



# **Kompleksowa ochrona ESD**

**Od standardów globalnych  
do praktyki warsztatowej**

Zrozumienie zagrożenia, ochrona nowoczesnych komponentów  
i certyfikacja stanowiska pracy.

# Niewidzialny wróg: Natura wyładowania elektrostatycznego

ESD (Electrostatic Discharge) to gwałtowne, krótkotrwałe wyrównanie potencjałów. Może nastąpić przez dotyk, iskrę lub pośrednio przez narzędzie.



## CZŁOWIEK

Próg odczuwania: **> 3000 V**

Może zgromadzić tysiące woltów nie czując nic.



## ELEKTRONIKA

Próg uszkodzenia: **50–100 V**

Nowoczesne układy CMOS są niszczone przez ładunki niewyczuwalne dla ludzi.

**Wniosek: Brak odczuwalnego 'kopnięcia' nie oznacza braku zagrożenia.**

# Studium przypadku: Dlaczego nowoczesne układy są tak wrażliwe?

## Analiza układów LVDS (Texas Instruments DS90C032)

### Szybkość i Wydajność:

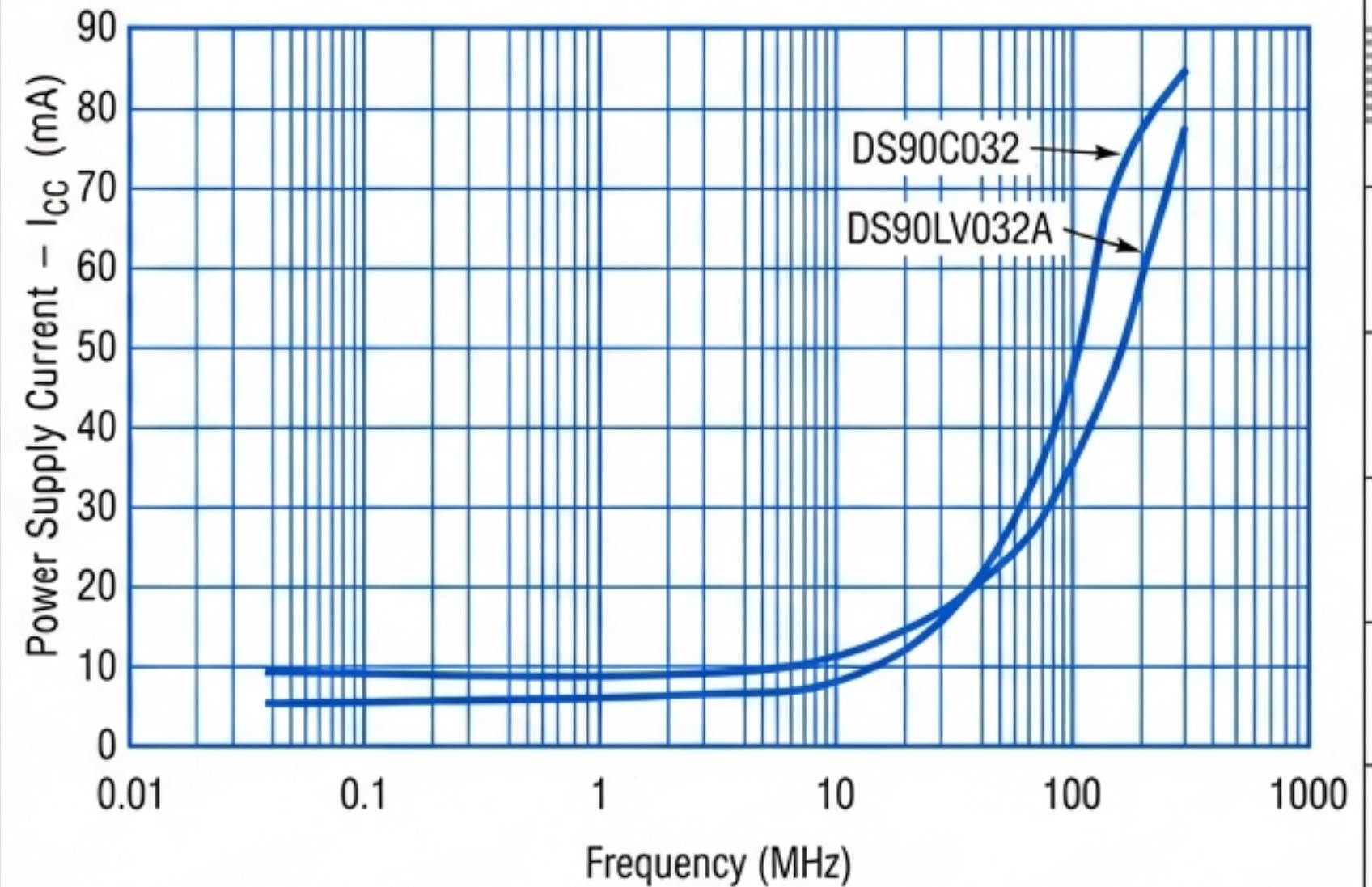
- Praca z częstotliwością: **200 MHz+**
- Minimalne zużycie energii

### Konstrukcja:

- Sygnały różnicowe o amplitudzie ok. **300 mV**
- Wymagają dopasowania impedancji **100Ω**

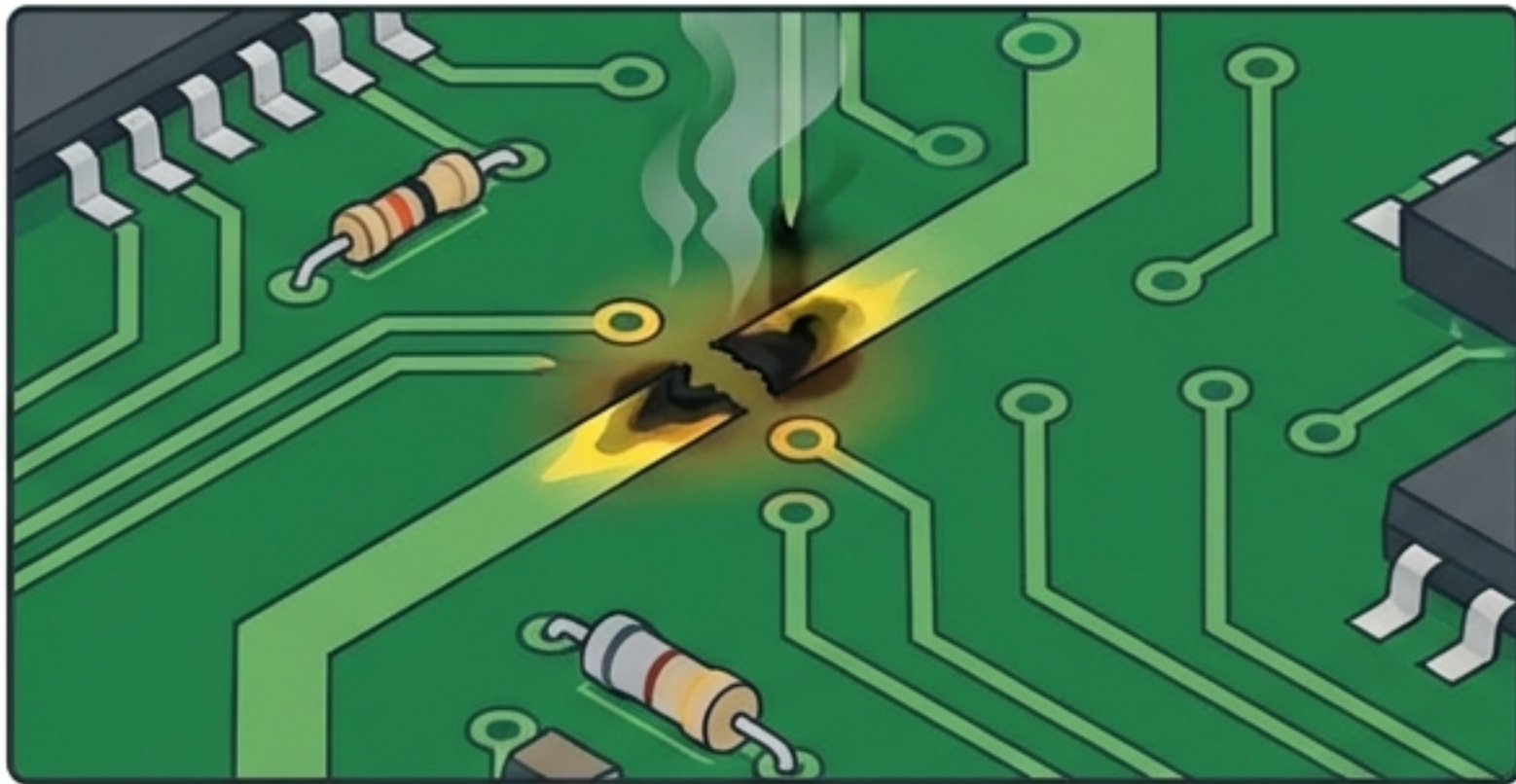
### Ryzyko: ⚠

- **Mikroskopijna grubość** izolacji wewnętrznej.
- **Wysokie napięcie ESD** łatwo przebija bramki tranzystorów.



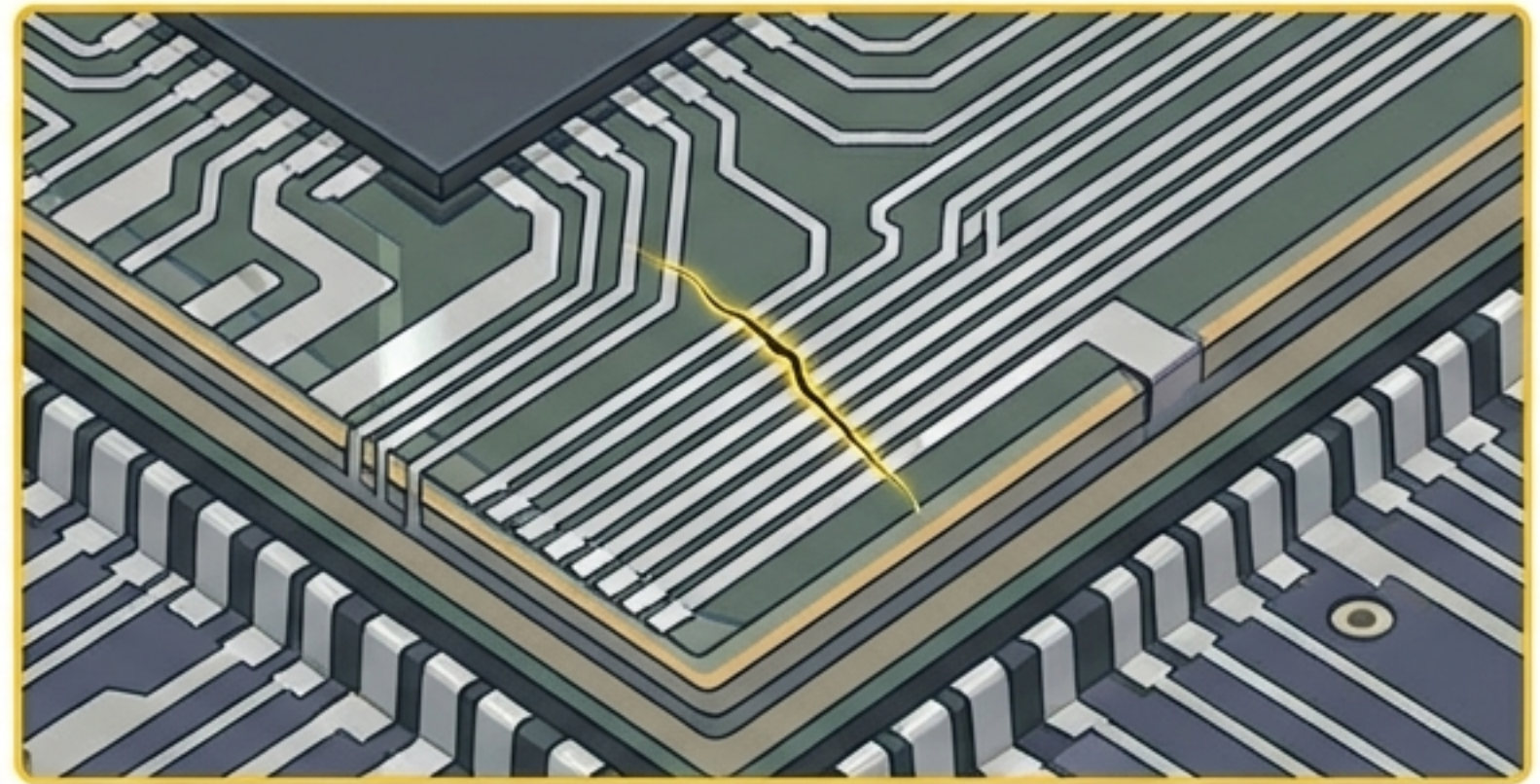
# Cichy zabójca: Dwa oblicza uszkodzeń

## Uszkodzenie natychmiastowe (Catastrophic Failure)



- Urządzenie martwe od razu
- Zwarcie lub przerwa w strukturze
- Łatwe do wykrycia w testach QC

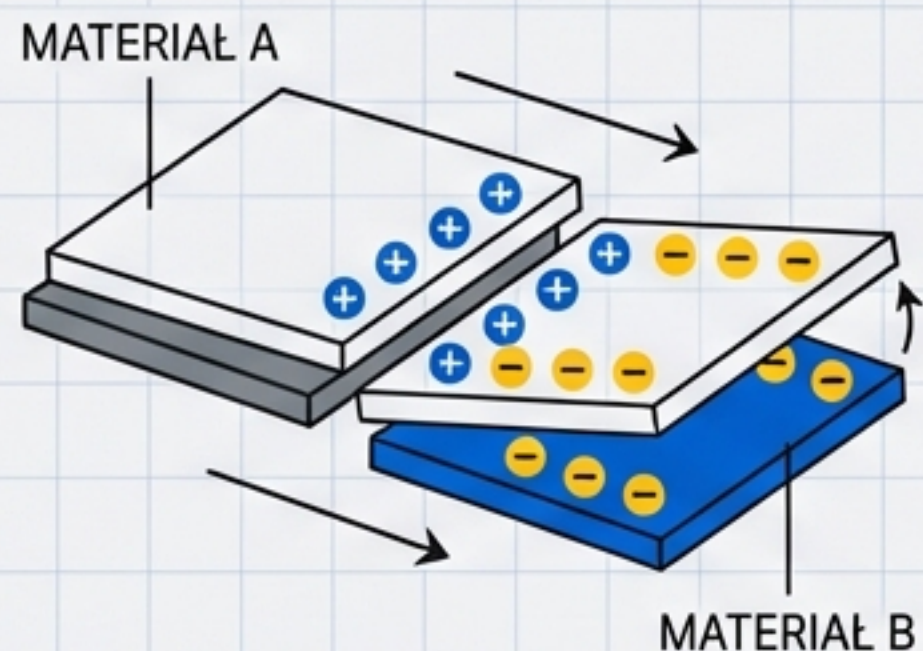
## Uszkodzenie utajone (Latent Damage)



- Urządzenie działa, przechodzi testy QC
- 'Walking wounded' - struktura osłabiona
- Objawy: Niestabilna praca, losowe restarty
- Awaria następuje u klienta po tygodniach

# Geneza ładunku: Tarcie, separacja i środowisko

## Mechanizm



**Efekt tryboelektryczny:**  
Ładunki powstają w wyniku tarcia i rozdzielania się materiałów.

## Źródła zagrożenia



- Odzież syntetyczna (polary, poliester)



- Wykładziny i dywany



- Plastikowe opakowania i folia

## Rola wilgotności



<30%

**Wilgotność**

Suche powietrze  
= Wysokie Ryzyko

40–60%

Optimum dla  
serwisu

>60%

Niska wilgotność (zima)  
drastycznie zwiększa  
generowanie napięć.

# Globalny autorytet



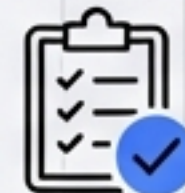
WG 1.0:  
Opaski  
(Wrist Straps)



WG 11.0:  
Pakowanie  
(Packaging)



WG 6.0:  
Uziemienie  
(Grounding)



WG 53.0:  
Weryfikacja  
(Compliance)

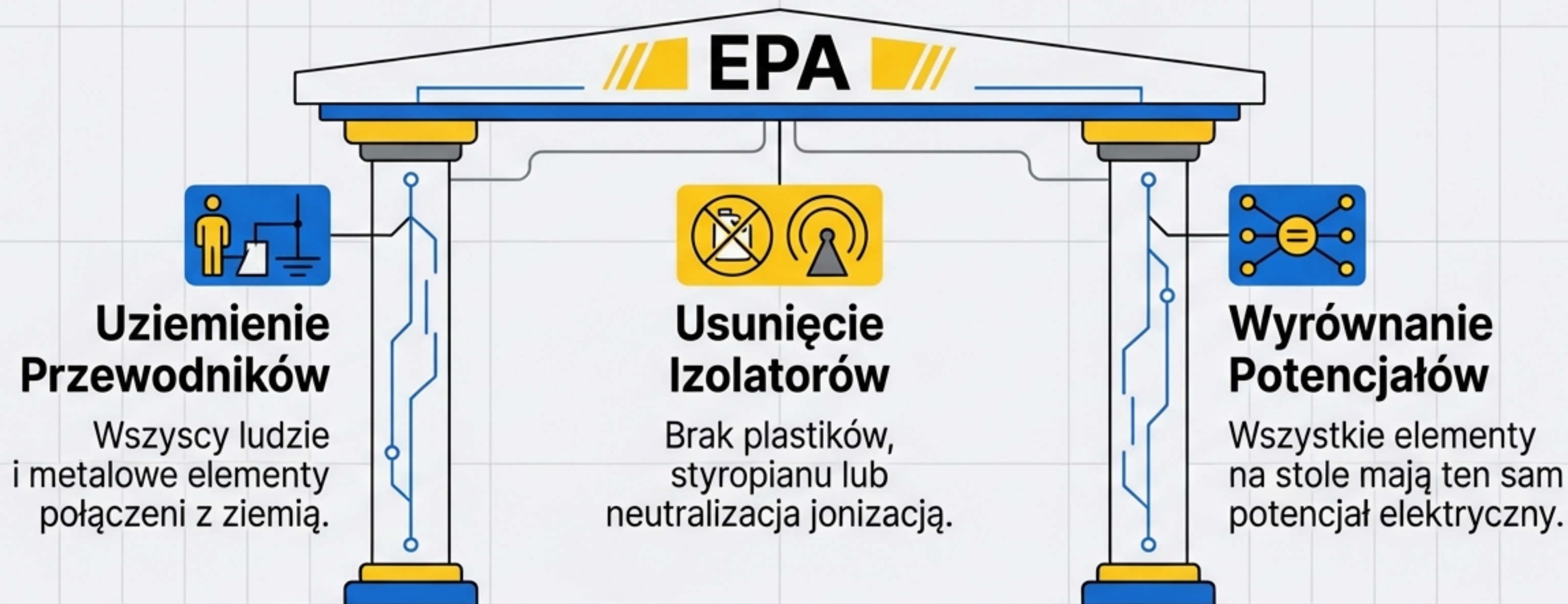
## EOS/ESD Association, Inc.

Organizacja wyznaczająca światowe standardy kontroli statycznej.

Jedyna organizacja akredytowana przez ANSI do tworzenia norm w tym zakresie.

# Strefa EPA: Systemowa obrona

ESD Protected Area



EPA to nie jeden mebel, to zintegrowany system bezpieczeństwa.

# Anatomia bezpiecznego stanowiska

## 1. Mata ESD

Rozprasza ładunki,  
nie izoluje.

## 2. Wspólny Punkt Uziemienia

Serce systemu.

## 3. Narzędzia ESD

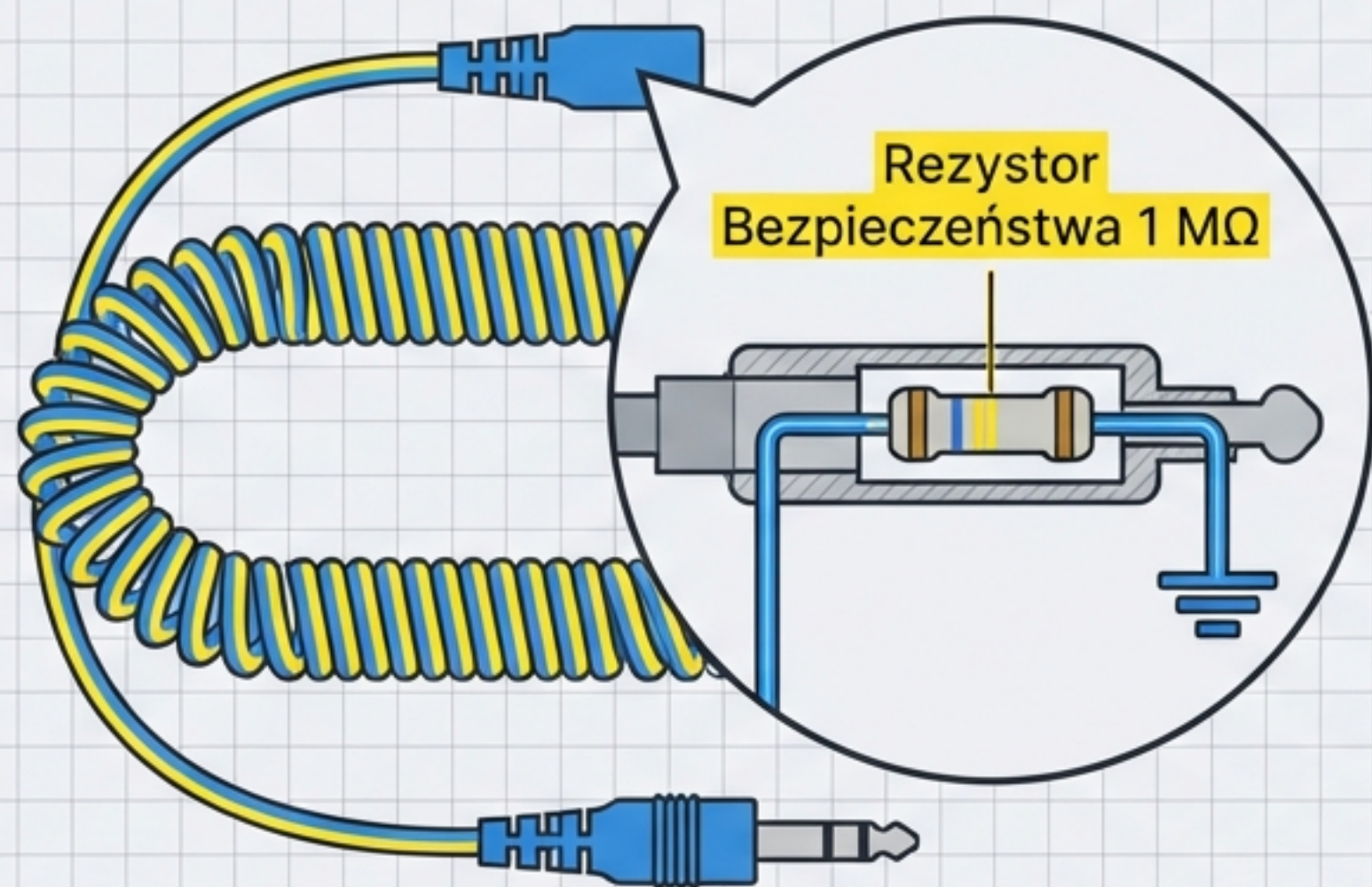
Materiały  
dysypatywne.

## 4. Przewód uziemiający



**Krytyczne:** Mata bez podłączenia  
uziemiającego nie daje żadnej ochrony.

# Pierwsza linia obrony: Opaska antystatyczna



## Funkcja:

- Ciągłe wyrównywanie potencjału ciało-ziemia.

## Bezpieczeństwo (UWAGA): ⚠

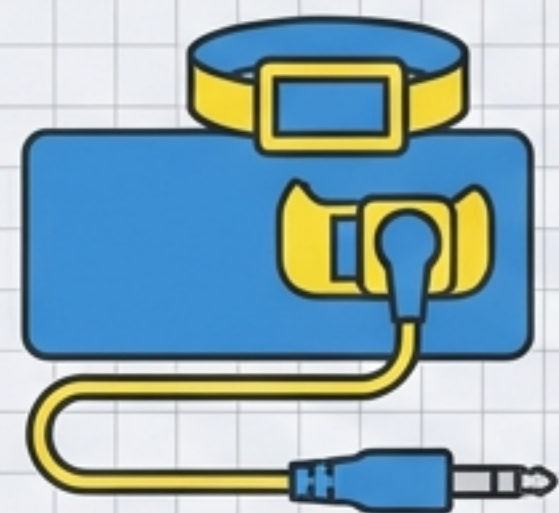
- Rezystor 1 MΩ jest obowiązkowy.
- Chroni człowieka przed porażeniem prądem sieciowym.
- Nigdy nie uziemiaj ciała bezpośrednio "na krótko"!

**Opaska niepodłączona do gniazda jest bezużyteczna.**

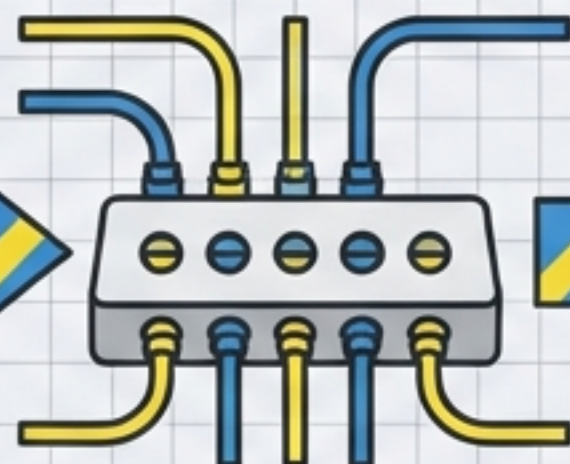
# Logika uziemienia: Gdzie trafiają ładunki?



**Cel uziemienia ESD:** Bezpieczne odprowadzenie ładunku, nie ochrona przeciwporażeniowa (to rola RCD).



**Mata/Opaska**



**Wspólny Punkt Uziemienia**



**Ziemia (PE)**

## Dobre Praktyki

- Jeden wspólny punkt dla całego stołu (brak pętli mas).
- Obudowa PC: Tylko jeśli podłączona do sprawnej instalacji z bolcem.
- **Unikaj:** Kaloryferów i rur (niepewny potencjał).

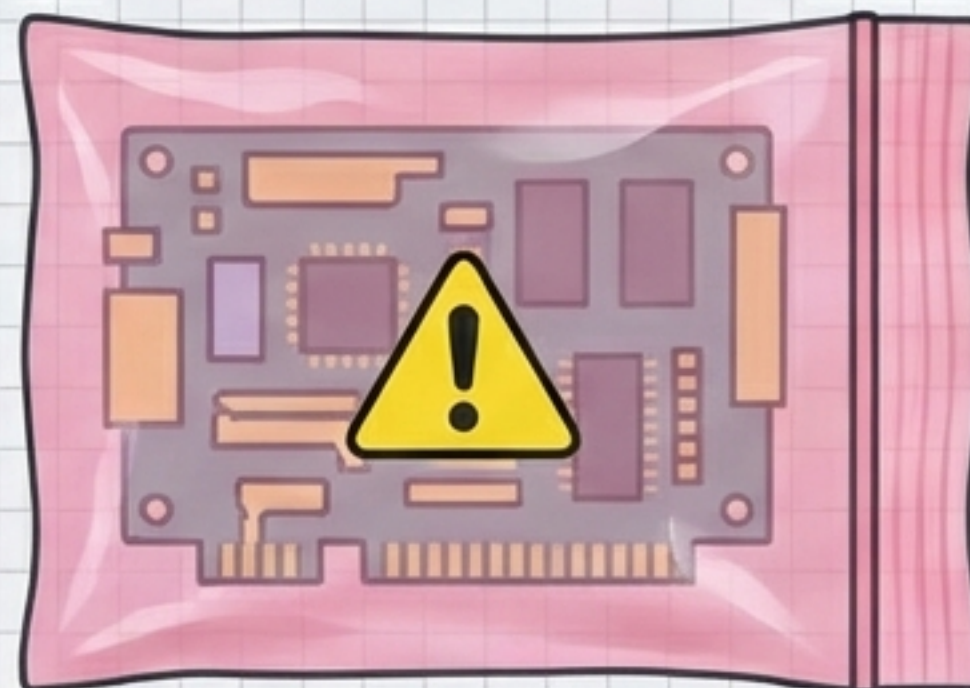
# Transport i przechowywanie: Zasada Klatki Faradaya

## Zalecane: Worki Ekranujące (Shielding)



- Tworzą Klatkę Faradaya.
- Jedyna pewna ochrona w transporcie poza EPA.

## Ograniczone zastosowanie: Różowe Worki (Pink Poly)



- Tylko antystatyczne (nie generują ładunku).
- NIE chronią przed zewnętrznym wyładowaniem.

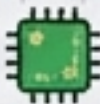
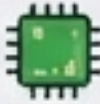


**ZABRONIONE:** Kładzenie PCB na folii aluminiowej (ryzyko zwarcia baterii) lub zwykłym styropianie.

# Dobre praktyki i błędy egzaminacyjne



## TAK (Dobre Praktyki)



-  • Płytki chwytaj wyłącznie za krawędzie.
-  • Regularnie testuj rezystancję opaski i maty.

## NIE (Błędy)



-  • Nie dotykaj ścieżek ani pinów układów.
-  • Nie pracuj w odzieży syntetycznej (polar) bez fartucha.

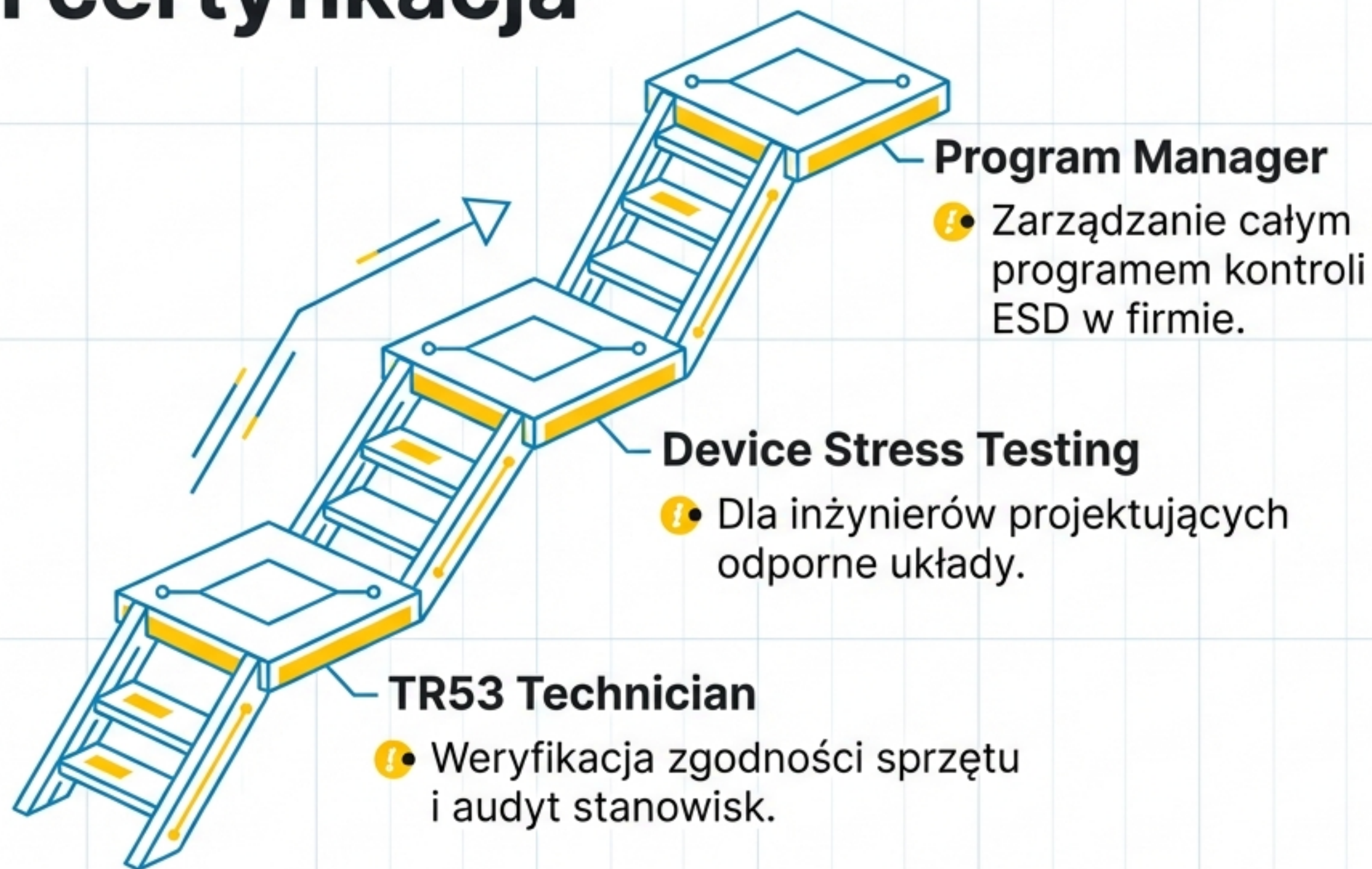


### Egzamin INF.08

**Najczęstszy błąd:**  
Mylenie uziemienia ochronnego (elektrycznego) z uziemieniem ESD.

Pamiętaj też o definicji uszkodzeń utajonych!

# Rozwój zawodowy i certyfikacja



Znajomość ESD to kwalifikacja zawodowa, potwierdzana przez EOS/ESD Association.



# Podsumowanie: Dyscyplina to ochrona

## Niewidzialne Zagrożenie

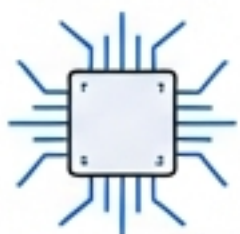


ESD jest niewidoczne, ale generuje realne koszty.

## Wrażliwa Technologia

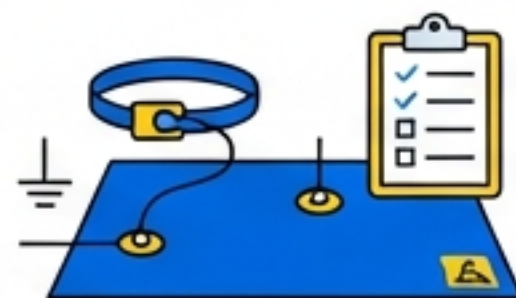


Nowoczesne układy (LVDS) wymagają specjalnej troski.



## System EPA

Mata + Opaska +  
Uziemienie +  
Procedury.



## Profesjonalizm

Stosowanie  
standardów  
EOS/ESD  
Association.

