

**Badania fluktuacji oświetlenia
podwodnego
– od teorii do praktyki**

**Mirosław Darecki
Zakład Fizyki Morza
IO PAN**

Historia problemu

- Schenck, H. 1957. On the focusing of sunlight by ocean waves. *Journal of the Optical Society of America*, 47, 653-657
- Snyder, R. L., and J. Dera, 1970. Wave-induced light-field fluctuations in the sea. *Journal of the Optical Society of America*, 60, 1072-1078
- lata 1960 – 1985, tylko kilka grup pracowało nad problemem, w sumie około 40 publikacji – większość rosyjskich
- tylko w nielicznych pracach dyskutowano parametr radiacji

„Polskie tradycje”

Dera, J., and J. Olszewski. 1967. On the natural irradiance fluctuations affecting photosynthesis in the sea. *Acta Geophysica Polonica*, 15, 351-

364

Dera, J., and J. Olszewski. 1978. Experimental study of short-period irradiance fluctuations under an undulated sea surface. *Oceanologia*, 10,

27-49

Stramski, D., and J. Dera. 1983. Statistical analysis of the underwater irradiance fluctuations recorded in the near-shore zone of the Black Sea (in Polish). *Studia i Materialy Oceanologiczne*, 41, 63-87.

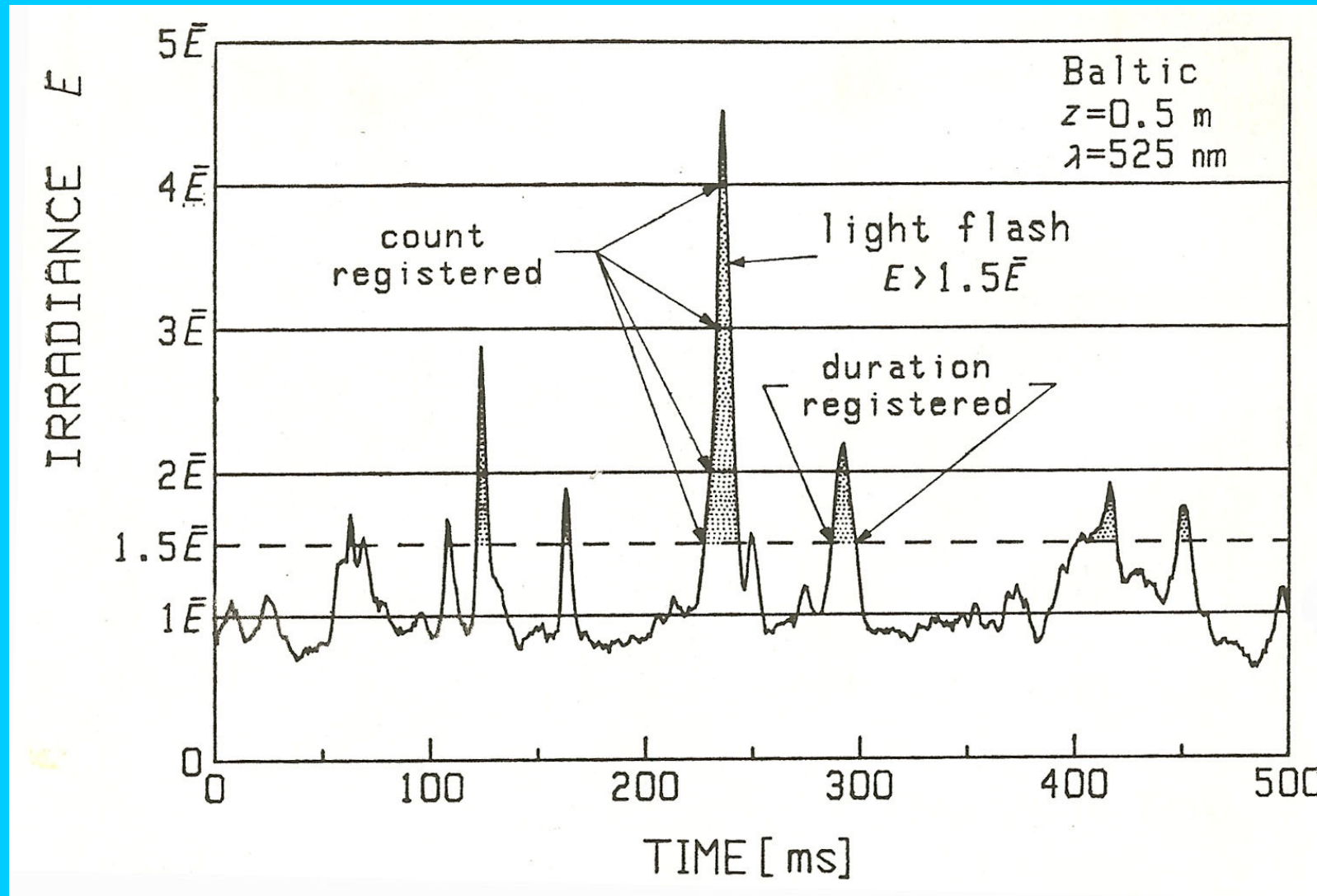
Stramski, D., and J. Dera. 1988. On the mechanism for producing flashing light under a wind-disturbed water surface. *Oceanologia*, 25, 5-21.

Dera, J., and D. Stramski. 1986. Maximum effects of sunlight focusing under a wind-disturbed sea surface. *Oceanologia*, 23, 15-42

Stramski, D. 1986a. Fluctuations of solar irradiance induced by surface waves in the Baltic. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, 34, 333-344.

Stramski, D. 1986b. The effect of daylight diffuseness on the focusing of sunlight by sea surface waves. *Oceanologia*, 24, 11-27

Przykładowa seria czasowa oświetlenia odgórnego



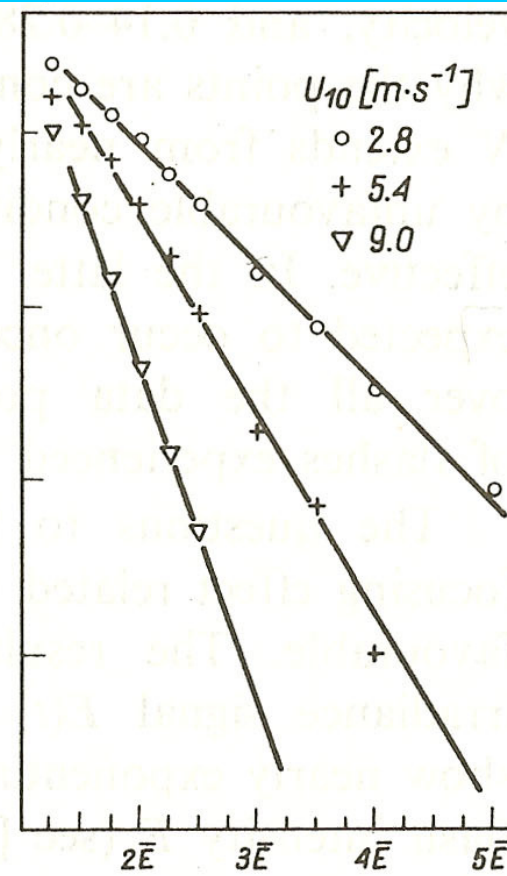
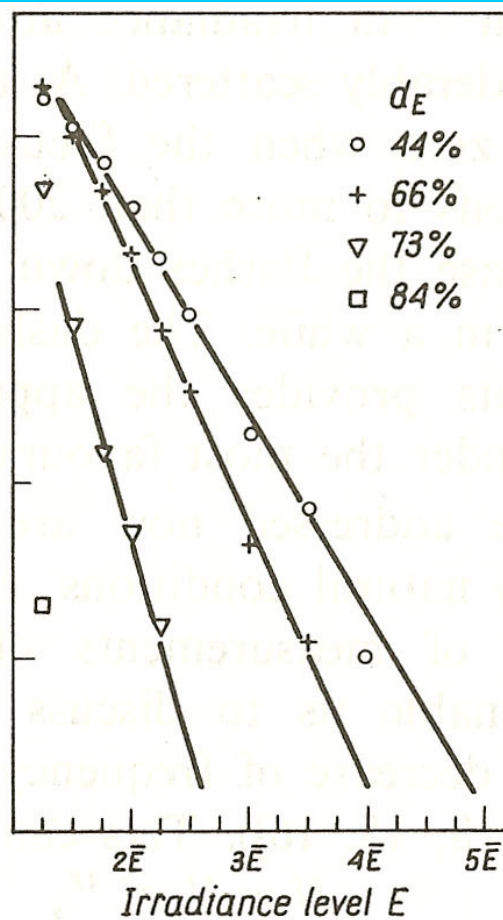
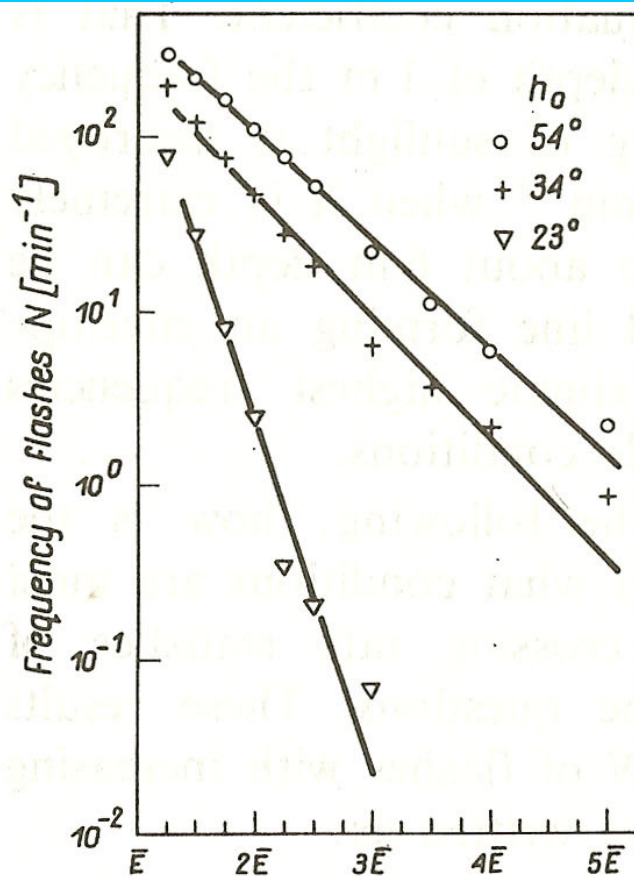
(Dera and Stramski 1986)

Częstotliwości błysków oświetlenia w zależności od ich amplitudy

Wpływ:
Wysokości Słońca

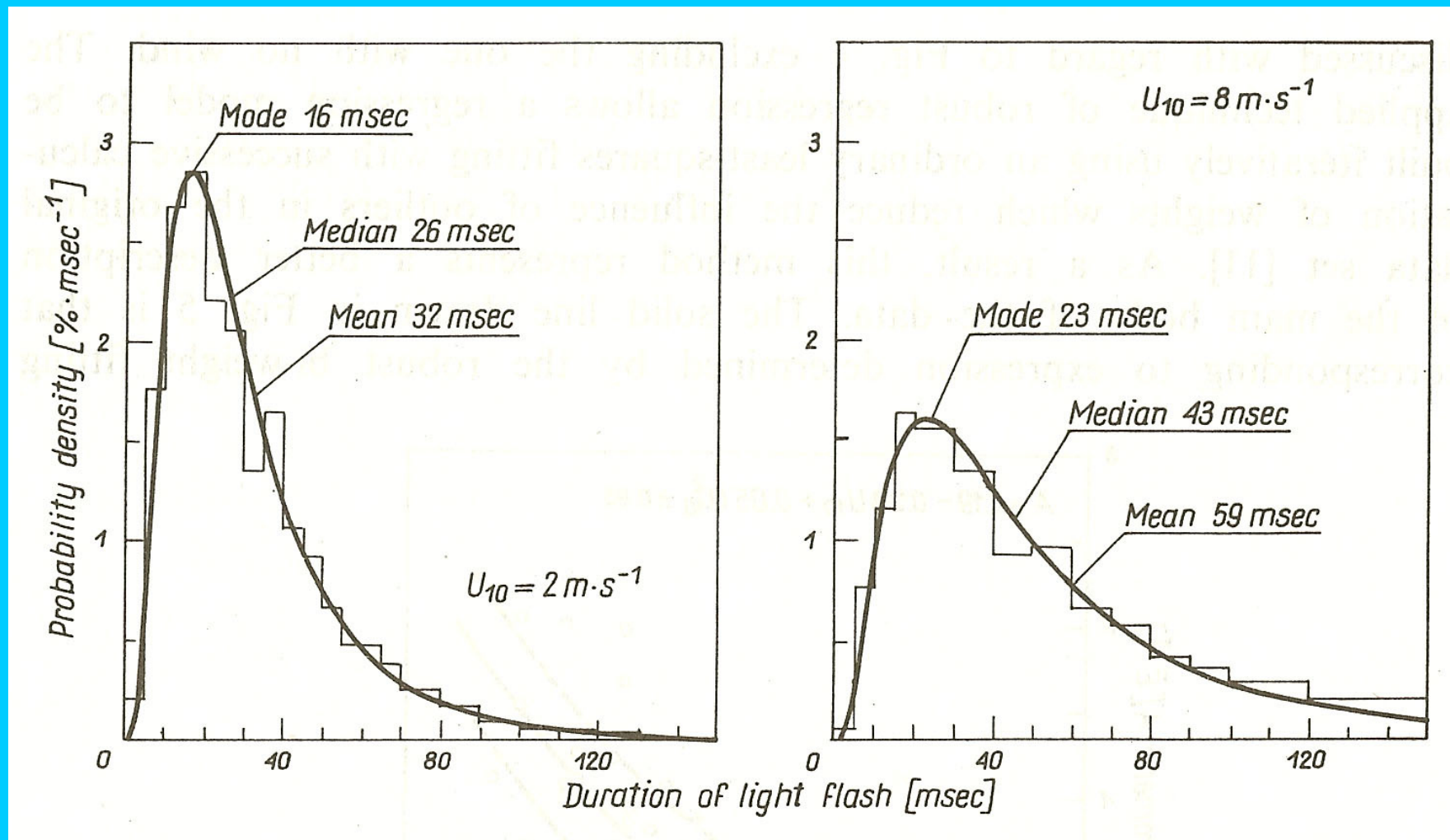
Dyfuzyjności oświetlenia
nad powierzchnią

Prędkości
wiatru



(Bałtyk, $z = 1$ m, 525 nm, czyste niebo, Stramski 1986)

Rozkład prawdopodobieństwa czasu trwania błysku



(Bałtyk, $z = 1 \text{ m}$, 525 nm, czyste niebo, Stramski 1986)

Luka do wypełnienia

Ciągle duża luka w naszej wiedzy na temat zmienności czasowej rozkładu radiacji oddolnej w zależności od stanu powierzchni morza.

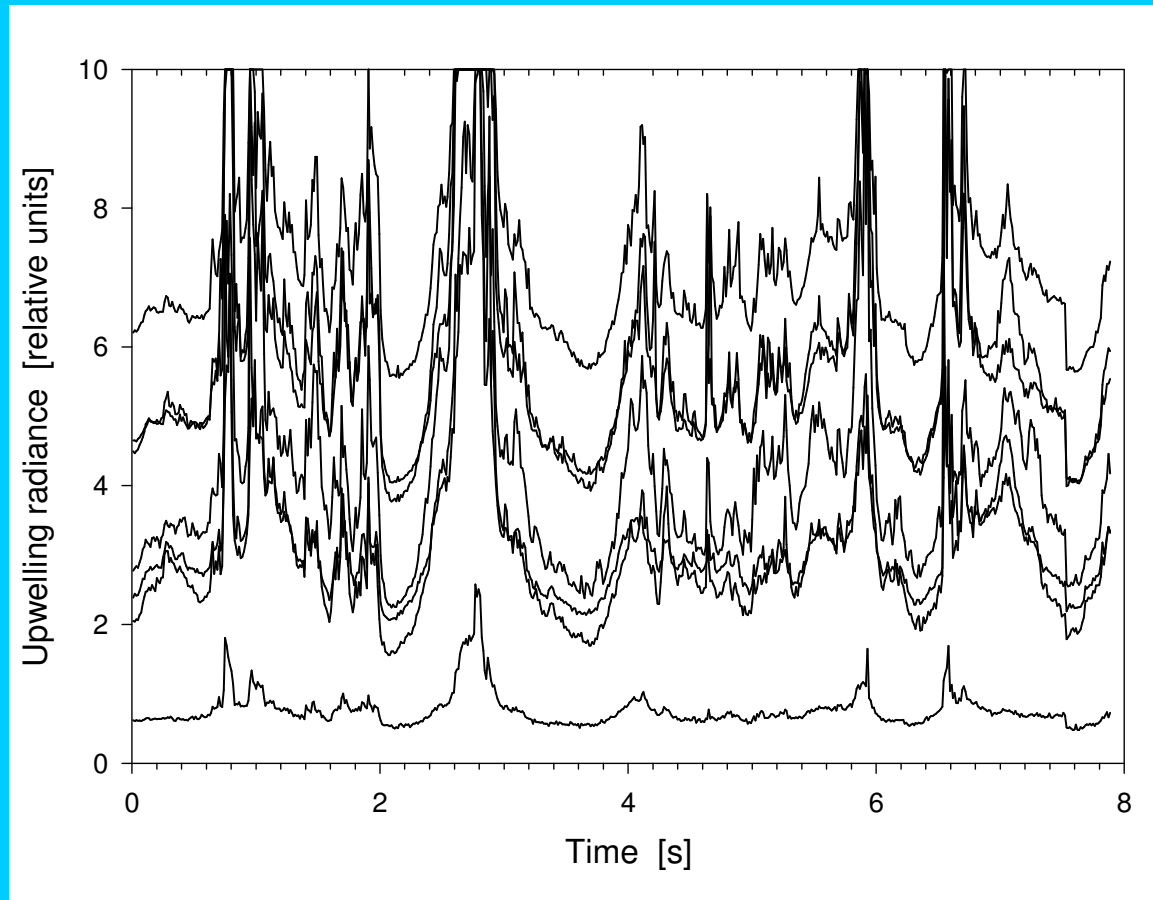
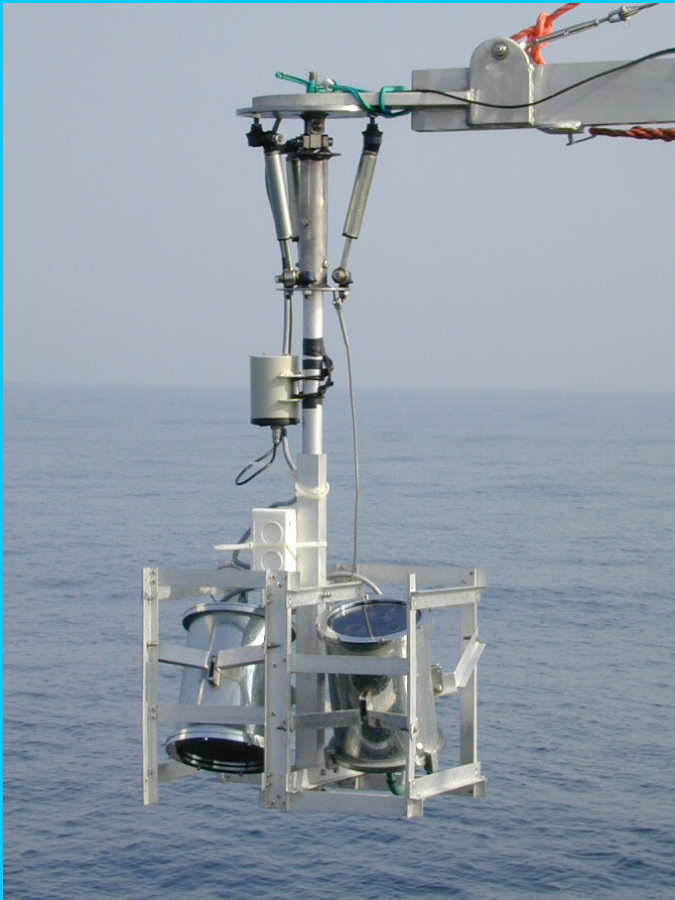


Potrzeba nowego urządzenia pomiarowego

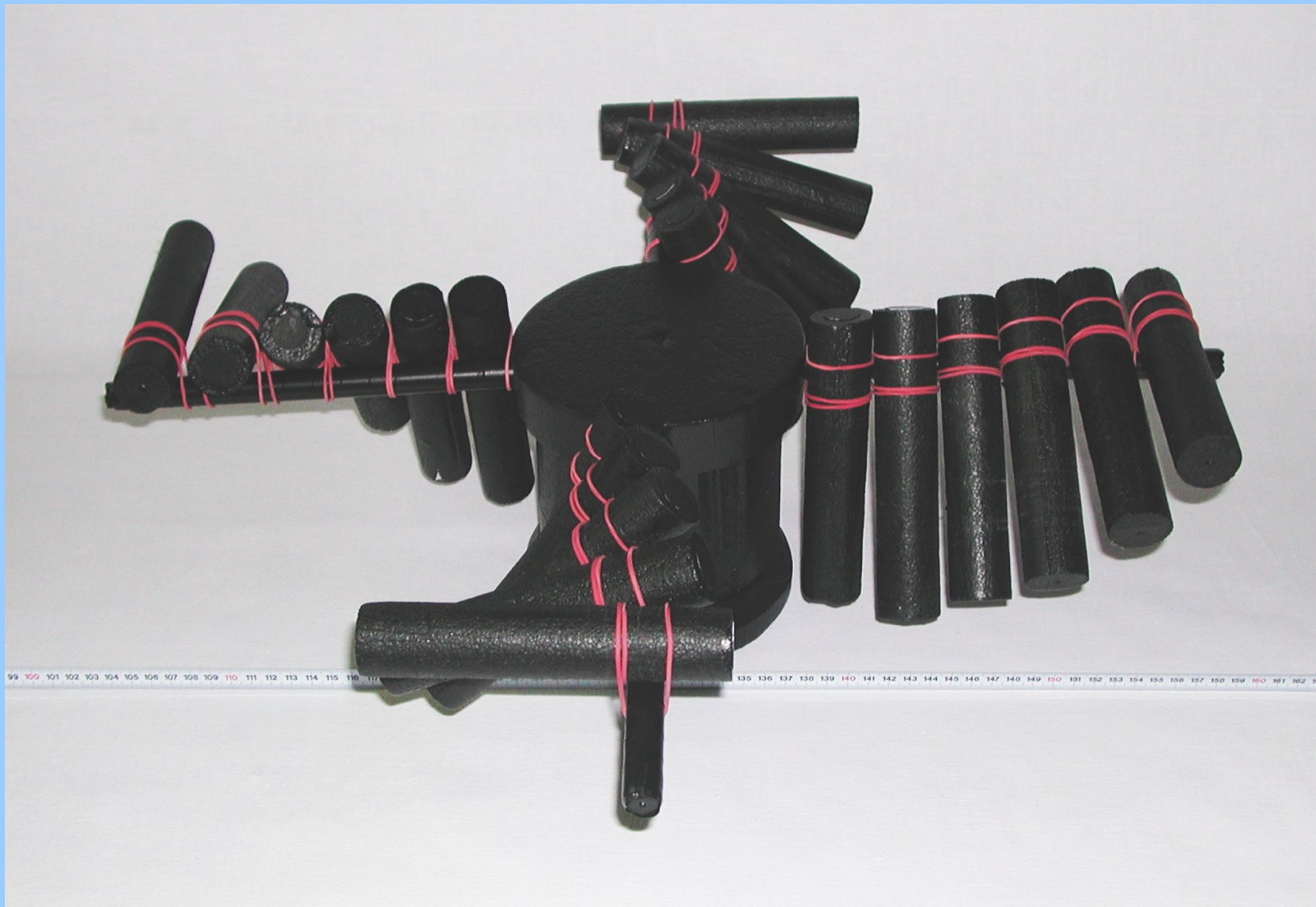
Wymagania:

Zdolność pomiaru radiacji odgórnej w szerokim zakresie zmienności z rozdzielczością czasową w granicach 1ms dla wielu kierunków obserwacji (θ , Φ)

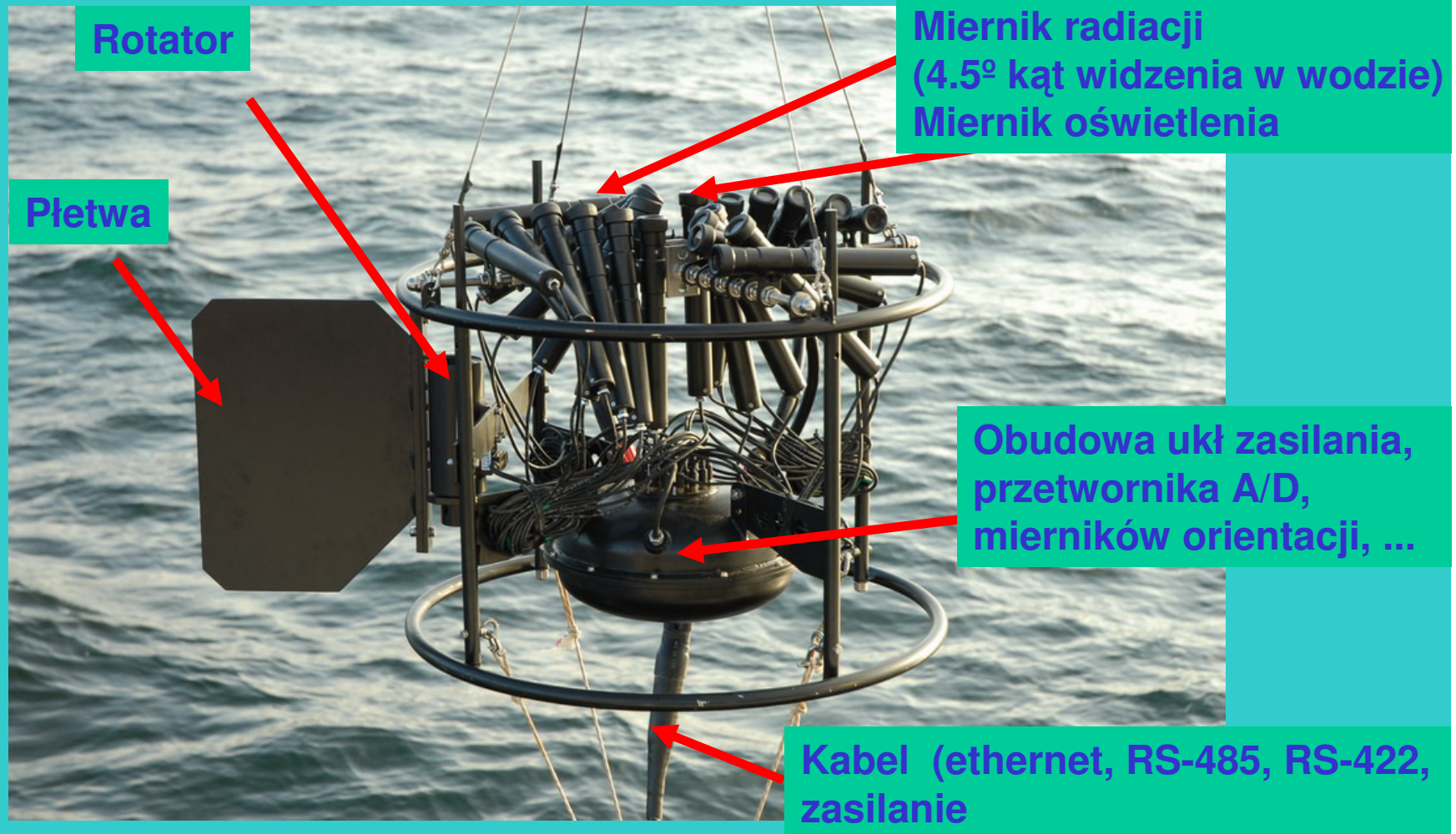
IO PAN - posiadane doświadczenia w ultraszybkim pomiarze radiacji



Prace konceptulane



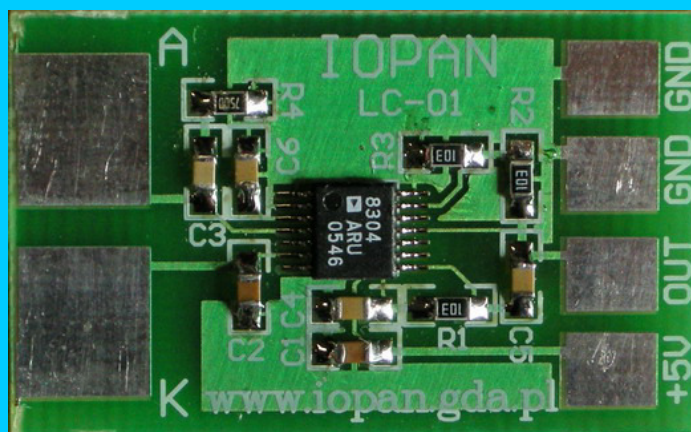
System ultraszybkich radiometrów morskich (Underwater Porcupine Radiometer System)



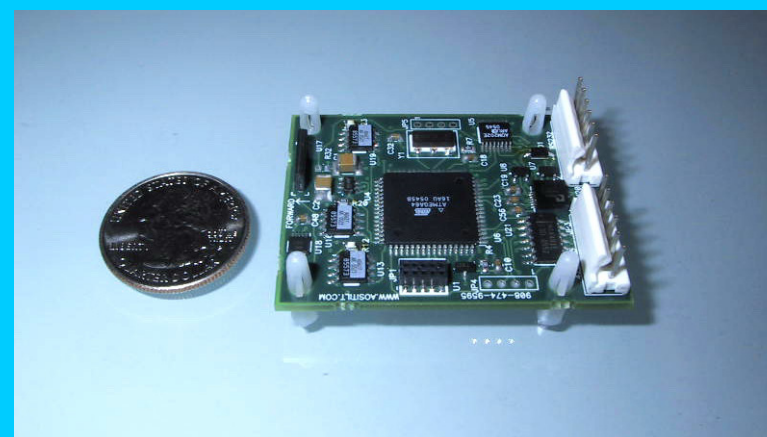
Komponenty systemu



Pojedynczy radiometr



Wzmacniacz fotoogniwa



Kompas i miernik odchylenia
(Compass-3a, AOS)

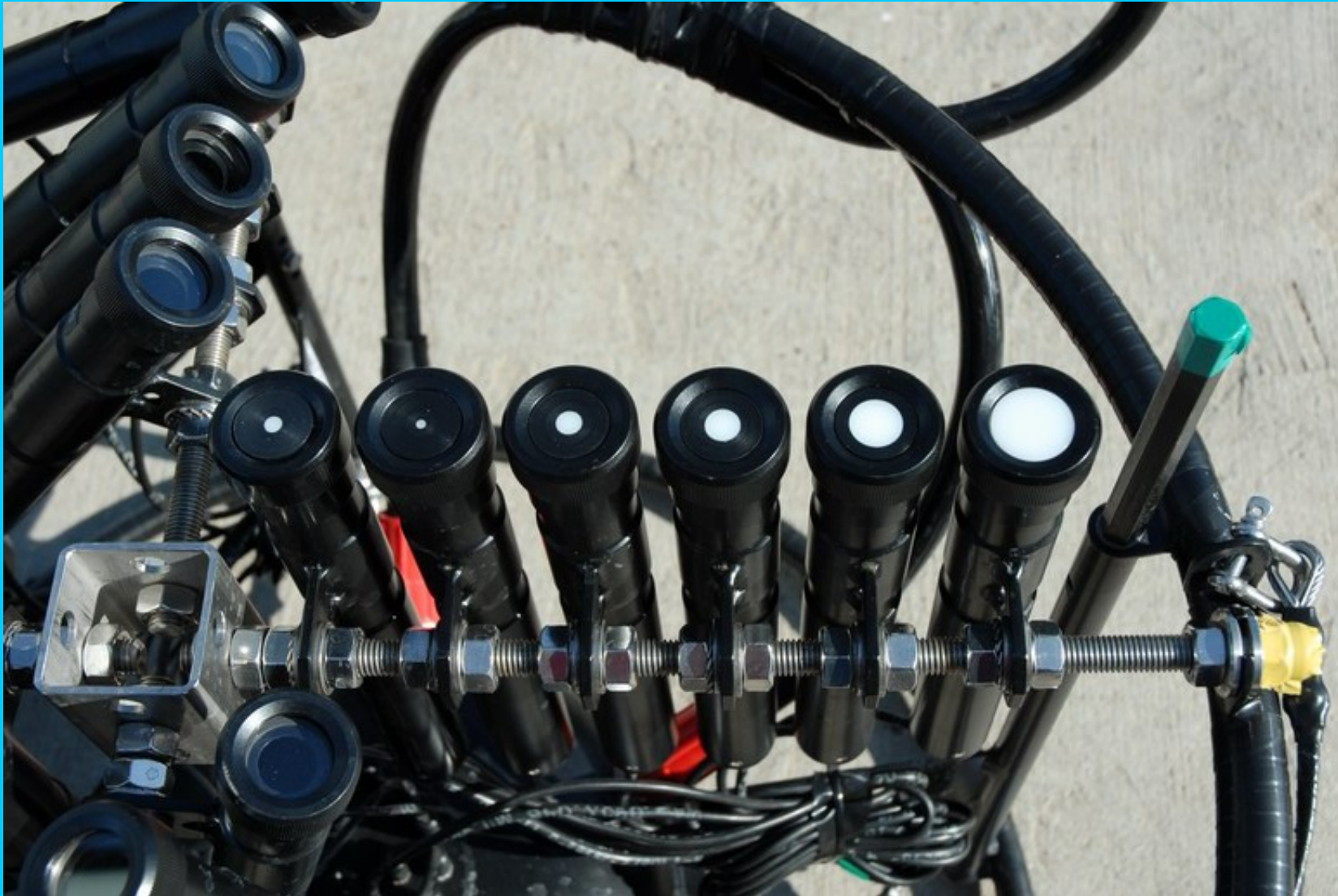
Właściwości nowego systemu radiometrów

Wyjątkowo szybki pomiar radiacji (ponad 2kHz),
w szerokim przedziale jej zmienności

Łatwa zmiana konfiguracji

- geometrii obserwacji
- połówkowego kąta widzenia
- spektralnego zakresu obserwacji
- zmiana z pomiaru radiacji na pomiar oświetlenia

Przykładowa alternatywna konfiguracja – pomiar oświetlenia na dyfuzerach o różnej wielkości



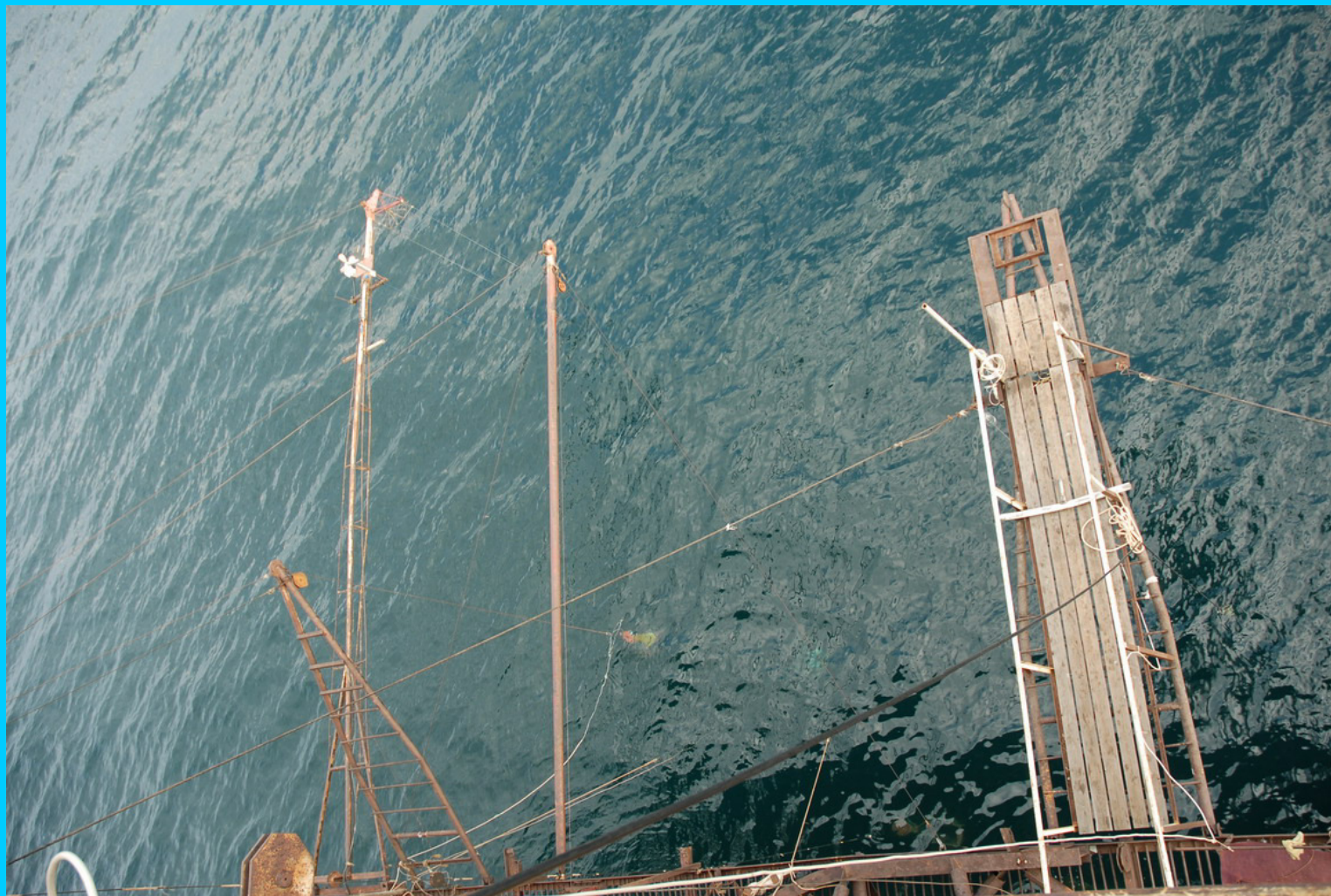
Pierwsze testy

- platforma badawcza w Katsively



Pierwsze testy

- platforma badawcza w Katsively



Pierwsze testy

- platforma badawcza w Katsively



Pierwsze testy - platforma badawcza w Katsively



Projekt RaDyO

- Radiance in a Dynamic Ocean

Główne cele:

Zbadać czasowe zależności rozkładów radiacji od dynamicznych parametrów określających stan powierzchni i warstwy przy powierzchniowej morza, takich jak: fale, pęcherzyki powietrza, surfaktanty, piana, poziome uwarstwienie parametrów optycznych i stan atmosfery.

Opracować wspólny model funkcji przenoszenia radiacji i sfalowania powierzchni morza; dokonać

Wykonawcy:

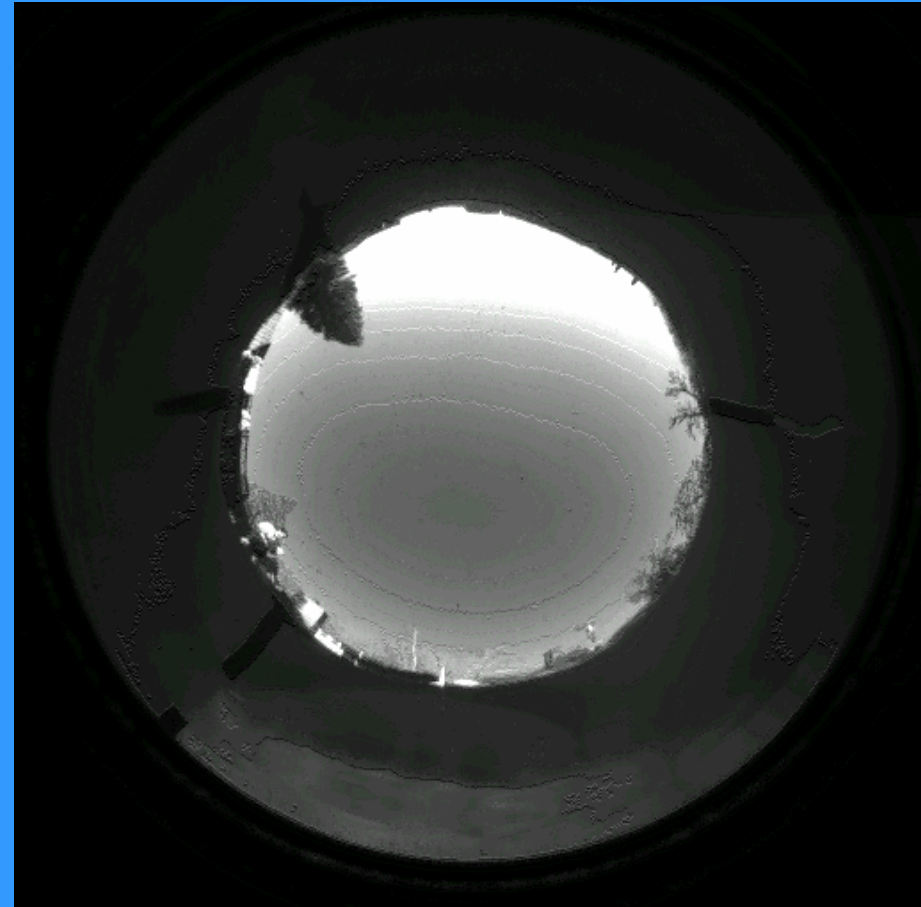
zespoły badawcze z USA, Kanady, Australii i Polski (IOPAN)

Przejście światła przez granicę powietrze/woda

Prawo Snella

$$n_a \sin(\theta) = n_w \sin(\theta')$$

Dla płaskiej powierzchni,
obraz całej półsfery nad
powierzchnią jest
skompresowany do stożka
 $\pm 48^\circ$



Sfalowanie powierzchni

- 'zakłócenie' obrazu w tzw. oknie Snella



Zakłócenie zawiera informację o stanie powierzchni!!!

Dodatkowe motywacje ('interes' ONR)

Rezultaty : Virtual Periscope Project (*Nick Flacco, Arete*)

Prace nad propagacją zobrażenia w toni wodnej

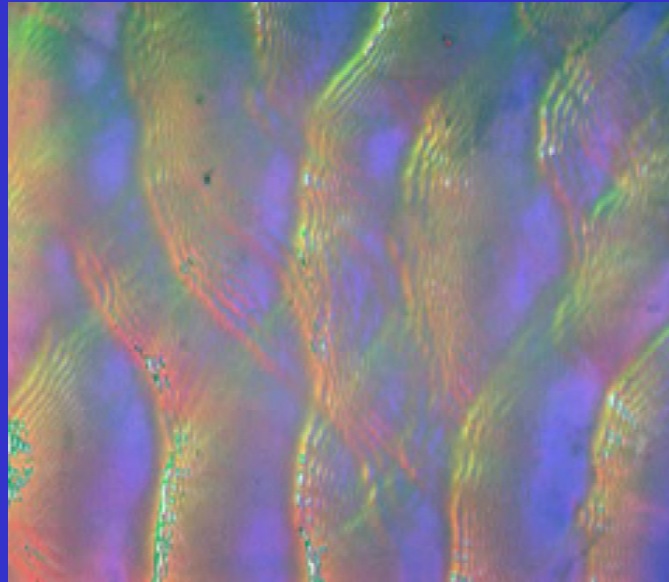
Potrzeba ulepszenia modeli transmisji radiacji w toni wodnej

Niedostatki istniejących metod:

- HYDROLIGHT (założenie o uśrednionym w czasie stanie powierzchni)
- Monte Carlo (zapotrzebowanie na b. dużą moc obliczeniową)

Zagadnienia naukowe

- opracowanie modelu przejścia radiacji przez rzeczywistą powierzchnię wody i jej propagacji w toni wodnej w zależności od stanu powierzchni oraz modelu odwrotnego zagadnienia
- modelowanie stanu powierzchni morza



'Schemat' projektu

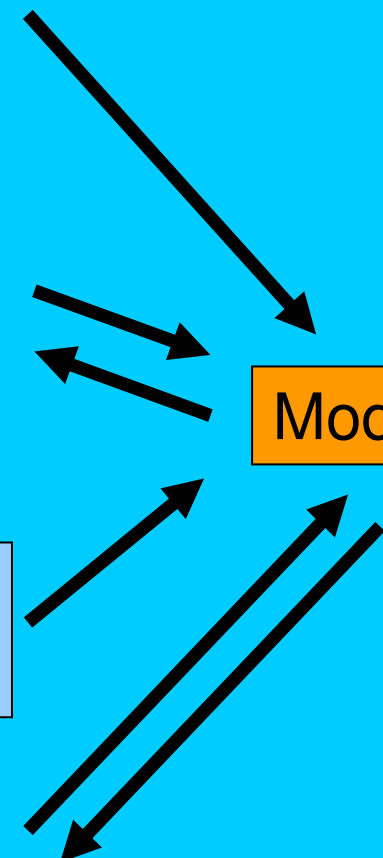
Określenie warunków zewnętrznych
(oświetlenie słoneczne, wiatr itp.)

Dokładne określenie stanu
powierzchni morza

Składniki optycznie aktywne w toni wodnej
(bąbelki powietrza, zawiesina, itd.)

Rozkład radiacji odgórnej w toni wodnej

Modele



Eksperyment testowy – Scripps Pier



Eksperyment testowy – Scripps Pier -jeden z ‘zestawów’ pomiarowych



**Stereofotogrametryczne kamery –
topografia powierzchni**

**Kamery polaryzacyjne – nachylenie
powierzchni,**

**Laserowy klaster altymeterów -
przestrzenna i czasowa zmienność
wysokości fali**

**Kamery wideo wysokiej rozdzielczości
(30 Hz) – mapowanie piany na
powierzchni**

**Szybka kamera podczerwona (do 200
Hz)– drobno skalowa
charakterystyka mikrozałamań i
piany**

Eksperyment testowy – Scripps Pier



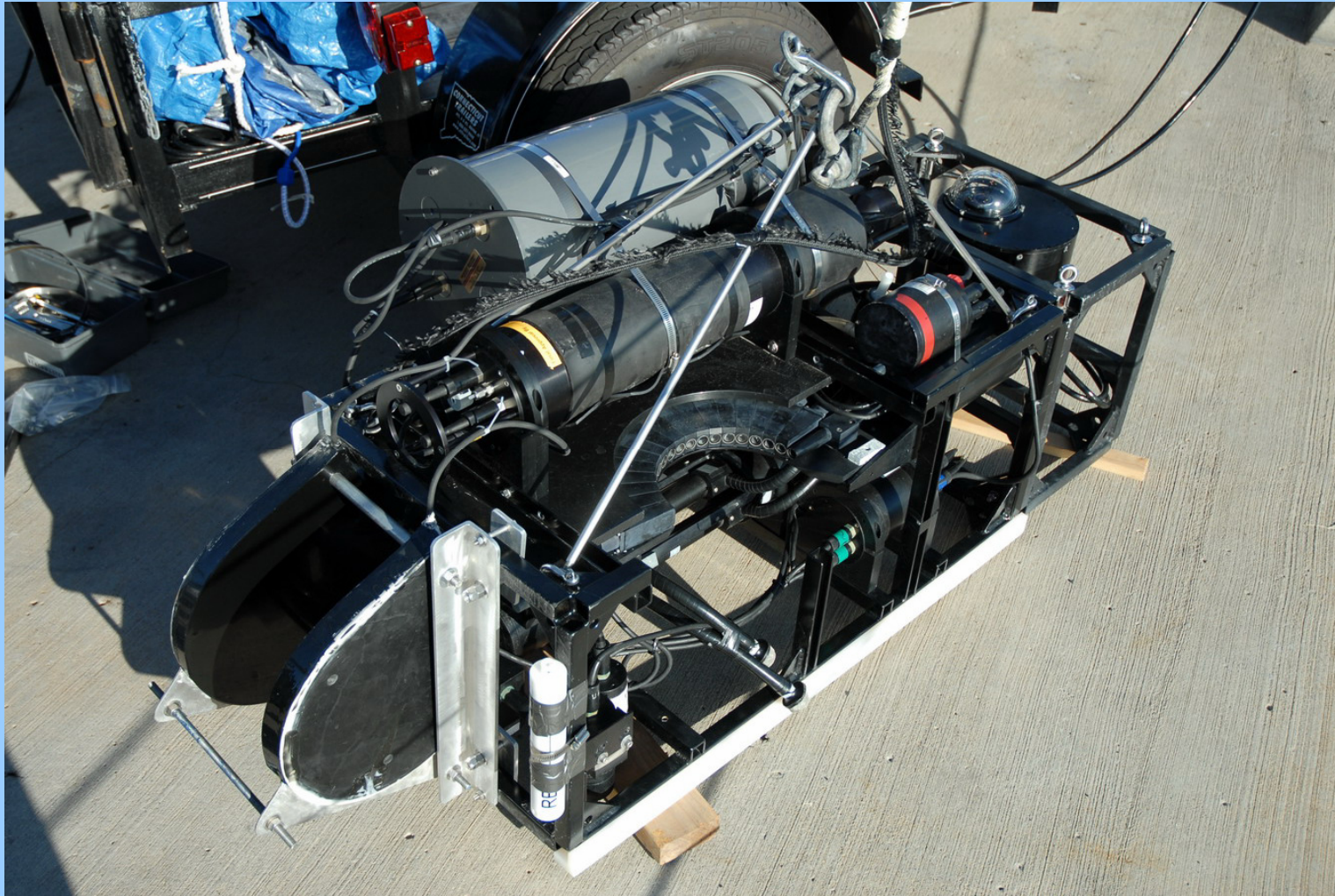
Eksperyment testowy – Scripps Pier



Eksperyment testowy – Scripps Pier



Eksperyment testowy – Scripps Pier -jeden z ‘zestawów’ pomiarowych



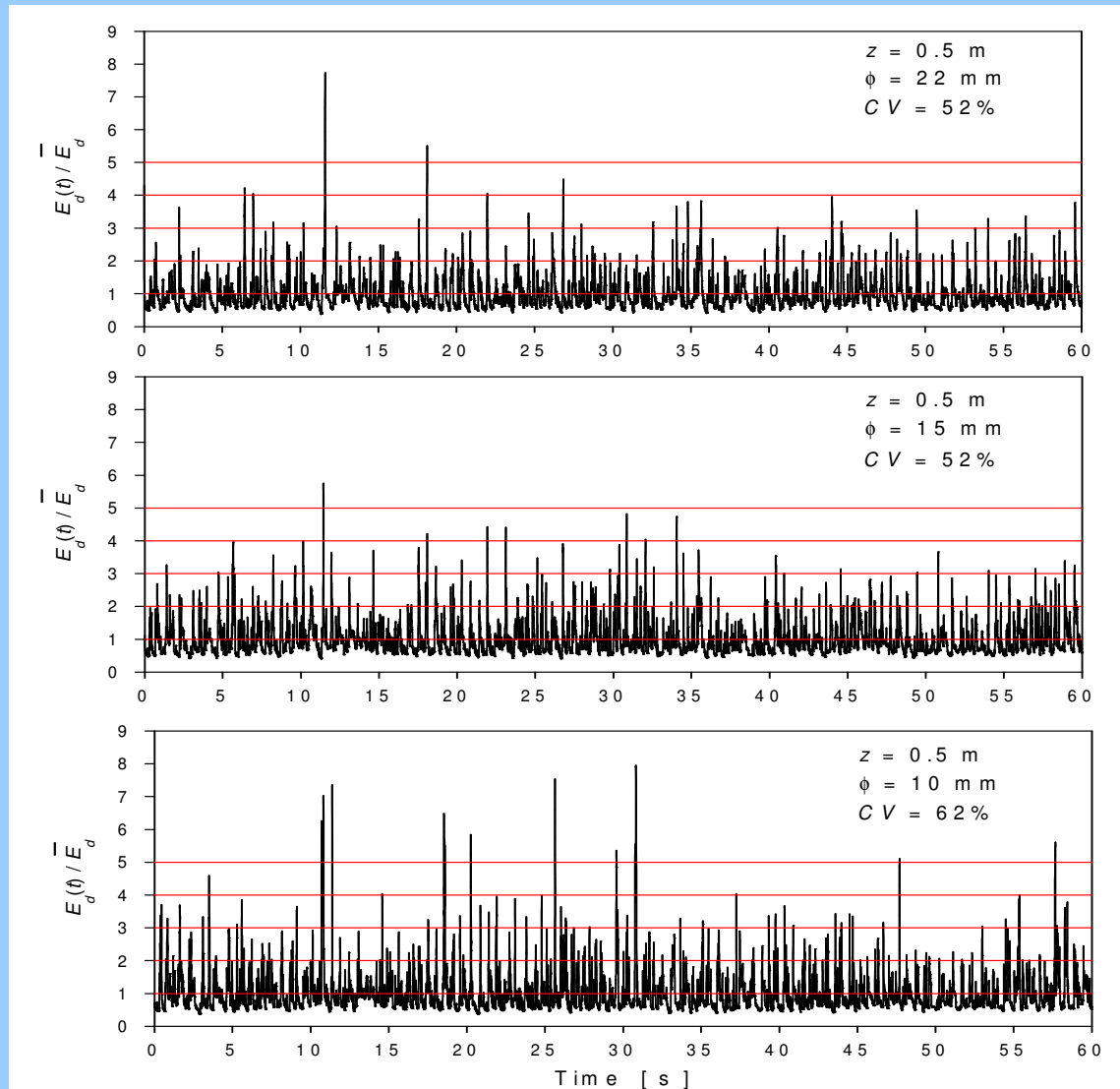
Eksperyment testowy – Scripps Pier



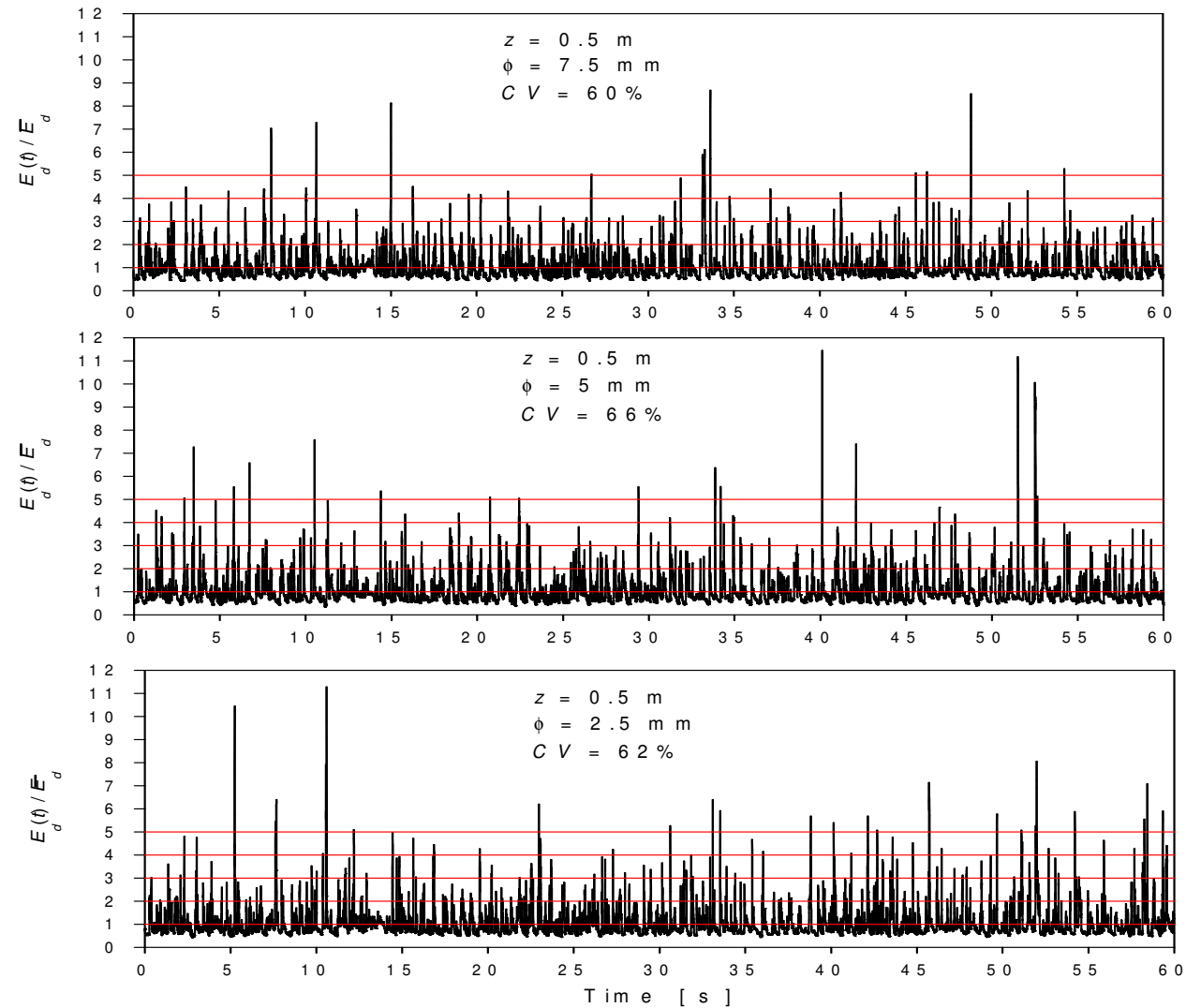
Eksperyment testowy – Scripps Pier



Eksperyment testowy – Scripps Pier -wstępne wyniki

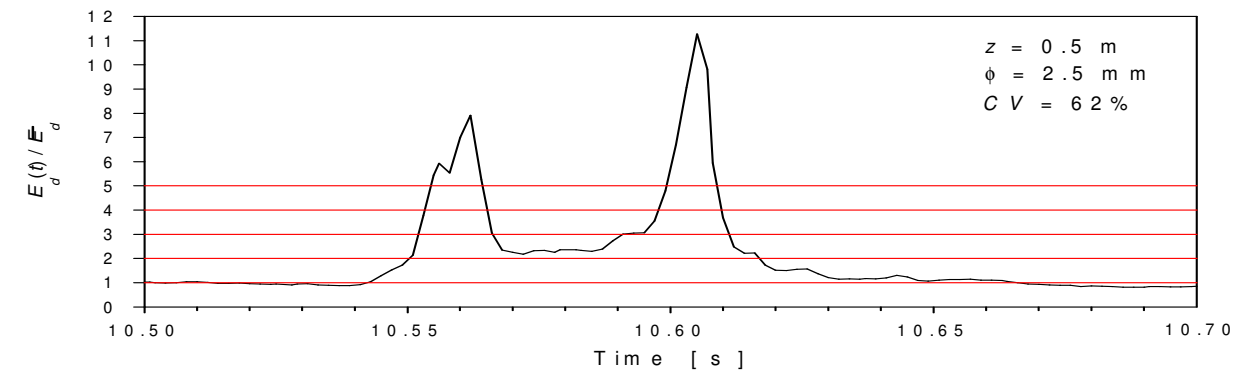
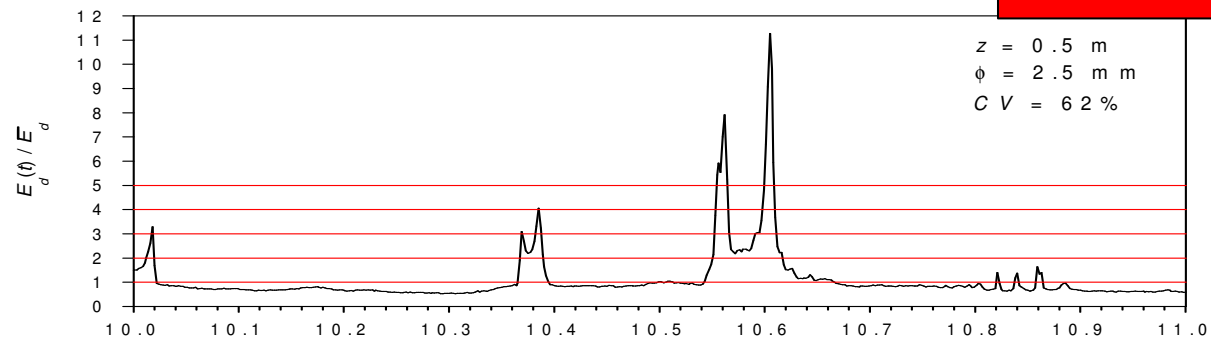
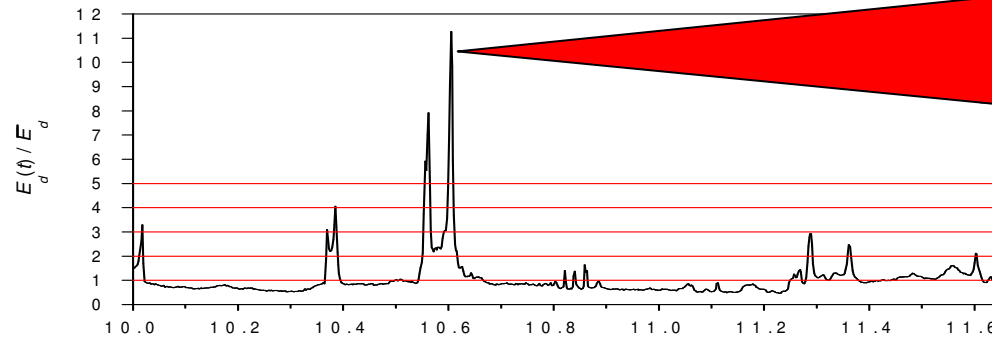


Eksperyment testowy – Scripps Pier -wstępne wyniki

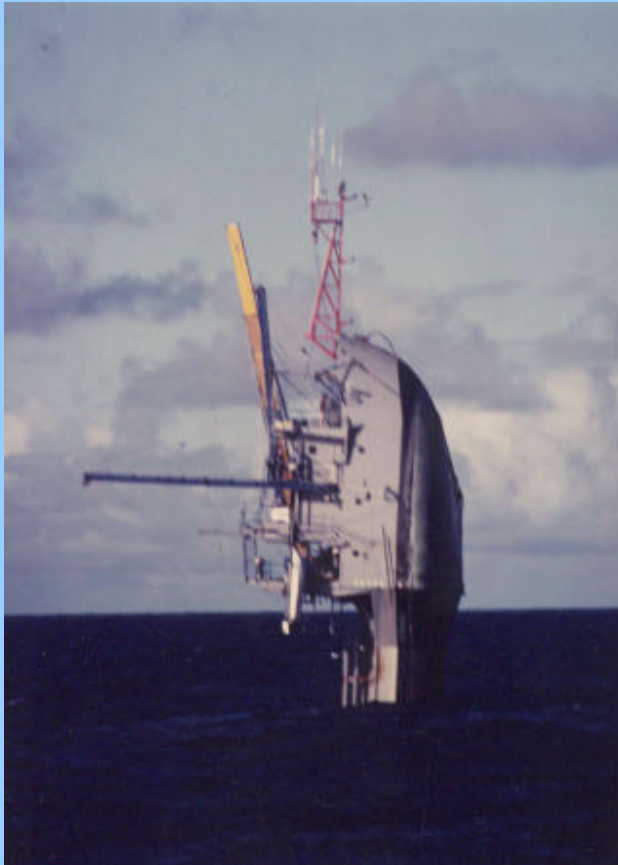


Eksperyment testowy – Scripps Pier -wstępne wyniki

Ponad 10-cio
krotne
przekroczenie
wartości
średniej



Właściwe eksperymenty pomiarowe – lata 2008 i 2009 - Flip



An underwater photograph showing sunlight rays filtering through the water surface, creating a bright, shimmering effect. The water is a deep blue color, and the light rays are visible as bright, vertical streaks. The overall scene is serene and peaceful.

Dziękuję!