

# Góry Księżycowe

Geneza i pomiar ich wysokości

Mateusz Krakowczyk

Klub Astronomiczny „Almukantarat”

Pomoc naukowa  
mgr Grzegorz Przybyła

## Bibliografia:

- Branicki Andrzej „Obserwacje i pomiary astronomiczne” wyd. 2012  
Rybka Eugeniusz „Astronomia ogólna” wyd. 1983  
<http://www.astro.virginia.edu/SST/resources/Lunar%20Geology.pdf>  
<http://lunarnetworks.blogspot.com/2011/02/lroc-morphometry-of-lunar-volcanic.html>  
[www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2011/pdf/2228.pdf](http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2011/pdf/2228.pdf)

## **1. Wprowadzenie.**

Nasz jedyny satelita naturalny- Księżyc jest jednym z najbardziej elementarnych obiektów astronomicznych, intuicyjnych i pełniących ogromną rolę w życiu wielu społeczeństw. Każdy mieszkaniec naszej planety zdaje sobie sprawę o jego istnieniu i podstawowej charakterystyce. Jest to również jedyne ciało poza Ziemią które gościło na swojej powierzchni człowieka. Poglądy na budowę i charakter tego ciała zmieniały się przez wieki. Uważany za pana nocy stał się inspiracją i podstawą budowy kalendarzy i organizacji życia ludzkiego, ukazując cykl faz. Jego ruch powoduje również wiele spektakularnych zjawisk na niebie które fascynowały i przerażały ludzi. Powierzchnia Księżyca nie była znana dokładnie do przełomowego momentu w historii rozwoju astronomii czyli pierwszego użycia lunety do celów astronomicznych przez Galileusza w 1609r. Od tego czasu poczęły powstawać jego atlasy i rysunki, na przykład „Selenographia” autorstwa Jana Heweliusza. Początkowo nie zdawano sobie sprawy z wielowości form i krajobrazu a skupiano się na opisywaniu pozornych zmian, czy też dokładnej reprodukcji aktualnego widoku. Dokładne badania satelity umożliwiły stworzenie jego charakterystyki i teorii na jego temat. Aktualnie jest on bodaj najlepiej zbadanym ciałem w układzie słonecznym.

Księżyc uformował się prawdopodobnie ok 4,5 mld lat temu, niedługo po powstaniu Układu Słonecznego. Dzięki wieloletnim badaniom Księżyca wysnuto tezę o jego zderzeniowym powstaniu. Młoda Ziemia (Terraluna) powstała z akrecji planetozymali, zderzyła się z ciałem wielkości Marsa, nazwanym Thea. Kolizja spowodowała rozerwanie i fragmentację obu obiektów. W chmurze odłamków pojawiła się fluktuacja, na którą poczęły opadać inne odłamki, tworząc naszego naturalnego satelitę. Początkowo Księżyc był płynny, cięższe pierwiastki zgodnie z prawem Archimedesusa spłynęły do jądra, formując wewnętrzną budowę satelity z małym stałym jądrem wewnętrznym, płynną otoczką zewnętrzną i grubym płaszczem. Większość objętości Księżyca zajmuje płaszcz. Następnie, nowo uformowane ciało, było bombardowane opadem mniejszych planetozymali. Okres ten, w historii układu słonecznego nosi nazwę Wielkiego Bombardowania. Wtedy to powstała większość dużych kraterów księżycowych i uformowały się baseny mórz księżycowych. Na skutek obecności radioaktywnych pierwiastków w jądrze, rozgrzany płaszcz spowodował erupcje wulkaniczne.

Tam, gdzie grubość skorupy była najmniejsza (na obszarach mórz) magma wylała się i utworzyła ich obecną powierzchnie. Kolejne spadki małych ciał stworzyły aktualny obraz tarczy. Podczas upadków planetozymali, nastąpiły rozrzuty mas skalnych. Kratery powstałe w czasie takich procesów cechują się między innymi wypiętrzeniem na obrzeżach. Wzniesienia takie są najczęstszą formą występowania gór księżycowych.

## **2. Góry księżycowe pochodzenia zderzeniowego.**

W czasie spadku meteoroidu jego energia kinetyczna jest wyzwolana w gwałtowny sposób. W znacznej mierze ingeruje to w podłoże na które następuje spadek, tworząc w nim strukturę zwaną kraterem. Opadająca skała w chwili kolizji wywiera ogromne ciśnienie na materiał podłoża. Następuje gwałtowna kompresja i przyspieszenie materiału w dół i na zewnątrz. Dekompresja jest główną przyczyną eksplozji. Wyrzut i odparowanie skał powoduje powstanie wgłębienia w terenie, natomiast materiał wyrzucony osiada na brzegach ukształtowanej parabolicznej misy. W dużych kraterach ich budowa jest bardziej skomplikowana, powstaje m.in. wzniesienie centralne.

Kratery mają przekrój kołowy lub eliptyczny. Wynika to z faktu spadku danego meteoroidu pod kątem do powierzchni i jego prędkości. Przy uderzeniach z dużym kątem nachylenia względem normalnej występuje znaczna deformacja misy krateru i jego budowy, która staje się asymetryczna. Wokół takich kraterów góry nie występują promieniście, lecz tylko z jednej strony obwodu, osiągając znaczne rozmiary blisko wielkiej półosi elipsy opisującej krater. Dobrym przykładem takiej formy jest Zatoka Tęczny (Sinus Irridium) na wybrzeżach Morza Deszczów (Mare Imbrium).

Kraterzy uderzeniowe są formami niezwykle trwałymi i o potężnych rozmiarach. Pojawia się uzasadnione pytanie o przyczynę braku podobnych form impaktowych na Ziemi. Kraterzy takie najprawdopodobniej istniały na planecie, jednak miliony lat erozji i ruchów kontynentalnych doprowadziły do ich całkowitego zniszczenia. Na Księżycu erozja jest bardzo słaba. Występują pewne niewielkie ruchy regolitu, spowodowane oddziaływaniem magnetycznym z ziemską magnetosferą i wzbudzeniem w ziarnach piasku małych prądów powodujących odpychanie, co i tak, na widocznej stronie tarczy jest neutralizowane przez światło ultrafioletowe. Są to efekty nie grające praktycznie żadnej roli w życiu danego krateru. Występuje również brak erozji atmosferycznej, wynikającej z braku obecności na naszym satelicie stałej, gęstej i dynamicznej atmosfery, która prowadzi do modyfikacji form skalnych i geologicznych. Jedynym czynnikiem który prowadzi do uszkodzenia kraterów są kolejne spadki kraterów na powierzchnie które zmieniają obraz kraterów. Przykładem olbrzymiej formy zdemolowanej przez kolejne impakty jest Basen Arktiken, największy krater w układzie słonecznym. Materiał tworzący góry często występują w łańcuchach, których nazwy pochodzą od nazw ziemskich łańcuchów górskich.

### **3. Góry pochodzenia wulkanicznego.**

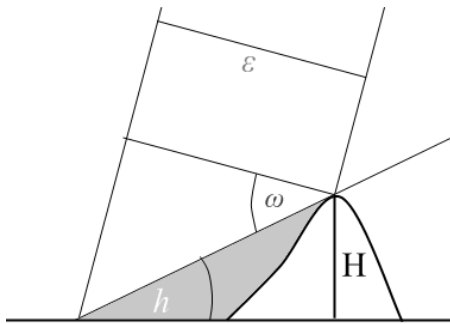
Księżyc jest ciałem nie aktywnym wulkanicznie, lecz jego powierzchnia jest nacechowana przez działania wulkaniczne. Można zauważyć wzniesienia o genezie wulkanicznej. Istnieją pojedyncze formy analogiczne do ziemskich wulkanów, których występowanie jest niezwykle rzadkie. Na powierzchni znajdują się również kopuły wulkaniczne, których powstanie nie jest do końca wyjaśnione. Występują one na powierzchni mórz co sugeruje iż powstały w następstwie wylania magmy na nierówności terenu. W przeciwieństwie do kraterów uderzeniowych, formy te pochodzą z wcześniejszego okresu historii naszego satelity. Nie pojawią się już również nowe twory wulkaniczne, a te które istnieją są jedynie niszczone przez ciągle bombardowanie Księżyca przez odłamki skalne.

### **4. Struktury.**

Księżyc nie jest ciałem aktywnym geologicznie. Badania sond oraz wypraw księżycowych pozwoliły nam dokładnie poznać historię form geologicznych. Początkowo gorące jądro, stosunkowo szybko ostygło, i nie powoduje już erupcji wulkanicznych. Na powierzchni istnieje jednak wiele struktur które zaświadcza o wulkanizmie we wczesnych etapach ewolucji naszego naturalnego satelity. Na widocznej stronie Księżyca dużą część tarczy zajmują morza. Są to zastygłe rozlewiska lawy, w zespołach kraterów uderzeniowych. Ich struktura powstała w okresach wielkiego bombardowania. Wylew magmy uformował więc gładką, bazaltową powierzchnię, zmodyfikowaną lekko przez spadki małych meteoroidów. Morza występują również na stronie niewidocznej, lecz jest ich zdecydowanie mniej. Jedną z teorii która tłumaczy tę nietypową dysproporcję jest asymetria wewnętrznej struktury satelity. Jądro jest zdeformowane i przesunięte w stronę Ziemi co spowodowało właśnie takie ustawienie Księżyca względem naszej planety przez siły pływowe które dążą do stanu najmniejszej energii. Morza powstały w kraterach o dużej powierzchni (Mare Imbrium), w ich zespołach lub w głębokich kraterach mniejszej średnicy. Wśród mórz wyodrębnia się również podobne struktury : oceany – czyli morza o wielkiej powierzchni, jeziora -wylewki bazaltowe w mniejszych kraterach oraz bagna- o nieco wyższym albedo, których geneza nie różni się zbytnio od mórz, lecz pewne niewyjaśnione całkowicie czynniki, doprowadziły do ich powstania w takim kształcie. W obrębie ich mogą występować wydzielone zatoki- obszary mórz które mają zarysowany kształt krateru lub jego części w niezmiętej formie. Morza powstały około 3,5 mld lat temu. „Wybrzeża” są stosunkowo rozmyte, chyba że występują w postaci gór. Również granice pomiędzy morzami a bagnami nie są ostre i występuje etap przejściowy. Nazwy z mórz, jezior, zatok i bagien są symboliczne. Starszą formą są wyżyny

księżycowe, pokryte warstwą regolitu. Mają one wyraźnie wyższe albedo w porównaniu do mórz i zajmują znaczną (87%) część całej powierzchni. Cała niewidoczna półkula, z wyjątkiem Morza Wschodniego i Morza Moskiewskiego to wyżyny usiane kraterami. Są one obszarami o wyższej elewacji względem płaszcza księżycowego. Na ich powierzchni znajdują się często starsze formy. Zdjęcia form można znaleźć w Załączniku 2. Właścicielem jest K.A Alireo.

## 5. Metodologia pomiaru.



Każde zniesienie względne na powierzchni Księżyca rzuca cień o długości rzutowej  $d$ , odpowiadającej kątowi  $\epsilon$ . Słońce znajduje się wtedy na elewacji  $h$  nad horyzontem. Zgodnie z definicją funkcji sinus można stwierdzić iż ( $d$  to przeciwprostokątna):

$$H = d \sin h = \frac{r \epsilon}{\cos \omega} \sin h$$

Gdzie  $r$  to odległość od Księżyca.

Kąt  $\alpha$  jest kątem o wierzchołkach w środku Księżyca, środka tarczy oraz w miejscu przecięcia terminatora z równikiem. Kąt  $\beta$  jest kątem pomiędzy obserwatorem a środkiem tarczy a górą księżycową. Z rysunku wynika, że  $\omega$  jest sumą obu kątów, a ponieważ:

$$\cos(\omega) = \cos(\alpha + \beta)$$

$$\beta \ll \alpha$$

$$\cos \omega \approx \cos \alpha$$

Natomiast sinus kąta  $\alpha$  wynosi (z rysunku):

$$\sin \alpha = \frac{r(\rho - \gamma)}{R_{\text{Księżyca}}} = 1 - \frac{\gamma}{\rho}$$

Co daje nam

$$\cos \omega \approx \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho} \left(2 - \frac{\gamma}{\rho}\right)}$$

I ostatecznie:

$$H = \frac{R_{\text{Księżyca}} \left(\frac{\epsilon}{\rho}\right)}{\sqrt{\frac{\gamma}{\rho} \left(2 - \frac{\gamma}{\rho}\right)}} \sin h$$

Problemem jest wystąpienie we wzorze wysokości ciała, a tego kąta nie można zmierzyć bezpośrednio. Zauważmy, że w każdym punkcie terminatora słońce jest na horyzoncie. Na każdym równoległym do niego okręgu na powierzchni również występuje stała wysokość nad horyzontem gwiazdy dziennej. Można więc zauważyć, że wysokość wynika z kąta  $\eta$ , oznaczonego na rysunku w następujący sposób:

$$\sin h \approx \frac{r \eta}{R_K \cos \alpha} = \frac{\eta}{\rho \sqrt{(\gamma/\rho)(2 - \gamma/\rho)}}$$

Podstawiając:

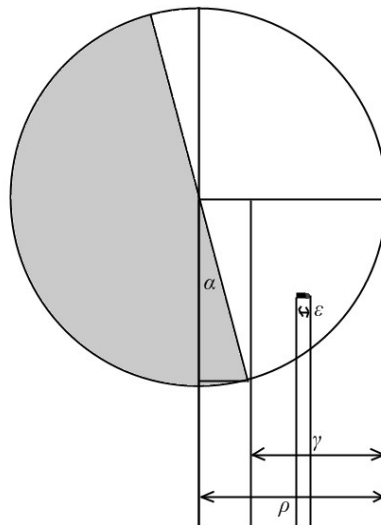
$$\eta = \beta - \sin \alpha \sqrt{1 - (\alpha/\rho)^2}$$

Co prowadzi do końcowego wzoru:

$$H \approx R_K \frac{\epsilon}{\rho} \frac{\beta/\rho - (1 - \gamma/\rho) \sqrt{1 - (\alpha/\rho)^2}}{(\gamma/\rho)(2 - \gamma/\rho)}$$

$R_K = 1737 \text{ km}$

Przez pewne przybliżenia, wzór działa jedynie dla tworów bliskich terminatora i gdy faza jest bliska kwadry. Wówczas uzyskiwane wyniki są bliskie prawdziwym.



## 6. Wyniki i sposób pomiaru.

Jednym z celów napisania tego referatu było wykonanie i obróbka zdjęć powierzchni Księżyca, oraz wyznaczenie wysokości względnej form krajobrazu. Metodologia pomiaru pochodzi z książki Andrzeja Branickiego „Obserwacje i pomiary astronomiczne”.

Wykonujemy zdjęcie Księżyca za pomocą teleskopu i lustrzanki cyfrowej, zamocowanej przez złączkę T2, lub M42. Zdjęcia użyte w tej pracy zostały wykonane za pomocą teleskopu Maksutowa Sky-Watcher, o ogniskowej 1000mm i średnicy zwierciadła 130mm, na montażu paralaktycznym EQ3-2 o ręcznym prowadzeniu. Jako detektora użyto lustrzanki cyfrowej Cannon EOS 450d. Czas ekspozycji to 1/20s, czułość matrycy ISO400.

W planach jest użycie teleskopu o średnicy 20cm systemu Newtona. Autor zastrzega sobie ewentualne użycie wyników wykonanych przez ten sprzęt na kolejnych etapach konkursu. Zdjęcia pochodzące z teleskopu Maksutowa zostały udostępnione przez K.A Albireo.

Fotografię wykonujemy na krótkim czasie ekspozycji, prowadzenie ze względu na potężną jasność obiektu nie jest wymagane. Dużym problemem jest ustalenie odpowiedniej ostrości zdjęcia.

Naturalne rozmycie pochodzące z ruchów atmosfery i wynikające z wykonania pojedynczej ekspozycji jest kompensowane przez wyostrenie zdjęcia w programie graficznym Paint.NET.

Sam pomiar sprowadza się do obrócenia zdjęcia księżyca do pionu/poziomu na zdjęciu, i wyznaczeniu środka tarczy, południka zerowego oraz równika księżycowego. Dzięki temu, że zdjęcie jest zorientowane względem krawędzi zdjęcia, pomiary są wykonywane względem prostych i pomiar kątów odbywa się tylko dzięki mierzeniu zmiany jednej współrzędnej na układzie zdjęcia, tworzono go przez program graficzny. Przedstawiona wyżej procedura nie wymaga znajomości skali zdjęcia ponieważ końcowy wzór zawiera jedynie stosunki kątów. Środek zdjęcia wyznacza się przez połączenie dwóch skrajnych obrazów biegunów i równika jako dwusieczną dowolnej pionowej cięciwy. Największym problemem jest aproksymacja terminatora na równiku, co stanowi nie lada problem i powoduje największe błędy pomiarowe. Negatyw zdjęcia pomiarowego z zaznaczonymi miejscami pomiaru dołączono jako Załącznik 1.

Na fotografii zauważono 4 formy geologiczne rzucające cień. Dwa z nich (1,2) to góry impaktowe, 3 to zbocze krateru Albategnius, natomiast wzniesienie 4 to stożek centralny tego krateru.

W poniższej tabelce przedstawiono dane pochodzące z pomiaru czterech stanowisk. Liczby przedstawione są w pikselach, ponieważ we wzorze końcowych występują jedynie ich ilorazy, co powoduje, iż zamiana na stopnie bądź kilometry jest bezcelowa i wygenerowała dodatkowy błąd.

Nr	$\varepsilon$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\rho$	H
1	12	654	250	1148	1266	1950m $\pm$ 360m
2	12	718	253			2040m $\pm$ 360m
3	19	312	263			4080m $\pm$ 530m
4	9	263	263			1450m $\pm$ 330m

Błędy zostały obliczone metodą różniczki zupełnej za pomocą komputera. Przyjęte niepewności:  $d\varepsilon=2p$ .  $d\alpha=2p$ .  $d\beta=2p$ .  $d\gamma=10p$   $d\rho=2p$ .

Uzyskane wyniki są bliskie rzeczywistym. Na błąd pomiaru wpływa po pierwsze ukształtowanie powierzchni, rozmycie zdjęcia, usytuowanie na powierzchni i inne efekty, w tym ludzki błąd pomiarowy.

## 7. Podsumowanie.

Celem napisania powyższej pracy było wykorzystanie metody badawczej opisanej w podręczniku w praktyce, oraz uzyskanie pewnych informacji o obiekcie badań, czyli górach i wzniesieniach różnej genezy na naszym jedynym naturalnym satelicie. Uzyskane wyniki są zadowolające i potwierdzają iż

nawet nie posiadając własnego sprzętu, i wykorzystując archiwalne fotografie Księżyca, można uzyskać z nich pewne przyteczne informacje, używając jedynie komputera z darmowym programem graficznym, dowolnego producenta. Pomiarzy i prace są kontynuowane, a materiał do kolejnych pomiarów badany, w najbliższym czasie teleskopem 20cm. Potwierdza to prostotę pewnych badań astronomicznych i ich przystępność i dostępność dla uczniów.

Komentarz do Załącznika 1. Zdjęcie należy do K.A Albireo w Jankowicach. Wykonano sprzętem opisanym w pkt 6. Data wykonania: 5.11.2008r. 18:15 UT. Autor posiada pełne prawo i zgodę na jego wykorzystywanie i przetwarzanie. Zdjęcia powierzchni pochodzą z sond GRAIL, i są wykonane przez K.A Albireo (w tym autora) w programie MoonKAM.

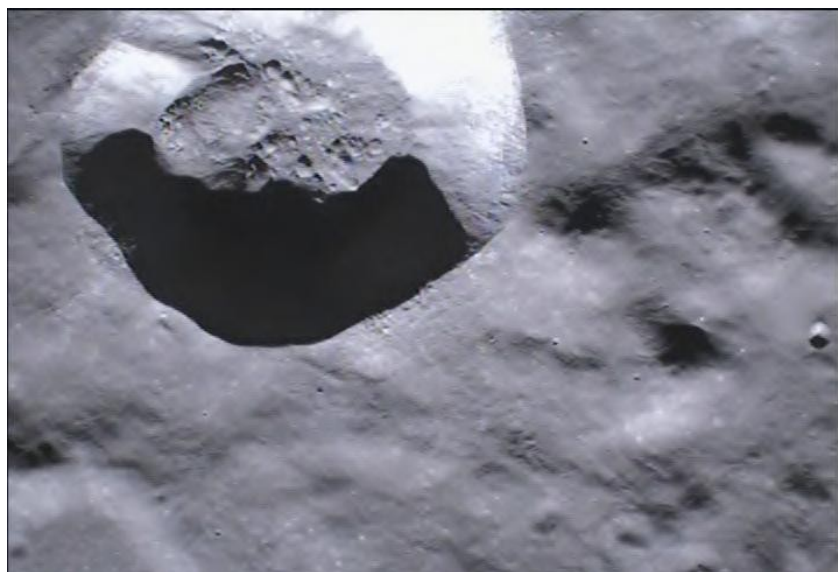
1. Krater Messier. Przykład zdeformowanego eliptycznie krateru



2. Krater Vitello

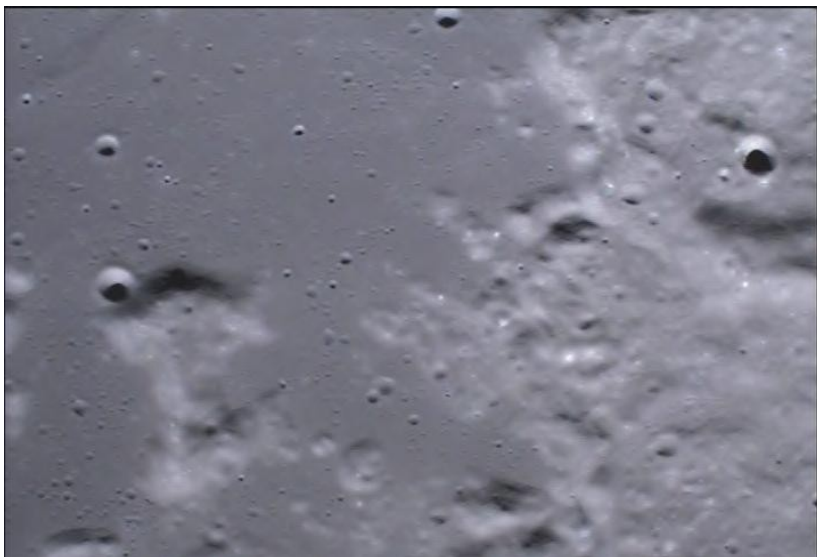


3. Krater Proklos





4. Granica pomiędzy wyżyną a Morzem Spokoju.



5. Powierzchnia Bagna Snu



6. Wzniesienia w pobliżu Morza Spokoju



