

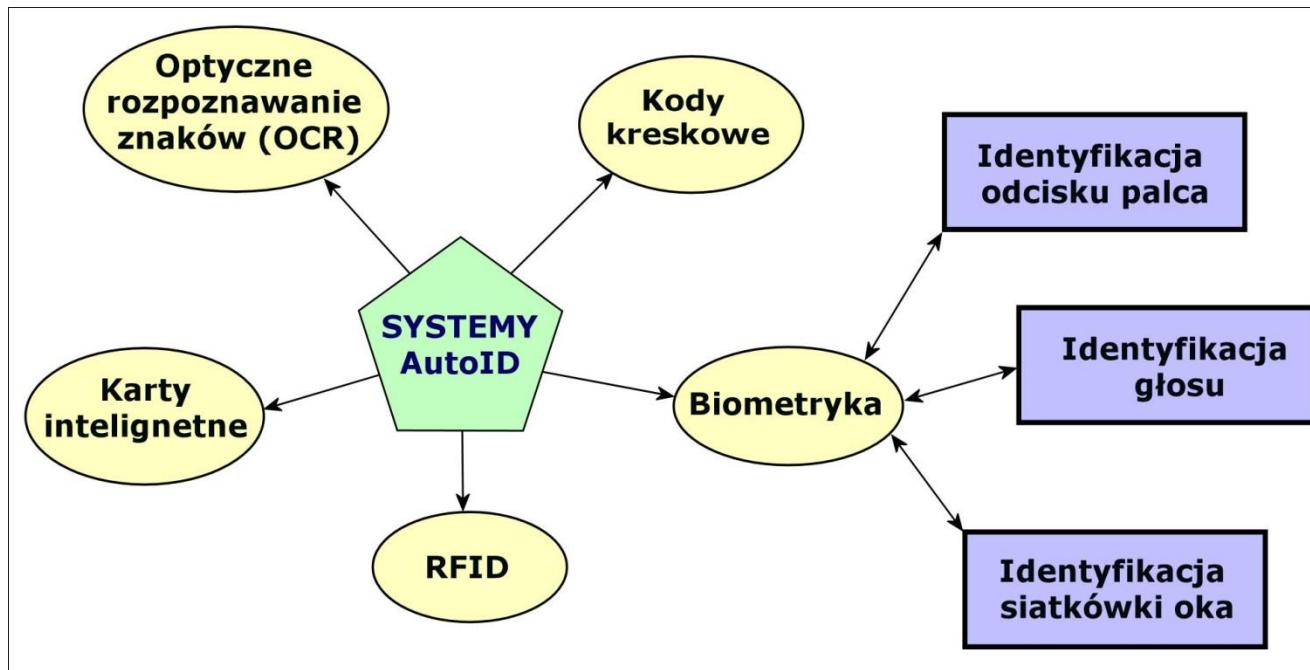
**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

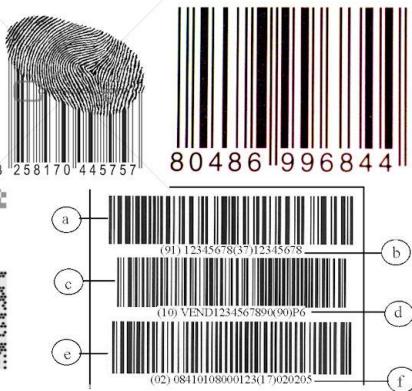
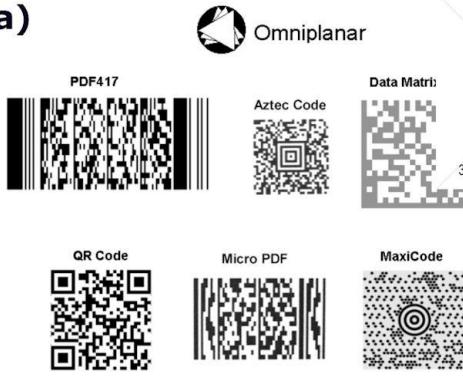
# **Technologia radiowej identyfikacji obiektów RFID**

**Dr hab. inż. Cezary Worek, prof. AGH  
Dr inż. Marcin Szczurkowski**

# Systemy automatycznej identyfikacji



a)



b)

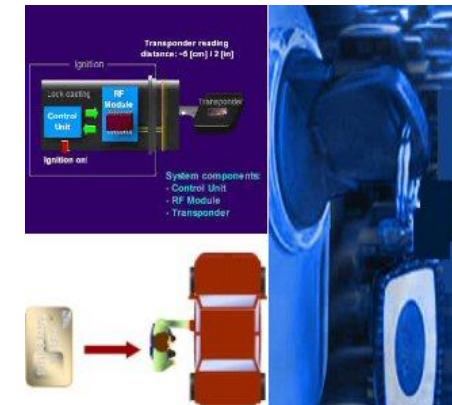
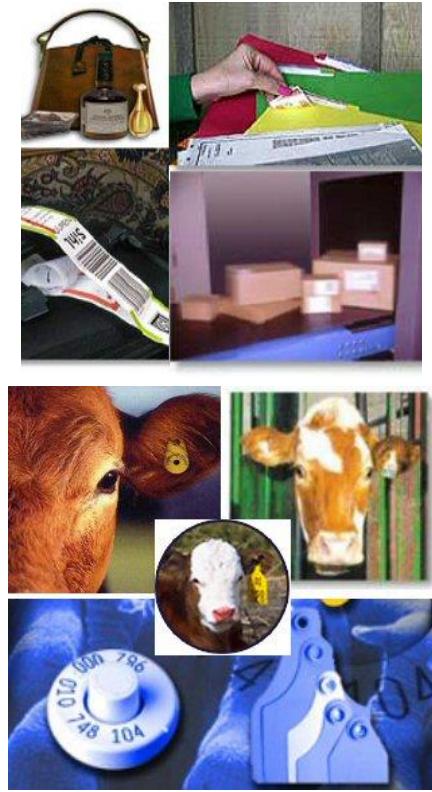


# Wprowadzenie RFID

**Radiowe rozpoznawanie obiektów RFID (Radio Frequency IDentification) jest technologią umożliwiającą przechowywanie i zdalne, bezkontaktowe odczytywanie danych z produktów zaopatrzonych w transpondery pełniące rolę elektronicznych etykiet.**

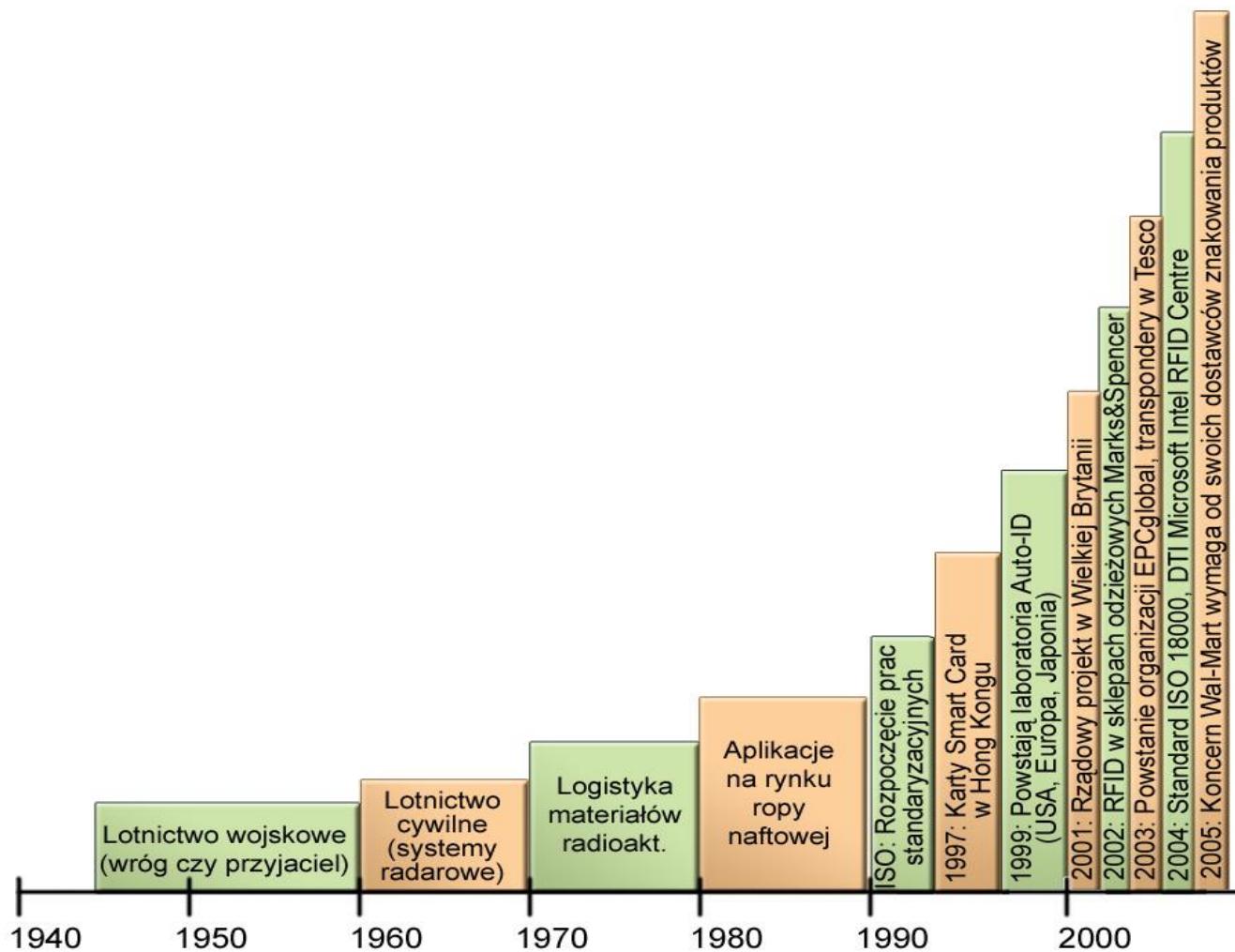
# Zastosowania RFID na świecie

- Śledzenie dokumentów
- Identyfikacja przesyłek i innych towarów
- Systemy antykradzieżowe
- Identyfikacja i śledzenie zwierząt
- Przemysł motoryzacyjny
- Medycyna, farmakologia
- Systemy zabezpieczeń
- Wojsko



# Rozwój technologii RFID

Technologia RFID jest od kilku lat z coraz większym powodzeniem stosowana przez różnych użytkowników, jednak szczególną dynamikę liczby wdrożeń można

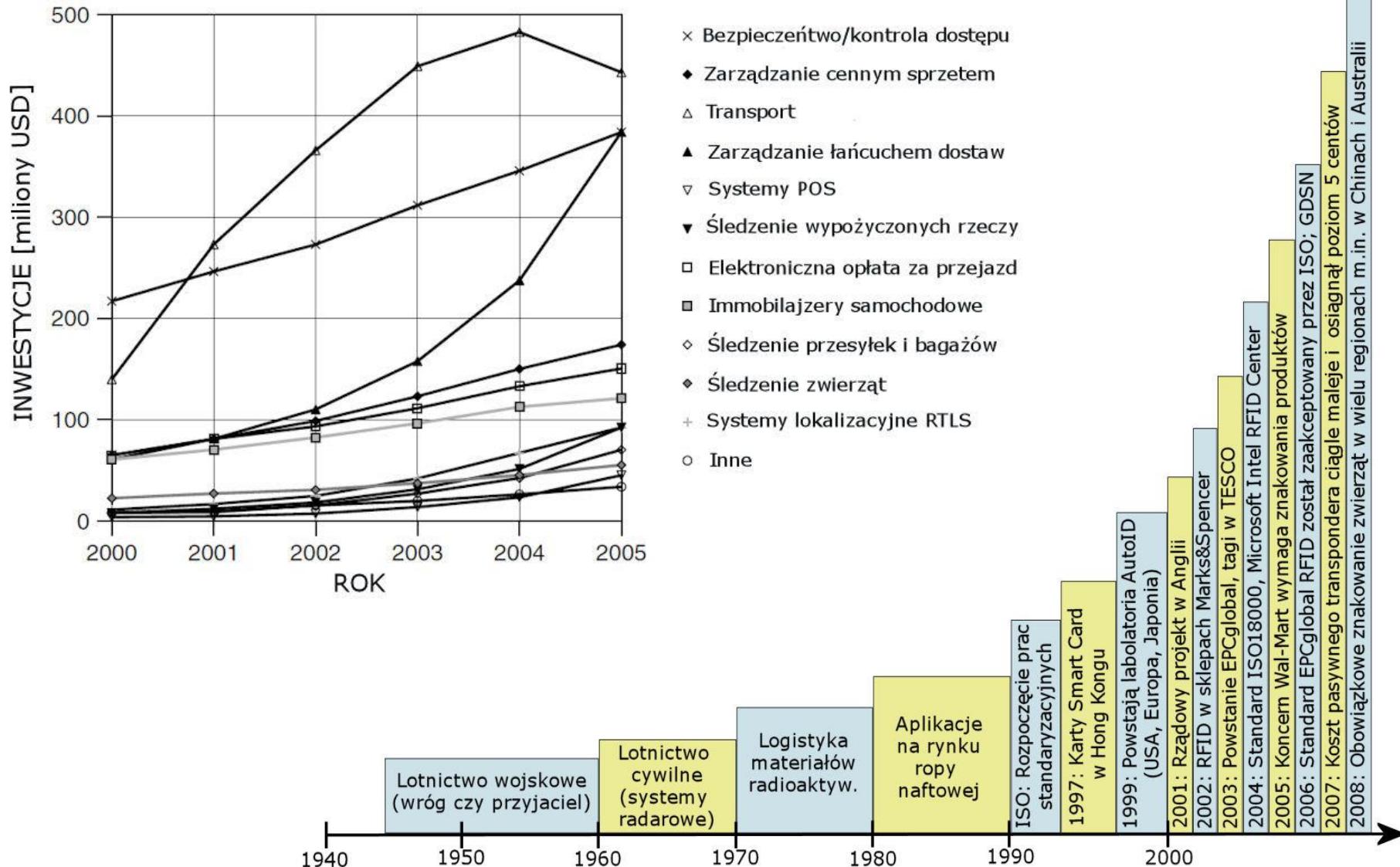


odnotować w dziedzinie logistyki (Hewlett-Packard, sieci handlowe Wal-Mart, Tesco oraz Marks&Spencer, koncerny Airbus, Unilever, Gillette oraz wiele innych).

# Rozwój technologii RFID

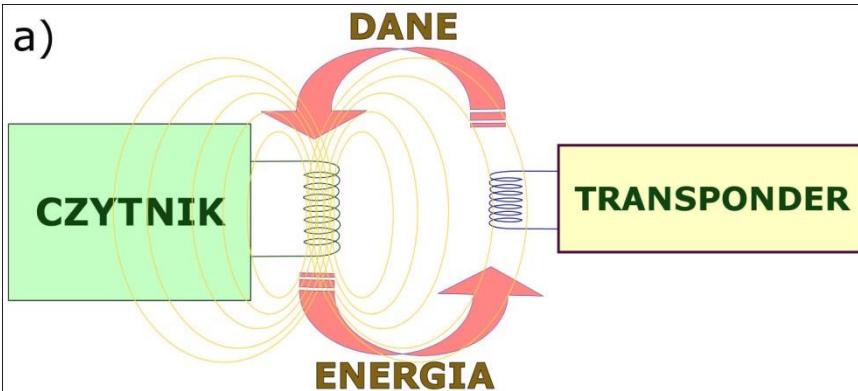
POS – systemy zintegrowanej obsługi klienta w branży usługowo-handlowej

RTLS - Real Time Location System - Lokalizacja w czasie rzeczywistym

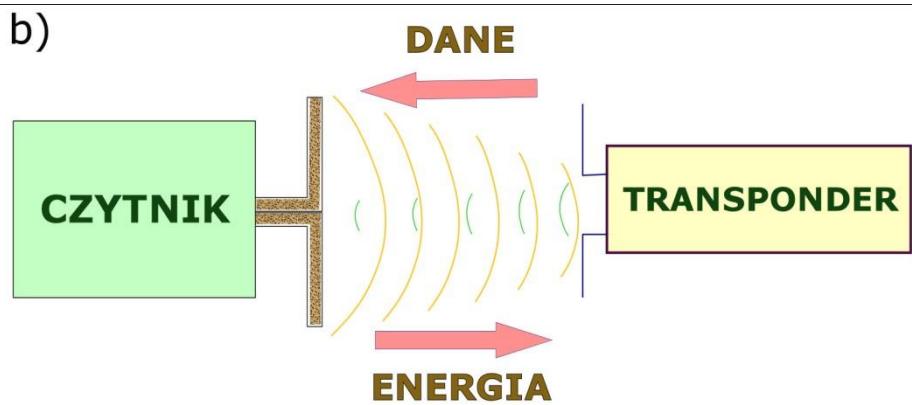


# Zasada działania technologii RFID

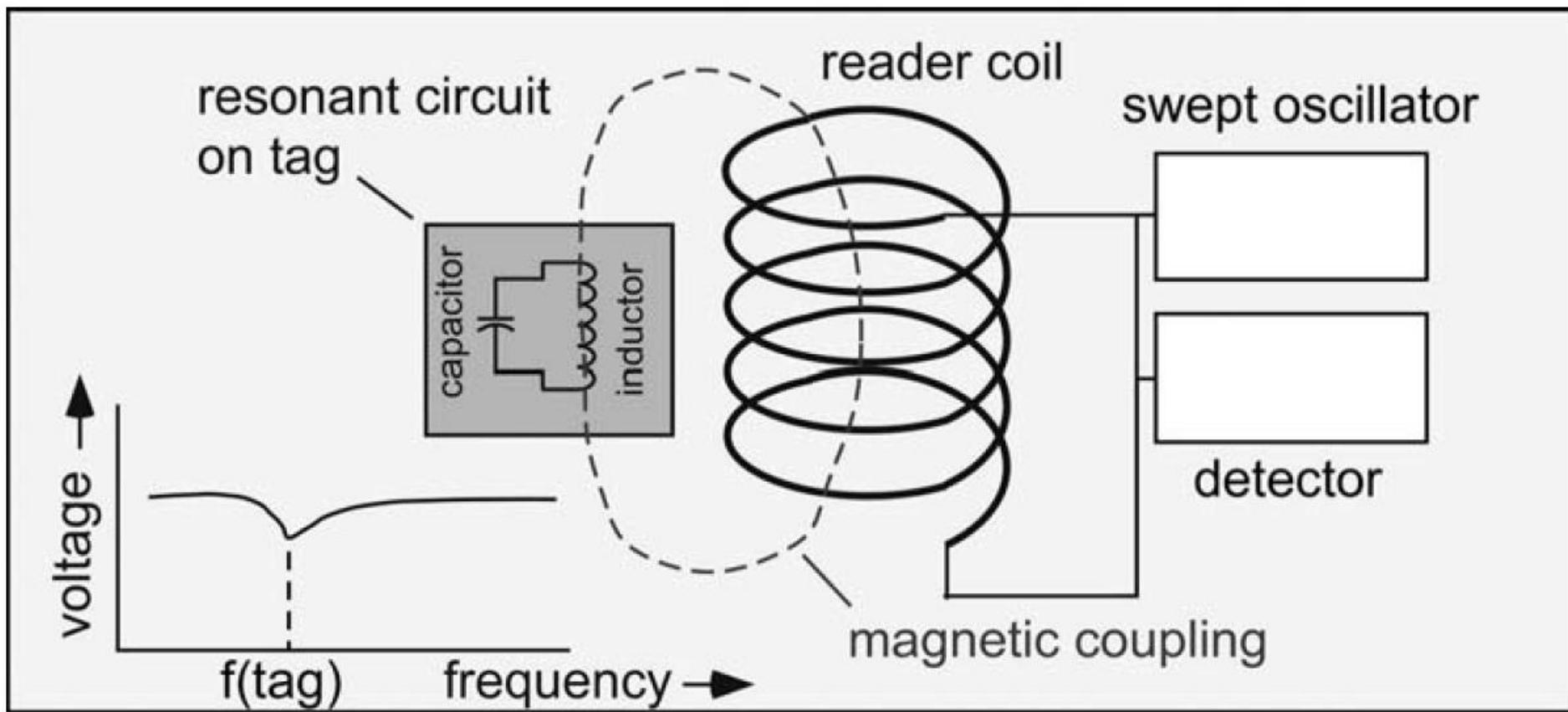
## Sprzężenie indukcyjne



## Sprzężenie poprzez transmisję fali elektromagnetycznej

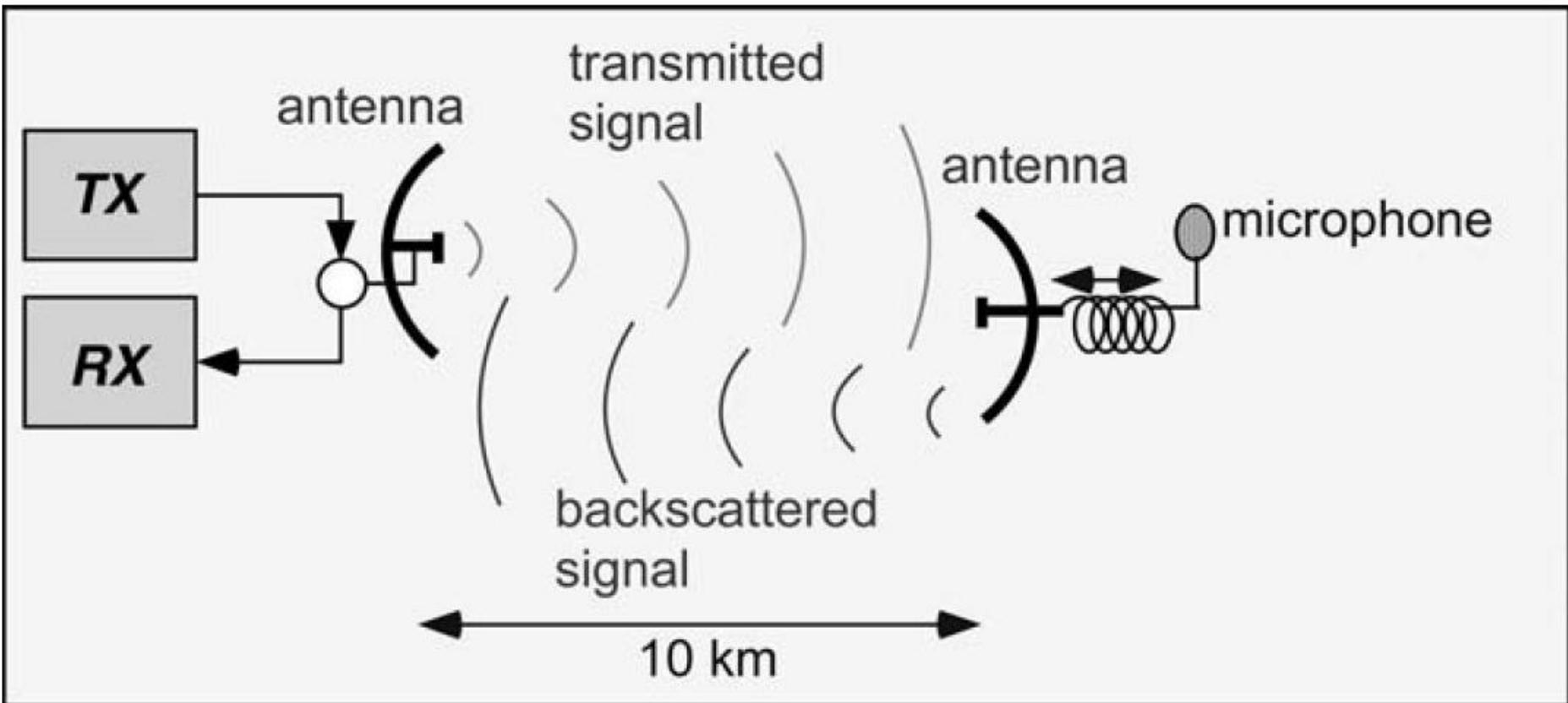


# RFID – zasada działania sprzężenie indukcyjne



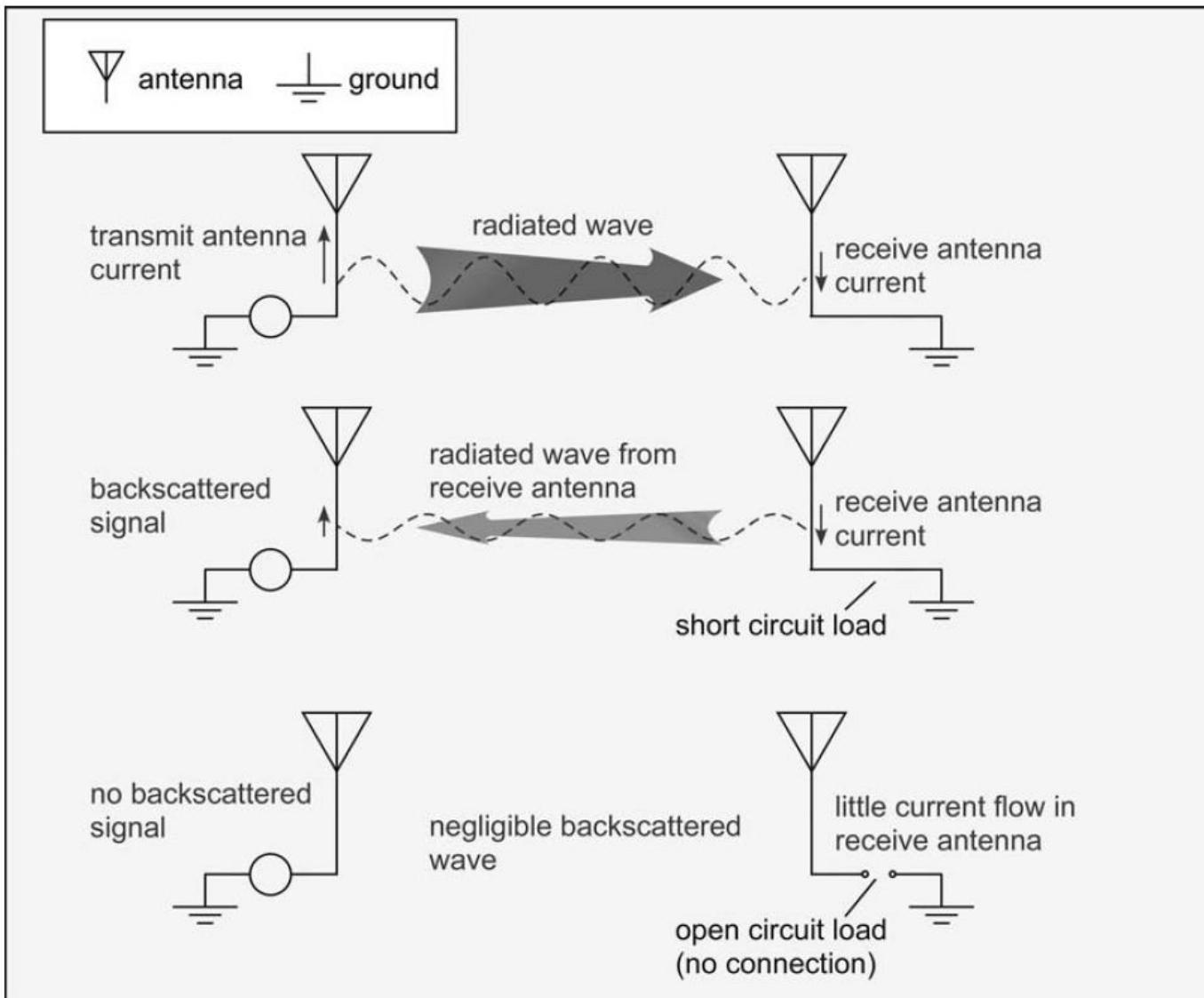
Resonant Circuit Coupled to a Reader Coil Acts as an Identifying Tag  
US Patent 3 752 960, 1973.08.14, Charles A. Walton

# RFID – zasada działania RF



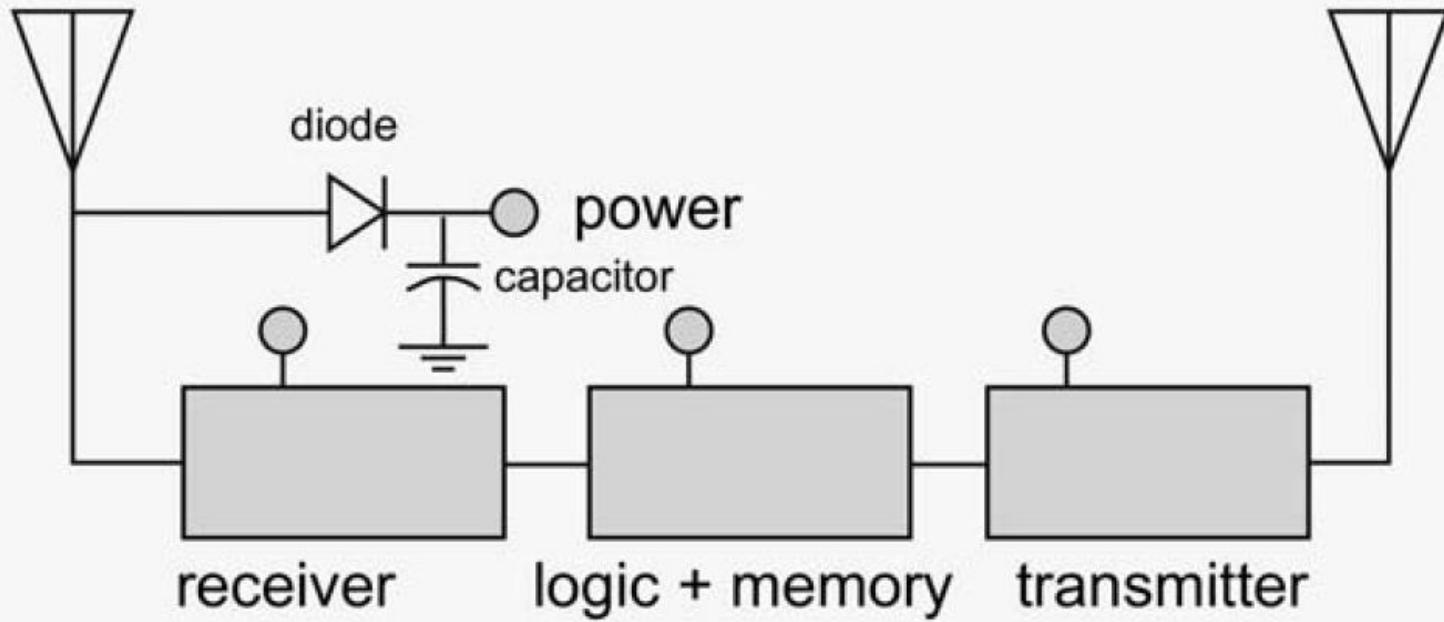
Use of Backscattered Radiation to Communicate After Stockman,  
Proc. I.R.E., October 1948.

# RFID – zasada działania RF



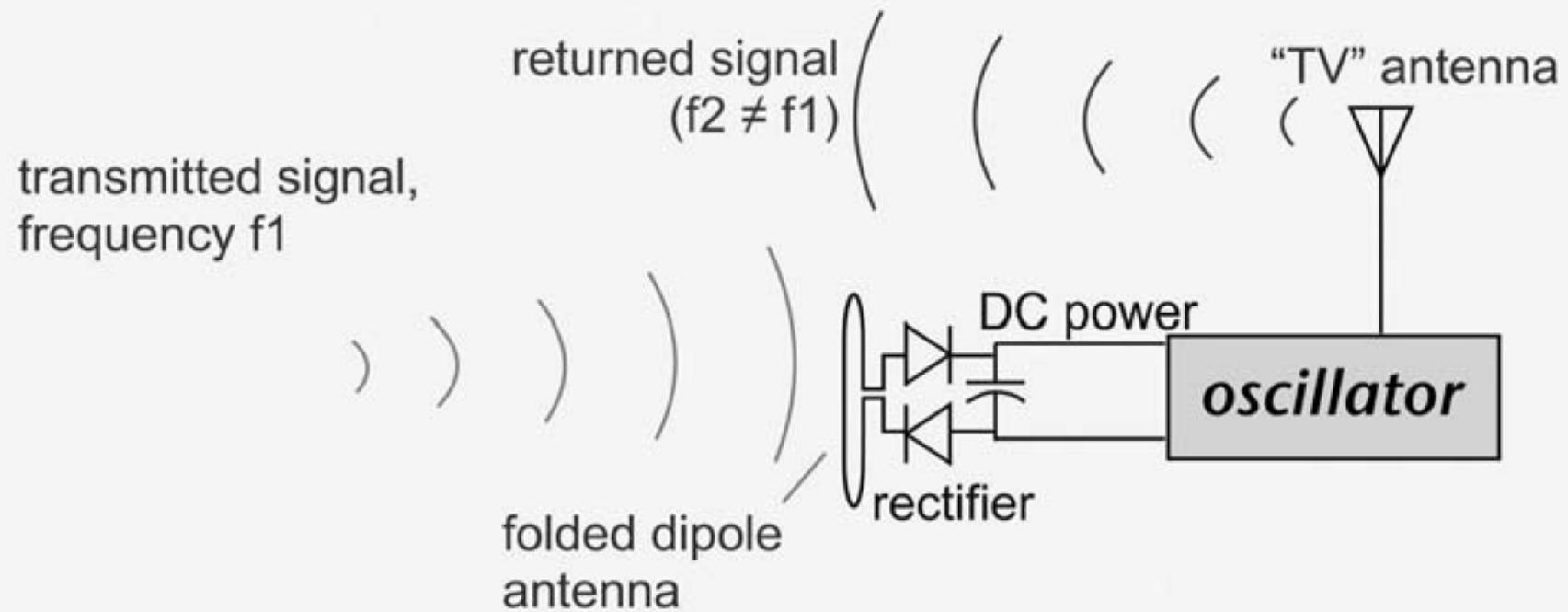
Simplified Physics of Backscatter Signaling

# RFID – zasada działania RF



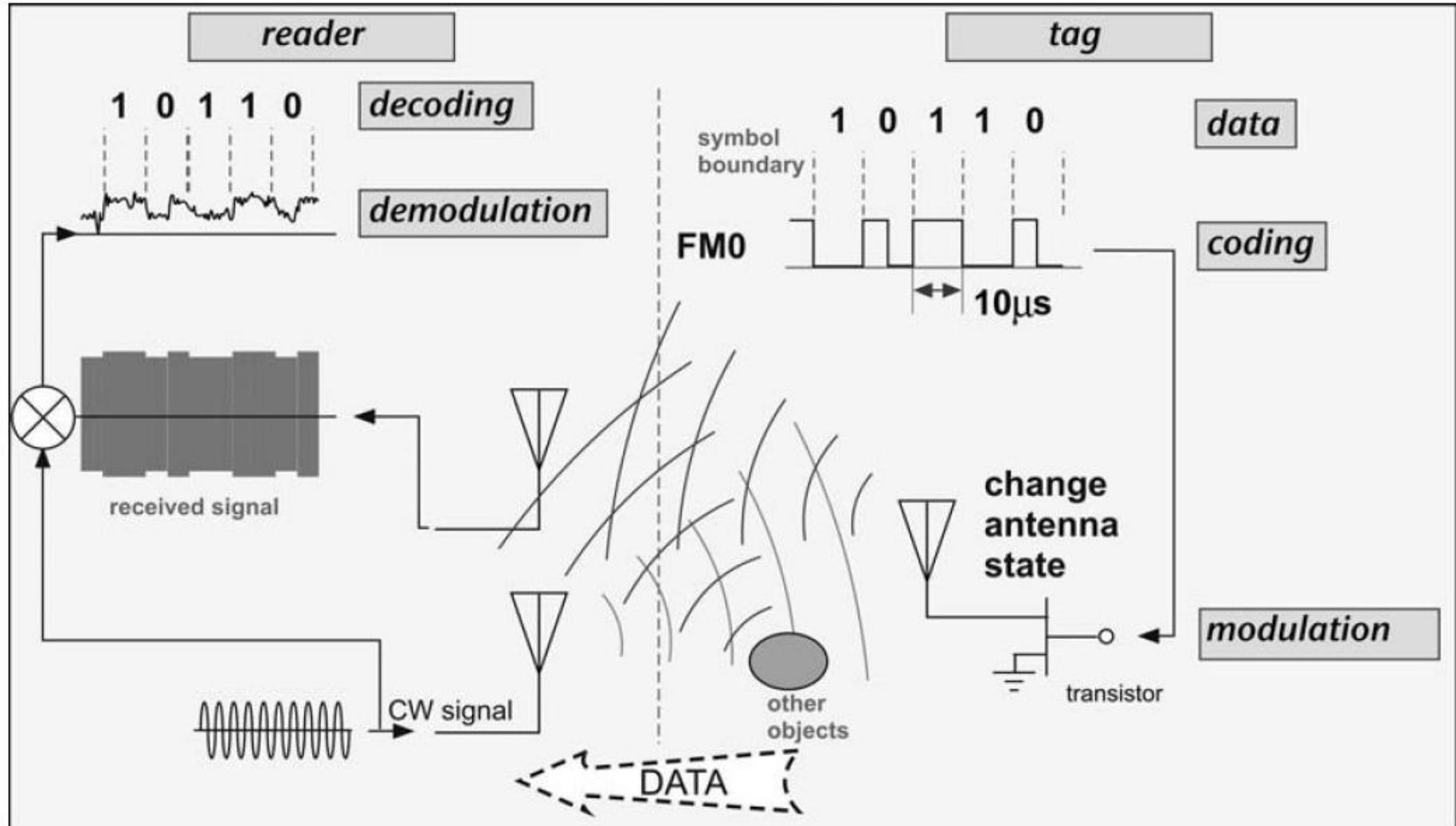
Extraction of DC Power From RF Power.  
After Cardullo and Parks, US Patent 3,713,148.

# RFID – zasada działania RF



Passive Retransmitting Identification System Using Oscillator Driven  
by DC Power Harvested From Incoming RF, After Crump, US  
2,943,189, Filed 1956, Granted 1960.

# RFID – zasada działania RF



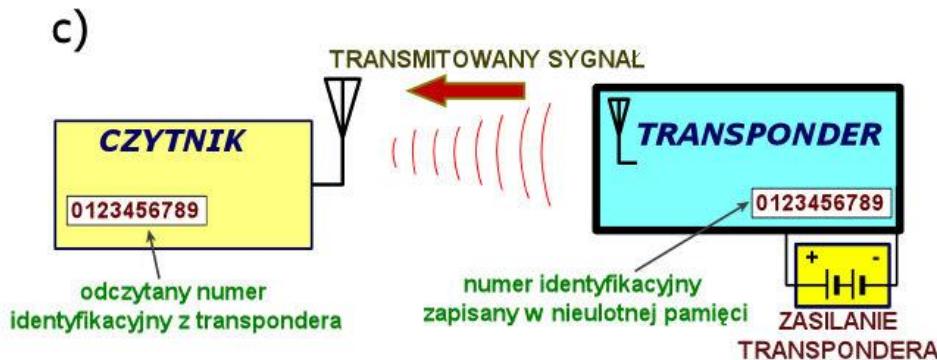
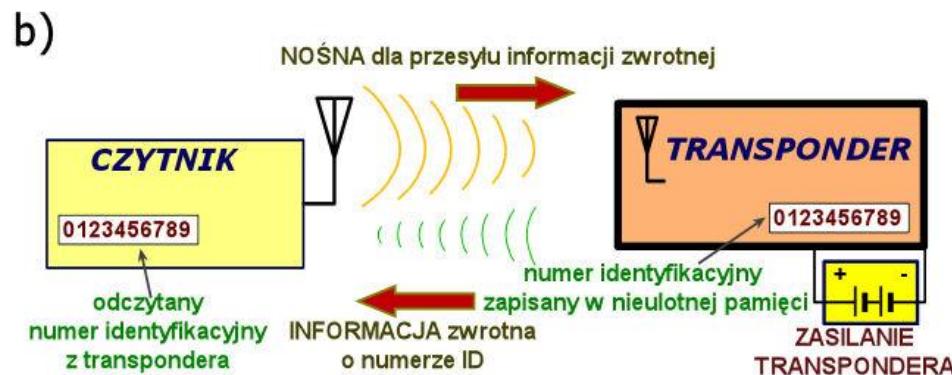
Schematic Depiction of Tag-to-reader Data Link  
A Separate Receive Antenna is Shown for Clarity

# Podział technik RFID – rodzaj transpondera

## Transponder pasywny



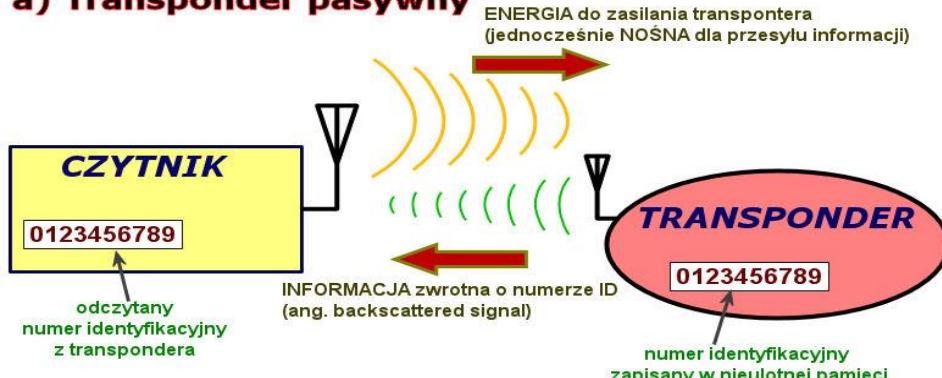
## Transponder semi-pasywny



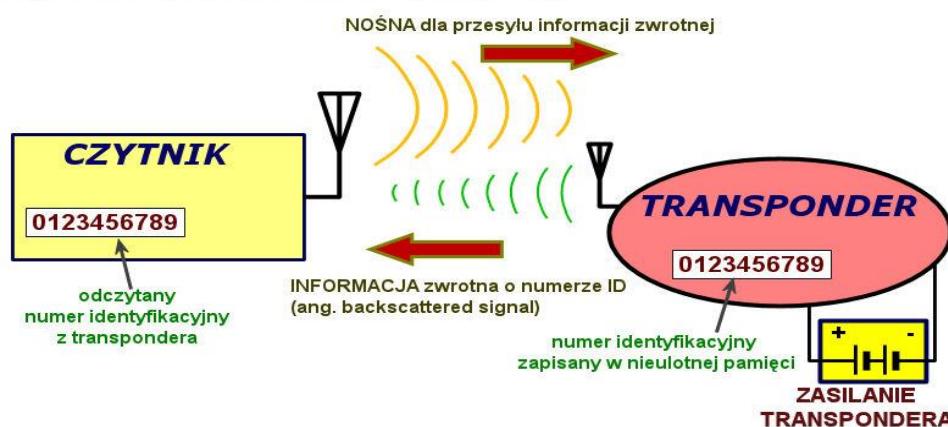
## Transponder aktywny

# Rodzaje transponderów RFID

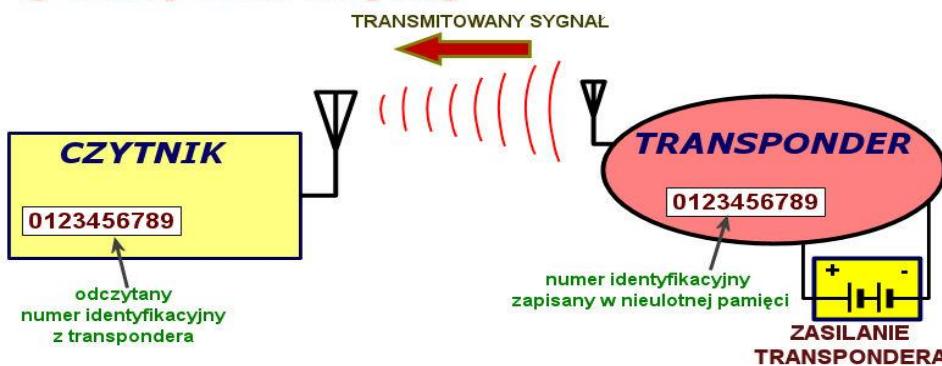
## a) Transponder pasywny



## b) Transponder semi-pasywny



## c) Transponder aktywny



Najczęściej wykorzystuje się transpondery pasywne które:

- nie posiadają własnego źródła zasilania.
- są wykonywane na wszystkie pasma
- obwody transponderek pasywnych wymagają od ok. dziesiątek do setek mikrowatów mocy, która musi być dostarczona bezprzewodowo

Inne czynniki bezpośrednio wpływające na odległość odczytu to poziom mocy nadajnika oraz czułość detekcyjnych czytnika.

# Podział technik RFID – rodzaj transpondera

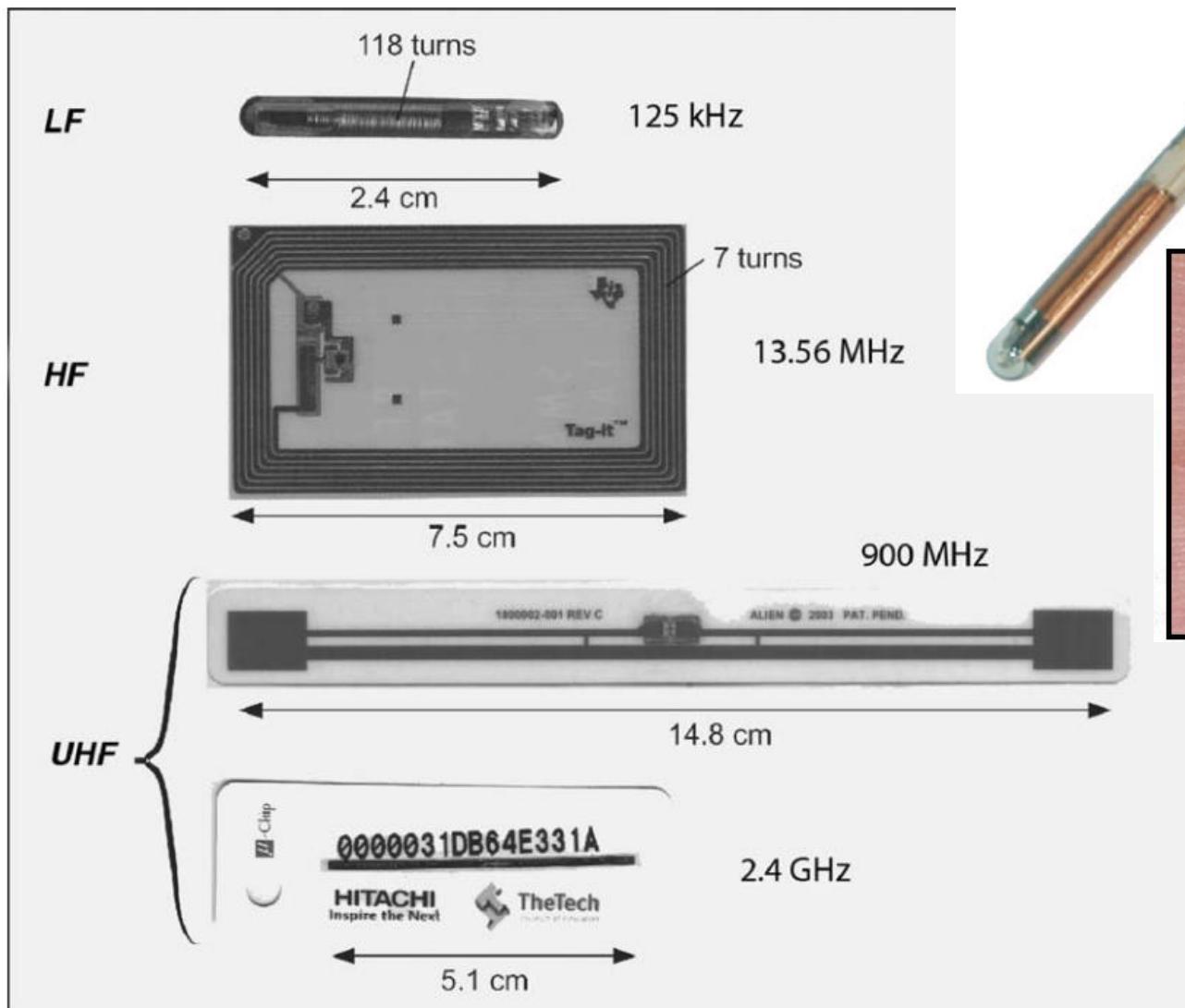
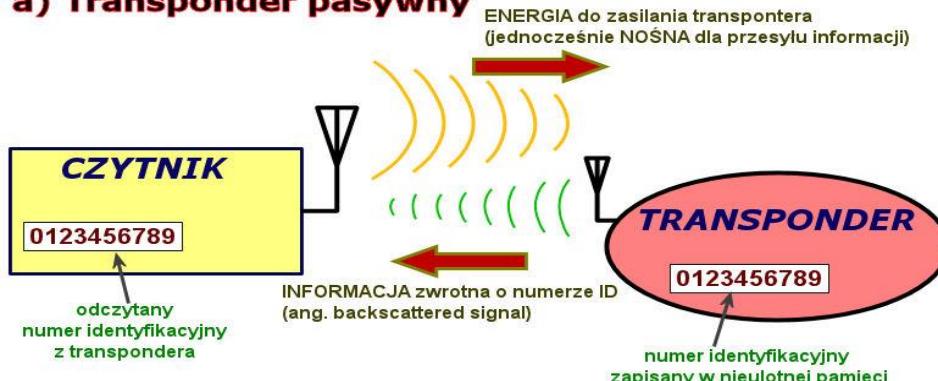


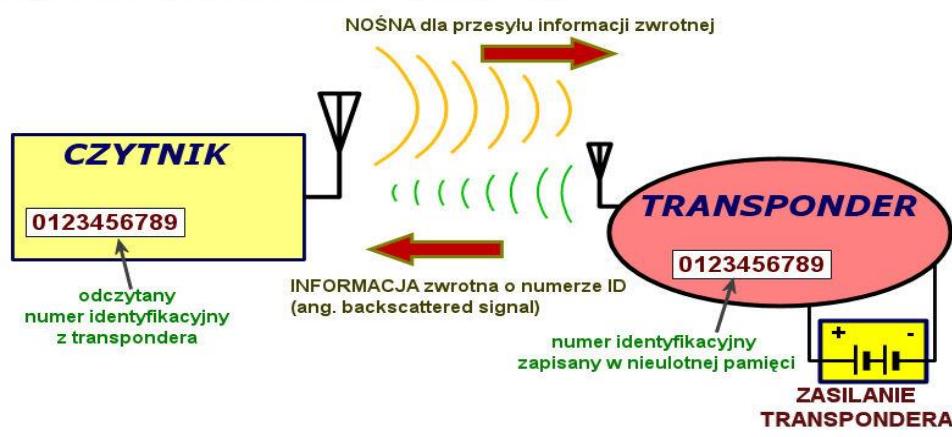
Figure 2.14: Examples of Tag Antenna Configuration Designed for Different Operating Frequencies.

# Rodzaje transponderów RFID

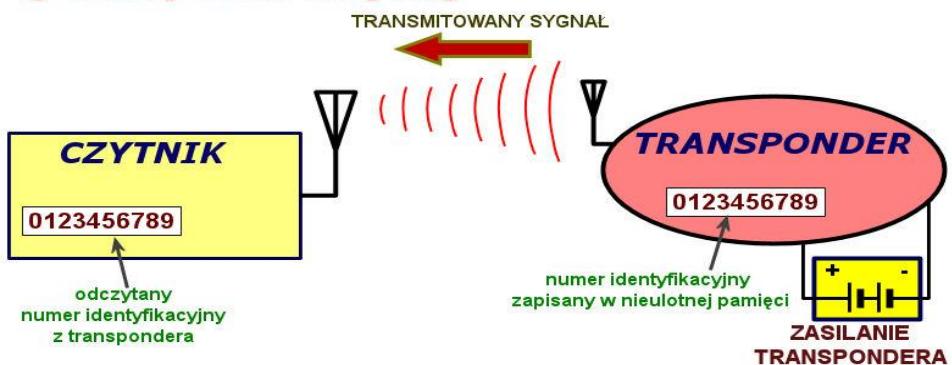
## a) Transponder pasywny



## b) Transponder semi-pasywny



## c) Transponder aktywny



Transponder aktywny przypomina konwencjonalny transiwer radiowy. Zasięg odczytu numeru identyfikacyjnego z transponderów aktywnych to setki metrów, ale ich koszt i rozmiary są dużo większe niż w przypadku transponderek pasywnych (cena obecnie waha się w granicach 10-30 €). W celu oszczędzania energii transponder aktywny wysyła rzadko krótkie porcje informacji. Stosowanie zaawansowanych systemów zarządzania energią wydłuża czas życia baterii nawet do pięciu lat.

# Podział technik RFID

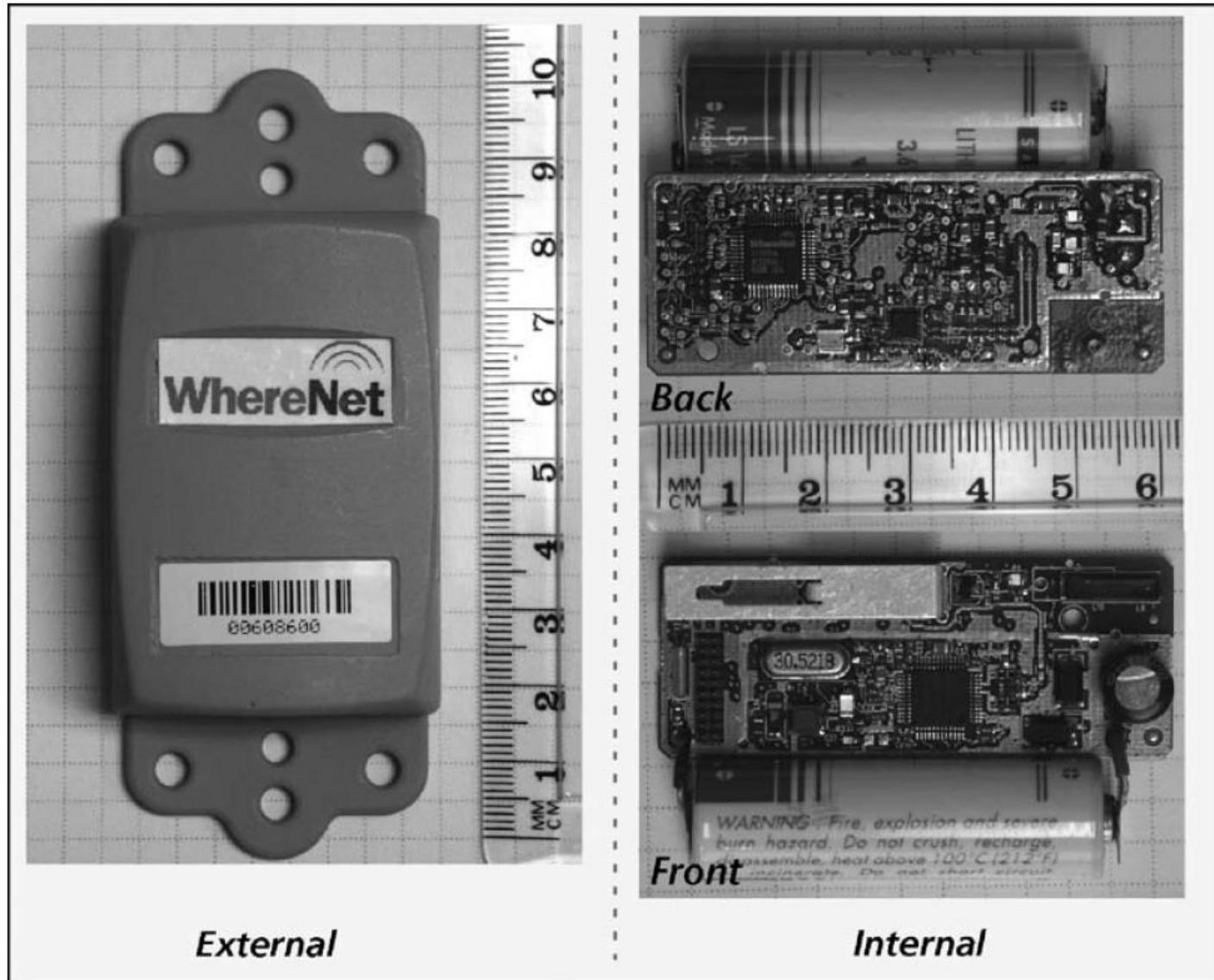
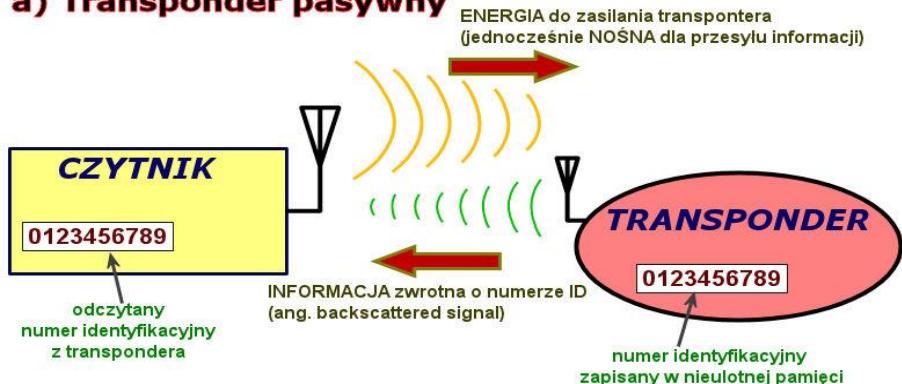


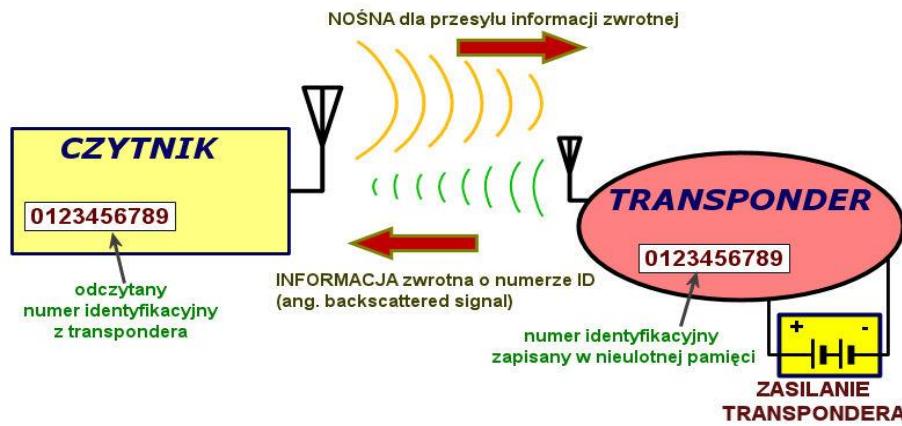
Figure 2.22: Commercial Active RFID Tag: External and Disassembled Views (Shielding Removed); Photos from FCC Report.

# Rodzaje transponderów RFID

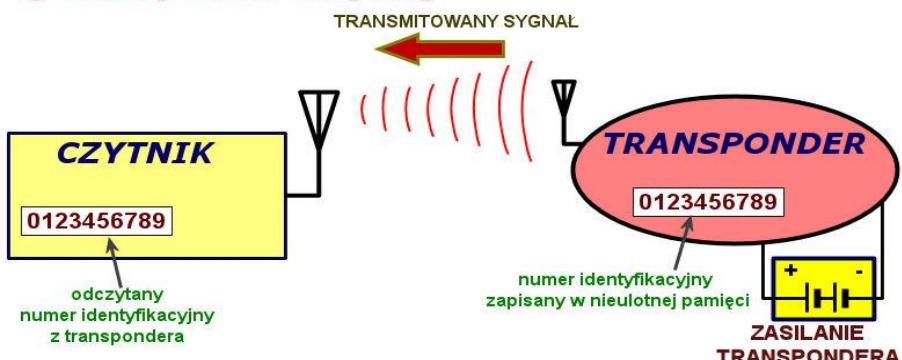
## a) Transponder pasywny



## b) Transponder semi-pasywny



## c) Transponder aktywny



Transpondery semi-pasywne lub semi-aktywne, łączą cechy obu wymienionych wyżej typów. Posiadają baterię dostarczającą zasilanie dla obwodów elektronicznych transpondera (np. sensorów), ale nie posiadają nadajnika radiowego. Przesyłanie informacji zwrotnej następuje tak samo jak w przypadku transpondera pasywnego. Zasięgi odczytów dochodzą do 100m, ale ograniczone są przez czułość odbiornika w czytniku.

Typowe zastosowanie - identyfikacja pojazdu na drogach z płatnym przejazdem

# Podział technik RFID



Figure 2.20: Commercial Semipassive Tag: External View (left) and Internal Circuitry (right).

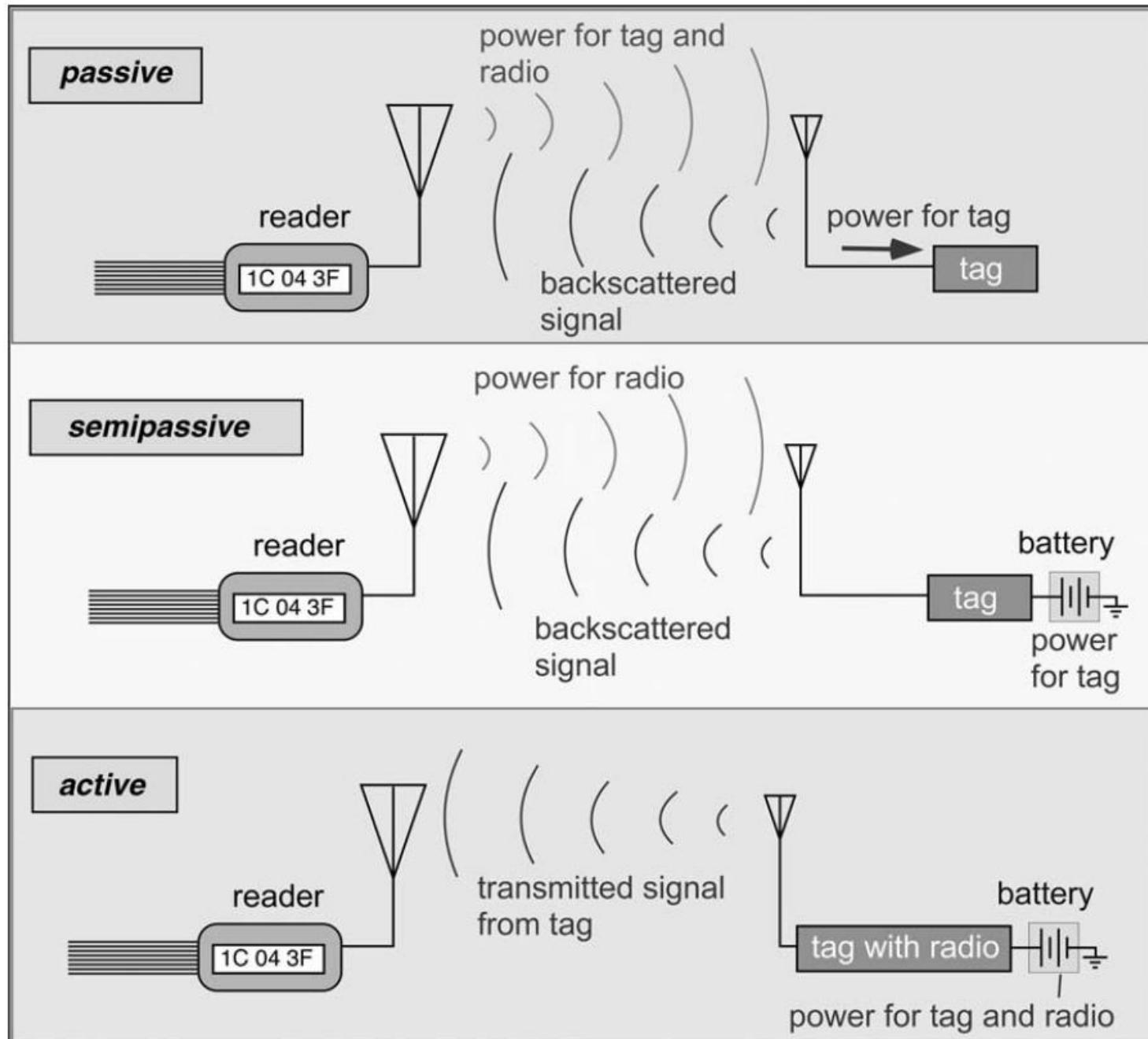
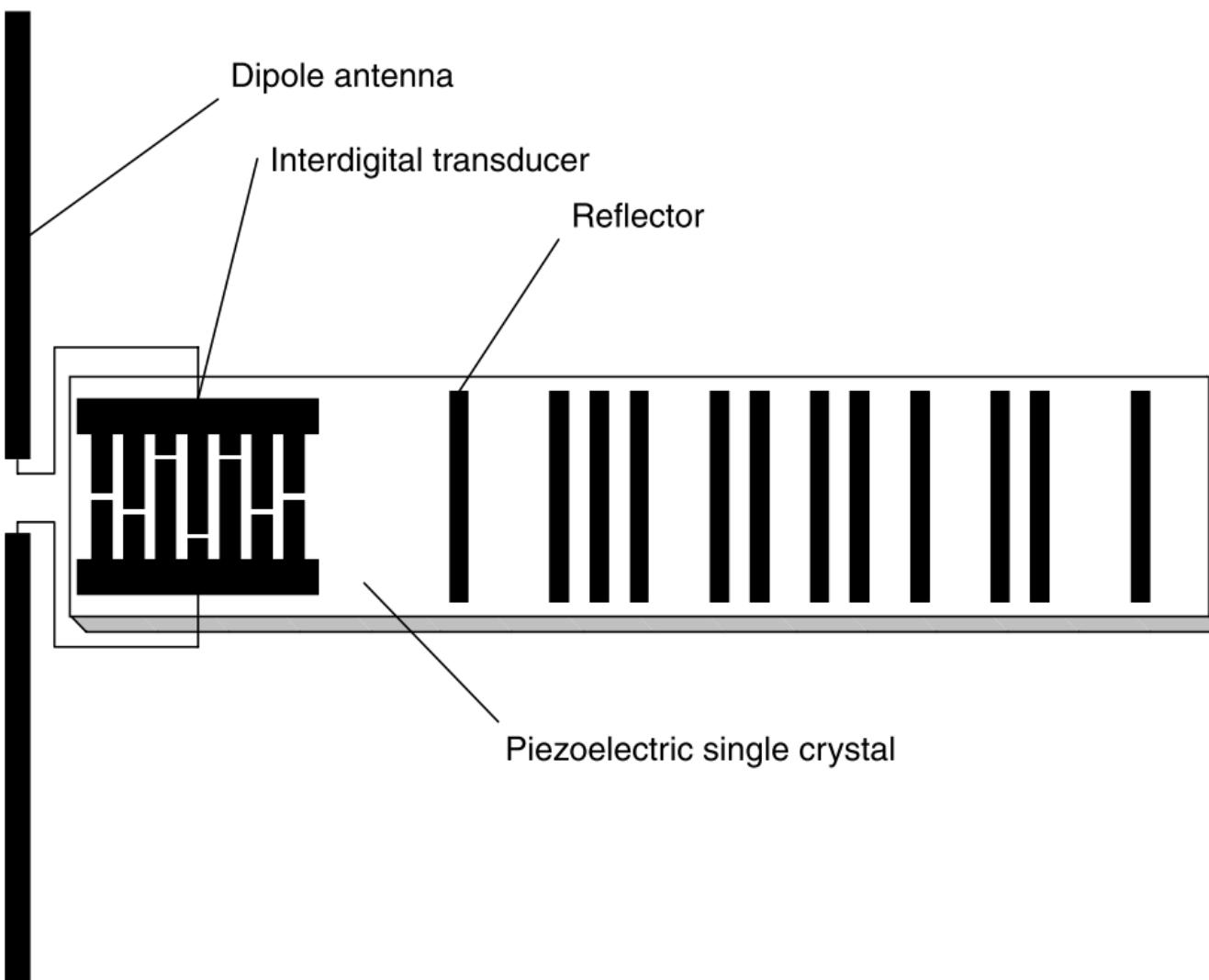


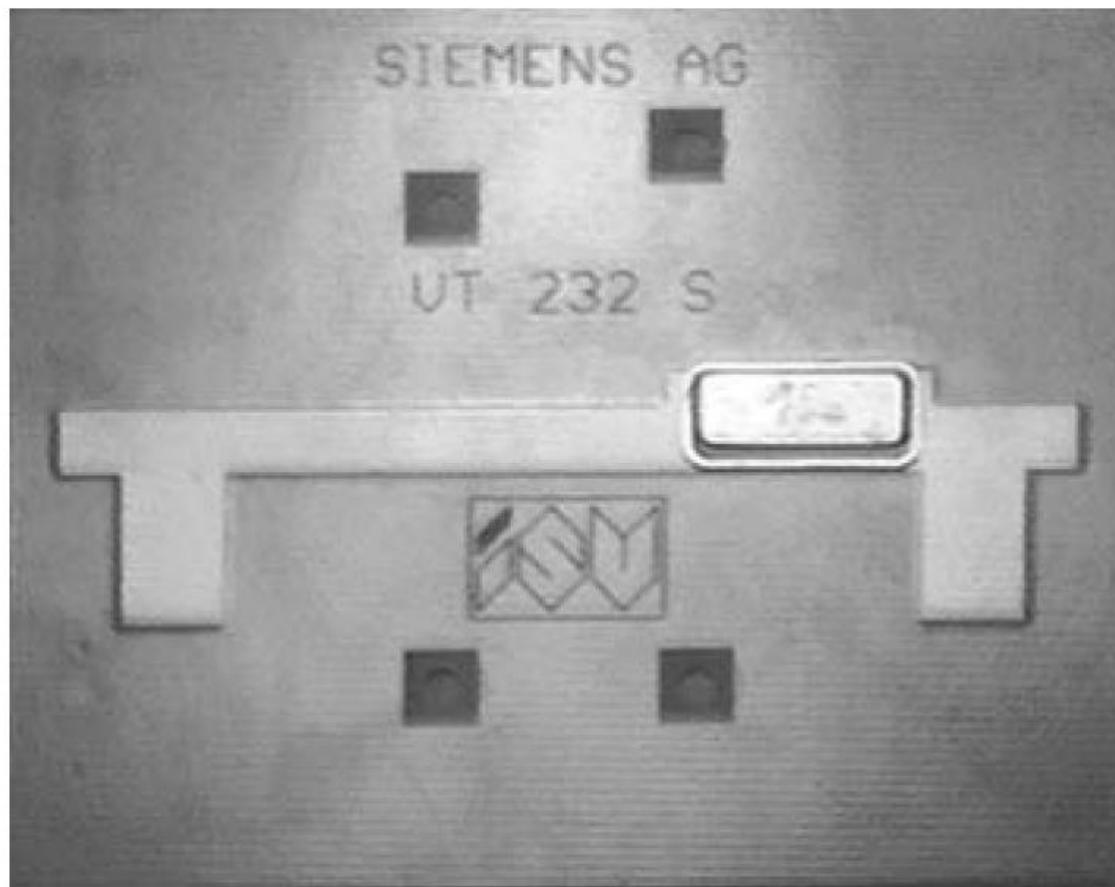
Figure 2.16: Options for Tag Power/Transmit Configuration.

# Podział technik RFID – rodzaj transpondera

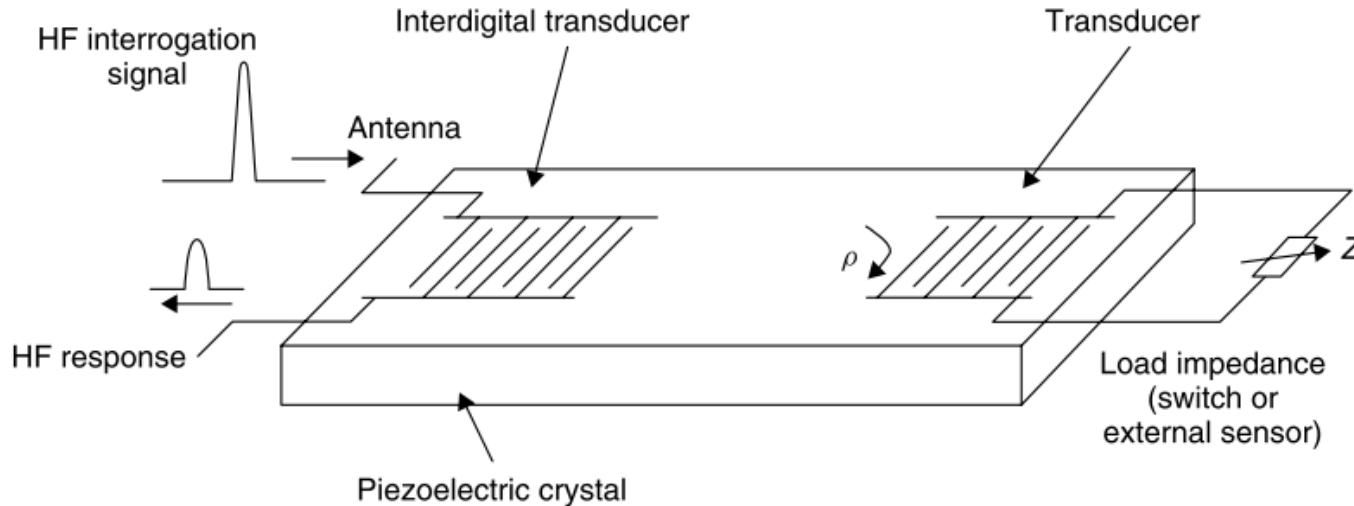


**Figure 3.30** Basic layout of an SAW transponder. Interdigital transducers and reflectors are positioned on the piezoelectric crystal

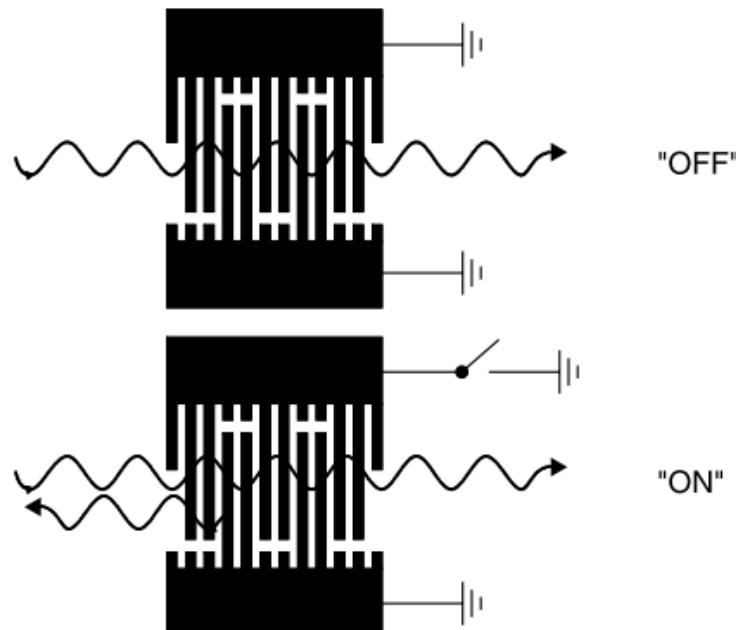
# Podział technik RFID – rodzaj transpondera



**Figure 3.31** Surface acoustic wave transponder for the frequency range 2.45 GHz with antenna in the form of microstrip line. The piezocrystal itself is located in an additional metal housing to protect it against environmental influences (reproduced by permission of Siemens AG, ZT KM Munich)

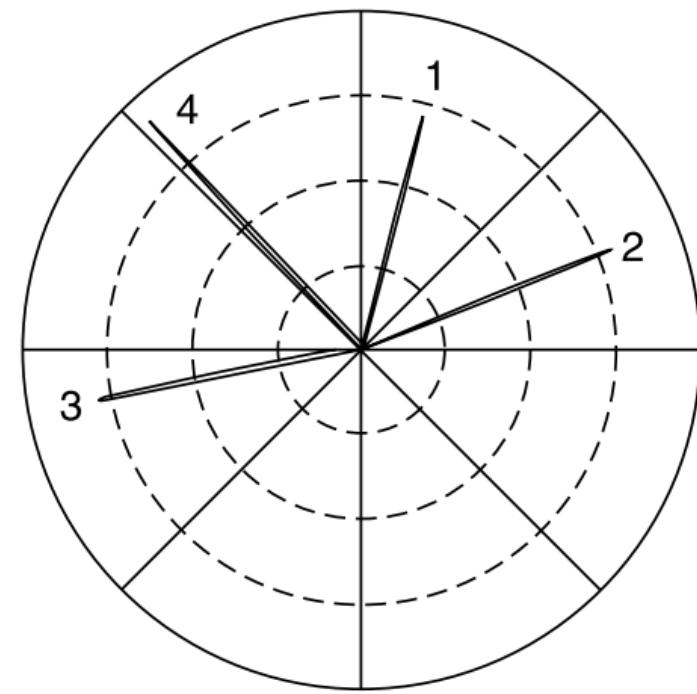
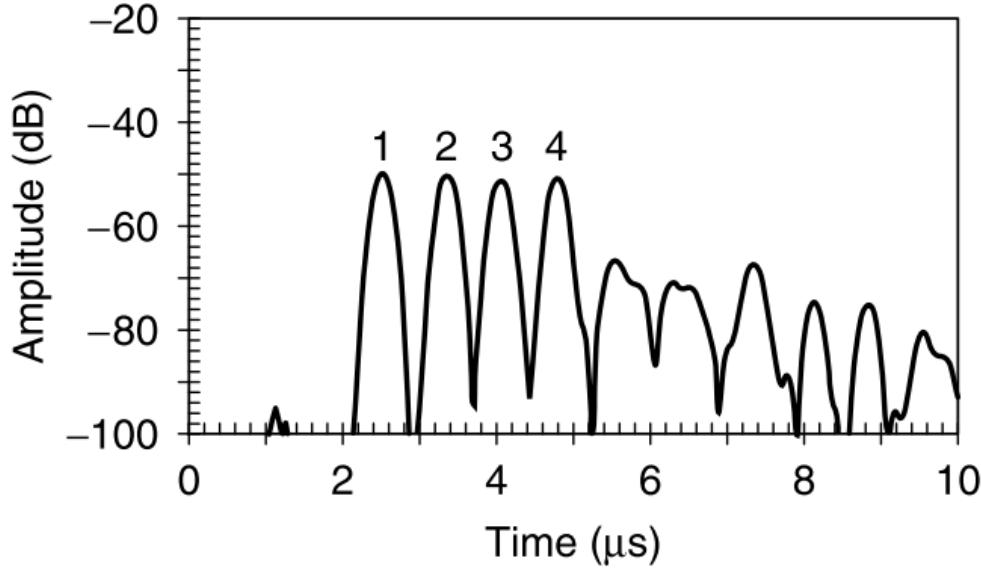


**Figure 4.103** Principal layout of a passive surface wave transponder connected to an external sensor (reproduced by permission of Siemens AG, ZT KM, Munich)



**Figure 4.104** Passive recoding of a surface wave transponder by a switched interdigital transducer (reproduced by permission of Siemens AG, ZT KM, Munich)

# Podział technik RFID – rodzaj transpondera

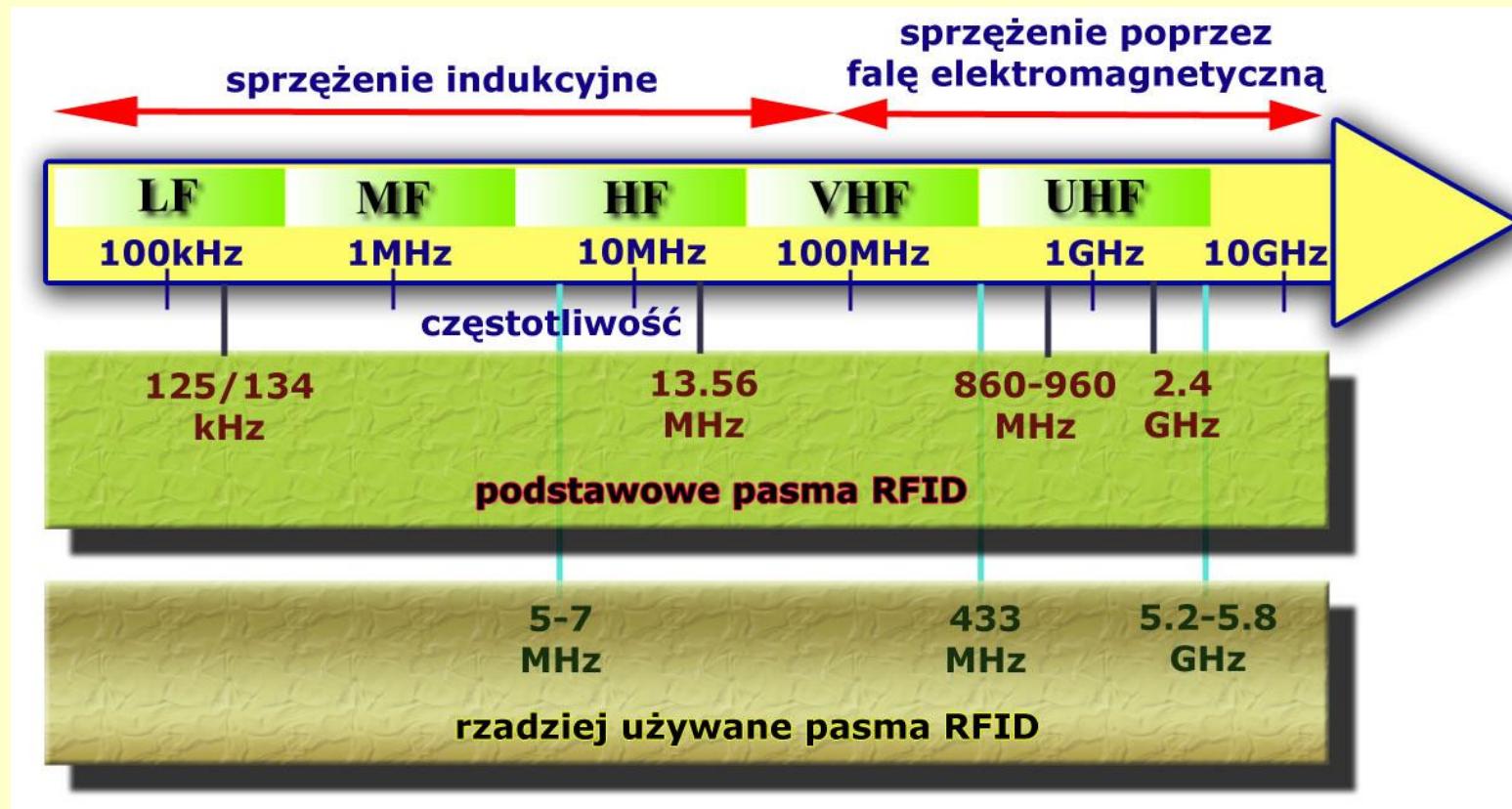


**Figure 4.97** Surface wave transponders operate at a defined phase in relation to the interrogation pulse. Left, interrogation pulse, consisting of four individual pulses; right, the phase position of the response pulse, shown in a clockface diagram, is precisely defined (reproduced by permission of Siemens AG, ZT KM, Munich)

# Porównanie transponderów RFID

	ZALETY	WADY	UWAGI
Transponer Pasywny	<ul style="list-style-type: none"><li>- dlugi czas życia,</li><li>- małe wymiary,</li><li>- wysoka odporność na narażenia środowiskowe,</li><li>- niski koszt,</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- zasięg odczytu ograniczony do kilku metrów (UHF)</li><li>- moce układów antenowych czytnika ograniczone przez obostrzenia prawne</li></ul>	Powszechnie używany w aplikacjach technologii RFID
Transponer Semi pasywny	<ul style="list-style-type: none"><li>- duże zasięgi odczytu informacji z transpondera,</li><li>- układy scalone na pokładzie dysponują większą mocą obliczeniową</li><li>- umożliwiają ciągłą pracę dodatkowym układom stwarzyszonym z transponderem (np. sensory)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- wyższa cena – ze względu na zasilanie baterijne i obudowę transpondera,</li><li>- ograniczony czas życia (bateria)</li><li>- mniejsza niezawodność</li><li>- mniej przyjazne środowisku, np. ze względu na toksyczne chemikalia w baterii</li></ul>	Główne używany w systemach czasu rzeczywistego do śledzenia wartościowych przesyłek i cennego sprzętu wewnętrz fabryk
Transponer aktywny			Używane w zaawansowanych systemach logistycznych

# Pasma wykorzystywane w tech. RFID



Obszar pola bliskiego obowiązuje dla pasm od LF do HF i charakteryzuje się magazynowaniem energii w polu jednego typu nie wykazując tym samym propagacji energii. Pole dalekie (powyżej UHF) charakteryzuje natomiast propagacja energii radialnie od anteny – obecnie do 24.125 GHz.

# Podział technik RFID – częstotliwość

<b>Pasmo częstotliwościowe</b>	<b>LF: 125kHz</b>	<b>HF: 13,56MHz</b>	<b>UHF: 860-960MHz</b>	<b>Mikrofale: ≥ 2,4GHz</b>
Zasięg odczytu (transpondera pasywnego)	< 0,5m	< 1m	<3-10m	<10m
Sposób zasilenia transpondera	przeważnie pasywny	przeważnie pasywny	przeważnie aktywny ale pasywny również występuje	przeważnie aktywny ale pasywny również występuje
Koszt transpondera	relatywnie duży	duży, ale mniejszy niż transpondera LF	niski	bardzo niski
Typowe aplikacje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrola dostępu</li> <li>- śledzenie zwierząt</li> <li>- immobilisery</li> <li>- systemy POS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- inteligentne karty</li> <li>- biblioteki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektroniczna opłat za przejazd</li> <li>- śledzenie przesyłek i bagażu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektroniczna opłat za przejazd</li> </ul>
Szybkość transmisji danych	mała	→		
Działanie w bliskim otoczeniu metalu lub cieczy	lepsze	→		
Rozmiar transpondera pasywnego	większy	←		

# Podział technik RFID – częstotliwość

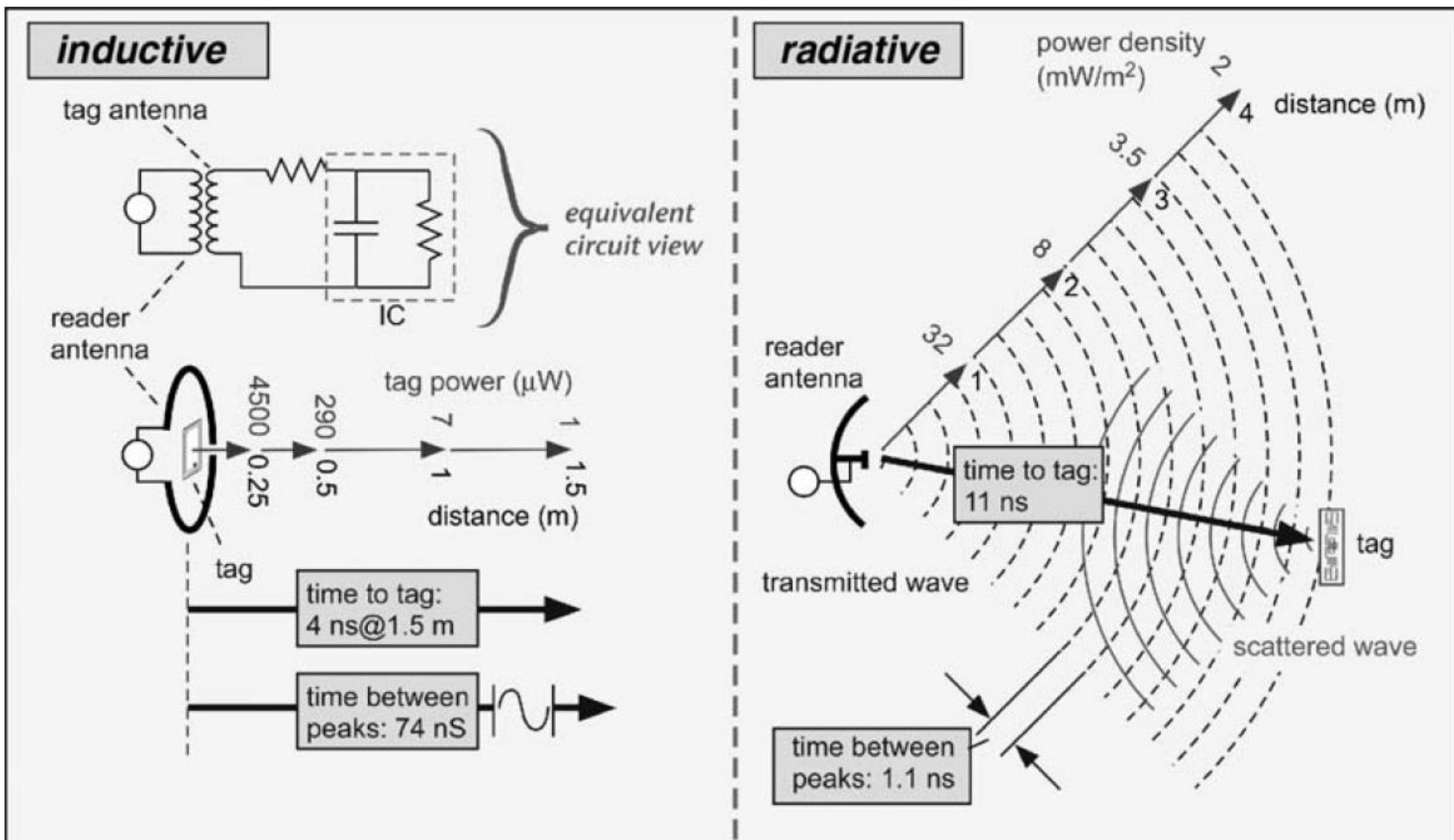
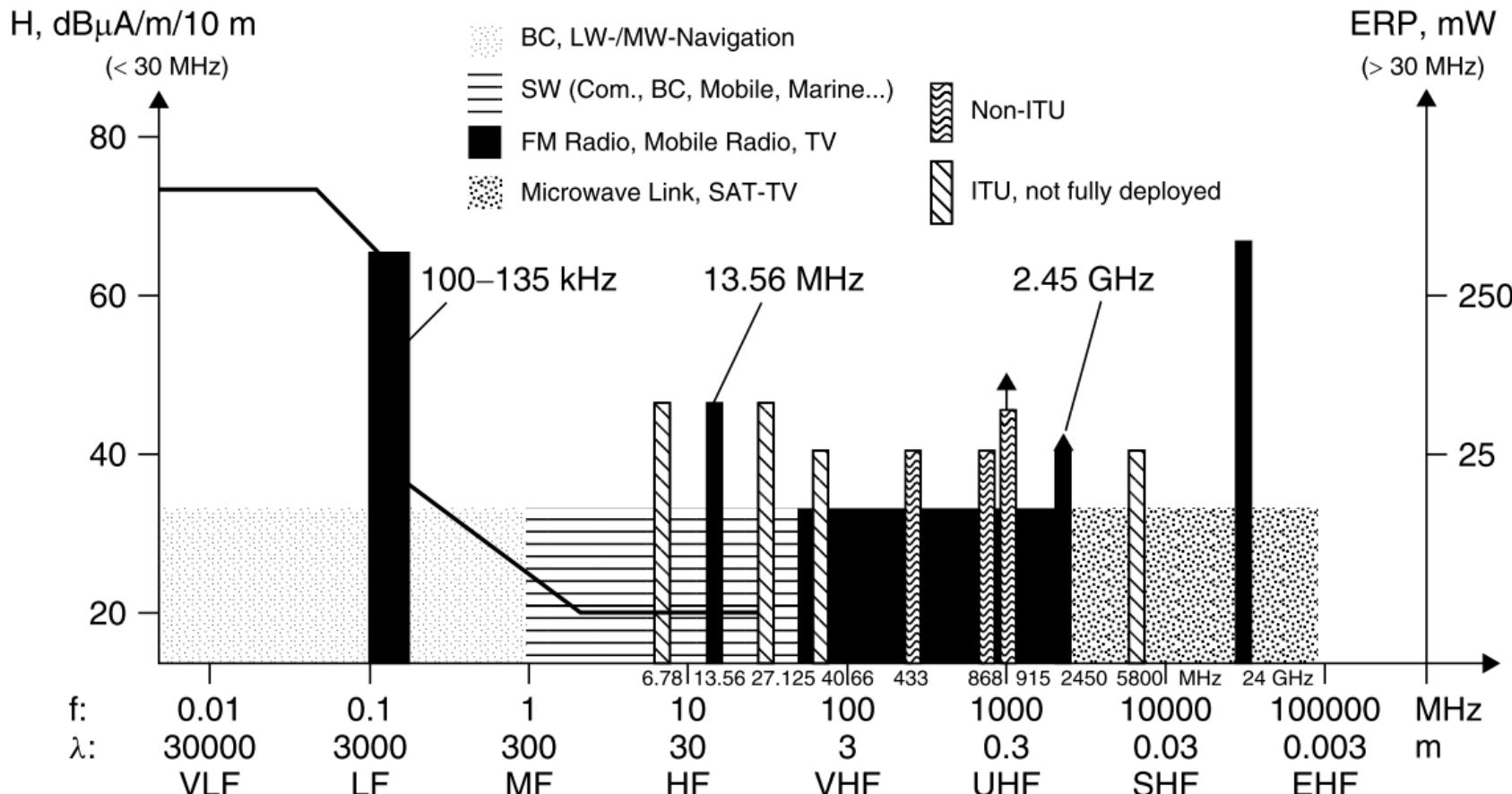


Figure 2.11: Inductive Coupling (13.56 MHz, 50 cm diameter antenna) vs. Radiative Coupling (900 MHz), With Associated Power and Time Delays.

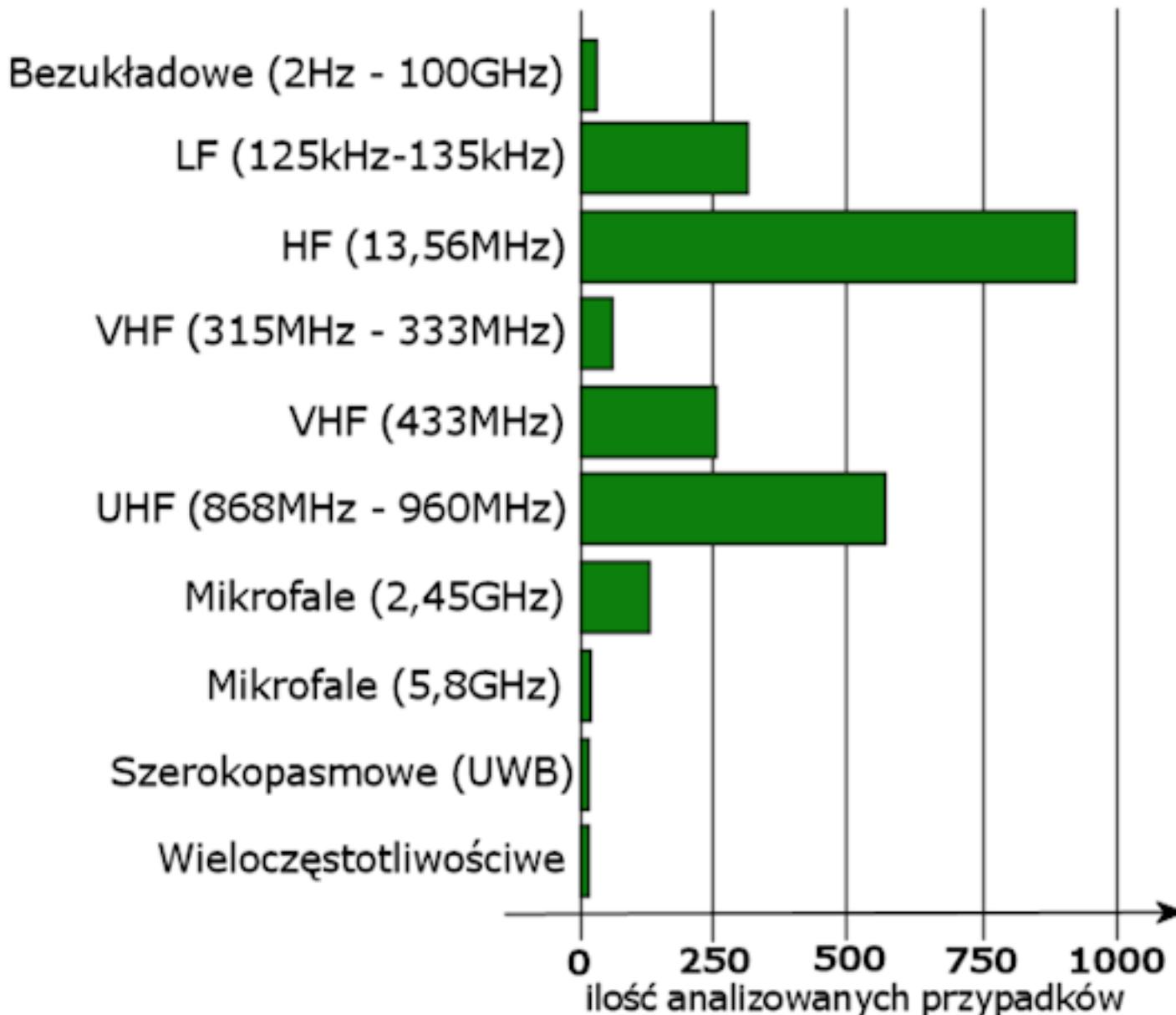
# Podział technik RFID – częstotliwość

AVAILABLE & PRACTICAL RFID FREQUENCIES



**Figure 5.1** The frequency ranges used for RFID systems range from the myriametric range below 135 kHz, through short wave and ultrashort wave to the microwave range, with the highest frequency being 24 GHz. In the frequency range above 135 kHz the ISM bands available worldwide are preferred

# Podział technik RFID – częstotliwość

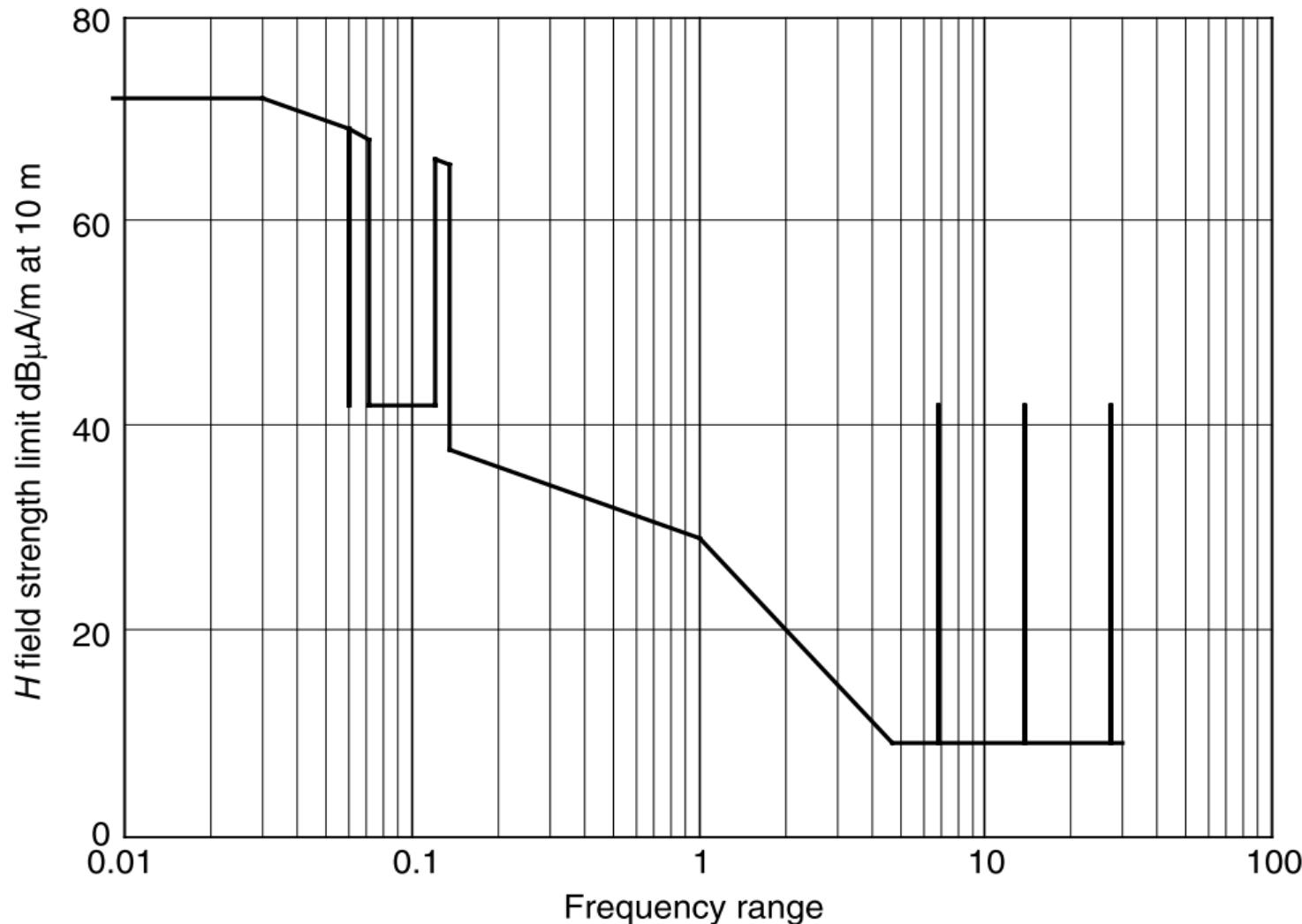


# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.3** Non-specific short range devices

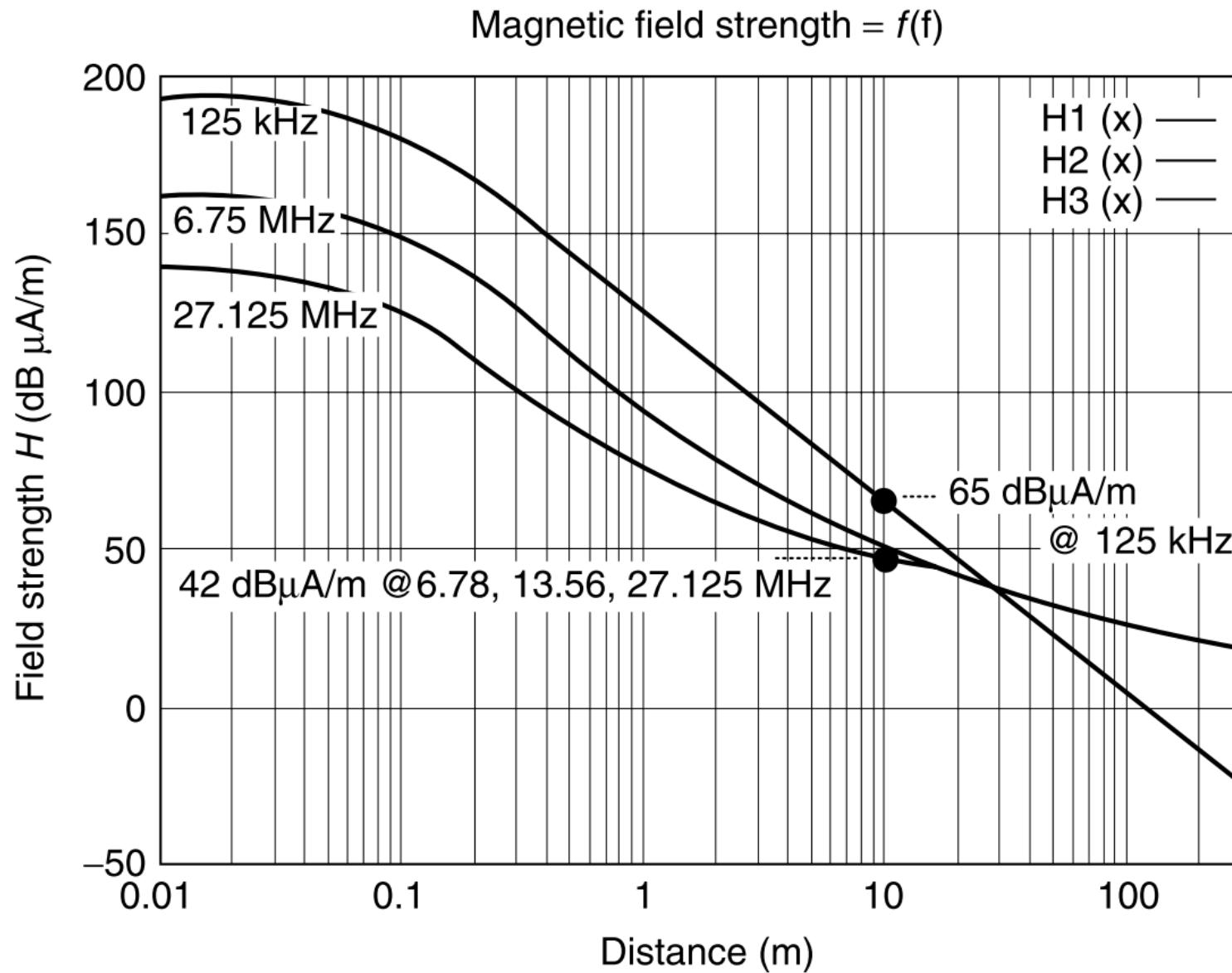
Frequency band	Power	Comment
6785–6795 kHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	
13.553–13.567 MHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	
26.957–27.283 MHz	42 dB $\mu$ A/m	(10 mW ERP)
40.660–40.700 MHz	10 mW ERP	
138.2–138.45 MHz	10 mW ERP	Only available in some states
433.050–434.790 MHz	10 mW ERP	<10% duty cycle
433.050–434.790 MHz	1 mW ERP	Up to 100% duty cycle
868.000–868.600 MHz	25 mW ERP	<1% duty cycle
868.700–869.200 MHz	25 mW ERP	<0.1% duty cycle
869.300–869.400 MHz	10 mW ERP	
869.400–860.650 MHz	500 mW ERP	<10% duty cycle
869.700–870.000 MHz	5 mW ERP	
2400–2483.5 MHz	10 mW EIRP	
5725–5875 MHz	25 mW EIRP	<i>EIRP</i> (ang. Effective
24.00–24.25 GHz	100 mW	Isotropical Radiated Power
61.0–61.5	100 mW EIRP	
122–123 GHz	100 mW EIRP	
244–246 GHz	10 mW EIRP	

# Podział technik RFID – niskie częstotliwość



**Figure 5.5** Limit values for the magnetic field strength  $H$  measured at a distance of 10 m, according to Table 5.10

# Podział technik RFID – niskie częstotliwość



# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.4** Railway applications

Frequency band	Power	Comment
4515 kHz	7 dB $\mu$ A/m @ 10 m	Euroloop (spectrum mask available)
27.095 MHz	42 dB $\mu$ A/m	Eurobalise (5 dB $\mu$ A/m @ $\pm 200$ kHz)
2446–2454 MHz	500 mW EIRP	Transponder applications (AVI)

Relevant harmonised standards: EN 300 761, EN 300 330.

**Table 5.5** Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)

Frequency band	Power	Comment
5795–5815 MHz	8 W EIRP	Road toll systems
63–64 GHz	t.b.d.	Vehicle — vehicle communication
76–77 GHz	55 dBm peak	Vehicle — radar systems

Relevant harmonised standards: EN 300 674, EN 301 091, EN 201 674.

# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.6** Inductive applications

Frequency band	Power	Comment
9.000–59.750 kHz	See comment	72 dB $\mu$ A/m at 30 kHz, descending by -3 dB/Ok
60.250–70.000 kHz		
119–135 kHz		
59.750–60.250 kHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	
70–119 kHz		
6765–6795 kHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	
7400–8800 kHz	9 dB $\mu$ A/m	EAS systems
13.553–13.567 MHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	(9 dB $\mu$ A/m@ $\pm$ 150 kHz)
26.957–27.283 MHz	42 dB $\mu$ A/m @ 10 m	(9 dB $\mu$ A/m@ $\pm$ 150 kHz)

Relevant harmonised standards: EN 300 330.

**Table 5.7** RFID applications

Frequency band	Power	Comment
2446–2454 MHz	500 mW EIRP 4 W EIRP	100% duty cycle <15% duty cycle; only within buildings

Relevant harmonised standards: EN 300 440.

**Table 5.8** Proposal for a further frequency range for RFID systems

Frequency band	Power	Comment
865.0–868.0 MHz:		Channels with 100 kHz channel spacing
865.0–865.6 MHz	100 mW EIRP	
865.6–867.6 MHz	2 W EIRP	
867.6–868.0 MHz	100 mW EIRP	

# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.10** Maximum permitted magnetic field strength at a distance of 10 m

Frequency range (MHz)	Maximum <i>H</i> field at a distance of 10 m
0.009–0.030	72 dB $\mu$ A/m
0.030–0.070	72 dB $\mu$ A/m at 0.030 MHz descending by $-3$ dB/octave
0.05975–0.06025	42 dB $\mu$ A/m
0.070–0.119	
0.119–0.135	72 dB $\mu$ A/m at 0.03 MHz, descending by $-3$ dB/oct
0.135–1.0	37.7 dB $\mu$ A/m at 0.135 MHz, descending by $-3$ dB/octave
1.0–4.642	29 dB $\mu$ A/m at 1.0 MHz, descending by $-9$ dB/octave
4.643–30	9 dB $\mu$ A/m
6.675–6.795	42 dB $\mu$ A/m
13.553–13.567	
25.957–27.283	

# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.12** Device classes within and outside the ISM bands

Class	Range (MHz)	Permissible transmission power		
		ISM – 27 MHz	ISM – 40 MHz	ISM – 433 MHz
I	25–1000	10 mW	10 mW	10 mW
II	300–1000	—	—	25 mW
III	25–300	100 mW	100 mW	—
IV	300–1000	—	—	100 mW

<sup>1</sup> EIRP represents the power that a fictional isotropic source ( $G = 0 \text{ dB}$ ) would have to emit in order to generate the same power flux density at the reception location as at the device under test

# Podział technik RFID – częstotliwość

**Table 5.13** Permitted transmission power in accordance with EN 300 440

Class	Frequency (GHz)		
	1.0–5.0	5.0–20	>20
I	10 mW	25 mW	100 mW
II*	500 mW	500 mW	500 mW
III	500 mW	2 W	2 W

\*Reflective transponder systems.

The following frequency ranges are reserved for ISM applications:

- 2.400–2.4835 GHz
- 5.725–5.875 GHz
- 24.00–24.25 GHz

# Podział technik RFID – częstotliwość

## UHF regulatory status 2Q 2006

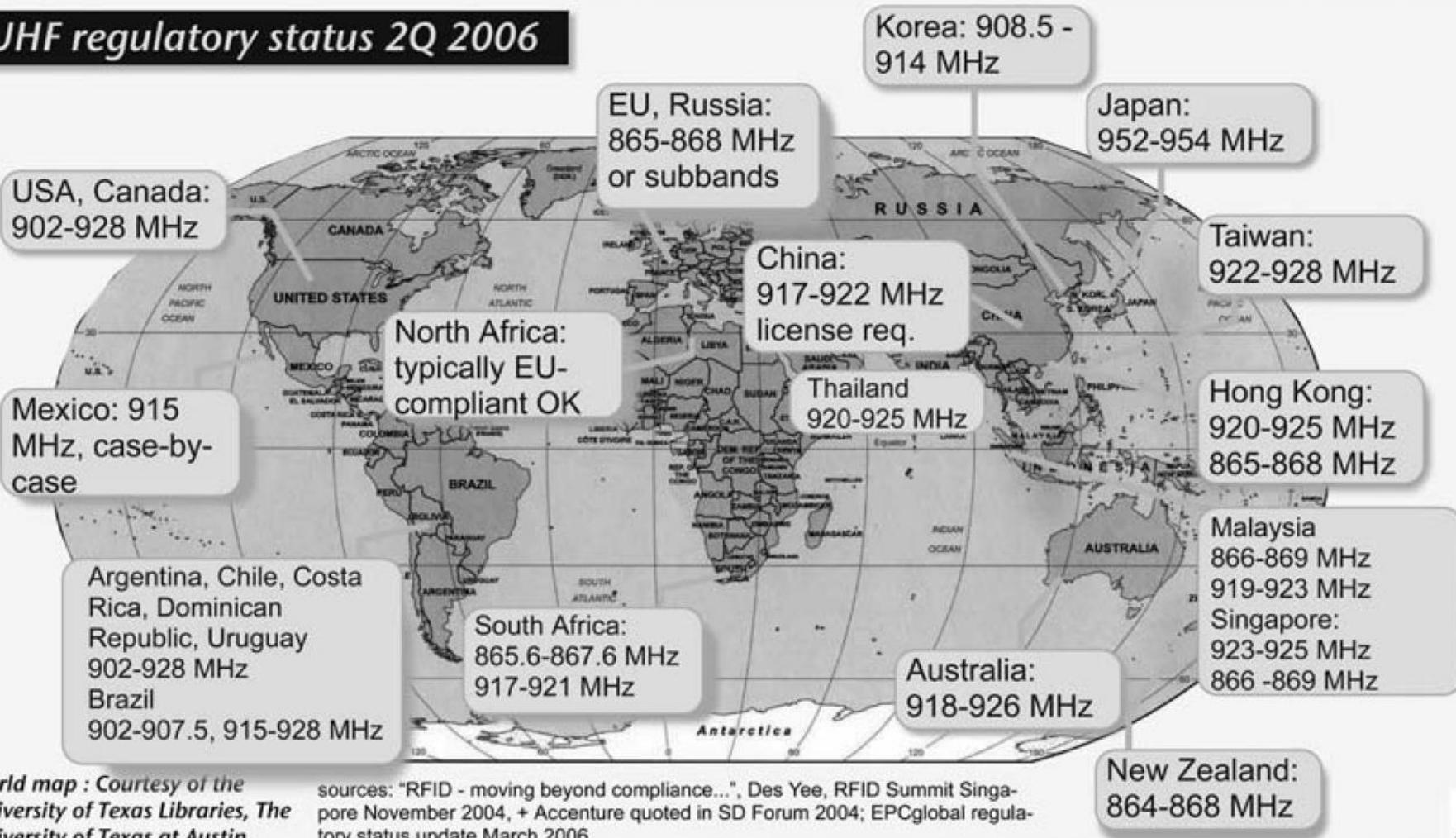


Figure 2.15: Capsule Summary of Worldwide UHF RFID Band Allocations.



# Podział technik RFID – częstotliwość

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu_0 \sigma f}} \quad (2.2)$$

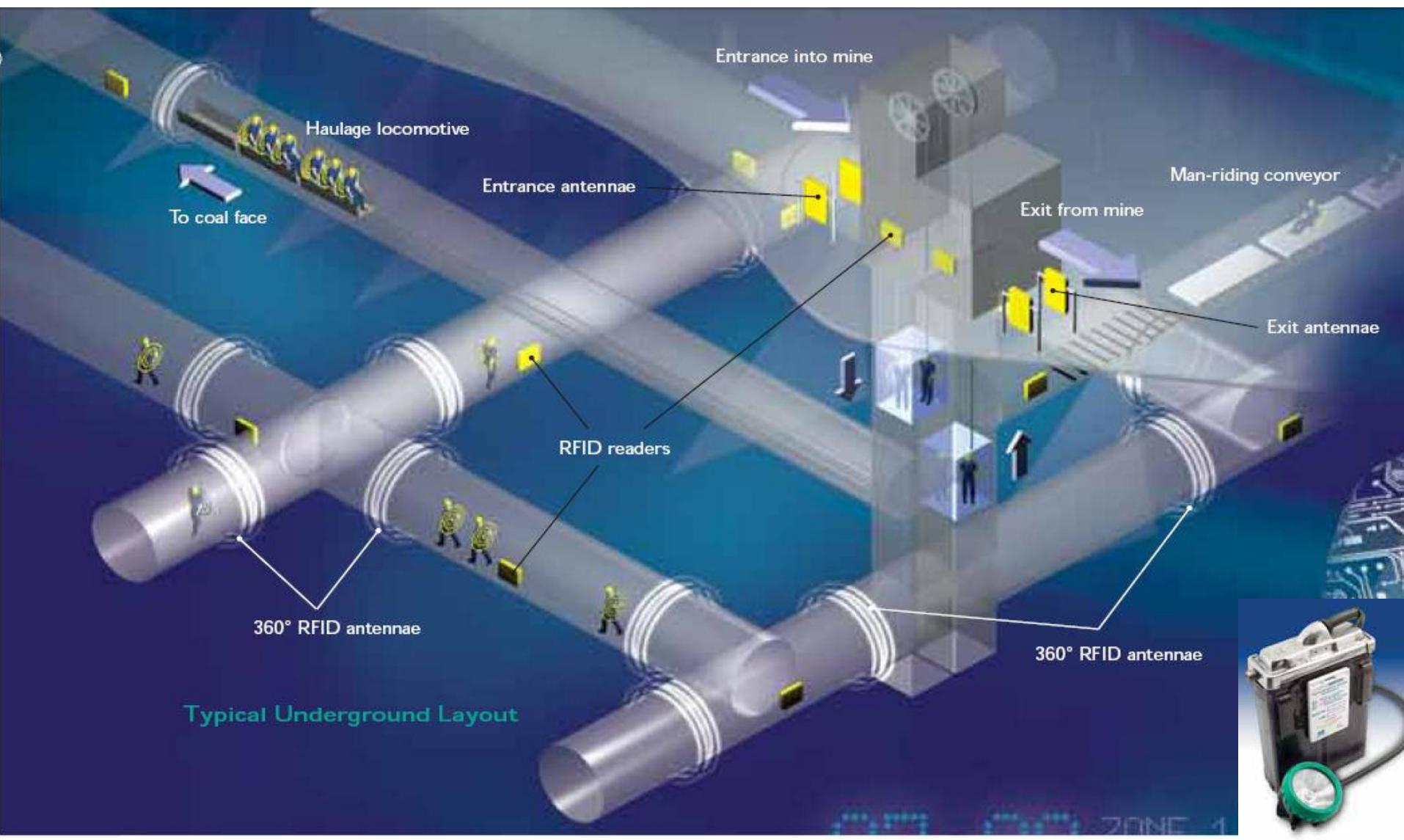
Approximate values for the skin depth in differing materials at the most common RFID frequencies are given in Table 2.1. (The values for water and animal tissue are rough estimates because the frequency dependence of the ionic conductivity has not been accounted for.) It is apparent that at 125 kHz, water and water-containing materials have essentially no effect on RFID operation, and that a thin sheet of metal is readily tolerated, but a thick metallic sheet

**Table 2.1: Skin Depth for Various Common Materials.**

Material	Skin Depth At			
	125 kHz	13.56 MHz	900 MHz	2.4 GHz
Tap water	8 m	2 m	4 cm	8 mm
Animal tissue	2 m	60 cm	2 cm	8 mm
Aluminium	0.23 mm	71 μm	2.7 μm	1.6 μm
Copper	0.18 mm	55 μm	2.1 μm	1.3 μm

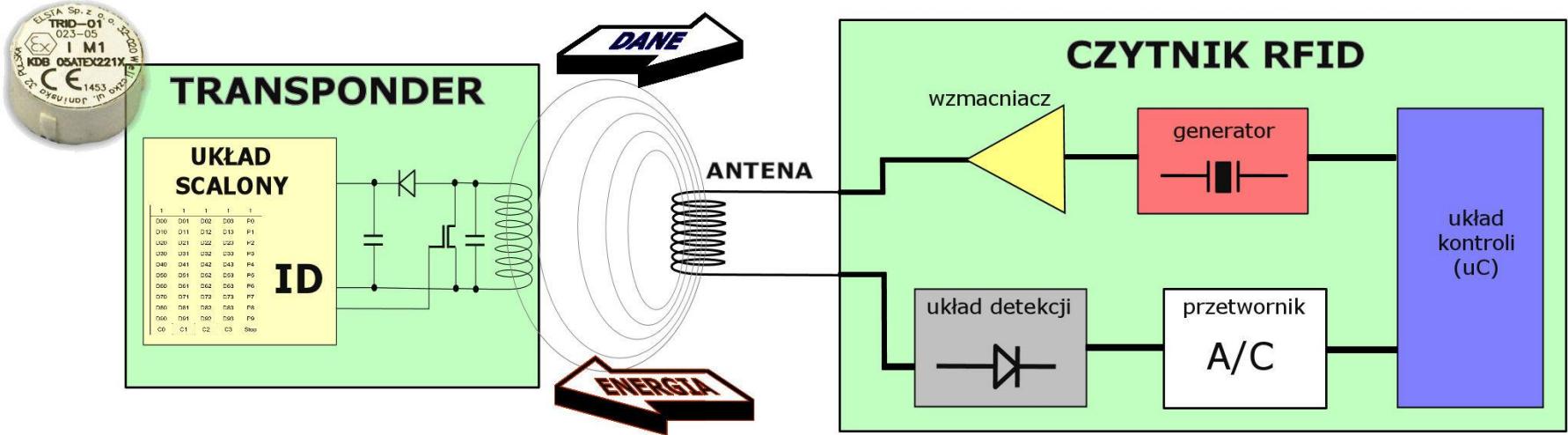
$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

# Zastosowania RFID na świecie w kopalniach



# Technologia RFID

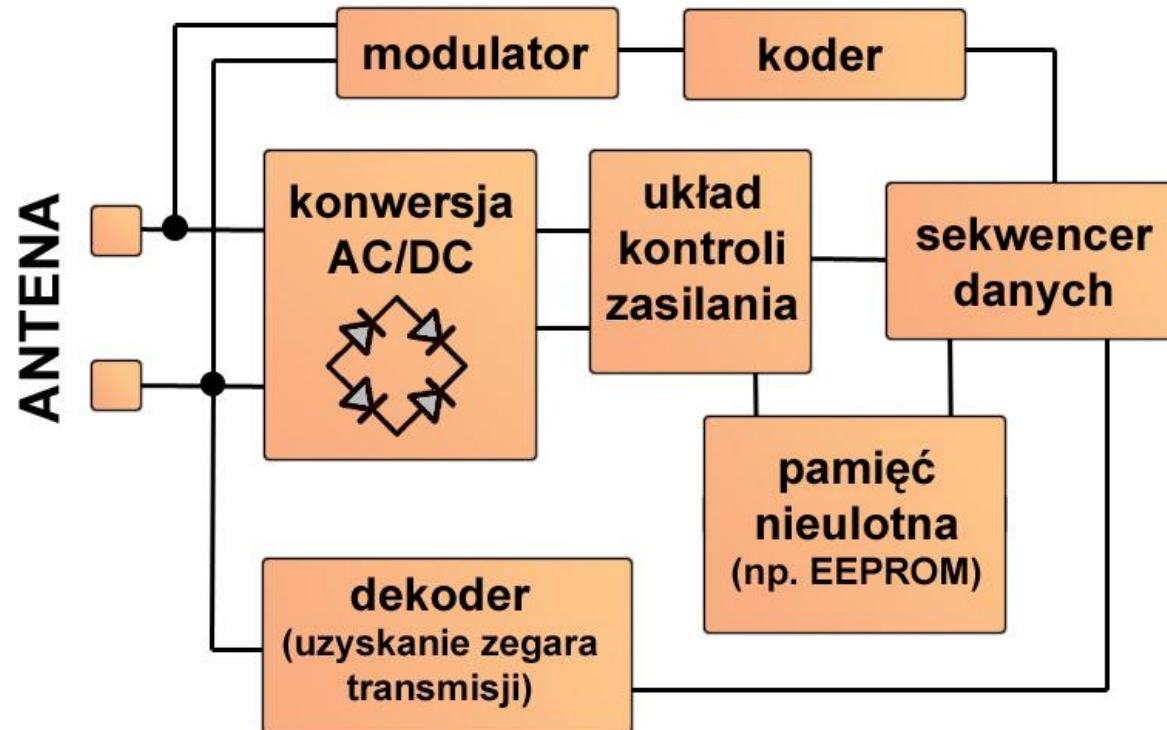
## (ang. Radio Frequency IDentification)



### Główne zalety:

- Bezprzewodowy odczyt
- Transponder pasywny (brak zasilania)
- Odporność mechaniczna i chemiczna

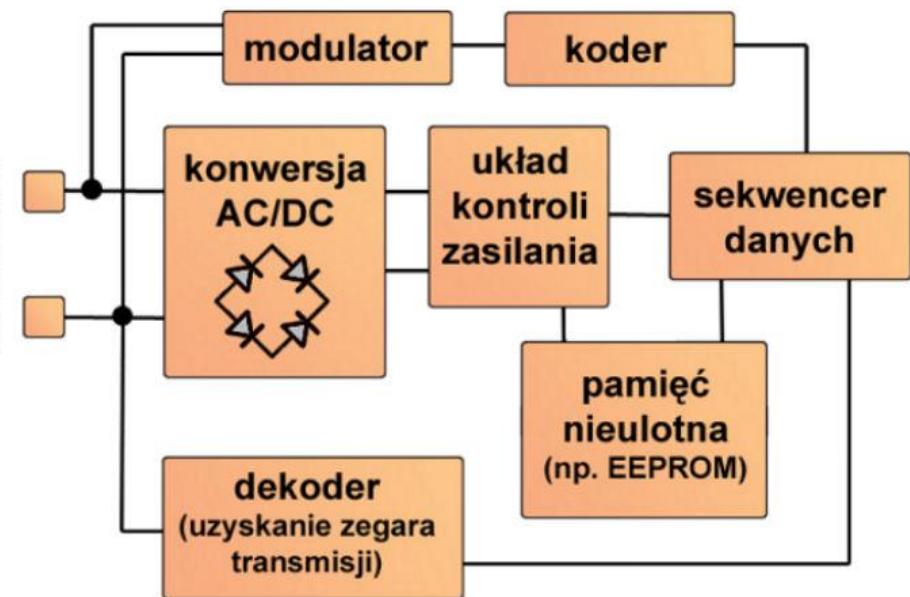
# Schemat blokowy ukł. scalonego RFID



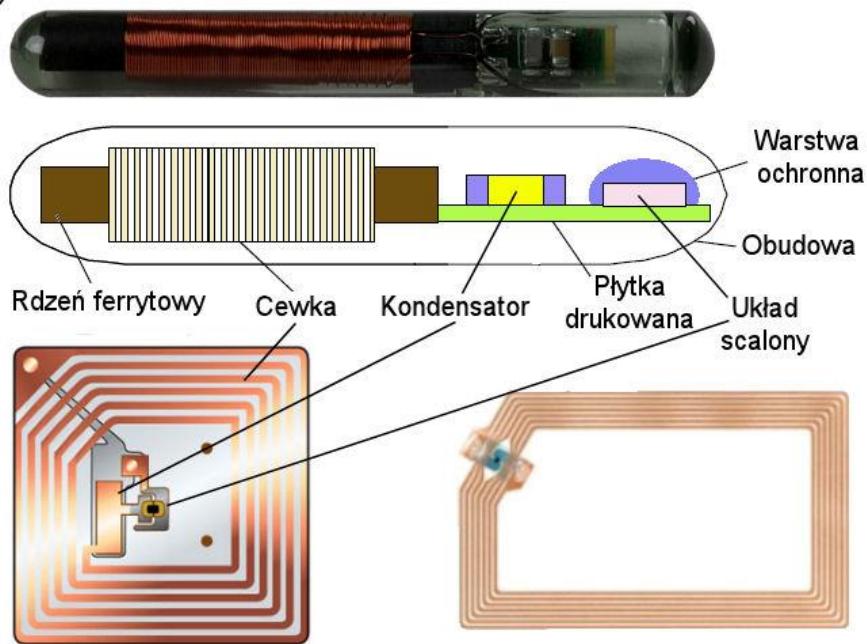
Transponder składa się zasadniczo z anteny oraz układu scalonego wykonanego w standardowej technologii CMOS

# Budowa transpondera pasywnego

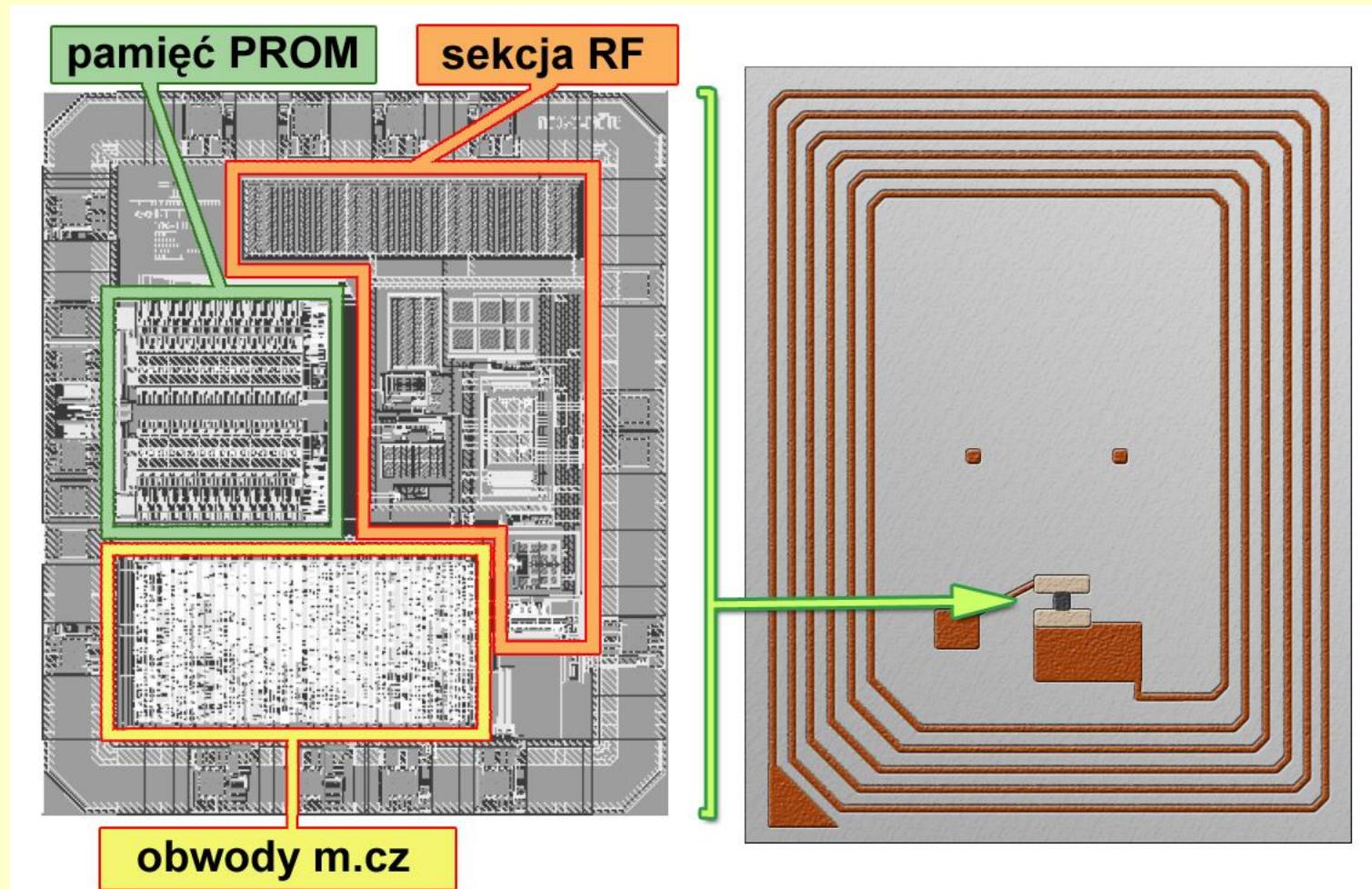
a)



b)

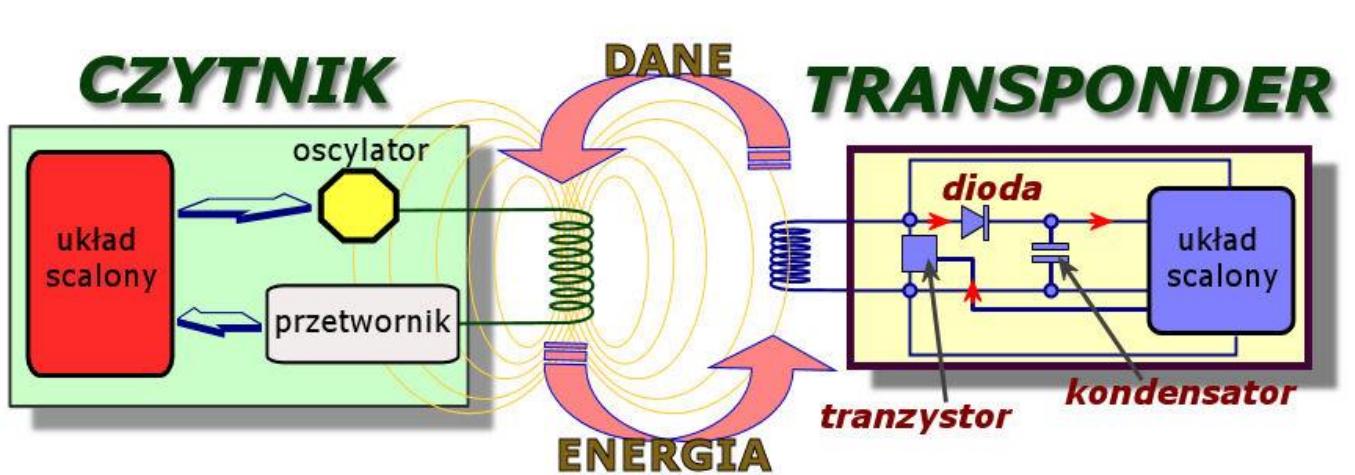


# Przykładowa budowa transpondera



Transponder ze względu na stosunkowo prostą konstrukcję nie zajmuje dużej powierzchni krzemu, przez co jest tani w wykonaniu. O rozmiarze całego transpondера decyduje właściwie tylko antena.

# RFID dla niskich częstotliwości



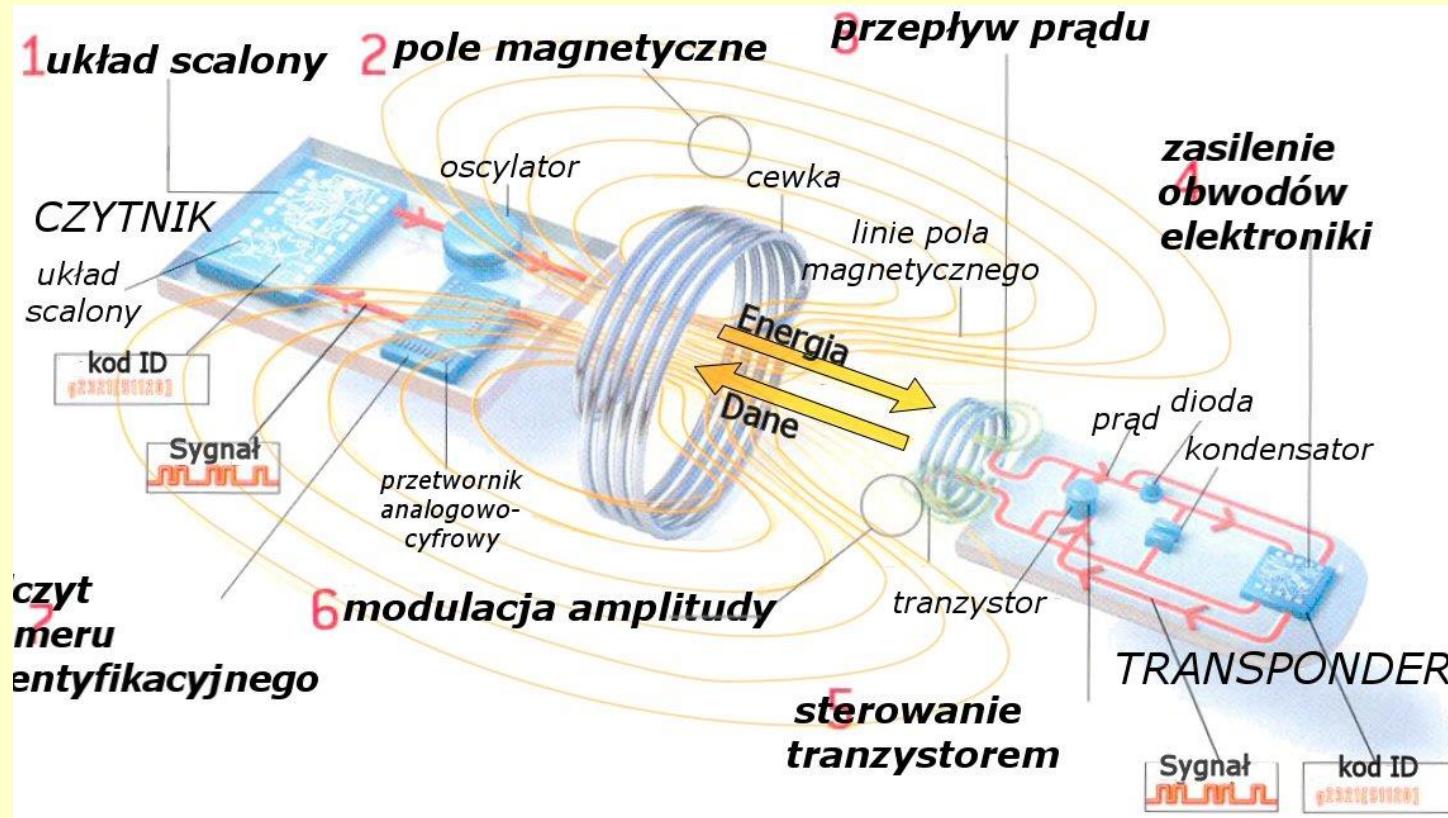
$$\oint Edl = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Zmienny strumień magnetyczny wytworzony przez antenę czytnika przenika częściowo przez antenę (cewkę) transpondera indukując w niej siłę elektromotoryczną SEM, zgodnie z prawem Faraday'a.

$$U_{SEM} = n \oint Edl$$

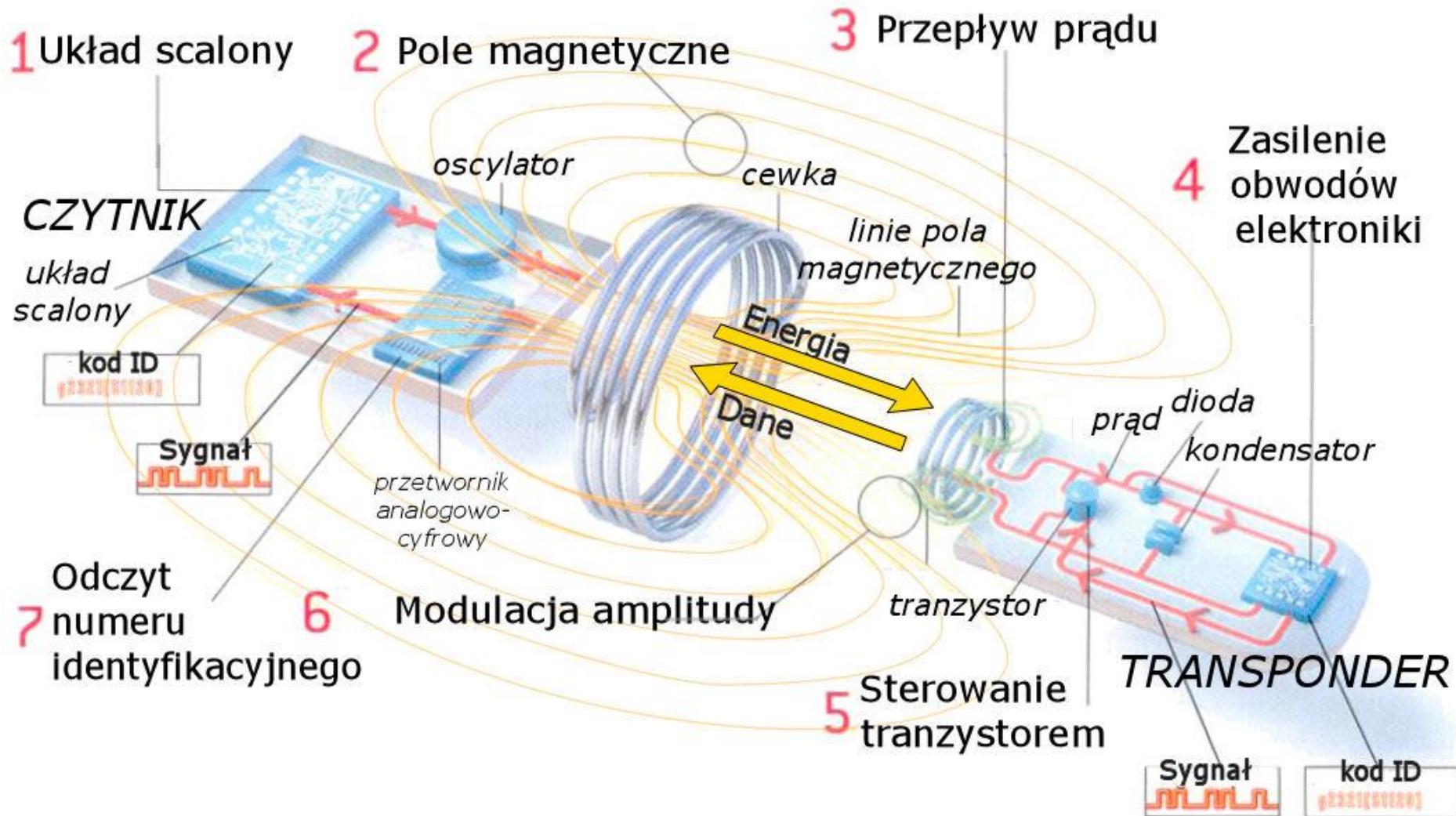
Jeżeli antena transpondera składa się z  $n$  zwojów to indukowana SEM jest odpowiednio zwielokrotniona.

# RFID dla niskich częstotliwości

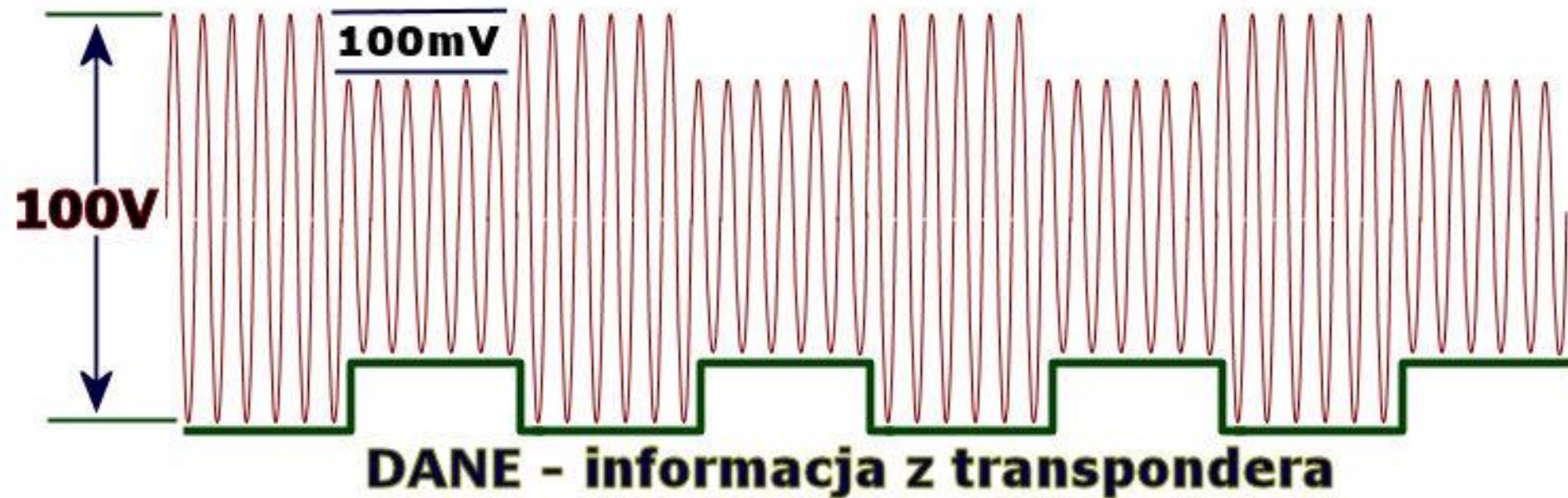


Zasilony układ scalony steruje kluczem tranzystorowym zwierającym cewkę obwodu antenowego, zmieniając tym samym obciążenie, jakie stanowi (poprzez sprzężenie indukcyjne) dla anteny czytnika. Zmiany te widoczne są w obwodzie rezonansowym czytnika jako zmiany amplitudy napięcia. Operacja ta wymaga bardzo niewielkiej energii.

# Zasada działania technologii RFID dla niskich częstotliwości

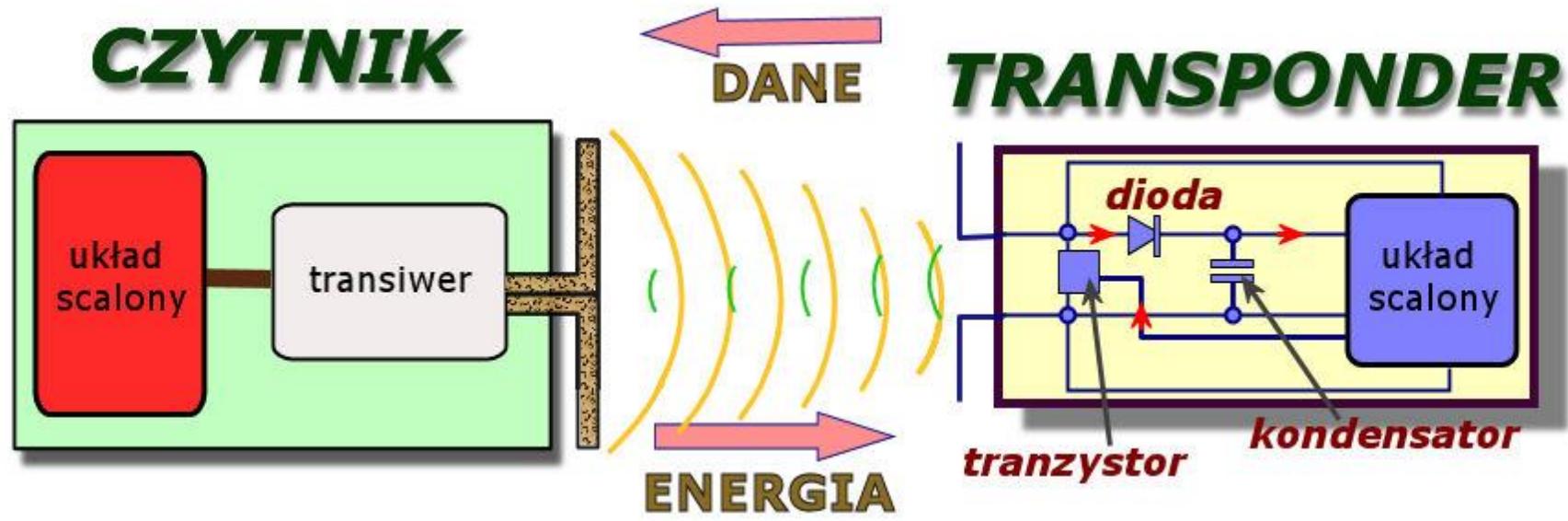


# RFID dla niskich częstotliwości



Transponder nie emituje on własnego promieniowania!!!  
Informacja wysyłana przez znaczek ujawnia się w postaci  
pływkiej modulacji amplitudy obwodu rezonansowego  
czytnika.

# RFID dla wysokich częstotliwości



Układ czytnika promieniuje energię w postaci fali elektromagnetycznej, która propaguje się w przestrzeni. Do tego celu potrzebny jest układ nadajnika radiowego wraz z układem antenowym o odpowiedniej kierunkowości. Jeśli na drodze promieniowania znajduje się transponder to jego układ antenowy zamieni część odbitej mocy fali elektromagnetycznej na sygnał danych.

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości

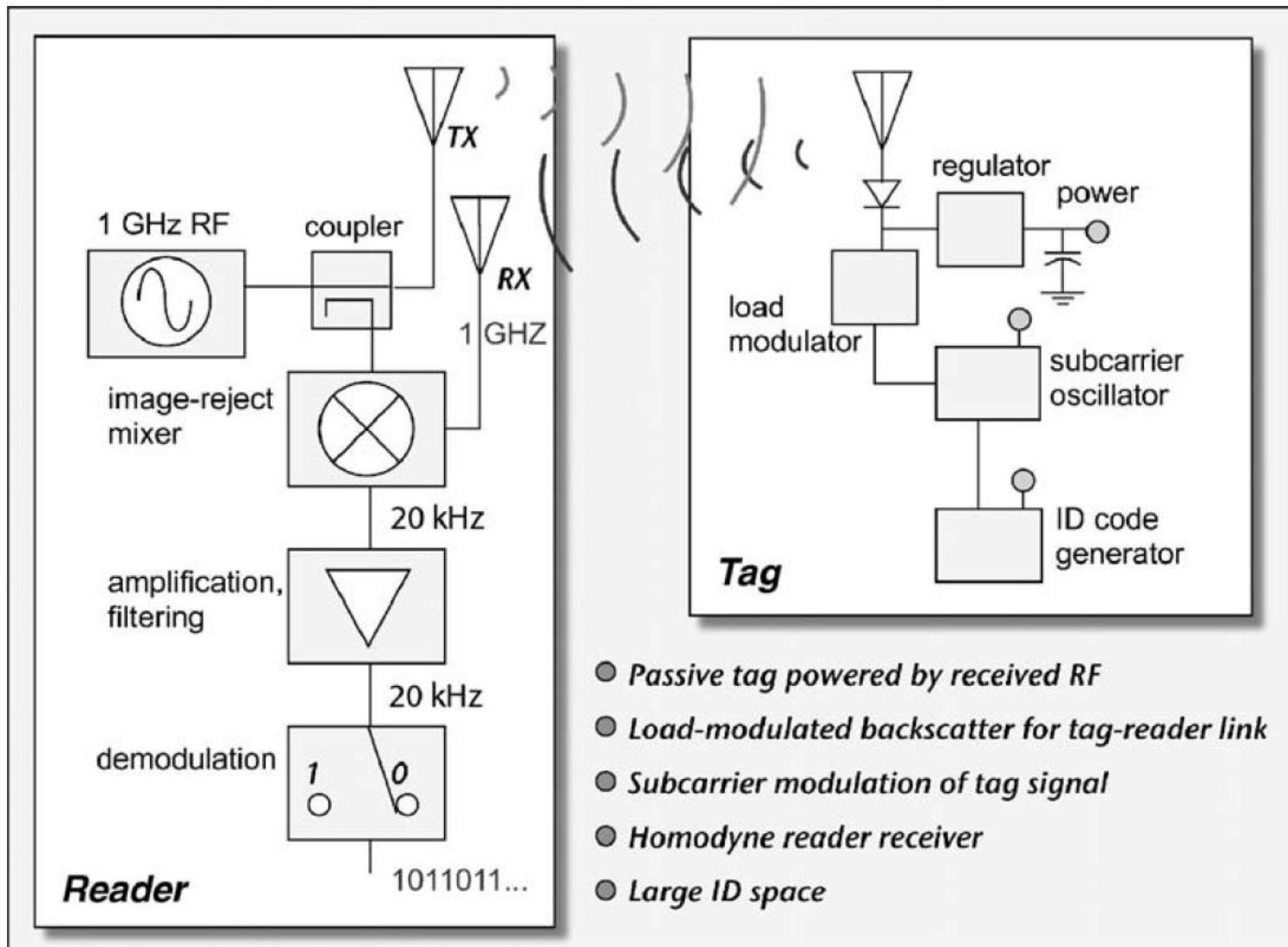
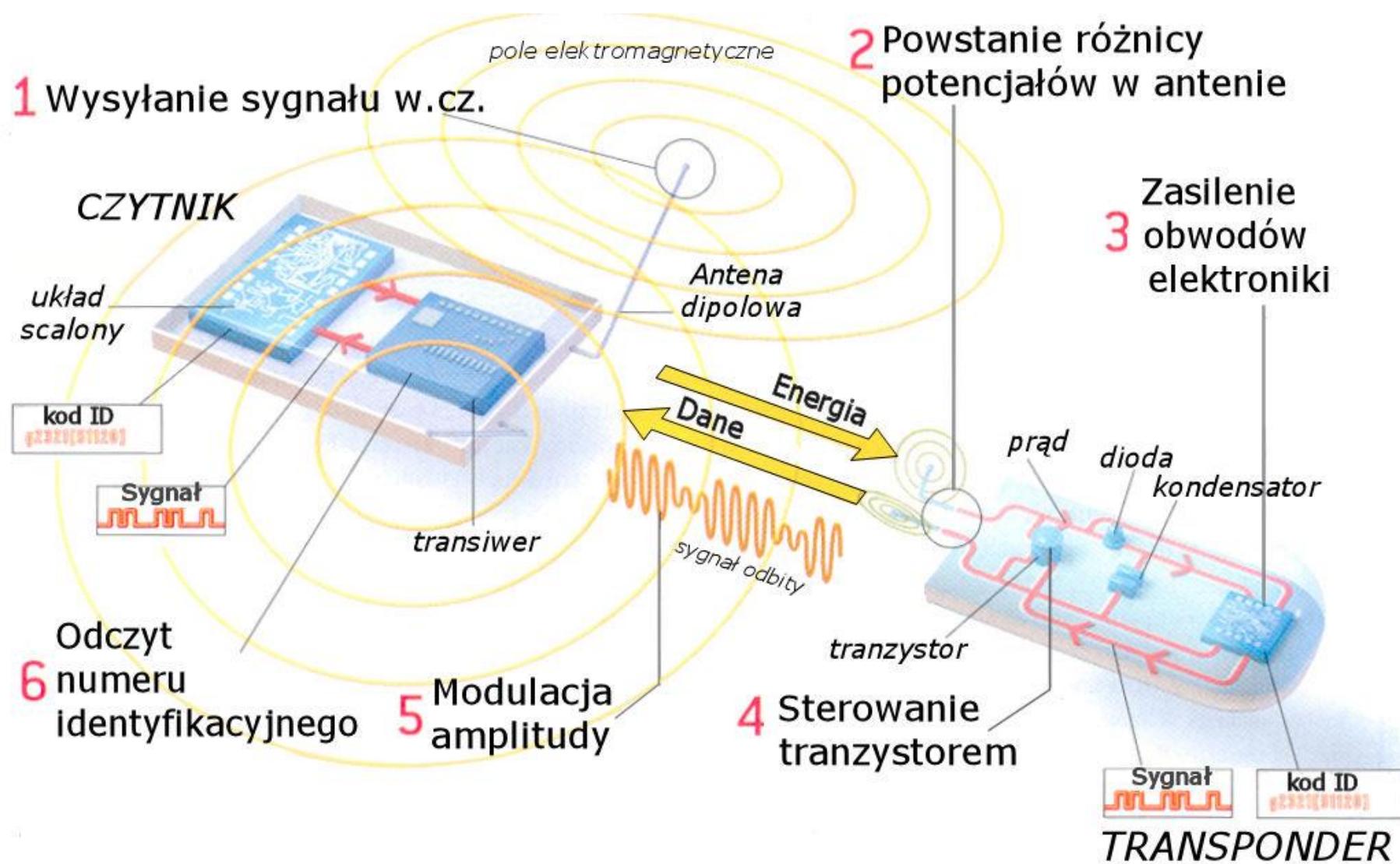


Figure 2.6: An Early UHF Passive Tag System; After Koelle et al. Proc. IEEE p. 1260, 1975.

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości



# RFID dla wysokich częstotliwości

Dostarczona w ten sposób energia może być zmagazynowana w kondensatorze i wykorzystana do zasilania.

Podobnie jak w przypadku niskoczęstotliwościowym głównym zadaniem układów elektroniki znacznika jest przekazanie informacji do czytnika.

Energia pola elektromagnetycznego padająca na antenę transpondera może być konsumowana przez niego (i wykorzystana do zasilania) lub odbita (wtórnie wypromienowana).

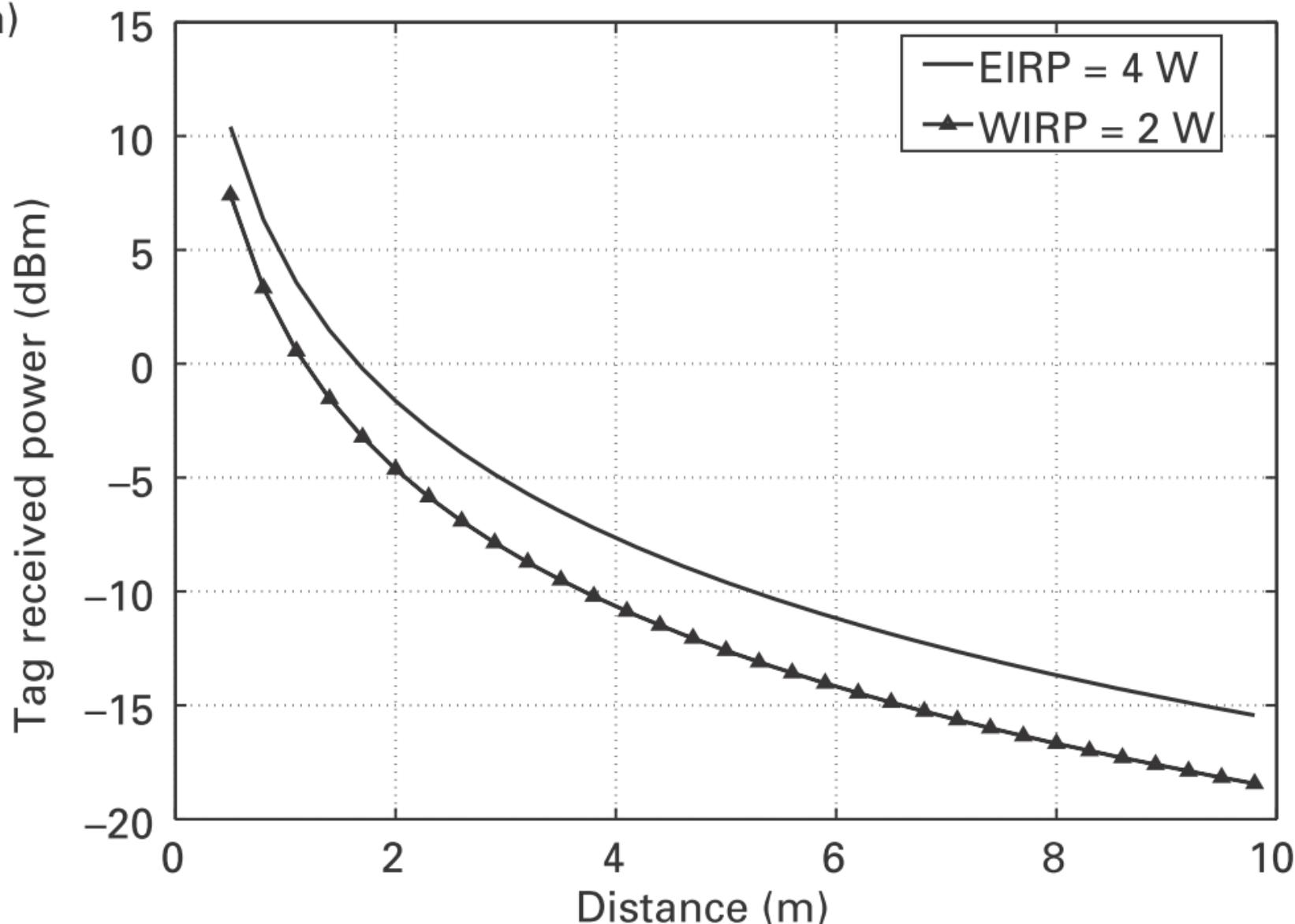
Te dwa stany pracy układu antennowego umożliwiają wysyłanie informacji zwrotnej o numerze identyfikacyjnym.

# RFID dla wysokich częstotliwości

W przypadku śledzenia odbicia czytnik zasadą działania przypomina radar, który wysyła fale elektromagnetyczną i obserwuje falę odbitą od obiektów. Podobnie jak w przypadku pól bliskich, modulacja amplitudy nośnej wywołana odbiciem powoduje zmiany sygnału w antenie czytnika, które są reprezentacją danych znajdujących się w transponderze (ang. *backscattered signal*).

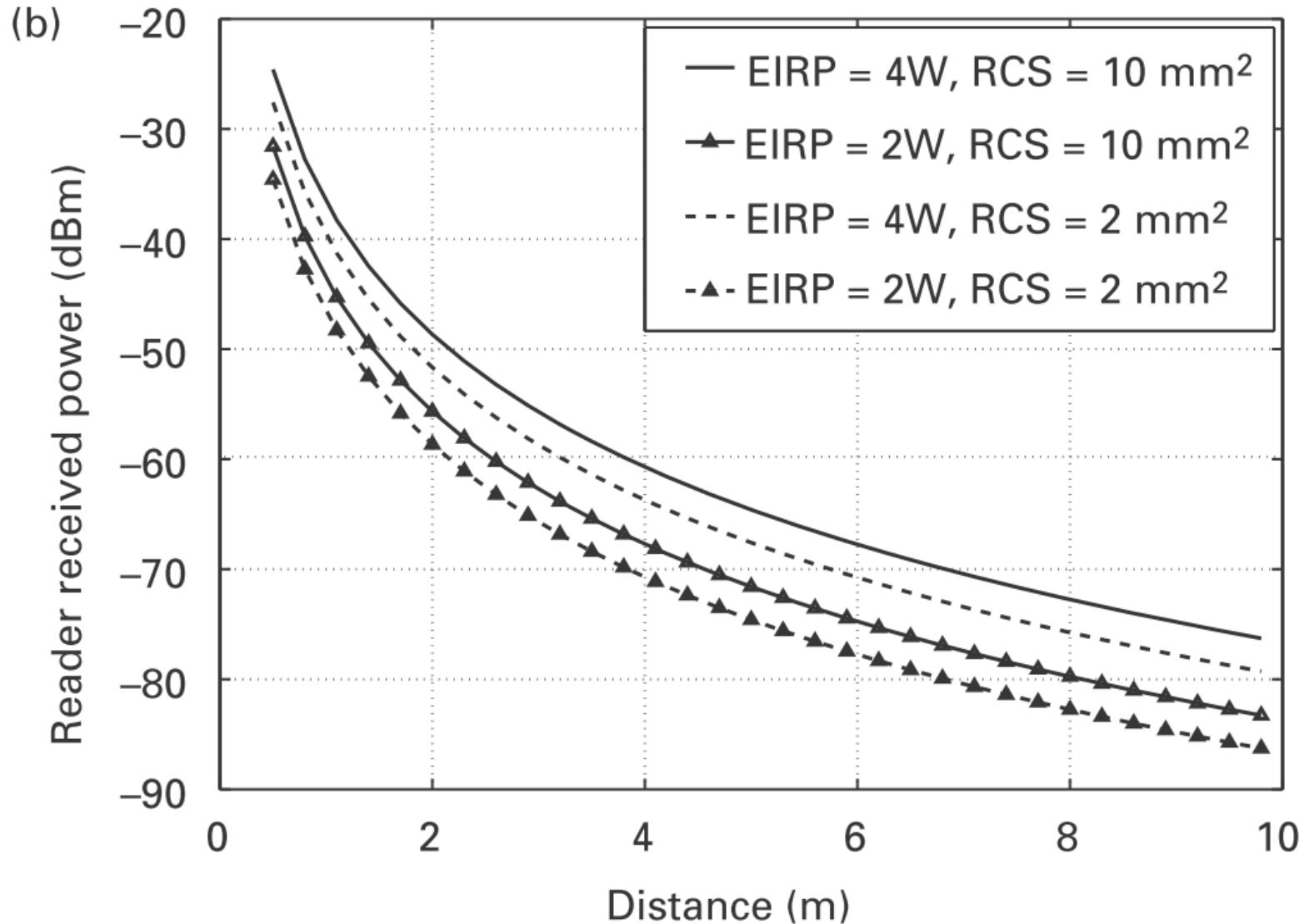
## Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi

(a)



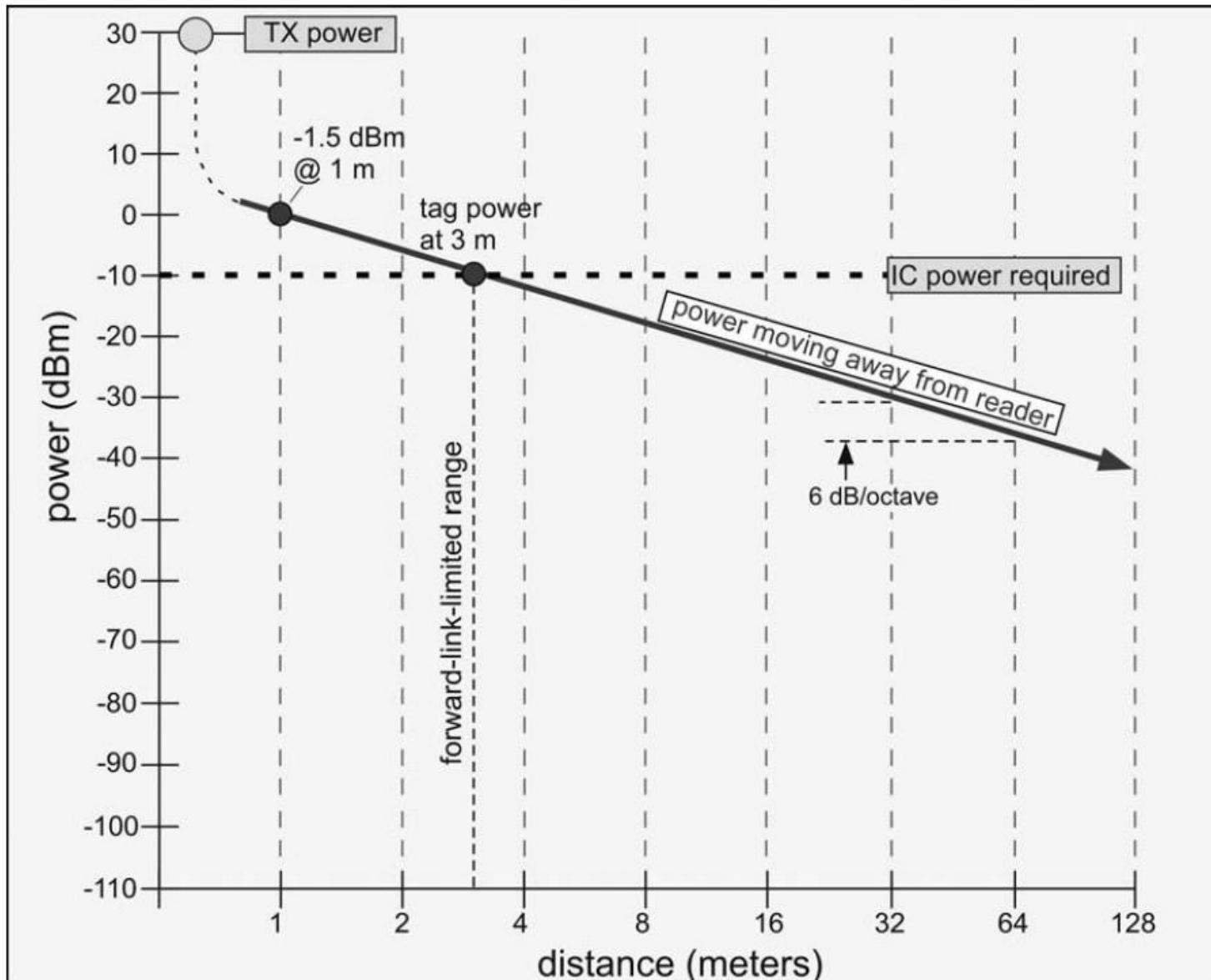
(a) Read range versus tag received power

## Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



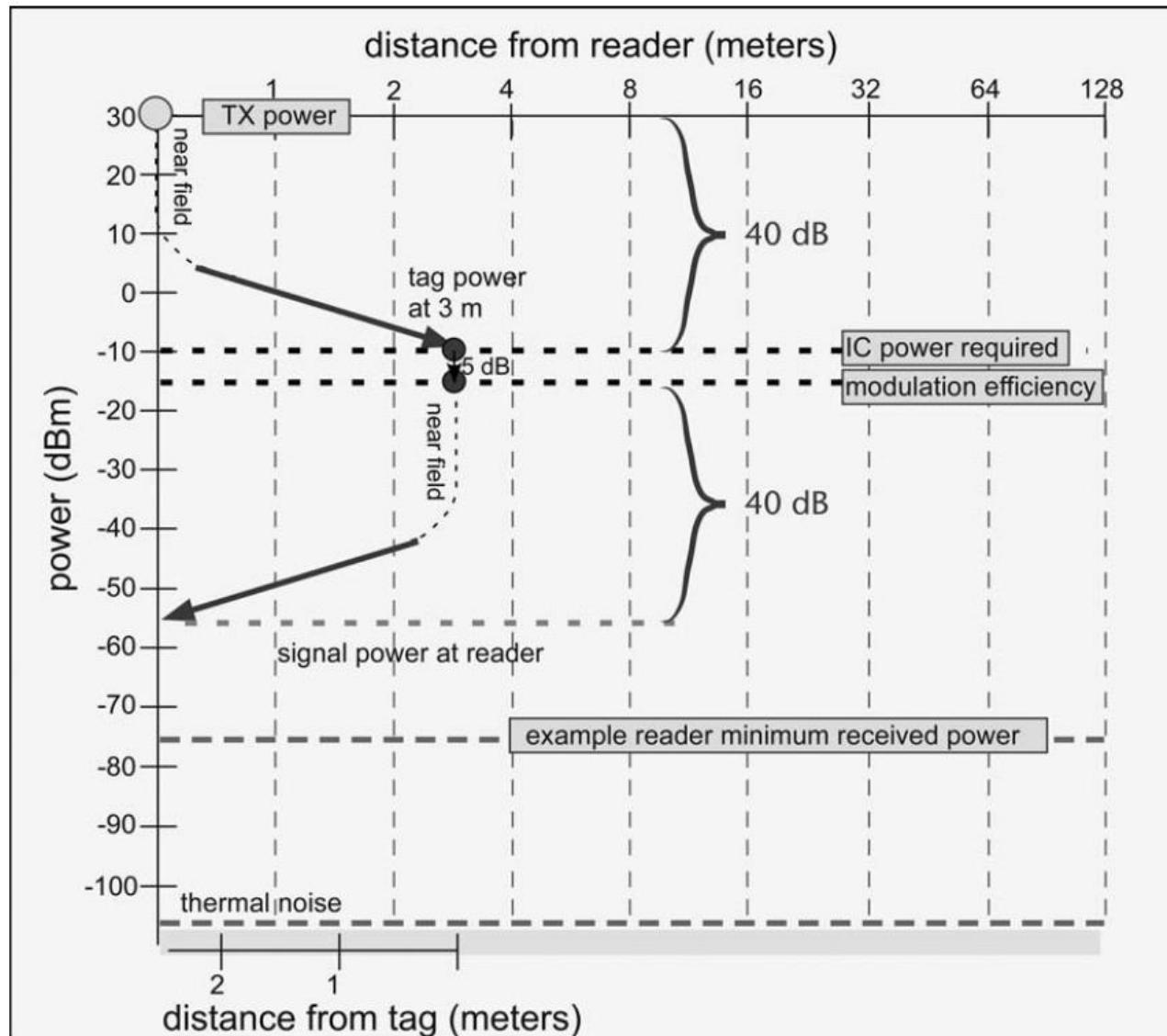
(b) Read range versus tag backscattered power

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



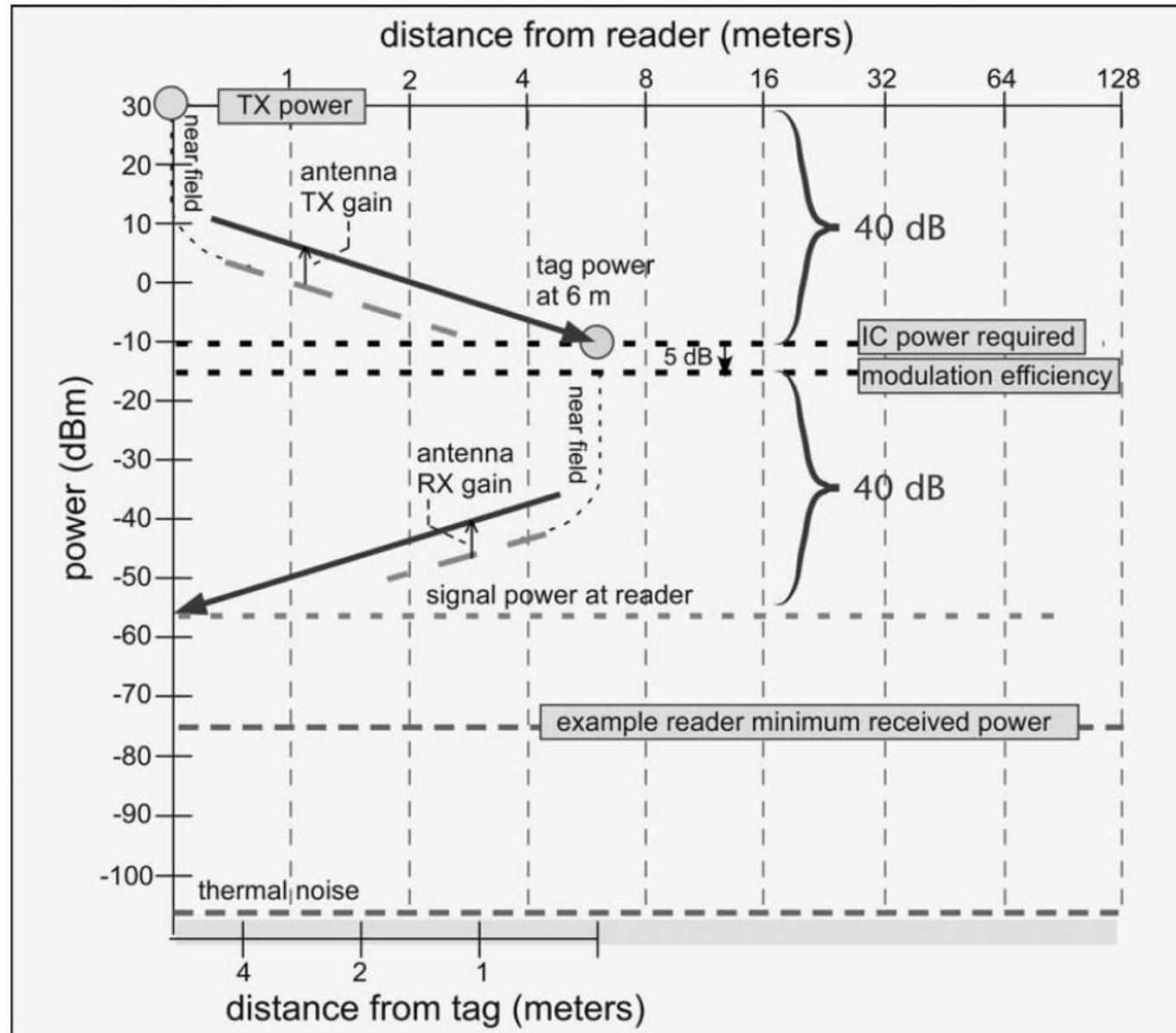
Forward Link Budget Calculation For Passive Tag

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



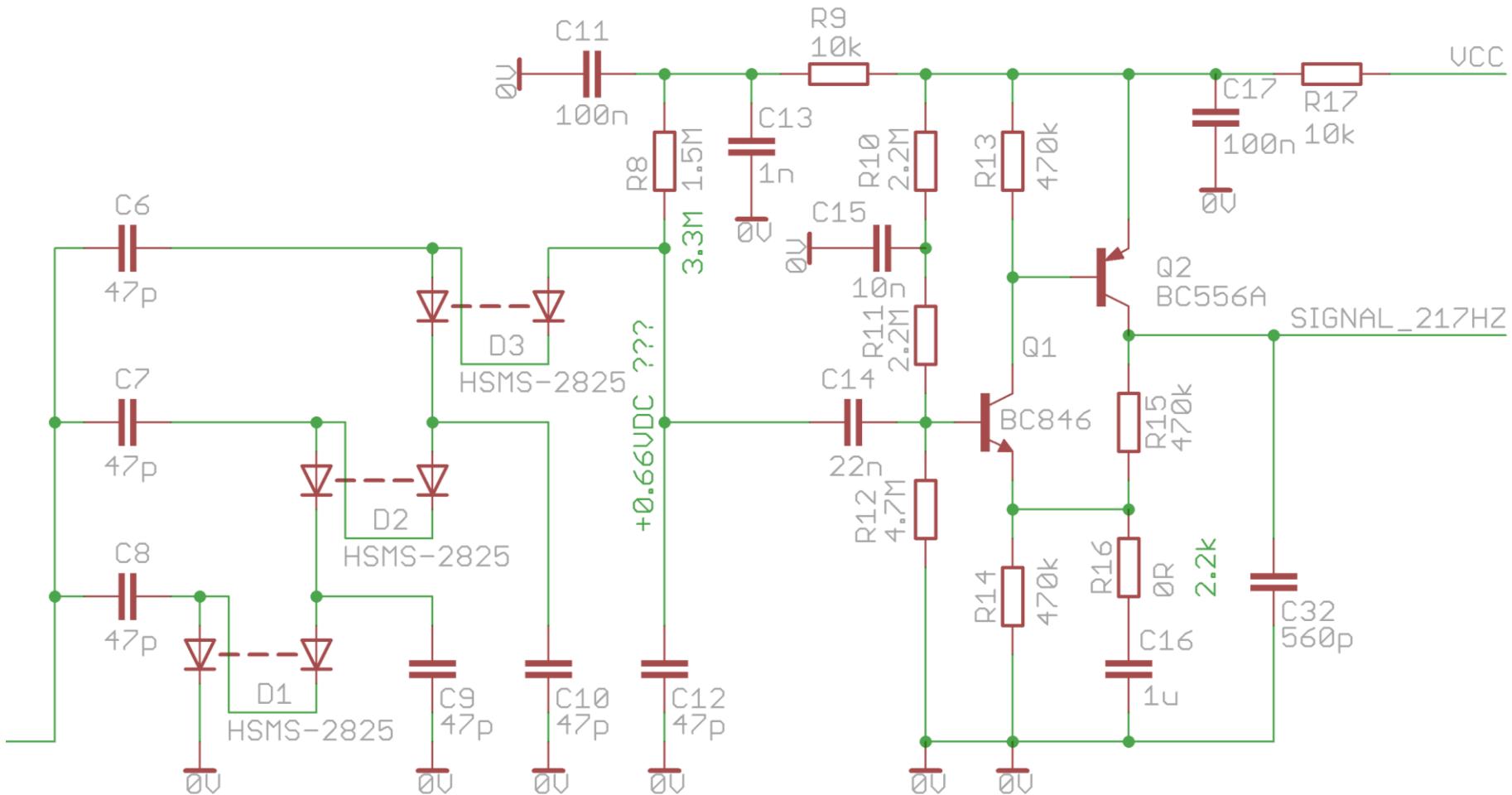
Forward and Reverse Link Budget Calculation for Passive Tag  
United States Operation

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



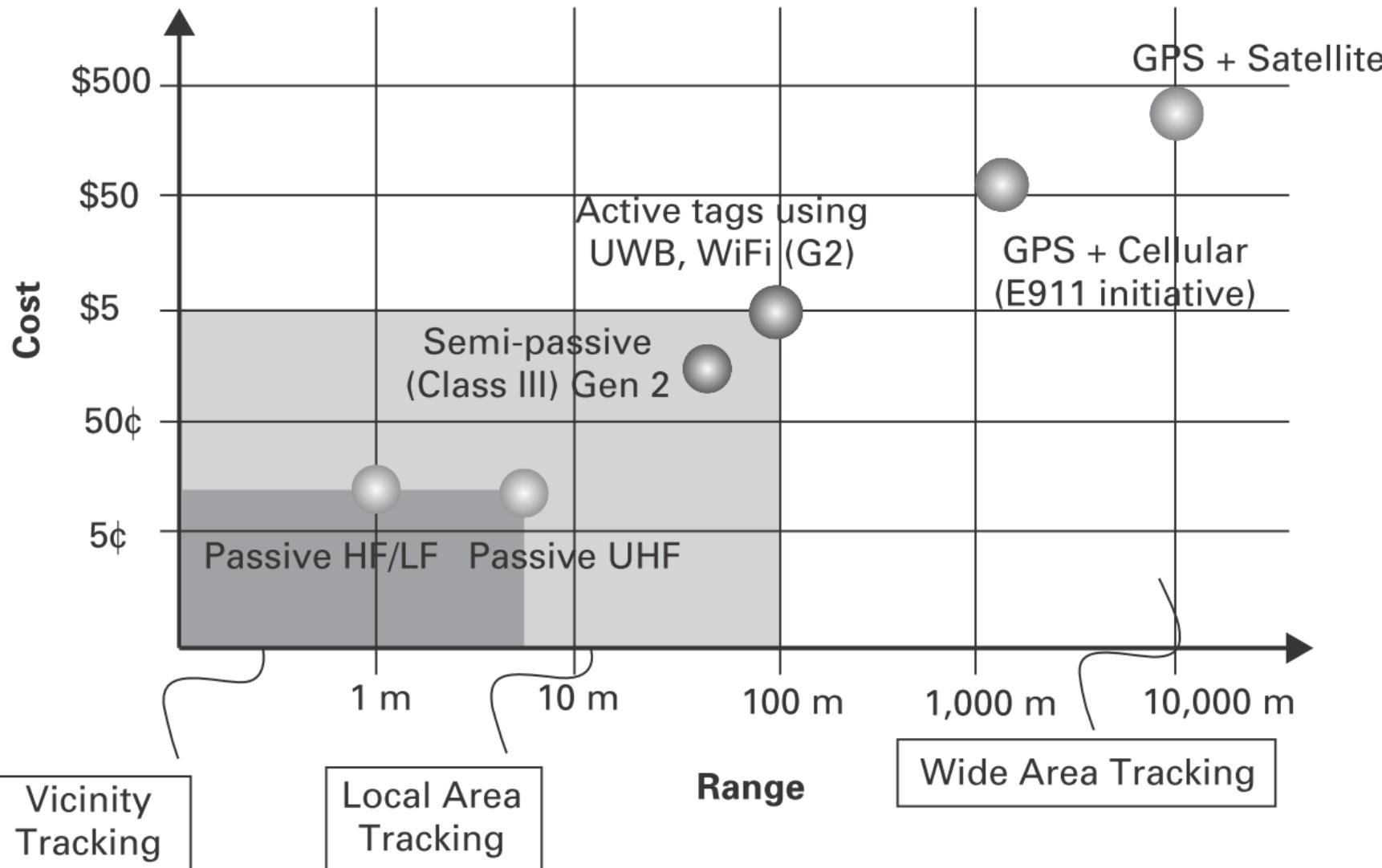
Forward and Reverse Link Budgets for Directional Antenna

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



Semi-pasywny układ detektora o prądzie spoczynkowym  $5\mu\text{A}$  przy  
czyłości  $-52\text{dBm}$

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi



The range of identification technologies.

The range of identification technologies

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi

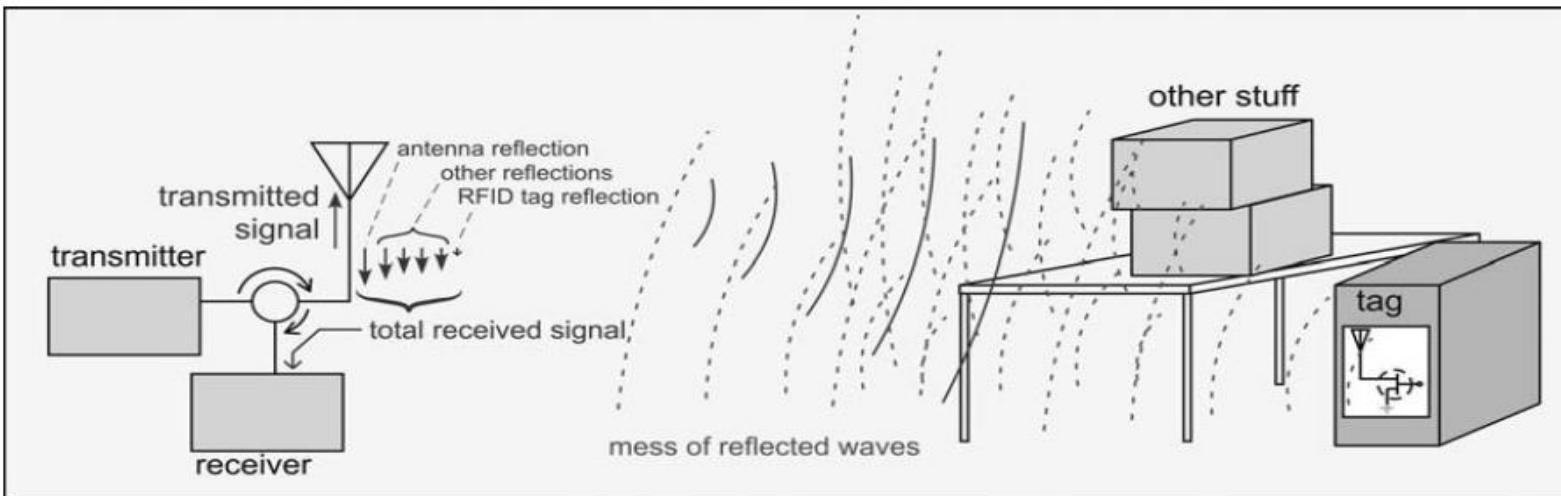


Figure 3.16: Realistic Environments Create Many Reflected Waves in Addition to that from the Wanted Tag.

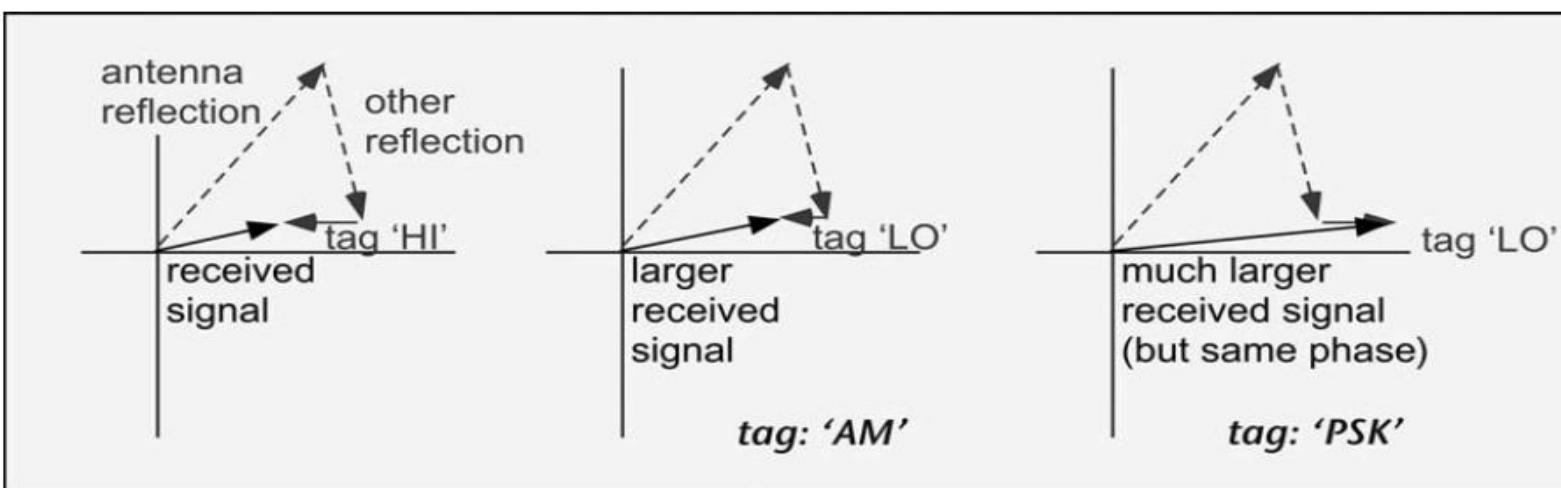


Figure 3.17: The Received Signal is not Simply Correlated to the Tag Signal. The AM Case Assumes the Tag Reduces its Scattered Magnitude Without Changing Phase; the PSK Case Assumes Phase Inversion Without Amplitude Change.

# Zasada działania technologii RFID dla wysokich częstotliwości - zasięgi

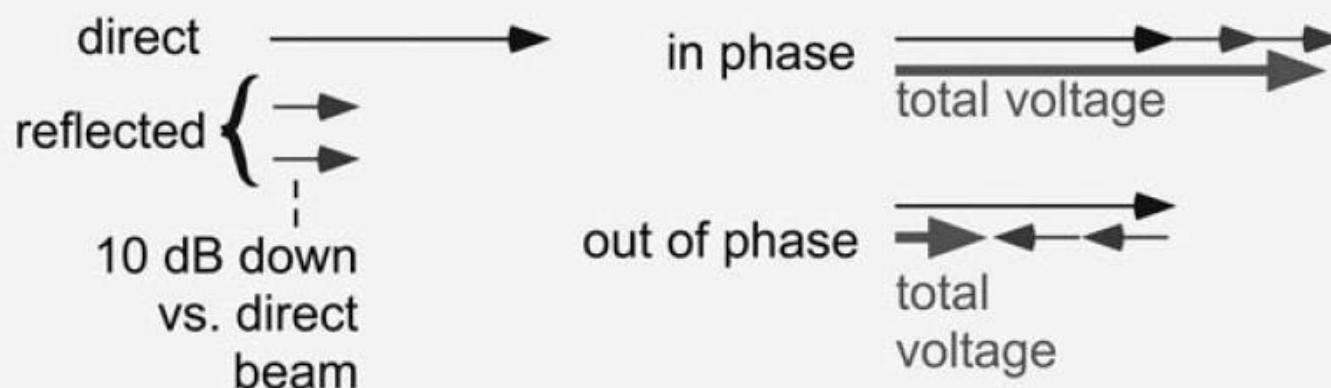
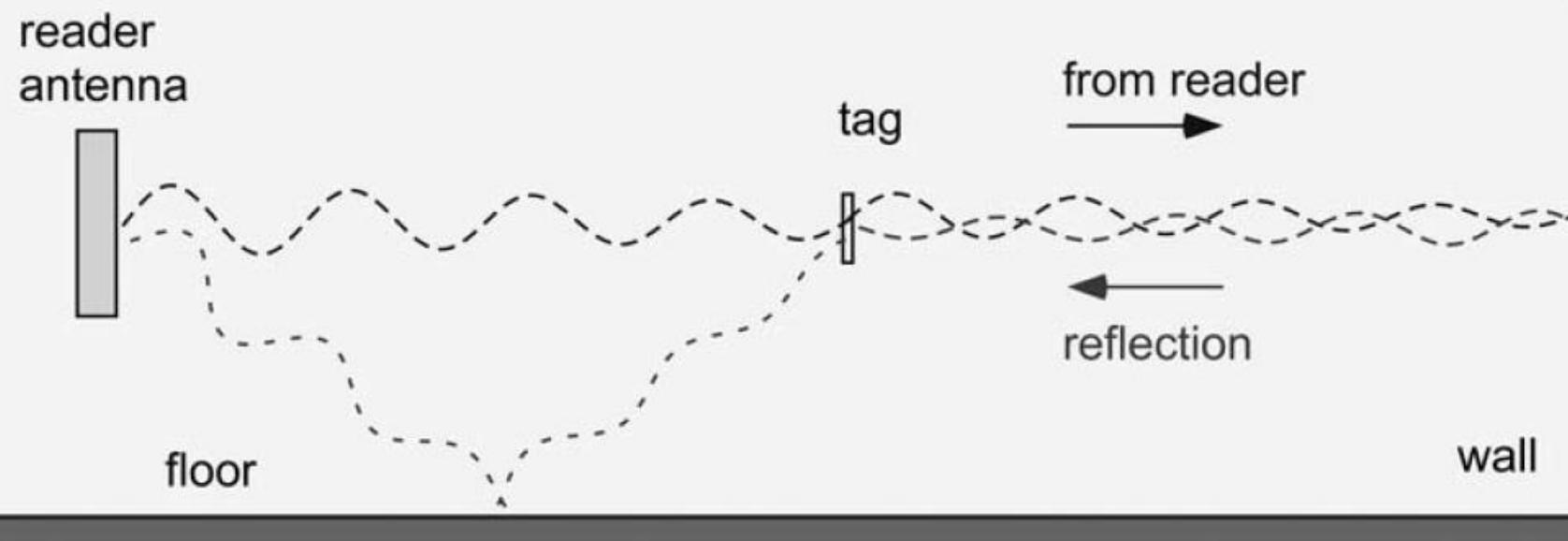
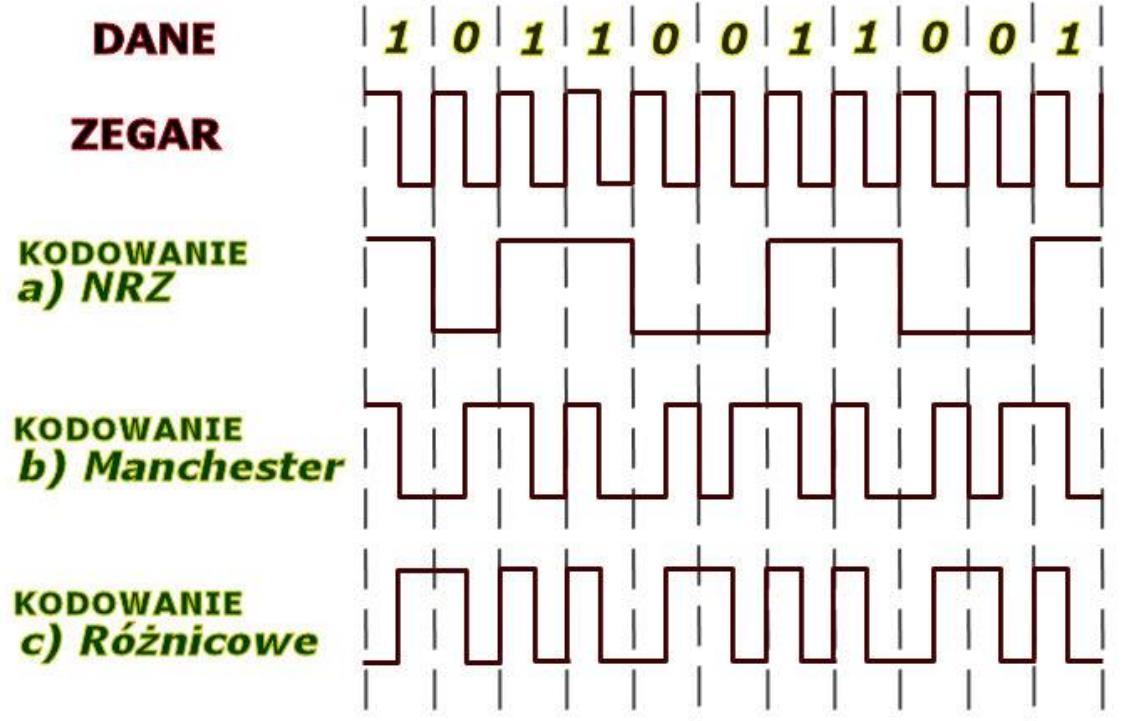


Figure 3.35: Direct and Reflected Beams Can Interfere.

# Porównanie transponderów RFID

	ZALETY	WADY	UWAGI
Trans- ponder Pasyw- ny	<ul style="list-style-type: none"><li>- dlugi czas życia,</li><li>- małe wymiary,</li><li>- wysoka odporność na narażenia środowiskowe,</li><li>- niski koszt,</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- zasięg odczytu ograniczony do kilku metrów (UHF)</li><li>- moce układów antenowych czytnika ograniczone przez obostrzenia prawne</li></ul>	Powszechnie używany w aplikacjach technologii RFID
Trans- ponder Semi pasywny	<ul style="list-style-type: none"><li>- duże zasięgi odczytu informacji z transpondera,</li><li>- układy scalone na pokładzie dysponują większą mocą obliczeniową</li><li>- umożliwiają ciągłą pracę dodatkowym układom stwarzyszonym z transponderem (np. sensory)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- wyższa cena – ze względu na zasilanie baterijne i obudowę transpondera,</li><li>- ograniczony czas życia (bateria)</li><li>- mniejsza niezawodność</li><li>- mniej przyjazne środowisku, np. ze względu na toksyczne chemikalia w baterii</li></ul>	Główne używany w systemach czasu rzeczywistego do śledzenia wartościowych przesyłek i cennego sprzętu wewnętrz fabryk
Trans- ponder aktywny			Używane w zaawansowanych systemach logistycznych

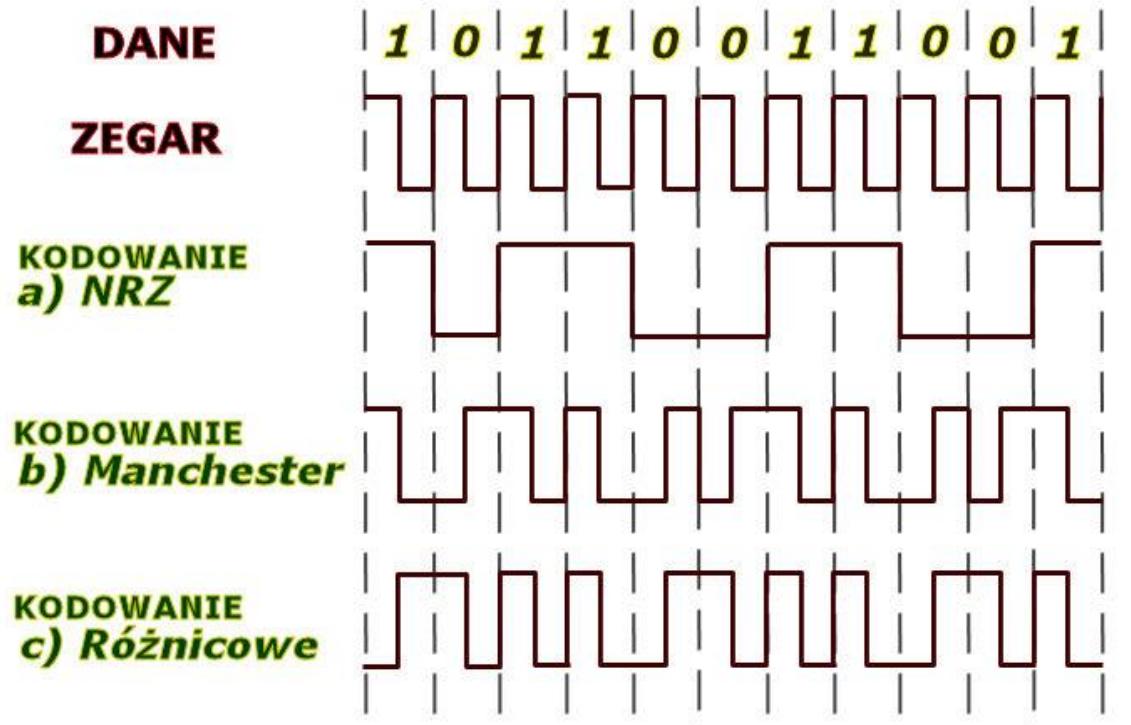
# Metody kodowania



Obecnie w technologii RFID spotyka się wiele rodzajów kodowania informacji, którą przesyła transponder. Przedstawiono trzy najczęściej stosowane metody.

Kodowanie NRZ (ang. *Non Return Zero*) jest najbardziej intuicyjnym sposobem prezentacji informacji binarnej, polega na tym, że logicznej jedynce odpowiada wyskoki stan logiczny, a零u niski. Wadą tego kodu jest to, że dla długich ciągów jedynek lub zer odbiornik nie może się zsynchronizować z odbieranym strumieniem danych.

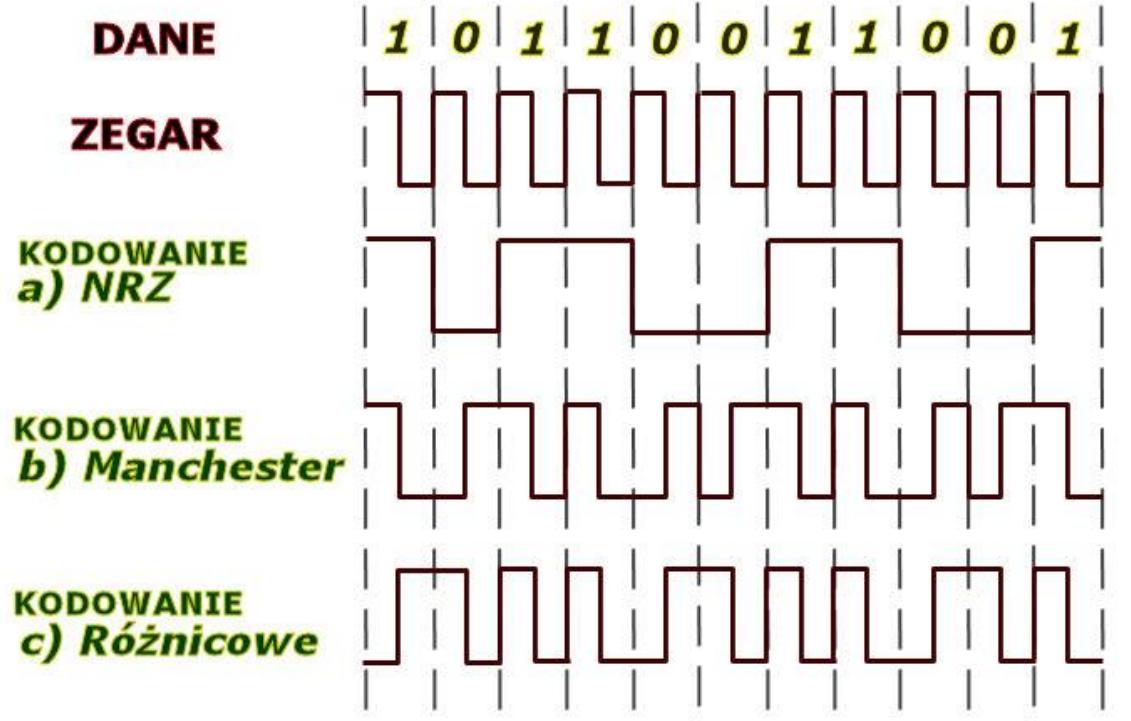
# Metody kodowania



Obecnie w technologii RFID spotyka się wiele rodzajów kodowania informacji, którą przesyła transponder. Przedstawiono trzy najczęściej stosowane metody.

Innym rodzajem kodowania danych przesyłanych przez transponder jest kodowanie bifazowe Manchester. Zmiana stanu w trakcie trwania bitu z wysokiego na niski oznacza logiczną jedynkę, natomiast zmiana stanu z niskiego na wysoki oznacza logiczne zero. Dużą zaletą tego kodowania jest jego zrównoważenie i łatwość odzyskania z danych zegara transmisji. Wadą jest dwukrotne zmniejszenie przepływności danych

# Metody kodowania

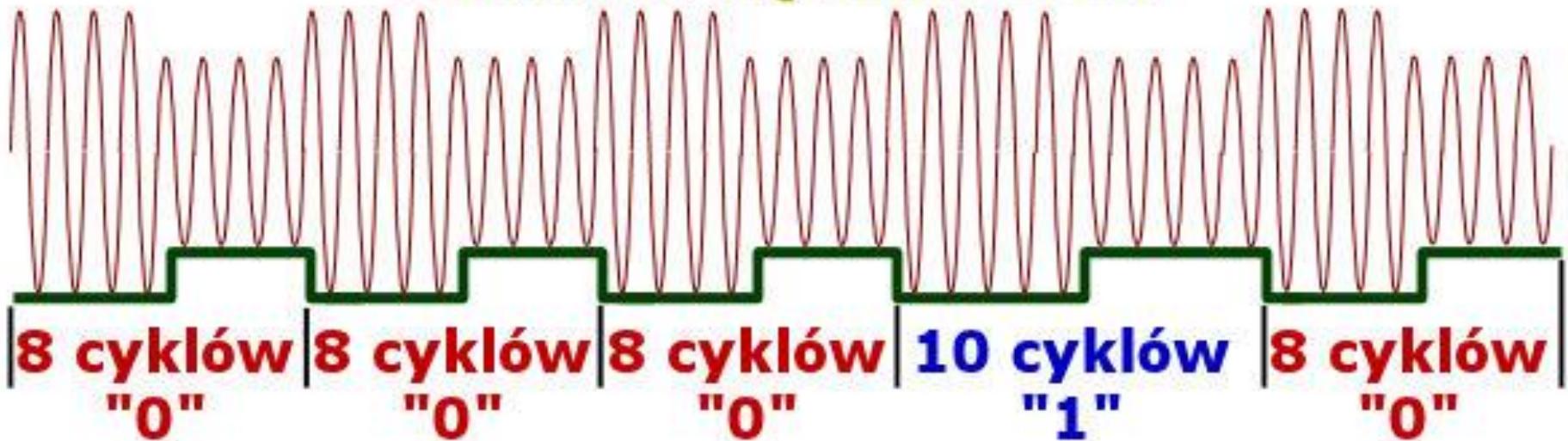


Obecnie w technologii RFID spotyka się wiele rodzajów kodowania informacji, którą przesyła transponder. Przedstawiono trzy najczęściej stosowane metody.

Dane w niektórych transpondерах kodowane są również bifazowym kodem różnicowym. W kodowaniu tym zmiana fazy oznacza zmianę bitu na przeciwny (a nie konkretny poziom logiczny).

# Metody kodowania

## zmiana częstotliwości



Spotyka się również transpondery, w których dane kodowane są poprzez zamianę częstotliwości modulującej.

# Protokoły

Table 2.2: Some RFID Air Interface Protocols.

Tag type:	Frequency					
	125/134 kHz	5–7 MHz	13.56 MHz	303/433 MHz	860–960 MHz	2.45 GHz
Passive	ISO 11784/5, 14223 ISO18000-2 HiTag	ISO10536 iPico DF/iPX	MIFARE ISO14443 Tag-IT ISO15693 ISO18000-3 TIRIS Icode		ISO18000-6A,B,C EPC class 0 EPC class 1 Intellitag Title 21 AAR S918 Ucode	ISO18000-4 Intellitag $\mu$ -chip
Semipassive					AAR S918 Title 21 EZPass Intelleflex Maxim	ISO18000-4 Alien BAP
Active				ANSI 371.2 ISO18000-7 RFCode		ISO18000-4 ANSI 371.1

# Źródła zakłóceń

*uncontrollable*

cell phone tower

power lines

static discharge

lightning

truck w. WLAN

mobile wireless apps

adjacent building RF

*controllable*

wireless LAN

walkie talkie harmonics

industrial controls

new technology deployment

wireless barcode reader

wireless phone

bug zapper

fork lift spark plugs

ground faults

*predictable*

*unpredictable*

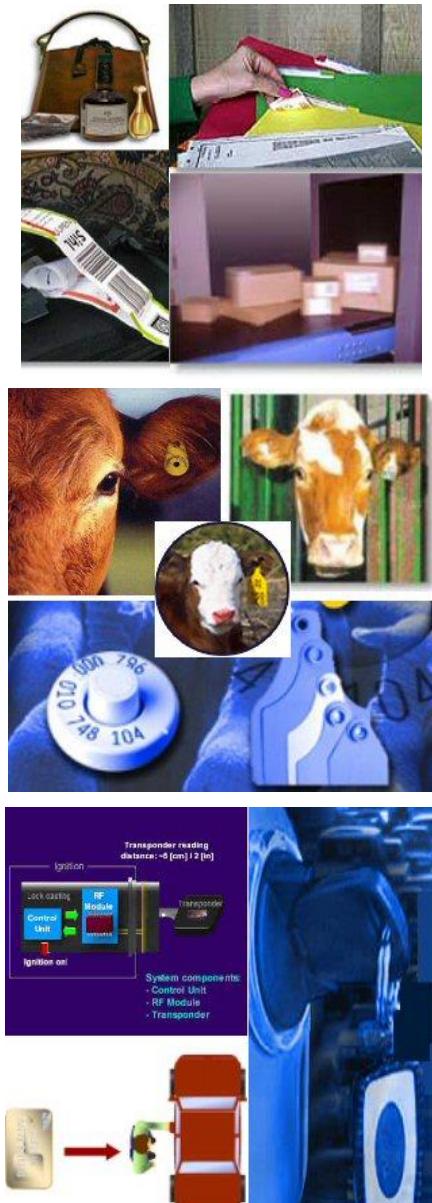
after 'RFID Deployment Experiences', Doug Martin, WINMEC Oct. 2004

Figure 8.1: Sources of Interference in the 900-MHz Band, and their General Properties.

## Źródła zakłóceń w paśmie 900MHz

# Zastosowania RFID na świecie

- Śledzenie dokumentów
- Identyfikacja przesyłek i innych towarów
- Systemy antykradzieżowe
- Identyfikacja i śledzenie zwierząt
- Przemysł motoryzacyjny
- Medycyna, farmakologia
- Systemy zabezpieczeń
- Wojsko



# Przegląd zastosowań technologii RFID

Powszechnie wykorzystywane w technologii RFID pasmo 125-134 kHz, pozwala na odczyt z odległości (czytnika od transpondera) nie większej niż 2 m. Transpondery na to pasmo są wykorzystywane przeważnie do identyfikacji zwierząt, systemów kontroli dostępu, identyfikacji cennych produktów przemysłowych, immobiliserów samochodowych. Transpondery w tym paśmie częstotliwościowym charakteryzuje bardzo wolna transmisja danych (do 8 kbit/s) oraz jedno i dwukierunkowa transmisja danych.

# Przegląd zastosowań technologii RFID

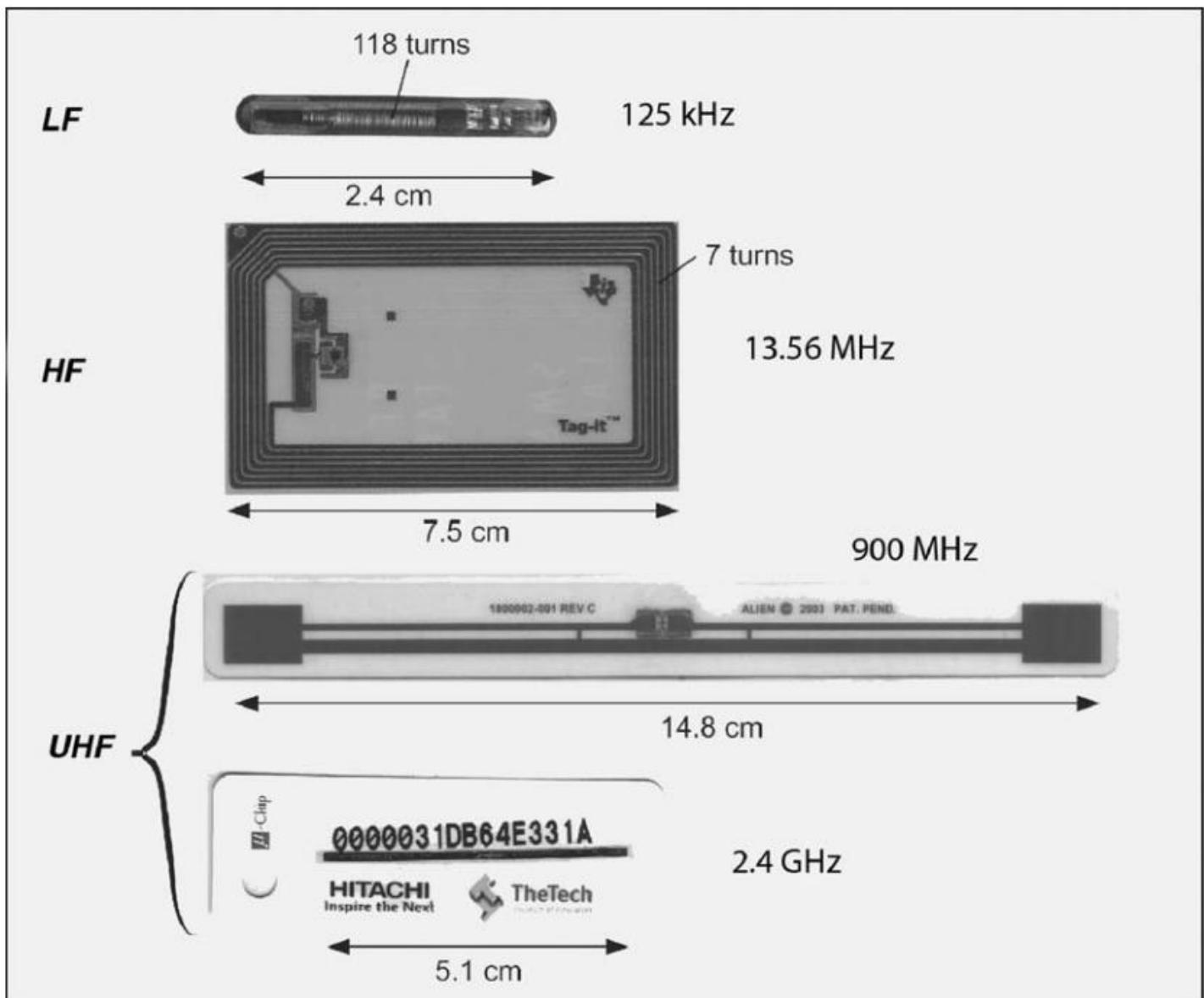
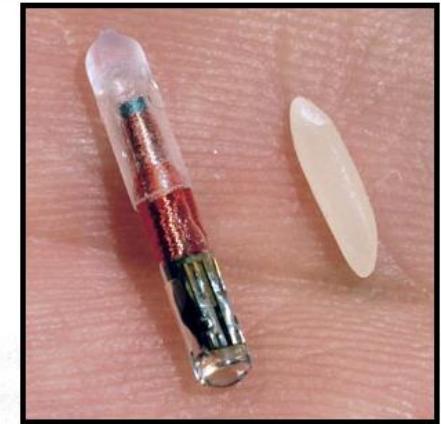
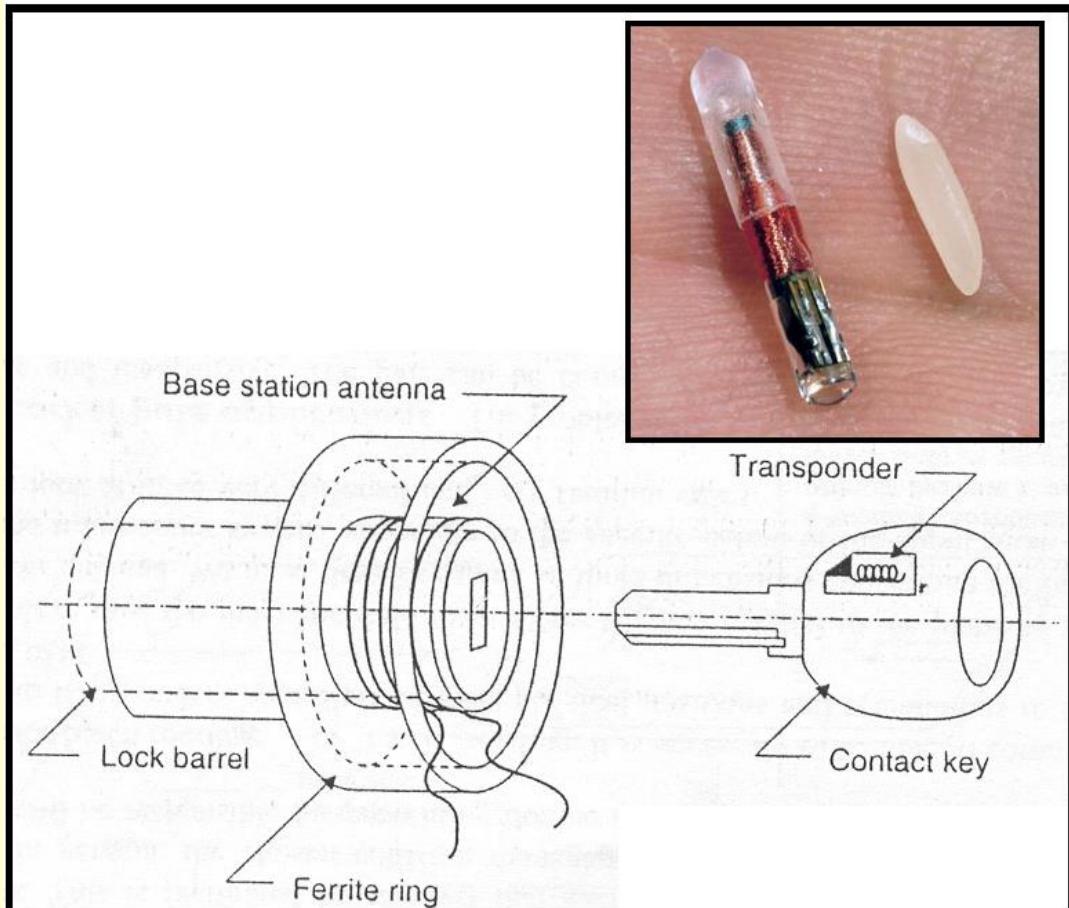


Figure 2.14: Examples of Tag Antenna Configuration Designed for Different Operating Frequencies.

# Przegląd zastosowań technologii RFID



Pierwszym standardem stosowanym na dużą skalę został TIRIS firmy TEXAS INSTRUMENTS, który powstał w latach 70 XX wieku i pracował w zakresie częstotliwości do 135kHz. Zapoczątkował on erę RFID. Do dziś są to systemy najczęściej spotykane i mające szerokie zastosowanie.

# Przegląd zastosowań technologii RFID



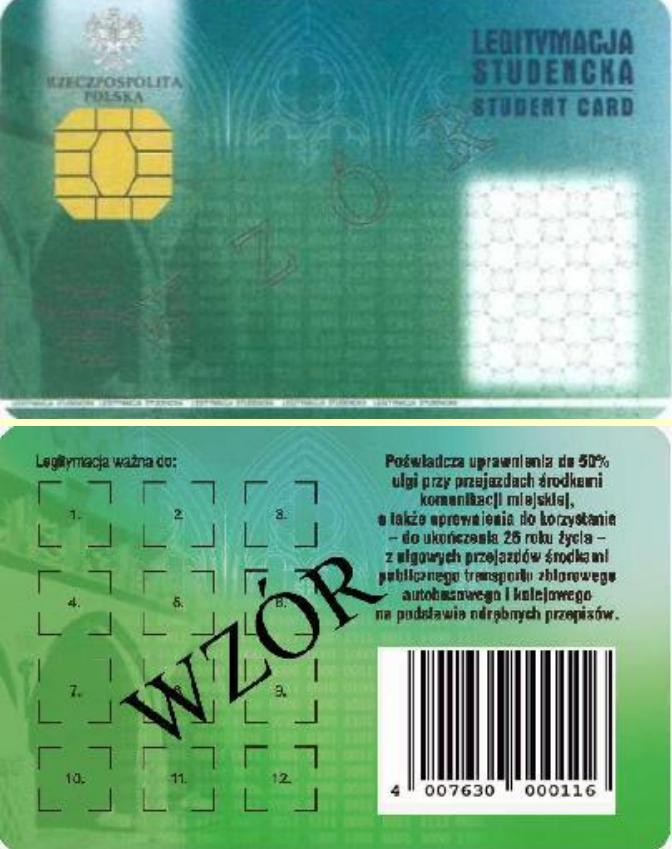
- identyfikacja zwierząt  
**ISO11784/ISO11785**

- system pobierania opłat – np. standard HITAG, (125kHz, do 4kbps.)

# Przegląd zastosowań technologii RFID

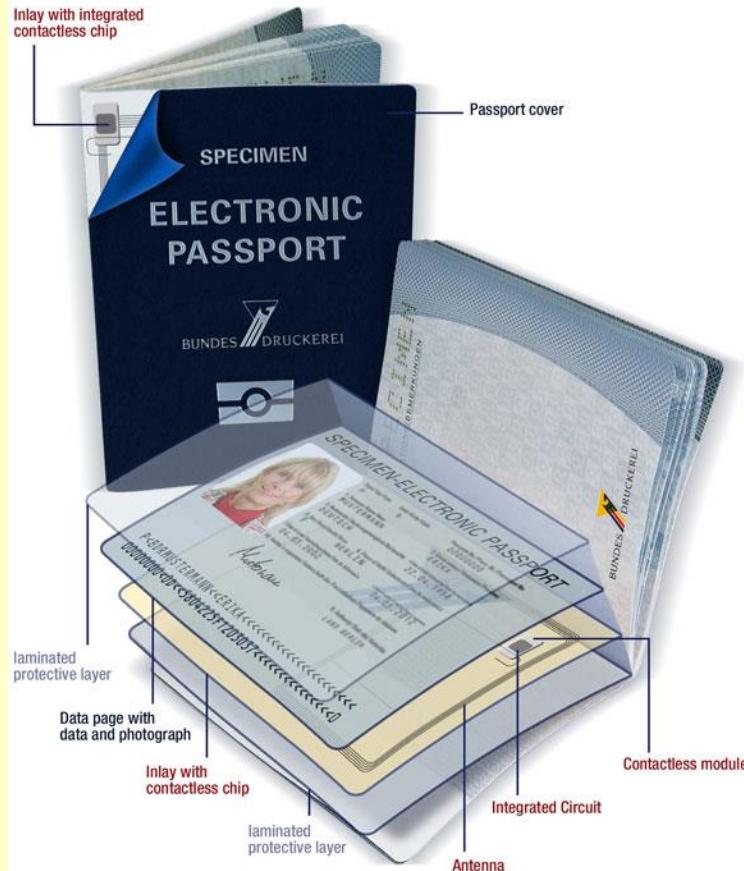
Podstawowym używanym na skalę globalną pasmem częstotliwościowym w technologii RFID jest obecnie 13,56 MHz. Wykorzystuje się je przede wszystkim w systemach elektronicznej bankowości (ang. *smart cards*), kontroli dostępu, systemach antykradzieżowych i śledzenia bagażu, a także w intelligentnych budynkach. Szybkość transmisji danych przesyłanych do czytnika jest większa niż w przypadku transponderów pracujących w paśmie 125-134kHz (do 10kbit) i dochodzi do kilkuset kbit/s.

# Przegląd zastosowań technologii RFID



Standard ISO14443 i ISO 15693 znajduje zastosowanie w systemach RFID wymagających dużej ilości danych w pamięci, szybkiego ich przepływu i dużej ochrony przesyłanych informacji. Jest to możliwe dzięki: dużej pamięci i modułom kryptograficznym wbudowanym w transponder, szybkości transmisji do 848kbps przy nośnej 13.56MHz.

# Przegląd zastosowań technologii RFID



System ten wdrażany jest głównie w aplikacjach identyfikacji personalnej o dużych wymaganiach dotyczących bezpieczeństwa, mających zastosowanie m.in. w legitymacjach, paszportach, biletach imiennych komunikacji miejskiej, czy kartach płatniczych.

# Przegląd zastosowań technologii RFID



Standard ISO 15693 znany pod nazwą I-CODE umożliwia komunikację do 26/53kbps i posiadają wbudowaną pamięć EEPROM (do 64kbit=8KB). Stosowany jest w aplikacjach wymagających obsługi protokołu antykolizyjnego.

# Przegląd zastosowań technologii RFID

Coraz powszechniejsze stają się także systemy z transponderami pracującymi z częstotliwościami 433MHz, 868÷956 MHz, 2.4 GHz i 5.8 GHz. Osiągalne szybkości transmisji w tych pasmach sięgają nawet do kilku Mbit/s. Transpondery te wykorzystywane są przede wszystkim w systemach związanych z przemysłem samochodowym (np. opłaty za korzystanie z autostrad) i kolejowym.

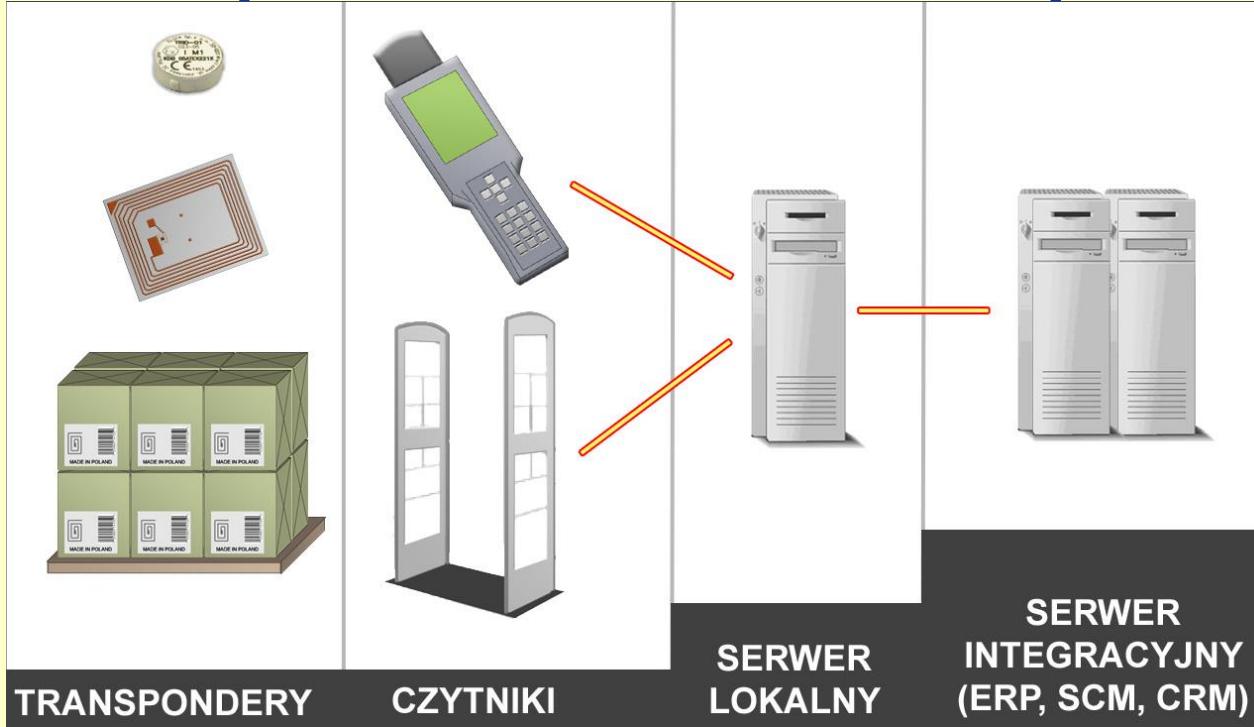


# Transponder - elektroniczny kod



Idea jest prosta. Każdy element (pojedynczy produkt lub cały kontener) posiada własny znacznik, którego numer (ang. *Electronic Product Code – EPC*) jest odczytywany w węzłach tranzytowych, takich jak magazyny, dokи, punkty kontrolne, czy stacje załadunkowe/rozładunkowe. Pozwala to śledzić pojedynczy element (np. bagaż, niebezpieczny ładunek) oraz na bieżąco określać stan inwentarzowy.

# Bezpieczeństwo danych



Technologia RFID wprowadzając ogromne usprawnienia niesie również sporo zagrożeń. Ostatnio rozwijane są także układy zabezpieczeń o dużym stopniu poufności implementowane w transponderach, pracujących jako karty płatnicze (ISO 14443B). Jednak, krytyczne dla bezpieczeństwa dane mogą wydostać się również na wyższych szczeblach systemu (np. internet).

# Międzynarodowe standardy

## **KLASA V**

Urządzenia odczytujące, zasilające transpondery klas 0-III, komunikujące się z transponderami klasy IV i między sobą

## **KLASA IV**

Transpondery aktywne (różne tryby pracy, komunikacja między transponderami, nadawanie bez czytnika)

## **KLASA III**

Transpondery semi-pasywne uwzględniające pracę w systemach szerokopasmowych

## **KLASA II**

Transpondery pasywne z dodatkową funkcjonalnością (pamięć, szyfrowanie)

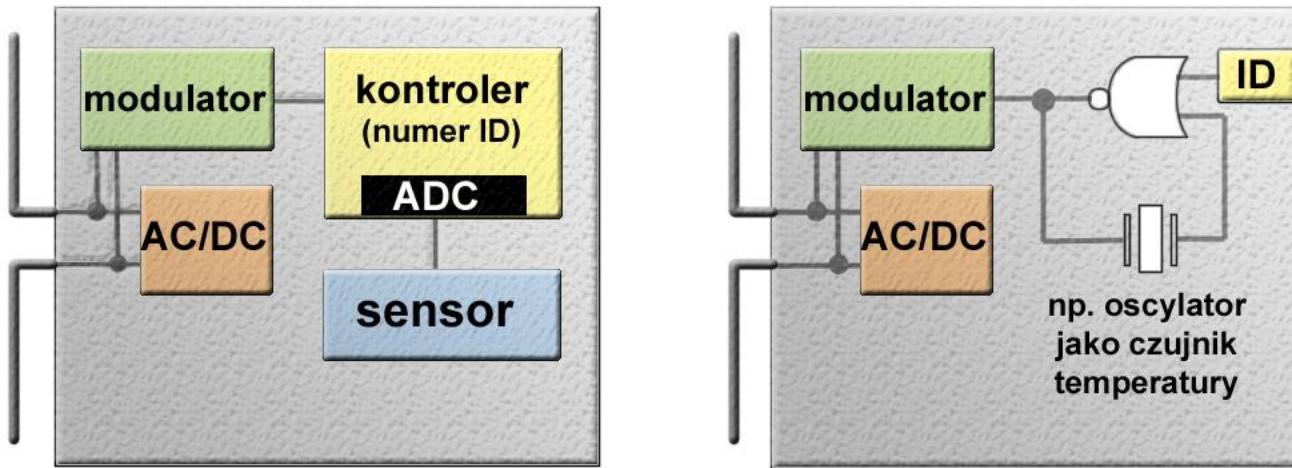
## **KLASA I / KLASA 0**

Transpondery pasywne, tylko do odczytu, tylko numer identyfikacyjny

Rozwój technologii RFID wymusił kroki, mające na celu ujednolicenie stosowanych rozwiązań. Standaryzacją urządzeń RFID zajmuje się organizacja o nazwie EPCglobal, która zaproponowała hierarchiczny podział klasowy dla transponderów i czytników, a także unormowała strukturę EPC.

Unormowania dotyczące interfejsu radiowego dla szerokiego zakresu częstotliwości zawarto w standardzie ISO 18000. W sferze zabezpieczeń technologia RFID korzysta zestandardów, takich jak np. ISO 14443 czy ISO 15693 stosowany w systemach kontroli dostępu i elektronicznej bankowości pracujących na częstotliwości 13,56MHz.

# Platforma RFID dla sieci sensorowej



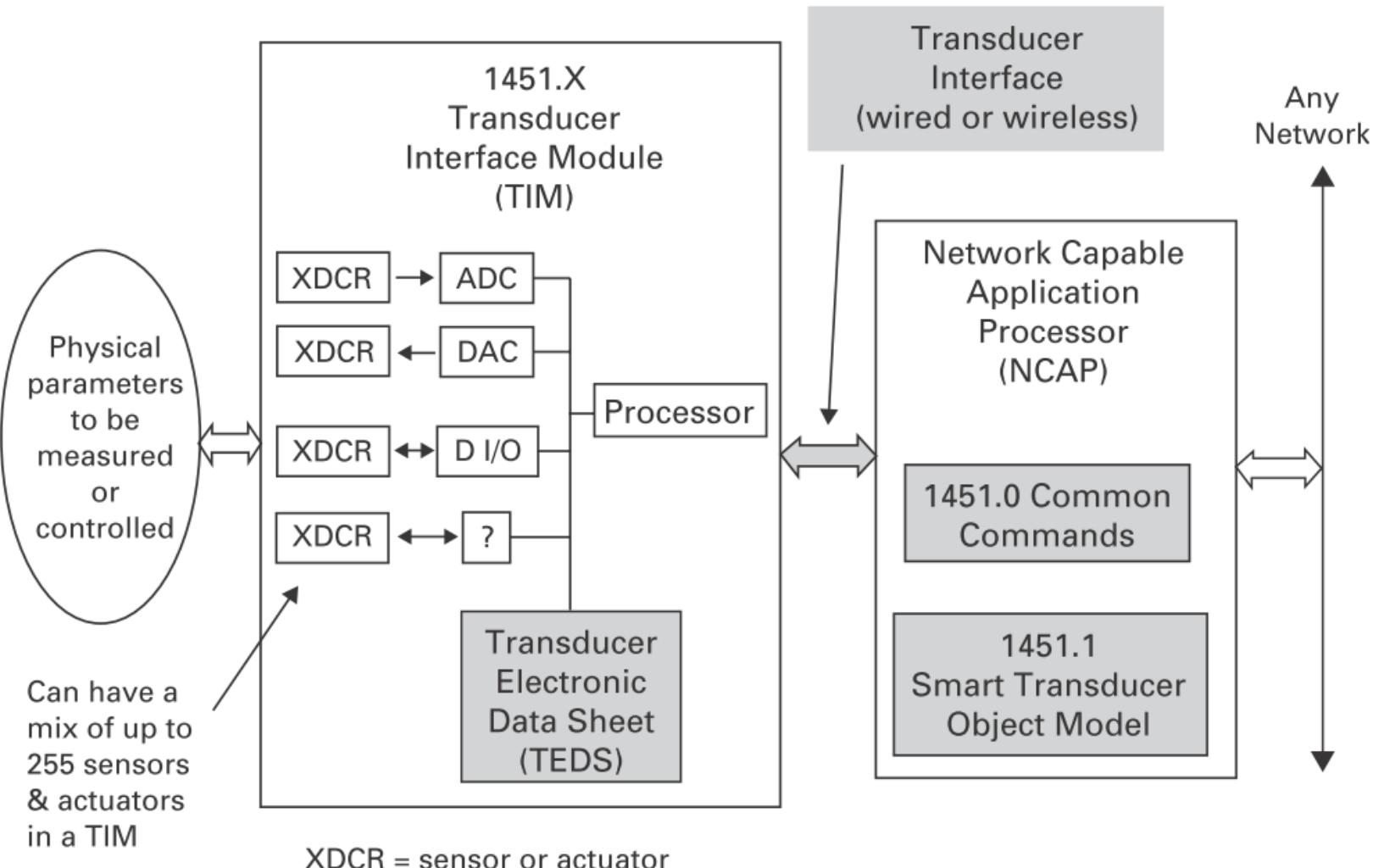
Dane odsyłane przez transponder:

numer ID transpondera      dane pomiarowe



Obecnie niskomocowe rozwiązania w dziedzinie sensorów pozwalają na budowę czujników opartych o transpondery pasywne lub półpasywne. Czujniki te mogą być wyposażone w mikrokontroler będący interfejsem między elementem pomiarowym a sekcją radiową, lub bezpośrednio sprzęgać sensor z modulatorem. Przykładem aplikacji może być ciągłe monitorowanie warunków środowiskowych (temperatura, ciśnienie, wilgotność) i odsyłanie danych na żądanie centrali pomiarowej.

# Platforma RFID dla sieci sensorowej



Top-level view of the IEEE 1451 concept (from prior publication in IEEE standard 1451. NIST, SH95225, 2004, with permission).

**Top-level view of the IEEE 1451 concept**

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

[http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/,](http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/)

Sensors and actuator types:

- Temperature (temperatura)
- Force / Strain (siła /naprężenie)
- Pressure (ciśnienie)
- LED (etykietyLED)
- RF Field Detection (detekcja pola RF)
- Switch monitor (monitor/wskaźnik położenia klucza/przełącznika)
- Relay (przekaźnik, kontraktoron)
- Orientation (orientacja w przestrzeni / położenie)
- Humidity / Moisture (wilgotność / wilgoć)
- Ambient light (natężenie światłem w otoczeniu)
- Magnetic field (obecność pola magnetycznego)

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

AS39513 NFC Sensor Tag IC (<https://ams.com/>)

NFC-V sensor tag and data logger IC

## Features

- Fully or Semi-passive (BAP) mode: 1.5 or 3V battery
- On chip 9k EEPROM
- Accuracy  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  from  $-20^\circ\text{C}$  to  $10^\circ\text{C}$
- Energy harvesting from RF field up to 3mA

## Benefits

- Programmable logging modes
- Logging: up to 1020 events with time stamp
- Supports data logging from various sensors
- Data tamper protection
- Long battery life (>1 year with 30mAh battery)

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

## AS39513 NFC Sensor Tag IC Product parameters

Frequency 13.56 [MHz], Protocol ISO 15693/NFC-V,

Supply Voltage [V] RF field or 2.2 to 3.3 or 1.35 to 1.8

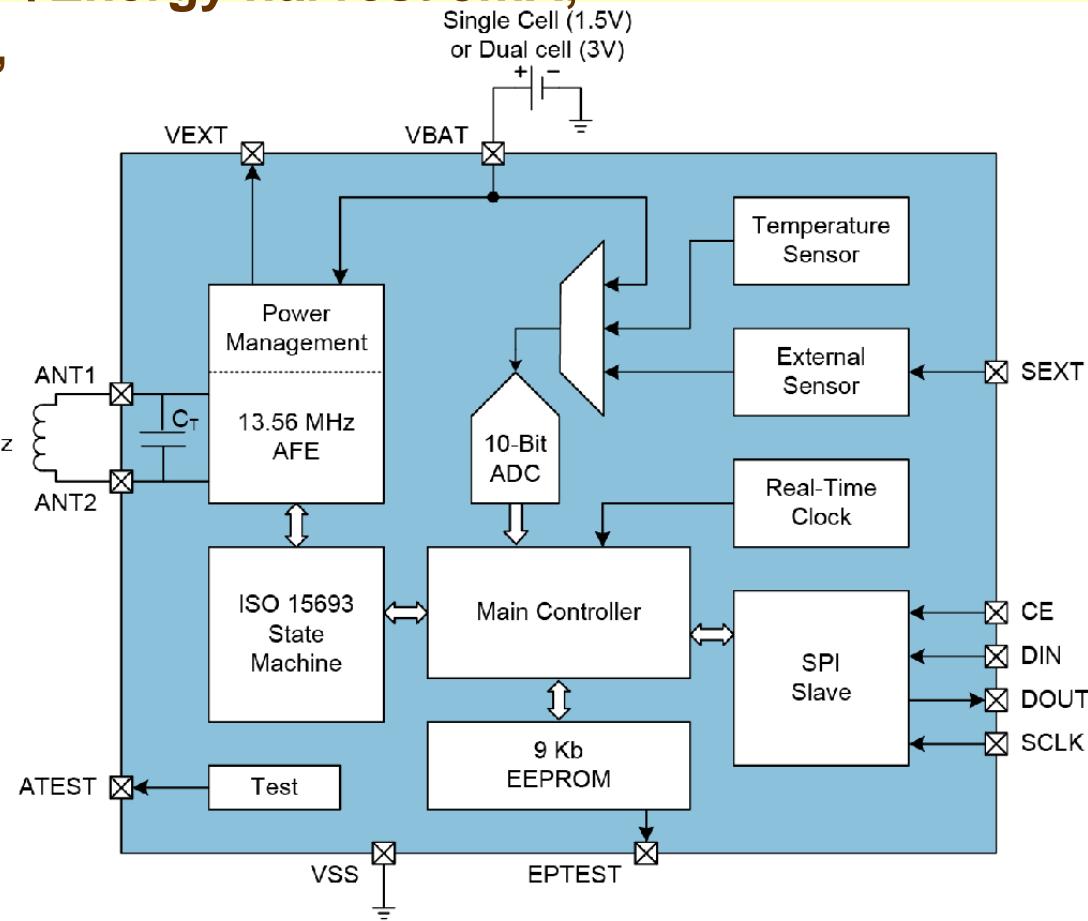
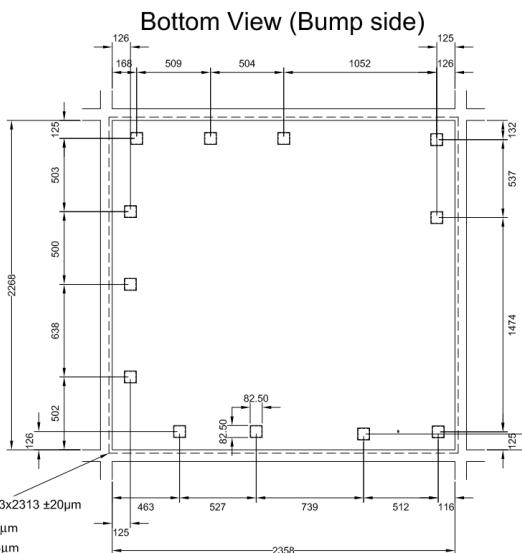
Temperature Range [°C] -20 to +65 (operating temperature range)

Interface SPI (slave), analog input, EEPROM 9 [kbit]

Features Temperature sensor \ Energy harvest 3mA,

Data Rate Up to 26.48 [kbit/s],

Package Gold bumped die



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

**SL900A EPC Gen2 Sensor Tag and data logger IC,**

Product parameters - <https://ams.com/>

Frequency [MHz] 860-960, Protocol

EPC Gen2,

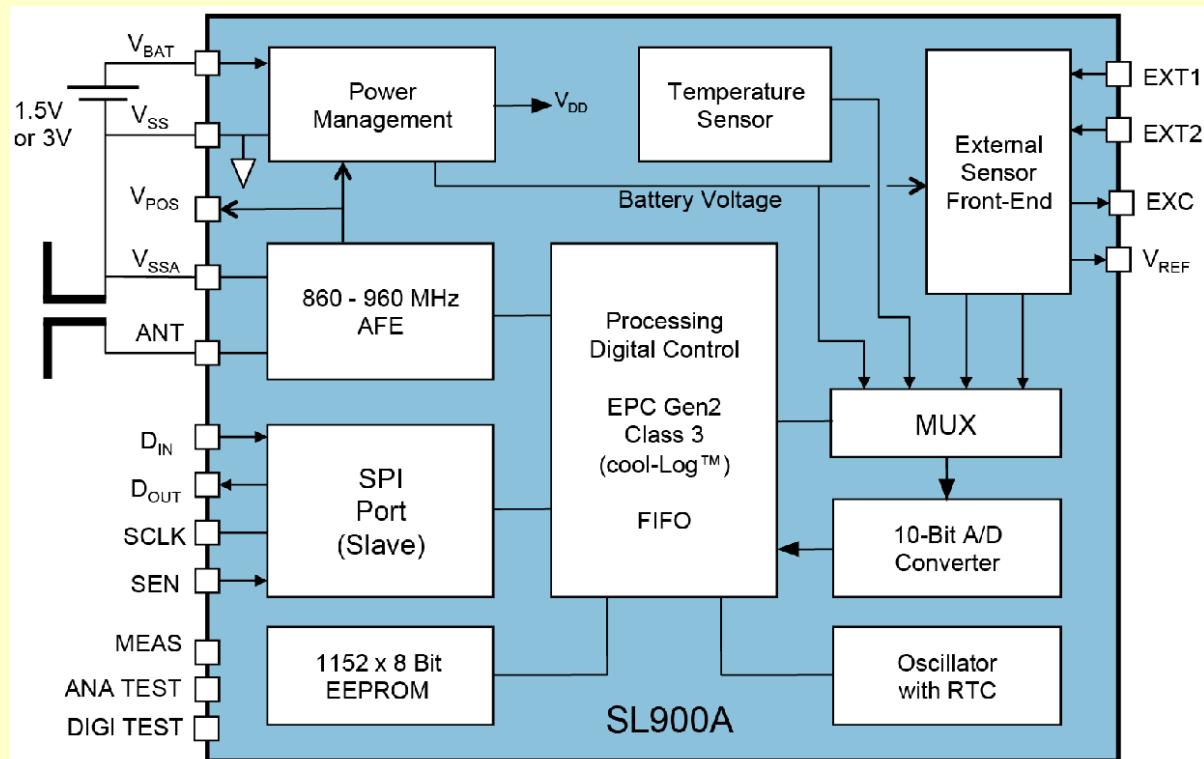
Supply

Voltage [V] RF field or 1.2 to 3.6,

Temperature Range [°C] -40 to +125,

Interface SPI (slave), analog inputs

EEPROM [kbit] 9, Features Temperature sensor -25°C to +25°C , Data Rate [kbit/s], Package DoW (Die on Wafer)



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/wp-content/uploads/2017/12/DS-ROCKY100-V04.pdf>

**EPC C1G2 COMPLIANT UHF RFID TAG with power harvesting and SPI communication for external low power sensors and actuators**

**860MHz-960MHz operation**

**EPC C1G2 compliant, ISO 18000-6 Type C compliant**

**160-bit EPC Bank: Up to 128-bit EPC, 96-bit TID Bank: Up to 48-bit Serial Number**

**Partitioned User Bank: Up to 1008-bit NonVolatile User Data, Password protected Kill command**

**Password protected Access command**

**Forward link data rates: 26.7kbps to 128kbps**

**Return link data rates: 40 to 640 kbps**

**Return link modulations: FM0 and Miller subcarrier (2, 4, 8)**

**Read sensitivity in passive mode without sensors: -14dBm**

**High sensitivity in passive mode supplying external sensors: -10dBm (typical case)**

**Configurable sensitivity for battery assisted mode: -24dBm (BAP) or -35dBm (EBAP)**

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com>

Configurable PSK modulation depth

Configurable regulated output from 1.2V to 3.0V

VDD monitor and configurable control for activation of load supply

Battery switch with 500nA leakage current in open state

5 configurable GPIOs

Configurable SPI master module to control external devices

SPI slave module to access C1G2 memoryspace

Edge detector for anti-tampering

Event logger with time stamp

PWM output generator

C1G2 related event generator

Front-end signal bypass

Extended temperature range: -40°C to +85°C

4x4mm QFN-16 package

**APPLICATIONS** •Wireless identification •Energy harvesting

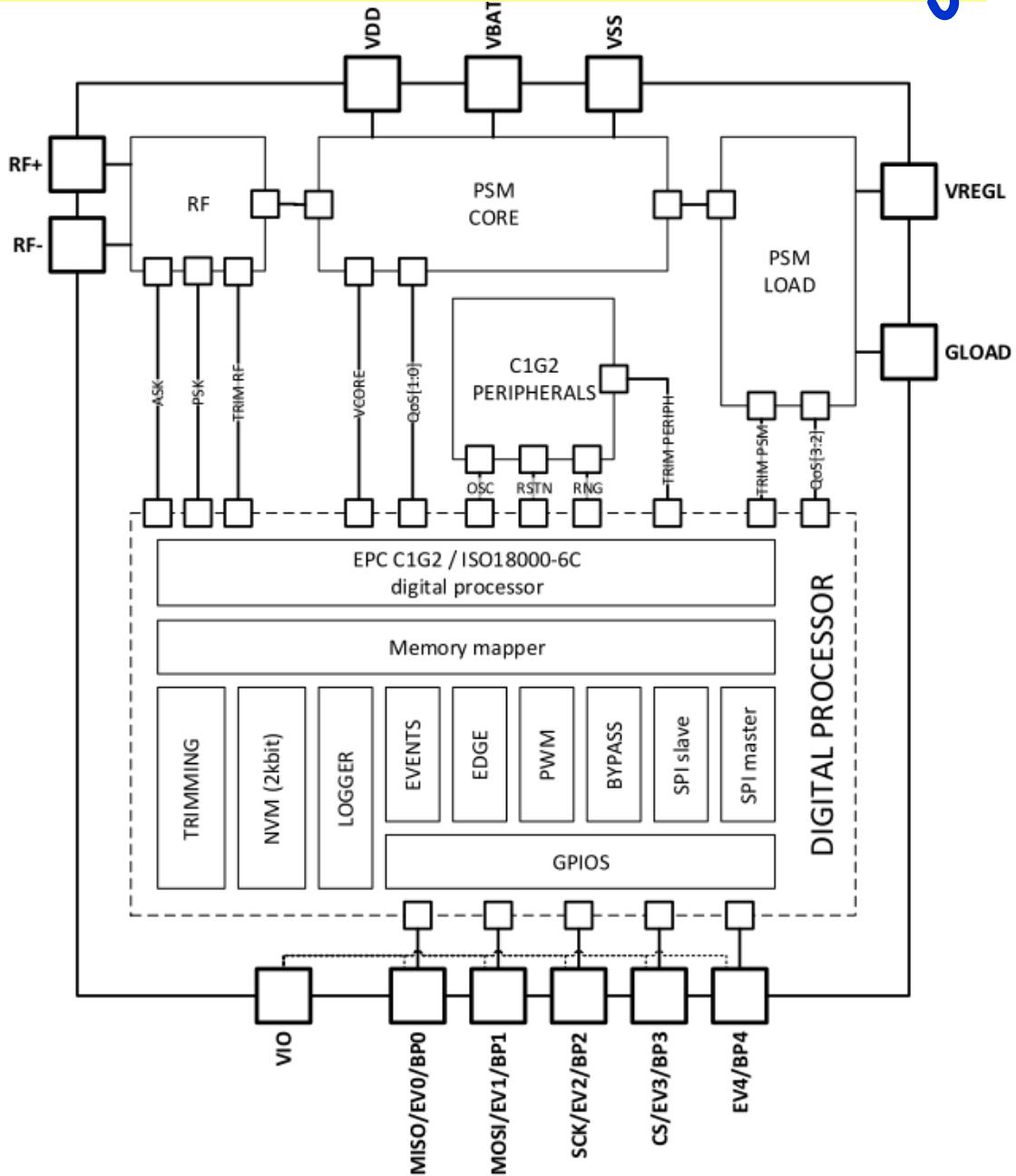
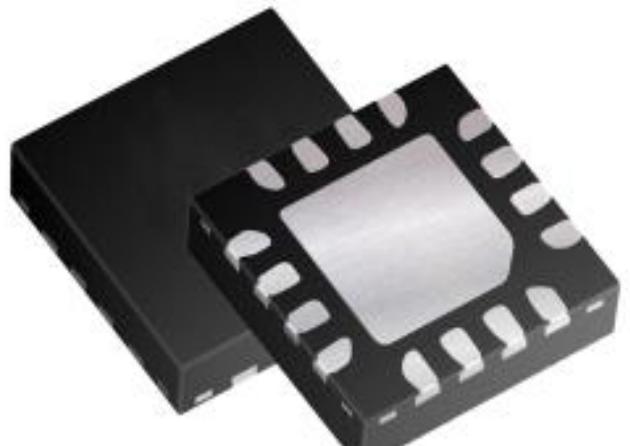
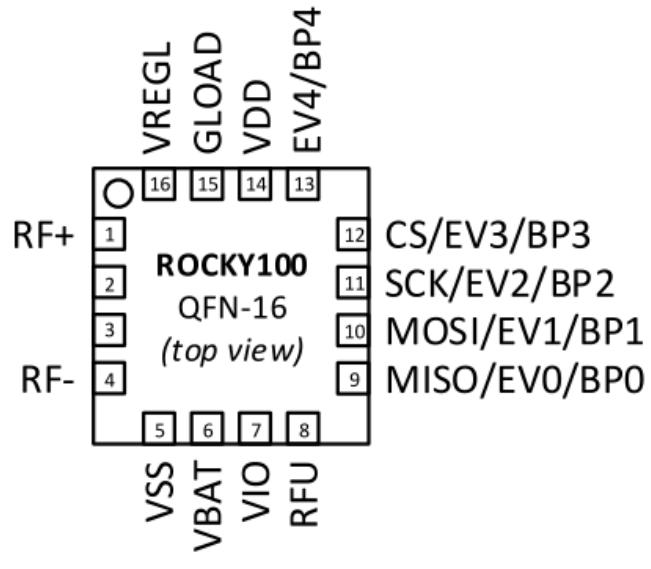
•Batteryless wireless sensors/actuators •TPMS (Tire Pressure Monitoring Systems)

•Cold chain monitoring •Orientation monitoring •Fill level monitoring

•Open/close detection

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com>

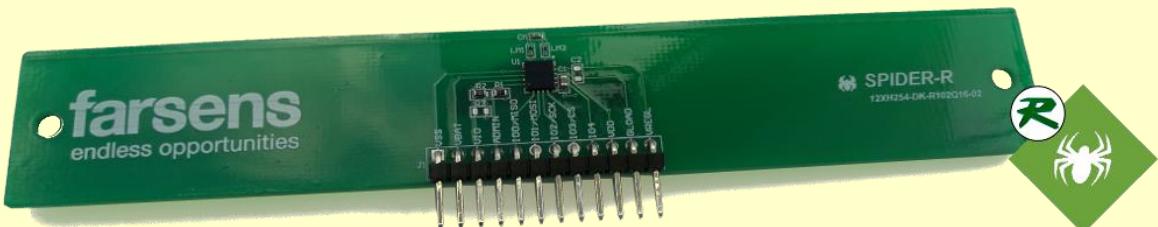


# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com>

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>RF</b>					
$RF_{SENS}$	RF sensitivity ID		-14		dBm
	RF sensitivity Typical Load <sup>1</sup>		-10		dBm
	RF sensitivity BAP		-24		dBm
	RF sensitivity Enhanced BAP		-35		dBm
$Z_{IN}$	Input impedance ID	QF16@868MHz		64 - 469j	$\Omega$
		QF16@915MHz		51 - 460j	$\Omega$
	Input impedance Typical Load	QF16@868MHz		80 - 493j	$\Omega$
		QF16@915MHz		52 - 479j	$\Omega$
	Input impedance BAP	QF16@868MHz		35 - 451j	$\Omega$
		QF16@915MHz		14 - 456j	$\Omega$

The EVAL01-Spider-R includes the Rocky100 chip and the antenna to allow developers to evaluate the new RFID chip, work directly with RFID sensors or connect their preferred microcontroller for further processing.



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

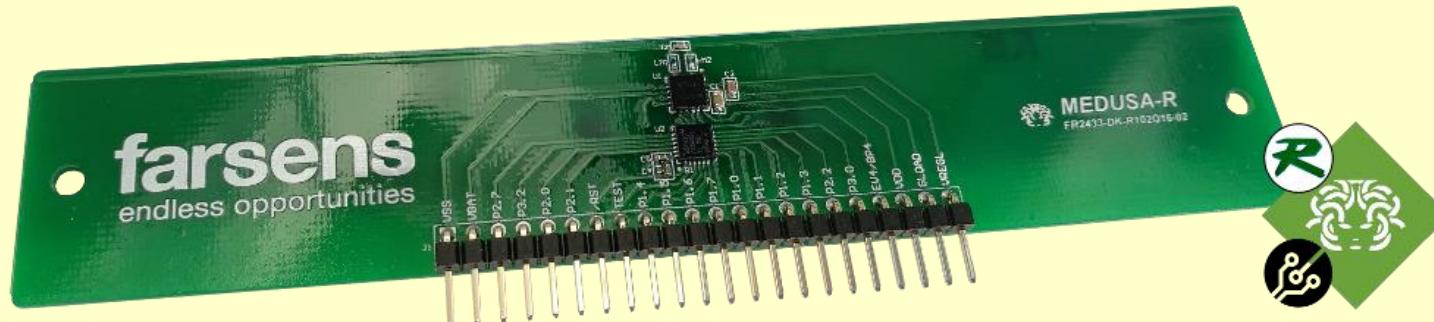
<http://www.farsens.com>

## TAG POWER SUPPLY

$V_{DD}$	Supply voltage	1.4	$V_L$	$V_L+0.2$	V
$V_L$	Limitation voltage		3.2		V
$I_{DD}$	Supply current	Base	7		$\mu A$
		Enhanced BAP	+2		$\mu A$
		VDD Monitor	+1		$\mu A$
		VREGL LDO	+0.5		$\mu A$
$I_{BAT}$	Battery leakage current <sup>2</sup>		0.5		$\mu A$

## LOAD POWER SUPPLY

$V_{REGL}$	Regulated load supply output	1.2	3.0	V
$RES_{VREGL}$	Resolution of VREGL voltage		3	mV
$ACC_{VREGL}$	Accuracy of VREGL voltage	$\pm 5$		%
$I_{VREGL}$	Driving strength of VREGL	0	5	mA



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

Sensors and actuator types:

- Temperature

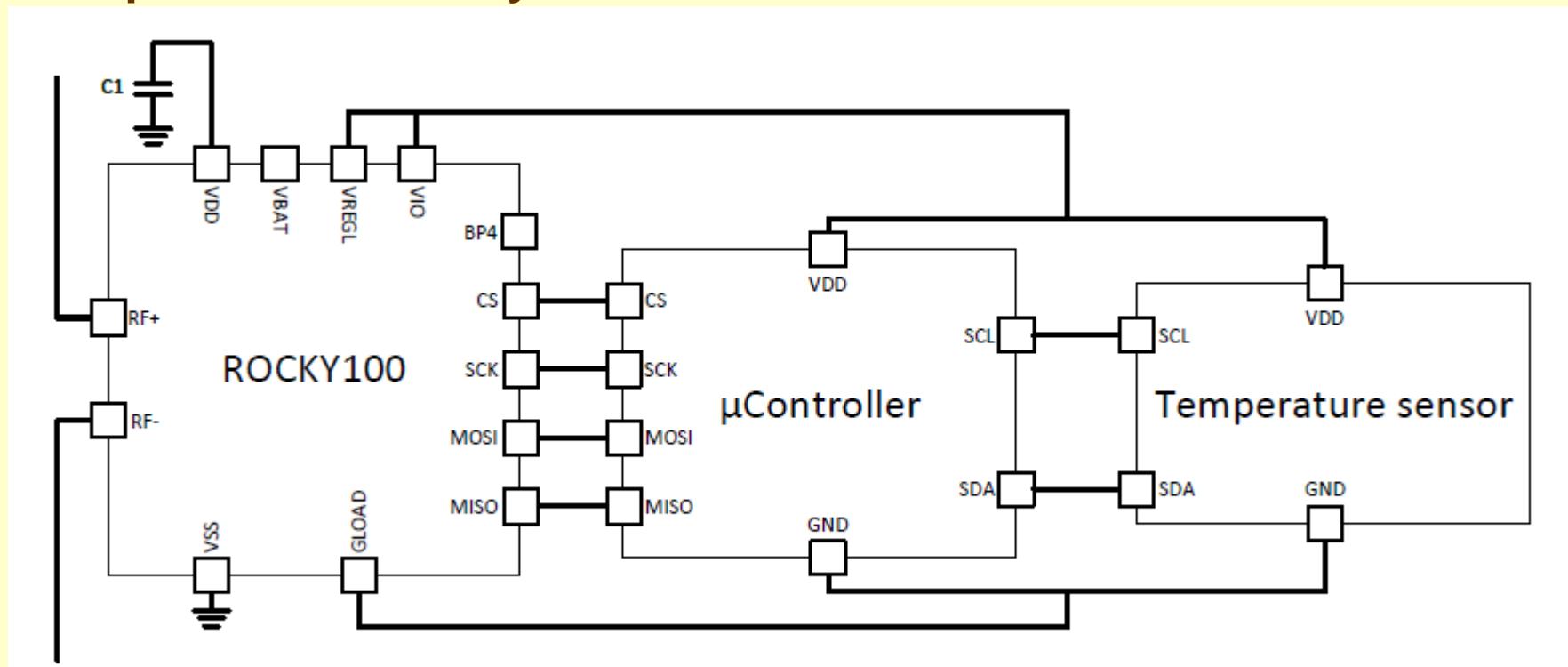
FEATURES:

860MHz-960MHz Operation, Read range @ 2W ERP: 5 meters

EPC Class-1 G2 compliant, ISO 18000-6 Type C compliant

160-bit EPC & 96-bit TID, Temperature range: -40°C a +85°C

Temperature accuracy:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

Sensors and actuator types:

- Temperature

Bezprzewodowe i pozabawione baterii czujniki temperatury idealne do monitorowania zasobów i procesów w systemie.

Oparte są na technologii UHF RFID, używają standardowych poleceń EPC C1G2 do przekazywania unikalnego numeru identyfikacyjnego oraz danych o temperaturze do czytnika RFID.

The EVAL01-Fenix-RM is a UHF RFID battery-free temperature sensor tag. The device features a TMP112 temperature sensor from Texas Instruments with a temperature range from -40°C to +85°C. The sensor tag provides an accuracy of  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  in temperature.

The tag is compatible with EPC C1G2 RFID commercial readers.



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

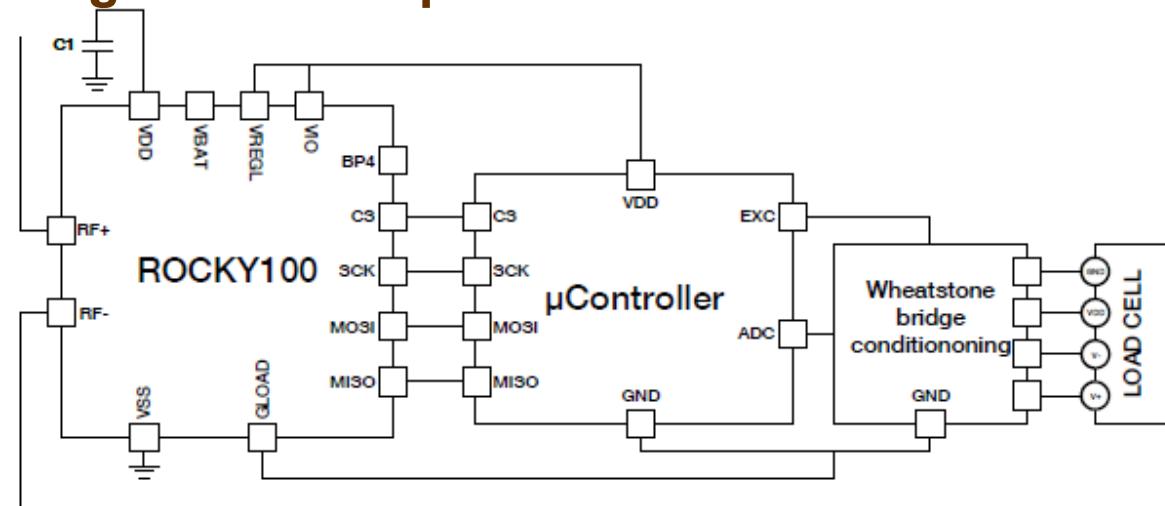
<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

## Force / Strain (siła / naprężenie)

EVAL01-Zygos-RM to pozbawiona baterii etykieta UHF RFID z czujnikiem siły/naprężenia. Ich zakres pomiarowy od 0 do 5 kg. Czujnik tensometryczny zapewnia dokładność  $\pm 0,050$  kg.

Tag jest kompatybilny z komercyjnymi czytnikami RFID EPC C1G2. Nie jest wymagany żaden niestandardowy sprzęt ani niestandardowe polecenia.

EVAL01-Zygos-RM jest idealny do monitorowania masy. Bezobsługowe urządzenie do ważenia zapewnia unikalny numer identyfikacyjny oraz dane o wadze/masie dla takich zastosowań, jak inwentaryzacja materiałów sypkich, płynów i granulatów itp.



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

## Force / Strain (siła / naprężenie)

### FEATURES:

860MHz-960MHz operation

Read range @ 2W ERP: 5 meters

EPC Class-1 G2 compliant

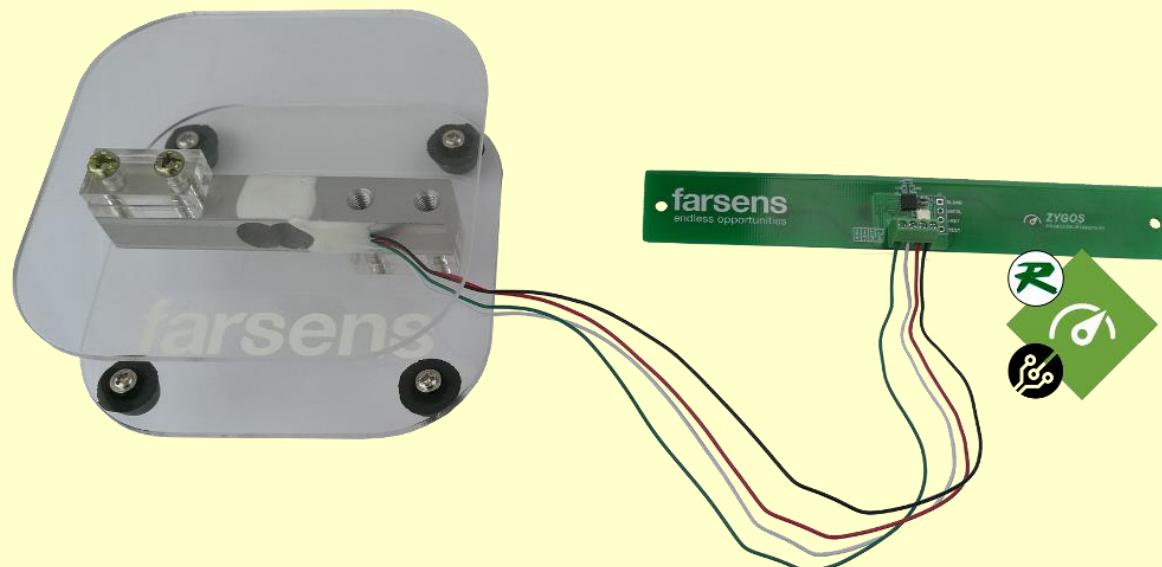
ISO 18000-6 Type C compliant

128-bit EPC & 98-bit TID

Compression load range: 0 to 5 kg

Compression load accuracy:  $\pm 0.05\text{kg}$

Operating temperature: -30°C to +85°C



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

## Pressure (ciśnienie), FEATURES:

860MHz-960MHz operation

Read range @ 2W ERP: 5 meters

EPC Class-1 G2 compliant

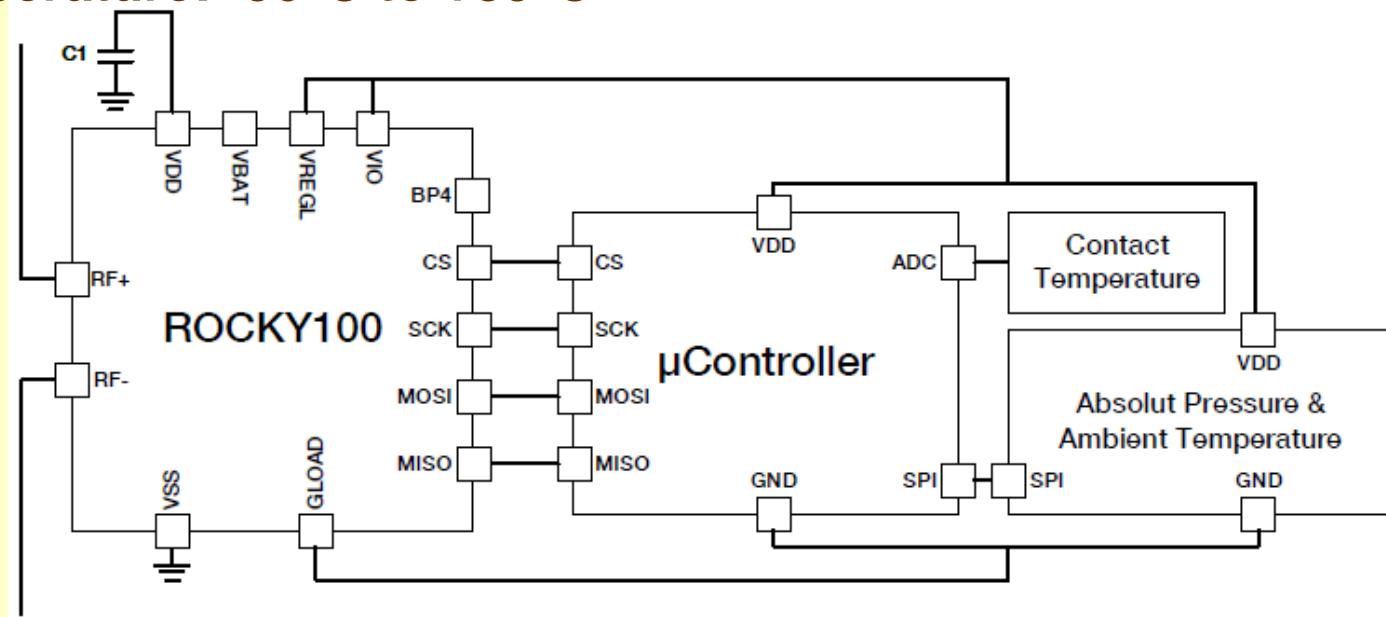
ISO 18000-6 Type C compliant

128-bit EPC & 96-bit TID

Pressure range: 0 to 14 bar, Pressure accuracy:  $\pm 40$  mbar

Temperature range: -30°C to +85°C, Temperature accuracy:  $\pm 1^\circ\text{C}$

Operating temperature: -30°C to +85°C



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

## Pressure (ciśnienie)

Cyclon-14BA to pozbawiony baterii czujnik ciśnienia UHF RFID. Urządzenie jest wyposażone w czujnik ciśnienia i temperatury MS5803-14BA firmy Speciality Measurement o zakresie ciśnienia od 0 bar do 14 barów i zakresie temperatur od -30 °C do + 85 °C. Czujnik ciśnienia zapewnia dokładność  $\pm 40$  mbar ciśnienia i  $\pm 1$  °C temperatury.

Tag jest kompatybilny z komercyjnymi czytnikami RFID EPC C1G2. Nie jest wymagany żaden niestandardowy sprzęt ani niestandardowe polecenia. Cyclon-14BA jest idealny do monitorowania ciśnienia w zamkniętych lub trudno dostępnych miejscach np. jak systemy monitorowania ciśnienia w oponach kół w pojazdach (TPMS).



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

**LED (etykiety LED), FEATURES:**

860MHz-960MHz operation

Read range @ 2W ERP: 5 meters

EPC Class-1 G2 compliant

ISO 18000-6 Type C compliant

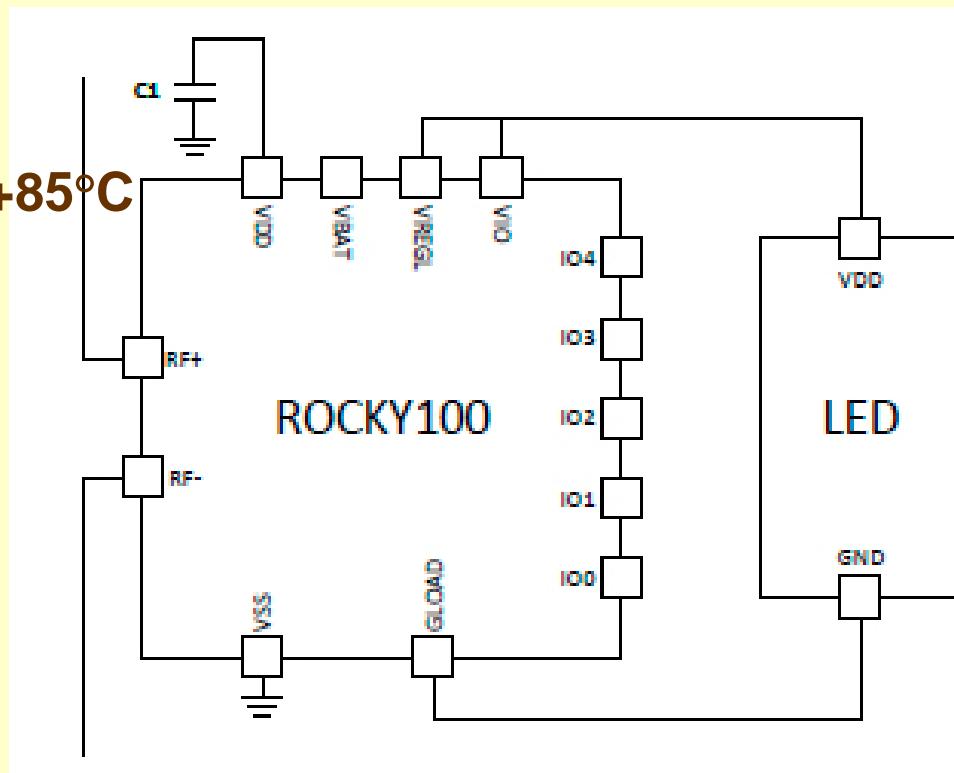
128-bit EPC & 96-bit TID

LED color: green

Dominant wavelength: 525 nm

Viewing angle: 120 degrees

Operating temperature: -30°C to +85°C



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

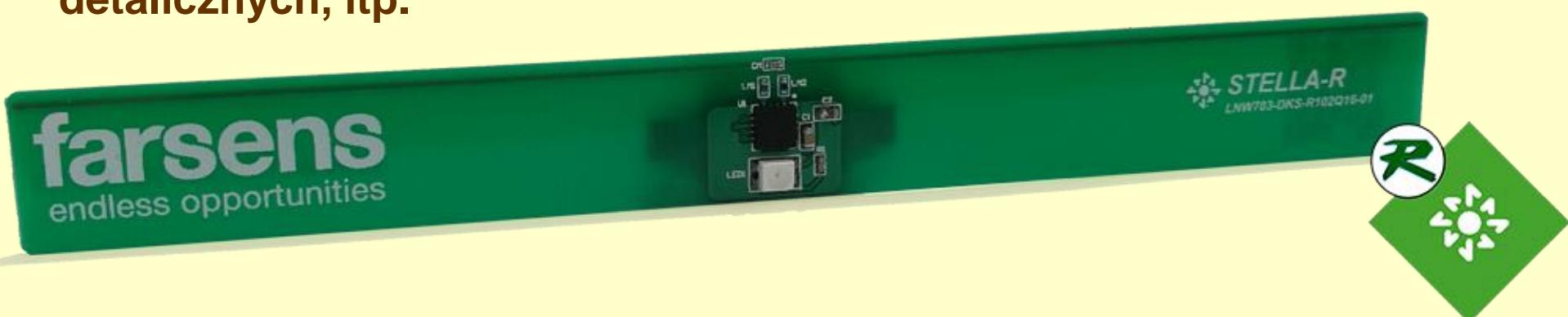
<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

**LED (etykiety LED),**

EVAL01-Stella-R to pozbawiona baterii etykieta LED UHF RFID. Urządzenie wyposażono w diodę ASMT-SGB5-NW703 LED firmy Broadcom o kącie widzenia 120 stopni.

Tag jest kompatybilny z komercyjnymi czytnikami RFID EPC C1G2. Nie jest wymagany żaden niestandardowy sprzęt ani niestandardowe polecenia.

Rozwiązanie może być pomocne do wizualnej pomocy w procesach identyfikacji. Bezobsługowe urządzenie LED zapewnia unikalny numer identyfikacyjny, za pomocą którego czytnik może nakazać, aby dioda LED migała. Przeznaczona jest głównie do działania w aplikacjach logistycznych takich jak procesy kompletacji w magazynach i sklepach detalicznych, itp.



# Platforma RFID dla sieci sensorowej

<http://www.farsens.com/en/products/battery-free-rfid-sensors/>,

- Temperature (temperatura)
- Force / Strain (siła /naprężenie)
- Pressure (ciśnienie)
- LED (etykiety LED)
- RF Field Detection (detekcja pola RF)
- Switch monitor (monitor/wskaźnik położenia klucza/przełącznika)
- Relay (przekaźnik, kontraktron)
- Orientation (orientacja w przestrzeni / położenie)
- Humidity / Moisture (wilgotność / wilgoć)
- Ambient light (natężenie światłem w otoczeniu)
- Magnetic field (obecność pola magnetycznego)

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

ISSCC 2020 / SESSION 20 / LOW-POWER CIRCUITS FOR IoT & HEALTH A  $28\mu\text{W}$  IoT Tag That Can Communicate with Commodity WiFi Transceivers via a Single-Side-Band QPSK Backscatter Communication Technique, P-H. P. Wang, La Jolla, CA; Broadcom

This paper presents a backscatter IC that demonstrates pragmatic, low-power communication with commodity WiFi hardware in more realistic network deployments as illustrated in Fig. 20.1.1 (right) by: 1) synchronizing to carefully-architected incident WiFi-compliant packets via an integrated  $2.8\mu\text{W}$  energy-detecting wake-up receiver (WuRX); 2) modulating the phase of incydent WiFi signals and frequency-translating them to another WiFi channel via a crystal-stabilized multi-phase LO, to enable clear and robust reception of protocol-compliant data; 3) utilizing an IQ mixer driving multi-phase-terminated backscatter switches to enable single-side-band (SSB) QPSK modulation to a single adjacent WiFi channel; and 4) receiving and decoding the tag data with a commercial WiFi TRX by XOR-ing the original incident WiFi data (via the cloud) and the received backscattered alteration.

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

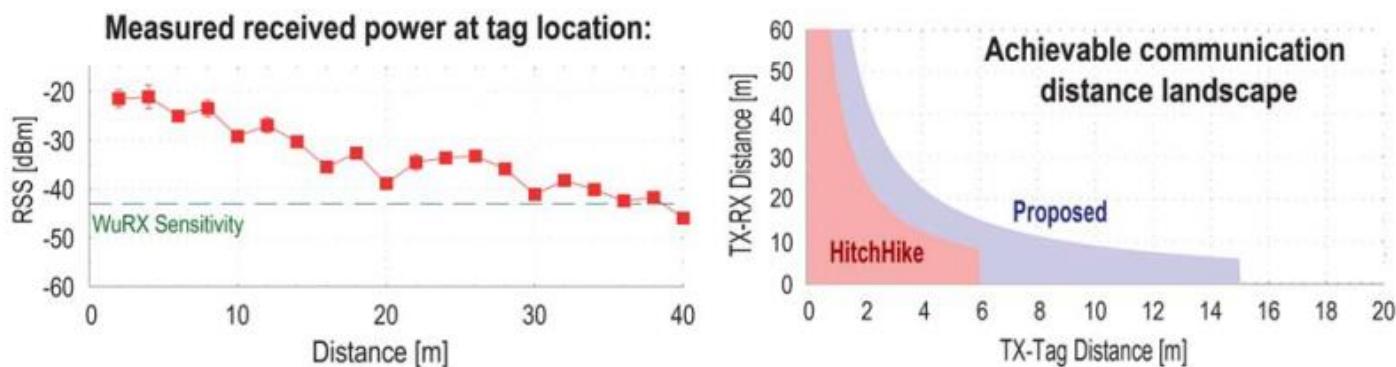
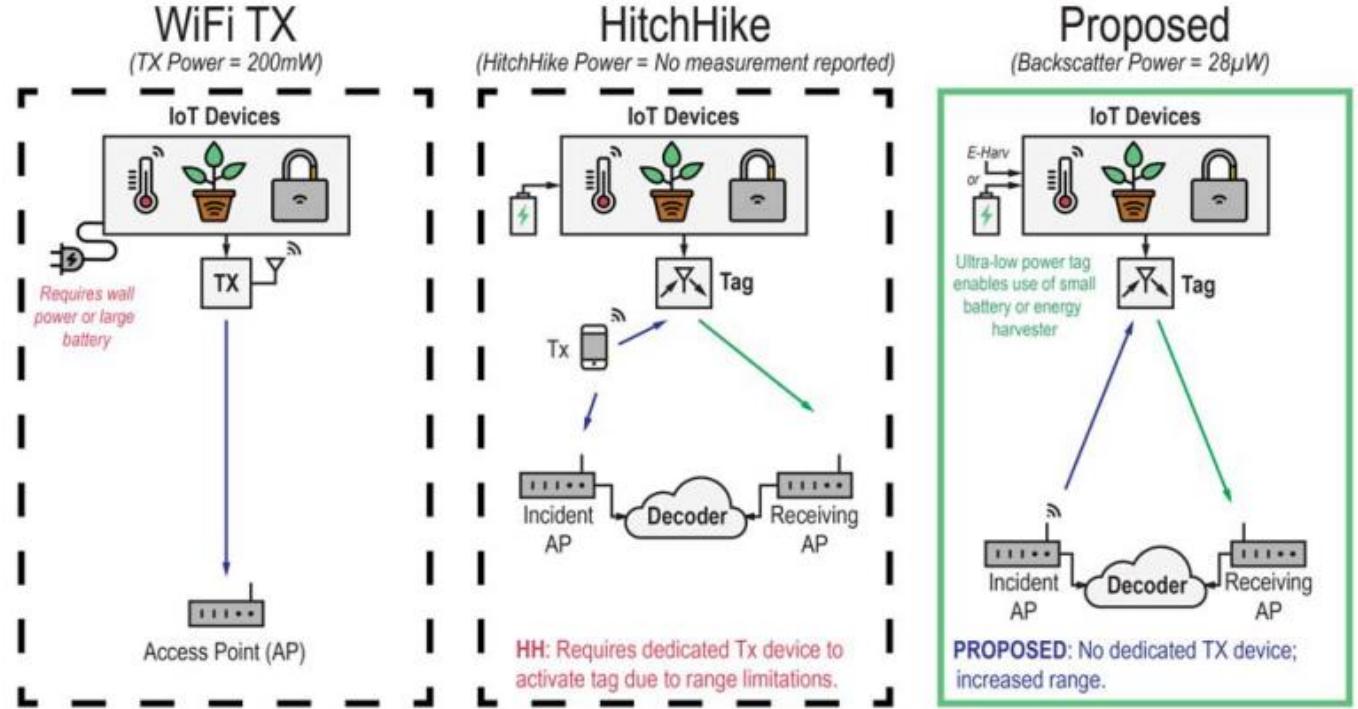
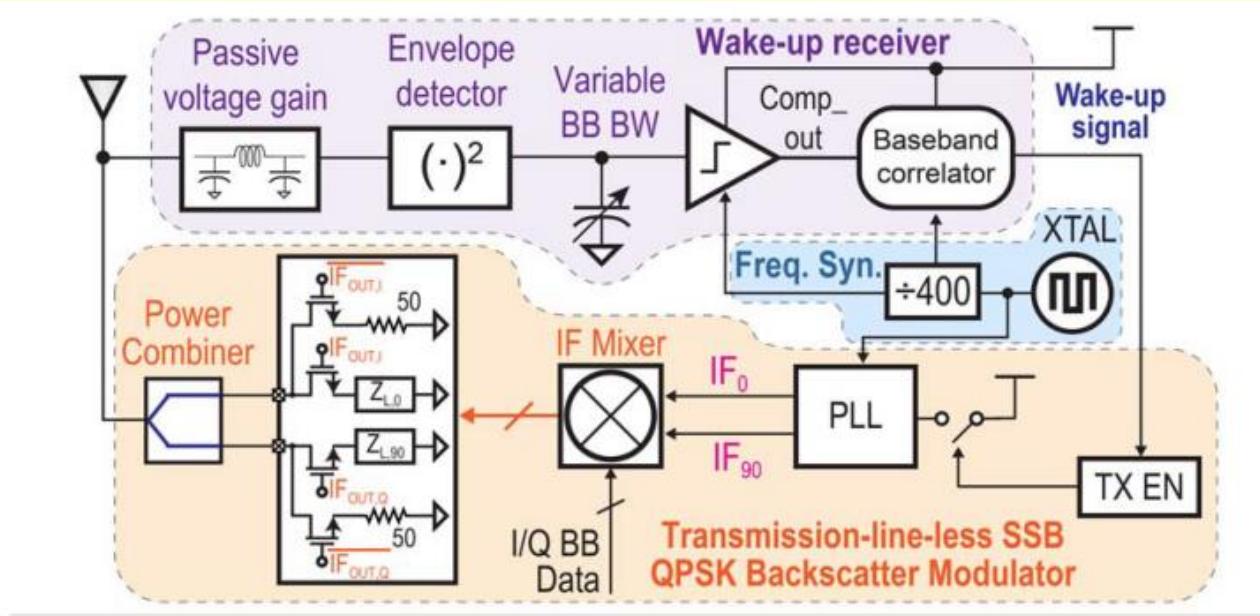


Figure 20.1.1: Proposed WiFi-compliant backscatter approach in contrast to existing art (top); measured RX power at tag location, indicating >30m wake-up range (bottom left); and achievable communication distance landscape.

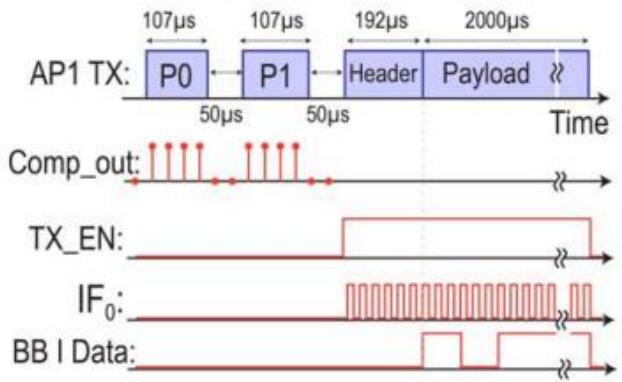
ISSCC 2020 /  
SESSION 20 /  
LOW-POWER  
CIRCUITS FOR  
IoT & HEALTH  
A  $28\mu\text{W}$  IoT  
Tag That Can  
Communicate  
with  
Commodity  
WiFi  
Transceivers  
via a Single-  
Side-Band  
QPSK  
Backscatter  
Communication  
Technique,  
P-H. P. Wang,  
La Jolla, CA;  
Broadcom

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

ISSCC 2020 /  
SESSION 20 /  
LOW-POWER  
CIRCUITS FOR  
IoT & HEALTH  
**A 28 $\mu$ W IoT  
Tag That Can  
Communicate  
with  
Commodity  
WiFi  
Transceivers  
via a Single-  
Side-Band  
QPSK  
Backscatter  
Communication  
Technique,  
P-H. P. Wang,  
La Jolla, CA;  
Broadcom**



## Wake-up / Synchronization:



## Illustrative Example: (BPSK for simplicity)

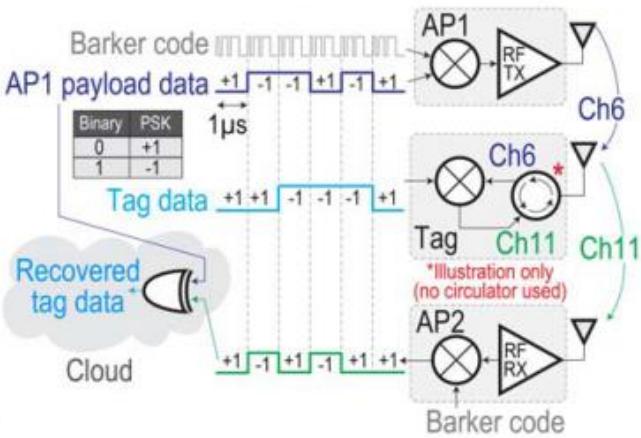


Figure 20.1.2: Block diagram of the proposed backscatter-based IoT tag (top); wake-up/synchronization and backscatter timing (bottom left); BPSK-based example of how tag data is decoded in the cloud (bottom right).

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

ISSCC 2020 /  
SESSION 20 /  
LOW-POWER  
CIRCUITS FOR  
IoT & HEALTH  
**A 28 $\mu$ W IoT  
Tag That Can  
Communicate  
with  
Commodity  
WiFi  
Transceivers  
via a Single-  
Side-Band  
QPSK  
Backscatter  
Communication  
Technique,  
P-H. P. Wang,  
La Jolla, CA;  
Broadcom**

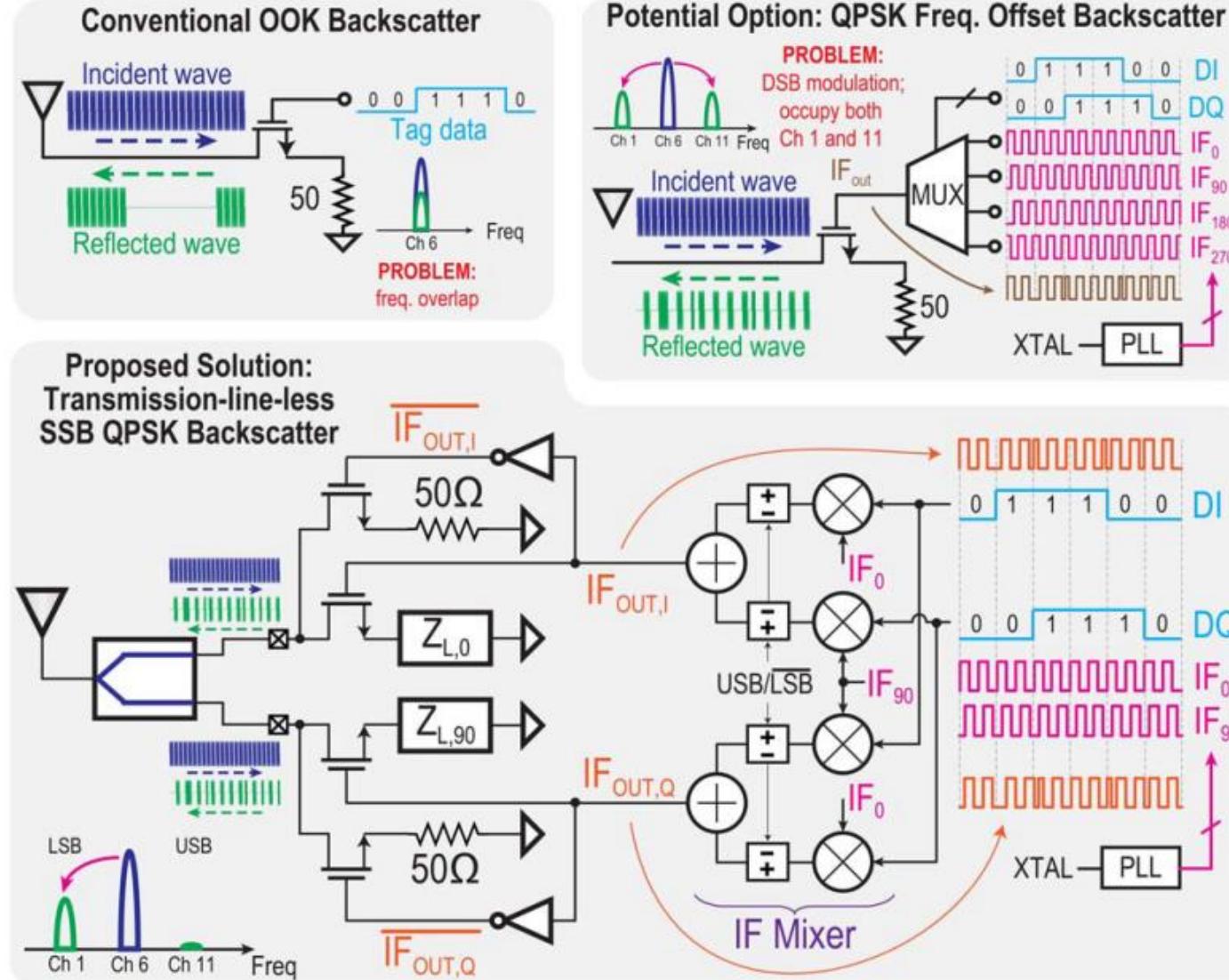


Figure 20.1.3: Methods to perform on-chip backscatter modulation: conventional frequency-overlapped OOK (top left); frequency-offset QPSK (top right); and the proposed transmission-line-less SSB QPSK approach (bottom).

# Platforma RFID dla sieci sensorowej

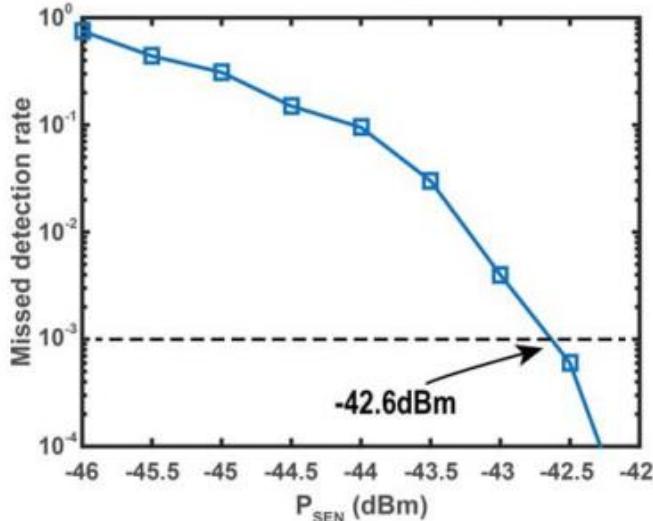
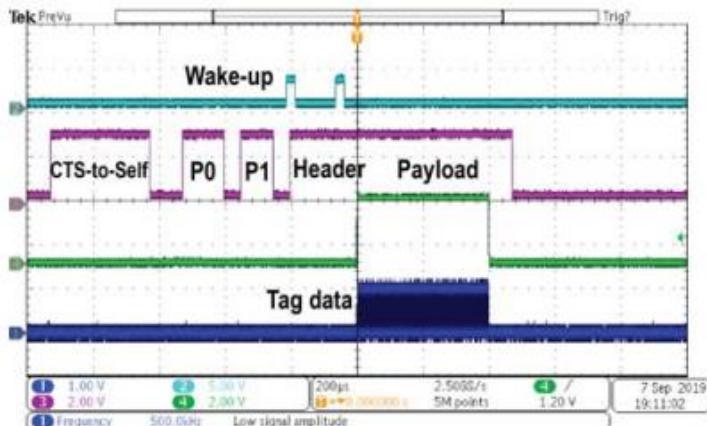
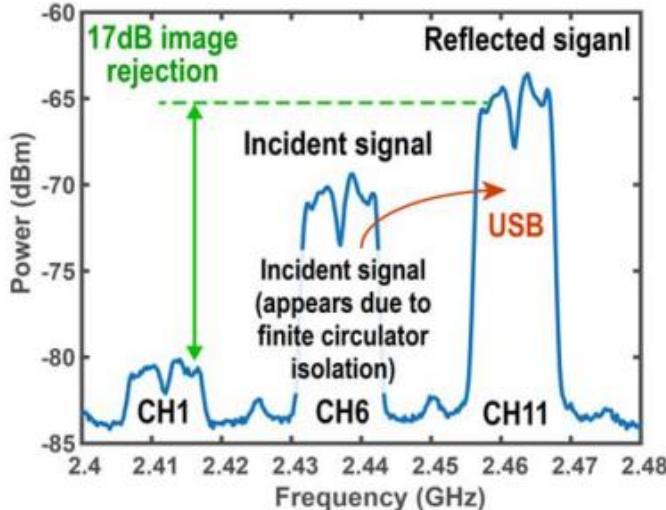
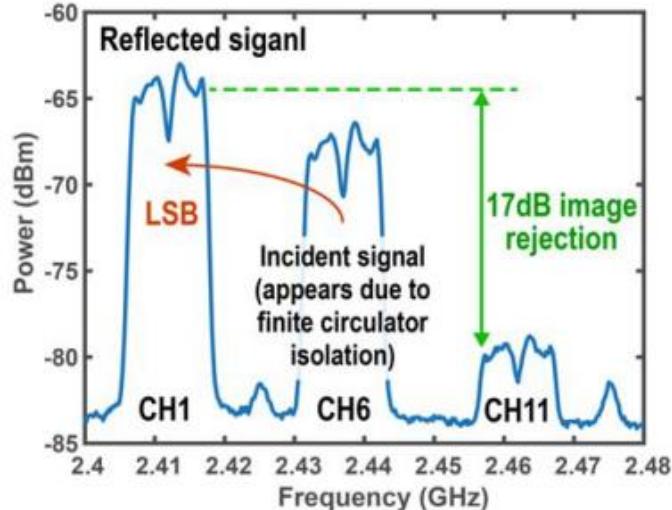


Figure 20.1.4: Measured spectrum showing SSB backscatter-based frequency translation to lower (top left) and upper (top right) sidebands with 17dB image rejection; measured wake-up and backscatter sequence (bottom left); measured missed detection rate for the WuRX (bottom right).

ISSCC 2020 /  
SESSION 20 /  
LOW-POWER  
CIRCUITS FOR  
IoT & HEALTH  
A 28 $\mu$ W IoT  
Tag That Can  
Communicate  
with  
Commodity  
WiFi  
Transceivers  
via a Single-  
Side-Band  
QPSK  
Backscatter  
Communication  
Technique,  
P-H. P. Wang,  
La Jolla, CA;  
Broadcom

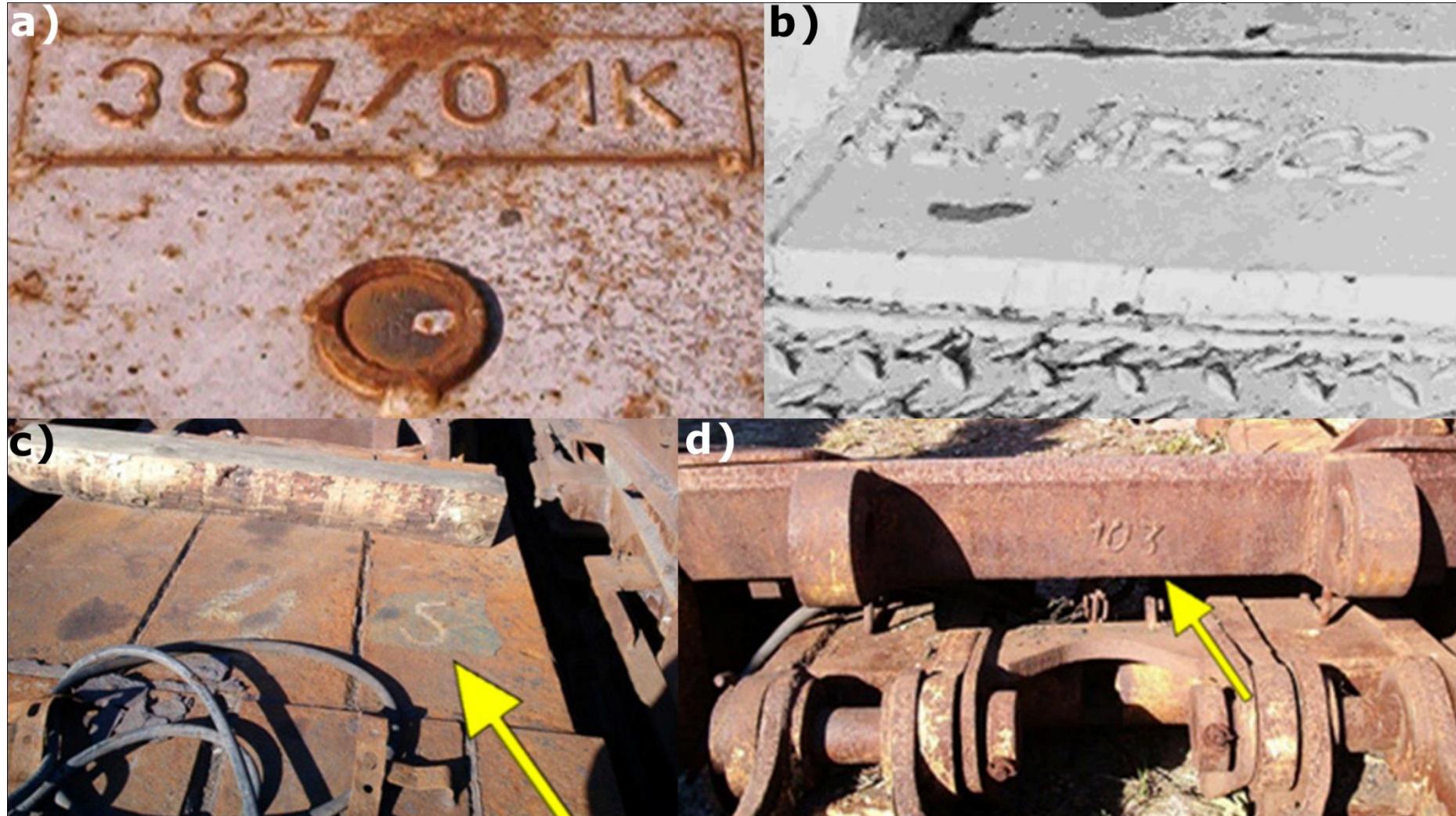
# Podsumowanie

Technologia radiowego rozpoznawania obiektów RFID jest obecnie nadal rozwijającą się techniką automatycznej identyfikacji o ugruntowanej pozycji. Wynika to z szeregu zalet:

- identyfikacja odbywa się zdalnie i natychmiast po znalezieniu się oznakowanego transponderem obiektu w zasięgu układu antenowego czytnika;
- orientacja obiektu względem czytnika może być dowolna;
- transponder może być umieszczany wewnątrz oznakowanego obiektu.
- konstrukcja transpondera umożliwia przyjęcie hybrydowych systemów oznakowania (np. nadrukowanie kodu paskowego na transponder).

Efektywną pracę systemów automatycznej identyfikacji RFID można osiągnąć tylko dzięki zastosowaniu odpowiednich rozwiązań informatycznych umożliwiających rozwiązywanie zagadnień logistycznych w skali przedsiębiorstwa lub wręcz globalnej.

# Geneza powstania systemu – stosowane w górnictwie metody znakowania



# Problemy logistyczne inwentaryzacji w górnictwie – przykład zastosowania

1. Trwałość oznakowania  
(odporność na środowisko, urazy mechaniczne)
2. Możliwość automatyzowania procesu identyfikacji i wygodnego oraz pewnego przechowywania danych
3. Ograniczenie możliwości pomyłki przez człowieka



**napawanie**

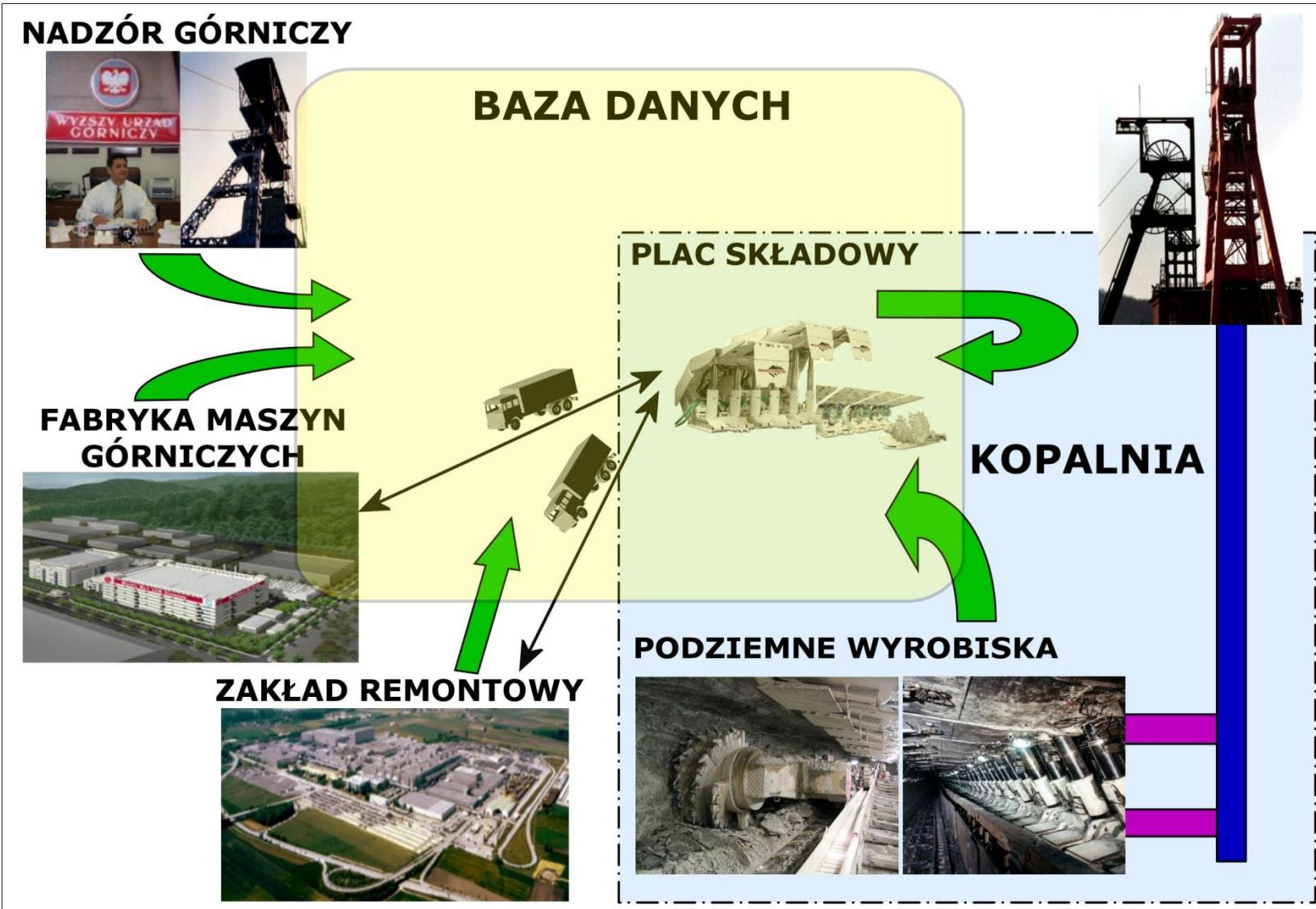


**malowanie**

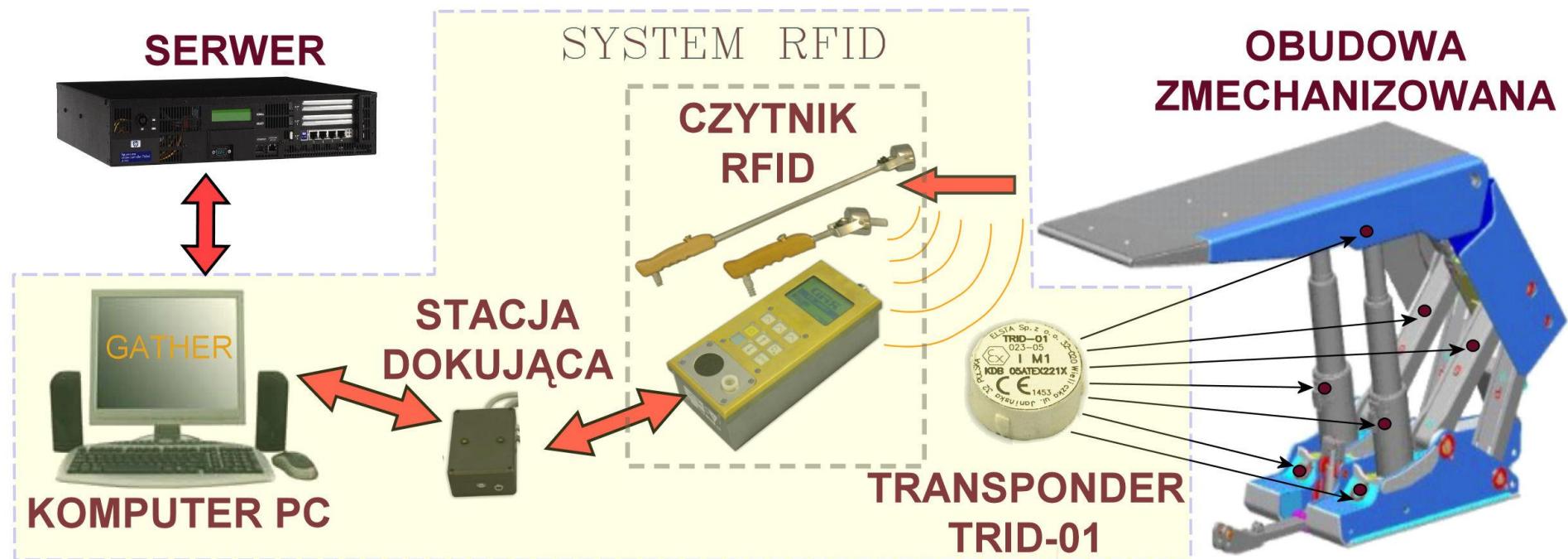


**spawanie**

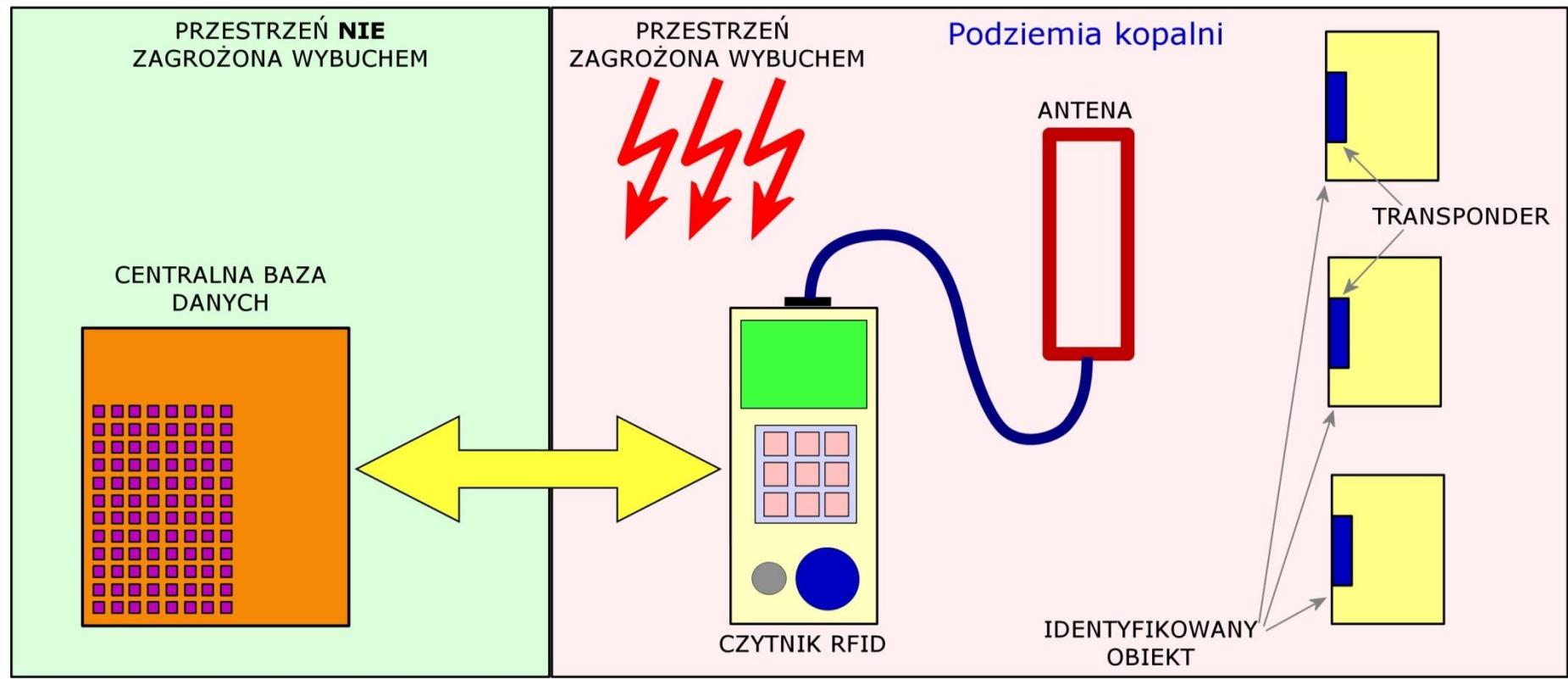
# Struktura systemu informatycznego z wykorzystaniem technologii RFID



# Architektura i obieg danych w systemie zdalnej identyfikacji elementów maszyn



# Przeciwwybuchowe urządzenia RFID



Adaptacja takiego systemu do podziemnych wyrobisk górniczych wymaga aby wszystkie jego elementy mogły pracować w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Transpondery są montowane trwale do identyfikowanego obiektu (np.: maszyny, lampy górnicze) i znajdują się ciągle, bądź przez długi okres czasu w przestrzeni zagrożonej wybuchem, natomiast czytnik RFID może pracować w trakcie odczytu zarówno w strefach niebezpiecznych, jak i poza nimi. Dlatego wszystkie elementy tego systemu powinny być w wykonaniu przeciwwybuchowym.

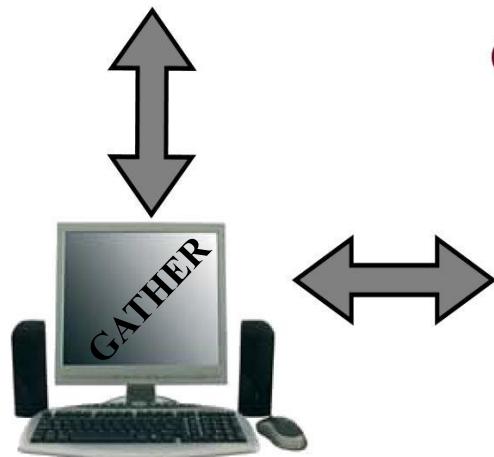
# Transponder TRID-01



a) Transponder TRID-01 w wykonaniu przeciwwybuchowym; b) Fotografie transponderów umieszczonych na elementach sekcji obudowy zmechanizowanej

# System identyfikacji RFID

SERWER



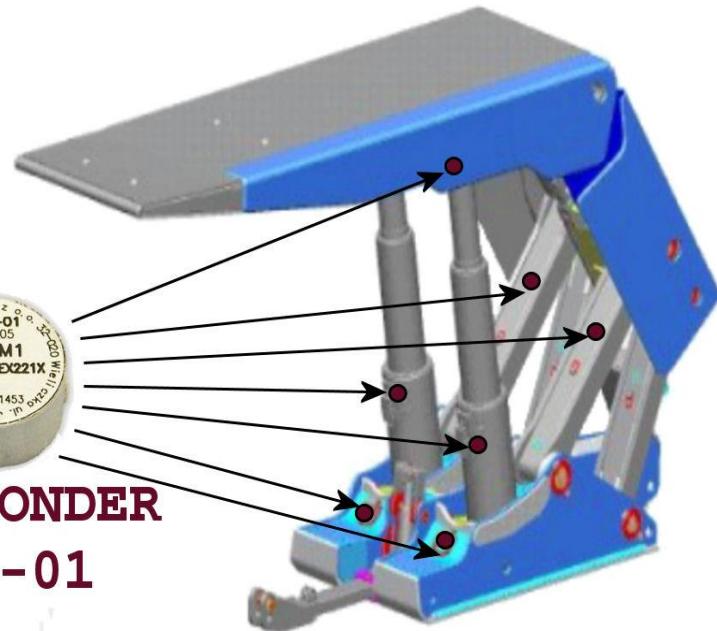
CZYTNIK  
RFID



TRANSPONDER  
TRID-01



OBUDOWA  
ZMECHANIZOWANA



# Elementy systemu RFID

**TRANSPONDERY**



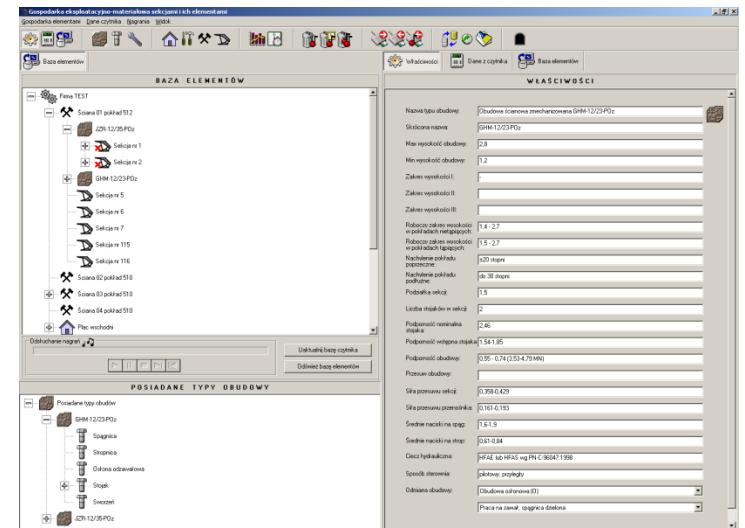
**MIKROKOMPUTER**



**LANCE ODCZYTUJĄCE**



**STACJA DOKUJĄCA**



**APLIKACJA KLIENCKA GATHER**

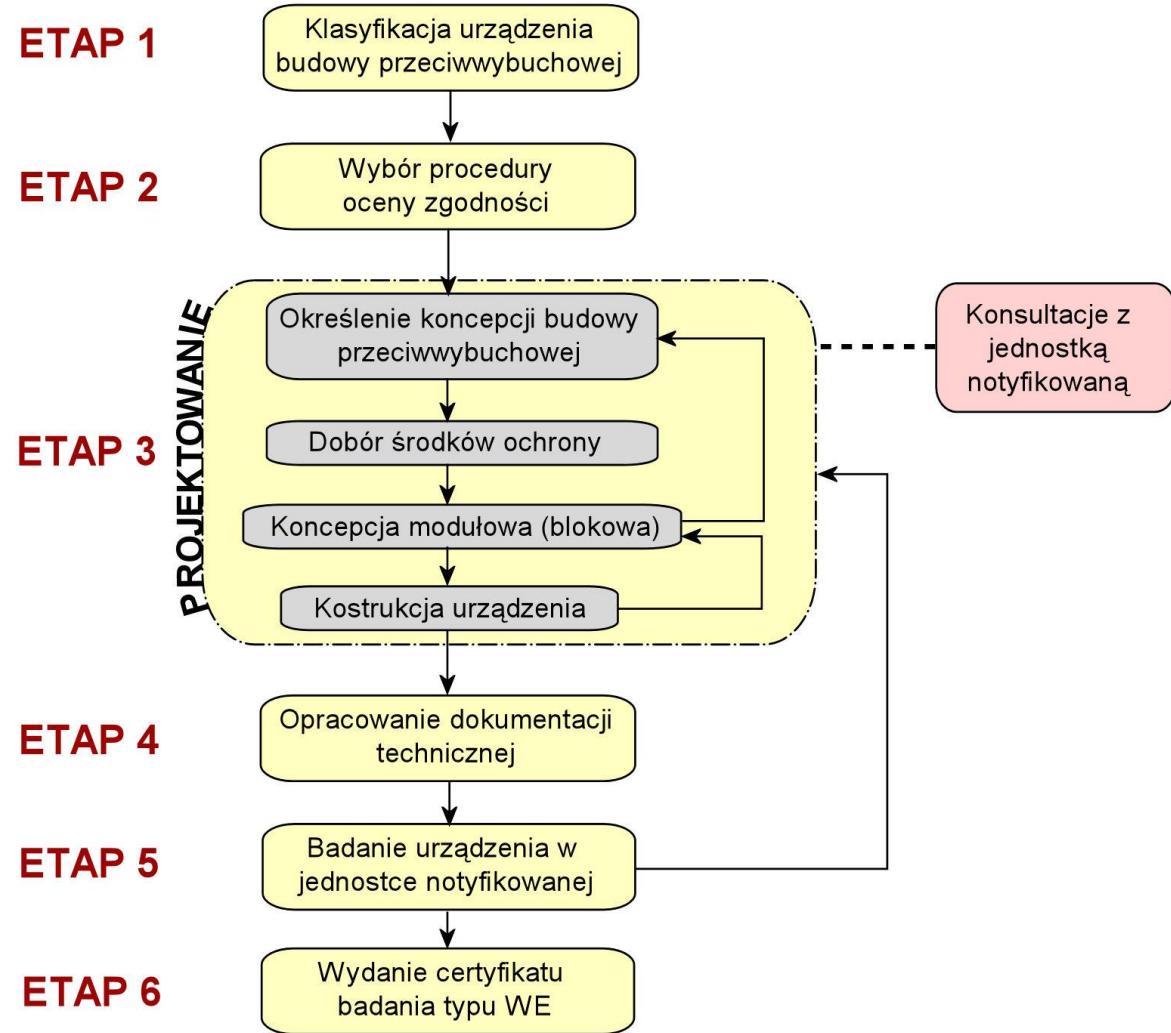
# Czytnik RFID przystosowany do pracy w podziemnych wyrobiskach górniczych



# Projektowanie urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym

Projektowanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych spełniających wymagania dyrektywy ATEX związane jest z koniecznością spełnienia najwyższych przemysłowych standardów bezpieczeństwa.

Zaproponowany proces projektowania urządzeń elektrycznych i elektronicznych przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem można podzielić na kilka etapów, od których zależy zarówno konstrukcja urządzenia, przyjęte rozwiązania techniczne (technologiczne), jak i miejsca, w których te urządzenia mogą być stosowane.



# Zestawienie wyników i weryfikacja tez

- 1. Zbudowane dwa stanowiska badawcze.**
- 2. Wykorzystanie badań modelowych pola elektromagnetycznego do opracowania optymalnej konstrukcji układu antenowego RFID.**
- 3. Badania termiczne i opracowanie modułu transpondera RFID.**
- 4. Rozwiążanie zagadnienia eksploatacji podzespołów RFID w środowisku niebezpiecznym.**
- 5. Praktyczna realizacja głowicy antenowej czytnika i modułu transpondera dla systemu ewidencji maszyn górniczych RFID.**

**Teza I:**

Modelowanie pola elektromagnetycznego można wykorzystać do opracowania systemu zdalnej identyfikacji radiowej RFID eksploatowanego w trudnych warunkach środowiskowych (otoczenie metaliczne, zagrożenia środowiskowe).

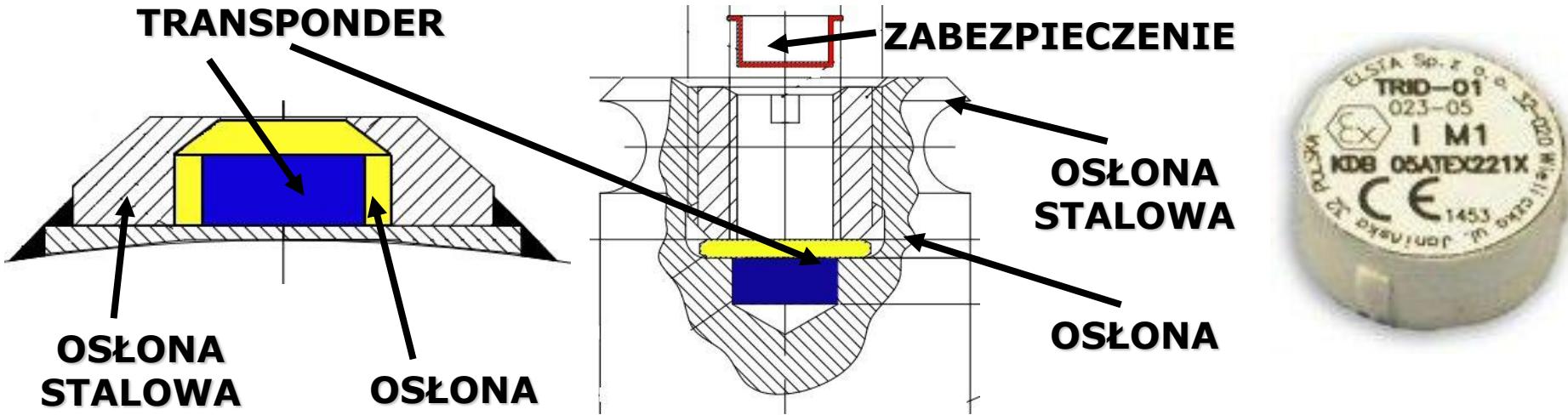
**Teza II:**

Przeprowadzenie badań termicznego oddziaływania pola elektromagnetycznego na podzespoły RFID można wykorzystać do weryfikacji możliwości ich zastosowań w niebezpiecznych warunkach środowiskowych.

Uzyskane rezultaty odnoszą się bezpośrednio do sformułowanych we wstępie tez pracy.

Opracowane metody projektowania podzespołów RFID w oparciu o procedury modelowania i sterowania polami magnetycznymi okazały się skuteczne. Skonstruowane przy wykorzystaniu tych metod urządzenie zostały wdrożone do przemysłowej eksploatacji.

# Transponder RFID w zastosowaniu górnictwym



Przystosowanie transpondera do podziemnych wyrobisk górniczych, wymagało:

- opracowania odpornej mechanicznie i chemicznie konstrukcji
- zabezpieczenia transpondera odpowiednimi środkami ochrony przeciwwybuchowej
- zapewnienia bezbłędnego odczytu numeru identyfikacyjnego

# Czytnik RFID - Lanca odczytująca

- Ukształtowanie głowicy odczytyjącej zapewnia poprawne dopasowanie się do zabudowanego transpondera
- Najnowsza technologia oraz odpowiednia konstrukcja zapewnia jednoznaczna identyfikację i pewność w działaniu
- Bezpieczna i wygodna w użyciu



# Czytnik RFID - Mikrokomputer



**EEx ia I**

- Podświetlany wyświetlacz graficzny
- 9 klawiszy (3 kontekstowe)
- Wbudowany mikrofon i głośnik
- Duża pamięć nieulotna (min. 512MB)
- Uniwersalne złącze do podłączenia głowicy lub komputera PC (USB)

- Elastyczne menu graficzne zapewnia łatwość obsługi
- Możliwość nagrywania i odsłuchu notatek głosowych
- Obsługa wszystkich operacji logistycznych
- Konieczność logowania się (bezpieczeństwo)



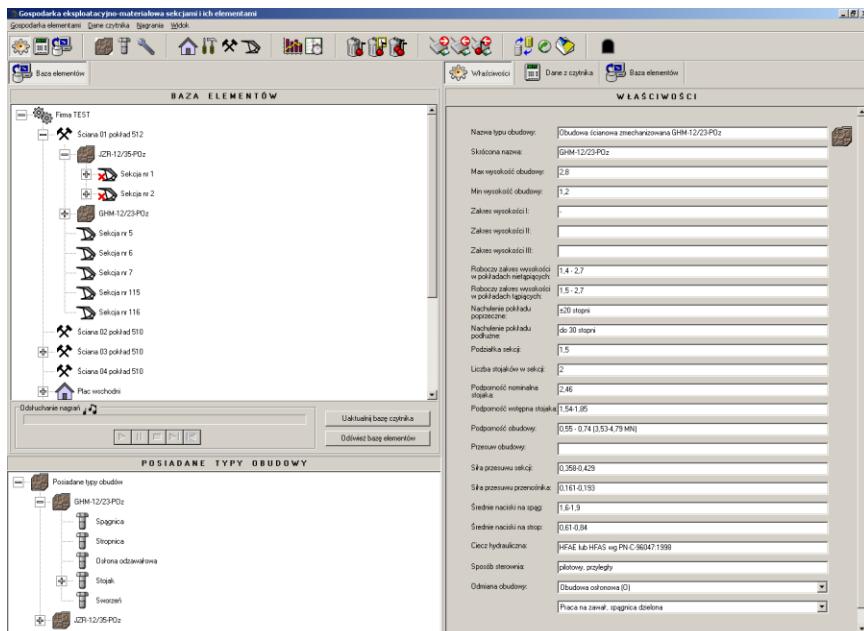
Stacja dokująca  
zapewnia komunikację  
z komputerem PC oraz  
doładowanie baterii.



# Zarządzanie systemem

Oprogramowanie Gather zapewnia:

- Wygodne zarządzanie elementami i procesami
- Przechowywanie informacji w strukturach nowoczesnych baz danych
- Obsługę czytników
- Generowanie raportów dot. gospodarki i użytkowania elementów
- Wysoki standard bezpieczeństwa



Jedno z okien aplikacji GATHER



Uzyskiwane informacje:

- historia elementów
- historia zleconych zadań
- komentarze głosowe
- parametry górnictwo-geologiczne oraz techniczne ścian wydobywczych
- informacje o firmach i jednostkach współpracujących

# Kontrola obiegu danych w systemie

**SPRZĘT**



**FABRYKA MASZYN  
GÓRNICZYCH**



**NADZÓR  
GÓRNICZY**



**BAZA DANYCH**

**APLIKACJA  
GATHER**

**PLAC  
SKŁADOWY**



**PODZIEMNE WYROBISKA**



**ZAKŁAD REMONTOWY**



**KOPALNIA**

**KOMAG**  
**OPROGRAMOWANIE**

# Operacje na bazie danych

„PIERWSZE DOWIĄZANIE” – np.: u PRODUCENTA, w KOPALNI (plac składowy)

TWORZENIE  
BAZY DANYCH

Łączenie typu elementu z konkretnym,  
niepowtarzalnym numerem identyfikacyjnym



Wchodzi na stan kopalni

„PRZYKŁADOWE DOWIĄZANIA”:

1. Notatki głosowe dotyczące danego elementu
2. Numer sekcji, pokład, data wprowadzenia do ściany, itp.
3. Stan techniczny elementu  
(informacje o remontach, naprawach)
4. Historia eksploatacji elementu  
(daty, obciążenie ścian, inne informacje użytkowe)

Czytnik RFID jest na tyle funkcjonalny na ile pozwoli mu użytkownik,  
za pomocą aplikacji klienckiej GATHER

# Zalety systemu

- jednoznaczna identyfikacja poszczególnych zespołów nośnych,
- bardzo krótki czas wymagany na inspekcję pod ziemią, co korzystnie wpływa na czas eksploatacji złoża,
- ułatwienie prowadzenia racjonalnej gospodarki elementami sekcji,
- wykorzystanie nowoczesnych, komputerowych baz danych do gromadzenia i przetwarzania danych dotyczących użytkowania elementów sekcji - uzyskiwanie szybkiego dostępu do danych i szybka ich aktualizacja,
- trwałość nośników informacji (co najmniej 10 lat),
- niezawodność odczytu kodu identyfikacyjnego w różnych warunkach technicznych i środowiskowych, a przez to wyeliminowanie błędu ludzkiego

# Modelowanie pól magnetycznych

## Równania materiałowe

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M} = \mu_0 (1 + \chi_m) \mathbf{H}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

## Równania Maxwell'a

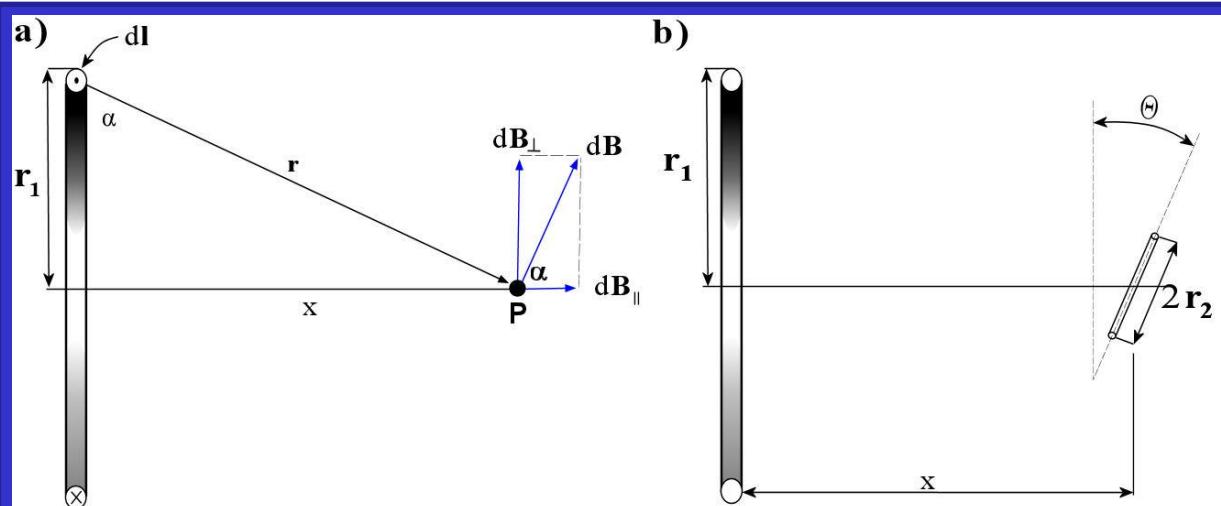
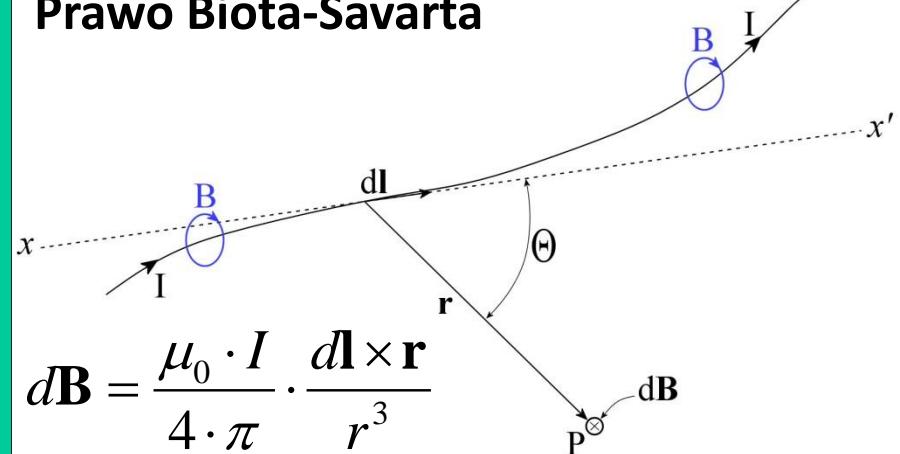
$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

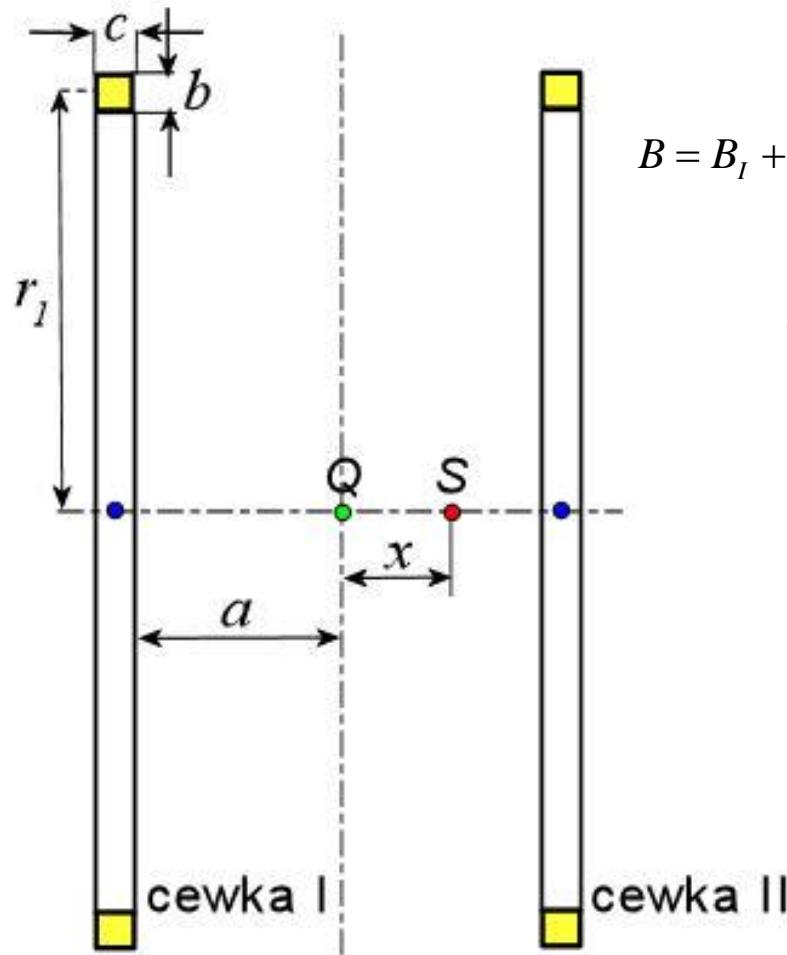
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

## Prawo Biota-Savarta



$$B = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{r_1}{\left( \sqrt{r_1^2 + x^2} \right)^3} \int d\mathbf{l} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot I}{2} \cdot \frac{r_1^2}{\left( \sqrt{r_1^2 + x^2} \right)^3}$$

# Wzorzec pola magnetycznego

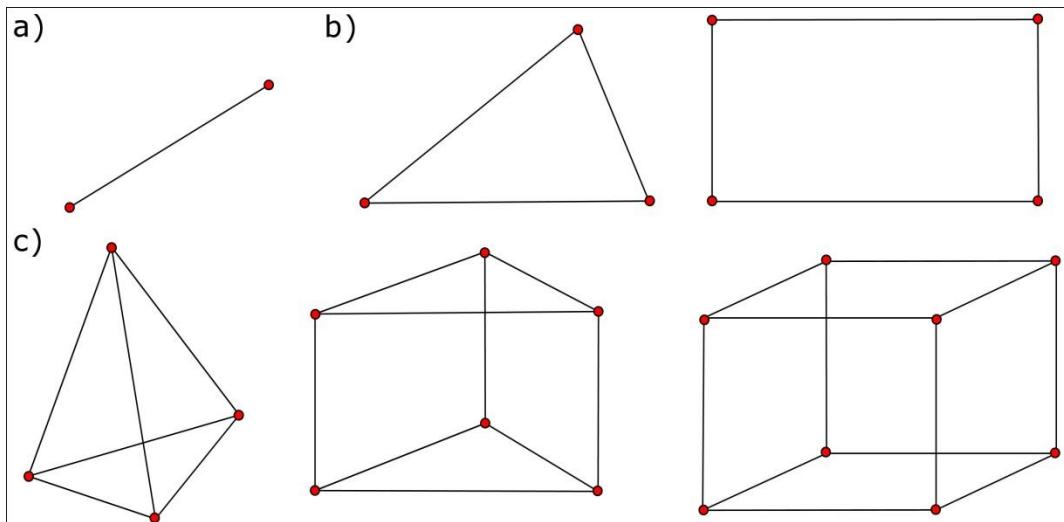
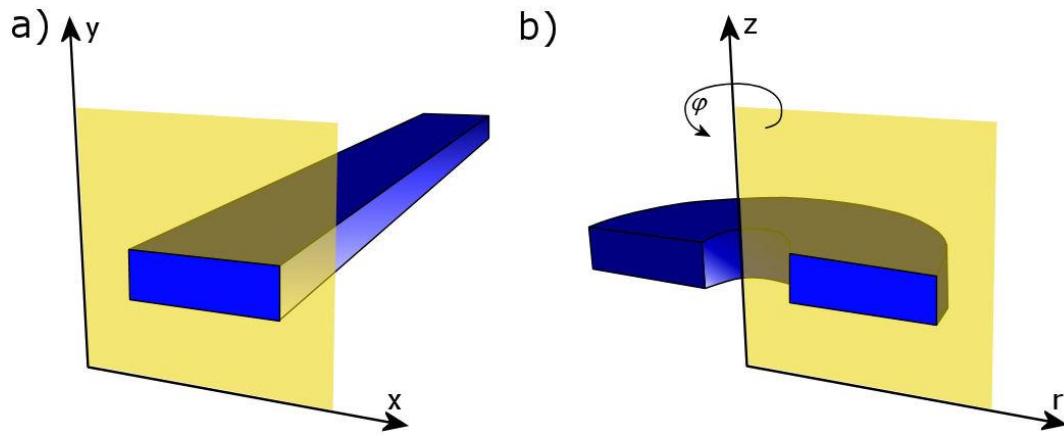


$$B = B_I + B_{II} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2} \cdot \left( \frac{r_1^2}{\left( \sqrt{r_1^2 + (a+x)^2} \right)^3} + \frac{r_1^2}{\left( \sqrt{r_1^2 + (a-x)^2} \right)^3} \right)$$

**Warunek jednorodności pola:**  $2a = r_1$

$$B = \left( \sqrt{\frac{4}{5}} \right)^3 \cdot \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{r_1} \approx 0,7155 \cdot \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{r_1}$$

# Modelowanie pola magnetycznego



FAZA 1: Budowa modelu - faza ta składa się z następujących etapów:

- konfiguracja opcji modelu (definiowanie stałych, sprzężeń oraz zależności pomiędzy zmiennymi),
- opracowanie geometrii modelowanego obiektu (lub jej import),
- podział obiektu na elementy skończone (dobór rodzaju elementów skończonych i generowanie siatki dla obiektu),
- konfiguracja parametrów fizycznych modelu (zdefiniowanie zmiennych skalarnych, przypisanie cech fizycznych danym elementom oraz określenie warunków brzegowych),
- konfiguracja parametrów analizatora równań MES,

FAZA 2: Budowa i rozwiązywanie układu równań MES,

FAZA 3: Wizualizacja wyników – celem której jest wspomaganie w interpretacji uzyskanych rezultatów.



# COMSOL Multiphysics

COMSOL Multiphysics®

AC/DC  
Module

Structural Mechanics  
Module

Chemical Engineering  
Module

CAD Import  
Module

RF  
Module

Acoustics  
Module

Reaction Engineering  
Module

LiveLink™ for  
Pro/ENGINEER®

MEMS  
Module

CFD  
Module

Batteries & Fuel Cells  
Module

LiveLink™ for  
Inventor®

Plasma  
Module

Heat Transfer  
Module

Earth Science  
Module

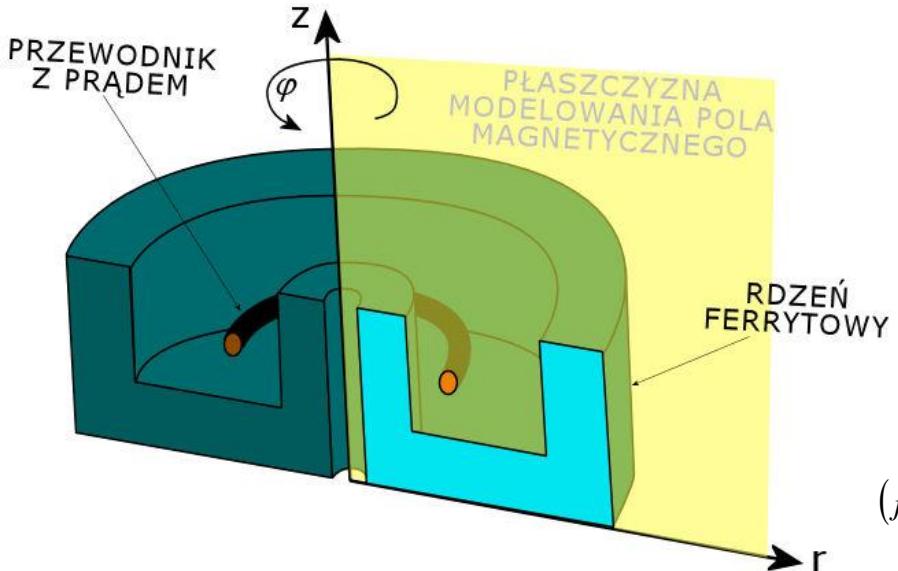
LiveLink™ for  
SolidWorks®

Optimization  
Module

Material  
Library

LiveLink™ for  
MATLAB®

# Modelowanie pola magnetycznego w układzie symetrii osiowej



Dwuwymiarowa symetria osiowa na przykładzie ferrytowej cewki kubkowej – tryb pracy aplikacji COMSOL: Azimuthal Induction Currents, Vector Potentials

Prawo Ampera-Maxwella:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) + j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J}^e$$

Prawo Ampera-Maxwella dla wymuszenia sinusoidalnego w polu quasi-statycznym

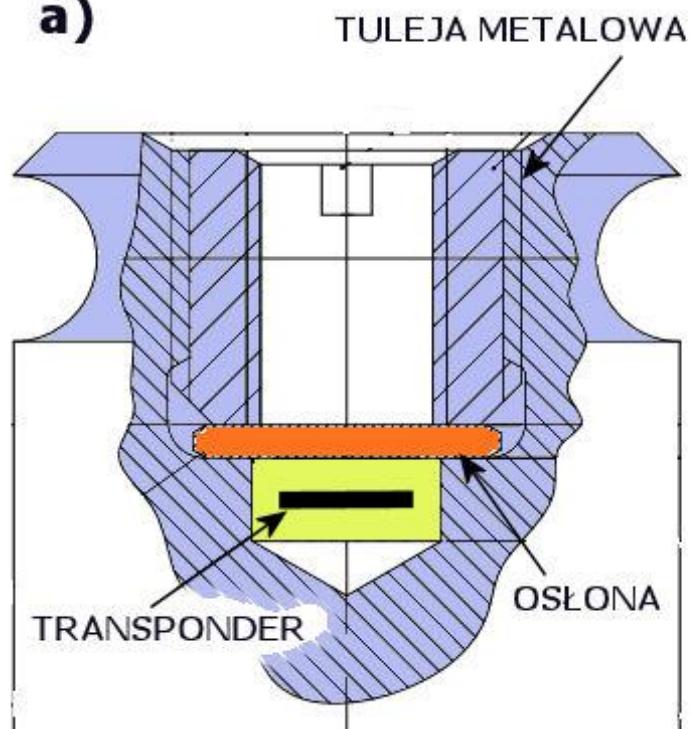
$$(j\omega\sigma - \omega^2\epsilon_0)\mathbf{A} + \nabla \times (\mu_0^{-1}\nabla \times \mathbf{A} - \mathbf{M}) - \sigma\mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{A}) + (\sigma + j\omega\epsilon_0)\nabla V = \mathbf{J}^e + j\omega\mathbf{P}$$

Transformacja cechowania:  $\tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{A} - \frac{j}{\omega}\nabla V \quad \tilde{V} = 0$

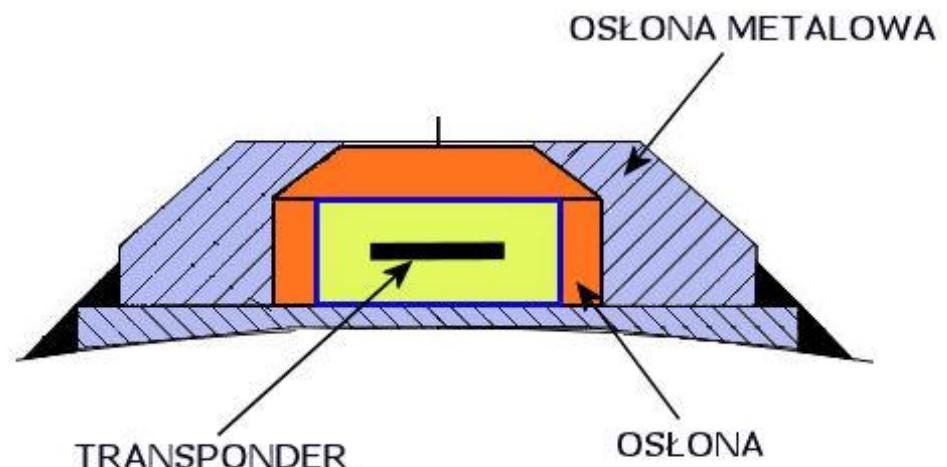
$$(j\omega\sigma - \omega^2\epsilon_0)\tilde{\mathbf{A}} + \nabla \times (\mu_0^{-1}\nabla \times \tilde{\mathbf{A}} - \mathbf{M}) - \sigma\mathbf{v} \times (\nabla \times \tilde{\mathbf{A}}) = \mathbf{J}^e + j\omega\mathbf{P}$$

# Dobór układu antenowego

a)

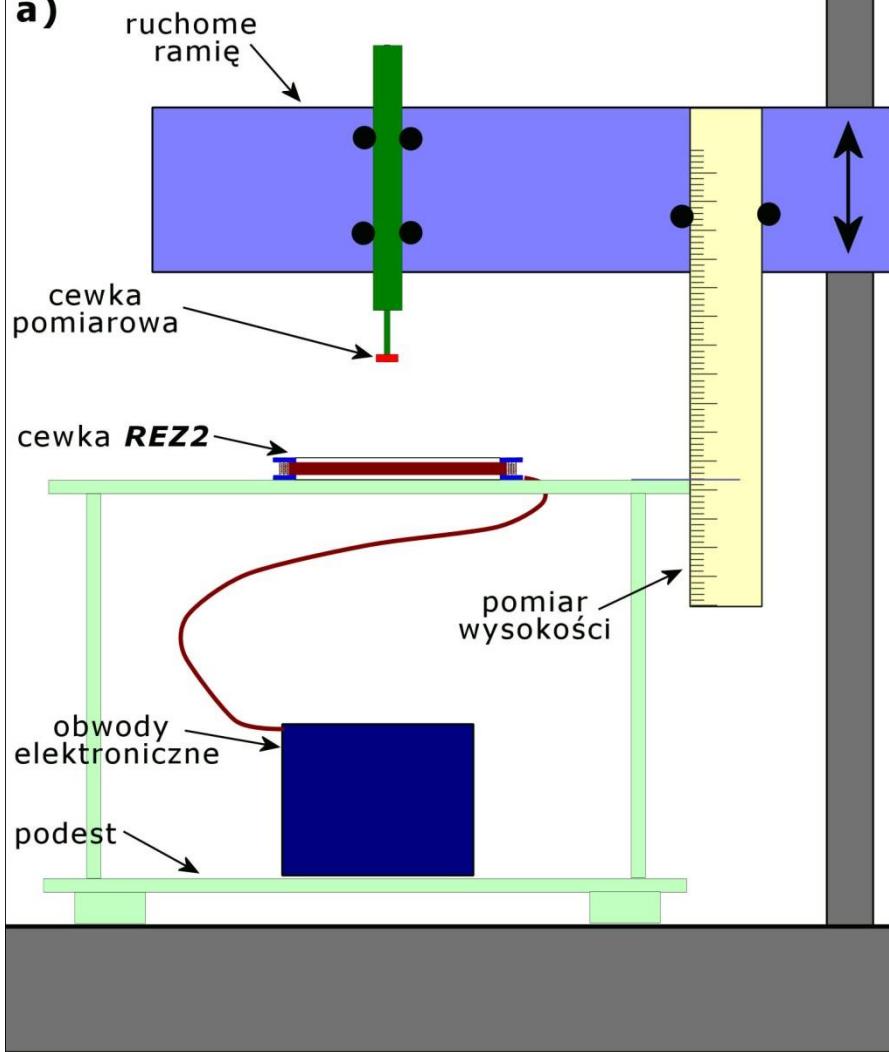


b)

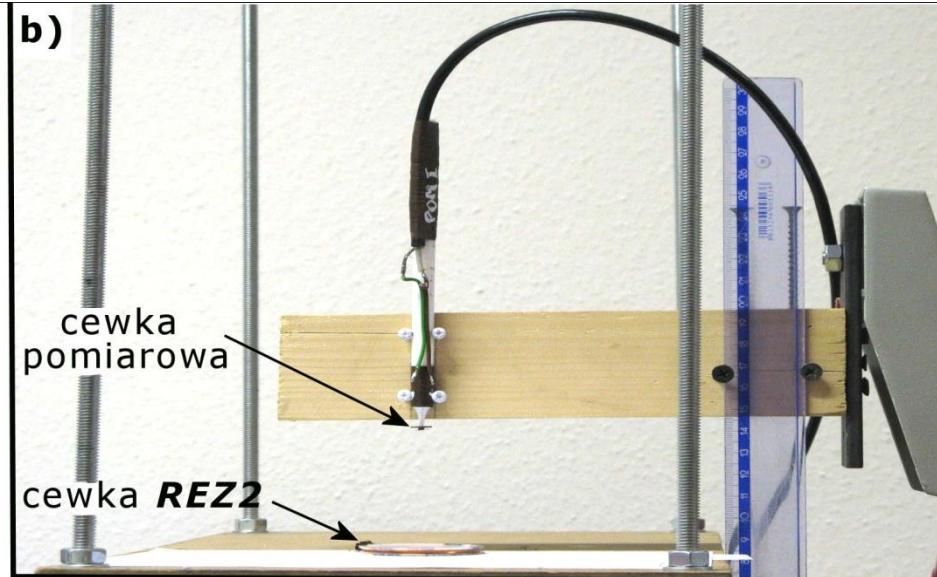


# Stanowisko pomiarowe

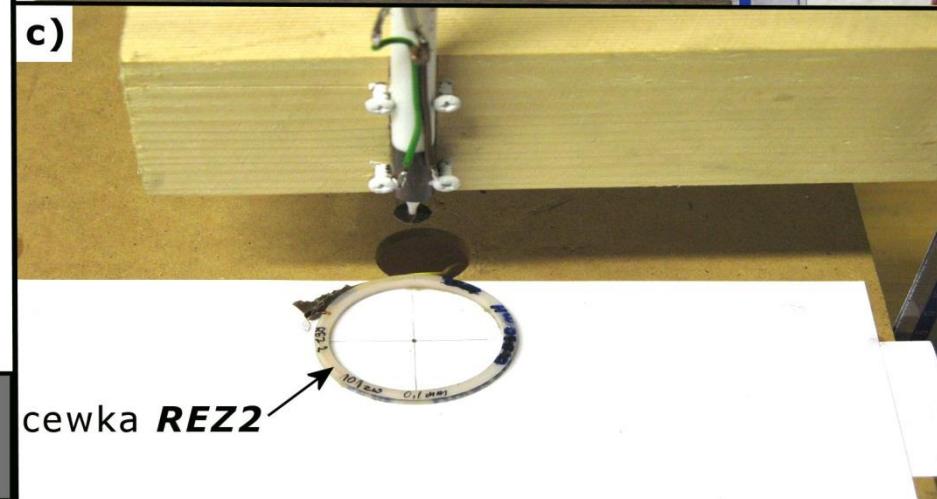
a)



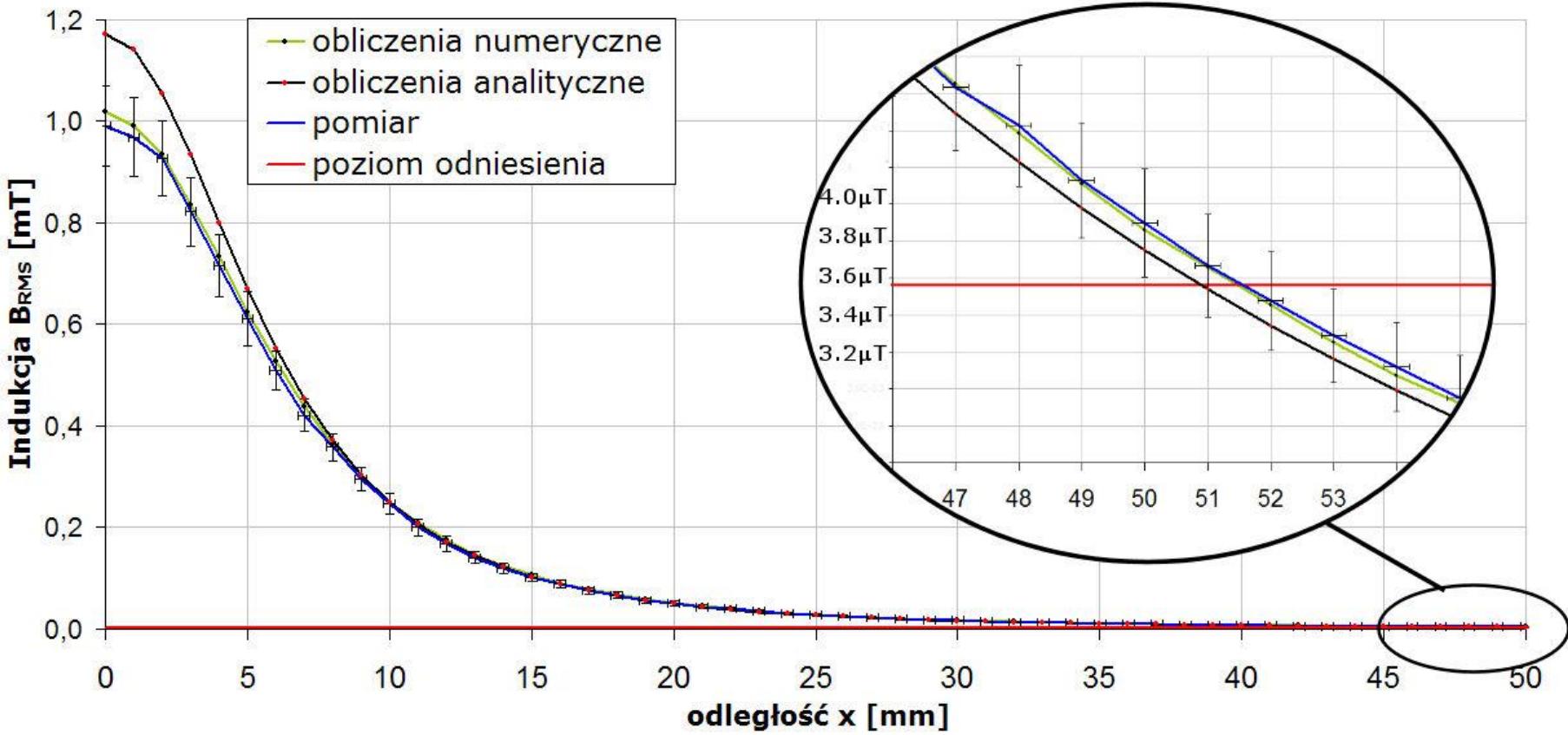
b)



c)

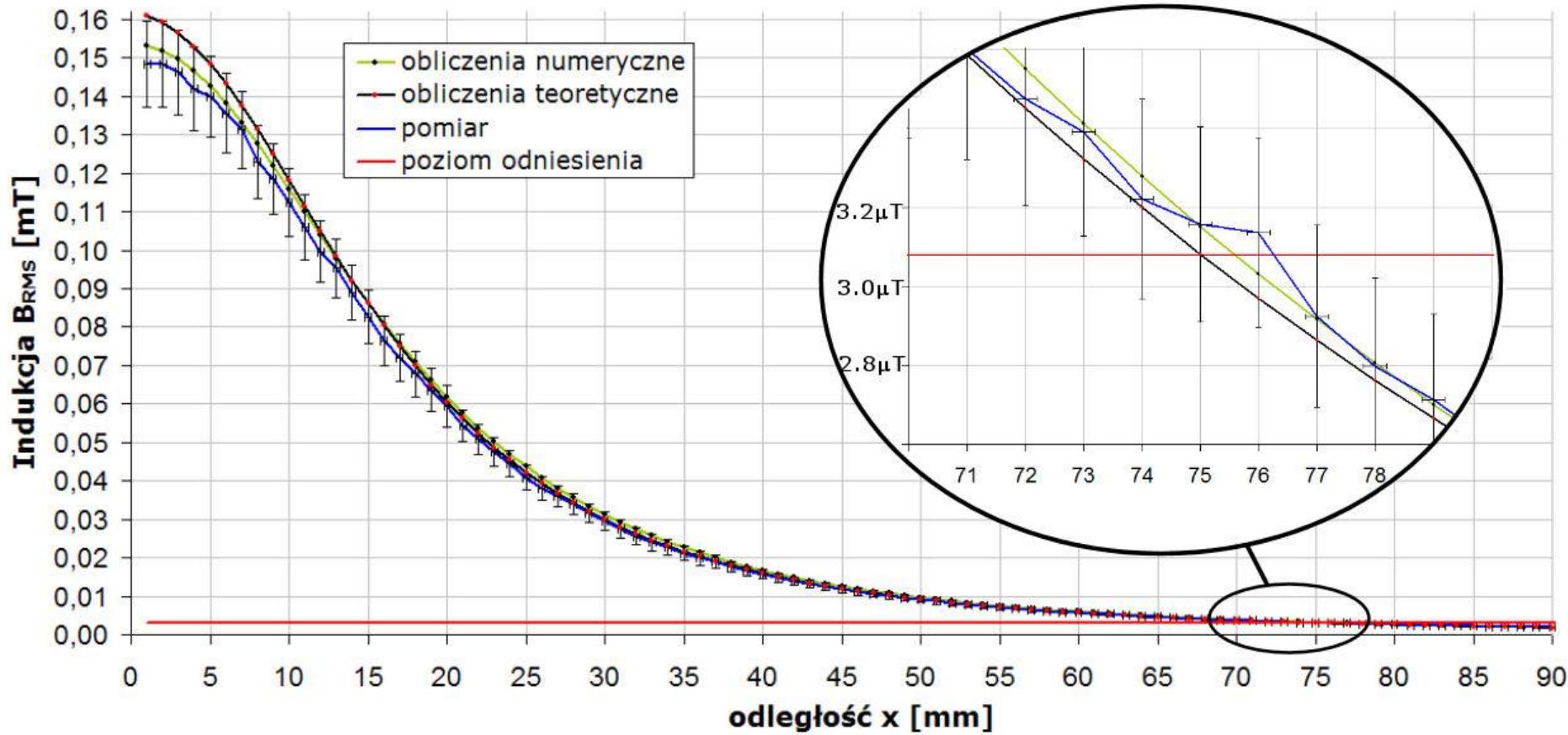


# Wyniki dla cewki *REZ1*



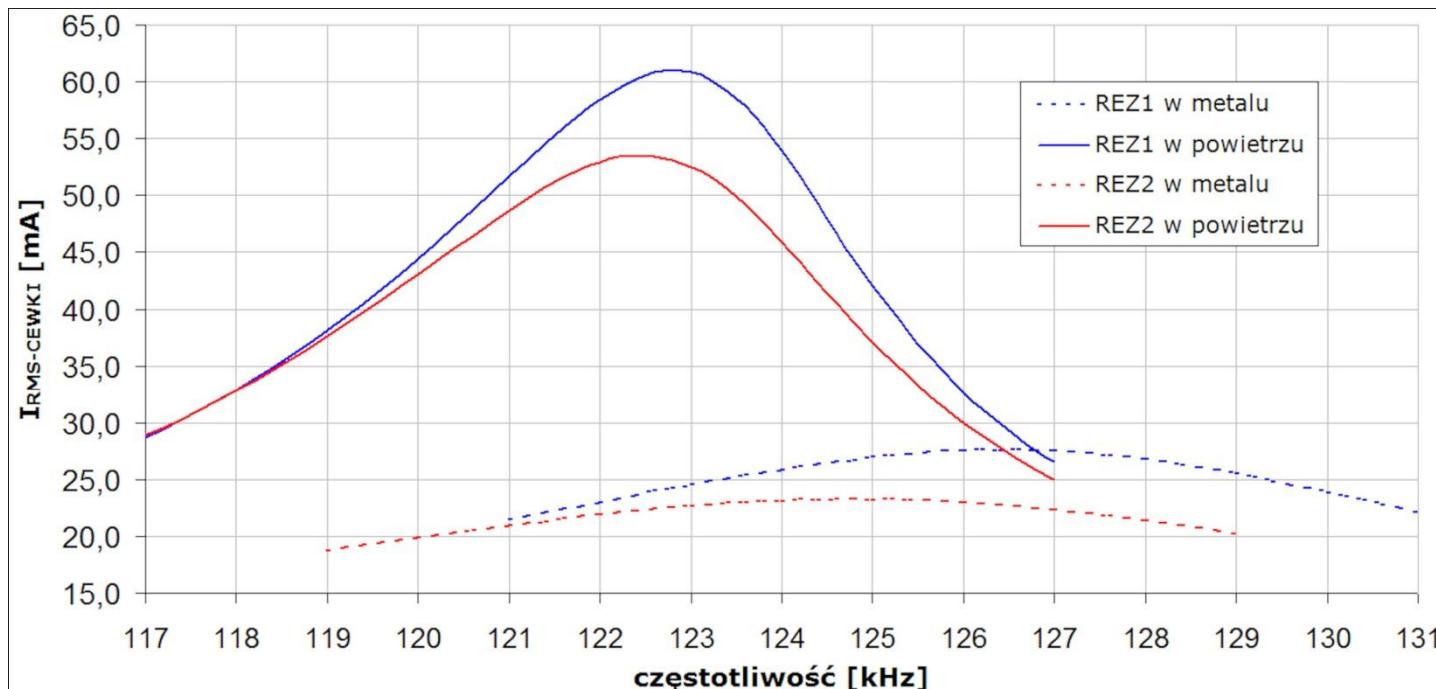
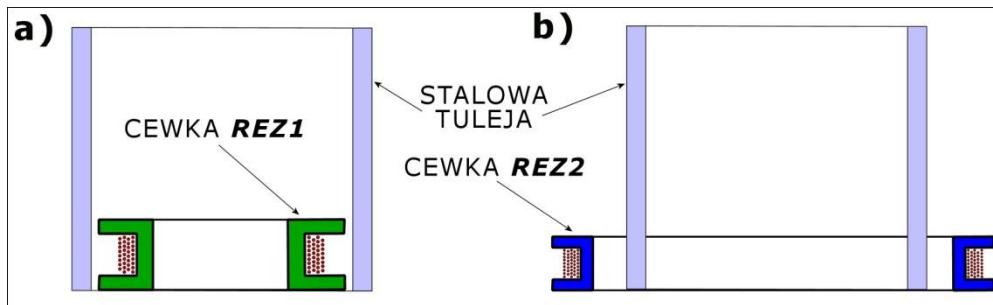
Wyniki obliczeń i pomiarów rozkładu indukcji magnetycznej w funkcji odległości dla cewki powietrznej **REZ1**

# Wyniki dla cewki *REZ2*



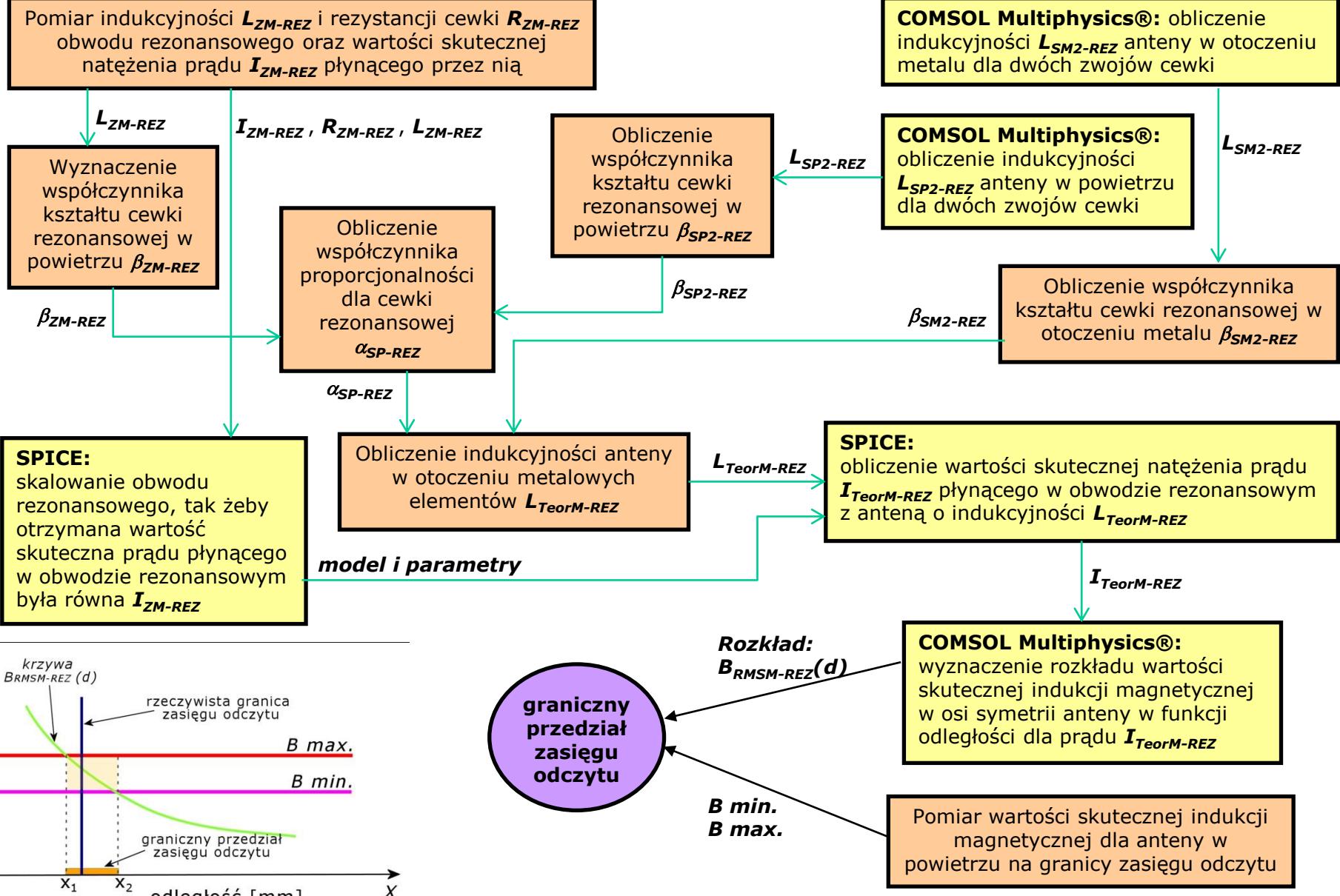
Wyniki obliczeń i pomiarów rozkładu indukcji magnetycznej w funkcji odległości dla cewki powietrznej **REZ2**

# Wpływ otoczenia metalicznego na antenę RFID

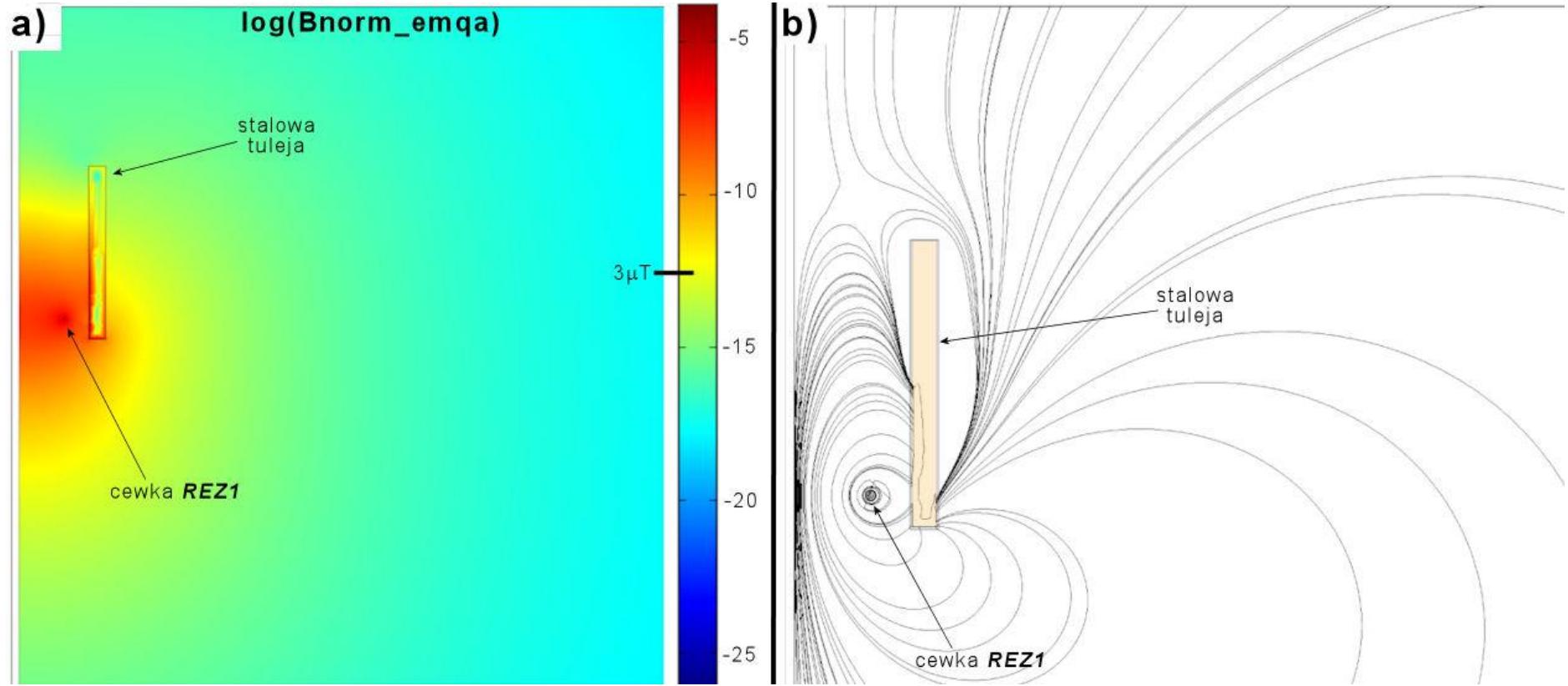


Wartość skuteczna prądu cewki REZ1 i REZ2 w powietrzu i otoczeniu metalicznym stalowej tulei w funkcji częstotliwości

# Wpływ otoczenia metalicznego na antenę RFID

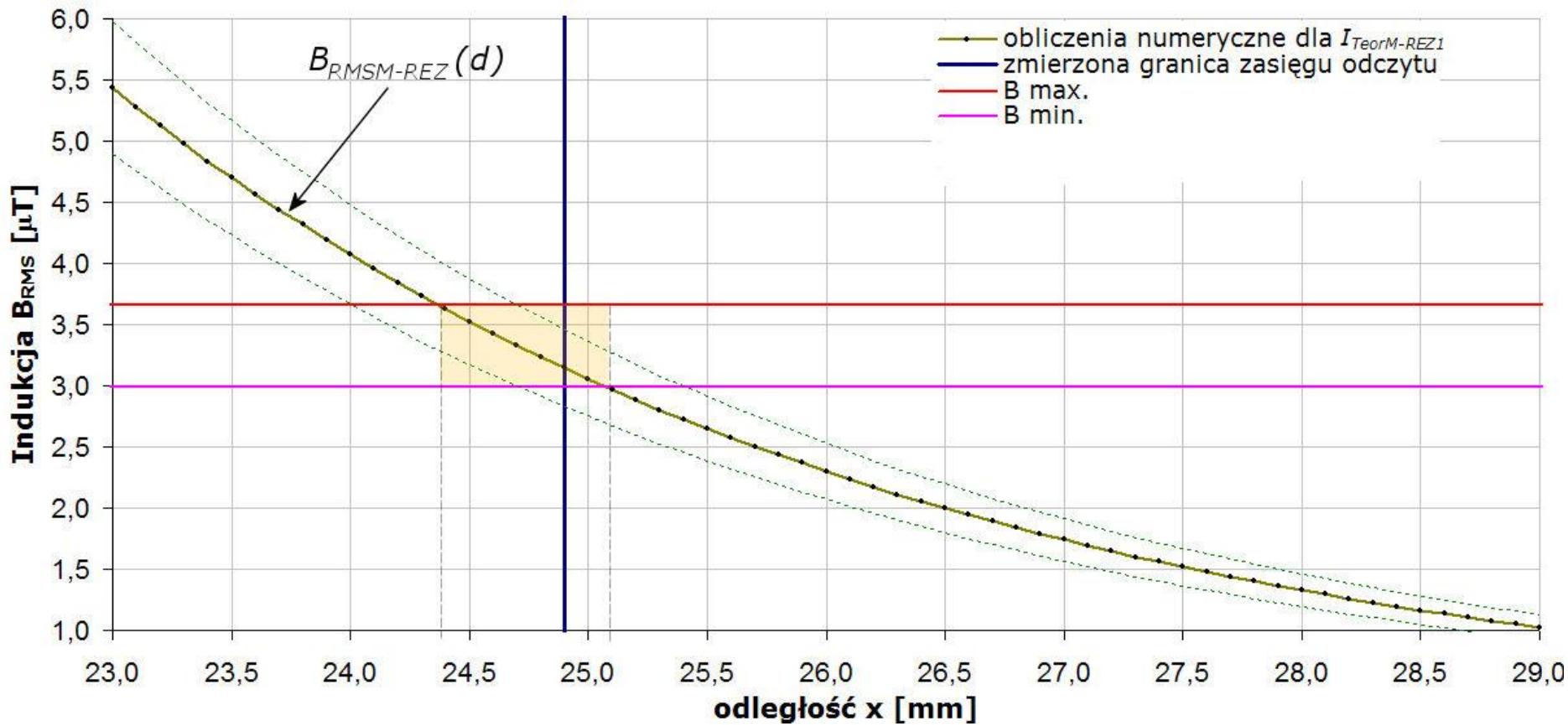


# Wyniki obliczeń numerycznych w otoczeniu testowej tulei stalowej



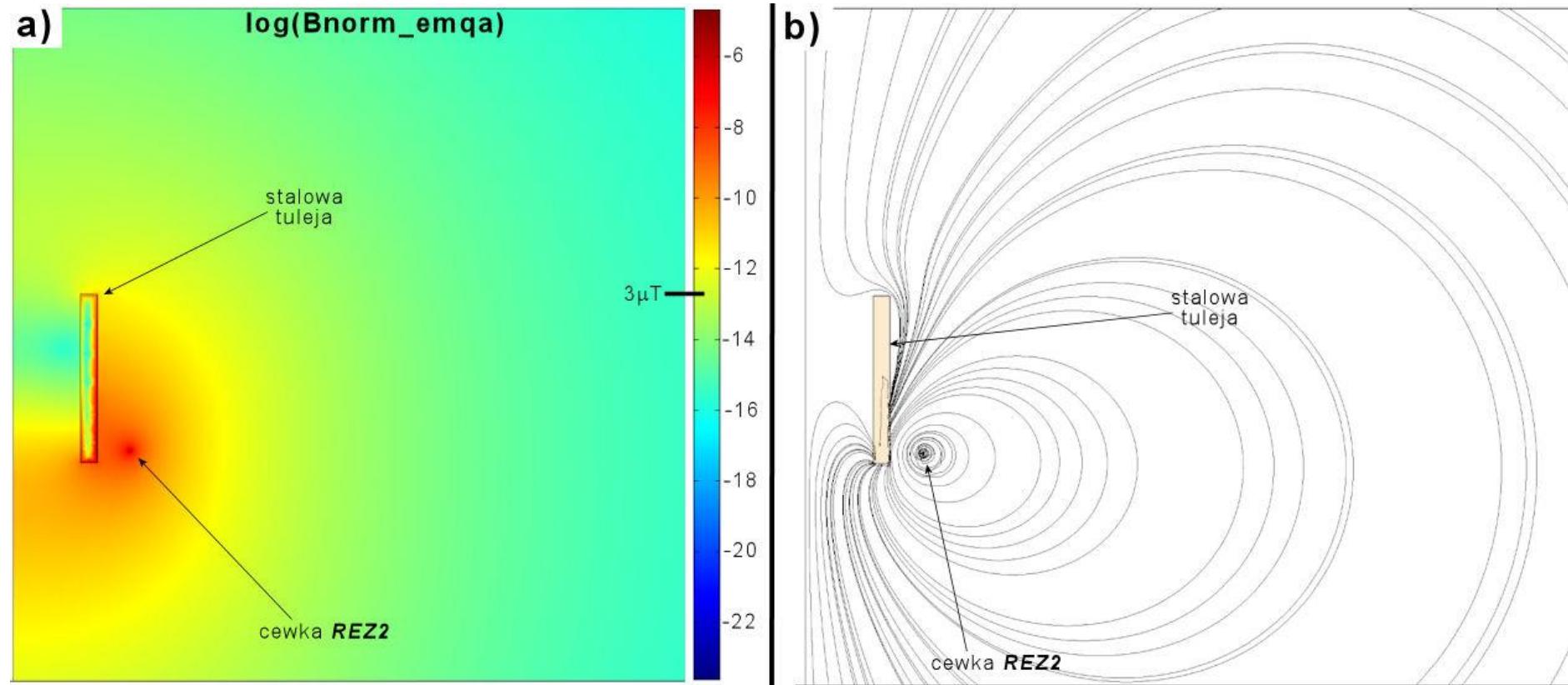
Wynik obliczeń numerycznych dla cewki REZ1 w otoczeniu stalowej tulei; a) przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej ( $B_{\text{norm\_emqa}}$ ) w funkcji odległości (skala logarytmiczna); b) układ linii pola magnetycznego.

# Wyniki obliczeń numerycznych w otoczeniu testowej tulei stalowej



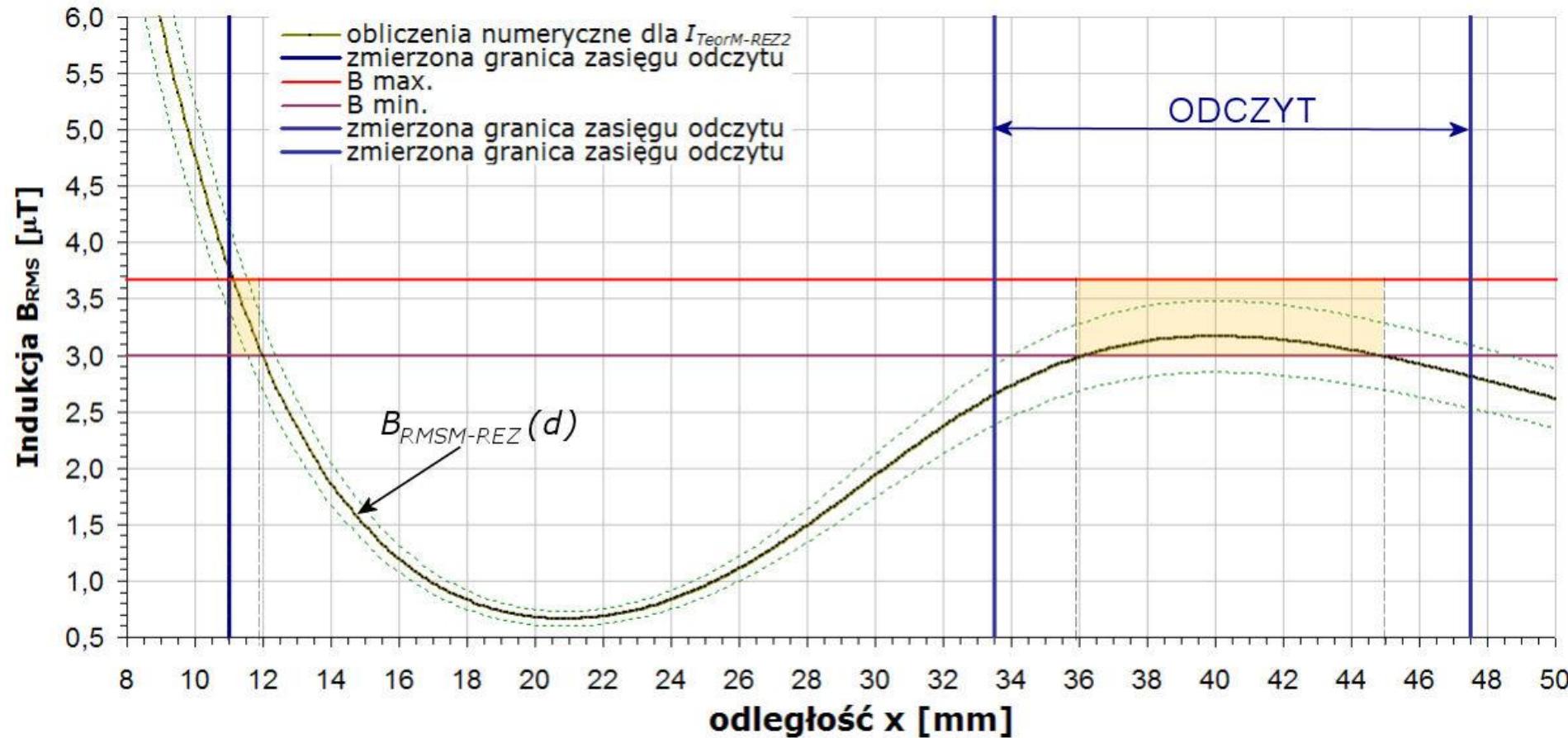
Przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej w funkcji odległości  $B_{RMSM-REZ}(d)$  w osi symetrii anteny REZ1 w otoczeniu metalicznym, w odniesieniu do rzeczywistego zasięgu odczytu i spodziewanego granicznego przedziału zasięgu odczytu.

# Wyniki obliczeń numerycznych w otoczeniu testowej tulei stalowej



Wynik obliczeń numerycznych dla cewki REZ2 w otoczeniu stalowej tulei; a) przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej ( $B_{\text{norm\_emqa}}$ ) w funkcji odległości (skala logarytmiczna); b) układ linii pola magnetycznego.

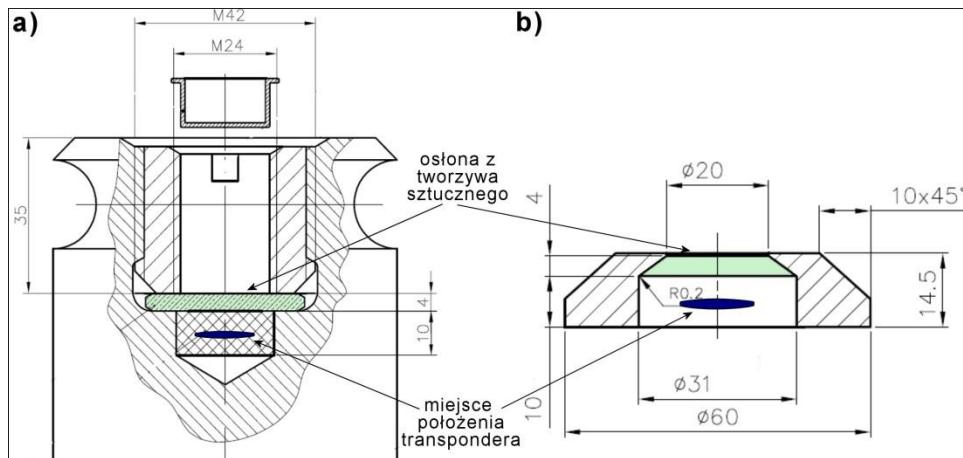
# Wyniki obliczeń numerycznych w otoczeniu testowej tulei stalowej



Przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej w funkcji odległości  $B_{RMSM-REZ}(d)$  w osi symetrii anteny REZ2 w otoczeniu metalicznym, w odniesieniu do rzeczywistego zasięgu odczytu i spodziewanego granicznego przedziału zasięgu odczytu.

# Kryterium oceny jakości anteny

Znając metodykę wyznaczania granicznego przedziału zasięgu odczytu oraz posiadając dokładne modele magnetycznych powietrznych obwodów antenowych można dokonać analizy możliwości odczytu numeru identyfikacyjnego z transpondera zabudowanego w docelowych metalowych osłonach montowanych na elementach maszyn



Wymiary geometryczne metalowej zabudowy transpondera,  
a) sworzni; b) osłona metalowa do zabudowy transpondera  
na powierzchniach płaskich i cylindrycznych.

## KRYTERIUM 1

Zdefiniowano zostały cztery rodzaje odstępów:

- odstęp technologiczny, wynoszący **2 mm**, a wynikający z konieczności zabudowy anteny w obudowie z tworzywa sztucznego,
- odstęp eksploatacyjny, wynoszący **8 mm**, uwzględniający minimalny zapas odległości ze względu na możliwe występowanie podczas eksploatacji zabrudzeń, korozji oraz nieidealnego pozycjonowania anteny czytnika RFID,
- odstęp mechaniczny wynikający z zastosowania osłony z tworzywa sztucznego, która w przypadku transpondera zabudowanego w osłonie metalowej wynosi **5mm** , a w przypadku transpondera zabudowywanego w sworzniu wynosi **4 mm** ,
- odstęp wewnętrzny transpondera, wynoszący **5 mm**, wynikający z konieczności zabudowy transpondera LOGITAG 160 w specjalnej osłonie, tak aby mógł być eksploatowany w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Minimalna odległość  $d_{RFID-REZn}$  pomiędzy zewnętrzna powierzchnią anteny, a poziomą osią symetrii transpondera jest sumą wyżej wymienionych odstępów i wynosi 20 mm dla transpondera zabudowywanego w metalowej osłonie oraz 19 mm w przypadku zabudowy transpondera w sworzniach.

## KRYTERIUM 2

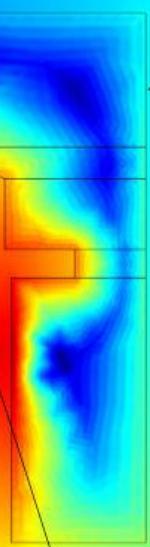
Wykorzystanie jednego układu antenowego do odczytu z dwóch rodzajów zabudowy transpondera

# Ocena jakości cewek powietrznych

a)

$\log(B_{norm\_emqa})$

stalowy  
sworzeń



b)

$\log(B_{norm\_emqa})$

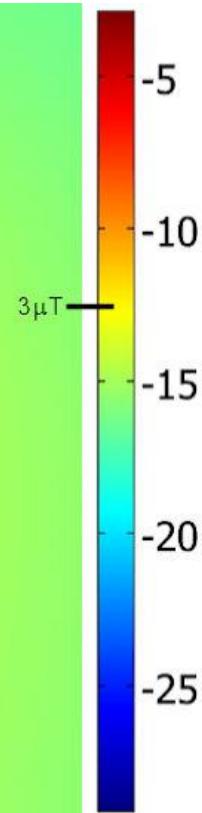
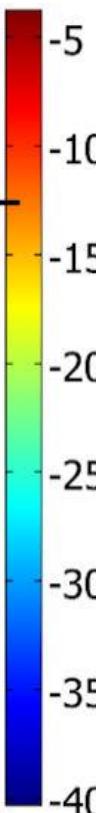
osłona  
metalowa

cewka REZ1

3  $\mu T$

cewka REZ1

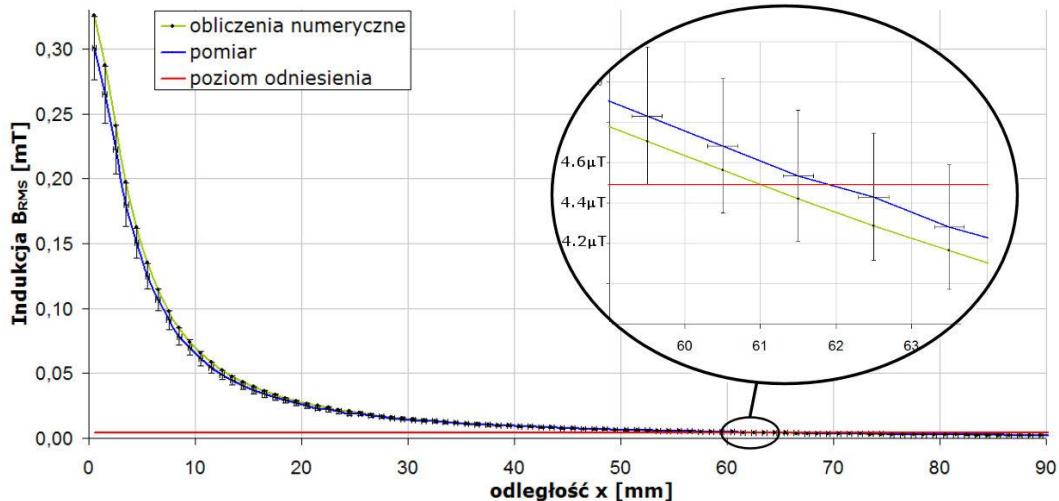
Przewidywany graniczny przedział zasięgu odczytu wynosi od 15,9 mm do 16,6 mm



Przewidywany graniczny przedział zasięgu odczytu wynosi od 31,3 mm do 32,0 mm

Cewka REZ2 nie nadaje się do zastosowania w tej aplikacji z powodu zbyt dużych rozmiarów geometrycznych, przez które niemożliwy jest odczyt z transpondera zanurzonego zaledwie kilka milimetrów w metalu.

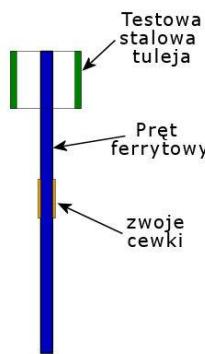
# Prętowa antena ferrytowa – REZ3



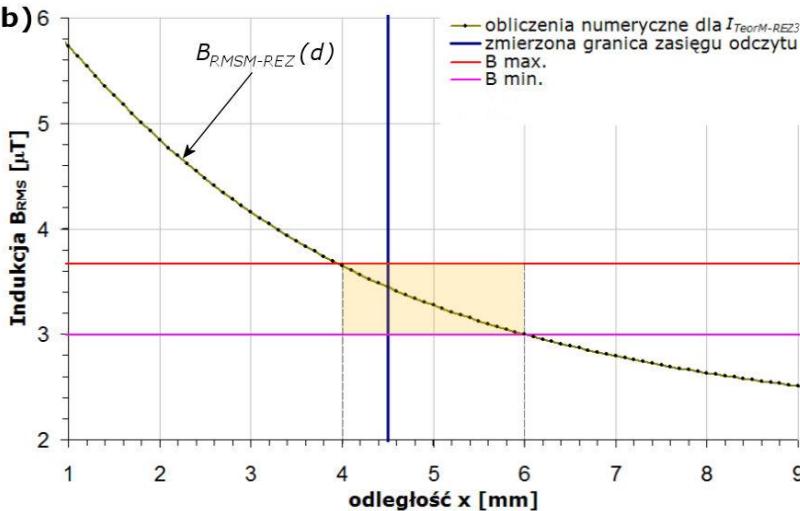
Dane techniczne	Parametry	Jednostka
Liczba zwojów	102	zwoje
Średnica drutu	0,1	mm
Rezystancja DC $R_{ZM-REZ}$	6,26	W
$DR_{ZM-REZ}$	0,08	W
Indukcyjność $L_{ZM-REZ}$	1010	mH
$DL_{ZM-REZ}$	12	mH
Częstotliwość rezonansowa	122,0 kHz	kHz
Efektywny promień	4,095	mm
$U_{HPZM}$	72,26	mV
$DU_{HPZM}$	3,39	mV
$I_{ZM-REZ}$	76,87	mA
$DI_{ZM-REZ}$	3,62	mA

Wyniki obliczeń i pomiarów rozkładu indukcji magnetycznej w funkcji odległości dla ferrytowej anteny prętowej **REZ3** umieszczonej w powietrzu

a)

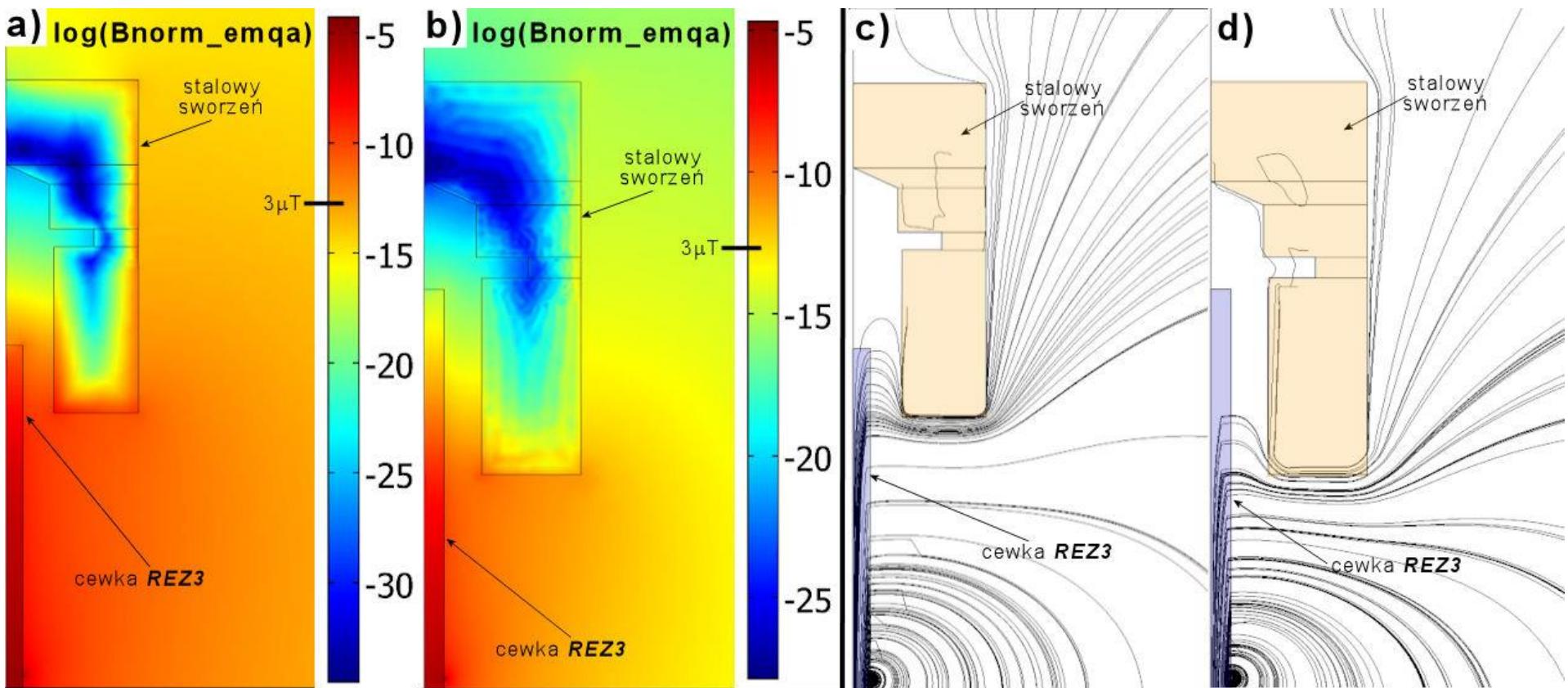


b)



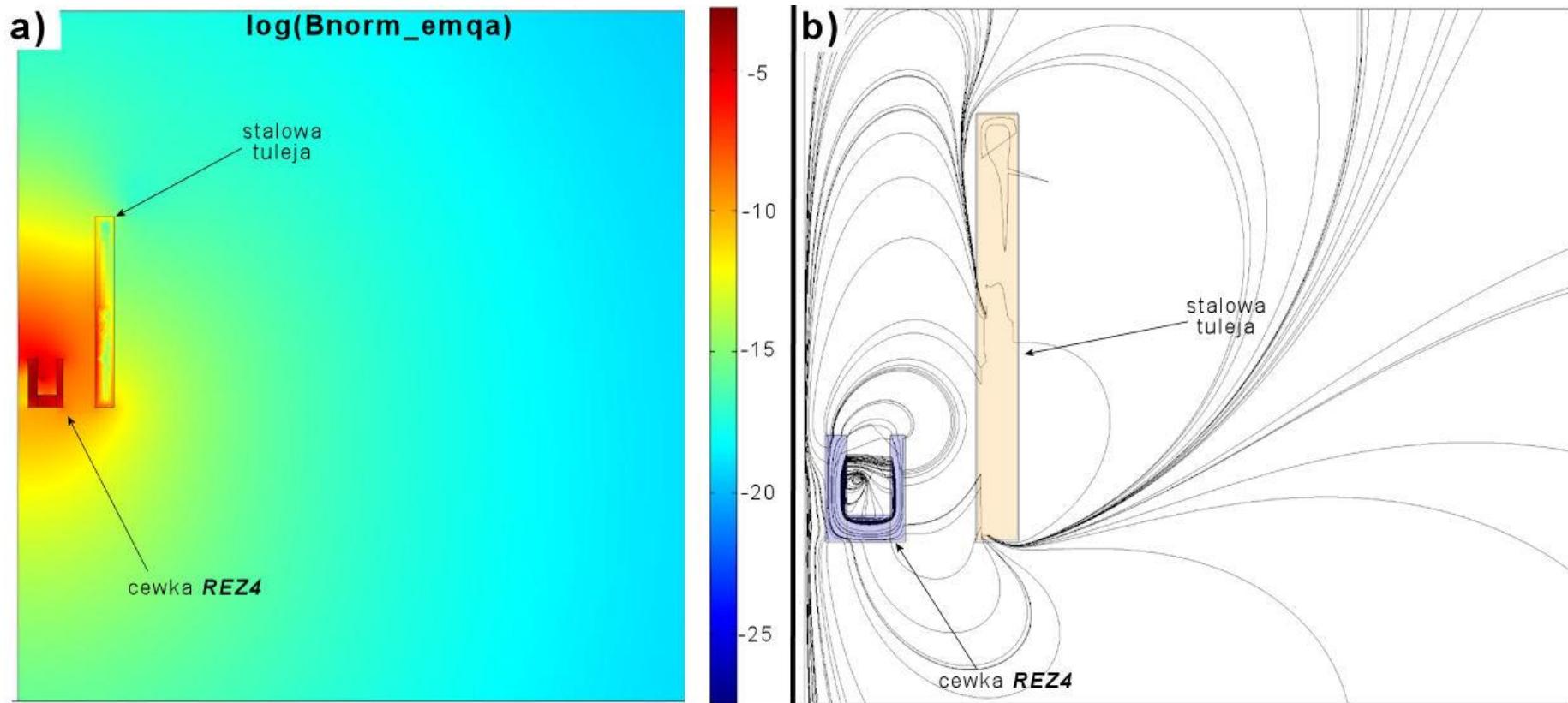
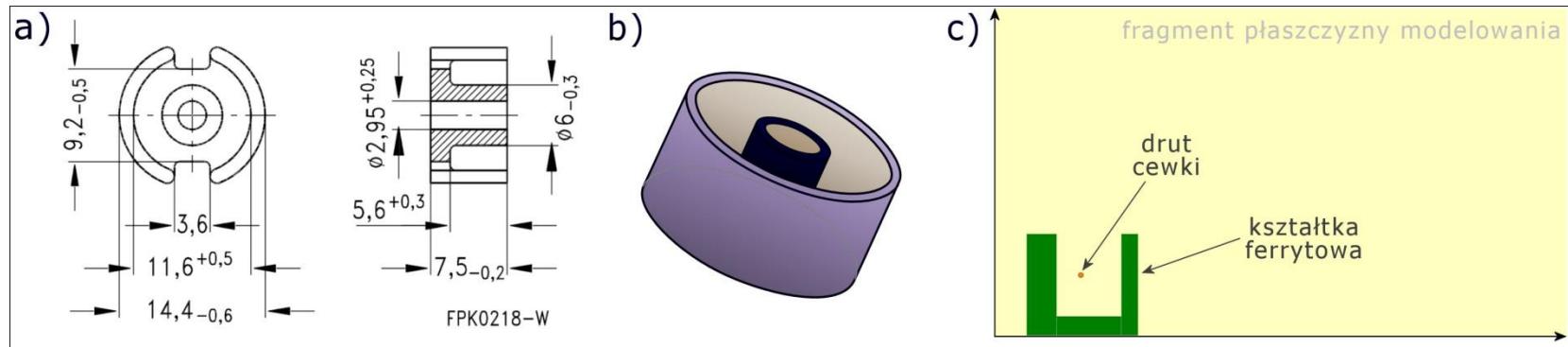
a) Przekrój poprzeczny anteny REZ3 w otoczeniu testowej metalowej tulei; b) Przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej w funkcji odległości  $B_{RMSM-REZ}(d)$  w osi symetrii anteny REZ3 w otoczeniu testowej metalowej tulei, w odniesieniu do rzeczywistego zasięgu odczytu i spodziewanego granicznego przedziału zasięgu odczytu.

# Wyniki obliczeń numerycznych dla *REZ3*

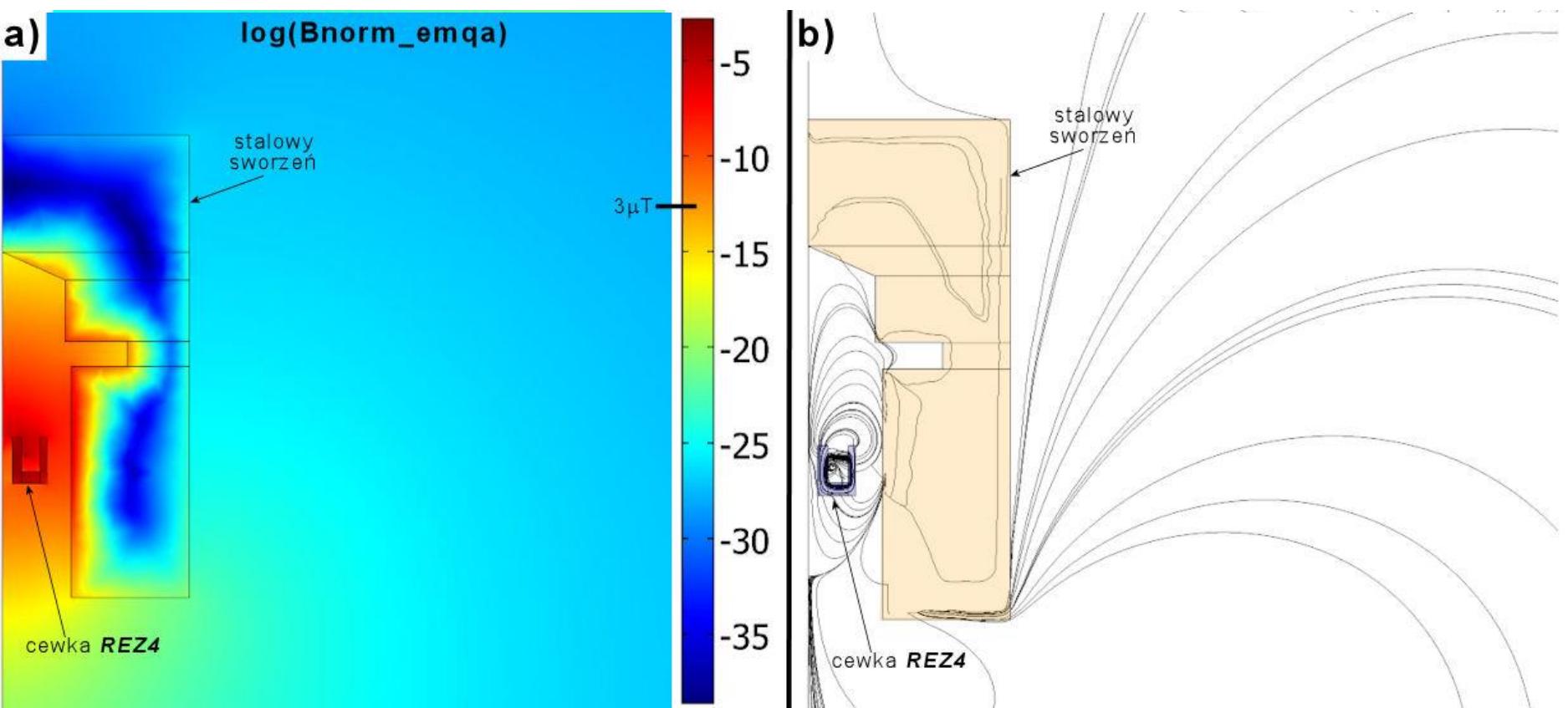


a) przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej ( $B_{\text{norm\_emqa}}$ )  
w funkcji odległości, b) układ linii pola magnetycznego

# Ferrytowa antena kubkowa – REZ4



# Wyniki obliczeń numerycznych dla *REZ4*



a) przewidywany rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej ( $B_{\text{norm\_emqa}}$ )  
w funkcji odległości, b) układ linii pola magnetycznego

# Analiza pracy transpondera w środowisku metalicznym i przestrzeniach zagrożonych wybuchem

Parametry transpondera		Wartość
Średnica		16 mm ± 0.1 mm
Grubość		3 mm ± 0.1 mm
Masa		1.1g
Materiał obudowy		Żywica epoksydowa
Częstotliwość pracy		125 kHz ± 6 kHz dla 20°C
Minimalne indukcja pola dla odczytu		18µT RMS dla 125kHz w 20°C
Stopień ochrony obudowy		IP68
Odporność chemiczna	HCL (10%), benzyna Roztwór wybielający, kwas mrówkowy soda kaustyczna, olej	w 20°C, 100h w 20°C, 100h w 20°C, 100h
Odporność na wibracje wg IEC 68.2.6		10g, 10...2000 Hz, 3 osie, 2.5h
Odporność na udary mechaniczne wg IEC 68.2.27		40g, 18ms, 6 osi, 2000 razy
Odporność na wysokie ciśnienie		300 bars * 5min
Odporność na naprężenia		1000N * 10s
Temperatura otoczenia podczas pracy		-25°C ÷ 85°C
Odporność na ciepło	+160°C +220°C	1 raz – 35 h 1 raz – 30 s
Odporność na удар termiczny	od +20°C do +160°C	100 razy przez 5min.

a)

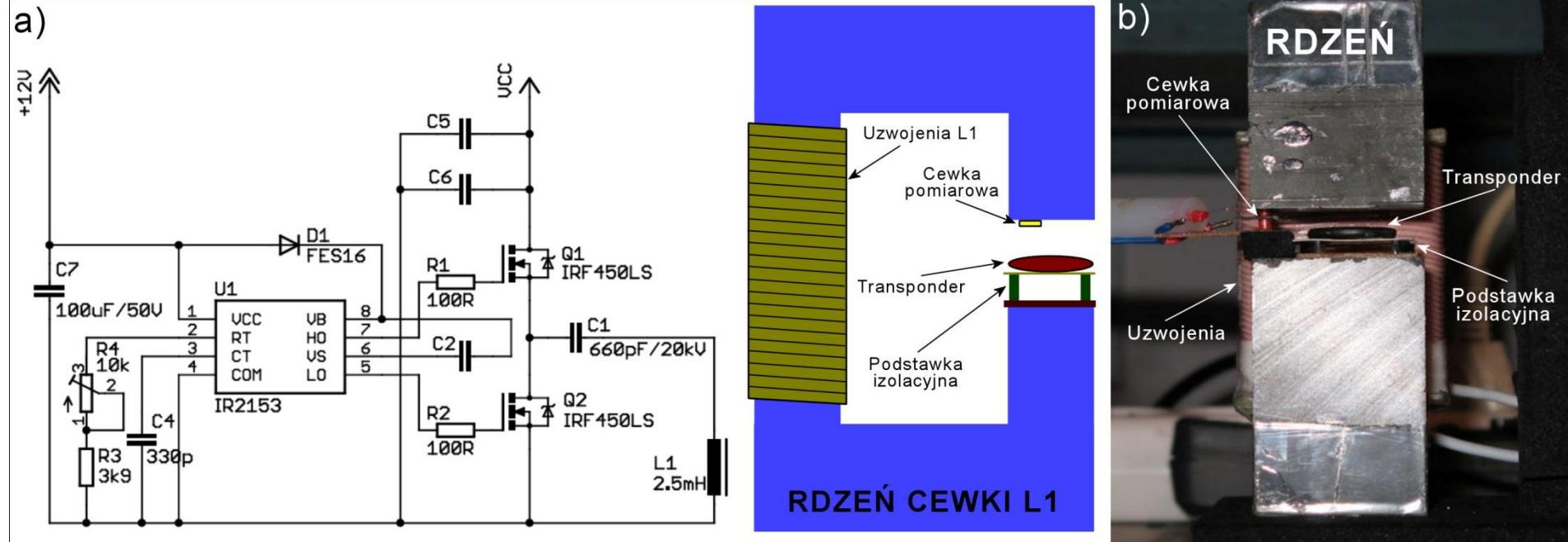


b)



Nazwa	Pojemność informacyjna/ tryb pracy	Nazwa identyfikatora	$f_0$	Śred-nica	Material	Maksymalna temperatura pracy	Zakres Temperaturowy
							kHz mm - °C °C
Unique	64 bits / RO	Glass Tag	125±6	2,1	BIO szkło 8625	120	-40÷85
		World Tag 20mm	125±6	20	Poliwęglan	130	-25÷70
		Volcano 230mm	125±6	26	Epoxy overmoulded	200	-25÷85
		Logi Tag 160	125±6	16	Epoxy overmoulded	220	-25÷85
Hitag 1	2 kbits / R-W	World Tag 20mm	125±6	20	Poliwęglan	130	-25÷70
Titan	1 kbits / R-W	Glass Tag	125±6	3,1	Szkło	120	-40÷85
		World Tag 20mm	125±6	20	Poliwęglan	130	-25÷70
Q5	264 bits / R-W	Glass Tag 2.12x12.0	125±6	2,1	BIO Szkło 8625	120	-40÷85
		World Tag 20mm	125±6	20	Poliwęglan	130	-25÷70
		Logi Tag 120	125±6	12,4	PBS + Epoxy	160	-25÷85

# Obserwacje termiczne



Stanowisko pomiarowe do obserwacji termicznej powierzchni transpondера w polu magnetycznym a) schemat ideowy i konstrukcja rdzenia do badań termicznych; b) zdjęcie rdzenia L1

# Zdalny pomiar temperatury

$$W_c = \varepsilon \cdot \tau \cdot W_{ob} + (1 - \varepsilon) \cdot \tau \cdot W_t + (1 - \tau) \cdot W_a$$

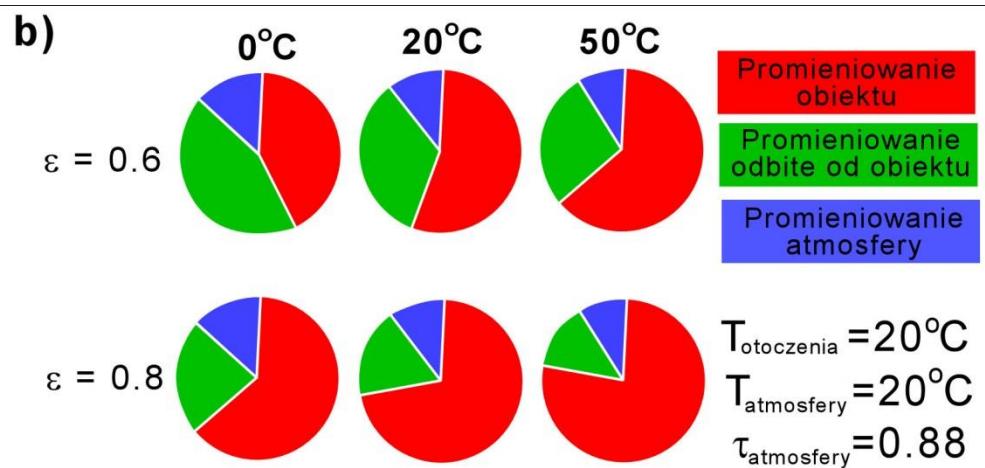
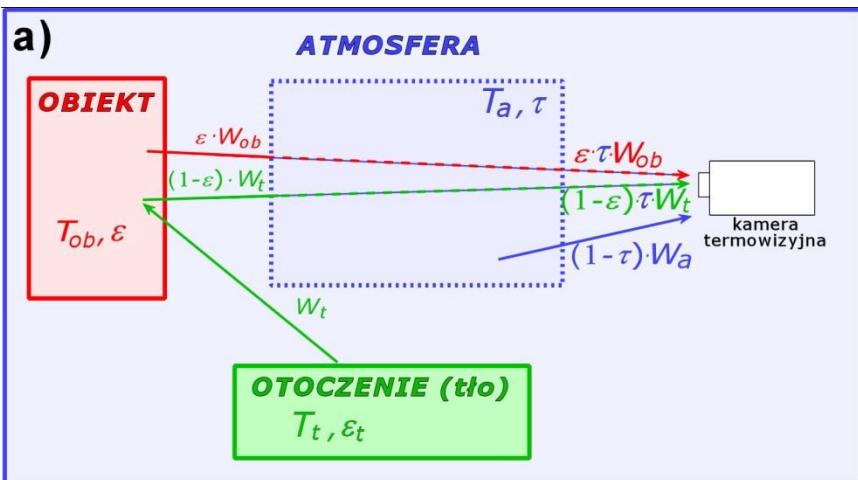
$$W_{ob} = \frac{1}{\varepsilon \cdot \tau} \cdot W_c - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot W_t - \frac{1 - \tau}{\varepsilon \cdot \tau} \cdot W_a$$

$\varepsilon$  - emisyjność obiektu

$\tau$  - współczynnik przepuszczania atmosfery

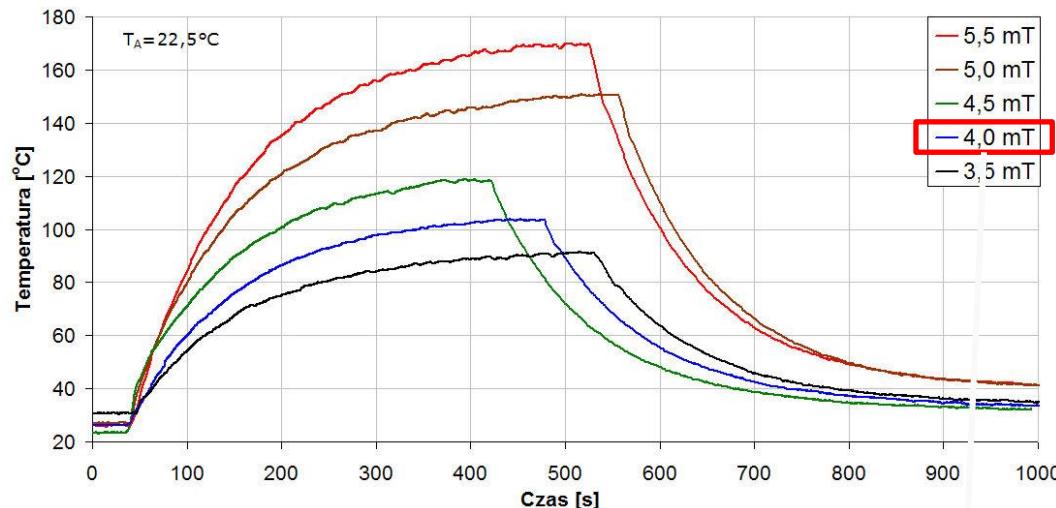
$W_{ob}$  - moc promieniowania obiektu o temperaturze  $T_{ob}$

$W_t$  - moc promieniowania źródeł w otoczeniu o temperaturze  $T_t$ .

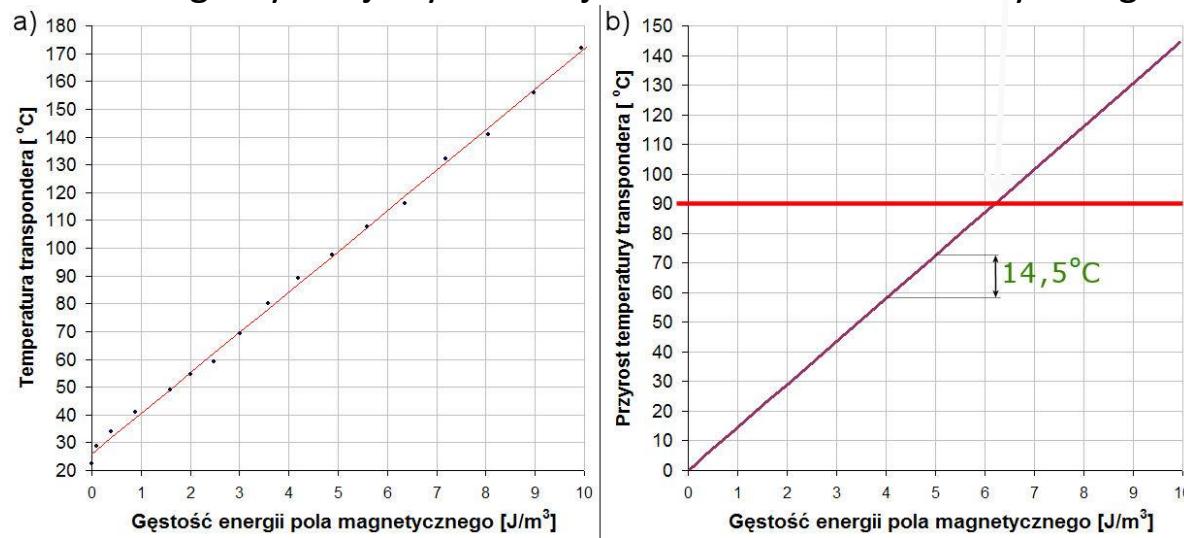


a) Źródła promieniowania podczerwonego wpływające na obraz kamery termowizyjnej; b) Względne wartości składowych trzech źródeł promieniowania podczerwonego docierającego do kamery LW od dwóch obiektów o tej samej emisyjności.

# Wyniki obserwacji termicznych

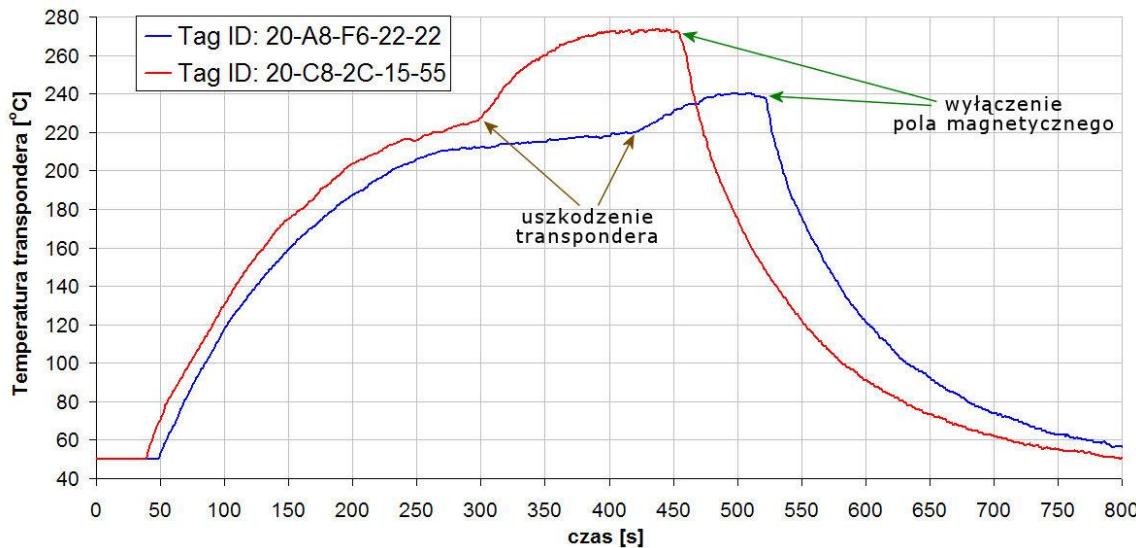


Zależność temperatury powierzchni transpondera od czasu dla różnych wartości skutecznych indukcji magnetycznej uzyskiwanej w szczelinie rdzenia ferrytowego

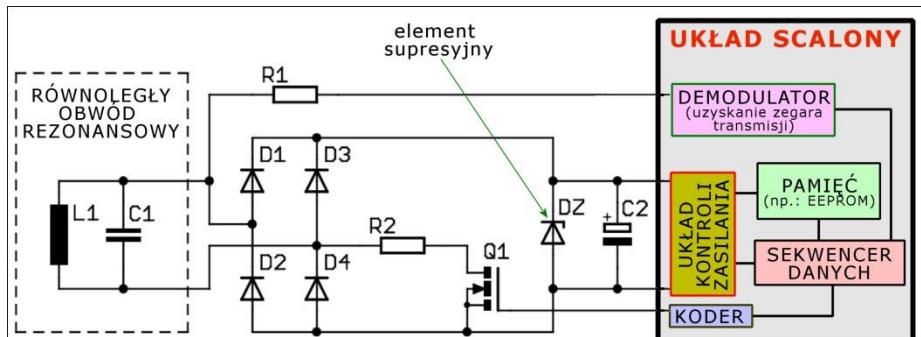


Zależność a) temperatury, b) przyrostu temperatury powierzchni transpondera od gęstości energii pola magnetycznego uzyskiwanej w szczelinie rdzenia ferrytowego

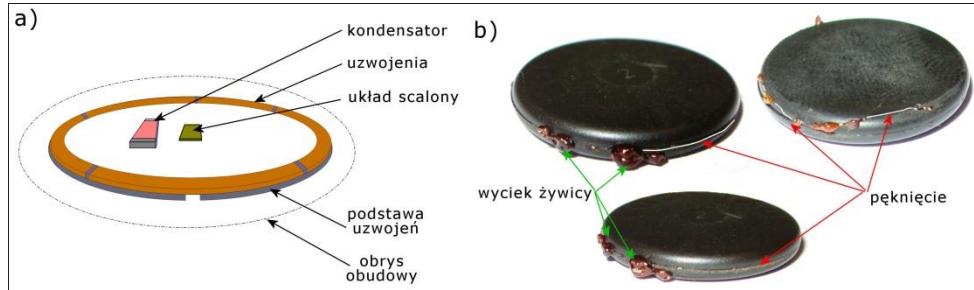
# Badania niszczące transponder RFID



Zależność temperatury powierzchni transpondera umieszczonego w polu magnetycznym o indukcji 5,6mT od czasu trwania eksperymentu

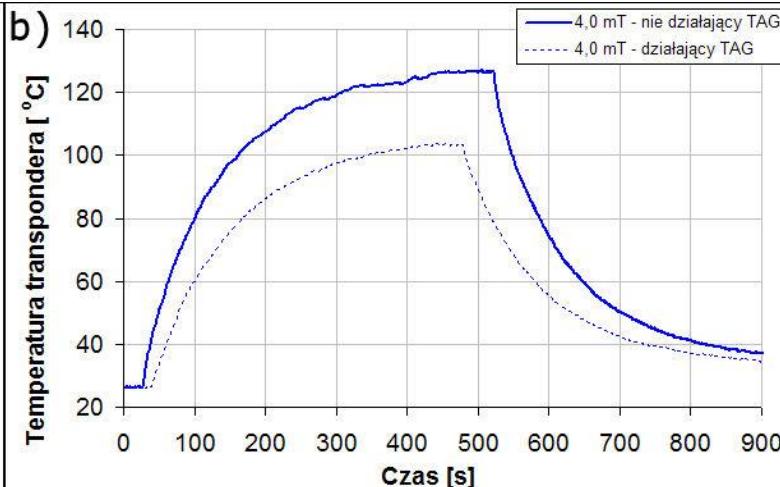
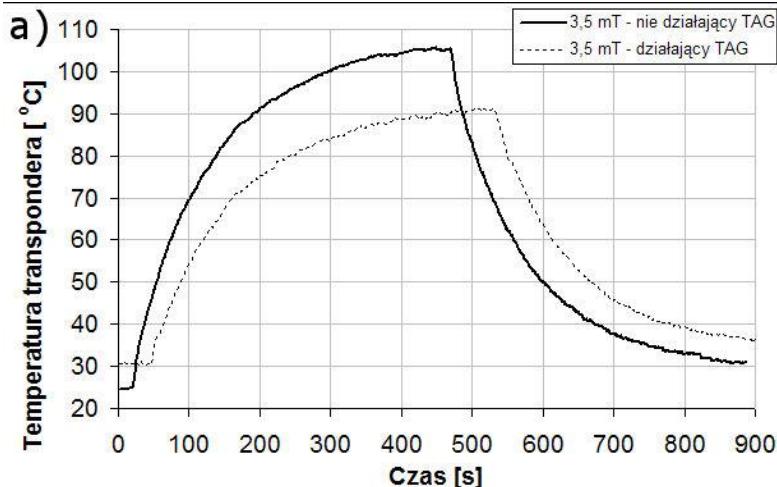


Schemat wewnętrzny pasywnego transpondera pracującego ze sprzężeniem indukcyjnym

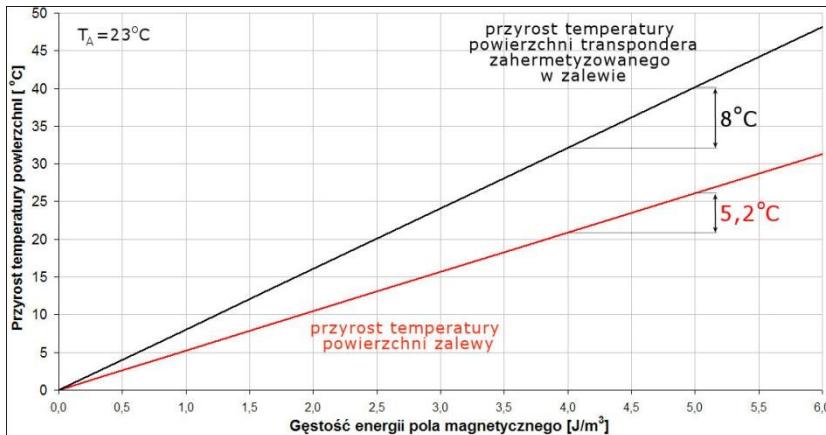


Transponder LOGITAG 160 a) poglądowy rysunek konstrukcji mechanicznej; b) zdjęcia uszkodzonych termicznie transponderek

# Rozwiązań konstrukcyjne



Zależność temperatury powierzchni poprawnie działającego oraz uszkodzonego transpondera znajdującej się w polu magnetycznym o indukcji a) 3,5mT; b) 4,0mT



Zależność przyrostu temperatury powierzchni zalewy zahermetyzowanego transpondera od gęstości energii pola magnetycznego uzyskiwanej w szczeelinie rdzenia ferrytowego dla poprawnie działającego transpondera

Bezpieczeństwo przeciwwybuchowe osiągnięto:

1. Zastosowanie hermetyzacji
2. Technologiczna odległość anteny od czytnika powyżej 9mm
3. Podgrzanie transpondera powyżej niebezpiecznego poziomu wymagało umieszczenia go w polu o natężeniu 5.2 kA/m
4. Nie istnieje zagrożenie od innych źródeł pola magnetycznego niż czytniki RFID
5. Maksymalna gęstość energii innego czytnika  $E_{MGT} = \frac{F_{TAG}}{V_{TAG}} = \frac{25.2 \mu J}{4.155 e^{-6} m^3} = 6 m^3$  kategorii M1 nie przekroczy

# Transponder TRID-01

a)

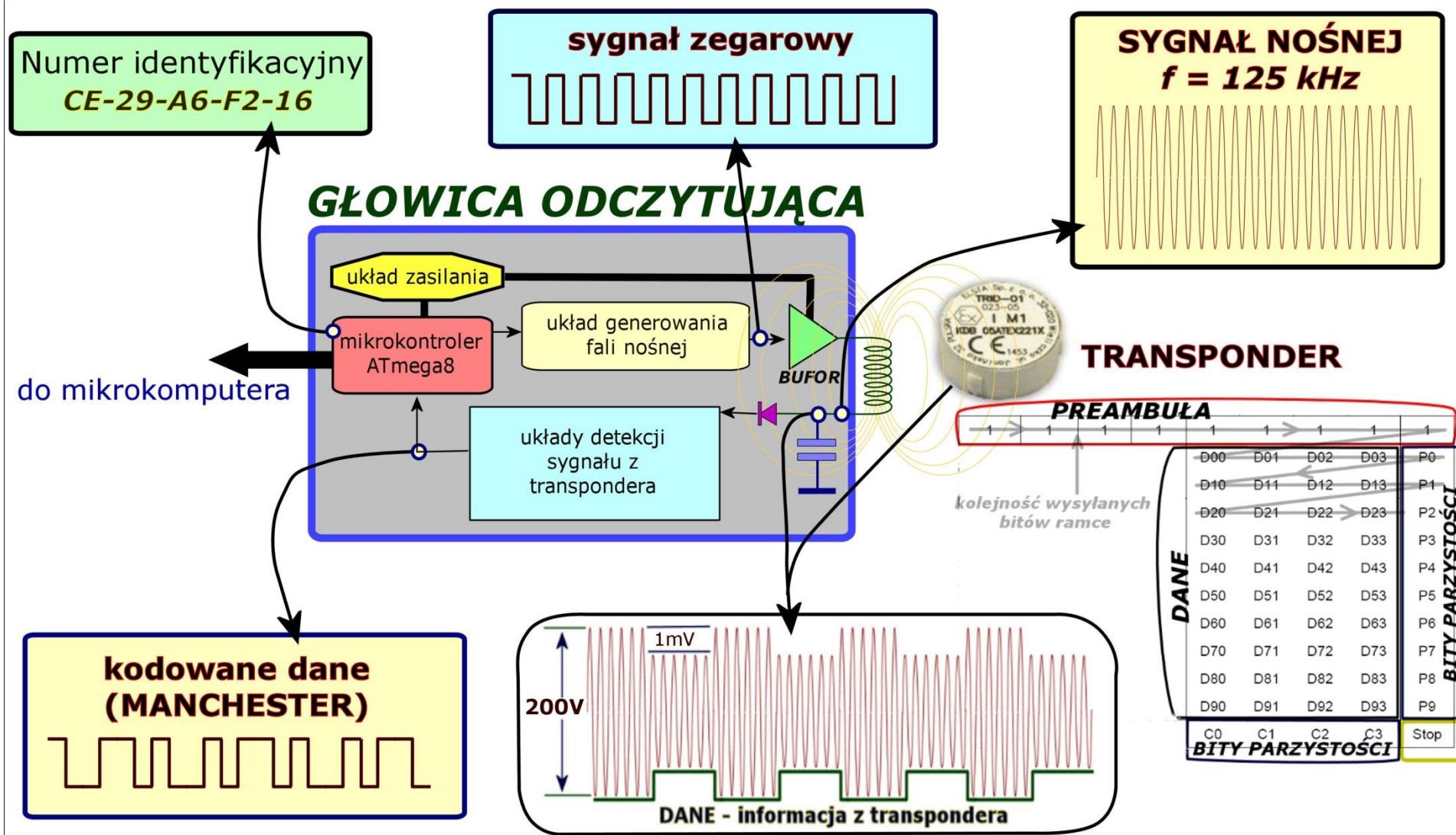


b)

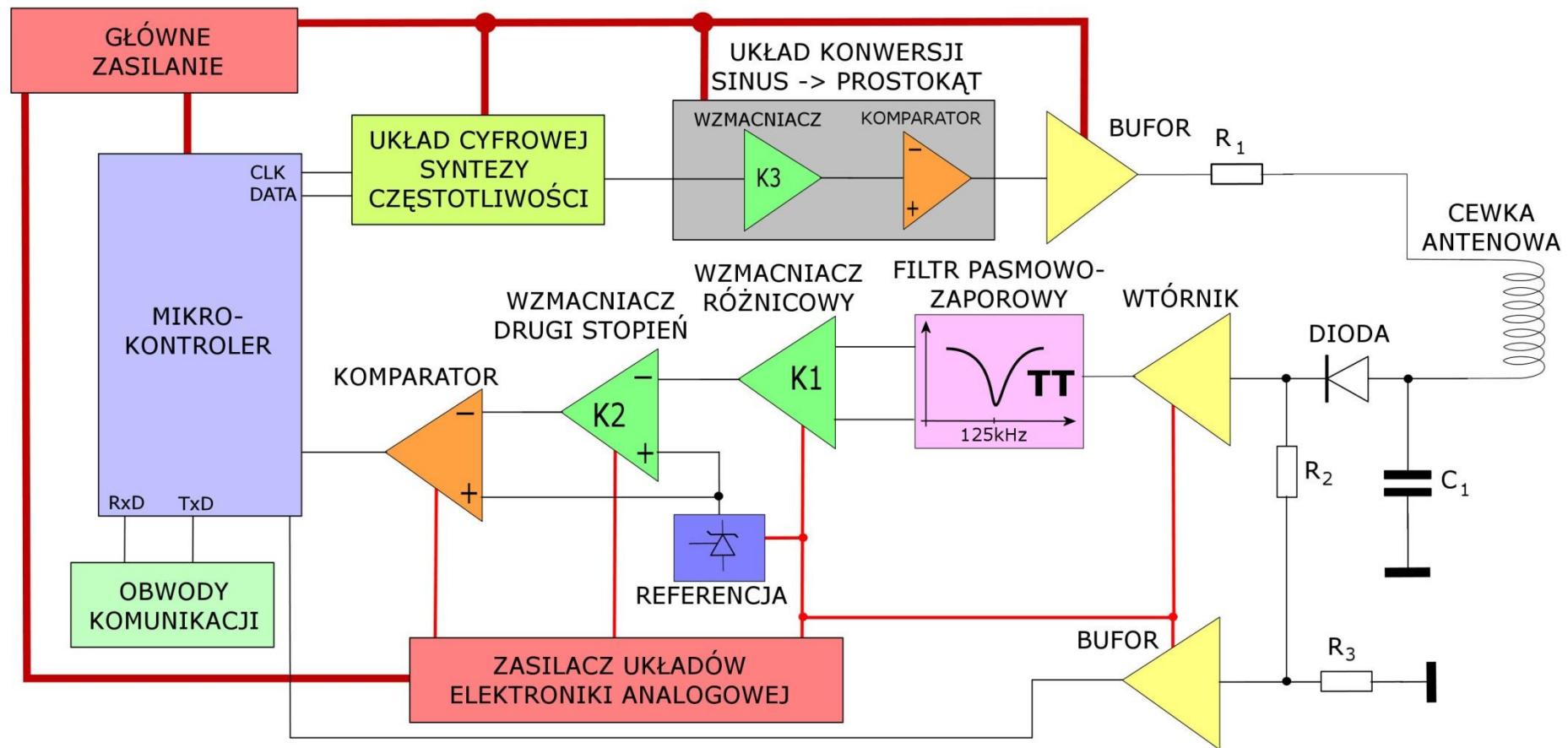


a) Transponder TRID-01 w wykonaniu przeciwwybuchowym; b) Fotografie transponderów umieszczonych na elementach sekcji obudowy zmechanizowanej

# Główica odczytująca – zasada działania



# Główica odczytująca – schemat blokowy



# Spice – symulacja detektora

\* Modelowanie systemu RFID z transponderem

```
.param Vtagp=5V
```

```
.param Vtagm=0V
```

```
Vmod1 910 0 PULSE (0 5V 100ns 100ns 0 0.416567ms 0.83333ms)
```

; 1.2kHz - 2400bit/s

```
RVmod1 910 0 22k
```

```
Smod1 920 0 910 0 KMOD
```

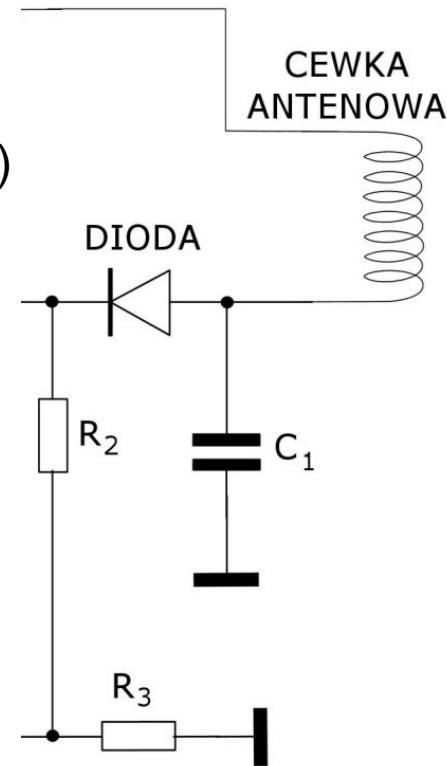
```
.MODEL KMOD VSWITCH (Ron=.1 ROFF=10MEG Von=1 Voff=0)
```

```
Ltag 920 921 110uH
```

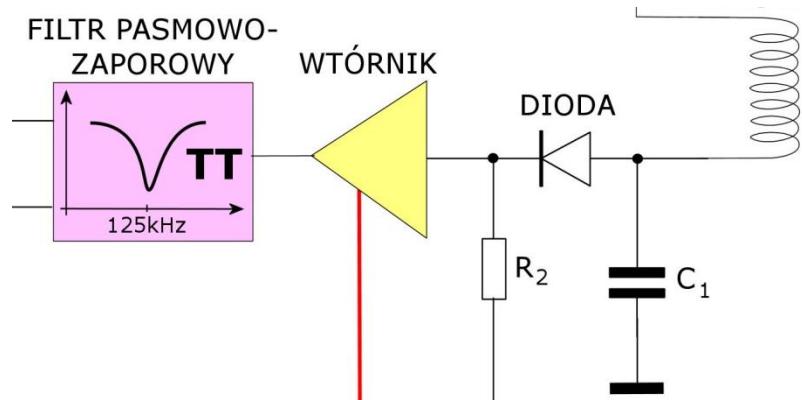
```
RLtag 921 0 1.0
```

```
Ctag 920 0 15nF
```

```
Ktag Lrez1 Ltag 0.001 ; slabe sprzezenie
```



# Spice – symulacja detektora

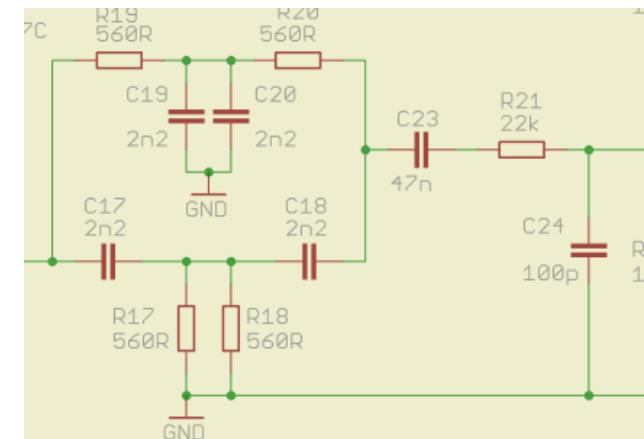
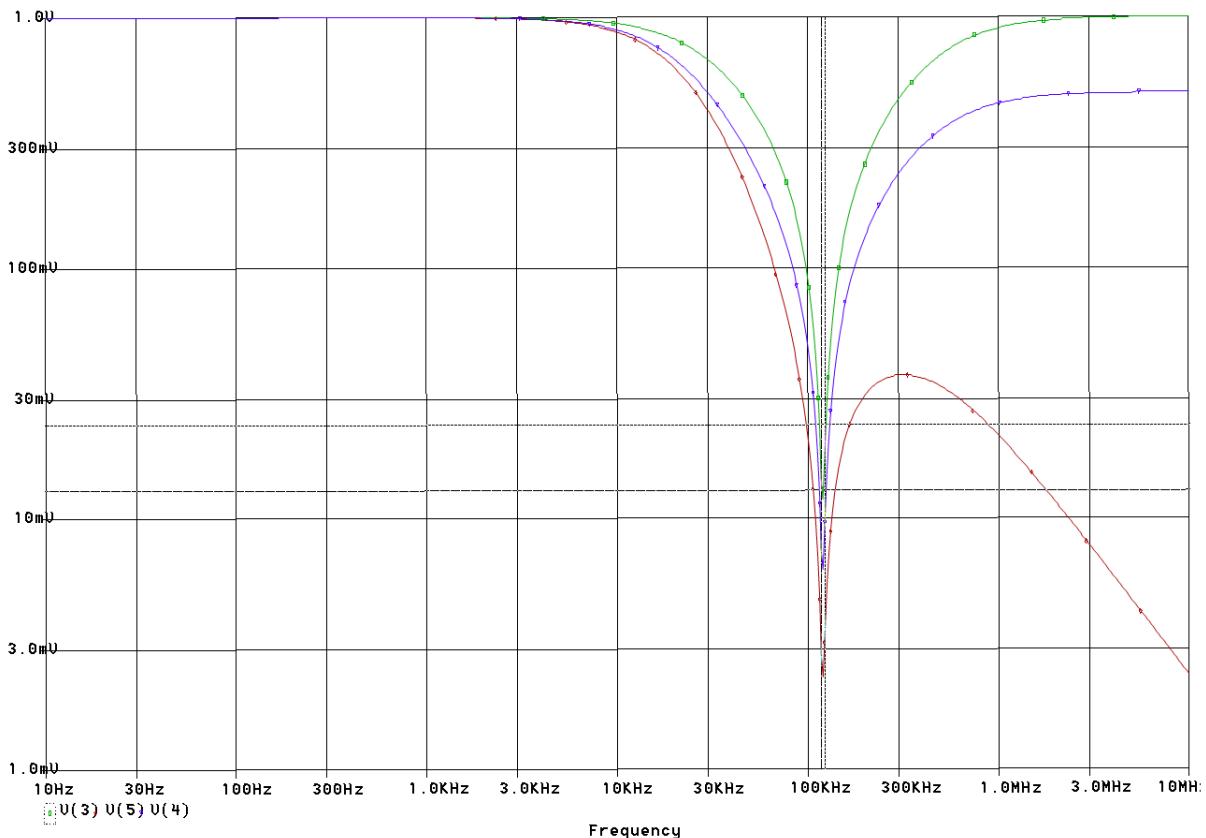


\* WTÓRNIK NA TRAZYSTORZE POLOWYM

\* Filtr TT

RTT1 5j 1TT 560;  
RTT2 1TT 3TT 560;  
RTT3 2TT 0 280;  
CTT1 1TT 0 4.5nF;  
CTT2 5j 2TT 2.1nF;  
CTT3 2TT 3TT 2.3nF;

# Filtr TT



Charakterystyka filtru TT

# Spice – symulacja detektora

\* WZMACNIACZ ROZNICOWY

C1r1 3TT 1r 100nF;

R1r1 1r 2r 22k

Rb1a 2r 100 150k;

Rb1b 2r 0 100k;

Cg1 2r 0 100pF;

Qr1 3r 2r 4r QBC847C;

Qr2 5r 6r 4r QBC847C;

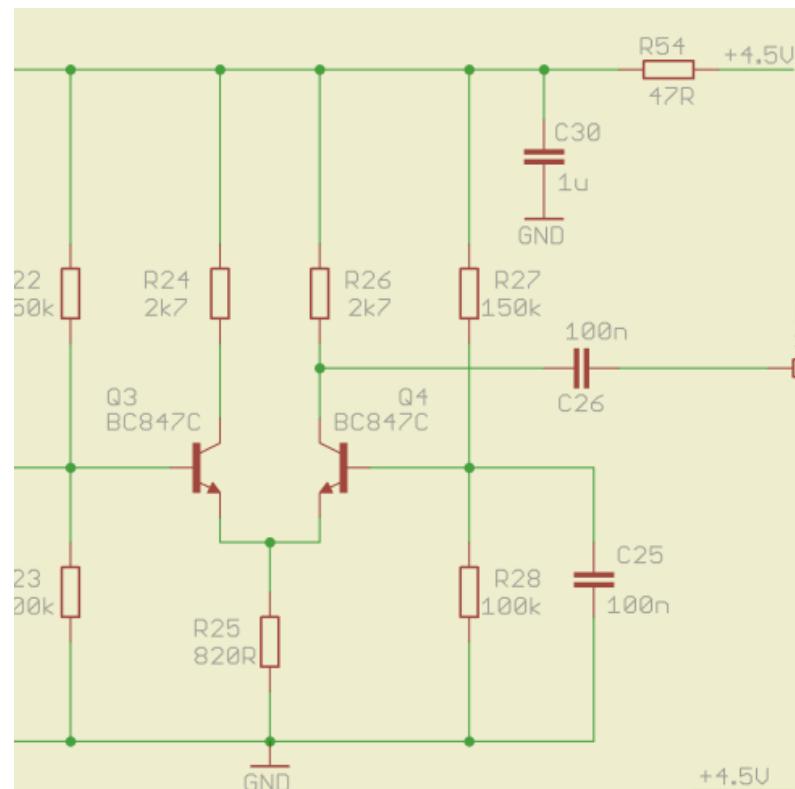
Rc1 3r 100 2.7k;

Rc2 5r 100 2.7k;

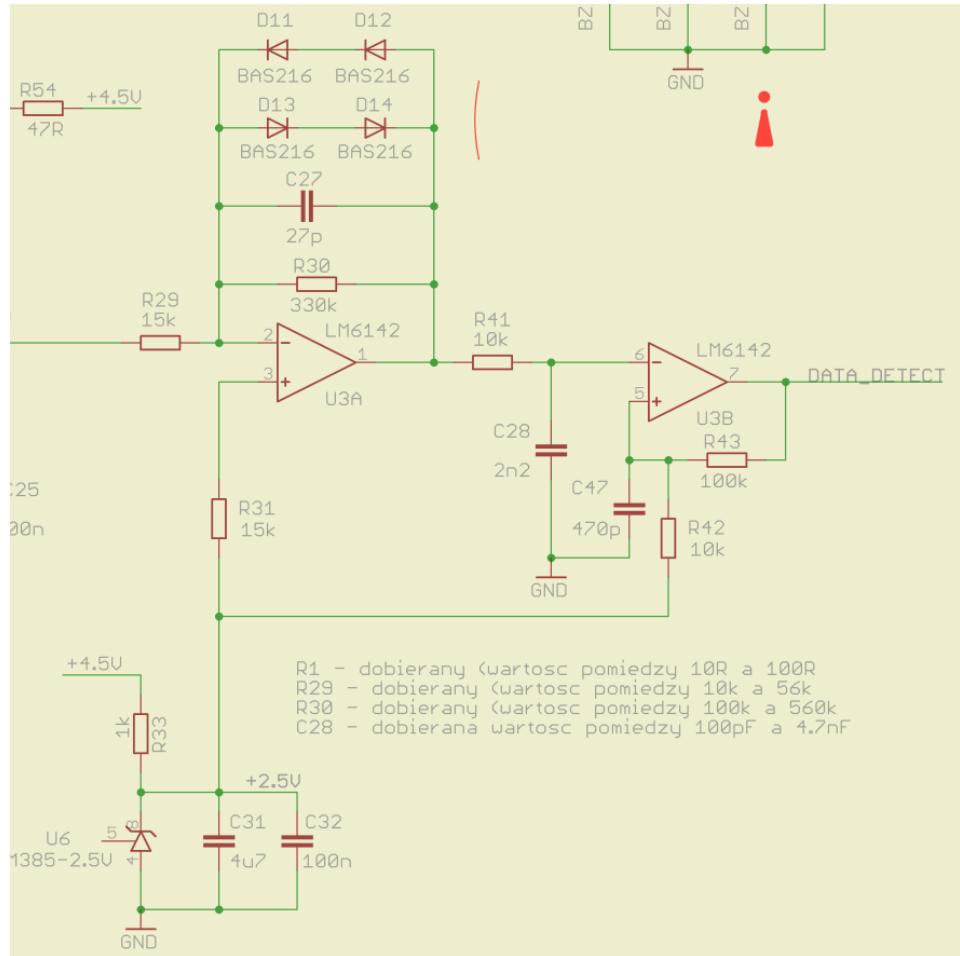
Re1 4r 0 820;

Rb2a 6r 100 150k;

Rb3b 6r 0 100k;



# Spice – symulacja detektora 6



## \*SLICER

Rdet9a 4x1 0 10meg

Rdet9 4x1 209 10.0K

Cdet9 209 0 2.2nF

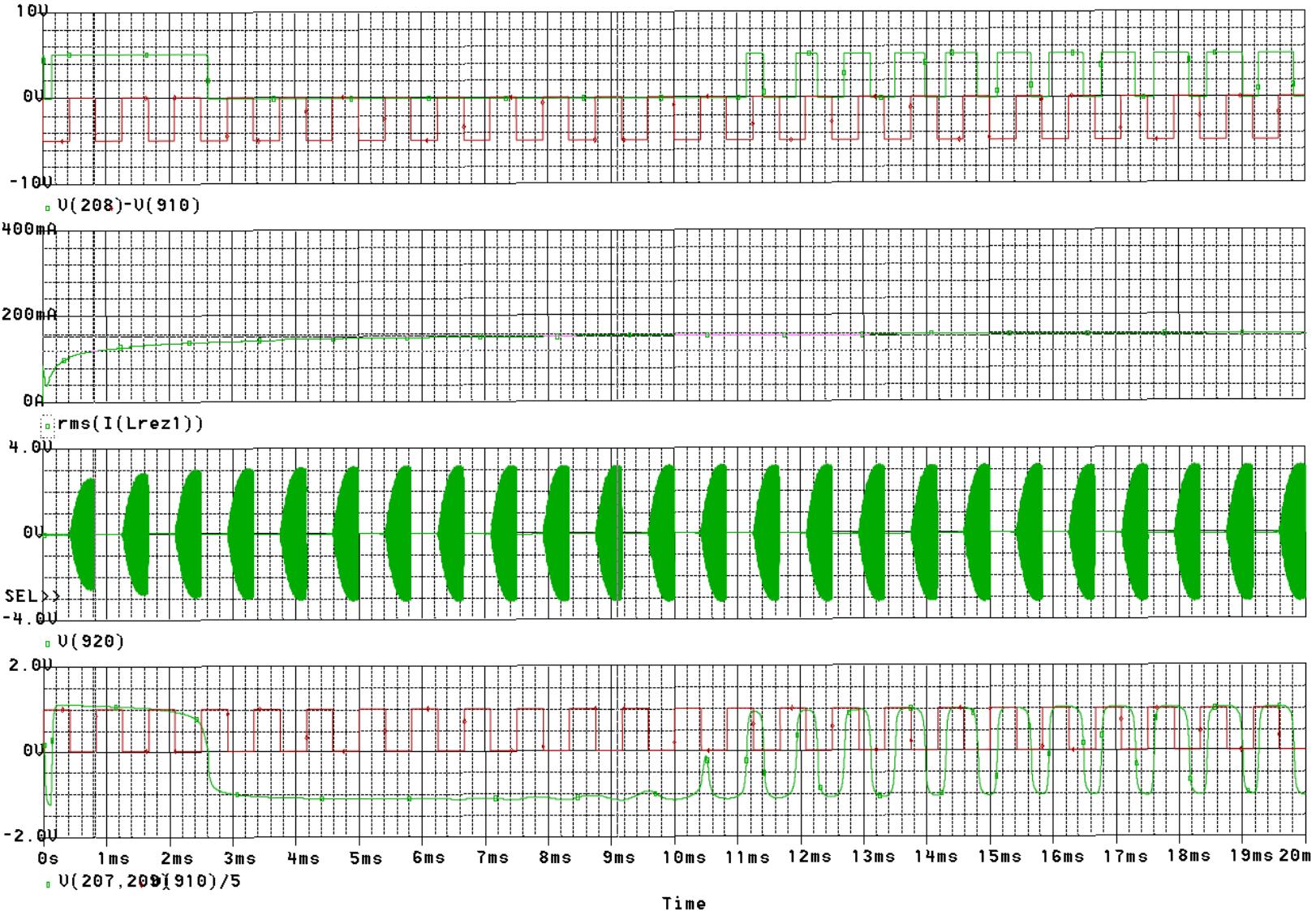
Xdet3 207 209 100 0 208 LM6142B/NS;

Rdet7 101 207 10k

Rdet8 208 207 100k

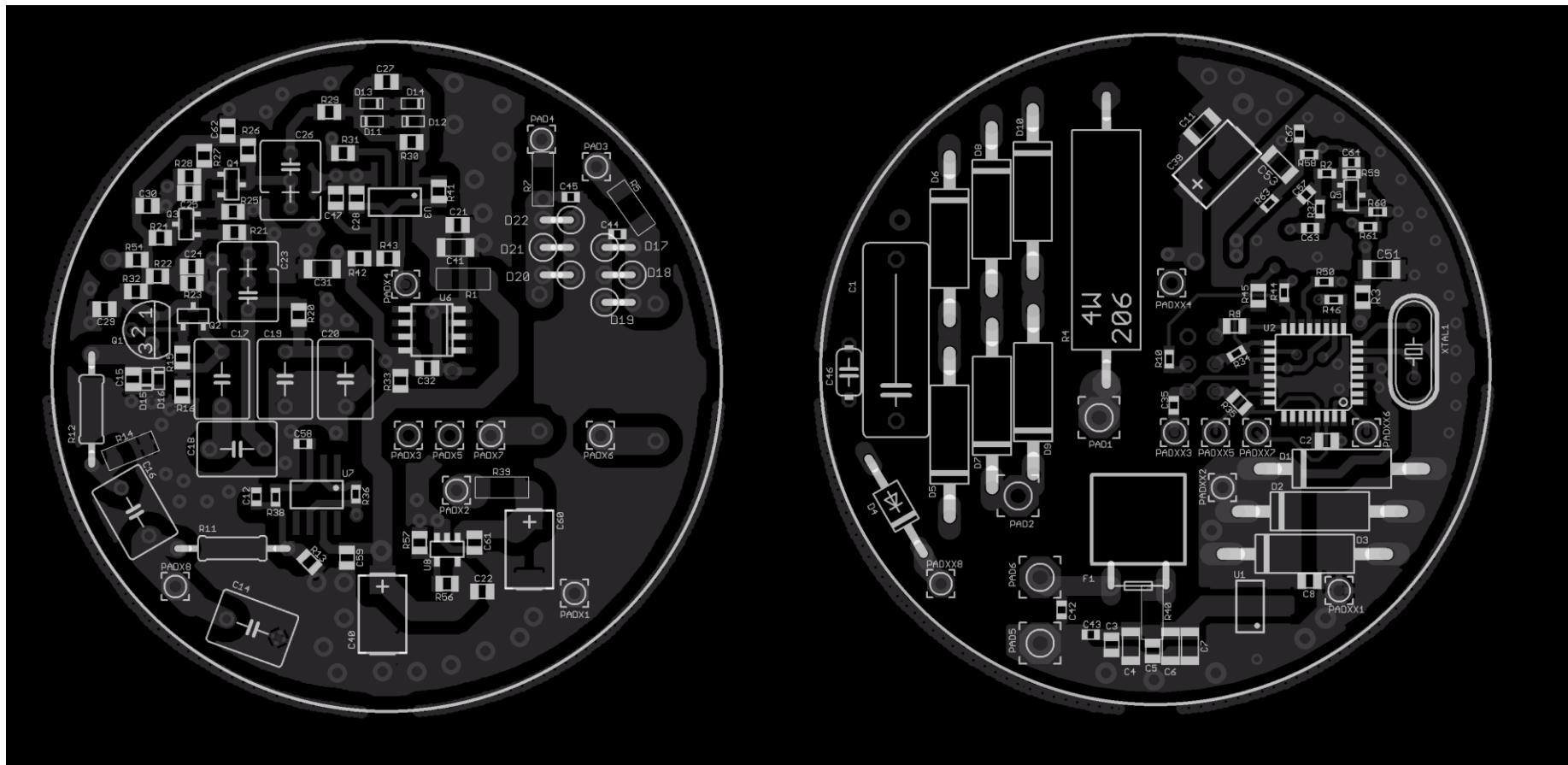
Cdet6 207 0 470.0pF

# Spice – symulacja detektora

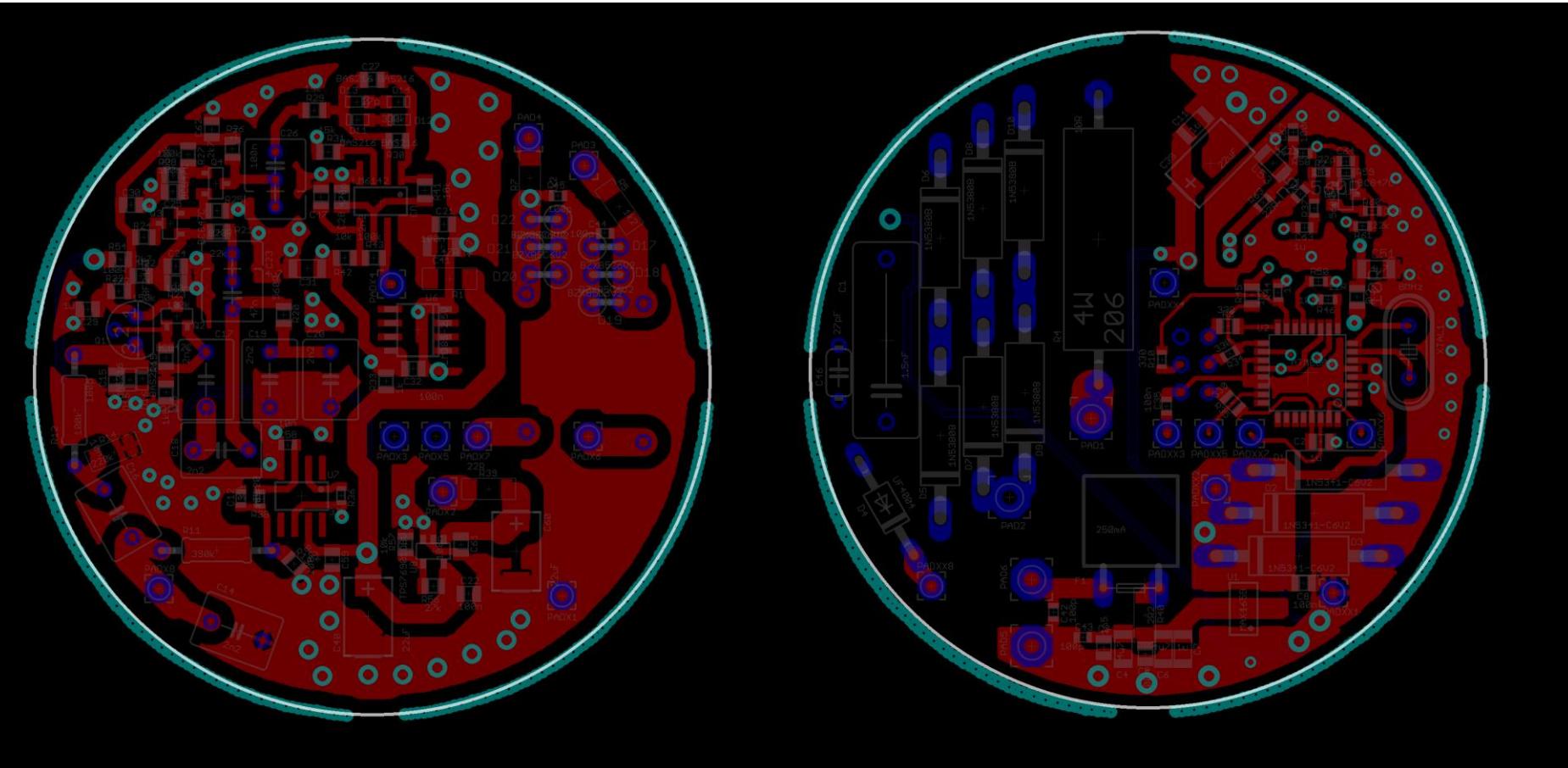


Detekcja sygnału RFID

# Główica odczytująca – PCB 1



# Główica odczytująca – PCB 1



# Główica odczytująca – PCB 2

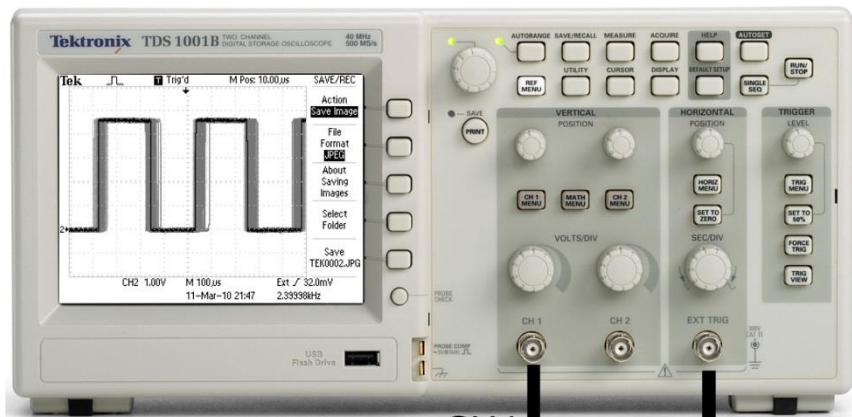


# Główica odczytująca – pomiary

GENERATOR ROHDE & SCHWARZ SM-300



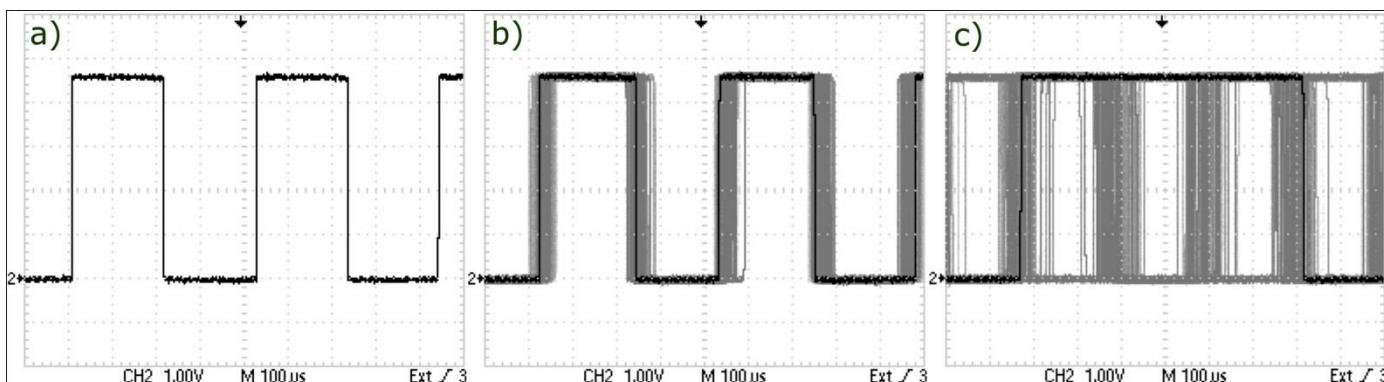
OSCYLOSKOP TEKTRONIX TDS2000B



CH1

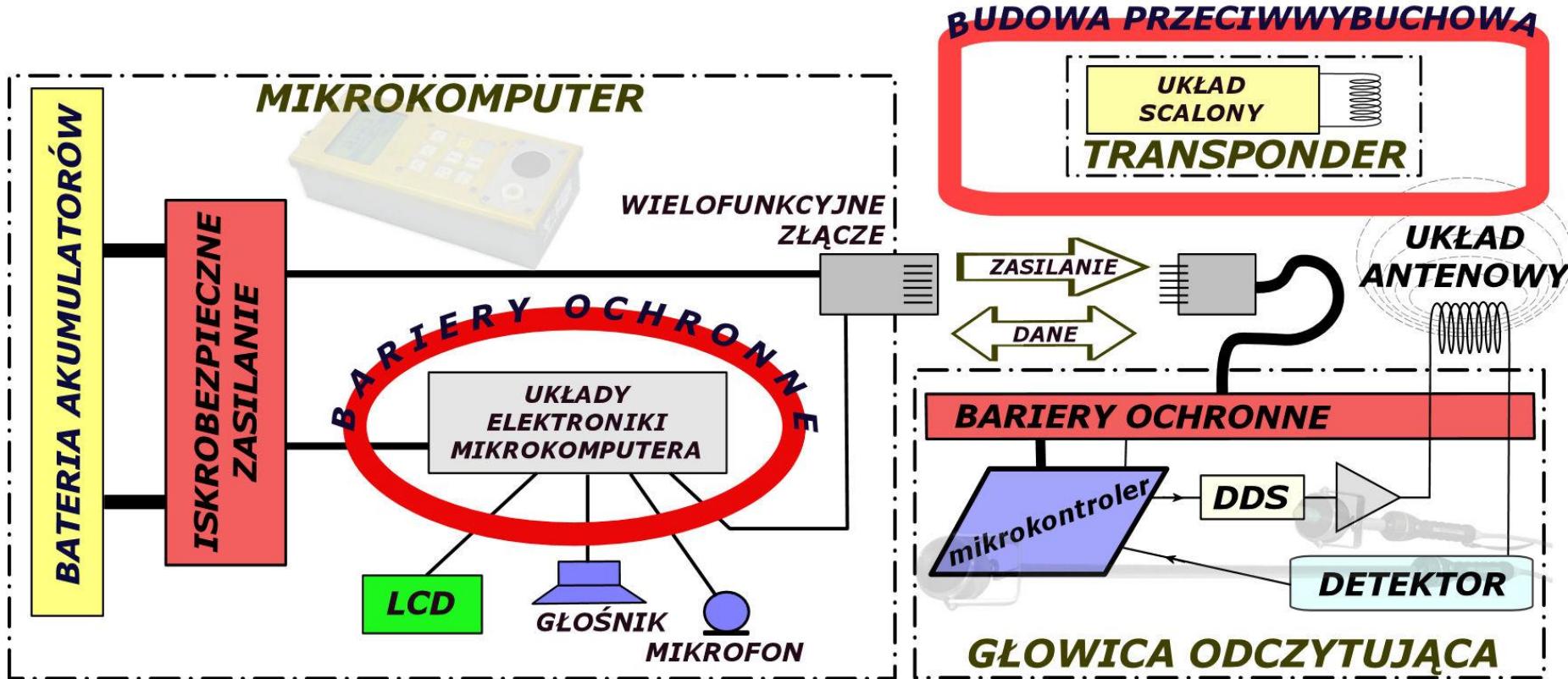
zewnętrzne  
wyzwalanie

TOR DETEKCYJNY  
GŁOWICY ODCZYTUJĄcej  
CZYTNIKA RFID



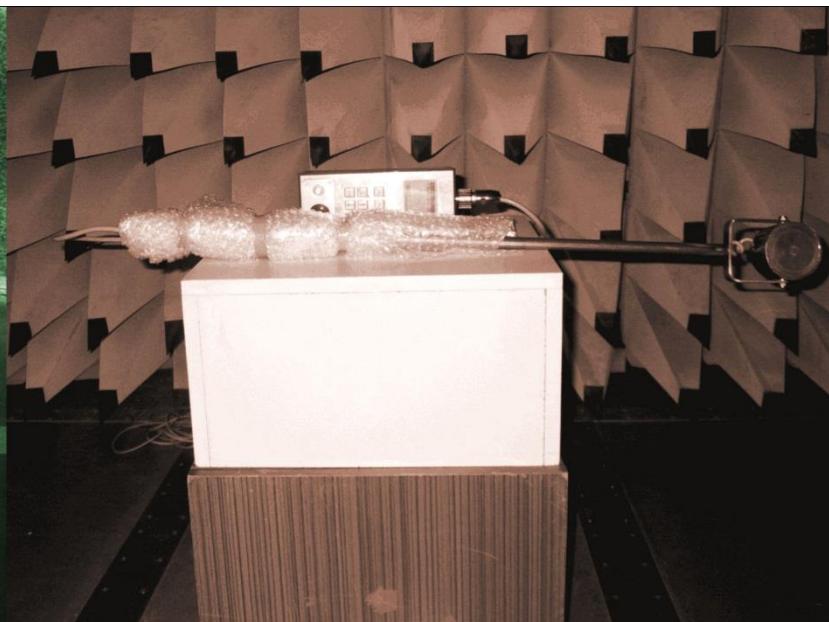
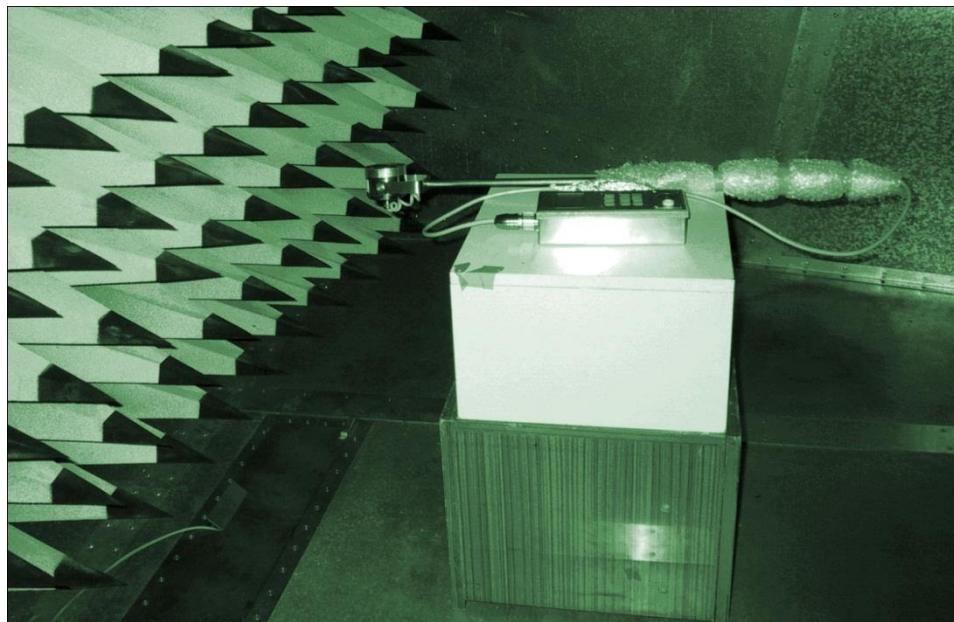
Amplituda sygnału modulującego a) 4mV – stan pełnej synchronizacji; b) 2mV – graniczny przypadek; c) 1mV – brak synchronizacji

# Spełnienie wymagań ATEX



Koncepcja bezpieczeństwa przeciwwybuchowego urządzeń elektronicznych systemu identyfikacji obudowy zmechanizowanej

# Spełnienie wymagań EMC



# PODSUMOWANIE

- Obecnie wdrożono technologię znakowania obudów górniczych RFID wielu kopalniach (Do chwili obecnej został on zainstalowany w ponad 20 kopalniach i oznakowano nim ponad 300 tys. podzespołów maszyn. )
- Prezentowany system otrzymał II nagrodę w kategorii nowość na międzynarodowych targach górnictwa
- Pierwsze rozwiązanie dla kopalń węglowych w POLSCE (rozwiązanie oryginalne)
- Posiada wszystkie certyfikaty, spełnia wymagania Dyrektyw: ATEX, EMC, R&TTE



# PODSUMOWANIE



# PODSUMOWANIE – przegląd badań

1. Stworzono możliwość użytkowania systemów RFID w trudnych warunkach środowiskowych, co wiązało się z opracowaniem technologii budowy urządzeń zapewniających ich bezpieczną eksploatację w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.
2. Dokonano analizy bardzo istotnych z punktu widzenia konstruktora urządzeń górniczych przepisów prawnych, które powstały dzięki wieloletniemu doświadczeniu w podnoszeniu bezpieczeństwa ludzi pracujących w takich warunkach, konstruowaniu odpowiedniego sprzętu, a także dzięki badaniom naukowym i analizie katastrof.
3. Opracowano cykl projektowania podzespołów RFID o budowie przeciwwybuchowej, w którym uwzględniono konsultacje z jednostką notyfikowaną.
4. Dokonano analizy niezawodnej zdalnej identyfikacji transponderów, które w naszym przypadku zabudowane są w metalowych elementach maszyn górniczych. Użytkowanie systemu RFID w bezpośrednim otoczeniu metalicznym rzutuje na wybór typu transpondera, a tym samym na wybór radiowej częstotliwości roboczej oraz na sposób budowy głowicy antenowej czytnika RFID.
5. W celu określenia wpływu otoczenia metalicznego na pracę obwodu antenowego i zasięgi odczytu projektowanego urządzenia RFID postanowiono przyjąć modelowanie pola elektromagnetycznego jako podstawową metodę badawczą, poprzez zastosowanie metody elementów skończonych i wykorzystanie do obliczeń aplikacji COMSOL Multiphysics.
6. Punktem wyjściowym do procedury doboru układu antenowego była analiza pracy typowych powietrznych cewek obwodu rezonansowego i testowanie badawczego stanowiska pomiarowego oraz zaproponowanie kryterium oceny zasięgu odczytu.
7. Określono wpływ otoczenia metalicznego na pracę obwodu rezonansowego i zasięgi odczytu, dzięki opracowaniu metody postępowania (algorytmu) w której rezultaty symulacji obwodów elektronicznych (SPICE) przenoszone są do programu COMSOL w celu wyznaczenia rozkładu pola indukcji magnetycznej w funkcji odległości.
8. Badaniom poddano stosowaną w układach RFID ferrytową antenę prętową oraz opracowaną na podstawie wcześniejszych badań ferrytową antenę kubkową.

# PODSUMOWANIE – przegląd badań

9. Mając na uwadze, że wybrany typ transpondera pasywnego nie posiada wewnętrznego źródła energii, a przyczyną wydzielania się ciepła w transponderze mogą być zjawiska elektrotermiczne indukowane zewnętrznym polem magnetycznym, zaprojektowano cykl badań termicznych o charakterze niszczącym, podczas których poddawano transpondery narażeniom w postaci zewnętrznego pola magnetycznego o częstotliwości odpowiadającej częstotliwości roboczej systemu RFID (125kHz).
10. Dokonano analizy wyników obserwacji termicznych, która doprowadziła do wniosku, że może wystąpić istotny ze względu na zasady bezpieczeństwa przeciwwybuchowego, wzrost temperatury powierzchni transpondera przy wartościach indukcji pola zewnętrznego zbliżonych do wytwarzanych przy powierzchni typowej anteny RFID.
11. Opracowano odpowiednią konstrukcję zabudowy transpondera i modyfikacji obwodów elektronicznych głowicy antenowej czytnika RFID. Ponieważ problemy te pojawiły się pierwszy raz w polskim górnictwie należało opracować również oryginalny sposób przeprowadzenia formalnego dopuszczenia do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Przeprowadzone badania i prace projektowo-konstrukcyjne były podstawą realizacji praktycznej głowicy antenowej czytnika i modułu transpondera w wykonaniu przeciwwybuchowym. Podzespoły te są istotnymi elementami systemu identyfikacji obudów górniczych RFID. Opracowanie całego systemu jest znacznym przedsięwzięciem badawczym i konstrukcyjnym, a także organizacyjnym, i zostało zrealizowane we współpracy czterech ośrodków (KOMAG, Politechnika Śląska, AGH, Z.U.E. ELSTA).

# Dziękuje za uwagę

