



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai/Mérnöki/

Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

SZAKDOLGOZAT

UAV-k mérnökgeodéziai alkalmazása

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Bokor Mikós

Hallgató törzskönyvi száma: T000576/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bokor Miklós

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000576/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: UAV-k mérnökgeodéziai alkalmazása

A dolgozat címe angolul: UAV application in engineering surveying

A feladat részletezése:

Pilóta nélküli repülőgéppel történő terepi felmérés pontosságának vizsgálata útépitési alkalmazásban.

Kapcsolódó szakirodalom bemutatása.

Egy példamunka, vonalas létesítmény felmérése alapján.

Munka folyamatának ismertetése és a kapott eredmények értékelése.

Intézményi konzulens neve: László Gergely Tibor

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 24.



[Handwritten signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Handwritten signature]
belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

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

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2023. december 10.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Megoldandó probléma megfogalmazása.....	4
2.1 Alapgondolat, a szakdolgozat témája.....	4
2.2 Pontosság.....	5
2.2.1 Időjárás.....	5
2.2.2 Vegetáció.....	5
2.2.3 Alappontok.....	6
2.3 Gyorsaság.....	7
2.3.1 Időjárás.....	7
2.3.2 Légtérhasználat.....	7
2.4 Költséghatékonyság.....	8
3. A probléma elemzése, a specifikáció kidolgozása.....	9
3.1 Probléma elemzése.....	9
3.1.1 Burkolathibák.....	10
3.1.2 Terület bemutatása.....	11
3.2 Specifikáció kidolgozása.....	13
4. A megoldási módszer kiválasztása, a választás indoklása.....	18
4.1 A megoldási módszer kiválasztása.....	18
4.2 A választás indoklása.....	18
5. Részletes specifikáció leírása.....	19
5.1 A kiválasztott felméréendő terület:.....	19
5.2 A felméréshez használt eszközök, felszerelések:.....	20

5.2.1 Alappont jelöléshez és állandósításhoz használt eszközök (3. ábra):.....	20
5.2.2 GNSS és a hozzá tartozó eszközök, felszerelések (4. ábra):.....	21
5.2.3 Mérőállomás, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések (5. ábra):.....	22
5.2.4 Drón, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések (6. ábra):.....	23
5.2.5 Utófeldolgozáshoz használt szoftverek, felszerelések:.....	23
6. A mérés során végzett munkafázisok és tapasztalatok leírása.....	25
6.1 Előkészületek:.....	25
6.2 Mérés:.....	26
6.3 Utófeldolgozás:.....	26
7. A megvalósítás leírása.....	28
7.1 Előkészületek:.....	28
7.1.1 Hagyományos méréssel készült pontok előkészületei:.....	28
7.1.2 Drónnal történő felmérés (berepülés) előkészületei:.....	29
7.2 Illesztőpontok és alappontok kijelölése, állandósítása:.....	30
7.3 Mérés:.....	30
7.3.1 Alappontok mérése:.....	30
7.3.2 Sokszögvonala és poláris pontok mérése:.....	31
7.3.3 Drónnal történő felmérés (berepülés):.....	32
7.4 Utófeldolgozás:.....	32
7.4.1 Hagyományos felmérés feldolgozása:.....	32
7.4.2 Drónnal történő felmérés feldolgozása:.....	33
7.4.3 A tervező által elvégzett feladatok:.....	34
8. A megvalósítás elemzése, alkalmazásának és továbbfejlesztési lehetőségeinek szám- bavétele.....	36

8.1 Az adatok összehasonlítása, ellenőrzése:.....	36
8.1.1 Helyszíni ellenőrzés:.....	36
8.1.2 Illesztőpontok ellenőrzése:.....	37
8.1.3 A hossz-szelvények összehasonlítása, elemzése:.....	38
8.1.4 A kereszt-szelvények összehasonlítása, elemzése:.....	39
8.1.5 Vízsíntes irányú eltérés, elemzése:.....	41
8.2 A módszer alkalmazásának lehetősége:.....	42
8.3 Továbbfejlesztési lehetőség:.....	42
8.4 Költségbecslés:.....	43
8.4.1 Drón élettartama:.....	44
8.4.2 Jogosultság:.....	44
8.4.3 Biztosítás:.....	44
9. Tartalmi összefoglaló.....	45
10. Idegen nyelvű összefoglaló.....	46
11. Irodalomjegyzék.....	47
12. Mellékletek.....	48

1. BEVEZETÉS

Drón:

Mi az a drón?

A technikai fejlődést leginkább a katonai technika fejlődése jelenti, ezek polgári létbe való átültetése a fejlett technikák lebutításával (természetesen, mint mindenben, itt is van kivétel). Az I. világháborúban galambokra szerelt fényképezőgépekkel és egyéb eszközökkel próbálták a felderítést tökéletesíteni. Az első UAV (pilóta nélküli repülőgép) 1935-ben építették meg a De Havilland DH82B Queen Bee teljes kettős szárnyú egy légsaváros repülőgépet. Rádióval és a hátsó ülésen található vezérlő szervóval volt felszerelve. Később élő célpontként használták a légvédelmi berendezésekkel történő gyakorlatokon, hogy légvédelmi tűzszemélyzetet képezzenek és fegyvereket teszteljenek valós körülmények között. Összesen 380 De Havilland DH82B Queen Bee repülőgépet gyártottak. A "drone" név is innen eredhet, queen bee – méh anya, drone – méh. [1.]

A drónok a fejlődéssel egyre több iparágban egyre nagyobb szerepet vállalnak, felhasználási területük egyre bővül, fejlesztésük egyre nagyobb léptékben történik. Nem meglepő tehát, ha a geodéziában is szerepet kap. A geodéziában a drónok használatának előzménye a fotogrammetria fejlődése. Ez a fejlődés leginkább a feldolgozó számítógépek és algoritmusok fejlődését jelenti, hiszen a műszaki alapok jórészt ugyanazok maradtak. A képek feldolgozása (légi háromszögelés) jelentős számítási feladatot jelent, ami az egyre gyorsabb számítógépek elterjedésével lehetővé tette, hogy a feldolgozási idő nagy területre is elfogadható legyen. Az egyre gyorsabb gépek újabb, pontosabb algoritmusok kifejlesztését hozták magukkal, így lehetővé tették a képek alapján történő egyre pontosabb felmérést is. A tervezői és építőmérnöki munka a geodéziai felmérésre támaszkodik, így a felmérés pontossága jelentősen meghatározza a tervek és építmények minőségét, pontosságát. A két terület egymásra hat. A tervező és az építészet egyre pontosabban, egyre több mindent szeretne tervezni és építeni, tehát megköveteli, hogy a

geodéziai felmérés egyre pontosabb és egyre gyorsabb legyen. Emiatt a geodéziai felmérés is újabb korszerűbb eszközökkel készül, a mérést és utófeldolgozást gyorsabban lehet végrehajtani. Korábban a mérőállomáshoz legalább 2 ember kellett (geodéta és figuráns), amit a mai korszerű eszközök lecsökkentettek egy főre. A robot mérőállomások folyamatosan követik a prizmat, így a prizmarúd pontra helyezése után gyakorlatilag azonnal megtörténhet a mérés. A mérés idejének a különbsége a korábbi módszertől csupán másodpercekben tér el, de rengeteg pont mérése esetén ez jelentős időkülönbség. Ugyanez elmondható a GNSS fejlődésére is. Ami korábban fél óra vagy akár egy órába is telt, azt ma a korszerű eszközök ugyanolyan pontossággal pár másodperc, de legfeljebb pár perc alatt elvégzik. Amennyiben a drónnal történő mérés eléri azt a kívánt pontosságot, amit az építőmérnöki munka megkövetel, hatalmas pontthalmazokat lehet viszonylag rövid idő alatt felmérni. Jelenleg a drónnal történő mérés nem nélkülözheti a hagyományos eszközöket (illesztő pontok felmérése), de eljöhét az idő, hogy „csak” drónnal is lehet majd mérni.

A TURA – Terv Mérnökiroda Kft. alkalmazottjaként 20 éve dolgozom a cégnél különböző beosztásokban. Először rajzolóként rengeteg papír alapú tervet digitalizáltam, majd közműkoordinátorként tevékenykedtem (ekkor gyakran kellett egyedül GNSS-szel mérnem), végül geodéziai feladatok elvégzésével foglalkoztam (komplett felmérésen itt vettem részt először, itt láttam mi is az a geodézia). Ezen idő alatt betekintést nyertem az utak tervezési fázisaiba, az út tervezésének a változásába, fejlődésébe (természetesen nem messzemenően, részletekben, hiszen nem mélyépítő mérnökként tevékenykedtem). Korábban az út tervezése során a tervező kiment a terepre a geodétával és mint figuráns segített felmérni a terepet. Ennek nagy előnye volt, hogy azokat a tereptárgyakat, felszíneket (pl.: burkolathiba, repedés, nyomvályú stb.) mérte fel amire neki a tervezés során szüksége volt, továbbá már a helyszínen kialakult egy tervezői irány, aminek a mentén a tervezési feladatot el tudta végezni. Gyakran, főleg kisebb tervezési feladatoknál már a terepen megszületett a tervező fejében a terv, amit az asztalnál csak pontosítani kellett.

A tervezés fejlődése során (számítógép bevonása, a számítógépes programot fejlődése) egy munkaorába több feladatot el tudott végezni a tervező, emiatt több munkafolyama-

tot is kapott. A tervezés már nem rajztáblán, később számítógépen rajzolással, hanem az út egyes elemeinek a programozásával folyik. A tervezőnek már nincs ideje arra, hogy figuránsként kimenjen a helyszínre, továbbá mivel a felmérés is már egyszemélyes, nincs is szükség figuránsra. Ezt a feladatot a geodéták vették át szinte teljes mértékben (természetesen itt is vannak kivételek). A tervező a geodéták által előállított pontfelhőre támaszkodott, abból készítette el a tervet. Jelenleg a felmért területről már nem csak a pontfelhőt kéri a tervezők, amiből a felületet elő tudják állítani, hanem többször a területről videófelvételt, fényképeket kérnek a felület létrehozásakor az ellentmondások feloldásához. Ez persze ahhoz is vezetett, hogy megnőtt a „pótfelmérések” száma is. Ami nem a „rossz mérés”-ből adódott, hanem olyan tereptárgyakat, felületeket kellett utólag felmérni ami a kapott videó vagy kép feldolgozása során kiderült, hogy szükséges (burkolat jelentős repedése vagy közművek beleesnek a tervezési területbe, közelébe amit pontosítani kell stb.). Ez a folyamat egyenesen vezet oda, hogy célszerű egy olyan képi anyagot létrehozni, amin a tervező látja a helyszínt, továbbá mérni lehet, így a pótmérések száma jelentősen lecsökken. A képek fotogrammetriai feldolgozása során a képek mérésre alkalmassá válnak, tehát ha a tervezés közben kiderül, hogy még hiányoznak pontok, esetleg valami miatt megváltozik a tervezési irány, nem feltétlenül kell a helyszínre kimenni.

2. MEGOLDANDÓ PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

2.1 Alapgondolat, a szakdolgozat témája

A bevezetőben említett tervezői feladat mennyiségének a megnövekedése miatt a geodétákra hárul több olyan feladat, amihez nem volt szaktudás és a munkakörtől is jelentősen eltérő feladatokat kellett elvégezni. Emiatt jelentősen megnövekedett a pótmérések mennyisége. Keresni kell egy olyan technológiát, ami úgy „juttatja a helyszínre” a tervezőt, hogy közben nem mozdul ki az irodából és a felmérendő terület meghatározása után sem kell kimenni a területre.

A szakdolgozat témája lehet egy ilyen technológia: **UAV-k mérnökgeodéziai alkalmazása**

A továbbiakban az UAV-k helyett drón kifejezést használok, hiszen a hétköznapiakban ezeket a kis méretű, fényképezőgéppel (videó készítésére alkalmas) ellátott, távolból vagy önállóan irányított légi eszközöket nevezzük így. Szakdolgozatom elkészítése során is egy ilyen eszközzel végeztem el a feladatot.

A szakdolgozatban egy út felmérése során összehasonlítottam a drónnal és hagyományos módszerrel készített felmérést.

A felmérés során alapvetően két kritériumnak kell megfelelni. Pontosság és gyorsaság. Vagyis egy munkának a pontossága a legfontosabb, amit a hozzá tartozó dokumentáció igazol. A gyorsaság az a kritérium, ami egy munkát gazdaságossá tesz.

Drónnal történő mérés esetén van egy harmadik kritérium, a légtérhasználat, ezt külön kiemelttem a pontosság és gyorsaság mellett.

2.2 Pontosság

A geodézia jelentős része mérés. A mérés pontosságán alapul a további feladat minősége. Meg kell tehát vizsgálni, mennyire alkalmasak az UAV-k a pontosság megkövetelésére.

A pontosságot befolyásoló tényezők (fotogrammetriai tényezők kivételével):

2.2.1 Időjárás

A geodéziai felmérést jelentősen befolyásolja az időjárás. A műszerek ugyan időjárás állóak (bírók a napsütést, esőt, szelet, a széllel járó port stb.), nem mennek tönkre, azonban a mérés pontossága már nagyon függ az időjárástól. Erősebb szél a mérőállomást is annyira kilengeti, hogy a kompenzátor már nem tudja kompenzálni, továbbá a prizmat sem lehet függőlegesen tartani. A műszerek esőállóak ugyan, de az érintőképernyő nem vagy bizonytalanul működik vizesen. Ugyanez igaz a drónos technológiára is. Erős szélben fel sem száll a drón vagy jóval több energiát használ a helyzete megtartásához, így az adott területet fel sem lehet mérni. Gyenge fény vagy túl erős fény alul- vagy túlexponálást eredményez, ami a feldolgozás során pontatlansághoz vezet.

Összességében elmondható, hogy a drónos mérésnek ideálisabb feltételeknek kell megfelelniük, mint a hagyományos mérések során. Ez kevesebb mérésre alkalmas időpontot jelent.

2.2.2 Vegetáció

A növények komoly befolyásoló tényezővel bírnak. Bár egy erdőben hagyományos módszerrel sem egyszerű mérni vagy a mérendő távolság jelentősen lecsökken, ami a terület felmérésére szükséges időt növeli. Az árkok, mezők felmérése viszont jelentős vegetáció esetén is lehetséges, a botot át lehet dugni a vegetáción, de a drón „nem lát át” (itt jegyezném meg a vegyes technológiát, vagyis a Lidar és fotogrammetria vegyes alkalmazását, ami segít ezt a problémát megoldani), Emiatt a vegetáció jelentősen csök-

kenti a drónok alkalmazási lehetőségét. Bár szakdolgozatomban út felmérését választottam, az úthoz is tartoznak olyan területek, amik függenek a vegetációtól. Az út vízelvezetése során szükség van az árkok mélységére, lejtésére stb. A meglévő árkok drónnal történő felmérését jelentősen befolyásolja a vegetáció. Ebbe a témakörbe kell besorolom továbbá azokat a befolyásoló tényezőket, ami nem kimondottan a vegetáció, sőt, semmi köze hozzá, azonban a drónos mérést pontosan úgy befolyásolja. Ilyen a vízfolyás vagy a tavak, tócsák. De bármi, ami a mérendő talajt valami oknál fogva eltakarják (pl.: hó). A vízfolyásoknál, árkoknál, nagyobb burkolathibáknál a tervezőnek a legalsó pontra van szüksége, nem a vízfelületre. A drón hagyományos szenzorral nem „lát” le a víz alá. A prizmával vagy GNSS-szel történő felmérés során a botot le lehet dugni a víz alá, lehet folyásfeneket mérni vízzel teli árokban is.

2.2.3 Alappontok

A drónos mérés jelenleg az alappontokra támaszkodik. Az alappontok felfestése, ezek felmérése nagy pontosságot igényel, hiszen pontatlanság esetén a mérési hibák halmozódnak. A felfestésnél figyelni kell a mérés időpontjára, a festék rövid idő alatt lekopik (forgalmas úton ez akár napok alatt is megtörténik), nem lesz látható, vagyis használhatatlanná válik. A pontok felmérése hagyományos módon mérőállomással vagy GNSS-szel történik. Ezeknek a méréseknek a megfelelő pontosságához jelentős időtöbblet szükséges. Amíg egy útpont felmérésébe hiba csúszik, legfeljebb kivesszük a mérések közül. Az alappont hibája a teljes mérést is tönkretetheti, ezért ezeket mindig olyan módszerrel mérjük, hogy a hiba eshetőségét minimalizáljuk. Az alappontok felfestésénél további kritériumokra kell odafigyelni. Festés minősége, színe, a vegetáció mennyire takarja majd el a fényképet készítő drón elől. Ezen kritériumokkal az illesztőpontok gyors és pontos felfestése gyakorlatot igényel.

2.3 Gyorsaság

A hagyományos méréssel viszonylag kevés pontot mérünk fel, amivel elkészíthető egy szintfelület. Ezt a feladatot aránylag gyorsan el lehet végezni, azonban nagy valószínűséggel több utólagos mérésre lesz szükség, ami növeli a mérésre fordított időt. A drónnal történő mérés során nagyságrendekkel több mért pont keletkezik, mint hagyományos méréssel, azonban ezek jelentős része felesleges. Az elsőre feleslegesnek tűnő pontthalmazból viszont később újabb pontokat lehet kinyerni, amire a tervezőnek szüksége van, ezek azonban nem növelik tovább a felmérési időt, ellenben a hagyományos méréssel. Az ilyen nagy mennyiségű pontnak a felmérésére is annyi idő áll rendelkezésre, mint a hagyományos módszerrel történő mérés során. A felmérés idején nem kimondottan a felmérésre fordított időt kell érteni, hanem azt az időt, ami idő alatt a felmérés elkészül. Tehát pl.: az időjárás miatti állás is a felmérés idejébe számítandó.

A drónnal történő mérés idejét befolyásoló tényezők:

2.3.1 Időjárás

A 2.2.1 pontban, a pontosságnál már foglalkoztunk az időjárás kérdésével. Ez azt jelenti, amennyiben pontos felmérést szeretnénk kapni az az időszak amikor a felmérést elvégezhetjük nagyon szűk. Ez a felmérésre fordított teljes időn jelentősen növeli.

2.3.2 Légtérhasználat

A drón alkalmazása jogszabályokhoz kötött. Emiatt néhol egyáltalán nem lehet ezt a technológiát alkalmazni. Amely területeken mérni szeretnénk velük, előzetesen be kell jelenteni, a jelenlegi szabályozás alapján munkavégzés céljából lakott területen 1 hónappal előre. Sajnos az időjárás szeszélyei miatt az 1 hónap nagyon megnehezíti a felmérést és ez az idő akár a drónos felmérés ellehetetlenülését is jelenti. Ebből a szempontból a drónos felmérés nem egy rugalmas technológia, jelentős tervezést igényelhet.

2.4 Költséghatékonyság

A hagyományos felméréshez szükséges eszközök nagyon költségesek (GNSS, mérőállomás, utófeldolgozáshoz használt számítógép és szoftver stb.). A drónnal történő méréshez (alappontok mérése miatt a hagyományos felszerelésekre is szükség van) ezen túl egyéb eszközök is kellenek (drón és a hozzá tartozó vezérlőrendszer, drón biztosítás stb.), továbbá az utófeldolgozáshoz használt szoftver jelentős költségtöbbletet jelent.

A költséghatékonyság tehát jelen esetben azt jelenti, mennyi az egy felmért pontra jutó költség. Itt meg kell jegyezni, hogy a drónnal történő mérés során jelentős mennyiségű felesleges pontot mérünk fel, amit nem számolhatunk bele a költséghatékonyságba. A hagyományos mérés során (tapasztalat alapján kijelenthető) több pótmérésre van szükség, aminek a költségei jelentősen lerontják a hagyományos mérés egy pontra jutó költséghatékonyságát.

3. A PROBLÉMA ELEMZÉSE, A SPECIFIKÁCIÓ KIDOLGOZÁSA.

3.1 Probléma elemzése

Az eddig leírtakban próbáltam összehasonlítani a hagyományos és a drónos felmérés közötti különbségeket. Láthattuk, jelentős különbség az az időfaktor, amikor a mérést el lehet végezni, továbbá a vegetáció. A vegetáció időjárástól függetlenül minden évszakban képes eltakarni a talajt.

A hagyományos mérés során viszont nagy a hibalehetőség. Egy területen mindent észre kell venni, módszeresen le kell mérni (aknák, gáz szaglók, távközlési jelzőkövek, távközlési vagy elektromos szekrények stb.). Ezek elég sok esetben nagy problémát jelentenek, tapasztalat szerint már emiatt is sokszor vissza kell menni pótmérni (természetesen itt is akadály a vegetáció, hiszen, ha a nagy fű eltakar egy-egy kisebb aknát, a geodéta nem veszi észre, nem tudja, hogy azt fel kell mérni). Forgalomtechnikánál a táblák esetleg ellentmondanak a felfestésnek. A mérendők közé kéne besorolni azokat is, amikre a tervezőnek szükségük van. Ehhez a geodéta szempontjából olyan szaktudás kell, ami nagyon sok esetben nincs és még a sokévi tapasztalat sem elegendő. Gyakran maga a tervező sem tudja megmondani mit is kellene mérni, a területet látva tudná eldönteni.

A tervezés során időnként koncepció váltás is történik. Egy-egy nyomvonalat más irányba visznek (kerékpárútnál ez gyakori, főleg lakott területen belül), az adott szakaszon nem csak forgalomtechnikai változtatás, hanem burkolatjavítás is szükséges.

A mérés során készíteni kell egy ún. manuálét, ami alapján a geodéta az adatokat fel tudja dolgozni.

3.1.1 Burkolathibák

Az egyik nagy probléma a burkolatfelmérés során, hogy a geodéta felismeri-e a burkolathibát, van-e hozzá szakképzettsége, tapasztalata.

Egyenetlen pályafelület: A pályaszerkezeti rétegek hibáira vezethető vissza, egyenetlen elterítés, rossz minőségű anyag, tömörítés hiánya stb. Alapvetően fényképről észrevehető, nem elegendő a kopóréteg csere.

Keréknyomvályú: Kopóréteg hibája, a (főleg nehéz-) gépjárműforgalom az okozója. A vastag aszfaltrétegek is okozhatják, meleg időben nő a nyomványúsodási hajlam. Fényképről észrevehető, általában a geodéták tudják, hogy fel kell mérni, bár, ha a nem megfelelő vastagságú aszfaltréteg az oka, akkor az alapréteghez is hozzá kell nyúlni.

Mozaikos repedés: Általában az útalap hibája, szakértelmet igényel az észlelése, fényképről jól megállapítható. Geodéták gyakran elsiklanak felette. Ezeken a helyeken aszfalttechnológiai vizsgálat szükséges, tehát a tervezőnek feltétlenül tudnia kell ezekről a lokális helyekről.

Gyűrődés: Általában nyáron (főleg lámpás kereszteződésnél vagy olyan helyen ahol meg kell állni) a fékezésektől az aszfalt felgyűrődik, elválik a kopóréteg a kötőrétegtől. Fényképről észrevehető, a 25m-es keresztaszelvény felvétel miatt a geodéták nem mindig foglalkoznak vele, gyakran nem ismerik fel.

Repedés a megsüllyedt pályaszerkezeten: Szabálytalan alakú és változó sűrűségű egyedi repedések, a pályaszerkezet teljes rétegsorán keresztül jelentkeznek. Fényképről felismerhető, szakértelmet igényel.

Burkolat szélének letörése: A padka kijáródása, kimosódása esetén a megtámasztás hiánya miatt a kopóréteg burkolatszélé helyenként leválk. Fényképről észrevehető, a 25m-enkénti keresztaszelvény miatt gyakran kimarad a mérésből.

Pályaszerkezet süllyedés: Burkolatszél süllyedése, általában a rosszul kivitelezett vagy tervezett útszakaszoknál (szélesítés vagy rossz vízvezetés), rézsűkorona megcsúszása

miatt. Lokális hiba, vagyis a 25m-enkénti keresztshelvény felmérés miatt nem minden esetben mérük fel. Fénykép alapján észrevehető kezelendő hiba.

Hajszálrepedés: Nem eléggé rugalmas anyagminőségéből fakadó hiba, szakértői szemmel észrevehető. Tehát a geodéták csak nagy gyakorlat esetén jelzik ezt a burkolati hibát. Fényképről észrevehető. Ha nem kezelik, hamar tágulnak, tovább rontva a pályaszerkezetet. A csapadékvíz lejut a földmübe.

Megcsúszás: A földmü nem megfelelő geometriája miatt, vagy a rossz vízelvezetés miatt, lokális hiba, tehát a felmérés során nem kerül bele a mérésbe. Fényképen felismerhető, szakértelmet igényel. [2.]

A felsorolás nem teljes körű, vannak további lokális hibák, amik a kopóréteg hibái, tehát burkolatfelújítás esetén indifferensek. A felvételeken ezeken túl észre lehet venni olyan hibákat is, ami nem szorosan a burkolat hibáihoz kapcsolódik, hanem akár a tervezéshez. Ilyen pl.: vízelvezetés. A burkolaton összegyűlő sár egyértelmű jele a rossz vízelvezetésnek, de a burkolat süllyedés vagy padka felhízás is okozhatja. Itt gyakran megáll a víz, a benne lévő lebegő részeket leteszi, sár alakul ki. Az álló víz a fagyciklus miatt hamar tönkreteszi a burkolatszélet, ami első ránézésre pályaszerkezet hibának tűnik, pedig „csak” az árkokat kellene rendbe tenni. A geodéták ezzel nem tudnak mit kezdeni, szakértelmük nem minden esetben terjed ki ezen hibákra. Emiatt határozottan kijelenthető, ha a tervező képként látja a területet, azzal a „felesleges” pótmérések elkerülhetők, megfelelő szakvélemény készíthető a burkolat helyreállításához.

3.1.2 Terület bemutatása

Amennyiben el szeretnénk kerülni azokat a hibákat, hogy a tervezési területen olyan burkolathibákat nem mérünk fel, amit nem ismerünk vagy nem vettünk észre, vagy olyan tárgyak (pl.: közmű, átereszt stb.) amiket szintén nem vettünk észre (esetleg a terület zsúfoltsága miatt nem elég módszeresen mértük fel), be kell mutatni a tervezési területet a tervezőnek. Ezt több módon tehetjük meg (nem teljes körű felsorolás, a tervezőirodában használt módszereket írtam le alapvetően, kivéve a drónnal történő felmérést).

– Fénykép vagy videó készítése:

Felmérés után fényképek és/vagy videófelvétel készítése az adott területről. Jelenleg ezt a módszert használjuk. A tapasztalat azt mutatja, hogy nehézkes, sok pótméréssel jár. A felvételek egy szögből, a felvevő nézőpontjából mutatja be a területet, azokat, amiket az anyag készítője meg akar mutatni. Egy 3D-s felvétel a területről már kiszűri ezt, ott „körül” lehet nézni, nem csak a felvevő szemszögéből látható a terep. Sajnos 3D-s kamera vagy nagyon magas áron beszerezhető, ami vetekszik egy RTK-val rendelkező drón árával, vagy sportkamerát lehet használni, aminek a végterméke elég sok kívánnivalót hagy maga után. A felvételek készítése további plusz idővel jár, ami a felmérés idejébe számít. Tehát a geodétának ezt az időt is kalkulálnia kell. A videó vagy kép készítése nem mellőzheti a manuálé készítését. Bár sok esetben helyettesíti.

– Drónnal történő mérés (a szakdolgozat témája):

Drónnal történő felmérés esetén eleve képek készülnek, ezt teszi a fotogrammetria mérésre alkalmassá. A készült felvételek összeillesztése után 3D-s végeredményt kapunk, amik függetlenek a képeket készítőtől, bármikor vissza lehet menni egy területre, ott körbe lehet nézni. Egy képen van a mérendő terület és a mérési adat, nem kell hosszadalmas keresésbe kezdeni, hogy beazonosítsuk, melyik pont hová is tartozik.

– Internet felhasználásával:

Az interneten fellelhető a Google Maps terméke, ami a drónos felméréshez hasonlóan mutatja be a területet (már csak azért is a drónos módszerhez hasonló, mert az is a terepen készült képek utófeldolgozásával előállított 3D-s termék). Ezzel a módszerrel több gond is van. Alapvetően a Google Maps az úthálózathoz kapcsolódik (ez jelen szakdolgozatnál még nem probléma, hiszen a burkolatfelújítás is a meglévő úthálózathoz kapcsolódik). A legnagyobb probléma azonban az, hogy mikor készültek a képek. Ezek a képek (szerencsére a google fel is teszi a képekre) gyakran 4-5 évvel korábban készültek, mint amikor a tervezés folyik. Tehát azon időszak alatt a burkolat hibáiról nem ad

reális képet. Gyakran az utca egyik fele nyáron, a másik télen, hóval borított úton készült. Nem a felmérendő területre koncentrálnak, egy átlagos körületekintésre alkalmas nem tervezésre. A területet hosszan kell azonosítani, egyeztetni a tervvel, mert a kiírt koordináták elég pontatlanok (gyakran 15-20m eltérés is van). Ezek miatt a problémák miatt nem, vagy nagyon ritkán inkább előkészítéshez használjuk.

Biztosan vannak további módszerek, a felsorolás nem teljes körű, inkább azon tervezőiroda módszereit ismertettem, ahol tapasztalataimat szereztem.

A leírtak alapján elmondható, hogy a drónos felmérés számtalan hátránya mellett jelentős többletet ad, hogy a területről összefüggő képet is kapunk, ami mérésre alkalmas, továbbá hatalmas pontsűrűsége lehet előállítani. A hagyományos felméréshez viszonyítva elmondható, hogy az analóg jel digitális feldolgozásához lehetne hasonlítani. Egy analóg jel folytonos, aminek minél több pontjával próbáljuk digitalizálni, annál pontosabban kapjuk azt vissza. A burkolat felmérése sűrű felmérés esetén 25m-enként történik. Itt vesznek fel keresztmetszvényt, ebből készül a szintfelület. A két keresztmetszvény között interpolálással kapjuk a pontokat. Amennyiben a geodétának van szaktudása és/vagy elég tapasztalata, felmér bizonyos burkolati hibákat, egyéb felületeket, amivel a tervező javítani tud a szintfelületen, jobban hasonlít a valódi terepre. De ezek felismerése, ezáltal felmérése nagy szakértelmet igényel. Drónnal történő felmérés esetén a pontok sűrűségét a kamera felbontása és a repülés magassága határozza meg.

3.2 Specifikáció kidolgozása

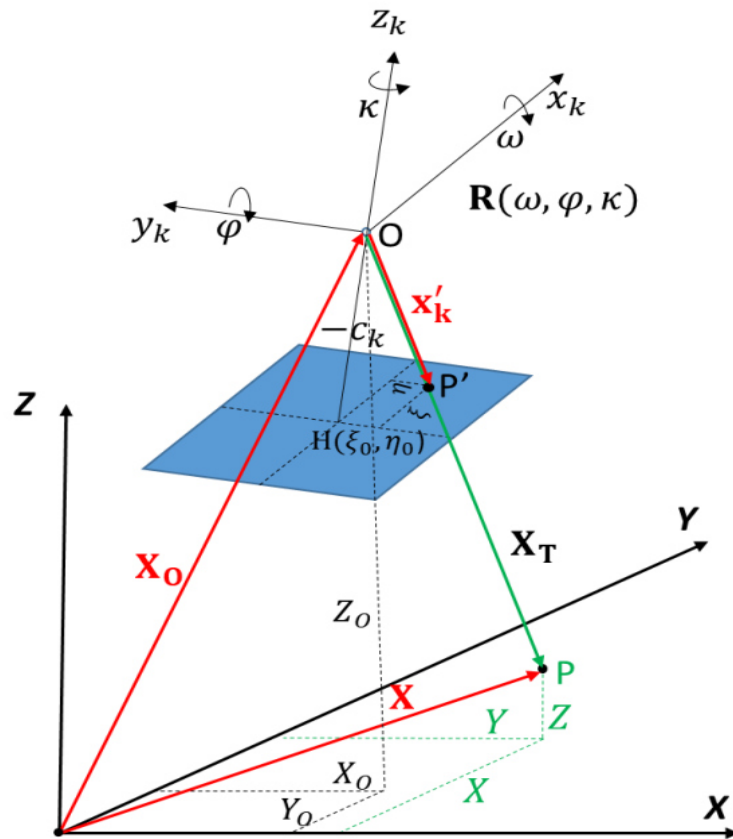
Szakdolgozatomban a drónnal történő felmérés lehetőségeit, határait kívánom megvizsgálni. A drón fényképeket készít, tehát a tervezőnek be tudom mutatni a területet, fotogrammetriai eljárással feldolgozva egy olyan pontfelhőt lehet előállítani, amivel a tervezési területről egy szintfelületet lehet leképezni. Ezen szintfelület alkalmas a tervezés alapjának.

Fotogrammetrián szakdolgozatomban a digitális fotogrammetriát értem, hiszen gyakorlatilag már emberi beavatkozás nélkül, számítógép dolgozza fel a képeket, a számítógép

veszi át az emberi látás és felismerés szerepét. A képek beolvasásán és alappont illesztés javításán kívül ténylegesen beavatkozás nélkül dolgozza fel a szoftver a képeket. Ez egyszerre lehet előny és hátrány is. Amennyiben minden körülmény ideális, a feldolgozó programok szép és pontos eredményt adnak, viszont, ha valami nem megfelelő, vagy az átlagostól eltérő, fotogrammetriai szaktudásra lehet szükség.

Fotogrammetriai alapok:

Ahhoz, hogy a képek feldolgozását megértsük, szükség van a fotogrammetria matematikai modelljének ismeretére. A centrális vetítés ábrájából (1. ábra) felírható a fotogrammetria alapelmélete (kollineár egyenlet), miszerint a terepi P pont, annak képi leképződése P' és a kamera objektívének főpontja O egy egyenesre esik. Az OP' vektor m-szerese az OP vektor. Amennyiben ismerjük a kamera középpontjának koordinátáit X_0 és az m méretszorzó tényezőt, kiszámíthatjuk a terepi pont koordinátáját X.



1. ábra Centrális vetítés [Kraus 2007] [Dr. habil Jacsó Tamás Digitális fotogrammetria jegyzet]

$$X_T = m * x'_k = m * R * x_k$$

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = m * \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \xi - \xi_0 \\ \eta - \eta_0 \\ -c_k \end{bmatrix}$$

Ahol R a forgatási mátrix elemei rendre: $r_{11}; r_{12}; r_{13} \dots$

Amennyiben a mátrix-egyenlet első és második sorát elosztjuk a harmadik sorral, akkor az m mérettényező kiesik és átrendezés után felírható a két egyenlet X és Y tárgykoordinátákra:

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) - r_{13}c_k}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c_k}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) - r_{23}c_k}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c_k}$$

[3]

Természetesen a kollineár egyenlet pusztán alkalmazása nem elegendő egy kép alapján meghatározni a pontok koordinátáját. Ehhez szükségesek a külső és belső tájékozási elemek is.

A belső tájékozásba beleértjük azokat a fizikailag létező és matematikailag értelmezhető változókat, melyek a kamerán belül létrejövő képeket modellezzik. [4.]

Nem minden esetben ismerjük a belső tájékozás adatait, azonban a digitális fotogrammetria lehetőséget biztosít a felvételek belső adatainak utólagos meghatározására. [5.]

A munkaállomásokon, melyeken feldolgozzuk a képeket, lehetőség van kép, képpár vagy képtömb tájékozására. A képek külső elemeinek meghatározása térbeli hátrametszéssel történik. [6.]

Amíg korábban független matematikai modelleket használtak egy-egy számítási meneten belül, addig a mai programok a különböző modelleket ötvözik (pl.: korábban a tömbháromszögelés és sugárnyaláb kiegyenlítéssel végzett légi háromszögelés teljesen külön művelet volt). Ma már a mért képp koordináták alapján először a program a relatív tájékozás alapján lehetőség nyílik a maradék parallaxisok ellenőrzésére, így az elsődle-

ges hibaszűrés elvégezhető. A tájékozott képeket a program képsorokká kapcsolja, a sorháromszögeléshez készíti elő, így az ismeretlenek előzetes értékeinek a meghatározását végzi. Lehetőség nyílik a tömb előzetes kiegyenlítésére. A program ellenőrizni tudja, hogy van-e minden képen mért koordináta, a lehetséges vetítési sugarak rendelkezésre állnak-e. Ez után jöhet a befejező számítás, a közelítő értékekkel a program elvégzi a sugárnyaláb kiegyenlítést. [7.]

Illesztőpont mező:

Illesztőpont mezőn azt értjük, amikor olyan, a felvételeken jól értelmezhető pontokat helyezünk el, aminek ismerjük a terepi koordinátáit. Egy illesztőpontot úgy kell elhelyezni, hogy több felvételen meg tudjuk mérni a képkoordinátáját. Ezt nem mindig lehet teljesíteni, de egy kép tömböt megfelelő számú illesztőponttal akkor is lehet tájékozni, ha nem minden képen van illesztőpont. A képsorokat minimum 60%-os átfedéssel, kell készíteni úgy, hogy minimum 25%-os haránt irányú átfedése legyen (szakdolgozatom készítése során 80%-os átfedés lett beállítva, továbbá keresztirányú képek is készültek a 3D biztosítása érdekében, így a 25%-os átfedést jóval meghaladta). Ezzel azt érjük el, hogy minden (a felmért terület központi részén elhelyezkedő) pont legalább három kép alapján kerüljön meghatározásra, amivel növelhető a vizsgálat szempontjából különösen fontos magassági pontosság is (Itt megjegyezném, annyira a függőleges pontosságra figyeltem a felmérés során, hogy a vízszintes ellenőrzésre nem készítettem elő a lehetőséget. Ezt később pontosabban ki is fejtem.). Az így összeállított képsornál nem kell minden képen illesztőpontnak lennie. Az illesztőpont festésénél figyelni kell több tényezőre. Amennyiben túl korán vagy nem megfelelő festéssel (minőség, szín stb.) festjük fel, akkor a berepülés idején (rossz színválasztás esetén azonnali berepülés esetén) már nem látható a jel. Ez a képek, képtömbök tájékozását rontja, rossz esetben ellehetetleníti.

4. A MEGOLDÁSI MÓDSZER KIVÁLASZTÁSA, A VÁLASZTÁS INDOKLÁSA.

4.1 A megoldási módszer kiválasztása.

A felmérést tehát egy olyan technológiával – UAV alkalmazása a mérnökgeodéziában – végeztem el, ahol a tervező anélkül át tudja nézni a tervezési területet, hogy kimenne a helyszínre, továbbá egy közel folytonos felületet kap. A drónos felmérés nagyon sok pontja automatizálható, automatizált. Kezdve a repüléstől, az utófeldolgozáson át. Ezen módszer szorosan kapcsolódik a hagyományos felméréshez, hiszen az illesztőpontokat hagyományos módszerrel mérjük fel. A pontok felmérése nagy odafigyelést, pontosságot igényel, azonban a drónnal történő repülés jellemzően már teljesen automatikus.

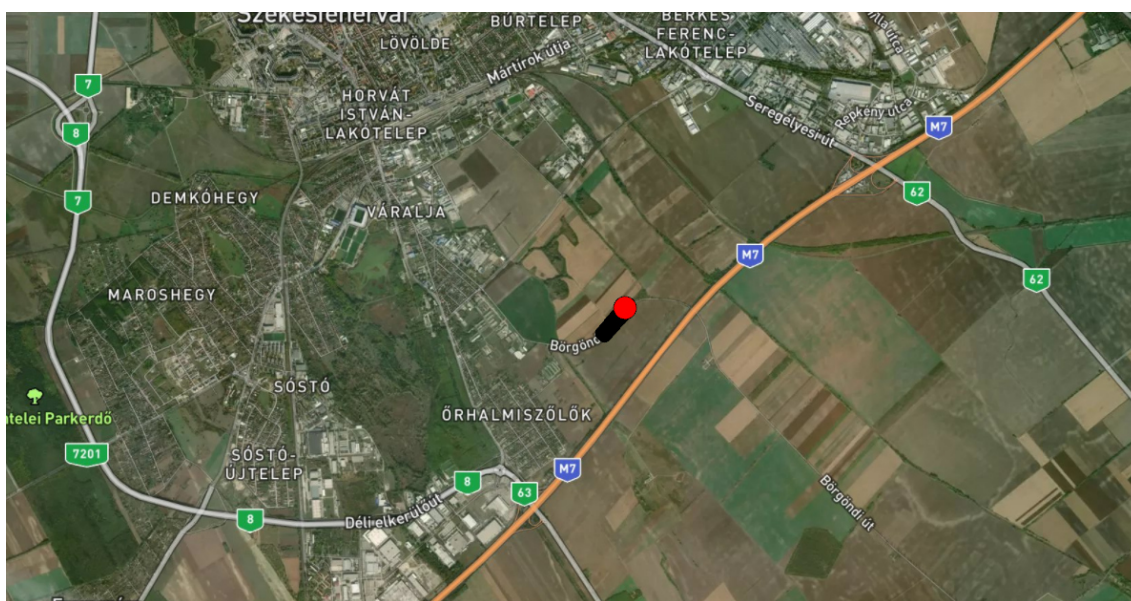
4.2 A választás indoklása.

Az általam felvázolt probléma megoldásához legközelebb a drónnal történő felmérés áll, továbbá meg kívántam vizsgálni mekkora pontossággal lehet egy adott területet felmérni. Milyen hatással van az időjárás, a vegetáció és egyéb tényezők a mérés pontosságára, mennyi idő alatt lehet egy adott területet felmérni. Ezeket kívántam összehasonlítani az általunk jelenleg használt módszerekkel, hagyományos felmérés (szintezés, mérőállomással történő burkolat nagy pontosságú felmérése, GNSS technológiával az egyéb tárgyak, közművek stb. felmérése), utána a terület fényképes dokumentálása. Meg akartam vizsgálni, az utófeldolgozás során mekkora a különbség a hagyományos és a drónos felmérés között erőforrás-, eszköz igény és munkaóra szempontjából.

5. RÉSZLETES SPECIFIKÁCIÓ LEÍRÁSA

5.1 A kiválasztott felméréndő terület:

A felméréshez választottam egy olyan útszakaszt (2. ábra), ami környékén kevés a vegetáció (de volt vegetáció, így a drónnal történő mérés egyes hátrányait is meg tudtam vizsgálni), a vegetáció hiánya miatt a nap nagy részében megfelelő volt a fényviszony, kevés autó mozgott rajta így a készített képek gyakorlatilag nem tartalmaztak „szellemautót”. A szellemautók leválogtatását, megkülönböztetését a felszíntől a program el tudja végezni, hiszen, ha az egyik képen magasan van a pixel, a másikon nem, ezeket külön objektumként kezeli. Így nagy valószínűséggel le tudja szedni a képről a mozgó tárgyakat, tehát „csak” a felszínt jeleníti meg a pontfelhős DSM végterméken.



2. ábra Bőrgöndi út

5.2 A felméréshez használt eszközök, felszerelések:

- Alap- és illesztőpont jelöléshez és állandósításhoz használt eszközök
- GNSS és hozzá tartozó eszközök, felszerelések
- Mérőállomás, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések
- Drón, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések
- Utófeldolgozáshoz használt szoftverek

5.2.1 Alappont jelöléshez és állandósításhoz használt eszközök (3. ábra):

- Illesztőpont festéséhez sablon
- Illesztőpont festéséhez festék (2 doboz)
- Illesztőpont távolságának méréséhez mérőkerék
- Alappont jelöléséhez aszfaltban szeg
- Alappont jelöléséhez mezőgazdasági területen karó
- Kalapács



3. ábra Alappont jelöléshez és állandósításhoz használt eszközök

5.2.2 GNSS és a hozzá tartozó eszközök, felszerelések (4. ábra):

GNSS Típusa: Trimble R2

Hozzá tartozó eszközök:

- Terepi vezérlő (Android alapú, vezérlő szoftver a Trimble Access 2022.11)
- Statív (Trimble)
- Kitűzőrúd (változtatható magasságú, Séco)
- Csipesz (Az árbóc mérés alatti függőlegesben tartása érdekében)



4. ábra GNSS mérésre összeszerelt állapotban

5.2.3 Mérőállomás, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések (5. ábra):

Mérőállomás típusa: Trimble S5 robot mérőállomás

A hozzá tartozó felszerelés:

- Terepi vezérlő (Android alapú, vezérlő szoftver a Trimbe Access 2022.11)
- Statív (Trimble)
- Árbóc (változtatható magasságú, Seco)
- Prizma (Trimble MT1000, aktív prizma)
- Rádió adó-vevő (Trimble TDL2.4)



5. ábra Mérőállomás mérésre összeszerelt állapotban

5.2.4 Drón, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések (6. ábra):

Drón típusa: DJI Phantom 4 pro 2.0

A hozzá tartozó felszerelés:

- Tablet Samsung active tab 2 terepi adatgyűjtő
- Vezérlő



6. ábra Drón, és hozzá tartozó eszközök, felszerelések

5.2.5 Utófeldolgozáshoz használt szoftverek, felszerelések:

- Számítógép: ASUS TUF Gaming A17 laptop
- Mérőállomással történő mérés utófeldolgozásához használt szoftver: GeoEasy321
- Drónnal történő mérés utófeldolgozásához használt szoftver: Pix4DMapper 4.5.6

A GNSS méréseket a terepi vezérlő valós időben dolgozta fel, ezeket az adatokat a helyszínen használtuk így utófeldolgozásra nem volt szükség. A terepi vezérlőből nyert mé-

rési jegyzőkönyvet utólag átnéztük, abban olyan kiugró hibát nem találtunk, ami a mérés elvetéséhez vezetett volna. Turbulens, ionoszférikus időszakban, célszerű lehet saját bázisos méréssel, utófeldolgozást választani, különösen, ha nagyobb pontosságra törekszünk.

6. A MÉRÉS SORÁN VÉGZETT MUNKAFÁZISOK ÉS TAPASZTALATOK LEÍRÁSA

6.1 Előkészületek:

Az előkészületek során beszereztük a felszerelést, átbeszéltük a munkafolyamatokat – legfőképp a hibahatárokat –, feltöltöttük a készülékek akkumulátorait és elvégeztük, ellenőriztük a beállításokat. Az illesztőpontok mérését a méréshez soroltam (bár a festés és felmérés a légi háromszögelés előkészítése), de ez már a konkrét feladat végrehajtása volt. Az alappontok kiválasztását, mérésének módját eldöntöttem.

Tapasztalat: Mivel a felszerelés adott volt, ezt a TURA-Terv Kft. (hagyományos mérőműszerek – GNSS és mérőállomás – meg a hozzá tartozó feldolgozó szoftverek) továbbá az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar (drón és tartozékai, a hozzá tartozó feldolgozó szoftverekkel) biztosította számomra, ezért beszerzésükkel nem volt probléma. A szakdolgozat elkészítését ezen felszerelések birtokában kezdtem el. A jól előkészített munka során a terepen elvégzett feladatokra lehetett koncentrálni.

Nem volt gond az akkumulátorok feltöltöttségével, a műszerek beállításával, azokat többször ellenőriztük.

Mivel a drónnal történő mérés és a hagyományos eszközzel történő mérés különbségét vizsgáltam, alapvetően az alappontok abszolút pontosságára nem volt szükség. Nem kellett volna beillesztenem az országos hálózatba. Nekem a relatív hiba kellett. Döntésemet igazolta, hogy a GNSS-szel végzett alappont meghatározás lényegesen gyorsabb volt és a két méréssorozat közötti eltérés mértéke megmutatta, alkalmas az így felvett alapponthálózat a mérés sokszögvonala alappontjainak a meghatározásához.

Az alappontok közül 1-1 pont a szántóba került, ezeket egyeztetni kellett a helyi tulajdonosokkal. A tulajdonosok rendkívül készségesek voltak, elmondták, nyugodtan hagyjam

ott, mielőtt géppel arra mennek kiszedik. Így biztosították, rossz mérés esetén újra ki lehetett menni a helyszínre ellenőrizni a mérést.

6.2 Mérés:

A mérés során először elhelyeztem az alappontok állandósításához szükséges karót, szegget, majd elvégeztem a felfestést. A mérés során először a GNSS mérésre volt szükség, utána a mérőállomással, majd a drónos berepülés következett.

Tapasztalat: A pontok állandósítása az előzetes egyeztetéseknek köszönhetően gyorsan, pontosan elvégezhetőek voltak. A sablon a laminálásnak köszönhetően végig jól szolgált. A festék mennyiségét ugyan erősen alábecsültem – ezek is mutatják mekkora gyakorlat kell ezekhez a feladatokhoz. A szín nem tért el jelentősen. A mérés során a legnagyobb problémát a szél jelentette volt, hogy 4-5m/s-ot is elérte). A mérőállomás függőlegesbe állítása nehézkes volt, a drón többször nem akart felszállni. A GNSS mérésnél nem okozott gondot.

A GNSS mérés során szintén a vegetációra kellett figyelni. Egy fa alatt elhelyezett pont mérése során jelentkezett a legnagyobb hiba. Ez a nem kellően körültekintő alappont elhelyezésének köszönhető. Kiderült, a gyakorlat itt is nagy előny.

6.3 Utófeldolgozás:

Az utófeldolgozás alatt kinyertük a műszerekből az adatokat, azokat feldolgoztuk. A mérőműszerekből a jegyzőkönyveket (kivéve a GNSS-t mert azon adatokra a helyszínen már szükség volt a sokszögvonálhoz), a drónból a képsorozatot. Mivel a képek EXIF-je tartalmazta a kép készítésének koordinátáit és az objektív előzetes, nominális adatait, ezért további adatra nem volt szükség a képek feldolgozásához (természetesen az illesztőpontok kivételével)

Tapasztalat: Az utófeldolgozás során lehetett javítani azon hibákat, amik a mérés vagy a gondatlan előkészítésből adódott (pl.: a műszer magasság beírásánál nem lett beállítva, melyik magasság számít – a műszeren van egy olyan jel is, amit könnyebb mérni, de nem esik egybe a lencse tengelyével, ezért automatikusan hozzáad a műszer a mérés során 0,155mm-t – így azt utólag át kellett írni.). A hagyományos mérés adatait viszonylag gyorsan fel lehetett dolgozni, a képek feldolgozása azonban hosszú időt vett igénybe. Az elkészült állomány azonban magáért beszél.

7. A MEGVALÓSÍTÁS LEÍRÁSA

7.1 Előkészületek:

7.1.1 Hagyományos méréssel készült pontok előkészületei:

Az előkészületek során kiválasztottam a műszereket, alapfelszereléseket, utófeldolgozáshoz szükséges programokat, figyeltem az időjárást, mikor lesz alkalmas a mérés elvégzéséhez. Szakdolgozatomban egy 350m-es útszakaszt mértem fel drónnal, aminek a nettó ideje 1nap – ezt az egyes munkafázisokra fordított idő összeadásával számoltam ki. Mivel nem „csak” arra voltam kíváncsi, hogy lehet-e drónnal felmérni egy útszakaszt, hiszen a drónnal való mérést már többször elvégeztem előttem, hanem azt vizsgáltam, mekkora eltérés van a hagyományos és drónos felmérés között. Amennyiben ez az eltérés 1cm-es határon belül mozog, alkalmas a mérnöki munkára, vagyis alkalmas a felmérést a további tervezés alapjául használni. Így nem csak a drónnal készült fényképek illesztőpontjait mértem le, hanem az út oldalán felfestett pontoknál továbbá a két-két pont 25m-res szakaszát felosztottam nagyjából 3 egyenlő részre és ott is további keresztmetszvényhez szükséges pontokat mértem. Így a 350m-es szakaszon kb 8m-enként kaptam keresztmetszvényt. Ezek a felmérések jelentősen meghosszabbították a mérési időt és az időjárás viszonyosságai miatt 3 napra volt szükségem mire a drónnal történő berepülés végrehajtható lett. Amennyiben ezt az időt levonom, a 350m-es útszakasz kimondottan drónnal történő mérésére elegendő 1 őszi nap, amikor kb. reggel 7-től délután 4 óráig van világos, mérésre alkalmas fényviszony. Az előkészítés során alappontokhoz feltérképeztem a környéken fellelhető alappont hálózatot, azonban azok minősége miatt úgy döntöttem, saját alappont hálózatot hozok létre. A környéken található alappontok közül 1 volt megfelelően közel, továbbá egy kéményre lehetett rálátni. A közeli alappont állapota olyan volt, amit úgy ítélt meg, nem vonom be a mérésbe. A több km-re lévő alapponttól alappont sűrítéssel lehetett volna eljutni a helyszínig, de a

távolság és a terepviszonyok miatt ezt is elvetettem. A távolság és terepviszonyok miatt akkora hibalehetőség adódott, amit a helyszínen lévő GNSS-szel kijelölt pontoknál. Emiatt úgy döntöttem, hogy a rövidebb idő alatt elvégezhető GNSS méréssel történő alappontokra támaszkodom. Az alappontok közül 1-1 pontot a sokszögvonal két végén a szántóba levert karón helyeztem el, emiatt egyeztetni kellett a terület tulajdonosaival.

7.1.2 Drónnal történő felmérés (berepülés) előkészületei:

Mint korábban a fotogrammetriai elmélet rövid leírásában már taglaltam, hogy szakdolgozatomban hosszanti és kereszt irányú repüléseket is végeztünk, készítettünk képeket. Ezzel elértük, hogy minimum 80%-os átfedést érjünk el, az utófeldolgozás során kiderült, elegendő illesztőpont került a képekre

A drónnal történő berepülés előkészülete során beállítottuk a drón repülési pályáját. Erre azért volt szükség, mert így biztonsággal elértük a kívánt átfedést, továbbá kézi vezérléssel ez nagyon nehézkes, gyakorlat nélkül lehetetlen 17m-es magasságban. Az általunk használt program android rendszerre ingyenesen használható Pix4D Capture program, ami kompatibilis a DJI vezérlő programjával. Ezzel könnyedén, az elsődleges paraméterek beállítása után (ilyen a magasság, átfedés) létrehozva egy sablont, ami egy berepülési sokszög, két ujjal be lehet állítani mekkora területet és hogy szeretnénk berepülni. Ennek a sablonnak a létrehozása után a program automatikusan kiszámítja a repülésre szükséges időt, amit össze lehet vetni a gyári adatokkal, hogy egy akkumulátorral mennyi időt tölthet a drón a levegőben. A sablon létrehozása előtt az út ortofotóját EOVI helyesen beillesztettük, így amikor a sablont létrehoztuk és elhelyeztük, már látható volt mekkora területet repül be. Ezzel elkerülhető lett a felesleges fényképek készítése, a repülési idő felesleges használata.

Az alapbeállítások és az akkumulátorok feltöltése után lehetett a terepi berepülést elvégezni. A terepre történő indulás előtt légtérhasználatot kellett bejegyezni. Mivel a légtérhasználatához külterületen nem kell előzetes engedély, így csak a bejelentése szükséges.

7.2 Illesztőpontok és alappontok kijelölése, állandósítása:

A terepbejárás során kiválasztottam azokat a pontokat, amiket alappontoknak használok, továbbá azokat a pontokat, amiknek a koordinátáját ismertnek tekintek, tehát a két végén beillesztett sokszögvonalat készítettem az illesztőpontok mérésének érdekében (továbbá a 8m-enkénti keresztzelvényekhez). A kiválasztott útszakasz két végén az aszfaltba beütöttem egy-egy hiltiszeget, melyeket a mérés során így állandónak tekinthettem. A két végpont között 15m-enként további pontokat jelöltem meg, ezek a sokszögvonala sarokpontjai. A sokszögvonala végpontjaitól 3 irányba, kb. 150-200 m-es távolságba az aszfaltba és a szántóra felvettem 3-3 pontot. A szántóra kb. 60cm-es karót ütöttem, melyet a rövid mérés ideje alatt állandónak lehetett tekinteni. Ezeket 6001-6006 számmal jelöltem.

Az illesztőpontokat a konzulensemme egyeztetve (neki van UAV-val való felméréshez tapasztalata) 25m-enként helyeztem el az aszfaltba, ezeket a festőszablonnal felfestettem (szablont a szakdolgozathoz csatoltam, A4 formátum, festés előtt lamináltam, hogy amennyiben a festék átáztatja a papírt, tovább használható legyen).

7.3 Mérés:

7.3.1 Alappontok mérése:

A sokszögvonala két végpontjának beillesztéséhez használt alappontokat GNSS technológiával, 180 epochával lemértem, a koordinátákat tároltam (a további összehasonlítás érdekében minden illesztőpontot lemértem GNSS-szel, szintén 180 epochával). Ezeket a méréseket elvégeztem az útszakasz mérőállomással történő felmérése után is. A két GNSS mérés között minimum 4 óra telt el, így a műholdak egész biztos már konstellációban álltak mint az előző mérés során, így a két mérés összehasonlítható. Ezeket a méréseket 16001-16006 számmal jelöltem.

7.3.2 Sokszögvonala és poláris pontok mérése:

Az általam használt Trimble mérőállomással kétféle módon mértem:

- Trackelő üzemmód és
- Standard üzemmód

A két üzemmód közötti eltérés a mérési időben – ezáltal a mérések számában – tér el. A trackelő módban folyamatosan követi a prizmat, a mérés gomb megnyomására azonnal rögzíti az éppen aktuális szög és távolság értékeket. Standard üzemmódban 5s-ig mér, ezalatt több mérést végez el, ezeket a méréseket átlagolja, úgy tárolja a szög és távolság értékeket. Ennek az a következménye, hogy standard üzemmódban lényegesen pontosabban lehet mérni, persze fokozottan figyelni kell a libella állására. Viszont ez a mérési mód hosszabb ideig tart, ezzel egy hosszabb útszakaszt felmérni – főleg ha az forgalmas – szinte lehetetlen. Viszont azon pontokat, amik fokozott pontosságot igényelnek (jelen esetben a drón illesztőpontjai és a sokszögvonal sarokpontjai) standard módban, a libellát a lehető legpontosabb helyzetbe hozva mértem le.

A burkolaton felvett keresztmetszelvényekre azért volt szükségem, hogy olyan terepen végezhessem el az összehasonlítást, ahol nincs vegetáció. Viszont, mint az út tervezése során nem csak kész útburkolatok vannak, hanem az ahhoz tartozó – vegetációval bőven rendelkező – egyéb tereppel (pl.: árok) is. Továbbá, ahol nincs út, de új utat kívánunk tervezni, lényeges vegetációval találkozunk. A burkolatfelújítás egy kicsi szegmense a tervezői feladatoknak. Így kézenfekvő volt, hogy összehasonlítsam a vegetációval rendelkező felszín drónnal történő mérését is. Ezért a burkolat mellett jelen esetben terepi pontnak nevezett (a terepi pontok itt az aszfalton kívüli pontokra vonatkozik) további két-két pontot is mértem az aszfalt mind a két oldalán, az egyik pont kb 20-40cm-re a burkolattól, a másik mélyen az árokban.

A poláris pontok, illesztőpontok és sarokpontok mérése után következett a drónnal történő felmérés.

7.3.3 Drónnal történő felmérés (berepülés):

A terepi berepülést megelőzően beállítottuk a drón röppályáját, így a készüléket összerakva pillanatok alatt elvégezhető volt a repülés. A kiforratlan technológia miatt az eszköz időnként nem kezdi meg az aktuális kijelölt szakasz repülését, hanem vagy a felszállási pont felett alacsonyan lebeg vagy a kijelölt terület kezdőpontjánál teszi ugyanezt, de aztán magára talált és rövid idő alatt elvégezte a repülést. Ezen idő alatt gyakorlatilag a semmittevés ideje jött el. A biztonság kedvéért a fel és leszálló helyet felmértük, de később kiderült az illesztőpontok tökéletesen elegendőek voltak az utólagos magassági korrigáláshoz. A teljes útszakaszt 2 részben repülte be a drón, a repülési idő összesen 35 perc volt, a teljes műveletre (akkumulátor csere, újabb szakasz beállítása stb.) 50 perc kellett.

7.4 Utófeldolgozás:

A mérés végeztével a műszerekből kiolvastuk az adatokat, a drón memóriakártyájáról a képeket. Elkezdődött az feldolgozás.

7.4.1 Hagyományos felmérés feldolgozása:

- A GNSS-hez kapcsolt terepi vezérlőből nem kellett volna kiolvasni az adatokat, hiszen azokat a helyszínen használtuk fel. Már a helyszínen értékeltük az tájékozó pontok minőségét, hiszen ennek megbízhatósága meghatározta a mérés megbízhatóságát. A többi, ellenőrző mérést azonban kiolvastuk és összehasonlítottuk a mérőállomással történő pontokkal.

– A mérőállomásból kiolvastuk a jegyzőkönyvet, majd a GeoEasy programmal elkezdük az átvizsgálását. Itt derült ki, hogy a mérőállomás magasságát rosszul határoztuk meg. A műszeren található optikai tengelyt vettük alapul, nem a műszer alján lévő vonalat. Az alsó vonal könnyebben mérhető, viszont ehhez hozzá kell adni 0,155mm-t, amit a műszer automatikusan meg is tesz ha így van beállítva. Ennek alapján a számítás so-

rán minden műszermagasságból le kellett vonni ezt az értéket és ezzel számítottuk ki a sokszögvonalat és poláris pontokat.

A sokszögvonal kiszámítása után azt mind magasságilag, mint vízszintes irányban kiegyenlítettük, majd kiszámoltuk a poláris pontokat (a jegyzőkönyvet csatoltam a szakdolgozathoz). Az illesztőpontok és sarokpontok koordinátáit összehasonlítottuk a GNSS mérésekkel. Az eltérés hibahatáron belül volt. A kapott pontokat AutoCad 2024-es verzióval .dwg formátumba feldolgoztuk, a megfelelő pontokat 3dpolyline-nal összekötöttük. Ezzel a hagyományos mérés befejeződött, az anyagot átadásra eltettük, később a drónnal történő méréssel együtt átadtuk az úttervezőnek, aki a hossz- és keresztszelvényeket elkészítette majd visszaadta elemzésre.

7.4.2 Drónnal történő felmérés feldolgozása:

A képek kiolvasása után elkezdtük a feldolgozást a Pix4DMapper program segítségével. A program 3 lépésben készíti el a .las fájlt, amit át lehet adni a tervezőnek. A képek, bemenő és kimenő koordináták beállítása után a program elkezdi a hosszadalmas előfeldolgozást. Egy 1000 képből álló (az általunk felmért 350m-es útszakaszra 999 kép készült) felmérés első lépésének kiszámítása kb. 1 órába telt. Erre azért volt szükség, mert egy relatív tájékozás megléte lehetővé teszi a földi illesztőpontok egyszerűbb kijelölését a képeken. Ezután át kellett nézni és szükség esetén felülvizsgálni őket. Bár van olyan beállítás, ami a kijelölést, két kézi mérés után már automatizálja, jelen esetben kézzel történt a kijelölés. Ennek a munkaideje kb. 1 óra. Ezután újra kellett futtatni folyamatot, hogy abszolút tájékozásunk is legyen, ami előfeltétele a további feldolgozási feladatoknak, a felszín- domborzatmodell és ortofotó előállításnak. Ennek az idejét sajnos nem tudtam mérni, viszont a jegyzőkönyv írta. A program felületes ismerete miatt ezt nem néztem meg akkor, a felmérés dokumentálásakor meg már törlődött. Reggelre előállt a kívánt kép (ez már georeferált, a pontok fölé állva megadta annak magassági és vízszintes koordinátáit) és pontthalmaz (7. ábra).



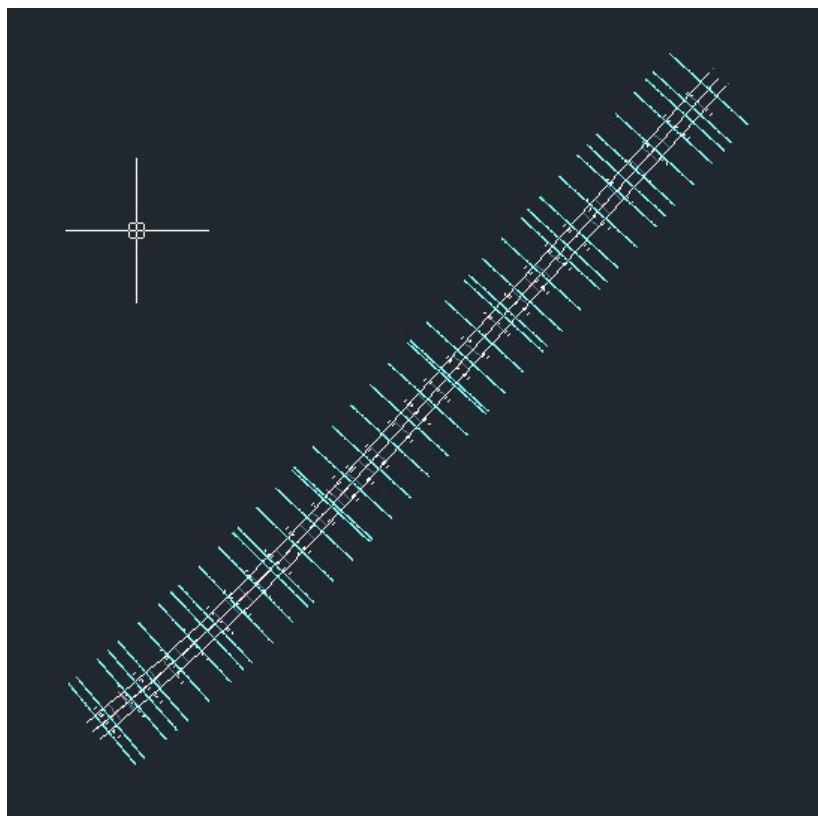
7. ábra Pix4DMap által elkészített állomány

A keletkezett .las fájlt a korábbi .dwg fájlal együtt átadtuk a tervezőnek.

7.4.3 A tervező által elvégzett feladatok:

A tervező a kapott fájlokat elkezdte feldolgozni. Mivel a tervezőiroda az Autodesk alkalmazásait használja, így a .las fájlok feldolgozása pár lépéssel több. A 2019-es verzió óta nem támogatják a .lass fájl közvetlen beolvasását (ekkor a .las fájlknál verzió váltás történt, az Autodesk úgy döntött nem fejleszt az új verzióra, inkább saját megoldást kínál), szerencsére alternatív megoldást azonban kínál. A ReCap programmal át lehet alakítani .rcp kiterjesztésű fájlra, csekély méretváltozással. Ezt a fájlformátumot már tudják kezelni az Autodesk szoftverek (Map, Civil 3D stb.).

Az átalakítás után Civil 3D program segítségével előállította a hossz- és keresztszelvényeket, melyeket visszaadott elemzés céljából (8. ábra.)



8. ábra Tervező által előállított keresztmetselvények helyei

8. A MEGVALÓSÍTÁS ELEMZÉSE, ALKALMAZÁSÁNAK ÉS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEINEK SZÁMBAVÉTELE

8.1 Az adatok összehasonlítása, ellenőrzése:

8.1.1 Helyszíni ellenőrzés:

Elsőként még a helyszínen ellenőriztük a GNSS által mért adatokat. Ezek a mérések 180 epochával készültek, az ellenőrzéseket a mérés után 4 órával újra elvégeztük. A felüntetett adatok nem teljes körűek, de az eltérések nagysága minden pontnál hasonló volt.

6001-es tájékozó pont és az ellenőrzése (szeg):

PSZ	Y	X	mag	jel
6001	605273,784	202546,379	120,146	szeg-tajpont
4001	605273,782	202546,387	120,158	szeg-ell6001
Különbség	0,002	-0,008	-0,012	

6005-ös tájékozó pont és az ellenőrzése (szeg):

PSZ	Y	X	mag	jel
6005	604174,819	202239,604	118,946	szeg-tajpont
4020	604174,814	202239,598	118,944	ell-szeg6005
Különbség	0,005	0,006	0,002	

6006-os tájékozó pont és az ellenőrzése (a szántásban karó):

PSZ	Y	X	mag	jel
6006	604386,8	202186,107	119,165	karo-tajpont
5083	604386,802	202186,106	119,168	ell-karo6006
Különbség	-0,002	0,001	-0,003	

Ebből is látszik, hogy a karó állandósítása a mérés időtartama alatt megfelelőnek bizonyult.

8.1.2 Illesztőpontok ellenőrzése:

Az illesztőpontok ellenőrzésével a durva hibákat kívántuk kiszűrni.

17866 pont és az ellenőrzése:

PSZ	Y	X	mag	jel
17866	604375,587	202341,126	119,691	Dronpont
5076	604375,596	202341,120	119,678	festes
Különbség	-0,009	0,006	0,013	

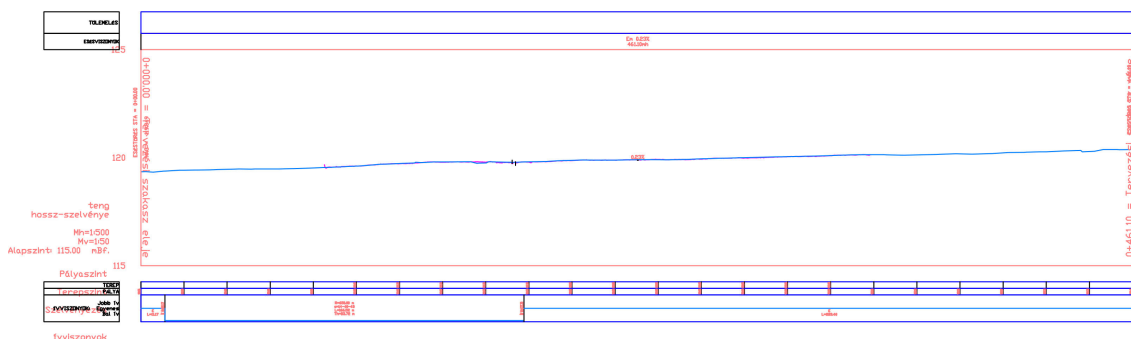
17893 pont és az ellenőrzése:

PSZ	Y	X	mag	jel
17893	604355,723	202325,518	119,593	Dronpont
5078	604355,727	202325,506	119,581	festes
Különbség	-0,004	0,012	0,012	

Mint látszik, durva hibák nincsenek, a többi pont eltérése is ebbe a nagyságrendbe esik.

8.1.3 A hossz-szelvények összehasonlítása, elemzése:

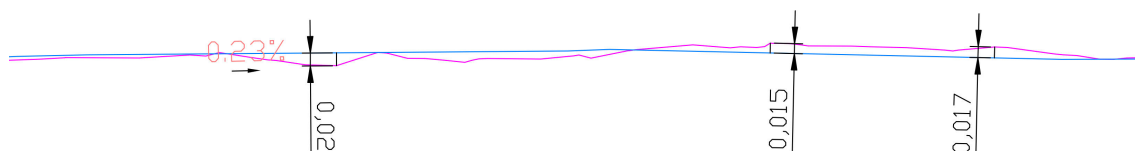
A tervezőtől visszakapott állományt elemeztük. Elsőként, a hossz-szelvényeket hasonlítottuk össze (9. ábra).



9. ábra Hossz-szelvény

Az összehasonlítás során segítségünkre volt a tervező. Gyakran ellenőrizni kellett a felületre illesztett háromszögelést, mert a 25m-enként vett kereszt-szelvényekben is volt néha olyan ugrás, ahol nem is volt mérés. Tehát a szintfelület kiszámításakor felszerkesztett háromszögelésben találtuk meg a hibát.

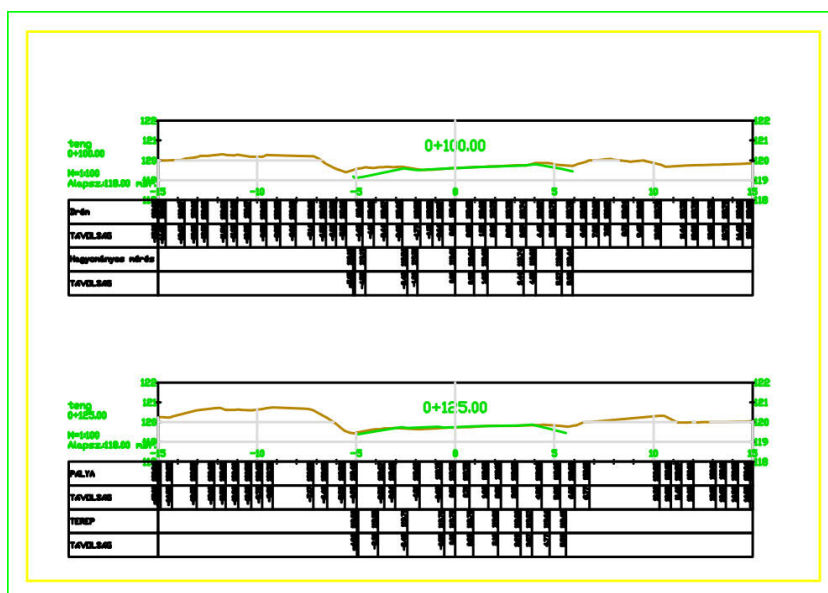
A hossz-szelvényt tüzetesen átnézve azt tapasztaltuk, hogy a hagyományos módszerrel mért, 8m-enként felvett kereszt-szelvényből kiszámított hossz-szelvényhez képest kevesebb mint 3cm eltérés adódott (10. ábra).



10. ábra Hossz-szelvény részlet

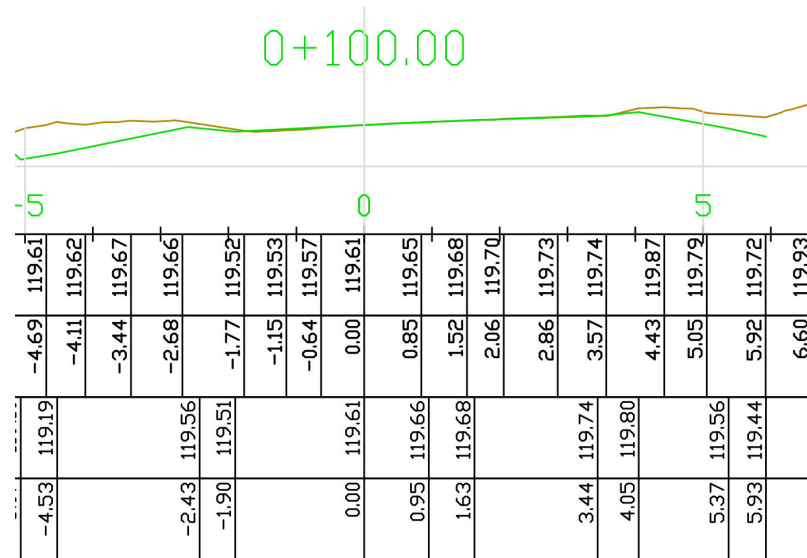
8.1.4 A kereszt-szelvények összehasonlítása, elemzése:

A hossz-szelvények után átnéztük a kereszt-szelvényeket is. Az elemzés során átnéztük az eltérést a hagyományos módon felmért kereszt-szelvényektől továbbá megnéztük a helyszíneket. A kereszt-szelvények alapján jellemzően egy magasságban van a hagyományos és drónnal végzett mérés alapján elkészített kereszt-szelvény (11. ábra).



11. ábra Kereszt-szelvény

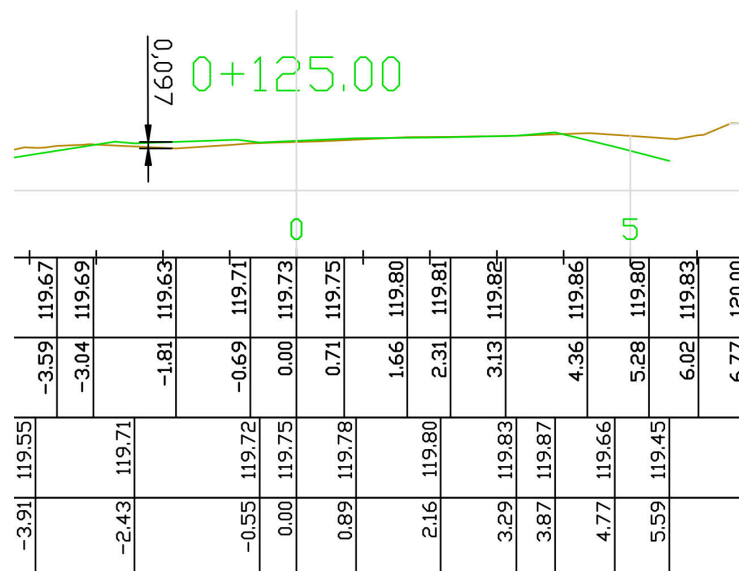
A 11. ábrán látható keresztaszelvény egy részlete (12. ábra):



12. ábra Keresztaszelvény részlet

Ha tüzetesebben megvizsgáljuk a keresztaszelvény részletét, látható, amint a drónnal készített felmérés elérte azt a határt, ahol a vegetáció megjelenik azonnal lényeges eltérést mutat. Tehát az árkok pontos felmérését nem teszi lehetővé.

Vannak továbbá olyan helyek, ahol a keresztaszelvény eltér, néhol a 10cm-es különbséget is elérte (13. ábra).



13. ábra Keresztaszelvény részlet

Ezeket a helyszíneket megvizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a burkolat fölött valamilyen vegetáció volt, ami a mérést pontatlanná tette (14. ábra)



13. ábra Út terepmodell perspektivikus nézete (kivehető az út fölé belógó vegetáció)

8.1.5 Vízszintes irányú eltérés, elemzése:

A hossz- és keresztmetszvények megmutatják a magasságbeli különbségeket. Általános tapasztalat ilyen felméréseknél, ha a vízszintes irányú pontosság 1cm, akkor a függőlegesen 3cm körül szokott alakulni. A vízszintes irányú pontosságot nehéz megállapítani, hiszen kellene ismerünk egy-egy pont koordinátáját, ami a képen felismerhető. Itt egy nagy hibát vétettem a szakdolgozat gyakorlati részében. A felfestés és felmérés során kellett volna olyan pontokat felfestennem a burkolatra, melyek az illesztő ponttól távolodnak és nem vonom be az illesztésbe, továbbá felmérem a koordinátáit. Így utólag meg lehetett volna nézni a felfestett pontok koordinátáit, amit össze lehetett volna ha-

sonlítani a felméréssel. Sajnos ezt nem végeztem el. Amennyiben ezt meg kívánnám tenni, a teljes mérési folyamatot az elejétől el kellene végeznem.

8.2 A módszer alkalmazásának lehetősége:

Az út tervezőjével konzultálva arra jutottunk, hogy burkolatfelméréshez használható pontossággal rendelkezik a drónnal történő felmérés. Tehát az a kettősség, amit a drónnal történő felmérés után kapunk, igazolta feltevésemet, miszerint meg tudjuk mutatni a terepet a tervezőnek és azon mérni is lehet, elő lehet állítani a szintfelületet. Azonban meg kell vizsgálni további részleteket is. Amennyiben a keresztaszelvényeket elemezzük látható, amint vegetációval találkozunk, a mérés pontatlan lesz. Az út vízelvezetését tervezve elegendő lenne megtudnunk, hogy egy adott szakaszon van árok vagy sincs, továbbá milyen árokról van szó. Szikkasztó, vagy elvezető árok. Korábbi drónnal történt felméréseket átvizsgálva és a vízelvezetés tervezőjével konzultálva elmondható, hogy elegendő lenne egy pontatlanabb felmérés is, abból is megállapítható a kétféle árok típusa. Ez alapján a tervezést el lehetne végezni. Azonban az út tervezőjének kell kiszámolnia, hogy az adott vízelvezetési koncepcióhoz szükséges árokprofil kialakításához mekkora földmunkára van szükség. Ezt viszont csak a pontos felmérés alapján lehet kiszámolni.

Az alkalmazási lehetőségnél kell megemlítenem a korábban vázolt hibát, miszerint vízszintes irányban nem tudtam ellenőrizni a pontosságot. Lehetséges, hogy amennyiben a vízszintes irányban eltérés van, az azt jelentheti, hogy a felrajzolt keresztaszelvények nagyobb különbséget mutatnak. De lehet az ellenkezője is, tehát esetleg a két mérés között kisebb a különbség.

8.3 Továbbfejlesztési lehetőség:

A szakdolgozatom egyetlen mérésen alapul. Ezt a fajta mérést még sosem csináltam, így mint a 8.1.5. pontban említettem vétettem hibát. Esetleg többet is. Ezeket gyakorlattal ki lehet szűrni, a méréseket egyre pontosabban lehet elvégezni. A korábban leírt tapasza-

latokat szintén be kell építeni a felmérésbe, hogy azok minél pontosabbak legyenek (fel-festés minősége, méréshez minél közelebbi időpontban kell megtenni stb.). Ezekkel a burkolat felmérését lehet pontosítani. Meg kell jegyezni, a burkolat mérése esetén vi-szonylag kevés vegetációval kell számolni. Azonban kell. Mint az x. ábra mutatja, jelen-tős eltérés lehet, ha a burkolat fölé vegetáció belóg. Ennek elkerülése érdekében meg kellene vizsgálni, hogy mekkora az az ideális magasság a repülésre, ami a vegetáció ilyen hatását kiküszöböli. Ebben az esetben azonban további problémák jöhetnek elő. A magasság csökkentésével egyre több akadály jelentkezik, ami a drón repülési pályáját, ezzel a mérést, a mérés pontosságát befolyásolja. Ideális az lenne, ha pár méterrel a bur-kolat felett repülne, azonban (az útszakasz választásánál nem véletlenül volt fontos szempont) a közúti forgalom ezt nem minden esetben engedi. A legtöbb drón paraméte-reit átnézve kiderül, az akadályokat 5m-re automatikusan kikerülik. Tehát egy-egy na-gyobb teherautó (az általa keltett légörvényeket nem is számítva) jelentősen megzavar-hatja a mérést. A magasság megválasztásánál elsődleges szempont a felméréendő útsza-kasz környezete. Milyen vegetáció található, milyen közművek (nagyfeszültségű vagy kisfeszültségű vezeték vagy egyéb akadály) keresztezik a drón repülési útvonalát.

A vegetáció elkerülése érdekében meg kellene vizsgálni, hogy LIDAR készülékkel kombinálva milyen pontosságot lehet elérni. A lézer át tud hatolni a vegetáción, annak kiértékelésével talán meg lehet találni a felszínt. Jelenleg is kaphatók olyan drónra sze-relhető kamerák, melyek LIDAR készülékkel kombináltak. Ezzel egy repüléssel el le-hetne érni a kívánt pontosságot (megjegyzem, nem a repülési idő volt a számottevő a felmérés során, de ha lényeges, hogy csak egyszer lehet végigrepülni az útvonalat, ak-kor fontos szempont).

8.4 Költségbecslés:

Első ránézésre a drónnal történő felmérés költségei a GNSS-szel történő felmérés költ-ségeivel nagyságrendileg megegyező. Jelen időben egy GNSS mérőrendszert 1-5MFt közötti áron be lehet szerezni, minőségtől függően. A felmérésre használható, akár RTK

képes drónok szintén ebben az árkategóriában találhatóak. Azonban, számolni kell az-
zal, hogy a drónnal történő felmérés során hagyományos technológiát is alkalmazni kell.
Amennyiben GNSS és drón technológiát alkalmazunk még mindig alacsonyabb (bár
nem sokkal) költséggel kell kalkulálnunk mint ha mérőállomással szeretnénk a mérése-
ket végezni.

A drónnal történő mérés során további költségvonzat:

8.4.1 Drón élettartama:

A gyakorlattal rendelkező drón használók általánosságban azt mondják, 1-2 évente saj-
nos „leesnek”. Ez azt jelenti, hogy a készülék vagy ténylegesen leesik, vagy nekiütődik
valaminek, ami miatt használhatatlan lesz. Tapasztalat szerint lényegesen sérülékenyebb
rendszer, mint a GNSS vagy a mérőállomás. Számolni kell az akkumulátorok élettarta-
mával is. Leesés esetén számolni kell azzal, hogy komplett rendszereket kell vennünk,
mivel a technika fejlődése magával hozza, hogy az elavult, régi rendszerekhez nem le-
het drónt vagy tönkrement alkatrészt kapni.

A drón élettartamához kell sorolni a kiegészítő alkatrészek élettartamát is. Ilyenek a ve-
zérlő tablet, vezérlő egység stb. Ezek nem túl gyakran mennek tönkre, hibásodnak meg,
de ezzel is számolni kell.

8.4.2 Jogosultság:

A drónnal történő repülés szigorú szabályokhoz kötött. Vizsgázni kell, továbbá a légtér-
használat is szabályozva van. Bizonyos légtérhasználatnak költségvonzata is van (persze
ezt bele lehet építeni a munka vállalási költségébe), de vannak tiltott légterek is.

8.4.3 Biztosítás:

A 250g vagy annál nagyobb maximális felszálló tömeggel rendelkező drónok esetében
kötelező felelősségbiztosítást kell kötni, mely a gépjárművek biztosításával vetekszik
amennyiben felmérésre használjuk.

9. TARTALMI ÖSSZEFOGLALÓ

Mint a bevezetőben említettem egy úttervező irodában dolgozom. Új utak tervezése mellett sokszor kell burkolatfelújítást is tervezni. Ilyenkor a meglévő burkolatot kell felmérni. Szakdolgozatomban az UAV-k mérnökgeodéziai alkalmazását taglaltam, ezen belül egy konkrét feladat végrehajtását írtam le. Ez kapcsolódik a munkámhoz, burkolatot gyakran mérek felújításhoz. Az ilyenkor felmerülő problémámra kerestem megoldást.

- a. Fel kell mérnem a területet olyan pontossággal, ami a tervezéshez alkalmas.
- b. Be kell mutatnom a területet a tervezőnek (sok-sok fénykép vagy video készítésével)
- c. Manuálé készítése.

Drónnal még sosem mértem, ezért nagy kíváncsisággal vágtam bele a feladatba. Úgy gondoltam, a 3 problémámat egyszerre is meg lehet oldani. Konzulens tanárom gyakorlott az UAV-val történő felmérésben, de konkrét burkolatfelújításhoz még Ő sem készített felmérést. Az iránymutatásaival azonban sikerült elvégeznem a feladatot.

Az előkészületek során végigvettük azokat a munkafázisokat amiket végre kellett hajtani mind a terepen, mind az utófeldolgozás során. Ekkor felkészített a rám váró problémákra, azok megoldásához nyújtott segítséget. A terepi munka során a hagyományos felmérést egyedül végeztem, a drónnal történő repülést először megmutatta, majd azt is önállóan végrehajtottam. A mérés feldolgozása is hasonlóan történt, a drónnal készített képek mérésre alkalmassá tételében jelentős segítségre volt szükségem.

Ekkor még nem tudtuk milyen eredménnyel zárul a vizsgálat. Az összehasonlítás során kiderült – ebben az utas és vizes kollégák is megerősítettek – hogy a felmérés alkalmas tervezői feladat alapjául szolgálni.

10. IDEGEN NYELVŰ ÖSSZEFOGLALÓ

As I mentioned in the introduction, I work in a road planning office. In addition to planning new roads, it is often necessary to plan resurfacing as well. In this case, the existing covering must be assessed. In my thesis, I discussed the application of UAVs in engineering geodesy, within which I described the execution of a specific task. This is related to my work, I often measure cladding for renovation. I was looking for a solution to my problem that arises at this time.

- a. I need to measure the area with an accuracy that is suitable for planning.
- b. I need to present the area to the designer (by taking lots of photos or videos)
- c. Making a manual.

I have never measured with a drone before, so I jumped into the task with great curiosity. I thought that my 3 problems could be solved at the same time. My consultant teacher was experienced in surveying with a UAV, but even he had not made a survey for concrete pavement renovation. However, with your guidelines, I was able to complete the task.

During the preparations, we went through the work phases that had to be carried out both in the field and during post-processing. At that time, he prepared me for the problems that awaited me and provided help to solve them. During the fieldwork, I performed the traditional survey alone, he first showed me how to fly with a drone, and then I also performed it independently. The processing of the measurement was done similarly, I needed considerable help in making the images taken with the drone suitable for measurement.

At that time, we did not know what the outcome of the investigation would be. During the comparison, it became clear - this was confirmed by the passenger and marine colleagues - that the survey is suitable to serve as a basis for a design task.

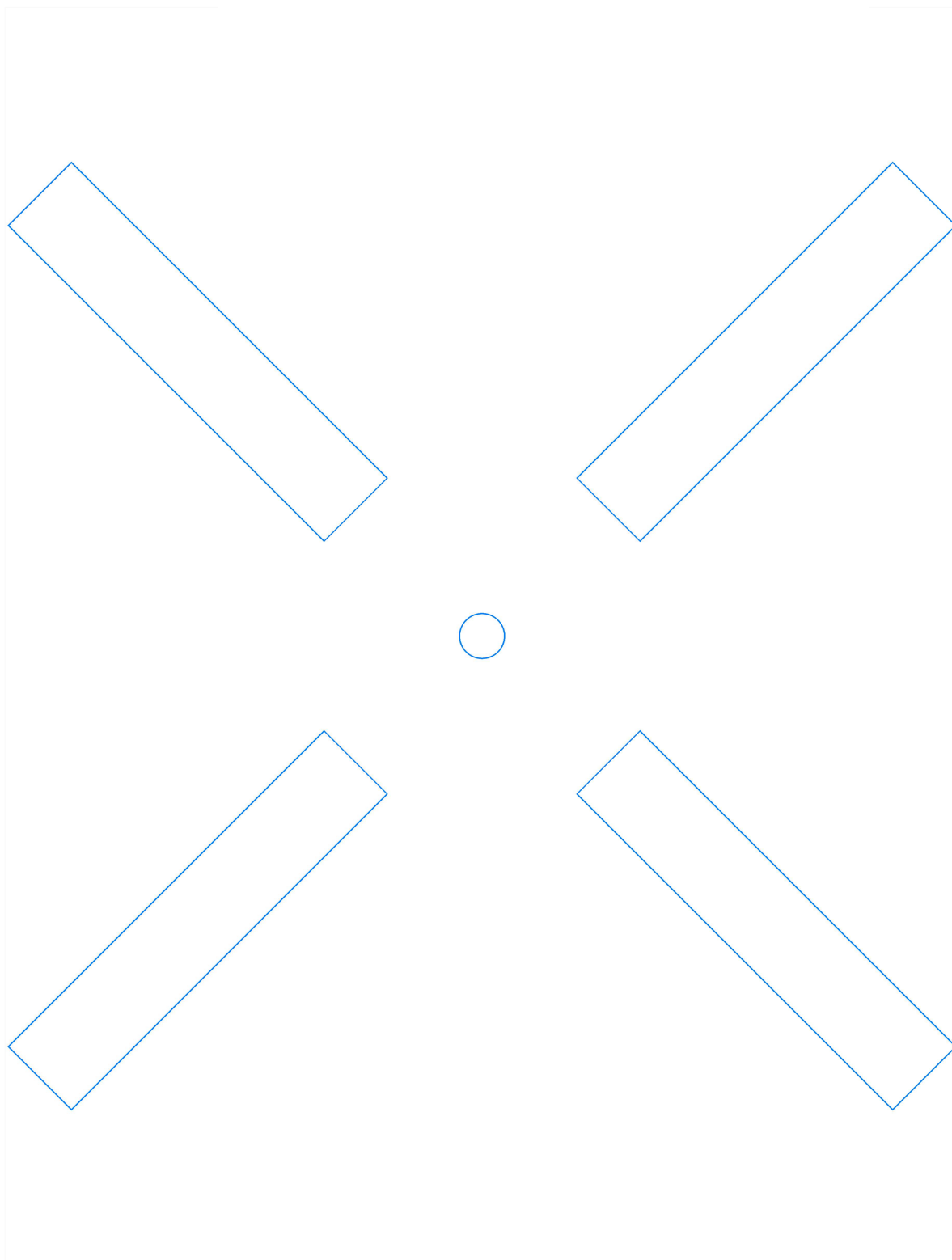
11. IRODALOMJEGYZÉK

- 1: <https://dronemanya.com/hu/post/mi-az-a-dron>, 2023
- 2: https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/13_0598_013_101030.pdf (Kamarán Krisztián Jellemző burkolati hibák fajtái, kialakulásuk okai c. munkájából), 2008.
- 3: Dr. habil Jacsó Tamás Digitális fotogrammetria jegyzet, 2018.
- 4: Dr. habil Jacsó Tamás Digitális fotogrammetria jegyzet, 2018.
- 5: Balázsik Valéria Fotogrammetria FOT-4, 2011.
- 6: Dr. Jancsó Tamás Fotogrammetria FOT-12, 2011.
- 7: Dr. Jancsó Tamás Fotogrammetria FOT-12, 2011.

12. MELLÉKLETEK

- 1: A drónnal történő méréshez használt illesztőpontok festésére alkalmas sablonnak
- 2: Sokszögvonala számításának jegyzőkönyve (GeoEasy).

1. sz. melléklet, illesztőpont felfestéséhez sablon



2. sz. melléklet, számítási jegyzőkönyv

2023.11.30 14:51 - GeoEasy elindult

Álláspont száma: 15000

Álláspont száma: 17084

Álláspont száma: 17084

Álláspont száma: 17269

Álláspont száma: 17408

Álláspont száma: 17502

Álláspont száma: 17641

Álláspont száma: 17780

Álláspont száma: 17931

Álláspont száma: 15001

2023.11.30 14:51 - E:/Tottes/GeoEasy321/Adatok/Trimble_20231127/20231124.sdr adatok betöltve

2023.11.30 14:55 - fb_1 adatok mentve

2023.11.30 14:56 - Jegyzőkönyv ellenőrzés fb_1_geo

0 hiba

2023.11.30 14:58 - Hátrametszés

Pontszám	Pontkód	Y	X	Irányérték	Szög
6001	TP	605273.784	202546.379	126-01-09	276-06-20
6003	TP	605273.350	202756.154	42-07-28	243-13-42
6002	TP	605005.987	202671.812	285-21-10	
15000	APDP	605159.068	202629.783		

2023.11.30 14:58 - Magasság

Pontszám	Pontkód	M	Távolság
6001	TP	120.313	141.843
6003	TP	120.310	170.391
6002	TP	120.296	158.748
15000	APDP	120.307	

2023.11.30 14:58 - Tájékozás - 15000

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e" e"max
E(m)						
6001	TP	126-01-09	126-01-08	359-59-59	141.831	0 63
-0.000						
6003	TP	42-07-28	42-07-27	359-59-59	170.382	0 58
0.000						
6002	TP	285-21-10	285-21-09	359-59-59	158.745	0 60
0.000						
Középtájékozási szög				359-59-59		

2023.11.30 14:59 - Hátrametszés

Pontszám	Pontkód	Y	X	Irányérték	Szög
6004	TP	604428.418	202391.263	50-30-02	197-07-23
6005	TP	604174.819	202239.604	247-37-25	259-01-25
6006	TP	604386.802	202186.106	146-38-50	
15001	APDP	604313.901	202296.863		

2023.11.30 14:59 - Magasság

Pontszám	Pontkód	M	Távolság
6004	TP	119.450	148.432
6005	TP	119.452	150.428
6006	TP	119.452	132.602
15001	APDP	119.451	

2023.11.30 14:59 - Tájékozás - 15001

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e" e"max
E(m)						
6004	TP	50-30-02	50-30-01	359-59-59	148.410	0 62
0.000						
6005	TP	247-37-25	247-37-24	359-59-59	150.407	0 61
0.000						
6006	TP	146-38-50	146-38-49	359-59-59	132.596	0 65
-0.000						
Középtájékozási szög				359-59-59		

2023.11.30 15:00 - Sokszögelés Mindkét végén tájékozott

Pontszám	Törésszög	Távolság	(dY)	(dX)	dY	dX
----------	-----------	----------	------	------	----	----

	Javítás	Táv. oda	Javítások		Y	X
	0-00-00	-				
15000	285-37-57					
APDP	0-00-02				605159.068	202629.783
	285-37-59	153.967				
17084	165-50-51	153.968	-148.272	41.490	-148.260	41.492
APDP	0-00-02	153.968	0.012	0.001	605010.808	202671.275
	271-28-52	222.314				
17269	167-52-17	222.317	-222.243	5.746	-222.225	5.748
APDP	0-00-02	222.320	0.018	0.002	604788.583	202677.023
	259-21-11	99.554				
17408	154-08-42	99.555	-97.842	-18.394	-97.834	-18.393
APDP	0-00-02	99.557	0.008	0.001	604690.749	202658.630
	233-29-55	99.025				
17502	168-32-34	99.026	-79.601	-58.905	-79.593	-58.904
APDP	0-00-02	99.027	0.008	0.001	604611.156	202599.726
	222-02-31	149.394				
17641	179-30-53	149.396	-100.046	-110.949	-100.035	-110.948
APDP	0-00-02	149.397	0.012	0.001	604511.121	202488.778
	221-33-26	175.564				
17780	191-35-28	175.565	-116.464	-131.374	-116.450	-131.373
APDP	0-00-02	175.566	0.014	0.001	604394.671	202357.405
	233-08-56	100.946				
15001	306-51-03	100.948	-80.778	-60.542	-80.770	-60.542
APDP	0-00-01	100.950	0.008	0.001	604313.901	202296.863

0-00-00 -845.167 -332.920
1619-59-45 1000.775 -845.246 -332.927
1260-00-00
0-00-15 0.080 0.008
0.080

Hibahatárok	szögzáró "	hossz-záró cm
Szabatos fősokszögvonal	56	21
Szabatos melléksokszögvonal	71	26
Belterületi fősokszögvonal	75	35
Belterületi melléksokszögvonal	91	43
Külterületi fősokszögvonal	98	49
Külterületi melléksokszögvonal	114	61

2023.11.30 15:00 - Magassági vonal

Magasság különbségek						
Pontszám	Távolság	Oda	Vissza	Átlag	Javítás	Magasság
15000						120.307
APDP	153.956	0.125	-0.141	0.133	-0.000	
17084						120.439
APDP	222.299	0.332	-0.358	0.345	-0.001	
17269						120.783
APDP	99.547	-0.045	0.032	-0.039	-0.000	
17408						120.744
APDP	99.019	-0.475	0.460	-0.468	-0.000	
17502						120.276
APDP	149.387	-0.366	0.345	-0.356	-0.000	
17641						119.920
APDP	175.555	-0.133	0.113	-0.123	-0.001	
17780						119.797
APDP	100.941	-0.349	0.341	-0.345	-0.000	
15001						119.451
	1000.705			-0.852	-0.003	-0.855

Hibahatár: 0.057

2023.11.30 15:02 - 3D-s hálózatkiegyenlítés
Nincs tájékozás a pontra 17269

2023.11.30 15:02 - Tájékozás - 17269

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e" e"max
17084	APDP	91-28-49	91-28-54	0-00-05	222.299	0 50
0.000						

Középtájékozási szög 0-00-05

2023.11.30 15:03 - 3D-s hálózatkiegyenlítés
Nincs tájékozás a pontra 17084

2023.11.30 15:03 - Tájékozás - 17084

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e"	e"max
E(m)							
15000	APDP	105-37-58	105-38-05	0-00-07	153.956	0	61
0.001							
17269	APDP	271-28-49	271-28-54	0-00-05	222.299	0	50
-0.001							

Középtájékozási szög 0-00-06

2023.11.30 15:03 - Tájékozás - 17408

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e"	e"max
E(m)							
17269	APDP	79-21-06	79-21-10	0-00-04	99.547	2	76
0.001							
17502	APDP	233-29-48	233-29-47	359-59-59	99.019	-2	76
-0.001							

Középtájékozási szög 0-00-01

2023.11.30 15:03 - Tájékozás - 17502

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e"	e"max
E(m)							
17408	APDP	53-29-48	53-29-47	359-59-59	99.019	0	76
0.000							
17641	APDP	222-02-22	222-02-20	359-59-58	149.387	0	62
-0.000							

Középtájékozási szög 359-59-58

2023.11.30 15:03 - Tájékozás - 17641

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e"	e"max
E(m)							
17502	APDP	42-02-22	42-02-20	359-59-58	149.387	0	62
-0.001							
17780	APDP	221-33-15	221-33-15	360-00-00	175.555	0	57
0.001							

Középtájékozási szög 359-59-59

2023.11.30 15:03 - Tájékozás - 17780

Pontszám	Pontkód	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság	e"	e"max
E(m)							
17641	APDP	41-33-15	41-33-15	360-00-00	175.555	-1	57
-0.001							
15001	APDP	233-08-43	233-08-47	0-00-04	100.941	2	75
0.001							

Középtájékozási szög 0-00-01

2023.11.30 15:03 - 3D-s hálózatkiegyenlítés

Helyi geodéziai hálózat kiegyenlítés verzió: 2.00-envelope / msvc++ 19.13

<http://www.gnu.org/software/gama/>

Redukált mérések

álláspont	irányzott pont	mért	redukált	mag.kül
=====		érték =====	[m d] ===	[m] ==
17269	17084 ferde	222.31400	222.31421	0.4250
	17408 ferde	99.55800	99.55726	0.4250
	17084 zenit	89-58-58.12	90-05-32.43	0.4250
	17408 zenit	89-46-52.68	90-01-33.20	0.4250
15000	17084 ferde	153.96900	-----	0.5000
17084	15000 ferde	153.96800	153.96760	0.5000
	17269 ferde	222.32200	222.32063	0.5000
	15000 zenit	89-51-58.86	90-03-08.69	0.5000
	17269 zenit	89-47-08.56	89-54-52.44	0.5000
17408	17269 ferde	99.55500	99.55380	0.4520
	17502 ferde	99.02700	99.02811	0.4520

	17269	zenit	89-43-16.25	89-58-52.74	0.4520
	17502	zenit	90-00-48.28	90-16-29.75	0.4520
17502	17408	ferde	99.02900	99.02654	0.3720
	17641	ferde	149.39700	149.39740	0.3720
	17408	zenit	89-31-05.95	89-44-00.77	0.3720
	17641	zenit	89-59-52.22	90-08-25.82	0.3720
17641	17502	ferde	149.39600	149.39474	0.3500
	17780	ferde	175.56600	175.56586	0.3500
	17502	zenit	89-43-59.66	89-52-02.89	0.3500
	17780	zenit	89-55-45.01	90-02-36.21	0.3500
17780	17641	ferde	175.56500	175.56423	0.4000
	15001	ferde	100.95000	100.95056	0.4000
	17641	zenit	89-49-57.36	89-57-47.31	0.4000
	15001	zenit	89-58-16.32	90-11-53.61	0.4000
15001	17780	ferde	100.94900	-----	0.4420

A számított pontok előzetes koordinátáit a kiegyenlítettre cseréltem

Number of linearization iterations: 1

Hálózat leírás

GeoEasy 3D network

A kiegyenlítés általános jellemzői

Koordináták	xyz	xy	z
Kiegyenlített :	6	0	0
Kényszerített * :	0	0	0
Rögzített :	2	0	0

Összesen :	8	0	0
Irányok száma :	12	Irányszögek száma : 6	
Zenit szögek :	12		
Ferde távolságok :	12		
Összes mérés :	36		
Egyenletek száma :	36	Ismeretlenek száma: 24	
Szabadságfokok :	12	Hálózati defektus : 0	
m0 apriori :	1.00		
m0' aposteriori:	3.02	[pvv] : 1.09675e+02	

Statisztikai analízis

- aposteriori középhiba 3.02
 - konfidencia szint 95 %

m0' aposteriori / m0 apriori: 3.023
 95 % intervallum (0.606, 1.395) nem tartalmazza m0'/m0 értéket

Egy mérés elhagyásával elérhető maximális csökkenés az m0'/m0 értékben: 2.719

Maximális studentizált javítás 1.76 nem éri el a kritikus értéket 1.92
 szignifikancia szint: 5 % észlelés: #24
 <z-angle from="17502" to="17641" val=" 90-08-25.8244" stdev="3.9" />

Rögzített pontok

pont	x	y	z
15000	202629.783	605159.068	120.307

15001 202296.863 604313.901 119.451

Kiegyenlített koordináták

i	pont	előzetes	javítás	kiegy.	köz.hib	konf.i.
=====		érték =====	[m] =====	érték =====	=====	[mm] ==
	17084					
4	x	202671.27500	0.02332	202671.29832	11.3	24.6
5	y	605010.80800	-0.00133	605010.80667	9.8	21.3
6	z	120.43900	0.00910	120.44810	6.2	13.4
	17269					
1	x	202677.02300	0.05360	202677.07660	20.6	44.8
2	y	604788.58300	-0.01617	604788.56683	11.8	25.7
3	z	120.78300	0.00192	120.78492	8.8	19.2
	17408					
7	x	202658.63000	0.05972	202658.68972	22.3	48.5
8	y	604690.74900	-0.02307	604690.72593	13.3	28.9
9	z	120.74400	0.00243	120.74643	9.3	20.3
	17502					
12	x	202599.72600	0.05419	202599.78019	21.1	46.1
13	y	604611.15600	-0.02586	604611.13014	14.1	30.6
14	z	120.27600	0.00587	120.28187	9.3	20.3
	17641					
16	x	202488.77800	0.03831	202488.81631	17.4	38.0
17	y	604511.12100	-0.01839	604511.10261	12.7	27.6
18	z	119.92000	0.00700	119.92700	9.1	19.8
	17780					
20	x	202357.40500	0.01627	202357.42127	11.1	24.2
21	y	604394.67100	-0.00598	604394.66502	9.1	19.8
22	z	119.79700	0.00283	119.79983	7.7	16.7

Kiegyenlített tájékozási ismeretlenek

i	álláspont	előzetes	javítás	kiegy.	köz.hib	konf.i.
=====		[d] =====	[d] =====	[d] =====	=====	[ss] ==
10	17269	0-00-30.55	-0-00-00.00	0-00-30.55	13.4	29.2
11	17084	0-00-34.59	-0-00-00.00	0-00-34.58	13.0	28.4
15	17408	0-00-05.58	0-00-00.00	0-00-05.58	18.6	40.5
19	17502	359-59-41.06	0-00-00.00	359-59-41.06	14.9	32.5
23	17641	359-59-33.71	0-00-00.00	359-59-33.71	13.3	28.9
24	17780	359-59-30.77	0-00-00.00	359-59-30.77	16.0	34.8

Hibaellipszisek középpontjai és paraméterei

pont	mP	mXY	köz.hiba	ellipszis	konf.hib.	ellipsz	g
=====	[mm] ==	[mm] ==	a [mm] b	=====	[d] =====	a' [mm] b'	=====
17084	14.9	10.6	11.5 9.5	159.1	32.2	26.4	0.0
17269	23.7	16.8	20.8 11.4	169.6	58.0	31.7	0.0
17408	25.9	18.3	23.0 12.0	163.1	64.1	33.4	0.0
17502	25.4	18.0	22.5 11.8	156.6	62.6	33.0	0.0
17641	21.5	15.2	18.5 11.0	155.0	51.6	30.7	0.0
17780	14.3	10.1	11.1 9.1	176.2	30.9	25.3	0.0

Maximális helyzeti középpont 25.9 mm a ponton 17408

Átlagos helyzeti középpont 21.0 mm

Kiegyenlített mérések

i	álláspont	irányzott pont	mért kiegyenlített köz.hib konf.i.				
===== érték =====			[m d]		[mm ss] ==		
1	17269	17084 ferde	222.31421	222.31520	7.7	16.8	
2		17408 ferde	99.55726	99.55361	7.0	15.2	
3		17084 ir.	91-28-48.50	91-28-51.17	8.7	18.9	
4		17408 ir.	259-21-05.62	259-20-53.75	17.2	37.5	
5		17084 zenit	90-05-32.43	90-05-12.51	7.1	15.4	
6		17408 zenit	90-01-33.20	90-01-19.76	12.4	27.0	
7	17084	15000 ferde	153.96760	153.96417	10.3	22.4	
8		17269 ferde	222.32063	222.31520	7.7	16.8	
9		15000 ir.	105-37-57.83	105-38-00.28	11.7	25.4	
10		17269 ir.	271-28-48.50	271-28-47.13	8.8	19.1	
11		15000 zenit	90-03-08.69	90-03-09.02	8.3	18.0	
12		17269 zenit	89-54-52.44	89-54-47.49	7.1	15.4	
13	17408	17269 ferde	99.55380	99.55361	7.0	15.2	
14		17502 ferde	99.02811	99.02544	7.0	15.2	
15		17269 ir.	79-21-05.62	79-21-18.72	16.9	36.8	
16		17502 ir.	233-29-47.87	233-29-34.76	16.9	36.8	
17		17269 zenit	89-58-52.74	89-58-40.24	12.4	27.0	
18		17502 zenit	90-16-29.75	90-16-07.67	9.6	20.9	
19	17502	17408 ferde	99.02654	99.02544	7.0	15.2	
20		17641 ferde	149.39740	149.39416	7.3	15.9	
21		17408 ir.	53-29-47.87	53-29-59.28	17.3	37.7	
22		17641 ir.	222-02-21.70	222-02-17.14	11.4	24.9	
23		17408 zenit	89-44-00.77	89-43-52.33	9.6	20.9	
24		17641 zenit	90-08-25.82	90-08-09.96	7.6	16.5	
25	17641	17502 ferde	149.39474	149.39416	7.3	15.9	
26		17780 ferde	175.56586	175.56306	7.4	16.2	
27		17502 ir.	42-02-21.70	42-02-24.50	11.6	25.4	
28		17780 ir.	221-33-15.01	221-33-12.66	10.7	23.3	
29		17502 zenit	89-52-02.89	89-51-50.04	7.6	16.5	
30		17780 zenit	90-02-36.21	90-02-29.41	8.3	18.2	
31	17780	17641 ferde	175.56423	175.56306	7.4	16.2	
32		15001 ferde	100.95056	100.94678	9.7	21.2	
33		17641 ir.	41-33-15.01	41-33-15.60	10.8	23.5	
34		15001 ir.	233-08-43.30	233-08-41.71	17.6	38.4	
35		17641 zenit	89-57-47.31	89-57-30.59	8.3	18.2	
36		15001 zenit	90-11-53.61	90-11-52.76	15.6	34.1	

Javítások és mérések elemzése

i	álláspont	irányzott pont	f[%]	v	v'	e-ész.	e-kie.
=====			[mm ss]		[mm ss] ==		
1	17269	17084 ferde	30.3	0.984	0.1	1.9	0.9
2		17408 ferde	30.2	-3.649	0.5	-7.1	-3.5
3		17084 ir.	1.6 g	2.662	1.7		
4		17408 ir.	7.5	-11.866	1.7	-82.1	-70.2
5		17084 zenit	62.0	-19.923	1.2	-23.3	-3.4
6		17408 zenit	33.5	-13.445	1.0	-24.1	-10.7
7	17084	15000 ferde	1.9 g	-3.431	1.7		
8		17269 ferde	30.3	-5.429	0.7	-10.6	-5.1
9		15000 ir.	0.8 g	2.447	1.7		
10		17269 ir.	0.4 g	-1.377	1.7		
11		15000 zenit	6.4	0.334	0.1	2.7	2.4
12		17269 zenit	19.7	-4.954	0.9	-13.9	-9.0
13	17408	17269 ferde	30.2	-0.190	0.0	-0.4	-0.2
14		17502 ferde	30.2	-2.670	0.4	-5.2	-2.5
15		17269 ir.	9.2	13.103	1.7	74.3	61.2
16		17502 ir.	9.2	-13.103	1.7	-74.3	-61.2
17		17269 zenit	33.5	-12.491	0.9	-22.4	-9.9
18		17502 zenit	48.4	-22.080	1.4	-30.1	-8.0
19	17502	17408 ferde	30.2	-1.104	0.2	-2.2	-1.0
20		17641 ferde	30.1	-3.247	0.4	-6.3	-3.1
21		17408 ir.	6.9	11.411	1.7	85.4	73.9
22		17641 ir.	2.7 g	-4.552	1.7		
23		17408 zenit	18.3	-8.440	1.2	-25.4	-17.0
24		17641 zenit	35.7	-15.863	1.8 m	-27.0	-11.2
25	17641	17502 ferde	30.1	-0.578	0.1	-1.1	-0.6

26		17780	ferde	30.2	-2.806	0.4	-5.5	-2.7
27		17502	ir.	1.0 g	2.799	1.7		
28		17780	ir.	0.9 g	-2.352	1.7		
29		17502	zenit	29.9	-12.855	1.7	-25.3	-12.4
30		17780	zenit	22.5	-6.805	1.0	-17.0	-10.2
31	17780	17641	ferde	30.2	-1.177	0.2	-2.3	-1.1
32		15001	ferde	2.6 g	-3.780	1.7		
33		17641	ir.	0.1 n	0.592			
34		15001	ir.	0.1 g	-1.584	1.7		
35		17641	zenit	52.7	-16.713	1.1	-21.5	-4.8
36		15001	zenit	11.3	-0.851	0.1	-4.0	-3.1