



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

APOLLO-11 LESZÁLLÁS ELEMZÉSE A HOLDKOMPBÓL KÉSZÜLT FILMFELVÉTEL ALAPJÁN

Szerző:

Pusztai Henrik Antal

földmérő és
földrendező mérnök
BSc. szak, II. évf.

Konzulens: **Molnár Gábor Péter**
egyetemi docens

Budapest, 2022



Tartalomjegyzék

1	A HOLD ÉS AZ APOLLO-PROGRAM	3
1.1	Motiváció és a Hold	3
1.2	A Hold mint égitest adatai	4
1.3	A Hold kutatása és a Ranger szonda.....	5
1.4	Az Apollo-program.....	7
1.5	Az Apollo-11.....	10
2	ADATOK	13
2.1	A film és a kamera adatai	13
2.2	Lunar Reconnaissance Orbiter képek és WMS adatok.....	15
3	MÓDSZEEREK.....	17
3.1	A film kiválasztása és feldolgozása	17
3.2	Agisoft Metashape bemutatása és a modell megalkotása	20
4	EREDMÉNYEK.....	21
4.1	A modell elkészítése	21
4.2	A georeferált térkép elkészítése.....	25
5	DISZKUSSZIÓ	28
6	ÖSSZEFOGLALÓ	30
7	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	31
	IRODALOMJEGYZÉK.....	32

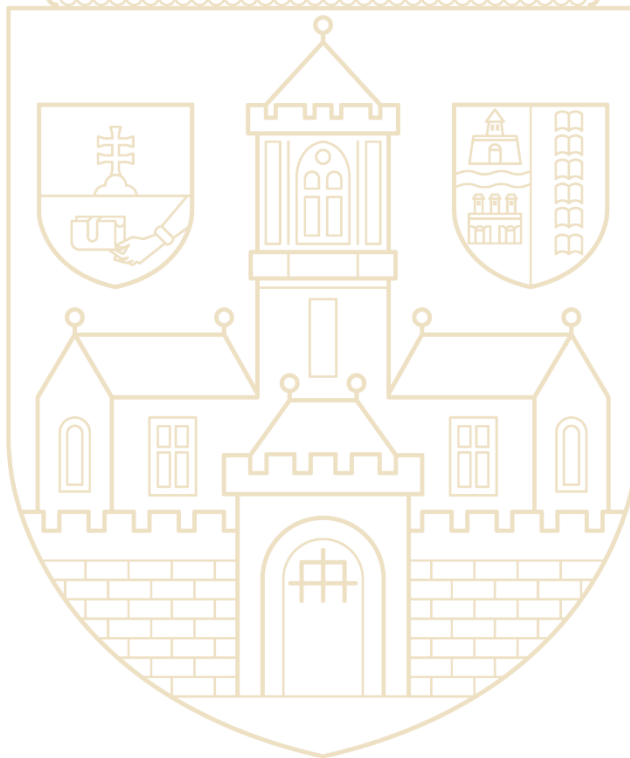


1 A HOLD ÉS AZ APOLLO-PROGRAM

1.1 Motiváció és a Hold

Témámnak azért választottam az első holdra szállást, mert már kiskorom óta izgat a csillagászat és az űrkutatás. A tévében mindig érdeklődően és kíváncsian figyeltem Neil DeGrasse Tyson műsorait. A kedvenc műsorom tőle a Cosmos.

A Hold keletkezésének történelme nem újkeletű probléma: a tudósok több, mint egy évszázada foglalkoznak vele. A nagy információrobbanást a Holdról az Apollo-program indította el, ezt az expedíciót a következő fejezetekben fogom tüzetesebben kifejteni. A Földre hozott holdi kőzetek vizsgálata után a tudósok arra következtettek, hogy a Hold körülbelül 4,5 milliárd éves lehet. Ezek a kőzetminták nagyfokú azonosságot mutatnak a földi mintákkal. Tehát ebből arra lehet következtetni, hogy a két égitest egyszerre alakulhatott ki, vagy csak minimális eltéréssel. A Föld keletkezését körülbelül 4,57 milliárd évre becsülik.





1.2 A Hold mint égitest adatai

A Hold számunkra fontos adatai:

- A Hold sugara 1 737,4 kilométer; ez a Föld sugarának a 0,273 ezred része.
- A Hold gravitációs vonzásának az ereje: $1,62 \text{ m/s}^2$.
- A keringési ideje 27 nap, tehát ez azt jelenti, hogy a Hold 27 nap alatt kerüli meg teljesen a Földet.
- A Hold kötött keringést végez, tehát mindig ugyanazt az oldalát mutatja a Föld felé.
- A Földtől mért távolsága Földközeli: 363 104 kilométer.
- A Földtől mért távolsága Földtávolban: 405 696 kilométer.

A Holdnak több keletkezési elmélete is van. Ezeknek az elméleteknek nagyon sok vizsgálaton be kell bizonyítaniuk, hogy megállják a helyüket a világról alkotott képünkben. Például magyarázatot kell adnia a két égitest különbségére és azonosságára, bolygók és holdak felépítésére és pályajellemzőire többek között. Teljesen elfogadott elmélet még nem született, de a legígéretesebb az úgynevezett óriási ütközés, bár ennél is van néhány megválaszolatlan kérdés. [1]



2022. év utolsó előtti teliholdja. A képet egy ZWO Asi 178MC és egy Skywatcher 114/500 Newton távcső segítségével készült
Baján. [2]



1.3 A Hold kutatása és a Ranger szonda

A Hold vizsgálata az emberiséget már a kezdetektől izgatja. Először még csak szabad szemmel vizsgálták az égitestet. Így is sok információt le tudtak szűrni belőle, mint például a telihold, holdfogyatkozás idejét, a Hold keringési pályáját és idejét. Gondoljunk bele az ősi egyiptomi elméleteinkbe: a fáraók ezt a tudást használták ki a népük megtévesztésére.

A Hold felszínéről a távcsövek feltalálásával tudtunk meg többet. Ilyenkor már a közepes és kisebb krátereket is meg tudtuk vizsgálni tüzetesebben. Az ember fejlődésével a távcsövek is fejlődtek, mint például manapság és a múlt században is hatalmas csillagvizsgáló obszervatóriumokat építettek.

A következő szint a fejlődésben az űrszondák megépítése, kilövése és pályára állítása volt. Ezzel a módszerrel sokkal közelebről és nagyobb részletességű képeket, felvételeket tudunk készíteni. Ilyen volt például a Szovjet Luna-3-as is. Ez a szonda készített először képet a Hold azon feléről, amit a Földről nem láthatunk.

A Ranger-program volt az első amerikai kísérlet, amivel a Hold felszínéről közeli képet készítettek. A szondákat 1961. augusztus 23. és 1965. március 21. között lőtték fel. Ezeket a műszereket úgy tervezték, hogy egyenesen a Hold felszínébe fognak csapódni. Mindaddig, amíg be nem csapódik a szonda, fényképeket fog készíteni és visszaküldi a Földre. Minden Ranger szondához 6 darab kamerát rögzítettek. A kamerákat két fő csoportra osztották a P (partial-részleges) és az F(full-teljes) csoportra. Mind a két résznek saját tápegysége volt, ami az energiaforrást biztosította. Az F csatornának két kamerája volt az A széleslátószögű és a B keskenylátószögű kamera. A másik csoportba tartozott a P1; P2-es keskenylátószögű és a P3; P4-es széleslátószögű kamera. Ezek a képek a Földről készült képeknél 1000-szer jobb felbontású képeket készítettek.

Néhány adat a Ranger szondákról [3]:

- Ranger 1-Ranger 6

Kilövések időszaka: 1961. augusztus 23 - 1964. január 30.

Kimenete: sikertelen kísérletek

Okok: nem hagyta el a Föld légkörét, megszakadt a kapcsolat, szekvenciális meghibásodás, a kamerák meghibásodtak



- Ranger 7

Kilövés dátuma: 1964. július 28.

Becsapódott a Holdba 1964. július 31-én.

- Ranger 8

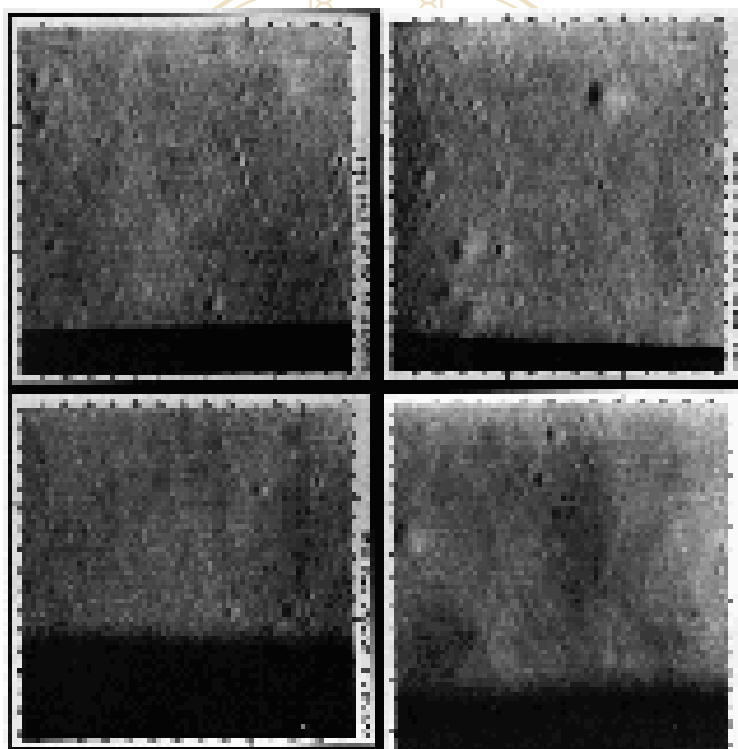
Kilövés dátuma: 1965. február 17.

Becsapódott a Holdba 1965. február 20-án

- Ranger 9

Kilövés dátuma: 1965. március 21.

Becsapódott a Holdba 1965. március 24-én



Ezt a képet készítette a Ranger 7 utoljára a becsapódása előtt. [4]



1.4 Az Apollo-program

Az Apollo-program elindításában nagy szerepe volt a hidegháborúnak, azaz a Szovjetunió és az Amerikai Egyesült Államok (USA) közötti konfliktusnak. Az űrkutatás és az abban elért eredmények az adott rendszer felsőbbrendűségét voltak hivatottak demonstrálni. Ilyen elsőség volt például az első ember az űrben (Jurij Alekszejevics Gagarin), az első nő az űrben (Valentyina Vlagyimirovna Tyereskova), az első idegen égitestre lépő ember (Neil Armstrong) és így tovább.

Az Apollo-programmal kapcsolatosan John F. Kennedy az USA 35. elnöke azt mondta „We choose to go to the Moon”, ami azt jelenti: „Úgy döntünk, hogy a Holdra megyünk”. [5] Tehát ezt a kérdést az Amerikai Egyesült Államok nagyon komolyan gondolta.

Az Apollo-program (a repülés dátumát figyelembe véve) az USA harmadik nagy programja volt, de ha a kilövés pillanatát nem vesszük figyelembe, akkor a második. Nagyon sok előkészületet igényelt a munka. Az egész 1961 és 1972 között zajlott le. A program célja az volt, hogy embert juttassanak a Hold felszínére. Volt egy mögöttes célja is, amint már említettem: az Amerikai Egyesült Államok jó hírnevének a visszaállítása, tekintettel arra, hogy az Apollo előtt az űrversenyben eredményeket többségében a Szovjetunió nyerte. [6]

Az Apollo-1 űrkompban három ember utazott: Gus Grissom, Ed White, Roger Chaffee. 1967. február 21-én lőtték volna fel, de erre soha nem került sor, mert 1967. január 27-én egy startszimulációs teszt folyamán tűz ütött ki a kabinban és mind a hárman bent égtek.

Ezen szerencsétlenségek miatt az Apollo-7 kilövéséig nem is próbálkoztak azzal, hogy ember legyen az űrhajóban. Az Apollo-6 volt, amivel teljesen kifejlesztették a Saturn V-ös rakétát. Ez a rakéta körülbelül olyan magas volt, mint egy 36 emeletes épület. Ez a Saturn rakéta három fokozatból állt, és ezt fokozatosan hagyta el az út során, ahogy az adott fokozatból kifogyott az üzemanyag úgy vált le a rakétáról a súlycsökkentés szempontja miatt.

Mikor az Apollo-programban már embert is küldtek, az CSM-t (Apollo command and service module – Apollo parancsnoki és szervizmodul) használtak. Ez egy kapszula volt, és 3 személy fért el benne kényelmesen. Az űrhajósoknak volt helyük mozogni, a tér körülbelül akkora volt, mint egy autó belseje.



Egy másik űreszköz, amit még ki kellett fejleszteni, a LM (Lunar Module – Holdi Egység). Ez az űrhajó vitte az űrhajósokat a Hold körüli pályáról a Holdra, majd vissza a pályára.

Az egyik, ha nem a legfontosabb fejlesztés, a kisméretű számítógépek kifejlesztése volt. Erre azért volt szükség, mert a komp csatlakozásnak hatalmas számítási igénye volt. Nem mindegy, hogy a komp vagy a dokkoló egység gyorsít vagy lassít, mert akkor más pályára kerül az az egység, ami sebességváltozást hajtott végre. Ezt a szaknyelvben égi mechanikai paradoxonnak nevezik.

Elsőként a Saturn I-es rakétát alkalmazták. Ennek a magassága egy 22 emeletes ház magasságával egyezett meg. Két főbb részből állt: amikor elfogyott az üzemanyag, akkor levált az első rész és elégett a Föld légkörében. A másik rész pedig tovább szállt az űrhajóval. Ezt a rakétát csupán a kezdetekben alkalmazták, mert csak a Föld körüli pályára való állítást tesztelték vele. Viszont ezt a rakétafajtát nem használták emberi legénységen, hiszen arra a már említett Saturn V-ös rakétát alkalmazták.

Az Apollo-program azon részei, amikor ember ült a kompban, és az eredményei, az Apollo-11-el bezárólag [7]:

- Apollo-7
Ideje: 1968. október 11-22.
Küldetés: Tesztelték a parancsnoki modult.
Legénység: Schirra, Eisele, Cunningham
- Apollo-8
Ideje: 1968. december 21-27.
Küldetés: Elsőként a Hold körüli pályára
Legénység: Borman, Lovell, Anders
- Apollo-9
Ideje: 1969. március 3-13.
Küldetés: A Holdmodul tesztelése
A személyzet: McDivitt, Scott, Schweickart
- Apollo-10
Ideje: 1969. május 18-26.



Küldetés: A Hold-modul tesztelése a Hold körül

Legénység: Cernan, Young, Stafford

- Apollo-11

Ideje: 1969. július 16-24.

Küldetés: Elsőként landolt a Holdon

Legénység: Armstrong, Aldrin, Collins

Ezek után még hat expedíciót hajtott végre az USA. A legtöbbnél minden rendben ment, kivéve az Apollo-13-nál. Nem tudtak leszállni a Hold felszínére, mert meghibásodott az űrhajó. Ezért a NASA (National Aeronautics and Space Administration- Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal)-nak ki kellett valamit találnia, hogy a legénységet biztonságban vissza tudják hozni a Földre. Ezt számos film és sorozat feldolgozta, például az egyik az 1995-ben megjelent Apollo 13 című film volt.

SATURN V



A Saturn V rakéta felépítése. [7] Ezzel a rakétával hajtották végre az Apollo-program azon részeit, ahol ember lépett a Hold felszínére, és az Apollo-13-nál is ezt alkalmazták.



1.5 Az Apollo-11

Az Apollo-11 nem vállalkozott kisebb feladatra, mint a John F. Kennedy elnök által 1961. május 25-én kitűzött nemzeti cél megvalósítására. Azaz arra, hogy a legénység leszállást hajt végre a Hold felszínén, majd vissza is jön a Földre épségben. Továbbá a célok között még az is szerepelt, hogy tudományos célokra közetmintákat gyűjtsenek (ebből sikerült is 21 kilogrammot hazahozni a Földre), napszél összetett kísérleteket végezni, a lézeres távmérő sugarát visszaverő prizmat elhelyezni a Hold felszínén és egy szeizmikus kísérleti csomagot telepíteni. A feladatok közt még az is szerepelt, hogy a Hold felszínét is le kell fotózni alaposan és minden egyes tárgyat, amit elvittek. [8]

A rakéta a Saturn V-ös nevet viselte, erről már esett szó, de ebben a fejezetben részletesebben is kifejtem. Ennek a rakétának a magassága 111 méter, a startra kész tömege 2800 tonna, 140 tonna hasznos terhet tud alacsony Föld körüli pályára állítani és 45 tonnát akár a Holdig is képes elszállítani. Az első fokozat öt darab hajtóműből áll és ezek együttesen 34,5 Meganewton tolóerőt képesek kifejteni. De, ami még ennél is fontosabb, hogy a tesztelések folyamán száz százalékos megbízhatóságot mutatott. A Saturn V-ös rakéta első szakasza 770 ezer liter kerozint égetett el, amihez 1,2 millió liter folyékony oxigént használt, és ezt mind 2 perc 42 másodperc alatt fogyasztotta el. [7]

A parancsnoki modulról már volt szó, de most ki szeretném fejteni részletesebben. A gyártója a North American Rockwell volt. Ez a modul az Apollo-11 űrhajójának az egyike volt a 3 részből. A másik két rész a Service Module és a Lunar Module volt. A Service Module az űrhajó fő meghajtórendszerét és fogyóeszközöket tartalmazta, míg a Lunar Module volt a kétszemélyes jármű. A parancsnoki modul volt az egyetlen olyan része, amely visszatért a Földre. Volt egy beceneve is, ami így hangzott „Apollo 11 Command Module Columbia”. A kabin főbb adatai [9]:

- Teljes méret: $271,8 \times 391,2$ cm, 4141,3 kg
- Származási helye: Amerikai Egyesült Államok
- Megtekinthető: National Air and Space Museum Collection



Az Apollo-11 parancsnoki modul. [10] Csak ez az egyetlen egység, ami visszatért az Apollo-11 űrhajóból. Ez az a modul, ami irányított zuhanással belecsapódott a Csendes-óceánba.

A misszió 1969. július 16-án UTC (Universal Time Coordinated-egyezményes koordinált világidő) 13 óra 32 perckor indult el a Kennedy-fokról. A legénység 3 tagból állt Michael Collins (parancsnoki modul pilóta), Edwin Aldrin (holdmodul pilóta) és Neil Armstrong (parancsnok).



Apollo-11 a kilövés pillanatában. [11] 1969. július 16. EDT (Eastern Daylight Time-keleti nappali idő) 9:32



A hold modulnak lett volna egy pontos területe, ahol le kellett volna szállnia. Ezt a területet a parancsnok viszont veszélyesnek találta a leszállás szempontjából. Ezért manuálisan elvezette egy általa biztonságosabbnak vélt landolási területre. A modul nem egyenletesen szállt le a Hold felszínére, hanem a számítógépek mindig korrigálták a röppályát az ütközés elkerülése és a finom landolás érdekében. A landolás koordinátái: $0^{\circ}41'15''$ N $23^{\circ}26'$ E. Ezek a koordináták azért néznek ki így, mert a Holdnak van egy saját koordináta-rendszere, ami fok perccel másodpercben értendő. Ennek az origója megközelítően a Mösting-kráter. 1969. július 20-án, greenwichi idő szerint 20 óra 17 perc 40 másodperckor leszállt a holdkomp a Hold felszínére. Majd 1969. július 21-én 2 óra 56 perc 15 másodperckor Neil Armstrong a Hold felszínére lépett a szkakfanderében, és ekkor hangzott el az a híres mondás „Small step for man big step for mankind.” („Kis lépés az embernek, hatalmas ugrás az emberiségnek.”) – Neil Armstrong 1969. A visszatérési eljárásokat július 24-én kezdték meg, 44 órával a Hold körüli pálya elhagyása után. A földi célterület rossz időjárása miatt a leszállási pont körülbelül 42 kilométerrel módosult. Az Apollo-11 1969. július 24-én irányított zuhanással landolt a 13 fok, 19 perc északi szélességi fokon és a 169 fok, 9 perc nyugati hosszúsági ponton. Az Apollo-11 irányított zuhanással a Csendes-óceánban ért Földet, 21 kilométerre a USS Hornet mentőhajótól. [8] A Holdon az Apollo-11 legénysége 21 óra 36 percet töltött. A holdséta 2 óra 31 percig tartott, ezen idő alatt 1 kilométert tettek meg.

Az Apollo-program keretében az emberek 299 óra 32 percet töltöttek a Holdon. Holdsétával pedig 80 óra 26 percet, és ennyi idő alatt 95,7 kilométert tettek meg a Hold felszínén. 379,5 kilogramm holdi kőzetet hoztak a Földre. Ezekből az ásványkincsekből számos ország kapott tudományos célokra. [6]

2 ADATOK

2.1 A film és a kamera adatai

Az Apollo-11 holdra szállását egy fixen rögzített, a Holdi Egység ablakában elhelyezett Maurer 16 mm-es adatgyűjtő kamerával vették fel.

- A származási helye az Amerikai Egyesült Államok.
- Gyártotta a JA Maurer, Inc.
- A test anyaga: alumínium, acél, műanyag.
- A lencse anyaga: alumínium, műanyag, üveg.
- Kamera méretei: $15,8 \times 5,7 \times 12,9$ cm.

A kamera 1 képkocka per másodpercben is tudott rögzíteni, de ezen kívül még 6, 12, 24 FPS (Frame per second – Képkocka per másodperc) -ben is képes volt felvételt készíteni. Az a kamera, amely a Hold felszínét vette fel egy 18 milliméteres objektívvel volt felszerelve. A másik viszont csak egy 10 milliméteres objektívvel volt ellátva, erre azért volt szükség, mert csak az űrhajó belterét rögzítették képkockákra. A NASA 1970-ben átadta ezt a kamerát a Smithsonian Museumnak. [12]



Maurer 16 mm-es adatgyűjtő kamera. [12] Kettő darab ilyen kamerát vittek fel az űrbe, az egyik a CSM míg a másik az LM modulban volt elhelyezve. 1,27 kg-ot nyom egy ilyen kamera.



Az állóképek készítéséhez két módosított Hasselbad 500 EL 70 mm-es filmes fényképezőgépet használtak, ezek a kamerák láthatók az űrhajósok ruhájára szerelve. Az egyik az a hold modulban maradt, és 80 mm-es Zeiss Planar objektívet használt. A másikat a Hold felszínén használták, és ezüst bevonattal védte a hőtől. Ehhez Zeiss Biogon f)5,6 60 mm-es széles látószögű objektívet használtak.

A landolási videó 6 képkocka per másodpercben lett filmre rögzítve. A filmet két nagyobb részre osztottam: az átfordulás előtti és utáni szakaszra. Az első hossza körülbelül hat perc, a második szakasz hossza pedig három perc. A felvétel sohasem merőleges a Hold felszínére, mindig egy bizonyos szögben tekint rá. A film nagy részét a holdkomp kitakarja, így fontos információkat veszítve a Holdról.



Az átfordulás utáni felvételtől kivágott képkocka. [13] Kis mértékben módosítva a filmkocka. A széleken látható fekete sávoktól megtisztítva.



2.2 Lunar Reconnaissance Orbiter képek és WMS adatok

2009 júniusában a NASA felbocsátotta a Lunar Reconnaissance Orbiter nevű robotűrhajót, amely jelenleg is 50-200 km magasságban kering a Hold körül. Az LRO elsődleges célja, hogy alapvető tudományos felfedezéseket tegyen a Holddal kapcsolatban, és a számára látható Apollo leszálló egységeken a mozgást/süllyedést vizsgálja. A Lunar Reconnaissance Orbiter Camera vagy LROC egy három, a Lunar Reconnaissance Orbiterre felszerelt kamerából álló rendszer, amely nagy felbontású fekete-fehér képeket és közepes felbontású többspektrális képeket készít a Hold felszínéről. Az LROC két keskeny látószögű kamerából áll, amelyek 0,5 méteres léptékű pankromatikus képeket biztosítanak 5 km-es sávon, és egy széles látószögű kamerából, amely 100 méter per pixel léptékű képeket biztosít 7 szélessávban.

Az LRO fedélzetén található 7 műszer. Az általuk begyűjtött információ mennyisége lehet akár napi 155 GByte vagy évi 55 TByte. Ezeket az adatokat az egyes műszerek Science Operation Center dolgozza fel, a végtermékeket pedig a NASA Planetary Data System rendszerébe továbbítják. [14]

Az űrszonda jelenlegi elliptikus pályája olyan képfelbontást eredményezett, amely az egyes helyeken kissé eltérő volt. Mivel az ereszkedő szakasz fedélzete körülbelül 365,76 centiméter átmérőjű, maguk az Apollo-maradványok körülbelül 9 pixeles területet töltenek ki. Mivel azonban a képek készítésekor a Nap alacsonyan járt a horizonton, még a domborzat finom eltérései is hosszú árnyékokat vetnek. Valamivel több, mint 3 méterre a felszín felett az Apollo minden egyes ereszkedési szakasza külön árnyékot hoz létre, amely nagyjából 20 pixelt tölt ki.

Az Apollo-14 leszállóhelyének képe különösen jó megvilágítású volt, amely lehetővé tette további részletek elemzését. Kivehető az Apollo Lunar Surface Experiment Package, amelyet az űrhajósok helyeztek el a leszállóhelyen, csakúgy, mint a modul és a műszer-csomag közötti halvány nyomok, amelyeket az űrhajósok lábnyoma hagyott hátra. [15]



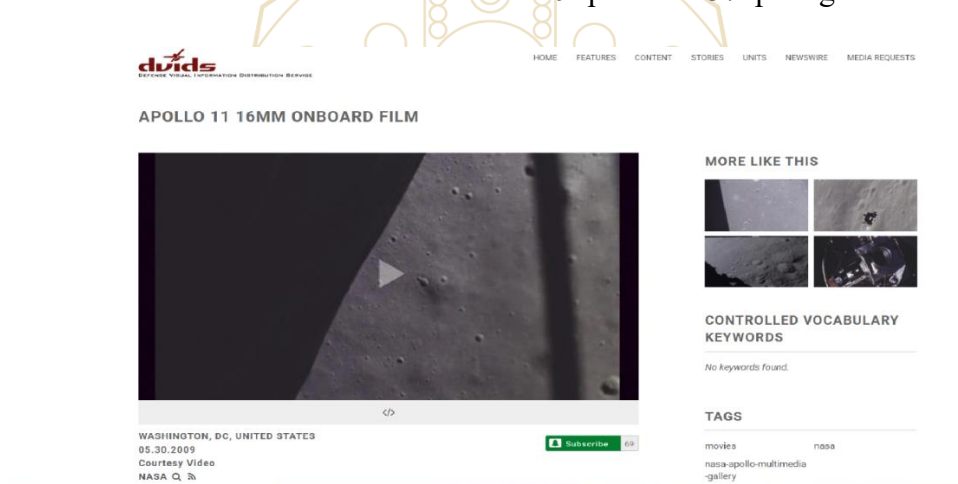
A NASA LRO és LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) űrrepülő gépei az Atlas V rakétakilövésén a Cape Canaveral légierő állomás 41-es komplexumáról.



3 MÓDSZEEREK

3.1 A film kiválasztása és feldolgozása

Nagyon sok már feldolgozott videót lehet találni az interneten, vagy éppen a kép el van forgatva a helyes irányba, még esetleg egy modell is található a videóban. Viszont ehhez a munkához olyan filmet szerettem volna választani, amiben minimális volt az utómunka. Találtam is egy ilyen videót a www.dvidshub.net-en, amit a NASA töltött fel még 2009.05.30-án. Ebben a videóban számomra sok felesleges részt találtam, mint például a dokkolás, az űrhajósok által a Hold felszínén végzett kutatások és fényképezések, a kabin belsejében való felvételek. A számomra értékes része a videónak a 29. perctől a 37. percgig tart.



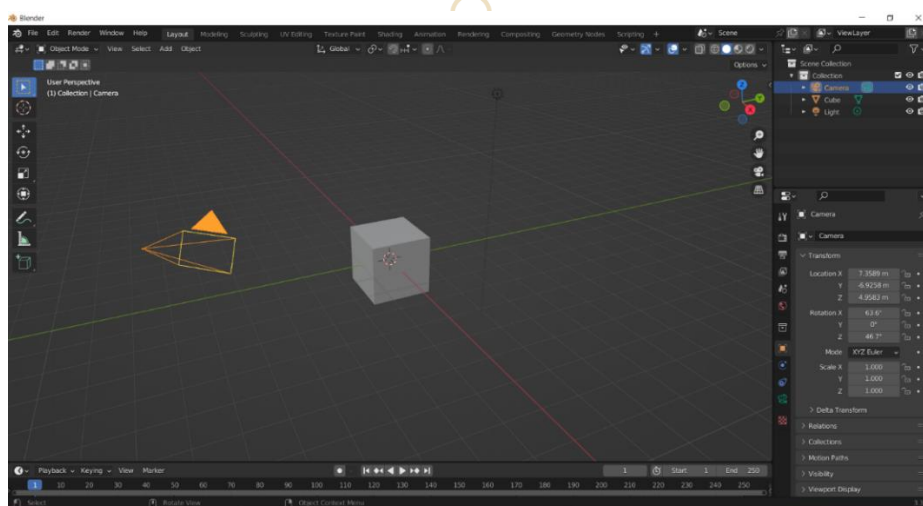
Az Apollo-11 fedélzetéből felvett filmek. [13] Ez az az website, ahonnan a felvételt töltöttem le.

A felvétel megvágását, és a képkockákra való szétszedését a Blender nevű videóvágó- és szerkesztő programmal készítettem. A Blender egy szabad, nyílt forráskódú, háromdimenziós grafikai program. Felhasználható animációs filmek, vizuális effektek létrehozására, használják művészek, alkalmazható 3D nyomtatásra, interaktív 3D alkalmazások és videojátékok létrehozására. A Blender sokféle operációs rendszerre elérhető: FreeBSD-re, Mac OS X-re, GNU/Linuxra, IRIX-re, Solarisra, NetBSD-re, Microsoft Windowsra, OpenBSD-re. [16]

A felvétel felbontása 720×720 pixel volt, de ezt átkonvertáltam 1980×1080-ba. A színmélysége a képeknek 8 bites volt. A többi személyre szabható beállítást megtartottam az alapbeállításokon. A felvételt elsőként 9000 képkockára daraboltam fel. Mivel itt túl sok lett az



azonos kép, ezért kellett írnom egy programot, ami minden negyedik képet kiválasztja és áthelyezi egy másik mappába. A képek még így is 9,8 Gbyte tárhelyet foglaltak. Ennél a programnál reguláris kifejezéseket alkalmaztam, vagyis minden négyvel osztható nevű fájlt helyezzen át. A képek kiterjesztése .tiff, és a könnyebb mozgatás céljából LZW (Lempel-Ziv-Welch) tömörítést alkalmaztam. Ezekre azért volt szükség, mert a .tiff kiterjesztésű fájlok sokkal több adatot tudnak tárolni, mint egy .jpeg kiterjesztésű, és veszteségmentes is. Az LZW tömörítést is ezért választottam, mert veszteségmentes tömörítés. Számomra ezek az opciók voltak a legoptimálisabbak.



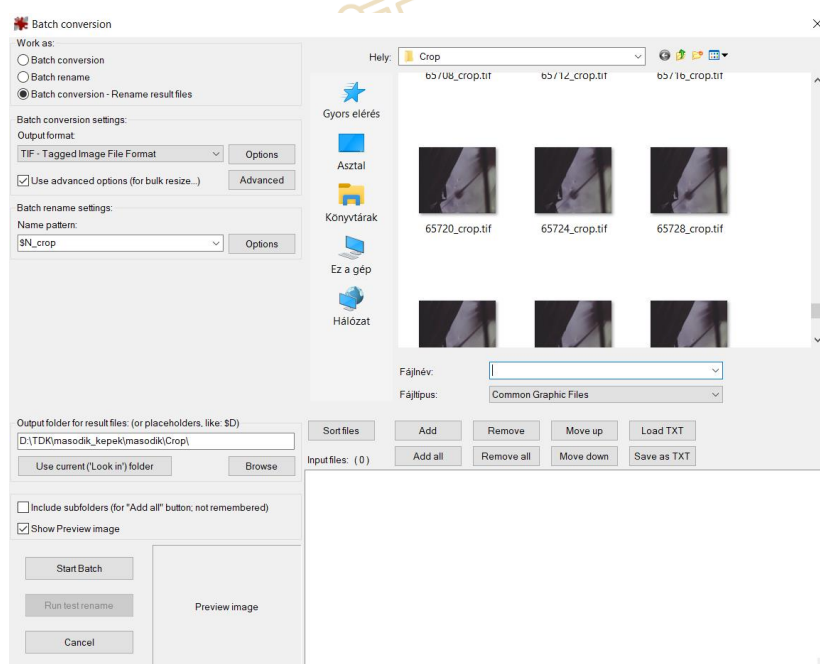
Általam készített kép a Blender-szoftverről. Ez a szoftver a képek feldarabolásánál volt nagy segítségemre.

A képkockákat a munkám folyamán mégis kellett minimálisan módosítanom, ezt a feladatot a IrfanView nevű programmal végeztem el. Az IrfanView egy népszerű ingyenes képnéző program, mellyel megjeleníteni, szerkeszteni, és tucatnyi képformátum között konvertálni lehet képfájlokat, ráadásul hang- és videofájlok lejátszására is alkalmas. A programnak nincsenek átfogó képkészítő és rajzoló funkciói, mint például az Adobe Photoshopnak vagy a GNU GIMP-nek, inkább egy kisméretű képnézőnek és lejátszónak lett tervezve. Nevét a készítőjéről, a bosnyák Irfan Škiljanról kapta. [17]

A képek szélein látható volt egy fekete sáv. Ezt el szerettem volna tüntetni róla, és azt is meg szerettem volna tudni, hogy egy kép mégis mennyi pixelből tevődik össze. Ezt a műveletet úgy kiviteleztem, hogy a programban megnyitottam egy képet és az érintett területre nagyítottam. Erre a programra azért volt szükség, mert a pixelek számát ki tudja jelezni. Ezt az értéket feljegyeztem magamnak, majd megismételtem még a maradék három helyen is. Ezáltal



ki tudtam számítani, hogy pontosan mekkora a kép, ami 1258×1080 pixelből áll össze. Az IrfanView szoftver még arra is képes, hogy kisebb módosításokat hajtson végre a képekkel - itt a már említett fekete, nemkívánatos sávoknak a levágására gondolok. Ezt a feladatot el lehet készíteni akár csak egy képkockára is. Viszont van arra is lehetőségünk, hogy egy egész mappát kijelöljünk, és a benne lévő képeket mind ugyanúgy módosítja. Az én esetemben 450 darab képről volt szó, ezért én az említett lehetőségek közül a második, időtakarékosabbat alkalmaztam.

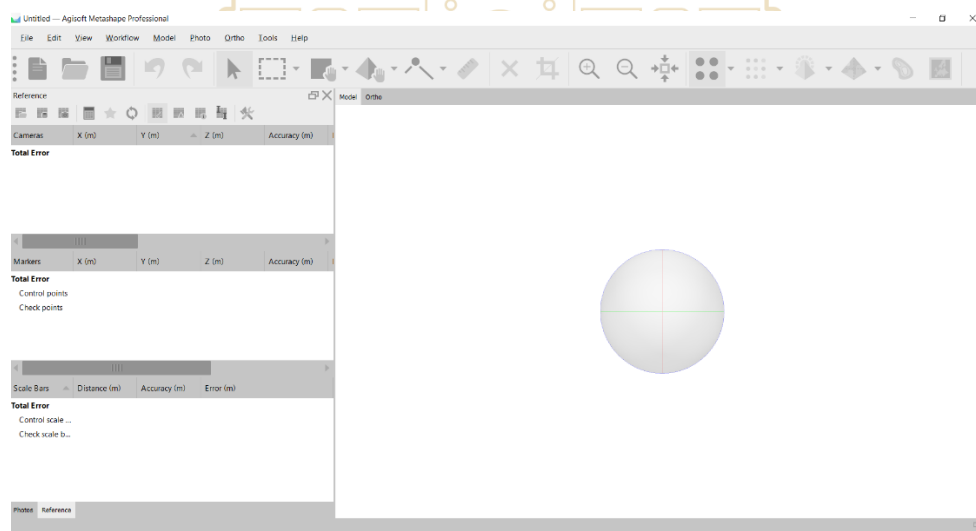


A Batch conversion az IrfanView-n belül egy menüpont. Ennek segítségével terjesztettem ki az összes képre a módosításomat.



3.2 Agisoft Metashape bemutatása és a modell megalkotása

A 2006-ban alapított, innovatív kutatócéggént a számítógépes látástechnológiára összpontosítva, az Agisoft LLC több éves intenzív kutatási-fejlesztési munkája során szakértelmet szerzett a képfeldolgozó algoritmusok terén. Többek között fel lehet használni fotogrammetriai háromszögelések feldolgozásánál, georeferált ortomzaikus generációk feldolgozásánál, földi lézerszkennelés (TLS) regisztrációk feldolgozásánál, 3D modell: generálás és textúrázás megalkotásakor és még számtalan feladat elvégzésére alkalmas a program. [18] Az Agisoft Metashape a fotogrammetriai folyamatok eszköze. A szoftver Standard és Pro változatban érhető el, a Standard verzió interaktív médiafeladatokhoz elegendő, míg a Pro verzió térinformatikai tartalom készítésére szolgál. A szoftvert az oroszországi Szentpéterváron található Agisoft LLC fejleszti. [19]

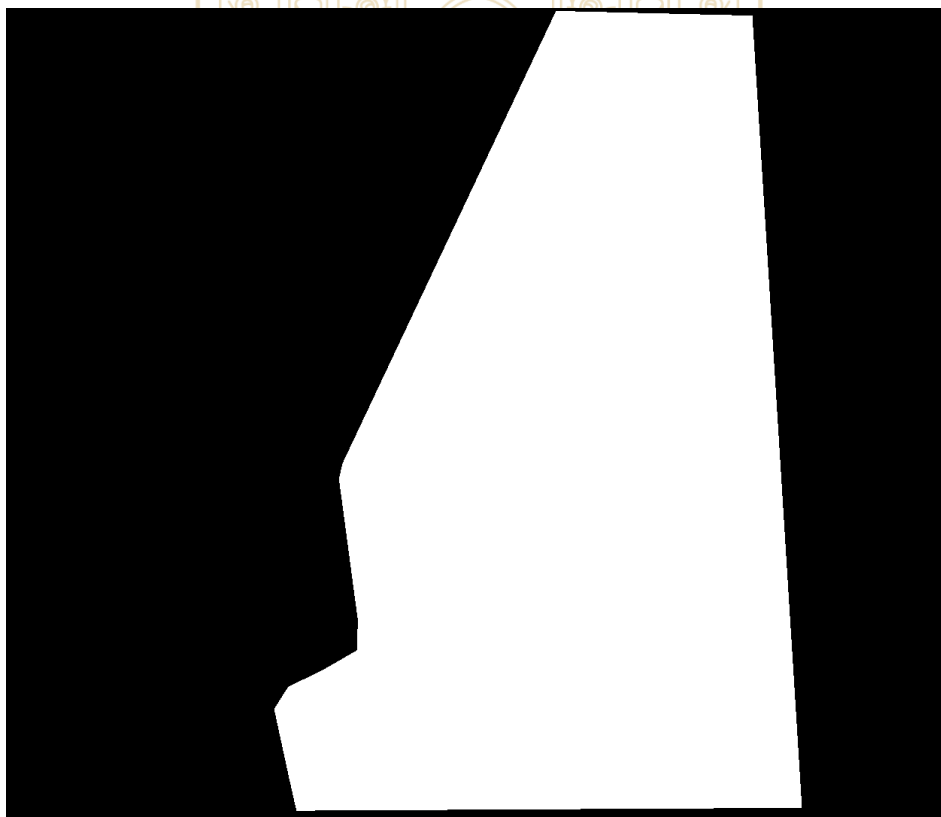


*Általam készített kép az Agisoft Metashape programról. Ebben a szoftverben lett feldolgozva a képkockákra bontott felvétel.
Ez a program a fotogrammetriai munkák elengedhetetlen része.*

4 EREDMÉNYEK

4.1 A modell elkészítése

A szoftverben elsőként a képeket vagy a képeket tartalmazó mappát kell behívni. Ezután, ha van már elkészült maszkunk akkor azt be kell importálni. Viszont ha nincs, akkor el kell készíteni. Azért van szükség a maszkra, mert a program megtalálja az azonos pontokat a képeken, és a mi összes képünkön rajta van a Holdra szálló egység. Ez problémát okozna a térmodell megalkotásánál. A létrehozása felettebb egyszerű, mert csak körbe kell rajzolni egy vonallal a nemkívánatos területet. Ha ez mind megtörtént, akkor pedig ki kell exportálni egy mappába. Viszont ha már van elkészült maszkunk, akkor a „File” menüpont alatt egy „Import” gombon belül meg lehet találni az „Import Masks” ikont. Ezen belül különböző beállításokat tudunk végezni a maszkkal kapcsolatosan, mint például az összes képre elhelyezze-e vagy csak egyre.



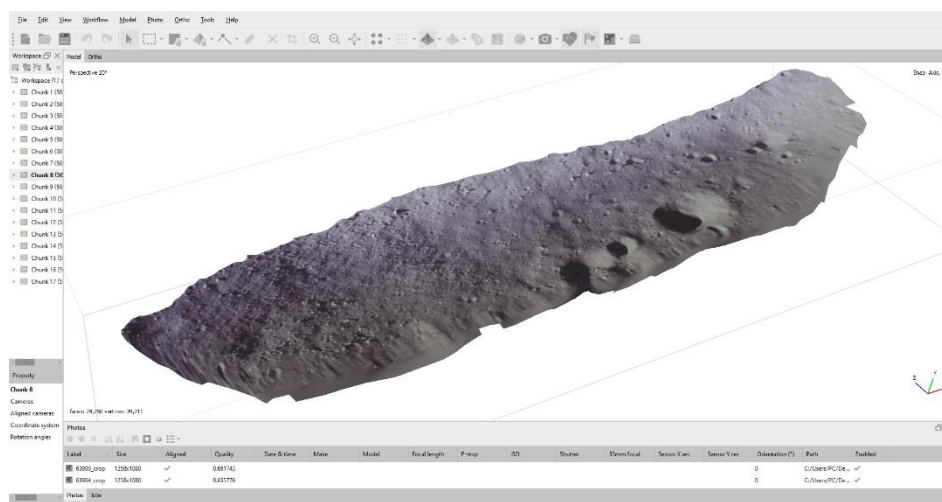
Általam készített maszk az Agiszoft Methashape programban. Arra szolgál, hogy a nem kívánatos részeket figyelmen kívül hagyja a program.



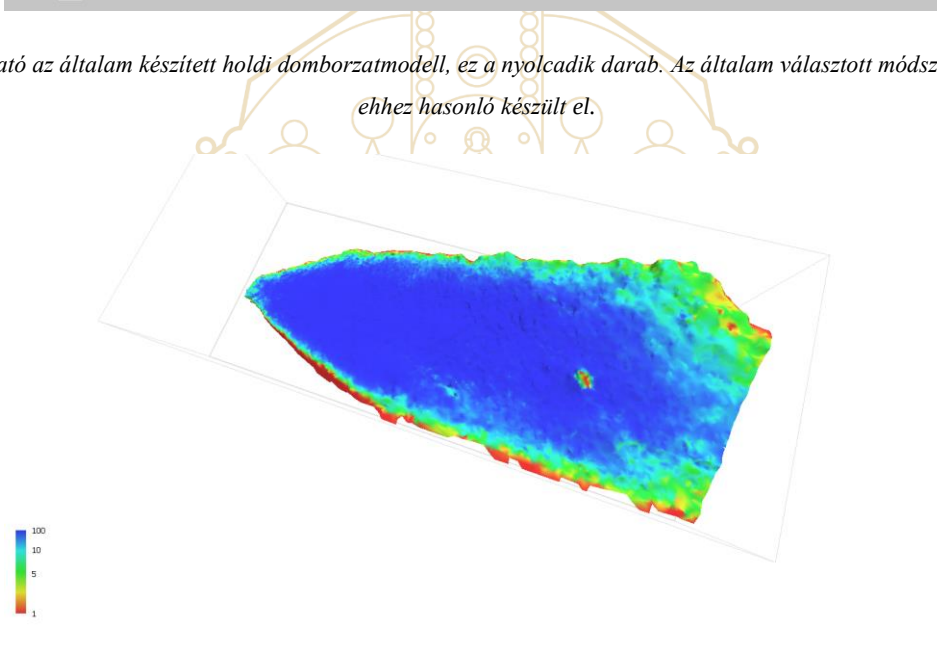
A fotók analízálása előtt még el lehet helyezni úgynevezett „Marker”-eket. Ezek jelentésüktől függően lehetnek kék, azaz a még meg nem erősített helyű; fehér, ami már vagy még nincs figyelembe véve és zöld, azaz jó helyen lévő „Marker”. E jelek még megjelennek a pontfelhőben, és a végleges térmodellben is. Természetesen kedvünk szerint ki vagy be tudjuk kapcsolni. Ezek a jelzések előzetes elhelyezése a későbbi azonosításoknál nagymértékben tudják segíteni a feladatunkat.

A következő lépés a fotók illesztése volt. Ezt a „Workflow” menüponton belül az „Align Photos” ikonon érjük el. Ilyenkor a program elemzi a képeket, és azonos pontokat próbál keresni és azonosítani két kép között. A feladat lefutásával kiírja a szoftver, hogy pontosan hány darab pontot analizált. Ezt grafikusán is meg tudjuk tekinteni úgy, hogy a képekre kattintunk. Ebben az esetben a sikertelen analízálást is megmutatja - fehér ponttal jelzi, a sikeres pontazonosítást pedig kék ponttal. Viszont ha nem a képeket nézzük, hanem a modellt, akkor már meg is jelent egy pontfelhő, ami a beazonosított pontjainkból áll. A folyamat ezen szakaszán még tudunk korrigálni az esetleges félreazonosított pontokon: ki lehet őket törölni. Viszont ha véletlen benne marad a pont, akkor sincs hatalmas baj, mert a program ezeket a pontokat kimondottan jól kezeli: nem vagy csak minimálisan veszi figyelembe a modell megalkotásakor.

A következő lépésként a modellt kell elkészíteni. Ennek az első lépése a meglévő pontfelhőnk sűrítése. Második lépésként a modellt kell megalkotni. Végül pedig a modell textúráját készíti el a program a képekből. Ezek a lehetőségek mind a „Workflow” menüponton belül találhatóak. Általában egy ilyen feladat elég időigényes, viszont nagyon függ a számítógépes hardver erejétől és a feldolgozandó képek számától. Ezeket a folyamatokat tudjuk akár automatizálni is. Ezt úgyszintén a „Workflow” menüpontban érhetjük el, a „Batch Process” ikon segítségével. Ha ide belépünk, akkor az „Add...” gombra kattintva hozzá lehet adni mindenféle feladatot, amit a program nyújt: például különböző mentések, modellek építése. Ezt a módszert egyszerre több munkára is ki lehet terjeszteni. Viszont ha nekünk valami különleges feladatra (pl. a számítógép kapcsoljon ki, ha végzett a feladatokkal) van szükségünk és írunk rá egy programot akkor azt az Agisoft Metashape-be lehet olvasni és azt is végrehajtja. A szoftverben be lehet kapcsolni azt is, hogy mutassa meg a képek helyeit. Itt egyértelműen látszik, hogy a modell rendben van-e, vagy esetleg hibás. Ezt onnan ismerhetjük fel, hogy a képek folyamatosan egymást követik.



A képen látható az általam készített holdi domborzatmodell, ez a nyolcadik darab. Az általam választott módszerrel 17 darab ehhez hasonló készült el.



A hetes modell domborzat modellje színekkel ábrázolva. A sötétkék a legmagasabb pont, a piros pedig a legalacsonyabb pont.

Az Agisoft Methashape program a modelleket háromszögelési módszerrel alkotja meg. Ezt a háromszöges modellt meg is tudjuk tekinteni a programon belül, ha kiválasztjuk a megfelelő megjelenítési módot.

A „Build Orthomosaic” is a „Workflow” menü pont alatt található meg. Viszont mielőtt meg tudnánk építeni az orthomosaic-ot a program egy kötelező mentés ablakot dob fel. Természetesen csak akkor tudunk tovább dolgozni a projektünkön, ha elmentjük az eddigi munkánkat. Az orthomosaic és a modell 50 darab képből készült el. Ezek a képek 50 százalékos



átfedésben lettek beolvasva a programba. Ezt a módszert azért választottam, mert igaz, hogy időigényesebb, viszont a későbbi kráterazonosításoknál hasznomra vált. A nagyobb kráterek akár három vagy több darab otrhomosaic-on is szerepelhetnek. Ezért van egy vagy akár több kiindulási pontom is. Például a képen látható Little West kráter is hét darab képen látszódik, persze ezek egyre torzultabban és kisebbben látszódnak, viszont kiindulásnak tökéletesek.



Általam elkészített Ortomosaic az Agiszoft Methashape programban. A képen még többek közt látszódik a Little West crater (Kis nyugati kráter) peremének egy része, amelyet az Apollo-11 Holdsétája alatt az űrhajósok meg is látogattak.



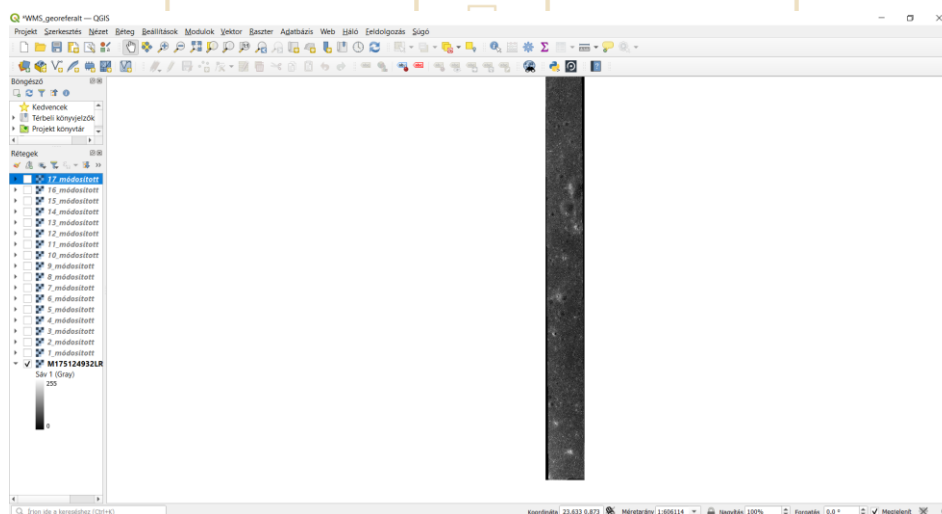
A képek nem sokkal a leszállás előtt lettek filmre véve, de még azelőtt, hogy a Holdra szálló egység hajtóművei elkezdtek volna felkavarni a holdi port.

A képek analizálásánál a program nem készített minden esetben tökéletes munkát. Ez abban nyilvánult meg, hogy a térmodelleken elhelyezkedés kráterek nem mélyedésként, hanem emelkedésként jelentek meg. Ebből arra tudok következtetni, hogy a program a holdi szürke felszínen nem feltétlen tudja az árnyékokat megfelelően kezelni.

Volt még a programon belül egy illesztő pontos próbálkozásom. Ez is fals eredményeket állított elő. Az illesztő pontokat lehelyezve a képekre holdi koordinátákkal készítettem. Ennek a próbálkozásnak a sikertelen kimenete azért lehetett, mert a képek képi koordinátákkal voltak ellátva és nem volt térbeli koordinátám. Viszont én a holdi koordinátákkal próbálkoztam eredményt elérni.

4.2 A georeferált térkép elkészítése

A modell elkészültével behívtuk a QGIS programba az M175124932LR nevű WMS kivágatot. Ennek a nagyfelbontású képnek ismertek voltak a sarokpont-koordinátái (Latitude (Szélességi kör):1.116, Longitude (Hosszúsági kör):23.54; Lat.:1.116, Long.:23.448; Lat.:0.147, Long.:23.448; Lat.:0.147, Long.:23.54). Ezáltal könnyedén a helyére tudtuk illeszteni. A georeferálásnál az általunk választott koordináta-rendszer GCS_Moon_2000 volt.



A képen látható az M175124932LR nevű WMS kivágat, georeferált állapotában a QGIS programban.



A koordináta-rendszerben való pont elhelyezkedését fok, perc, másodperc értékekkel írhatjuk le. Ezt a hálózatot csak $-180^{\circ}00'00''$, $-90^{\circ}00'00''$, $180^{\circ}00'00''$, $90^{\circ}00'00''$ -ig értelmezzük. Ez a rendszer csak az általunk a Földről könnyedén megfigyelhető holdi oldalra értendő.

A transzformációknál az Affin transzformációt választottam, hiszen ez a legelterjedtebb a fotogrammetriában. Az Affin transzformáció alap képletei:

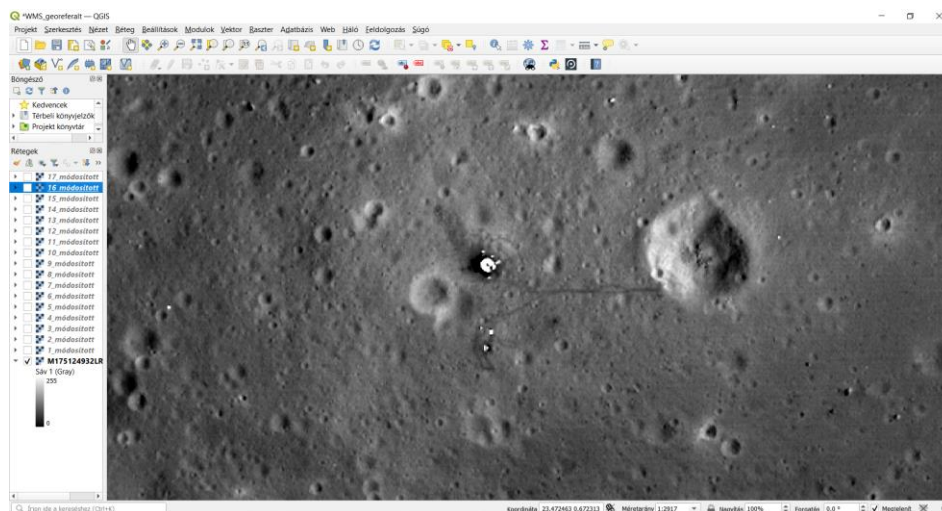
$$X = a_0 + a_1 * x + a_2 * y$$

$$Y = b_0 + b_1 * x + b_2 * y$$

A transzformációs paraméterek kiszámításához legalább három, ismert közös pontra van szükség. Háromnál több közös pont esetén a legkisebb négyzetek módszerével végzett kiegyenlítő számításokra van szükség. A WMS kivágatnál a koordinátákat vittem be és jelöltem ki a hozzájuk tartozó pontokat.

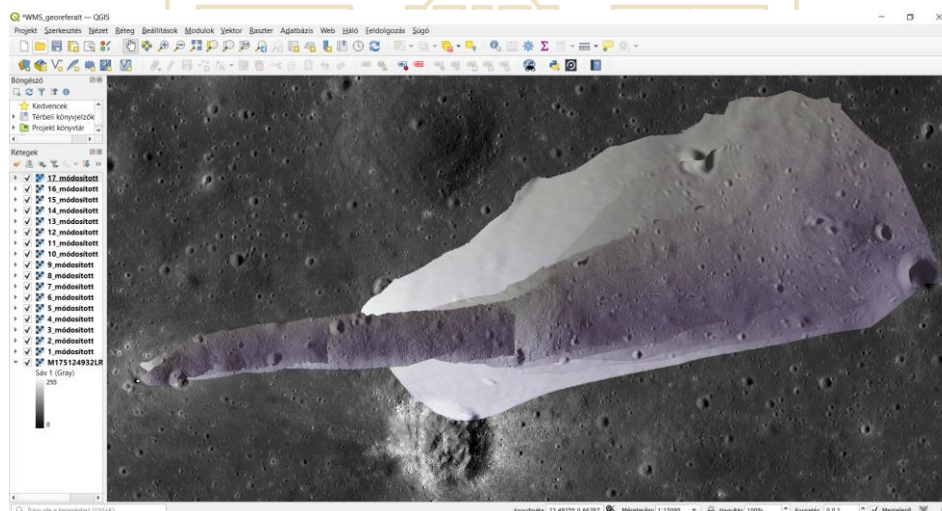
Ezen kívül még alkalmaztam a Vékonylemez spline „transzformációt” is. Ez nem igazi transzformáció, hanem a felületet ráhúzza a pontok segítségével, és nem alkalmaz megfelelő számításokat. Ez azért alkalmaztam, mert az általam elkészített holdi részletek szebben igazodtak az LRO képhez. Az Affin transzformációnál viszont kisebb eltérések voltak, de azzal is tökéletesen működtek a felületek.

A következő lépés az általam a térmodellekből kinyert orthomosaic-ok georeferálása volt. Ennél az esetnél is Affin transzformációt alkalmaztam, és a GCS_Moon_2000 koordináta-rendszert használtam. Annyiban tért el az előző feladathoz képest, hogy itt nem voltak előre megadott koordinátáim. Ezért egy másik funkciót kellett alkalmaznom. Ezzel kijelölök egy pontot a referálandó területen, majd ugyanazt a pontot a WMS kivágaton is. Körülbelül 35-40 darab vagy akár több azonos pontot is megjelöltem a jobb transzformáció érdekében. Ezeket a pontokat egy .txt kiterjesztésű fájlba mentettem el. Ezt a folyamatot sajnos nem tudtam automatizálni különböző okok miatt. Mint például a kamera torzulása a beesési szög miatt, az árnyékok nem biztos, hogy ugyanott képződnek le mind a két képen, a két felvétel ideje közt eltelt idő (esetleges új kráter). Az orthomosaic-ok illesztését a WMS felületre az Apollo-11 landolási helyétől kezdtem.



A WMS kivágaton látható Apollo-11 Holdra szálló egységéből ottmaradt részei. Ebből a pontból indult ki az orthomosaic-ok georeferálása. A legkönnyebben azonosítható a Little West kráter és a peremén elhelyezkedő kisebb kráterek voltak.

Erre azért volt szükség, mert egy darab biztos pontom volt: a Holdra szálló egység ottmaradt részei. Mivel tudtam, hogy körülötte kell keresnem a kráter azonosságát, ezért egyszerűbb volt a feladat. Majd mivel az orthomosaic-ok viszonylag nagy átfedéssel készültek el, ezért mindig voltak olyan kráterek, amelyek legalább kettő referálandó képen szerepeltek, így megkönnyítettem a saját munkámat.



A felvételtől elkészült holdi felszín georeferálva. A háttérben a hozzá tartozó WMS kivágattal. A képen látható még az Apollo-11 maradványai és a West kráter.

Jól lehet látni a képen, hogy van egy sáv, ahol szinte mindig jó és részletes a felbontás. Ezek mellett pedig szinte mindenhol torzul, romlik az orthomosaic-ok szélei. Ez valószínűleg a Hold nem teljesen derékszögből felvett felszíne miatt van.

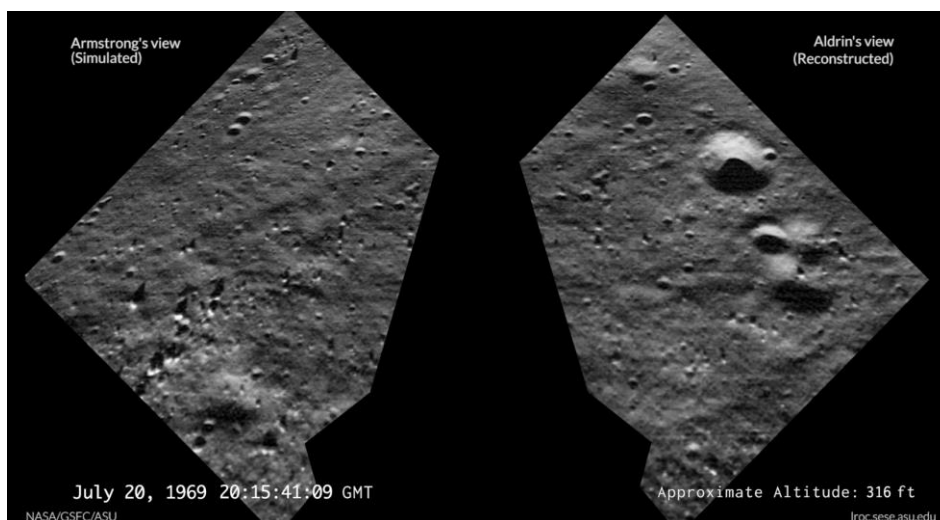


5 DISZKUSSZIÓ

Az általam elért eredmények a TDK dolgozatomban a Hold domborzata és a holdi térkép készítése volt. Úgy gondolom, hogy a térmodellek geometriája megfelelő viszont a modellek szélei lekanyarodnak. Ez a probléma abból ered, hogy a képek szélein már nagyon minimális információ áll a program számára. Ezáltal a modellek szélei torzultak lesznek. Némely térmodelnél a grafikai megjelenése hagy némi kivetni valót ez a dolog a képek minősége miatt következhetett be. A holdi térkép elkészítésekor le ellenőriztem bizonyos pontok koordinátáit, amik ismertek voltak, előzetesen. Ezek az adatok viszont csak két tizedesig voltak megadva. Az általam készített térképről ez ekkora pontossággal le is lehet olvasni, és meg is egyeznek. Viszont a QGIS több tizedesig írja ki, ezeket az értékeknek az értékeknek a pontosságát már nem bírtam ellenőrizni. Viszont ezek a tizedesek is fontosak, mert akár 100 méteres hibákat is okozhatnak.

Az általam használt felvételt a Buzz Aldrin ablakában elhelyezett Maurer 16 mm-es filmfelvevő kamera rögzítette, és ennek a térmodelljét készítettem el. Viszont a holdra szállás 50. évfordulójára a Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) csapata rekonstruálta a Neil Armstrong ablakából való kilátást. Az ő ablakában azért nem volt kamera, mert minden ablak kicsi volt még így is, de neki még jó kilátást kellett biztosítani, mert Neil vezette a Lunar Modult. Erre szükség is volt: mikor a számítógép arra nem megfelelő terepen tette volna le az űrhajót, Armstrong irányította egy alkalmas landolási pontra.

A NASA által rekonstruált felvétel hossza három perc hét másodperc volt. A tudósoknak egy biztos pont volt mind a két felvételen: a landolási pont. Az adatok, amik alapján megalkották a Hold felszínét az űrhajó magasságmérője által rögzített adatok, a felvett beszélgetés Neil Armstrong és a földi irányító egység között, az űrhajó sebessége és a hosszúsági és szélességi koordinátákból. Ezekből és még nagy felbontású LROC Narrow Angle Camera (LROC NAC) képekből és topográfiai térképekből sikerült megalkotni. [20]



Ez a képkocka az LROC csapata által elkészített videóból lett kivágva. Jobb oldalon lehet látni a Buzz Aldrin ablakából való kilátást. A bal oldalon pedig a rekonstruált Neil Armstrong ablakából való kilátást.

Úgy gondolom, hogy a NASA tudósai a nagyfokú szakértelmük mellett nagyon jó és precíz munkát végeztek ennek a felvételnek a készítésekor. A kráterek geometriája és árnyékolása is kifogásolhatatlanra sikeredett. Viszont én úgy látom, hogy Aldrin ablakából felvett felvételt sokkal élethűbbre lehetett volna készíteni, mivel van róla közeli képi anyag. Az én szememnek így ezzel a grafikával kicsit kezdetlegesnek tűnik. Véleményem szerint az én munkám bizonyos helyeken grafikai szempontból jobb, mint amit a NASA készített 2019-ben.



6 ÖSSZEFOGLALÓ

Az Apollo-11 küldetés az első holdra szállás volt 1969-ben. Az akkori technikai színvonalon magát a leszállást nem tudták televízión közvetíteni, de egy, a holdkompon elhelyezett kamera végig vette az eseményt.

A digitalizált filmfelvétel képkockái a Hold felszínét mutatják, a leszállási pályától jobbra. A képkockákra a légi fotogrammetriai kiértékelő eljárásokat alkalmazva elő lehetett állítani az ábrázolt terület felszínmodelljét és számolni lehetett a holdkomp pályáját a felvételezés során.

A film digitalizált állományából az egyes képkockákat külön-külön képi állományokba mentettem. Ezeket a felvételeket az Agisoft programmal dolgoztam fel. A képek maszkolásával kitakartam a felvételek azon részleteit, amelyek zavarták a feldolgozás következő lépését, a képek automatikus korreláltatását, amit képpáronként azonos képrészletek azonosításával végez el a program. A korreláltatás után a kamera paramétereit becsültem és a felszínmodellt állítottam elő. A felvételeken holdi illesztőpontokat tudtam kijelölni a leszállási területről készült nagyfelbontású Lunar Reconnaissance Orbiter felvételek alapján, ezzel lehetővé vált a felszínmodell skálázása és holdi koordinátarendszerbe illesztése.

A jövőben még meg szeretném alkotni a térmodellt egy teljes darabban és nem csak részletekben. Jelenleg csak hosszúsági és szélességi koordinátákat tudok leolvasni az általam elkészített térképről, ám ezt ki szeretném terjeszteni a harmadik dimenzióra is. Meg szeretném alkotni a Lunar Modul landolás előtti utolsó három percben való pontos térbeli elhelyezkedését, és ezzel megkapnám a pályagörbét.



7 KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A TDK dolgozatom írása és munkája alatt nagyon sok mindent tanultam meg az Apollo-11-gyel kapcsolatosan, és az ehhez kapcsolódó nélkülözhetetlen témákban is sok ismeretet szereztem. Megtanultam a QGIS Desktop és az Agisoft Metashape nevű programokat kezelni, és még sok hasonló készséget tettem magamévá. A véleményem, hogy jól választottam témát, és a jövőben továbbra is szeretnék ezzel foglalkozni.

Szinte biztos vagyok abban, hogy a TDK dolgozat készítésekor megtanultakat az élet egyes területein magabiztosan tudom majd alkalmazni és használni.

Többek közt köszönetet szeretnék mondani Molnár Gábor Péternek (belső konzulens), akinek biztatása nélkül nem kezdtem volna el TDK-mat, Szabó Gábornak, a film képekre való szétdarabolásáért. Köszönet illeti a családomat a szüntelen támogatásért és megértésért, valamint mindenki mást is, aki bármilyen módon hozzájárult ennek a TDK dolgozatnak az elkészültéhez.





IRODALOMJEGYZÉK

- [1] N. F. Comins, *Mi lenne a Földön, ha...?*, Panem-Grafo Kiadó, 1994.
- [2] F. Csatai, „Telihold,” *National Geographic*, 8. november 2022. [Online]. Available: <https://ng.24.hu/foto/onok-kuldték/2022/11/08/telihold-25/>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [3] D. R. Dr. Williams, „Ranger (1961 - 1965),” NASA, 22. szeptember 2005. [Online]. Available: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/ranger.html>. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].
- [4] LIP szerkesztősége, „The Ranger Program,” LIP, [Online]. Available: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/ranger/>. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].
- [5] J. F. Kennedy, Interviewee, *John F. Kennedy Speech, We choose to go to the Moon*. [Interjú]. 12. szeptember 1962.
- [6] Z. Szalontai. [Online]. Available: <https://people.inf.elte.hu/sztaai/hold/kutatas.html>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [7] E. Both, „A Saturn–V fél évszázada,” *Úrvilág Űrkutatási hírportál*, 18. január 2017. [Online]. Available: https://www.urvilag.hu/az_apollo_holdprogram/20171109_a_saturnv_fel_evszazada. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [8] S. Loff, „Apollo 11 Mission Overview,” NASA, 5. január 2022. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].
- [9] Smithsonian Institution szerkesztősége, „Command Module, Apollo 11,” National Air and Space Museum, [Online]. Available: https://www.si.edu/object/command-module-apollo-11%3Aasm_A19700102000. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [10] Smithsonian Institution szerkesztősége, „Apollo 11 Command Module Columbia,” National Air and Space Museum, 20 március 2016. [Online]. Available: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/command-module-apollo-11>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [11] F. Wild, „What Was the Apollo Program?,” NASA, 19. július 2019. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-was-apollo-program-58.html>. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].
- [12] Smithsonian Institution szerkesztősége, „Camera, Data Acquisition, Command Module, 16mm, Apollo 11,” Smithsonian Institution, [Online]. Available:



https://airandspace.si.edu/collection-objects/camera-data-acquisition-command-module-16mm-apollo-11/nasm_A19980001000. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].

- [13] NASA, Rendező, *APOLLO 11 16MM ONBOARD FILM*. [Film]. UNITED STATES: NASA, 2009.
- [14] LROC szerkesztősége, „What is LROC?,” NASA, [Online]. Available: <https://www.lroc.asu.edu/about>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [15] NASA Content Administrator, „LRO Sees Apollo Landing Sites,” NASA, 7. augusztus 2017. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/multimedia/lroimages/apollosites.html. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].
- [16] Blender szerkesztősége, „The Freedom to Create,” Blender, [Online]. Available: <https://www.blender.org/about/>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [17] IrfanView szerkesztősége, „History of changes,” IrfanView, 9. december 2022. [Online]. Available: https://www.irfanview.com/main_history.htm. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [18] Agisoft Methashape szerkesztősége, „Features,” Agisoft Methashape, 2022. [Online]. Available: <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [19] Agisoft Metashape szerkesztősége, „About,” Agisoft Metashape, [Online]. Available: <https://www.agisoft.com/about/>. [Hozzáférés dátuma: 4. január 2023].
- [20] M. Robinson, „What Armstrong Saw,” NASA, 16. július 2019. [Online]. Available: <http://lroc.sese.asu.edu/posts/1115>. [Hozzáférés dátuma: 3. január 2023].