

Amatorskie pomiary w atmosferze
ziemskiej - jak zbudować proste przyrządy
meteorologiczne?

dr Krzysztof Markowicz
Instytut Geofizyki
Uniwersytet Warszawski

Motywacja i cele

- Alternatywa dla drogich przyrządów pomiarowych
- Rozbudowa sieci pomiarowych o pomiary amatorskie prowadzone indywidualne lub przez szkoły
- Nieograniczony dostęp do danych (służby meteorologiczne na ogół mocno ograniczają publikację danych obserwacyjnych w internecie np. IMGW)
- Cele popularno-naukowe i naukowo-dydaktyczne

Dlaczego dziś jest łatwiej niż kiedyś?

- Rozwój technik pomiarowych i ogólna dostępność do czujników pomiarów środowiskowych.
- Powszechność komputerów umożliwiających zbieranie danych, przechowywanie oraz wymianę
- Prosta weryfikacja gromadzonych danych na podstawie profesjonalnych pomiarów naziemnych i satelitarnych.

O czym będzie mowa

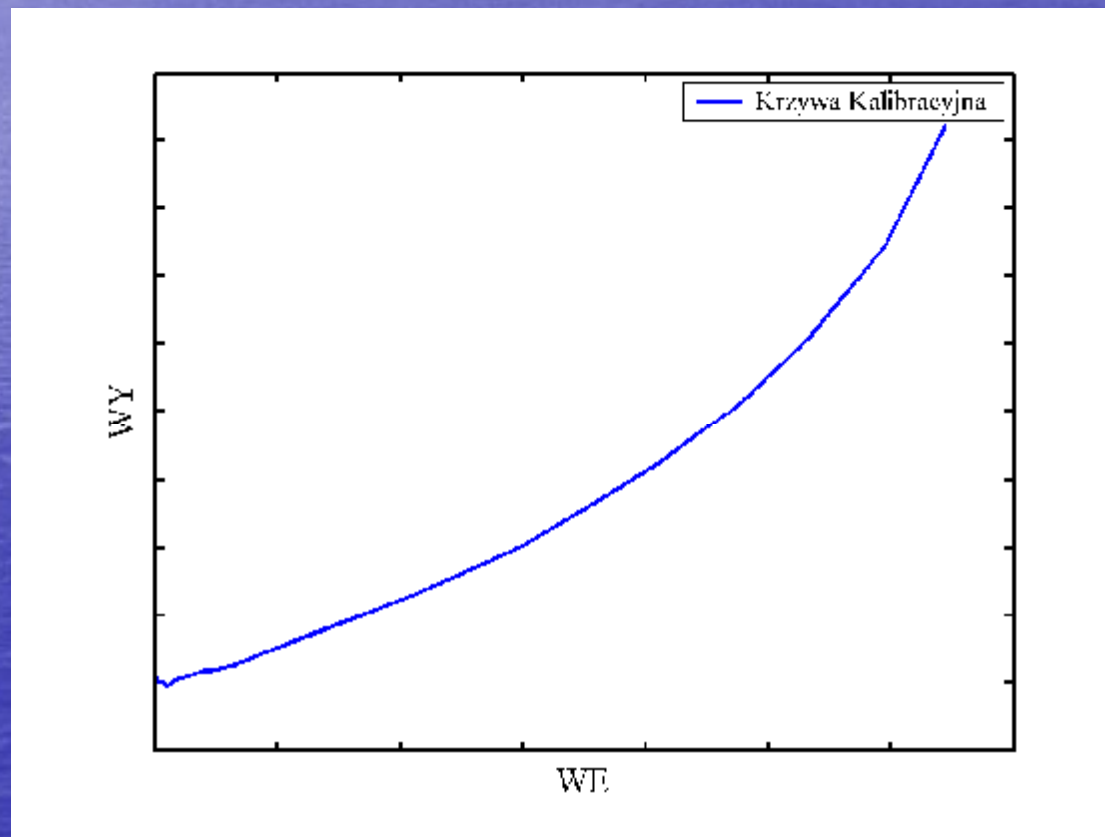
- Pomiar temperatury, wilgotności i ciśnienia
- Pomiar zachmurzenia
- Pomiar widzialność
- Pomiar zanieczyszczeń powietrza
- Detekcja wyładowań atmosferycznych
- Pomiar pola elektrycznego
- Detekcja pokrywy śnieżnej

Fizyka Pomiarów



Parametry opisujące czujnik

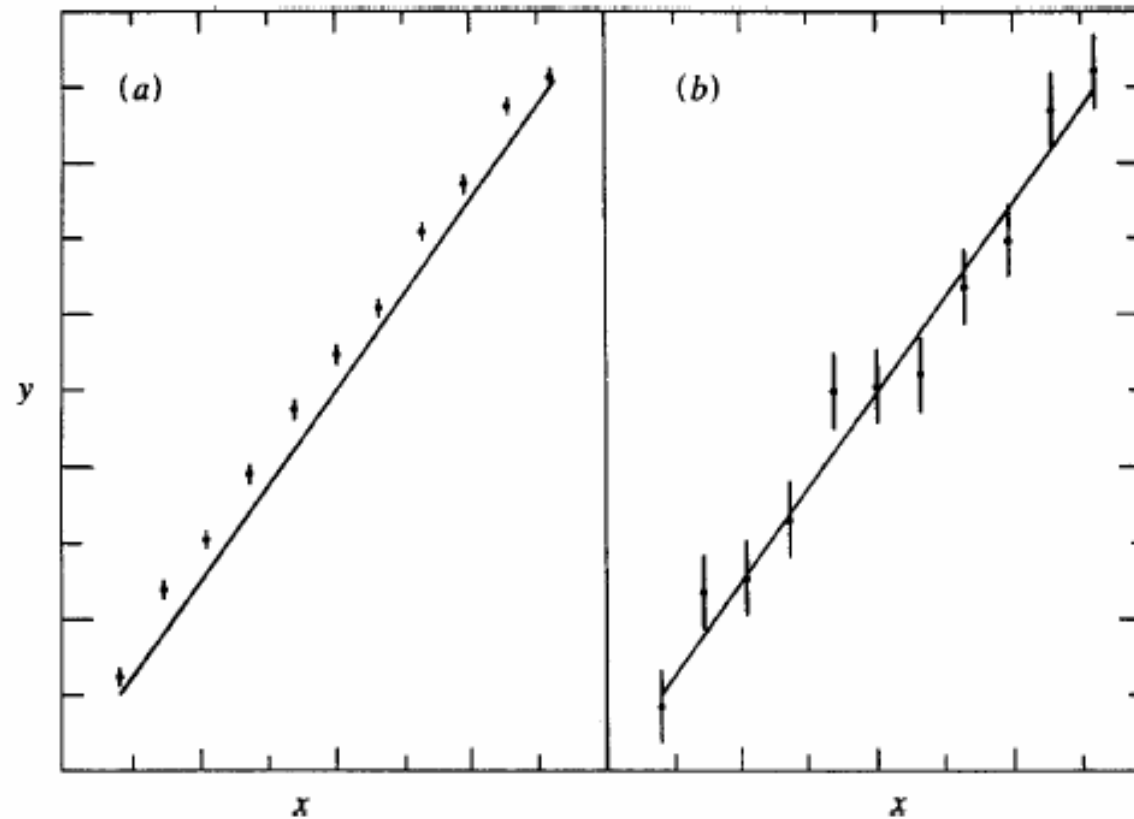
$$\text{Czułość} = \Delta(Wy) / \Delta (We)$$



- **Rozdzielczość** - najmniejsza zmiana wielkości na wejściu jaka można wykryć na wyjściu
- **Precyzja** – minimum odchylenia od wartości najbardziej prawdopodobnej
- **Dokładność** – precyzja + zgodność z wybranym wzorcem

Ponadto:

- **Histeresa** powtarzalność pomiaru w różnych warunkach
- **Próg działania** (np. anemometr)



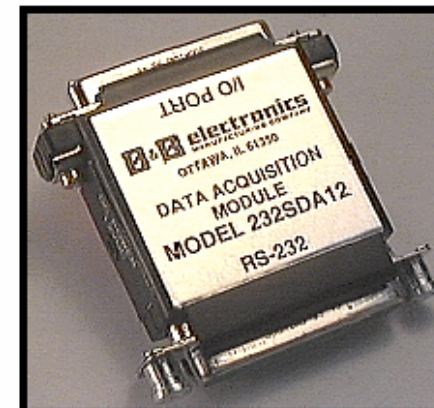
Ilustracja różnicy między precyzją i dokładnością. (a) Dane precyzyjne ale niedokładne. (b) Dane dokładne ale nieprecyzyjne

- **czujniki analogowe** – sygnał wyjściowy ma postać napięć, prądów lub częstotliwości. Może on być mierzony np. miernikiem uniwersalnym ale nie może być bezpośrednio podłączony do komputera. Wymaga to użycia przetworników analogowo cyfrowych.
- **czujniki cyfrowe** – sygnał wyjściowy ma postać cyfrową (ciąg 0 i 1). Nie można odczytać wskazań czujnika miernikiem uniwersalnym. Mogą one być podłączone bezpośrednio lub poprzez mikrokontroler do komputera.

232SDA12

Features

- 11 channels of 12-bit A/D
- 0.610mV A/D resolution (with 2.5Vdc Reference)
- 3 digital inputs (-30Vdc to +30Vdc)
- 3 digital outputs (0Vdc to 5Vdc)
- Automatic baud rate detection
- Port power capability



ADAM-4018



rozdzielczość efektywna: 16 bitów

kanały: 6 różnicowych, 2 ze wspólną masą

zakresy wejściowe napięciowe: $\pm 15\text{mV}$, $\pm 50\text{mV}$,
 $\pm 100\text{mV}$, $\pm 500\text{mV}$, $\pm 1\text{V}$, $\pm 2.5\text{V}$

zakresy wejściowe prądowe: $\pm 20\text{mA}$ (wymagany
rezystor 125ohm)

typy termopar: JKTERSB

izolacja: 3000VDC

szybkość pomiarów: max 10/sek

pobór mocy: 0.8W

kmark@igf.fuw.edu.pl

www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

Dataloggery

- To urządzenia elektroniczne przeznaczone do pomiaru wielkości fizycznych i zapisywania ich w pamięci.
- Stosuje się je szeroko w automatycznych stacjach meteorologicznych
- Dostęp do danych poprzez porty: szeregowy, równoległy oraz USB
- Konfiguracja urządzenia odbywa się albo bezpośrednio albo za pomocą komputera.

HOBO www.onsetcomp.com

- Miniaturowe systemy pomiarowe. Pozwalające na pomiar wybranego elementu meteorologicznego w niedostępnych miejscach oraz przy braku zewnętrznego zasilania w okresie nawet do kilkunastu miesięcy.

- 8- or 12-bit temperature resolution
- Record up to 64K readings
- Programmable start time/date
- Programmable sampling rate 0.5 second to 9 hours
- Automatic data archiving of previous deployments

User-replaceable battery lasts 3 years
Non-volatile memory retains data even if battery fails

NIST-Traceable temperature accuracy certification available

Size: 102 x 81 x 51 mm (4 x 3.2 x 2")

Weight: Temp, RH/Temp approx. 104 gms (3.7 oz.); Temp/External approx. 145 gms (5.1 oz.)

Temperature Measurement Range: -30° to 50°C (-22° to 122°F)

Temperature Accuracy: ±0.2° at 21°C (±0.33° at 70°F)

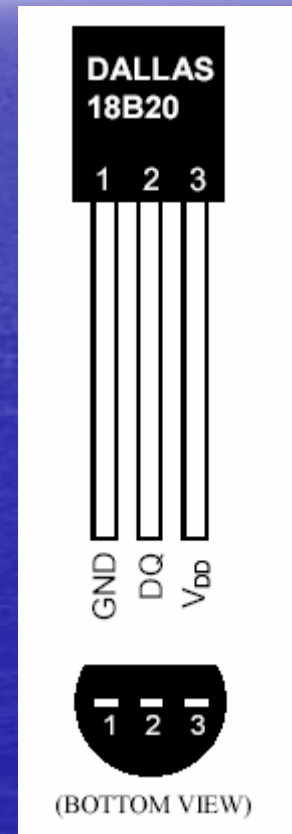


\$129-\$189

kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

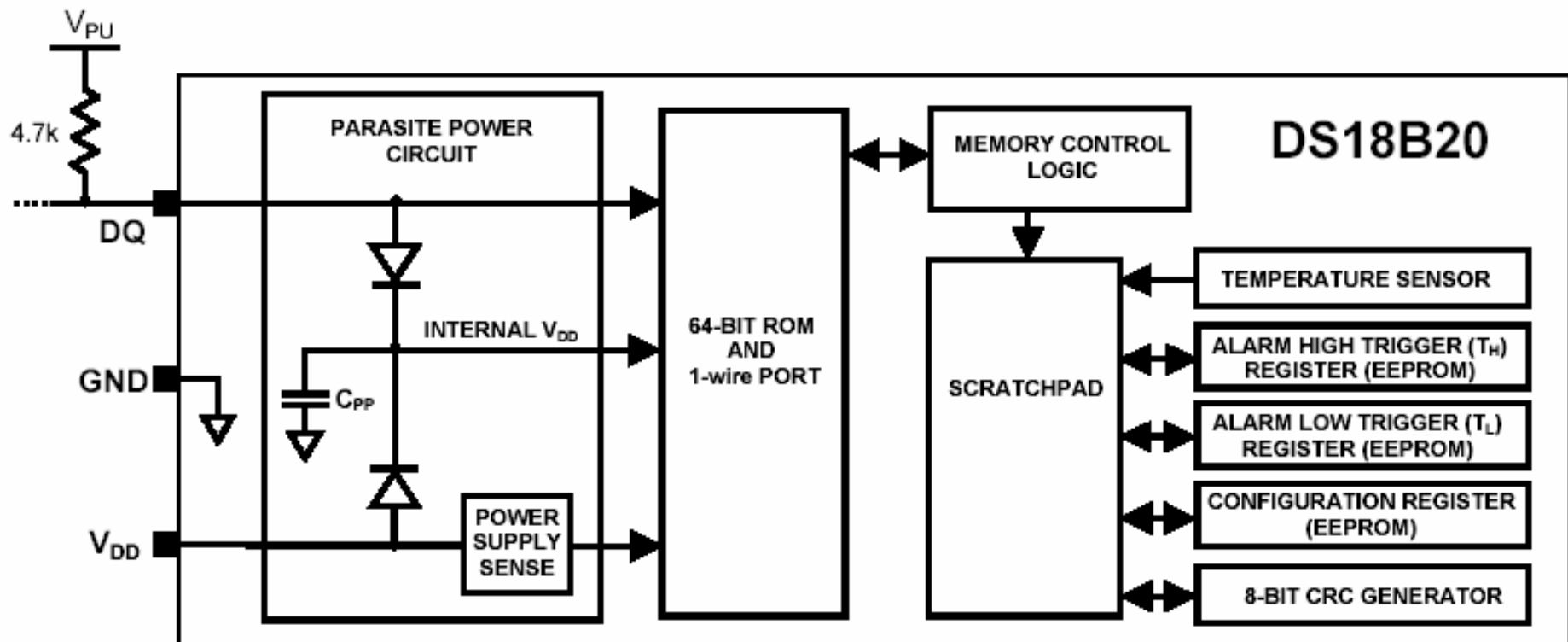
Cyfrowy czujnik temperatury

- DS18B20 Dallas Semiconductor
- Dokładność $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ w przedziale od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$
- Pomiar temperatury w przedziale od -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- Rozdzielczość przetwornika A/D: 9-12 bitów
- 1-Wire interfejs



Schemat blokowy DS18B20

DS18B20 BLOCK DIAGRAM Figure 1



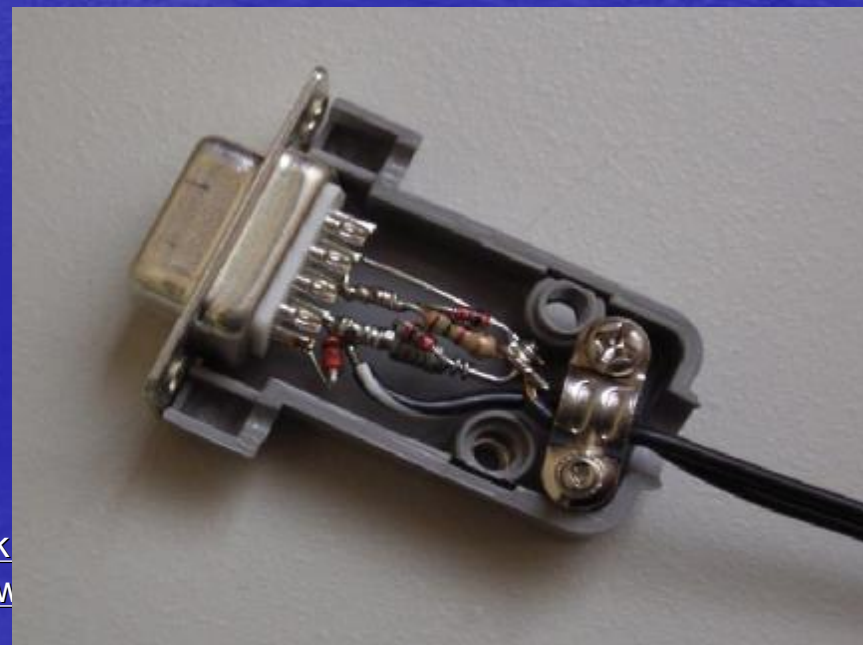
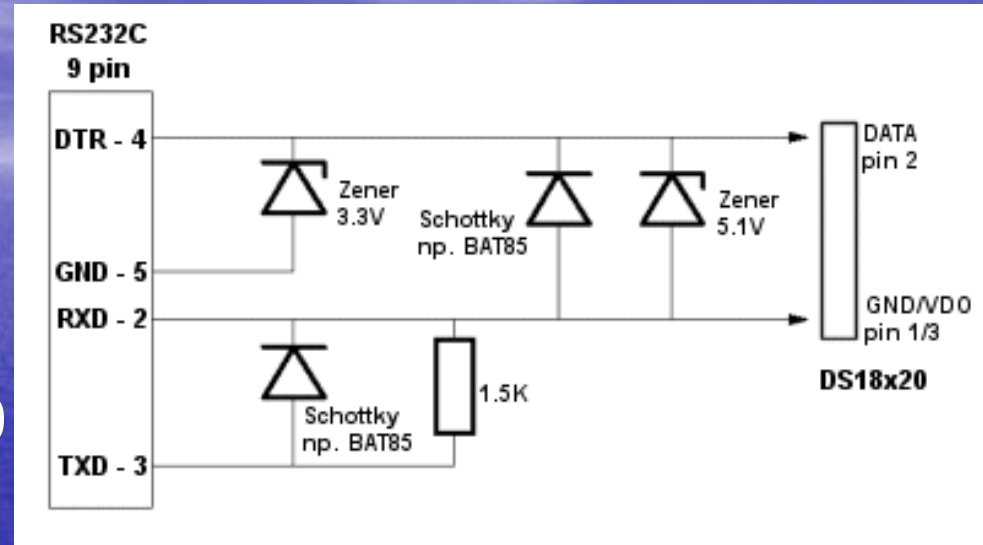
Podłączenie do komputera

dioda Zenera 3,3V
dioda Zenera 5,1V
dwie diody Schottkiego np. BAT85
rezystor 1.5K (1/8W)
czujnik temperatury DS18B20
wtyk COM (DB9 żeński) z obudową

Oprogramowanie:

Windows: Lampomittari

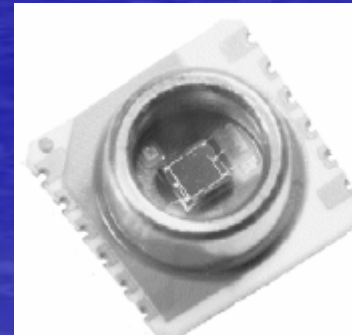
Linux: digi_temp



Czujnik cyfrowy do pomiaru ciśnienia MS5534A (Intersema)

- Piezoelektryczny czujnik ciśnienia
- Zakres pomiaru ciśnienia 300-1100 hPa
- Kompensacja temperaturowa za pomocą wielomianu 5-go rzędu (sześć współczynników)
- 3 przewodowy interfejs szeregowy
- Zasilanie 2.2-3.6V
- Przetwornik A/D 15 bitowy – rozdzielczość 0.025 hPa.

kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja



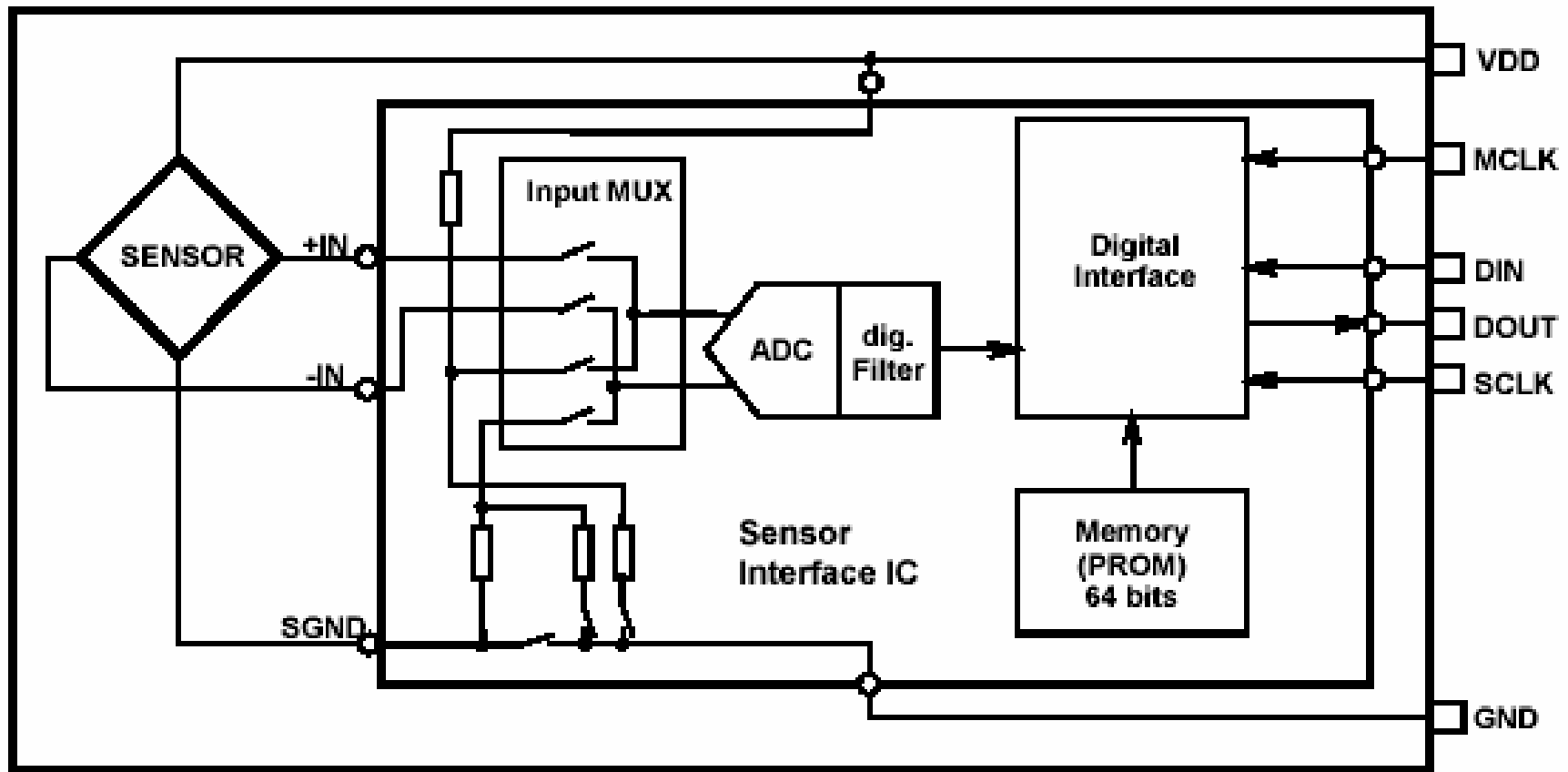


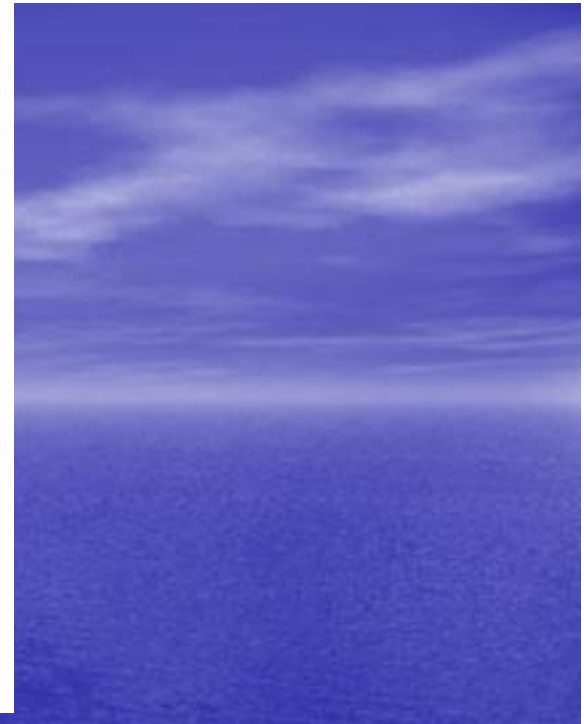
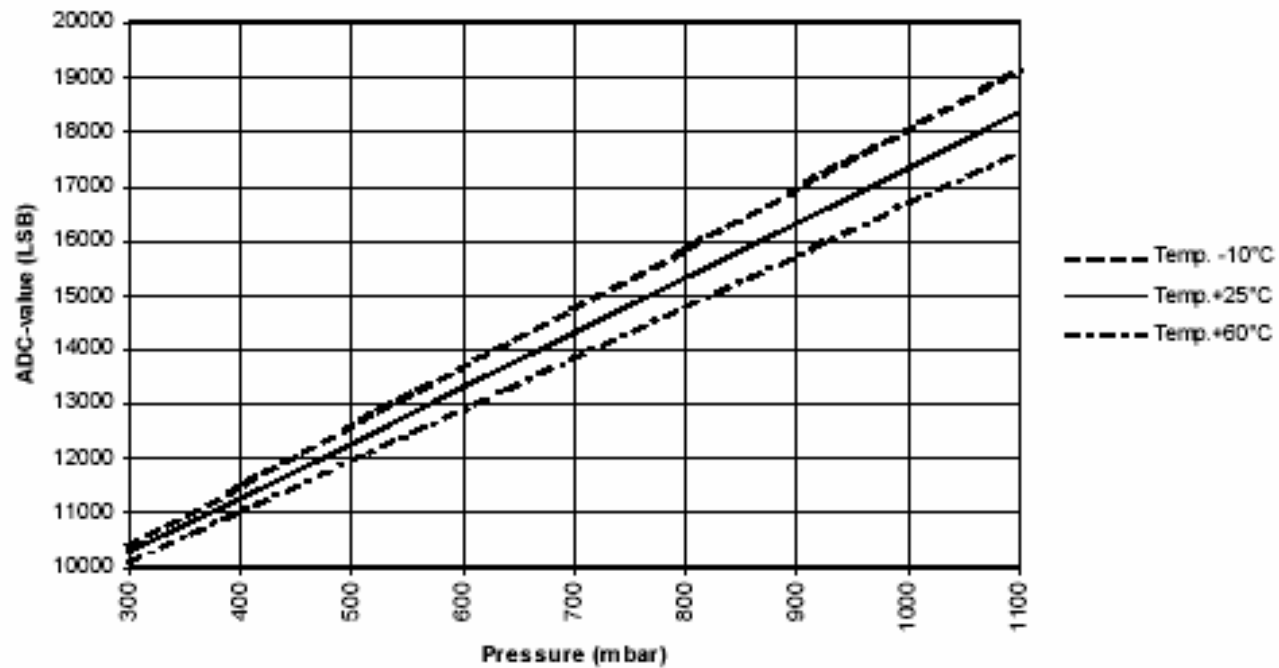
Fig.: 1 Block Diagram 5534

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

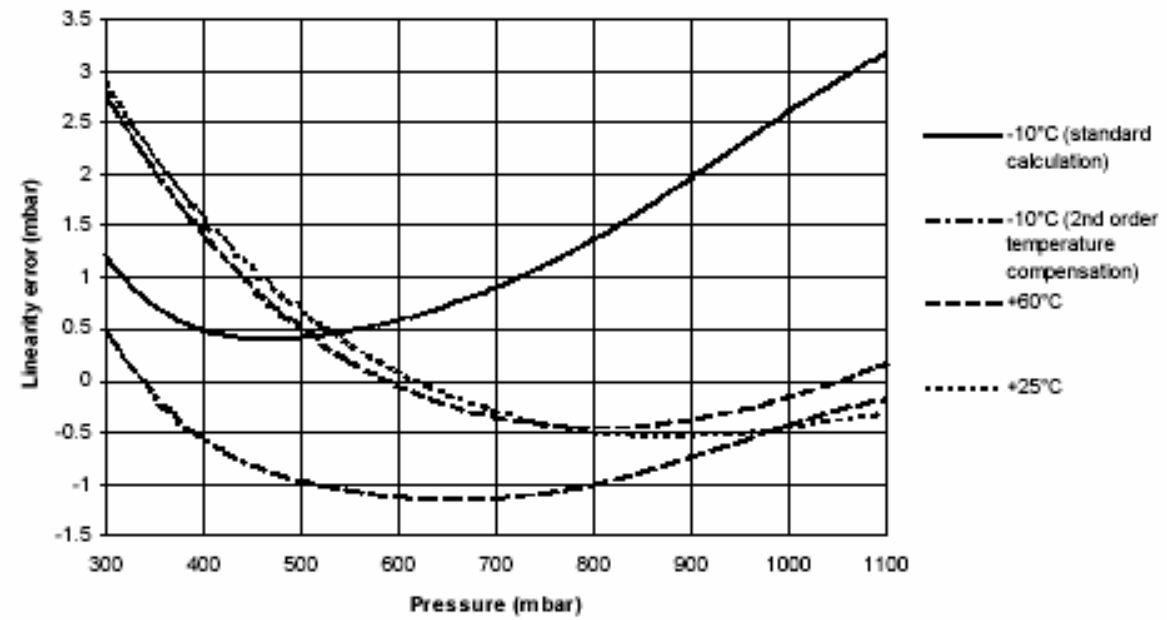
(T=25°C, VDD=3.0V unless noted otherwise)

| Parameter | Symbol | Conditions | Min. | Typ. | Max | Unit |
|--|--|-------------------------|-------|--------|-------|----------------|
| Supply Voltage | V _{DD} | | 2.2 | 3.0 | 3.6 | V |
| Supply Current, average (1) during conversion (2) standby (no conversion) | I _{avg} I _{SC} I _{SS} | V _{DD} = 3.0 V | | 5 1 | 3.5 | μA mA μA |
| Current consumption into MCLK (3) | | MCLK=32768Hz | | | 0.5 | μA |
| Operating pressure range | p | | 300 | | 1100 | mbar abs. |
| Operating temperature range | T _a | | -10 | +25 | +60 | °C |
| Conversion time | T _{conv} | MCLK=32768Hz | | | 35 | ms |
| External clock signal (4) | MCLK | | 30000 | 32768 | 35000 | Hz |
| Duty cycle of MCLK | | | 40/60 | 50/50 | 60/40 | % |
| Serial Data Clock | SCLK | | | | 500 | kHz |

| Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Unit | Note |
|--------------------------------------|---|------|-----|------|--------|------|
| Resolution | | | 0.1 | | mbar | 1 |
| Absolute Pressure Accuracy | p = 750 ... 1100mbar T _a = 25°C | -1.5 | | +1.5 | mbar | 2 |
| Relative Pressure Accuracy | p = 750 ... 1100mbar T _a = 25°C | -0.5 | | +0.5 | mbar | 3 |
| Maximum Error over Temperature | T _a = -10...+60°C p = const. | -1 | | +1 | mbar | 4 |
| | | -1 | | +6 | mbar | 5 |
| Long-term Stability | 12 month | | -1 | | mbar | 6 |
| Maximum Error over Supply Voltage | VDD = 2.2...3.6V | -1.5 | 0 | +1.5 | mbar/V | |



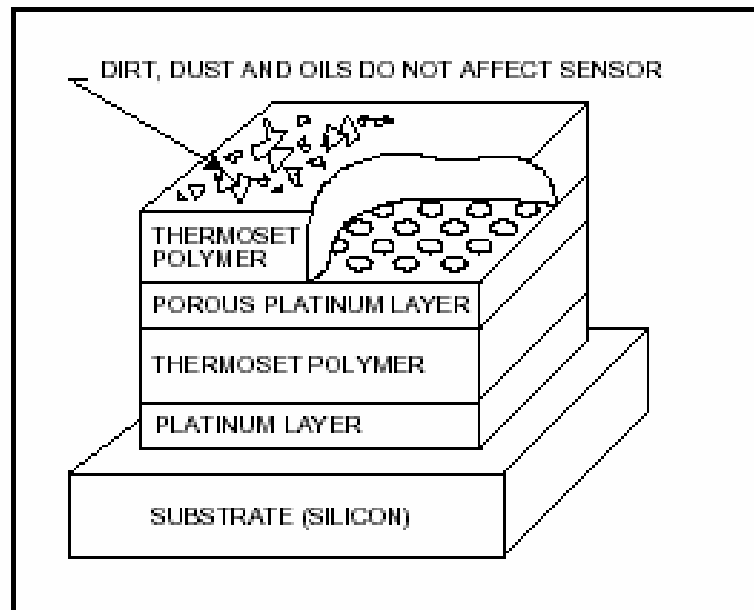
Absolute pressure accuracy after calibration (typical)



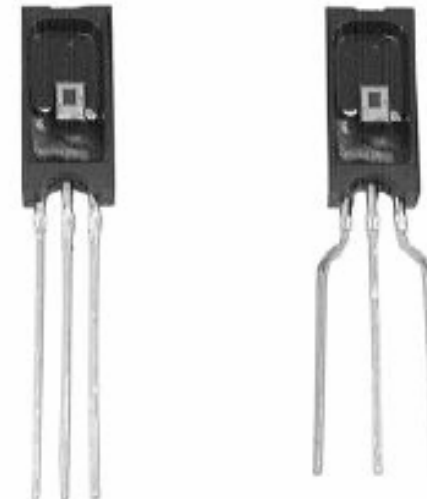
W

Analogowy czujnik wilgotności względnej HIH3610 firmy Honeywell

FIGURE 1: RH SENSOR CONSTRUCTION



HIH-3610 Series



Charakterystyka czujnika HIH3610

FIGURE 2: OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY AT 0 °C

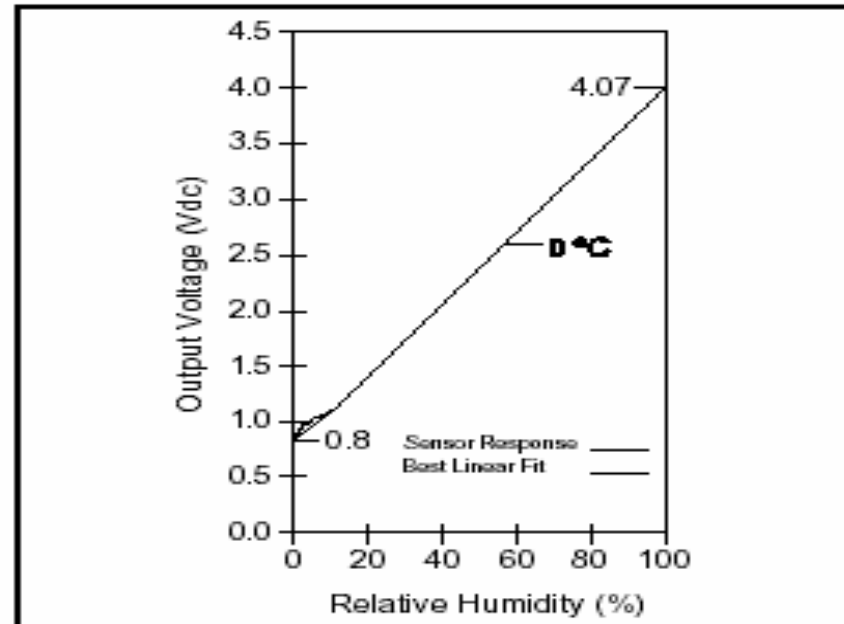
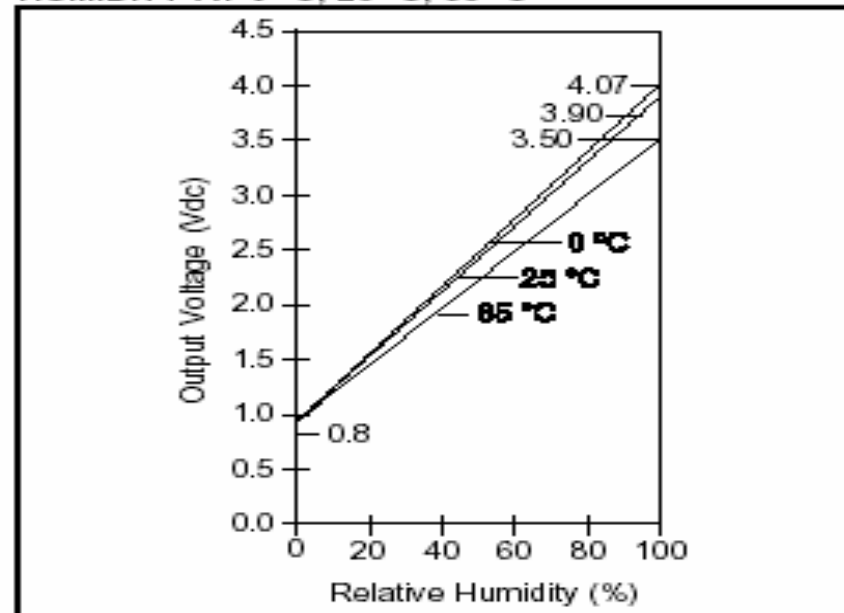
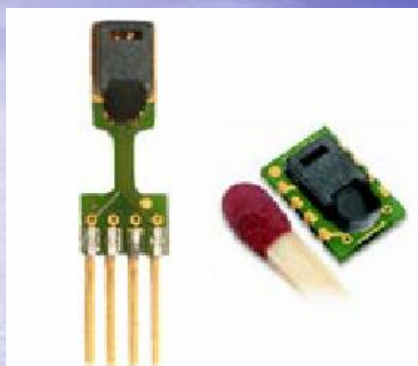


FIGURE 3: OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY AT 0 °C, 25 °C, 85 °C

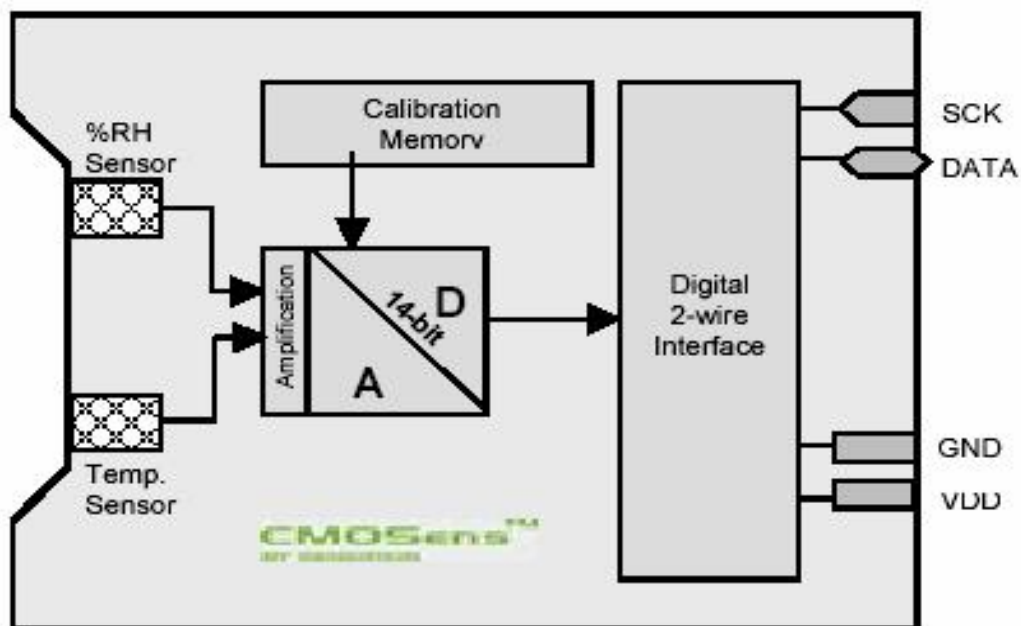


Cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności SHT15 i SHT75



| Type | Genauigkeit Feuchte | Genauigkeit Temperatur | Package/ Bauform |
|-------|---------------------|------------------------|------------------|
| SHT11 | +/- 3,0 % rF | +/- 0,4 °C @25°C | SMD (LCC) |
| SHT15 | +/- 2 % rF | +/- 0,3 °C @25°C | SMD (LCC) |
| SHT71 | +/- 3,0 % rF | +/- 0,4 °C @25°C | 4-Pin, einreihig |
| SHT75 | +/- 1,8 % rF | +/- 0,3 °C @25°C | 4-Pin, einreihig |

Schematic Diagram



Pomiary zachmurzenia - kamera całego nieba

- W kamerach nieba wykorzystuje się matryce CCD do obrazowania cyfrowego nieboskłonu.
- Stosuje się dwie metody obrazowania nieboskłonu przy pomocy obiektywu typu rybie oko lub zwierciadła.
- Dodatkowo w celu zasłonięcia tarczy słonecznej stosuje się ruchomy przysłony.
- Przy użyciu odpowiednich algorytmów szacuje się stopień pokrycia nieba chmurami.
- W najprostszej wersji (bez ruchomej przysłony) przyrząd jest bardzo tani!

Profesjonalna kamera nieba firmy Yankee



mark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

Prosta kamera nieba



- Aparat cyfrowy Canon A75 (możliwość wykonywania zdjęć za pośrednictwem komputera)
- Zwierciadło z dekla do amerykańskiego TIR-a.
- Ruchome ramie zasłaniające Słońce
- Sterowanie przez mikrokontroler i komputer.

Kamera nieba wersja II



- Oparta na szerokokątnym obiektywie (rybie oko)



Algorytmy detekcji chmur

Większość algorytmów wykorzystuje fakt, że chmury rozpraszają niezależnie od długości fali podczas gdy obszary bezchmurne znacznie silniej rozpraszają fale krótsze.

$$\text{Index} = R/B$$

$$\text{SI} = (B - R)/(B + R)$$

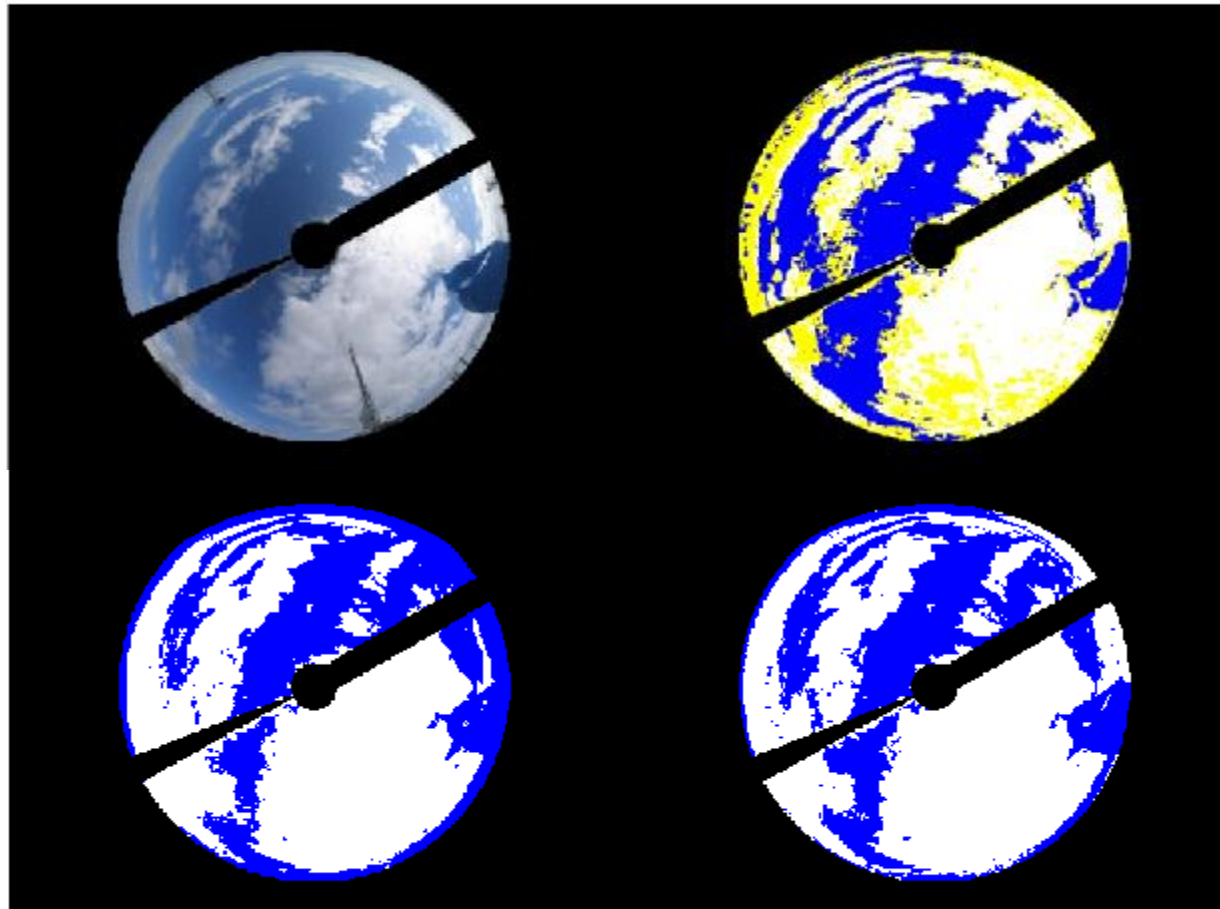
$$\text{alfa} = \log(B/R)/\log(\lambda_R/\lambda_B)$$

R, G, B składowe spektralne zdjęcia cyfrowego

Detekcja obszarów chmurowych opiera się na progowej wartości odpowiedniego indeksu.

Inna metoda opiera się o sieci neuronowe. Pozwala na rozróżnianie zachmurzenia warstwowego od konwekcyjnego itd.

Przykłady działania różnych algorytmów



Obserwacje przejrzystości powietrza (widzialności)

- Przejrzystość powietrza jest związana z obecnością w powietrzu produktów kondensacji pary wodnej (krople wody, kryształy lodu) oraz zanieczyszczeń powietrza (aerozoli).
- Przez widzialność (poziomą) rozumiemy w meteorologii największą odległość przy której ciemny obiekt blisko horyzontu jest jeszcze widoczny.
- Tak, zdefiniowana wielkość jest subiektywna gdyż widzialność zależy od indywidualnej percepcji oka ludzkiego.
- Jedną z najstarszych technik pomiarowych szacowania widzialności jest metoda tzw. reperów.

Współczesne techniki pomiaru widzialności

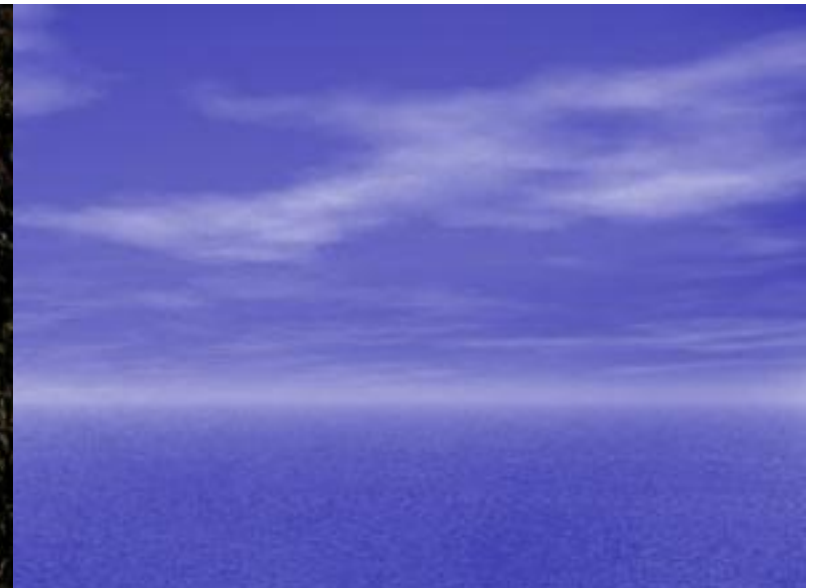
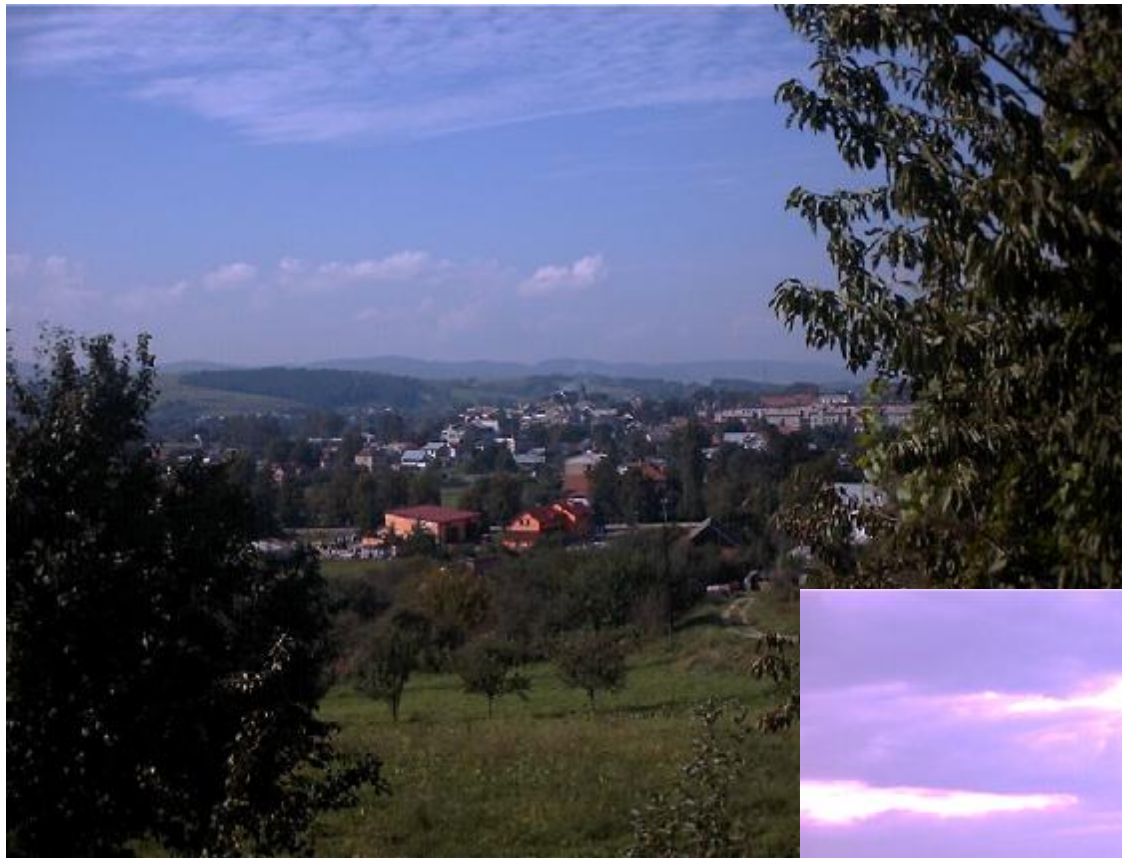
dioda świecąca lub laserowa

detektor, fotodioda



9/25/2009

kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja



Zmętnienie atmosfery
powstałe w wyniku
obecności aerozoli

9/25/2009

www.k...

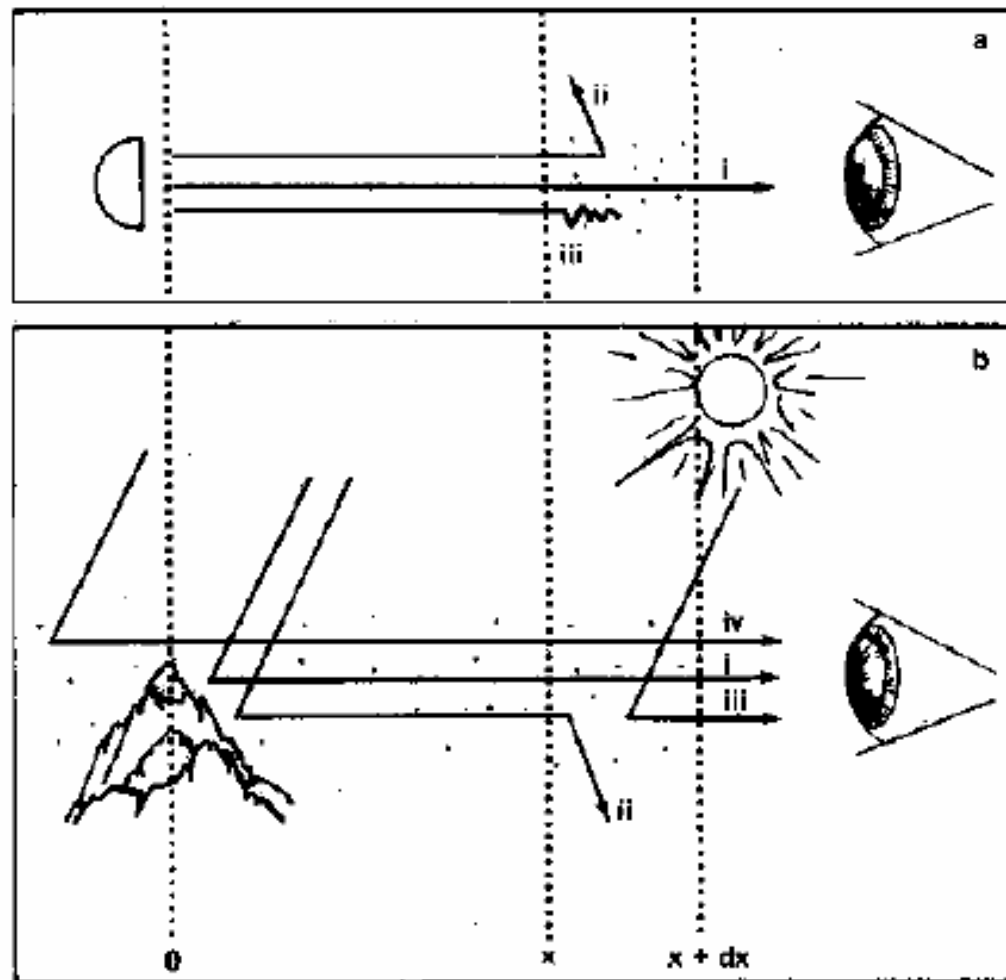


Figure 2-9. (a) A schematic representation of atmospheric extinction, illustrating: (i) transmitted, (ii) scattered, and (iii) absorbed light. (b) A schematic representation of daytime visibility, illustrating: (i) residual light from target reaching observer, (ii) light from target scattered out of observer's line of sight, (iii) airlight from intervening atmosphere, and (iv) airlight constituting horizon sky. (For simplicity, "diffuse" illumination from sky and surface is not shown.) The extinction of transmitted light attenuates the "signal" from the target at the same time as the scattering of airlight is increasing the background "noise."

$$C(0) = \frac{I_t(0) - I_b(0)}{I_b(0)}$$

kontrast pikseli
w zerowej odległości

kontrast pikseli
w odległości r

$$C(r) = \frac{I_t(r) - I_b(r)}{I_b(r)}$$

$I_b(r)$

$I_t(r)$

9/25/2009

Krzysztof Markowicz
kmark@igf.fuw.edu.pl

$$VIS = \frac{\ln 50}{\sigma}$$

Wzór Koschmiedera

σ - współczynnik ekstynkcji (osłabienia) promieniowania. Jest on związany z przezroczystością atmosfery.

$$VIS = \frac{r \ln 50}{\ln C / C_0}$$

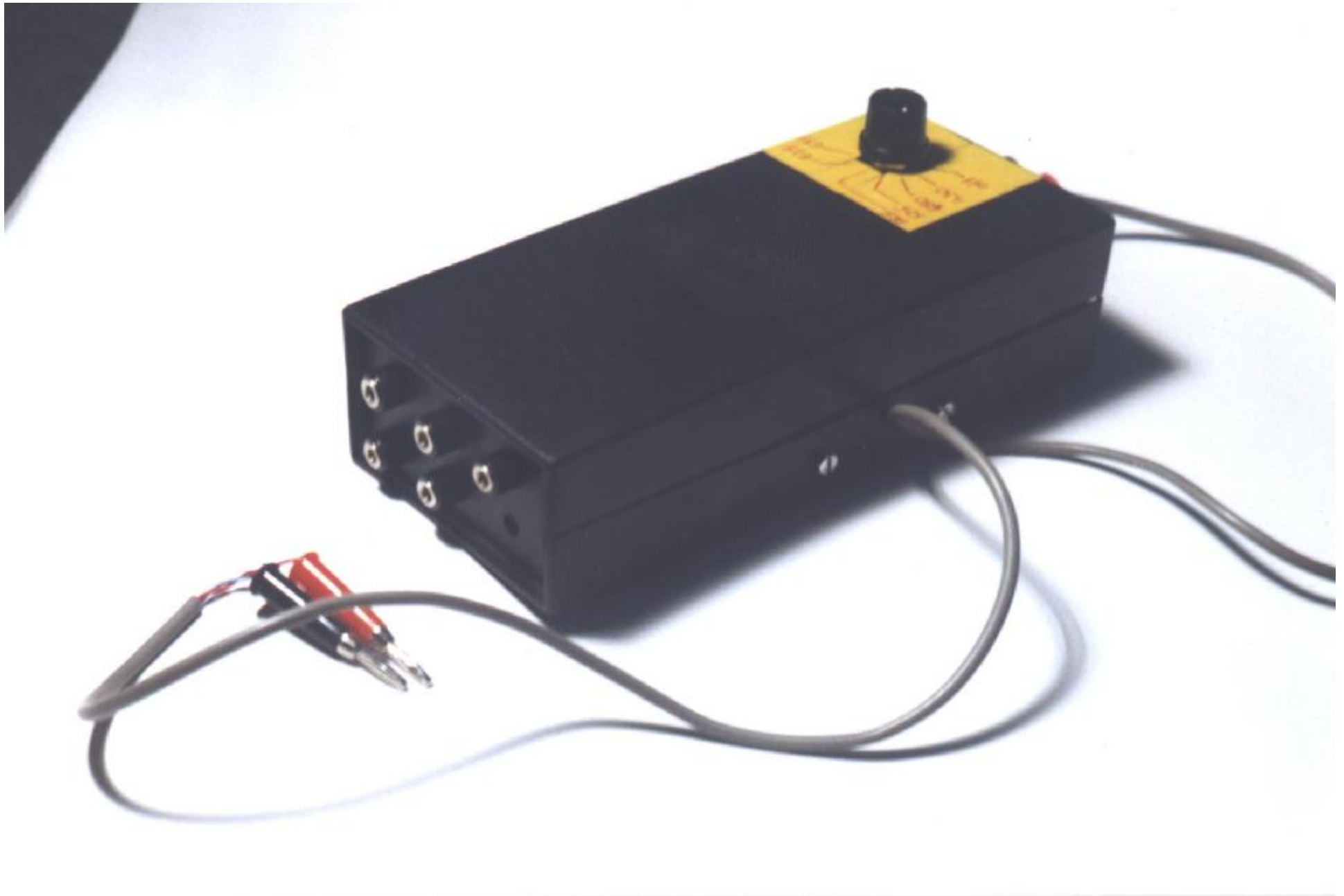
$$\sigma = \frac{1}{r} \ln \frac{C}{C_0}$$

Procedura wyznaczania widzialności

- Wykonujemy zdjęcie oddalonego obiektu (lasu, wzniesienia, komina, itd..)
- W celu wykonania kalibracji musimy zrobić zdjęcie z bliższej odległości (możemy robić to raz na jakiś czas)
- Używając programu komputerowego do czytania zdjęć w postaci cyfrowej odczytujemy wartości pikseli obiektu oraz otaczającego tła.
- Wyznaczamy kontrast dla dwóch odległości
- Wyznaczamy na podstawie map (np. <http://maps.google.com>) odległości od obiektu.
- Wyznaczamy widzialności i współczynnik ekstynkcji.

Fotometr słoneczny – do pomiaru zawartości aerozolu w pionowej kolumnie powietrza (grubości optycznej).

- Fotometr słoneczny jest przyrządem służącym do pomiaru bezpośredniego promieniowania słonecznego (pochodzącego od tarczy słonecznej)
- Promieniowanie to przechodząc przez atmosferę jest stopniowo osłabiane poprzez zawarte w niej zanieczyszczenia oraz molekuły powietrza.
- Im mniej promieniowania dochodzi do powierzchni Ziemi tym bardziej zanieczyszczona atmosfera.



kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

Fizyka pomiaru grubości optycznej

$$I(\lambda) = I_o(\lambda)e^{-m\tau}$$

$$\tau = \tau_M + \tau_A + \tau_{O_3}$$

$I(\lambda)$ – natężenie promieniowania bezpośredniego dochodzącego po powierzchni Ziemi

$I_o(\lambda)$ - natężenie promieniowania bezpośredniego dochodzącego do górnych granic atmosfery (tzw. spektralna stała słoneczna)

m – masa optyczna atmosfery (czynnik z drogą jaką pokonuje promieniowanie słoneczne w atmosferze)

$\tau_M, \tau_a, \tau_{O_3}$, -- grubość optyczna związana z rozpraszaniem na molekułach powietrza, rozpraszaniem i absorpcją przez aerozole oraz absorpcją przez ozon

Uwzględniając, że stała słoneczna nie jest stała i zależy od gównie chwilowej odległości Ziemia-Słońce (d) mamy:

$$I(\lambda) = I_{os}(\lambda) \left(\frac{d_o}{d} \right)^2 e^{-m\tau}$$

d_o jest średnią odległością Ziemia-Słońce.

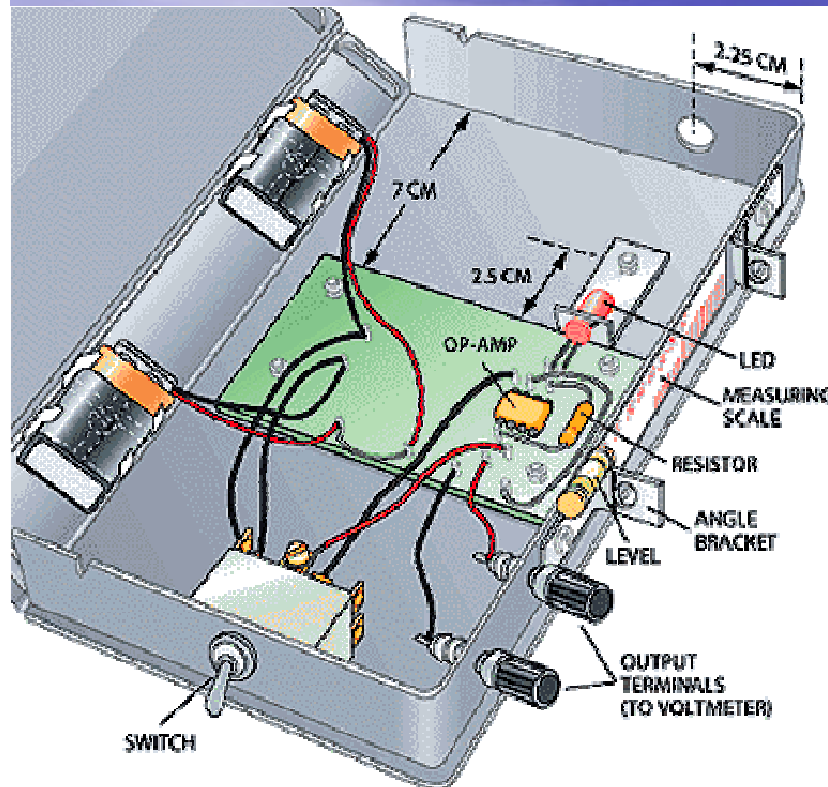
Dla pewnej klasy detektorów promieniowania natężenie promieniowania jest proporcjonalne do natężenia prądu płynącego przez niego. Stosując prosty układ elektroniczny (wtórnik napięcia) zamiast prądu możemy mierzyć napięcie.

$$I \approx V$$

$$V(\lambda) = V_{os}(\lambda) \left(\frac{d_o}{d} \right)^2 e^{-m\tau}$$

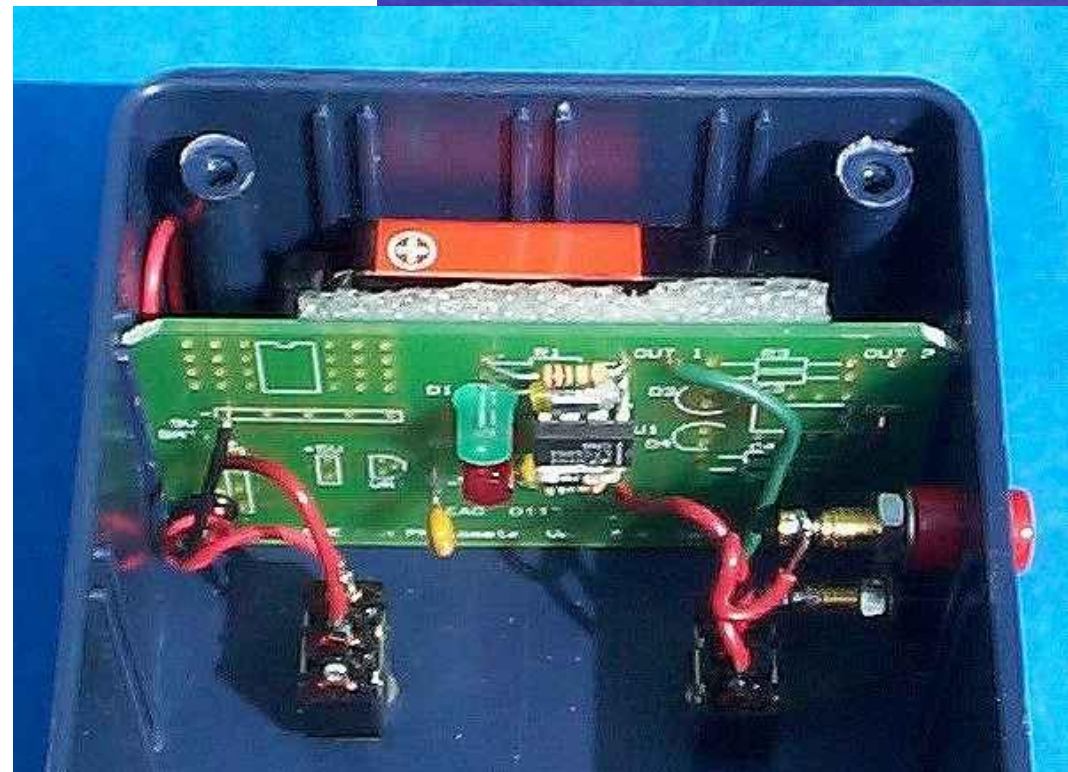
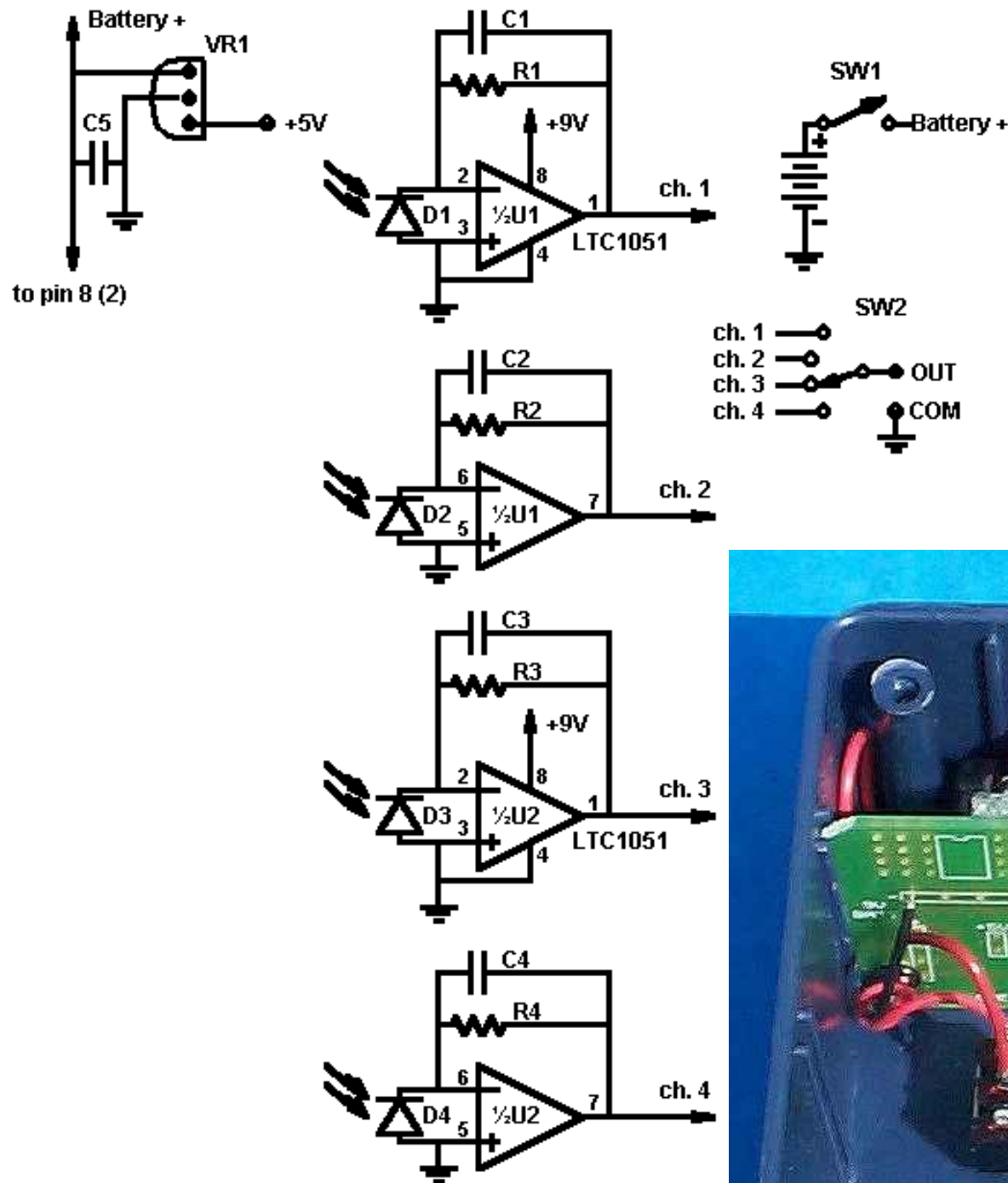
$$\tau_A = \frac{1}{m} \left[\ln \left(\frac{V_{os}}{V} \right) + 2 \ln \left(\frac{d}{d_o} \right) \right] - \tau_M - \tau_{O3}$$

Budowa Fotometru Słonecznego



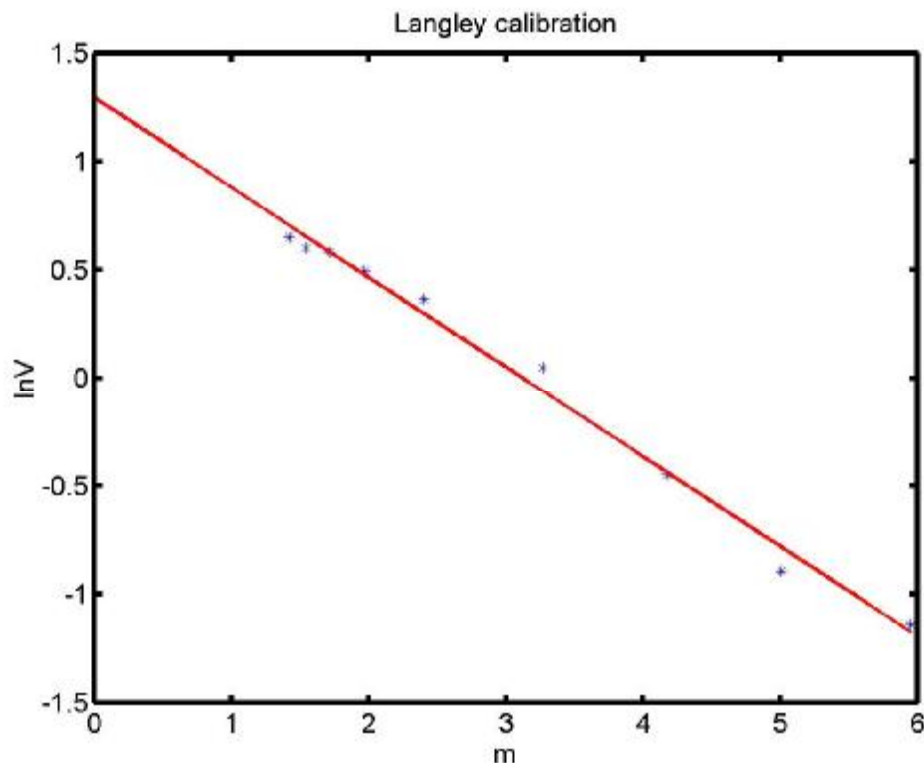
- obudowa z plastiku o wymiarach 170x80x40mm
- miernik uniwersalny 2 baterie 9V
- wzmacniacz operacyjny 741 lub LTC1051
- opornik 0.5 MW
- czujnik **dioda LED**
- płytka drukowana o wymiarach 20x30mm
- przewody
- gniazda bananowe
- wyłącznik
- 2 kawałki blachy 10x30x1mm grubości

Układ elektroniczny



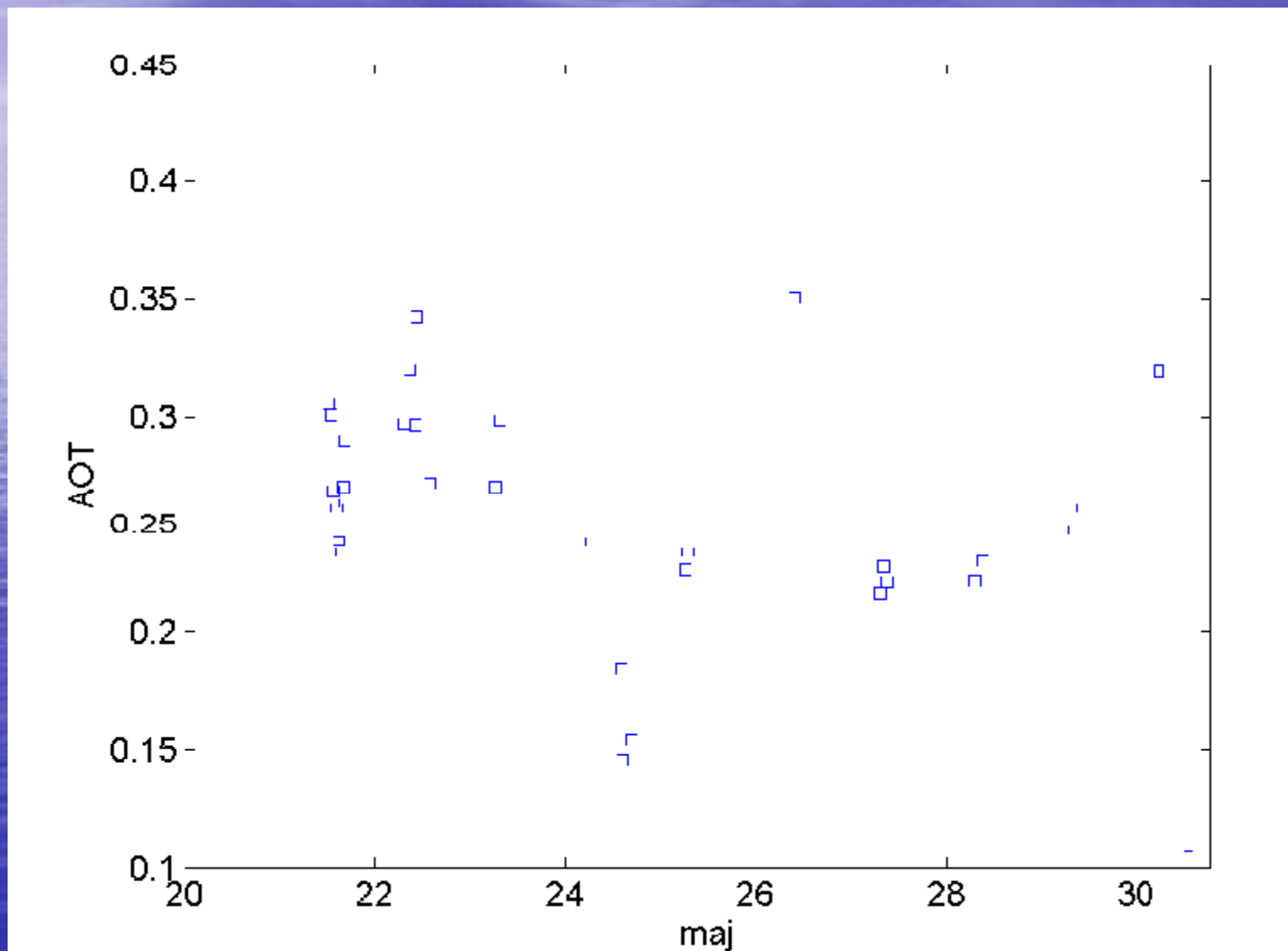
Kalibracja fotometru

- Wyznaczanie wartości V_0 czyli napięcia jakie wskazywałby fotometr gdyby umieścić go na górnej granicy atmosfery.
- Kalibracja metodą Langley'a.



Metoda wykorzystuje wielokrotne pomiary fotometrem słonecznym wykonywane po wschodzie lub przed zachodem Słońca.

Przebieg czasowy grubości optycznej aerozolu uzyskany prostym fotometrem słonecznym



Sun Tracker na bazie teleskopu astronomicznego NextStar114

Sun tracker to urządzenie pozwalające automatycznie podążać za tarczą słoneczną. Służy do pomiarów bezpośredniego oraz rozproszonego promieniowania słonecznego.

Układ porusza się w dwóch płaszczyznach prostopadłych do siebie za pośrednictwem zwykłych silników zasilanych impulsowo. Zastosowanie względnego enkodera (licznik obrotu) na każdym z silników umożliwia obliczenie o jaki kąt obrócił się dany silnik.

Układ posiada dwa systemy aktywnego naprowadzania na Słońce. Pierwszy system jest mało dokładny i jest pierwszym stopniem dla drugiego precyzyjnego. Pierwszy system to układ 4 fotorezystorów pracujących różnicowo i pozwalających na ustawienie trackerca z dokładnością 0.5-2 stopnie.

Drugi system oparty jest na matrycy CCD (kamerka internetowa) i pozwala pracować jeśli tracker jest nie dalej niż 2.5 stopnia od Słońca. Wynika to z faktu, że matryca znajduje się w obiektywnie o takich kącie widzenia. Mały kąt widzenia zapewnia wysoką precyzję, która wynosi około 0.01-0.02 stopnia.

Sterowanie silnikami krokowymi oraz pierwszym stopniem aktywnego śledzenia Słońca odbywa się za pośrednictwem mikrokontrolera ATMEL.

Sun Tracker

fotorezystory

kamera CCD



kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacj

Detekcja wyładowań atmosferycznych

W czasie wyładowania atmosferycznego dochodzi do emisji fal elektromagnetycznych oraz akustycznych.

Pierwsza z nich widoczna jest na ogół jako jasna błyskawica jednak fale elektromagnetyczne emitowane w czasie wyładowania obejmują znacznie szerszy zakres spektralny.

Poza falą świetlną emitowane są fale w zakresie radiowym. Można tego łatwo doświadczyć nasłuchując długich fal (LM) w odbiornikach radiowych podczas zbliżającej się burzy.

Najprostszym detektorem wyładowań jest więc zwykły odbiornik radiowy na fale długie. Zakłócenia możemy rejestrować przy pomocy karty dźwiękowej w komputerze.

kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

Zastosowanie dwóch anten pozwala wyznaczyć azymut (kierunek) wyładowania.

Gdy mamy do dyspozycji kilka stacji detekcyjnych możemy dokonać precyzyjnej lokalizacji wyładowania przy użyciu prostych metod geometrycznych po wcześniejszym precyzyjnym zsynchronizowaniu czasu

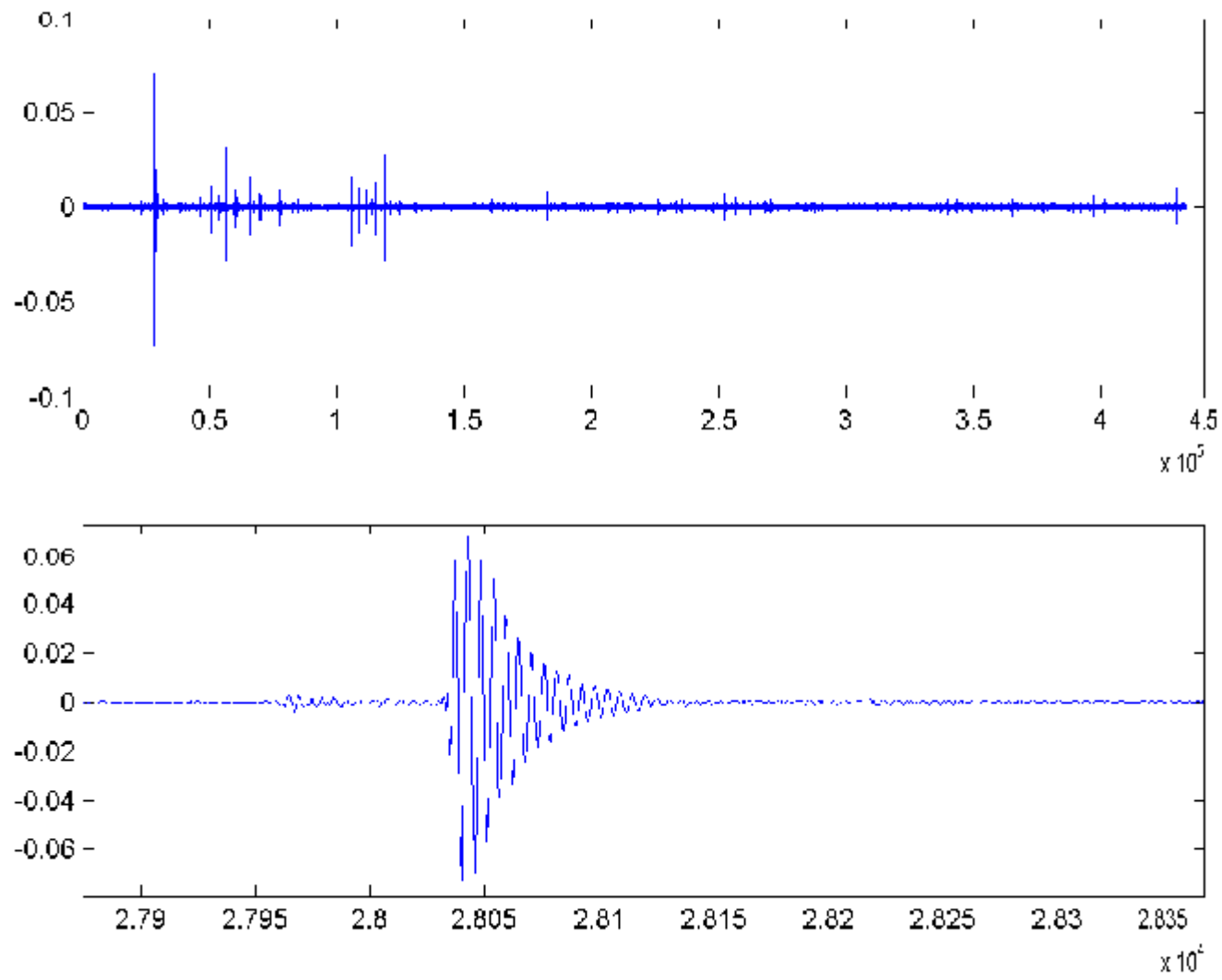
Dokładna lokalizacja wyładowania przy użyciu tylko jednego detektora jest obarczona znacznym błędem.

Układ pracuje na długości fali około 11 kHz co pozwala na detekcję wyładowań w odległości nawet setek kilometrów od anteny.

Dokładny opis znajduje się na stronie:

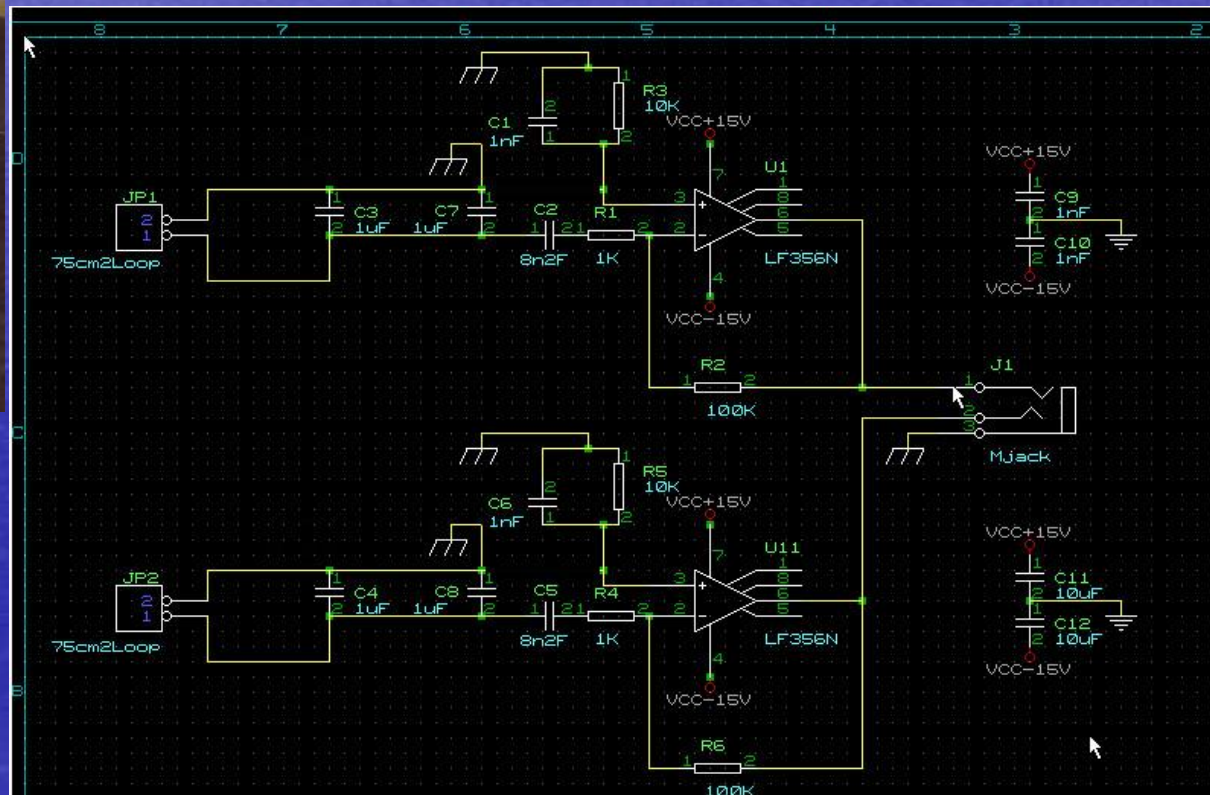
<http://members.home.nl/fkooiman/lightning/>

Rejestracja „trzasków burzowych” za pośrednictwem karty dźwiękowej.



31/12/2005

Prosty system do detekcji wyładowań atmosferycznych

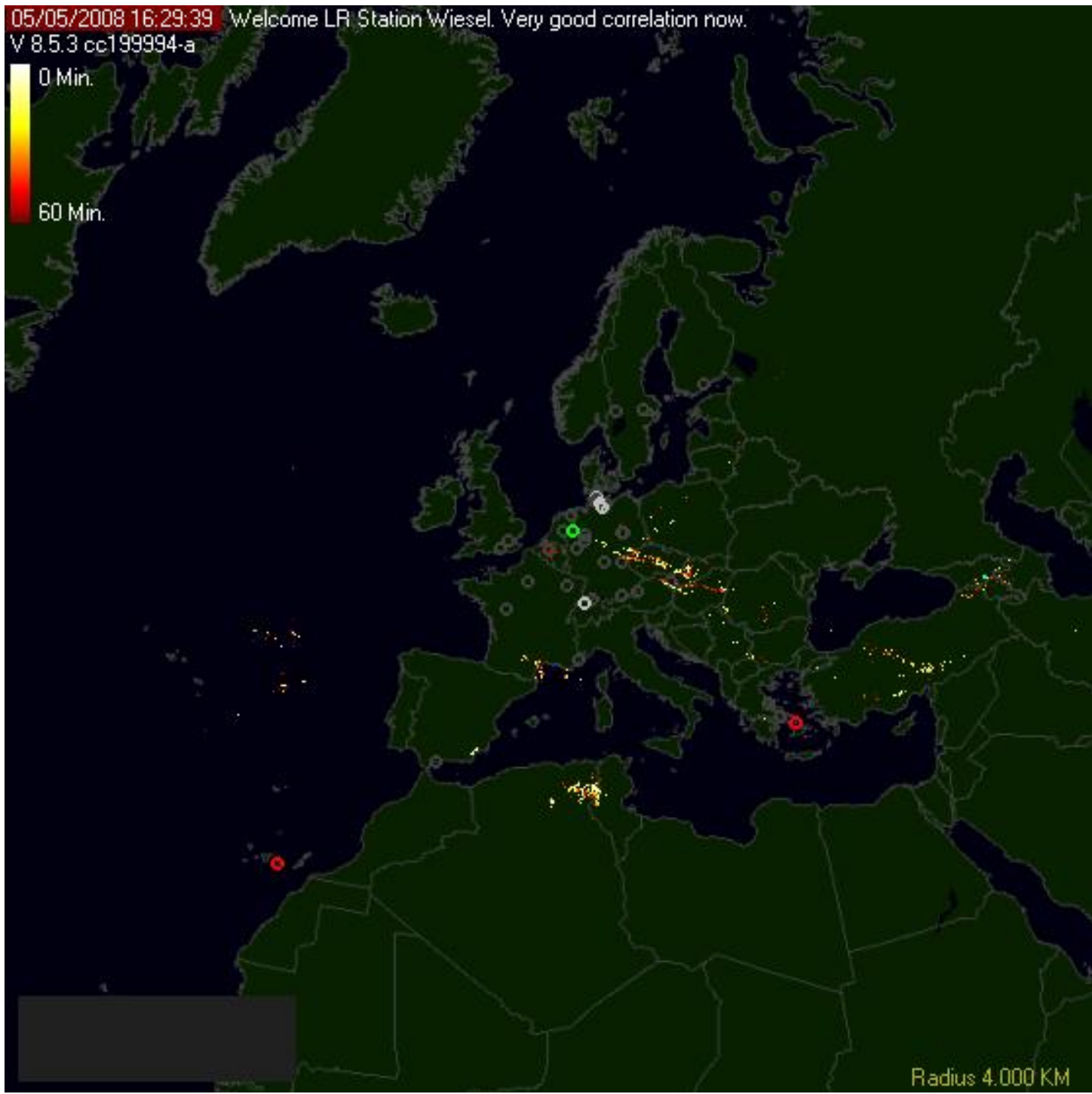
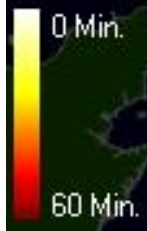


Autor: Frank Kooiman

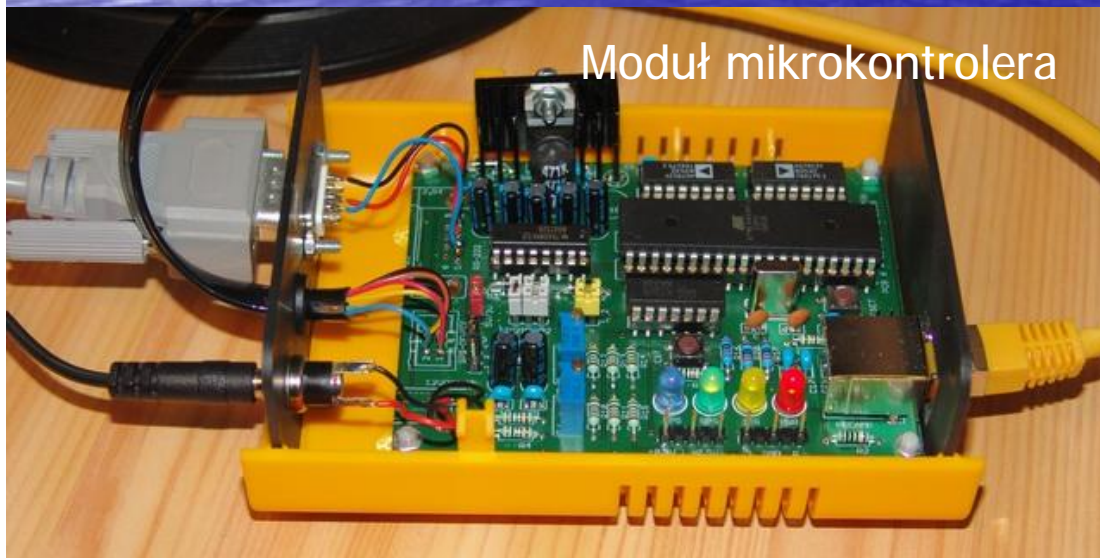
<http://members.home.nl/fkooiman/lightning/>

05/05/2008 16:29:39 Welcome LR Station Wiesel. Very good correlation now.

V 8.5.3 cc199994-a



Inny system detekcji- TOA (time-of-arrival)

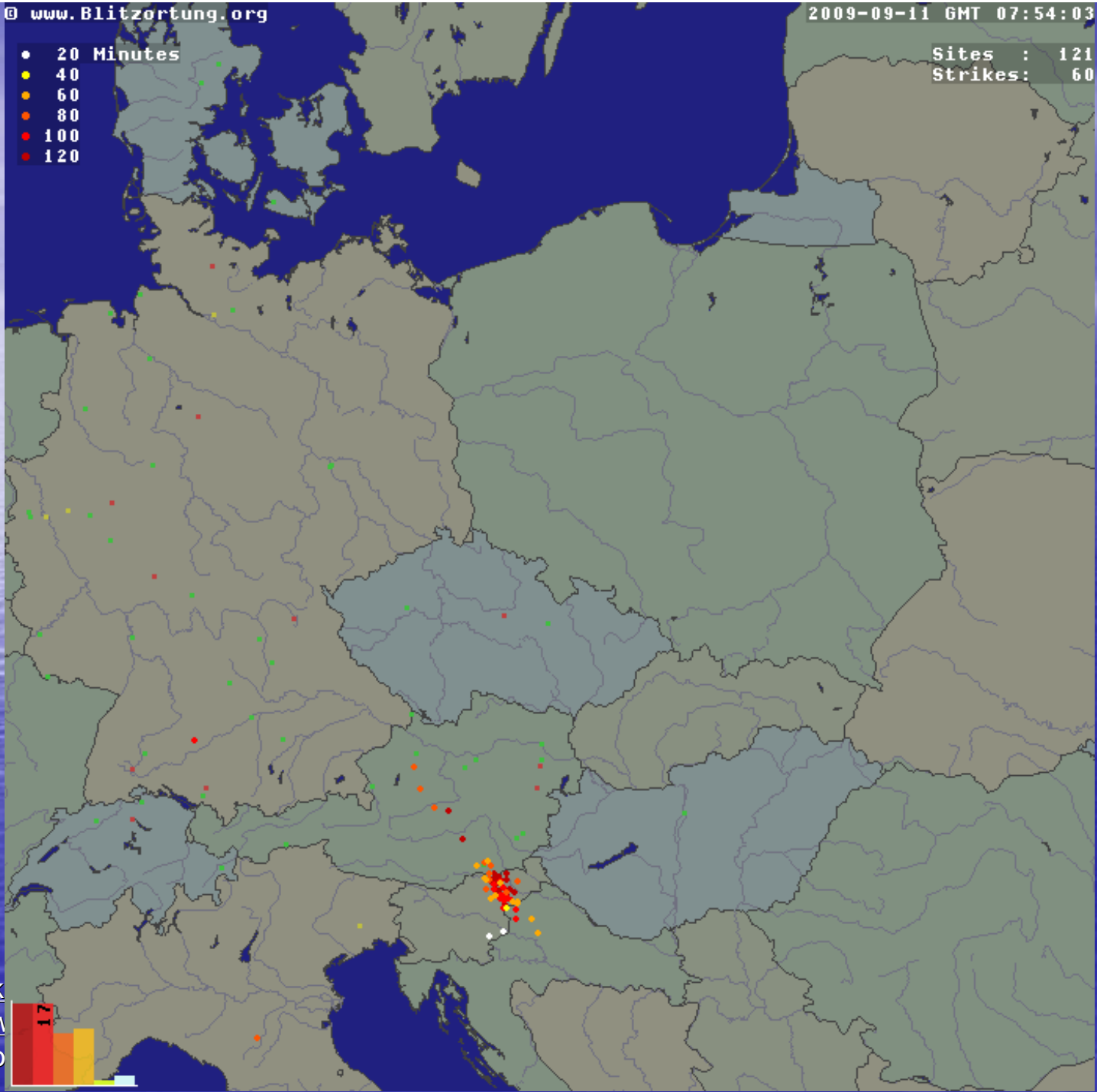
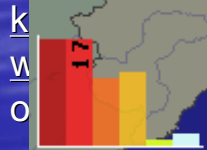


Egon Wanke
<http://www.blitzortung.org>

.pl
o/stacja

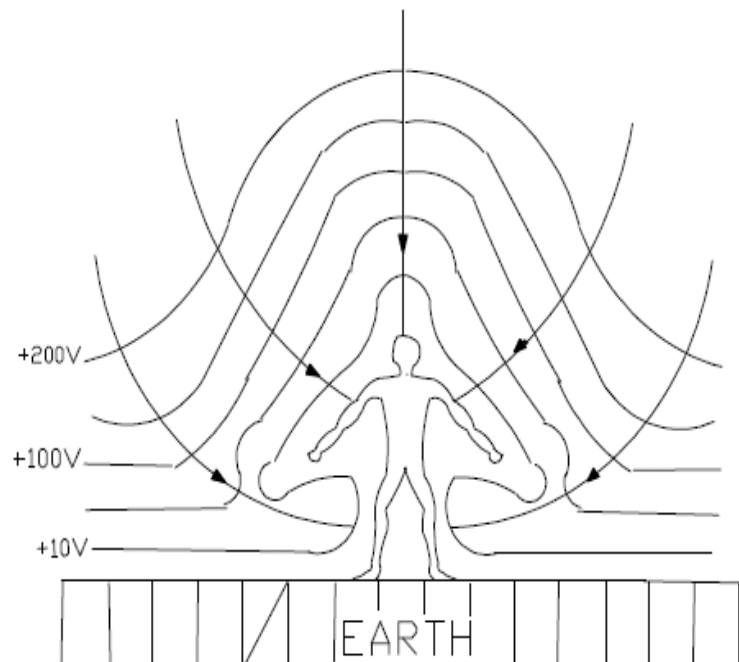
- 20 Minutes
- 40
- 60
- 80
- 100
- 120

Sites : 121
Strikes: 60



Obserwacje pola elektrycznego w atmosferze.

- Gradient potencjału pola elektrycznego w atmosferze pozbawionej chmur konwekcyjnych wynosi około 120 V/m.
- W przypadku pojawienia się chmur burzowych ulega ona znacznym zmianą i może sięgać ± 20 kV/m.
- Obserwacje pola elektrycznego przy powierzchni Ziemi pozwalają wnioskować o naładowaniu elektrycznym chmur.



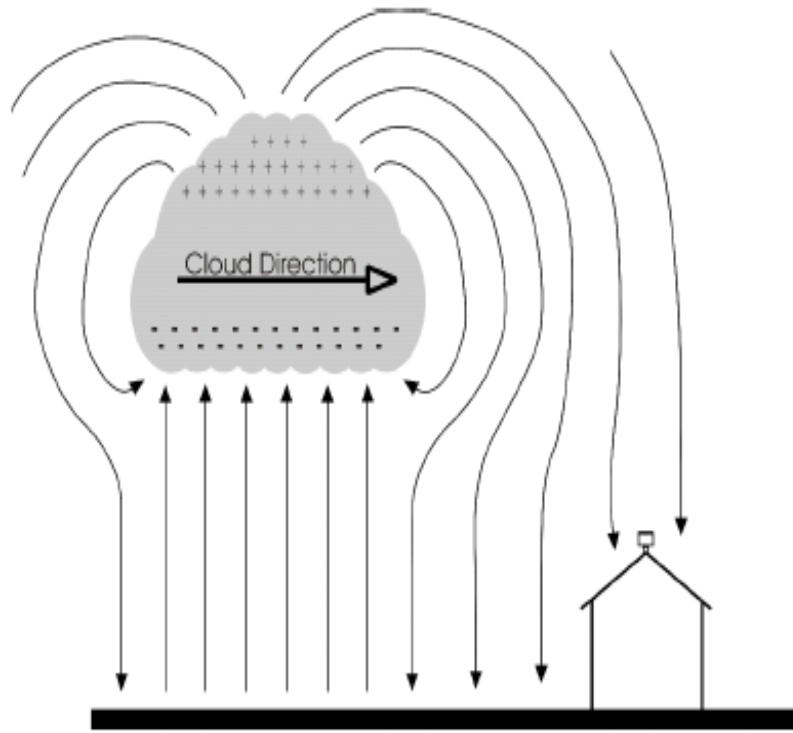


Figure 23: Approaching Thundercloud

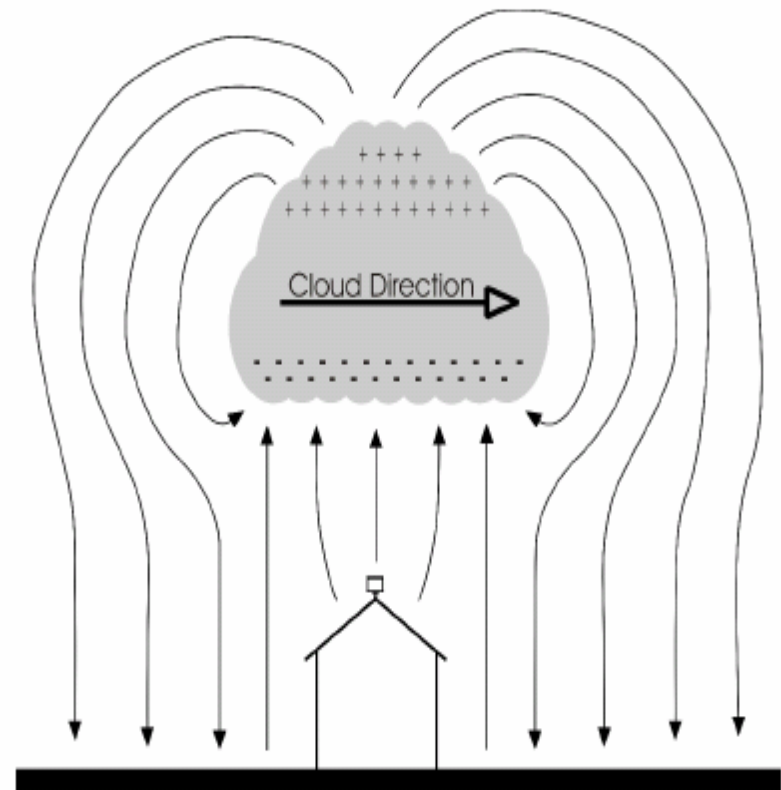
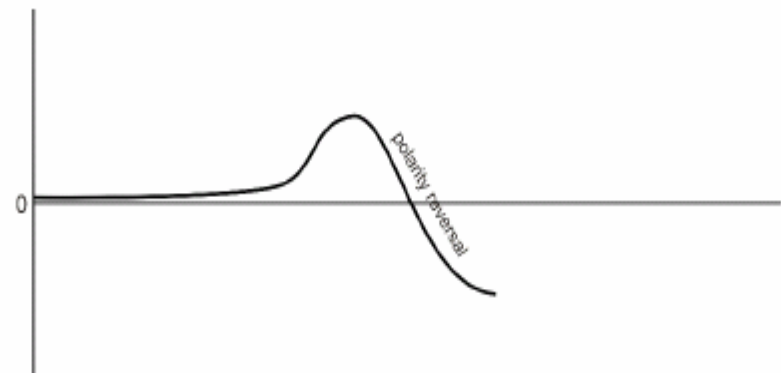
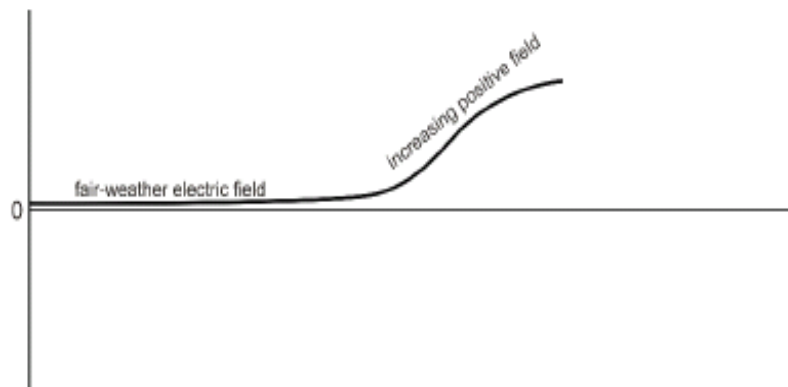


Figure 25: Thundercloud Directly Overhead



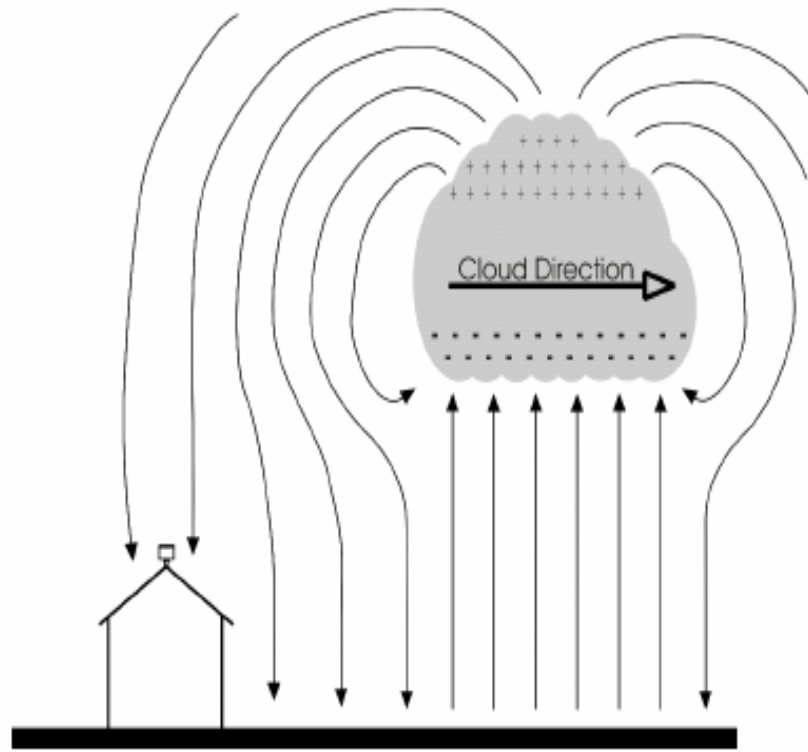
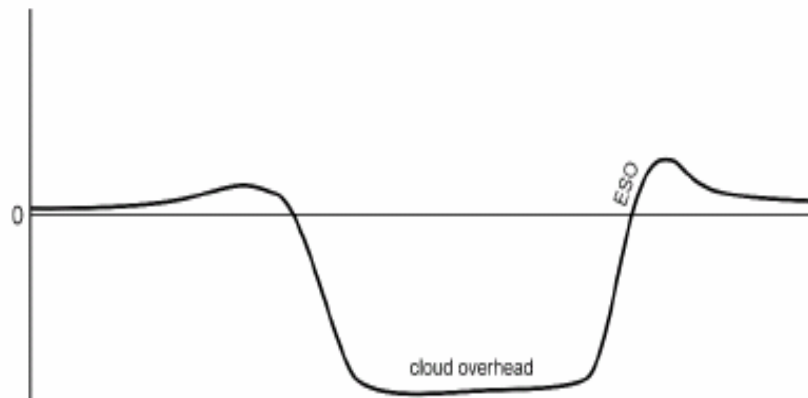
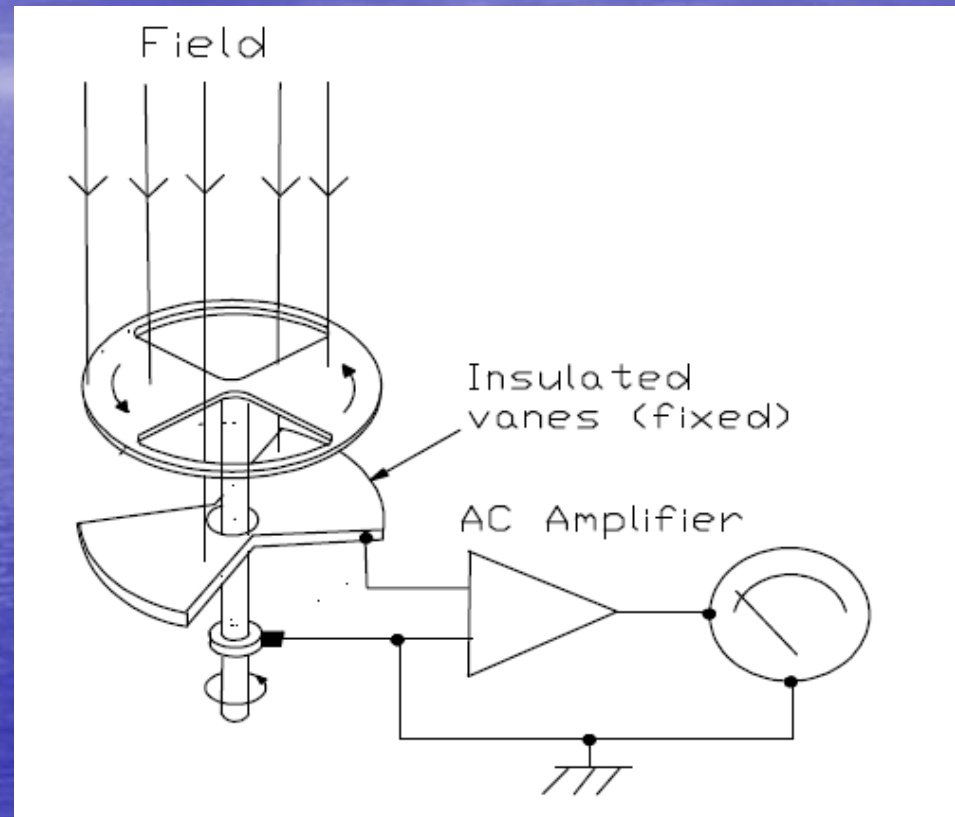


Figure 27: Departing Thundercloud



Jak zmierzyć potencjał pola elektrycznego w atmosferze?



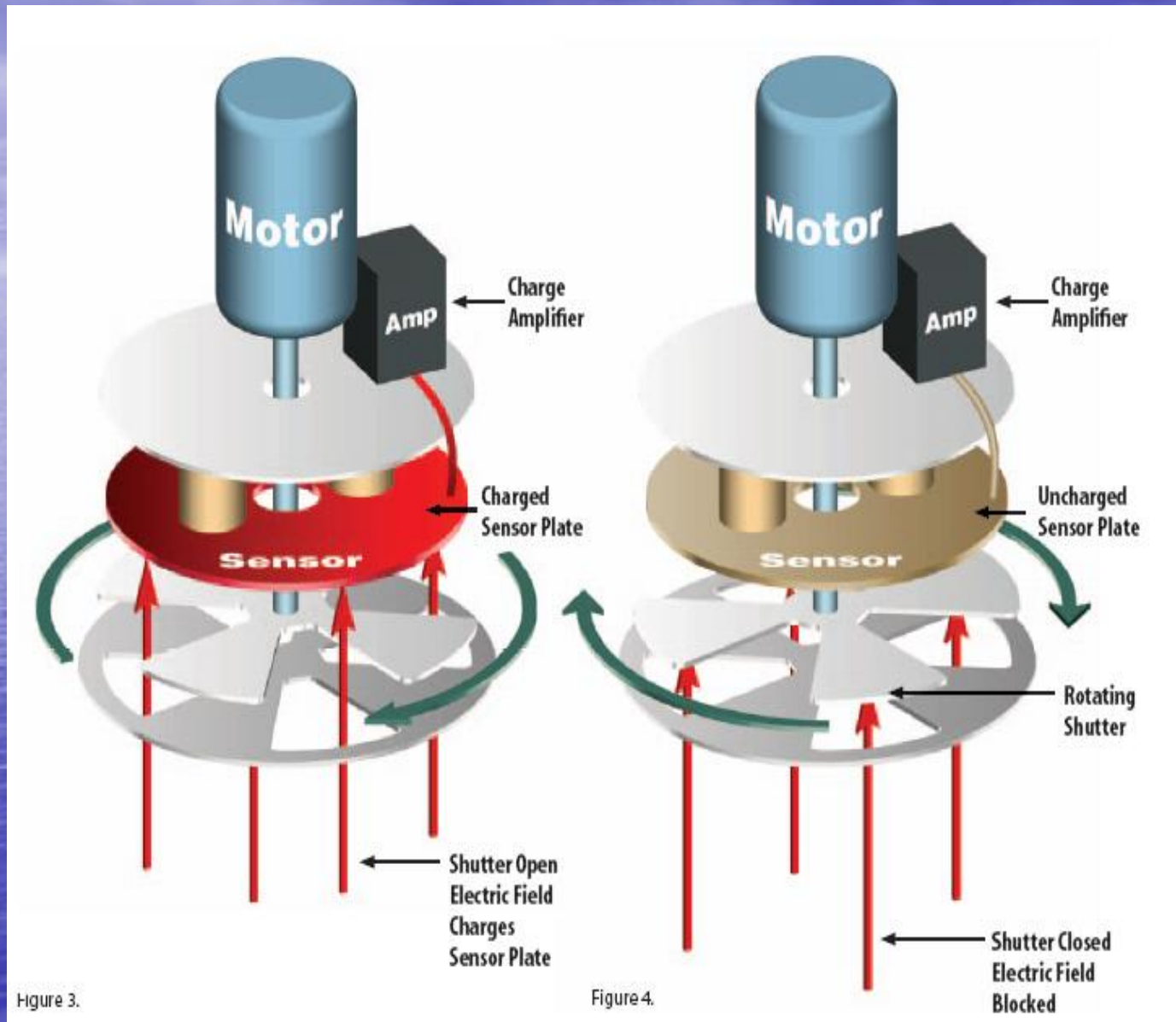
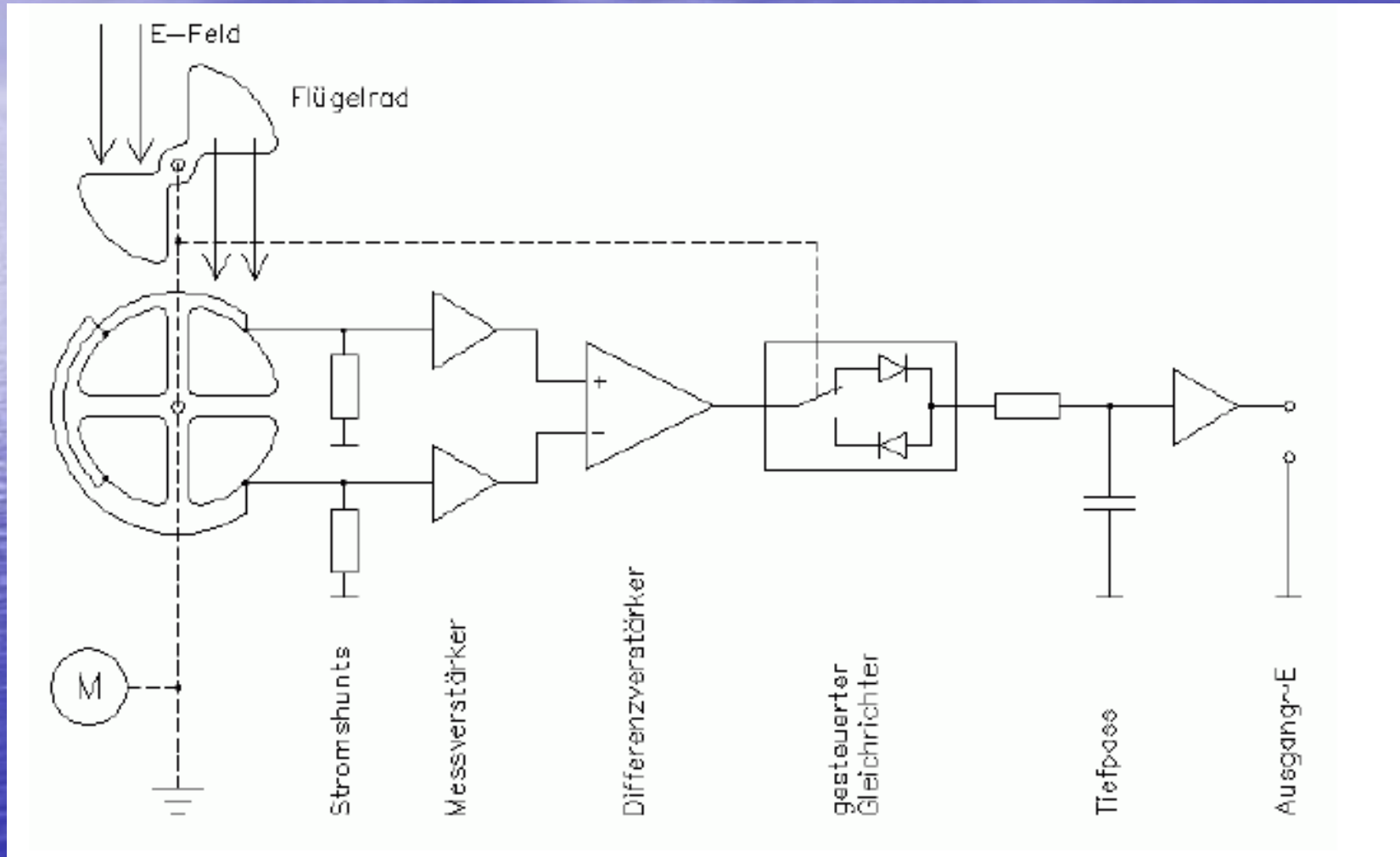


Figure 3.

Figure 4.

Schemat Blokowy



Field Mill autorstwa Geralda Ihningera



<http://members.inode.at/576265/fieldmill.pdf>

kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

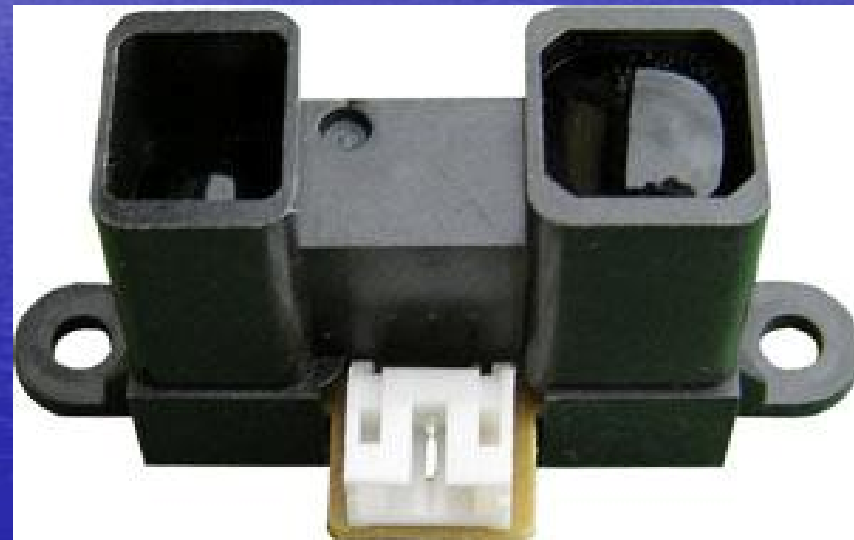
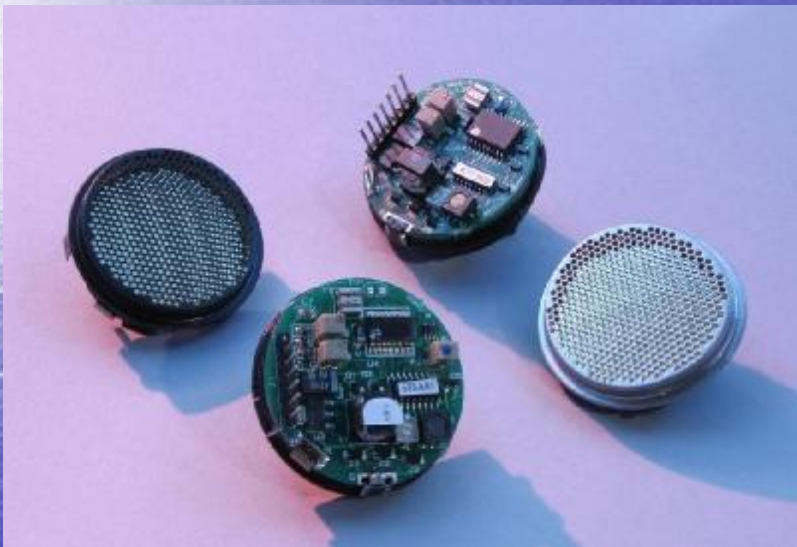
Zmiany potencjału pola elektrycznego podczas przechodzenia chmury Cb



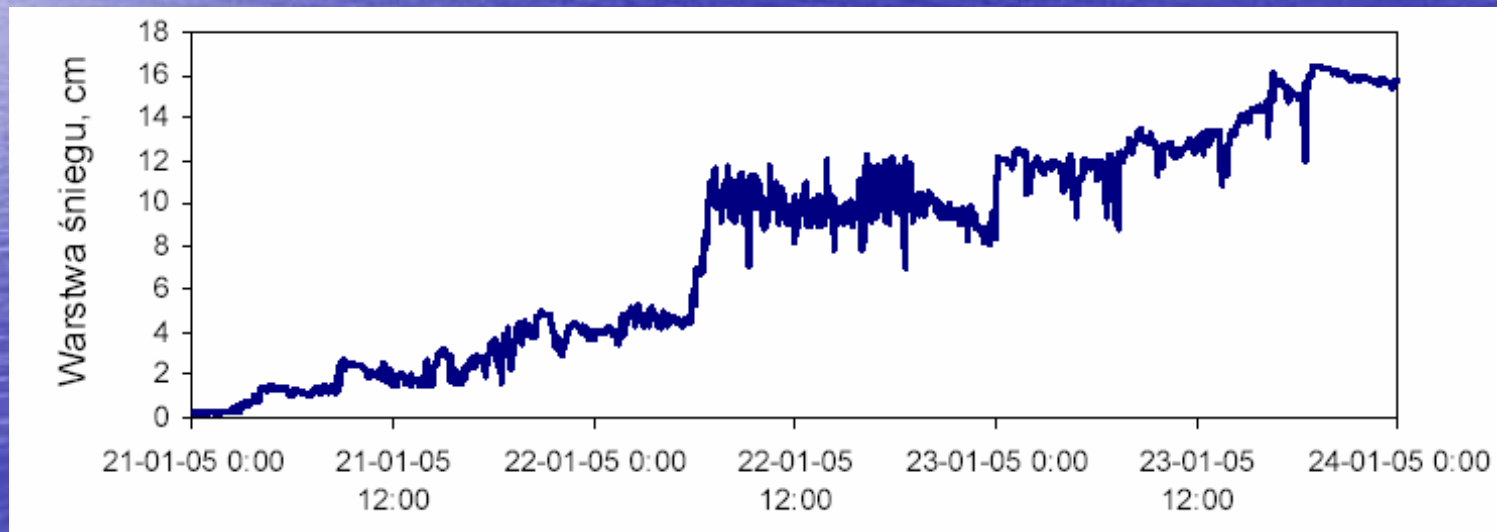
kmark@igf.fuw.edu.pl
www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja

Automatyczny pomiar wysokości pokrywy śnieżnej

- detektor (dalmierz) ultradźwiękowy: [MINI-AE](#)
- detektor (dalmierz) podczerwony: [GP2Y0A02YK](#)



Przebieg grubości pokrywy śnieżnej



Prywatna stacja meteorologiczna SolarAOT

www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja





Amatorskie sieci pomiarowe

- GLOBE (szkolna sieć pomiarowa o zasięgu międzynarodowym, 120 polskich szkół) www.globe.gov
- Pomiarы meteorologiczne: <http://www.meteo.2o.pl/>
<http://amt.achjoj.info/>
- Detekcja i lokalizacja wyładowań atmosferycznych
<http://members.home.nl/fkooiman/lightning/>
<http://www.blitzortung.org>
- Projekt SAM – pomiarы pola magnetycznego (aktywność Słońca) <http://www.sam-europe.de/>
- Pomiarы promieniowania kosmicznego
<http://www.lbl.gov/abc/cosmic/>