

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar
Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

**Sziklafalak modellezése
közelfotogrammetriai módszerekkel**

Kerkovits Krisztián András
térképész szakos hallgató

Témavezető:

Mészáros János
tanársegéd



Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

1. fejezet: Előszó.....	3
2. fejezet: A fotogrammetria fogalma.....	4
2.a Torzulások a fotogrammetriában.....	4
2.b Sztereofotogrammetria.....	5
3. fejezet: Fényképeket feldolgozó szoftverek.....	8
3.a Internetes szolgáltatások.....	8
3.b Asztali alkalmazások.....	10
4. fejezet: Korábbi hasonló munkák.....	12
4.a Falmászó térkép készítése az Oszolyról.....	12
4.b A Kis-Gerecse egyik sziklafalának modellezése.....	13
4.c Vetők dőlésszögének megállapítása.....	13
4.d Gleccser mozgásának kutatása.....	14
4.e Épületmodellezés.....	15
4.f Barlangrajzok szkennelése.....	16
4.g Domborzatmodellek digitalizálása.....	16
5. fejezet: Munkafolyamat.....	18
5.a A mérés helyszínéről.....	18
5.b Földi illesztőpontok mérése.....	19
5.c Fényképek készítése.....	22
5.d A felvételek tájékozása és pontfelhő-készítés.....	23
5.e A pontfelhő georeferálása.....	26
5.f Felszín készítés a pontfelhő alapján.....	29
6. fejezet: Összefoglalás.....	35
Irodalomjegyzék.....	36
Ábrajegyzék.....	39
Köszönetnyilvánítás.....	41

1. fejezet: Előszó

Jelen diplomamunka egy olyan munkafolyamatot kíván bemutatni, mellyel egy sziklatornyot későbbi digitális feldolgozás céljára három dimenzióban modellezhetünk le viszonylag csekély költségekkel.

A témaválasztás előzménye, hogy az Általános- és Természetföldrajzi Tanszék egy végzős hallgatója megkereste tanszékünket. Kérése az volt, hogy készüljön szakdolgozatához, mely a Kő-hegy vulkanikus eredetű sziklatornyait geomorfológiai szempontból vizsgálta, biztosítsunk egy olyan részletes, georeferált állományt, mellyel a rétegek osztályozását automatizált eljárások segítségével is elvégezheti.

Azért döntöttem e mellett a téma mellett, mert terepi munkát is kívánt, és személyesen különösen érdeklődöm a terepi felmérési technológiák iránt.

A dolgozatban először ismertetem azokat a fontosabb fotogrammetriai ismereteket, melyek a téma megértéséhez feltétlenül szükségesek. Ezt követően bemutatom, hogy milyen szoftverek és internetes alkalmazások állnak rendelkezésre. Mielőtt a tényleges munkafolyamatra rátértem volna, szenteltem pár oldalt a korábbi hasonló munkák felhasználási céljainak ismertetésére.

2. fejezet: A fotogrammetria fogalma

A fotogrammetria lényege, hogy a terepi objektumok geometriáját és földrajzi elhelyezkedését nem közvetlenül a terepen, hanem fényképfelvételek kiértékelésével határozzuk meg.

2.a Torzulások a fotogrammetriában

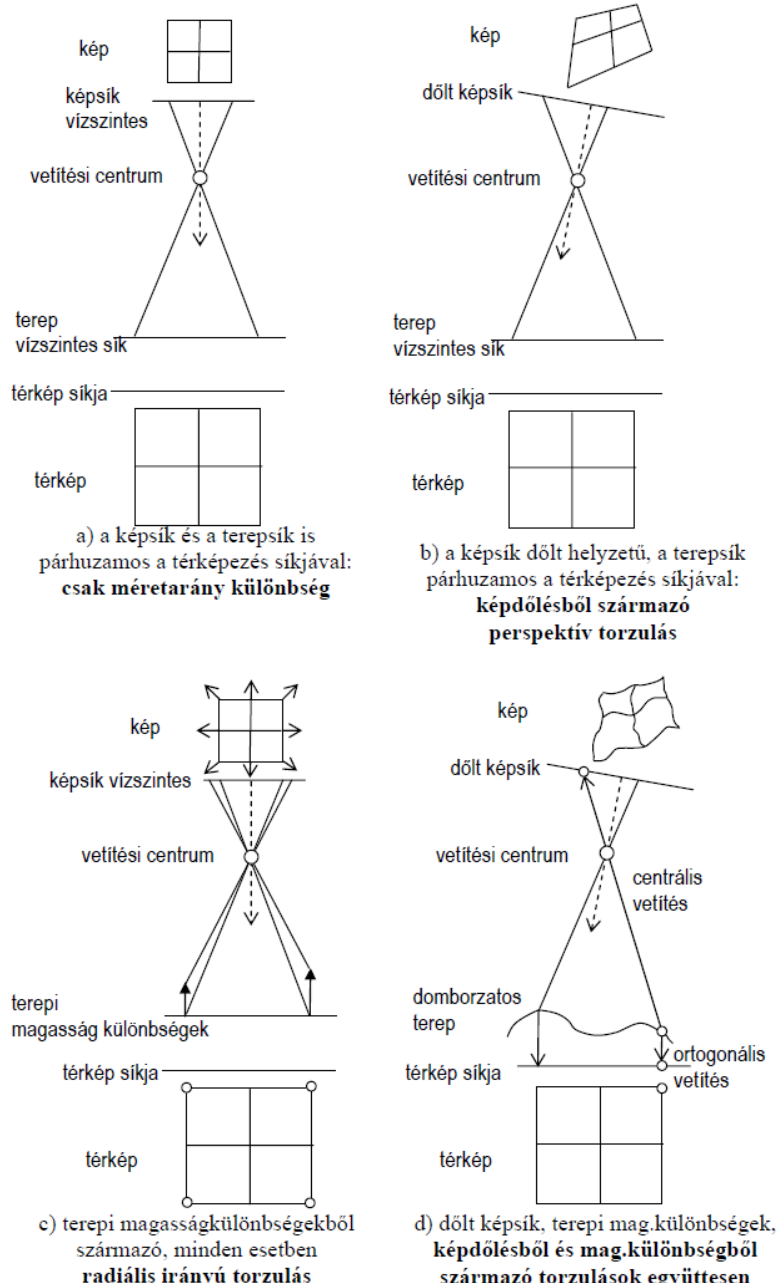
A fotogrammetriában a legfőbb probléma, hogy a három dimenziós terepet két dimenziós fényképfelvételeken tudjuk csak vizsgálni. Emellett figyelembe kell veyük a fényképfelvételeken jelentkező perspektív torzulásokat is.

A perspektív torzulásoknak két oka is van. Egyrészt a lencsén áthaladó fénynyalábok a centrális vetítés szabályai szerint képzik le a tereptárgyakat. Ezt úgy kell elképzelni, mintha valamennyi fénysugár a lencse optikai középpontján áthaladva vetítené le a terepelemeket a fényérzékeny felületre, így a kép széle felé egyre inkább oldalról nézünk a tájra. Ráadásul az sem garantált, hogy a leképezés képfelülete párhuzamos síkban áll a leképezendő felülettel. A másik torzulást okozó tényező a domborzat és más kiemelkedő tereptárgyak. A fénykép széle felé található kiemelkedő elemekre oldalról lát rá a fényképező, így a felvételen sem egészen felülről fogjuk látni. Sőt a lencse ezeknek a csúcsait a valós helyzetükhöz képest kijebb rajzolja. (*Mélykúti; 2007.*)

A lencse tulajdonságaiból eredő torzulásokat a fényképezőgép kalibrációjával és számításokkal ki lehet küszöbölni. A kiemelkedő tereptárgyakból eredő torzulás pedig előnyös is lehet számunkra, mert ebből lehet meghatározni a fényképről hiányzó harmadik dimenziót.

A képnek a fotogrammetria szempontjából három fontos tulajdonsága van, amelyek a vetítősugarak kiszámításához szükségesek. Az első a fókusztávolság, melyet kameraállandónak nevezünk. A másik kettő a képfőpont két koordinátája a képen. Ez az a pont amely a lencse optikai közép-

pontján áthaladó, képsíkra merőleges egyenes és a kép síkjának metszéspontja. Ezeknek az adatoknak a meghatározását hívjuk a belső tájékozás visszaállításának.

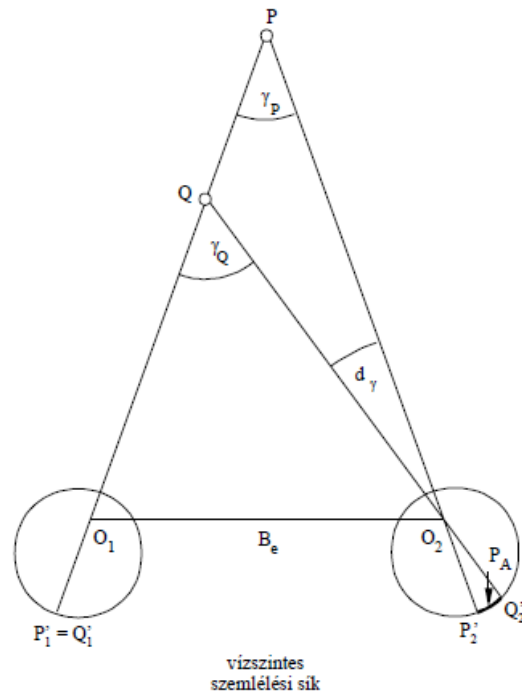


1. ábra: Torzulások a fotogrammetriában (Mélykúti; 2007.)

2.b Sztereofotogrammetria

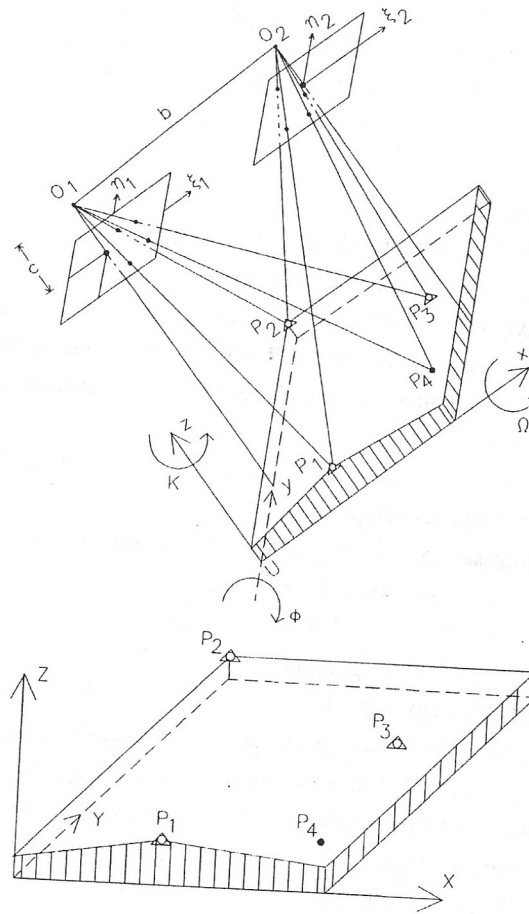
A domborzat vizsgálatához azonban nem elegendő egyetlen képen folytatni a mérést, hiszen annak két dimenziós ábrázolása kevesebb információt

hordoz, mint a valós, három dimenziós terep. Éppen ezért szükséges legalább két felvétel egyidejű vizsgálata, melynek átfedő részein tudjuk a harmadik dimenziót levezetni. Ez hasonlóan működik ahhoz, amint az emberi agy a két szemből érkező képekből három dimenziós látást tesz lehetővé.



2. ábra: A térlátás elve (Mélykúti; 2007.)

A 3. ábrán látható, hogy az O1 és O2 vetítési középpontból készített felvételeken a P1–P4 pontok más-más helyre kerültek a centrális vetítés miatt. Az általunk használt szoftverkörnyezet két lépésben tette lehetővé a felvételeken található képpontok X, Y, Z geodéziai koordinátáinak kiszámolását. Az ábrán látható eljárás lényege, hogy mindkét képen közös, úgynevezett kapcsolópontokat keresünk. Ez alapján a két vagy több kép készítési helye, továbbá a felvétel iránya is kiszámítható valamilyen relatív x, y, z koordináta-rendszerben. Ha pedig egy mindkét képen szereplő pontnak mindkét vetítési középpontból húzott vetítősugarát ismerjük, akkor azok metszéspontjában megkapjuk a pontunk térbeli koordinátáit ebben a relatív koordináta-rendszerben. Így előáll egy virtuális térmodell a területről.



3. ábra: Kétlépéses tájékozás. (Kraus; 1998.)

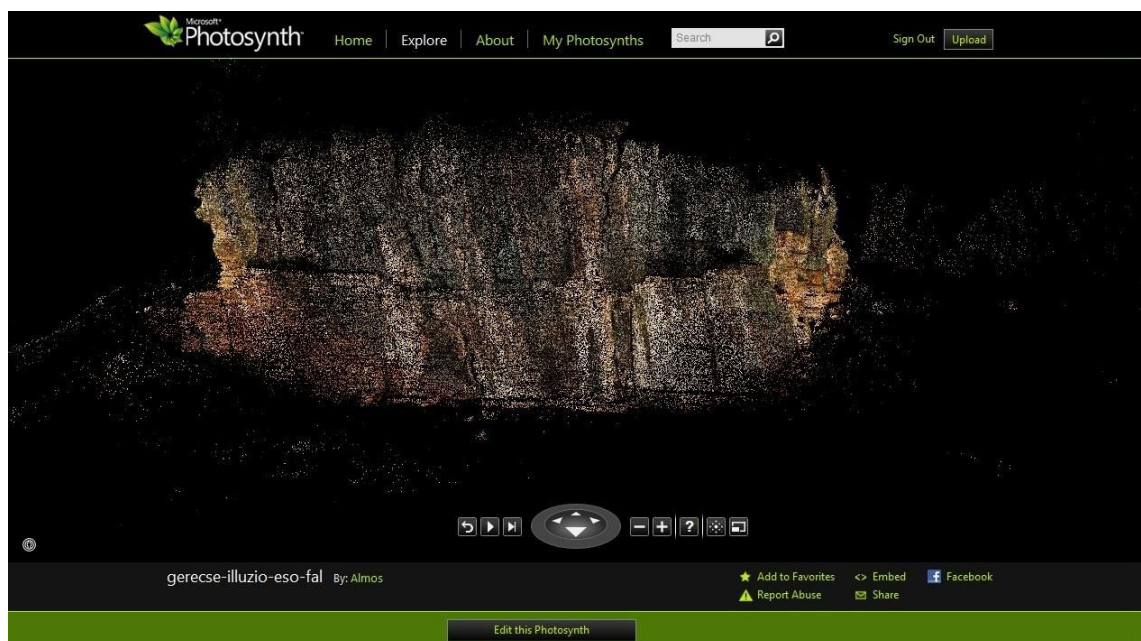
Ezek után keresünk a modellen ismert geodéziai koordinátákkal rendelkező pontokat, melyeket földi illesztőpontoknak nevezünk. Ezeket az ábrán háromszögekkel megjelölve találjuk. Összesen hét tényezőt kell kiszámolni, hogy a modell koordináta-rendszerét a geodéziai koordináta-rendszerbe forgathassuk: egy nagyítás, az eltolás három koordinátája, továbbá három szög, mellyel a tengelyek mentén elforgatást végzünk. Ehhez legalább négy illesztőpont szükséges: három, amelynek minden koordinátáját és egy, amelynek legalább a Z koordinátáját ismerjük. Így a modellünk földrajzi térbe helyezhető. A fényképek geodéziai hálózatba helyezését hívjuk a képek külső tájékozásának helyreállításának. (Mélykúti; 2007.)

3. fejezet: Fényképeket feldolgozó szoftverek

3.a Internetes szolgáltatások

A fényképfeldolgozás nagy számításiigénye miatt igen kézenfekvő megoldást nyújtanak az internetes felhőalapú szolgáltatások. Ezek előnye, hogy jellemzően egy regisztrációs folyamatot követően bárki számára ingyenesen hozzáférhetőek, sőt a számításokhoz sem nekünk kell a kellő erősségű hardverkörnyezetet biztosítani. Általános hátrány, hogy a fényképek mennyisége gyakran erősen korlátozott.

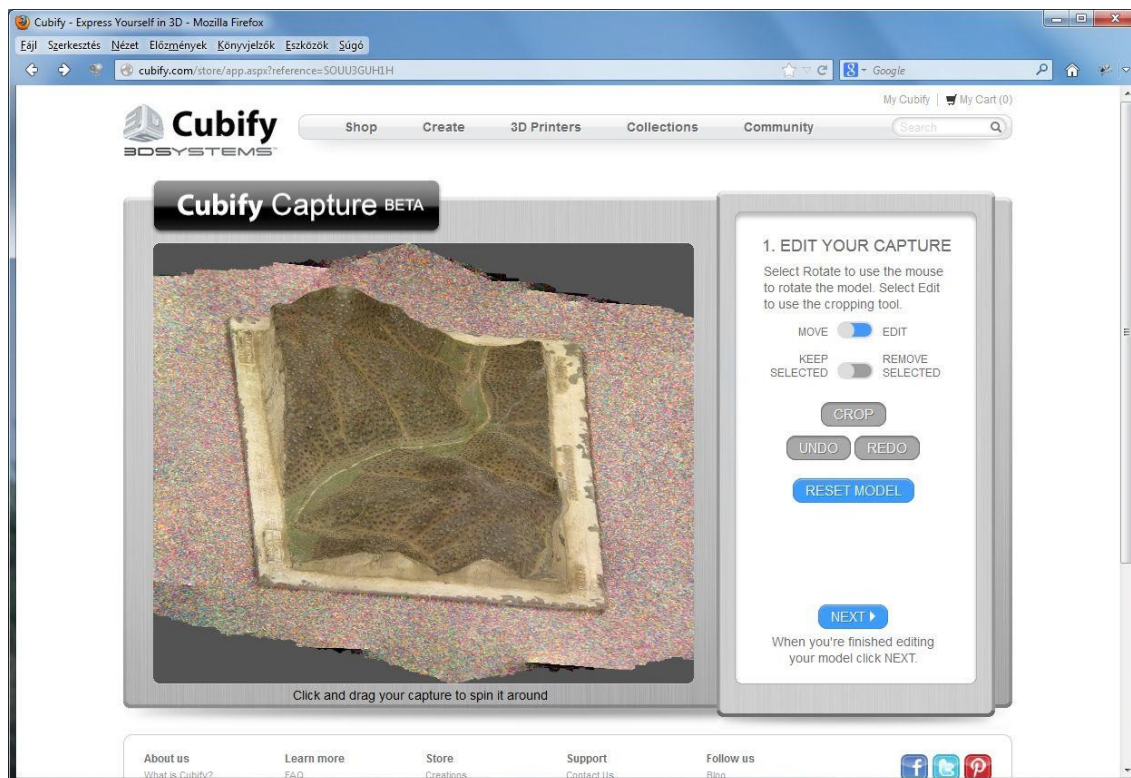
Az egyik lehetséges alkalmazás a Microsoft PhotoSynth, mely elsők között jelent meg a piacon. Az alkalmazás használatához egy bárki számára ingyenesen elérhető Windows Account létrehozása szükséges. (*Microsoft PhotoSynth; 2008.*) (*Gede-Mészáros; 2013.*) A honlapra egy letölthető kliensprogramon keresztül összesen háromszáz képet lehet feltölteni. A képeket nem szabad előzőleg retusálni, mert a kameraállandót és más tulajdonságokat a JPEG-állományok fejlécében található EXIF-információk alapján olvas be. A számítások elvégzése után a kliens megnyitja a modellt a PhotoSynth



4. ábra: A PhotoSynth kezelőfelülete (Sikos; 2011.)

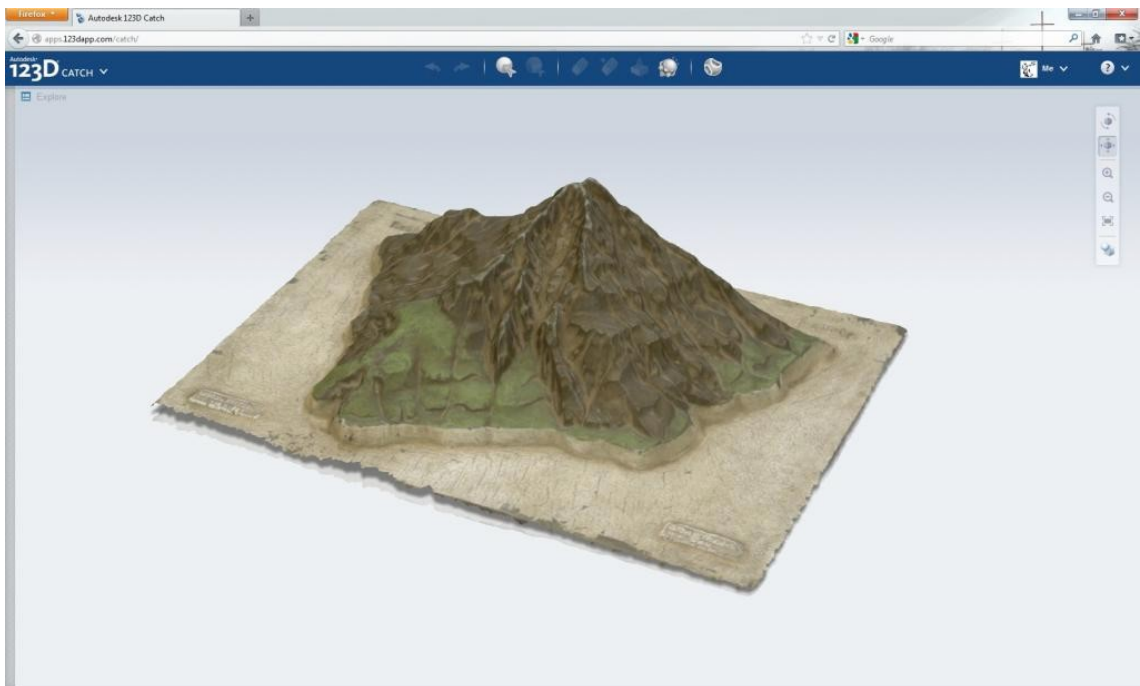
weboldalán. Az elkészült színes pontfelhő többféle formátumban is letölthető. (Sikos; 2011.)

Fontos megemlíteni az internetes felületek közül a Cubify Capture-t is. Ez a szolgáltatás eredetileg Hypr3D néven indult 2010-ben, majd három évre rá olvasztották be a Cubify projektbe. Az alkalmazás ingyenes regisztrációt követően érhető el. A fényképek feltöltését követően a program a szerver terhelésétől függően kb. fél óráig számol. Az alkalmazás a pontfelhő elkészítése után automatikusan elvégzi a pontfelhő felületté alakítását is. A sikeres lefutás eredményéről e-mailben tájékoztatnak. A kész felületmodellt beépített megjelenítő segítségével is megtekinthetjük, ám ez az ábrázolás nem perspektív, hanem axonometrikus, tehát a párhuzamos vonalak nem tartanak össze. Az eredményt egy ZIP-fájlba csomagolva letölthetjük, mely többféle formátumban tartalmazza ugyanazt a textúrázott felületmodellt. (Gede-Mészáros; 2013.) Bár a Capture megszűnéséről sem honlapjukon, sem máshol nem találtam hírt, az oldalt személyesen nem tudtam elérni.



5. ábra: A Cubify kezelőfelülete, a párhuzamos vonalak nem tartanak össze az axonometrikus nézet miatt (Gede-Mészáros; 2013.)

Az AutoDesk cég 123D nevű alkalmazáscsomagja több programot is kínál három dimenziós modellezésben gondolkodóknak. A fényképek alapján történő felületgeneráláshoz az 123D Catch nevűt kell igénybe venni. Előzőekhez hasonlóan itt is először regisztrálni kell, amely ingyenes. A munkafolyamat gyakorlatilag megegyezik a Cubify-nál leírtakkal, a felhőalapú technológiának köszönhetően itt is igen hamar megjelenik az eredmény. A programhoz nem csak weben keresztül férhetünk hozzá: Windows és iOS rendszerek alá elérhető egy kliensprogram, melynek működése csak kis mértékben tér el a honlapon található alkalmazástól. (Gede-Mészáros; 2013.) (Autodesk 123D; 2011.)



6. ábra: Az 123D Catch kezelőfelülete (Gede-Mészáros; 2013.)

3.b Asztali alkalmazások

A másik lehetőség, hogy nem egy internetes szolgáltatásra bizzuk a számítást, hanem saját számítógépünkön futtatjuk le a képek tájékozását elvégző eljárásokat. Ennek hátránya, hogy igen erős számítógépet igényel, ráadásul hosszú, akár több hetes futásidőre is fel kell készülnünk. Cserébe viszont ezek a szoftverek igen jó minőségű eredményt adnak vissza, és azzal

sem kell bajlódni, hogyan töltsük le a modellünket. Az asztali alkalmazások között egyaránt találunk nyílt forrású, ingyenes programokat és különböző árkategóriájú fizetős csomagokat is.

A fizetős programok közül viszonylagos olcsósága miatt az AgiSoft PhotoScan nevű terméket emelném ki. A standard, kizárólag fényképfeldolgozó csomag ára jelenleg 179 \$, míg a GIS-célú alkalmazást nyújtó programé (vetületbeállítás, DEM és ortofotók előállítás) 3499 \$. (*AgiSoft PhotoScan; é. n.*) Utóbbi véleményem szerint felesleges, hiszen léteznek különböző nyílt forrású geoinformatikai eszközök is ezekre a célokra. Az olcsó változat nem csak pontfelhőt, hanem textúrázott felületmodellt is elő tud állítani. Nem csak Windows, hanem Linux és MacOS gépeken is futtatható. Az alkalmazás teljesen automatikusan dolgoz fel keretjel nélküli képeket. A programot egy orosz cég fejleszti.

Talán a legkiforrottabb nyílt forráskódú alkalmazás a Visual SFM. Mivel a munkám során ennek használata mellett döntöttem, erről nem itt, hanem a munkafolyamatnál, az 5.d fejezetben tárgyaltam bővebben.

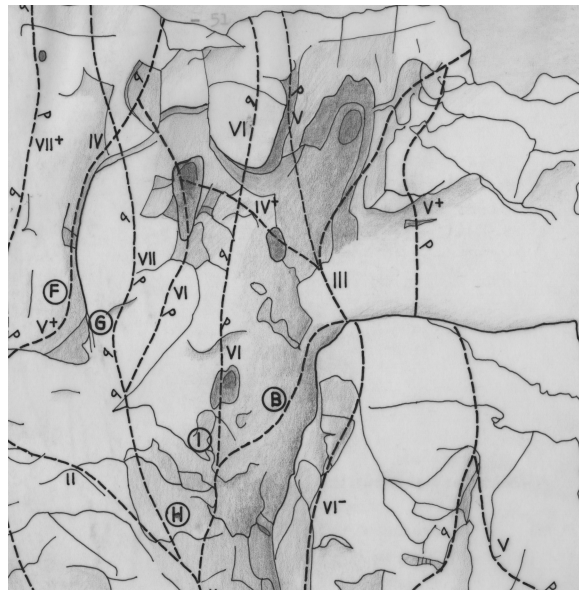
Egy alternatív, szintén nyílt forrású program a Bundler. (*Snavely–Seitz–Szeliski; 2006.*) Ez egy parancssori alkalmazás, a beállításokat a paraméterben kapott TXT-fájlból olvassa be. A kimeneti állomány csak egy elég ritka pontfelhő, így utólagos pontfelhő-sűrítést kell végrehajtani egy CMVS/PMVS2 nevű, szintén parancssori alkalmazásban, melynek ismertetése a 24. oldalon található.

Mivel így csak parancssori alkalmazásokat kell használni, a munkafolyamat könnyen automatizálható. A HCU Hamburg egyetemen készült olyan alkalmazás, mely először kalibrálja a kamerát, lefuttatja Bundlerben a képek külső tájékozását, az eredményből pontfelhőt készít PMVS-ben, majd az elkészült pontfelhőt a 30. oldalon ismertetett MeshLabban jeleníti meg. (*Kersten–Lindstaedt; 2012.*) Ezt az alkalmazást azonban nem találtam meg, valószínűleg csak belső használatra készült.

4. fejezet: Korábbi hasonló munkák

4.a Falmászó térkép készítése az Oszolyról

Babcsán Gábor a Térképtudományi Tanszéken szerzett diplomát, így tanszéki vonatkozások miatt igen fontosnak tartom munkáját kiemelni. Ő a Csobánka közelében található Oszoly nyugati oldalán lévő, sziklamászók körében igen népszerű fal felmérését végezte el. Az elkészült modellt arra a célra használta fel, hogy az alapján nagy geometriai pontosságú falmászó térképet készítsen a sziklafalról. Ehhez azért volt segítség a modell, mert azt a térkiértékelő berendezésen keresztül szemlélve a sziklák azon jellegzetes mikroformái, melyek a falmászót a tájékozódásban segítik, jól kivehetőek és mérhetőek voltak.



7. ábra: Részlet a sziklamászó térképből (Babcsán; 1985.)

Abban az időben a digitális technológia még nem állt rendelkezésre a mai mértékben, így a felvételeket analóg fototeodolit segítségével készítette el. A felvételeket analóg és analitikus térkiértékelő műszerekben elemezte. A létrejött virtuális modell igen hasonló lett az általunk készítettéhez, hiszen az is tisztán fényképek felhasználásával, egy sziklafalról készült. A legfőbb

eltérés az, hogy mi digitális úton állítottuk elő azt a felületmodellt, amelyet Babcsán egy analóg térkiértékelőn keresztül szemlél. (Babcsán; 1985.)

4.b A Kis-Gerecse egyik sziklafalának modellezése

Három évvel ezelőtt szintén kutatták a témát tanszékünkön. Sikos Károly Álmos végül meg nem védett BSc szakdolgozatában a Kis-Gerecse egyik kőfejtőjében egy sziklamászók által kedvelt fal modelljét készítette el.

Az ő munkafolyamata nagyban hasonlított a jelen dolgozatban bemutatotthoz, ám ő nem jelölt meg a fényképezés előtt ismert geodéziai koordinátával rendelkező illesztőpontokat. Az elkészült modell így csak a modell koordináta-rendszerében lebeg, földrajzi térbe helyezése csupán hozzávetőlegesen történt meg a Bing maps térképén. (Sikos; 2011.)



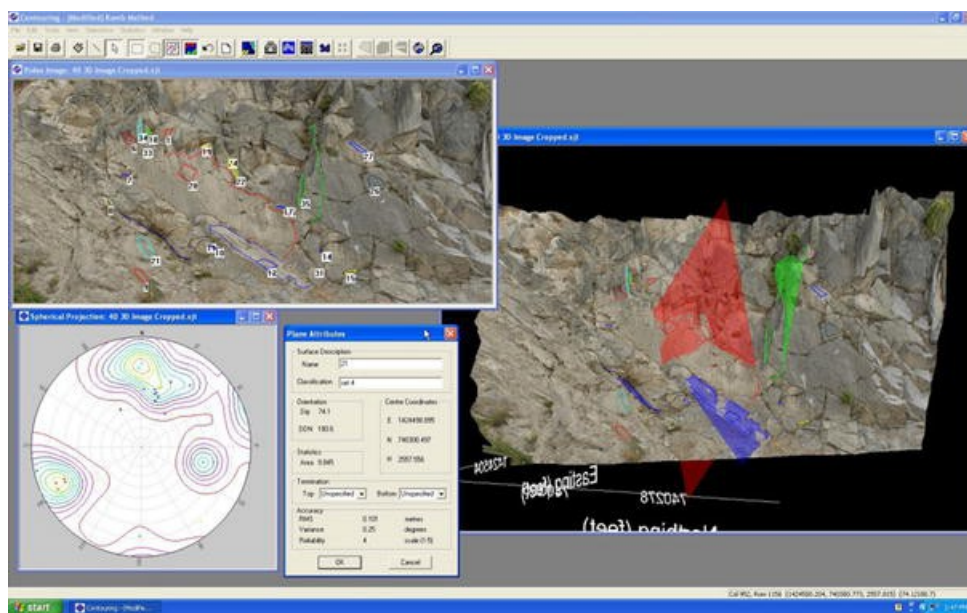
8. ábra: Kőfejtő modellje a Kis-Gerecséből (Sikos; 2011.)

4.c Vetők dőlésszögének megállapítása

Ehhez a dolgozathoz talán legközelebb álló kutatási témát az amerikai Haneberg dolgozta fel. Az ő célja az volt, hogy a csupasz sziklafelszíneken található vetőket számítógép segítségével mérje meg. Elsősorban a vetők dőlésszöge és iránya érdekelte, melyből geológiai folyamatokra lehet következtetni.

Felméréséhez egy olyan szoftvert használt, mely lehetővé tette a fényképkészítés geodéziai koordinátáinak bevitelét. Ezért a fényképkészítés előtt mindig gondosan megjelölte a terepen, hogy hol készültek a felvételek,

4. fejezet: Korábbi hasonló munkák és mérőszalag segítségével meghatározta a gép állványának magasságát is. Így a modell már elkészítésekor tökéletesen georeferált lett. A tökéletes eredmény érdekében a JPEG helyett a fényképező natív formátumát használta, melytől nem csak a képek minősége lett jobb, de a fényképező több beállítását is elmentette az állományba. Referenciaként több vető dőlés- és irányszögeit geológus kompasszal is megmérte. A kész modell annyira pontos volt, hogy a célszoftver által kiszámolt szögek alig 2-3 fokkal tértek el a kompasszal mért értékektől. (Haneberg; 2008.)



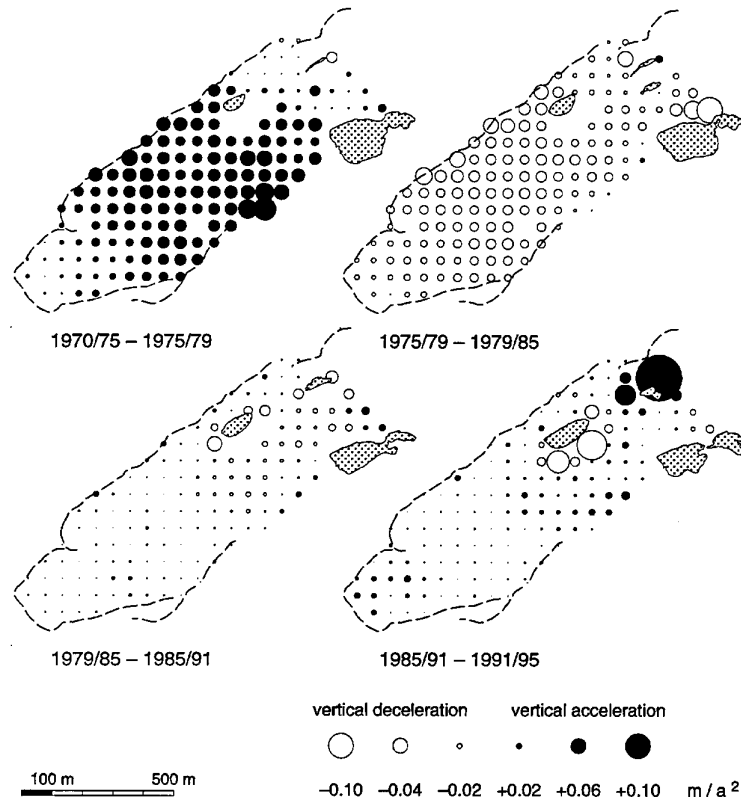
9. ábra: Vetők dőlésszögének meghatározása fotogrammetriai úton (Haneberg; 2008.)

4.d Gleccser mozgásának kutatása

Ha több különböző időpontban készült felvételsorozat is rendelkezésre áll, az abból előálló domborzatmodelleket összehasonlítva további érdekes kutatások végezhetőek. Ezt ismerte fel az a svájci kutatócsoport, akik a digitális korszak hajnalán már számításokat végeztek egy 25 év hosszú időszakról készített modelleken.

A cél az volt, hogy az egyik gleccser alatt található kőár mozgását vizsgálják különös tekintettel annak magasságára és a belső anyagáramlásokra. A vizsgált időszakról rendelkezésre álltak repülőgépről készített felvételek

több időpontból is. A felvételek alapján előállított domborzatmodelleket összehasonlítva megállapították, mely időszakban emelkedett vagy süllyedt a kőár felszíne, milyen vízszintes elmozdulások jellemzik a területet. (Kääh-Haeberli-Gudmundsson; 1997.)



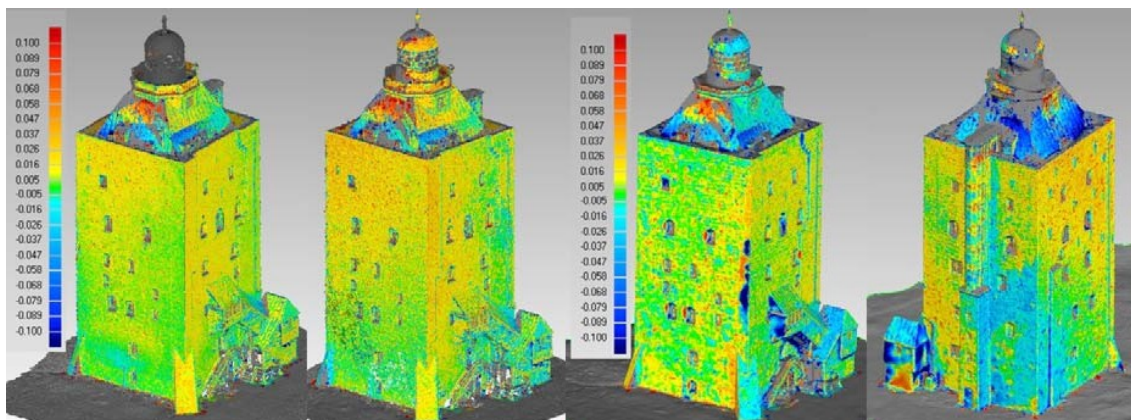
10. ábra: A kőár függőleges elmozdulásának változása (Kääh-Haeberli-Gudmundsson; 1997.)

4.e Épületmodellezés

A munkafolyamat alacsony költségvetése miatt vonzó alternatívája a hasonló modelleket előállító jóval drágább lézerszkennelésnek. De vajon ez az eljárás is kielégíti-e a mérnöki pontosság iránt támasztott igényeinket? Kersten és Lindstaet, két német kutató válaszolta meg a kérdést. Több épületről és egy régészeti emlékről is készítettek modelleket.

Kifejezetten az olcsóságra törekedve egyszerű digitális fényképezőgépet használtak, és a képfeldolgozáshoz is kizárólag ingyenesen vagy viszonylag olcsón elérhető szoftvereket használtak fel. Referenciaadat céljából az épületekről lézerszkennelt modellt is készítettek, majd a lézeres és fotogrammet-

riai úton előállt modelleket összehasonlították egymással. A fényképek alapján készített modell a legtöbb szoftverben alig tért el a lézeres mérés eredményétől. (Kersten–Lindstaedt; 2012.)



11. ábra: Fényképek alapján előállított modell eltérése a lézerszkenneltől különböző alkalmazásokban (zöld szín 5 mm alatt) (Kersten–Lindstaedt; 2012.)

4.f Barlangrajzok szkennelése

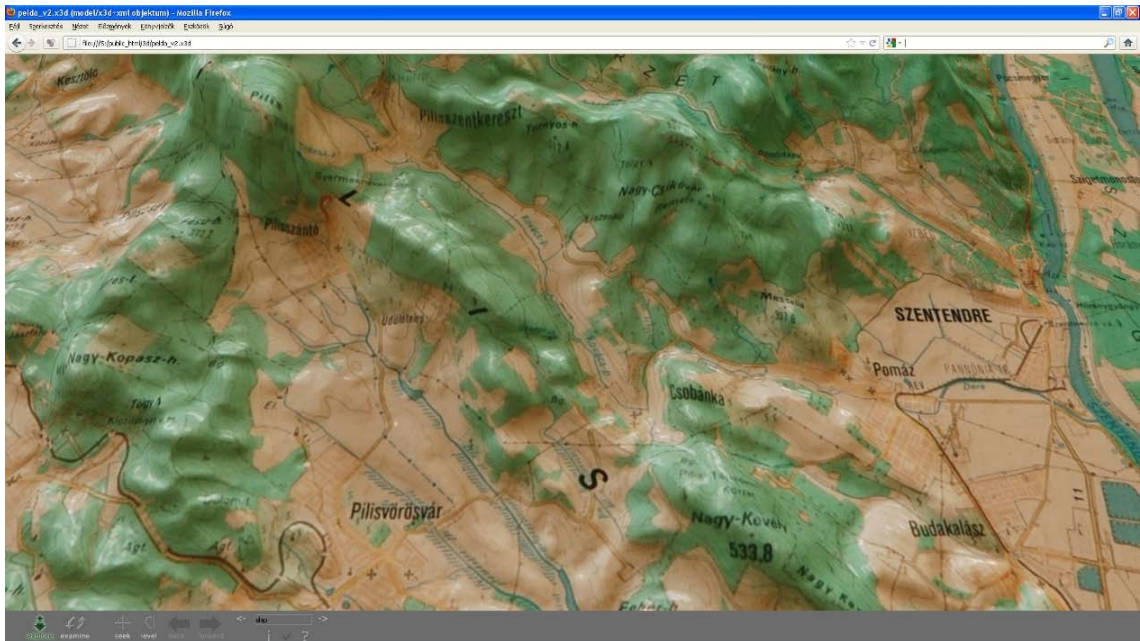
A fotogrammetria útján történő modellkészítés az olcsóság mellett másik előnye a lézerszkenneléssel szemben, hogy a pontfelhő nem csak a geometriát, hanem az egyes pontok színét is tartalmazza. Ez különösen fontos volt annak a spanyol csapatnak, akik barlangrajzokat vizsgáltak.

Bár a kutatás költségvetése lehetővé tette, hogy a barlang geometriáját lézerszkenneres letapogatással mérjék fel, a falán lévő rajzokat fényképeken rögzítették. Ezeket a fényképeket végül a fotogrammetriából ismert geometriai összefüggések segítségével vetítették rá a barlang modelljére. (Lerma–Navarro–Cabrelles–Villaverde; 2010.)

4.g Domborzatmodellek digitalizálása

Tanszékünk két munkatársa, Gede Mátyás és Mészáros János a módszer nem tereptárgyak modellezésére használta fel, hanem különböző anyagokból készített oktatási célú domborzatmodelleket dolgoztak fel. A modellekről 45°-os szögben forgatva 8 képkockát készítettek, majd egy internetes szolgáltatás segítségével textúrázott modellé alakították a felvételeket.

Az elsődleges cél csupán archiválás volt, de a kutatás részeként további számításokat végeztek. A pontfelhőt Helmert-transzformációval georeferálva egy „digitális domborzatmodell” jött létre. Ezt az interneten elérhető domborzatmodellekkel összevetve meg lehetett vizsgálni a dombortérképek pontosságát. (Gede–Mészáros; 2012.)



12. ábra: Digitalizált dombortérkép (Gede–Mészáros; 2012.)

5. fejezet: Munkafolyamat

5.a A mérés helyszínéről

A mérés helyszínének választott Kő-hegy a Visegrádi-hegység legdélebbi magaslata. Természetföldrajzi beosztás szerint az Északnyugati-Kárpátok legbelső vulkáni övéhez tartozik. Pomáztól északi irányban 4 km-re fekszik, közel a Pomáz–Pilisszentlélek törésvonalhoz. A hegyen két csúcs is található: a Kő-hegy 366 méter, a Kis-Kő-hegy 375 méter magas.



13. ábra: Andezittornyok a Kő-hegyen (a szerző felvétele)

A Kő-hegy szikláinak kőzetanyaga andezit és andezittufa. Ezek a kőzetek alkotják a Visegrádi-hegység fő tömegét is. A hegység alapvetően a szomszédos Pilist alkotó triász Dachsteini Mészköre települt, melynek vastagsága 1500 méter. Később erre rakódtak rá a vulkáni kőzetek a miocénben. (Karátson; 1997.) Az igen gyorsan lezajló vulkánosságnak két szakaszát különíthetjük el: Eleinte csak dagadókúpok képződtek, mint például

Dunabogdány határában a Csódi-hegy, később egy kettős rétegvulkán robbanásos tevékenysége alakította a vidéket. (*Mezősi; 2011.*) A vulkáni kalderák maradványai ma is jól megfigyelhetők a Dobogó-kő–Prédikálós-zék–Szent Mihály-hegy környékén. A vulkanizmus sekélytengeri előntés idején zajlott, ezért a peremi területeken Lajtamész-kő is található. (*Janata; é. n.*) A terület szárazulattá válása óta a lepusztulási folyamatok jellemzőek, a hegységben számtalan, a kipreparálódott vulkáni bombák miatt bizarr sziklaalakzatot találunk, melyek közül talán a Vadálló-kövek a legismertebb. Az andezitréteg vastagsága jelenleg a hegység belsejében 1000, a széleken 200 méter. A vízrajz az egykori kalderák helyén befele, a peremi területeken kifelé sugárirányú. (*Magyarország természeti földrajza; é. n.*)

A Kő-hegy a természetjárás szempontjából is jelentős. A hegy tetején található a Czibulka János menedékház. Az általunk vizsgált sziklafal tetején mesterséges kilátóperemet építettek, melyet Petőfi-pihenőnek neveznek. Az itt található emléktábla szerint 1845. szeptember 23-án járt erre a költő. Szintén ismert látnivaló a vékony tufaoszlopon álló háromszög alakú vulkáni bomba, mely a Napóleon kalapja nevet viseli. Természetföldrajzi szempontból is érdekes látványosság, hogy a hegy két csúcsa közti lapos tetőn nem tud a víz a mélybe szivárogni, így itt egy láp található állandó vízfelülettel.

Arra a sziklatoronyra, melyet végül felmértünk, azért esett a választásunk, mert az aljnövényzet itt volt a legritkább.

5.b Földi illesztőpontok mérése

Mint azt a fotogrammetriát általánosan bemutató fejezetben (2.b) megírtam, modellünk pontos földrajzi térbe helyezéséhez szükséges ismert koordinátájú illesztőpontok jelenléte a fényképfelvételeken. Az illesztőpontokat A/5-ös méretű, színes papírokkal jelöltük, hogy a képeken is jól láthatóak legyenek. A pontok kijelölése után egy GPS-vevővel álltunk fel úgy, hogy az antenna pontosan a lap közepe fölött legyen.



14. ábra: Színes papírral
megjelölt illesztőpont

A vevőnk a Spectra Precision EPOCH 35-ös készüléke volt. Ez mind L1 mind L2 frekvencián tud mérni, így már önmagában pontosabb a hobbi célú műszereknél. (*EPOCH 35 GNSS RTK rover; é. n.*) A műszer kezeléséhez egy Nomad 800B 128/512 Gray BT nevű kontrollert használtunk, melyet Bluetooth segítségével kapcsoltunk a műszerhez. Ez lehetővé tette, hogy míg egyikünk a GPS-t hosszan függőlegesen a pont fölött tartotta, addig másikunk tíz méteren belül mindkét kezét használva végezze a mérést. A controller processzora 800 MHz-es, érintőképernyőjén fémceruzával lehet dolgozni. (*TDS Nomad Specifications; 2009.*) A készüléken található Windows Phone 6 alá bármilyen célszoftver telepíthető, mi a Survey Pro nevűt használtuk.



15. ábra: Nomad controller
(<http://www.geooptic.ru/Remote-Control/Nomad-800B-Pro-GNSS/>)

Ez a program kontrollerben található SIM-kártyán keresztül kapcsolódott a mobilinternetre, így az NTRIP-protokollon keresztül gyűjtött korrekciós adatokat. Ezeket az adatokat a kontrollerről visszasugározva a GPS felé az többféle üzemmódba kapcsolhat, melyeket kijelzőjén egy betű jelöl:

A: Autonóm, csak a műholdról jövő adatokat ismerjük, a pontosság néhány méter.

B: Bázis, ismert koordinátájú ponton állunk, mi sugározzuk a környékre jellemző korrekciós adatokat. Esetünkben ennek nincs értelme.

D: Float, megérkeztek a szerverről a korrekciós adatok, a pontosság néhány deciméter.

F: Fixed, sikerült teljes kapcsolatot létesíteni a szerverrel, így a korrekciós adatokon felül saját utófeldolgozott koordinátáinkat is visszakaptuk, a pontosság néhány centiméter.



16. ábra: EPOCH 35 GNSS-vevő (EPOCH 35 GNSS RTK rover; é. n.)

A műszert egy két méter magas karbonszálas rúdra erősítettük. A jó vétel érdekében egyaránt használtunk amerikai NAVSTAR és orosz ГЛОНАСС (GLONASSZ) navigációs rendszereket. Készülékünk mobilinternet-kapcsolatán keresztül egy budapesti bázisállomásról korrekciós adatokat gyűjtöttünk valós időben. Ez kellő mérési idő elteltével (jellemzően pontonként két-három perc tartózkodással) biztosította az általunk kívánt

~30 cm-es pontosságot annak ellenére, hogy sziklafalak közelében köztudottan nehéz GPS-szel mérni. Sajnos ezek többnyire „Float” üzemmódban készültek, mert a térerő gyenge volt. A „Fixed” üzemmódot többnyire csak azokon a szikla tetején található pontokon sikerült elérni, amelyek a képen használhatatlan rosszul látszottak.

A mérés során EOV vetületet és HD/72 alapfelületet választottunk, és 12 pontot jelöltünk ki a terepen.

5.c Fényképek készítése

A fényképek elkészítéséhez egy átlagos képességű digitális fényképezőgépet használtunk. CANON Power Shot A1200 Silver típusú gépünk 12 megapixeles képeket tudott készíteni. 28 mm fókusztávolságú objektívje 4-szeres optikai nagyítást tett lehetővé. (*Canon PowerShot A1200; é. n.*)



*17. ábra: Canon A1200 fényképező
(Canon PowerShot A1200; é. n.)*

Amennyire csak lehetett, a fényképfelvételeket földi álláspontokról készítettük (a sziklafal alján, illetve tetejére kimászva). Nehézséget okozott, hogy a torony csúcsáról legyen kép megfelelő távolságból nézve, mert ez a két oldal összeilleszthetősége szempontjából kritikus. Egy közeli, másik szikla volt ebben segítségünkre.

A magasabb részek felvételezéséhez a fényképezőgépet egy négy méter hosszúságú szintezőlécre erősítettük, majd öt másodperces sűrűsége állítva

időzítettük a gépet. A szintezőlécet magasba tartva a legtöbb helyen el tudtuk érni, hogy a fényképező a szikla magasságának kétharmadáig feljusson.



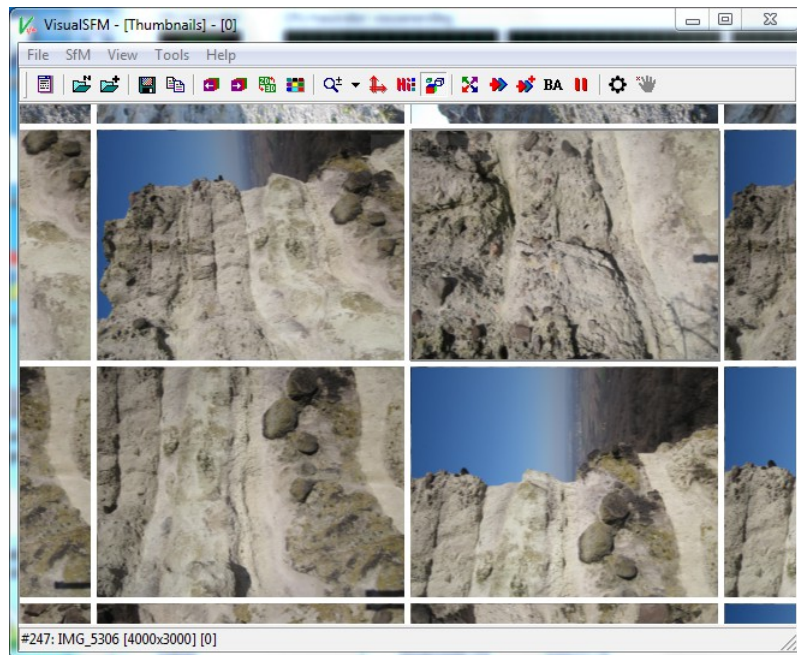
18. ábra: A felmért sziklatorony és a szintezőlécünk

Eredetileg terveztük, hogy a szikla legfelső részét UAV-val (személyzet nélküli helikopterrel) fényképezzük le, de a bozótos terep és a mérés elhúzó-dása miatt végül erre nem vállalkoztunk.

5.d A felvételek tájékozása és pontfelhő-készítés

A felvételek tájékozását németországi épületek modellezését bemutató szakcikkben (*Kersten–Lindstaedt; 2012.*) található VisualSFM nevű alkalmazással végeztük, mely ingyenessége ellenére igen jó eredményeket mutatott fel. Ezt a programot Changchang Wu fejleszti, letölthető honlapjáról a <http://ccwu.me/vsfm/> oldalon. (*Wu; 2011.*) A program telepítése egy kicsit nehézkes, mert további DLL-állományokat igényel, melyeket a megfelelő könyvtárba kellett másolni.

Ezek a függvénykönyvtárak a pontfelhő sűrítéséhez kellett. Yatsuka Furukawa CMVS/PMVS2 nevű alkalmazásának részei. (*Furukawa–Ponce; 2010.*) Ez egy olyan alkalmazás, amely nagy mennyiségű képek sztereofotogrammetriai vizsgálatát képes elvégezni azáltal, hogy nem az összes képet egyszerre, hanem klaszterekre bontva elemzi. Így a számítógép memóriáját kevésbé terheli.

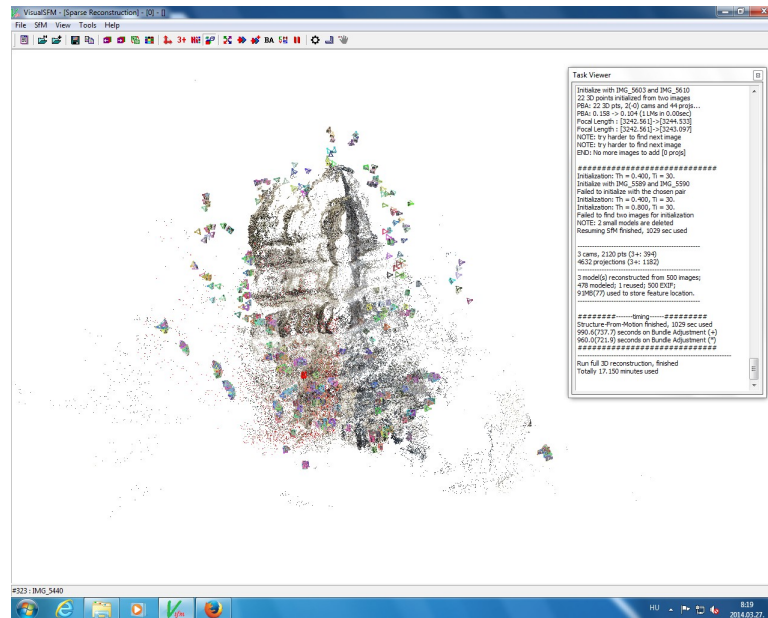


19. ábra: A képek a VisualSFM programban

A Visual SFM egyszerre csak ötszáz képpel tud dolgozni, így a mi hozzávetőleg hétszáz képünk közül a gyengébb minőségűeket, valamint a kevés hozzáadott információval rendelkezőket ki kellett dobjuk. A pontfelhőt a tanszéki számítógéppel három hétbe telt kiszámolni.

Először a kiválasztott képeket töltöttük be. A VisualSFM esetén nincs lehetőség a képek belső tájékozásának elvégzésére, a fókusztávolságot a JPEG-fájl fejlécéből (EXIF-információk) veszi ki, a képfőpontot pedig automatikusan helyezi el. A képeket a memóriában akarja tárolni, ezért a Windowsban szükséges a virtuális memória méretét jelentősen megnövelni.

Ezután végzi el a képek relatív tájékozását az eszköztáron a *Match the images* ikonra kattintás után. A képernyőn bő egy hét elteltével megjelentek egy forgatható 3D-modellben a kiszámolt felvételi helyek.

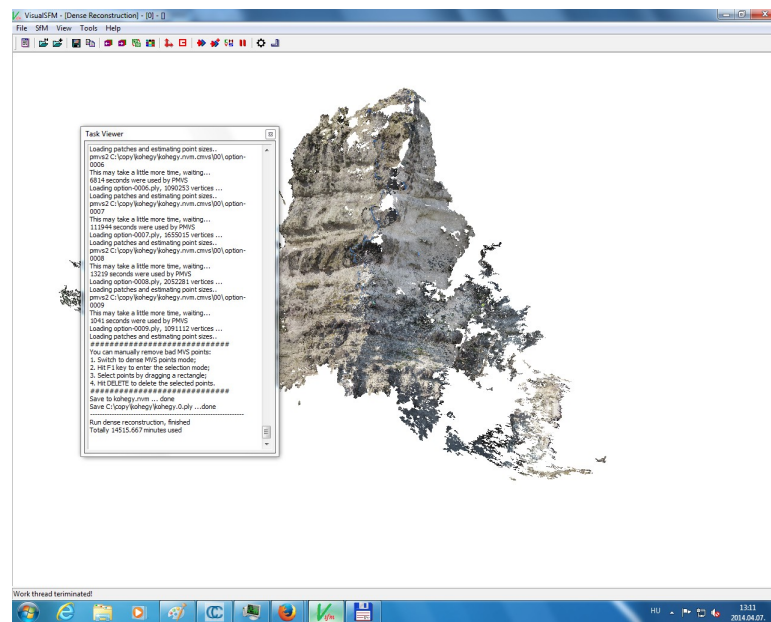


20. ábra: A képek relatív tájékozása

A PMVS gombra kattintás után figyelmeztet az alkalmazás, hogy ez a művelet hosszú ideig tart. Valóban, az így lefutó pontsűrítő eljárás jó két hétig tartott. Ennek eredményeként a meglévő kapcsolópontok mellett további képpontok modellkoordinátáit számoltuk ki, így már kellőképp sűrű lett a pontfelhőnk. A kész pontfelhőt PLY-formátumba mentettem el.

Az eljárás pontossága Kersten és Lindstaet tapasztalatai szerint megközelíti a sokkal költségesebb, de jóval kevésbé munkaigényes lézerszkennelést. Sajnos a mi esetünkben nem tudtuk megbecsülni sem az eljárás pontosságát, mert nincs mihez viszonyítani. Egy későbbi munkában érdemes volna az eredményünket lézerszkennelt adattal összevetni.

E mellett további előny, hogy a pontok x , y , z koordinátái mellett azok R , G , B színkomponensei is bekerültek a kimeneti állományba, így a kőzetmínőség részletesebben kutatható.

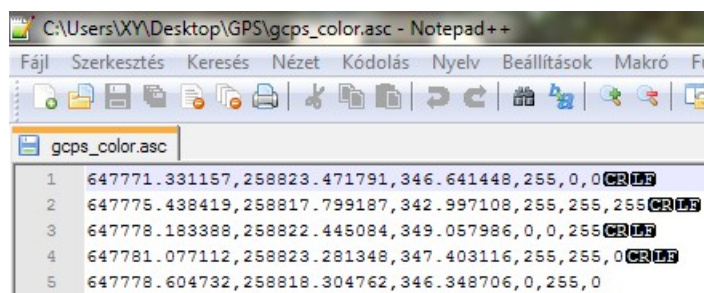


21. ábra: Pontfelhő-sűrítés eredménye

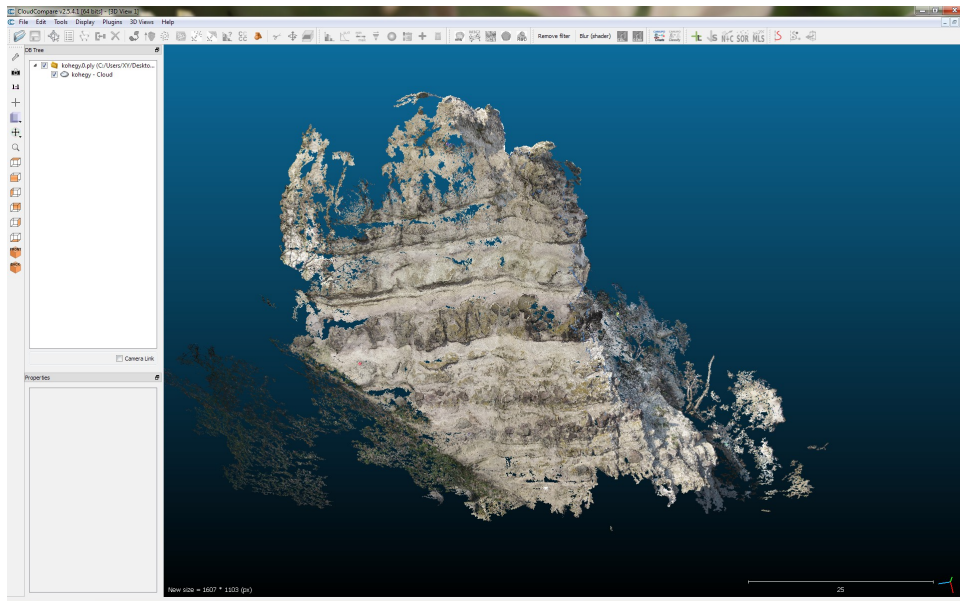
5.e A pontfelhő georeferálása

A pontfelhőt a CloudCompare nevű, szintén ingyenes alkalmazásban georeferáltam. (CloudCompare; 2014.) Ez a program az illesztőpontok alapján kiszámolja azt a mátrixot, mellyel a modellkoordinák az EOV-koordinátákká transzformálhatók.

Az illesztőpontok mért koordinátáit egy ASC kiterjesztésű fájlba kellett menteni. Ez gyakorlatilag egy sima szövegfájl, ahol vesszővel elválasztva kell begépelni az X,Y,Z,R,G,B értékeket. X, Y és Z a három geodéziai koordináta, R, G és B pedig az a szín, amellyel a képernyőn az illesztőpontot megszeretnénk jeleníteni. Minden pont új sorba kerül. A modellünkben öt illesztőpont volt elég jól látható, ezekre végeztük el az illesztést.

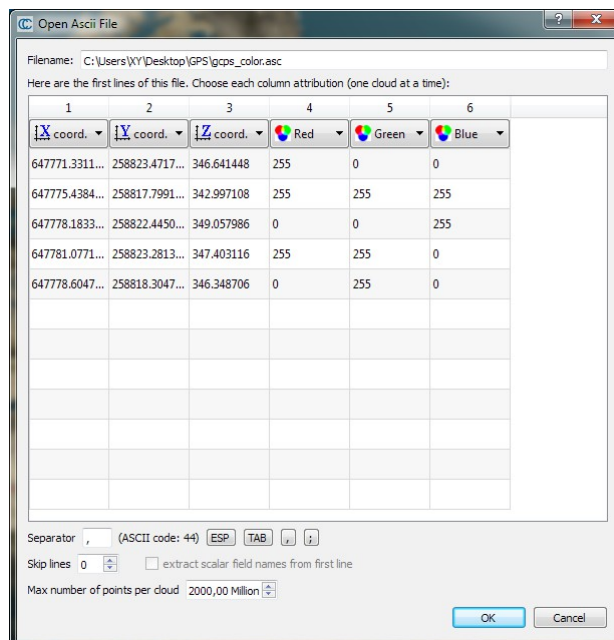


22. ábra: Illesztőpontokat tartalmazó állomány



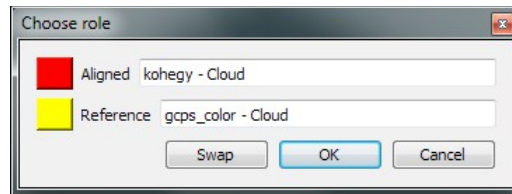
23. ábra: A CloudCompare kezelőfelülete

Először megnyitottam a pontfelhőt és a jobb megjelenítés érdekében a tulajdonságok között kikapcsoltam a normálisokat. Az ASC-állomány megnyitásakor a program figyelmeztetett, hogy az EOY-koordináták túl nagyok, így eltolást kell végezni. Ez nem okoz gondot, mert amikor georeferált pontfelhőt mentjük, a program így is helyesen tárolja le a koordinátákat.



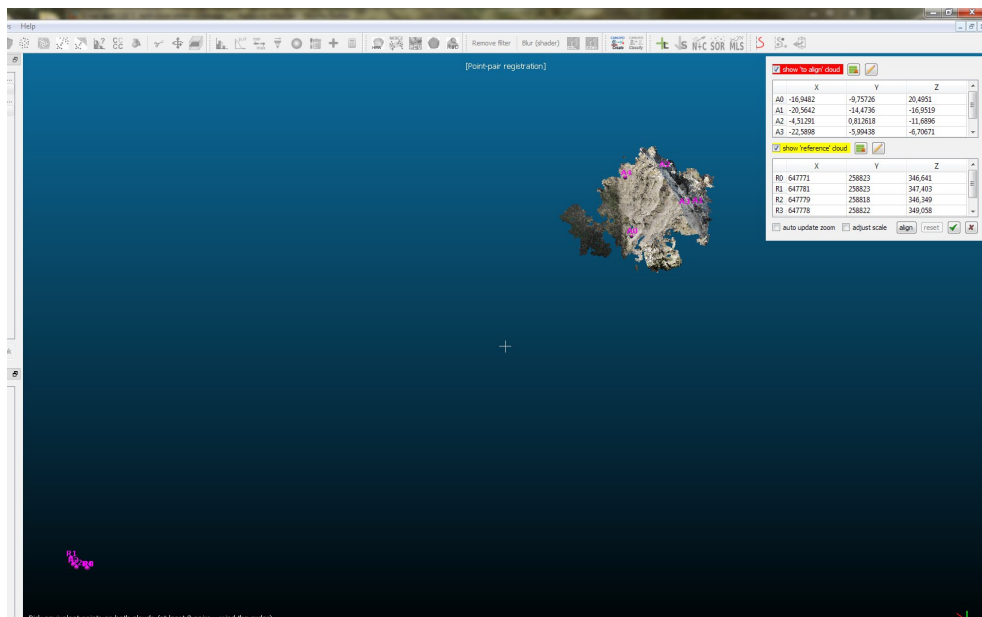
24. ábra: Illesztőpontok a CloudCompare-ben

Ezután ki kellett jelölni mindkét pontfelhőt az oldalsávban, majd az eszköztáron az *Align* feliratú gombra kattintottam. Referenciának a GPS-mérés adatait kell választani. Ha rosszul ajánlotta fel a program, a felugró ablakban a *Swap* gombbal lehet felcserélni.



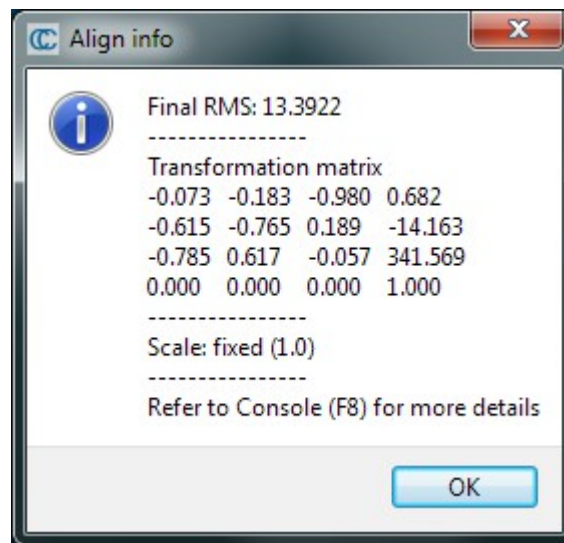
25. ábra: Referencia kiválasztása

A következő ablak arra kér minket, hogy a referenciának választott pontfelhőben jelöljük ki az illesztőpontokat. Ehhez érdemes az alapértelmezett pontméretet megnövelni.



26. ábra: Illesztőpontok megjelölése

Ha ezzel kész vagyunk, a másik pontfelhőn meg kell jelölni a megfelelő pontokat. Fontos a sorrend! Amilyen sorrendben az illesztőpontokat kijelöltük, abban a sorrendben kell a másik pontfelhőben is a megfelelő pontokat kijelölni. Mielőtt az *Align* gombra kattintanánk, az alsó sorban bejelölhető opciók pipáit ki kell kapcsolni, hogy a méretviszonyokat ne torzítsa!



27. ábra: A transzformáció mátrixa

A program pillanatok alatt elvégzi a transzformáció mátrixának kiszámítását, ezen felül a hiba mértékéről is tájékoztat. Ha megfelel, a pipára kattintva beforgatja a modellt a helyére.

A kész fájlt PLY-formátumba exportáltam.

5.f Felszín készítés a pontfelhő alapján

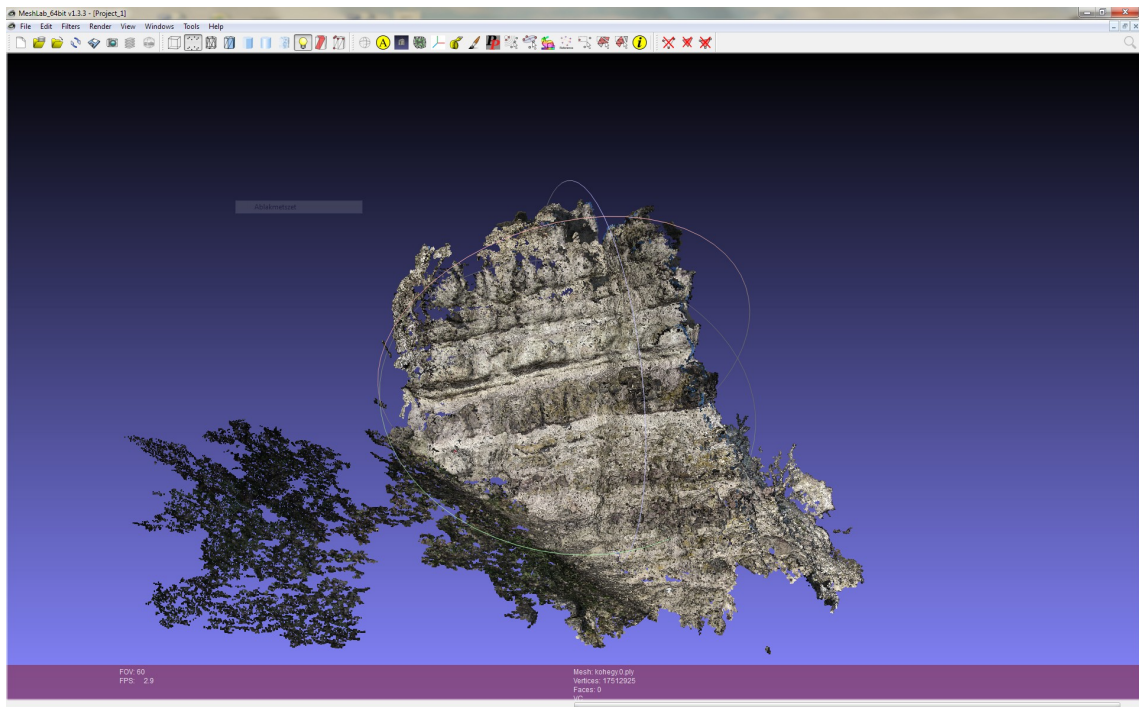
Az így elkészült PLY állományok csak önálló pontokat tartalmaznak, az csak az emberi szemlélő számára tűnik felületnek. Ahhoz, hogy a számítógép egy összefüggő felületként lássa, a megfelelő pontokat élekkel és lapokkal kell összekötni. Erre a legjobb minőségű megoldást a CMPMVS nevű parancssori alkalmazás nyújtja. (Jancosek–Plajda; 2011.) A VisualSFM programból a *CMVS* gombra kattintáskor megadható kimeneti formátumnak a CMPMVS is. Mivel nincs grafikus kezelőfelülete, a paramétereket egy INI-fájlban határozhatjuk meg, ezt a VisualSFM automatikusan elkészíti.

Az INI-fájl első szekciója, a [global] határozza meg, hogy a képek melyik könyvtárban keresendők, milyen felbontásúak és formátumúak. Ugyanitt kell megadni az ideiglenes könyvtár helyét, ahova dolgozni akarunk. A többi szekció a finomhangolást szolgálja. A [grow]-ban például megadható, hogy az új lapok létrehozásához legalább hány kameraállásból kell látsszon a

rész, vagy a [filter]-ben beállíthatjuk, hogy a pontfelhőből csak azokat a pontokat vegyük figyelembe, amelyek legalább egy megadott számú fényképen szerepelnek. A [prematching] alatt lehet megmondani, hogy legalább mekkora szögeltérésű helyről készített fényképeket használjunk fel, így a közel azonos tartalmú képeket nem veszi figyelembe. A program letöltésekor több példa INI-t is megkapunk, ezek mind jól kommentelve magyarázzák el a program használatát.

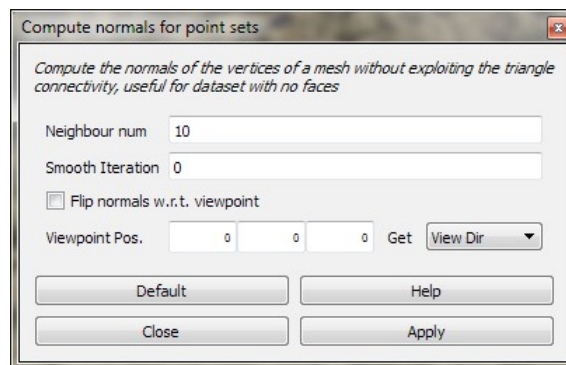
Az alkalmazás egyetlen komoly hátránya az, hogy a számításokhoz a grafikus kártya processzorát használja. Ehhez újfajta NVIDIA-gyártmányú kártya lenne szükséges. Sajnos, megfelelő hardver hiányában egyik számomra hozzáférhető számítógépen sem (otthoni és tanszéki sem) sikerült a programot lefuttatni.

A CMPMVS-nél valamivel gyengébb minőségű eredményt a MeshLab nevű nyílt forrású programmal is el lehet érni. (*MeshLab; 2012.*) A program alapvetően háromdimenziós modellezéssel foglalkozik.



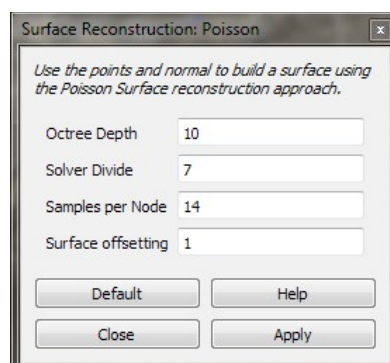
28. ábra: A MeshLab kezelőfelülete, benne a pontfelhő

A menürendszerben többféle szűrőt találunk felületgenerálásra. A *Filters* → *Remeshing, Simplification and Reconstruction* → *Surface reconstruction: Ball pivoting* menüpont tűnt először a legkézenfekvőbbnek, mert ez a pontfelhő meglévő pontjainak felhasználásával készíti el a felületet. Ennek eredményét jelenleg sajnos nem ismerem, mert alapértelmezett értékekkel indítva még négy hét elteltével sem fejezte be a számolást. Így a dolgozat leadásakor a program még mindig fut.



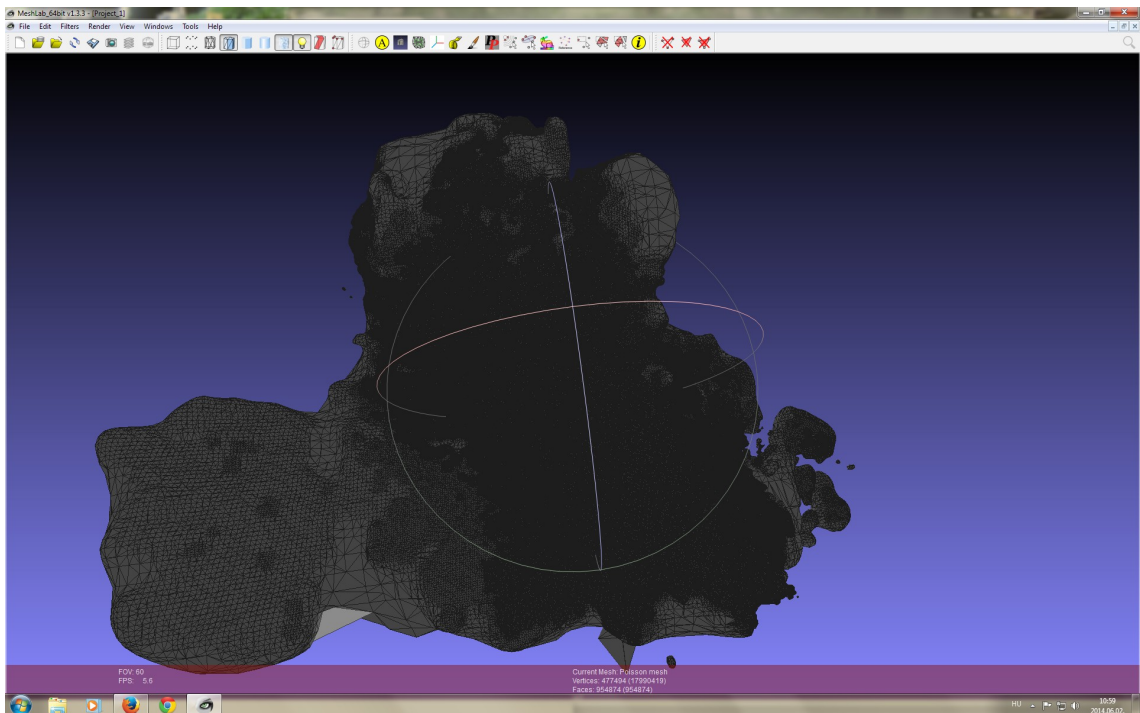
29. ábra: Normálisok számítása

Az egyszerűbb, úgynevezett Poisson-felület készítése egy közelítő megoldás. Itt egy olyan felületet kísérel meg a MeshLab előállítani, amelyhez lehetőleg a pontfelhő minden pontja közel esik. Ehhez először ki kell számítani a pontfelhő normálisait a *Filters* → *Normals, Curvatures and Orientations* → *Compute normals for point sets* menüpont segítségével. Az értékeket alapértelmezetten hagyva pár perc elteltével futott végig az algoritmus.



30. ábra: Felületgenerálás

Ezután lehetett felületet készíteni a *Filters* → *Remeshing, Simplification and Reconstruction* → *Surface reconstruction: Poisson* menüpontban. Az alapértelmezett paraméterek használhatatlanul durva közelítést adtak, ezért elfogadható eredmény érdekében ezeket megváltoztattam. Az *Octree Depth* 10, a *Solver Divide* 7, a *Samples per Node* 14 lett. Így már egészen jól közelítette a felület a pontfelhőt.

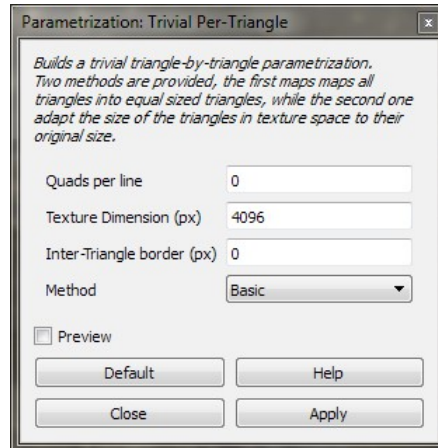


31. ábra: A kész felületmodell

A felület ebben a formájában nem tartalmaz textúrát, azaz egyszínű. A színezésre több módszer is alkalmas. A legjobb eredmény úgy érhető el, ha az eredeti fényképfelvételeket betöltjük a MeshLabba, és arról vetítjük rá a textúrát a felületre. A MeshLab megnyitja a VisualSFM kimeneti formátumát is, így a fényképeket és azok készítési helyét is be lehet olvasni. A gond ott van, hogy az állomány megnyitásakor a MeshLab több mint húsz gigabájt memóriát foglalt le. Így a számítógép az egérkurzor megmozdításától is lefagyott, majd magától újraindult.

Kisebbszámításigényű megoldás, ha nem a fényképek, hanem a pontfelhőben található pontok színei alapján készítünk textúrát. A végeredmény

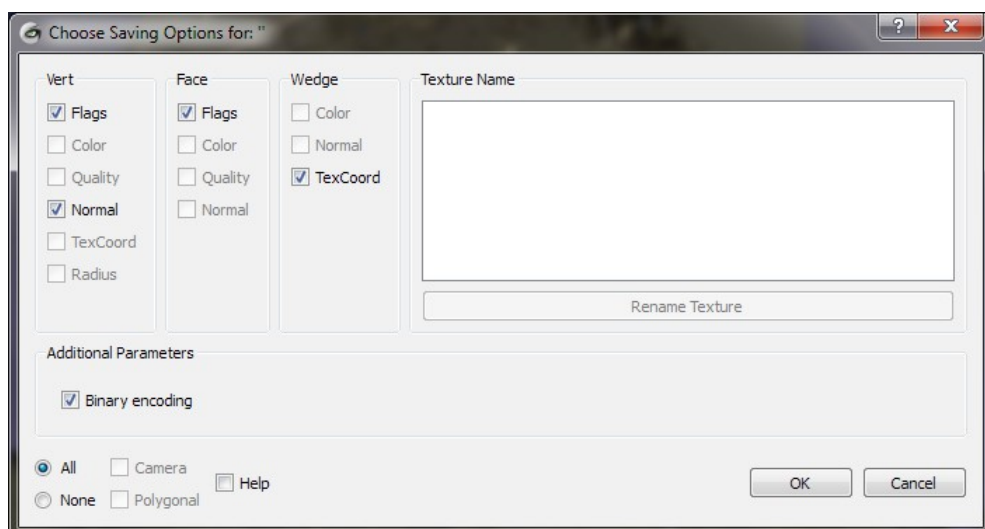
így nem olyan szép, az élek mentén világos csíkok maradnak benne, de a munkafolyamat így alig egy óra.



32. ábra: Textúra létrehozása

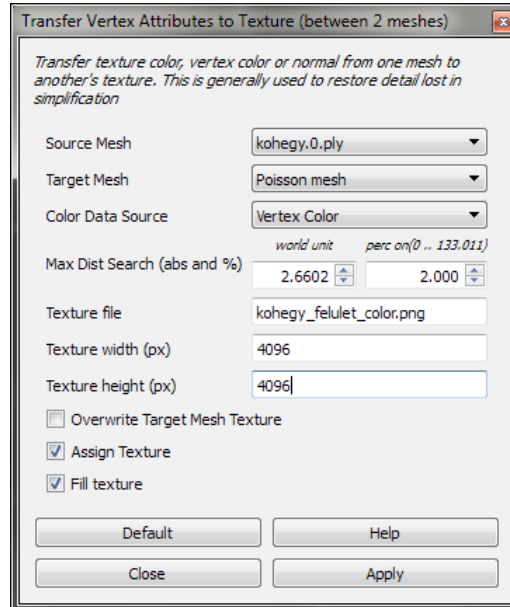
Először a *Filters* → *Texture* → *Parametrisation: Trivial Per-Triangle* menüpontban létrehoztam a textúrát. A textúra méretét 4096 képpontban határoztam meg, típusát *Basic*nek választottam. Bár a háromszögek közti határvonalat 0 pixelben határoztam meg, a vonalak mégis láthatóak maradtak.

A további munkához el kell menteni a projektfájlt, fontos hogy a mentési lehetőségeknél minden adat előtti jelölőnégyzet ki legyen pipálva, hogy semmi ne maradjon ki az állományból.

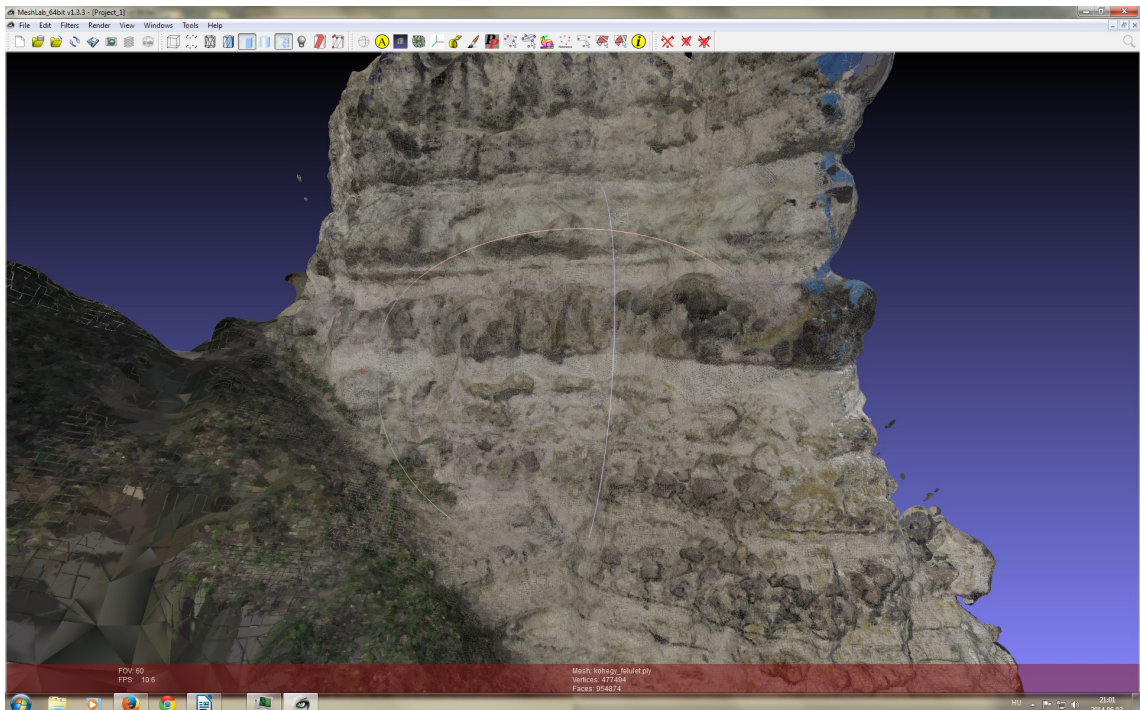


33. ábra: Mentési beállítások

Ezt követően a *Filters* → *Texture* → *Transfer Vertex Attributes to Texture (between 2 meshes)* menüpontban tudjuk a textúrafájlt kitölteni. Fontos, hogy ugyanazt a képméretet adjuk meg, mint az előző ablakban, továbbá az *Assign Texture* beállítást be kell jelölni. A munkafolyamat végén a kész felületet PLY-formátumban mentettem el.



34. ábra: Textúrázás



35. ábra: A kész felületmodell textúrázva

6. fejezet: Összefoglalás

Úgy vélem, hogy eredeti célunkat (számítások elvégzésére alkalmas modell elkészítése) annak ellenére sikerült elérni, hogy mind a mérés mind az adatfeldolgozás során számtalan váratlan nehézségbe ütköztünk.

A képfeldolgozó alkalmazások és a munkafolyamat bemutatásából látszik, hogy az ilyen célú képfeldolgozás még gyermekcipőben jár, a mai napig gondot jelent ezeknek a nagy méretű állományoknak a kezelése és a számításigény fedezése. Remélhetőleg az informatika fejlődésével ezek az akadályok a jövőben fokozatosan elhárulnak.

A dolgozatban azt is sikerült bemutatnom, hogy a fotogrammetria eljárásai rendkívül sokféle cél érdekében felhasználhatóak. Szerintem hasznos kutatási téma lehetne azt feldolgozni, hogy ezek a módszerek milyen más módokon tudnák szolgálni akár a természetföldrajzi akár a mérnöki tudományokat.

Irodalomjegyzék

AgiSoft PhotoScan <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/> utolsó

elérés: 2014. jún. 3.

Autodesk 123D <http://www.123dapp.com/> utolsó elérés: 2014. júl. 2.

BABCSÁN Gábor: Magashegységek és sziklafalak térképezése

(*diplomamunka*), ELTE TTK Térképtudományi Tanszék, 1985.

Canon PowerShot A1200

http://www.canon.hu/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_Camera/PowerShot/PowerShot_A1200/ utolsó elérés: 2014. máj. 14.

CloudCompare (version 2.5.4.1) [GPL software]. EDF R&D, Telecom

ParisTech (2014.) <http://www.cloudcompare.org/>

EPOCH 35 GNSS RTK rover

<http://www.geotools.hu/data/termek/csatoltfajl/215/EPOCH>

[%2035_HU.pdf](#) utolsó elérés: 2014. máj. 14.

FURUKAWA, Yatsuka–PONCE, Jean: Accurate, Dense, and Robust

Multi-View Stereopsis, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine

Intelligence 32. kötet 8. szám, 2010. 1362–1376. oldal

GEDE Mátyás–MÉSZÁROS János: The possible use of free on-line tools

for digitizing old relief models, e-Perimetron, Vol.7, No.2, 2012.

GEDE Mátyás–MÉSZÁROS János: Digital Archiving and On-line

Publishing of Old Relief Models, The Cartographic Journal, Vol. 50 Iss. 3, 2013.

HANEBERG, William C.: Using close range terrestrial digital

photogrammetry for 3-D rock slope modeling and discontinuity mapping

in the United States, Springer-Verlag, 2008.

JANATA Károly: Visegrádi-hegység kialakulása

<http://www.pilisinfo.hu/visegradi-hegyseg> utolsó elérés: 2014. márc. 4.

- JANCOSEK, Michal–PLAJDA, Tomas:** *Multi-View Reconstruction Preserving Weakly-Supported Surfaces*, CVPR 2011 — IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011.
- KÄÄB, A.–HAEBERLI W.–GUDMUNDSSON, G. Hilmar:** *Analysing the Creep of Mountain Permafrost using High Precision Aerial Photogrammetry: 25 Years of Monitoring Gruben Rock Glacier, Swiss Alps*, Permafrost and Periglacial Processes, Vol. 8., 1997.
- KARÁTSON Gábor:** *Magyarország földje kitekintéssel a Kárpát-medencére*, Magyar Könyvklub, 1997.
- KERSTEN, Thomas P.–LINDSTAEDT, Maren:** *Generierung von 3D-Punktwolken durch kamera-basierte low-cost Systeme — Workflow und praktische Beispiele* Terrestrisches Laserscanning 2012., Augsburg, https://www.hcu-hamburg.de/fileadmin/documents/Geomatik/Labor_Photo/publik/dvw_sch_riftenreihe_tls2012_kersten_lindstaedt.pdf utolsó elérés: 2014. ápr. 30.
- KRAUS, Karl:** *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998.
- LERMA, José Luis–NAVARRO, Santiago–CABRELLES, Miriam–VILLAVEDE, Valentín:** *Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study*, Journal of Archaeological Science Vol. 37, Iss. 3, 2010.
- Magyarország természeti földrajza**
http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/atfk/tematikak/MATEMATIKA_TERM.TUD.TANSZEK/temtan/Magyarorsz_g_term_szeti_f_ldrajz_a_k_zirat2.doc utolsó elérés: 2014. márc. 4.
- MÉLYKÚTI Gábor:** *Fotogrammetria*, BME Építőmérnöki Kar, 2007.
- MeshLab:** *A tool developed with the support of the 3D-CoForm project*
<http://meshlab.sourceforge.net/> utolsó elérés: 2014. jún. 2.
- MEZŐSI Gábor:** *Magyarország természetföldrajza*, Akadémiai Kiadó, 2011.
314–316. oldal

Microsoft PhotoSynth. Capture your world in 3D

<http://www.photosynth.net/>

SIKOS Károly Álmos: *Sziklafalak háromdimenziós digitális*

rekonstrukciója, ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, 2011.

SNAVELY, Noah–SEITZ, Steven M.–SZELISKI, Richard: *Photo*

Tourism: Exploring image collections in 3D, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2006), 2006.

TDS Nomad Specifications 2009.

<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document->

[472932/Nomad Specs 2009 JAN.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-472932/Nomad_Specs_2009_JAN.pdf) utolsó elérés: 2014. máj. 14.

WU, Changchang: *VisualSFM: A Visual Structure from Motion System*

2011., <http://ccwu.me/vsfm/> utolsó elérés: 2014. ápr. 30.

Ábrajegyzék

1. ábra: Torzulások a fotogrammetriában (Mélykúti; 2007.).....	5
2. ábra: A térlátás elve (Mélykúti; 2007.).....	6
3. ábra: Kétlépéses tájékozás. (Kraus; 1998.).....	7
4. ábra: A PhotoSynth kezelőfelülete (Sikos; 2011.).....	8
5. ábra: A Cubify kezelőfelülete, a párhuzamos vonalak nem tartanak össze az axonometrikus nézet miatt (Gede–Mészáros; 2013.).....	9
6. ábra: Az 123D Catch kezelőfelülete (Gede–Mészáros; 2013.).....	10
7. ábra: Részlet a sziklamászó térképből (Babcsán; 1985.).....	12
8. ábra: Kőfejtő modellje a Kis-Gerecséből (Sikos; 2011.).....	13
9. ábra: Vetők dőlésszögének meghatározása fotogrammetriai úton (Haneberg; 2008.).....	14
10. ábra: A kőár függőleges elmozdulásának változása (Käab–Haerberli–Gudmundsson; 1997.).....	15
11. ábra: Fényképek alapján előállított modell eltérése a lézerszkenneltől különböző alkalmazásokban (zöld szín 5 mm alatt) (Kersten–Lindstaedt; 2012.).....	16
12. ábra: Digitalizált dombortérkép (Gede–Mészáros; 2012.).....	17
13. ábra: Andezittornyok a Kő-hegyen (a szerző felvétele).....	18
14. ábra: Színes papírral megjelölt illesztőpont.....	20
15. ábra: Nomad kontrollor (http://www.geooptic.ru/Remote-Control/Nomad-800B-Pro-GNSS/).....	20
16. ábra: EPOCH 35 GNSS-vevő (EPOCH 35 GNSS RTK rover; é. n.).....	21
17. ábra: Canon A1200 fényképező (Canon PowerShot A1200; é. n.).....	22
18. ábra: A felmért sziklatorony és a szintezőlécünk.....	23
19. ábra: A képek a VisualSFM programban.....	24
20. ábra: A képek relatív tájékozása.....	25
21. ábra: Pontfelhő-sűrítés eredménye.....	26
22. ábra: Illesztőpontokat tartalmazó állomány.....	26

23. ábra: A CloudCompare kezelőfelülete.....	27
24. ábra: Illesztőpontok a CloudCompare-ben.....	27
25. ábra: Referencia kiválasztása.....	28
26. ábra: Illesztőpontok megjelölése.....	28
27. ábra: A transzformáció mátrixa.....	29
28. ábra: A MeshLab kezelőfelülete, benne a pontfelhő.....	30
29. ábra: Normálisok számítása.....	31
30. ábra: Felületgenerálás.....	31
31. ábra: A kész felületmodell.....	32
32. ábra: Textúra létrehozása.....	33
33. ábra: Mentési beállítások.....	33
34. ábra: Textúrázás.....	34
35. ábra: A kész felületmodell textúrázva.....	34

Köszönetnyilvánítás

Jelen dolgozat nem jöhetett volna létre a körülöttem lévő emberek segítségével nélkül. Hálás köszönettel tartozom mindenk előtt Mészáros János konzulensemnek, aki idejét és fáradságát nem kímélve türelmesen segédkezett mind a terepi munkálatok és azok feldolgozása során, mind a szakirodalom felkutatásában. Nem feledkezhetek meg arról sem, hogy rendszeres konzultációink során számtalan ötletet adott a dolgozat tartalmára és stilisztikájára vonatkozóan.

Szintén meg kell köszönjem évfolyamtársamnak, Kis Rékának hogy a témaválasztás idején rávezetett, hogy milyen témával foglalkoznék szívesen. A terjedelem korlátai miatt név szerint nem említhetem azokat a közeli barátaimat, rokonaimat és évfolyamtársaimat, akik a dolgozat befejezésére biztattak és támogatásukkal átsegítették a munka kilátástalan és csüggesztő időszakain. Buzdításuk nélkül biztosan nem készült volna el ez a mű.

Nyilatkozat

Alulírott, **Kerkovits Krisztián András (Neptun kód: EQBZR2)** nyilatkozom, hogy jelen dolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A dolgozatomat sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A diplomamunkámban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott diplomamunka PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2014. június 6.

.....
(a hallgató aláírása)