

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK

**Az Enceladus térképezése  
a Cassini űrszonda  
segítségével**

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK

*Készítette:*

**Kovács Péter Zsolt**

térképész és geoinformatikus szakirányú hallgató

*Témavezető:*

**Dr. Márton Mátyás**

Egyetemi tanár

*Külső konzulens:*

**Dr. Molnár Gábor**

Tudományos munkatárs



Budapest, 2012

# Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés .....	4
2.	A Cassini–Huygens programról .....	5
3.	Az Enceladus rövid jellemzése .....	7
3.1	Déli-sarki-régió (South Polar Terrain, SPT) .....	8
4.	Adatok .....	9
4.1	Adatokat szolgáltató műszerek .....	9
4.2	Imaging Science Subsystem (ISS) .....	11
4.2.2	Szűk látószögű kamera .....	13
4.2.3	Széles látószögű kamera .....	13
4.3	A hozzáférhető és felhasznált képek, adatok .....	13
4.4	Globális térképmozaikok készítésének ismertetése röviden .....	20
5.	Módszerek .....	21
5.1	Fotogrammetria .....	21
5.1.1	Digitális képek belső tájékozása .....	21
5.1.2	A digitális képek külső tájékozása kollineár egyenletekkel .....	22
5.1.3	Térbeli hátrametszés .....	24
5.2	Programok rövid ismertetése .....	24
5.2.1	ER Mapper .....	24
5.2.2	Global Mapper .....	24
5.2.3	FAR Manager .....	24
5.3	Vetületek és dátum definiálása .....	25
5.4	A globális alaptérkép vágása .....	28
5.5	Vetület-transzformációk .....	30
5.6	Digitális domborzatmodell létrehozása .....	34
5.7	A nyers űrfelvétel alaptérképre igazítása .....	38

5.7.1	A képek előkészítése .....	38
5.7.2	Geokódolás kameramodell segítségével .....	40
5.7.3	Geokódolás polinomiális transzformációval .....	45
6.	Eredmények .....	46
7.	Összefoglalás .....	48
8.	Irodalomjegyzék.....	49

# 1. Bevezetés

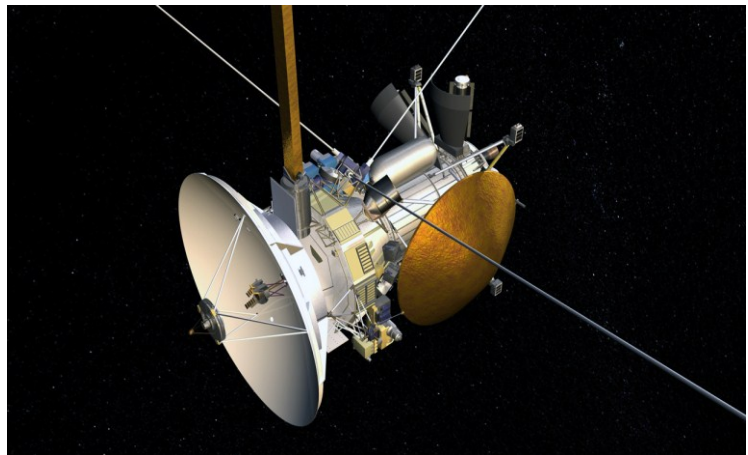
Napjainkban már nem csak a Földet és a közvetlen közelében lévő égitesteket tudjuk tanulmányozni, hanem űrszondáinkat közel ezer millió kilométer távolságba is el tudtuk juttatni. Ezek a szondák lehetővé teszik, hogy részletesen megismerjük és tanulmányozzuk a bolygók és holdak formakincseit és ebből következtessünk felszínfejlődésükre. A jelenleg is aktív Cassini szonda folyamatosan küld képeket és adatokat a Szaturnuszról és holdjairól. Az Enceladusra azért esett a választásom, mert változó felszíne a kutatások érdeklődésének középpontjába került, ahogy egyre több információt tudunk meg róla. A kutatások arra keresik a választ, hogy megvannak-e az élet feltételei.

Szakedolgozatomban célul tűztük ki a Szaturnusz Enceladus holdját ábrázoló globális térkép helyesbítését. Ehhez az alaptérképnél újabb, az égitest bizonyos területéről készült űrfelvételek geometriai korrigálását végeztük el, majd a korrigált felvételt az alaptérképre vetítettük. Egy olyan módszert alkalmaztunk, amely viszonylag néhány feldolgozási lépés után lehetővé teszi egy űrfelvétel összehasonlítását a régebbi felszíni viszonyokat ábrázoló alaptérképpel. A módszer nem csak összehasonlításra alkalmas, hanem a folyamatosan javuló képfelbontásokkal az adott területet részletesebben tudjuk ábrázolni. Az általam alkalmazott eljárás nem csak pontosan kalibrált, hanem előzetesen publikált felvételeken is alkalmazható, ezért ez egy köztes, viszont gyorsabb módja a helyesbítésnek. A NASA információi szerint egy új felvétel körülbelül egy év múlva érhető el kalibrálva az interneten. A nyers felvételek kalibrálásához külön program létezik, amely elérhető és letölthető.

A szakdolgozatomban röviden ismertetem a Cassini–Huygens programot és az Enceladus holdat. Ismertetem a felhasznált adatokat (alaptérképeket és nyers felvételeket), az alkalmazott módszert és az eredményeket.

## 2. A Cassini–Huygens programról

A Cassini űrszonda, amely magába foglalja a Huygens leszállóegységet is, 1997. október 15.-én indult az Egyesült Államokbeli Cape Canaveralból a Titan IV/B hordozórakéta segítségével. A Cassini-t a NASA, a Huygens-t az ESA (Európai Űrügynökség) tervezte és építette (Harland, 2007). Az űrszonda az úgynevezett hintamanővert alkalmazva jutott el a Szaturnuszig (Porco et al, 2004). Segítségével az űrszondák kevesebb üzemanyag felhasználásával és rövidebb idő alatt juthatnak el a Naprendszer távolabbi égitesteihez. A Cassini esetén ez úgy valósult meg, hogy a Vénusz gravitációját két alkalommal kihasználva (1998,1999), majd a Földet (1999) és a Jupitert (2000,2001) is megkerülve közelítette meg a Szaturnuszt. Amellett, hogy ez volt a valaha is létrehozott legmodernebb küldetés a külső Naprendszert tekintve, 2004. június 30.-án a Cassini a legtávolabbi keringő pályára állított szondává is vált (Knowles, 2011). Távolsága akkor 10 Csillagászati Egység volt (Porco et al, 2004). Azóta a Cassini űrszonda és kísérője a Huygens, mely közben a Titán holdra szállt le, rengeteg hasznos információt szerzett és továbbított a Földre, melyek által példátlan bepillantást nyerhetünk a külső Naprendszer változatos és titokzatos tájaiba (Knowles, 2011).



1. ábra: A Cassini-Huygens űrszonda

A Cassini segítségével nyomon követhetjük a Szaturnusz légkörét, gyűrűrendszerét, jeges holdjait, a Titánt és ezek kölcsönös interakcióit. Erre a korábbi űrszondák a Pioneer és Voyager nem voltak képesek (Porco et al, 2004). A szonda képes in situ, közvetlenül mérni a környezetében előforduló részecskéket, porszemcséket, elektromosan töltött gázokat, más néven a plazmát (<http://saturn.jpl.nasa.gov/>).

A misszió kutatási célkitűzései a jeges holdak szempontjából:

1. Határozza meg a holdak általános jellemzőit és geológiai történetét.
2. Határozza meg a kéreg mechanizmusát és a felszín változásait.
3. Vizsgálja meg a felszíni anyagok összetételét és eloszlását, különös tekintettel a sötét szerves anyagban gazdag és az alacsony olvadáspontú kondenzált illékony alkotórészekre.
4. Próbáljon meg modellt alkotni az égitestek tömegösszetételéről és belső szerkezetéről (<http://starbrite.jpl.nasa.gov/>).



2. ábra: A Cassini misszió áttekintése 2004-től 2017-ig

### 3. Az Enceladus rövid jellemzése

Az Enceladust 1789-ben egy angol csillagász William Herschel fedezte fel és nevezte el a görög mitológiából ismert Gigászok egyikéről. Átmérője megközelítőleg 500 kilométer. Átlagsűrűsége csak 30%-al nagyobb, mint a vízé, mely azt jelzi, hogy az égitest csaknem felét vízjég borítja.

Annak ellenére, hogy a Voyager 1 űrszonda nem közelítette meg szorosan a holdat, mégis megerősítette az eddigi következtetéseket, hogy az Enceladus felszínének fényvisszaverése rendkívül magas. Az albedo értéke megközelíti a 0.99-et, mely valószínűleg a legmagasabb érték az egész naprendszerben (Harland, 2007; Elkins, 2006). A Voyager-2 képes volt ábrázolni az északi részeit az égitest Szaturnusszal átellenes oldalán, néhány kilométer per pixeles felbontásban. A fiziografikus elemzések azonosítottak kráteres, egyenletes és egyeletlen, taréjos síkságokat egyaránt. A kráteres síkságokon nagy mennyiségben található tíz és húsz kilométer átmérőjű kráterek. Néhány területen azonban ezek a kráterek élesek, más területeken viszont simábbak, talán a viszkózus áramlás, folyás következtében.

A kráter formációk tanulmányozása során arra a következtetésre jutottak, hogy a hold litoszférája a vízjégnek és az ammónia tartalmú jégnek egyfajta keveréke. Tulajdonképpen ezek a nagymértékű felszín átalakító hatások és szerkezeti aktivitások meglepőek ezen a kis holdon.

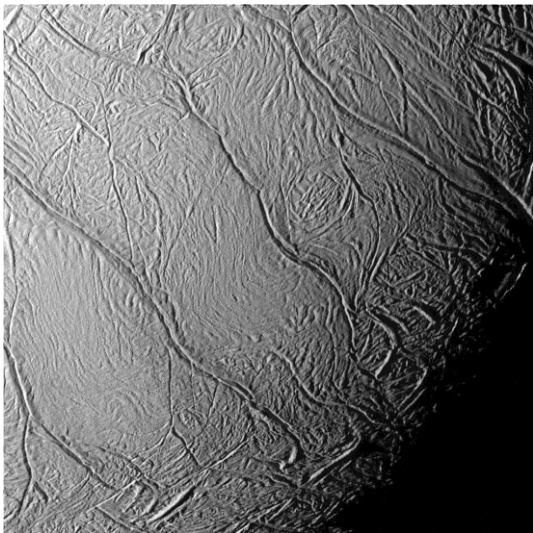
Egyes elemzések arra következtetnek, hogy az Enceladus gyorsan elveszíti a különböző becsapódások által keletkezett hőt. Másrészt valószínűleg túl kicsi, hogy jelentős radioaktív hővel bírjon. A legkézenfekvőbb ok a hő jelenlétére az árapály-stressz okozta fűtés.

Az Enceladus keringése jelenleg 2:1 arányú rezonanciában van a Dionéval, és ez szolgáltatja a hő ma is működő forrását. Az Enceladus jeges felszíne bizonyítékokat mutat arra, hogy a különböző felszínformák és geológiai folyamatok széles skálája fordul elő, beleértve a töréseket, gerinceket és a legérdekesebbnek tartott aktív kitöréseket, az úgynevezett plume-okat. Az aktív kitörések, amelyek nyilvánvalóan a hő-forrásokból származnak, a déli sarkon fordulnak elő. A terület jelenleg is geológiailag aktív. A déli szélességeken fellelhető kráterek hiánya, az elfolyás általi eltűnés következménye lehet (Smith, 2008). Manapság gyakran felteszik azt a kérdést, hogy az Enceladus vízkészlete vajon elegendő és megfelelő közeget szolgáltat e,

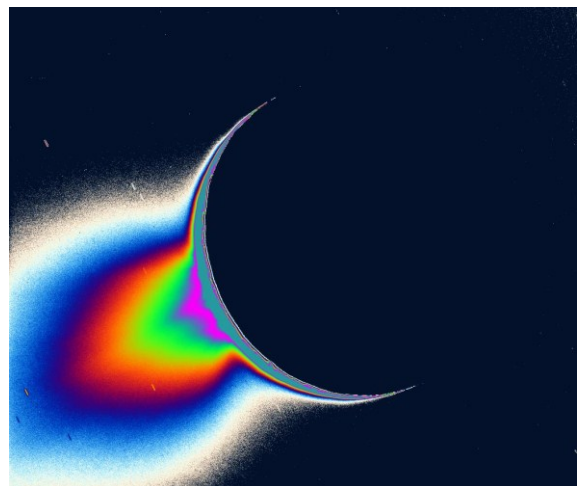
egyfajta primitív élet kialakulásához, illetve, hogy kimutathatók e, az élet feltételéhez szükséges szerves anyagok nyomai.

### 3.1 Déli-sarki-régió (South Polar Terrain, SPT)

Napjainkban az Enceladus az egyike a legérdekesebb és legfontosabb kutatásoknak a külső Naprendszer égitesteit figyelembe véve. Fontossága leginkább a déli pólus környékén fellelhető jelenleg is aktív töréseknek tudható be. Név szerint, *Alexandria*, *Cairo*, *Baghdad* és *Damascus sulcus*, amelyek nagyjából párhuzamosan futnak egymás mellett 130 kilométer hosszan, 2 kilométer szélesek és közelítőleg 500 méter mélyek (Barr-Preuss, 2010). A *sulcus* a planetológiai terminológia szerint barázdát, barázdákat jelent.



3. ábra: „Tigris csíkok” a déli póluson



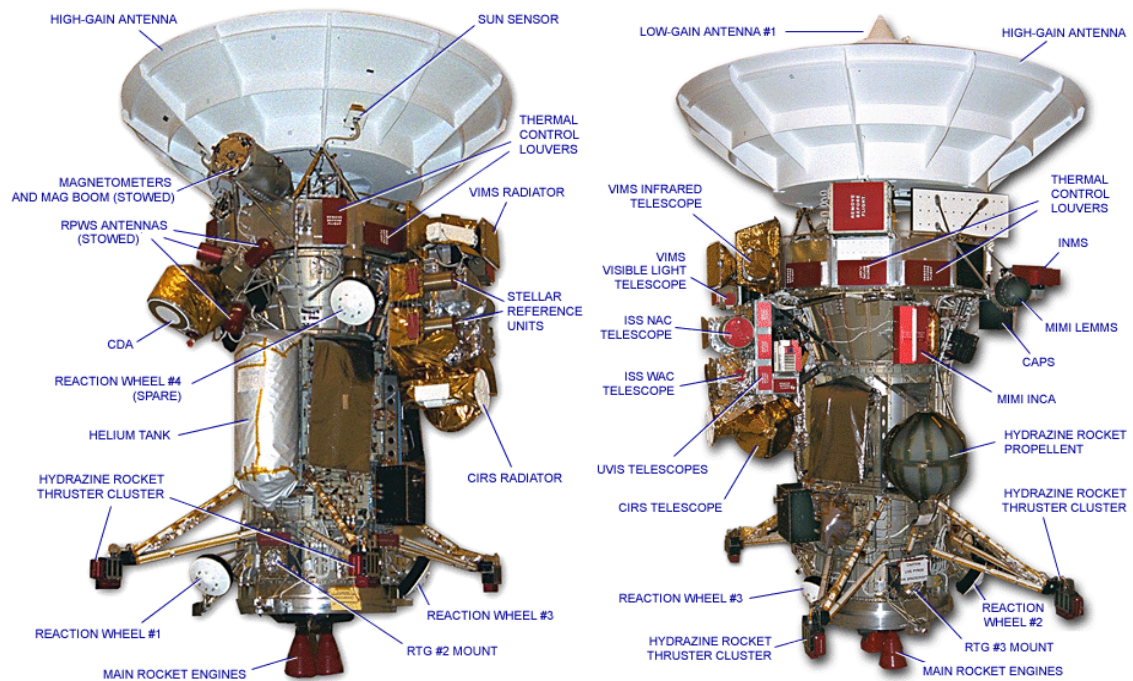
4. ábra: Aktív kitörések a déli póluson



## 4. Adatok

### 4.1 Adatokat szolgáltató műszerek

A Cassini űrszonda három tengely körül stabilizált szonda, egy úgynevezett nagy nyereségű antennával (high gain antenna, HGA), két alacsony nyereségű antennával (low gain antennas, LGAs) és három Radioizotópos Termoelektromos Generátorral (RTG) felszerelve, melyek az energiát és a fő meghajtást biztosítják. A szonda ezeken kívül magába foglal tizenkét orbiter műszert, amelyek 27 különböző vizsgálatot tesznek lehetővé. Az alábbiakban röviden kitérek erre a tizenkét eszközre, amelyek közül a témámhoz legfontosabbról részletesebb ismertetést adok (<http://starbrite.jpl.nasa.gov/>).



5. ábra: A Cassini űrszondán található mérőeszközök

#### *Cassini Plasma Spectrometer (CAPS)*

A CAPS eszközt úgy tervezték, hogy helyszíni vizsgálatokat hajtson végre a plazma és a Szaturnusz közeli magnetoszférán.

#### *Cosmic Dust Analyzer (CDA)*

A CDA műszer a helyszíni vizsgálata során a Szaturnusz-rendszer-beli porszemcséket elemzi, vizsgálja. Különleges tudományos kutatási területei a következők: a Szaturnusz gyűrűrendszerében található részecskék vizsgálata, beleértve az E gyűrű, a bolygó magnetoszférája és az Enceladus becsapódási formái közötti összefüggést.

#### *Composite Infrared Spectrometer (CIRS)*

A CIRS űreszközt többek között a spektrális térképezésre, a hőmérséklet tanulmányozására és a felszín, az atmoszféra, a gyűrűrendszer összetételének vizsgálatára tervezték. Ennek az eszköznek a segítségével készítették el az égitestek felszíni hőmérséklettérképét is.

#### *Ion and Neutral Mass Spectrometer (INMS)*

Ez az eszköz a Szaturnusz magnetoszférájában található semleges és töltött részecskék összetételének vizsgálatára szolgál.

#### *Magnetometer (MAG)*

Az műszert arra tervezték, hogy tanulmányozza a Szaturnusz mágneses terét és annak kölcsönhatását a napszéllel.

#### *Magnetospheric Imaging Instrument (MIMI)*

A MIMI eszköz feladata nagyban hasonlít az előbb említett Magnetometer készülékéhez.

#### *Cassini Radar (RADAR)*

A RADAR eszközt a Titán hold felszínének vizsgálatára tervezték, többek között SAR képalkotás, magasságmérés és radiometriai elemzések céljából.

#### *Radio and Plasma Wave Science (RPWS)*

A Szaturnusz-rendszeren belüli plazma-hullámok, rádióhullám-kibocsátás és a por tanulmányozására fejlesztették ki.

#### *Radio Science Subsystem (RSS)*

Az RSS-t úgy tervezték, hogy tanulmányozza a Szaturnusz és a Titán légkörét és ionoszféráját. Ezen kívül repülése során vizsgálja a Szaturnusz és holdjai gravitációs mezejét is.

#### *Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS)*

Az UVIS eszközt úgy tervezték, hogy készítsen térbeli UV-térképet, és hogy határozza meg a hidrogén – és a deutérium arányát az égitesteken.

#### *Visible and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS)*

A VIMS eszköz létrehozásának célja, hogy készítsen spektrális térképeket a felszíninformákról és azok összetételéről. Mérje meg az UV- és közeli infra spektrumokat annak érdekében, hogy azonosítani és térképezni tudja a felszínen előforduló anyagokat a lehető legnagyobb térbeli felbontásban. A műszert két kamera alkotja, az egyik a látható tartományban mér, míg a másik infravörösben. Kombinálva a két kamerát rengeteg hasznos információt tudhatunk meg a holdak felszínéről, többek között ennek a segítségével fedezték fel az Enceladus déli pólusán található „tigris” csíkokat, mint hőforrásokat (<http://starbrite.jpl.nasa.gov/>).

## **4.2 Imaging Science Subsystem (ISS)**

Végül a számomra legfontosabb adatot szolgáltató űreszközt ismertetem, nevezetesen az Imaging Science Subsystem-t, az ISS-t, amely a nyers képeket szolgáltatja. Az ISS a Cassini legnagyobb felbontású kétdimenziós képalkotó eszköze, és az elsődleges optikai navigációs berendezés a fedélzeten. Emiatt okkal tekinthetjük az űrszonda szemének is. Az ISS két különálló kamerából áll, a szűk látószögű úgynevezett Narrow-Angle Camera (NAC)-ból és a széles látószögű kamerából (Wide-Angle Camera, WAC) (<http://pds-rings.seti.org/>). A szűk látószögű kamera biztosítja a nagy felbontású képeket, míg a széles látószögű kamera lehetővé teszi a kiterjedt területek leképezését kisebb felbontásban (<http://saturn.jpl.nasa.gov>). A kamerákat a maximális rugalmasság érdekében tervezték: fotometriai és spektrális érzékenységre, lineáris és dinamikus tartományokra, optikai felbontásra. Ezen kívül sokféle tömörítést és adatgyűjtési módot ismer, különféle képalkotó helyzetekben. Valós képességek szempontjából a NAC felbontóképessége a néhány tíz méter per pixelt is eléri (Knowles, 2011). Összehasonlítás-képpen az előző Voyager űrszonda legjobb felbontó-képessége körülbelül két kilométer per pixel volt. Az ISS kifinomult képességének köszönhetően



alatti kábelek által jutnak el a JPL Pasadenai központjába. Az űrszondáról a vevő állomásokra egy átlagos 2:1 tömörítésű adatcsomag megközelítőleg két perc alatt jut el (<http://deepspace.jpl.nasa.gov/>).

### **4.2.2 Szűk látószögű kamera**

A szűk látószögű kamera egy tükrös távcső, amelynek fókusztávolsága 2002,7 milliméter, a belépő pupilla átmérője 190,7 milliméter, vagyis hányadosuk  $f/10.5$ . A kamera hossza 95 centiméter, szélessége 40 centiméter x 33 centiméter. A kép méretaránya  $\sim 6$  mikroradián per pixel, látómezeje  $0,35^\circ \times 0,35^\circ$ . Az elektromágneses sugarakat 200 nm és 1100 nm között fogja be (<http://pds-rings.seti.org/>).

### **4.2.3 Széles látószögű kamera**

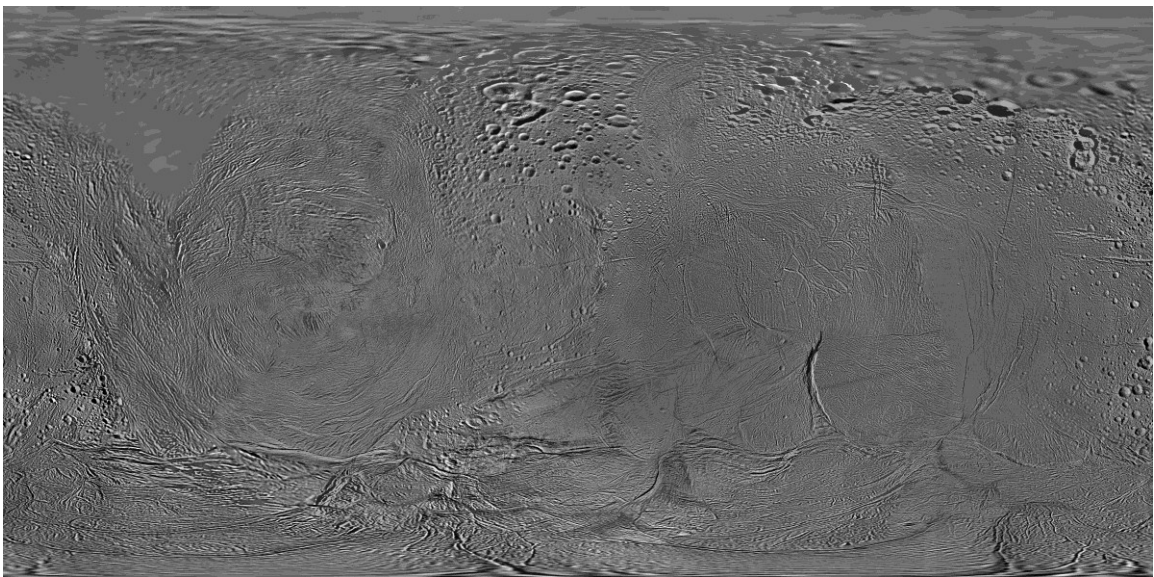
A széles látószögű kamera szintén tükrös távcső, amelynek fókusztávolsága 2002,7 milliméter. Ennek hányadosa a belépő pupillával  $f/3.5$ . A kamera hossza 55 centiméter, szélessége 35 centiméter x 33 centiméter. A kép méretaránya itt  $\sim 60$  mikroradián per pixel és látómezeje  $3.5^\circ \times 3.5^\circ$ . Az elektromágneses sugarakat 380 nm és 1100 nm között fogja be (<http://pds-rings.seti.org/>).

## **4.3 A hozzáférhető és felhasznált képek, adatok**

Szakedolgozatom forráskutatása során, az alábbi weboldalakon találtam olyan publikus képeket, térképeket, amelyek mind kiinduló alaptérképnek, mind nyers képeknek megfeleltek.

Először a NASA Jet Propulsion Laboratory honlapját említtem. A laboratórium az 1930-as években jött létre Kármán Tódor áramlástani fizikus alapítása révén a Kaliforniai Műszaki Egyetemen, (California Institute of Technology) akkor még sugárhajtású rakéták tervezése céljából. Később 1958-ban a NASA alapítását követően a fő irányelv az Amerikai Egyesült Államok űrkutatásának elősegítése és fejlesztése volt. Az első amerikai műhold az Explorer 1 már a JPL által jött létre 1958-ban. A JPL legfontosabb kutatásai közé tartozik a Hold, Mars, Vénusz, Jupiter, Szaturnusz és mára már szinte az egész Naprendszer kutatása beleértve a Cassini-Huygens programot is. A weboldalnak létezik egy kifejezetten a Cassini misszióra specializálódott változata,

nevezetesen a <http://saturn.jpl.nasa.gov/>. Az oldalon szinte mindent megtudhatunk magáról a Cassini-Huygens programról, a kutatási területről, magáról a Szaturnuszról és annak holdjairól. Betekintést nyerhetünk az űrszondába, ahol képekkel illusztrálják a benne található űreszközöket is. Ezen kívül létezik egy képeket összefoglaló szekció, ahol a galériában különféle már valami módon szerkesztett képeket, különféle térképeket és térkép szelvényeket találunk. Például a Déli-sarki-régió területéről készült hő-intenzitás térkép, amely megmutatja, hogy a tigris csíkok hőmérséklete valóban magasabb a környezetétől. A szakdolgozatom alatt használt alaptérképet is innen szereztem be.



9. ábra: A globális Enceladus térkép

A 9. ábra mutatja a szakdolgozatom készítésének időpontjában elérhető teljes égitestet ábrázoló térkép, amelyet 2010 februárjában tettek publikussá a honlapon. Valójában a térkép a 2009. októberi és novemberi elhaladás során készített képeket tartalmazza. Tudomásom szerint jelenleg még nem készítettek ennél frissebb globális Enceladus térképet. A térkép egyszerű hengervetületű, méretaránya 110 méter per pixel az egyenlítő mentén. A vetülethez 252 kilométer átlagsugarat használtak. Az általam használt legnagyobb felbontású kép mérete 7200 x 3600 pixel és TIFF kiterjesztésben érhető el. A fájl mérete közel 26 MB.

A képek szekció között találjuk a nyers képeket is, melyre kattintva egy viszonylag részletes kereső bukkan elénk. Az illusztrált képeken is látszik, hogy kereshetünk különféle égitestre, kereshetünk kifejezetten elhaladási időpontok alapján, megfigyelési

periódust is választhatunk napra pontosan. Ezen kívül az észlelés távolságát is megadhatjuk 1 kilométertől egészen 50 millió kilométerig. Számomra fontos keresési opció volt még, hogy kiválaszthatjuk, hogy a keresett felvétel szűk vagy széles látószögű kamerával készült e.

A honlap továbbá olyannyira naprakész, hogy folyamatosan nyomon követhetjük a jelenlegi és a nemsokára bekövetkező elhaladásokat. Az illusztrált képem bal oldalán látható, hogy a következő égitesttel való „találkozás” a Titán holddal lesz 2012. május 22.-én és az űrszonda 955 kilométerre közelíti meg az égitestet.

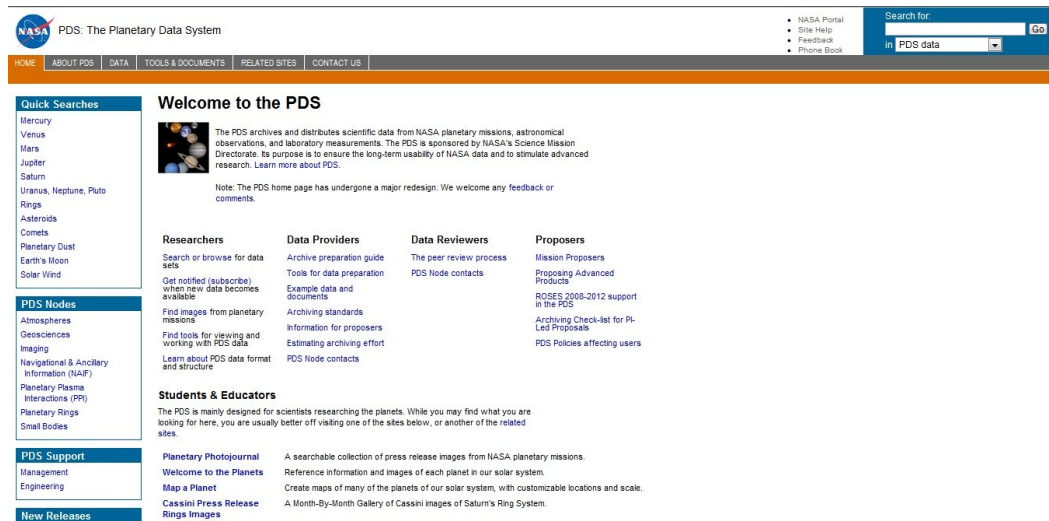
Szakedolgozatomban többször hivatkoztam a fent említett honlapra.



10. ábra: A NASA JPL honlapja <http://saturn.jpl.nasa.gov/index.cfm>

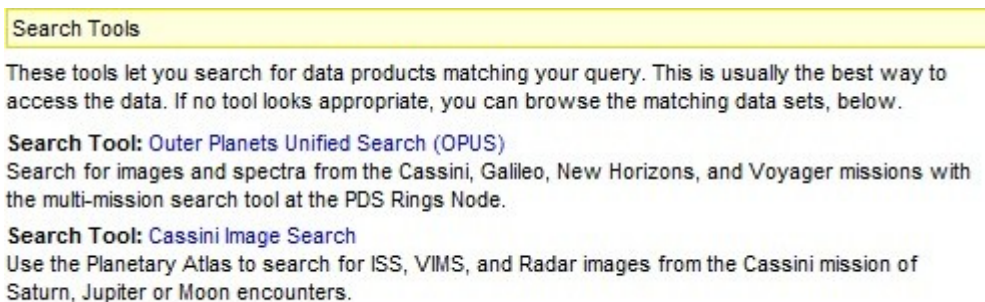
A következő online képeket és adatokat szolgáltató oldal a NASA alá tartozó Planetary Data System (PDS). A PDS egy a NASA bolygóközi missziók során gyűjtött adatokat archiváló oldal. Aktívan kezeli az archívumokat, mellyel alapvető forrást biztosít a kutatók számára szerte a világon. Minden PDS által előállított termék lektorált, jól dokumentált és könnyen hozzáférhető az online katalóguson keresztül. Olyan szabványokat használnak az adatok meghatározására és tárolására, mellyel megkönnyítik a kutatók számára, hogy részletekbe menő hozzáértés nélkül, különböző számítógépes platformokon egyaránt elérhessék az adatokat. Bár a PDS nem

finanszírozza az adatok előállítását a küldetések során, mégis szorosan együttműködik a projektek irányítását végző csapatokkal, hogy segítsen nekik a termékek gyors elérhetőségében.



11. ábra: A NASA PDS honlapja

Az oldalnak két féle keresőmotorja létezik. Az első az úgynevezett Outer Planets Unified Search, az OPUS, amely kifejezetten a külső Naprendszer égitesteivel foglalkozó missziók és űrszondák által készített adatokat foglalja magába. A másik a Cassini Image Search, amely a Cassini űrszonda ISS, VIMS és Radar képeit tartalmazza. Lényeges különbséget nem fedeztem fel a két keresési lehetőség között. Mindkét esetben részletekbe menő keresési lehetőségünk van. Szakdolgozatomhoz az OPUS rendszerét használtam.



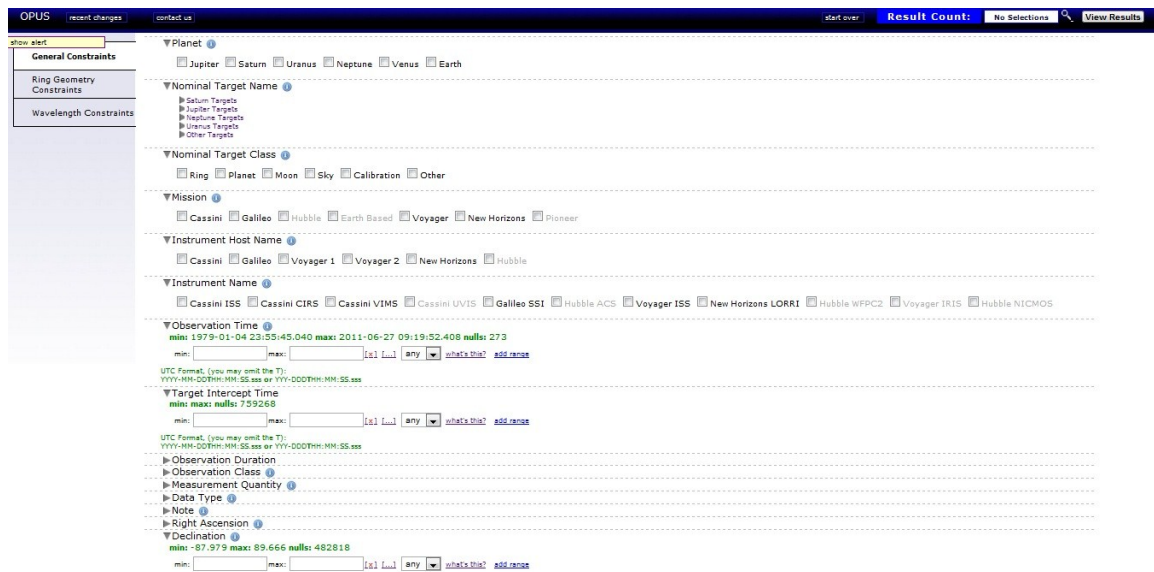
12. ábra: A PDS honlapon található adatkeresők

Az interneten talált adatforrások közül az OPUS a legrészletesebb, itt olyan nyers képekre találtam rá, amelyekre máshol nem. Rengeteg keresési beállítási lehetőségünk



van, többek között megadhatjuk, hogy melyik misszió, melyik égitestre milyen eszköz által készített adatot keresünk. Beállíthatjuk az észlelés idejét, hosszát. Megadhatjuk, hogy melyik kamerával készült a kép és hogy milyen szűrőt használt, sőt még az adat Földre érkezésének idejét is.

Az általam leszűkített keresés után, amelyben többnyire a Cassini ISS képeire kerestem, több mint ötezer találatot kaptam.



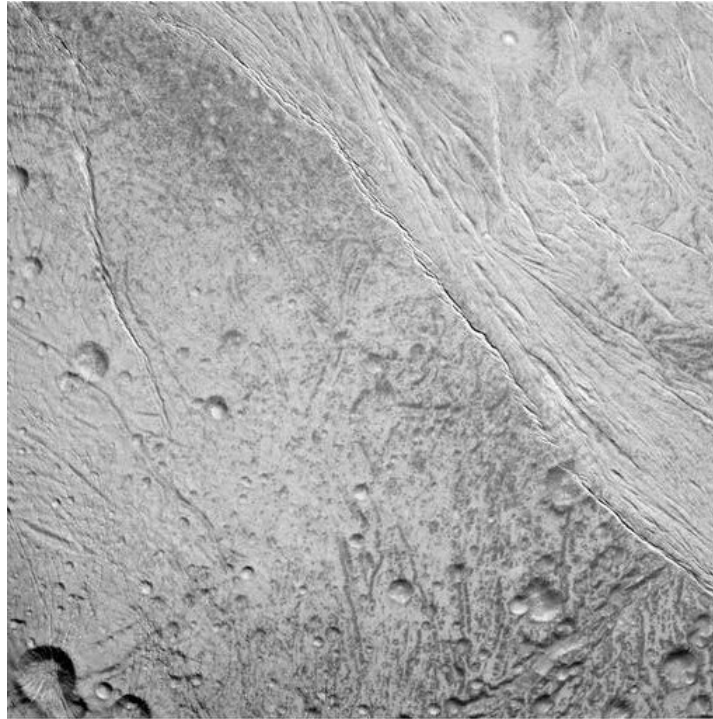
The screenshot shows the OPUS search interface. At the top, there are links for 'recent changes' and 'contact us', and a 'start over' button. The main search area is divided into several sections with expandable filters:

- Planet:** Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, Venus, Earth
- Nominal Target Name:** Saturn Targets, Jupiter Targets, Neptune Targets, Uranus Targets, Other Targets
- Nominal Target Class:** Ring, Planet, Moon, Sky, Calibration, Other
- Mission:** Cassini, Galileo, Hubble, Earth Based, Voyager, New Horizons, Pioneer
- Instrument Host Name:** Cassini, Galileo, Voyager 1, Voyager 2, New Horizons, Hubble
- Instrument Name:** Cassini ISS, Cassini CIRS, Cassini VIMS, Cassini UVIS, Galileo SS1, Hubble ACS, Voyager ISS, New Horizons LORRI, Hubble WPC2, Voyager IRIS, Hubble NICMOS
- Observation Time:** min: 1979-01-04 23:55:45.040, max: 2011-06-27 09:19:52.408, nulls: 273
- Target Intercept Time:** min: nulls, max: 759268
- Observation Duration:** (empty)
- Observation Class:** (empty)
- Measurement Quantity:** (empty)
- Data Type:** (empty)
- Note:** (empty)
- Right Ascension:** (empty)
- Declination:** min: -87.979, max: 89.666, nulls: 482818

13. ábra: Az OPUS kereső

A képek nagyobb része, még így sem felelt meg a követelményeimnek, amelyek szerint minél közelebbi, minél kisebb perspektív torzulással rendelkező, lehetőleg szűk látószögű kamera által készített kép legyen, amelyen a felszínformák részletgazdagabbak, mint az alaptérképen.

Végül sikerült rátalálnom egy olyan nyers képre, amely nem csak jobb felbontású, mint az alaptérképen található ugyanazon terület, hanem frissebb mivoltából a két észlelés között történt becsapódások, felszín-átalakító jelenségek, hatások is észrevehetőek, ha a két képek összehasonlítjuk. Továbbá számos könnyen felismerhető kontroll ponttal rendelkezik. Éppen ezért, ezt a képet választottam a kidolgozott módszer bemutatására.



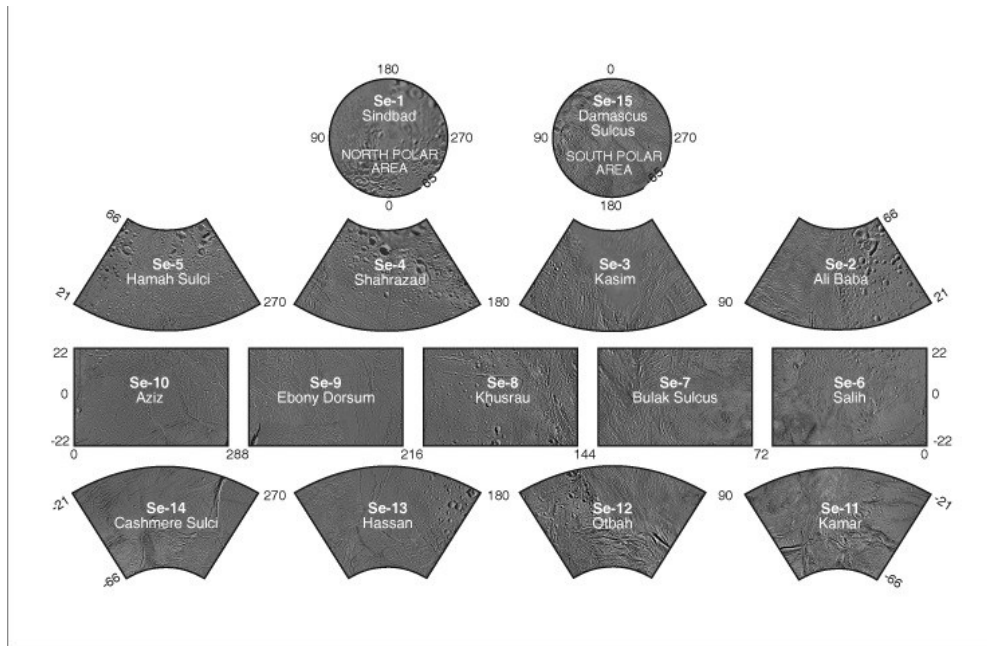
14. ábra: A módszer bemutatására szánt nyers kép

A képet 2011 májusában tették közzé, az égitest déli szélesség  $5^{\circ}$  -át és a nyugati hosszúság  $200^{\circ}$  -át ábrázolja. Látható tartományban készült, az űrszonda szűk látószögű kamerája által 2010. december 21.-én, megközelítőleg 25.000 km távolságból. A kép felbontása 148 méter per pixel. A kép mérete 1024 pixel x 1024 pixel.

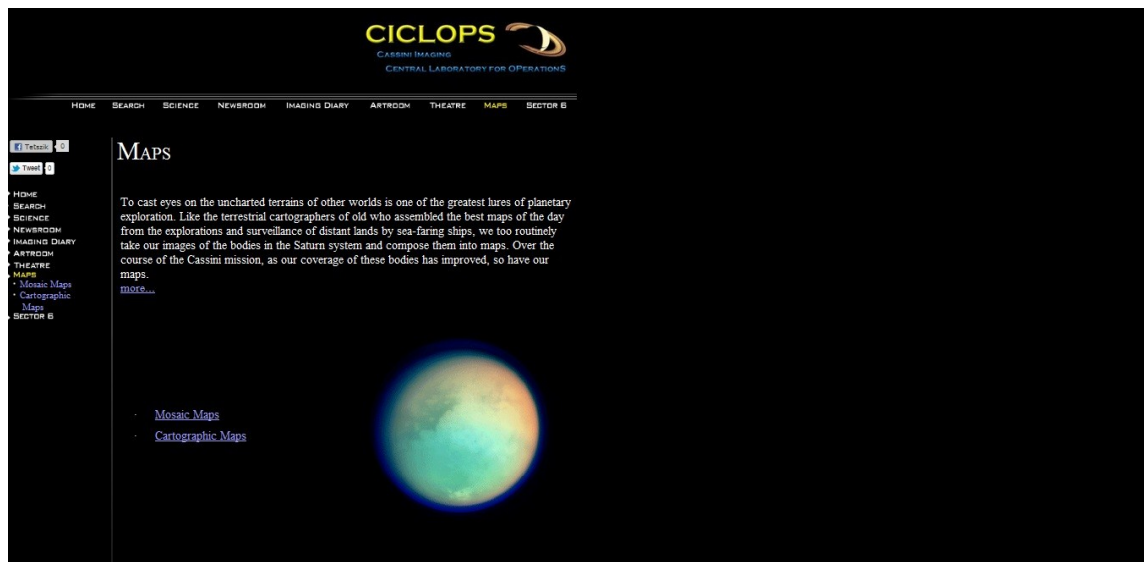
További négy-öt hasonló részletes képre sikerült bukkannom, de mivel a szakdolgozat lényegében a módszert szeretné bemutatni, így az előbb említett képpel mutatom be.

A következő képeket publikáló honlap a *Cassini Imaging Central Laboratory for OperationS*, rövidítve, a *CICLOPS*. Az oldal a Cassini-misszió során gyűjtött képeket, videókat, térképeket, adatokat szolgáltatja a szakterületet kedvelők felé, hasonló módon, mint az előbb említett JPL honlapja. A keresőfelületén kevesebb lehetőségünk van a részletes keresésre, viszont ha beírunk egy adott égitestet, a képeken kívül rengeteg publikációt és irodalmat dob ki nekünk találatként az oldal. A bal oldali menüsorból kiválasztva a „Maps” szekciót kétféle lehetőség közül választhatunk. Az egyik a mozaik térképek, ahol a Szaturnusz holdjairól készített globális térképekhez jutunk. Itt találjuk például a már említett és általam is használt 2010-es teljes holdat ábrázoló hengervetületű térképet. Ezen kívül találunk még az északi és déli pólusokról készült

poláris sztereografikus vetületben készült térképeket is. A másik oldal a „Cartographic Maps”, ahol mozaikokat és térkép szelvényeket találunk a holdakról.



15. ábra: Az Enceladust ábrázoló térképmozaikok



16. ábra: A CICLOPS honlapja [http://www.ciclops.org/maps\\_index.php](http://www.ciclops.org/maps_index.php)

## 4.4 Globális térképmozaikok készítésének ismertetése röviden

A Szaturnusz jeges holdjairól készült térképek mind a Voyager és a Cassini űrszonda felvételeiből származnak. A felvételek a lokális nagyfelbontású képektől a globális mozaikokig terjednek. Ezek a globális mozaikok értékesek mind tudományos értelmezés szempontjából, mind későbbi elhaladások szempontjából. Továbbá ezek a globális mozaikok bővíthetők szabványos kartográfiai termékekkel (Porco, 2010).

Nagyfelbontású képek szükségesek a geometriailag is pontos térképek készítéséhez. Az ilyen térképek készítése úgynevezett kontroll pontok hálózatának lefektetése után kezdődik. Ilyen kontroll pontok többek között a jellemzően kisméretű kráterek, amelyek koordinátáit műholdas-fix koordinátarendszerben kell meghatározni (Porco et al, 2004).

A nyers képek feldolgozása a PDS formátum átalakításával kezdődik VICAR (Video Image Communication and Retrieval) formátummá. Majd ezt követi a radiometriai és geometriai kalibrálás a szabványos VICAR programmal. (A program elérhető az interneten.)

A következő lépés a képek átalakítása digitális térképpé. A digitális térképek egyszerű hengervetületben készülnek. A henger az egyenlítőnél érinti az égitestet. A hosszúsági értékek  $0^\circ$  és  $360^\circ$  nyugati hosszúságot vehetnek fel, míg a szélességek  $-90^\circ$  és  $90^\circ$  között lehetnek. A kezdő meridián a térkép közepén helyezkedik el.

Az utolsó lépés, hogy az összes térképet egy homogén mozaikká kell rendezni. Különös figyelmet kell fordítani a különböző felbontásból és változó megvilágításból származó képek egymásra fedésére (Porco, 2010).

A Cassini misszió során térképezett holdak koordináta-rendszere a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) által elfogadott planetografikus rendszer, amely pozitív nyugati hosszúságokat tartalmaz.

## **5. Módszerek**

A alkalmazott módszer egy relatív gyors megoldást jelent, a napjainkban is folyamatosan érkező új, nyers űrfelvételek kiértékeléséhez. A módszerünk elméleti háttérében az űrszondán található kamera térbeli hátrametszéssel való helyzetének meghatározása áll. Lényegében a kamera külső tájékozási paramétereinek a visszaszámolása. Ezeket a paramétereket a Fotogrammetria fejezetben ismertetem.

### **5.1 Fotogrammetria**

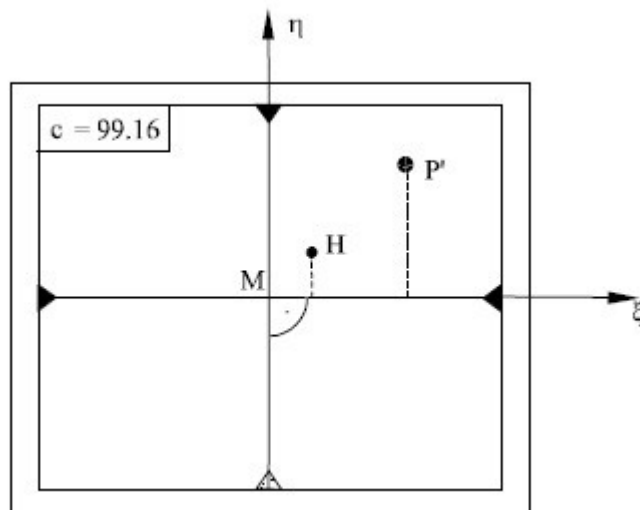
„A fotogrammetria lehetőséget nyújt a tárgyak helyzetének és alakjának fényképek alapján történő meghatározására. A kiértékelés eredményei lehetnek képek (fényképek vagy digitális képek), átalakított (ortofotó) képek és ezekből előállított térképek. A fotogrammetria a felszínformák geometriai és tartalmi jellemzőinek meghatározását in-situ, terepi mérés nélkül, közvetlen módon teszi lehetővé. A tárgyak helyzetének és alakjának fényképek segítségével történő meghatározásához ismernünk kell a fénykép előállításának geometriai törvényszerűségeit”(Kraus, 1998). „A fényképfelvételek centrális vetítéssel készülnek. Centrális vetítésen értjük, amikor a tárgy képét a vetítési síkon a tér egy kitüntetett pontján, a vetítési centrumon keresztülhaladó vetítősugarak segítségével állítjuk elő. Ez azt jelenti, hogy ugyanannak a tárgynak a képe másként jelenik meg a centrális vetítéssel készült fénykép síkján, mint az ortogonális vetítéssel készült térkép vetületi síkján. E kapcsolat megteremtésével foglalkozik a fotogrammetria” (Mélykúti, 2007).

A feladatunk tehát az, hogy a fénykép tartalmát a vetítő sugarak mentén a terep ismert felszínéig a centrális vetítés törvényei szerint kivetítsük, majd a terep felszínétől a térkép vetületi síkjára az ortogonális vetítés szabályai szerint vetítsük tovább. Ha ezt a kép valamennyi pontjára elvégezzük, akkor előáll a térkép síkján a terep ortogonális vetítésű fényképe, az ortofotója. Mivel a kép digitális formában áll rendelkezésünkre, ez a kettős vetítés pixelenként, matematikai úton valósul meg.

#### **5.1.1 Digitális képek belső tájékozása**

Amennyiben a képet digitális mérőkamerával készítették, a kameraállandó vagyis a fókusztávolság és a képfőpont koordinátái ismertek a pixel koordináta-rendszerben. Ezért a belső tájékozás a kiértékeléshez már rendelkezésünkre áll, mivel a méréseinket

is a pixel koordináta-rendszerben tudjuk közvetlenül elvégezni. A fényképfelvétel az úgynevezett mérőkamerával készül, amely biztosítja a vetítési centrum és a kép egymáshoz viszonyított helyzetének egyértelmű visszaállíthatóságát a vetítés során. A vetítési centrum képsíkhöz viszonyított helyzetét a kamera belső tájékozási adatai határozzák meg, melyek a vetítési centrum térbeli koordinátái a képkoordináta-rendszerben. A vetítési centrum talppontja a képsíkon a képfőpont (H), ennek két képkoordinátája ( $\xi_0$ ,  $\eta_0$ ), valamint a vetítési centrum és a képsík távolsága az úgynevezett kameraállandó (c) alkotja, a kamera három belső tájékozási adatát. A derékszögű képkoordináta-rendszer tengelyei a  $\xi$ ,  $\eta$  és M a képkoordináta-rendszer kezdőpontja.



17. ábra: A képkoordináta-rendszer

A kép feldolgozásakor a vetítési centrum képsíkhöz viszonyított helyzetének az egyértelmű visszaállítását nevezzük a kép belső tájékozásának (Mélykúti, 2007).

### 5.1.2 A digitális képek külső tájékozása kollineár egyenletekkel

A kollineár egyenletek segítségével a képkoordináták alapján számíthatók a képek külső tájékozási elemei, vagyis a képek abszolút helyzetét megadó vetítési középpontok koordinátái ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ) és a képek háromirányú elfordulását megadó forgatási szögek

$(\varphi, \omega, \kappa)$ . A kollineár egyenletet a 18. ábra mutatja.

$$\xi = -c_k \frac{r_{11}(X_G - X_O) + r_{21}(Y_G - Y_O) + r_{31}(Z_G - Z_O)}{r_{13}(X_G - X_O) + r_{23}(Y_G - Y_O) + r_{33}(Z_G - Z_O)}$$
$$\eta = -c_k \frac{r_{12}(X_G - X_O) + r_{22}(Y_G - Y_O) + r_{32}(Z_G - Z_O)}{r_{13}(X_G - X_O) + r_{23}(Y_G - Y_O) + r_{33}(Z_G - Z_O)}$$

18. ábra: Kollineár egyenletek

A  $\xi, \eta$  a képfőpontra redukált képkoordináták. Az  $X_G, Y_G, Z_G$  a terepi koordináták. Az  $X_0, Y_0, Z_0$  a vetítési centrum koordinátái. A  $c_k$  a kameraállandó és az  $r$  paraméterek az  $R$  térbeli forgatási mátrix elemei. A forgatási mátrix ebben az esetben a kép térbeli helyzetét jellemzi a tárgyter  $XYZ$  koordináta-rendszerében. Ha a geometriai elrendezést megvizsgáljuk, akkor megállapíthatjuk, hogy tulajdonképpen egy térbeli hátrametszési feladatról van szó, amely csak annyiban tér el a geodéziában értelmezett hátrametszéstől, hogy itt nemcsak az álláspont helyét ( $X_G, Y_G, Z_G$ ) kell hátrametszeni, hanem a belső tájékozási elemek segítségével az ehhez kapcsolódó képsík helyzetét is meg kell adnunk a térben három forgatási szög ( $\varphi, \omega, \kappa$ ) alkalmazásával.

Tehát a kép külső tájékozási elemei a következők:  $X_0, Y_0, Z_0$  a felvételi hely tárgyterbeli koordinátái, három képforgatási elem ( $\varphi, \omega, \kappa$ ) az  $r$  együtthatókban, valamint egy tetszőleges  $P$  tereppontnak az  $X, Y, Z$  terepi koordinátái és a  $\xi, \eta$  képkoordinátái.

Összesen tehát kilenc paraméter ismerete szükséges valamely kép centrális vetítéséhez. A belső tájékozás három állandója és a külső tájékozás hat eleme. A külső tájékozás hat elemét mérésekkel lehet meghatározni, illesztőpontok segítségével. Az illesztőpontok olyan pontok, amelyeknek mind a tárgyterbeli, mind a képkoordinátái ismertek. Ismert belső tájékozás esetén a hat külső tájékozási elem meghatározásához minimum három illesztőpontra van szükség (Mélykúti, 2007), (Jancsó, 2010).

### **5.1.3 Térbeli hátrametszés**

A külső tájékozási paraméterek meghatározásához közvetett módszert alkalmazunk. A tárgyterben XYZ koordinátaival, adott pontok segítségével, számítással határozzuk meg a felvételek külső tájékozási adatait. Az eljárás egyik előfeltétele, hogy képenként legalább három derékszögű koordináta-rendszerben levő illesztőponttal rendelkezünk.

## **5.2 Programok rövid ismertetése**

### **5.2.1 ER Mapper**

Az ER Mapper egy auszál fejlesztésű program, amelyet később az ERDAS és az Intergraph megvett. A program biztosítja a fejlett képfeldolgozást és rengeteg tömörítési funkcióval rendelkezik (ecw). Széles körben használják számos iparágban, beleértve a kőolaj, földgáz és ásványkincsek feltárását. (Lehetővé teszi, hogy megjelenítsünk, javítsunk és összekapcsoljunk vele képeket.) Módszerünk kivitelezése során leginkább georeferálásra, digitális domborzat modell létrehozásra, vetület transzformációra és a nyers kép alaptérképre illesztésére használtuk. Ebben a programban könnyű a szöveges állományokban dolgozni. Valamint itt tudunk meghatározni és definiálni vetületeket a program számára (<http://erdas.com/>).

### **5.2.2 Global Mapper**

A Global Mapper egy olyan térinformatikai program, amellyel raszteres és vektoros állományokat tudunk kezelni. Előnye, hogy vektorizálni is tudunk vele, valamint virtuális glóbuszt is elő tudunk állítani. Georeferálni, vetület transzformációt végezni és formátum-átalakításokat tudunk vele csinálni. Szakdolgozatomban a vetület-átalakítás és a nagyméretű TIFF állományú alaptérkép vágása volt a program elsődleges célja. Sajnos az ER Mapperben nem tudtuk megvalósítani, hogy a globális alaptérképet négy részre szedjük, ezért használtuk a Global Mapper-t, amely problémamentesen megoldotta ezt számunkra.

### **5.2.3 FAR Manager**

A FAR Manager egy olyan program, amely fájlok és archívumok kezelésére lett kifejlesztve Windows operációs rendszerekhez. Számunkra azért volt fontos a program,



mert az ER Mapperhez tartozó *.dat* kiterjesztésű állományokat, ahol a vetületeket definiáltuk könnyebben kezelte, mint a hasonló fájlkezelő programok. Mivel az ER Mapper Unix operációs rendszerhez tervezték, így a *.dat* állományokban a soremelés 1 karakter, addig a Windowsban kettő. Ezt az olvashatósági problémát orvosolja a FAR Manager.

### 5.3 Vetületek és dátum definiálása

A képek georeferálása előtt mindenképp definiálnunk kell az ER Mapper számára egy az Enceladusra vonatkozó geodéziai dátumot, majd a vetületeket is, hogy a program ismerje és később ezekkel az adatokkal dolgozzon. Vetületül az ortogonális más néven ortografikus vetületet választottuk. Ennél a vetületnél a vetítési központ a végtelenben van és a vetítő sugarak egymással párhuzamosak. „Ortogonalis vetítésen értjük, amikor a tárgy képét a vetítési síkon párhuzamos és a vetítési síkra merőleges vetítősugarakkal állítjuk elő. A terep felszín térképezésekor a vetületi sík a tengerszint magasságában elképzelt vízszintes felület, és a vetítést erre a felületre merőleges vetítő sugarakkal valósítjuk meg (Mélykúti, 2007). Sajátossága, hogy a Föld perspektivikus, végtelenből nézett képét adja (Sümeghy, 2009). Számunkra ez azért fontos, mert a térbeli hátrametszés végrehajtásához derékszögű koordináta-rendszerre volt szükségünk.

Első lépésként, FAR Managerrel megkeressük az ER Mapper gyökérfiókjában levő GDT\_DATA mappát, ahol különböző dátumok, forgási ellipszoidok és vetületek vannak DAT formátumú állományokban tárolva. Ez a fájl típus lényegében adatfájl, lehet szöveg vagy ASCII grafika (<http://filext.com/file-extension/dat>).

Megkeressük először a *spheroid.dat* állomány, amelyben egy Enceladus ellipszoidot fogunk megadni. Ehhez F4 billentyűparancsot használunk, amely révén szerkeszthetővé válik a fájl.

```

edit spheroid.dat - Far 2.0.1807 x64 Administrator
C:\Program Files (x86)\ERMapper\GDT_DATA\spheroid.dat
1250 Line 14/38 Col 1 69
spheroid_name,description,radius,flattening,length_id,source,visibility,release
ATRY ,ATRY 1830 ,6377563.396 ,299.3249646 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
ATRYMOD ,ATRY MODIFIED 1849 ,6377340.189 ,299.3249646 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
AUSTRALIAN NATIONAL ,6378160.0 ,298.25 ,1 ,R_JL 11/1/83 REF S154 ,SURVEY,PUBLIC
BESS1841 ,BESSEL 1841 ,6377397.155 ,299.1528128 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
BESSMOD ,BESSEL MODIFIED ,6377492.018 ,299.1528128 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
CLAS8MTR ,CLARKE 1858 ,6378293.645 ,294.2606764 ,1 ,R_JL 11/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
CLAG6GFT ,CLARKE 1866 ,20925832.16 ,294.9786982 ,4 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
CLAG6MTR ,CLARKE 1866 ,6378206.4 ,294.9786982 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
CLAB0IGN ,CLARKE 1880 (IGN) ,6378249.2 ,293.4660213 ,1 ,R_JL 15/11/82. USED BY I.G.N. (PARIS). ,SURVEY,PUBLIC
CLAB0MOD ,CLARKE MODIFIED 1880,6378249.145 ,293.465 ,1 ,SURVEY,PUBLIC
CLAB0RSA ,CLARKE 1880 ,6378249.145 ,293.4663077 ,1 ,R_JL 22/2/83. USED IN SOUTH AFRICA. ,SURVEY,PUBLIC
CORINE_GLOBE ,6378388.0 ,9999999999.0 ,1 , USED FOR CORINE LAND COVER MAPS ,SURVEY, PUBLIC
EV7ADJ ,EVEREST (1937) ,6377276.345 ,300.8017 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY, PUBLIC
EVERST1830 ,EVEREST (1830) ,6377276.345 ,300.8017 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY, PUBLIC
EVERST67 ,EVEREST (1967) ,6377298.556 ,300.8017 ,1 ,R_JL 22/1/83. USED IN EAST MALAYSIA SINCE 1967. ,SURVEY,PUBLIC
GRS67 ,G.R.S. 1967 ,6378160.0 ,298.2471674 ,1 ,R_JL 11/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
GRS80 ,G.R.S. 1980 ,6378137.0 ,298.2572221 ,1 ,R_JL 18/8/83. ,SURVEY,PUBLIC
HAYF1910 ,HAYFORD 1910 ,6378388.0 ,296.9592625 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
HELM1906 ,HELMERT 1906 ,6378200.0 ,298.3 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
INT24 ,INTERNATIONAL 1924 ,6378388.0 ,297.0 ,1 ,R_JL 15/11/82 ,SURVEY,PUBLIC
INT67 ,INTERNATIONAL 1967 ,6378160.0 ,298.25 ,1 ,R_JL 22/1/83. 1/f DEFINED AS EXACT TO 2 DECIMAL PLACES. ,SURVEY,PUBLIC
KRAS1940 ,KRASSOWSKY 1940 ,6378245.0 ,298.3 ,1 ,R_JL 22/1/82 ,SURVEY,PUBLIC
LAPLACE1802 ,LAPLACE 1802 ,6376615.0 ,306.005827 ,1 , ELTE SPACERG ,SURVEY, PUBLIC
LIES ,LIESGÄNIG SPHERE ,6376640.0 ,6376640.0 ,1 , ELTE SPACERG ,SURVEY, PUBLIC
MOLA SPHERE ,MOLA SPHERE ,3396000.0 ,1.0 ,1 ,MARS SPHERIC FORM FOR MOLA GEODETIC TOPO DATA BY ELTE SPACERG,SURVEY,PUBLIC
MS04EGS ,MARTIAN SYSTEM 2004 ,3396200.0 ,169.81 ,1 , ELTE SPACERG,SURVEY, PUBLIC
MS05EGS ,MARTIAN SYSTEM 2005 ,3395992.2 ,191.05 ,1 , ELTE SPACERG,SURVEY, PUBLIC
NWL100 ,NWL 100 ,6378135.0 ,298.26 ,1 ,R_JL 15/11/82 ,SURVEY,PUBLIC
NWL90 ,NWL 90 ,6378145.0 ,298.25 ,1 ,R_JL 22/1/83 ,SURVEY,PUBLIC
SPHERE ,SPHERE ,6371000.0 ,1.0 ,1 ,R_JL 20/10/83. Note that 1/f for sphere is infinite and value here is a flag. ,SURVEY,PUBLIC
SPHEREZ ,SPHERE ,6370997.0 ,1.0 ,1 ,R_JL 20/10/83. Note that 1/f for sphere is infinite and value here is a flag. ,SURVEY,PUBLIC
MGS84 ,MGS 84 ,6378137.0 ,298.2572236 ,1 ,DMA TECHNICAL MANUAL 8350.2-B ,SURVEY,PUBLIC

```

19. ábra: A *spheroid.dat* állomány felépítése

Láthatjuk, hogy itt találhatóak a WGS'84 és a Bessel 1841 ellipszoidok adatai is. A legelső sor tartalmazza, hogy milyen adatokat kell definiálnunk a program számára. A tartalom végére beszúrtunk egy új sort, ahova az Enceladus értékeit adtuk meg.

```

ENCELADUS ,ENCELADUS 2012, 252100.0 , 1.0 , 1, JPL , SURVEY, PUBLIC

```

20. ábra: A *spheroid.dat* állomány Enceladusra vonatkozó sora

Balról jobbra haladva a következőket kellett megadni. *Szferoid neve, leírása, sugara, lapultsága, length\_id*, amelyben az egyes szám jelenti, hogy a hosszúság mértékegysége méterben van megadva, *forrás, láthatóság* és végül a *nyilvánosság*.

Sugárnak az átlagsugarat adtuk meg 252 100 méterben, lapultságnak az inverz lapultság értékét kell megadni. Mivel nincs elég információnk az Enceladus kis-és nagy féltengelyeit illetően, így szabályos gömbnek tekintettük és az értéket egynek adtuk meg.

Hasonló módon kell eljárunk a dátum és a vetületek definiálásánál is. Ehhez a *datum.dat* és *datum\_sp.dat* állományokat kell szerkesztenünk.

```

name,specified,radius,eccentricity,flattening,metre_factor,prime_merid,merid_value
ENCELADUS ,1, 252100.0 , 0.0 , 1.0, 1.0, 1, 0.0

```

21. ábra: A *datum\_sp.dat* állományban definiált sor

A következő lépés az ortografikus vetület definiálása. Ezt szintén a GDT\_DATA mappán belül található *orthog.dat* állományban tehetjük meg. Mivel a globális hengervetületet hat részre szedjük szét, ezért mind a hat külön részhez létre kell hoznunk vetületet. A hat részt a középső hosszúságok szerint osztottuk fel. Van egy, ahol a kép közepén a 0° északi szélesség 0° keleti hosszúság található. Majd ettől 90°-ra keletre és nyugatra található következő két kép. A negyedik kép, amelynek közepén a 0° északi szélesség és 180° keleti hosszúság található. A maradék két definiált vetület a pólusok ábrázolására lett elkészítve. Később kiderült, hogy van elérhető adatbázis poláris sztereografikus vetületben mind az északi mind a déli sarkokra.

Fontos, hogy az *origin\_lat* és *origin\_long* oszlopok alá az értékeket radiánban adjuk meg.

```

edit orthog.dat - Far 2.0.1807 x64 Administrator
C:\Program Files (x86)\ERMapper\GDT_DATA\orthog.dat 1250
proj_name,false_north,false_east,origin_lat,origin_long,radius,eccentricity,flattening,prime_merid
OG45N45E,0.0,0.0,0.7853981633974483,0.7853981633974483,6371000.0,0.0,1.0,1
OG55N80E,0.0,0.0,0.9599310885968813,1.3962634015954637,6371000.0,0.0,1.0,1
OGEQU90W,0.0,0.0,0.0,-1.570796326794896,6371000.0,0.0,1.0,1
OGNPOLE,0.0,0.0,1.5707963267948966,0.0,6371000.0,0.0,1.0,1
ENC_45N_45E,0.0,0.0,0.7853981633974483,0.7853981633974483,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_0N_0E,0.0,0.0,0.0,0.0,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_90N_0E,0.0,0.0,1.5707963267948966,0.0,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_90S_0E,0.0,0.0,-1.5707963267948966,0.0,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_0N_90E,0.0,0.0,0.0,1.5707963267948966,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_0N_180E,0.0,0.0,0.0,3.141592653589792,252100.00,0.0,1.0,1
ENC_0N_90W,0.0,0.0,0.0,-1.570796326794896,252100.00,0.0,1.0,1

```

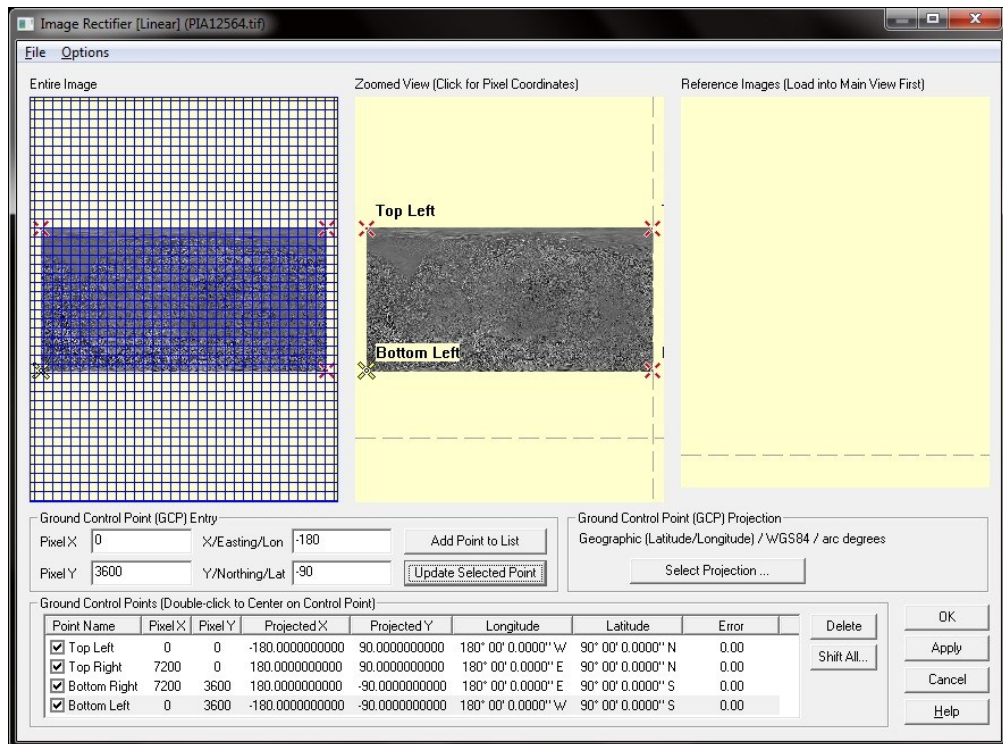
22. ábra: Az *orthog.dat* állomány felépítése szerkesztés után

Vetületek megadásánál ezzel még nem vagyunk kész, ugyanis létezik egy *project.dat* és egy *projinst.dat* állomány, amelyeket szintén ki kell egészítenünk az Enceladus megfelelő adataival. Az előzőekhez képest új adatot nem kell egyikben sem megadnunk.

A már említett poláris sztereografikus vetületű globális mozaik szerkesztéséhez is hasonló módon kell eljárunk és meg kell adnunk az ER Mapper számára az égitestünk adataival vetületi fájlokat. Ezt a *stereo.dat* állományban tehetjük meg. Most sem szabad elfelejteni, hogy a *project.dat* és a *projinst.dat* –ban is hozzá kell adnunk.

## 5.4 A globális alaptérkép vágása

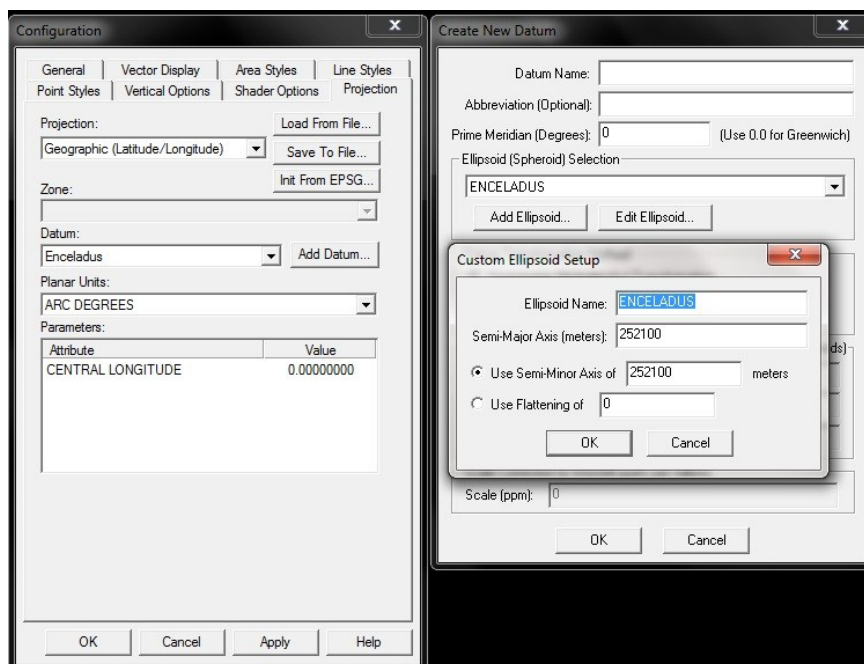
A nagyméretű TIFF kiterjesztésű alaptérkép vágását a már elmondottak szerint Global Mapper segítségével tudjuk elvégezni. Hogy megfelelő hosszúság és szélesség szerint tudjuk megvágni, először georeferálnunk kell a térképet. A kép megnyitása után a program automatikusan megkérdezi, hogy szeretnénk-e georeferálni a képet.



23. ábra: Georeferálás Global Mapperben

Az *Options* fülön belül találunk egy olyan opciót, hogy *Add Control Points at Corner Points*, amely automatikusan lehelyezi a kép négy sarkába az illesztőpontokat. Ez a megfelelő pontosság érdekében hasznos beállítás. Jelen esetben az alaptérképünk mérete 7200 pixel x 3600 pixel. Ezután már csak az *Update Selected Point* segítségével beírjuk az illesztőpontokra a megfelelő szélesség, hosszúság értékeket.

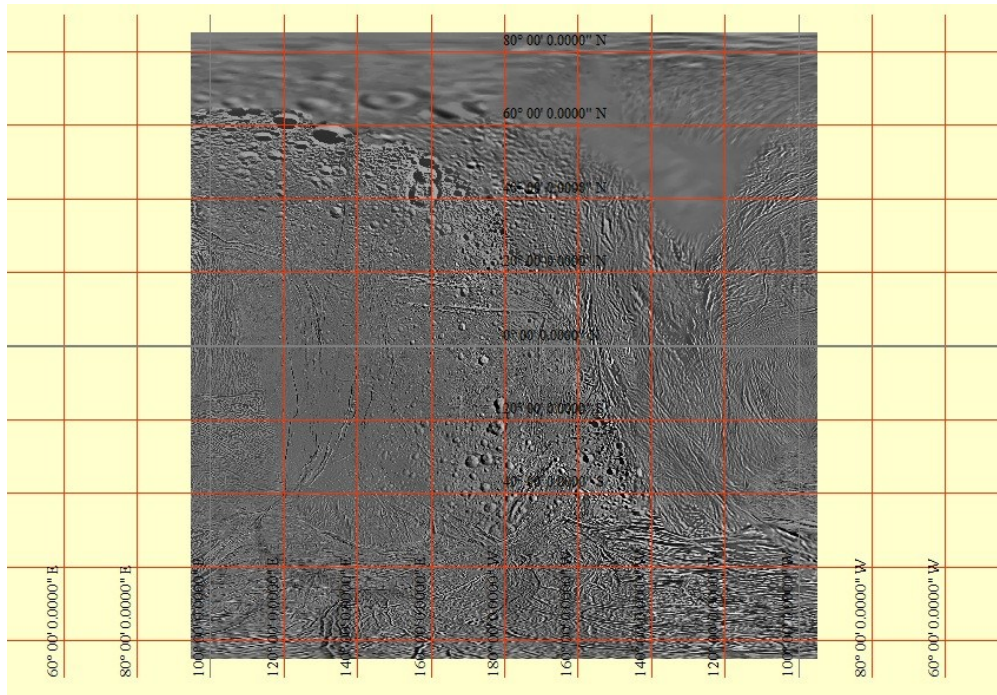
Sajnos ebben a programban nem tudunk előre definiálni vetületeket, de a dátumot és az égitest sugarát meg tudtuk adni.



24. ábra: Dátum definiálása Global Mapperben

Ha kész vagyunk, megjelenik a térképünk fokhálózati vonalakkal. A következő lépésben a *File* fül alatt található *Export Raster/Image Format* lehetőséget választjuk. A kimeneti fájl kiterjesztéséhez GeoTIFF-et választunk. A Sample Spacing/Scale értékének a program automatikusan beírja a 0,05-t, amely a kép pixel szélességéből és magasságából és a szélesség, hosszúság tartomány hányadosából számítható ki.  $360^\circ/7200 \text{ pixel} = 0.05$ . Az Export Bounds fülön állíthatjuk be, hogy az exportálni kívánt képünk milyen területet fedjen le. Esetünkben itt tudjuk feldarabolni a globális térképet négy részre. A későbbi ortogonális vetületi transzformáció miatt, a biztonság kedvéért  $5^\circ$ -al levágtuk a kimenteni kívánt képünket mind a négy oldalról. Vagyis azt a képet, amely a nyugati hosszúság  $90^\circ$ -át és környezetét ábrázolja az északi és déli szélesség  $85^\circ$  és a nyugati hosszúság  $175^\circ$ -tól a nyugati hosszúság  $5^\circ$ -ig vágtuk le. További munkát igényelt a  $180^\circ$  hosszúság és környezetének ábrázolása, mivel itt a két  $90^\circ$  hosszúságból kellett össze illeszteni a képet. Szerencsére a Global Mapper megoldotta a problémát. A két képet betöltve, majd a kezdő hosszúság értékének a  $180^\circ$ -ot megadva megjelenítette a területet. Az exportálásnál itt a Corner w/ Size opciót választottuk, ahol egy adott ponttól mért hosszúság- és szélesség-tartományt tudunk megadni. Jelen esetben az északi szélesség  $85^\circ$ -tól a magasság (height) értéke 170, vagyis déli irányban  $170^\circ$ -ig fogja ábrázolni a képet. Értelemszerűen ez a déli szélesség

85°. Vízszintes irányban, amikor a szélesség tartományt határozzuk meg 95°-ot adunk meg és ettől mért 170° lesz a kép széle.



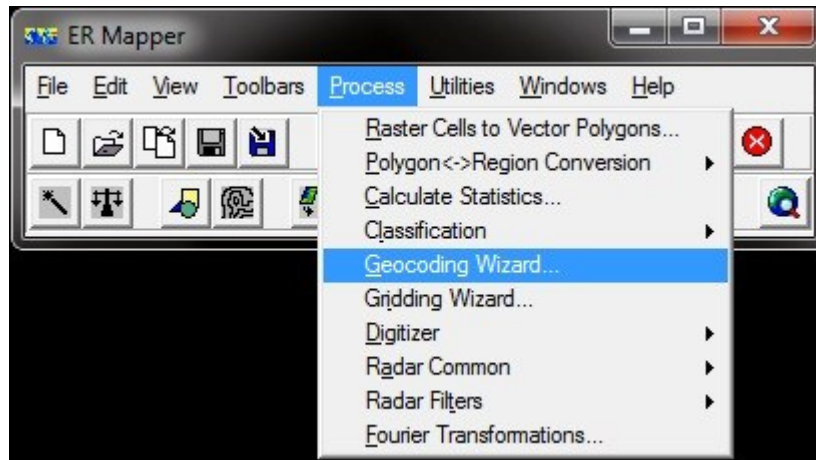
25. ábra: A 180 hosszúsági fokot ábrázoló alaptérkép Global Mapperben

Végül létrehoztunk négy térképszelvényt a hold négy oldaláról, amelyeket a következőképpen neveztünk el. Mivel az alaptérkép állományunk neve *PIA12564.gif* volt, ezért a továbbiakban is megtartottuk a nevet és hozzáillesztettünk tagokat. A *PIA12564\_0E\_crop* állomány tartalmazza a nulladik hosszúság és környezetét ábrázoló képet. A *crop* azt jelenti, hogy nem pontosan 180° -ot ábrázol, ha nem le van vágva belőle. A többi állomány neve az említett szempontok szerint: *PIA12564\_180E\_crop*, *PIA12564\_90E\_crop*, *PIA12564\_90W\_crop*.

## 5.5 Vetület-transzformációk

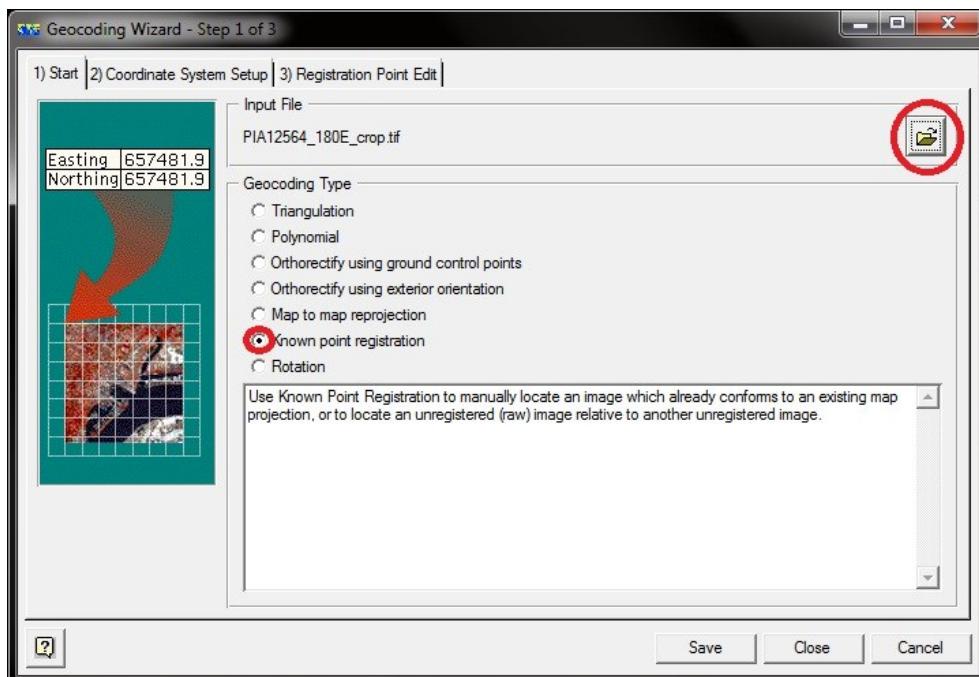
Módszerünk kidolgozásához a továbbiakban az ER Mappert használtuk, itt hoztunk létre domborzatmodellt és itt történtek a vetület-átalakítások is. A levágott térképszelvények ortografikus vetületbe való transzformációja előtt, megadtuk az ER Mapper számára, hogy a képek milyen vetületben vannak, és milyen dátumot

tartalmaznak. Ehhez megnyitottuk a *Process* fül alatt található *Geocoding Wizard* ablakot.

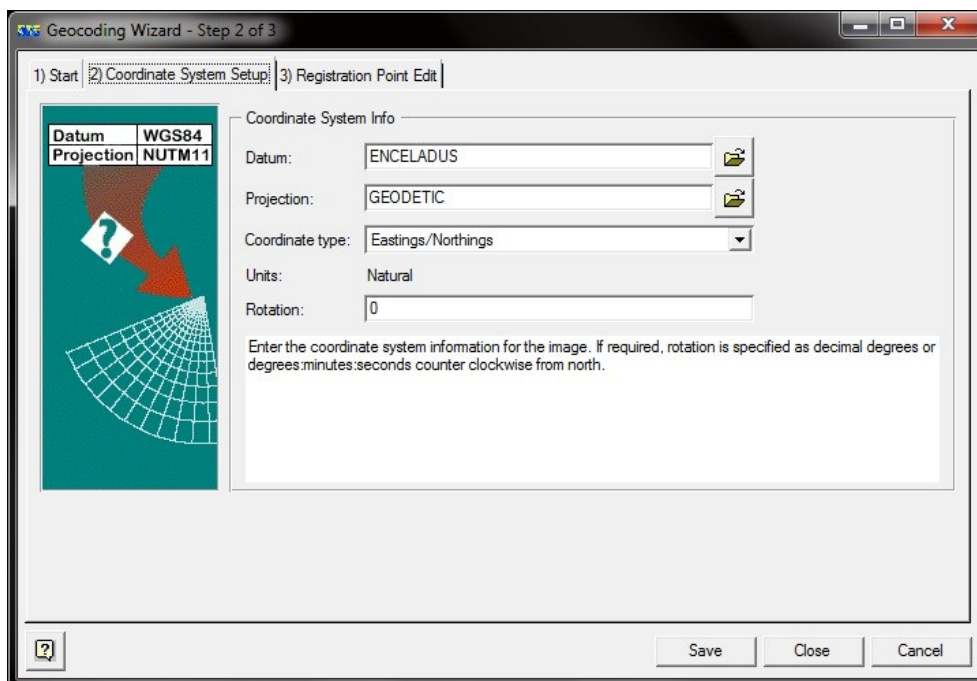


26. ábra: Az ER Mapper geokódolás varázslója

A felugró ablakban a *Load Algorithm or Dataset* gombra kattintva betöltöttük a képünket. A *Geocoding Type* alatt a *Known point registration* lehetőséget választottuk, majd a második *Coordinate System Setup* fülnél megadtunk a képünknek a korábban definiált Enceladus dátumot. A vetületet *Geodeticen* hagytuk, a későbbiekben fogjuk ortogonálisra változtatni.

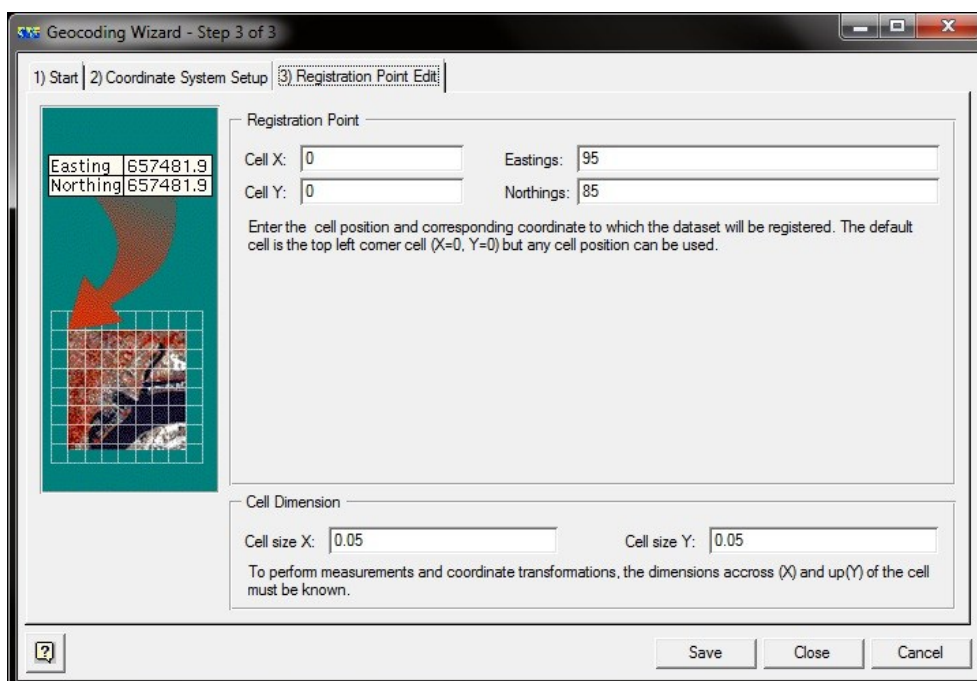


27. ábra: A geokódolás első lépése



28. ábra: Dátum hozzáadása

A következő *Registration Point Edit* fülön a program automatikusan felismerte a kép pixelméretarányát és hogy az alapértelmezett kezdő cella a bal felső sarokban az északi szélesség  $85^\circ$ , keleti hosszúság  $95^\circ$ -a.

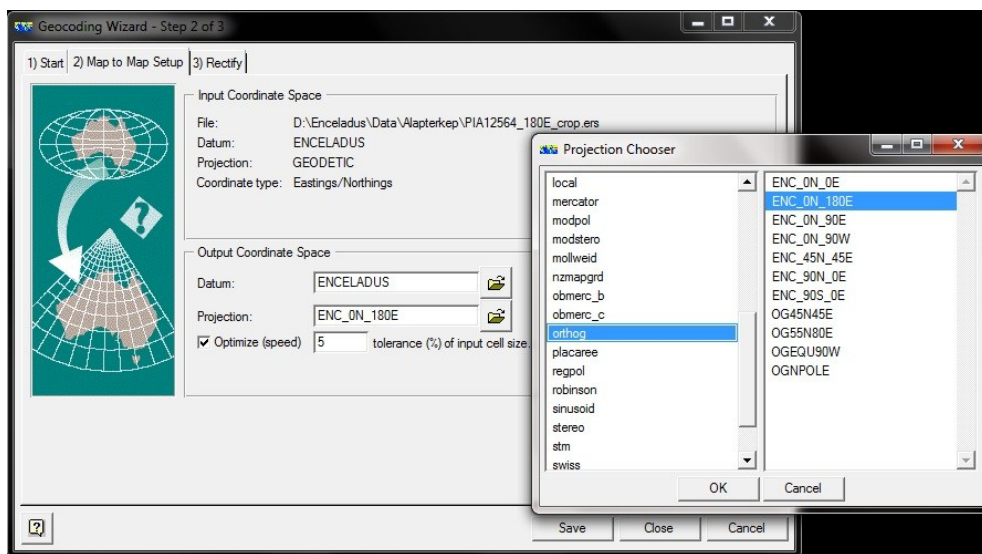


29. ábra: A cellaméretarány és alapértelmezett kezdő cella megadása



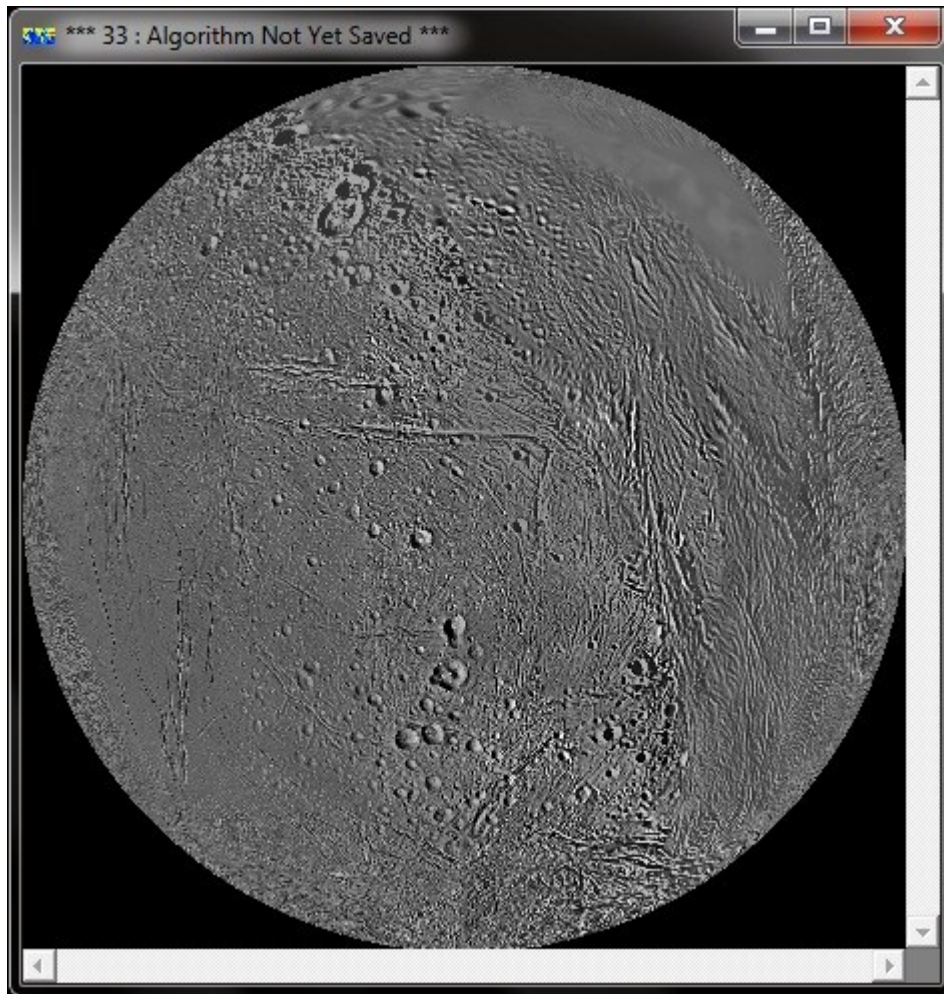
A *Save* gombbal elmentettük az állományunkat. A program létrehozott egy *PIA12564\_180E\_crop.ers* állományt, amelyben tárolja a beállításokat. A továbbiakban ezzel az állománnyal dolgoztunk.

Következő lépésben az ortografikus vetületbe való transzformációt hajtottuk végre. Ugyancsak a *Geocoding Wizard* ablakon belül, az *ers* állomány betöltése után, most a *Map to map reprojection* lehetőséget választottuk. A második fülön az Output Coordinate Space alatt a vetülethez kiválasztottuk az adott képnek megfelelő ortogonális vetületet. A bemutatott példa esetén ez *ENC\_ON\_180E* volt, vagyis a vetület középső hosszúsági köre  $180^\circ$ .



30. ábra: Vetület kiválasztása

Végül a *Rectify* fülön tudtuk befejezni a transzformációt, ahol az új vetületbe alakítandó fájl nevét kellett megadni és a cellaméretarányt méter egységben. Az előbbinél az eredeti fájl nevének egy *\_OG*, mint ortogonális taggal kiegészített változatát írtuk, utóbbinak 200 métert határoztunk meg. A transzformálást befejezni a *Save File and Start Rectification* gombbal tudtuk. Az ER Mapper ezután létrehozta a képünket ortogonális vetületben.



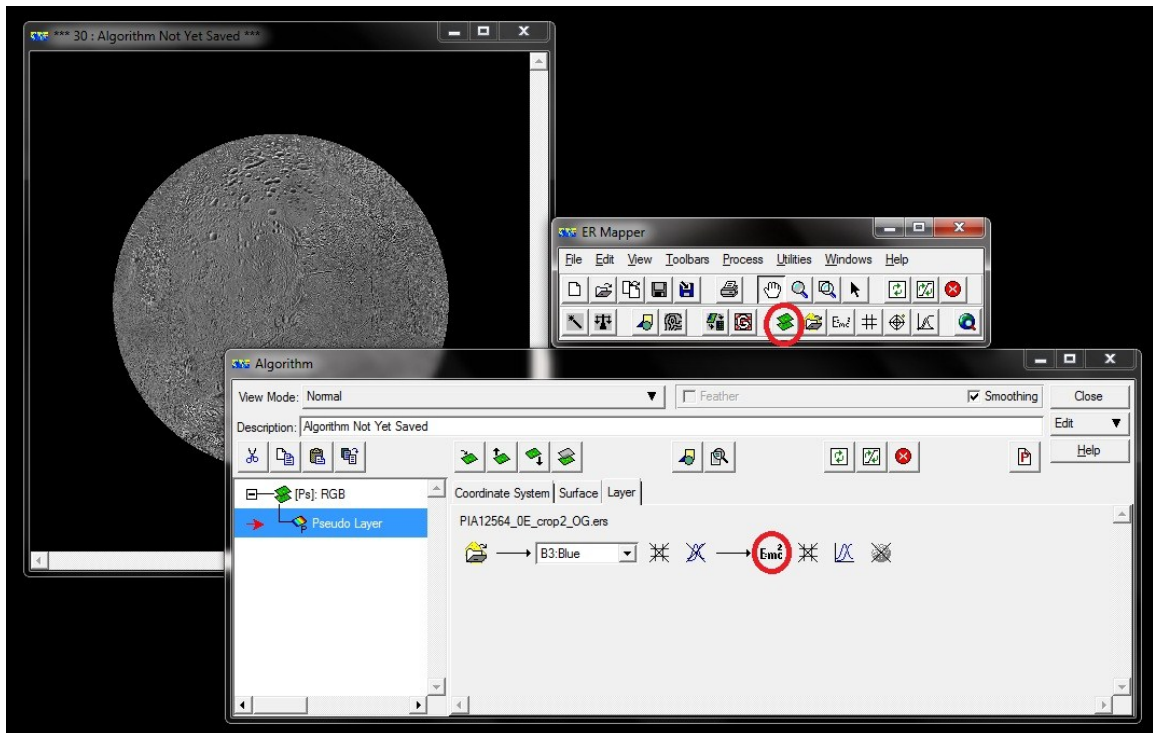
31. ábra: Ortogonális vetületű kép

## 5.6 Digitális domborzatmodell létrehozása

A digitális domborzatmodell létrehozásához szükségünk volt a már létrehozott ortogonális alaptérképünkre. Digitális domborzatmodell fogalmán a terep felszínének meghatározott rendszer szerint elhelyezkedő diszkrét pontokban megadott magassági adatait értjük (Koós, 2006). Olyan esetben, ahol az égitestet szabályos gömbnek tekintjük, és nem ismerünk magassági adatokat, ott a modellünk is egy szabályos félgömb lesz. Azért írom, hogy félgömb, mert mi a levágott ortogonális alaptérképünkre hoztuk létre a modellt.

ER Mapperben megnyitottuk az ortogonális alaptérképünk egyikét, majd az *Edit Algorithm* gombra kattintva szerkeszthetővé vált a képünk algoritmus. Itt az *Edit*

*Formula* gombra kattintva előugrott egy ablak, ahova a következő egyenletet kellett beírunk.



32. ábra: Digitális domborzatmodell létrehozása ER Mapperben

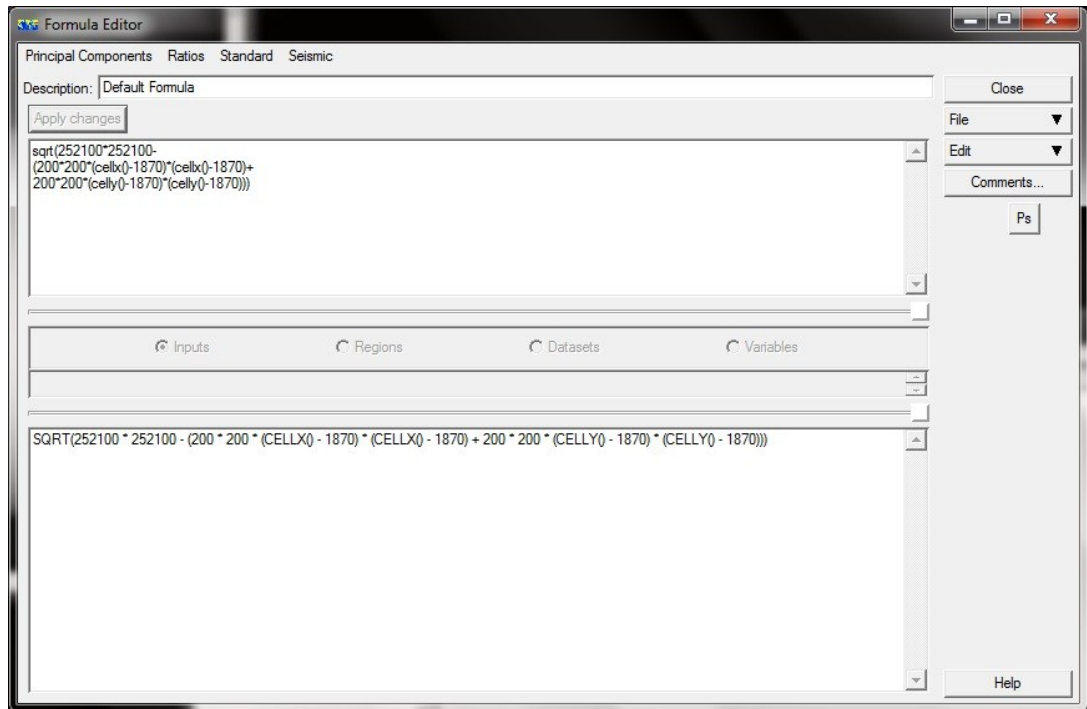
A modell létrehozása során a gömb egyenletéből indultunk ki. A gömb egyenlete a következő:  $(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 = r^2$ , ahol  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  a középpont koordinátái,  $r$  a gömb sugara.

Mivel tudjuk, hogy az ortogonális képünk mérete 3740 pixel x 3740 pixel, így a középpont koordinátái, vagyis az  $x_0$ ,  $y_0$  értéke 1870. A *Formula Editor*ban a következőt adtuk meg:

$$\sqrt{r^2 - (x-1870)^2 + (y-1870)^2}.$$

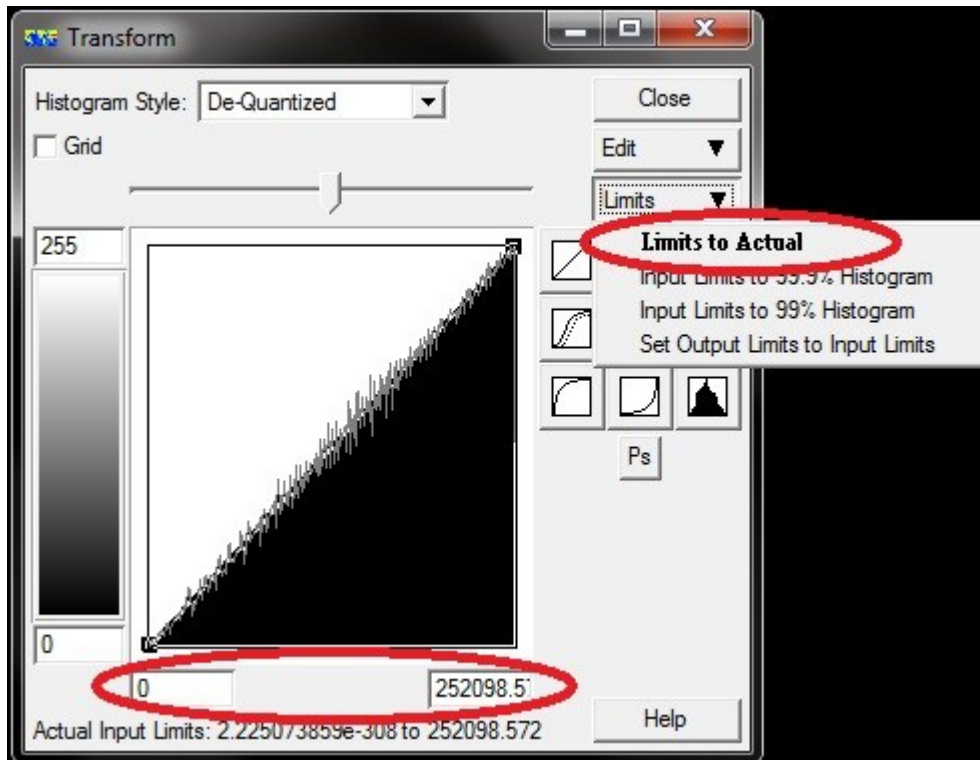
Továbbá az egyenletet kiegészítettük az x és y cellaméret négyzetével való szorzással, amely adott esetben 200.

$$\text{A kapott egyenlet: } \sqrt{(252100^2 - (200^2(x-1870)^2 + 200^2(y-1870)^2))}.$$



33. ábra: A digitális domborzatmodell egyenlete

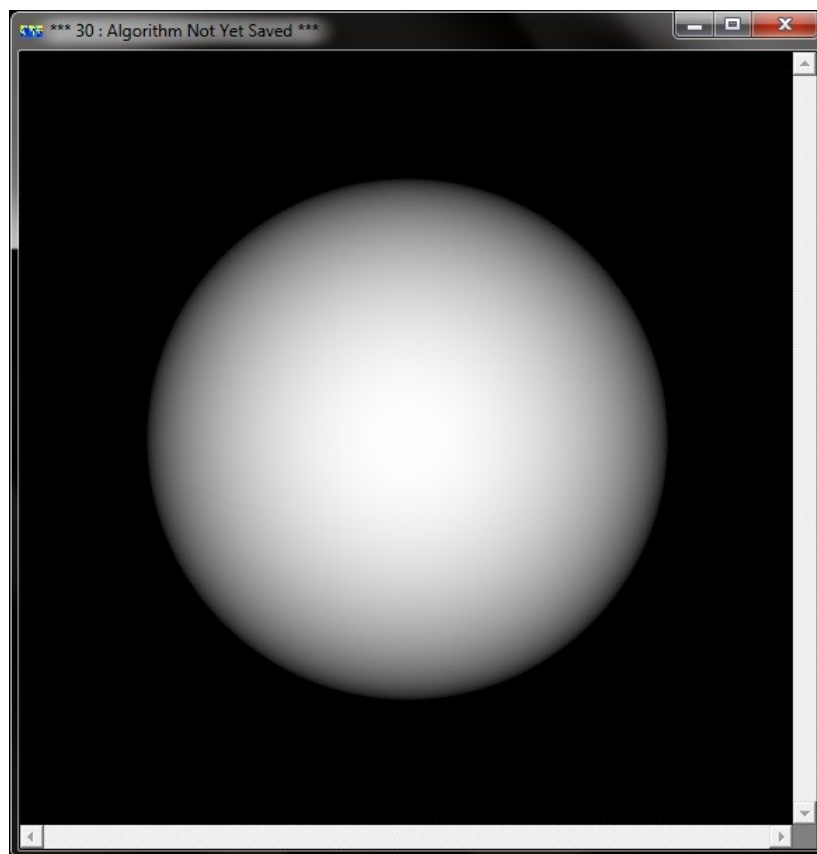
Az utolsó lépésként az *Edit Transform Limit* fülön beállítjuk, hogy az aktuális értékek alapján számoljon, vagyis, hogy a kép közepére gondolja a maximális sugár értékét a 252 100 métert és ettől távolodva pixel-távolsággal arányosan csökkenjen a modell magassági értéke, esetünkben a sugár. Ezt a *Limits to Actual* gombbal hajtottuk végre.



34. ábra: Aktuális értékhez rendelés

Láthatjuk, hogy a modellünk a maximális értéket a gömbünk közepén veszi fel, ahol feltételezzük, hogy a sugár 252 100 méter. Ehhez rendeli hozzá a fehér színt. Ahogy távolodunk a középponttól a szín feketébe megy át fokozatosan.

Végeredményül kapott domborzatmodellünk a 35. ábrán látható.



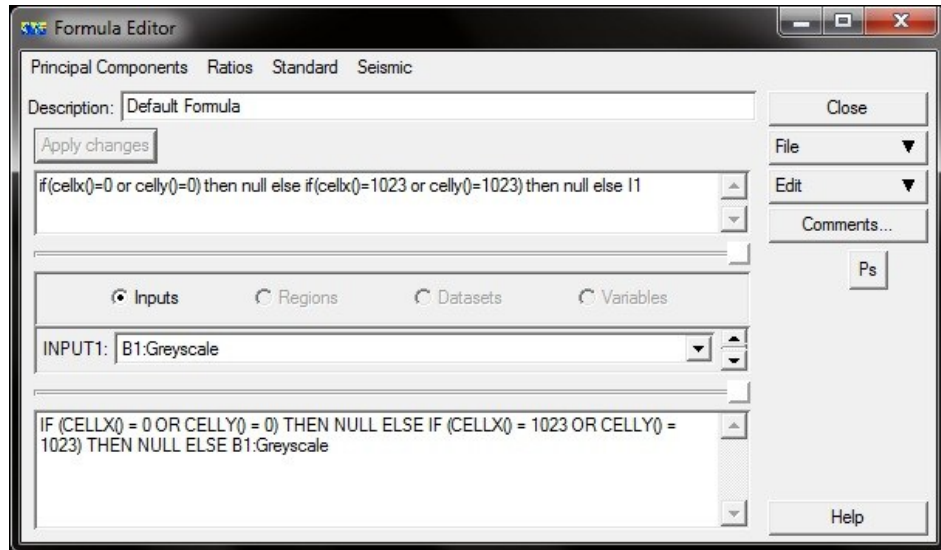
35. ábra: A digitális domborzatmodell

## 5.7 A nyers úrfelvétel alaptérképre igazítása

### 5.7.1 A képek előkészítése

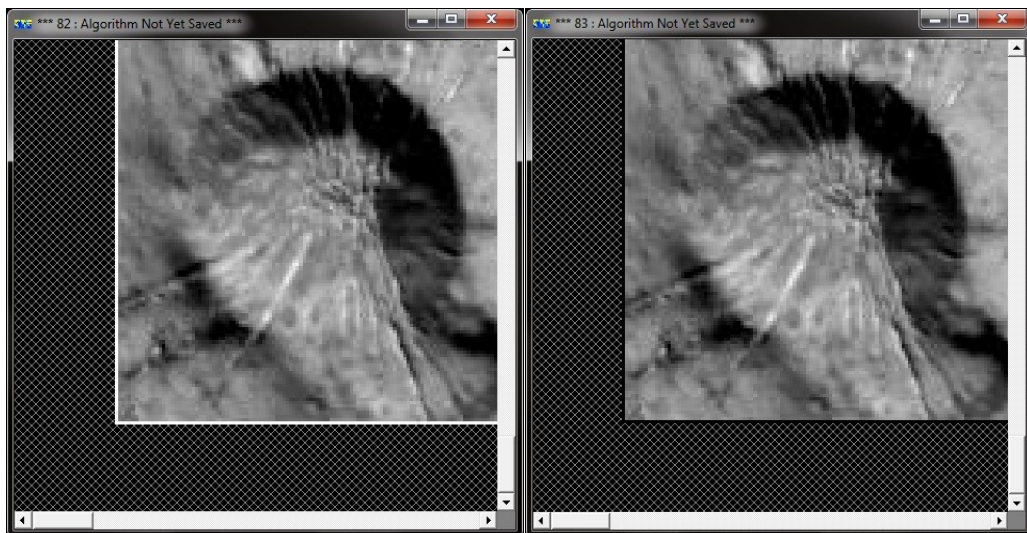
A feladat megkezdése előtt meg kellett javítanunk a nyers képünket. Problémát okozott, hogy a kép első és utolsó pixelsorában és oszlopában a pixelek fehér színűek voltak. Ha a képre ráközelítettünk, láthattuk, hogy a kép körül egy 1 pixel széles „keret” látható. Ez az ortorektifikáció során gondot okozott a kép megjelenítésében. Lényegében meg kellett adnunk a program számára, hogy ezzel a „kerettel” ne foglalkozzon, értékét vegye „nincs adat”-nak. Ezzel küszöböltük, ki, hogy le kelljen vágni az 1024 x 1024 pixeles képméretből. A problémát oly módon oldottuk meg, hogy a nyers képünkre mutató *.ers* állományt az eredeti adattípusában levő *Unsigned 8bit Integer* helyett *Signed 16bit Integerre* állítottuk át, vagyis a képpontok előjeles egész értékeket vehetnek fel egészen -32 768-tól 32 768-ig az eddigi 0-255 helyett. Ezt egyszerűen a *File* fülön található *Save As* gombbal tudtuk végrehajtani. Itt a fájl típusának szintén *.ers-t* választottunk és fontos, hogy mentésnél a „nincs adat” értékének -1 -et adjunk

meg, amelynek majd a módszer befejezésénél lesz szerepe. A következő lépésben hasonló módon jártunk el, mint a domborzatmodell megalkotásánál. A kép megnyitása után a Formula Editorba a 36. ábrán látható „ha” függvényt adtuk meg. Vizsgálja meg az első y vagy x cellasort és értékét tegye „nincs adattá”. Majd vizsgálja meg a kép utolsó sorára és oszlopára is. Egyéb esetben tartsa meg az eredeti képpontokat.



36. ábra: A függvény megadása ER Mapperben

Az eredeti kép és az átalakított kép közötti különbséget a 37. és 38. ábra szemlélteti.



37. ábra: Az eredeti kép

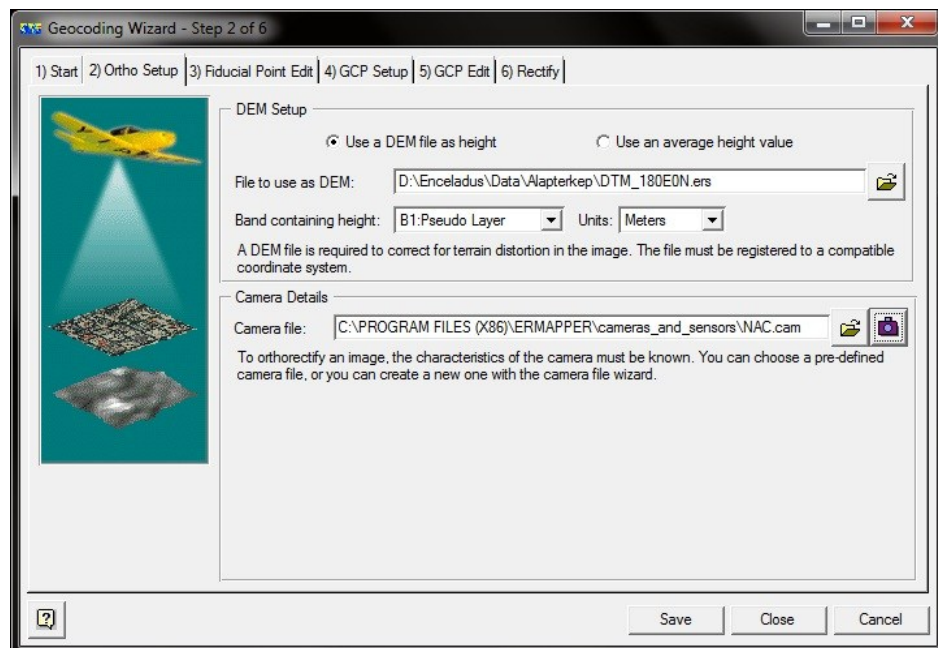
38. ábra: Javított kép

## 5.7.2 Geokódolás kameramodell segítségével

A nyers kép illesztése meghatározott illesztőpontok segítségével történt. Ehhez a *Geocoding Wizard - Orthorectify using ground control points* lehetőségét választottuk. Hogy ezt elvégezhessük szükségünk volt egy úgynevezett kamera fájlra és minél több jól felismerhető illesztőpontra mind az alaptérképen, mind a nyers úrfelvételen.

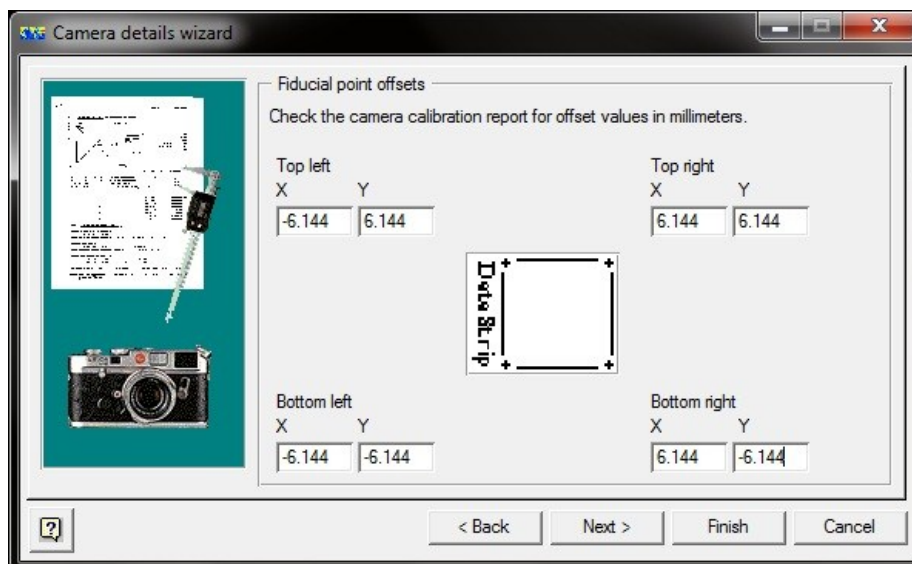
A nyers képünk, amelyre az OPUS adatbázisában találtam rá, az Enceladus 200° hosszúsági fokát és alacsony szélességek területét ábrázolja.

Az *Orthorectify using ground control points* ablakon az *Ortho Setup* fül alatt megadjuk, hogy a magassági adatokat a már elkészített domborzatmodellünkből számolja vissza. Ezen kívül egy úgynevezett kamera fájlt kellett megadnunk a program számára. Ehhez természetesen létre kellett hozni egyet, a következő adatokkal. Fókusz távolság milliméter egységben, jelen esetben 2002 milliméter. A CCD középpontja hol legyen, alapértelmezetten  $X=0$ ,  $Y=0$ , vagyis a kép közepére. A következő lépésben a CCD négy sarokpontjának értékeit kellett megadnunk. Ez a bal felső sarokra  $X= -6,144$  milliméter,  $Y=6,144$  milliméter. A 6,144 értéket a CCD adataiból számítottam. Mivel tudjuk, hogy 1024 pixel széles és magas és hogy egy pixel 12 mikrométer, így a CCD mérete 12 288 mikron. Ennek fele 6,144 milliméter.



39. ábra: Domborzatmodell és kamerafájl importálása





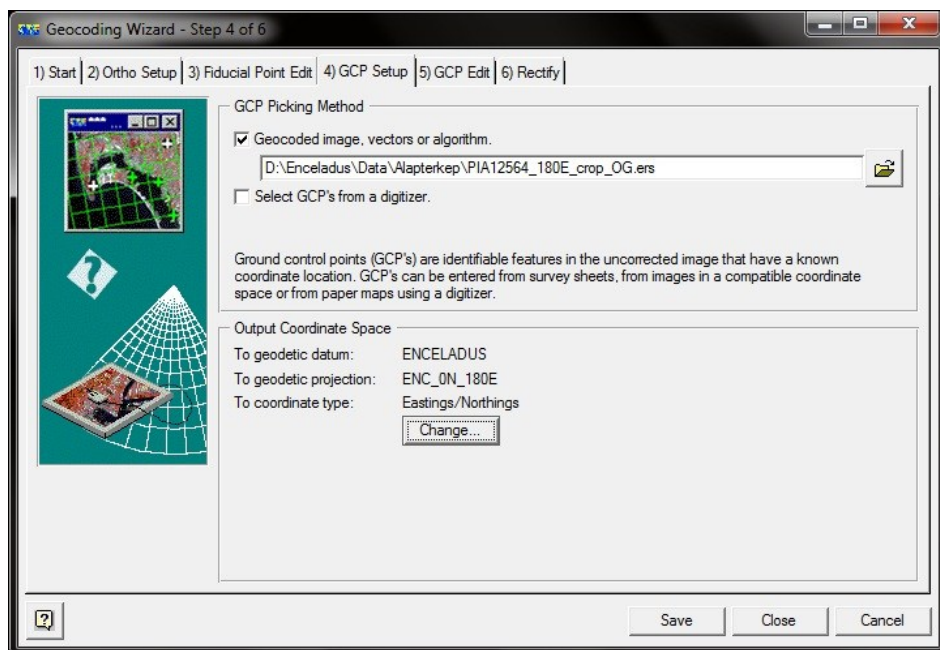
40. ábra: A CCD sarokpontjainak megadása

Amint betöltöttük a kamera fájlunkat, a következő *Fiducial Point Edit* fülön a nyers képünk sarokpontjait kellett megadnunk.

3) Fiducial Point Edit   4) GCP Setup   5) GCP Edit   6) Rectify							
Name	On	Edit	Undo	Cell X	Cell Y	RMS	
Top Left	On	Edit		0.00	0.00	0.00	
Top Right	On	Edit		1024.00	0.00	0.00	
Bottom Left	On	Edit		0.00	1024.00	0.00	
Bottom Right	On	Edit		1024.00	1024.00	0.00	

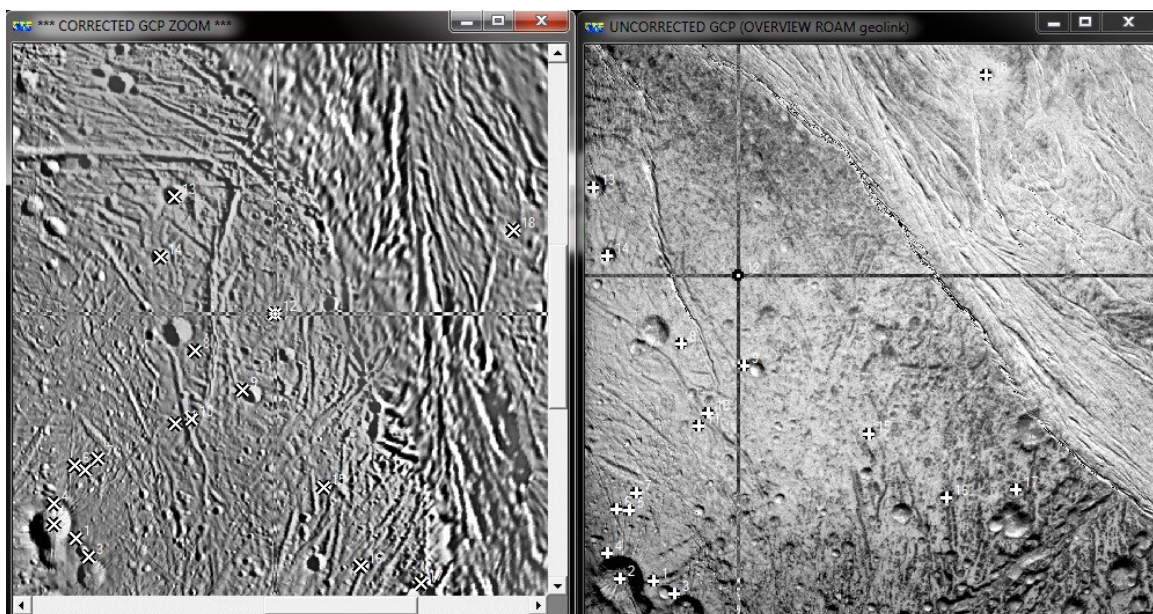
41. ábra: A nyers kép sarokpontjainak megadása pixelben

A *GCP Setup* fül alatt, azt az alaptérképet kellett betölteni, amely ábrázolja az adott nyers úrfelvételen is látható területet. Továbbá itt állítottuk be a geokódolandó kép vetületi rendszerét. Alapértelmezésben ez az alaptérkép vetületi rendszere. „Ennek helyes beállításával elérjük, hogy a képet a geokódolás után a térinformatikai rendszerünk akár más vetületbe is át tudja transzformálni, vagy más vetületben adott adatrendszerekkel együtt képes legyen megjeleníteni” (Molnár, 2007.).



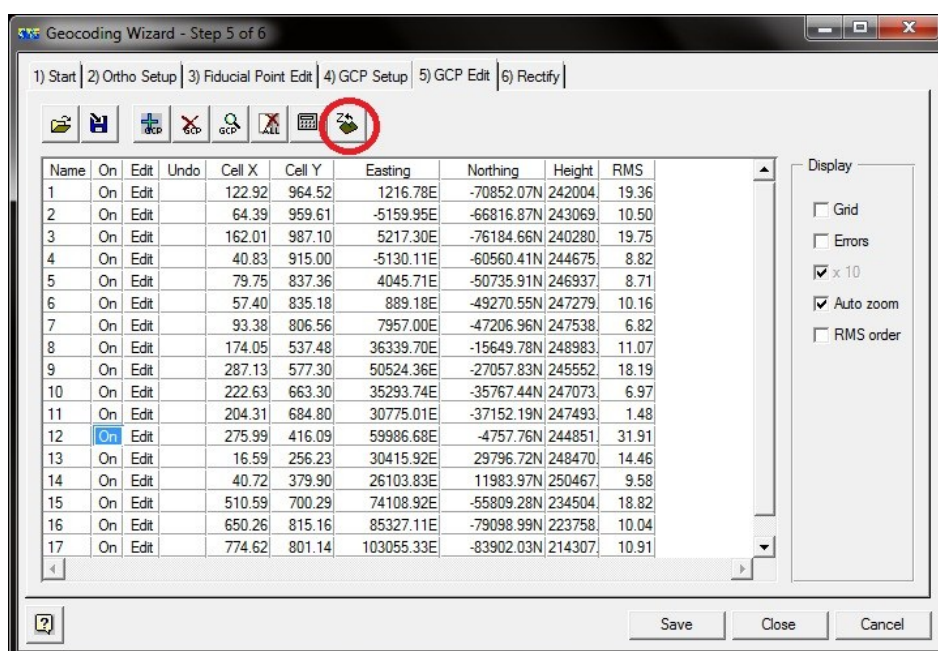
42. ábra: Az adott területet ábrázoló alaptérkép importálása

Ezután következett az illesztőpontok megadása a *GCP Edit* fülön. Két ablak jelent meg előttünk, az egyik az alaptérkép ortogonális vetületben, a másikon a nyers képünk. A mindkét képen jól felismerhető kontroll pontokat kellett kijelölnünk. Erre a célra leginkább a kráterek szolgáltak, de volt, hogy könnyen fel lehetett ismerni egyes mélyedéseket is. Mivel a nyers kép frissebb állapotot tükröz az égitest felszínéről, így elképzelhető volt, hogy előfordultak olyan felszínformák, amelyek a régebbi alaptérképen nem. Érdekes volt minél több illesztőpontot felvenni a pontosság érdekében.



43. ábra: Illesztőpontok megadása

Az ER Mapper minden egyes pontnak kiírja a képi és a vetületi koordinátáit. Hogy magassági adatunk is legyen, a *Set Z height from DEM* gombra kellett kattintanunk az egyes pontok megadása után. A program ilyenkor kiolvassa a domborzatmodellünkből a magassági adatot, amelyek a hold középpontjához rendelt koordináta-rendszerben vannak értelmezve.

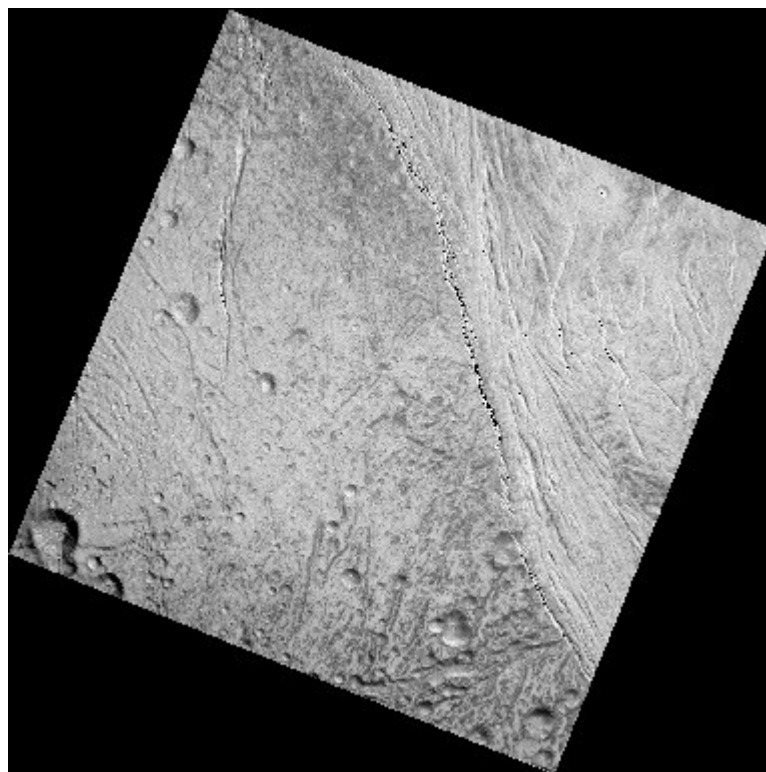


44. ábra: Az illesztőpontok és a hozzájuk rendelt magassági adat

A 44.- ábrán láthatjuk, hogy a program előre megbecsülte a két felvett pont közötti különbséget. Ezt az *RMS* oszlopban láthatjuk. Az *RMS*, mint *Root Mean Square*, vagyis négyzetes középérték hiba jelentkezik. „Ez nem más, mint az illesztőpontokban a kijelölt (mért), és a transzformációval meghatározott (számított) képi koordináták különbsége” (Molnár, 2007). Ezt a polinomiális transzformációval csökkenteni tudtuk, amit a következő fejezetben ismertetek.

Végezetül a *Rectify* fülön kellett beállítanunk a kimeneti fájlunk nevét és fontos volt, hogy a „nincs adat” értékének itt is -1 –et adjunk meg. Erre azért volt szükség, mert a kép elmentése után a program egy általános görbe vonalakkal határolt négyszögű síkidommá alakította a képet, amelyet egy fekete téglalapba foglalt be. Az eredményünk bemutatásánál viszont csak a tényleges területet ábrázoló képre van szükségünk, ezért a -1 érték megadásával a program nem veszi figyelembe azokat a pixeleket, amelyekhez nem tartozik érték. Valamint a korábban említett fehér pixel „keret” probléma megoldását is itt tudjuk véglegesíteni, vagyis a függvényünk által meghatározott „nincs adat” értéket sem veszi figyelembe a program.

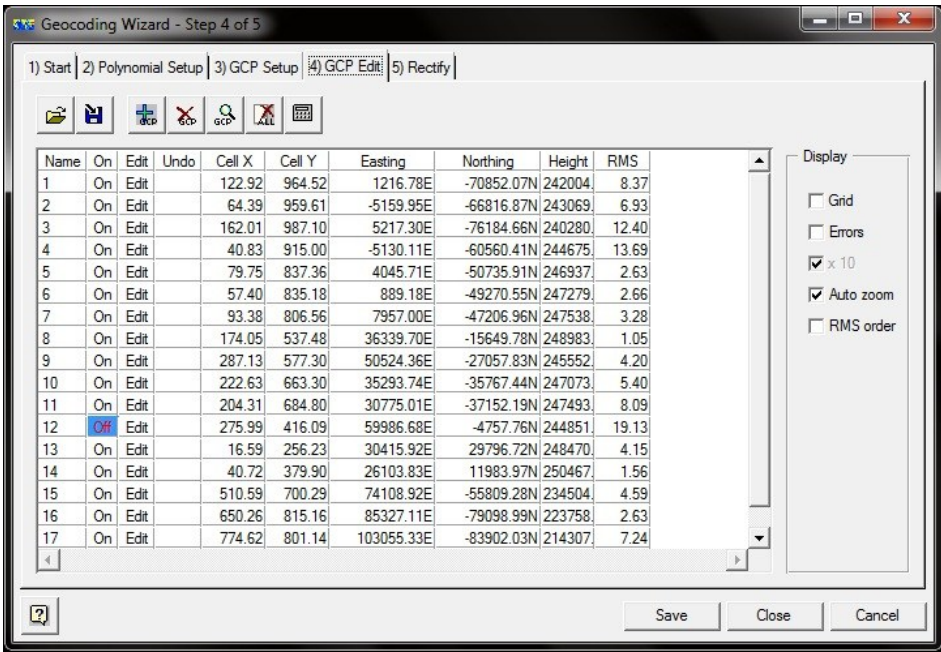
Az elkészült képünket a 45. ábrán láthatjuk.



45. ábra: Az elkészült kép

### 5.7.3 Geokódolás polinomiális transzformációval

Az *RMS* hiba csökkentése érdekében a nyers képünket polinomiális interpoláció alá vetettük, vagyis a közelítő függvények polinomok. Ezt a *Geocoding Wizard - Polynomial* ablakán tudtuk elérni. A *Polynomial Setup*-nál a *Quadratic* vagyis másodfokú közelítést választottuk. A program megőrizte nekünk a már meghatározott illesztőpontokat, így azokat nem kellett újra megadni. A *GCP Edit* fülön szintén kiírja az *RMS* hibákat, de ebben az esetben már jóval kisebb az értékük.

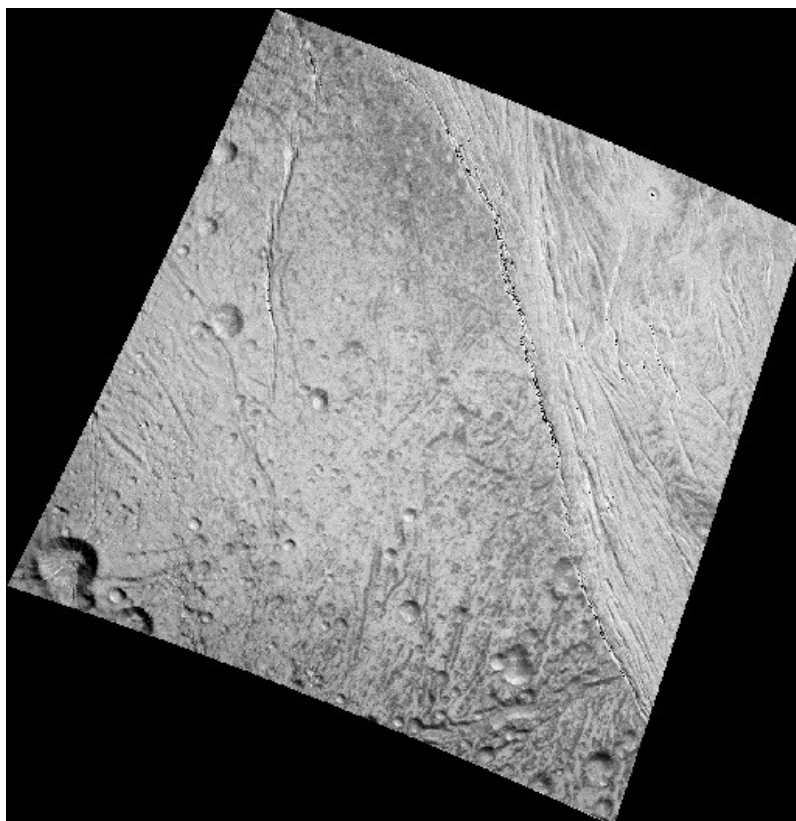


Name	On	Edit	Undo	Cell X	Cell Y	Easting	Northing	Height	RMS
1	On	Edit		122.92	964.52	1216.78E	-70852.07N	242004.	8.37
2	On	Edit		64.39	959.61	-5159.95E	-66816.87N	243069.	6.93
3	On	Edit		162.01	987.10	5217.30E	-76184.66N	240280.	12.40
4	On	Edit		40.83	915.00	-5130.11E	-60560.41N	244675.	13.69
5	On	Edit		79.75	837.36	4045.71E	-50735.91N	246937.	2.63
6	On	Edit		57.40	835.18	889.18E	-49270.55N	247279.	2.66
7	On	Edit		93.38	806.56	7957.00E	-47206.96N	247538.	3.28
8	On	Edit		174.05	537.48	36339.70E	-15649.78N	248983.	1.05
9	On	Edit		287.13	577.30	50524.36E	-27057.83N	245552.	4.20
10	On	Edit		222.63	663.30	35293.74E	-35767.44N	247073.	5.40
11	On	Edit		204.31	684.80	30775.01E	-37152.19N	247493.	8.09
12	Off	Edit		275.99	416.09	59986.68E	-4757.76N	244851.	19.13
13	On	Edit		16.59	256.23	30415.92E	29796.72N	248470.	4.15
14	On	Edit		40.72	379.90	26103.83E	11983.97N	250467.	1.56
15	On	Edit		510.59	700.29	74108.92E	-55809.28N	234504.	4.59
16	On	Edit		650.26	815.16	85327.11E	-79098.99N	223758.	2.63
17	On	Edit		774.62	801.14	103055.33E	-83902.03N	214307.	7.24

46. ábra: Hibaértékek az interpoláció után

A másodfokú közelítéshez legalább hat illesztőpontot kell meghatározunk. Mivel a bemutatott képünkön valamivel több, mint tizenhét pontot sikerült azonosítanunk, így megtehettük azt, hogy a legnagyobb hibával rendelkező pontot kikapcsoltuk. Ezáltal még jobban tudtuk pontosítani az ortorektifikációt.

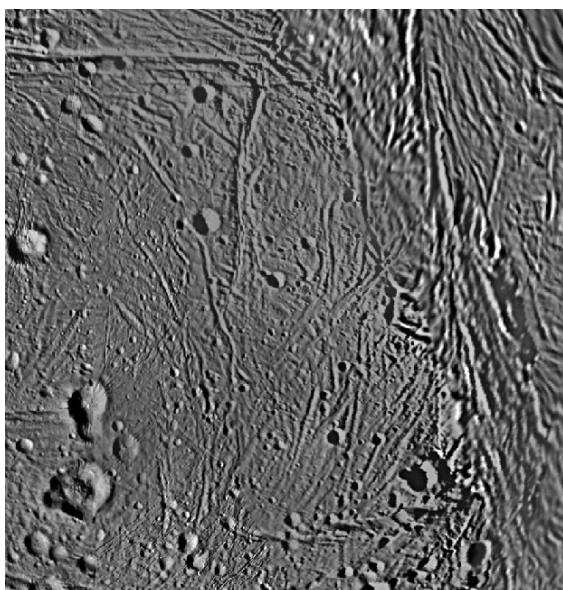
Végül a *Rectify* fülön mentettük el a képet. Itt sem felejtettük el a „nincs adat” értékének a -1 –et megadni.



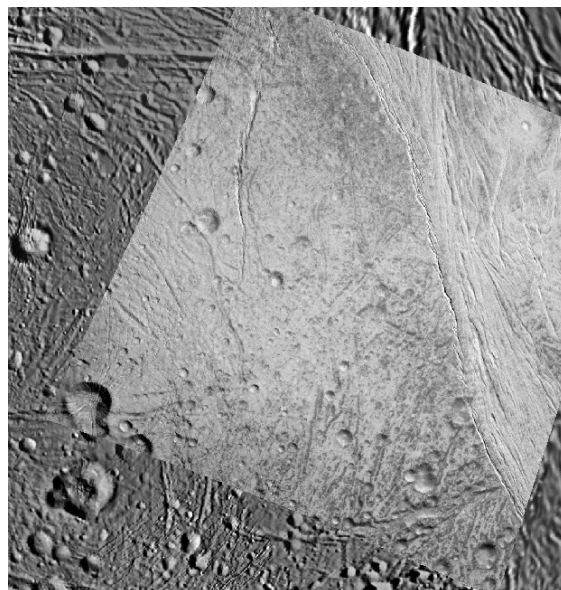
47. ábra: A végleges kép a transzformáció után

## 6. Eredmények

Először két külön képen szemléltetem az alaptérkép állapotát és a ráillesztett nyers felvétel állapotát, ha több mint tizenhét illesztőponttal rendelkezünk.

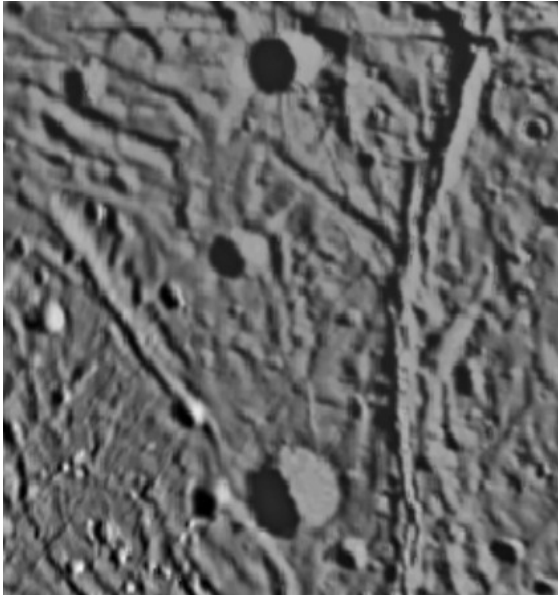


48. ábra: Az alaptérkép

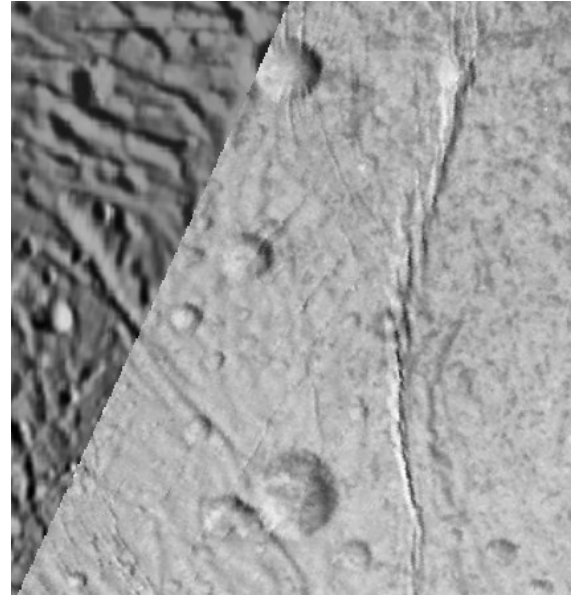


49. ábra: Az adott területre illesztett kép

Az ábrák összehasonlításakor jól kivehető, hogy a kép jobb oldalán található barázdákat és árkokat a frissebb űrfelvétel jóval részletesebben jeleníti meg. A képből kiragadtam egy viszonylag torzulásmentes, részlet gazdag területet, valamint talán a legrészletesebb, viszont kevésbé pontos területet.



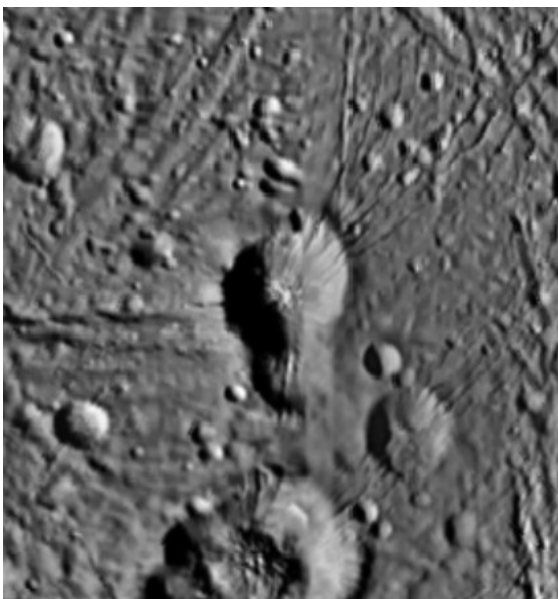
50. ábra: Az alaptérkép állapota



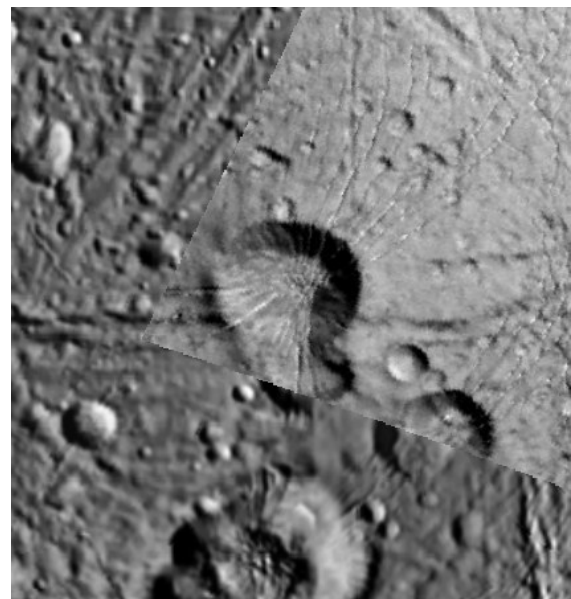
51. ábra: Az adott területre illesztett kép

Az 50. és 51. ábra relatív torzulásmentesen mutatja be, hogy a nyers képen található felszíninformák a két kép készítésének ideje között változást szenvedtek, amely bizonyíték az égitest aktív geológiai folyamataira.

A következő két ábra szemlélteti, hogy a kép bizonyos területein más megvilágítási és ránézési irány figyelhető meg.

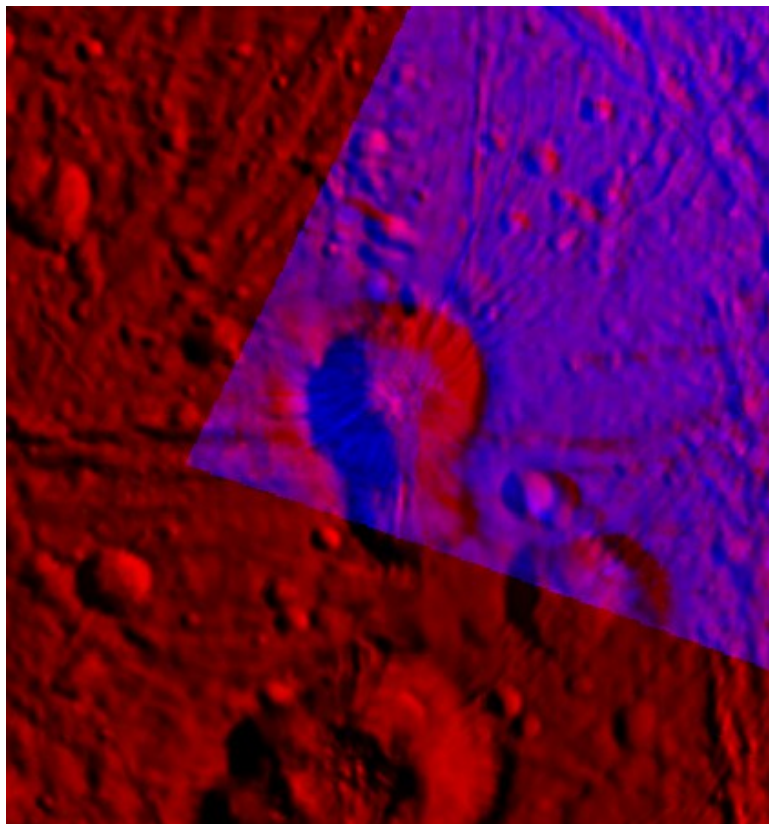


52. ábra: A kráter helyzete az alaptérképen



53. ábra: A kráter helyzete az illesztés után

A különbséget úgy is be tudjuk mutatni, hogy az alaptérképet és a ráillesztett űrfelvételt két külön színből álló rétegre állítjuk be. Esetünkben az alaptérkép réteget vörös színmódban, az űrfelvételt pedig kék színmódban jelenítettük meg egymáson. Kivehető, hogy a kráterek nem pontosan illeszkednek egymásra, az elcsúszás mértéke nem elhanyagolható. A pixelméretarányból kiszámolva az értéke jelen esetben körülbelül két kilométer, tehát ugyanaz a kráter egy adott pontja a két képen megközelítőleg két kilométer távolságban van egymástól. A pontatlan átmintavételezés mértéke függ az illesztőpontok sűrűségétől, függ a terület magasságkülönbségeitől, valamint hogy az űrszonda milyen szög alatt készíti a felvételt az égitestről.



54. ábra: A pontatlanságot szemléltető piros és kék réteg

## 7. Összefoglalás

Szakedolgozatomban bemutattam egy olyan viszonylag rövid idő alatt végrehajtható eljárást, amellyel a jövőbeni új nyers űrfelvételeket könnyedén össze lehet hasonlítani az égitest felszínének múltbeli állapotával. A szakdolgozat elején rövid ismertetést



tettem a jelenleg is aktív misszióról, beleértve magát az űrszondát is, valamint röviden bemutattam a Szaturnusz egyik legérdekesebb holdját, amelyen a módszert végre is hajtottam. Az eljárás a későbbiekben akár tovább is pontosítható, NASA kalibrációs programjával, kalibrált képek alkalmazása esetén. A jövőben még számos jó minőségű felvétel készül az égitestről, amelyek segítségével nagyobb területeket tudunk pontosítani az alaptérképen.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani *Miodrag Sremcevic*nek a Kolorádó Egyetem Űrfizikai Tanszék munkatársának és a NASA UVIS csapat tagjának a hasznos információkért.

## 8. Irodalomjegyzék

### Nyomtatott irodalom

BEN KNOWLES (2011): Cassini Imaging Science Subsystem (ISS) PDS Data User's Guide, Space Science Institute, Utolsó elérés: 2012.05.14

[http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISS\\_Data\\_User\\_Guide\\_110928draft-2.pdf](http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISS_Data_User_Guide_110928draft-2.pdf)

CAROLY C. PORCO (2004): Cassini Imaging Science: instrument characteristics and anticipated scientific investigations at Saturn, Space Science Reviews, Kluwer Academic Kiadó, v115, 363-497, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://www.springerlink.com/content/x763557252q7672j/fulltext.pdf>

DIANA ELIZABETH SMITH (2008): Viscous Relaxation of Craters on Enceladus , ProQuest Kiadó, The University of Arizona Planetary Sciences, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://books.google.com/>

KARL KRAUS – PETER WALDHAUSL (1998): Fotogrammetria, Tetria Kiadó, Budapest

LINDA T. ELKINS - TANTON (2006): Jupiter and Saturn, Chelsea House Kiadó, New York, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://books.google.com/>

SÜMEGHY ZOLTÁN – UNGER JÁNOS – GÁL TAMÁS (2009): Térképészet, Szegedi Egyetemi Kiadó, Szeged

### Internetes hivatkozások

AMY C. BARR – LAUREN J. PREUSS (2010): On the origin of south polar folds on Enceladus, Icarus Volume 208, Issue 1, Pages 499-503, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001910351000148X>

CAROLY C. PORCO (2010): Cassini Imaging Science Subsystem Saturn Mosaicked Image Data Record, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://starbrite.jpl.nasa.gov/pds/viewProfile.jsp?dsid=CO-S-ISSNA/ISSWA-5-MIDR-V1.0>

DR. JANCSÓ TAMÁS – DR. BARSÍ ÁRPÁD (2010): Fotogrammetria – Tájékozások, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Utolsó elérés: 2012.05.14

[http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027\\_FOT10/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOT10/index.html)

DR. MÉLYKÚTI GÁBOR (2007): Fotogrammetria, Segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf>

DR. MOLNÁR GÁBOR (2007): Raszteres adatok geokódolása

KOÓS TAMÁS (2006): Digitális domborzatmodellek előállítási technológiái és minőségi paramétere, Utolsó elérés: 2012.05.14

[http://hadmernok.hu/archivum/2006/2/2006\\_2\\_koos2.html](http://hadmernok.hu/archivum/2006/2/2006_2_koos2.html)

### Weboldalak, catalog állományok

ER Mapper ismertetője, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://www.erdas.com/products/ERDASERMapper/ERDASERMapper/Details.aspx>

A NASA JPL weboldalán az ISS-re vonatkozó adatok, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://saturn.jpl.nasa.gov/spacecraft/cassiniorbiterinstruments/instrumentsscassiniiss/>

A NASA Deep Space Network weboldala, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/tutor/takepic.html>

A CICLOPS weboldán az ISS-re vonatkozó adatok, Utolsó elérés: 2012.05.14

<http://www.ciclops.org/iss/iss.php>

A Cassini űrszonda ismertetője, Utolsó elérés: 2012.05.14  
<http://pds-rings.seti.org/cassini/INSTHOST.txt>

A szűk látószögű kamera ismertetője, Utolsó elérés: 2012.05.14  
[http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISSNA\\_INST.txt](http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISSNA_INST.txt)

A széles látószögű kamera ismertetője, Utolsó elérés: 2012.05.14  
[http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISSWA\\_INST.txt](http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/ISSWA_INST.txt)

A Cassini-Huygens misszió ismertetője, Utolsó elérés: 2012.05.14  
<http://pds-rings.seti.org/cassini/iss/MISSION.txt>

Catalog állományok összefoglalója, Utolsó elérés: 2012.05.14  
[http://pds-rings.seti.org/volumes/COISS\\_2001/catalog/](http://pds-rings.seti.org/volumes/COISS_2001/catalog/)

## 9. Ábrajegyzék

1. ábra: A Cassini-Huygens űrszonda

[http://cassini3d.com/images/cassini\\_1.png](http://cassini3d.com/images/cassini_1.png)

2. ábra: A Cassini misszió áttekintése 2004-től 2017-ig

[http://www.ciclops.org/news/mission\\_overview.jpg](http://www.ciclops.org/news/mission_overview.jpg)

3. ábra: „Tigris csíkok” a déli póluson

<http://saturn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/moons/images/PIA06247-br500.jpg>

4. ábra: Aktív kitörések a déli

<http://solarviews.com/eng/enceladus.htm>

5. ábra: A Cassini űrszondán található mérőeszközök

[http://pds-rings.seti.org/cassini/cassini\\_side1.gif](http://pds-rings.seti.org/cassini/cassini_side1.gif)

[http://pds-rings.seti.org/cassini/cassini\\_side2.gif](http://pds-rings.seti.org/cassini/cassini_side2.gif)

6. ábra: A szűrők és a CCD

[http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor\\_takepic\\_camera.jpg](http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor_takepic_camera.jpg)

7. ábra: Egy képfájl felépítése

[http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor\\_takepic\\_numericdata\\_lg.jpg](http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor_takepic_numericdata_lg.jpg)

8. ábra: A megjelenített kráter

[http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor\\_takepic\\_crater\\_lg.jpg](http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/tutor_takepic_crater_lg.jpg)

9. ábra: A globális Enceladus térkép

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA12564.jpg>

10. ábra: A NASA JPL honlapja <http://saturn.jpl.nasa.gov/index.cfm>

<http://saturn.jpl.nasa.gov/index.cfm>

11. ábra: A NASA PDS honlapja

<http://pds.nasa.gov/>

12. ábra: A PDS honlapon található adatkeresők

<http://pds.nasa.gov/>

13. ábra: Az OPUS kereső

<http://pds-rings.seti.org/search/>

14. ábra: A módszer bemutatására szánt nyers kép

<http://pds-rings.seti.org/search/>

15. ábra: Az Enceladust ábrázoló térképmozaikok

<http://www.ciclops.org/maps/Cartographic>

16. ábra: A CICLOPS honlapja [http://www.ciclops.org/maps\\_index.php](http://www.ciclops.org/maps_index.php)

[http://www.ciclops.org/maps\\_index.php](http://www.ciclops.org/maps_index.php)

17. ábra: A képkoordináta-rendszer

DR. MÉLYKÚTI GÁBOR (2007): Fotogrammetria, Segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére.

<http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf>

18. ábra: Kollineár egyenletek

[http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027\\_FOT10/ch01s05.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOT10/ch01s05.html)

19. ábra: A *spheroid.dat* állomány felépítése
20. ábra: A *spheroid.dat* állomány Enceladusra vonatkozó sora
21. ábra: A *datum\_sp.dat* állományban definiált sor
22. ábra: Az *orthog.dat* állomány felépítése szerkesztés után
23. ábra: Georeferálás Global Mapperben
24. ábra: Dátum definiálása Global Mapperben
25. ábra: A 180 hosszúsági fokot ábrázoló alaptérkép Global Mapperben
26. ábra: Az ER Mapper geokódolás varázslója
27. ábra: A geokódolás első lépése
28. ábra: Dátum hozzáadása
29. ábra: A cellaméretarány és alapértelmezett kezdő cella megadása
30. ábra: Vetület kiválasztása
31. ábra: Ortogonális vetületű kép
32. ábra: Digitális domborzatmodell létrehozása ER Mapperben
33. ábra: A digitális domborzatmodell egyenlete
34. ábra: Aktuális értékhez rendelés
35. ábra: A digitális domborzatmodell
36. ábra: A függvény megadása ER Mapperben
37. ábra: Az eredeti kép
38. ábra: Javított kép
39. ábra: Domborzatmodell és kamerafájl importálása
40. ábra: A CCD sarokpontjainak megadása
41. ábra: A nyers kép sarokpontjainak megadása pixelben
42. ábra: Az adott területet ábrázoló alaptérkép importálása
43. ábra: Illesztőpontok megadása
44. ábra: Az illesztőpontok és a hozzájuk rendelt magassági adat
45. ábra: Az elkészült kép
46. ábra: Hibaértékek az interpoláció után
47. ábra: A végleges kép a transzformáció után

- 48. ábra: Az alaptérkép
- 49. ábra: Az adott területre illesztett kép
- 50. ábra: Az alaptérkép állapota
- 51. ábra: Az adott területre illesztett kép
- 52. ábra: A kráter helyzete az alaptérképen
- 53. ábra: A kráter helyzete az illesztés után
- 54. ábra: A torzulást szemléltető piros és kék réteg

## Nyilatkozat

Alulírott, **Kovács Péter Zsolt** nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

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

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2012. május 15.

.....  
a hallgató aláírása