

A TruPulse LÉZERES TÁVOLSÁGMÉRŐ ALKALMAZHATÓSÁGA ERDÉSZETI TÉRKÉPEZÉSI FELADATOKRA

Bazsó Tamás¹, Primusz Péter¹ és Németh Márk²

¹Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

²BKK Közút Zrt., Műszaki nyilvántartási és projektvezetési osztály

Kivonat

A múlt századi erdőrendezési gyakorlatban a terepi mérések meghatározó műszere a Wild T0 busszola-teodolit volt. Mára ez a műszer szinte teljesen eltűnt az erdészeti gyakorlatból, helyét a méteres pontosságot biztosító GNSS műszerek töltik be. Ezek könnyen kezelhetők akár egy képzetlen felhasználó számára is, valamint a geoinformatikai lehetőségek miatt jóval gyorsabban elvégezhető a mérés-adatkezelés-térképezés, viszont sok esetben pontatlanabbak. Napjainkra elérhetővé váltak olyan egyszerű elektronikus mérőműszerek, amelyek pontossága és gyorsasága megfelelhet a mai kor mérnökeinek, valamint a mérési adatok feldolgozása történhet geoinformatikai módszerekkel. Tesztmérésekkel a TruPulse 360B elnevezésű műszer pontosságát és hatékonyságát vizsgáltuk. A műszer a Wild T0 busszola-teodolit alternatívája lehet, mivel szintén képes mágneses azimut mérésére. A mérésekhez egy geodéziailag pontosan meghatározott mérőpályát alakítottunk ki, ahol többféle mérési metódust is vizsgáltunk. Az eredményekből arra a következtetésre jutottunk, hogy megfelelő mérési és feldolgozási módszert alkalmazva elérhető a kitűzött pontosság, ezért a műszer alkalmazható mérnöki feladatokra.

Kulcsszavak: térképezés, egyszerű geodéziailag mérések, mágneses azimut

THE APPLICATION OF TRUPULSE LASER RANGER FOR FORESTRY SURVEYING

Abstract

In the last century the Wild T0 compass theodolite was the standard instrument of forest mapping and inventory. Nowadays this instrument is almost disappeared from the forestry surveying. Instead of theodolite we use GNSS instruments, which are easy to use even for not professionals. Data management is much faster with this instrument because of its compatibility with GIS software, but sometimes its accuracy is not so good as in the case of theodolite. In these days we can find digital surveying instruments, which can be operated by simple methods. The accuracy and efficiency of these instruments are suitable for today's engineers, and the processing of the data can be supported by geoinformatics. We examined the accuracy and effectiveness of the instrument, TruPulse 360B by test measurements. This instrument is a possible alternative of Wild T0, because we also can measure magnetic horizontal angle with it. We established a test field with surveying accuracy for the test measurements, where we can examine many kind of surveying methods. We found that the required accuracy can be achieved applying appropriate measuring mode and processing method. Therefore we can apply this instrument for engineer project.

Keywords: mapping, simple surveying methods, magnetic azimuth

Levelező szerző/Correspondence:

Bazsó Tamás, H- 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. út 4.; e-mail: tbazso@emk.nyme.hu



BEVEZETÉS

A terepi felmérési munkák szükségességének elbírálása, az alkalmazandó eszközök és eljárások megválasztása az alapadatok és az általános bejárás során szerzett tapasztalatok birtokában mindig a tervező mérnök feladata és felelőssége. A kiválasztott mérőeszköz nemcsak a felvételezés pontosságát, hanem a méréstechnikát, az eredmények feldolgozását és a teljesítményt is egyszerre rögzíti. Ezért nem mindig a legpontosabb mérőeszköz a leghatékonyabb a feladat szempontjából.

Az erdővel borított területen problémát jelent még az irányértékek tájékozása, ezért nem meglepő, hogy a busszola-teodolit alkalmazása erdőtümbön belüli (belső) felmérések esetében még mindig megengedett. A korábbi erdőrendezési gyakorlatban a fotogrammetriai úton nem térképezhető belső vonalak, pontok bemérése, csaknem kizárólag WILD T0 busszola-teodollal végzett busszola méréssel történt (Király, 1985). A tájoló teodolitok ugyanis olyan szögmérő műszerek, amelyek az *Am* mágneses vagy az *Af* földrajzi azimut mérését teszik lehetővé, elkerülhetővé téve ezzel az irányértékek tájékozását, illetve azt, hogy tájékozó irányokra legyen szükség. Ebből következik, hogy alkalmazásuk elsősorban fedett terepen (erdőben), esetleg földalatti méréseknél (bányák) indokolt. A mágneses és a földrajzi északi irányok mindenhol a rendelkezésünkre állnak. A tájoló teodolitok között megkülönböztetjük az *Am* mágneses azimut közvetlen mérésére alkalmas busszola-teodolitokat és az *Af* földrajzi azimut közvetlen mérésére szolgáló giro-, vagy pörgettyús teodolitokat. Az erdőmérnöki gyakorlat hagyományos földi terepi mérőműszere a busszola-teodolit. A giroteodolitok erdőmérnöki gyakorlatban való alkalmazására Magyarországon is voltak kísérleti mérések, de méreteik és a hosszadalmas mérési eljárás miatt az erdészeti alkalmazásban nem tudtak elterjedni. Az elterjedést nem indokolta a giroteodolitok busszola teodolitoknál jóval nagyobb pontossága sem, az erdőmérnöki gyakorlat ezt nem igényelte. Bácsatyai László (2002) munkájában az erdőmérnöki gyakorlat hagyományos földi terepi mérőműszerének nevezi a WILD T0 busszola-teodolitot, amelyet kisebb pontosságot igénylő, kedvezőtlen terepi körülmények között 2 km-nél nem hosszabb sokszögmenetek felméréséhez javasolja. Birtokhatár felmérését busszollal végezni tilos. Manapság a mérőeszköz a gyakorlati alkalmazásból eltűnően van. Helyébe a sokszor még pontatlanabb GNSS (Global Navigation Satellite System) rendszerek műszerei lépnek. Ezekkel az eszközökkel a terepi mérések jóval gyorsabban elvégezhetőek, a térinformatikai lehetőségek pedig hatékonyabbak teszik mind a terepi, mind pedig az irodai munkát. Másrésztől kérdés, hogy meg kell-e elégednünk azzal a pontossággal, amit a GNSS szolgáltatni képes.

A hagyományos geodéziai műszerek közé soroljuk a szögmérő és szögkitűző műszereket, távolságmérőket, szintező műszereket és tahimétereket. A busszola-teodolitok szerepét, az erdőgazdálkodás gyakorlatában is, fokozatosan átvették a mérőállomások, melyek a klasszikus geodézia legkorszerűbb mérőműszerei. Jellemzőjük, hogy nagy pontossággal képesek távolság és szögmérésre (mind vízszintes mind magassági értelemben). A kezelőszoftver segítségével a mérést befolyásoló környezeti tényezők (meteorológiai körülmények mérésre gyakorolt hatása) már a terepi felvételkor kiküszöbölhetőek. A mérési adatok gyorsan feldolgozhatóak asztali számítógépre tervezett szoftverekkel.

A mérőállomásokkal pontosabban lehetséges a terepi felvételezés elvégzése és a hibák kiszűrése is egyszerűbb, mint a busszola-teodolitok esetében. Hátrányuk, hogy jóval bonyolultabb és kényesebb mérőműszerek, mélyebb geodéziai jártasságot igényelnek, és szükséges az irányértékek tájékozása, energiaellátásuk pedig még mindig nem teljesen megnyugtató. Mérőállomással csak szakszerű személyzet képes hatékony munkavégzésre. A legújabb fejlesztések az elektrotechnikában már lehetővé tették olyan szenzorok megalkotását, amelyek a geodéziai mérések szempontjából is kielégítő pontossággal határozzák meg a mágneses azimutot. A lézeres távméréssel összekapcsolva pedig megszületett a "tájoló teodolitok" legújabb generációja.

Ezen új elektronikus műszerek erdészeti vonatkozású felhasználási lehetőségeivel foglalkoztunk, vizsgáltuk pontosság és fejleszthetőség szempontjából (Németh, 2010, 2011, 2013).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálathoz használt digitális műszerek

A TruPulse lézeres távolságmérőt a Laser Technology Inc. (LTI) gyártja és fejleszti. A cég központja az Egyesült Államokban, Colorado állam Centennial városában található és lézeres távolságmérők és sebességmérők előállításával és fejlesztésével, valamint az adatrögzítést támogató szoftverek fejlesztésével foglalkozik. A vizsgált modell (TruPulse 360B) alapját a TruPulse 200 képezte, amely először 2006-ban került piacra. A TruPulse távolságmérő eszköz a távolságot infravörös tartományú lézernyalábok egymás után (egyre rövidebb időközönként) kibocsátott sorozatának visszaverődési idejéből számítja. Ez a modell vízszintes és ferde távolságot, két pont közötti távolságot, dőlésszöget, és három méréssel magasságot tudott mérni. Az eszköz jó alapot képezett a további fejlesztésekhez. A későbbi verzió már Bluetooth vezeték nélküli adatátvitellel is képes lett (TruPulse 200B). A Laser Technology nem sokkal ezután szabadalmaztatott egy digitális iránytű technológiát (TrueVector), amely parányi mérete mellett már $\pm 1^\circ$ pontossággal volt képes mérni a mágneses azimutot. Így már nem volt akadálya annak, hogy megszülessen minden idők legkisebb „busszola-teodolitja”, a TruPulse 360B (1. ábra).



1. ábra: A TruPulse 360B.
Figure 1: The TruPulse 360B.

A TruPulse 360B egy olyan maroknyi mérőműszer, amely gyorsan és közvetlenül szolgáltatja a szükséges távolság- és szögadatokat a koordinátageometriai számításokhoz. Mindezt úgy teszi, hogy nincs feltétlenül szüksége műszerállványra, mivel akár szabadkézből is történhet a mérés. A műszer ferdeségét a beépített szenzorok automatikusan kompenzálják. A mérőeszköz rendkívül kompakt és robusztus kialakítású. Kifejezetten terepi mérésre és térinformatikai adatgyűjtésre készült. A mérés az irányzás elvégzése után egyetlen gomb megnyomásával végrehajtható. Az eredmények jól látható kijelzőn közvetlenül leolvashatóak vagy mobil telefonra, táblagépre küldhetők.

Műszaki jellemzők:

- Méretek: 12 cm × 5 cm × 9 cm
- Súly: 220 g
- Mértékegységek: láb, yard, méter, fok és lejtszázalék
- Távolság mérés tartománya: 1000 m reflektáló felület nélkül és 2000 m reflektáló felület alkalmazása esetén.
- Magassági szög tartománya: $\pm 90^\circ$
- Azimut szög tartománya: $0^\circ - 359,9^\circ$



Mérési pontosság:

- Távolság mérés: 0 és 100 m között tipikusan ± 10 cm, felette ± 30 cm a hiba, jó minőségű cél esetén
- Magassági szög: $\pm 0,25^\circ$
- Azimut: $\pm 1,00^\circ$

A TruPulse mérőműszerek egyik legnagyobb előnye, hogy két darab ceruzaelem (AA) szükséges csupán a tápellátás biztosításához. Ez valódi mérési körülmények között 40000 mérést tesz lehetővé folyamatos bekapcsolás mellett és bluetooth nélkül, bluetooth esetén 30000 méréssel számolhatunk.

A vizsgálatba bevontuk a cég egy másik szögmérő műszerét is, a MapStar Compass Module II-t (MSCM II), amely egy nagy pontosságú digitális (magneto-rezisztív) iránytű. A kompasz modul vízhatlan alumínium házban foglal helyet. Működési ideje több mint 8 óra, két darab ceruzaelemmel (AA). A modul az azimut számításánál automatikusan kompenzálja a külső hőmérsékletből és a műszer ferdeségéből eredő hibákat.

A legfontosabb adatok a modulról:

- Méretek: 31 cm x 5 cm x 3 cm
- Tömeg: 570 g
- Pontosság: $\pm 0,3^\circ$
- Mérési tartomány: 0-359,99°
- Felbontás: $0,01^\circ$
- Kommunikáció: RS232
- Adatformátum: NMEA 0183

Bármelyik LaserTechnonolgy által gyártott távolságmérővel képes kommunikálni szabványos RS232 kábelcsatlakozáson keresztül. Tapasztalatunk szerint a modul kalibrációja könnyen kivitelezhető, így a felmérés helyszínén gyorsan munkára fogható. Ha olyan mérést szeretnénk végezni, amelynél a TruPulse 360B szögértékei nem elegendően pontosak, hatékony kiegészítő lehet a MSCM II, ilyenkor viszont elegendő egy TruPulse 200 távolságmérő is, amelyben nincs beépített iránytű.

A TruPulse távolságmérőket és kiegészítőiket alacsony energiaszükségletük, méretük és egyszerű kezelhetőségük teszi igazán hatékonyá. A műszerek méretét összehasonlítva egy mérőállomás méreteivel szembevető a különbség. A terepi körülmények között végzett munkánál nem mellékes, hogy mennyi felszerelést kell magunkkal vinnünk. A modern mérőállomások már energiatakarékosak annyira, hogy akár több napig is lehessen velük mérni, korábban azonban nehéz (2-2,5 kg-os) akkumulátorokkal kellett kiegészíteni a meglévő áramforrást. A TruPulse távolságmérők csupán két ceruzaelemmel működnek és nyolc órát is folyamatosan tudunk mérni. A tapasztalat szerint hideg és meleg körülmények között is egyaránt jó energiahasznosításuk van.

A busszola-teodolit és a TruPulse összehasonlítása

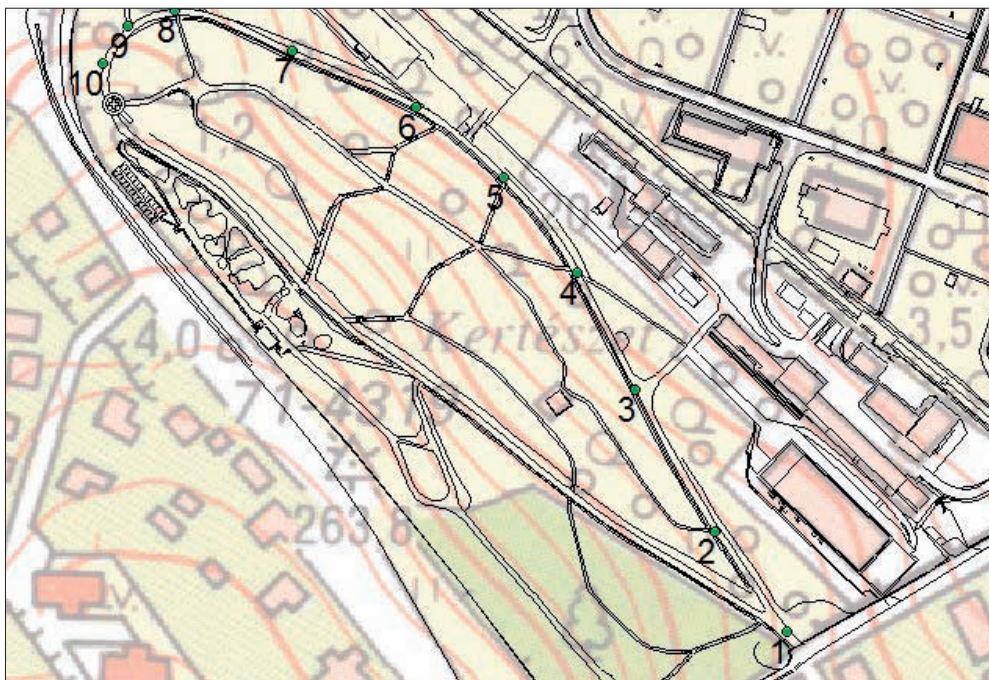
A fizikai méreteket és a mérési pontosságot a WILD-T0 és a TruPulse lézeres távolságmérő esetében az 1. táblázatban foglaltuk össze. A TruPulse mérőműszer pontossága bár elmarad a hagyományos busszola-teodolittól, hordozhatósága, felépítése és egyszerű kezelése nagy előnyt jelent a terepi térképezési feladatokban. A WILD-T0 optikai távolságmérési pontossága a leolvasó személy gyakorlottságán és figyelmén múlik. Egy gyakorlott geodéta könnyedén képes a 15 cm-es pontosságra, míg a TruPulse mérőeszköz esetén a leolvasás nem függ a kezelő felkészültségétől. Az összehasonlításakor meg kell említeni, hogy bár régen a WILD-T0 elterjedt műszer volt, ma már nehezen, vagy egyáltalán nem beszerezhető, ugyanis a gyártását leállították. A geodéziai felhasználása háttérbe szorult, ezzel párhuzamosan az erdészeti alkalmazását is részben felváltották a GNSS szolgáltatásai, amellyel könnyedén felvehetik a versenyt a TruPulse típusú mérőműszerek.

1. táblázat: A TruPulse és a Wild T0 néhány fontosabb adata.
 Table 1: Some important parameter of TruPulse and the Wild T0 theodolite.

Paraméterek	WILDT0	TP360B
Súly	2,8 kg	0,22 kg
Optika	20x	7x
Pontosság		
Távolság		
100 m-ig	0,15 m	0,30 m
100 <	–	0,3-1,0 m
Szög		
Inklináció	0,16°	0,25°
Azimut	0,16°	1,00°

A Wild T0 és a TruPulse 360B méréseinek összehasonlítása

A mérések összehasonlításához egy referencia sokszögvonalat használtunk, amelyet a Nyugat-magyarországi Egyetem botanikus kertjében jelöltük ki és határoztuk meg mérőállomás segítségével. A szabatos kalibráló mérések kivitelezéséhez időjárásfüggetlen utat választottunk hilti szögekkel állandósított alappontokkal (2. ábra). A sokszögvonal 401,81 m hosszú és a leghosszabb sokszögoldal 65,09 m.



2. ábra: Referencia sokszögvonal.
 Figure 2: The reference traverse.

A hibalehetőségek kiküszöbölésére elsőként a sokszögpontokon közvetlenül a mérőállomás mérése után kényszerközponosító segítségével kicserélve a műszereket, rögzítettük a TruPulse távolságmérőt és elvégeztük a szög és távolságméréseket. Ezáltal kiküszöböltük a pontraállásból adódó eltéréseket, így összehasonlítható mérésekhez jutottunk. Egy következő körben azt vizsgáltuk, hogy egy libellás mérőrúddal végzett mérés mennyire hat ki a mérés pontosságára. Ekkor az irányzott pontokon optikai vetítővel pontra álltunk a prizmával és a TruPulse távolságmérőt tettük mérőrúdra.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A felmért sokszögvonalak kiegyenlítése

A mérőállomással mért sokszögvonala esetén a törésszögek kiszámítása után a kezdeti irányszöget, majd a végleges irányszöget számoltuk. Ezek után a vonalas záróhibát, amely x és y irányban is 2 cm hibából tevődött össze, az oldalak hosszával arányosan osztottuk el. Az összehasonlításkor a mérőállomással meghatározott koordinátákat hibátlannak fogadtuk el.

A busszola sokszögvonala, mint beillesztett sokszögvonala grafikus és numerikus úton lehet kiegyenlíteni. Korábban a geodéziai gyakorlatban a grafikus kiegyenlítést helyezték előtérbe. Napjainkban már nem okoz problémát a numerikus megoldások számítási igénye. A vizsgálatkor a numerikus feldolgozást használtuk. A TP360B távolságmérővel mért adatokat először a beillesztett sokszögvonala hagyományos számítási módszerével egyenlítettük ki. A mért mágneses azimutokkal – mint irányértékekkel – törésszöget számoltunk az egyes sokszögpontokban, majd a kezdeti irányszög és végleges irányszög után számítottuk a vonalas záróhibát. A mérési pontosságot egy mai átlagos térinformatikai GNSS vevő pontosságához viszonyítottuk, így pontmeghatározásunkat akkor vettük elfogadhatónak, ha a maximális eltérés 3 m alatti. A számítások azt mutatták, hogy a maximális eltérés a mérőállomáshoz viszonyítva nagy értéknek adódott, több mint 15 m lett. A hiba arra engedett következtetni, hogy az egymás után ugyanarra a pontra meghatározott azimutok között eltérés van. A mért azimutok ellenőrzésére az előre és hátramérések eredményeit használtuk fel a következő összefüggés segítségével: $A_m^{i,j-1} = A_m^{i-1,j} \pm 180^\circ$



3. ábra: A terepi mérés TruPulse-zal és MapStar Compass Module II-vel.
Figure 3: Surveying with TruPulse and MapStar Compass Module II.

Az ellenőrző számítások alapján az előre és hátramérések adataiból számított azimutok között $2,5^{\circ}$ - $3,5^{\circ}$ eltérés volt tapasztalható. Ez a hiba nagyobb, mint a TruPulse 360B pontossága ($\pm 1^{\circ}$, azaz maximum 2° eltérés), így a hiba fennmaradó része a mérések szórásából, valamint az irányzásból adódik. Az irányzás pontosságát nagyban befolyásolja a szálkereszt kialakítása a TruPulse műszer esetében (annak robosztus kialakítása miatt). Feltehetőleg egy speciálisan kialakított jeltárcsa alkalmazása esetén az irányzás pontossága javítható, de ez még további kutatómunkát igényel.

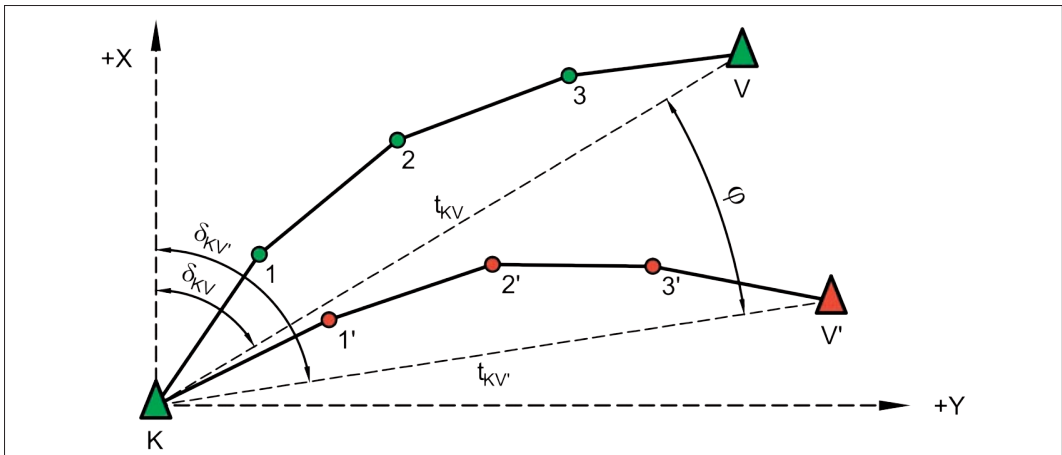
Vizsgálataink alapján törésszögeket a TruPulse-zal nem érdemes mérni. A távolságmérés viszont kielégítő pontosságú, így kísérletet tettünk egy másik külső, nagyobb pontosságú digitális kompasszal. A már bemutatott MapStar Compass Module II-t alkalmazva a vonalas eltérés a törésszögekkel számolt, majd kiegyenlített sokszögvonal esetén meglepően jó eredményeket adott (2. táblázat).

2. táblázat: Vonalas eltérés, törésszögekkel számolt sokszögvonal esetén.

Table 2: Linear error, calculated with interior angle.

AP	Mérőállomás		TP360B	MSCM II
	EOV Y	EOV X		
1	464443,4	262312,4	0,0	0,0
2	464414,8	262352,4	7,5	0,3
3	464382,9	262409,1	13,5	0,7
4	464359,2	262456,3	15,8	1,3
5	464330,2	262494,2	16,0	1,4
6	464294,6	262522,6	13,7	0,9
7	464245,4	262545,1	8,5	0,8
8	464198,4	262561,5	4,7	0,2
9	464179,7	262555,4	3,1	0,1
10	464169,7	262540,5	0,0	0,0

Beillesztett sokszögvonal esetén nem tudunk szögzáro hibát számolni (Bácsatyai, 2002). Azonban a mért szögeket a kiegyenlítés előtt javítani kell a mágneses tájékozási állandóval, amelyet a műszer osztáshibája és a mágneses tájékozási szög összegeként kapunk. Digitális mérőműszereknél az osztáshiba nem értelmezhető, mivel a gyártók pontossági tartományt definiálnak. A megoldás egy olyan kiegyenlítési eljárás, amelyben úgy javítjuk a szöget, hogy abban mind a térképi északtól való eltérés mértéke, mind a szögmérés hibája együttesen jelentkeznek. A beillesztett sokszögvonal kiegyenlítése az ismert kezdő és végpont, valamint az ismert kezdő és mért végpont közötti egyenesek összefüggéseiből adódik. A két egyenes bezárt szöge adja az összes szögmérés hibát és a mágneses északtól való eltérést, hosszuk aránya pedig a hosszaráro hibát.



4. ábra: Beillesztett sokszögvonala kiegyenlítése.
Figure 4: Adjustment of the close traverse.

Esetünkben az eljárást úgy alkalmaztuk, hogy a törésszögek helyett a mágneses azimut értékeit javítottuk a szögeltéréssel (φ), majd az egyes oldalak hosszával arányosan osztottuk vissza az x és y irányú vonalas záróhibát. A busszola sokszögvonala kiegyenlítésénél a hosszeltérést az egyes oldalak hosszával és a kezdőponttól a haladási irányban értelmezett távolságával arányosan osztottuk vissza. A tesztmérések során kiderült, hogy nem a hossz-mérésben van a mérési hiba nagy része, ezért ezt a lépést kihagyhatjuk a számításból. Ekkor lényegében a busszola és a hagyományos numerikus kiegyenlítés lépéseit ötvözzük, hiszen a busszola sokszögvonala hosszeltéréseinek kiegyenlítését a haladási irányban egyre nagyobb mértékben vesszük figyelembe. A továbbiakban egyszerűsített kiegyenlítésként hivatkozunk erre az eljárásra.

Ugrópontos sokszögvonala vezetés

A busszola sokszögelés egyik előnye, hogy a mágnesűnek nem a műszerhez, hanem egy kitüntetett irányhoz, az \dot{E}_m mágneses északhoz igazodása miatt – csak minden második sokszögpontban kell a műszerrel felállnunk. Miután eközben a többi – minden második – pontot „átugorjuk”, a módszert ugrópontos vagy ugróállásos sokszögelésnek is nevezik (Bácsatyai, 2002).

Vizsgálatunk során a műszereket háromlábú műszerállványon valamint libellás mérőrúdra szerelve is használtuk

3. táblázat: Koordináta-záróhibák ugrópontos sokszögvonala esetén.
Table 3: Coordinate errors, in leave-one-out traversing.

Mérési módszer	Hagyományos kiegyenlítés		Egyszerűsített kiegyenlítés	
	Δy	Δx	Δy	Δx
Háromlábú műszerállvány				
WILD T0	2,1	3,7	-0,5	0,4
TP360B	-2,5	-3,3	0,2	-0,1
Libellás mérőrúd				
MSCM II	4,0	6,3	-0,7	0,6
TP360B	-4,3	-4,3	-0,4	0,3

A koordináta eltérések átlaga tekintetében a TP360B még hagyományos kiegyenítési eljárás mellett is megközelíti a WILD T0 mérési pontosságát, a MSCM II-vel mért sokszögvonala pedig pontosabbnak bizonyult. A 3., 4. és 5. számú táblázatokban összefoglaltuk a vonalas eltéréseket az egyes sokszögpontokban a különböző eszközökkel.

4. táblázat: Hagományos busszola kiegyenítés ugróponos sokszögvonala esetén.

Table 4: Conventional adjustment method, in leave-one-out traversing.

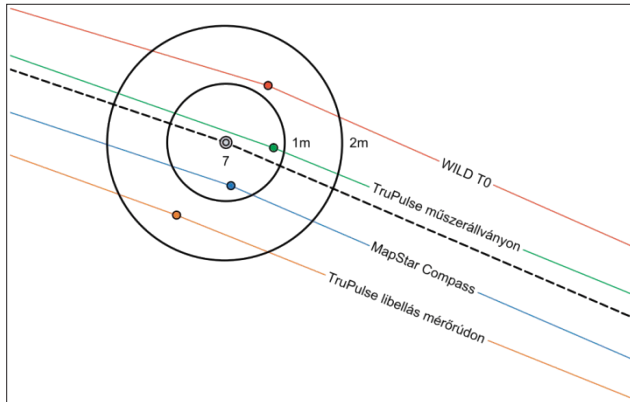
Mérőállomás	WILD T0	TP360B		MSCM II
	Műszerláb		Libellás mérőrúd	
Alappont (referencia) száma	$\sqrt{(\Delta y^2 + \Delta x^2)}$ (m)			
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,1	1,4	1,1	1,0
3	0,6	1,2	2,1	0,9
4	1,7	1,3	1,8	1,6
5	2,5	1,9	3,4	2,0
6	2,4	1,3	1,9	1,5
7	1,9	1,6	2,6	1,5
8	0,6	1,3	0,4	0,3
9	0,0	1,4	0,2	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0
Átlagos eltérés	1,0	1,1	1,4	0,9

5. táblázat: Egyszerűsített kiegyenítés ugróponos sokszögvonala esetén.

Table 5: Simple adjustment method, in leave-one-out traversing.

Mérőállomás	WILD T0	TP360B		MSCM II
	Műszerláb		Libellás mérőrúd	
Alappont (referencia) száma	$\sqrt{(\Delta y^2 + \Delta x^2)}$ (m)			
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,2	1,3	0,9	0,8
3	1,3	1,0	1,7	0,7
4	1,6	0,9	0,4	0,4
5	2,0	0,5	1,7	0,8
6	2,2	1,5	0,3	0,9
7	2,4	0,8	1,6	0,8
8	0,5	0,9	0,3	0,6
9	0,2	1,4	0,1	1,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0
Átlagos eltérés	1,0	0,8	0,7	0,6

Jól látszik a két kiegyenlítési eljárás közötti különbség. Az egyszerűsített numerikus eljárással kiegyenlített sokszögvonalon jobban közelíti a valóságot.



5. ábra: Maximális eltérések egyszerűsített kiegyenlítés és ugrópontos mérés esetén.
Figure 5: Maximal difference, with simple adjustment method and leave-one-out traversing.

A hagyományos kiegyenlítésnél a pontok átlagosan 1,5 m sugarú körben helyezkednek el, egyszerűsített kiegyenlítéssel pedig ugyanezen pontok átlagosan 1 m sugarú körön belülre esnek (5. ábra). A számítás megváltoztatásával a WILD T0 koordináta eltérései nem változtak számottevően, az átlagban az eltérés nem is jelentkezik.

Előremérések sorozatával vezetett sokszögvonala

Megvizsgáltuk azt a mérési eljárást is, amikor csak is kizárólag előremérésekkel haladunk. A TruPulse 360B-t libellás mérőrúdra szerelve több mérést is végeztünk. Arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy mennyire befolyásolja a mérés pontosságát, ha nincs műszerállványra szerelve az eszköz. Az eredmények azt mutatták, hogy a libellás mérőrúdra szerelt TruPulse 360B pontossága nem marad el a műszerállvány esetén mértektől (6. táblázat). A mérés minősége esetenként még jobb is lehet, hiszen a műszerállvány mágneseshatása befolyásolhatja a mérést.

6. táblázat: Egyszerűsített kiegyenlítés előremérések sorozatával vezetett sokszögvonala esetén.
Table 6: Simple adjustment method with angle to right in the travers.

Mérőállomás	TP 360B					MSCM II	
	Műszerláb	Libellás mérőrúd					
Alappont (referencia) száma	Eltérés (m)						
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,8	0,8
3	1,3	0,6	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8
4	1,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	1,1
5	2,0	1,1	0,9	0,7	1,0	0,9	1,4
6	2,2	1,0	0,8	0,8	1,0	0,9	1,7

Mérőállomás	TP 360B					MSCM II	
	Műszerláb	Libellás mérőrúd					
Alappon (referencia) száma	Eltérés (m)						
7	2,4	0,9	0,8	0,8	1,0	0,7	1,7
8	0,5	0,8	0,8	0,9	1,0	0,7	1,6
9	0,2	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,5
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Átlagos eltérés (m)	1,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	1,1

ÖSSZEFOGLALÁS

Következtetések

Az összehasonlító mérésorozatok alapján törésszögeket a TruPulse mérőműszer hibáinak szórása miatt nem érdemes mérni. Ha erre mégis szükség van, akkor javasolt a külső MapStar Compass Module II alkalmazása, amely már $0,01^\circ$ élességgel képes mérni az azimutot. Az egyszerűsített numerikus eljárással kiegyenlített sokszögvonal jobban közelíti a valóságot. A hagyományos kiegyenlítésnél a pontok átlagosan $1,5\text{ m}$ sugarú körben helyezkednek el, egyszerűsített kiegyenlítéssel pedig ugyanezen pontok átlagosan 1 m sugarú körön belülre esnek.

Ugrópontos sokszögvonal vezetés esetén a koordináta-eltérések átlaga tekintetében a TP 360B még hagyományos kiegyenlítési eljárás mellett is megközelíti a WILD T0 mérési pontosságát. Elmondható még, hogy az előremérések sorozatával vezetett sokszögvonal egyenletesebb hibaeloszlású. Az eltérések nem szórnak annyira, mint az ugrópontos sokszögvonal esetén, ezért azt javasoljuk, hogy a sokszögvonalat előremérésekkel vezessük. Érdemes ezt még azért is így végezni, mert a libellás mérőrúddal a pontra állás nem igényel annyi időt, mint amennyi a figuráns átállításához szükséges. Ha csak előre mérünk, a figuránssal mindig párhuzamosan tudunk haladni. Ez a mérési módszer azért javasolható, mivel a libellás mérőrúdra szerelt TP360B pontossága nem marad el a műszerállvány esetén mértéktől.

A mérések azt is igazolták, hogy kiegyenlített terepen a nagyjából 400 m -es 10 törésponttal vezetett sokszögvonal, adatgyűjtő szoftverrel 15 perc alatt felmérhető. Az eredményeink alapján elmondható, hogy terepi körülmények között TruPulse mérőeszkővel vezetett busszola-sokszögvonal nagy biztonsággal $1,5\text{-}2,0$ méteres hibahatáron belül maradhat, ami az állomány alatt mért GPS pontokkal összehasonlítva pontosabb. Az átlagos kézi GPS vevők jó műholdrálátással is 3 m -es pontosságot garantálnak. Az állomány alatt még vegetációs időszakon kívül is nehéz a jó műholdrálátást biztosítani. Az erdőmérnöki gyakorlat a WILD T0-val való mérést már egyszer elfogadta, ezek a modern elektronikai mérőeszközök pedig lehetőséget adnak arra, hogy a WILD T0 pontosságával, de annál jóval könnyebben mérhessünk, mind szakértelem, mind felszerelés tekintetében.

Felhasználási területek

Mindenekelőtt az összes olyan tevékenység említhető, amely a térinformatikai adatgyűjtést alkalmazza. A természetvédelem, a környezetvédelem, a városgazdálkodás és szennyvízhálózatok üzemeltetői, az agrárium területei említhetők, mint lehetséges felhasználók.



1. Nyiladékok és határok felmérése.
2. Belső úthálózat, közlítőnyomok felmérése.
3. Patakok, magaslesek, szórók, tűzrakóhelyek, táborhelyek, stb. felmérése.
4. Famagasság meghatározás, törzstérképezés.
5. Műtárgyak, vezetékoszlopok, egyéb objektumok bemérése.
6. Elérhetetlen vonal ill. távolság meghatározás pl. két fa közötti.
7. Terep felvételezése, terepmodell pontosításhoz vagy tervezéshez.
8. Semlegesvonal nyomozás.

A mérési technológia alkalmazási területei között szerepel az úttervezés is. A keresztaszvénnyek tereppontjainak felvételéhez nagy segítséget nyújthat a TruPulse távolságmérő és egy adatgyűjtő szoftver. A Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Erdőfeltárási Tanszéke 2005 és 2008 között az „Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont” pályázat keretein belül már alkalmazta keresztaszvénnyek térképezésére a TruPulse távolságmérőt és egy erre a célra készített segédszoftvert. A tapasztalat szerint a szögmérés pontossága elegendő volt, és a rendkívül sok (közel 6000) mérési pont gyors rögzítését tette lehetővé.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A vizsgálatok megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.A-1/1/KONV-2012-0004 projekt támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bácsatyai L. 2002: Geodézia. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron.
- Király L. 1985: Erdőrendezés I. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron.
- Németh M. 2010: Erdőállomány paraméterek meghatározása lézeres távolságmérő alkalmazásával. TDK, NymE, Erőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Sopron.
- Németh M. 2011: TruPulse 360B lézeres távolságmérő, mint busszola-teodolit. TDK, NymE, Erőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Sopron.
- Németh M. 2013: TruPulse lézeres távolságmérő alkalmazhatósága erdőszeti térképezési feladatokra. Diplomamunka, NymE, Erőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Sopron.

Érkezett: 2014. március 17.

Közlésre elfogadva: 2014. július 15.