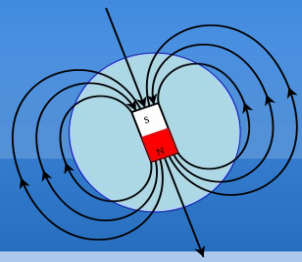


Metody geofizyczne prospekcji przedwykopaliskowej

Paweł Borycki

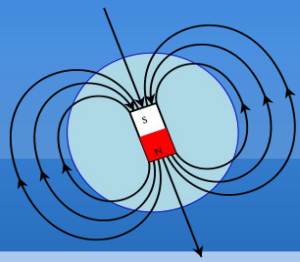
27 października 2011

Plan prezentacji



1. Podział metod prospekcji geofizycznej
2. Metody prospekcji geofizycznej
 - Elektrooporowa (geoelektryczna)
 - Oporność
 - Układy elektrod i metody pomiarów
 - Prezentacja rezultatów badania
 - Magnetyczna
 - Własności magnetyczne artefaktów
 - Metody pomiaru i minimalizacja błędów
 - Magnetometry
 - Grawimetryczna
 - Pole grawitacyjne i pomiar jego natężenia
3. Pod powierzchnią pustyni...

Prospekcja geofizyczna



Różnica fizycznych lub chemicznych
własności artefaktów oraz otaczającego je
środowiska

Metody nieinwazyjne

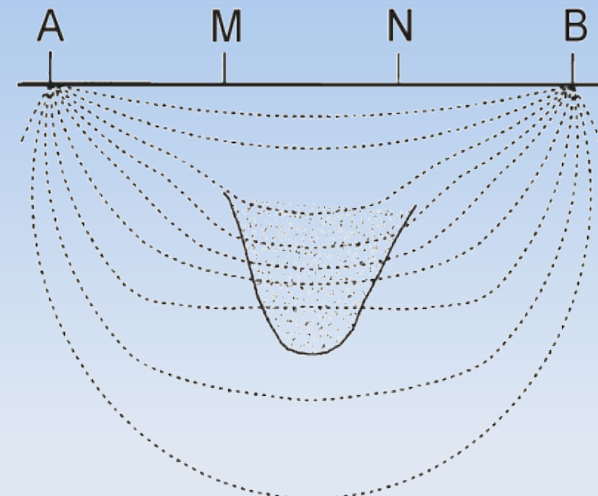
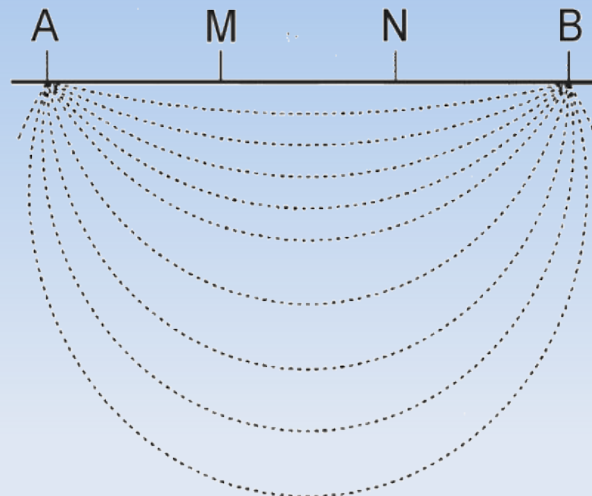
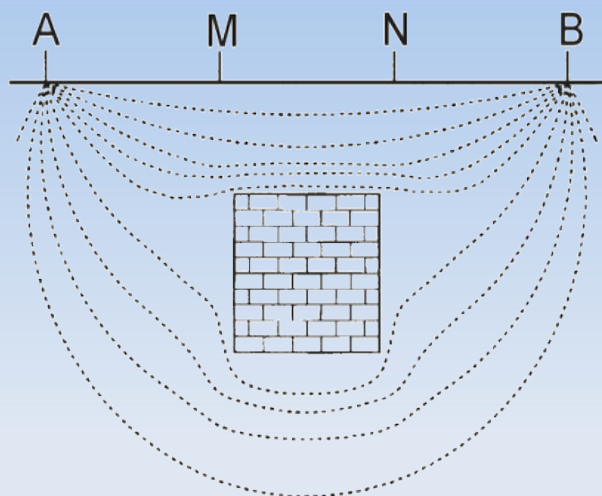
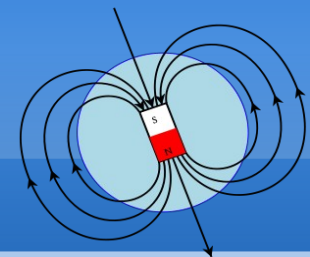
Metody aktywne

- Elektrooporowa
- Elektromagnetyczna
- Sejsmiczna
- Radarowa

Metody pasywne

- Magnetyczna
- Grawimetryczna

Metoda elektrooporowa



Dodatnia anamalia oporności właściwej

Zabudowa kamienna
Zabudowa z cegły palonej
Przestrzenie puste

Jednorodna oporność właściwa

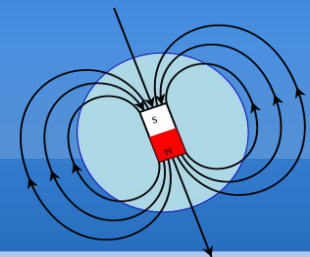
Grafit, piryt	- 0,001 Ωm
Gliny, ily	- 50 Ωm
Wapienie	- 300 Ωm
Piaski mokre	- 350 Ωm
Piaski suche	- 5 000 Ωm
Granit, bazalt	- 8 000 Ωm

Ujemna anamalia oporności właściwej

Pozostałości rowów, jam
Fosy

Oporność właściwą determinuje skład chemiczny, stopień rozdrobnienia, temperatura, wilgotność otoczenia

Metoda elektrooporowa



Sprzęt pomiarowy

- Źródło prądu
- Amperomierz
- Woltomierz
- Elektrody prądowe
- Elektrody potencjałowe

Obliczenie oporności właściwej:

$$\rho = K_G \frac{V}{I}$$

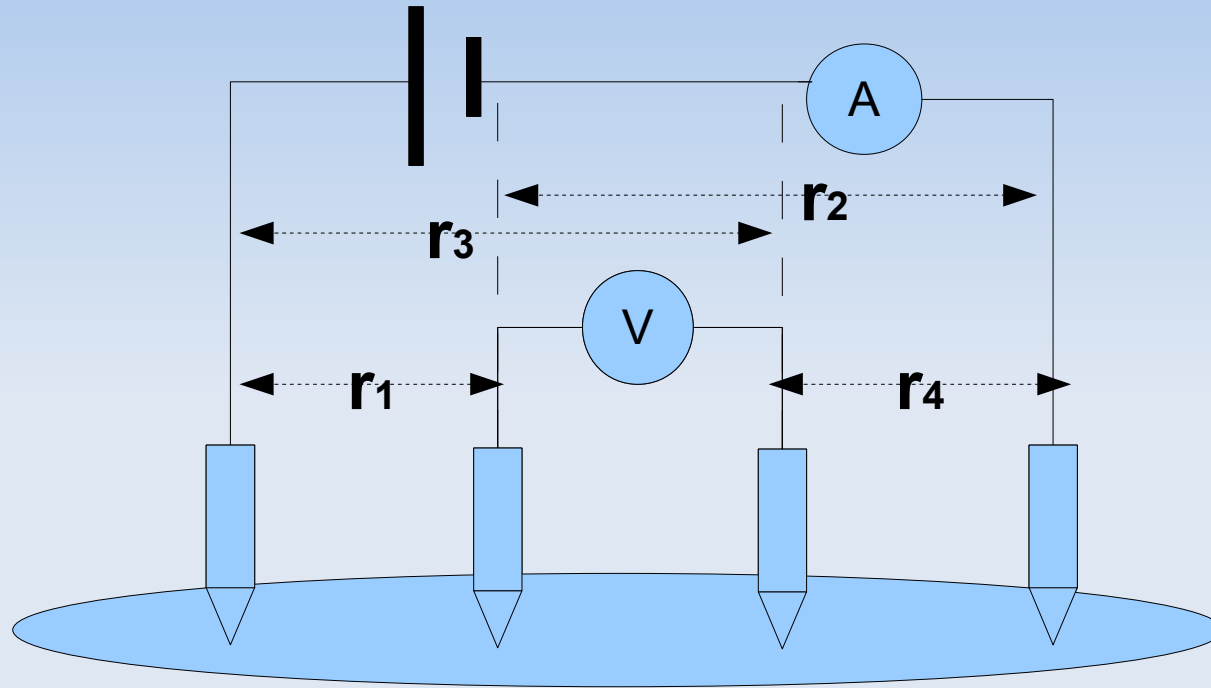
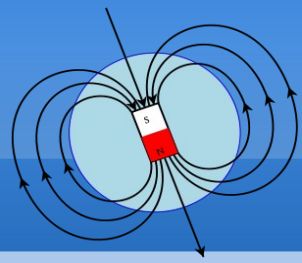
ρ – oporność właściwa

K_G – współczynnik geometryczny układu elektrod

V – spadek napięcia między elektrodami potencjałowymi

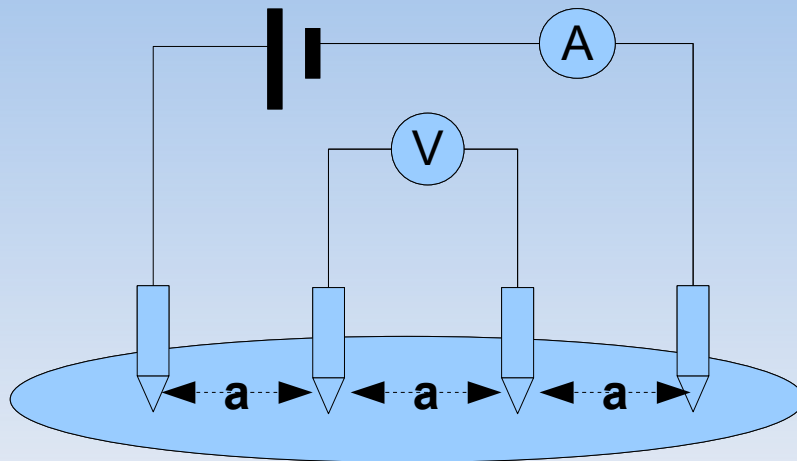
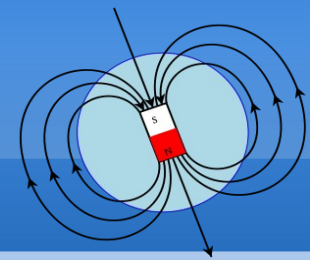
I – natężenie prądu

Współczynnik geometryczny układu elektrod

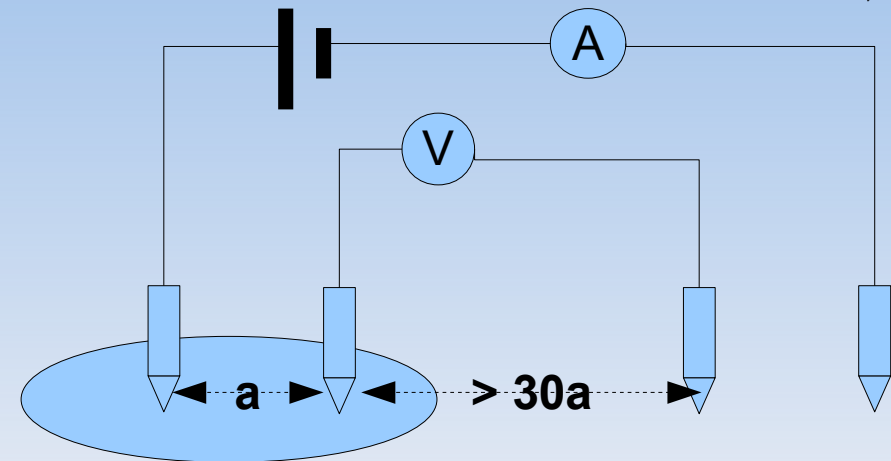


$$K_G = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1}$$

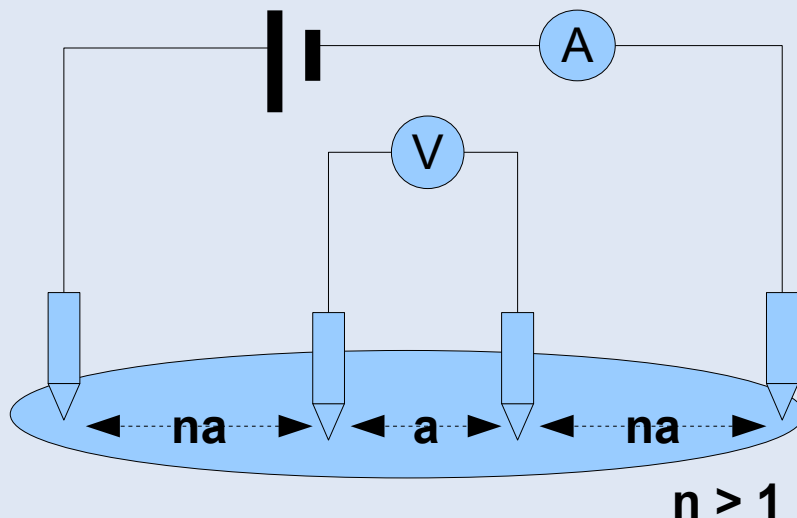
Układy elektrod



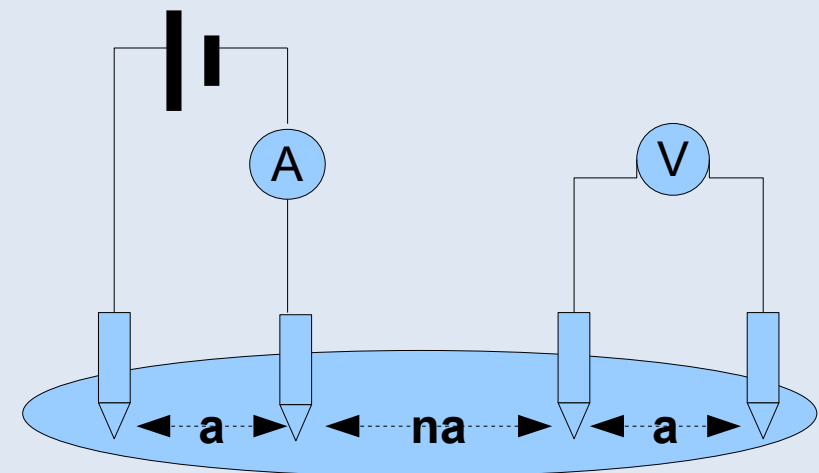
Układ Wennera
 $K_G = 2\pi a$



Układ dwuelektrodowy (ang. *Twin-probe*)
 $K_G = \pi a$

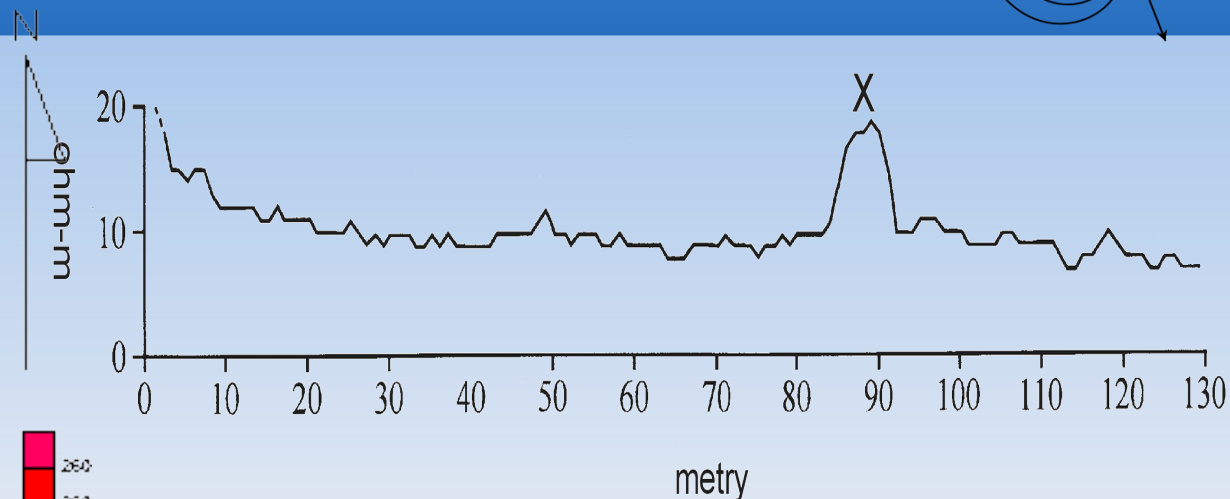
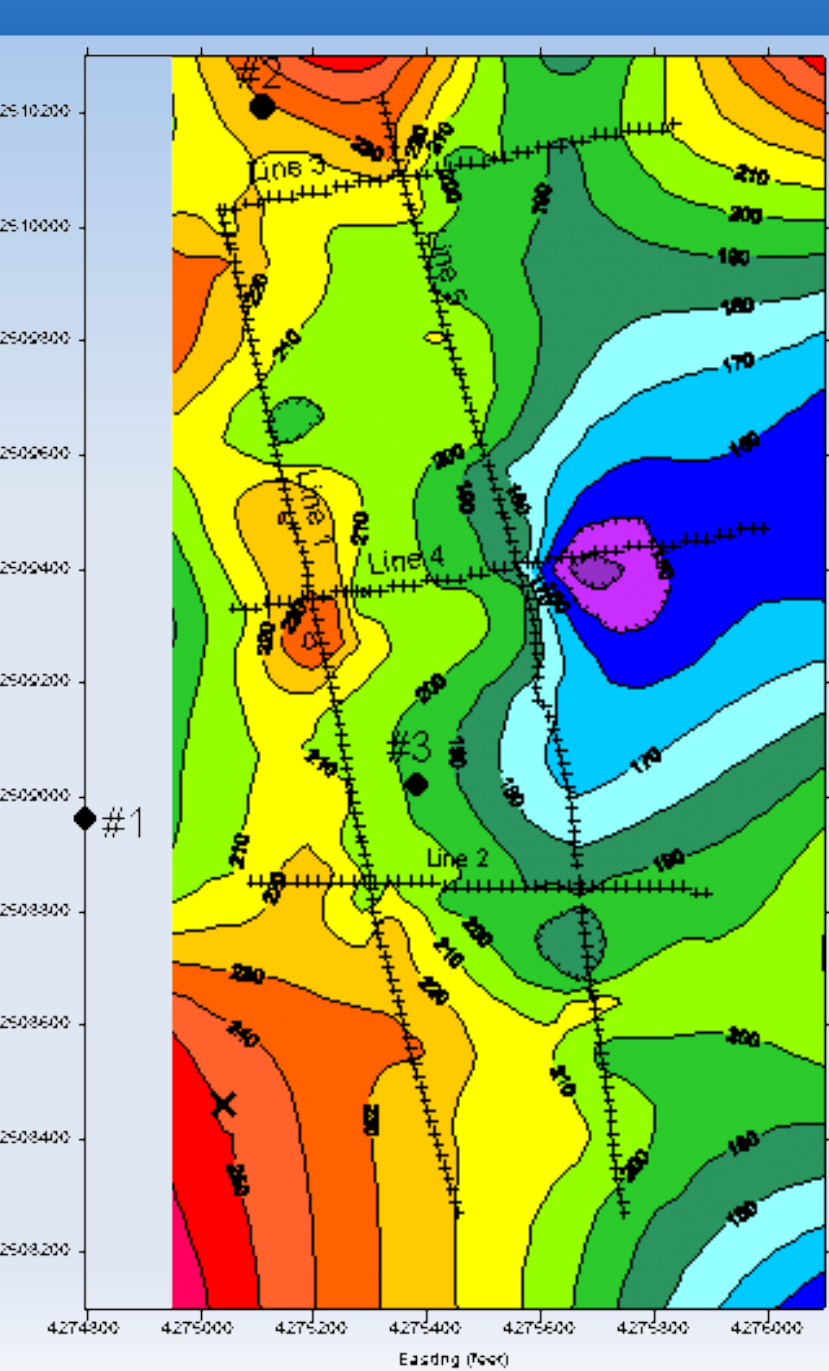
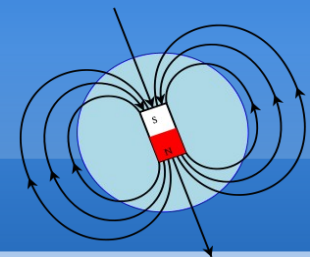


Układ Schlumbergera
 $K_G = \pi a n(n+1)$



Układ dipolowy
 $K_G = \pi a n(n+1)(n+2)$

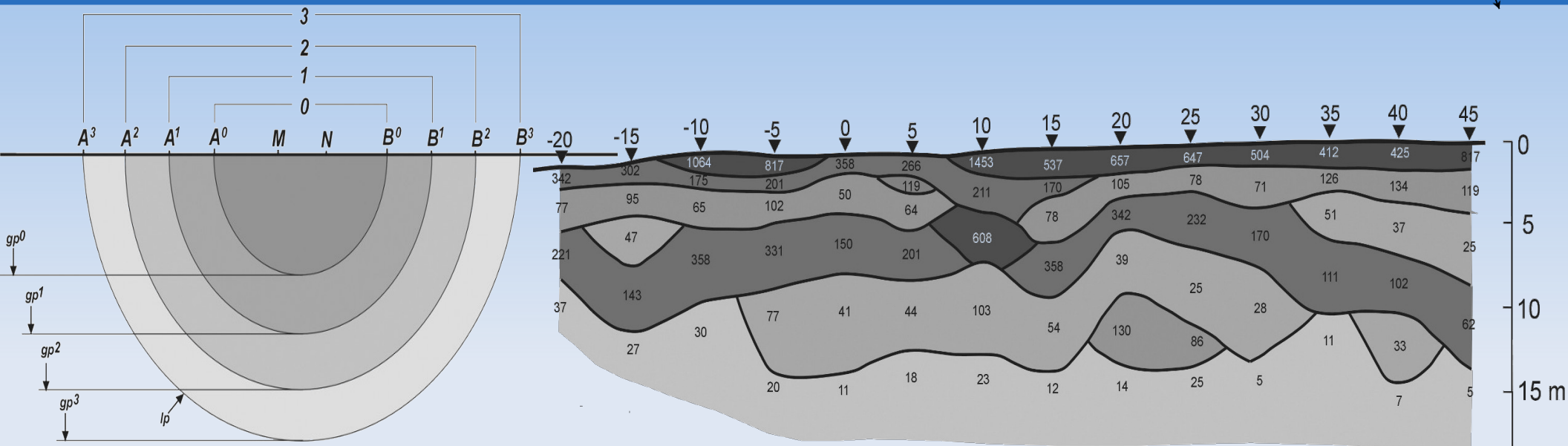
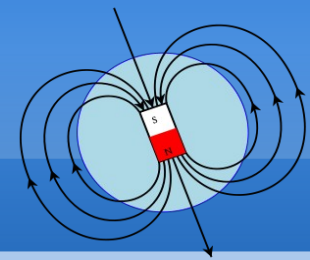
Profilowanie elektrooporowe



Metoda profilowania elektrooporowego

- Punkty pomiarowe wzdłuż jednej lub wielu linii profilowych
- Pomiary na jednej głębokości

Sondowanie elektrooporowe

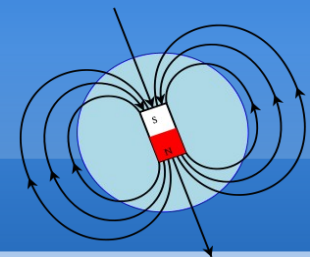


Głębokość penetracji rośnie wraz z rozstawem między elektrodami prądowymi

Metoda wielopoziomowego sondowania elektrooporowego

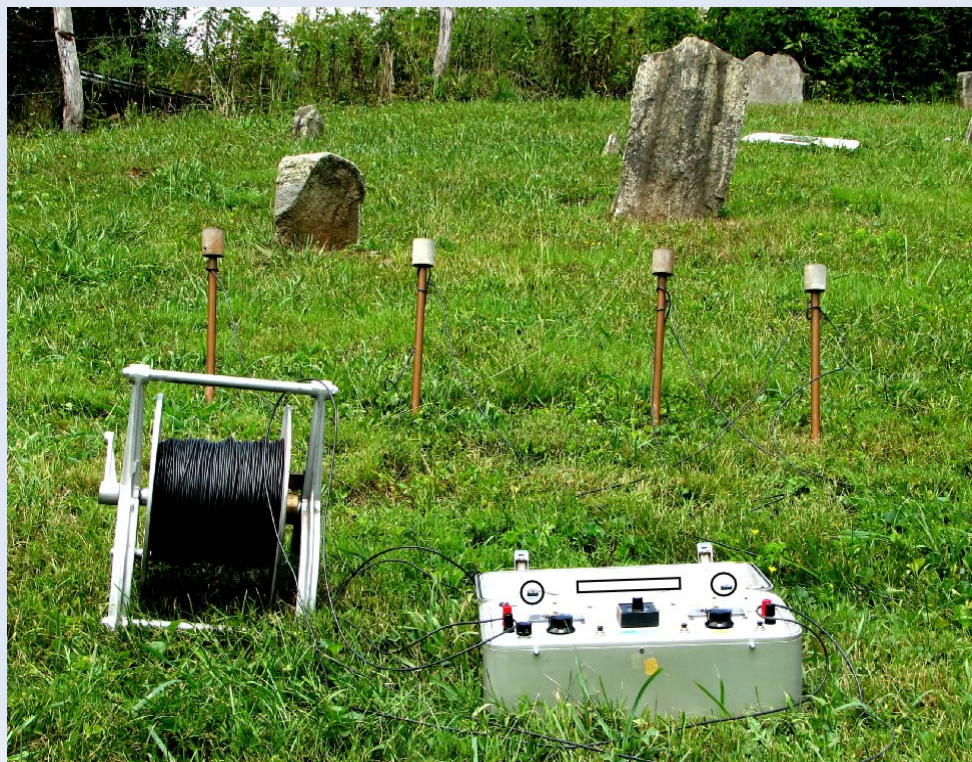
- Kolejne punkty pomiarowe wzdłuż linii profilu
- Niezależne pomiary na kilku ustalonych głębokościach

Metoda elektrooporowa

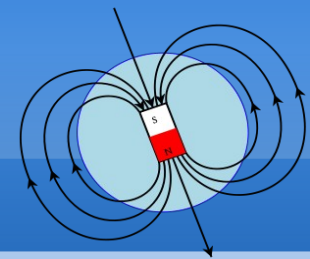


Pseudotomografia elektrooporowa

- Jednoczesne pomiary na pomocą wielu elektrod umieszczonych w stałych odstępach
- Łączenie elektrod w rozmaite grupy w celu badania różnych głębokości



Zastosowanie metody elektrooporowej



1946

Richard Atkinson,
Dorchester-on-Thames, Anglia

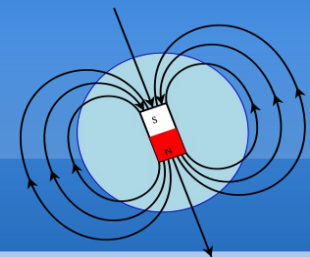
1938

Mrak Malamphy, ruiny kościoła
w Wilamsburgu, USA

1925

Badania geologiczne

Magnetyczny podział artefaktów



Podatność magnetyczna

$$M = \chi H$$

- M** - moment magnetyczny jednostki objętości substancji
 χ - objętościowa podatność magnetyczna
H - natężenie zewnętrznego pola magnetycznego

Diamagnetyki

$$\chi < 0$$

→ CaCO₃	(-38,2)
→ CaO	(-15,0)
→ Ag	(-19,5)
→ Au	(-28,0)
→ C (grafit)	(-0,6)
→ PbO	(-42,0)
→ Cu	(-5,4)
→ H₂O	(-0,1)

Paramagnetyki

$$\chi > 0$$

→ Al	(+16,5)
→ Mg	(+0,2)
→ Ca	(+40,0)
→ Na	(+16,0)

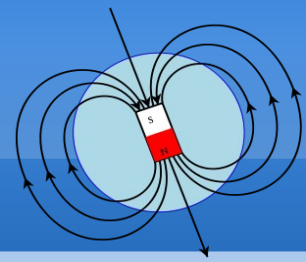
Ferromagnetyki

$$\chi \gg 0$$

→ Co	(+4 900)
→ CoO	(+4 000)
→ FeO	(+7 200)
→ Fe₂O₃	(+3 590)
→ RbO₂	(+1 530)

Podano masową podatność magnetyczną.

Metoda magnetyczna



Wykrywanie miejscowych zaburzeń natężenia naturalnego ziemskiego pola magnetycznego

Małe zaburzenia, około 0,001 – 0,5 μT

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{C} \cdot \text{m}}$$

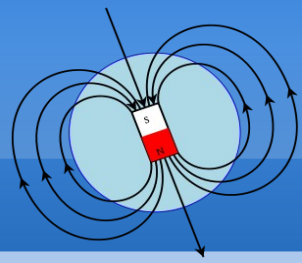
Indukcja ziemskiego pola magnetycznego przy powierzchni ziemi:
30-60 μT

Zaburzenia

- Złoże ferromagnetyków
- Skały wulkaniczne zawierające ferromagnetyki

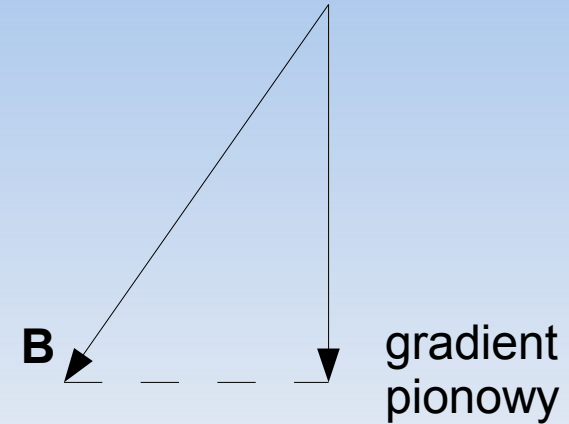
Inklinacja magnetyczna – kąt pomiędzy płaszczyzną poziomą a osią swobodnie zawieszanej igły magnetycznej w Polsce średnio $+66^\circ$.

Metoda magnetyczna



Rodzaje pomiarów

- Całkowite natężenie pola magnetycznego
- Gradient pionowy pola magnetycznego
- Zmiany podatności magnetycznej
 - **Działanie indukcyjnym polem magnetycznym**

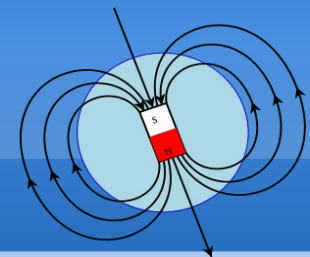


Poszukiwane zjawiska magnetyczne

- Termiczna magnetyzacja szczątkowa
 - **Ceramika**
 - **Piece garncarskie**
 - **Konstrukcje z wypalanej cegły**
- Podatność magnetyczna
 - **Ferromagnetyki, jamy, rowy (dodatnie anomalie)**
 - **Mury kamienne, konstrukcje wapienne (anomalie ujemne)**



Pomiary magnetyczne



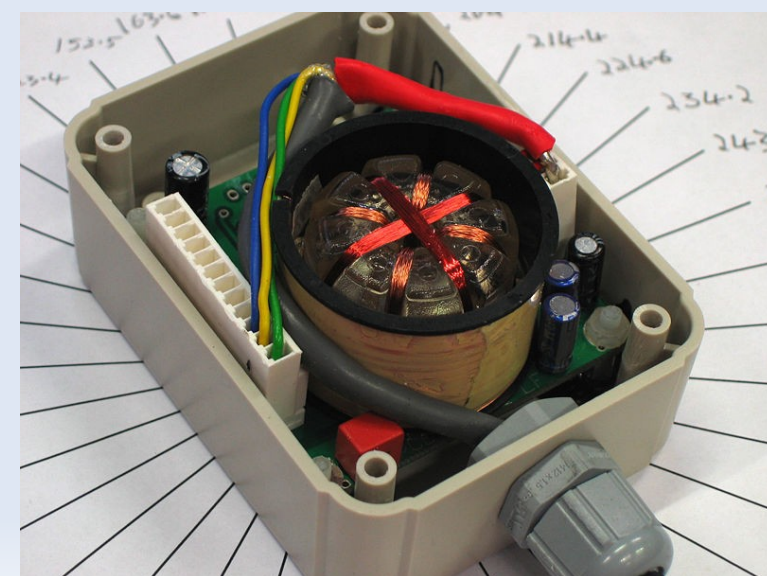
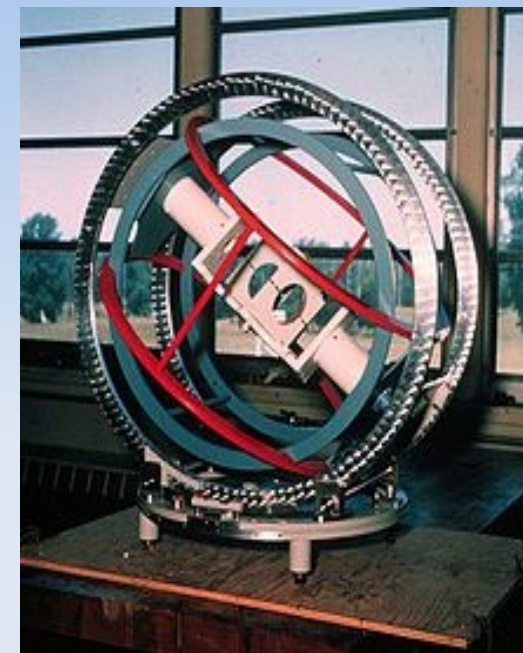
Magnetometr protonowy

- Czas pomiaru 3-6 sekund
- Niemożliwy pomiar ciągły
- Dokładność pomiaru do 0,1 nT

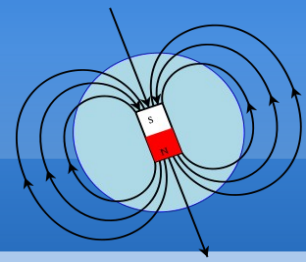
Magnetometr Fluxgate

- Dwie sondy w osi pionowej
- Pomiar pionowego gradientu pola magnetycznego
- Czas pomiaru umożliwia pomiar ciągły
- Dokładność pomiaru do 0,2 nT

Dokładna prospekcja możliwa do głębokości 1 metra



Pomiary magnetyczne



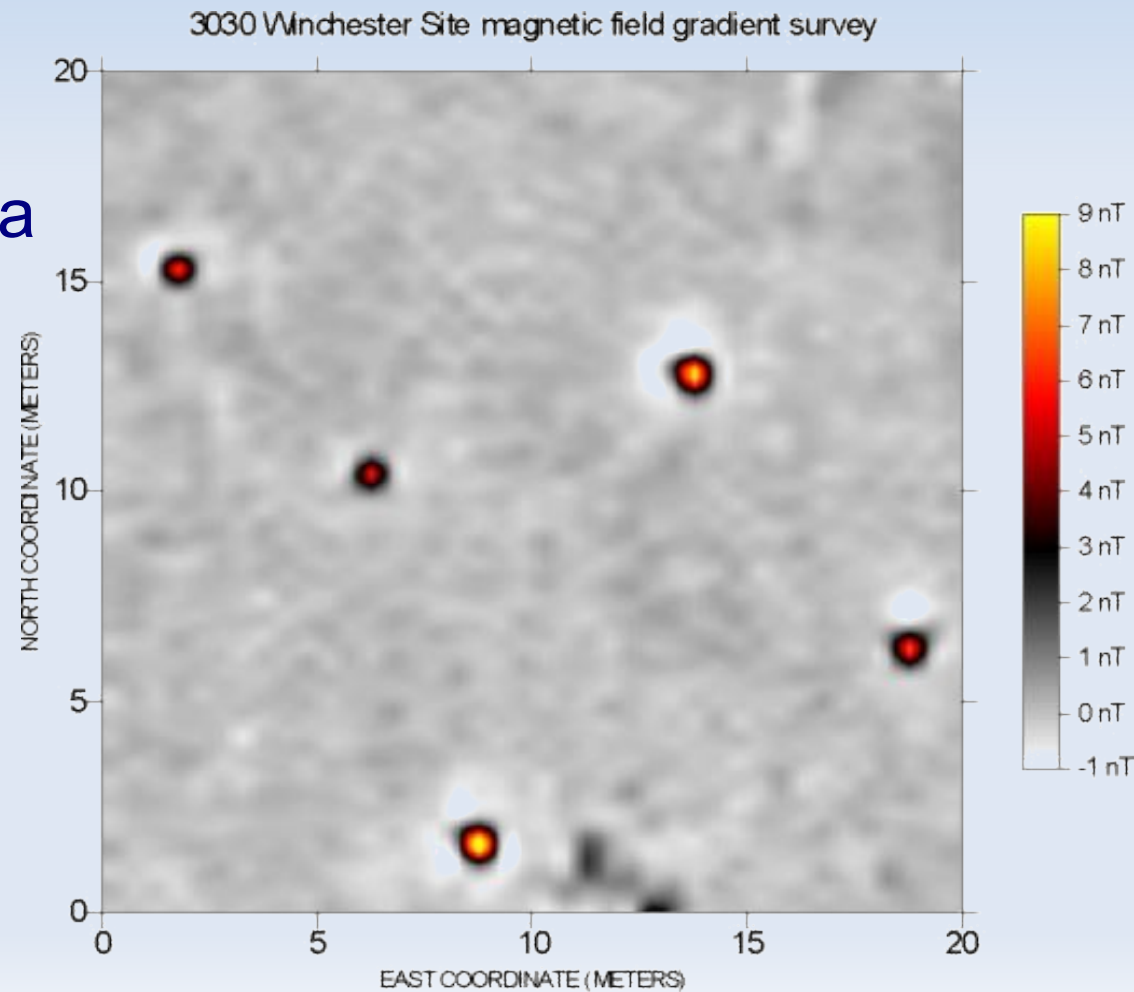
Dwa jednoczesne pomiary

- Sygnał tła
 - **linie energetyczne**
 - **ruch komunikacyjny**
 - **aktywność słoneczna**
- **Prospekcja archeologiczna**

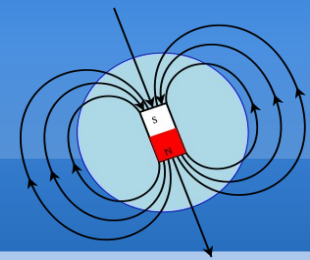
Plany

- **z izoliniami**
- **natężenie pola**
zaznaczone barwą

Lata 60. XX wieku –
M. J. Aitken



Metoda grawimetryczna



Przyspieszenie grawitacyjne - wartość wektorowa

≈ natężenie pola grawitacyjnego


$$g_n = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Obliczenie natężenia pola grawitacyjnego

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

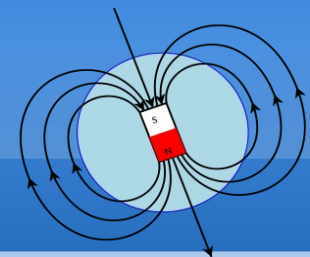
$$G = 6,67384(80) \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$$

G – stała grawitacji

M – masa źródła pola grawitacyjnego

R – odległość od środka masy źródła pola grawitacyjnego

Metoda grawimetryczna



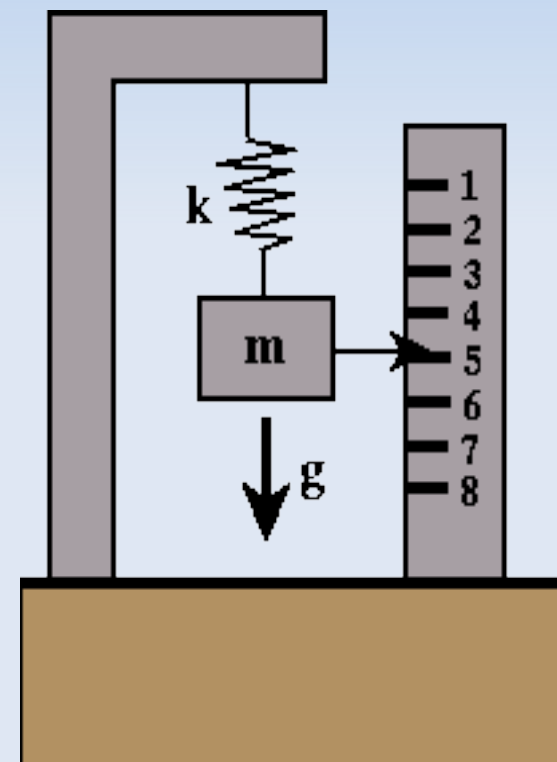
Pomiar za pomocą grawimetru

- Siła ciężkości
- Odkształcenie sprężyny

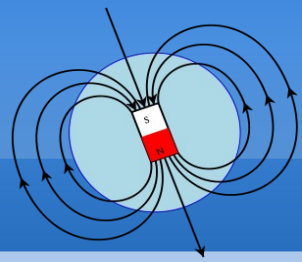
$$mg = k(l - l_0)$$

- m – masa obciążnika
k – stała sprężystości
l – długość sprężyny obciążonej
l₀ – długość sprężyny nieobciążonej

- Jenkins 1908



Metoda grawimetryczna



Pomiar w punkcie odniesienia

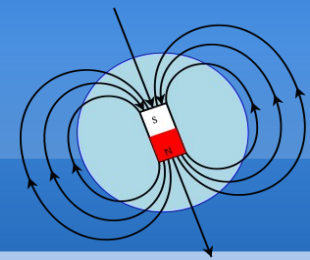
- Jednolita budowa geologiczna podłoża
- Zaniedbywalne deniwelacje terenu

Pomiary w punktach wyznaczonych przez siatkę

Obiekty możliwe do wykrycia

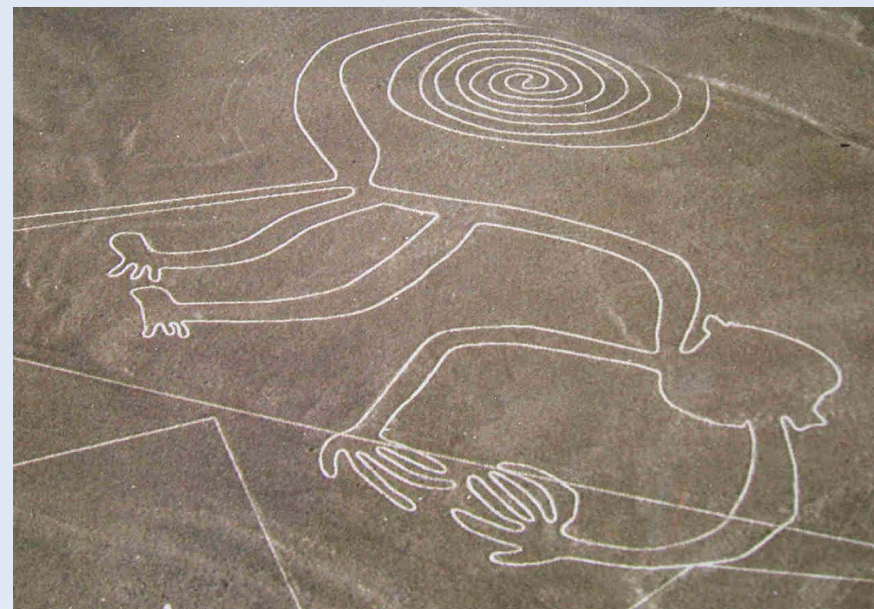
- Puste przestrzenie pod powierzchnią ziemi
- Artefakty o dużej gęstości

Pod powierzchnią pustyni...

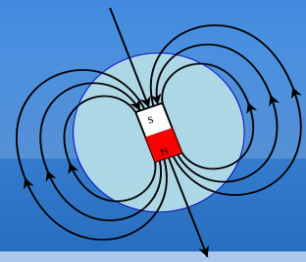


Równina w pobliży Nasca i Palpa

- Geoglify wykonane na pustyni
 - Duża podatność na uszkodzenia fizyczne
 - Kalendarz astronomiczny (Reiche 1969)
 - Miejsce sprawowania ceremonii (Reinhard 1996)
- Klimat skrajnie suchy
 - Uniemożliwia badania elektrooporowe



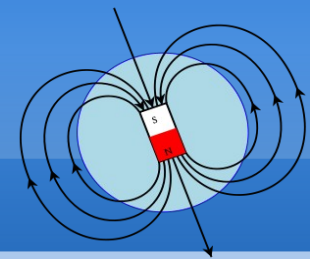
Pod powierzchnią pustyni...



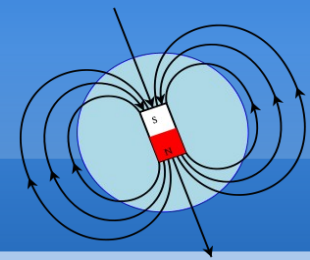
- Badania magnetyczne pod liniami i trapezoidami
 - **Pomiary rozpoczęto w 2003 roku (trapezoid Llipata)**
 - **Zlokalizowano liczne jamy i paleniska na pustyni**
- Ślady dawnych linii zamazanych przez trapezoidy
 - **Linie proste**
 - **Zygzaki**
 - **Spirale**
- Linie konstrukcyjne?



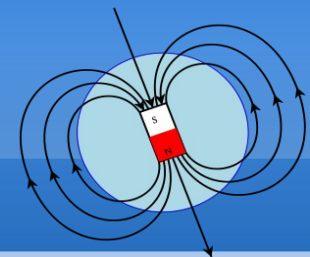
Pod powierzchnią pustyni...



Pod powierzchnią pustyni...



Bibliografia



D. Ławecka, *Wstęp do archeologii*, Warszawa-Kraków 2003.

M.H.Loke, *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*, Penang 1999. [<http://www.abem.se/files/res/2Dnotes.pdf>].

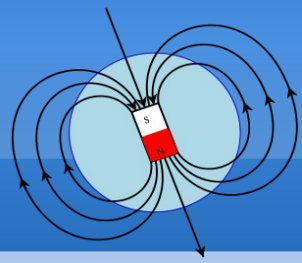
J. Fassbinder, T. Gorka, *Beneath the Desert Soil – Archaeological Prospecting with Caesium Magnetometer*, [in:] *New Technologies for Archaeology. Multiplinary investigations in Palpa and Nasca, Peru*, ed. M. Reindel, G.Wagner, Berlin 2008, s.49–69. [<http://books.google.com/books?id=KmAjoFExUnMC>].

T. Herbich, *Metoda elektrooporowa w badaniach archeologicznych*, [in:] *Metody geoinformatyczne w badaniach archeologicznych. Tom 9*, ed. J. Jasiewicz et alli, Poznań 2011, s.36-40, [http://earthisflat.net/download/inne/sklad_current_po_korekcje.pdf].

R. Herman, *An introduction to electrical resistivity in geophysics*, [<http://www.radford.edu/~rherman/papers/ajp00943.pdf>].

Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation, ed. D. Jones, Swindon 2008, [<http://www.english-heritage.org.uk/publications/geophysical-survey-in-archaeological-field-evaluation/geophysics-guidelines.pdf>].

Metody geofizyczne



Dziękuję.