



Logo designed by Armella Leung, www.armella.fr.to

Sprawa otyłości Ziemi

Tomasz Kacik
Zespół Szkół Handlowych w Sopocie

Wstęp

Poglądy o kulistości Ziemi głosili już filozofowie szkoły pitagorejskiej, a Arystoteles w IV w.p.n.e. starał się zebrać dowody kulistości Ziemi:

- koliste cienie na Księżycu w czasie jego zaćmienia,
- stopniowe zmiany wysokości bieguna światła przy podróży wzdłuż południka,
- kołowy kształt widnokręgu,
- stopniowe wyłanianie się statków spoza horyzontu morskiego poczynając od wierzchołków masztów, gór – poczynając od szczytów.

Eratostenes z Cyreny, a pomiar obwodu Ziemi



Grecki filozof żyjący w III w. p.n.e., zarządca Biblioteki Aleksandryjskiej, który jako pierwszy wyznaczył obwód Ziemi

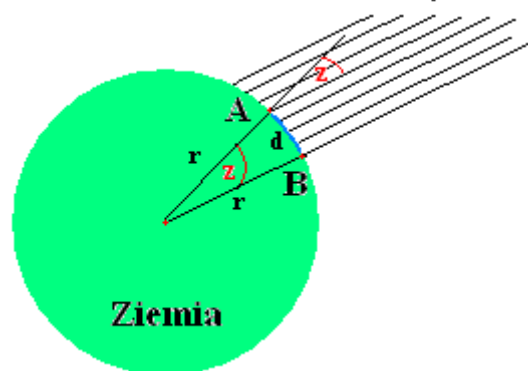
wysokie słupy nie dają cienia”. W tym samym czasie w Aleksandrii słupy rzucały cień o pewnej długości.

Okolo 240 r.p.n.e. Eratostenes obliczył, że Słońce w Aleksandrii było odchylone od zenitu o $7^{\circ}12'$ ($7,2^{\circ}$), czyli $z=1/50$ kąta pełnego. Aby zmierzyć obwód Ziemi, Eratostenes potrzebował jeszcze odległości między Aleksandrią a Syene. Oszacował ją na podstawie liczby dni, jakich potrzebowały karawany do pokonania tej odległości. Znając średnie tempo

Eratostenes założył, że Ziemia jest doskonałą kulą, i że odległość dwóch punktów znajdujących się na tym samym południku ma się tak do obwodu kuli ziemskiej, jak różnica między odpowiednimi wysokościami Słońca tego samego dnia w południe (różnica szerokości geograficznych tych punktów) do kąta pełnego (360°). Eratostenes jako punkty te przyjął:

- rodzinne miasto - Aleksandrię,
- Syene (obecny Assuan w Egipcie nad Nilem).

Jak podają źródła filozof dowiedział się (od kupców lub wyczytał w jednej z ksiązek w Bibliotece Aleksandryjskiej), że Słońce w dniu przesilenia letniego - 21 czerwca, w południe - w Syene znajduje się w zenicie, ponieważ „promienie Słońca oświetlają dna najgłębszych studni, a



*A – Aleksandria,
B – Syene (Assuan)
d – odległość między Aleksandrią, a Syene,
r – promień Ziemi
z – kąt odchylenia promieni słonecznych od zenitu*

karawan, ustalił odległość na 5000 stadionów (stadiów) - nie ma pewności, ile liczył starożytny stadion, ale przyjmuje się, że 157,7 m - czyli około 800 km.

Uzyskany przez Erastostenesa wynik przypadkowo¹ różnił się stosunkowo niewiele od wartości rzeczywistej (46 000 km zamiast 40 000 km) wyznaczonej wiele wieków później metodami triangulacji.

Opis doświadczenia

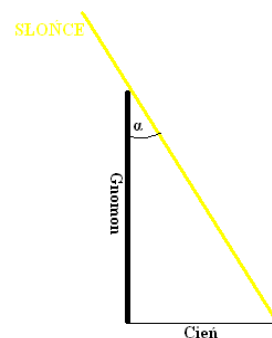
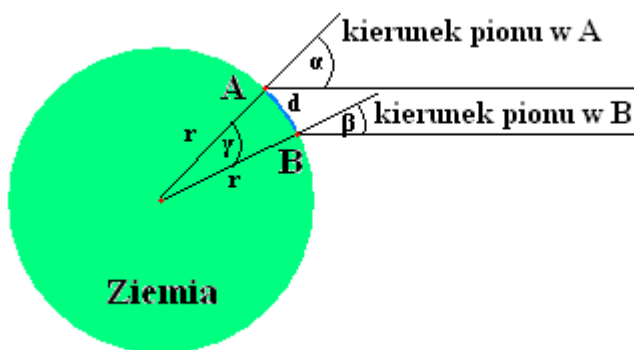
Z doświadczeniem polegającym na pomiarze promienia Ziemi zapoznałem się podczas warsztatów w Neapolu (21-24.09.2006) zorganizowanych przez EU-HOU, które zostało przedstawione przez nauczycieli z Francji.

Zdecydowanie najtrudniejszą częścią doświadczenia jest znalezienie chętnego nauczyciela (szkoły) na tym samym południku i względnie odległego. Do przeprowadzenia doświadczenia potrzebne są gnomony (pionowe kije) i równe podłoże (lub wypoziomowane tarcze z gnomonem). Kolejnym warunkiem przeprowadzenia doświadczenia jest czyste, niezachmurzone niebo w każdej z miejscowości. Nam spełnienie tego warunku zajęło ponad miesiąc. Na koniec współpracujące szkoły dokonują dokładnie w tym samym czasie pomiaru długości cienia gnomu.

Doświadczenie zostało jednocześnie przeprowadzone **24 maja 2007r.** w dwóch punktach na Ziemi, w:

- Sopotie – Zespół Szkół Handlowych ($\lambda=18,567^\circ\text{E}$, $\varphi=54,45^\circ\text{N}$) – opiekun: niżej podpisany,
- Chorzowie – Zespół Szkół Gastronomiczno-Usługowych ($\lambda=18,944^\circ\text{E}$, $\varphi=50,20^\circ\text{N}$) – opiekun Pani Danuta Latos,

w dwóch seriach, czyli o godzinie 12.40 i 12.45 przez trzy grupy uczniowskie w każdej ze szkół (kontakt pomiędzy szkołami odbywał się przy wykorzystaniu telefonów komórkowych). Zadaniem uczniów było zmierzenie długości cienia gnomonu. A następnie obliczenie kątów padania promieni słonecznych (α , β). Ponieważ w obu



miejsowościach kąt między kierunkiem pionu a kierunkiem na Słońce jest inny to otrzymane przez uczniów kąty padania promieni słonecznych są różne. Różnica tych kątów jest równa kątowi γ występującego oczywiście

również w środku Ziemi, gdzie tworzą go obydwaj piony (gnomony). Zatem można napisać proporcję

$$\frac{2\pi r}{d} = \frac{360}{\gamma}$$

gdzie r – promień Ziemi, d – odległość południkowa między miejscami obserwacji.

Otrzymane wyniki

Przeprowadzone pomiary przez uczniów umożliwiły oszacowanie promienia (obwodu) Ziemi. Obliczenia przeprowadzone były dla średniej odległości Sopot-Chorzów d równej

¹ miasta nie znajdują się na tym samym południku (różnica długości geograficznej wynosi 3°), a i Słońce nie było w rzeczywistości 21 czerwca w Syene w zenicie.

470,17 km. Otrzymane wyniki przedstawia poniższa tabela.

Godzina	Sopot < α > [°]	Chorzów < β > [°]	$\gamma = <\alpha> - <\beta>$ [°]	r [km]	Obwód Ziemi [km]	Błąd względny δ
12:40	33,91	29,54	4,37	6164,47	38732	2,92%
12:45	33,77	29,4	4,37	6164,47	38732	2,92%

Z analizy otrzymanych wyników widać, że błąd pomiaru naszych uczniów jest mniejszy od błędu Eratostenesa (ok. 5%). Co może wynikać z większej „zgodności południkowej” naszych miast i na pewno dokładniejszych pomiarów.

Uczestnicy doświadczenia (SOPOT)



Klasa I TE (technik ekonomista) z Zespołu Szkół Handlowych w Sopocie podczas wykonywania doświadczenia pomiaru promienia Ziemi

Wnioski

Z naszych obserwacji wynika, że gnomony krótkie wraz z wypoziomowaną tarczą powinny umożliwić otrzymanie dokładniejszych wyników. A zastosowanie łączności internetowej wraz z kamerkami internetowymi pomiędzy szkołami dodatkowo uatrakcyjniłoby same doświadczenie. Także wykorzystanie systemu GPS do dokładnego wyznaczenia miejsca obserwacji przyczyniłoby się do podniesienia wartości dydaktycznej samego doświadczenia.

Dane dotyczące Ziemi

promień równikowy	-	6 378 km
promień biegunowy	-	6 357 km
obwód równika	-	40 076 km
długość południka	-	20 004 km

Literatura

1. Pańków M., *Nauczanie Astronomii*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1982.
2. Oster L., *Astronomia Współczesna*, s. 33, PWN, Warszawa 1986.
3. Gębarski K, Kwast T., *500 Zagadek Astronomicznych*, s. 183-184, WP, Warszawa 1979.
4. Mietelski J., *Astronomia w geografii*, s. 198-199, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979.
5. Dowody na kulistość Ziemi. Kształt i rozmiary Ziemi:
<http://eduseek.interklasa.pl/artykuly/artikul/ida/4234/>
6. Eratostenes: <http://www.astro.amu.edu.pl/Staff/Agn/wyklad/node19.html>

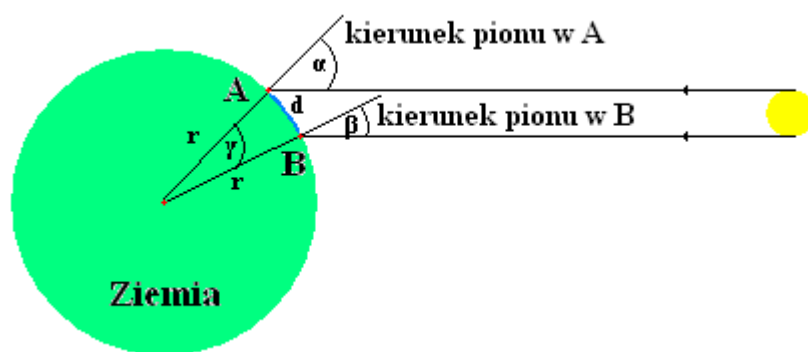
**Pomiary wykonane przez uczniów klasy I TE Zespołu Szkół Handlowych
w Sopocie ($\lambda=18,567^{\circ}\text{E}$, $\varphi=54,45^{\circ}\text{N}$) w dniu 24.05.2007r.**

Godzina	Grupa	Wysokość gnomonu	Długość cienia	Kąt padania promieni słonecznych	
		h [cm]	l [cm]	$h/l = \text{tg } \alpha$	α [°]
12:40	I	45,3	30	0,662	33,51
	II	94,8	63	0,666	33,61
	III	50	34,5	0,69	34,61
	ŚREDNI KĄT:				33,91
12:45	I	45,3	29,5	0,651	33,07
	II	94,8	64	0,675	34,02
	III	50	34	0,68	34,21
	ŚREDNI KĄT:				33,77

**Pomiary wykonane przez uczniów Zespołu Szkół Gastronomiczno-Usługowych
w Chorzowie ($\lambda=18,944^{\circ}\text{E}$, $\varphi=50,20^{\circ}\text{N}$) w dniu 24.05.2007r.**

Godzina	Grupa	Wysokość gnomonu	Długość cienia	Kąt padania promieni słonecznych	
		h [cm]	l [cm]	$h/l = \text{tg } \beta$	β [°]
12:40	I	99,5	56,5	0,568	29,56
	II	99,5	56,3	0,566	29,50
	III	99,5	56,4	0,567	29,55
	ŚREDNI KĄT:				29,54
12:45	I	99,5	56	0,563	29,37
	II	99,5	56,2	0,565	29,46
	III	99,5	56	0,563	29,37
	ŚREDNI KĄT:				29,4

Opracowanie danych pomiarowych



[1] odległość Sopot – Chorzów: $d = 470,17$ km (wg mapy)

[2] odległość Sopot – Chorzów: $d = 472,32$ km (wg południka)

Godzina	Różnica kątów padania promieni słonecznych $\gamma = \alpha - \beta$ [°]	Oszacowany promień Ziemi R_z [km]	
		[1]	[2]
12:40	4,37	6164,47	6192,66
12:45	4,37	6164,47	6192,66
12:50	4,78	5635,72	5661,49
ŚREDNI PROMIEŃ ZIEMI:		6164,47	6192,66
BŁĄD WZGLĘDNY δ:		2,92%	2,48%
OBWÓD ZIEMI:		38732	38910