziai eljárásokhoz. A műszerekhez kialakított vizsgálatok nem az érzékelők pontosságát jellemzik (amelyet a műszergyártó megad), hanem egyéb mérést befolyásoló tényezőt is magában

hordoznak. Ezáltal a terepi használatból adódó jellemző pontosságra határoztam meg paramétereiket.

Elsőként egy rögzített mérőpályán vizsgáltam a műszerek méréseit, amely mérési sorozat a műszerekkel való irányzási pontatlanságot is magában hordozta.

A további vizsgálatok a mágneses szögmérés és a mérést befolyásoló tényezők irányába fordultak, vagyis a TruPulse mérési tulajdonságainak megismerésére. A TruPulse irányzási pontosságával is foglalkoztam, amely egy mérési hibahatár megállapításával volt egyértelműen jellemezhető.

4.2.1. A szögmérés vizsgálata mérőpályán

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja, a műszerek vízszintes szögmérési pontosságainak meghatározása iránymérés (mágneses azimut és irányérték) végzésével (26. táblázat). Mivel a TruPulse 360B mágneses északhoz képest határozza meg a vízszintes irányokat, így mérési pontosságot a mágneses szenzor érzékenységből, illetve a mágneses mezőt zavaró hatásokból adódó hibák is terhelik. A műszer szögmérésének vizsgálata ezáltal nem csak a pontosságot, hanem a folyamatosan működő szenzor használhatóságát is tükrözi. A Disto S910 szögmérője nincs összefüggésben a mágneses tér hatásaival, így a szögmérés alkalmazása stabilabb értékeket eredményez, mint a másik műszer esetében. Viszont az utóbbi műszeren az irányérték kiolvasására nincs lehetőség, csak visszaszámolható, így szintén hibát hordoz az adat (a koordináták élesebb adatokkal vannak megadva, mint a távmérés élessége).

A szögmérések vizsgálatához aszfalt burkolatú, 12×25 m-es oldalhosszúságú sík területet választottam.

A pálya négy sarkánál, illetve a középvonal két végén GPS mérésekre is ideális helyen Hilti szegekkel megjelöltem a mérőpontokat, vagyis 6 darab pontot.

Az iránymérések a szögmeghatározás módszertana szerint az irányzásból adódó pontatlanságot is hordozzák, így egy terepi alkalmazásnak megfelelően.

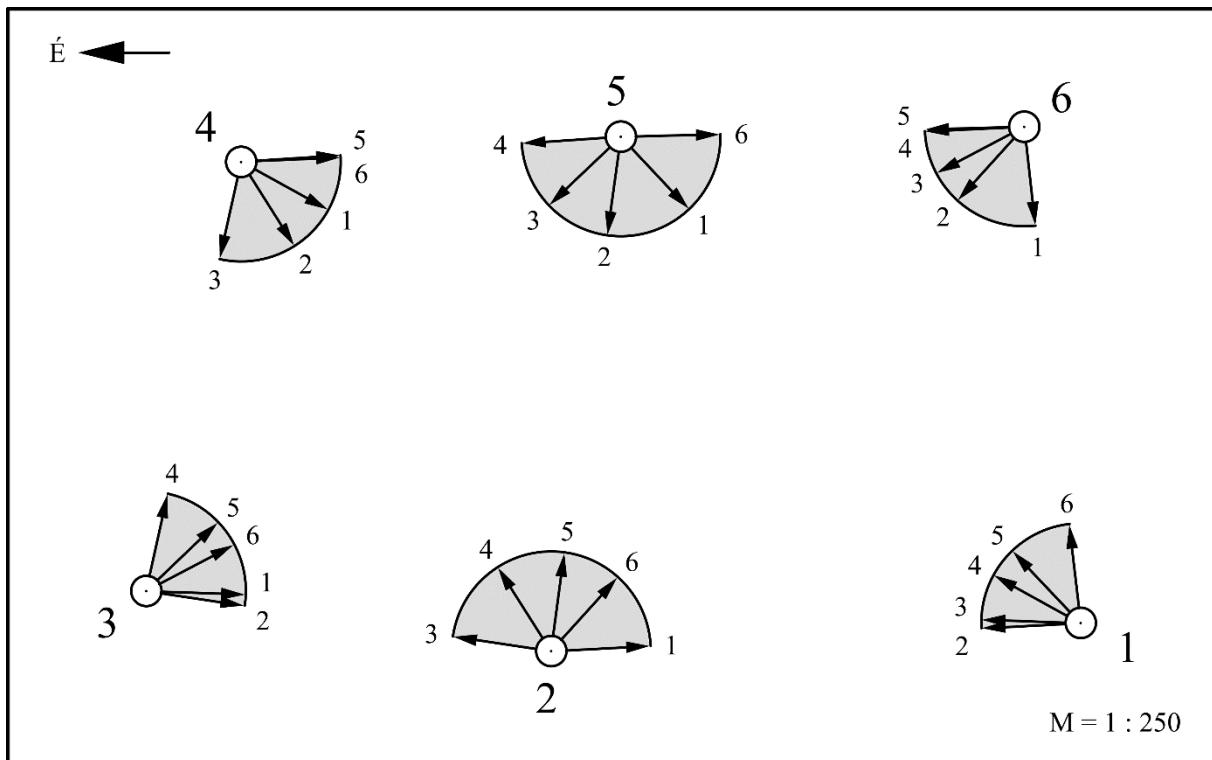
26. táblázat: Kalibráló mérések V. – szögmérés vizsgálata.

Kalibráló mérések V. – szögmérés vizsgálata		
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, SOE futballpálya		
<i>Mérés célja:</i> szögméréssel kapcsolatos pontossági értékek meghatározása, mérési hibával terhelt		
<i>Vizsgálat módszere:</i> szögek minden kombinációban való méréssel		
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott		
Műszervizsgálat tárgya		
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Leica Disto S910
<i>Vizsgált paraméter:</i>	mágneses azimut	irányérték

A vizsgálat mérési módszere

A vizsgálat módszere, hogy minden pontról méréseket végzünk a másik öt pontra (31. ábra). A vízszintes szögméréseket. A mérési eredményeket összevetve a referencia értékekkel,

megkapjuk a TruPulse 360B mágneses szögmérésének, illetve a Disto S910 irányérték mérésének pontosságát.



31. ábra: A mérőpályán végzett szögmérések.

A mérések ismertetése

A mérésekhez mind a hat ponton műszerlábát állítottam központosítást lehetővé tevő talprésszel. Először a pontok koordinátáit határoztam meg GPS-VRS technológiával, 400 pozíciót mérve minden ponton a Leica GPS1200-as műszerrel. A mérést több napos kihagyással megismételtem, centiméteres pontossággal egyező eredményeket kapva. Majd Leica TCR 1205 típusú mérőállomással is mérve, kiegyenlítettem a pozíciókat.

A következő lépésben a TruPulse 360B műszerrel központosan az egyes lábokról irányoztam a többi ponton központosan elhelyezett prizmat, és rögzítettem manuálisan a vízszintes szög adatokat.

A Disto S910 esetében a TruPulse műszernél alkalmazott eljárással dolgoztam egy Wild gyártmányú jeltárcsát használva. Az adatrögzítés térinformatikai rendszerben 2D koordinátával történt.

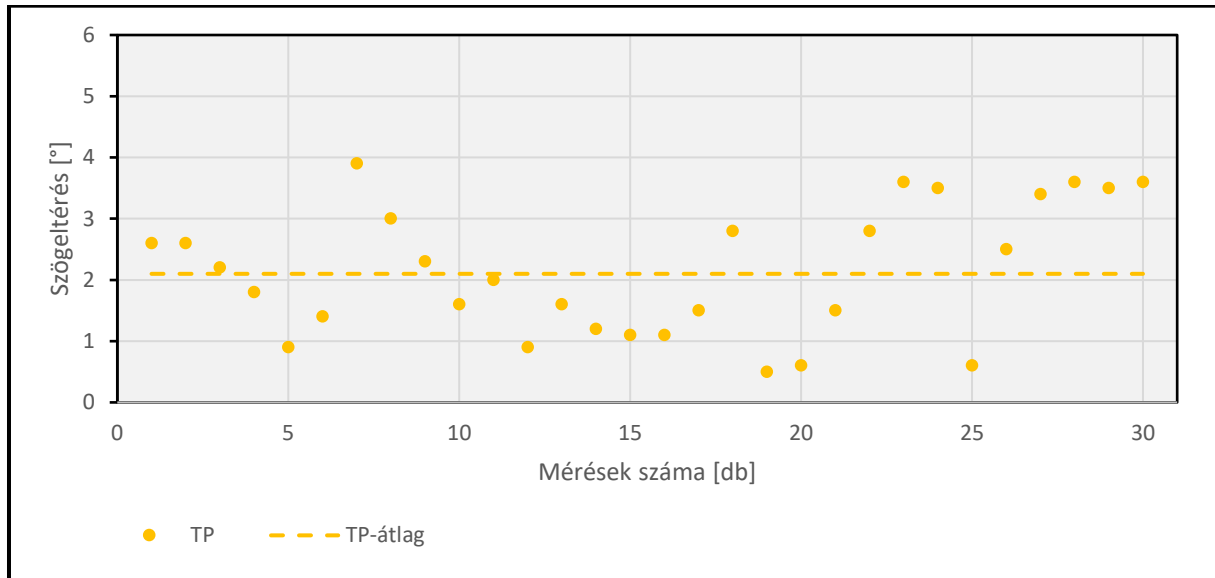
A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A szögmérés pontosságának meghatározásához, a referenciapontok koordinátáiból számoltam vissza az egyes pontokról mérhető irányszögeket, és ezeket vettem az összehasonlítás alapjául. A TruPulse esetében mivel mágneses azimutokat határozunk meg, azok közvetlenül, vagy a mágneses tájékozási állandóval való javítás után összehasonlíthatóvá válnak. A mágneses szögek javításához meghatároztam a tájékozási állandót (a két legtávolabbi pont között), ami

+4,0° lett. A Disto műszernél, a rögzített koordinátákból visszszámított irányszögeket használtam az eltérések meghatározásához.

A szögeltérések számítása után az adatokat elsőként abszolút értelemben vizsgáltam.

Abszolút értelmű vizsgálatnál a TruPulse átlagos szögeltérése +2,1° volt, ehhez képest hozzávetőlegesen ±1,5° eltérés figyelhető meg az adatok (30 db) között (32. ábra).



32. ábra: A TruPulse szögmérési hibái abszolút értelemben.

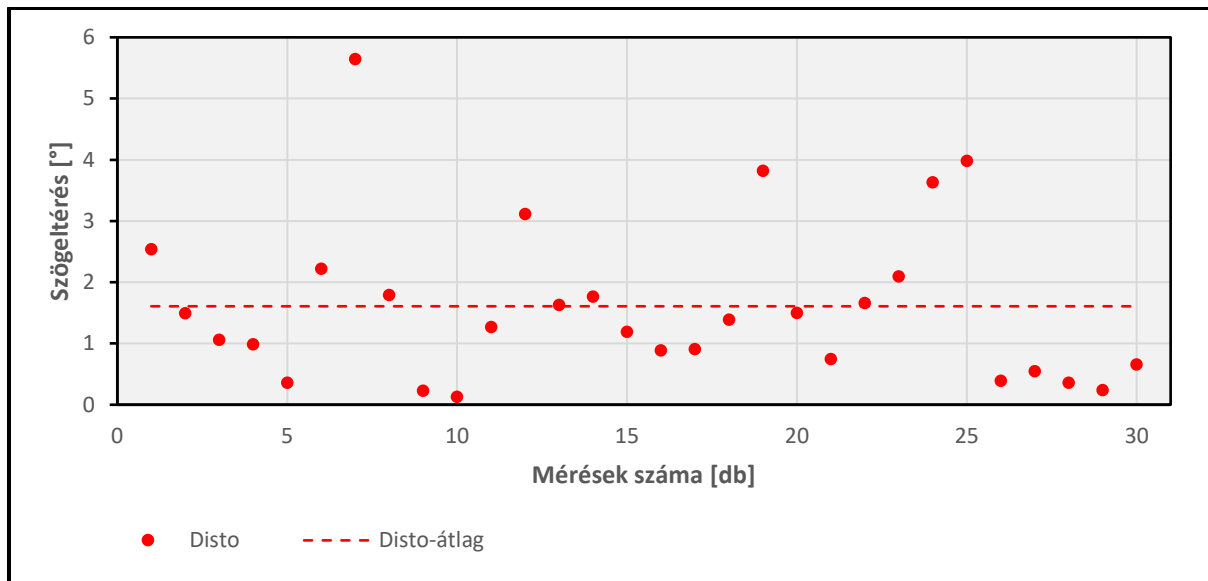
Ez a 0,5-4,0° szögeltérés erdőterületen, egy átlagos felmérést alapul véve, ahol a mérések nagy része 5 és 30 m közé esik, hozzávetőlegesen 0,2-2 m eltérést okozhat. Ha pedig egy sokszögelés a mérésünk célja, ahol a műszerrel 50-70 m-re irányzunk és mérünk, szélső esetben 4 m nagyságrendű hibát is okozhatunk a mérési adatokkal.

Az eltérések nagysága a fő égtájak szerint nem mutat egyenletes eloszlást (27. táblázat), az északi és a nyugati égtájak felé való irányzások nagyobb szögeltérést mutatnak.

27. táblázat: Szögeltérések az égtájak szerint a TruPulse 360B esetében.

	É	K	D	NY
Átlagos eltérés [°]	3,0	1,8	1,1	2,8
mérés [db]	9	5	8	6

A Disto műszer esetében az átlagos szögeltérés +1,6° volt, ameytől az eltérések nagy része 1°-os eltérést mutat, szintén 1,5°-os szélsőértékkel és néhány kiugró értékkel. Tehát a koordinátákból visszavezetett szögek alapján a műszer szögmérési pontossága valamivel jobbnak nevezhető, mint az előző műszernél (33. ábra).



33. ábra: A Disto szögmérési hibái abszolút értelemben.

A szögeltérések számítása után az adatokat valós eltérésük szerint vizsgálva, a következő mutatókkal jellemezhető a két műszer vízszintes szögmérése (28. táblázat):

28. táblázat: A relatív szögeltérés mérőszámai, a TruPulse és a Disto műszereknél [°].

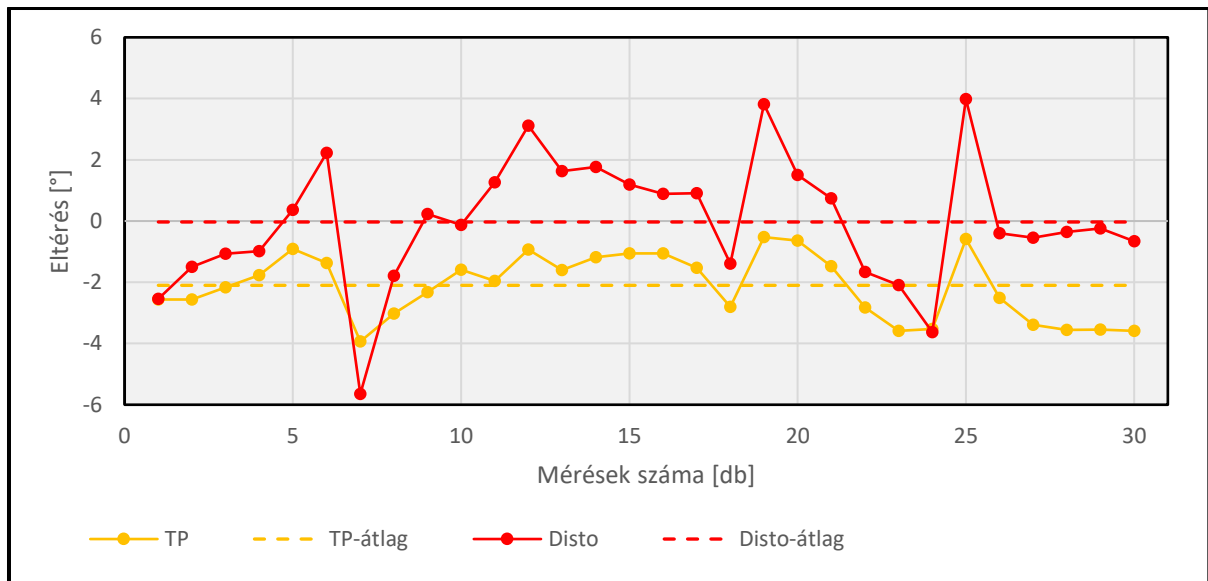
(REL)	TP B360	Disto S910
Átlag [°]:	-2,1	-0,0
Min. [°]:	-3,9	-5,6
Max. [°]:	-0,5	3,9
Medián [°]:	-2,1	-0,2
Szórás:	1,06	2,10

A táblázat adatai alapján a Disto méréseinek átlaga nagyságrendekkel jobb, mint a másik vizsgált műszeré, viszont (néhány) durva kiugró mérési adatok is jellemzik, amelyek gyakoriságát a 32. ábra jól szemlélteti.

A mérések alapján a műszerek szögmérési középhibája:

$$\mu_{\text{TruPulse}} = \pm 2,38^\circ$$

$$\mu_{\text{Disto}} = \pm 2,06^\circ$$



34. ábra: A TruPulse és a Disto szögmérési hibái tesztpályán.

A TruPulse méréseinek eltérése minden esetben negatív irányú volt, az átlagérték $-2,1^\circ$. Ez a szabályos hiba feltételezhetően a műszer tájékozásából adódhat, amelyet a mérés megkezdése előtt egy pontban végeztem el, és a kiszámított állandót minden mérésre vonatkozóan használtam.

A szögmérésekben tapasztalható eltérések a specifikáció alapján vártnál nagyobb mértékűek, különösen a Disto esetében. Bár az azonos pontokra való mérések arányaiban hasonló eltéréseket tükröznek a két műszernél, a referencia ponthálózat megbízható, amit egy ellenőrző méréssel is biztosítottam. Feltételezett ok lehet, az irányzásból adódó pontatlanság, leginkább a TruPulse esetében. A TruPulse műszer pontatlanságát a tájékozási állandó hibája is okozhatja. Mivel a Disto műszer nem szolgáltat vízszintes szögmérési adatokat, így a meghatározott pozíció alapján történt visszaszámítás egyéb hibákat is hordoz. A későbbi mérések alkalmával derült fény arra, hogy ehhez a méréssorozathoz, a Disto műszer általam kialakított rögzítése nem sikerült tökéletesre, így a műszer elmozdulása is okozhatta az eltéréseket.

A szögmérések eltérései alapján elmondható, hogy mindkét műszer alkalmas erdőterületen való térképezésre, fák pozíciójának a felmérésére és belső vonalak meghatározására. Alappontsűrítési eljárások alkalmazásához még további vizsgálatok szükségesek.

Mágneses tájékozási szögek vizsgálata

A tájékozási állandó vizsgálatához egy összehasonlítást végeztünk különböző mágneses elvű műszerekkel, ismert alappontok között.

A TruPulse (mágneses szögmérők) pontos vízszintes szög meghatározásának elengedhetetlen része, hogy a méréseink irányát a térképi északhoz igazítsuk. Ez a gyakorlatban a tájékozási állandó meghatározásával érhető el, amelyhez a mérés megkezdése előtt az ismert álláspontunkról egy ismert pontot irányozva, a számított irányszög és a műszerrel meghatározott mágneses azimut különbségeként képezhetjük. Ehhez az irányzás pontossága is nagymértékben hozzájárul, amely a vizsgált műszer esetében kisebb, mint a geodéziai műszereknél megszokott.

A mágneses tájékozási szöget távoli (1-2 km) és közeli (50 m) irányokra mértük meg. A mérést a TruPulse mellett, a hagyományos Wild T0 teodolittal és a MapStar Compass műszerrel is elvégeztük (29. táblázat).

29. táblázat: Mágneses tájékozási szögek az egyes műszerek esetében.

	Irányszög	Compass			TruPulse			WILD T0		
Távoli irány	60,3°	55,3°	55,5°	55,4°	56,7°	56,9°	56,9°	56,4°	56,4°	56,4°
		5,0°	4,8°	5,0°	3,6°	3,4°	3,4°	3,9°	3,9°	3,9°
	Átlagos tájékozási szög		4,9°			3,5°			3,9°	
Közeli irány	315,6°	310,5°	310,3°	310,3°	309,1°	309,1°	309,0°	311,7°	311,8°	311,8°
		5,1°	5,3°	5,3°	6,5°	6,5°	6,6°	3,9°	3,9°	3,9°
	Átlagos tájékozási szög		5,2°			6,6°			3,9°	

A táblázat alapján jól látható, hogy a deklinációval terhelt szögmérés mekkora hibát hordoz. A hiba a műszerek pontossági paramétereit meg is haladja. A közeli és távoli irányokhoz tartozó tájékozási szögek különbségének oka még nem tisztázott, feltehetőleg a szátkereszt kialakítása befolyásolja leginkább a TruPulse esetében.

Azaz, a közeli és távoli irányok közti eltérés egy lehetséges magyarázata lehet a szögmérés pontosságánál tapasztalt hibának, amit a műszer irányzóberendezésének gyengesége okozhat.

4.2.2. Irányzásból adódó hiba meghatározása, határszög vizsgálatával

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja, a TruPulse 360B műszer irányzásból adódó pontatlanságának meghatározása. A TruPulse-zal való irányzás az egyszerű rögzítő szerkezet, valamint a kézből való használat miatt nem pontos. Ehhez mérten a szátkeresztje sem a geodéziai műszereknél megszokott finomságú. A prizmával és zajsűrővel való mérési módszernél lehetőség van a hiba nagyságának kimutatására is. Irányzásból adódó pontatlanság mindig terheli a méréseinket, amelyet a vizsgálattal kimutattam és egy oldalirányú (irányvonalra merőleges) hibát határoztam meg (30. táblázat).

30. táblázat: Kalibráló mérések VI. – irányzásból adódó hiba meghatározása.

Kalibráló mérések VI. – irányzásból adódó hiba meghatározása	
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, SOE Botanikus Kert, 90 m-es mérővonal	
<i>Mérés célja:</i> koordináta-hiba kimutatása a határszög meghatározásával	
<i>Vizsgálat módszere:</i> a lehetséges szögmérési hiba kimutatása prizmával való távmérés esetén	
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott	
Műszervizsgálat tárgya	
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B
<i>Vizsgált paraméter:</i>	szög- és távmérés

A vizsgálat helyszínéül egy mágneses-, illetve indukciós hatásoktól mentes területet választottam az egyetem botanikus kertjében. A helyszín azonos volt a nagy elemszámú távmérésnél bemutatottal, és szintén 0 m – 10 m – 20 m – 30 m – 40 m – 50 m – 90 m távolságokban történt a vizsgálat.

A vizsgálat mérési módszere

A TruPulse távmérésénél, prizmát és zajszűrőt használva kizárhatjuk a nem-prizmáról visszavert jeleket a távolság meghatározásához, vagyis csak korlátozott mértékben tudunk az irányvonallal a prizmaközéptől eltérni. A vizsgálatban azt a legnagyobb szögeltérést kerestem (vízszintes értelemben), ahol még meg tudok távolságot határozni, ezzel kifejezve a mérésbe viheto legnagyobb oldalirányú hibát.

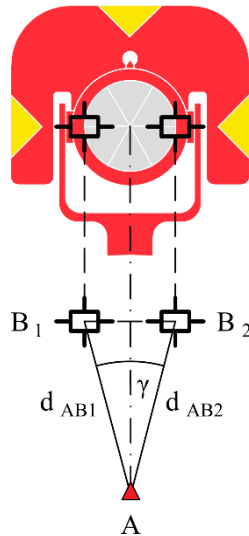
A méréshez a TruPulse-t a Sokkia SET3000 műszerre központosan rögzítettem (35. ábra). A szögelfordulások mérésére a mérőállomás másodperc leolvasási élességű szögeit használtam.



35. ábra: A határszög megállapításához alkalmazott műszerrögzítés.

Elsőként a mérőállomással pontosan megirányoztam a prizmát, majd ezzel az irányzással mértem a TruPulse-zal és meghatároztam a távolságot. Ezután a TruPulse mérési sorozataival, a prizmaszem bal és jobb oldalán (36. ábrán B_1 és B_2 helyzet) megkerestem azt a pozíciót, ahol a távolsági adat (d_{AB1} és d_{AB2}) még megegyezik a középvezonalba mért távolsági értékkel. Ez jellemzően a prizmaszem széle volt, mint a 36. ábrán látható. Ezt a pozíciót 3 egymás utáni, azonos távolsági adat esetén fogadtam el, majd a mérőállomásra leolvastam a két szélső helyzet vízszintes szögértékét. A szögértékek különbségéből képezve γ szöget ($\gamma/2$ -t neveztem határszögnek), számítható az oldalirányú eltérés.

A prizmaszem szélétől tovább haladva, a mért távolsági adatban eltérést tapasztaltam az előzőleg meghatározotthoz képest, majd nagyobb szögelfordulásnál már nem tudtam távolságot mérni. A gyakorlatban nem tudhatjuk a mérendő távolság nagyságát, így azt a szögeltérést is meghatároztam, ahol még egyáltalán távolságot lehet mérni a műszerrel. A módszer a pontos értéknél leírtaknak megfelelően történt, viszont itt rögzítettem a távolsági értékeket is.



36. ábra: A határszög megállapítása GPR 111 prizmával.

A mérések ismertetése

A mérőpályát a Sokkia mérőállomással alakítottam ki, milliméter pontossággal. A távméréseket a módszertannál leírtaknak megfelelően végeztem el a különböző távolságban felállított Leica GPR 111 típusú prizmára.

A TruPulse-zal és hozzá tartozóan a Sokkia műszerrel egy távolságra négy mérést végeztem. Egy mérőpár történt (általában) a prizmaszem szélére, ahol még a helyes (prizmaszem közepére való irányzással meghatározott) távolsági adatot kaptam, majd egy másik mérőpár elvégzése, egy olyan szélső szögelfordulás mellett, ahol még a műszerrel meg tudtam határozni a (már nem pontos) távolsági adatot.

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

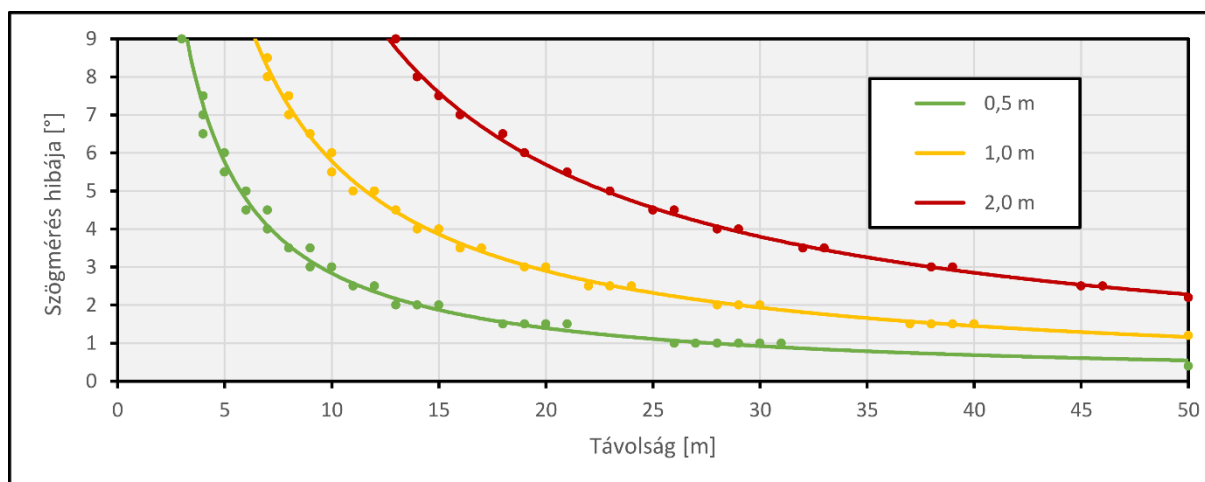
A szélső helyzetben mért távolsági adatból és a mérőállomás szögméréseiből megállapított $\gamma/2$ értékből számítottam egy derékszögű háromszög szöggel szemközti befogóját, mint irányzásból adódó legnagyobb hibát.

31. táblázat: Az irányzásból adódó oldalirányú távolsági hiba.

Ref. táv	γ	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]
10 m	$\Delta 1: < 0,5^\circ$ $\Delta 2: < 1^\circ$	0,05	0,09
20 m		0,03	0,11
30 m		0,04	0,10
40 m		0,04	0,15
50 m		0,06	0,15
90 m		0,03	0,19

A 31. táblázat alapján látható, hogy a még pontos távmérés esetén néhány centiméteres hiba ($\Delta 1$) keletkezik. A gyakorlatban való alkalmazás tekintetében a $\Delta 2$ érték mérvadó, ahol a műszer még mért távolságot, de már nem a pontos értéket. Így a műszerrel, 50 m távolságig 10 – 15 cm oldalirányú eltérést viszünk a térképezésbe.

A terepi használathoz – általános felhasználási céllal - készítettem egy grafikont (számított adatokból nomogramot készítve), amely segíti a műszerhasználót (37. ábra), így akár a műszer „Terepi útmutatójában” is hasznos segítséget nyújthatna. Az ábrán egytized pontossággal a számított értékek vannak megjelölve (ponttal).



37. ábra: Szög és távolság függvényében bekövetkező hiba (0,5 m; 1 m; 2 m).

A TruPulse szögmérésben tapasztalt eltérés elemzésekor (Kalibráló mérések V.) a mérési hiba egyik feltételezett összetevője az irányzából adódó hiba volt, amely a vizsgálat alapján, prizmaóra való méréskor, nem lett (lehet) nagyobb, mint $\pm 0,5^\circ$ (jellemzően 10-20°).

4.2.3. A vízszintes szögmérés vizsgálata referenciaértékekkel

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A vizsgálat célja a TruPulse 360B műszer teljes horizonton vizsgált szögmérési eltéréseinek meghatározása, az irányzából adódó pontatlanság kizárásával. A kiértékelés a mágneses szenzor pontosságára, illetve működési körülményekből adódó pontosságára ad választ. A műszert egy mérőállomáshoz rögzítve másodperc pontosságú elfordulások biztosíthatók, így az irányzából eredő hibákat kizártnak tekinthetjük. A vizsgálatához a műszer egy 1 méter hosszúságú alumínium rúdon volt a mérőállomáshoz központosan rögzítve, így a TruPulse közvetlen környezetében nem volt a mágneses teret befolyásoló tényező (32. táblázat).

A vizsgálat helyszínéül egy mágneses hatásoktól mentes területet választottam az egyetem botanikus kertjében.

32. táblázat: Kalibráló mérések VII. – szögmérés vizsgálata referenciaértékekkel.

Kalibráló mérések VII. – szögmérés vizsgálata referenciaértékekkel	
Mérés helyszíne: Sopron, SOE Botanikus Kert	
Mérés célja: szögméréssel kapcsolatos pontossági értékek meghatározása	
Vizsgálat módszere: mágneses azimutmérés vizsgálata egy referencia műszerhez igazítva	
Referenciaadat: mérőállomással meghatározott	
Műszervizsgálat tárgya	
Vizsgált műszer:	TP 360B
Vizsgált paraméter:	szögelfordulás

A vizsgálat mérési módszere

Egy mérőállomás állótengelyének meghosszabbításába központosan szerelt TruPulse-zal 30 fokos elfordulásokkal rögzíttem a mágneses azimut értékeket. A szögelfordulás mérését Sokkia SET3000 mérőállomással biztosítottam. A mérőállomás a lézeres távmérő szögmérésénél több nagyságrenddel pontosabb, így szögmeghatározása referenciaértékként megfelelő. A méréssel nem vizsgáltam az északi irány pontosságát, csak a vízszintes szögolvasások értékét. A méréseket különböző körülmények között megismételtem. Méréseket végeztem új és használt elemeket alkalmazva, vizsgáltam a műszer ki- és bekapcsolásának hatását, valamint külön figyelmet fordítottam a kalibrált, illetve kalibrálatlan állapotú digitális iránytűvel való mérésekre. A mérési sorozatoknál nem vettem figyelembe a mágneses észak meghatározásának pontosságát, ahol esetenként több fokos eltérés volt tapasztalható. Minden mérés kezdetén, az aktuális 0 iránytól indítottam a körbefordulást.

A mérések ismertetése

A mérésekhez egy alacsonyra állított műszerlábra központosítottam a mérőállomást, majd az adaptert és az alumínium rudat rögzítve, helyeztem el a TruPulse műszert, mindig a vizsgált körülménynek (új-használt elem, kalibrálva-kalibrálatlanul, ki- és bekapcsolás után) megfelelően.

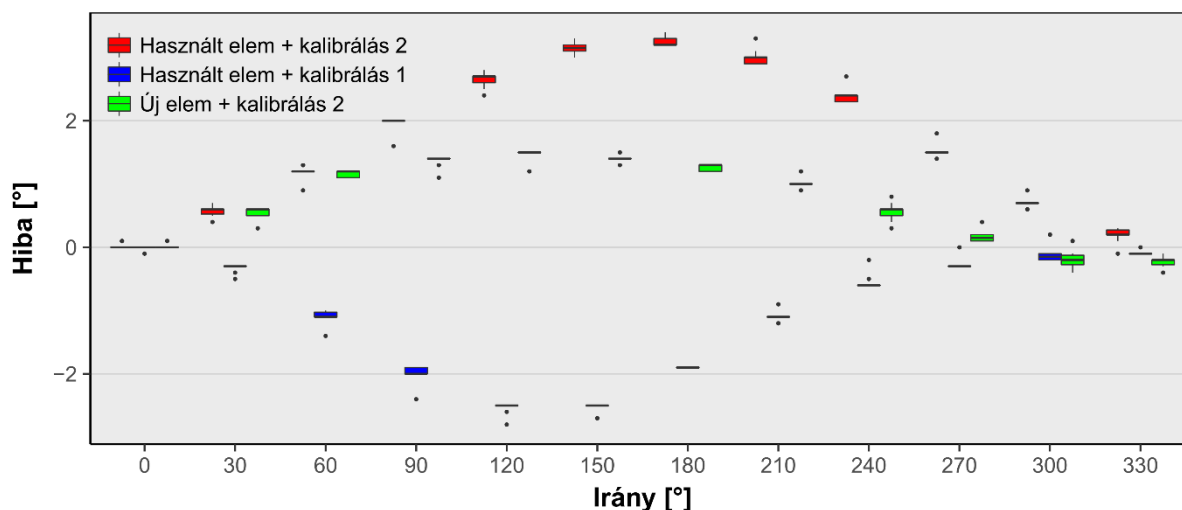
A méréseket mindig a TruPulse által meghatározott északi iránytól indítottam. Majd 30°00'00'' elfordulást a mérőállomással végeztem, így a TruPulse-zal mérhettem a következő azimut értéket. A méréseket minden irányban tízszer végeztem el egymás után és Bluetooth kapcsolaton keresztül a telefonomra rögzítettem az adatokat.

A méréseket több időpontban megismételtem, ezen mérési sorozatokat a feldolgozásnál megkülönböztettem. Az értekezésben bemutatott különböző mérési sorozatok „kalibrálás 1” és „kalibrálás 2” megnevezéssel vannak feltüntetve.

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A mérések eredményeit egy boxplot diagram jól szemlélteti (38. ábra), a hibák nagysága és szórása alapján egyértelmű következtetések adódnak.

Az ábrán látszik, hogy az egy irányba való mérések szórása jellemzően 0,1-0,2°. Az irányfüggő szisztematikus hiba szinuszos jelleget mutat, amely a használt elemnél nagyobb eltérésű.



38. ábra: Vízszintes szögeltérés a teljes körön vizsgálva, különböző körülmények mellett.

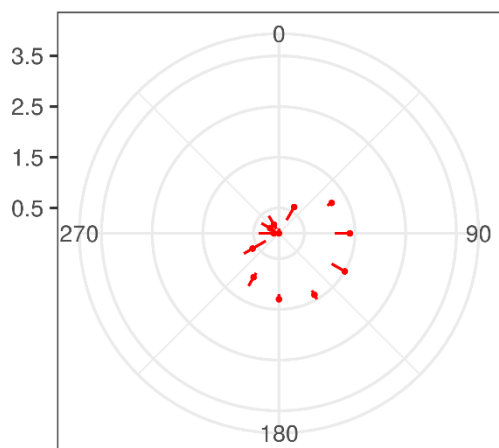
Az ábrán egy új elemmel és egy használttal működtetett (kalibrálás 2) TruPulse mérési sorozatát elemezhetjük. Valamint szükséges rámutatni, hogy egy másik alkalommal (kalibrálás 1) és másik helyen végzett mérési sorozatban eltérés tapasztalható. Nem zárható ki a mérési körülmény hatása sem, azonban az új elemmel való mérések között nem tapasztalható ilyen mérvű eltérés. Az eltérés okát az elem állapotára vezettem vissza. Az új elemmel történő mérések kisebb eltérést mutatnak egy 360°-os körön végigmérve, mint egy használt elemmel történő mérés. Azt is megfigyelhetjük, hogy a mérések szórására nincs hatással az elem állapota.

A következő elemzésben a hibákat abszolút értelemben vizsgáltam a szemléletesebb összevetés miatt. Az ábrákon egy adott irányban tapasztalható átlagos hibát ponttal jelöli, valamint a rajta lévő vonással a mérés szórása van megadva. Nagy hiba esetén (40. ábra) a szórás nem érzékelhető a méretarány miatt.

Az első összehasonlításnál azt vizsgáltam, hogy műszer kalibrálása és mérési sorozat végzése után kikapcsolva, majd újra bekapcsolva, kalibrálás nélkül folytatva a mérést, van-e változás a szögmérésben. A 40. ábrának megfelelő eltérést tapasztaltam (DK-i irányban 15°-os eltérés), amely egy kalibrálatlan műszerrel való mérési hibához hasonlít. A kikapcsolásnak, a műszerleírás szerint, nem kellene hibát okozni, viszont méréseim alapján előfordultak ilyen jellegű eltérések.

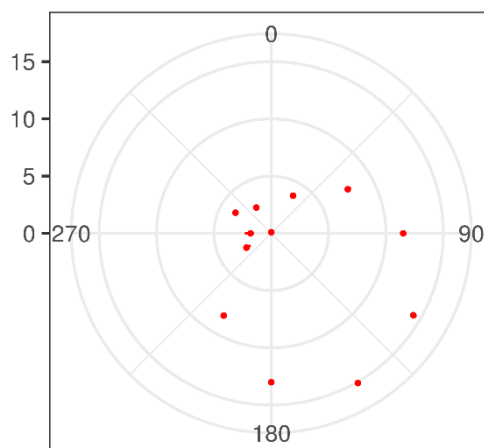
A 39. és 40. ábrán látható eltérések egymást követő mérések eredményei, ahol a két mérési sor között kikapcsoltam a műszert. Az eltérés hasonló irányokban nő meg, viszont a kikapcsolás utáni mérésnél nagyjából háromszoros eltérés tapasztalható. Az adott irányba való mérések szórása a két méréssorozat között hasonló mértékű volt.

Az új elemmel való méréshez hozzá kell tennem, hogy nem minden esetben tapasztalható ilyen eltérés, viszont ha előfordulhat, akkor számításba kell vennünk. Ehhez a vizsgálatához több mintavételre van szükség, mint amit elvégeztem.



- új elem
- kalibrált digitális iránytű
- alkalom: 2. kalibrálás

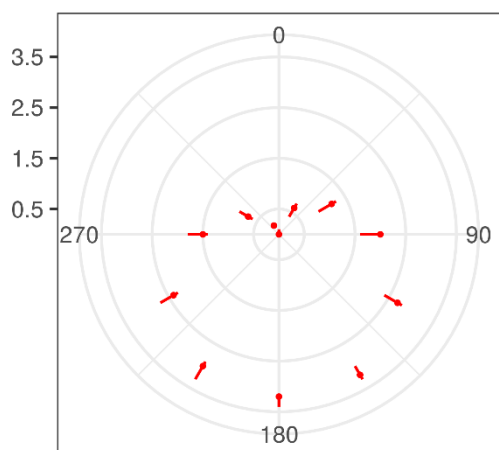
39. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések I [°].



- új elem
- ki- és bekapcsolás után mérés
- kalibrálatlan digitális iránytű
- alkalom: 2. kalibrálás

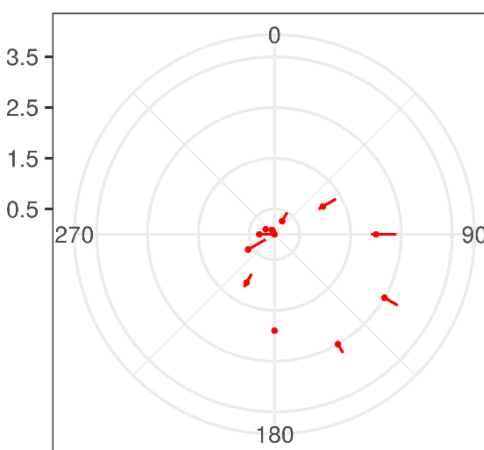
40. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések II [°].

Azonos mérési sorozatban (39. és 41. ábra) új- és használt elemmel vizsgálva a méréseket, nem tapasztalható összefüggés, mind az eltérések nagysága, mind az iránya megváltozik. Egy másik mérési sorozatban vizsgált használt elemmel való működést (42. ábra) vetjük össze az új elemnél tapasztalt eltérésekkel, akkor azt láthatjuk, hogy az (abszolút értelmű) eltérések hasonló irányban keletkeznek, a mértékük viszont növekedett. Ez arra enged következtetni, hogy az eltérés iránya a kalibrálás függvénye, igaz a műszer mindig elfogadta a kalibrálást. Ennek igazolása további vizsgálatokat igényel.



- használt elem
- kalibrált digitális iránytű
- alkalom: 2. kalibrálás

41. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések III [°].



- használt elem
- kalibrált digitális iránytű
- alkalom: 1. kalibrálás.

42. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések IV [°].

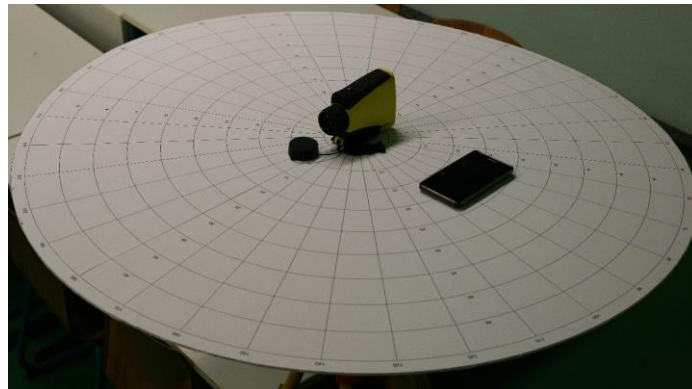
Az eltérések jellemzően délkeleti irányban a legnagyobbak és mértékadó előfordulásuk északkelet – délnyugati horizontfélben található. Az eltérések nagysága, új elem esetén $1,5^\circ$ -nál kisebb, használt elem esetén $2,5^\circ$ -nál kisebb. A hibák növekedésével az északi irány meghatározása is egyre pontatlanabbá válik, aminek vizsgálatával egy másik mérésorozatban foglalkoztam. Egy példa említése: az újra bekapcsolt műszer esetében (40. ábra), az északi irány eltérése hozzávetőleg (nem mértem pontos értéket) 6° volt. A hibák valószínűsíthetően a kalibrációs eljárásra vezethetők vissza.

4.2.4. Mágneses hatások vizsgálata a szögmérésben

Elektronikus műszerek hatása a mágneses szögmérésre, durva hibák forrásai

A TruPulse 360B vízszintes szögolvasása mágneses elven működik, ezáltal a különböző elektromos berendezések hatást gyakorolnak, a műszer magnetométerén keresztül, a szögmérés pontosságára, helyességére. A lehetséges elektromos eszközök közül elsősorban a mobiltelefon hatásaival foglalkoztam. A TruPulse adatainak rögzítésére is ezeket az eszközöket használhatjuk. A műszerek egymással Bluetooth kapcsolaton keresztül kommunikálnak.

Elsősorban a terepi gyakorlat és a vizsgálat számára hasznos információt akartam szolgáltatni, egy távolsági adat (és irány) meghatározásával, ahol már nincs hatása egy elektronikus eszköznek. Egy Lenovo A536-os mobiltelefon hatásait mértem. A méréshez egy 10 fokenként és 5 centiméterenként felosztott 50 centiméter sugarú körlapot készítettem (43. ábra), azonban a méréseket csak a négy fő égtájban, 10 centiméterenként végeztem, valamint függőleges helyzetben. A mérést az egyetem Botanikus Kertjében végeztem.



43. ábra: A mágneses vizsgálatához használt körosztás.

Az így kapott adatok alapján azt a megállapítást teszem, hogy az adatgyűjtőknek 40 centiméteres sugarú körön kívül nincs hatása a mérésre, azon belül pedig durva hibát okozhat, akár 180° -kal eltérő szöget eredményezve. A pontos megállapítás, részletesebb méréseket igényel.

A mágnesezhető tárgyak hatásit is fontosnak tartom megemlíteni, mivel befolyásolják a méréseket. Míg a Wild T0 műszerek esetében rutinszerű művelet volt – a vízszintes kör

beállításának idejére – a mágnesezhető tárgyak (óra, ékszer stb.) levétele, addig a TruPulse gyakorlati alkalmazásában ez már nem vált szokássá. Pedig a műszer még jobban kitett ezen hatásoknak, mivel valós idejű (folyamatos meghatározás) mágneses szögmérés történik. Durva jellegű hibát okoznak a mágneses napszemüveg-lencse rögzítővel ellátott szemüvegek, illetve a mágneses ékszerek. Szerencsés esetben ezeket a durva hibákat még terepen észrevehetjük. A mágneses tárgyak durva hibái tág határok között mozognak, esetenként nem változik a leolvasott szög értéke a horizonton való körbeméréskor. Egyéb mágnesezhető tárgy kis hatást gyakorol, gyakorolhat a mérésre, általában a műszer pontosságának határain belül.

4.2.5. Összegzés

A vízszintes szögmérés pontosságának meghatározását a TruPulse 360B és a Disto S910 műszereknél végeztem el. A TruPulse mágneses szögmérés elvén a Disto irányérték mérésével határozza meg a vízszintes szöveget.

A műszerek méréseit egy hatszög alakú pályán vizsgáltam, ahol az egyes sarokpontokból a többi sarokpontra számított irányszögek jelentették a referencia értékeket.

A mérésekből meghatározott középhiba nagysága a műszerspecifikációk által közölt értékeket meghaladta, ezért további vizsgálatokat végeztem. A további vizsgálatok a kutatás elsődleges műszerének, a TruPulse mérési tulajdonságainak meghatározására irányultak. A kimutatott mérési hibák alapján három hibaforrás vizsgálatával foglalkoztam: az irányzási pontosság, a műszer mágneses szenzorának kalibrációja, valamint a mágneses hatások.

A tájékozási állandó meghatározását kulcsfontosságúnak tartottam, amely mind irányzásból, mind mágneses hatásból származó hibákat hordozhat. A méréseket több műszerrel (Wild T0, TruPulse 360B, Compass Module II) elvégeztem, valamint vizsgáltam a közeli- és a távoli irányzások hatását is.

Az irányzási hiba kiküszöbölése érdekében a TruPulse műszert egy mérőállomásra rögzítettem, így másodperc pontosságú referencia-szögértékeket (elfordulásokat) biztosítva. A mágneses szögmérés pontosságát különböző körülmények között (elem töltöttségi állapota, ki- és bekapcsolás hatása, hely, kalibrálás) vizsgáltam.

Végül, a mágneses méréseket terhelő, az adatgyűjtés során előforduló durva hibát okozó körülmények kimutatására végeztem vizsgálatokat. Az elsődleges célom, a TruPulse mérési adatainak gyűjtésére is használható mobiltelefon mérési eredményeket befolyásoló hatásának kimutatása volt.

Bár a vizsgálat mindig újabb kérdések elé állított, és állít, az eredmények alapján választ kapunk a TruPulse erdei körülmények közti térképezéshez való alkalmazhatóságra.

További vizsgálatokat igényel:

- A mágneses teret befolyásoló tényezők hatásának vizsgálata.

4.3. A vizsgálat eredményeinek értékelése

A kalibráló mérések elvégzésével a vizsgált TruPulse 360B és Disto S910 műszerek állandóinak és pontossági értékeinek meghatározása volt a cél. A meghatározás a távmérés és a vízszintes szögmérés értékeire vonatkozott, amelyek a síkrajzi térképezés terepi adatai.

A távmérés eredményei:

Mivel a műszerek lézertáv mérővel határozzák meg a távolságot, így azok összeadóállandójának, méretaránytényezőjének és a távmérő pontosságának meghatározása jelentette a vizsgálat egyik lényegi részét.

A TruPulse műszert egy Leica GPR 111 típusú prizmával vizsgáltam rövid (~30 m) és hosszú (~1000 m) távolságok mérésével. Eredményül a következő értékeket kaptam: összeadóállandó (rövid távolságon): +26 mm, összeadóállandó (hosszú távolságon): +37 mm.

A két érték – a műszer 0,1 m-es kijelzési élességét és pontosságát (± 300 mm) figyelembe véve – összhangban van. Az összeadóállandó értékének 30 mm-t fogadtam el, különösképp, hogy az alkalmazott prizma általam meghatározott prizmaállandójával is megegyezik. A meghatározott érték:

- a TruPulse műszeregyüttes összeadóállandója: +30 mm.

A méretaránytényező meghatározása az összeadóállandóval együtt, hosszú távolságok mérésével történt. A számított értéke:

- a TruPulse méretaránytényezője: -440 mm/km.

A műszergyártó által közölt távmérési pontossági értékhez (± 300 mm) viszonyítva, a kapott értékek közel elhanyagolhatók.

A mérések során két fontos tapasztalatom volt. Egyrészt a műszerspecifikációban szereplő 1000 m-es hatótávolságot sem jeltárcsára, sem pedig prizmára nem tudta a műszer teljesíteni. A 864 m-es mérőpályán a megállapított távmérési hatótávolság:

- jeltárcsára: 200 m,
- prizmára: 800 m.

Természetesen ezek a hatótávolságok túlszárnyalják a terepi gyakorlatban elvárt értékeket. Másik tapasztalatom, hogy a mérőpályán alkalmazott 10 elemszámú mérés nem elegendő a távmérési pontosság megállapítására, mivel nem a várt normális eloszlásnak feleltek meg a mért értékek.

A távmérés pontosságának megállapítására mérőpályákat építettem, elsősorban a rövid távolságok mérési értékeinek ellenőrzésére (10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 90 m), ahol egy távolságra 100 db mérést végeztem prizmára és egy Wild gyártmányú jeltárcsára (9×7,5 cm). A következő mutatószámokat kaptam:

- a távmérés középhibája (prizmára): $\pm 0,06$ m,
- a távmérés közép véletlen hibája (prizmára): $\pm 0,06$ m.
- a távmérés középhibája (jeltárcsára): $\pm 0,12$ m,
- a távmérés közép véletlen hibája (jeltárcsára): $\pm 0,08$ m.

Az értékek alapján az látható, hogy a prizmára való méréseket szabályos hiba nem terhelte, valamint a jeltárcsa használata nagyobb hibát hordoz. A távméréshez vizsgáltam egy saját készítésű (nem precíz felületkiképzésű), festett, 30×30 cm jelfelületű jeltárcsát is, amely hasonló eredményeket mutatott, mint egy gyári jel, viszont a – műszer által is kijelzett – hibás mérések száma növekedett.

Az erdei körülmények okozta hibahatások ellenőrzésére további méréseket végeztem, ahol vizsgáltam a különböző jelfelületek hatását, illetve a mérőjel vonalába lógó növényzet hatását. A vizsgálathoz különböző lyukméretű rácshálókat készítettem az eltérő záródottságú növényzet szimulálására, majd különböző jelfelületekre (fakérgék – akác, bükk, gyertyán, tölgy; alumínium sarokreflektor; különböző jeltípusok), valamint a műszer tartozékként használható zajsűrővel prizmára történő méréseket vizsgáltam.

A prizmával és zajsűrővel való mérések pontos (valódi hiba: 0,0m) eredményekre vezettek, ezzel szemben, ha prizmát zajsűrő nélkül alkalmaztam, minden távolságnál 0,1 m-rel rövidebb eredményt kaptam. A többi jelfelület egységesen eredményeket mutatott, ahol 20 m-ig deciméter pontosan az adott távolságot határozta meg a műszer, viszont 20 m felett a hiba növekedett, de nem haladta meg a gyártó által közölt pontossági értéket, jellemzően 1-2 dm eltérés volt tapasztalható.

A növényzet hatását 82%, 77%, 73% és 52% záródottságú – lombozatot szimuláló – felülettel vizsgáltam, ahol a nagy záródottságot sűrű, de kis méretű lyuk-kitakarás felülettel definiáltam. Az ilyen környezetben való mérésre egyértelműen a prizma és zajsűrő használata javasolt, ebben a kombinációban minden mérést sikerült pontosan elvégezni, a mérések 30% hordozott jellemzően 0,1-0,2 m hibát. A záródottság csökkenésével, amikor a kitakaró felületek nagysága növekszik, a mérés nehezkessé válik, többszöri irányzás után sikerül csak a távolságot meghatározni. Jeltárcsa használatával egyik záródottság mellett sem lehetett a célobjektum távolságát meghatározni.

A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a TruPulse 360B típusú műszer megfelel a gyártó által közölt pontossági paramétereknek.

A mérések alapján a Disto S910 műszer adatai megfelelnek a műszergyár által meghatározott értékeknek, akár erdei környezetben is.

A távmérés eredményei képezik az I. tétel alapját (lásd Tézisek fejezet).

A vízszintes szögmérés eredményei:

A műszerek a vízszintes szög meghatározását mágneses elven (TruPulse), valamint irányérték méréssel (Disto) végzik. A Disto műszernél az értékelés nehézségét, illetve pontatlanságát az okozta, hogy a műszerből nem lehet vízszintes szögadathoz jutni, csak a műszer adatgyűjtője által számított koordinátákból visszszámítani. Így nem kizárólag a szögméréshez tartozó hibákat hordozza az adat. A pontosság meghatározását egy hatszögletű mérőpályán végeztem, ahol irányszögekből számítottam a mutatókat:

- a vízszintes szögmérés középhibája (TruPulse): $\pm 2,38^\circ$,
- a vízszintes szögmérés közép véletlen hibája (TruPulse): $\pm 1,06^\circ$,
- a vízszintes szögmérés középhibája (Disto): $\pm 2,06^\circ$,
- a vízszintes szögmérés közép véletlen hibája (Disto): $\pm 2,01^\circ$.

Az értékek mindkét műszer esetében meghaladják a gyártó által megadott pontossági adatokat (TruPulse: 1° , Disto: $0,1^\circ$).

A szögmérés vizsgálatát a TruPulse műszerrel folytattam a továbbiakban. A mágneses mérések térképi vetületbe illesztését a mágneses tájékozási állandó meghatározásával tehetjük meg, amely mérésére vizsgálatot végeztem. A vizsgálat célja az irányzásból eredő pontatlanság megállapítása egy közeli (50 m) és egy távoli (1-2 km) irány felhasználásával. Az eredményt egy alkalommal végzett méréssorozat alapján állapítottam meg:

- tájékozási állandó különbsége (közeli és távoli irányok esetén): $3,1^\circ$,

amely jelentős érték a műszer 1° -os gyári pontossági értékéhez hasonlítva.

Az érték a műszer irányzási pontatlanságával lehet összefüggésben, amely vizsgálatát, az irányzás kizárásával, egy mérőállomásra rögzített TruPulse-zal végeztem el. Eredményül egy, az irány függvényében változó hiba szinuszos függvényét kaptam, amely a műszer digitális iránytűjének kalibrálásával van összefüggésben.

Ennek vizsgálatára további méréseket végeztem, és arra a megállapításra jutottam, hogy a szöghiba összefüggésben van a használt áramforrás töltöttségi állapotával és a műszer használat közbeni ki- és újra bekapcsolásával. A pontos kimutatáshoz azonban még további vizsgálatok szükségesek. A hiba iránya nem jellemző, a nagysága az áramforrás függvényében $0-3^\circ$, a műszer kikapcsolásával akár 15° .

Durva jellegű hibát okozhat a mágneses teret befolyásoló tárgyak hatása. Ezt a hatást, a TruPulse adatgyűjtőjeként a gyakorlatban sokat alkalmazott mobiltelefon vizsgálatával végeztem. A mérések alapján azt tapasztaltam, hogy a telefont a mágneses tér háborítatlansága érdekében 40 cm-es sugarú körön kívül kell tartani mérés közben.

A szögmérés eredményei képezik a II. tézis alapját (lásd Tézisek fejezet).

5. Alappont-meghatározási módszerek vizsgálata

A térképezési munkákhoz, legtöbb esetben szükség van alapponthálózat sűrítésére, vagy egy új pont (ponthálózat) létesítésére. Fával borított területen történő mérések, sokszor sűrűbb alapponthálózatot igényelnek, mint egyéb agrárterületen, hasonlóan a belterületen való felmérésekhez. Az alappont-meghatározás, alappontsűrítés nagyobb pontossági igényű, mint a térképezés részletpontjainak mérése. A műszereket ennek a pontossági igénynek megfelelően vizsgáltam a gyakorlatban megszokott mérési módszerekkel.

5.1. Alappontsűrítés vizsgálata sokszögeléssel

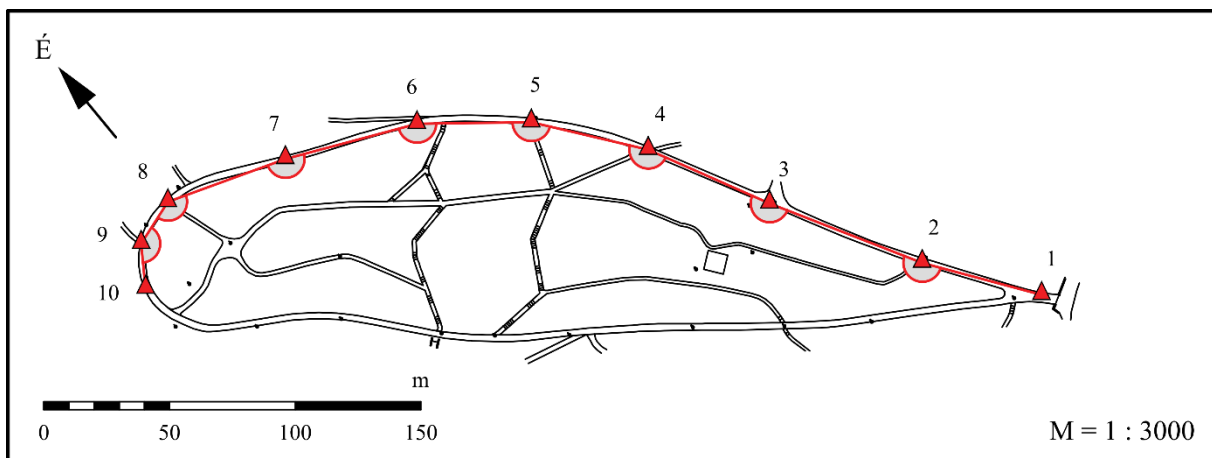
A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A mérés célja, a műszer, sokszögeléssel végzett, alappontsűrítésre való alkalmazhatóságának meghatározása. Az erdei-, és sűrűn beépített környezetben a leggyakrabban alkalmazott alappontsűrítési eljárás a sokszögelés, ezen belül a beillesztett sokszög vonal vezetése, így egy ilyen sokszög vonalon végzett szög- és távmérésekkel vizsgáltam a TruPulse 360B és a Disto S910 alkalmazhatóságát (33. táblázat).

33. táblázat: Alappont-meghatározás vizsgálat I. – alappontsűrítés vizsgálata sokszögeléssel.

Alappont-meghatározás vizsgálat I. – alappontsűrítés vizsgálata sokszögeléssel			
Mérés helyszíne: Sopron, Botanikus Kert			
Mérés célja: TruPulse 360B-vel való sokszögelés pontossági vizsgálata			
Vizsgálat módszere: beillesztett sokszög vonal számítása különböző módszerekkel			
Referenciaadat: mérőállomással meghatározott			
Műszervizsgálat tárgya			
Vizsgált műszer:	TP 360B	MapStar Compass M.II	Disto S910
Vizsgált paraméter:	Y, X	mágneses azimut	Y, X

Helyszínül a Botanikus Kert egy aszfaltozott útját választottam. Az időjárásbiztos úton szabatos mérések végezhetőek és a megjelölt pontok is hosszabb távon felhasználhatók. A sokszög pontok jelölése Hilti szeggel történt.



44. ábra: A sokszögelés helyszínrajza.

A sokszögvonala egy 10 sokszögpontból álló 401,81 m hosszúságú vonal, jellemzően 40-50 m hosszúságú sokszögoldalakkal (44. ábra). A sokszög kezdő- és végpontját Leica GPS1200 műszerrel, míg a sokszögpontokat Sokkia SET3000 típusú mérőállással határoztuk meg. Az alappontsűrítéshez a beillesztett sokszögvonala módszerét használtam.

A vizsgálat mérési módszere

A sokszögeléshez mind távolság, mind pedig szögek mérésére is szükség van. Szögek esetében, mint ahogy a Wild T0 busszola-teodolittal való méréseknél is, a mágneses vízszintes szögmeghatározás egy egyedi módszer alkalmazását teszi lehetővé, ez pedig az ugróponos sokszögelés.

A hibalehetőségek kiküszöbölésére először a mérőállomás mérését követően a műszerlábakon kényszerközpontosítóval rögzítettük a TruPulse műszert, és mértünk hátra-előre irányokat. Ezen mérések alapján számíthatjuk a beillesztett sokszöget numerikus úton törésszögekkel, vagy minden sokszögpontra a mágneses azimutot felhasználva. Valamint feldolgozhatjuk a méréseket ugróponos sokszögelés módszerével, csak minden második pontra vett azimutértéket figyelembe véve a számításhoz. A mágneses szögméréseket feldolgoztuk olyan módszerrel, hogy minden sokszögpontra csak az előre irányokat vettük figyelembe. A vizsgálat következő lépése a libellás polárrúddal végzett mérés vizsgálata, hogy a központosítás nélküli pontraállítás mennyire hat a mérés, illetve a pontmeghatározás pontosságára. A méréseket elvégeztük úgy, hogy a műszer állványon, a prizma pedig polárrúdon volt, illetve amikor mind a műszer, mind a prizma rúdra volt rögzítve.

A TruPulse szögmérési pontatlansága miatt vizsgáltuk a MapStar Compass Module II mérési tulajdonságait, az előzőleg leírt mérési módszertannal. A távméréseket ez esetben is a TruPulse 360B biztosította.

A jelölt sokszögvonalon, később a Disto S910 műszerlábba szerelhető kombinációjával is elvégeztük a mérést. Ebben az esetben, mivel a műszer csak irányértékek meghatározására alkalmas (a mágneses szögmérések helyett) a törésszögekkel meghatározott sokszögvonala módszerét lehet alkalmazni. Ezt azonban, csak az eredmények visszaszámolásával érhetjük el, mivel a műszer közvetlenül pozíció-adatot szolgáltat, vízszintes szögérték kiolvasására nincs lehetőség. Így a műszerrel folyamatos előre irányba való pontmeghatározást tudunk végezni, mint a szabad sokszögvonala esetében.

A mérések ismertetése

Mindhárom műszer esetében a fő mérésorozatot a műszerlábbal való központos mérések adták. A mérésnél – a kezdő és végpontot kihagyva – hátra, majd előre irányzásokat végeztünk az egyes sokszögpontokon, és leolvastuk a vízszintes távolságokat, illetve a vízszintes szögeket. Egy irányra két-két mérést végeztünk és jegyzőkönyvbe rögzítettük a szükséges adatokat. A mérési eredmények alapján már lehetővé vált a számítást különböző eljárások szerint elvégezni.

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

A TruPulse 360B és a MapStar Compass Module II eredményeinek ismertetése

A mérőállomással mért sokszögvonala esetén a záróhiba x és y irányban is 2 cm lett, amelyet leosztottunk. Az összehasonlításkor a mérőállomással mért koordinátákat a valósággal azonosnak fogadtuk el.

Az első vizsgálatban a TruPulse-zal mért adatokat, a beillesztett sokszögvonala módszerével számítottuk és egyenlítettük ki. A mért mágneses azimutokból törésszögek képzésével, valamint a mért vízszintes távolságok átlagából számítottuk a sokszögpontokat. Kiegyenlítés után a vonal közepén egyes sokszögpontokon 16 m-nél nagyobb eltérés volt tapasztalható (34. táblázat). A vizsgálatok alapján a szögmérés hibájára vezethető vissza az eltérés.

A vizsgálatba bevontuk a MapStar műszert, amely nagyobb szögmérési pontosságot biztosít. A távmérést továbbra is a TruPulse 360B műszerrel végeztük. A kiegyenlítés az előzőknek megfelelően történt. A sokszögpontok a referenciaként megállapított pozícióktól, csak a sokszögvonala közepén, két alapponton tértek el 1 m-nél nagyobb mértékben (34. táblázat).

34. táblázat: Vonalas eltérés a beillesztett sokszögvonala hagyományos kiegyenlítésével.

SP	Mérőállomás		TruPulse 360B	MapStar Compass II
	EOVY [m]	EOVX [m]		
1	464443,44	262312,41	0,0	0,0
2	464414,82	262352,39	7,5	0,3
3	464382,90	262409,13	13,5	0,7
4	464359,17	262456,26	15,8	1,3
5	464330,19	262494,22	16,0	1,4
6	464294,60	262522,57	13,7	0,9
7	464245,36	262545,07	8,5	0,8
8	464198,39	262561,52	4,7	0,2
9	464179,70	262555,42	3,1	0,1
10	464169,73	262540,48	0,0	0,0

Az eredmények alapján megállapítható, hogy törésszögek képzésével a TruPulse műszerrel alappont-meghatározás esetében nem érünk el megfelelő pontosságot. A MapStar esetében egyes erdészeti célú alkalmazásokhoz megfelelő pontosságú alappontokat kapunk.

A busszola-sokszögvonala esetén nem képezhető szögzáróhiba. A pontos szögzáráshoz, a mért szögeket a kiegyenlítés előtt javítani kell, a mágneses tájékozási állandóval.

A beillesztett sokszögvonala kiegyenlítése az ismert kezdő és végpont, és az ismert kezdő és mért végpont közötti egyenesek összefüggéseiből adódik. A két egyenes bezárt szöge hordozza az összes szögmérési hibát, valamint a mágneses északtól való eltérést, a hosszuk különbsége pedig a hossz-záróhibát. A megoldás egy olyan kiegyenlítési eljárás, amelyben úgy javítjuk a

szöveget, hogy abban mind a térképi északtól való eltérés mértéke, mind a szögmérés hibája együttesen jelentkeznek, ugyanis a vizsgálatunk közben használt elektromos szögmérőket nem tekinthetjük csupán szabályos hibával terheltnek.

A kiegyenlítéskor a törésszögek helyett a mágneses azimut értékeket javítottuk a szögeltéréssel. Az esetünkben, mivel nem a hossz-mérésben van a mérési hiba nagy része, a hosszeltérésének kiegyenlítését a haladási irányban egyre nagyobb mértékben vettük figyelembe. A továbbiakban egyszerűsített kiegyenlítésként hivatkozok erre az eljárásra.

35. táblázat: A különböző kiegyenlítések hatása a koordináta záróhibákra, törésszögekkel számított beillesztett sokszögvonal esetén.

	Hagyományos kiegyenlítés		Egyszerűsített kiegyenlítés	
	Δy	Δx	Δy	Δx
Háromlábú műszerállvány	[m]		[m]	
WILD T0	2,1	3,7	-0,5	0,4
TruPulse	-2,5	-3,3	0,2	-0,1
Libellás polárrúd	[m]		[m]	
Compass	4	6,3	-0,7	0,6
TruPulse	-4,3	-4,3	-0,4	0,3

A 35. táblázat jól mutatja, hogy a koordináta-eltérések átlaga tekintetében, a TruPulse 360B még hagyományos kiegyenlítési eljárás mellett is megközelíti a WILD T0 mérési pontosságát, a MapStart Compass-szal mért sokszögvonal pedig pontosabbnak bizonyult.

A 36. táblázatban összefoglaltam a koordináta eltéréseket az egyes sokszögpontokban, a különböző eszközökkel.

36. táblázat: A koordináta-eltérések összehasonlítása, különböző műszerek és rögzítések használatával (egyszerűsített kiegyenlítéssel).

SP	Mérőállomás		WILD T0	TruPulse 360B	MapStar C.	
	EOVY [m]	EOVX [m]	Műszerláb		Libellás polárrúd	
			$\sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}$ [m]			
1	464443,44	262312,41	0,0	0,0	0,0	0,0
2	464414,82	262352,39	0,1	1,4	1,1	1,0
3	464382,90	262409,13	0,6	1,2	2,1	0,9
4	464359,17	262456,26	1,7	1,3	1,8	1,6
5	464330,19	262494,22	2,5	1,9	3,4	2,0
6	464294,60	262522,57	2,4	1,3	1,9	1,5
7	464245,36	262545,07	1,9	1,6	2,6	1,5
8	464198,39	262561,52	0,6	1,3	0,4	0,3
9	464179,70	262555,42	0,0	1,4	0,2	0,1
10	464169,73	262540,48	0,0	0,0	0,0	0,0
	Átlagos szabályos hiba		1,0	1,1	1,4	0,9

A mágneses szögmérés lehetőséget ad úgynevezett ugrópontos sokszögvonallal vezetésére. A vizsgálathoz a mérőeszközöket műszerállványon és libellás polárrúdon rögzítve is használtuk (37. táblázat). Az ugrópontos sokszögvonallal alkalmazása mutatta a legpontosabb eredményeket. Ezzel az eljárással a vizsgált műszerek pontosabb eredményeket szolgáltatnak, mint a Wild T0 teodolit.

37. táblázat: Egyszerűsített kiegyenlítés ugrópontos sokszögvonallal esetén.

SP	Mérőállomás		WILD T0	TruPulse 360B		MapStar C.
			Műszerláb		Libellás polárrúd	
	EOVY [m]	EOVX [m]	$\sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}$ [m]			
1	464443,44	262312,41	0,0	0,0	0,0	0,0
2	464414,82	262352,39	0,2	1,3	0,9	0,8
3	464382,90	262409,13	1,3	1,0	1,7	0,7
4	464359,17	262456,26	1,6	0,9	0,4	0,4
5	464330,19	262494,22	2,0	0,5	1,7	0,8
6	464294,60	262522,57	2,2	1,5	0,3	0,9
7	464245,36	262545,07	2,4	0,8	1,6	0,8
8	464198,39	262561,52	0,5	0,9	0,3	0,6
9	464179,70	262555,42	0,2	1,4	0,1	1,0
10	464169,73	262540,48	0,0	0,0	0,0	0,0
	Átlagos szabályos hiba		1,0	0,8	0,7	0,6

Végül megvizsgáltuk azt az esetet, amikor kizárólag előremérésekkel haladunk. Ekkor közel hasonló eredményeket kaptunk, mint a törésszögekkel számított sokszög esetén. A TruPulse távolságmérővel, libellás polárrúdra szerelve, több mérést is végeztünk arra a kérdésre keresve a választ, hogy mennyire befolyásolja a mérést a rögzítési mód. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a libellás polárrúdról való méréssel nem okozunk lényeges eltérést.

A Disto S910 eredményeinek ismertetése

A Disto műszerrel, mivel nem lehet vízszintes szögmérési adatokat kiolvasni a műszerből, csak pozíciókat kapunk eredményül. Így azzal az esettel foglalkoztam, amikor előremérésekkel folyamatosan haladok a sokszögvonalon és határozom meg a következő pont koordinátáit, gyakorlatilag egy szabad sokszögvonallal vezetve.

A 38. táblázatból kiolvashatóan a mérések, vagyis a sokszögpontok számának növekedésével az eltérések egyre inkább növekednek. A sokszögvonallal második felében már olyan mértékű az eltérés, hogy kiegyenlítés nélkül az alappontok már nem használhatók fel térképezés céljára. A sokszögvonallal első felében (kb. 200 m hosszán) a hiba még 1 m alatti, ez a része még elfogadható az alappont-meghatározásnak. Ez alapján elmondható, hogy a műszerrel szabad sokszögvonallal vezetésére 3-4 sokszögoldal erejéig van lehetőségünk.

38. táblázat: A sokszögpontokon való eltérések, Disto S910 esetén.

ID	Mérőállomás		Disto-TCR		
	EOVY [m]	EOVX [m]	Δy [m]	Δx [m]	Vonalas eltérés [m]
1	464443,44	262312,41	0,00	0,00	0,00
2	464414,82	262352,39	0,04	0,03	0,06
3	464382,90	262409,13	-0,50	-0,08	0,51
4	464359,17	262456,26	-0,70	-0,19	0,73
5	464330,19	262494,22	-1,42	-0,72	1,60
6	464294,60	262522,57	-2,00	-1,46	2,48
7	464245,36	262545,07	-2,45	-2,46	3,47
8	464198,39	262561,52	-2,83	-3,51	4,50
9	464179,70	262555,42	-2,66	-4,02	4,82
10	464169,73	262540,48	-2,31	-4,27	4,85

Mivel minden szögadatot vissza kell számolni koordinátákból, így nem életszerű a beillesztett vonalként való kiegyenlítése a méréseknek, amellyel méter alá szorítható a hiba.

5.2. Alappontsűrítés vizsgálata ívmetszéssel

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A mérés célja, a műszerek ívmetszéssel történő alappontsűrítésre való alkalmazhatóságának meghatározása. A TruPulse 360B műszer esetén a tapasztalatokból arra lehet következtetni, hogy terepi körülmények között a távmérési megbízhatósága nagyobb, mint a szögmérésé. Ezen okból tűnt hasznosnak, egy csupán távmérésekkel történő módszer vizsgálata (39. táblázat).

A méréseket a Botanikus Kert egy jól átlátható területén, egy füves réten végeztük. A mérésekhez a pontokat talajcövekkel jelöltük. A pontraállási hiba kiküszöbölése érdekében, az összes ponton műszerlábat állítottunk, és az összes mérést egy menetben elvégeztük.

39. táblázat: Alappont-meghatározás vizsgálat II. – alappontsűrítés vizsgálata ívmetszéssel.

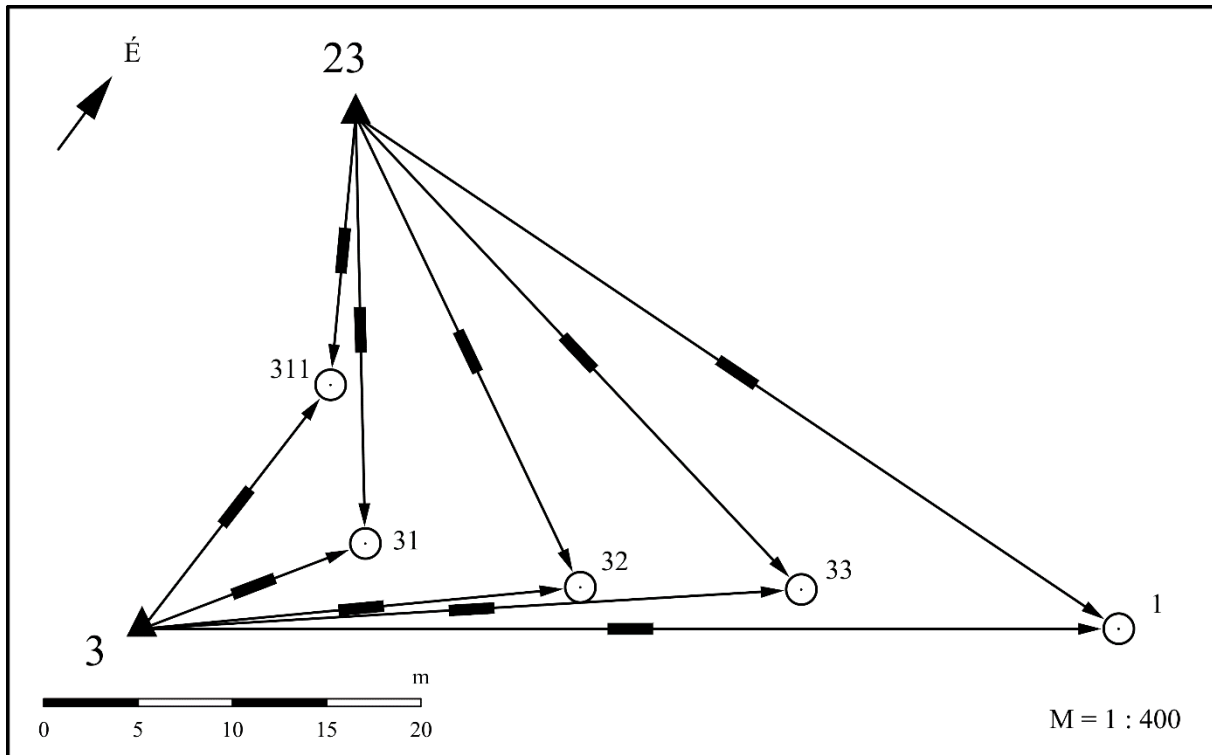
Alappont-meghatározás vizsgálat II. – alappontsűrítés vizsgálata ívmetszéssel		
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, Botanikus Kert		
<i>Mérés célja:</i> TruPulse 360B-vel való alappontsűrítés (ívmetszés) pontossági vizsgálata		
<i>Vizsgálat módszere:</i> ívmetszés számítása		
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott		
Műszervizsgálat tárgya		
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Disto S910
<i>Vizsgált paraméter:</i>	Y, X	Y, X

A méréshez két (1 és 3), GPS-szel meghatározott alappont között Leica TCR 1205 típusú mérőállomással beillesztett sokszögvonala módszerével, illetve poláris pont módszerével határoztuk meg a referenciapontok koordinátáit (23, 311, 31, 32, 33). Az ívmetszés méréséhez

és számításához, a 3-as és a 23-as pontok, mint ismert pontok, a többi pedig mint meghatározandó pont fog szerepelni.

A vizsgálat mérési módszere

A vizsgálatban távméréses előmetszés, vagyis ívmetszés alappont-meghatározásra való alkalmazhatóságát vizsgáltam, különböző távolságokba való irányzással (45. ábra).



45. ábra: A távméréses előmetszés módszere.

A mérések ismertetése

Két alapponttól (3 és 23) mértük meg a különböző távolságokban lévő pontok (31, 311, 32, 33, 1) vízszintes távolságát.

A méréseket minden pontra ötször végeztem el és választottam ki a jellemző értéket (amelyik legtöbbször előfordult).

A kiértékelés és eredményeinek ismertetése

Az ívmetszés számítása után az eredmények 20 cm-es eltérést mutattak (40. táblázat), amely még a műszer pontossági tartományán belül van. Az előmetszések nem történtek 50 m-nél nagyobb távolságra, amely nem közelíti meg az előző fejezetben vizsgált sokszögvonal közel 500 m-es hosszát, viszont az eredmények alapján egy megbízhatóbb megoldást eredményez. A mérési módszertan körülményesebb, mint a sokszögelés esetén, viszont mind pontosságban, mind pedig megbízhatóságban jobb megoldást nyújt.

40. táblázat: Az ívmetszés okozta eltérések TruPulse 360B műszer esetén.

ID	Távolság AP-től		TCR (referencia)		TruPulse 360B		Eltérés		
	23 [m]	3 [m]	EOVY [m]	EOVX [m]	EOVY [m]	EOVY [m]	ΔY [m]	ΔX [m]	d [m]
31	22,6	12,5	464267,21	262456,17	464267,0	262456,1	-0,2	-0,1	0,2
311	14,2	16,3	464260,73	262461,86	464260,4	262461,8	-0,3	-0,1	0,3
32	27,6	23,2	464277,76	262461,07	464277,6	262461,0	-0,1	-0,1	0,2
33	34,4	34,9	464287,27	262467,92	464287,2	262467,9	-0,1	-0,1	0,1
1	48,6	51,7	464302,06	262476,22	464301,9	262476,3	-0,2	0,1	0,2

A Disto műszer mérési adatai a mérőállomással meghatározott távolságokkal megegyeznek, így, mint geodéziai pontosságú mérések fogadhatók el.

5.3. A vizsgálat eredményeinek értékelése

Az alappont-meghatározási módszerek közül, az erdei körülmények között ideális mérési módszertant jelentő beillesztett sokszögvonala vezetését vizsgáltam. A kalibráló mérések alapján nyert eredmények megfontolásával – a sokszögvonal mellett – az ívmetszéssel való alappont-meghatározást is vizsgáltam. A vizsgálat műszerei a TruPulse 360B és kiegészítéseként a MapStar Compass Module II, valamint a Disto S910 voltak.

A sokszögelés vizsgálatához egy 401,81 m hosszúságú tíz töréspontból álló vonalat létesítettem. A méréseket úgy végeztük, hogy azokból különböző számítások (törésszögekkel számított – ugrópontos sokszögelés), valamint különböző terepi mérés technika (műszerláb – polárrúd) okozta hibahatások kimutathatók legyenek. Az ívmetszéshez egy öt pontból álló „vonalat” hoztam létre, amelynek legtávolabbi pontja hozzávetőlegesen 50 m volt. Általános tapasztalatom, hogy az ívmetszés pontosabb pontmeghatározást eredményez, mint a sokszögelés (elsősorban a rövidebb távolság miatt).

A sokszögelés eredményei:

Sokszögvonal használata esetén a TruPulse rögzítése fontos, de (odafigyelés mellett) a pontosságot lényegesen nem befolyásolja, hogy műszerállványon, vagy polárrúdon mérünk vele. A beillesztett sokszögvonal számításánál legpontosabb eredményt a busszola-teodolitok esetében alkalmazott ugrópontos módszer adta, a kevesebb mérési eredmény használata miatt.

A beillesztett sokszögvonala elsőként törésszögek méréséből számoltam (műszerlábról, minden törésponttól előre-hátra méréseket végezve), ahol kiegyenlítés után a legnagyobb eltérés (a vonal közepén):

- 16,0 m volt.

A következő számítás az „egyszerűsített kiegyenlítés”-nek elnevezett módszer volt, ahol szögeltéréssel, valamint távolsággal arányosan növekvő vonalas eltéréssel javítottam a pontok helyzetét. Ez a módszer lényegesen pontosabb eredményre vezetett, mint az előző sokszög számítás. Az eltérések arányosan csökkentek az egyes sokszögpontokon, ahol a legnagyobb hiba:

- 1,9 m volt, műszerlábát használva a méréshez, illetve
- 3,4 m-re nőtt ez a hiba, ha libellás polárrúdról végeztük a mérést.

Ugrópontos sokszögelésnél további javulás volt érzékelhető, amikor a mérések közül csak minden második pontról meghatározott adatokat használtam fel a számításhoz, amely az „egyszerűsített kiegyenlítés”-sel történt. A legnagyobb eltérés hasonló volt a műszerlábról, illetve libellás polárrúdról mért adatokból való számításnál:

- 1,5 m, illetve
- 1,7 m.

Egy pontosabb mágneses szögmérőt használva (MapStar Compass Module II) az eltérések is lényegesen csökkennek, például az utóbb említett ugrópontos sokszögelésnél a legnagyobb eltérés:

- 1,0 m volt (az 1,7 m-rel szemben).

A Disto S910 műszerrel műszerlábról mértem. A sokszögvonalat nem egyenlítettem ki, mivel a műszerrel nem lehet vízszintes szögolvasást végezni, csak folyamatos poláris pontmeghatározást végezni. Az eltérések így egyre nagyobb mértékben növekedtek, ami a sokszögvonala végére (~400 m) 4,85 m-t eredményezett.

Az ívmetszés eredményei:

Az ívmetszés a TruPulse műszerrel pontos eredményeket hozott. Az ívmetszéssel az alappontoktól 10-50 m távolságra lévő pontok (5 db) koordinátáit határoztam meg.

Ilyen távolságban lévő pontok ívmetszéssel történő meghatározása a műszerek műszerdokumentációjában megadott távmérési pontosságának megfeleltek. A TruPulse deciméteres (< 0,3 m), a Disto pedig centiméteres pontosságot eredményezett.

Az alappont-meghatározás eredményei képezik a III. tézis alapját (lásd Tézisek fejezet).

6. Mérések vizsgálata terepi körülmények között

A vizsgálatok gyakorlati eredményét a valós, terepi körülmények között végzett mérések biztosítják. Előzetes tapasztalatok alapján a terepi körülmények – elsősorban az irányvonalba lógó növényzet – lényegesen ronthatják a mérés pontosságát. Az erdőhatáron belüli állományfelmérések előforduló eljárásai, amikor egy adott sugarú körön belül egy-egy mintaponton végzünk méréseket, illetve amikor egy terület egyedszintű térképezését akarjuk elvégezni. Az erdőterületek körülményeihez hasonlóan, városi környezetben is végezhetünk zöldfelületi felméréseket, ahol a térképezés elsősorban nem a faállomány felvételezését célozza, hanem a különböző területfoglalások kimutatását. A vizsgálathoz, ezen három feladatnak megfelelően választottam ki a mérési helyszíneket.

6.1. Zöldfelületi kataszter készítése

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A térképezés Sopron egyik parkjában, a Papréten történt. A felmérés célja a településen belüli zöldfelületi térképezésnél előforduló körülmények és hatások elemzése, a zöldfelületi kataszter és a növénykataszter alapját szolgáltató adatok pontossági vizsgálata volt. Egy ilyen zöldfelületi felmérés elsődlegesen a felszínborítások elkülönítését és a területnagyságok meghatározását, valamint a területen lévő objektumok felvételezését jelenti. Egy másik feladatkör a növénykataszter elkészítése, a fásszárú növényzet pozíciójának (és leíró adatainak) felvételezése (41. táblázat), valamint a lágyszárú állomány területfoglalásának (és leíró adatként fajok, darabszám és egyéb adatok) meghatározása.

41. táblázat: Mérés terepi körülmények között I. - zöldfelületi kataszter készítése.

Mérés terepi körülmények között I. – zöldfelületi kataszter készítése			
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, Paprét; ritkán álló faállomány, kevés terepi objektummal			
<i>Mérés célja:</i> vízszintes pozíció és területnagyság meghatározásának pontossági vizsgálata településen belüli zöldfelületi környezetben			
<i>Vizsgálat módszere:</i> teljes felvételezés, zöldfelületi kataszter készítése			
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott			
Műszervizsgálat tárgya			
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Disto S910	Zeno 20
<i>Vizsgált paraméter:</i>	Y, X; T	Y, X; T	Y, X; T

A park, a mai jellegét meghatározó óriás platánok, illetve a fűvel borított zöldterületi jellege miatt ideális tesztmérési helyszínek bizonyult. A terület jól átlátható, és viszonylag kevés objektum található rajta (46. ábra).



46. ábra: A soproni Paprét felmérési terület lehatárolása (SOE).

A kevés cserje miatt vegetációs időszakban sem nehézkes a hagyományos eljárással (szög- és távmérés) történő térképezés elvégzése, viszont műholdas helymeghatározással még lombtalan állapotban is pontatlan mérések adódhatnak az idős, hatalmas ágrendszerrel rendelkező fák miatt. A vizsgálat mind területnagyság-meghatározás, mind pontszerű mérések pontossági vizsgálatára alkalmas.

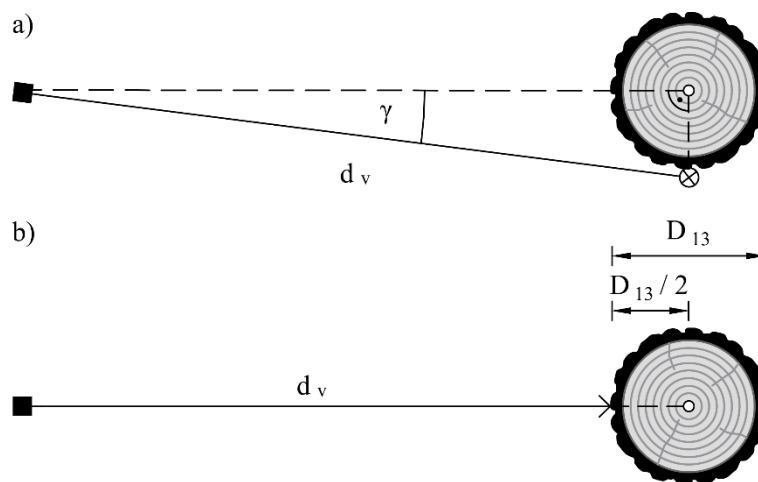
A park felépítése és felszínborítása szempontjából aszfaltozott utak, aszfaltozott járdák, murvaburkolatú gépjárműparkoló, füves területek és betonozott felületek találhatóak. A különböző felszínborítások általában jól, egyértelműen lehatárolhatók, sok esetben szegélykő választja el egymástól a különböző típusokat. Pontszerű, illetve néhány ponttal meghatározható objektumok tekintetében, padok, parkjátékok (futballkapu, kosárpalánk), villanyoszlopok, közlekedési táblák, parkolóautomaták, emlékmű és a park fásszárú állománya jellemzi a parkot. A felmért terület 1,43 ha nagyságú.

A vizsgálat mérési módszere

A vizsgálatot egyfelől a pontszerű objektumok felmérési pontossága, másrészt pedig a különböző felszínborítások területnagyságának meghatározási pontossága szempontjából végeztem. A területek lehatárolását nem minden esetben lehetett konkrét sarokpontokkal, töréspontokkal megadni, ezért a részletpontoknál megfelelő pontsűrűség, illetve a felvételezési metodika biztosította a valós állapotot tükröző térképet. A pontszerű objektumok pontossági vizsgálata esetében a fák jelentették az egyik meghatározó kategóriát. A másik fő csoportot a művi létesítmények alkották, jelen esetben különböző oszlopok és a felületi elemek, padok, parkjátékok.

A vizsgálathoz nem állt rendelkezésemre megfelelő alaptérkép, így az első lépés a referenciaadatok meghatározása, egy referenciatérkép elkészítése volt. Nagyobb odafigyelést a faállomány felvételezése igényelte, mivel nem ritka az egy méternél nagyobb törzsátmérőjű faegyed. A fás szárú növényzet pozíciójának meghatározásából adódó módszertani különbség már önmagában jelentős hibát, illetve eltérést hordoz. Eltérő nézetek léteznek a fa pozíciójával

kapcsolatban, mely szerint értelmezhetjük a törzsközéppontot a földfelszínen, illetve gyakoribb – és általam is alkalmazott – a mellmagasságban vett (1,30 m magasságban értelmezett) törzsközéppont. Ezen középpontok többféle felmérési módszertan szerint térképezhetők. Ennek megfelelően a fák pozícióját mérőállomással két módszerrel határoztam meg, külpontos méréssel a faközéppontot (47.a. ábra), valamint a műszer irányvonalába eső törzsfelületi pontot megmérve, majd egy átlalóval mért törzsátmérő felével korrigálva (47.b. ábra). Az első módszernél a műszer felől nézve, a törzs mellé, a törzsátmérő felében (mellmagasságban) raktuk le a prizmat és mértünk távolságot, majd a műszert a vízszintes kör mentén forgatva a szálkereszttel megcélozva a fa tengelyét, tároltam a mérési eredményeket. Így a fa mellmagassági átmérőben vett törzsközépponti pozíciója lett meghatározva (a kis mennyiségű γ szögérték miatt elfogadva, hogy a derékszögtől való eltérés elhanyagolható mértékű). A második módszernél a műszerben a prizma nélküli távmérési módot választva (amelyet majd a TruPulse 360B és a DISTO S910 esetében is alkalmazni tudunk) a műszerállásból nézve, mellmagasságban megirányozva, mértem a fatörzs középpontját (tengelyét), majd eltároltam az adatokat. Ezáltal egy külpontot meghatározva az aktuális álláspont felől nézve, a fatörzs felületén, a törzs tengelyvonalában, mellmagasságban. A törzs középponti koordinátájának meghatározásához a mért távolságot módosítani kell az átlalóval mért mellmagassági átmérő felével.



47. ábra: A fa pozíciójának meghatározása.

A vizsgálatot a távmérők mellett geodéziai és térinformatikai (Trimble JUNO) pontosságot biztosító GPS műszerrel is elvégeztem, mivel a műszertípus a városi felmérések körében gyakran alkalmazott megoldás.

A mérések és az eredmények ismertetése

A felméréshez alappontokat létesítettem GPS-szel (GPS1; GPS4), majd közöttük sokszögvonallal vezetésével felmérési alapponthálózatot hoztam létre (GPS1-2-3-GPS4). A sokszögeléshez beillesztett sokszögvonallal vezetésére volt lehetőség. Az alappontok meghatározása, illetve a sokszögvonallal záróhibája a szabályzatok által megengedett határérték alatt volt. A négy alappont felhasználásával történt a részletpontok felvétele. A síkraírt ábrázoláshoz két fő szempont szerint történt az adatgyűjtés, egyrészt az épített környezet és a felszínborítások határvonalainak felmérése, másrészt a növényállomány felvételezése. Az épített környezet esetében a jellemző

töréspontokkal, utak, járdák esetében pedig a keresztshelvényben vett két burkolatszél ponttal mértem fel. A fákat az előzőekben ismertetett módon, kétféleképpen mértem.

Mérések TruPulse 360B-vel

A mérőállomással meghatározott alappontokon álltunk fel, műszerállványra központosan rögzített műszerrel. Először a fás szárú növények felmérése történt meg. Az egyes alappontokról, ugyanazokat a faegyedeket mértük fel, mint a mérőállomással. A mérések a park jól átlátható jellege miatt könnyen elvégezhetőek voltak. A mérést prizma nélküli üzemmódban végeztük, a fatörzs középpontját irányozva, mellmagasságban. A méréseket Trimble JUNO műszeren, DigiTerra Explorer térinformatikai program segítségével rögzítettük, Bluetooth kapcsolaton keresztül. A többi részletpont felmérése egy másik körben történt, ahol prizmával és zajsűrő használatával dolgoztunk.

Mérések Disto S910-zel

A méréseket szintén a jelölt alappontokról végeztük, a műszert TRI200 állványra és FTA360 adapteren keresztül rögzítve. A részletpontok felmérését egy ütemben végeztük. A fatörzsnek a műszer felőli középponti tengelyét mellmagasságban irányozva mértük a pozícióját, prizma nélkül. A többi részletpont esetében Wild jeltárcsát alkalmazva történt a pontok rögzítése. A méréseket Leica Zeno 20 GNSS műszeren, Android operációs rendszeren futó GIS alkalmazásban rögzítettük, amely a „gamtec” megoldással a távmérő adataiból pozíciót számít (Y, X).

Mérések GNSS műszerrel

A méréseket a rúdra rögzített Leica GS08 antennával és Zeno 20 műszerrel végeztük RTK üzemmódban, hálózati korrekciós jeleket használva. A pozíción kívül mérési-pontossági értékeket, illetve dendrológiai és dendrometriai adatokat is rögzítettünk. A térinformatikai műszert kézben tartva, próbálva ideális helyen végezni a pontmérést, mértünk 5 pozíció átlagolásával egy koordinátát.

A poláris mérések minden esetben a mérőállomással kialakított alappont-hálózatról lettek elvégezve, így alappont-meghatározás hibái nem terhelik a térképezés pontosságát, csupán a részletmérésben okozott hibahatásokat vizsgáltam.

A TruPulse műszerrel való mérések előtt a deklinációt 0 értékre állítottuk, valamint minden állásponton a mérés megkezdése előtt kalibráltuk a műszert. Ezen figyelem ellenére a 2-es alapponttól való mérések eredményeiben nagy eltérést tapasztaltam a referenciaértékekhez képest. Az egyik lehetséges hibát sikerült azonosítani, amely abból adódott, hogy a méréshez grafikusán választottuk ki az álláspontot az adatgyűjtő képernyőjén megjelenő ponttérképről, és a kiválasztással nem az alappont pozíciója lett megadva. Ezt, illetve a tájékoztatást utólagosan a számításhoz korrigáltam, de még így is jelentős eltérés maradt a pontmérés egy részénél. A többi állásponton a tájékozási állandó meghatározásával elfogadható eredményre jutottam.

Az eltérés miatt az összehasonlítást a ponthalmazon belül csak a faegyedekre végeztem el (48. ábra), illetve a felszínborítások területnagyságainak eltéréseit vizsgáltam.



48. ábra: A fák pozíciójának eltérései a különböző műszerekkel a Papréten.

A pozíció vizsgálatánál szem előtt kell tartani, hogy a parkban főként idős fák találhatók, amelyek törzsátmérője sok esetben az 1 m-t is meghaladják, amely irányásból adódó pontatlansághoz vezethet. Ezt kiküszöbölendő, azonos alappontból azonos fa irányásával, a deciméteres nagyságrendű pontosság teljes biztonsággal tartható.

A 42. táblázat adatai alapján látható, hogy a meghatározott pozíciók átlagos eltérése még elfogadható mértékű egy faállomány térképezéséhez, különösképp, hogy az eltérések a fa törzsének átmérőjénél kisebb mértékűek. A GNSS műszerrel végzett mérések egy ritkább, de vastag ágrendszerű faállományban elérhető pontosságot jól tükrözik.

42. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei a fák pozíciójának esetén.

	Disto S910		TP 360B		Leica Zeno 20	
	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]
Átl. szabályos hiba	0,19	0,29	0,6	0,3	1,8	1,3
Min.	0,00	0,00	0,0	0,0	0,1	0,0
Max.	1,08	1,01	1,8	1,0	8,4	5,8
Medián	0,13	0,19	0,4	0,3	1,6	1,0

Ilyen törzsátmérőjű faállomány térképezésénél az 1 méter feletti eltérések jelenthetnek gondot. A TruPulse-nál a fák 27%-a, a Disto-nál pedig a fák 4%-a esik ebbe a tartományba. Mindkét műszer esetén hasonló az 50-100 cm közé eső eltérések száma (43. táblázat).

43. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.

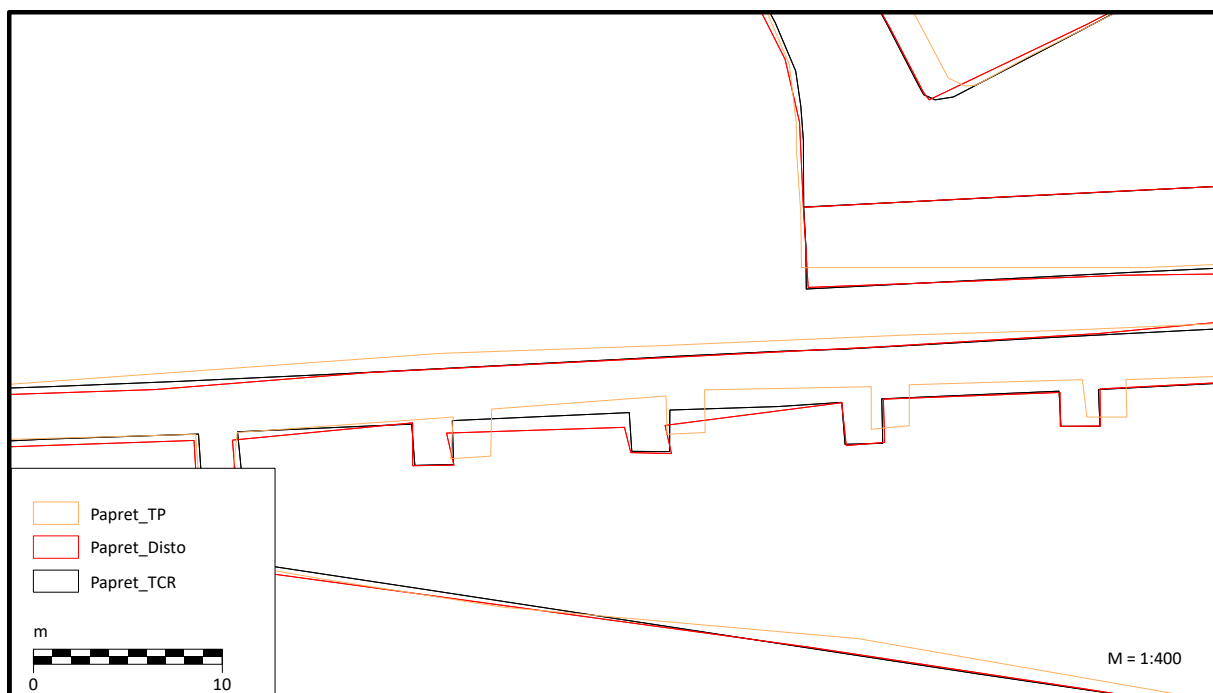
Műszer	TruPulse 360B	Disto S910
Hibaosztály [cm]	Pozíció [db]	Pozíció [db]
0 - 10	2	9
10 - 20	7	19
20 - 30	7	11
30 - 40	8	8
40 - 50	5	4
50 - 100	23	20
100 -	20	3
Összes pont:	72	74

Egy másik lényeges eredménye a zöldfelületi térképezésnek és nyilvántartásnak a különböző felszínborítások területnagyságának meghatározása. Ez a gyakorlatban elfogadott 5%-os eltérési határnak kellene, hogy megfeleljen. A 44. táblázatban látható, hogy mindkét műszer esetében előfordulnak eltérések, de az elfogadható szint közelében vannak.

44. táblázat: A felszínborítások területnagyságainak eltérései a különböző felvételezési módszerek esetében a Papréten.

	TCR [m ²]	TP360 [m ²]	Disto [m ²]	TP360 [%]	Disto [%]
Aszfalt (út)	4984,1206	5006,1270	5044,8659	100	101
Beton	39,7597	41,0080	37,4369	103	94
Gyep	5164,8703	5220,5625	5041,4429	101	98
Járda	1082,3455	1006,1262	1138,8878	93	105
Murva	102,6514	92,8256	103,9514	90	101
Parkoló	1397,2948	1392,3776	1430,5962	100	102
Összesen:	12771,0423	12759,0269	12797,1811	100	100

A következő, 49. ábrán, a TruPulse esetében a második alapponton bekövetkezett durva hiba okozta eltérések láthatók:



49. ábra: A felszínborítások területi eltérését okozó felmérési pontatlanságok.

Összegezve, a park térképezéséhez a Disto műszer nyújtotta a legpontosabb megoldást, a TruPulse mérései is megfelelnek a Térképészeti útmutatóban előírtaknak, illetve a zöldfelületi nyilvántartás igényeinek (2.3.3. fejezet, 3. táblázat). A GNSS mérések már nem feleltek meg, amelynek oka a vastag ágrendszer lehetett.

6.2. Egyesfa szintű felvételezés erdőterületen

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

A felmérés az Egyetem Élő Növénygyűjteményének „T” jelzésű parcellájában történt (50. ábra). A vizsgálat egy erdei körülmények közötti felmérésnek felel meg, egyesfa felvételezéssel, teljes állományfelvétellel (45. táblázat). A geodéziai pontosságú egyesfa felvételezések nem szükségesek az erdészetben, viszont egyes erdészeti kutatások alapját jelentik, jelenthetik, valamint értékes erdőállományok erdőbecslésének alapját képezhetik. Az egyes fák pozíciójának mérésére nincs egységesen meghatározott módszer, a fa pozícióján (az erdészeti gyakorlatban) leggyakrabban a mellmagassági átmérőben vett fatörzsközéppontot értjük.

45. táblázat: Mérés terepi körülmények között II. – teljes felvételezés erdőterületen.

Mérés terepi körülmények között II. – teljes felvételezés erdőterületen				
<i>Mérés helyszíne:</i> Sopron, Botanikus Kert; sűrű borítású faállományban				
<i>Mérés célja:</i> vízszintes pozíció meghatározásának pontossága állományszintű egyesfa felvételezésnél				
<i>Vizsgálat módszere:</i> állományszintű egyesfa felvételezés				
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott				
Műszervizsgálat tárgya				
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Disto S910	GPS1200	JUNO
<i>Vizsgált paraméter:</i>	Y, X	Y, X	Y, X	Y, X

A parcella területe sűrű borítású, túlnyomó részt közepes nagyságú, 10-15 méteres fákkal és néhol sűrű cserjeszinttel. A terület keleti része geodéziai szempontból megfelelően átlátható, a nyugati felében található néhol áthatolhatatlan cserjeszint, amely adottságokkal egy átlagos erdőterületet jól jellemez. A méréseket koratavaszi időszakban végeztük, még lombfakadás előtt, amely egy hasonló állomány felmérésénél meggyorsítja a mérést, esetenként egyáltalán lehetővé téve azt.



50. ábra: A T parcella elhelyezkedése a Botanikus Kertben (SOE).

A terület jól lehatárolható, egy beton szegélykövel erősített, murvás járda fut körbe rajta. Két pad és egy madáretető művi objektum található a parcellában. A felmérés túlnyomó részét a növényzet pozíciójának meghatározása jelenti. A felmért terület 0,15 ha.

A vizsgálat mérési módszere

A területről rendelkezésemre állt egy M=1:500 méretarányú felmérési térkép, amely a vizsgálat, illetve a térképezés alapját képezte. A térkép hallgatói munka keretében készült (Török, 1998). A fő cél a faállomány egyedszintű felmérésének pontossági vizsgálata, vagyis a növényzet felmérését kellett elvégezni.

A növények terepi pozíciójának meghatározása ideális esetben is csak deciméteres pontossággal kivitelezhető (gazdaságosan). A cserjék pozíciója, egy faegyedhez képest, az általában egyenetlenül szétterülő tövük miatt kevésbé egyértelmű. A faegyedeket – és a cserjéket is – előzetesen egy azonosítóval (sorszám) láttam el, amelyet a fa törzsére tűztem, illetve a cserjék ágaira fűztem. A vizsgálatban a teljes faállományt terveztem figyelembe venni, mint egy állományszintű egyesfa felvételezésnél. A referenciát a geodéziai úton, mérőállomással meghatározott vízszintes koordináta adatok jelentik, a faegyed azonosítókkal.

Az elemzés első adathalmazát a TruPulse 360B mérési eredményei szolgáltatták. A mérések a mérőállomással végzett adatgyűjtésnek megfelelően zajlottak, azonos alappontokat és azokról

javarészt azonos részletpontokat meghatározva. Így a TruPulse 360B terepi pontossága meghatározható, amennyiben referenciaként elfogadjuk a mérőállomással meghatározott adatokat.

Végül a Disto műszerrel való mérések következtek, a TruPulse műszerrel való eljárásnak megfelelően.

Bár a GPS-ek pontossági vizsgálata nem témája az értekezésnek, azért végeztem vizsgálatokat, hogy összehasonlító adatokat kaphassak az erdészeti gyakorlat által leggyakrabban alkalmazott terepi mérési technológia eredményeiről. A méréseknél ügyelni kellett a műszer ideális helyen való használatára, vagyis hogy a meghatározandó ponthoz legközelebb, de lehetőség szerint az égboltra való legjobb rálátás mellett indítsuk a mérést (amennyire ezt lombos állapotban meg lehetett oldani). Az így kapott pozíció külpontos, nem kerülhet a fa mellmagasságban vett középpontjába. Ez az eltérés elhanyagolható mértékű lesz a GPS műszerek erdőállomány alatti pontosságához képest. Az átlagos mellmagassági átmérő az állományban 10-20 centiméter. A méréshez geodéziai és térinformatikai műszereket használtam.

Végül a Disto műszerrel való mérések következtek, a TruPulse műszerrel való eljárásnak megfelelően.

A mérések és az eredmények ismertetése

A részletmérés elvégzéséhez felmérési alapponthálózat létesítésére volt szükség. A terület két átellenes végében GPS alappontokat létesítettem. A keleti oldal egy réttel határos, ahol 2 alappont helyét jelöltem ki (ID: 1 és 3), a nyugati oldalon pedig az ösvény egy kiszélesedő részén választottam a harmadik alappontnak (ID: 2) helyet. A méréseket RTK-VRS módszerrel 300 pozíció átlagával végeztem el Leica GPS 1200 típusú műszerrel. A pontok ideiglenes jelölése 40 cm-es cövekkel történt talajszintig leütve.

Az alappontok között (1 – 2; 2 – 3) beillesztett sokszögvonallal módszerrel határoztam meg a felmérési alappontokat (1 – 10 – 11 – 12 – 13 – 2; 2 – 20 – 21 – 22 – 23 – 3). A méréshez Leica TCR 1205 műszert használtam.

A részletmérés szintén a Leica műszerrel történt. A fák mérése külpontos méréssel, a műszer irányából tekintve a fa irányvonalra merőleges tengelyébe állva (mellmagasságban), a prizmára távolságot mérve, majd a műszer irányvonalát beforgatva a fa középvonalába tároltam el a mérést. A cserjék és egyéb objektumok felmérése normál prizmára való méréssel történt. A részletmérést a 10 – 11 – 12 – 13-as alappontokról hiánytalanul meg tudtam oldani, néhány esetben (~5 db) eltérve a leírt módszertantól, nem közvetlenül a fa mellé helyezve a prizmát, vagy nem mellmagasságban végezve a mérést.

A részletmérések 10 százalékára ellenőrző méréseket is végeztem.

Mérések TruPulse 360B-vel

Műszerállványra központosan rögzített műszerrel, azonos alappontokról azonos részletpontokat mértünk fel. A mérések még lombtalan állapotban sem voltak minden faegyedre elvégezhetőek. Amely fát nem lehetett a mérőállomással használt alappontokról meghatározni, az kimaradt a

felmérésből. Ennek oka a műszer távmérője, amely bármely felületre képes távolságot mérni, így esetenként lehetetlen volt a célzott fa távolságát meghatározni, az irányvonalba lógó egyéb tereptárgyak (ágak) miatt.

A mérést szintén prizmára végeztük, mellmagasságban a fatörzshöz illesztve. A műszerre „levélszűrőt” raktunk és „filter” távmérési beállítást alkalmaztunk. Az így kapott pozíció a fa mellmagassági átmérőjében vett sugárral eltér a referencia adattól, viszont az összehasonlításnál ezzel javítottam a mérési adatot. A mérési adatokat Android operációs rendszer alatt működő Bluetooth Terminal alkalmazás segítségével rögzítettem okostelefonra.

Mérések Disto S910-zel

A méréseket műszerlábba rögzített műszerrel végeztük. A fatörzsek, a műszer felől értelmezett, mellmagasságban vett középpontját irányozva mértük a pozíciókat, prizma nélkül. A méréseket Zeno 20 térinformatikai GNSS műszerrel rögzítettük.

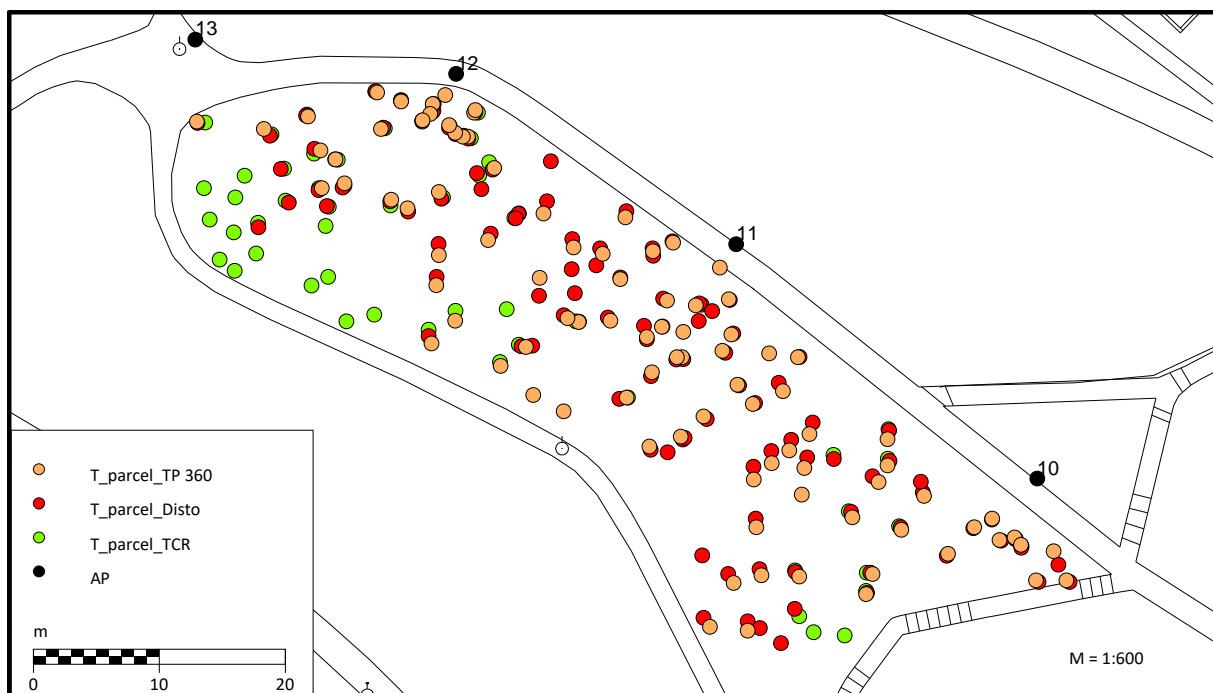
Mérések GNSS műszerekkel

A fák pozíciójának meghatározását két különböző mérési pontosságú GPS műszerrel végeztük el, vizsgálva ezzel egy Leica GPS 1200, centiméteres pontosságot is biztosítani képes műszer, illetve egy Trimble JUNO térinformatikai GPS pontosságát. Utóbbi a specifikációja szerint 2-5 m pontosság elérésére képes.

A geodéziai pontosság eléréséhez a korrekciós adatokat a mérés helyének közelében egy másik Leica GPS műszer biztosította az 1-es alappontról (URH sávon). A „rover” műszerrel, így valós időben tudtuk a helymeghatározást elvégezni, látva a mérésnek aktuális pontosságát. A pozíció meghatározása 5 másodperces mérésekkel történt. A pontraálláshoz 2 méteres mérőrudat használtunk, 8' megbízhatóságú szelencés libellával.

A térinformatikai készüléket kézben tartva és figyelve a PDOP értékeket, mértünk 5 pozíció átlagolásából egy pozíciót.

A referenciatérkép elkészítésekor az összes fásszárú növényegyed, vagy növénycsoport felmérése történt meg, ami közel 300 pont vizsgálatát tette lehetővé, azonban a nagyobb bizonytalanságok elkerülése céljából csak a fákat vettem számításba. A vizsgált területen 145 db fásszárú faegyed került felvételezésre, ez a T parcellában található összes faegyedet jelenti. A felmérés 4 db alappontról (10 – 11 – 12 – 13) történt (51. ábra).



51. ábra: A Botanikus Kert T parcellájának felmért faegyedei, 3 különböző műszerrel.

Az összehasonlítással arra is kitértem, hogy azonos alappontokat felhasználva, felmérhető-e az összes faegyed, illetve mekkora része marad ki a fáknek, amennyiben más típusú műszerrel végezzük a mérést. Az azonos alappontok használatának másik célja az volt, hogy az alappont-meghatározás pontosságát kizárjam a részletpontok pontossági vizsgálatánál.

46. táblázat: A különböző műszerekkel megmért faegyedek száma a Botanikus Kert T parcellájában.

Mért részletpontok száma [db]				
Leica TCR1205	TP 360B	Disto S910	Leica GPS1200	Trimble JUNO
145	91	108	117	130

A 46. táblázat alapján látható, hogy a mérőállomáshoz képest lényegesen kevesebb faegyedet sikerült felmérni. A műholdas helymeghatározó műszerek esetében csak tájékoztató jellegű az adat. Bár elméletileg minden faegyed megmérhető lett volna, viszont a pontazonosítás – és egy-két esetben a műholdas jel hiánya – miatt nem lett minden fa felmérve.

A TruPulse és a Disto műszerekkel közel azonos darabszámot lehetett megmérni, „láttni” ugyanazokról az alappontokról. Ez hozzávetőlegesen is csak a faegyedek kétharmada, vagyis az előző műszer esetében a fák 37%-a, az utóbbi esetében pedig 26%-a maradt ki a felmérésből, azonos alappontokat felhasználva.

A kimaradt pontok oka leggyakrabban a kitakaró lombfelület, néhány esetben (5-10) egy kitakaró fatörzs volt. A mérési technika különbsége miatt a TruPulse esetében várhatnánk a nagyobb számú sikeres felmérést, mivel ennél a műszernél prizma segítségével történt a távmérés, így egy erősebb és koncentráltabb jel érkezik vissza a műszerhez. A Disto műszer kibocsátott jele koncentráltabb, kisebb lábnyomú, viszont a prizma nélküli távmérés gyengíti a visszaérkező jelet.

Néhány esetben csak többszöri próbálkozásra sikerült a lombon keresztül távolságot mérni. A TruPulse esetében ezen mérések hibái nem voltak kiugrók, a Disto műszernél viszont több méteres eltérést okoztak (47. táblázat).

47. táblázat: A nehezen bemérhető fák pozíciójának eltérései, Disto S910 esetében.

Durva hibák: Disto		
[db]	Y [m]	X [m]
1	9,47	0,25
2	1,48	2,33
3	0,83	4,21
4	9,44	1,19
5	2,57	1,08
6	2,58	1,29

Ha ezeket az eredményeket figyelmen kívül hagyjuk, akkor 102 db-ra csökken a Disto-val megmért fák száma, míg TruPulse esetében 91 db marad, ami 7%-os (11 db fa) eltérés az előző műszer javára.

Teljes állomány-felvételezéshez mindkét műszer esetében sűrűbb ponthálózatra lenne szükség. Ez együtt járna a mérési pontosság növekedésével, a távoli pontokat terhelő – lomb okozta és a szögmérési pontatlanságból adódó – hibahatások csökkennének, akár teljesen megszűnnének. Jelen felmérésnél még két alappont kellett volna a teljes felvételezés megvalósítására.

A további vizsgálatokhoz a nagy eltérésű pozíciókat (Disto – 6 db; TruPulse – 4 db) nem vettem figyelembe, mivel ezek felmérését is – mint a kimaradt fák esetén – egy újabb alappontból lehetett volna megbízhatóbban elvégezni. Ezeket a méréseket terepen is feljegyeztem, bizonytalan mérésként.

A mérési pontosság eléréséhez, a TruPulse 360B műszer mágneses szenzorát minden állásponton a mérés kezdetén, hosszabb ideig tartó felvételezéskor a mérés közben is kalibráltam (20 perc mérési idő).

A 48. táblázatban láthatjuk az eltéréseket, amely alapján a TruPulse átlagos vonalas eltérése 37 cm, a Disto pedig 18 cm, amelyek elfogadható értékek és ezen térképezés pontossági kívánalmainak megfelelnek. Kiugró értékek mindkét műszer esetében előfordulnak, de nem jellemzők. A kiugró értékek (nem számítva az elemzésből kihagyott hibás értékeket – a fentebb említett 6 és 4 db) figyelembe vételével elmondható, hogy az eredmények az Útmutató által meghatározott hibahatárokon belül vannak.

48. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei teljes állományfelvétel esetén.

	Disto S910		TP360B		Leica GPS1200		Trimble JUNO	
	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]
Átl. szabályos hiba	0,12	0,13	0,2	0,3	0,73	1,43	2,3	3,1
Min.	0,00	0,00	0,0	0,0	0,01	0,00	0,0	0,1
Max.	0,70	0,59	0,7	1,0	4,63	11,50	19,0	9,2
Medián	0,10	0,10	0,2	0,2	0,51	0,86	1,7	2,7

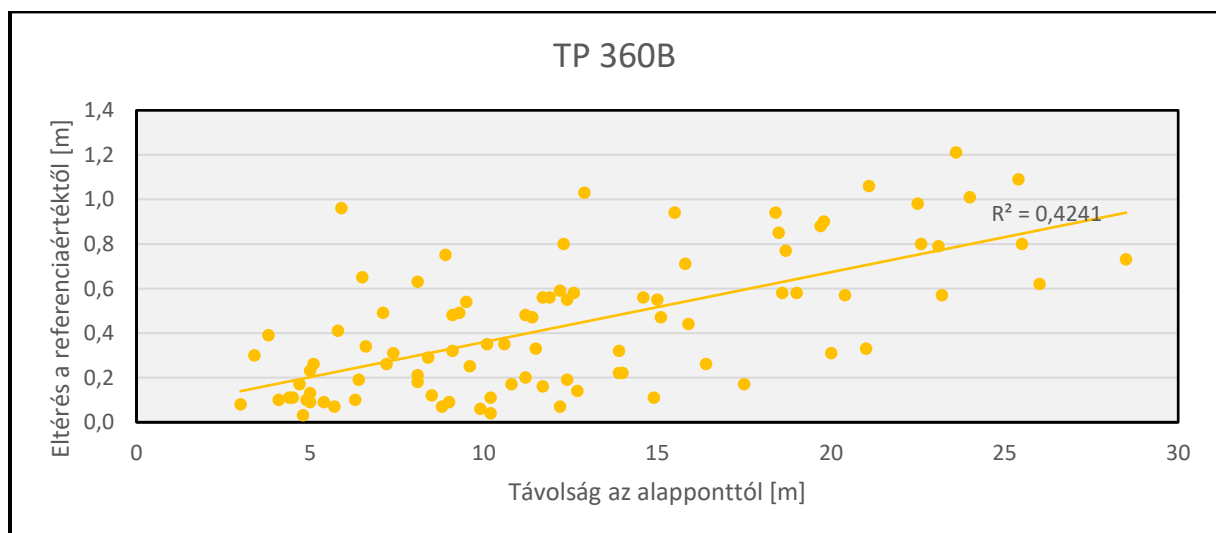
A 48. táblázatban láthatók a műholdas helymeghatározó rendszerrel végzett mérések hibái. Az értékek alapján elmondható, hogy még a geodéziai célú GNSS műszerrel is egy nagyságrenddel nagyobb eltérés tapasztalható a vizsgált műszerekhez képest. Ez erősíti a lézeres távmérők létjogosultságát az erdészeti célú felmérések gyakorlatában.

A pontosság eloszlását vizsgálva elmondható, hogy a TruPulse esetében a mérések 70%-a, a Disto esetében pedig a mérések 90%-a erdőterületi körülmények között az elfogadható 50 cm hibahatár alatt van, és 30 cm-es értékig sem csökken jelentősen ez a mennyiség, az előbbi műszernél 63%, az utóbbinál 84% (49. táblázat).

49. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.

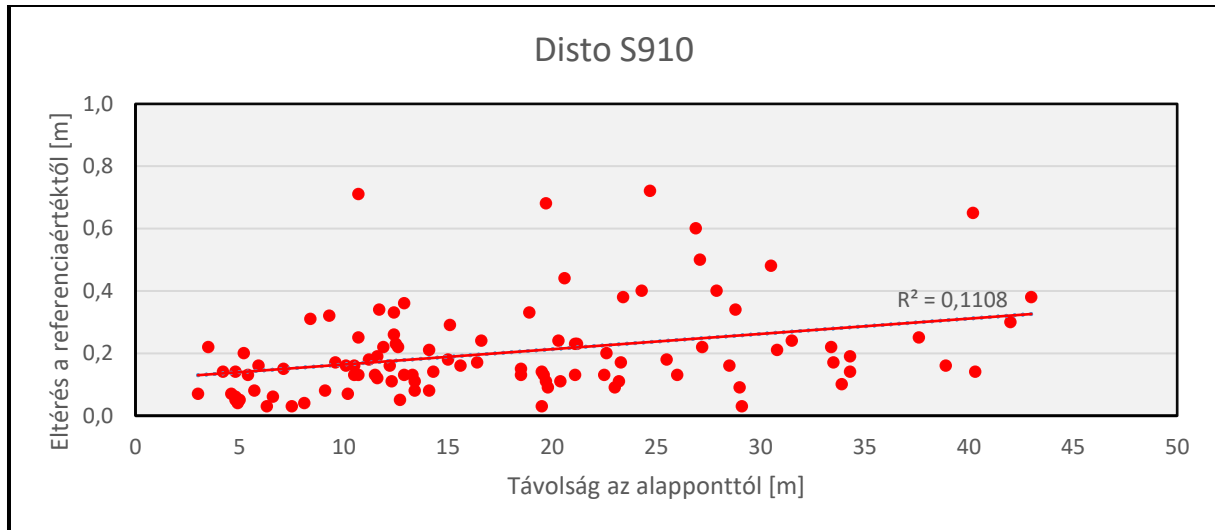
Műszer	TruPulse 360B	Disto S910
Hibaosztály [cm]	Pozíció [db]	Pozíció [db]
0 - 5	11	21
5 - 10	13	24
10 - 20	20	25
20 - 30	13	21
30 - 40	5	6
40 - 50	4	2
50 - 100	21	3
100 -	4	6
Összes pont:	91	108

A távolság függvényében, a TruPulse 360B műszerrel mért fák pozíciójának a mérőállomással meghatározott referenciaponthoz képest nő az eltérése. Az 52. ábrán megfigyelhető a növekedés mértéke. Az eltérések nagy szórást mutatnak, ami a műszer mérési tulajdonságának és a környezeti tényezők (lomb) hatásának tulajdoníthatunk. Ennek ismeretében elmondható, hogy a sűrűbb alapponthálózat pontosabb részletmérést eredményezett volna (a durva hibák szűrésén túl).



52. ábra: A részletmérések referenciaadattól való eltérése a távolság függvényében, TP 360B esetében.

A Disto esetében hasonló, de kisebb mértékű eltérés tapasztalható (53. ábra), a távolság növekedésével gyakrabban előforduló kiugró értékekkel. A mérési távolság és a meghatározási pontosság között nincs egyértelmű összefüggés, amit a 25 m feletti kevés számú mérés miatt nem lehet határozottan kijelenteni. A kiugró értékekből arra lehet következtetni, hogy a mérés pontosságát a lombzat befolyásolja.



53. ábra: A részletmérések referenciaadattól való eltérése a távolság függvényében, Disto S910 esetében.

Összességében megállapítható, hogy a TruPulse 360B műszer mérési pontossága terepi körülmények között, annak dokumentációjában szereplő pontossági paramétereit megközelíti, és az adatokból számolt pozíciók eltérései az erdészeti előírásoknak megfelelnek. Erdői környezetben ennek elérése érdekében szükséges a prizma és a szűrő-feltét használata.

A Disto S910 műszer a Térképezési Útmutatóban szereplő pontossági értékeknek megfelel, azokat lényegesen felülmúlja, a lomb hatása viszont durva hibát okoz a mérési eredményekben.

6.3. Mintakörös felvételezés

A mérési helyszín bemutatása, a vizsgálat célja

Egy átlagos faállományban a pontossági elvárások kisebbek, ilyen esetben a mintakörös eljárás egy lehetséges felvételezési eljárást nyújt az erdőállomány becslésére. A mintakörök nagyságát egy adott faállomány tulajdonságai határozzák meg, de célszerű, hogy egy mintakörbe legalább 10 db fa essen. A vizsgálathoz a méréseket az Őrségi Nemzeti Park területén, a Pap-erdő Erdőrezervátum (jele: 54) magterületén végeztük. Az adatokkal egy mintakörös felvételezés vizsgálatát tűztem ki célul. A vizsgálat jellemzően 10 méter, de 20 méternél nem nagyobb távolságú (sugarú) mérések pontosságát elemzi (50. táblázat).

50. táblázat: Mérés terepi körülmények között III. - mintakörös felvételezés.

Mérési terepi körülmények között III. – mintakörös felvételezés			
<i>Mérés helyszíne:</i> Őrség, Pap-erdő Erdőrezervátum; idős faállomány			
<i>Mérés célja:</i> vízszintes pozíció meghatározásának pontossága mintakörös felvételezésnél			
<i>Vizsgálat módszere:</i> mintakörös egyesfa felvételezés			
<i>Referenciaadat:</i> mérőállomással meghatározott			
Műszervizsgálat tárgya			
<i>Vizsgált műszer:</i>	TP 360B	Disto S910	JUNO
<i>Vizsgált paraméter:</i>	Y, X	Y, X	Y, X

A felmért terület idős, jellemzően 20-30 cm mellmagassági átmérőjű, fenyőelegyes bükkös állomány (54. ábra). A mintakörökben a felmérést csak az egymást kitakaró fatörzsek zavarták. A terület enyhe lejtésű, amely kis mértékben szintén befolyásolta a mérést.



54. ábra: A Paperdő Erdőrezervátum magterülete, és a két felmérési pont elhelyezkedése (www.fentrol.hu).

Az erdőrezervátum magterülete 1,43 ha nagyságú, amelyből a vizsgálatához egy kb. 0,2 ha területen mértük fel a fákat.

A vizsgálat mérési módszere

A mérések kiértékelhetőségéhez egy alaptérképet kellett előállítani, amely a fák pozícióit tartalmazza. A vizsgált pontok a mintakörös felvételezés esetén a mintakörbe eső fák mellmagassági átmérőben vett törzsközéppontjai. Ehhez GPS mérésekkel meghatározott alappontok között, beillesztett sokszög mérés technikával alappontsűrítést végeztünk, a pontokat facövekkel jelöltük. Ezekről az alappontokról (a vizsgálatban 109, és 109P) történt a mintakörök felmérése. A sokszögelést és a mintakörök felmérését is Leica TCR 1205 mérőállomással végeztük. A törzsközéppontok megmérését külpontos mérés technológiával végeztük, mellmagassági átmérőben.

A műszerekkel különböző időpontban került sor a felmérésekre. Ekkor, az alappontokat felhasználva, központosan a pontokra állva, a TruPulse 360B, majd a Disto S910 műszerrel is felmértük a fákat. A mérést nem egy mintakörre szorítkozva, hanem nagyobb területen végeztük a későbbi mintakörméret módosíthatósága érdekében.

A műszerekkel a mintapont felől a törzs tengelyét irányozva, a kéregfelületre történt a részletpontok meghatározása, mellmagasságban.

Egy térinformatikai pontosságot biztosító GNSS műszerrel (JUNO) is történtek mérések a módszerek összehasonlíthatósága érdekében.

A mérések és az eredmények ismertetése

A referenciatérkép elkészítéséhez alapponthálózat létrehozására, majd a fás szárú növényzet felmérésére volt szükség. Elsőként GPS alappontokat (GPS1 és GPS2) kellett létesíteni a felmérési terület közelében. A meghatározást RTK-VRS módszerrel végeztük, 600 pozíció mérésével. A két alappont között beillesztett sokszögvonalat vezettünk (GPS1 – 101 – 102 – 103 – 104 – 105 – 106 – 107 – 108 – 109 – 110 – 111 – 112 – GPS2), a pontokat facövekkel és íraskaróval jelöltük. A mintaterület közelébe eső 109-es alappontról, illetve azt kiegészítve egy melléksokszöggként meghatározott 109P pontról történt a részletpontok felmérése. A törzsközéppontokat 1,30 m magasra állított, fatörzs mellé helyezett prizmára végeztük, külpontos méréssel.

Mérések TruPulse 360B-vel

A méréseket egy másik mérési kampányban hajtottuk végre a Disto S910 és a JUNO méréseivel egyidőben. Ugyanazokon az alappontokon álltunk fel műszerállványra központosan rögzített műszerrel. Azonos alappontról azonos részletpontokat mértünk. A mérést prizma nélküli üzemmódban végeztük, a fatörzs középpontját irányozva. A méréseket a Bluetooth Terminal alkalmazással rögzítettük

Mérések Disto S910-zel

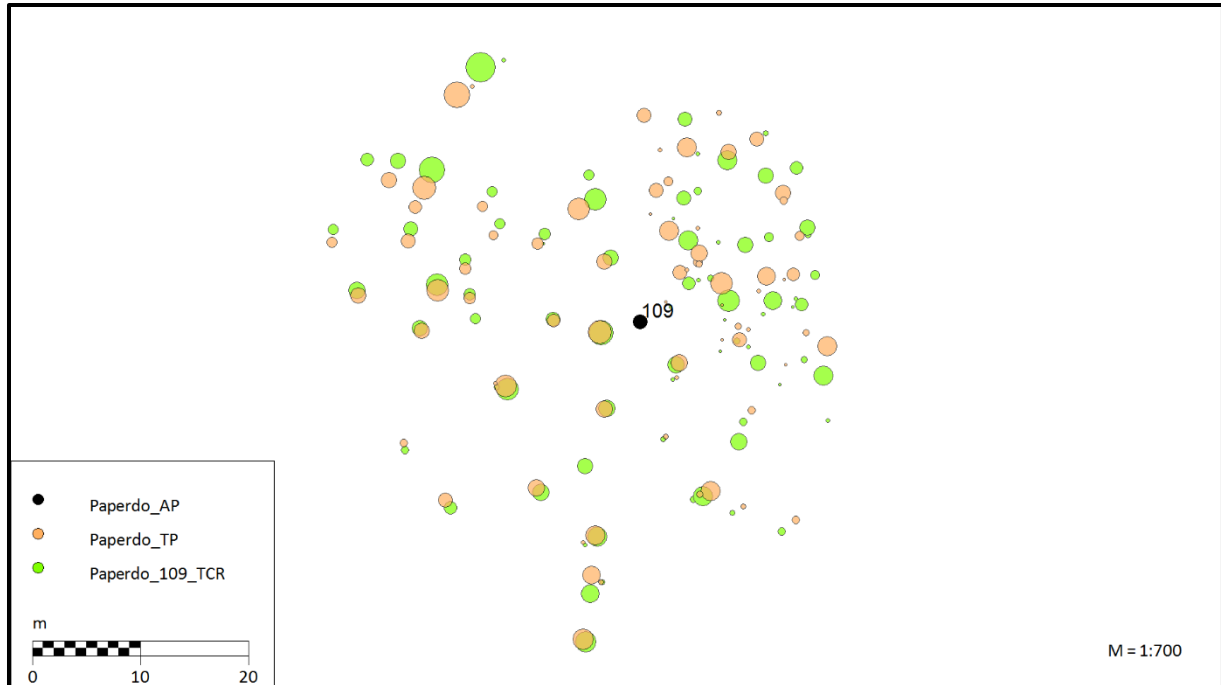
A méréseket szintén központosan az alappontokról végeztük. A fatörzsek a műszer felől értelmezett, mellmagasságban vett középpontját irányozva mértük a pozíciókat, prizma nélkül. A pozíciókat a műszer-rendszerhez tartozó Zeno20 műszerre rögzítettük.

Mérések GNSS műszerekkel

A méréseket a Trimble JUNO műszerrel végeztük és a pozíción kívül mérési-pontossági értékeket, illetve dendrometriai adatokat is rögzítettünk. A méréseket kézben tartott műszerrel végeztük, 5 pozíció átlagolásával tárolva a koordinátákat.

A felmérés előtt a TruPulse kalibrálása (mind a mágneses-, mind pedig a dőlés-szenzor) elmaradt a területen. Időben egy nappal, térben viszont távol esett a legutolsó kalibrálása a műszernek. A mágneses szenzor kalibrátlansága jellegzetes eltérést mutatott a mérési

eredményekben (55. ábra). A műszerben a deklináció értéke nullára volt állítva. A műszerrel terepen két alappont között azimutot mérve, meghatároztam a mágneses tájékozási szöget: $3,6^\circ$. A mért távolságokat mindkét műszer esetében növeltem a mellmagasságban mért sugárral. Az ábrán a 109-es alapponttól (Paperdo_AP) mérőállomással (Paperdo_109_TCR) meghatározott referenciapontokhoz képest, a TruPulse mérései (Paperdo_109_TP) láthatók.



55. ábra: A Paperdő felmért fák pozíció-eltérése a TruPulse 360B műszerrel mérve (törzsátmérő torzítása: kétszeres).

A mérőállomással összesen 78 db fát mértünk fel az összehasonlításhoz, ehhez a TruPulse méréseiből 69 db pontot sikerült azonosítani (2 db nem volt azonosítható, 7 db nem lett felmérve), a Disto műszerrel pedig 77 darabot. A fákat Trimble JUNO műszerrel is felmértük, amely esetben két fának nem történt meg a felvétele.

Az 51. táblázat alapján láthatjuk, hogy a Disto műszer átlagos szabályos hibája 10 és 8 cm a koordináta-tengelyek mentén, ami 13 cm vonalas eltérésnek felel meg. Ez az érték tökéletesnek mondható fák pozíciójának meghatározásához. Néhány (4 db) kiugró hibás érték is található a mérések között.

51. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei teljes állományfelvétel esetén.

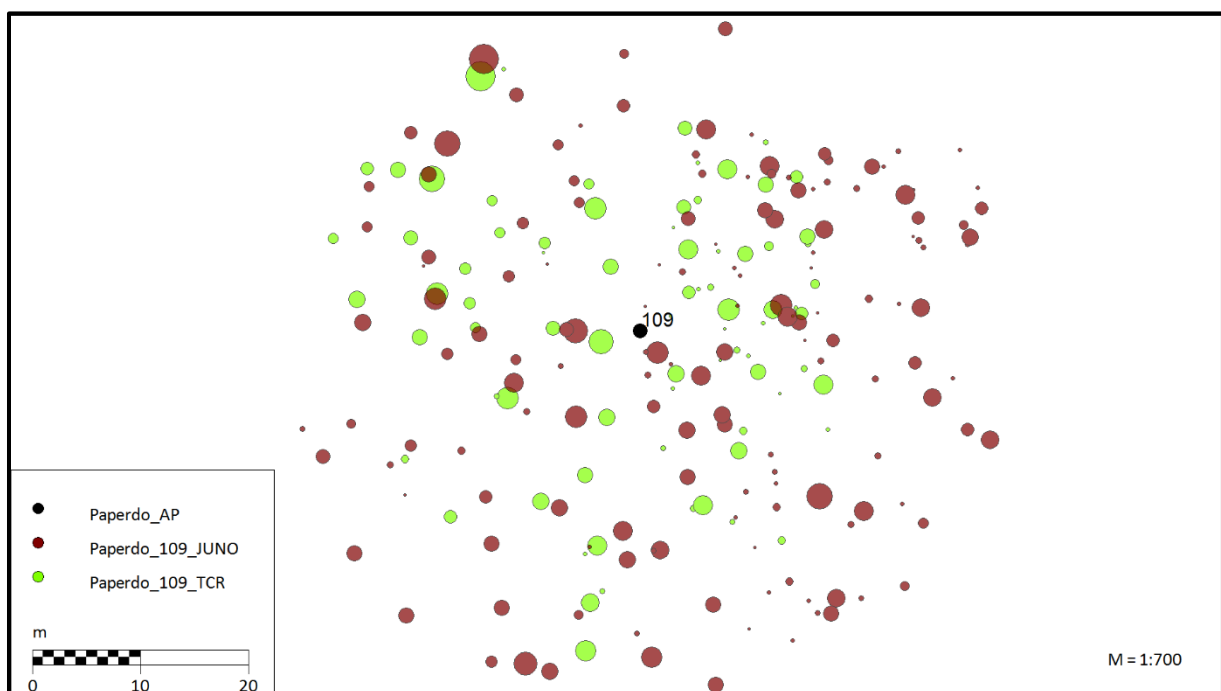
	Disto S910		TP 360B		Trimble JUNO	
	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]	DY [m]	DX [m]
Átl. szabályos hiba	0,10	0,08	0,8	0,9	3,5	4,8
Min.	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,1
Max.	0,95	0,55	4,4	3,1	10,5	25,5
Medián	0,05	0,05	0,4	0,8	3,2	3,3

A TruPulse esetében nagy a mérési pontosság szórása, ami a hibásan beállított, illetve a kalibrálatlan mágneses szenzornak tudható be, mivel a távmérések jellemzően 20 cm nagyságrendű hibát tartalmaztak, és csak három esetben volt durva távmérési hiba, amikor 1,5 m-nél nagyobb eltérést jelentkezett. A távmérésben feltehetően egy fatörzs melletti közeli irányzás okozhatott ilyen nagyságú eltérést.

A térinformatikai pontosságú műholdas helymeghatározó műszer pontossága az 51. táblázat adataiból látható, hogy nagy eltéréseket mutat, amely már az egyes fák beazonosítását is lehetetlenné teszi (56. ábra). A műholdas műszerek specifikációi ellenére, ahol akár szubméteres pontosságot ígérnek, ilyen borítottságú erdei környezetben nem nyújtják a várt pontosságot. Ehhez hasonló feladatok megoldására nem ajánlhatók, helyettük az általam vizsgált műszerek és megoldások jelenthetnek alternatívát, a mérőállomások mellőzése esetén.

A térinformatikai műholdas helymeghatározó műszerek nagy előnye, hogy a képernyőn keresztül valós időben ellenőrizni is tudjuk a térképen keresztül a mért adatokat, ezáltal fontos tartozékai, illetve kiegészítői lehetnek a lézeres távolságmérőknek. Így, megfelelő kapcsolaton keresztül, a műszer által mért adatokat szintén a GPS műszer képernyőjén tudjuk ellenőrizni, szerkeszteni, például a TopoExplorer szoftverrel.

Az ábrán a 109-es alapponttól (Paperdo_AP) mérőállomással (Paperdo_109_TCR) meghatározott referenciapontokhoz képest, a JUNO mérései (Paperdo_109_JUNO) láthatók.



56. ábra: A Paperdő felmért fáinak pozíció-eltérése a Trimble JUNO műszerrel mérve (törzsátmérő torzítása: kétszeres).

A mérési adatok közül nem szelektáltam a kiugró értékeket, mivel a TruPulse esetében a hiba nem a műszer és nem a környezet hatására, hanem a felhasználó figyelmetlenségére vezethető vissza.

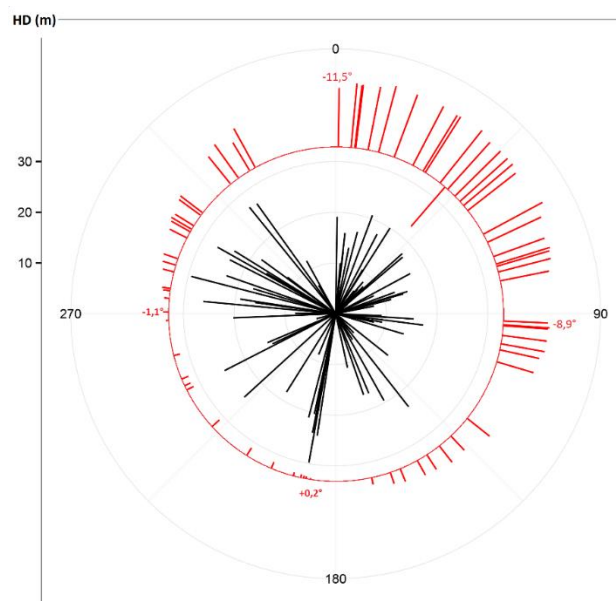
A pontosság eloszlása a TruPulse esetében a mérések 20%-a, a Disto esetében pedig a mérések 95%-a az erdőterületen elfogadható mértékűnek mondható – 50 cm alatti – hibahatár alatt van.

30 cm alatti pontosságot az előbbi műszernél a mérések csupán 9%-a, amíg az utóbbinál 91%-a éri el (52. táblázat).

52. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.

Műszer	TruPulse 360B	Disto S910
Hibaosztály [cm]	Pozíció [db]	Pozíció [db]
0 - 10	2	45
10 - 20	1	21
20 - 30	3	4
30 - 40	5	2
40 - 50	3	1
50 - 100	16	4
100-	39	0
Összes pont:	69	77

A TruPulse 360B – ha az említett módon nincs kalibrálva – a pontossági adatok alapján közel egy GPS mérési pontosságának minőségét közelíti, ám a GPS-szel szemben szisztematikus eltérést mutat, amit az 57. és 58. ábra szemléltet. Így a TruPulse mérései egyes erdészeti vizsgálatokhoz ebben az állapotban is felhasználhatók, vagy akár korrekcióval a mérési pontok a helyükre, közel a helyükre átszámíthatók.

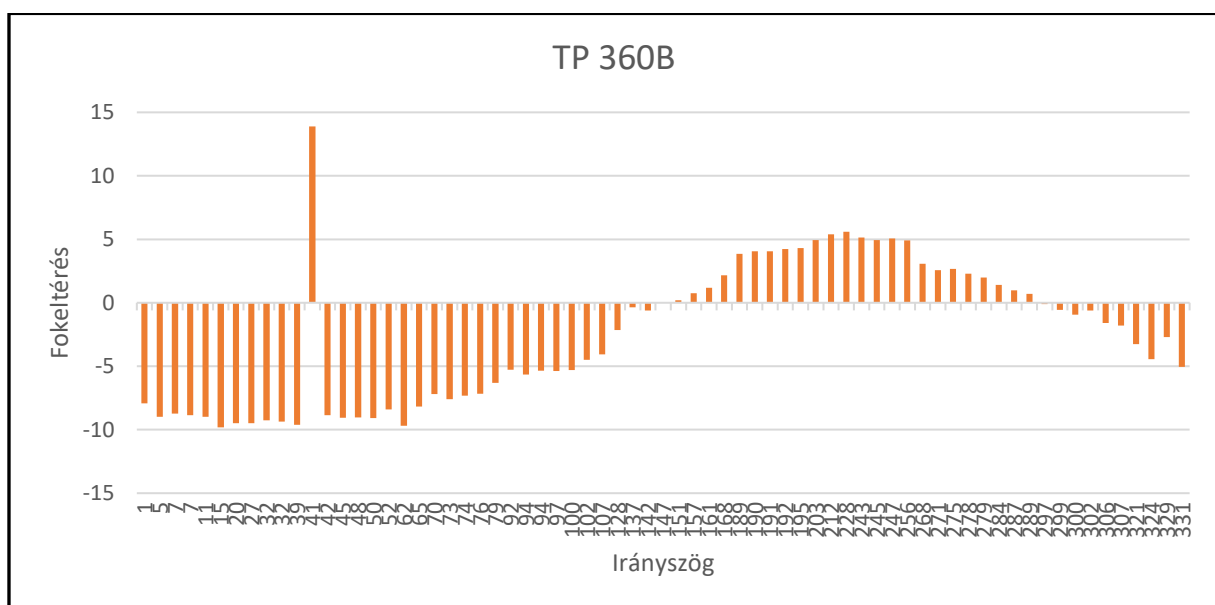


57. ábra: A kalibrálatlan TruPulse 360B a pontokra mért irányokban és távolságokban tapasztalt szögeltérései.

Az 57. ábrán az látható, hogy egy, nem a mérés helyszínén és időpontjában kalibrált TruPulse műszerrel a legnagyobb vízszintes szögeltérések északi-északkeleti, a legkisebb szögeltérések pedig a déli-délnyugati irányokban vannak. A műszer szögmérése ebben a kimutatásban még nem korrigált, az azimutértéket módosítottam a mágneses tájékozási szöggel. Az eltérések az irány változásával folyamatosan és egyenletesen változnak, ez alapján bizonyos mértékben

parametrizálhatók. Ezek az eltérések a mérési-kalibrálási körülményből adódnak, így (feltételezhetően) pontos mérési értékeket módosító állandóval nem jellemezhetők. A eltérések korrigálása esetleg négy irányba, vagy a négy égtáj irányába való tájékozási szög meghatározásával lehetséges.

Az álláspont, egyúttal a mintakör középpontja (109) és a következő alappont (108) között a TruPulse-zal megmérve az azimutot, kiszámoltam a mágneses tájékozási szöget, amely $3,6^\circ$ lett. Ezzel a szögértékkel korrigálva a szögeltéréseket már egy kiegyenlítettebb eltérést tapasztalhatunk, ami az északkeleti irányba közel annyira tér el negatív irányban, mint a délnyugati részen tapasztalható, pozitív előjellel. A kettő között pedig közel szabályos az átmenet (58. ábra). A mérések között egy kiugró érték található, amely feltételezésem szerint valamilyen mágneses anomália (mágnesezhető tárgy vagy az adatgyűjtő műszer) következménye.



58. ábra: A szögeltérések mértéke a vízszintes irányokhoz, a mágneses térhez képest.

Egy megfelelően kalibrált műszer esetén valószínűsíthető, hogy a mérési pontosság nagymértékben javulna. Ezen javítások nélkül is kijelenthető, hogy az erdészeti térképezés által kitűzött követelményeknek, illetve egy mintakörös felvételezés elvárásainak a TruPulse 360B megfelel, míg a Disto S910 műszer tökéletes pontosságot biztosít ilyen jellegű részletmérésekhez.

6.4. A vizsgálat eredményeinek értékelése

A műszerek terepi körülmények között való vizsgálata nyújtja a gyakorlat számára legértékesebb eredményeket. A terepen erdészeti (mintakörös felvételezés és teljes állományfelvétel) és települési zöldfelületi (zöldfelületi nyilvántartás és fakataszter) térképezési feladatokra való alkalmazhatóságot vizsgáltam.

A zöldfelületi térképezésnél a vizsgált műszerek mind pozíció meghatározásban, mind a területnagyság meghatározásban megfelelnek a nyilvántartáshoz, valamint egy (általam használt) térinformatikai GNSS műszer által nyújtott pontosságot lényegesen meghaladják.

A TruPulse műszer pozíciómérési pontossága (a fák meghatározását vizsgálva) jellemzően a műszer távmérési pontosságának megfelelt,

- az átlagos szabályos hiba: 0,7 m volt,

de kiugró értéként tapasztaltam 2 m-es eltérést is.

A Disto mérései jellemzően néhány deciméteres eltérést mutattak terepi körülmények között,

- az átlagos szabályos hiba: 0,35 m volt.

A területmérésnél, ha elfogadjuk a gyakorlatban meghatározott 5%-os megengedett eltérést, a TruPulse egy esetben lépte túl ezt a határt (10%), a Disto műszerrel 1-2%-os eltérések voltak tapasztalhatók.

A teljes állományfelvétel esetében a zöldfelületi mérések eredményeinél pontosabb pozíció-meghatározásokat értem el, a TruPulse műszer:

- átlagos szabályos hibája: 0,4 m volt,

a Disto műszer

- átlagos szabályos hibája: 0,18 m volt.

A mintakörös felvételezésnél egy alappontról történő felmérést végeztünk, amely méréshez nem kalibráltam a TruPulse digitális iránytűjét, amely így:

- az átlagos szabályos hibára: 1,2 m

értéket eredményezett, a Disto műszer

- átlagos szabályos hibája: 0,12 m volt.

A terepi körülmények között végzett vizsgálatok eredményei képezik a IV. tézis alapját (lásd Tézisek fejezet).

7. Következtetések

A mérések és kiértékeléseik azt mutatják, hogy a vizsgált műszerek megfelelnek az erdészeti térképezés és városi zöldfelület-gazdálkodás elvárásainak.

7.1. A TruPulse 360B alkalmazása

A távmérések mérőpályákon való vizsgálata pozitív eredményeket hozott, a műszer adatlapján szereplő értékeknek megfelel, sőt, azokat meg is haladja.

A TruPulse 360B rövid távolságok távméréseit és hosszú távolságok méréseit különböző eljárásokkal vizsgálva, elmondható, hogy a számítások alapján becsült összeadóállandó értékek összhangban vannak. Ugyanazt az eljárást használva rövid- és hosszú távolság mellett 26,181 mm és 36,815 mm értékeket kaptam. A mérési sorozatokkal és a számítási módszerekkel a műszer-együttesben használt Leica körprizmák valós prizmaállandóját (30 mm) kimutattam, tehát a műszer a távméréshez központos felépítésű, a műszerállandó értéke 0 mm. A műszer méretaránytényező értékére -439,748 mm/km-t kaptam, amely a gyakorlati felhasználást tekintve (néhány 10 m hosszúságú távolság mérése esetén) elhanyagolható mértékű, a műszer pontossági kategóriájában. A gyártó által a tipikus távmérésre közölt ± 300 mm-es pontosság megfelelt a vizsgálat eredményeinek. Ezt az értéket a terepi és egyéb vizsgálatok távmérési vizsgálatai felülmúlták, jellemzően ± 100 - 200 mm körüli értékek voltak. Nagy elemszámú mérési sorozatok alapján, az általam ajánlott prizma és zajsűrő használatával a távmérés középhibája ± 120 mm, a közép véletlen hibája pedig ± 80 mm.

A TruPulse 360B mágneses szögmérési tulajdonságai nem nyújtanak kellő biztonságot a térképezési feladatok elvégzéséhez, a műszer használata nagy odafigyelést igényel. A szögmérési pontosság vizsgálatánál akár közel 5° -os eltérés is tapasztalható volt, ami egy 30 m-re lévő részletpont esetén 2,5 m-es oldalirányú eltérést okoz. A tesztmérések és felmérések adatai között jellemzően 1 - 2° -os eltérés volt tapasztalható, a műszer méréseiből $\pm 2,38^\circ$ középhibát határoztam meg. Ez a hiba, részletmérés végzésekor hibahatáron belül esik az Erdőrendezési Útmutató előírásai szerint. A szögmérés hibája, a műszer elektronikus irányzóberendezésének (szálkeresztjének) és optikájának gyengesége miatt következik be, valamint a műszer digitális iránytűje és a külső – mágneseserőteret befolyásoló – hatások is nagymértékű hibát okozhatnak.

A tapasztalatok igazolják, hogy a TruPulse 360B mágneses szenzorát a mérések megkezdése előtt, a helyszínen kalibrálni kell (lehetőség szerint minden állásponton) és minden állásponton a műszert tájékozni szükséges a tájékozási állandó meghatározása céljából. Egy mérési helyszínt egy mágneses hibatérkép jellemez, amely segítségével egy hibás kalibrációjú, illetve kalibrálatlan műszerrel végzett mérések is hibamentessé tehetők.

A TruPulse 360B vizsgálati mérései azt mutatják, hogy geodéziai pontosságú alappontról részletes felmérésre használva a műszert, mind az erdőterületen végzett térképezések, mind a városi zöldfelületeken végzett felmérések, a napjainkban leginkább alkalmazott ortofotó alapú, illetve GNSS technológián alapuló térképezés módszereknél pontosabbak, jellemzően $0,5$ - $1,0$ m hibahatáron belüliek.

Alappontok meghatározására, illetve ezt követően az alappontoról a részletpontmérésre már csak lényeges pontossági csökkenéssel van mód. Alappontmeghatározásra leginkább a távmérés segítségével végezhető ívmetszés javasolt. A vegyes (szög és táv) méréssel történő sokszögelés ugrópontos eljárással, egyszerűsített kiegyenlítéssel egyes erdészeti feladatokra elfogadható pontosságú (~1 m) alappontokat eredményez.

A műszer kezelése egyszerűnek mondható, nem igényel komolyabb technikai jártasságot. A műszer mérési módszertana teljes mértékben megegyezik a geodéziai műszerekével, egy korszerű mérőállomással, így a mérésre fordítandó idő sem különbözik számottevően attól. A pontossága lényegesen elmarad a geodéziai műszerekétől, így az ára és a műszer egyszerűbb használata jelenti az előnyt egy mérőállomással szemben. Erdőterületen a GNSS műszerek mind árban, mind pontosságban kedvezőtlenebbek (vagy közel hasonlóak) a TruPulse 360B műszerrel szemben.

7.2. A Disto S910 alkalmazása

A Disto S910 rövid távolságon végzett labormérései alapján megállapítottam, hogy a műszer összeadóállandója -0,980 mm, méretaránytényezője pedig -15,902 mm/km. A műszer specifikációja alapján a távmérés pontossága 1 mm, amit méréseim is megerősítettek. A tesztelés alapján tehát kijelenthető, hogy a Disto S910 műszer távmérési pontossága megfelel a dokumentációban leírt 1 mm-nek, a műszerállandó értéke pedig -1 mm.

A Disto S910 szögmérésben nyújtott pontossága már nem mutatott kellő precizitást méréseim során. A szögeltérések jellemzően 2° alattiak voltak, amelyek a gyakorlatban előforduló, 50 m-nél rövidebb távmérések mellett nem okoznak 1 m-nél nagyobb eltérést a részletpontok meghatározásában. A szögmérések végzésekor a hibák a vízszintes kör különböző tartományaiban egységesen jelentkeznek (ellentétben a magnetométeres szögméréssel). A méréseim alapján, a vízszintes szögmérésre $\pm 2,06^\circ$ középhibát határoztam meg, amely nem a szenzor pontossági értékét tükrözi. A megbízhatóbb vizsgálat érdekében további méréssorozatok elvégzésére van szükség.

Összességében elmondható, hogy a Disto S910 geodéziai pontosságú alapponttól történő részletpontmérésre teljességgel megfelel egy erdészeti, vagy zöldfelület-gazdálkodási feladat megoldására. Ugyanakkor a műszerrel végezhető szabad sokszögelés kiegyenlíthetlensége és ezáltal a halmozódó szögmérési hiba miatt, használata csak néhány töréspont erejéig javasolt. Az ívmetszéssel történő alappont-meghatározás geodéziai (cm) pontosságú alappontokat eredményez.

A Disto S910 egyik gyengesége az irányzási nehézség, ami abból fakad, hogy a műszerrel egy LCD képernyőn vetített kép és irányszál segítségével lehet az irányzást elvégezni. Ezt az irányzási módszert a nagyobb (20 m <) távolságok, erdei vegetációs körülmények, de legfőképp a környezeti-időjárási körülmények (napsütés – árnyék, pára, köd) nehezítik, pontatlanná teszik. Egy másik hibalehetőséget hordoz az álláspont megadása a GNSS műszer kijelzőjén. A mérések során előfordult, hogy hibás alappont-megadás történt, ezzel elrontva a méréssorozatot. Ezt odafigyeléssel és a mérőrendszer begyakorlásával kiküszöbölhetjük.

7.3. Javaslat egy erdészeti mérőműszer specifikációjára

A műszerek és mérési módszerek vizsgálata során megtapasztaltam a napjaink elektronikus egyszerű térképezési műszereinek két fő vonalát képviselő TruPulse 360B és Disto S910 műszerösszeállítás gyengeségeit és erősségeit, amelyek alapján felvázoltam egy ideálisnak mondható műszert, erdő- és zöldterületek térképezésének céljára.

Egy mágneses szenzorral és egy enkóderrel felszerelt lézeres távmérők mérési tulajdonságai és terepi alkalmazhatóságának vizsgálataként, a következő – elvi-kiindulási – műszerspecifikációt és mérési módszertan alkalmazását tartom megfelelőnek az erdészeti térképezés végzésére.

Műszerspecifikáció:

Táv mérés:

- lézeres távmérő
- hatótávolság minimálisan 50 m (70 m)
- pontossága: ± 1 cm
- képes legyen prizma nélküli és prizmára (szűrt jelekkel) való távmérésre is

Szögmérés:

- mágneses szögmérő szenzor, amely funkció kikapcsolható
- enkóder a tájékozott műszerrel való szögmérésre
- pontossága: $\pm 0,1^\circ$
- dőlésérzékelő pontossága: $\pm 0,1^\circ$

Fizikai tulajdonságok:

- állítható élességű távcső, mechanikus szálkereszttel
- a műszer rögzítése és a mérés megoldható legyen műszerállványról és polárrúdról egyaránt
- minimálisan egy napos munkavégzéshez elegendő áramellátás
- Bluetooth

Mérési módszertan:

- mérési adatok kiolvasásának biztosítása az esetleges utófeldolgozáshoz
- vízszintes szögmérés egy állásponton való mágneses tájékozás után szögszámlálással
- távmérés elsősorban prizmával és zajsűrővel, a hibák kizárása érdekében
- mérések kitámasztható polárrúdról (kvázi bi-, vagy tripód)
- adatkapcsolat egy térinformatikai alkalmazás futtatására alkalmas eszközzel, ahol minimálisan a részletmérések pozíciói közvetlenül megjelennek
- alappont-meghatározás GNSS eljárással, ívmetszéses háromszögeléssel, sokszögeléssel

A meghatározott műszerspecifikáció képezi az V. tézis alapját (lásd Tézisek fejezet).

8. Összefoglalás

A disszertációban arra kerestem választ, hogy az egyre inkább fejlődő és növekvő piaci kínálatú, egyszerű elektronikus térbeli adatrögzítő műszerek milyen pontossággal képesek sűrű borítású területek térképezési feladatainak ellátására. Felhasználási célterületként az erdészeti térképezés mellett a városi zöldterület gazdálkodás igényeit vizsgáltam. Az erdészetben leggyakrabban erdőterületek határainak és nagyságának, erdészeti létesítmények tervezésének – tervezési térképének és faállományok/faegyedek pozíciójának felmérése a cél. A városok zöldterületein a kataszteri nyilvántartás, a különböző felszínborítási kategóriák területnagysága és a faegyedek pozíciójának – valamint minőségi jellemzőinek – meghatározása szükséges.

Az erdészetben a felmérések műszere a Wild T0 busszola-teodolit (volt), addig a városi területeken hagyományos geodéziai eljárásokkal, vagy egyszerű mérési módszerekkel (szalagozás) oldották meg a feladatot.

A kutatás fontosságát erősíti, hogy ezeket a feladatokat hatékonyabban és kisebb szaktudással szükséges megoldani. A városi zöldterületek nyilvántartásához újabb elvárás lett a felmérések kivitelezése, amely a meglévő feladatok mellett, egy egyszerűen alkalmazható és kellő pontosságú technológiát igényel.

A mai kor elterjedt térképezési módszerei közé sorolhatók a GNSS technológia mérései, valamint ortofotó alapú térképezési eljárások. Ezek nem minden körülmény között nyújtanak kellő pontosságot, különösképp nem erdőterületen.

A pontosság tekintetében nehéz lenne egy konkrét értéket meghatározni, sok esetben a feladat határozza meg. Más tükröznek az útmutatók és határozatok, mint ami elvart, és ami a gyakorlatban megvalósított, megvalósítható. Általánosan megfogalmazható, hogy a Wild T0 műszer pontosságát, valamint az alkalmazott GNSS technológia és ortofotó térképezés pontosságát alapul véve, az 1 m-es pontosság elfogadható mértékű.

A vizsgálathoz egy Magyarországon ismertnek mondható műszert, a Lasertechnology TruPulse 360B típusú műszerét, valamint egy más mérési elvű műszert, a Leica cég Disto S910 műszerét (FTA 360 adapterrel) használtam. A két műszer között a lényegi különbséget a vízszintes szögmérés elve jelenti. Az előző műszer mágneses elven, míg a második műszer szögelfordulás számlálása elvén határozza meg a vízszintes szöveget.

A vizsgálataimat úgy építettem fel, hogy a műszerek mérési pontosságát is meghatározzam, illetve a terepi körülmények közötti pozíciómeghatározását is elemezni tudjam. Így meghatároztam a műszerek táv- és szögmérési pontossági értékeit, amelyekből nem következett a pontmérés pontossága, mivel további – külső – hibahatások terhelik a méréseket. A következő lépést a hibahatások vizsgálata jelentette, hogy azok milyen mértékben terhelik, terhelhetik a méréseinket. Ezen eredmények tudatában végeztem terepi körülmények között tesztméréseket, amelyek alapján a végső következtetéseket levontam.

A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a vizsgált két műszer részletmérési tulajdonságaik alapján megfelelnek az erdő- és zöldfelületen támasztott pontossági igényeknek, viszont alappontok meghatározását inkább távmérésen alapuló előmetszéssel célszerű elvégezni, mint vegyes – szög- és távmérés – mérési eljárással, sokszögeléssel.

9. Tézisek

I. Tézis:

Igazoltam, hogy a Laser Technology Inc. TruPulse 360B típusú műszere a gyártó által megadott távmérési pontossági értékeket, ideális (mérőpálya) körülmények között, biztosítja. Kimutattam, hogy erdei körülmények között a távmérést prizma használatával és előtét zajsűrővel szükséges végezni, egyéb körülmények között a távmérésben durva hibák (a mérés pontosságát meghaladó hiba) fordulnak elő. A prizma nélkül való távmérést legalább két méréssel javasolom meghatározni. Ha nem tapasztalunk a két mérés között a műszer pontosságánál nagyobb eltérést ($L_1 - L_2 \leq 0,3$ m), akkor elfogadhatjuk azt, ezáltal a lombozat és a vékony ágak torzító hatása elkerülhetővé válik.

II. Tézis:

Megállapítottam, hogy a Laser Technology Inc. TruPulse 360B típusú műszerének mágneses azimutmérési középhibája $\pm 2,38^\circ$. Elfogadva a szenzor műszerspecifikáció szerinti $\pm 1^\circ$ pontosságát, akkor a vízszintes szögmérést további hibák terhelik valós mérési körülmények között. Ezeket a hibákat a műszer irányzóberendezésének pontatlansága ($< 0,5^\circ$), valamint a jelentős mértékű eltérést a digitális iránytű kalibrálási hibája okozza. A mérések megbízhatósága a valós időben működő mágneses azimutmérési megoldás miatt nem megfelelő, célszerűbb megoldást nyújtana – hasonlóan a Wild T0 műszerhez – a mágneses északi irány rögzítése (arretálása) után irányértékek mérésének lehetősége.

Tesztmérések alapján megállapítottam, hogy kellő odafigyelés mellett, egy geodéziai pontosságú alappontról való részletméréshez, ezen szögeltérések mellett is, az erdészeti térképezésben (erdőrészlet felmérés, mérnöki létesítmények tervezési térképei, faállomány felvételezés) megfelelő pontosságot (20 m távolságig jellemzően 0,3 m-nél kisebb hibák) biztosít.

III. Tézis:

Valós körülmények között végzett alappontmeghatározás esetén igazoltam, hogy erdészeti és városi zöldfelületi felmérésekhez, a Laser Technology TruPulse 360B gyengébb szögmérési megbízhatósága miatt elsősorban ívmetszéssel történő alappontmeghatározásra javasolható, ahol a meghatározás pontossága megfelel a műszer távmérési pontosságának ($< 0,3$ m). Ugrópontos sokszögelés alkalmazása szubméteres pontossági igényű felmérésekhez javasolt.

IV. Tézis:

Terepi mérések alapján megállapítottam, hogy az enkóder által biztosított szög meghatározás (Leica Disto S910) pontosabb eredményeket nyújt a részletméréshez, mint a mágneses elven alapuló (TruPulse 360B). Miután a digitális iránytű meghatározta a mágneses északi irányt, a további részletpontok meghatározását, a nagyobb pontosság és megbízhatóság érdekében, egy rögzíthető mágneses északi iránytól történő irányértékek mérésével szükséges végezni.

V. Tézis:

Különböző távmérési- és szögmérési módszerek pontosságvizsgálata, valamint valós körülmények között végzett nagyszámú (közel 2000) mérések alapján javaslatot teszek egy jól alkalmazható, költséghatékony műszerfelépítésre, amely teljeskörűen alkalmas erdészeti célú térképezésre és műszaki létesítmények felmérésére.

A műszer ± 1 cm pontosságú és minimálisan 50 m hatótávolságú lézertáv mérővel épített, amely képes prizma és prizma nélküli üzemmódú mérésre. A vízszintes szögmérés szempontjából fontos, hogy szögszámláló (enkóder) és mágneses szenzort is tartalmazzon, amelyek pontossága minimálisan $0,1^\circ$. Magassági szögméréshez minimálisan $0,1^\circ$ pontosságú érzékelője legyen. Felépítésében kis súly, könnyű kezelhetőség, fókuszálható optika és precíz szátkereszt jellemezze. Nélkülözhetetlen egy könnyű állványra (mono-, bipod) való rögzítés és az egy munkanapot teljesítő energiaellátás. Az adatok valós időben egy külső eszközön (pl. mobiltelefon) történő kezelhetősége érdekében, szabványos jelstruktúra alkalmazása és beépített Bluetooth modulra van szükség.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Czímber Kornélnak a támogatását, valamint Dr. Primusz Péternek, Kisfaludi Balázsnak és Dr. Brolly Gábornak a kutatás során nyújtott segítséget és lelkesítést.

A kalibráló mérésekhez kapott tanácsokért és segítségért hálás vagyok a Geodéziai és Geofizikai Intézet munkatársainak, kiemelten Horváth Attilának. A kutatáshoz nélkülözhetetlen rengeteg méréshez nyújtott segítségét köszönöm Sajtos Mártonnak, Barton Ivánnak, Németh Márknak és mindazoknak, akik hozzájárultak a terepi mérések kivitelezéséhez.

Köszönöm az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársainak és azoknak, akik valamilyen formában támogattak munkámban.

Köszönettel tartozom a Leica Geosystems Hungary cégnek és Pallos Péter közreműködésének, hogy rendelkezésemre bocsátották a Disto S910 műszert a vizsgálatokhoz.

És végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni Dr. Bányai László opponensként nyújtott nélkülözhetetlen tanácsait a disszertáció végleges tartalmának kialakításához.

Felhasznált irodalom

- ÁDÁM J. – BÁNYAI L. – BORZA T. – BUSICS GY. – KENYERES A. – KRAUTER A. – TAKÁCS B. (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 458 p.
- ABDI, E. – SISAKHT, S. R. – GOUSHBOR, L. – SOUFI, H. (2012): Accuracy assessment of GPS and surveying technique in forest road mapping. In: Annals of forest research, Vol. 55, pp. 309-317.
- ALFARHAN, M. – TRUCK, D. – AIKEN, C. (2008): Laser rangefinders and ArcGIS combined with three-dimensional photorealistic modeling for mapping outcrops in the Slick Hills, Oklahoma. In: Geosphere, Vol. 4, pp. 576-587.
- BAZSÓ T. – PRIMUSZ P. – NÉMETH M. (2014): A TruPulse lézeres távolságmérő alkalmazhatósága erdészeti térképezési feladatokra. Erdészettudományi Közlemények, pp. 147-158.
- BAZSÓ T. – PRIMUSZ P. (2014): Simple geospatial data collecting methods for environment change. In: Natural Hazards and Climate Change, Vol. 1, pp. 189-198.
- BAZSÓ T. – SAJTOS M. (MEGJELENÉS ALATT): Map preparation with Leica Disto S910 Instrument at Paprét, Sopron. Leica Geosystems online folyóirat
- BÁCSATYAI L. (1985): Geodézia II. Egyetemi jegyzet. Sopron
- BÁCSATYAI L. (2002): Geodézia I. Egyetemi jegyzet. Sopron
- BÁCSATYAI L. (2003): Geodézia erdő- és környezetmérnököknek. Geomatikai Közlemények VI., MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron, 325 p.
- BÁCSATYAI L. – GYIMÓTHY A. (2003): GPS technika erdővel fedett területeken. Geomatikai Közlemények V., MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron, pp. 303-308.
- BÁNYAI L. (2007): A műholdas helymeghatározás földtudományi alkalmazása. MTA Doktori értekezés
- BEZZEGH L. (1966): Földmérés I. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron
- BORZA T. (1995): Az első cm-pontosságú valós idejű kinematikus GPS-technika Magyarországon. Geodézia és Kartográfia, 1995/2, pp. 24-29.
- BORZA T. – GALAMBOS I. – HORVÁTH T. – KENYERES A. (2007a): Célegyesben a hazai GNSS kiegészítő rendszer építése. Geodézia és Kartográfia 6, Budapest, pp. 13-22.
- BORZA T. – KENYERES A. – VIRÁG G. (2007b): Műholdas geodéziai vonatkozási rendszerünk ETRS89 felújítása. Geodézia és Kartográfia 10-11, Budapest, pp. 40-48
- BUSICS GY. (2007a): A műholdas helymeghatározás geodéziai alkalmazásának technológiai és minőségi kérdései. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár

- BUSICS GY. (2007b): Technológia-váltás a GNSS korszakban. Geomatikai Közlemények X., MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron, pp. 43-51.
- BRACH, M. – BIELAK, K. – DROZDOWSKI, S. (2013): Measurements accuracy of selected laser rangefinders in the forest environment. In: Sylwan, Vol. 157, pp. 671-677.
- CARUSO, M. J. (1997): Application of magnetoresistive sensors in navigation systems. Sensors and Actuators, SAE SP-1220, pp. 15-21.
- CSEPREGI SZ. – GYENES R. – TARSOLY P (2013): Geodézia I., Egyetemi jegyzet, Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár
- DÁVID L. (2010): Balatonfüzfüi Erdészeti Tervezési Körzet Második Erdőterve. Veszprém, http://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/105215/Balatonfuzfoi_korzet_erdoterve.pdf/7acee9b9-cdc1-47fd-b7be-c86df5deb439
- DETRÉKŐI Á. (1991): Kiegyenlítő számítások. Tankönyvkiadó, Budapest, 684 p.
- EISELE, A. (2013): Millimeter-Precision Laser Rangefinder Using a Low-Cost Photon Counter. Doktori értekezés, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- ERDŐRENDEZÉSI SZOLGÁLAT. (1986): Útmutató az erdőállomány-gazdálkodási tervek (erdőtervek) készítéséhez. MÉM Erdőrendezési Szolgálat, Budapest
- ETTER, T. – GROINER, J. (2004): Developing a laser surveying station for archeological and paleontological sites. Tech Tip 0423-2336-MTDC., Missoula, pp. 1-4.
- FEKETE Z. (1954): A hazai erdőrendezés története. Az erdő, 3. évf., 5. füzet, Budapest, pp. 190-198.
- FENG, Z. - XU, W. – YANG, L. (2015): Forest stand spatial structure measurement methods using handheld tree measurement smart station. Transactions of the chinese society of agricultural engineering Vol. 31., pp. 213-217.
- FLY, C. (2016): Work or Play? Mapping baseball fields with laser technology. Tanulmány, <http://www.elecddata.com/blog/work-or-play-mapping-baseball-fields-with-laser-technology/>
- FRANK, E. (2010): The really, really basics of laser rangefinder/clinometer tree height measurements. Kézirat
- GILBERT, W. (1893): Loadstone and magnetic bodies, and on the great magnet the Earth. Bernard Quaritch, London, 368 p.
- HAZAY I. (1957): Geodéziai kézikönyv. II. kötet. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest
- HAYAKAWA, Y. S. – KASHIMA, K. (2006): Topographic map construction using a handheld laser rangefinder and GIS at Kaman-Kalehöyük and Kültepe. Anatolian Archeological Studies Vol. 15., pp. 191-195.

- HAYAKAWA, Y. S. (2007): Construction of a digital landform datasheet at Kaman-Kalehöyük: Method improvement by automated data collection of laser range finder. In: *Anatolian Archeological Studies Vol. XVI.*, pp. 169-177.
- HÉDL, R. – SVÁTEK, M. – DANČÁK, M. – RODZAY, A. W. – M.SALLEH, A. B. – KAMARIAH, A. S. (2009): A new technique for inventory of permanent plots in tropical forest: a case study from lowland dipterocarp forest in Kuala Belalong, Brunei Darussalam. *Blumea Vol. 54.*, pp. 124-130.
- HOOD, J. L. – HAYASHI, M. (2010): Assessing the application of laser rangefinder for determining snow depth in inaccessible alpine terrain. In: *Hydrology and Earth System Sciences Vol. 14.*, pp. 901-910.
- HORVÁTH F. – BORHIDI A. (2002): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei, *TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest*, pp. 99-108.
- HUSTI GY. – ÁDÁM J. – BÁNYAI L. – BORZA T. – BUSICS GY. – KENYERES A. – KRAUTER A. – TAKÁCS B. (2000): Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés). *Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*
- IORDACHE, E. – MIHĂILA, M. (2010): Evaluation of GPS performance in Romanian Mountain forest. *RevCAD – Journal of Geodesy and Cadastre, Vol. 10*, pp. 194-200.
- KENDERES K. – MIHÓK B. – STANDOVÁR T. (2008): Thirty years of gap dynamics in a central european beech forest reserve. *Forestry, Vol. 81.*, pp. 111-123.
- KILPELÄ, A. – PENNALA, R. – KOSTAMOVAARA, J. (2001): Precise pulsed time-of-flight laser range finder for industrial distance measurements. In: *Review of Scientific Instruments. AIP, Vol. 72, Num. 4*, pp. 2197-2202.
- KIS K. (2007): Földmágnesség. In: *Kis Károly: Általános geofizikai ismeretek. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest*, pp. 235-342.
- KRAUTER A. (1995): *Geodézia. Műegyetemi Kiadó, Budapest*
- LEICA GEOSYSTEMS (2006): Élet a „hagyományos” RTK technológián túl – A műholdas alapú Szabatos Abszolút Pontmeghatározás (Precise Point Positioning). <https://svajcipontosan.com/2016/08/02/elet-a-hagyomanyos-rtk-technologian-tul-a-muholdas-alapu-szabatos-abszolut-pontmeghatározas-precise-point-positioning/>
- LEICK, A. – LAMBERT, S. (1990): *GPS satellite surveying. John Wiley & Sons Kiadó, New York*, pp. 204-218.
- MAROSI GY. (1973): A busszolasokszögvonal kiértékelésének néhány esete. *Diplomamunka, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron*
- MARTH F. (1973): Csomópontos sokszögelés busszolóval. *Diplomamunka, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron*
- MIKOS, M. – VIDMAR, A. – BRILLY, M. (2005): Using a laser measurement system for monitoring morphological changes on the Strug rock fall, Slovenia. In: *Natural Hazards Earth System Sciences 5.*, pp. 143-153.

- NÉMETH F. (1998): A magyarországi erdőfelmérés története a kezdetektől 1990-ig. HTSART Kiadó és Nyomda, Budapest, 110 p.
- NÉMETH M. (2013): A TruPulse lézeres távolságmérő alkalmazhatósága erdészeti térképezési feladatokra. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- MGSZH KÖZPONTI ERDÉSZETI IGAZGATÓSÁG (2009): Térképészeti Útmutató. Nyilvántartási és Térképészeti Osztály, Budapest, 179 p.
- OLTAY K. (1962): Geodézia, Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest
- PETHŐ G. – VASS P. (2009): Geofizika alapjai, Segédlet. ME, Geofizikai Tanszék, Miskolc
- PIRITI, A. – GÜMÜS, K. – ERKAYA, H. – HOŞBAŞ, R. G. (2010): Evaluating repeability of RTK GPS/GLONASS near/under forest environment. In: Survey review, Vol. 43, pp. 177-186.
- POTOČNIK, I. (2013): Use of various survey methods in forest engineering. Proceedings, Integrated Rural Road Network Re-engineering, University of Ljubljana, Slovenia
- PHIPPEN, M. (2013): GIS/GPS mapping easier with the TruPulse 360 laser rangefinder. Kézirat
- RICS (2007): Útmutató az elektronikus távmérők kalibrálásához (Royal Institution of Chartered Surveyors - UK), mérési útmutató
- SANTANGELO, M. – CARDINALI, M. – ROSSI, M. – MONDINI, A. C. – GUZZETTI, F. (2010): Remote landslide mapping using a laser rangefinder binocular and GPS. In: Natural Hazards Earth System Sciences 10., pp. 2539-2546.
- SCOTT, D. N. – BORGAN, D. J. – LININGER, K. B. – SCHOOK, D. M. – DAUGHERTY, E. E. – SPARACINO, M. S. – PATTON, A. I. (2016): Evaluating survey instruments and methods in a steep channel. In. Geomorphology. pp. 236-243.
- SCHWENDENER, H. R. (1972): Electronic distances for short ranges: accuracy and checking procedures. Survey Review, Vol. XXI. pp. 273-281.
- ŠILINGER, K. – BLAHA, M. (2012): The impact of mobile phones on the accuracy of magnetic azimuth measuring using digital magnetic compass. In: Recent researches in circuits and systems, Proceedings. pp. 378-382.
- ŠIPOŠ, M. – ROHÁČ, J. – NOVÁČEK, P. (2012): Improvement of electronic compass accuracy based on magnetometer and accelerometer calibration. In: Acta Physica polonica, Vol. 121. pp. 945-949.
- SZILAS G. (1976): Az erdészeti térképezés két évszázada. Geodéziai és Kartográfiai Egyesület ülése, Miskolc
- SZABÓ GY. (2010): Erdőrendezés, erdőtervezés, erdőtérképezés. Egyetemi jegyzet, Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár
- SZCZUTKO, T. (2014): Technology of precision callibration of electro-optical rangefinders using laboratory methods and field test baseline. In: Geomatics and environmental engineering, Vol. 8, pp. 67-79.

- SZMORAD F. – KELEMEN K. – KOVÁCS B. – STRADOVÁR T. (2013): Többcélú erdőállapot-felmérések módszertanának kidolgozását megalapozó irodalmi áttekintés. ELTE Biológiai Intézet, Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék, Budapest
- TAGÁNYI K. (1896): Magyar erdészeti oklevéltár. Magyarország ezredéves fennállásának emlékére, Budapest
- TAKÁCS B. (2004): GPS-mérések abszolút feldolgozását terhelő hibahatások vizsgálata. Doktori értekezés, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest
- TARSOLY P. (2013): A térinformatikai célú adatgyűjtés minősítése, fejlesztése és módszertani alkalmazása a gyapjúzsákbarlangok kutatásában. Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- TED, E. – GROENIER, J. S. (2004): Developing a laser surveying station for archeological and paleontological sites. Tanulmány, Technology and Development Program, Missoula
- TOMCSÁNYI GY. (1895): A garam-menti kincstári erdőkben alkalmazott szállítási-rendszer ismertetése. Erdészeti Lapok. 34. évf. 11. füzet, pp. 1175-1205.
- TÖRÖK T. (1998): A Soproni Egyetem alsó Botanikus Kertje digitális térképének elkészítése. Diplomamunka, Soproni Egyetem, Sopron
- TVORDY GY. (1973): Numerikus sokszögelés busszólóval. Doktori értekezés, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
- VARGA R. (2016): Városi zöldfelületek felvételezési módszerei. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- VÖLGYESI L. (2002): Geofizika. Műszaki kiadó, Budapest, pp. 5-58.
- WING, M. – KELLOG, L. (2001): Using a laser rangefinder to assist harvest planning. In: Precision forestry – Proceedings of the first international precision forestry cooperative symposium, pp. 147-150.
- WING, M. – KELLOG, L. (2004): Digital data collection and analysis techniques for forestry applications. In: Geoinformatics 2004 – Proceedings of the 12th international conference on geoinformatics, pp. 77-83.
- WÜBBENA, G. – SCHMITZ, M. – BAGGE, A. (2005): PPP-RTK: Precise Point Positioning using State-Space representation in RTK networks. Presented at the ION GNSS 2005, Long Beach, California, pp. 2584-2594.

Hivatkozott jogszabályok és szabványok:

A.5. szabályzat (1981): Az országos vízszintes alapponthálózat sűrítése.

Erdőrendezési útmutatók: 1955; 1976; 2001; 2009

1991. évi XXXIII. törvény: Törvény az állami tulajdonban lévő vagyontárgyak önkormányzati tulajdonba adásáról.

147/1992. (XI. 6.) rendelet: Kormányrendelet az önkormányzatok tulajdonában lévő ingatlanvagyon nyilvántartási és adatszolgáltatási rendjéről.

1996. évi LIV. törvény 106. §: Törvény az erdőről és az erdő védelméről.

MSZ 7772-1 (1996): Magyar Szabvány. Digitális Térképek (DAT) pp. 33-38.

88/2000. (XI. 10.) FVM rendelet: Rendelet az Erdőrendezési Szabályzatról.

25/2013 VM rendelet: Rendelet az ingatlan-nyilvántartási célú földmérési és térképészeti tevékenység részletes szabályairól.

FÖMI (2015): A légifelvétel és ortofotók állami átvételi szabályzata. Földmérési és Távérzékelési Intézet

Hivatkozott elektronikus oldalak:

<http://www.cccme.org.cn/shop/geomasterchina/product---7.aspx> (2017.05.05.)

http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Swarm/Earth_s_magnetic_heartbeat (2017.02.14.)

<http://www.ftf.bfkh.gov.hu/portal/index.php/szolgáltatásaink/k-geo-kalibráló-laboratórium> (2017.05.05.)

<http://www.gammatech.hu/muzeum/?rdir=wild/> (2017.02.14.)

<http://www.geoaxis.de/manuals/powerset2000.pdf> (2017.03.17.)

<http://www.fentrol.hu/hu#c:1806615.2756605:5924392.838090001:13> (2017.02.14.)

<http://www.haglofco.com/index.php/en/products/instruments> (2017.03.17.)

<http://www.ifer.cz/new/index.php> (2017.03.17.)

<http://www.kustomsignals.com> (2017.03.17.)

<https://www.leica-geosystems.com> (2017.03.17.)

<http://www.lasertech.com> (2017.03.17.)

<http://www.mdl.co.uk> (2017.03.17.)

<https://www.safran-electronics-defense.com> (2017.03.17.)

<http://www.trimble.com> (2016.12.10.)

http://www.ushikata.co.jp/English/index_e.html (2017.03.17.)

<http://www.wild-heerbrugg.com> (2017.03.17.)

Ábrák jegyzéke

1. ábra: Hatások a TruPulse 360B méréseire.	2
2. ábra: A busszola-teodolitok típusai a távcső és a tájoló külpontossága alapján.	10
3. ábra: Erdészeti célokra hirdetett Wild T0, egy korabeli plakáton.	11
4. ábra: A mágneses tér komponensei.	12
5. ábra: Az északi irányok összefüggései.	13
6. ábra: Az első sorozatú és a modernizált változatú Wild T0 busszola-teodolit.	14
7. ábra: Ortofotó alapján való térképezés hibaforrásai.	19
8. ábra: A kínai DQL-16Z busszola műszer.	20
9. ábra: Haglőf - Postex Laser műszer.	21
10. ábra: A Laser Technology műszerei: Criterion 400, MapStar Compass Module II, TruPulse 360B, MapStar TruAngle és TruPoint 300.	22
11. ábra: A „Field-Map” rendszer hardver összeállításai.	24
12. ábra: A geodézia alapfeladatai a vetületi síkban.	25
13. ábra: Az ívmetszés geometriai megoldása.	26
14. ábra: A beillesztett sokszögvonala vázrajza.	27
15. ábra: Irányértékek tájékozása.	28
16. ábra: A TruPulse 360B esetén alkalmazott néhány központosítási megoldás.	36
17. ábra: A MapStar Compass Module II és TruPulse 360B.	37
18. ábra: Leica Disto S910 esetén alkalmazott központosítási megoldások.	39
19. ábra: A disszertáció keretén belül végzett vizsgálat módszertani lépései.	40
20. ábra: A Disto S910 a labormérések közben.	45
21. ábra: A mérőpálya kialakítása és a mérési sorozat rövid távolságok mérése esetén.	45
22. ábra: A mérőpálya kialakítása és a mérési sorozat hosszú távolságok mérése esetén.	49
23. ábra: A TruPulse műszer távmérési hibái, nagy elemszámú méréssel vizsgálva.	52
24. ábra: A távmérést különböző távolságokban terhelő hibák.	52
25. ábra: Az üzemi hőmérséklet hatásának vizsgálata a távmérésre.	53
26. ábra: A távméréshez alkalmazott jelek és fafajok.	56
27. ábra: A levélfelületet szimuláló lapok rajzai.	56
28. ábra: A távmérés vizsgálata különböző viszonyok között.	57
29. ábra: Mérési hibák eloszlása különböző jelfelületek esetében.	58
30. ábra: Mérési hibák eloszlása különböző távolságok esetén.	58
31. ábra: A mérőpályán végzett szögmérések.	63
32. ábra: A TruPulse szögmérési hibái abszolút értelemben.	64
33. ábra: A Disto szögmérési hibái abszolút értelemben.	65
34. ábra: A TruPulse és a Disto szögmérési hibái tesztpályán.	66
35. ábra: A határszög megállapításához alkalmazott műszerrögzítés.	68
36. ábra: A határszög megállapítása GPR 111 prizmával.	69
37. ábra: Szög és távolság függvényében bekövetkező hiba.	70
38. ábra: Vízszintes szögeltérés a teljes körön vizsgálva, különböző körülmények mellett.	72
39. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések I.	73
40. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések II.	73
41. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések III.	73
42. ábra: A szögmérésben tapasztalható eltérések IV.	73
43. ábra: A mágneses vizsgálathoz használt körosztás.	74
44. ábra: A sokszögelés helyszínrajza.	79

45. ábra: A távmérési előmentszés módszere.	85
46. ábra: A soproni Paprét felmérési terület lehatárolása.	89
47. ábra: A fa pozíciójának meghatározása.	90
48. ábra: A fák pozíciójának eltérései a különböző műszerekkel a Papréten.	92
49. ábra: A felszínborítások területi eltérését okozó felmérési pontatlanságok.	94
50. ábra: A T parcella elhelyezkedése a Botanikus Kertben.	95
51. ábra: A Botanikus Kert T parcellájának felmért faegyedei, 3 különböző műszerrel.	98
52. ábra: A részletmérések referenciaadattól való eltérése a távolság függvényében, TP 360B esetében.	100
53. ábra: A részletmérések referenciaadattól való eltérése a távolság függvényében, Disto S910 esetében.	101
54. ábra: A Paperdő Erdőrezervátum magterülete, és a két felmérési pont elhelyezkedése. .	102
55. ábra: A Paperdő felmért fáinak pozíció-eltérése a TruPulse 360B műszerrel mérve.	104
56. ábra: A Paperdő felmért fáinak pozíció-eltérése a Trimble JUNO műszerrel mérve.	105
57. ábra: A kalibrálatlan TruPulse 360B a pontokra mért irányokban és távolságokban tapasztalt szögeltérései.	106
58. ábra: A szögeltérések mértéke a vízszintes irányokhoz, a mágneses térhez képest.	107

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Az első szériás Wild T0 busszola-teodolit specifikációja.	15
2. táblázat: A részletpontok meghatározott helyzete és az ellenőrző mérésből számított helyzet közötti megengedett eltérés.....	31
3. táblázat: Az erdészeti térképezés hibahatárai.	31
4. táblázat: A Leica GPS 1200 mérési tulajdonságai.	32
5. táblázat: A Leica TCR 1205 mérőállomás specifikációja.	33
6. táblázat: A Leica TC 2003 mérőállomás specifikációja.....	34
7. táblázat: A Sokkia SET3000 specifikációja.	34
8. táblázat: A TruPulse 360B specifikációja.	35
9. táblázat: A MapStar Compass Module II specifikációja.....	37
10. táblázat: A Disto S910 specifikációja.	38
11. táblázat: Kalibráló mérések I. – rövid távolságok távmérési vizsgálata.	44
12. táblázat: A TruPulse mérési javításának táblázata ismeretlen alapvonal-hosszak esetén. .	46
13. táblázat: A TruPulse mérési javításának táblázata rögzített alapvonal-hosszak esetén.	47
14. táblázat: A Disto S910 mérési javításának táblázata ismeretlen alapvonalhosszak esetén	48
15. táblázat: Kalibráló mérések II. – hosszú távolságok távmérési vizsgálata.....	49
16. táblázat: Kalibráló mérések III. – nagy elemszámú távmérés vizsgálata.....	51
17. táblázat: A távmérés hibáit jellemző értékek.	53
18. táblázat: Kalibráló mérések IV. – távmérés vizsgálata különböző mérési körülmények között.....	55
19. táblázat: A különböző mérési körülmények között vizsgált távmérés mérőpályája.	55
20. táblázat: A levélfelületet szimuláló lapok adatlapja.....	56
21. táblázat: A különböző felületek távmérésben okozott hatásai.	58
22. táblázat: Levélfelület szimuláció 1×1 cm-es lyuksűrűséggel.....	60
23. táblázat: Levélfelület szimuláció 2×2 cm-es lyuksűrűséggel.....	60
24. táblázat: Levélfelület szimuláció 4×4 cm-es lyuksűrűséggel.....	60
25. táblázat: Levélfelület szimuláció 8×8 cm-es lyuksűrűséggel.....	60
26. táblázat: Kalibráló mérések V. – szögmérés vizsgálata.	62
27. táblázat: Szögeltérések az égtájak szerint a TruPulse 360B esetében.....	64
28. táblázat: A relatív szögeltérés mérőszámai, a TruPulse és a Disto műszereknél.....	65
29. táblázat: Mágneses tájékozási szögek az egyes műszerek esetében.....	67
30. táblázat: Kalibráló mérések VI. – irányzásból adódó hiba meghatározása.....	67
31. táblázat: Az irányzásból adódó oldalirányú távolsági hiba.	69
32. táblázat: Kalibráló mérések VII. – szögmérés vizsgálata referenciaértékekkel.....	70
33. táblázat: Alappont-meghatározás vizsgálat I.- alappontsűrítés vizsgálata sokszögeléssel.	79
34. táblázat: Vonalas eltérés a beillesztett sokszögvonala hagyományos kiegyenlítésével.....	81
35. táblázat: A különböző kiegyenlítések hatása a koordináta záróhibákra, törésszögekkel számított beillesztett sokszögvonala esetén.	82
36. táblázat: A koordináta-eltérések összehasonlítása, különböző műszerek és rögzítések használatával (egyszerűsített kiegyenlítéssel).	82
37. táblázat: Egyszerűsített kiegyenlítés ugrópontos sokszögvonala esetén.....	83
38. táblázat: A sokszögpontokon való eltérések, Disto S910 esetén.....	84
39. táblázat: Alappont-meghatározás vizsgálat II. – alappontsűrítés vizsgálata ívmetszéssel.	84
40. táblázat: Az ívmetszés okozta eltérések TruPulse 360B műszer esetén.	86
41. táblázat: Mérés terepi körülmények között I. - zöldfelületi kataszter készítése.....	88

42. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei a fák pozíciójának esetén.	92
43. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.	93
44. táblázat: A felszínborítások területnagyságainak eltérései a különböző felvételezési módszerek esetében a Papréten.	93
45. táblázat: Mérés terepi körülmények között II. – teljes felvételezés erdőterületen.	94
46. táblázat: A különböző műszerekkel megmért faegyedek száma a Botanikus Kert T parcellájában.	98
47. táblázat: A nehezen bemérhető fák pozíciójának eltérései, Disto S910 esetében.	99
48. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei teljes állományfelvétel esetén. .	99
49. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.	100
50. táblázat: Mérés terepi körülmények között III. - mintakörös felvételezés.	102
51. táblázat: A különböző műszerek méréseinek hibaértékei teljes állományfelvétel esetén. .	104
52. táblázat: A TruPulse 360B és a Disto S910 műszerek által mért pontok pontossági besorolása.	106