

**Łukasiewicz**  
Institute of Aviation

**Wybrane aspekty elektroniki kosmicznej  
do użytku na niskich orbitach  
okołoziemskich**

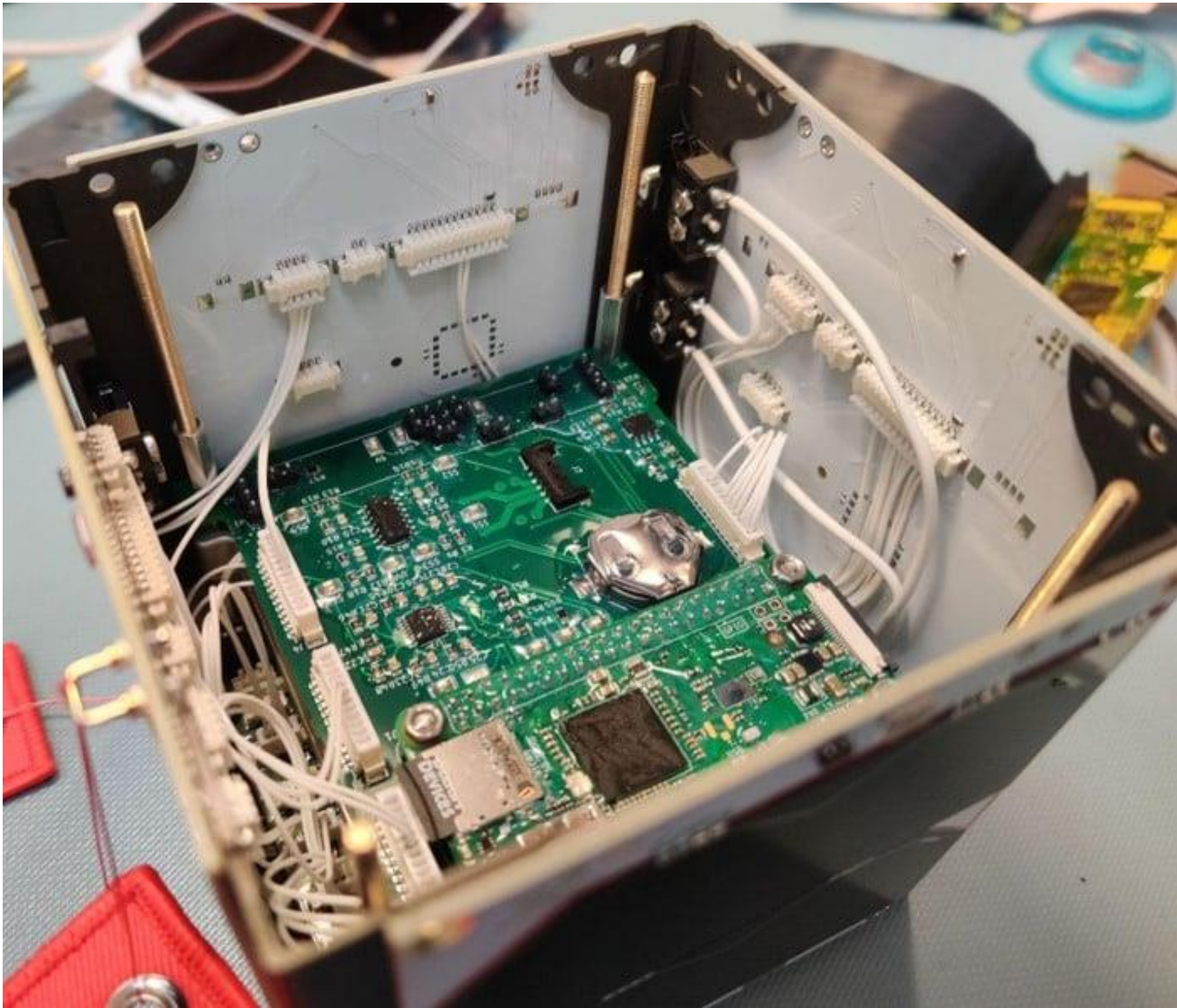
**Hubert Graczyk**

**Hardware Design Masterclasses, Wrocław 2023**

**Elektronika na orbicie  
to absolutny KOSMOS?**

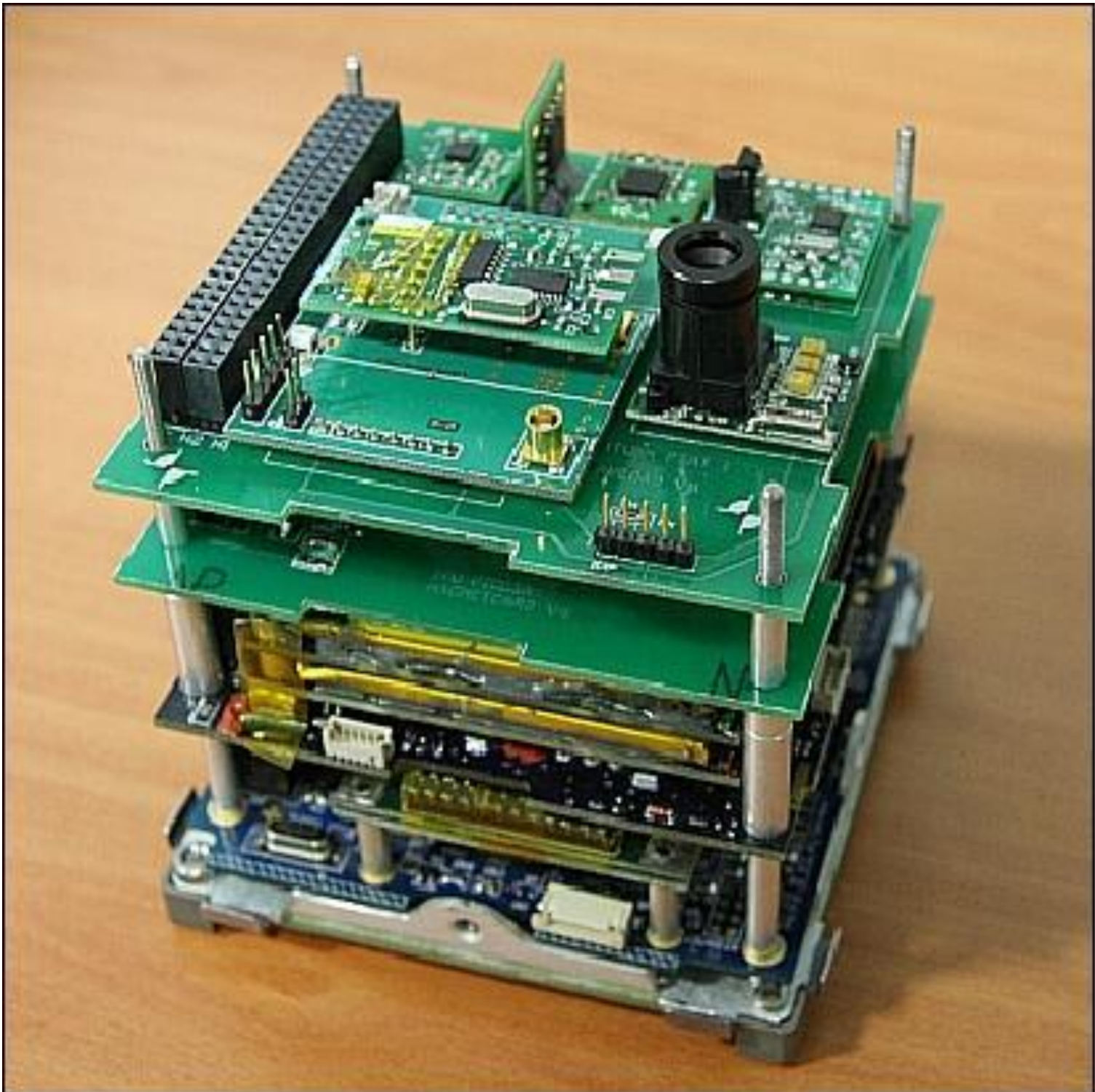


# Przykłady urządzeń elektronicznych wysłanych w kosmos



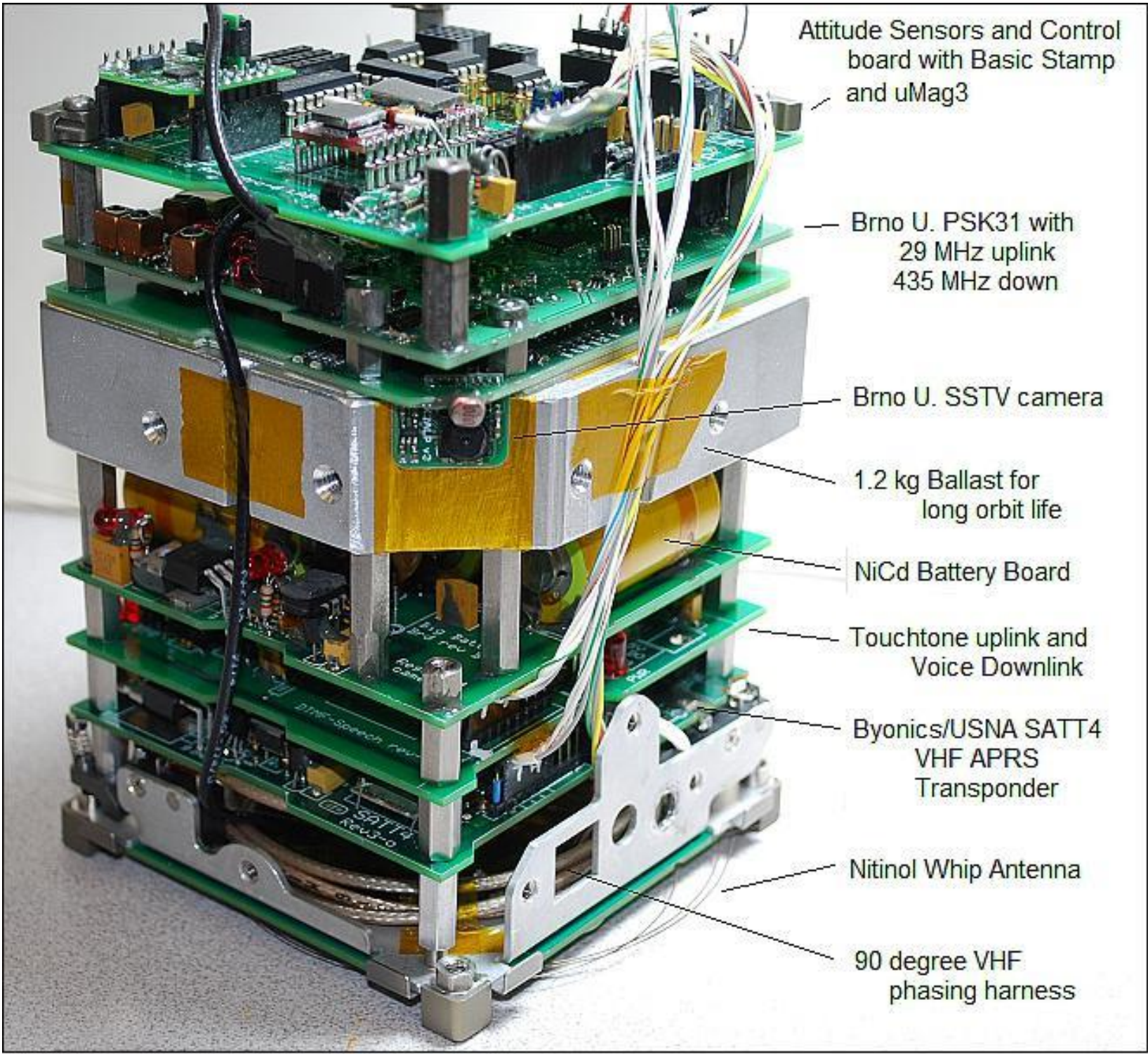
GASPACS CubeSat, Utah State University

<https://www.raspberrypi.com/news/raspberry-pi-zero-powers-cubesat-space-mission/>



ITUpSat-1 (Istanbul Technical University PicoSatellite-1)

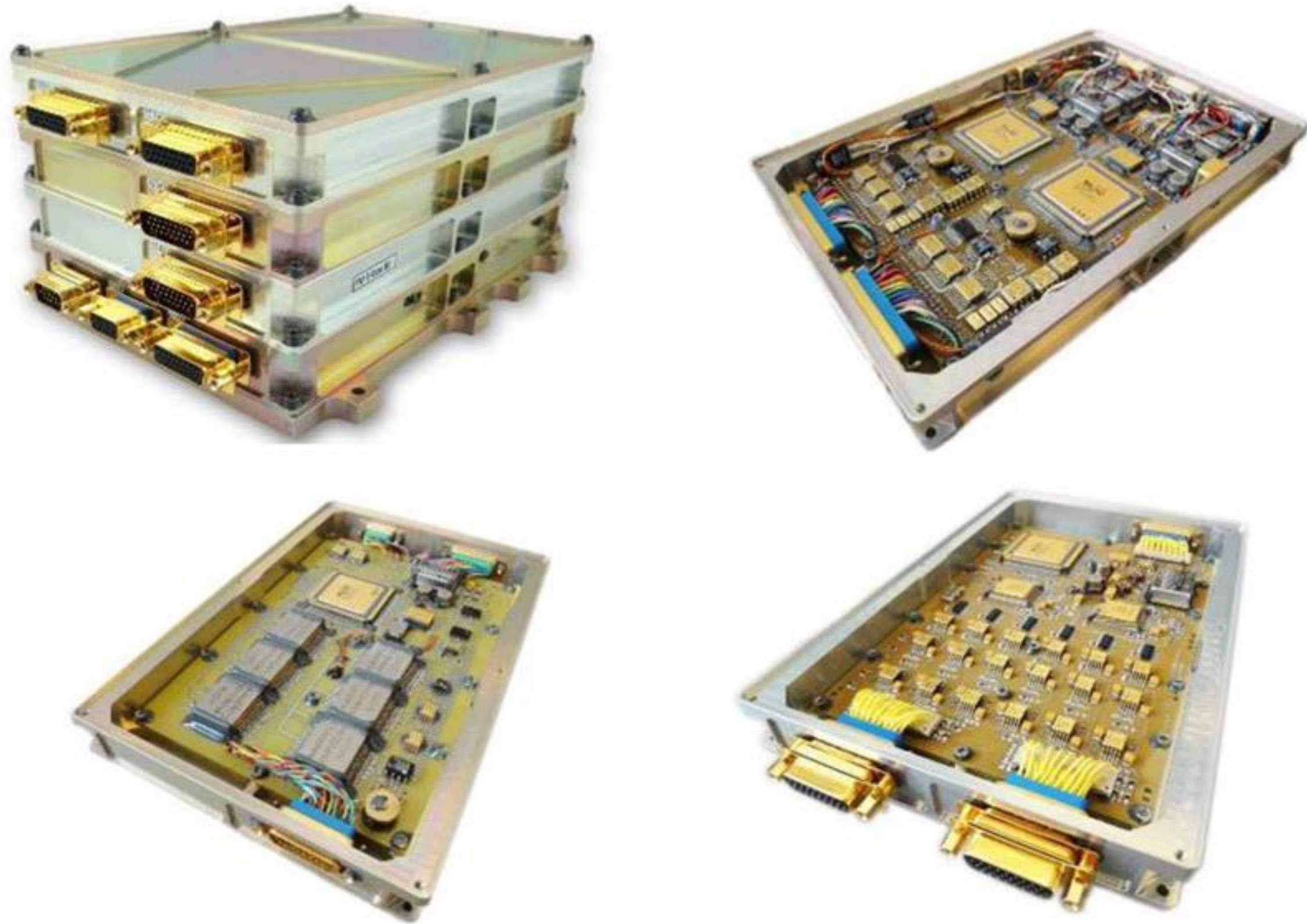
<https://www.eoportal.org/satellite-missions/itupsat-1>



PSat-2 (ParkinsonSat-2) CubeSat

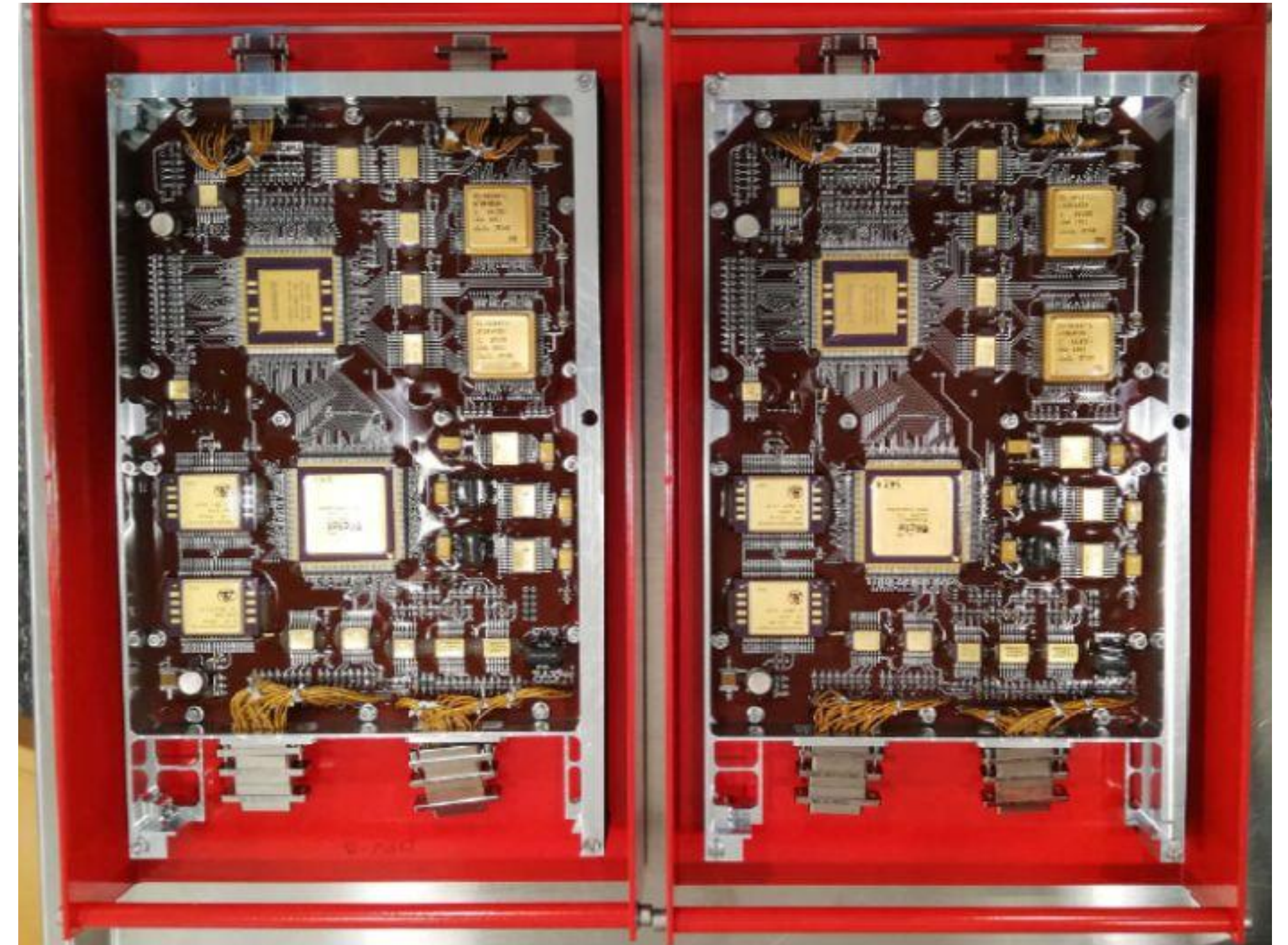
<https://www.eoportal.org/satellite-missions/psat-2>

# Przykłady urządzeń elektronicznych wysłanych w kosmos



SOSMAG

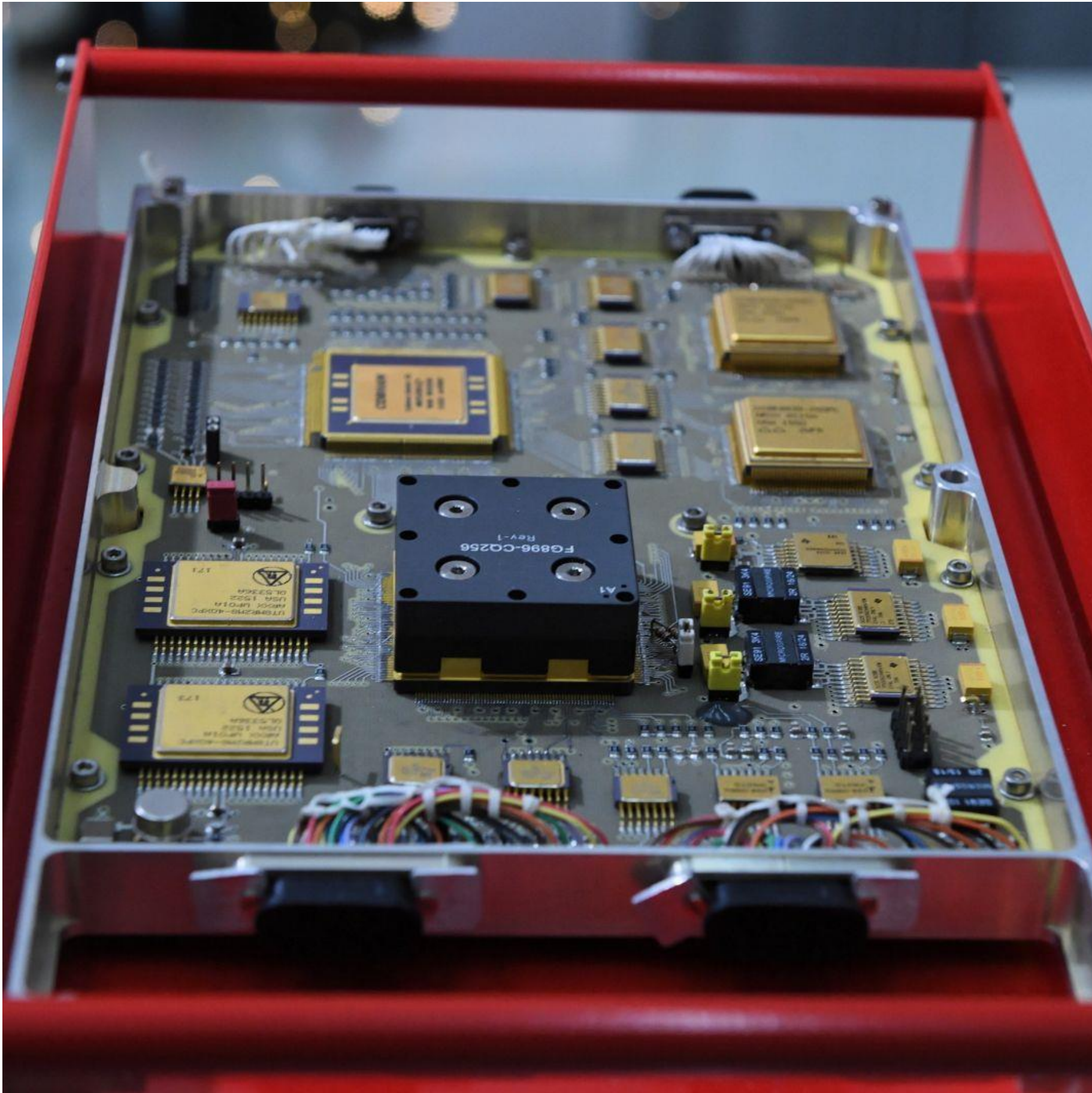
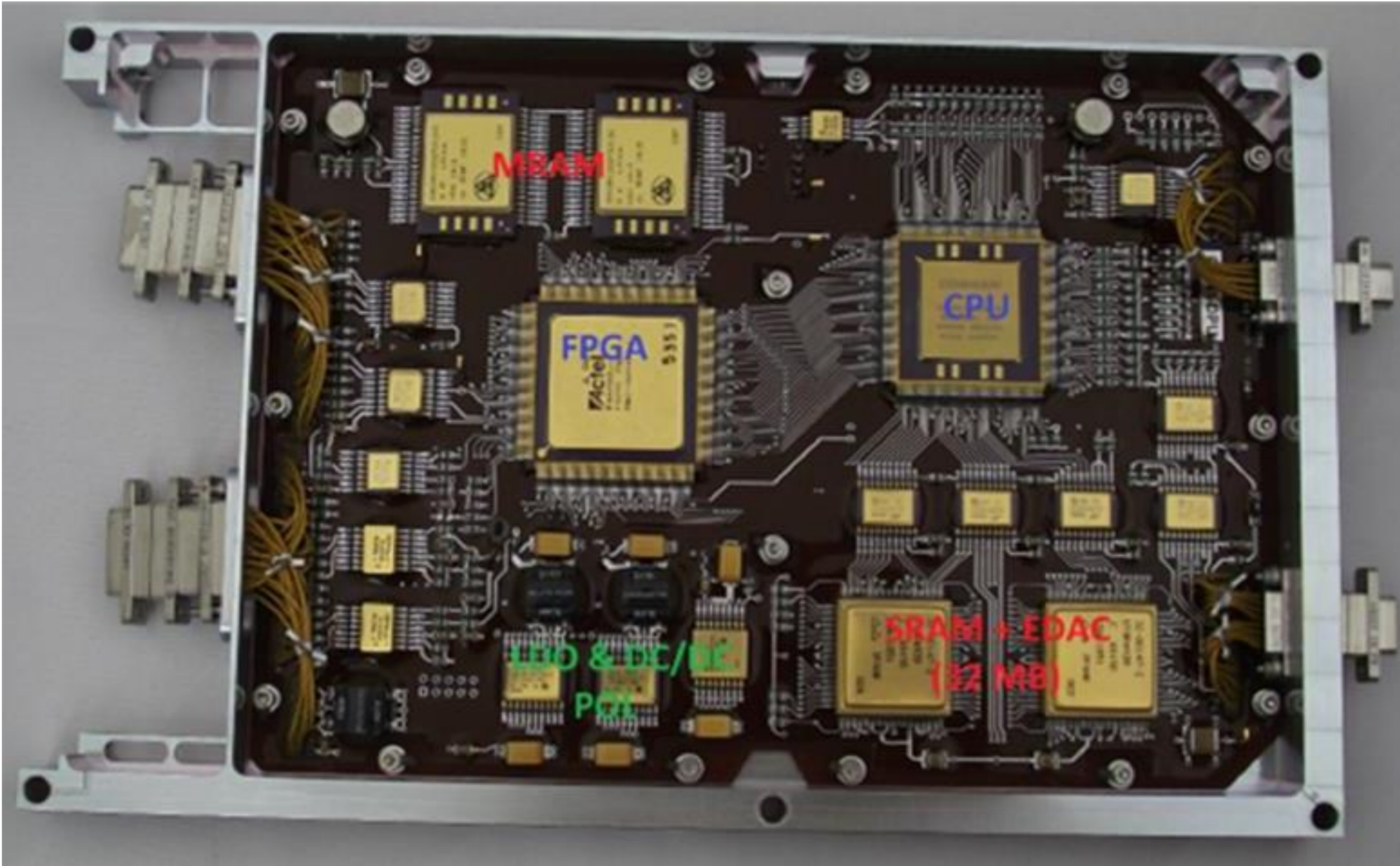
[https://www.researchgate.net/figure/Pictures-of-the-SOSMAG-electronics-box-upper-left-the-combined-data-processing-and\\_fig24\\_346340461](https://www.researchgate.net/figure/Pictures-of-the-SOSMAG-electronics-box-upper-left-the-combined-data-processing-and_fig24_346340461)



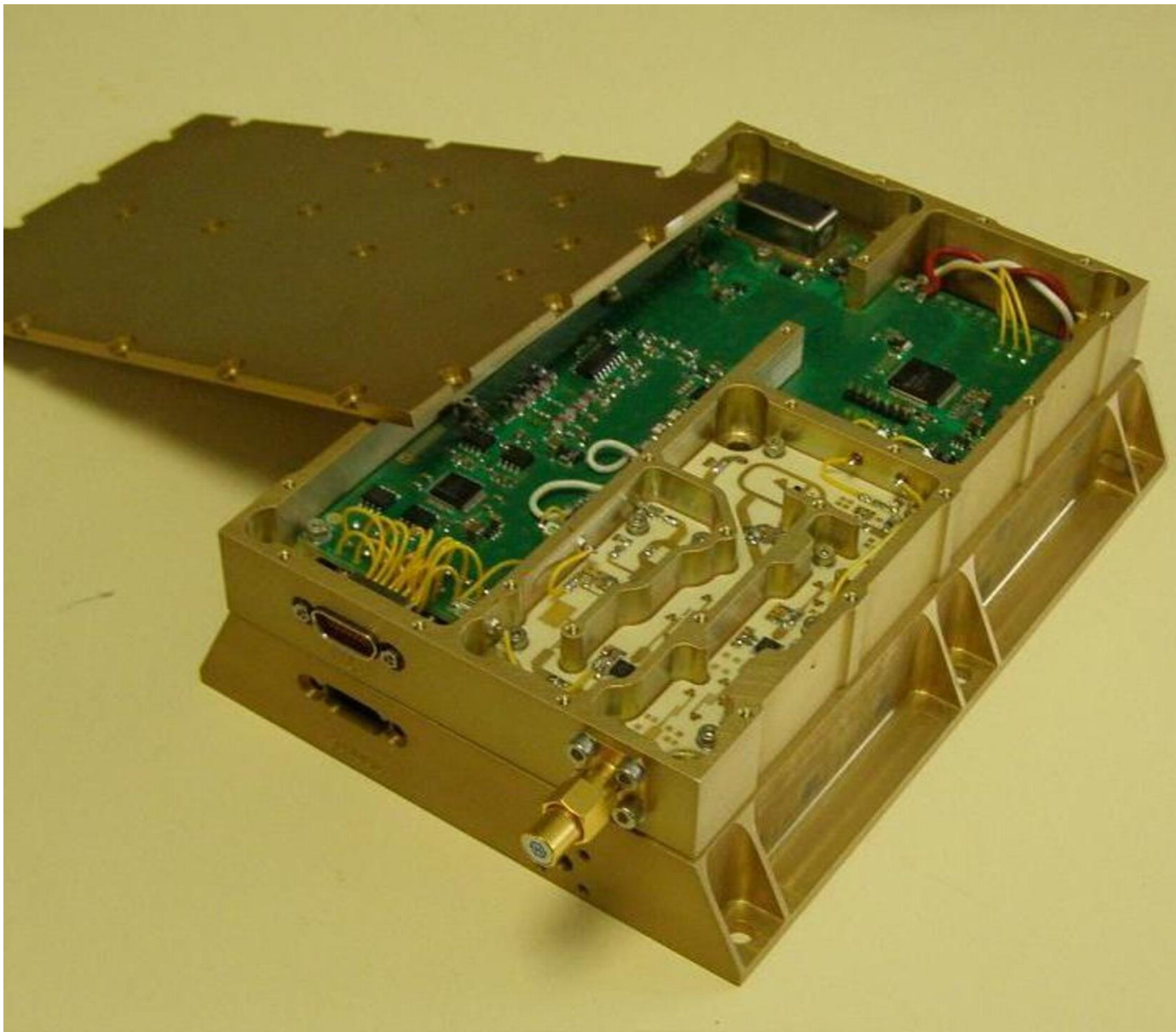
Proto-Flight Model (PFM) urządzenia DPU (Digital Processing Unit) dla eksperymentu RWI misji JUICE, CBK PAN

<https://polsa.gov.pl/kalendarz/start-misji-juice/>

# Przykłady urządzeń elektronicznych wysłanych w kosmos

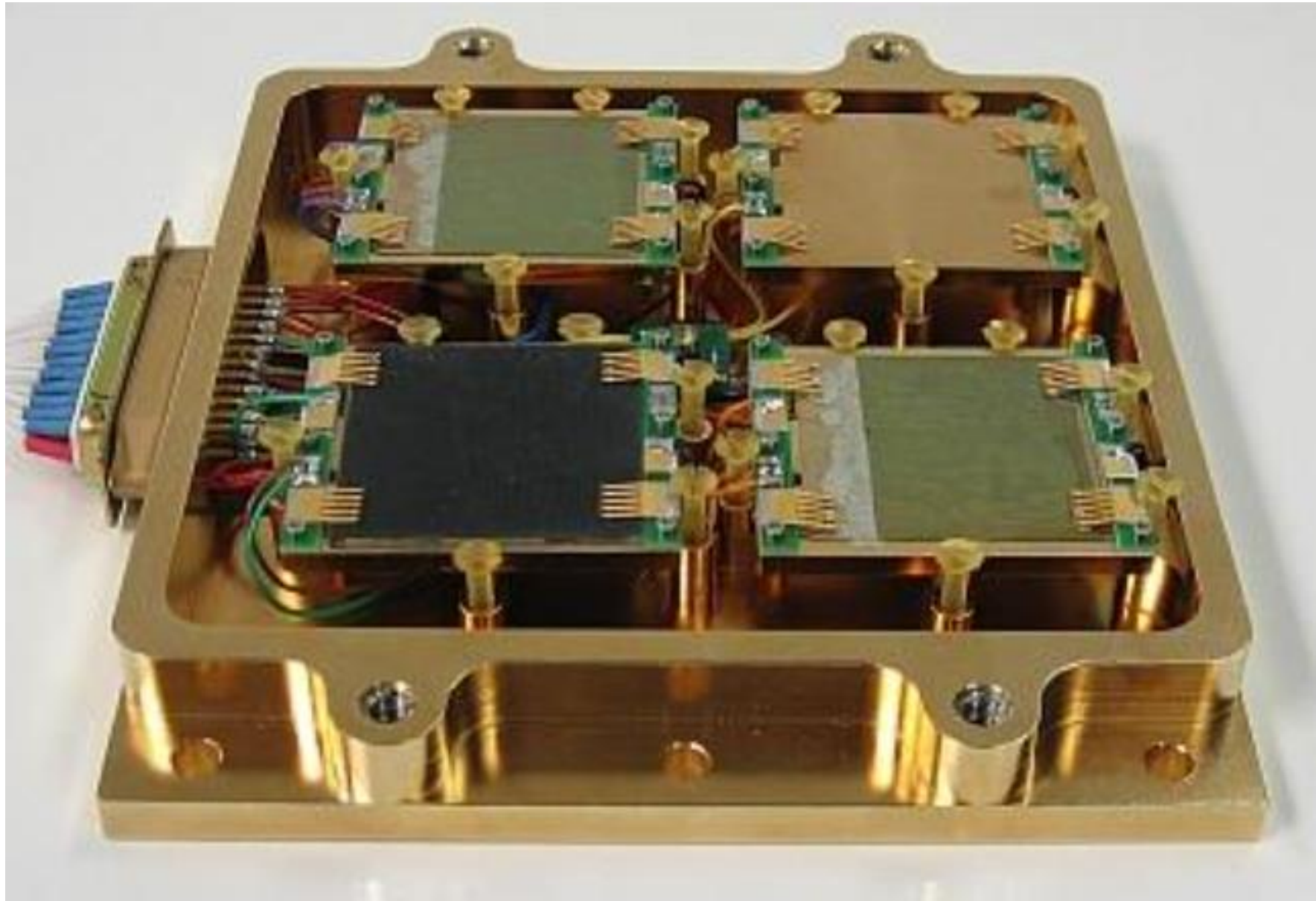


# Przykłady urządzeń elektronicznych wysłanych w kosmos



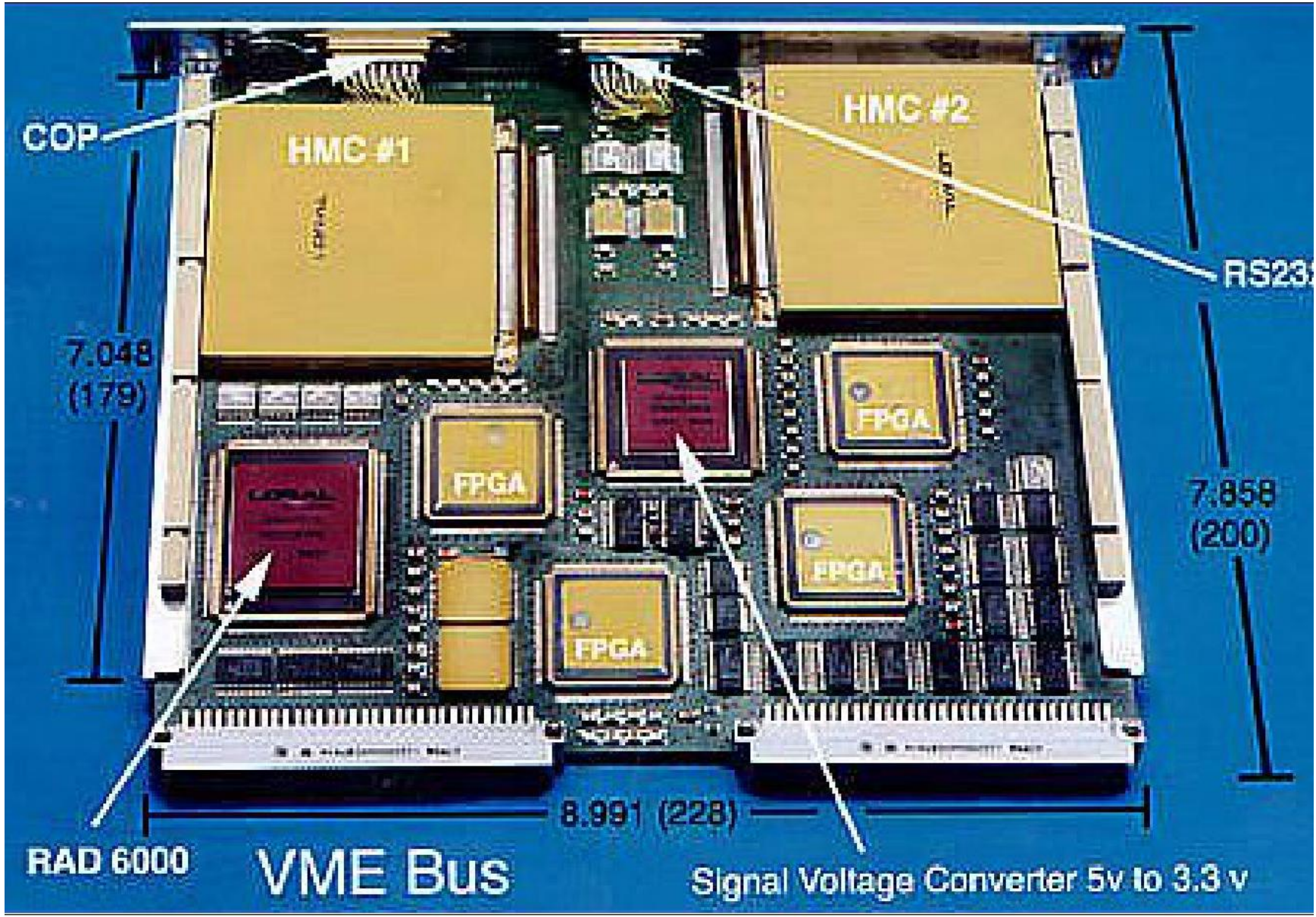
Proba-V, ESA

[https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology/Proba-V\\_will\\_put\\_European\\_gallium\\_nitride\\_to\\_its\\_first\\_space\\_test](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Proba-V_will_put_European_gallium_nitride_to_its_first_space_test)



MidSTAR-1 (Midshipmen Space Technology Applications Research-1)

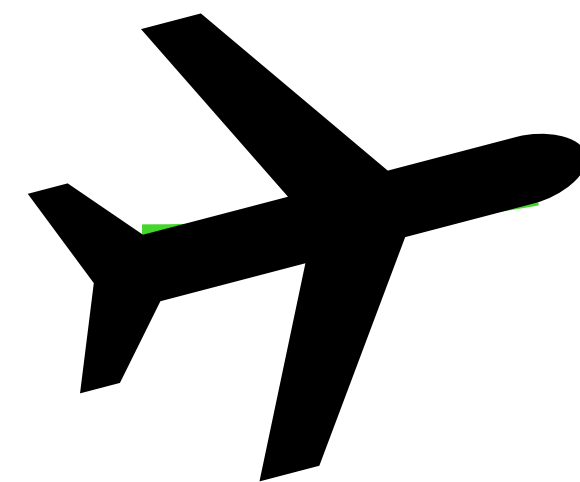
<https://www.eoportal.org/satellite-missions/midstar-1#eop-quick-facts-section>



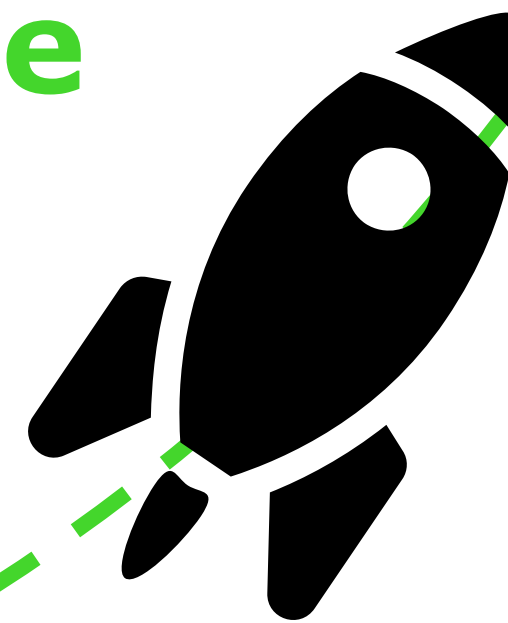
OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2)

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/oco-2#spacecraft>

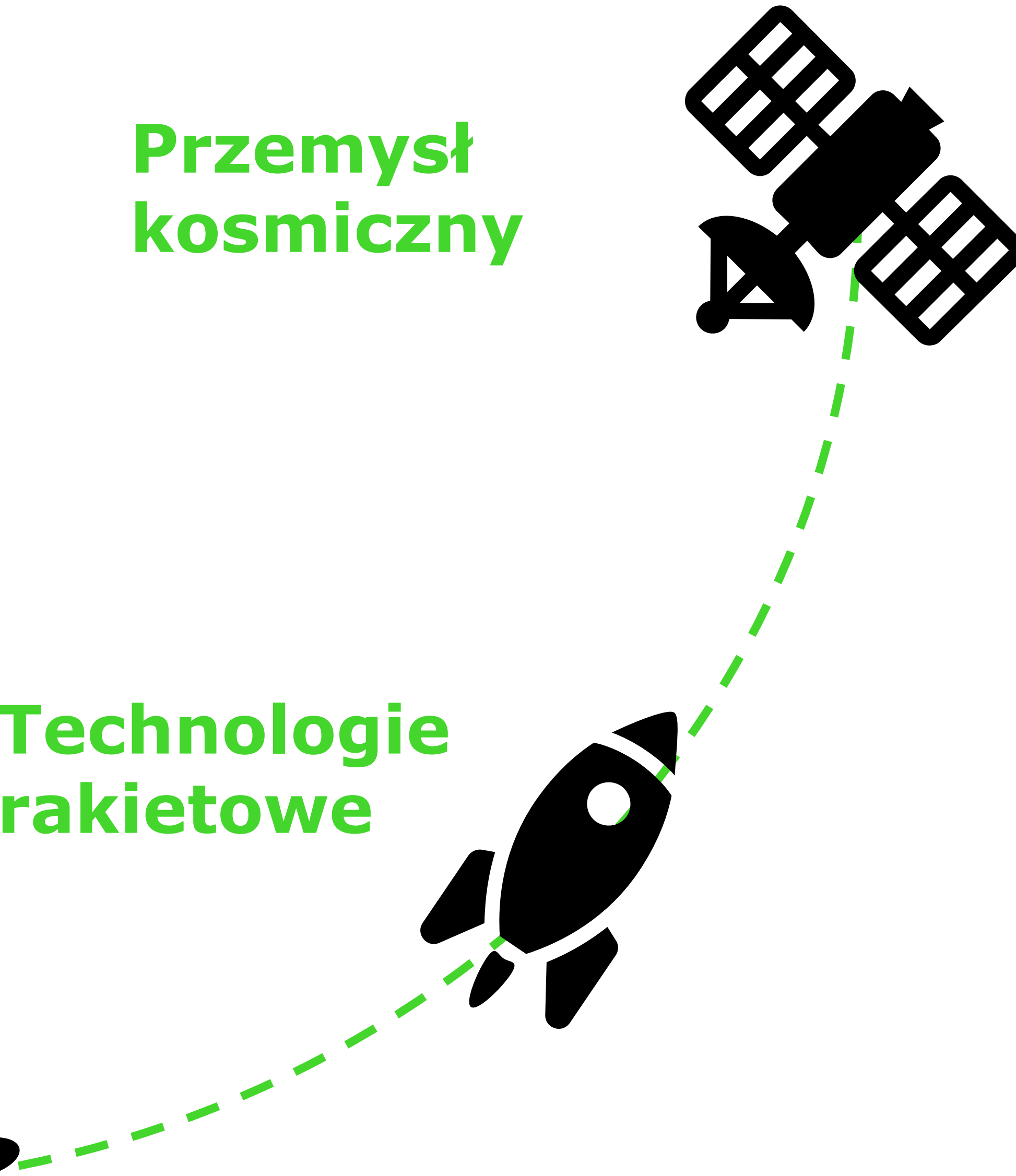
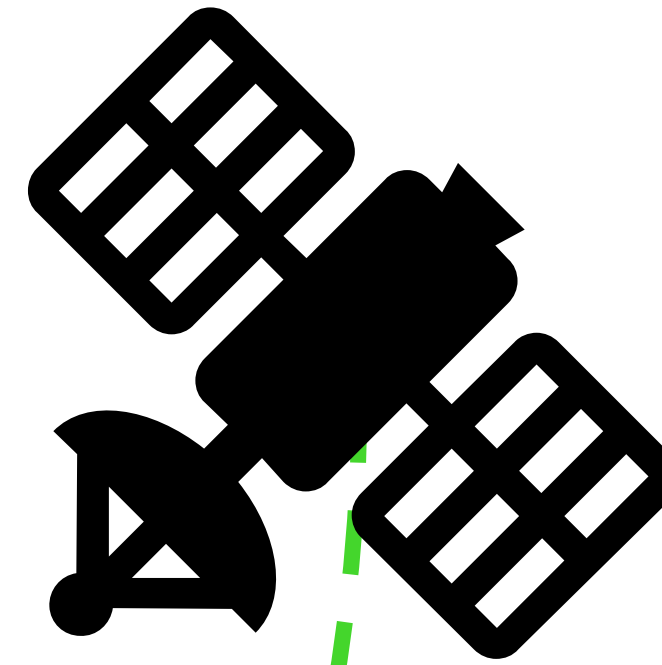
**Awionika  
lotnicza**



**Technologie  
raketowe**



**Przemysł  
kosmiczny**





**Lotnictwo**



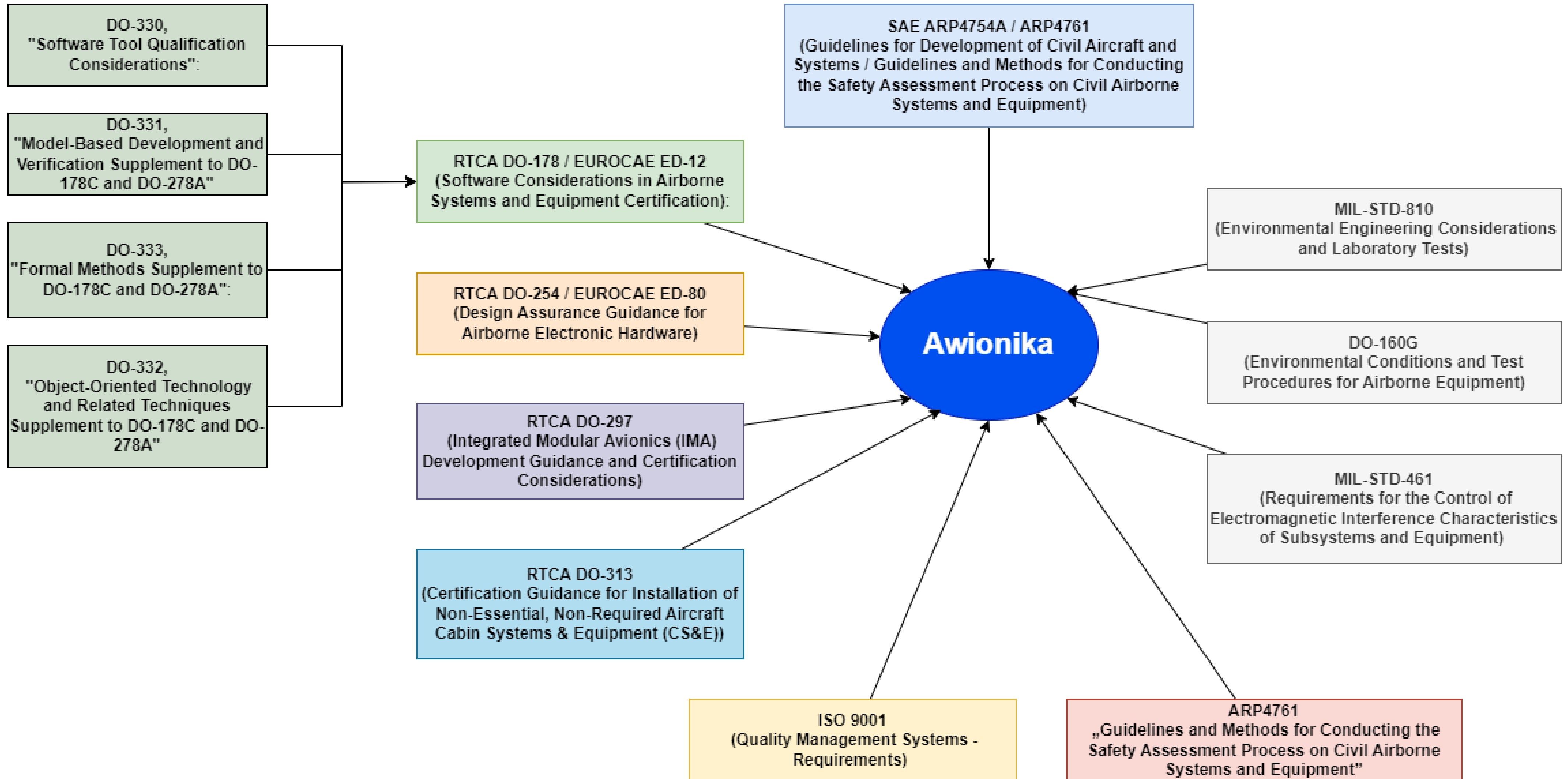
**Technologie  
rakietowe**



**Przemysł  
kosmiczny**



# Normy Lotnicze

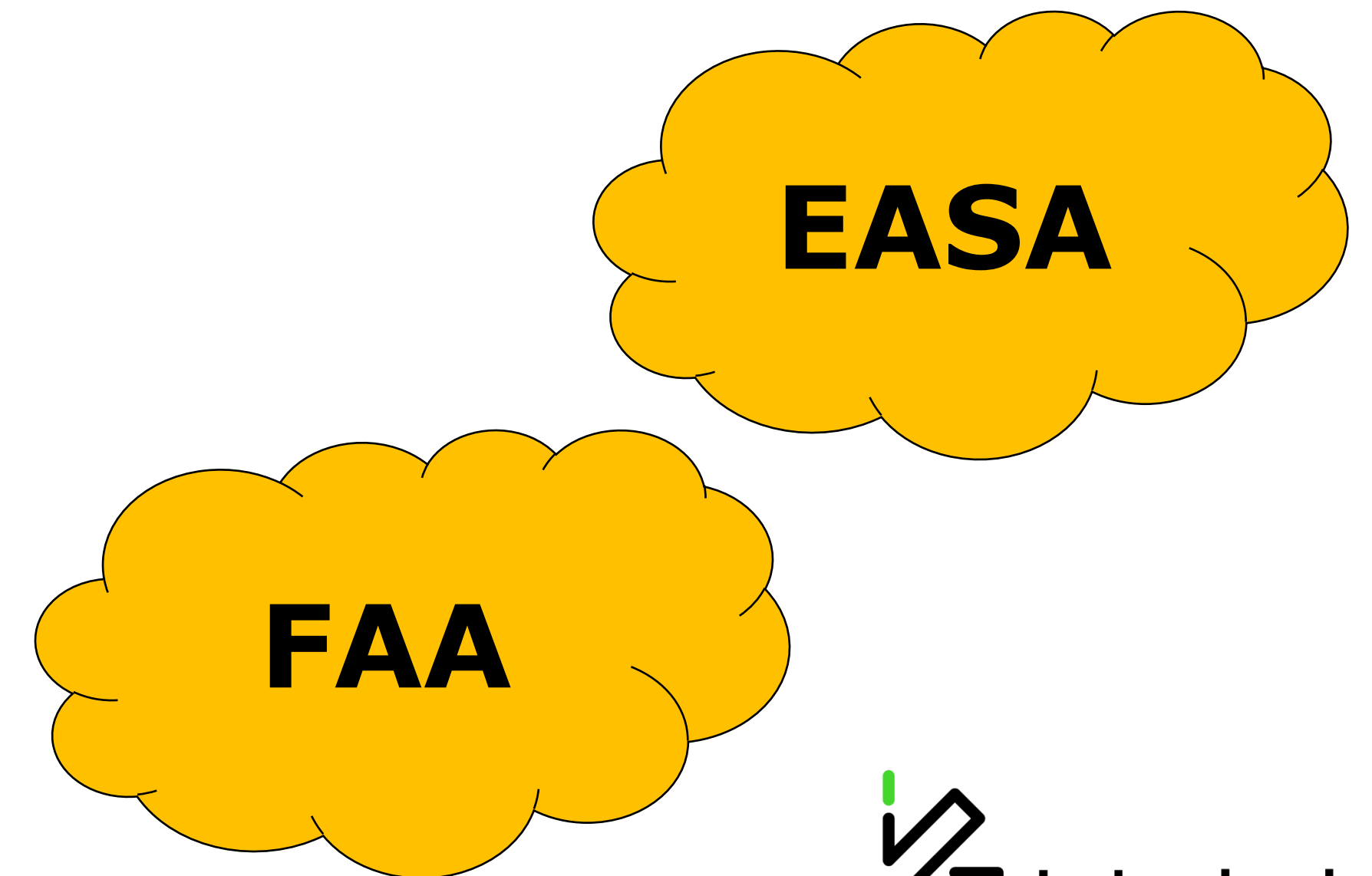


# Norma DO 160G

## Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment

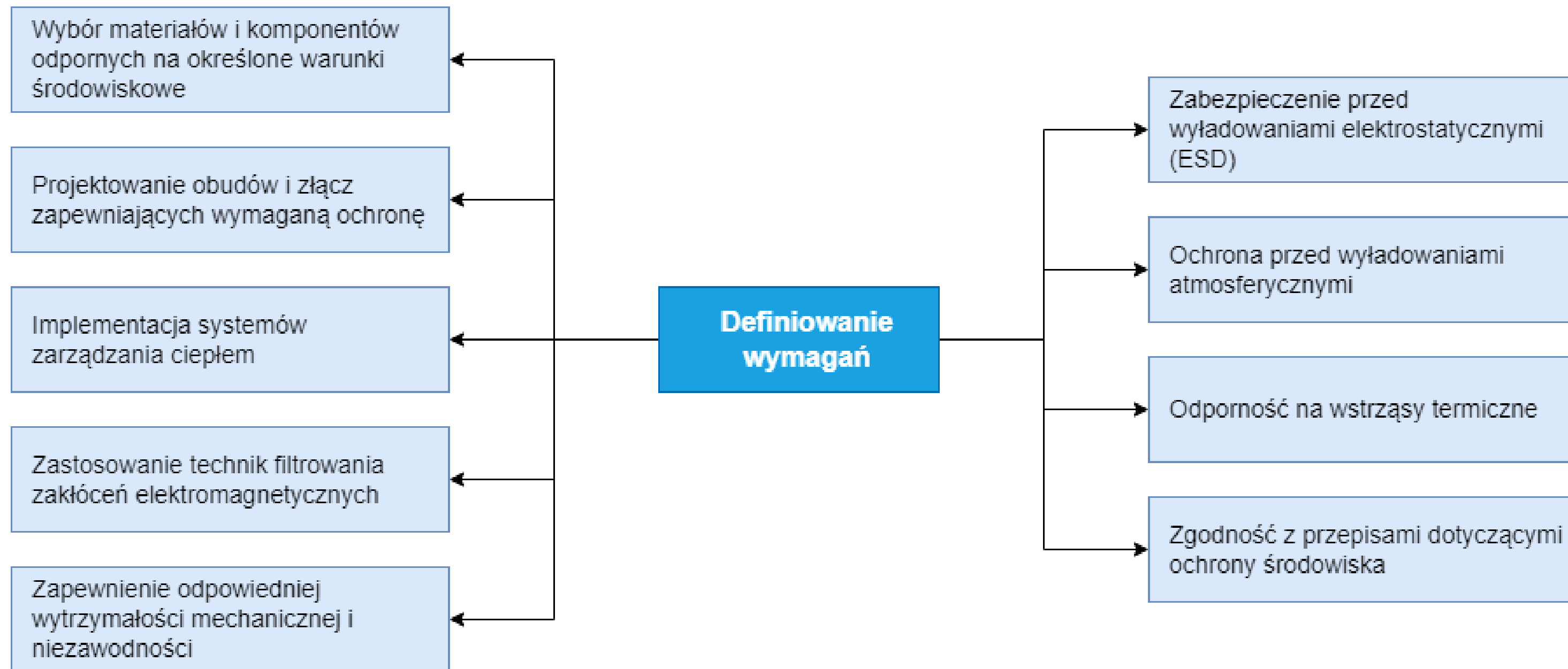
Norma DO-160G obejmuje szeroki zakres warunków środowiskowych, które mogą wpłynąć na wyposażenie lotnicze, takie jak:

- Zakłócenia RF
- Temperatura i wilgotność
- Wstrząsy i wibracje
- Wodoodporność i odporność na płyny
- Odporność na sól i korozję
- Wyładowania atmosferyczne
- Wpływ ciśnienia
- Promieniowanie słoneczne



# Norma DO 160G

## Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment



### Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment

Section 1.0	
Section 2.0	Definitions of Terms - General
Section 3.0	Conditions of Tests
Section 4.0	Temperature and Altitude
Section 5.0	Temperature Variation
Section 6.0	Humidity
Section 7.0	Operational Shocks and Crash Safety
Section 8.0	Vibration
Section 9.0	Explosion Proofness
Section 10.0	Waterproofness
Section 11.0	Fluids Susceptibility
Section 12.0	Sand and Dust
Section 13.0	Fungus Resistance
Section 14.0	Salt Spray
Section 15.0	Magnetic Effect
Section 16.0	Power Input
Section 17.0	Voltage Spike
Section 18.0	Audio Frequency Conducted Susceptibility - Power Inputs
Section 19.0	Induced Signal Susceptibility
Section 20.0	Radio Frequency Susceptibility (Radiated and Conducted)
Section 21.0	Emission of Radio Frequency Energy
Section 22.0	Lightning Induced Transient Susceptibility
Section 23.0	Lightning Direct Effects
Section 24.0	Icing
Section 25.0	Electrostatic Discharge
Section 26.0	Fire, Flammability
Appendix A	Environmental Test Identification
Appendix B	Membership
Appendix C	Change Coordinators

Note:

Detailed Tables of Contents appear on the inside of most sections.

**Źródło: RTCA DO 160G**

# Zasilanie elektryczne oraz Impulsy napięcia na zasilaniu

## DO-160G rozdział nr 16 oraz 17

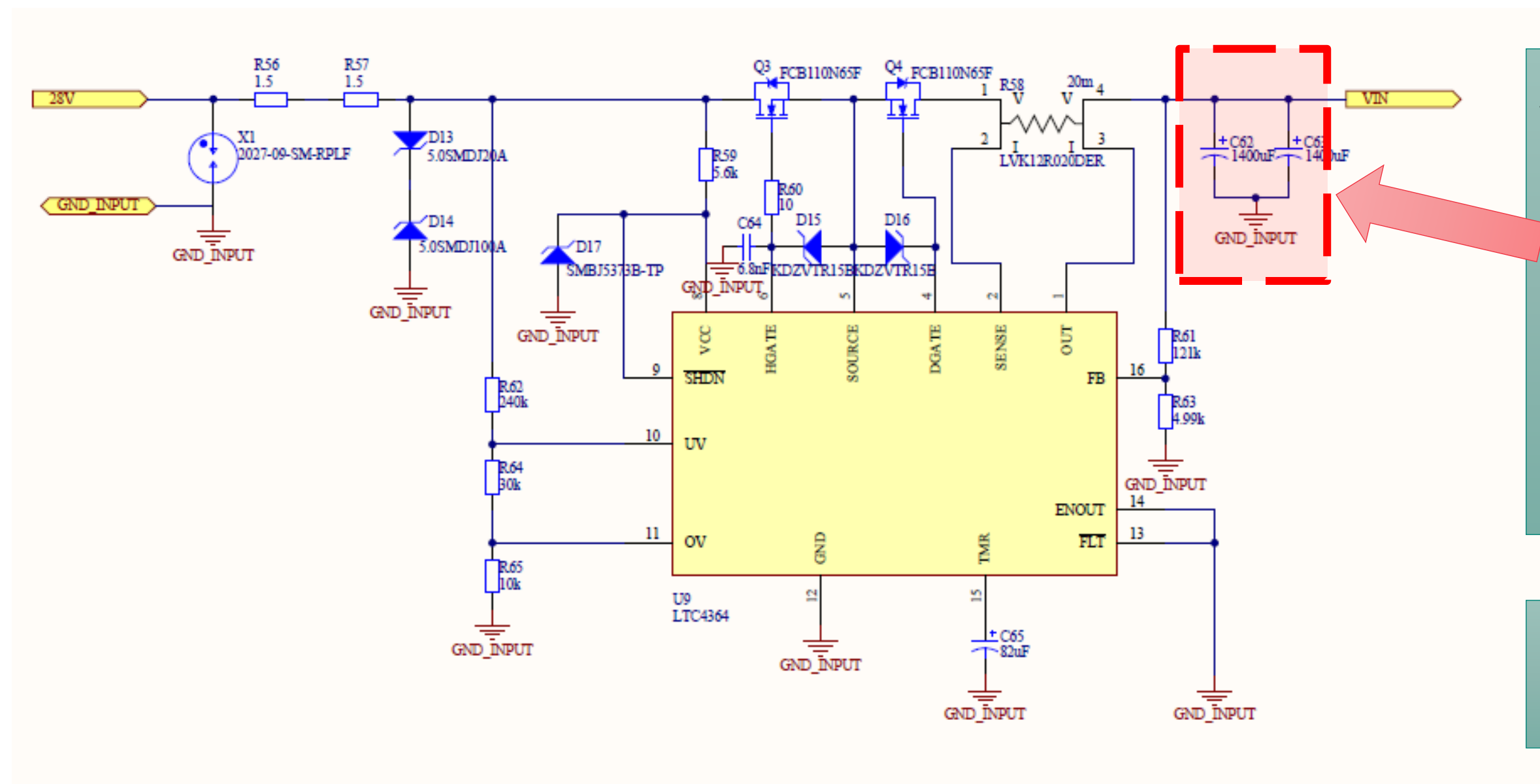
Sekcja "Power Input", jest szczególnie istotna przy projektowaniu modułów zasilania. Określa ona testy, które zapewniają, że układy zasilania będą niezawodnie pracować przy różnych napięciach i częstotliwościach, mogą wytrzymać przepięcia, przerwy w dostawie energii oraz inne anomalie, które mogą wystąpić w środowisku lotniczym.

### **Badane są m.in.:**

- Wariacje Napięcia
- Wariacje Częstotliwości
- Wpływ Zakłóceń
- Zmiany Fazy
- Zgodność z Harmonicznymi
- Przełączanie Zasilania
- Przerwy w zasilaniu

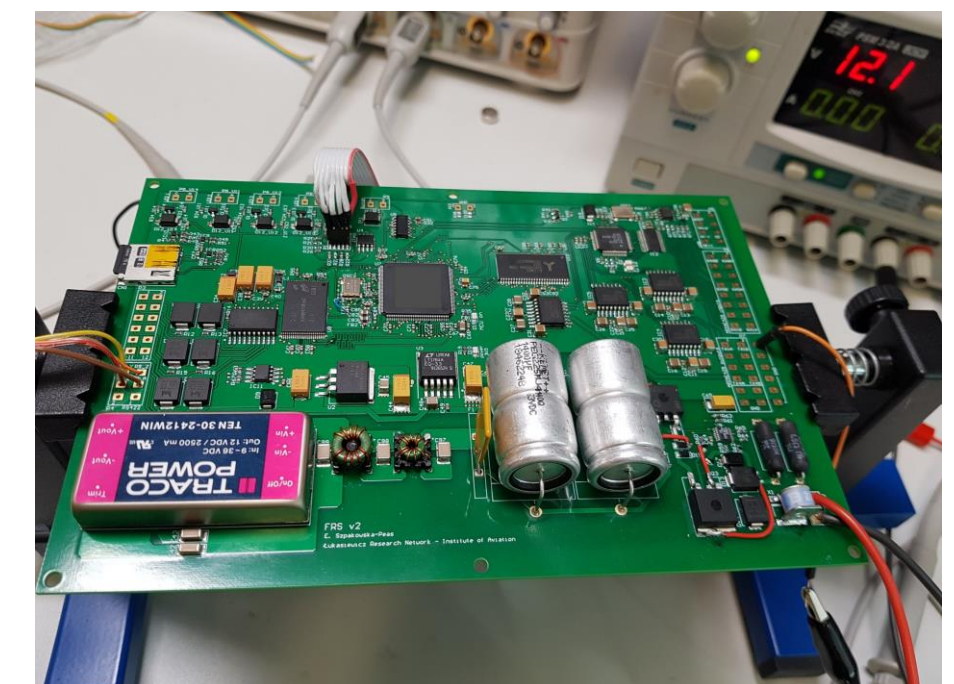
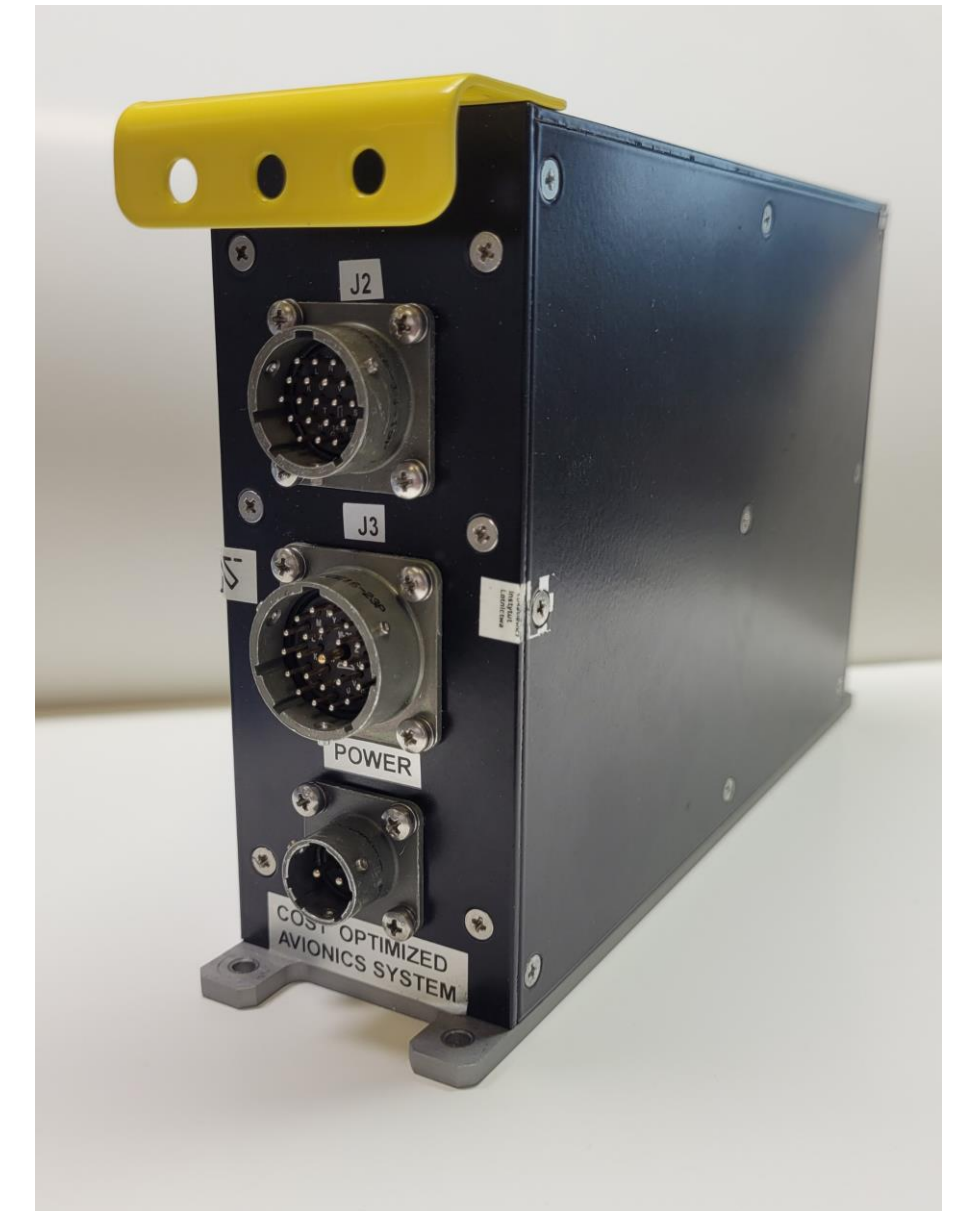
# Przykład rozwiązania: Zasilanie elektryczne i jego zabezpieczenia

## Kategoria wyposażenia – B wg DO-160G rozdz. 16 oraz A wg DO-160G rozdz. 17



Aluminiowe Kondensatory elektrolityczne o wysokiej pojemności. Dodatkową funkcją oprócz filtrowania zakłóceń jest magazynowanie energii w razie spadku napięcia/ chwilowego krótkiego braku zasilania

Overvoltage protection: 35V  
Undervoltage protection: 8.75V



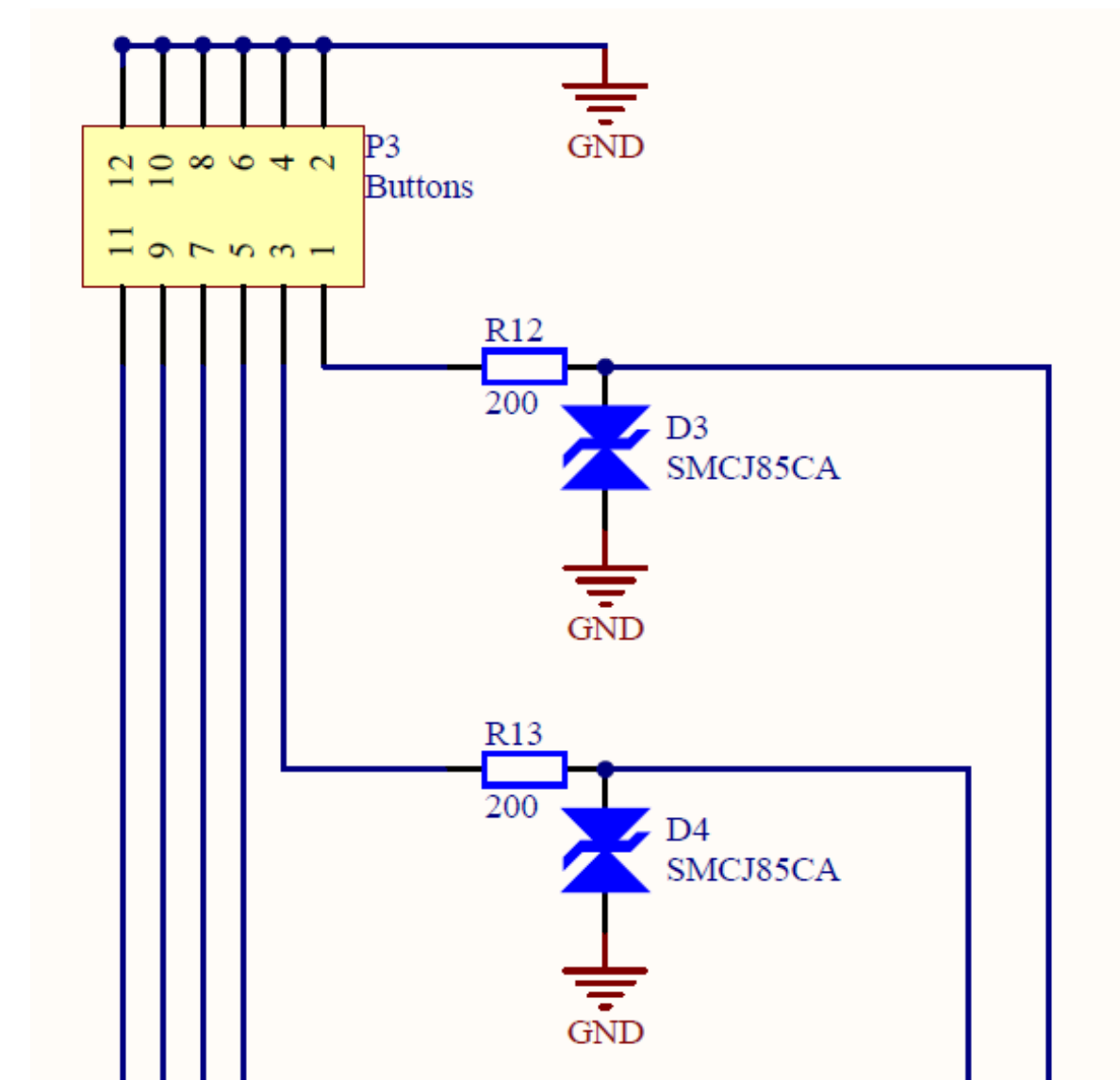
# Zabezpieczenia wejść sygnałowych

- Zastosowanie Tłumików Przepięć (Surge Suppressors): np. warystory, diody transilowe, diody Zenera, układy gasikowe
- Ograniczniki napięcia
- Filtracja i ekranowanie
- Zastosowanie odpowiednich Płyt Drukowanych
- Optymalne rozmieszczanie komponentów
- Zabezpieczenie Złączy
- Użycie Multiplexerów i Buforów
- Dedykowane układy z wbudowanymi zabezpieczeniami:

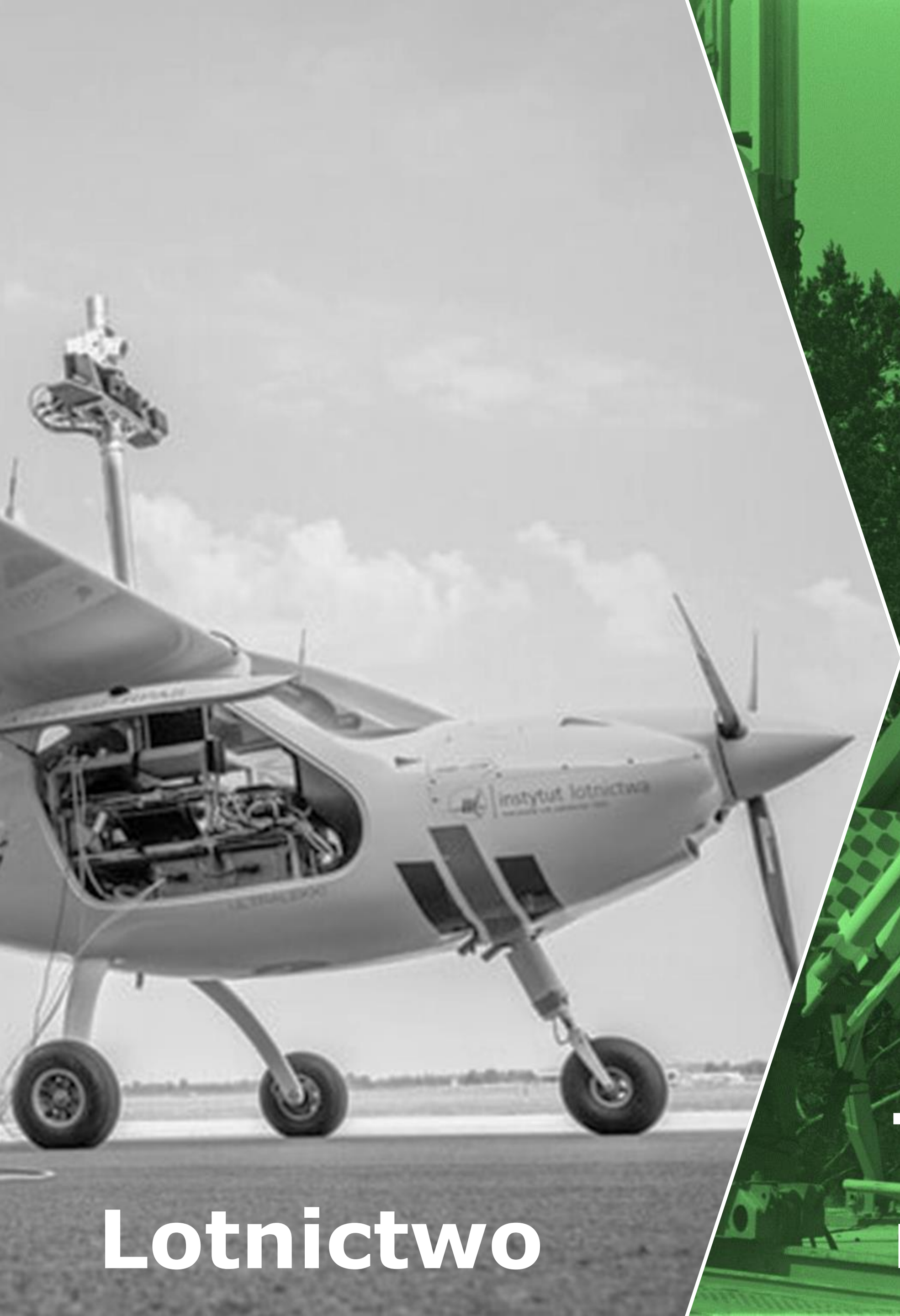
The HI-8597 is a 3.3V single supply ARINC 429 line driver with built-in lightning protection. The internal lightning protection circuitry allows compliance with RTCA/DO-160G, Section 22 Level 3 Pin Injection Test Waveform Set A (3 & 4), Set B (3 & 5A) and Set Z (3 & 5B) without the use of any external components, an industry first. Pin surge levels for Level 3 are summarized as follows:

Waveform 3	Waveform 4	Waveform 5A	Waveform 5B
Voc/Isc	Voc/Isc	Voc/Isc	Voc/Isc
600V/24A	300V/60A	300V/300A	300V/300A

Przykład transceivera dla interfejsu ARINC 429 z wbudowanymi zabezpieczeniami  
**Źródło:** hi-8597\_v-rev-k.pdf



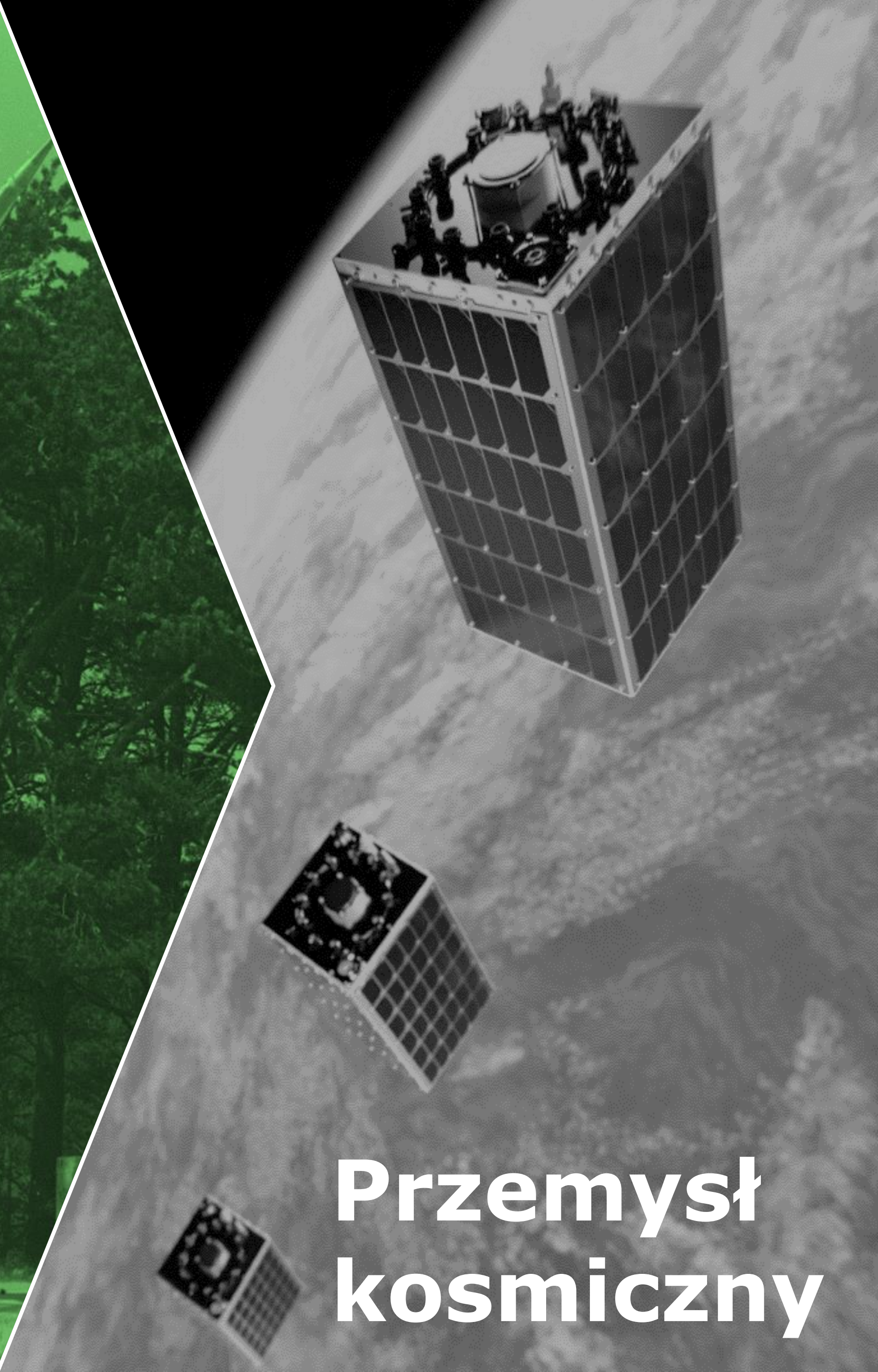
Przykład zabezpieczenia linii sygnałowej:  
Transile dwukierunkowe + rezystory MELF



**Lotnictwo**



**Technologie  
raketowe**



**Przemysł  
kosmiczny**

# Technologie raketowe

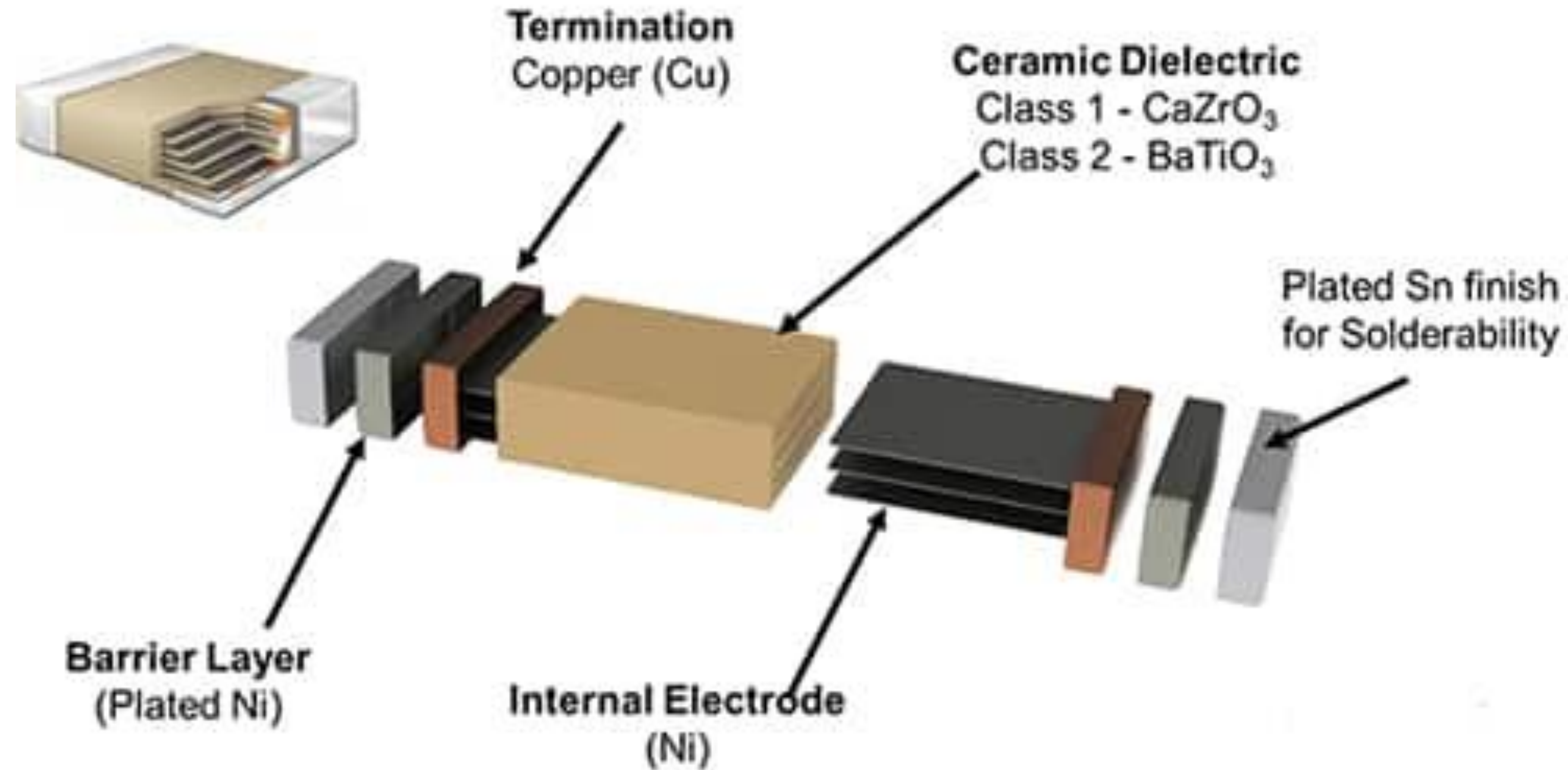
## Wysokie przeciążenia i wysoki poziom wibracji





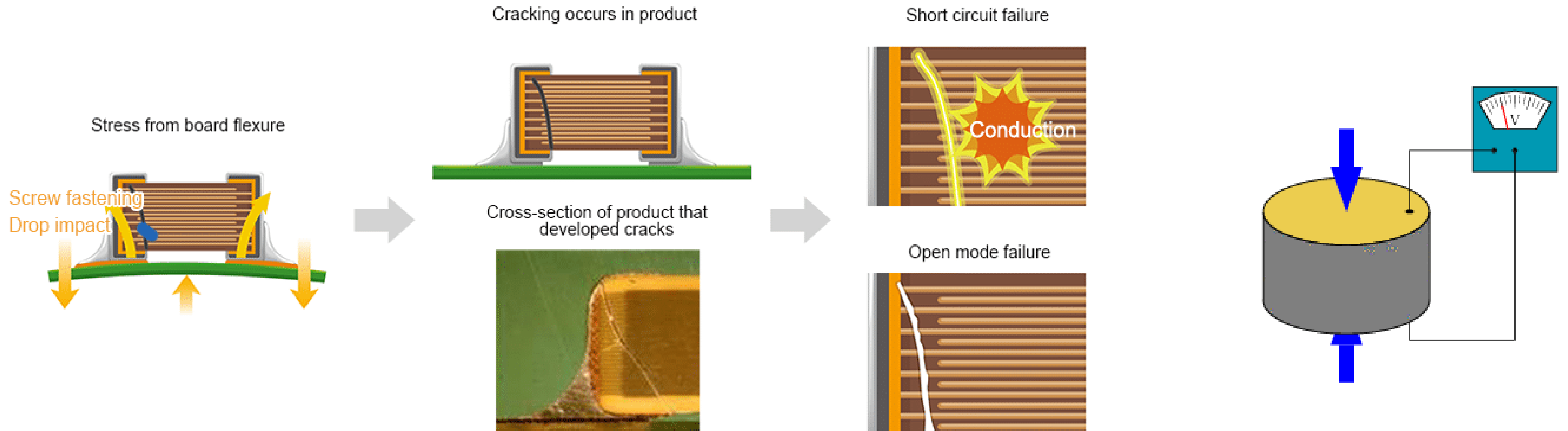
# Technologie rakietowe

## Problemy z kondensatorami – budowa MLCC



# Technologie rakietowe

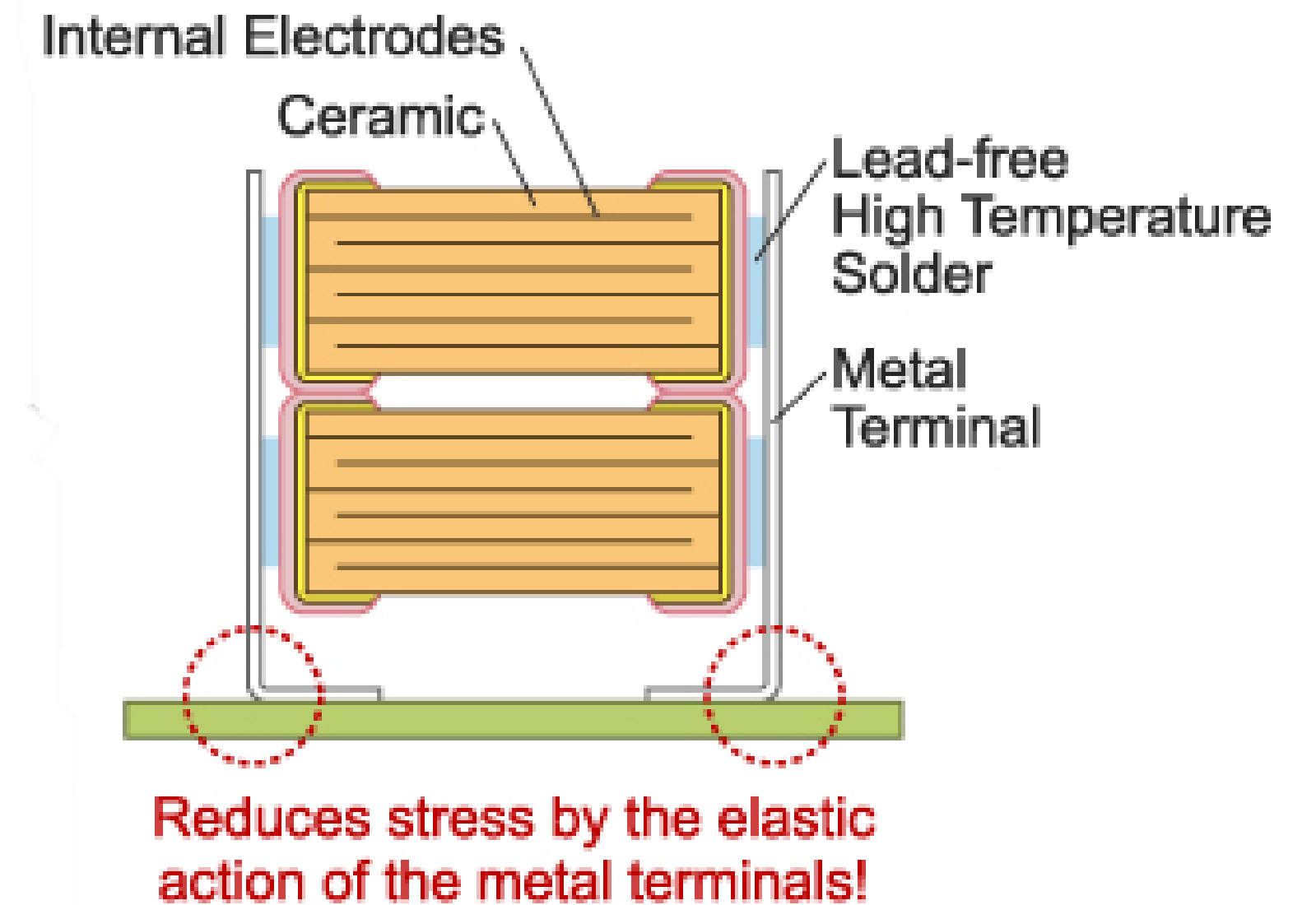
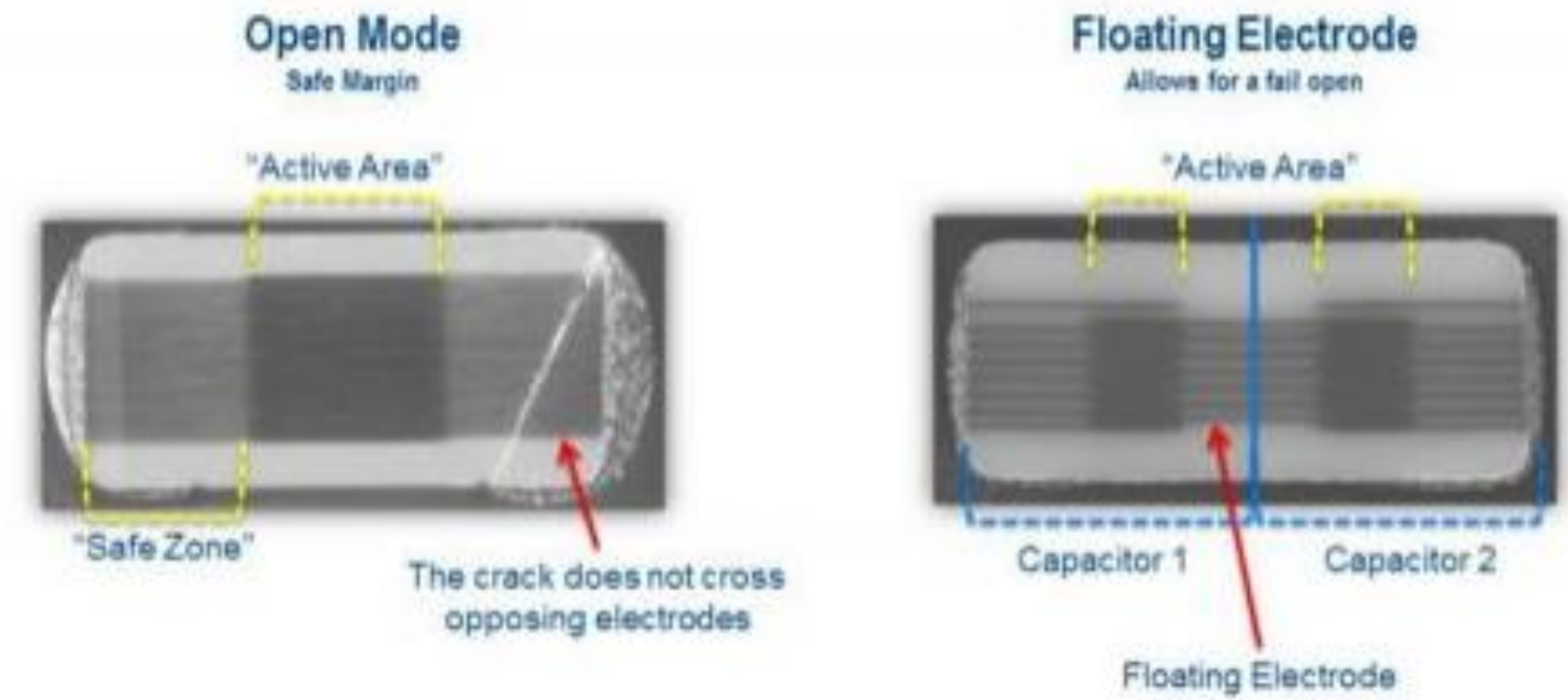
## Problemy z kondensatorami – możliwe uszkodzenia i efekt piezoelektryczny



# Technologie rakietowe

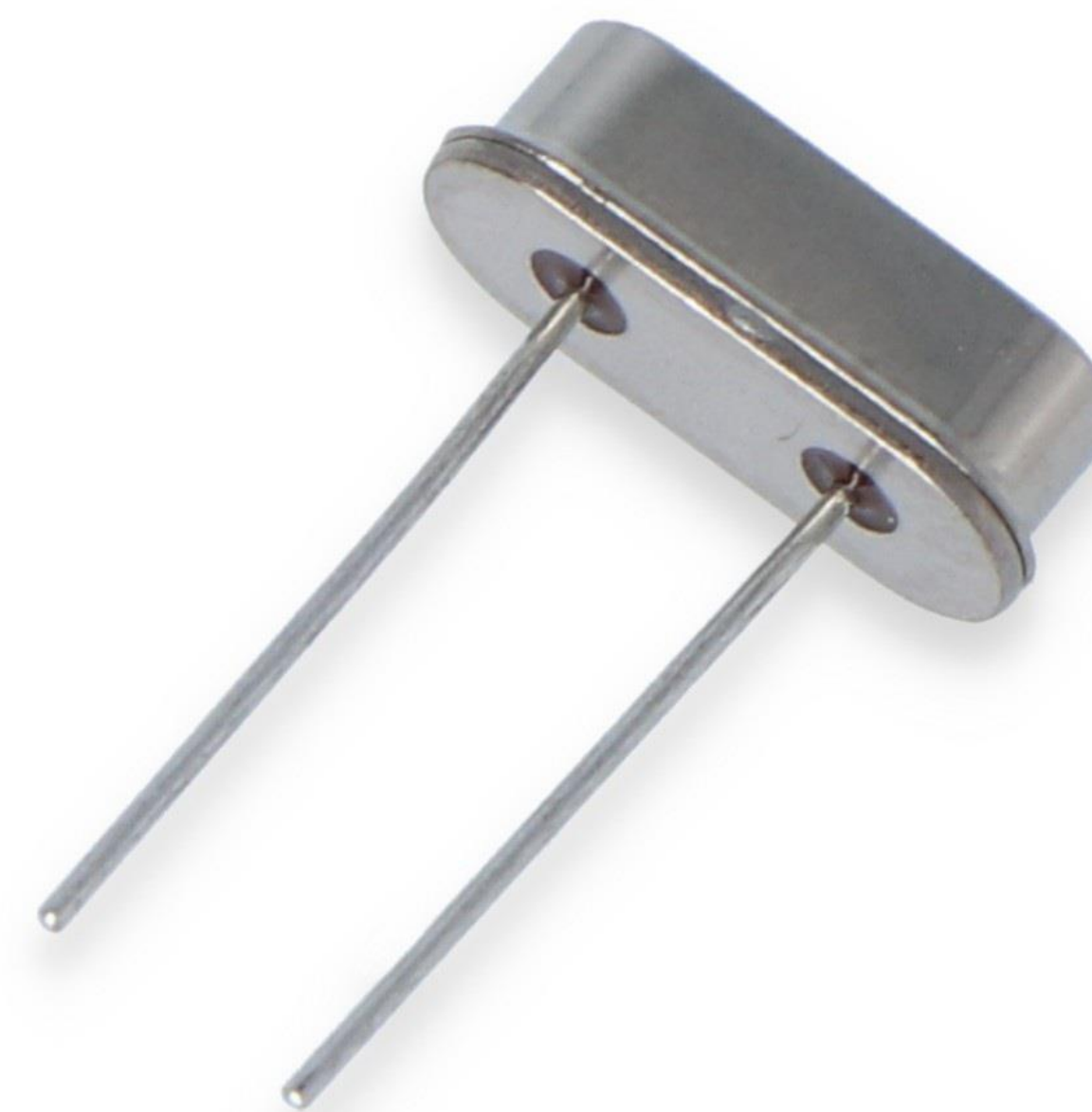
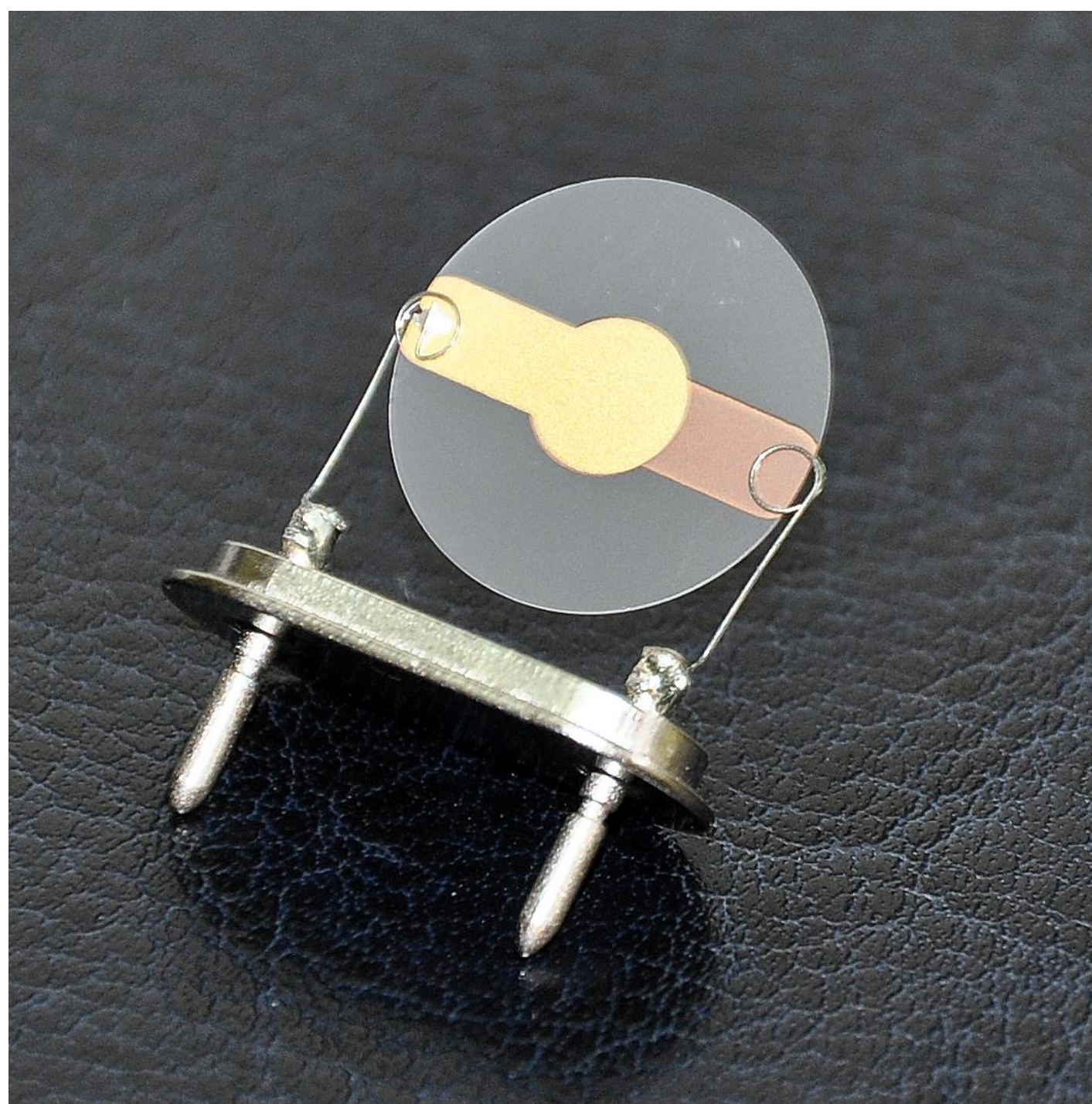
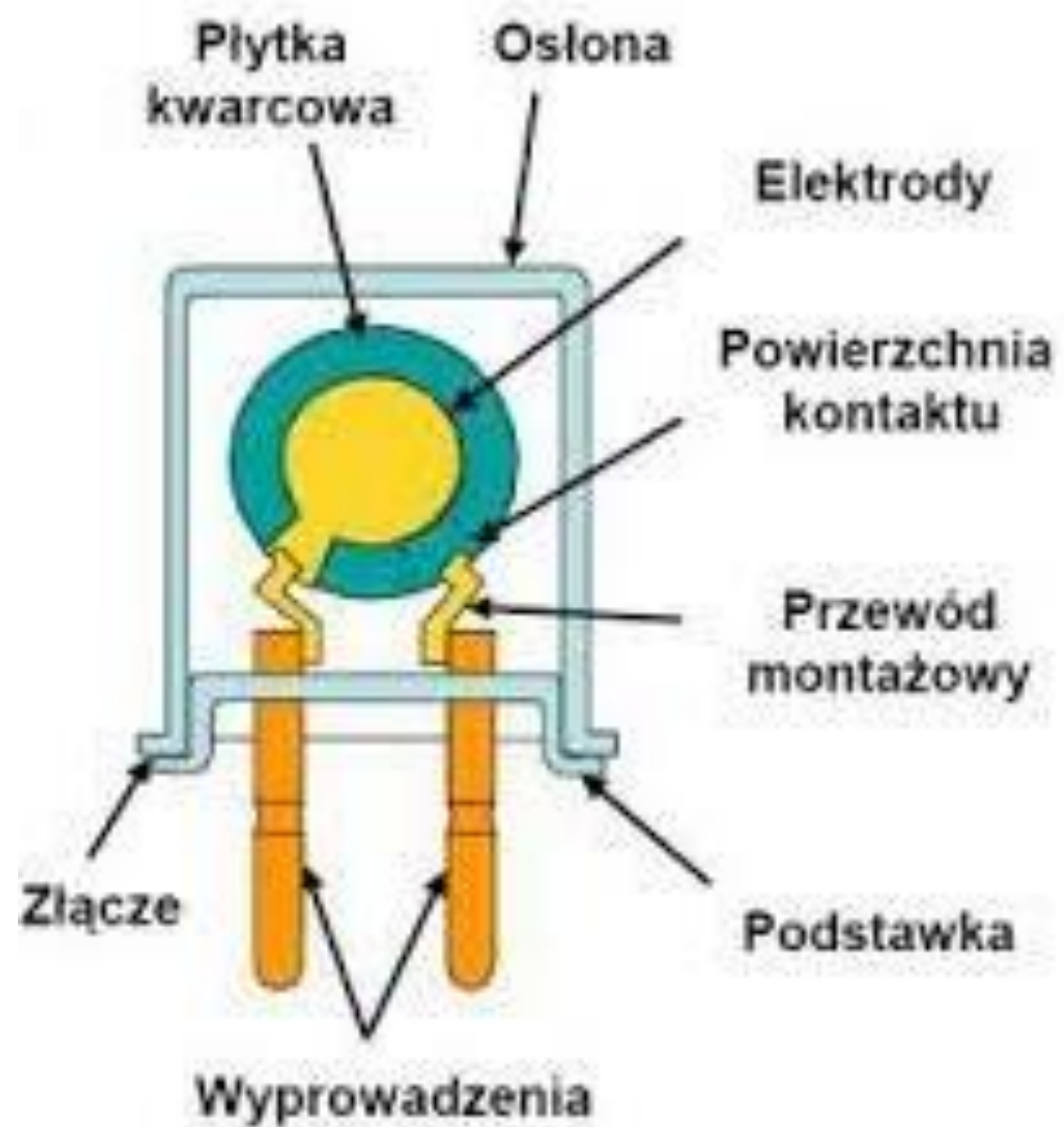
## Problemy z kondensatorami - rozwiązania

- Małe rozmiary obudów – max. 1210
- Wytrzymalszy materiał dielektryczny zasada C0G > X7R > inne
- Wybór kondensatorów specjalistycznych:
  - Open Mode MLCCs
  - Floating Electrode MLCCs
  - Soft termination MLCCs
  - Metal cap MLCCs
- Odpowiedni design PCB
- Wybór kondensatorów innego typu



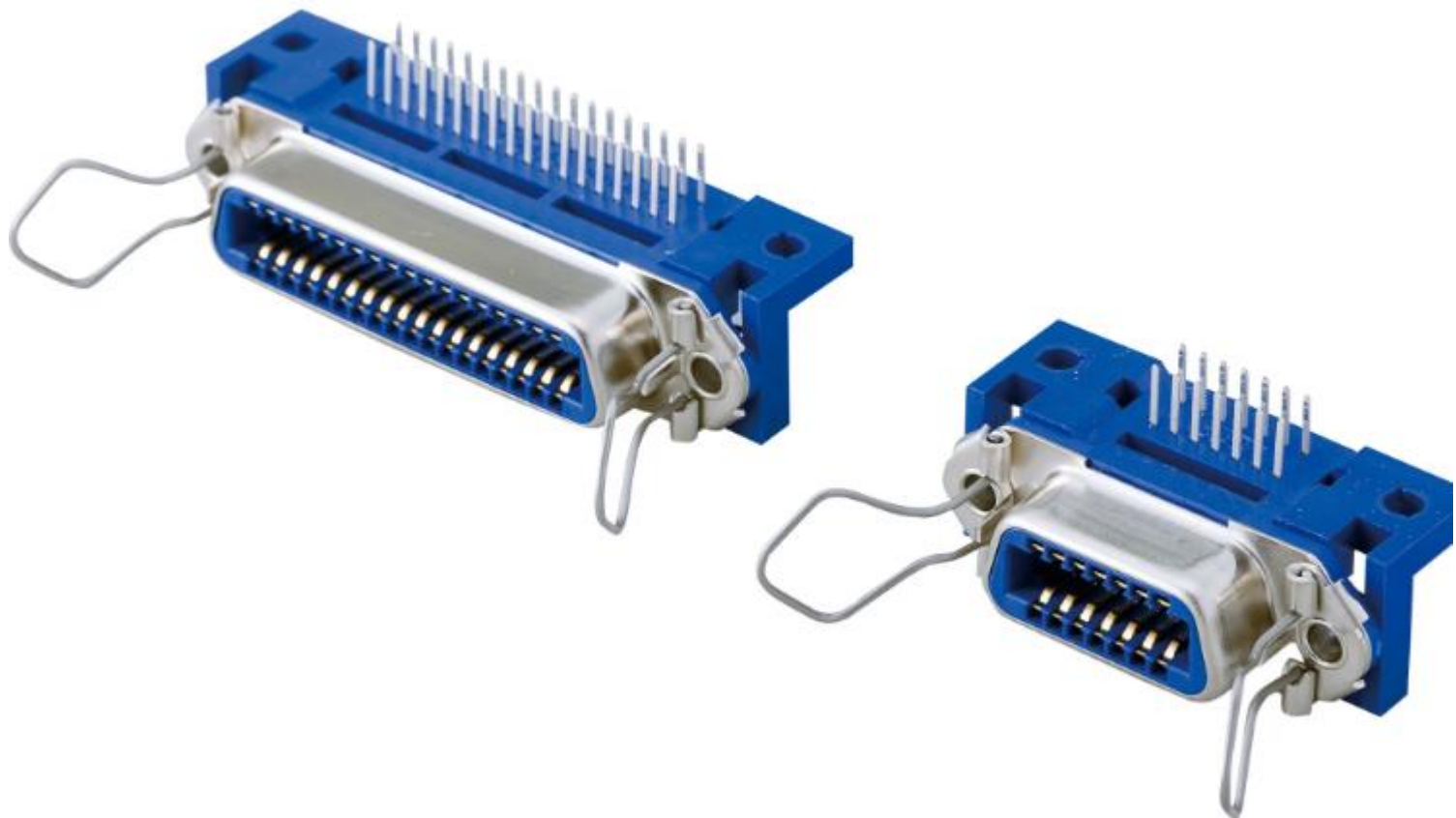
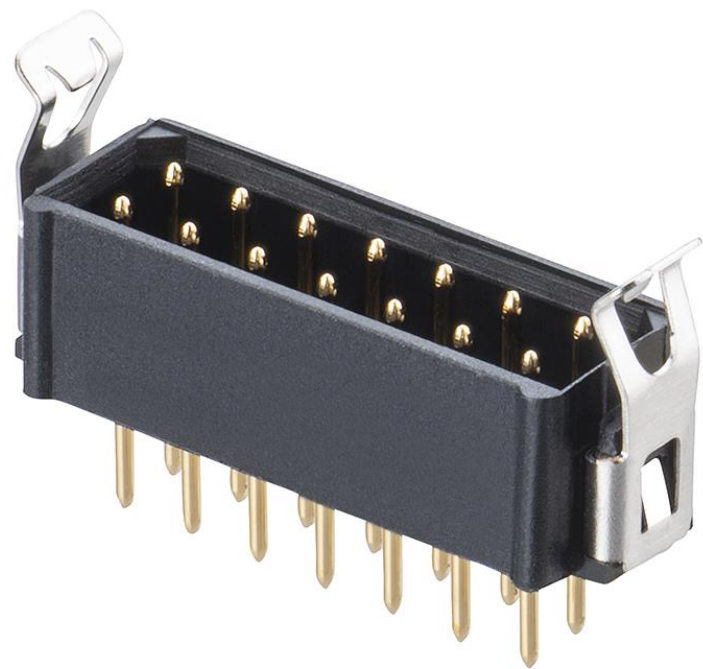
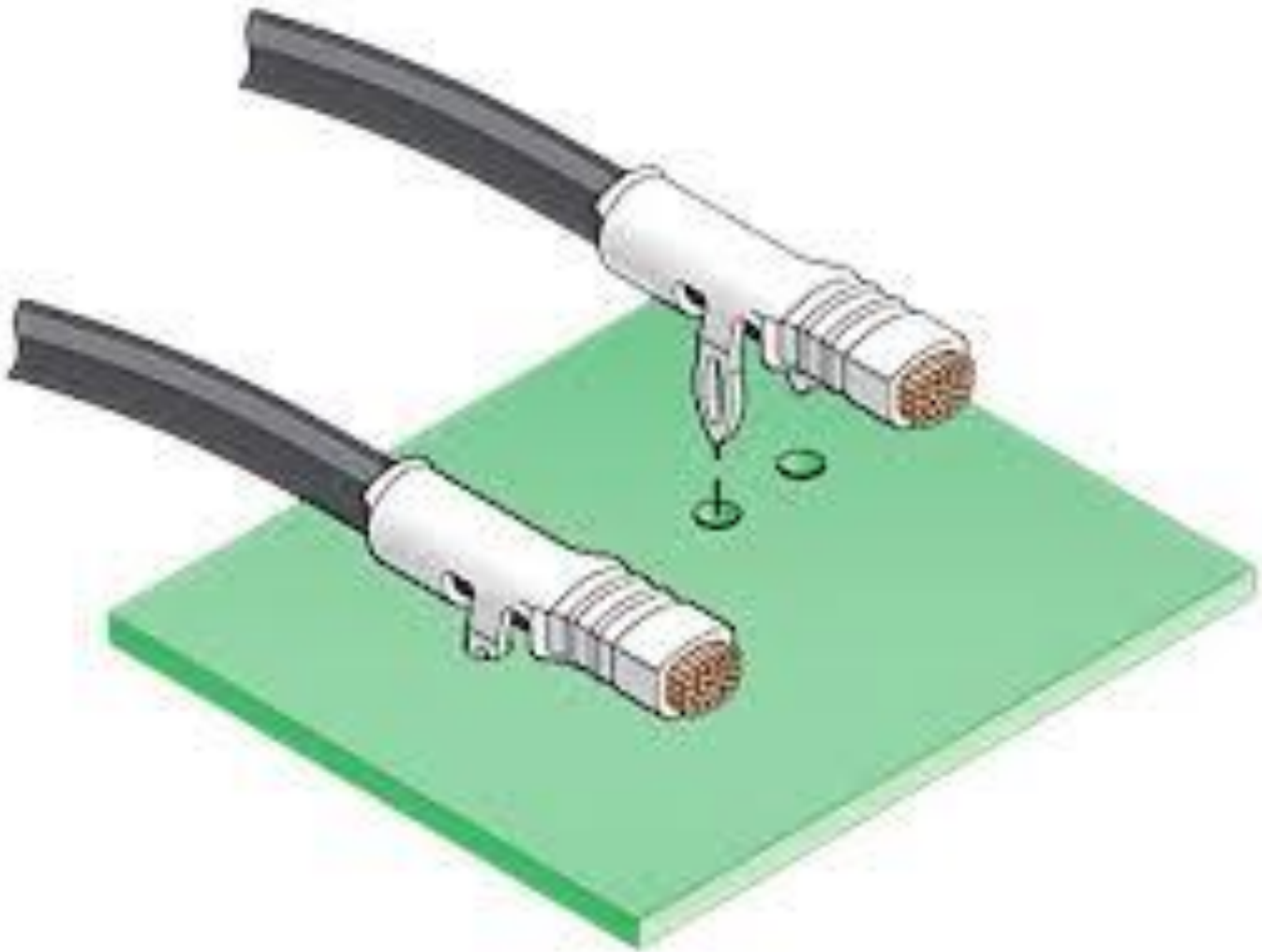
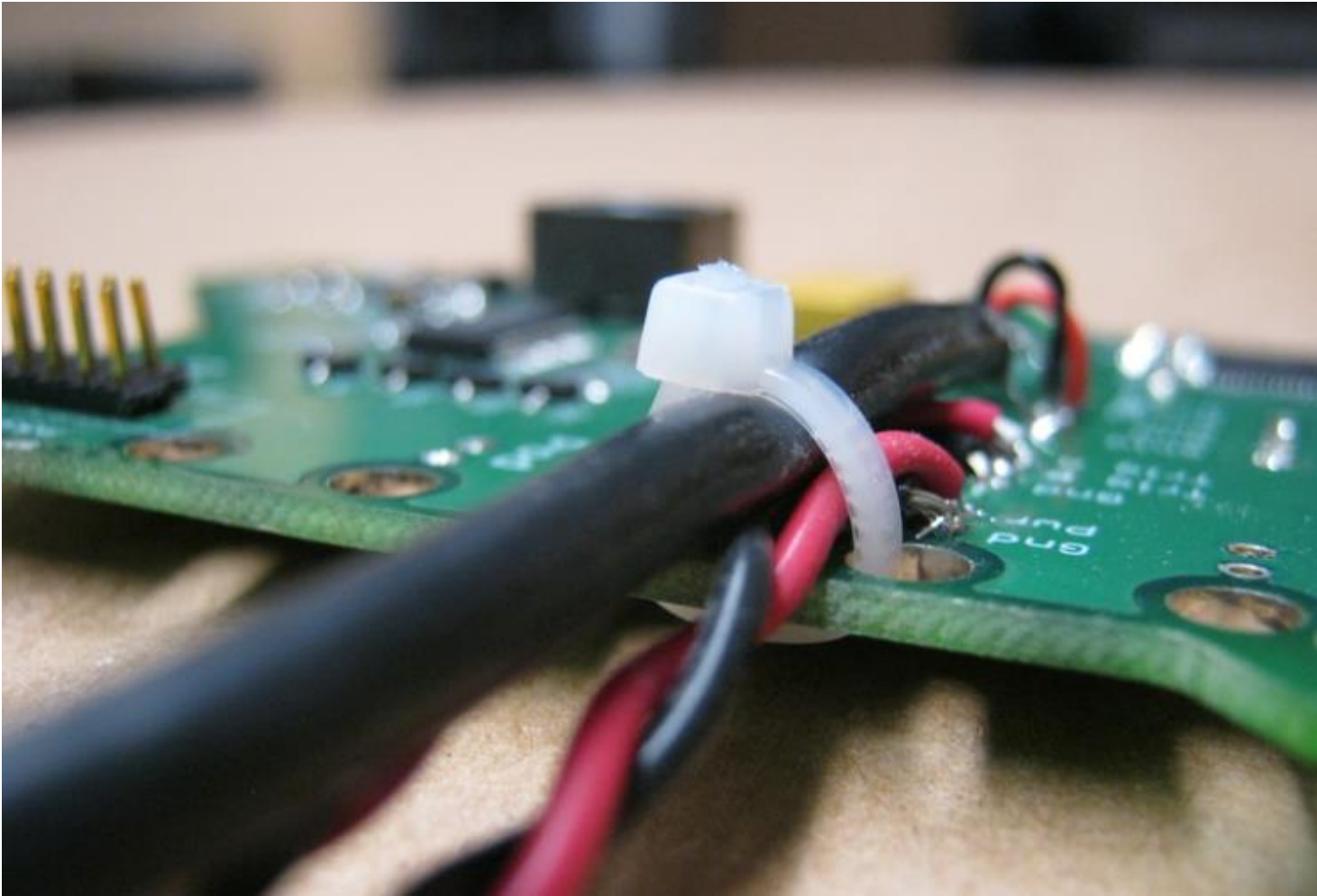
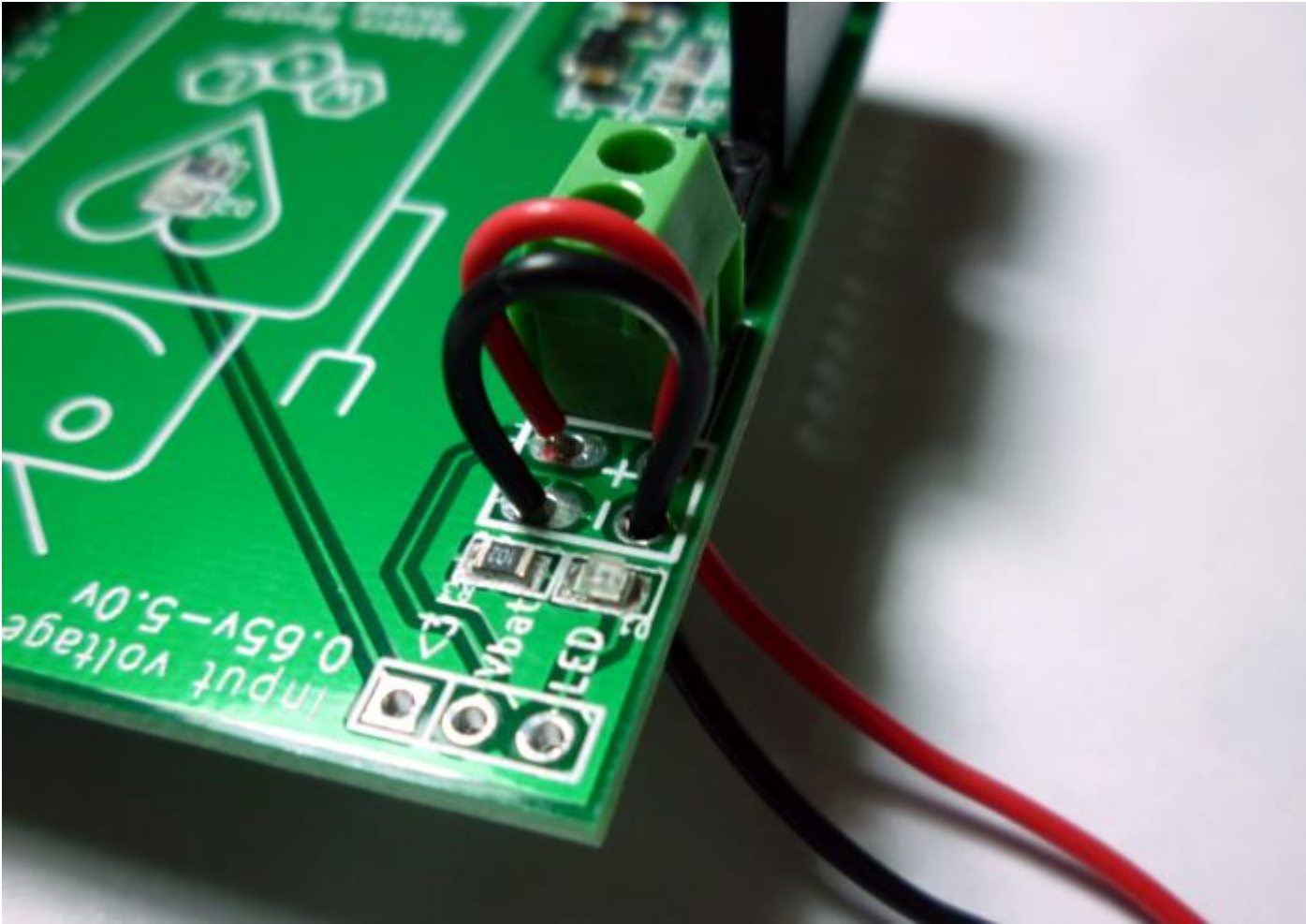
# Technologie raketowe

## Problemy z oscylatorami



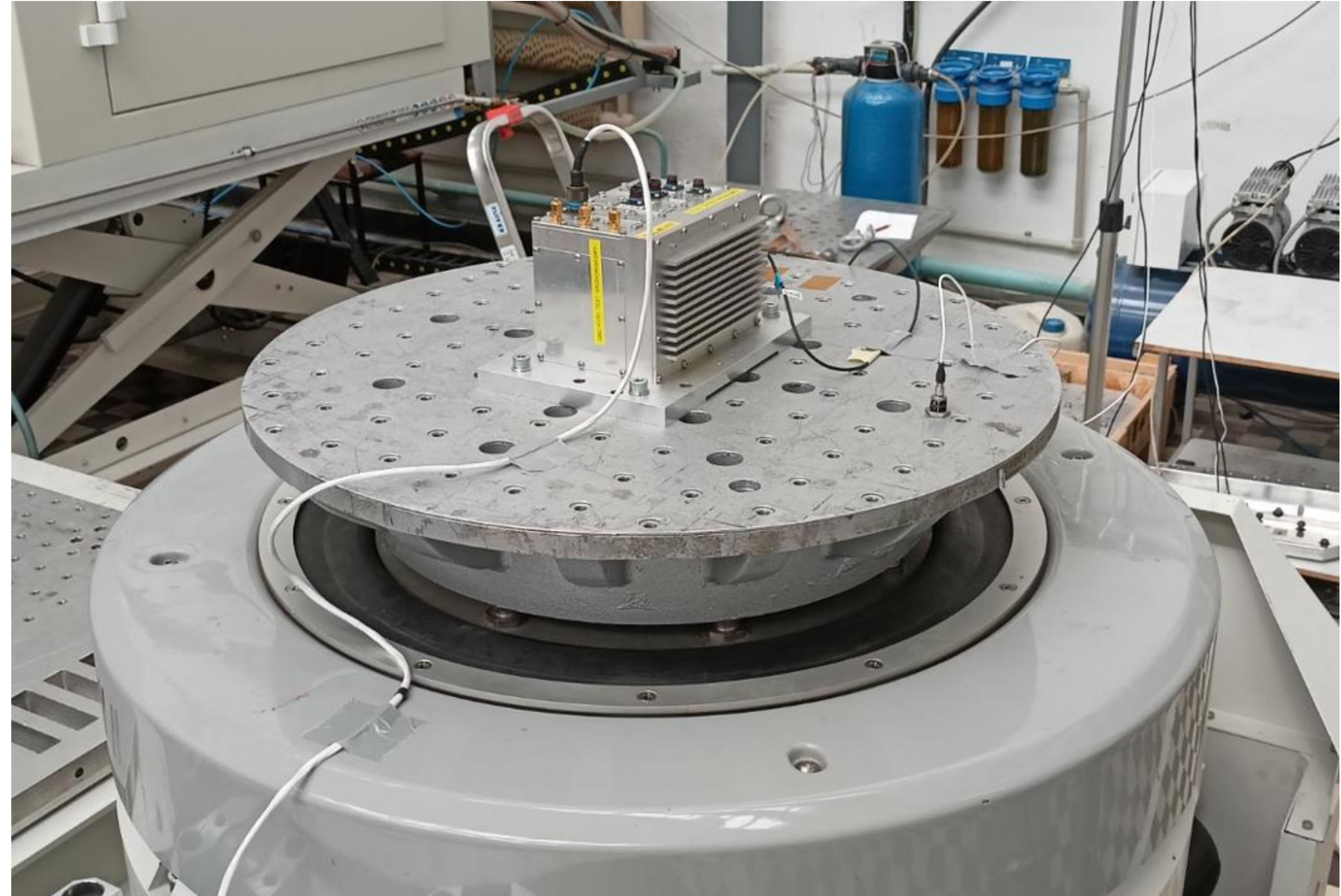
# Technologie raketowe

## Problemy mechaniczne



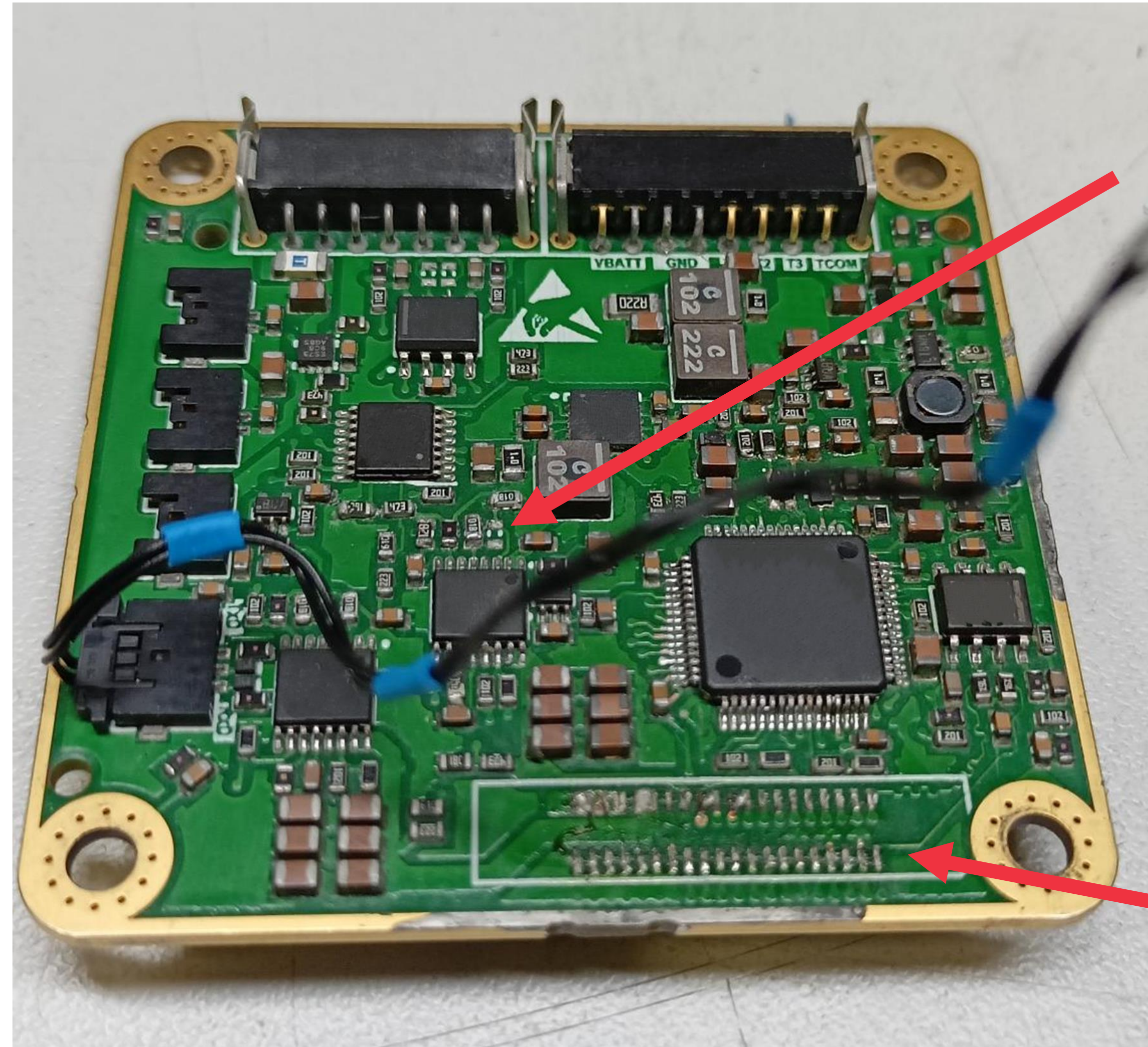
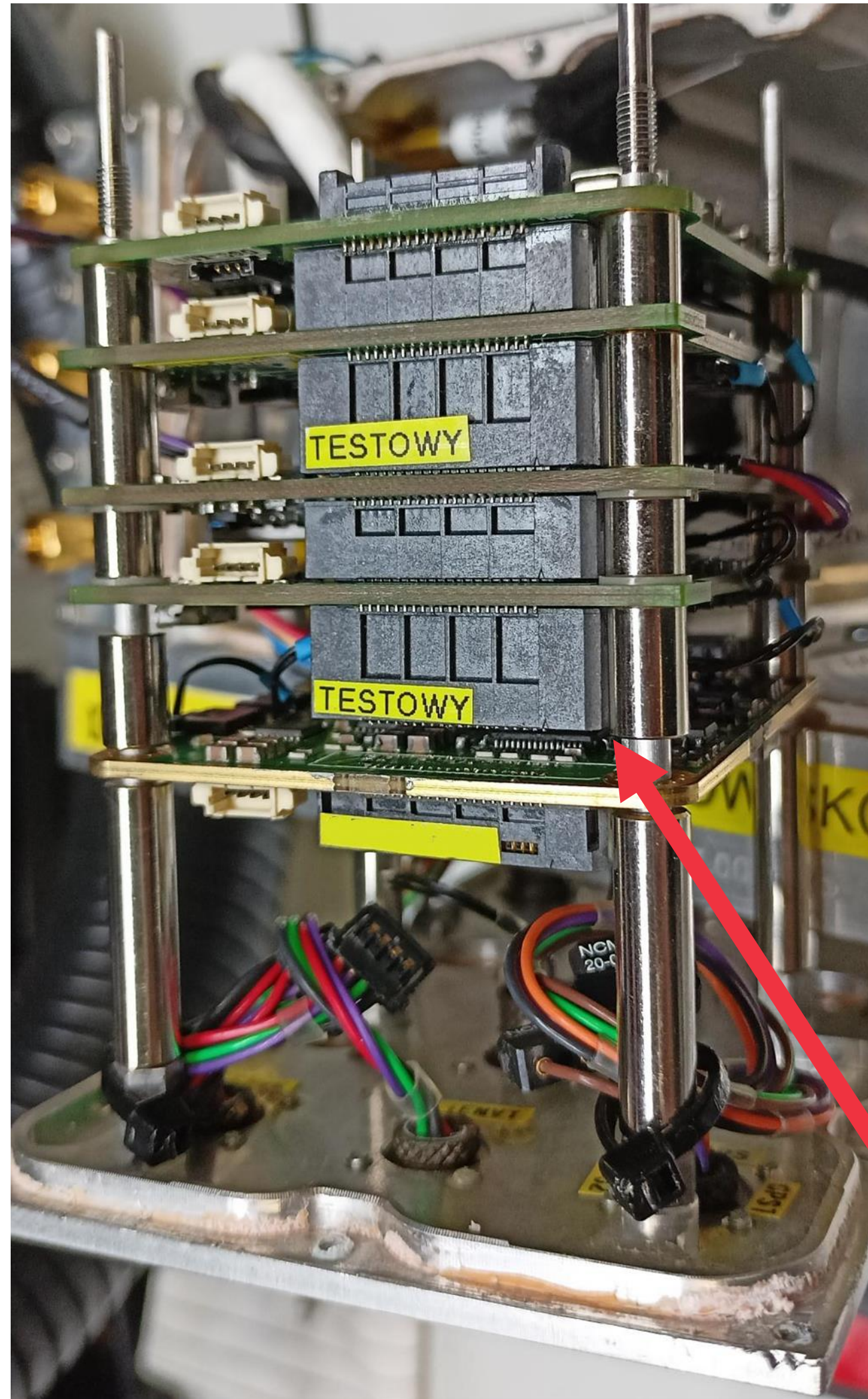
# Technologie raketowe

## Testy środowiskowe



# Technologie raketowe

## Testy środowiskowe – uszkodzenia

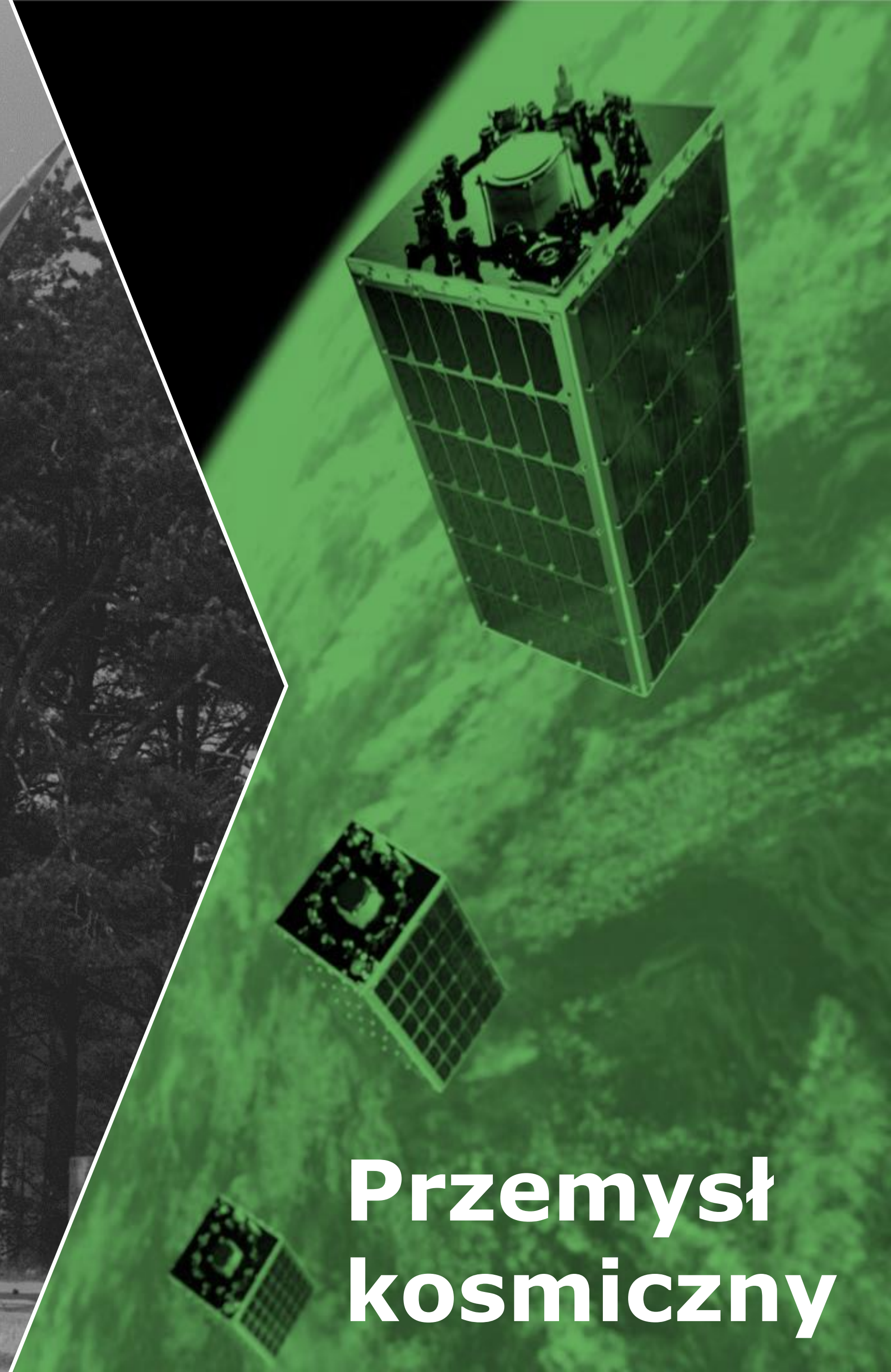




**Lotnictwo**



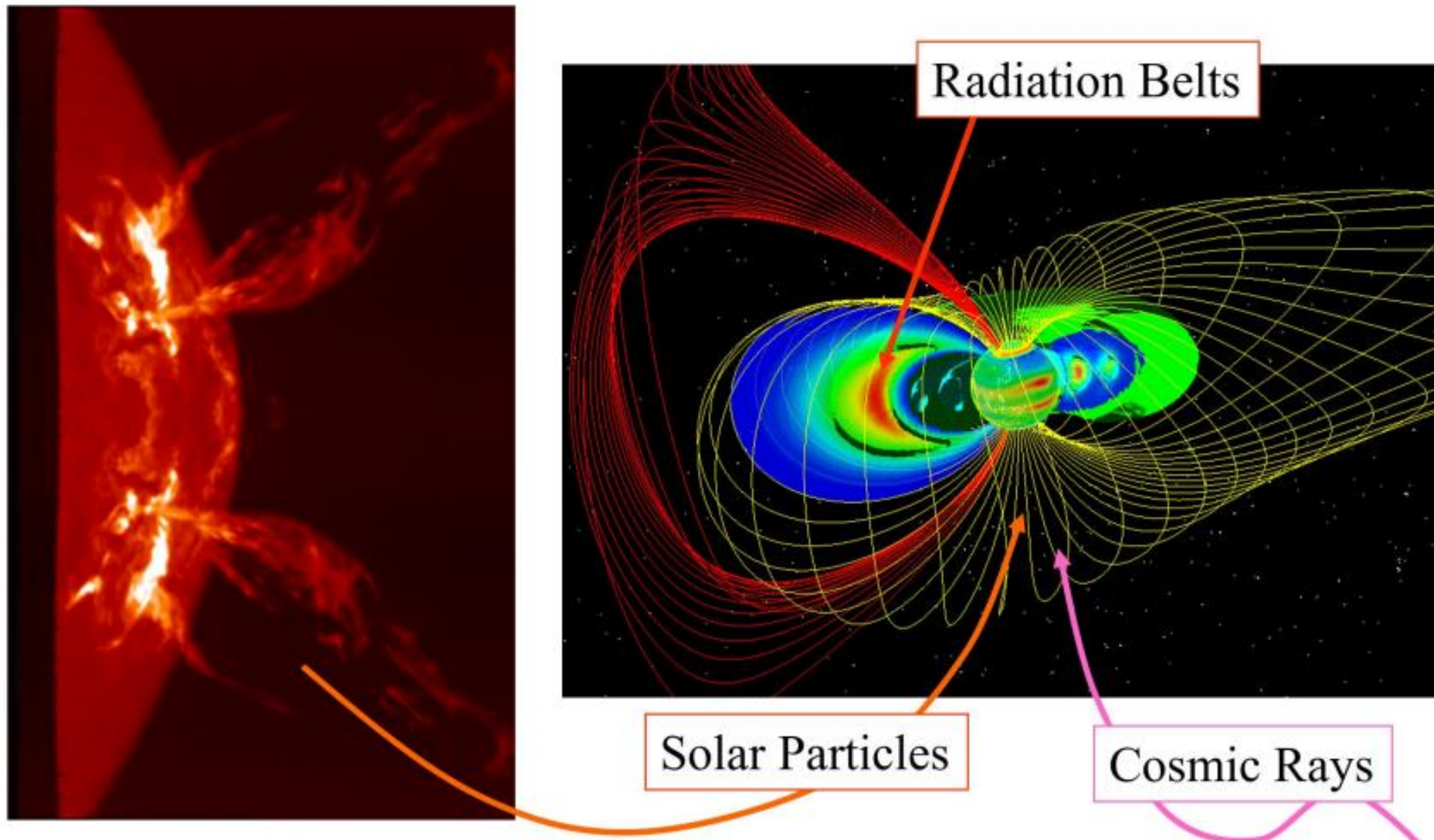
**Technologie  
rakietowe**



**Przemysł  
kosmiczny**

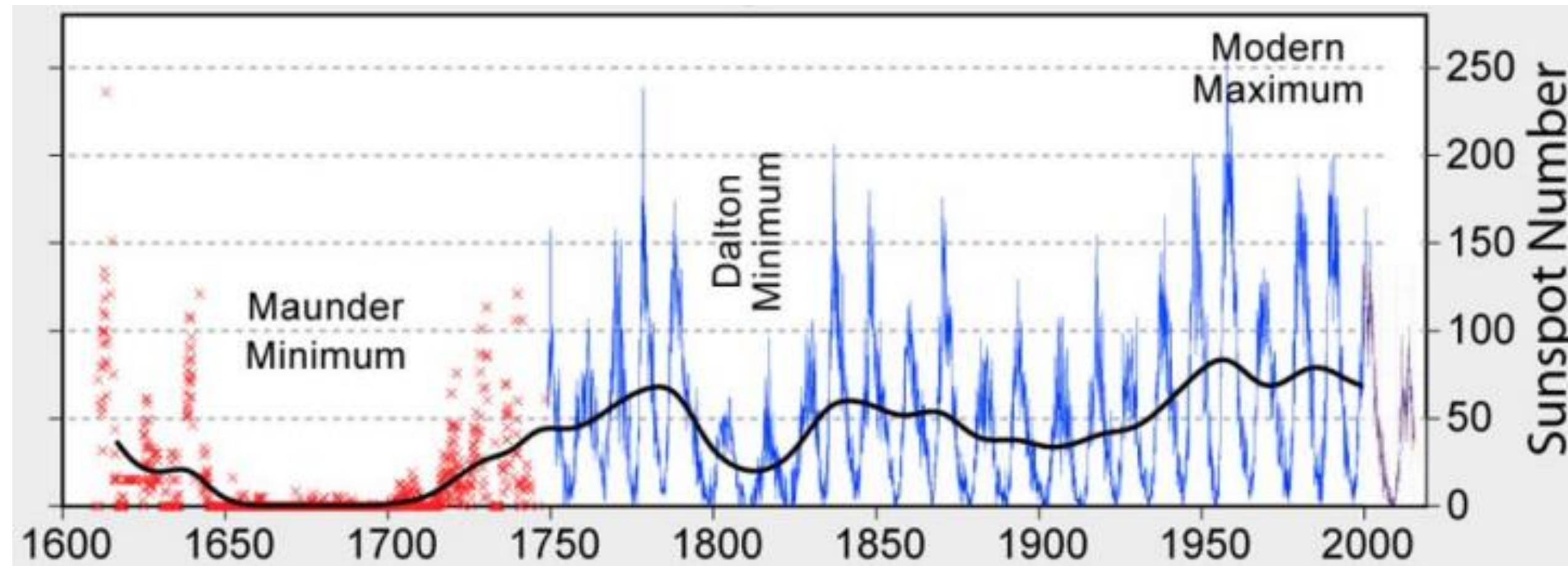


# Środowisko radiacyjne wokół Ziemi

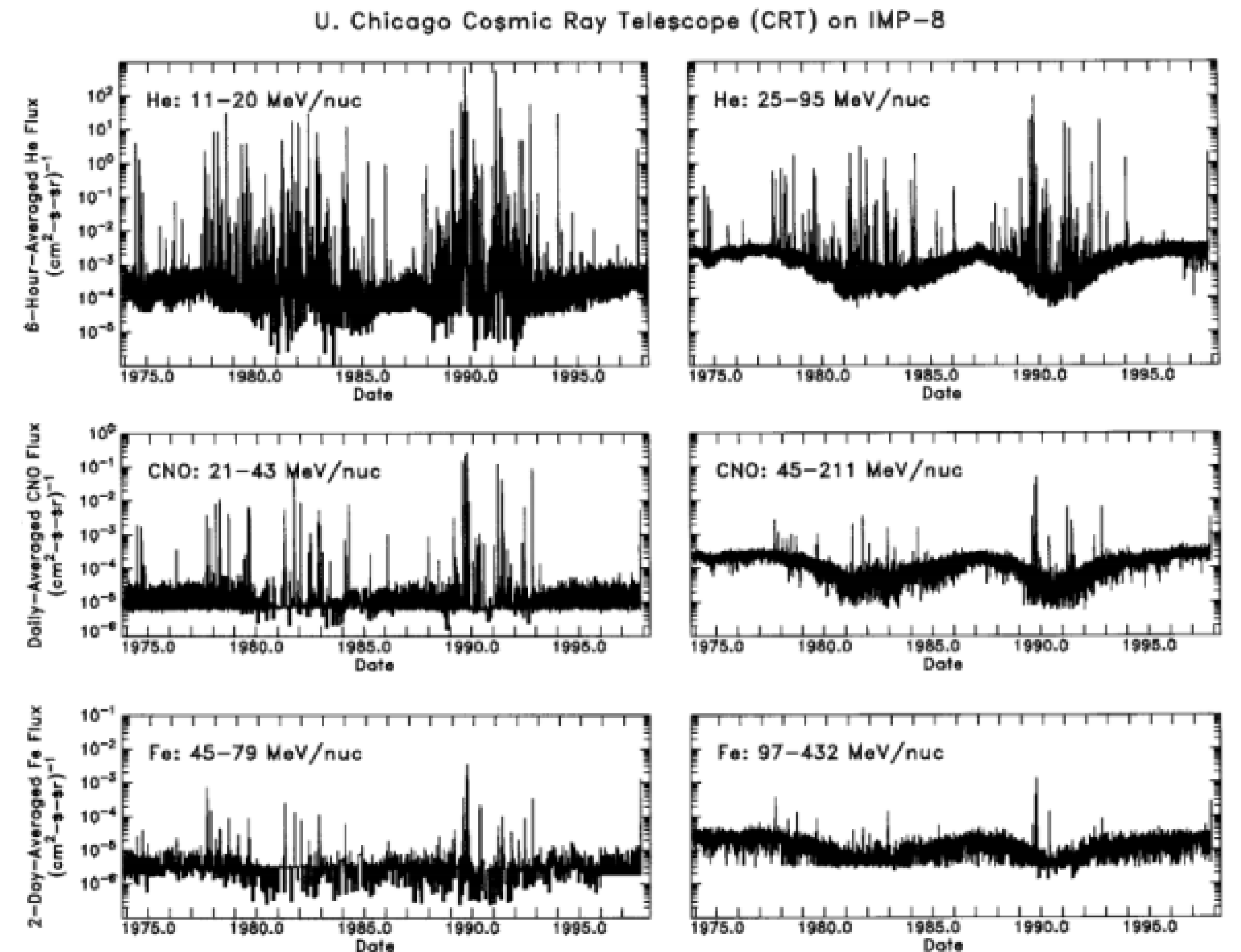


# Środowisko radiacyjne wokół Ziemi

## Promieniowanie słoneczne i kosmiczne



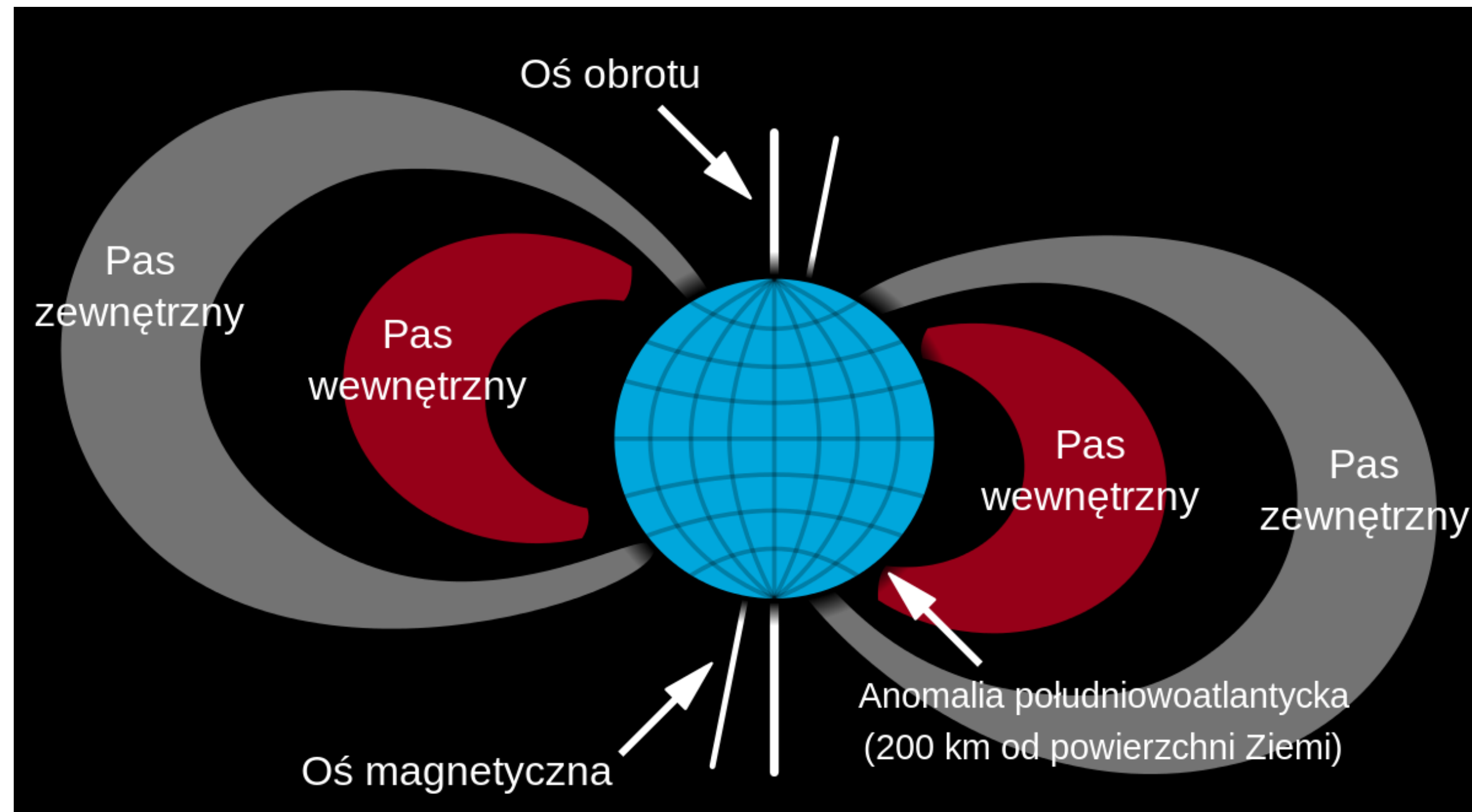
**Źródło:** Dr. Gerhard Drolshagen, Space weather and the variable radiation environment in space, RADSAGA Training Workshop – March 2018



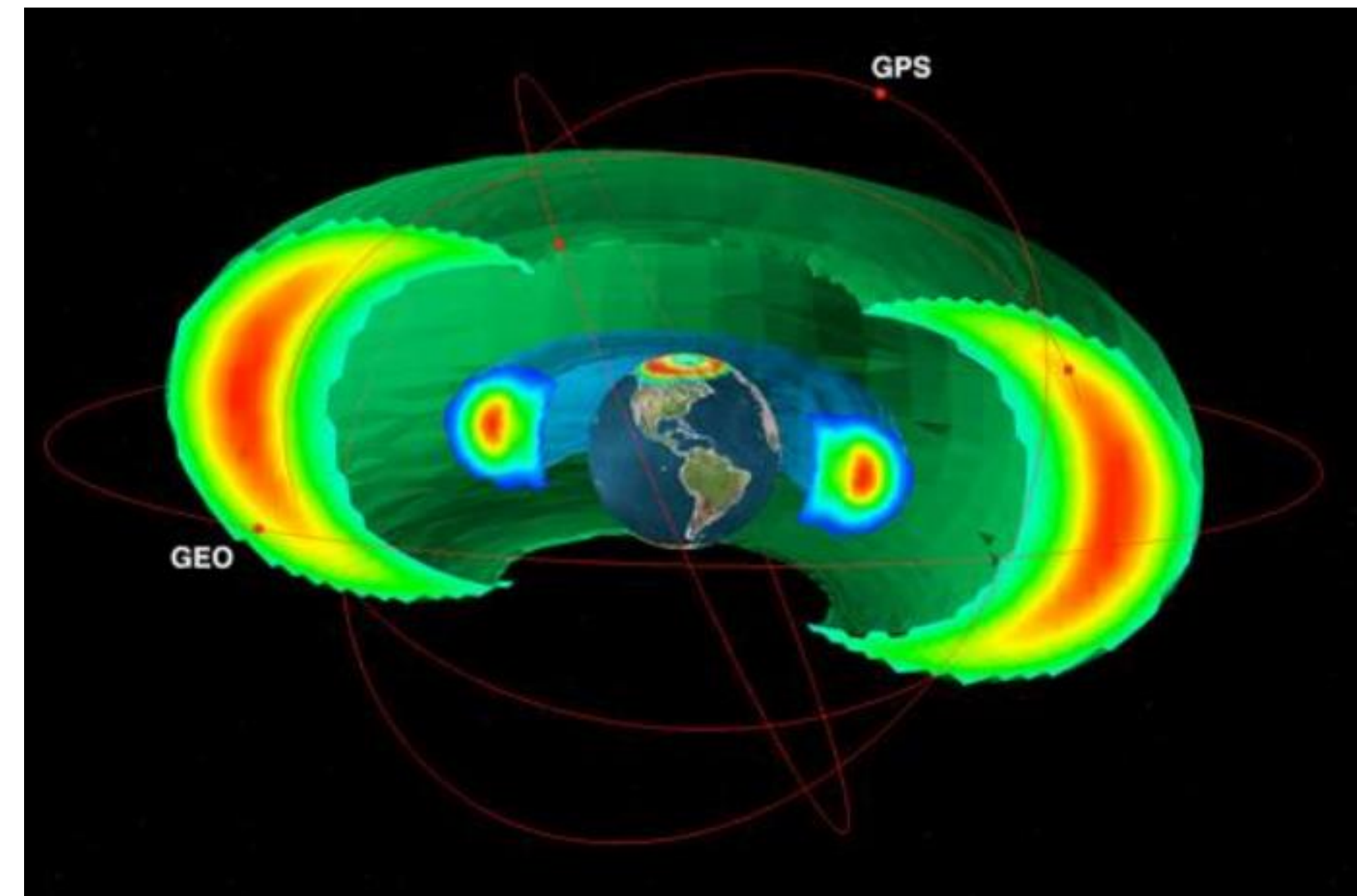
**Źródło:** A. J. Tylka, W. F. Dietrich, “IMP-8 observations of the spectra, composition, and variability of solar heavy ions at high energies relevant to manned space missions”, Radiation Measurements, 1999, Vol.30(3), pp.345-359

# Środowisko w kosmosie

## Pasy radiacyjne – pas Van Allena

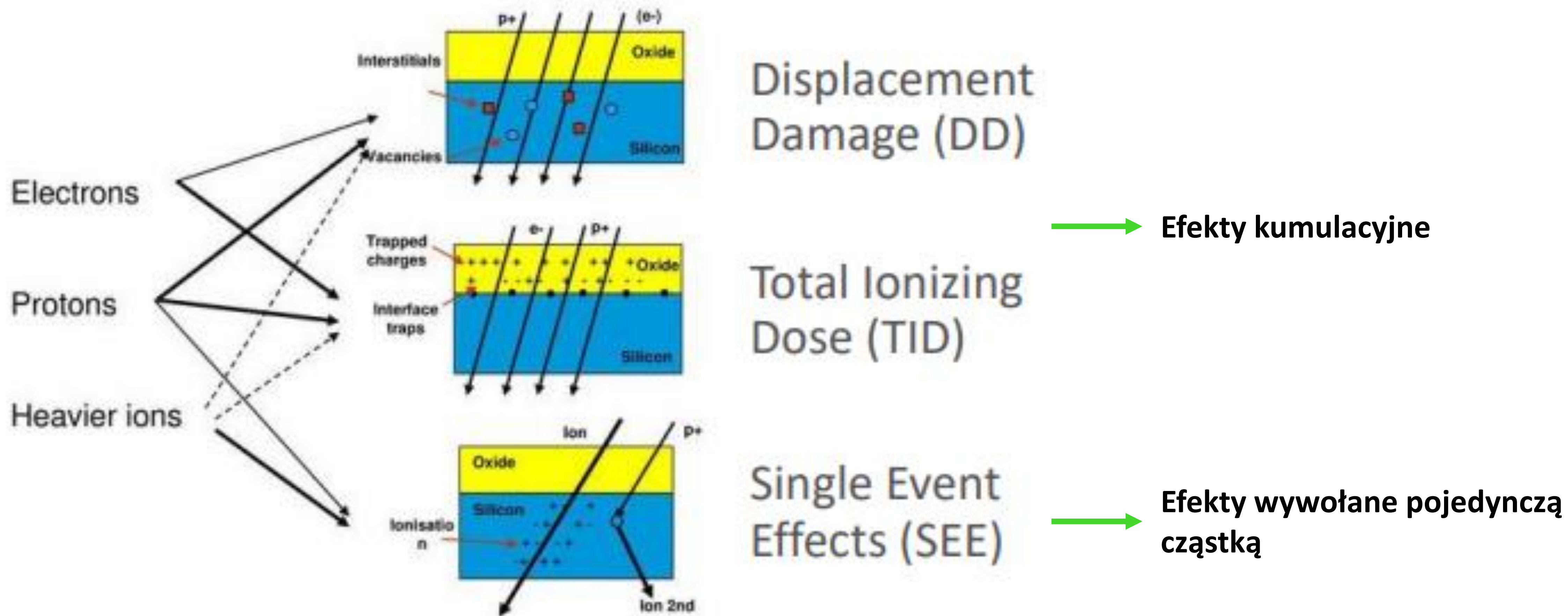


Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pas\\_Van\\_Allena](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pas_Van_Allena)



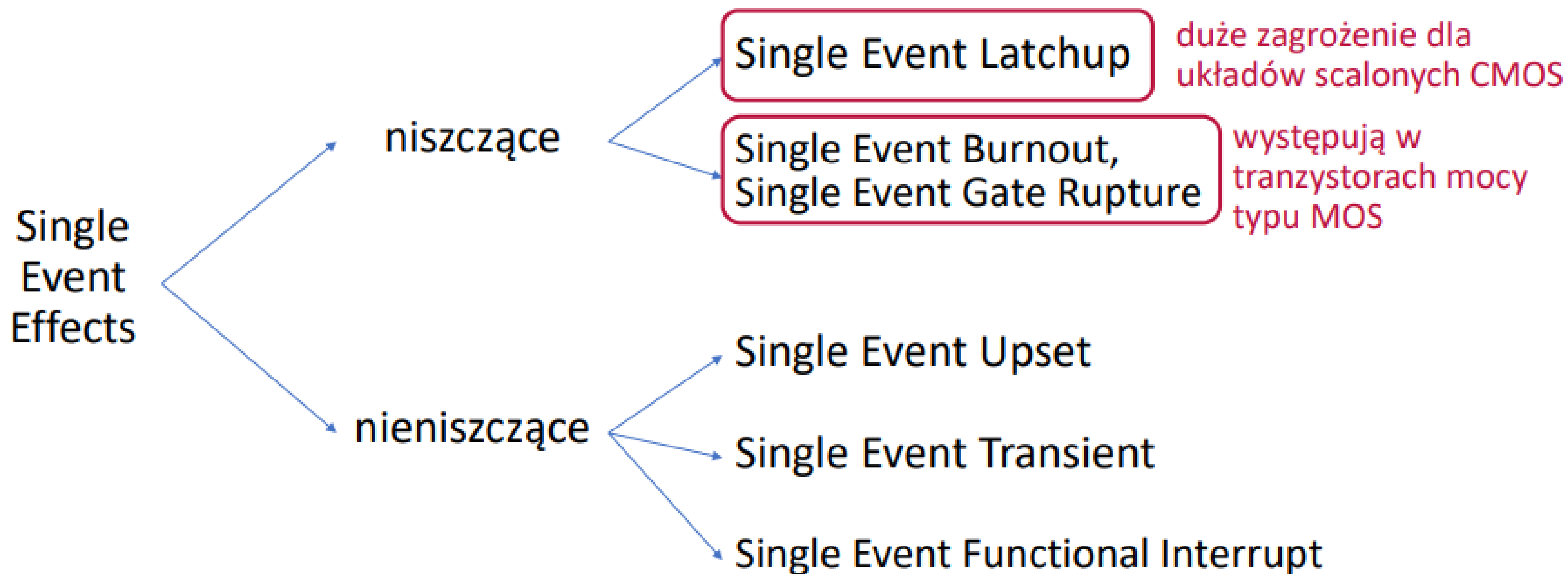
Źródło: Dr. Gerhard Drolshagen, Space weather and the variable radiation environment in space, RADSAGA Training Workshop – March 2018

# Zjawiska wywoływane przez promieniowanie TID, DD, SEE



# Zjawiska wywoływane przez promieniowanie

## Rodzaje zjawisk SEE



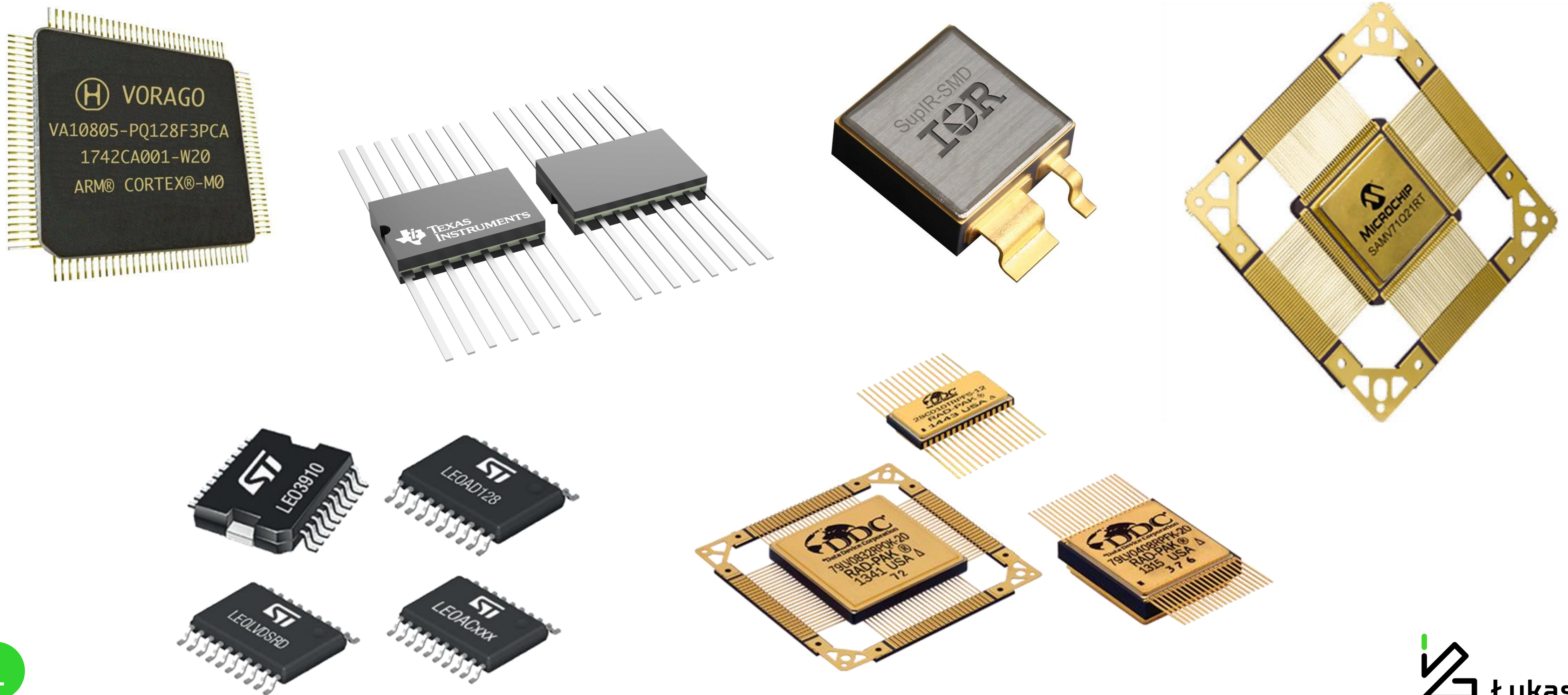
# Sposoby ochrony przed radiacją

## Dobór odpowiednich elementów

- Komponenty rad-hard / rad-tolerant
- Elementy sprawdzone doświadczalnie – testowane radiacyjnie
- Wybór komponentów posiadających „Flight heritage”
- Używanie komponentów tej samej serii do tych testowanych
- Wersje COTS układów odpornych na radiację
- Komponenty automotive grade lub military grade

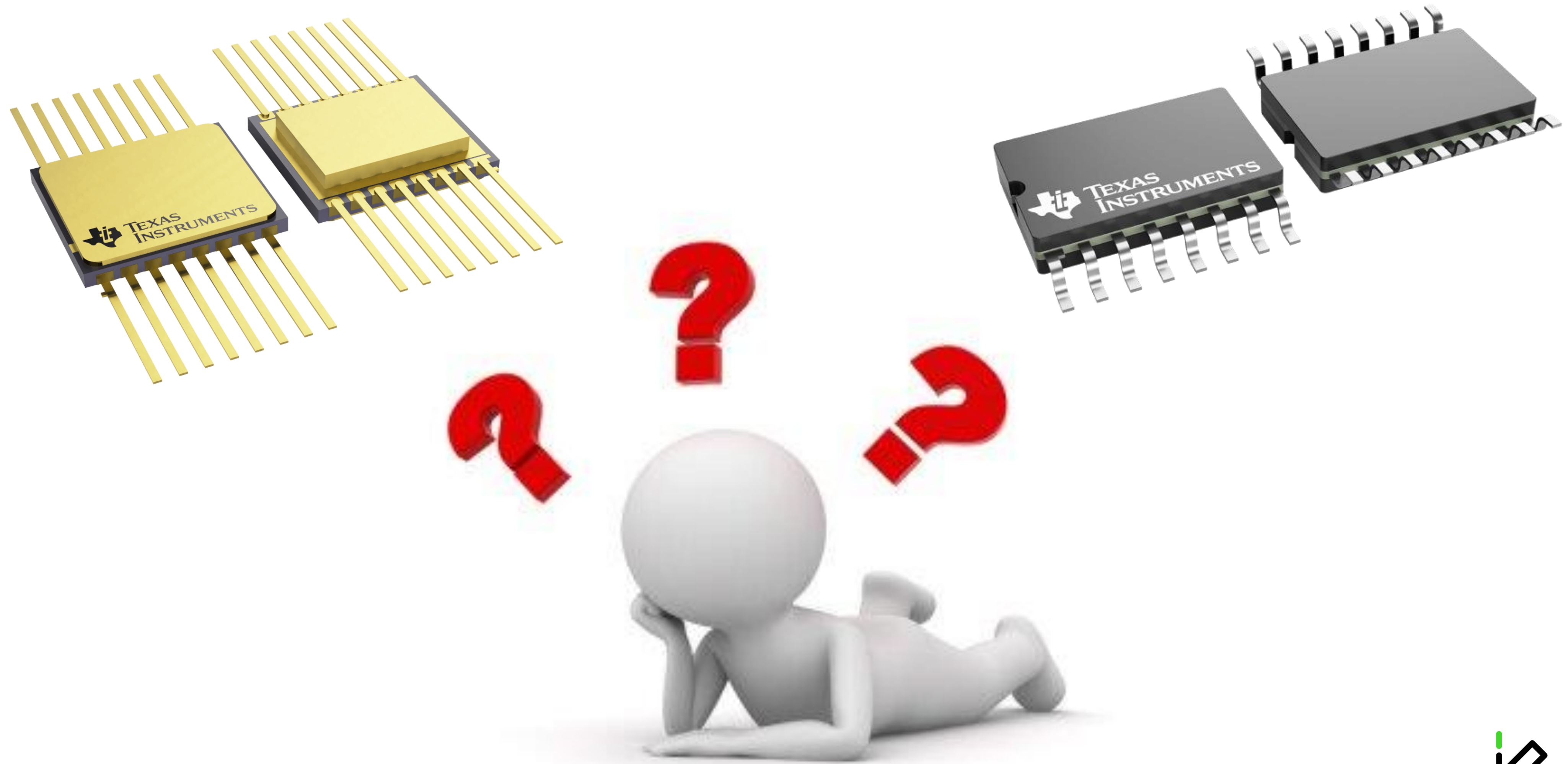
# Sposoby ochrony przed radiacją

## Elementy rad-hard i rad-tolerant

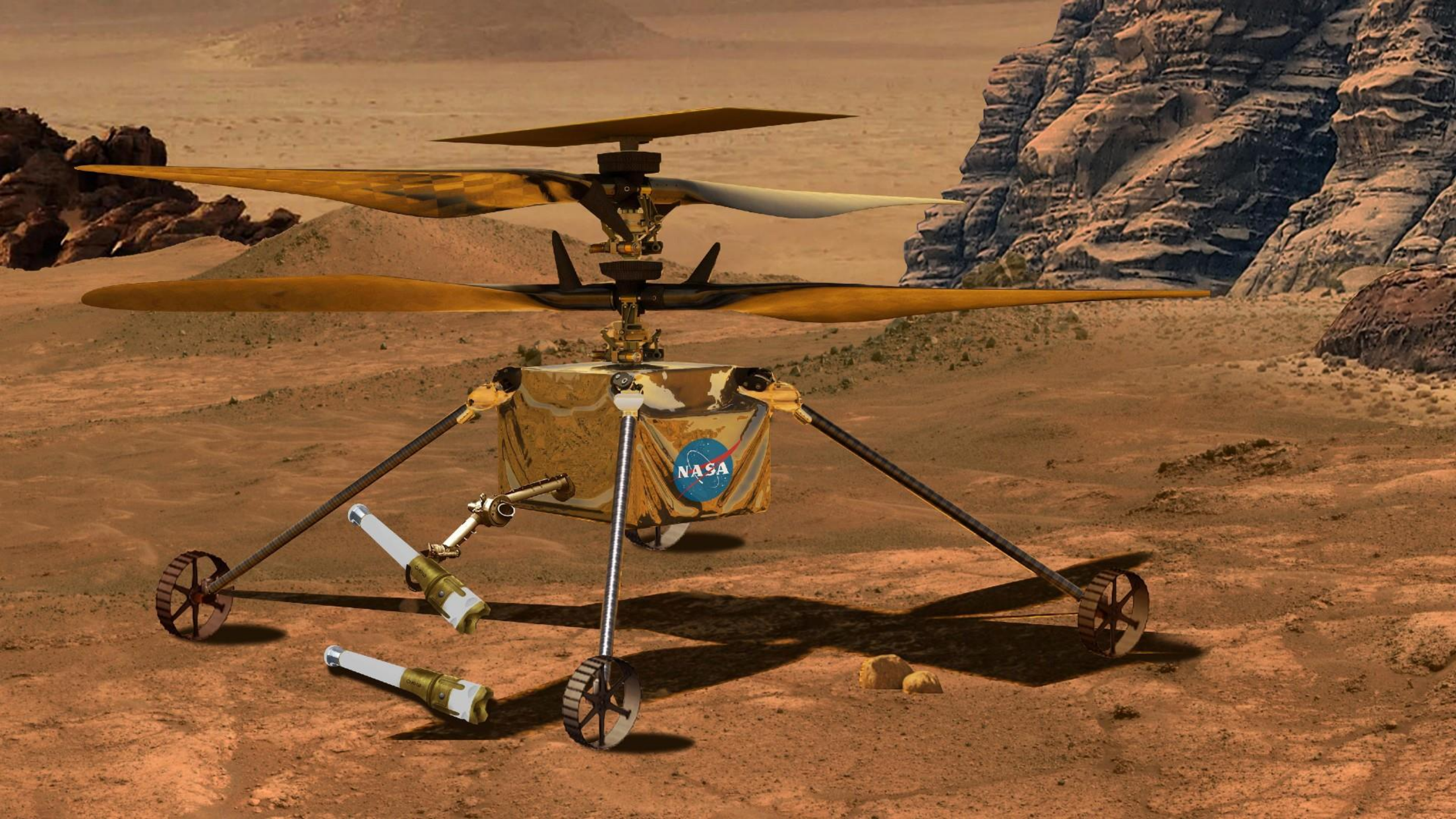


# Sposoby ochrony przed radiacją

## Komponenty COTS

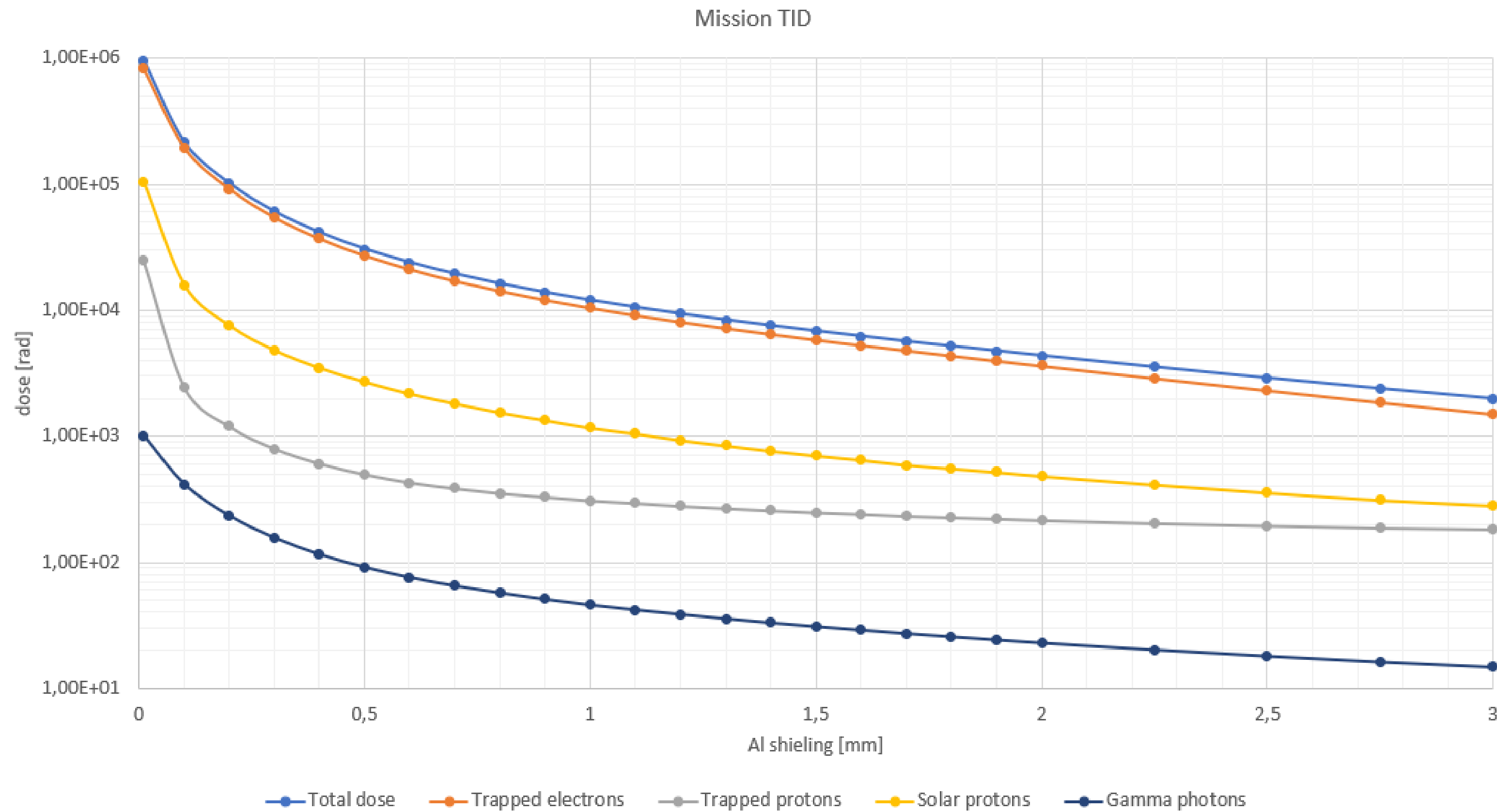




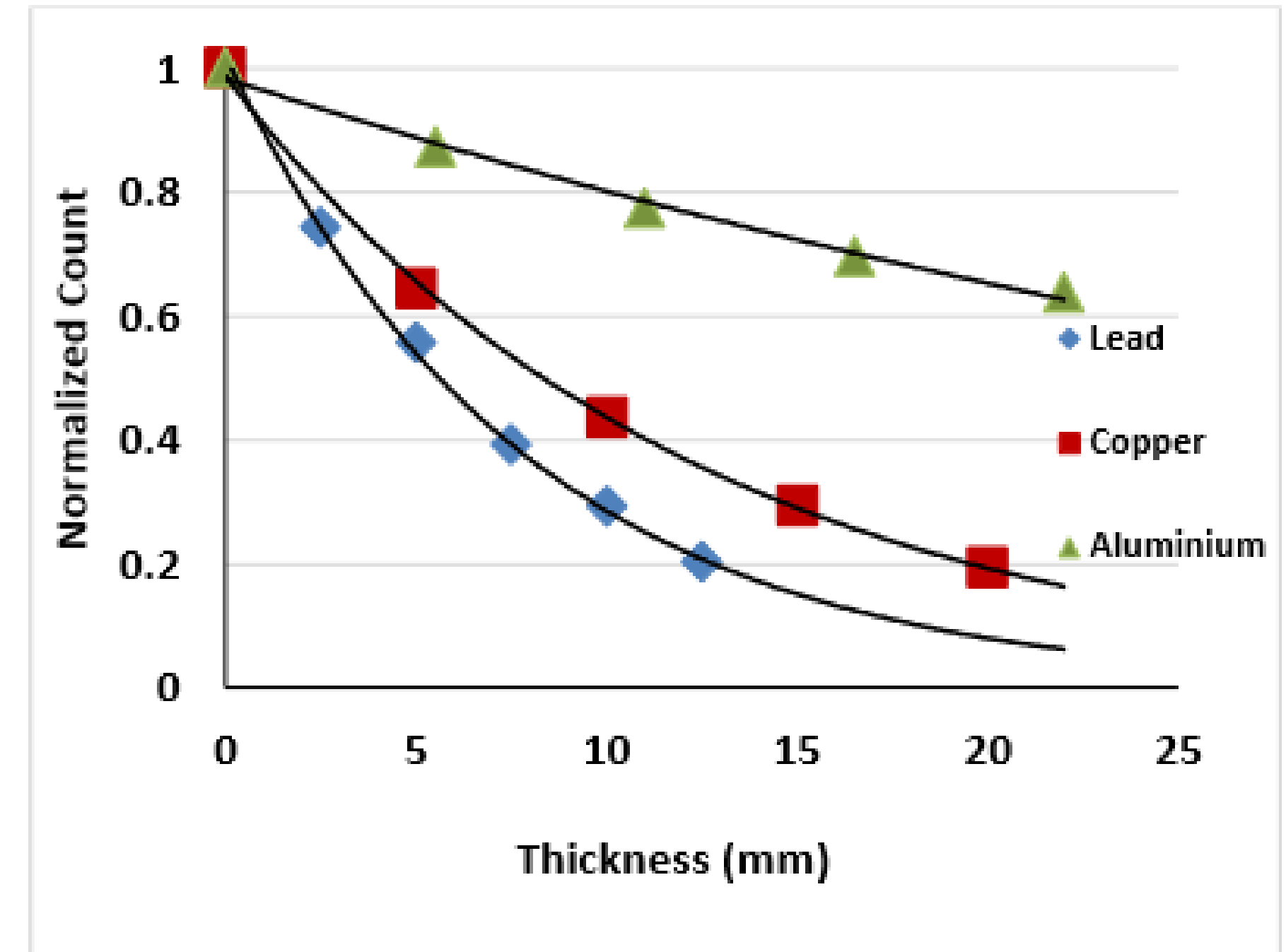


# Sposoby ochrony przed radiacją

## Obudowa i ekranowanie



**Źródło:** Michael J. Campola, Jonathan A. Pellish, "Radiation Hardness Assurance: Evolving for NewSpace", in: 2019 RADECS Short Course Notebook.



**Źródło:**

[https://www.researchgate.net/publication/327314178\\_Comparison\\_of\\_Lead\\_Copper\\_and\\_Aluminium\\_as\\_Gamma\\_Radiation\\_Shielding\\_Material\\_through\\_Experimental\\_Measurements\\_and\\_Simulation\\_Using\\_MCNP\\_Version\\_4c](https://www.researchgate.net/publication/327314178_Comparison_of_Lead_Copper_and_Aluminium_as_Gamma_Radiation_Shielding_Material_through_Experimental_Measurements_and_Simulation_Using_MCNP_Version_4c)

# Sposoby ochrony przed radiacją

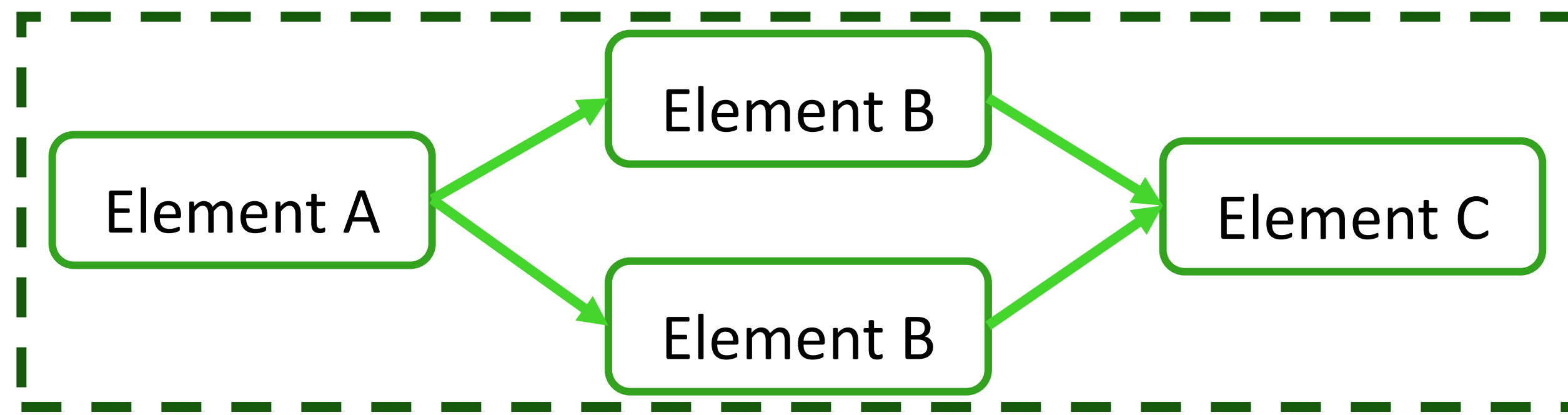
## Zasady projektowe – przemyślana architektura

- Wyznaczenie krytycznych elementów
- Wydzielenie sekcji możliwych do odłączania
- Wyznaczenie priorytetowych parametrów, które trzeba koniecznie monitorować
- Maksymalne uproszczenie projektu
- Rezystory w szeregu na liniach w celu zmniejszenia prądów w wypadku SEU
- Redundancja!

# Sposoby ochrony przed radiacją

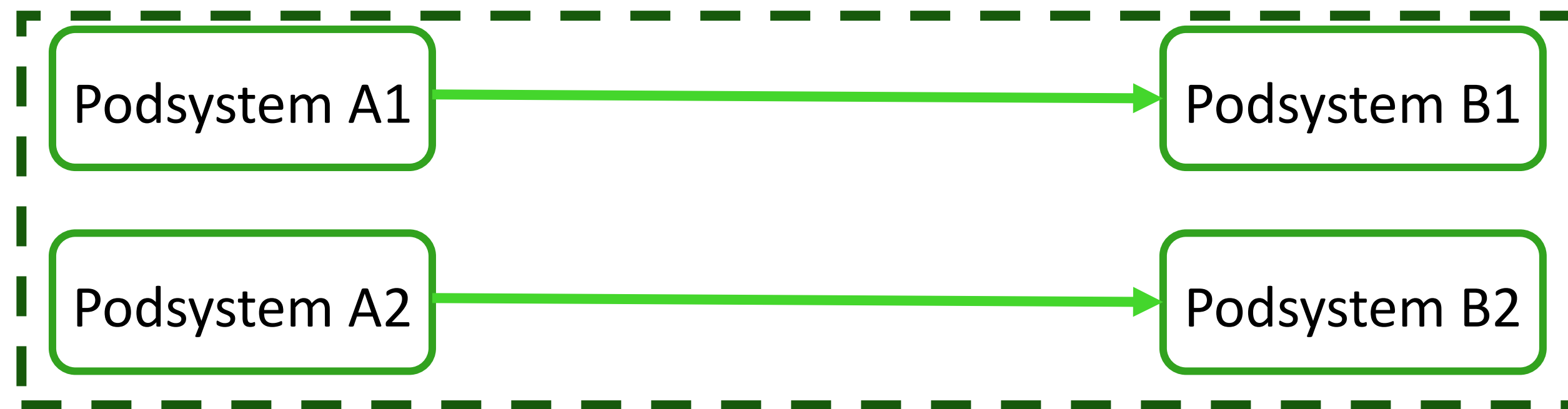
## Zasady projektowe - redundancja

1)



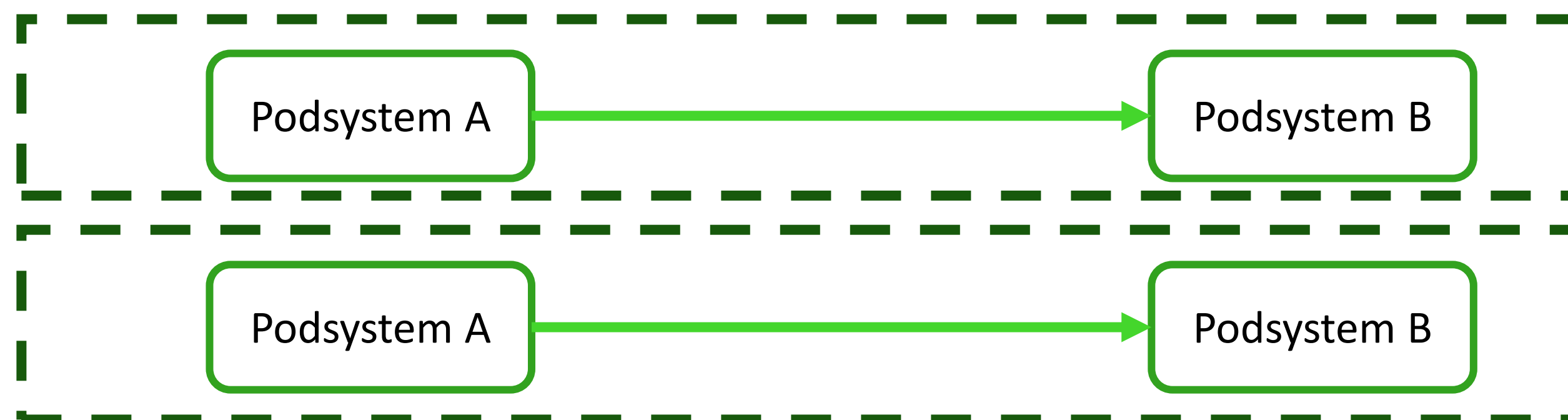
Urządzenie 1

2a)



Urządzenie 1

2b)

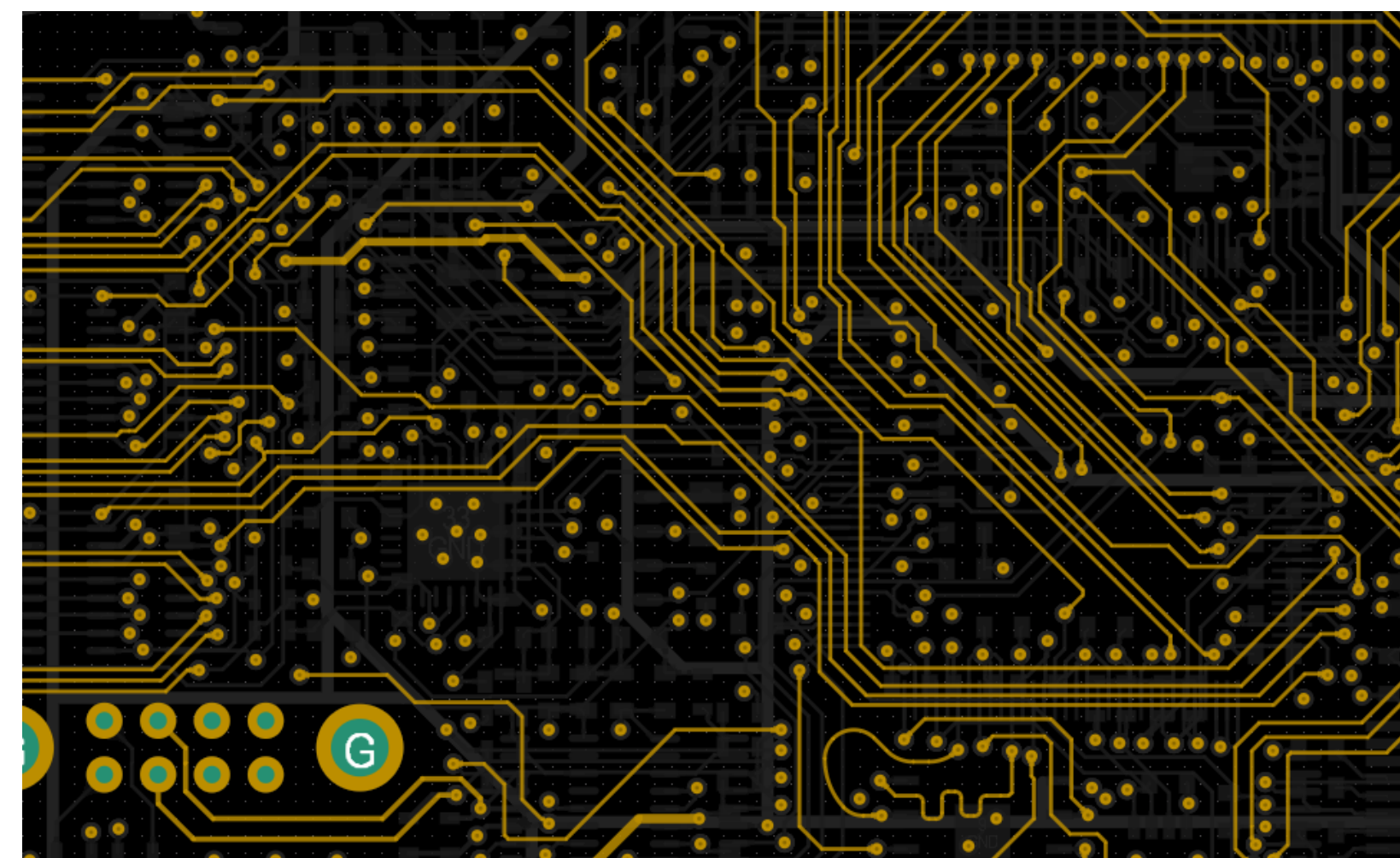
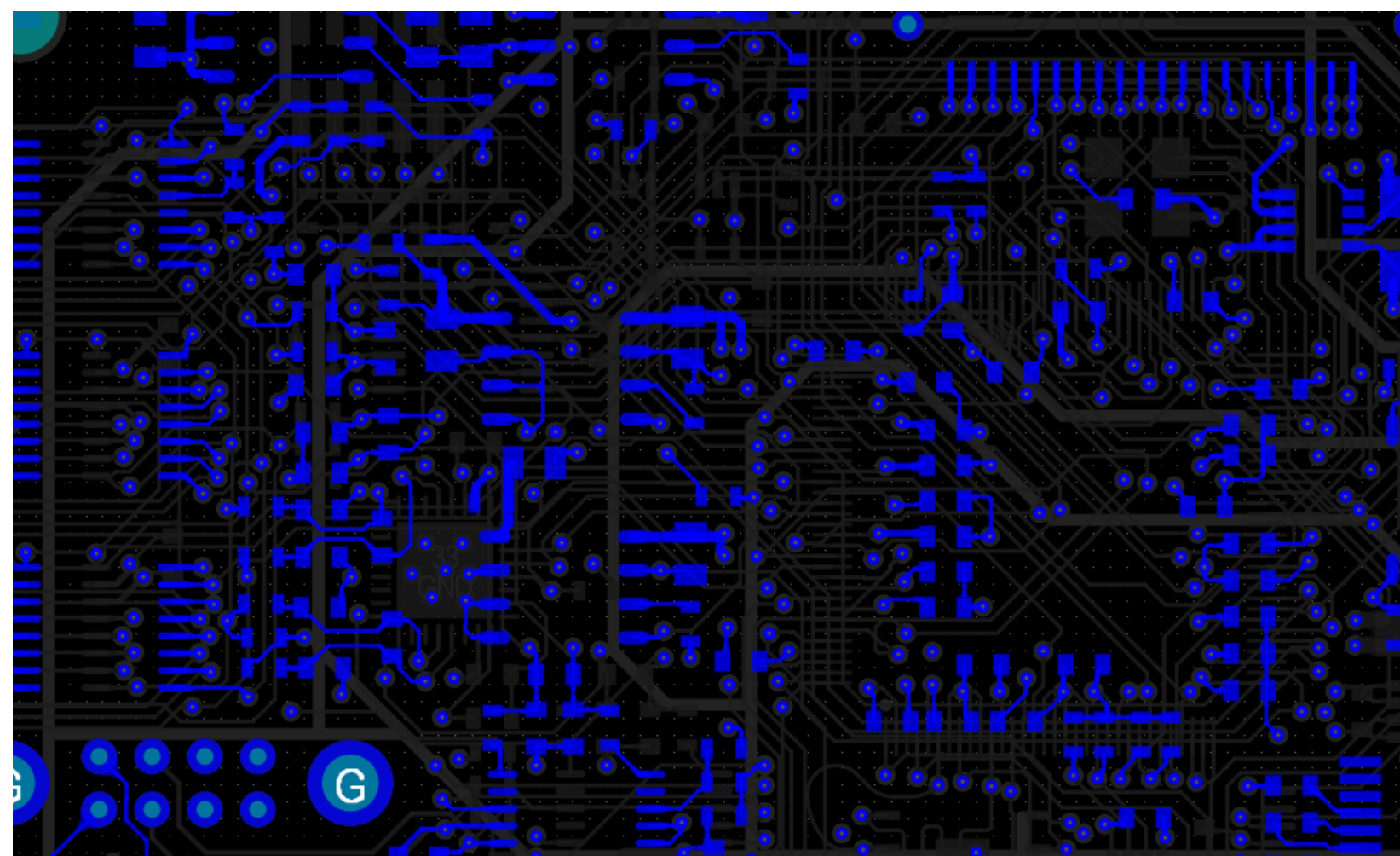
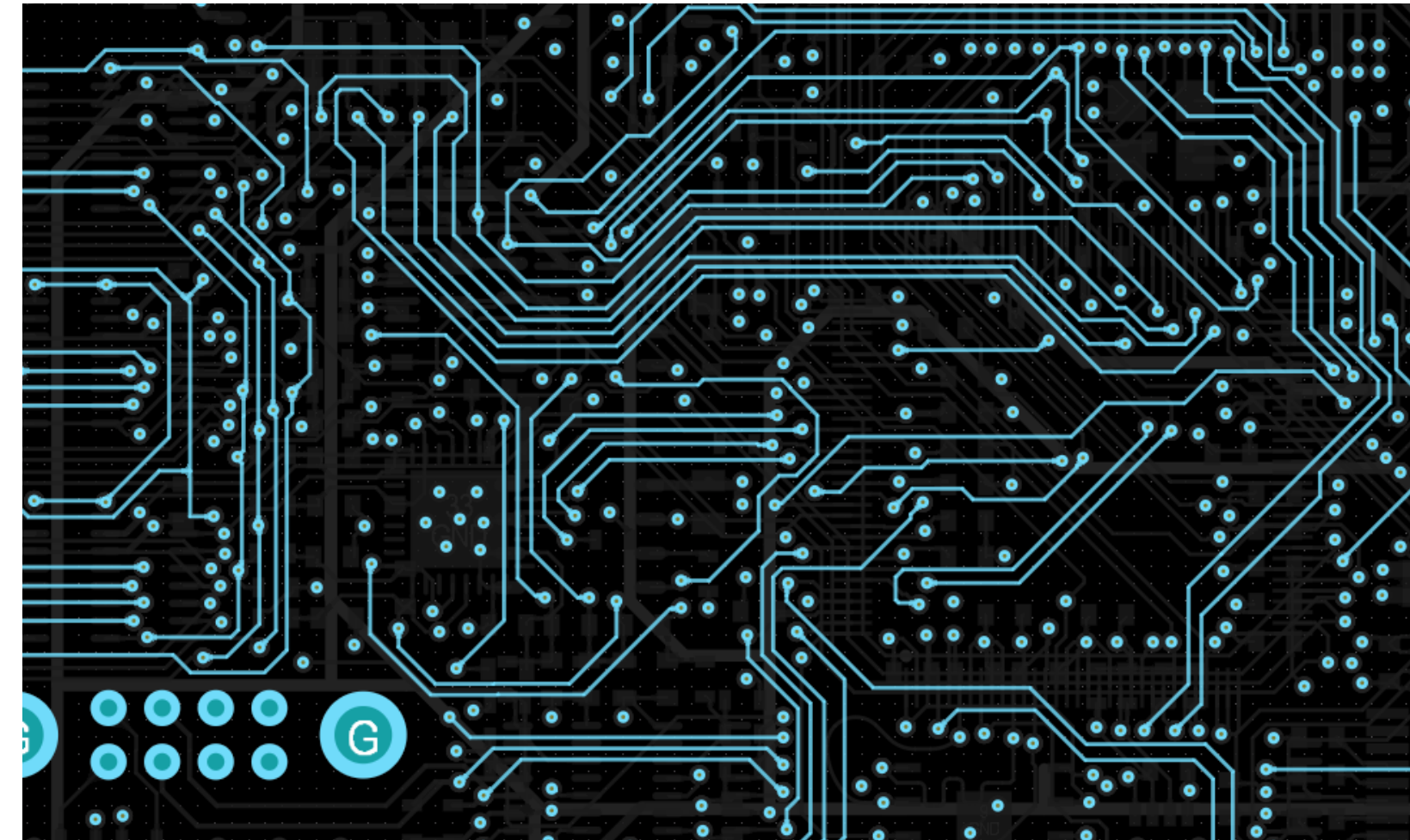
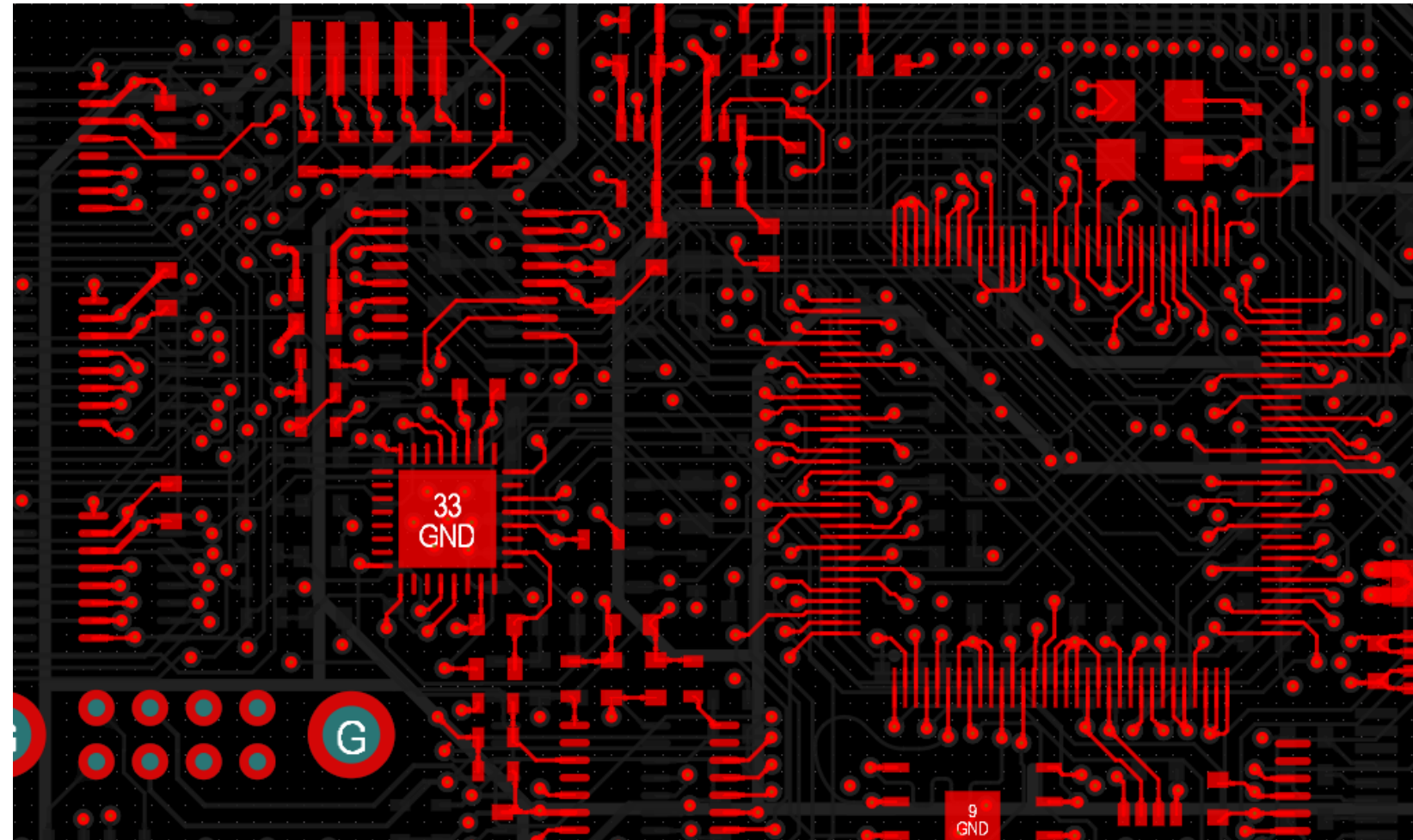


Urządzenie 1

Urządzenie 2

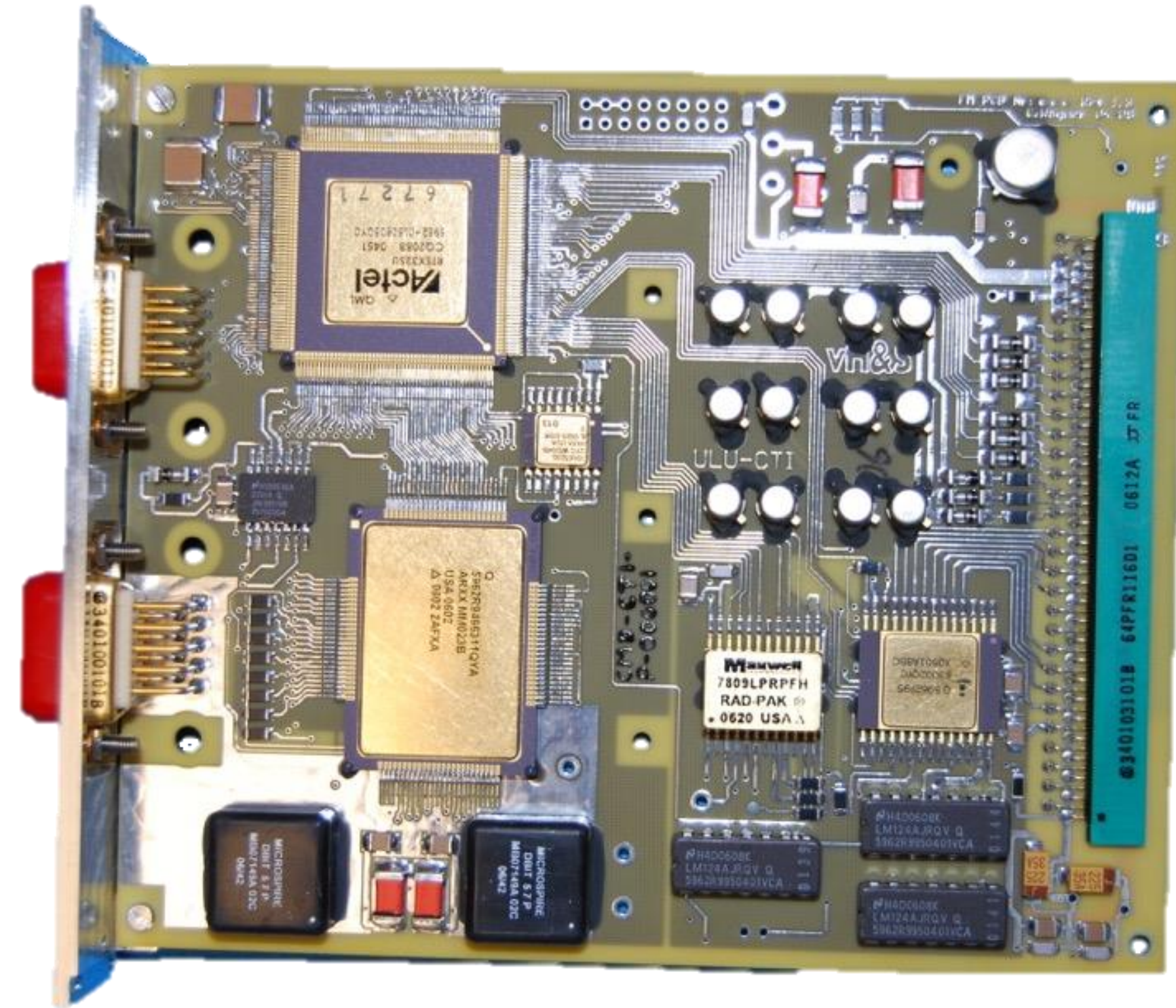
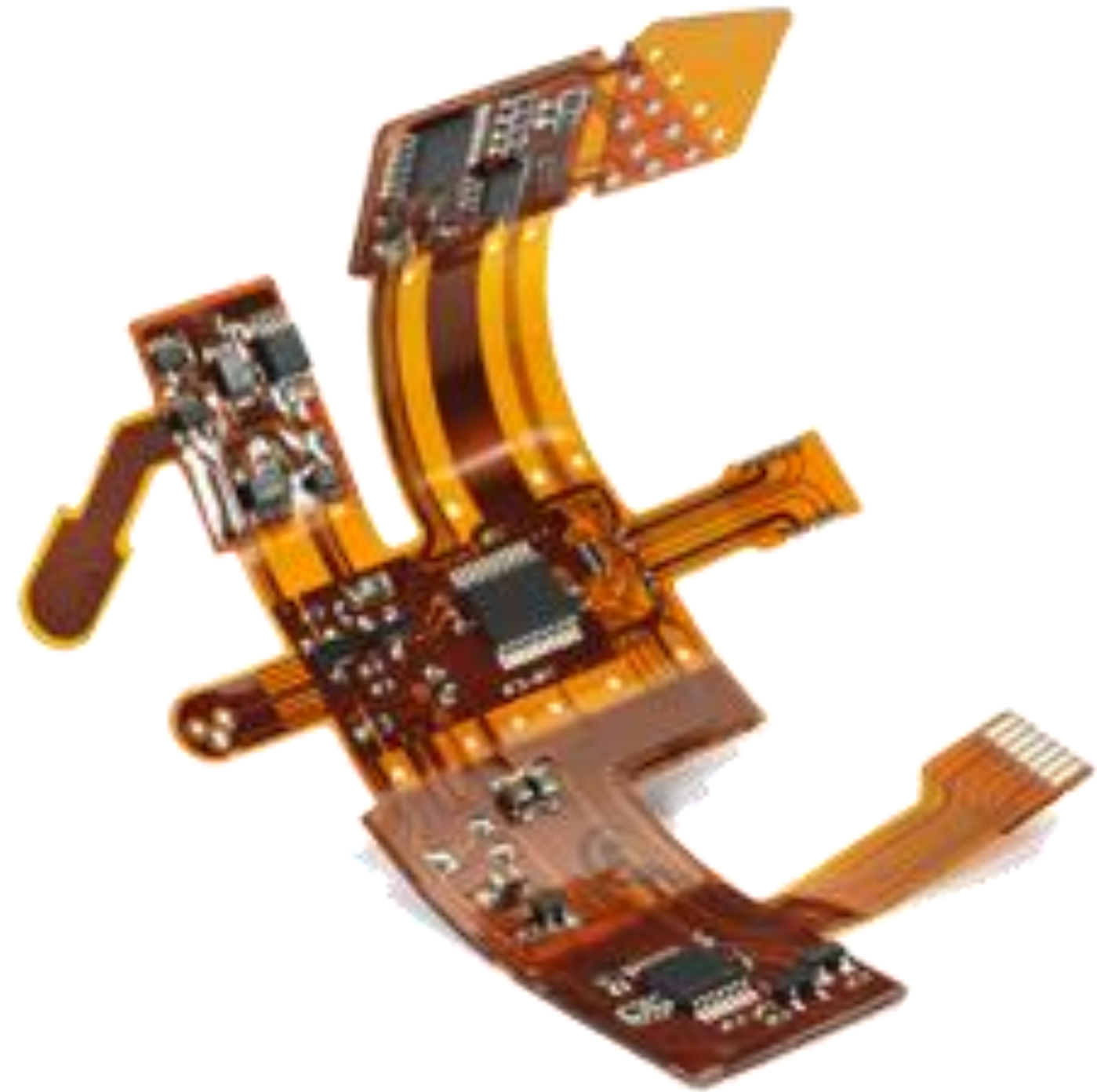
# Sposoby ochrony przed radiacją

## Zasady projektowe - ECSS-Q-ST-70-12C



# Sposoby ochrony przed radiacją

## Zasady projektowe - ECSS-Q-ST-70-12C



# Pytania?



**Łukasiewicz**  
Institute of Aviation

AL. KRAKOWSKA 110/114, 02-256 WARSZAWA, POLAND

+48 22 846 00 11 | ILOT@ILOT.EDU.PL | WWW.ILOT.EDU.PL

