

historia TV najważniejsze daty

1877	Ogólne zasady działania telewizji
1928	USA –pierwsza stacja nadająca regularny program TV
1934	Polska –pierwsza emisja eksperymentalnego programu
1953	USA –telewizja kolorowa (NTSC)
1967	Telewizja barwna SECAM i PAL
1971	-pojawia się telewizja kablowa
1990	-cyfrowy dźwięk NICAM
1992	-pierwsza telewizja cyfrowa

1877 filozof i psycholog Julian Cichorowicz określił ogólne zasady działania telewizji monochromatycznej

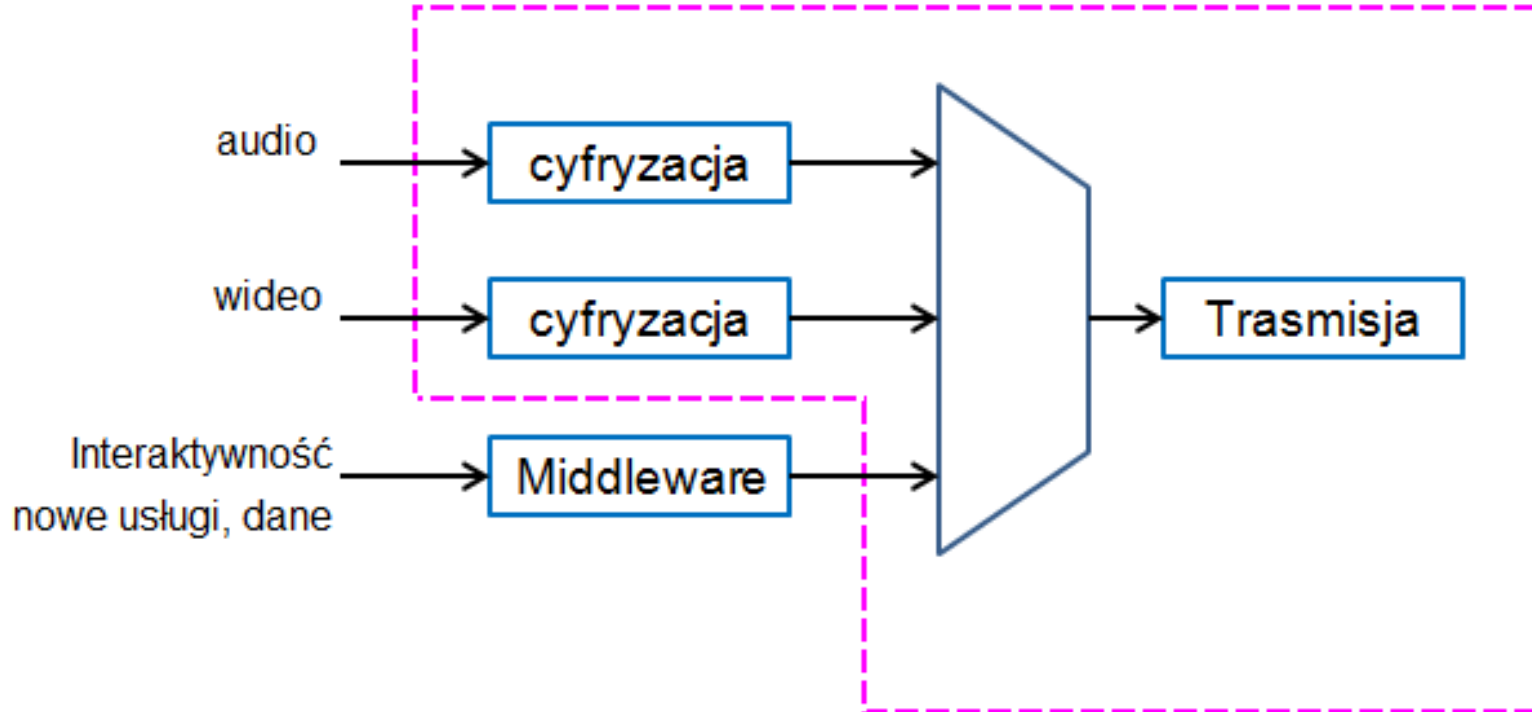
1897 fizyk Ferdinand Braun prezentuje tzw. lampę Brauna, która umożliwia skonstruowanie kineskopu telewizyjnego

1923 USA –Władimir Zworykin konstruuje kineskop

1952 USA –pierwsze próby rejestracji obrazu

1962 transmisja z USA do Europy za pośrednictwem pierwszego komercyjnego satelity Telestar

1986 pojawia się dźwięk stereo



Ogólny schemat blokowy mechanizmu cyfryzacji

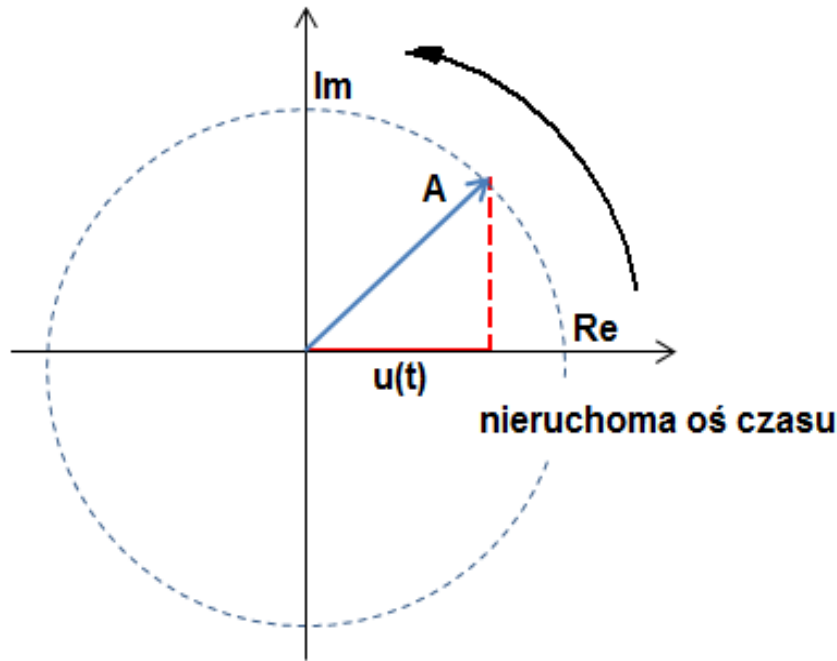
***jakość dźwięku** stała się jedną z najmocniejszych stron współczesnej telewizji.*

W sposobie kodowania dźwięku leży największa różnica między Europejskim i Amerykańskim systemem kodowania telewizji cyfrowej.

w Europie dźwięk jest kodowany w formacie MPEG

w Ameryce AVC-3 zgodnym ze standardem Dolby.

$$u(t) = \cos(\omega t + \varphi)$$



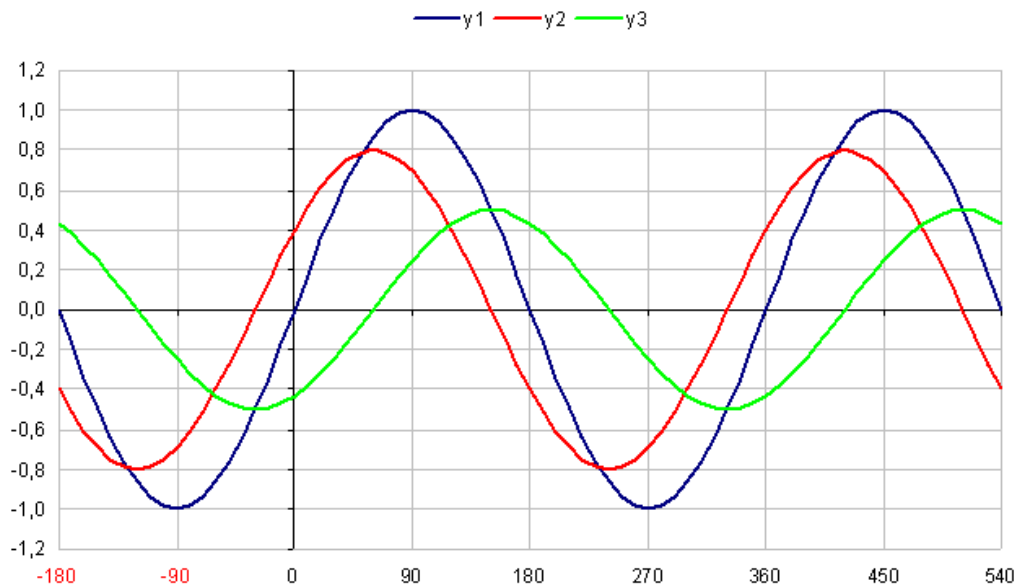
$$a(t) = A \cdot \cos\Phi(t)$$

$$\Phi(t) = \omega t + \varphi$$

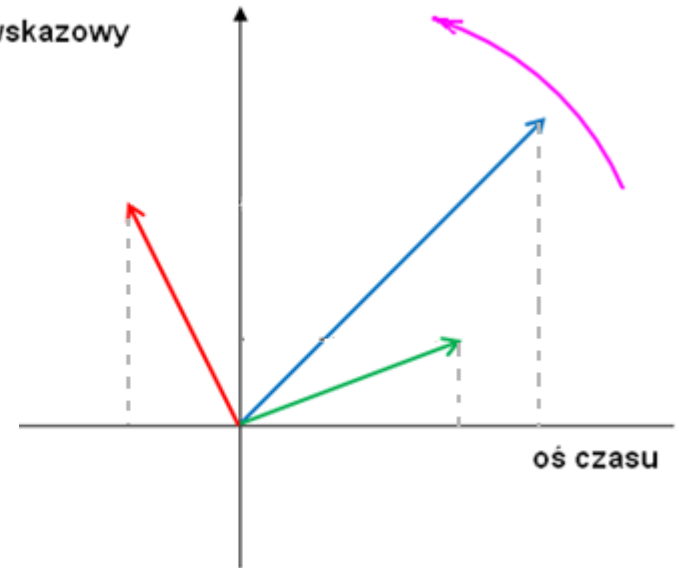
gdzie , A jest amplitudą, $\Phi(t)$ zaś fazą chwilową

W zagadnieniach telekomunikacji używa się cosinusa, ze względu na parzystość, co ułatwia przekształcenia niektórych zależności

ogólne zależności sygnałów

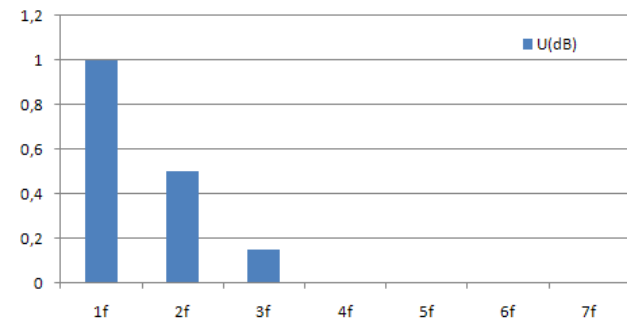
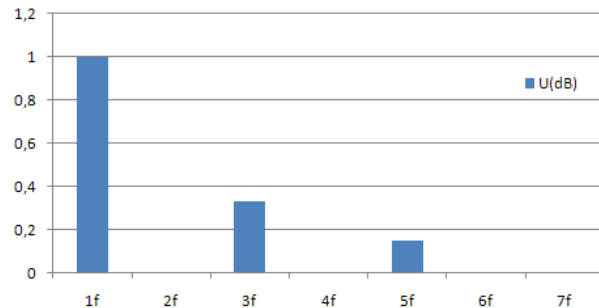
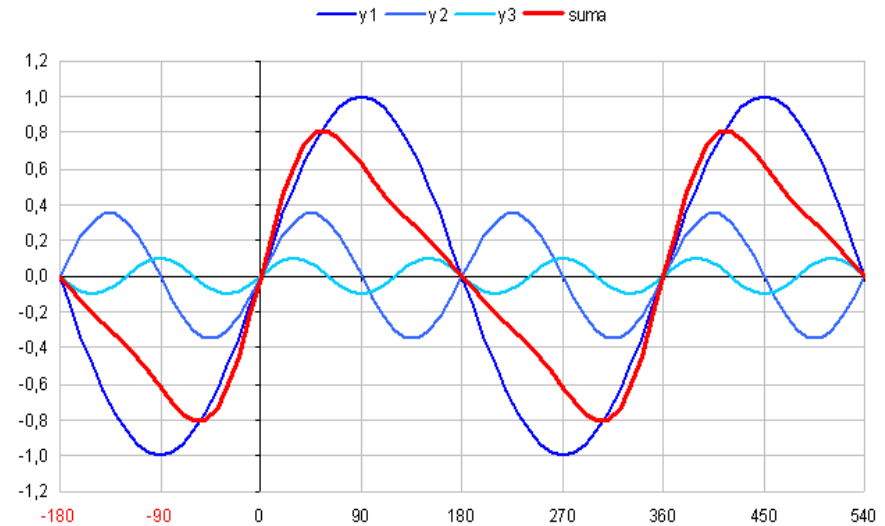
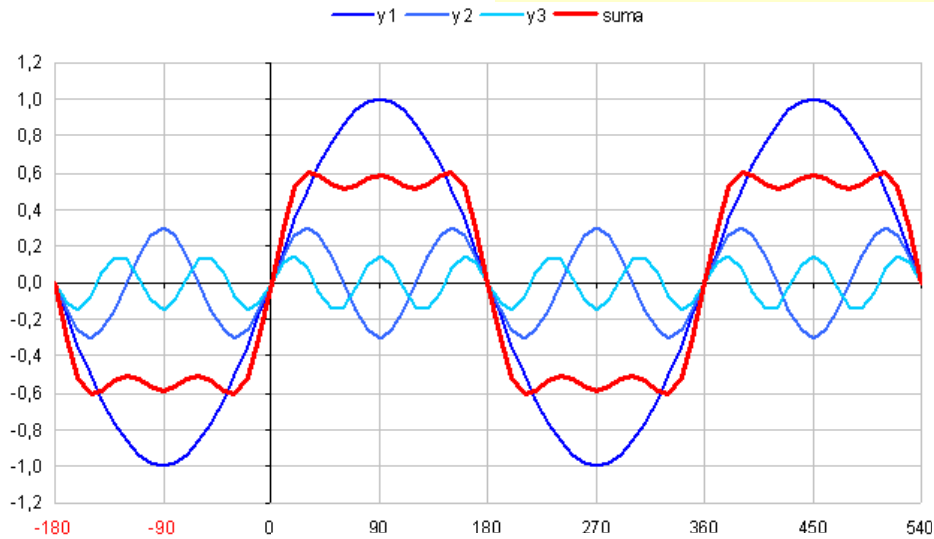


wykres wskazowy



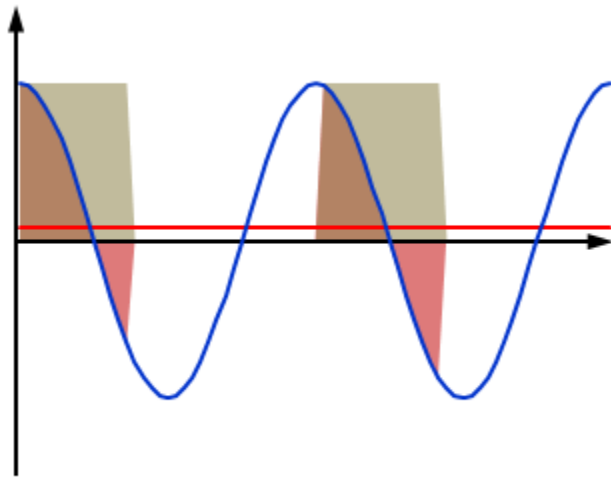
ogólne zależności sygnałów

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx))$$

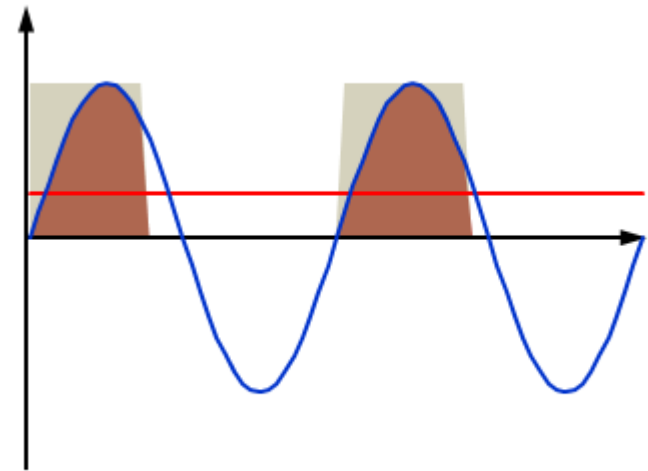


Charakterystyka widmowa jest alternatywnym opisem sygnału w dziedzinie czasu

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx))$$



■ $f(x) * \cos(x)$
■ $f(x)$
— a
— $\cos(x)$



■ $f(x) * \sin(x)$
■ $f(x)$
— b
— $\sin(x)$

Okresowość funkcji

Funkcję nazywamy okresową o okresie T jeśli dla każdego x zachodzi równość $f(x+T)=f(x)$

Podstawowy okres T_0 jest najmniejszym okresem funkcji f

Odwrotność T_0 jest podstawową częstotliwością funkcji f

Wielokrotności T_0 ($T_k=nT_0$) są również okresami funkcji f

Odwrotności T_k ($f_k=1/T_k$) nazywane są częstotliwościami harmonicznymi funkcji f

f(x) jest funkcją ograniczoną, określoną w każdym punkcie przedziału $(-\pi, \pi)$

f(x) ma skończoną liczbę punktów nieciągłości w przedziale $(-\pi, \pi)$

f(x) ma skończoną liczbę ekstremów w przedziale $(-\pi, \pi)$

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx))$$

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{jkx}$$

$$c_k = \frac{1}{2}a_0 \quad c_k = \frac{1}{2}(a_k - jb_k), \quad c_{-k} = \frac{1}{2}(a_k + jb_k)$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx = \int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)) \right) dx =$$

$$= \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} a_0 dx + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \int_{-\pi}^{\pi} \cos(kx) dx + b_k \int_{-\pi}^{\pi} \sin(kx) dx \right) =$$

$$= \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} a_0 dx = \frac{1}{2} a_0 x \Big|_{-\pi}^{\pi} = \pi a_0 \quad \longrightarrow \quad a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

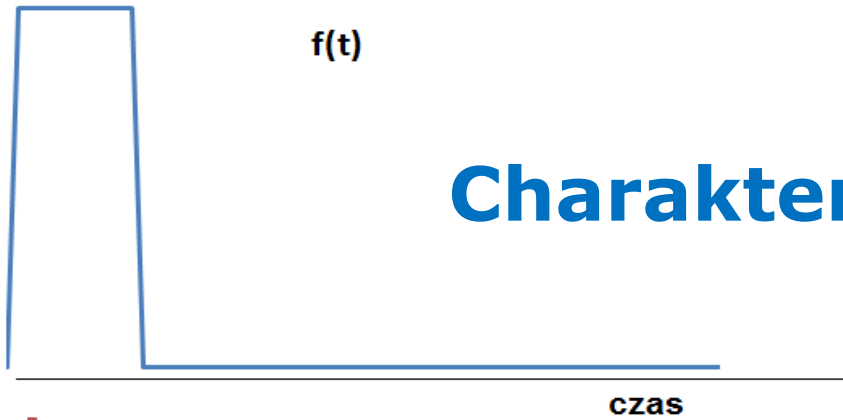
Transformata Fouriera

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi f x} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j\omega x} dx$$

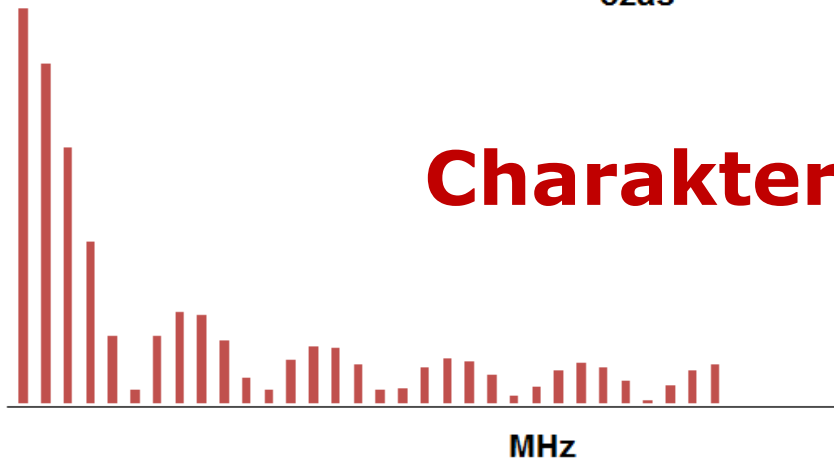
Dyskretna transformata Fouriera

$$F(k) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot e^{\frac{-j2\pi k x}{N}} \quad k = 0, \dots, N - 1$$

*Opisy sygnału w dwóch dziedzinach (czasu i częstotliwości) są wzajemnie równoważne.
Na podstawie znajomości jednego można wyznaczyć drugi opis*

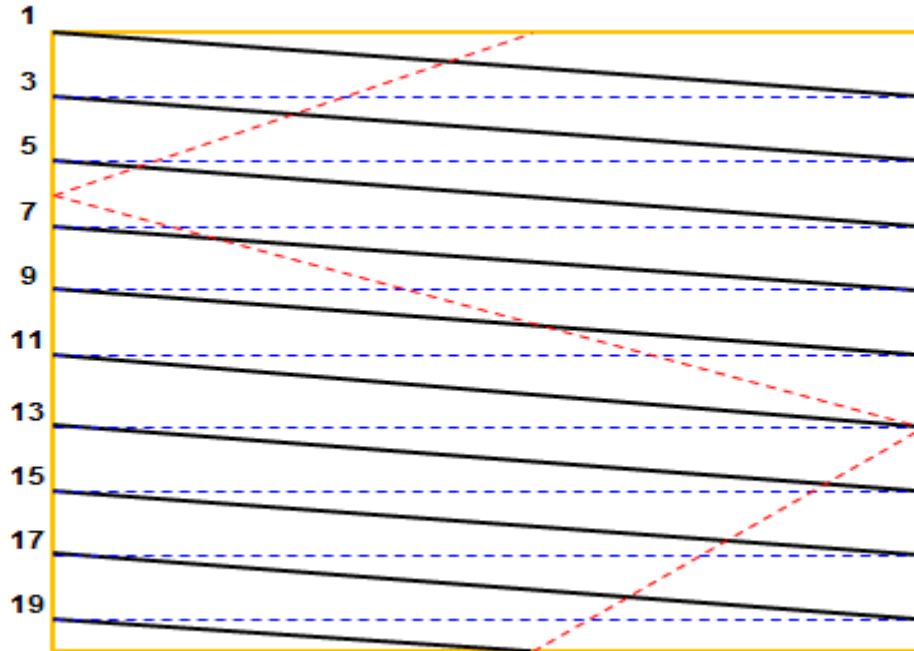


Charakterystyka czasowa



Charakterystyka widmowa

analogowa telewizja czarnobiała



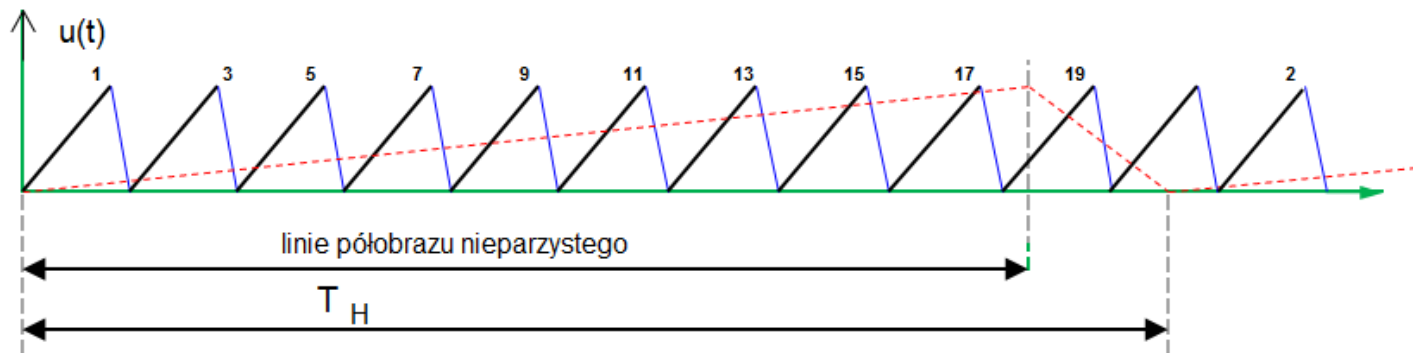
Europa:

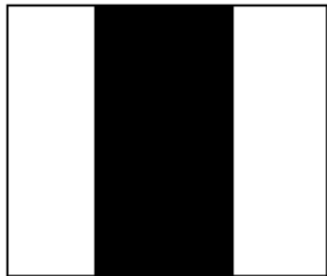
625 linii w obrazie

50 półobrazów na sekundę

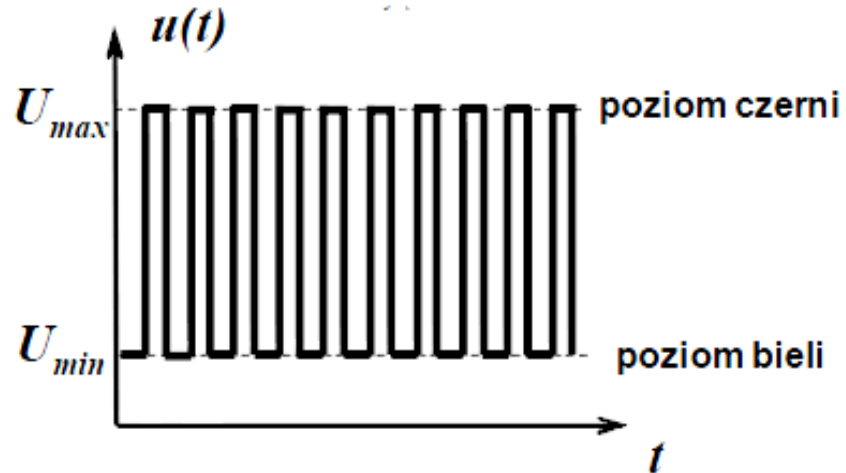
Częstotliwość $f_H=15625\text{Hz}$

Częstotliwość $f_V=50\text{Hz}$

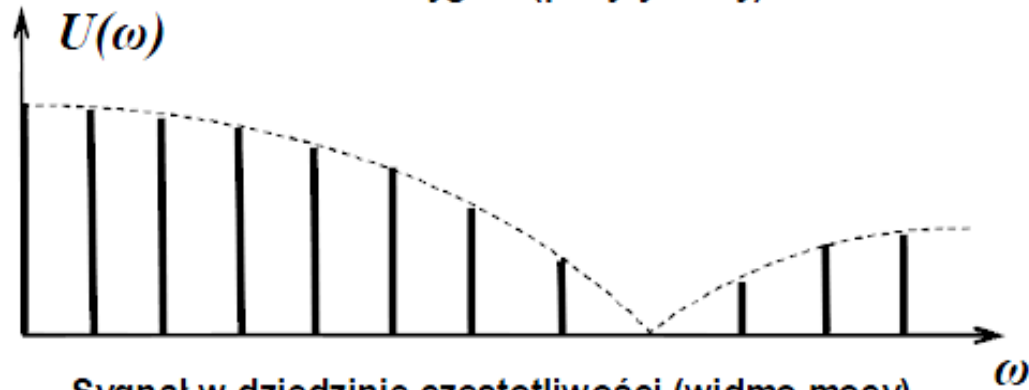




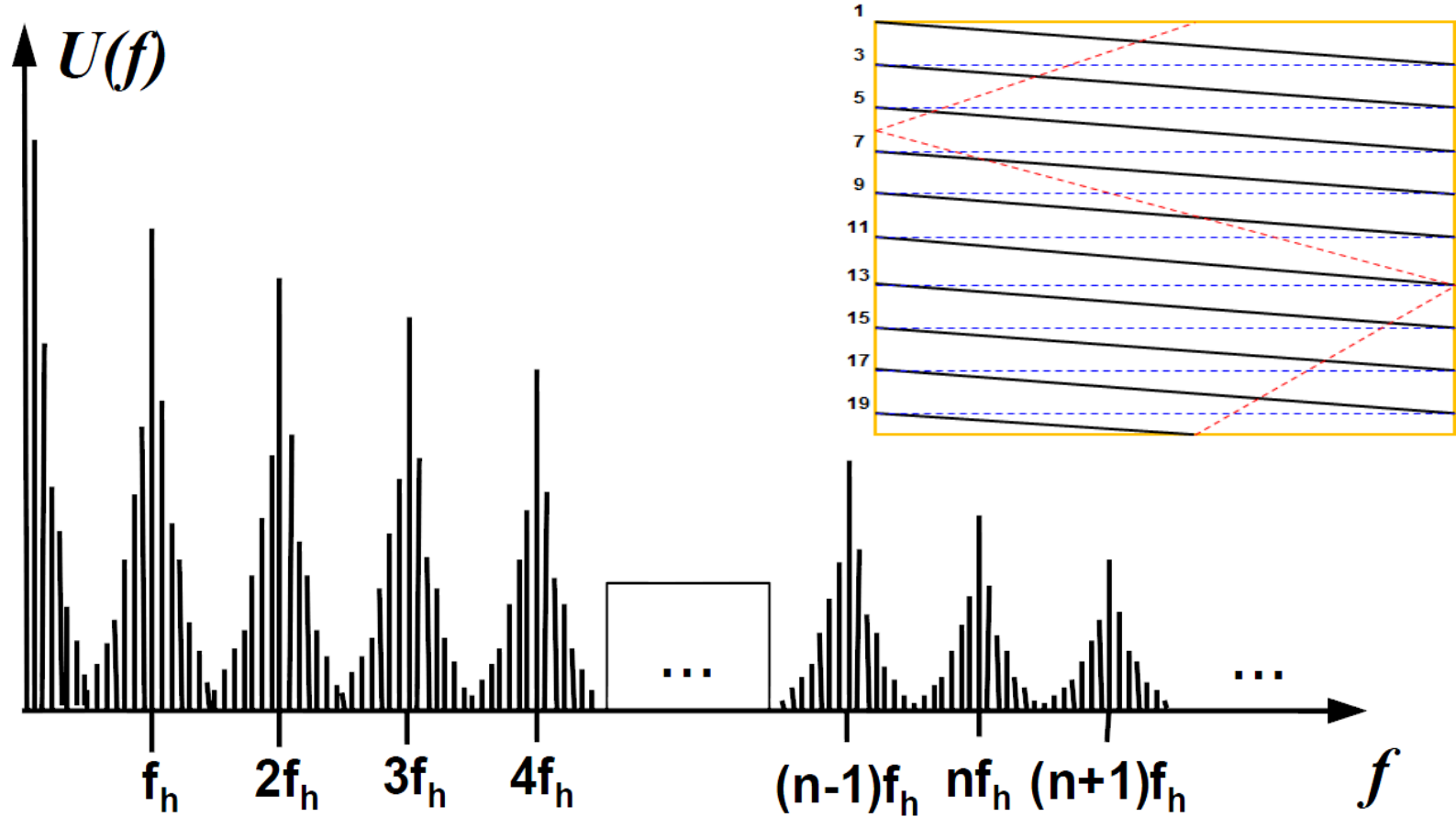
analizowany obraz



sygnał (pozytywowany) w dziedzinie czasu

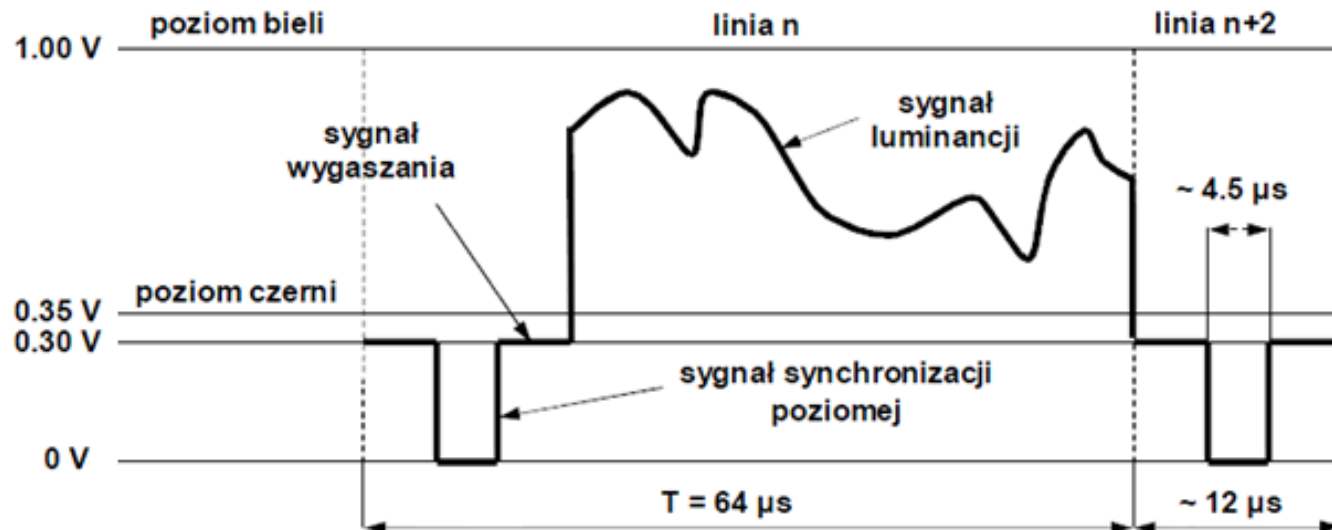


Sygnał w dziedzinie częstotliwości (widmo mocy)



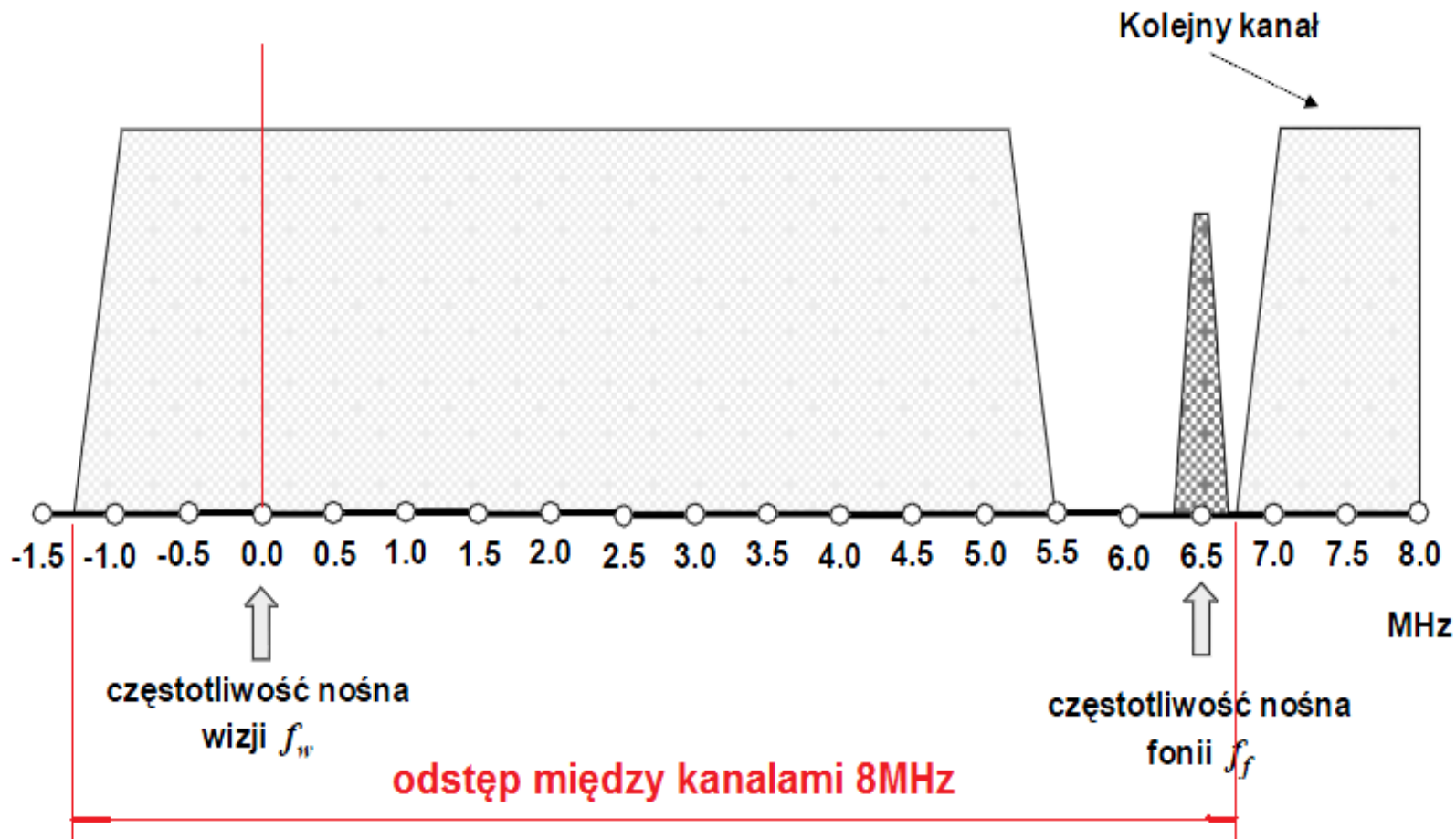
widmo sygnału luminancji

- Sygnał luminancji
- sygnał wygaszania
- Sygnał synchronizacji
- Sygnał fonii

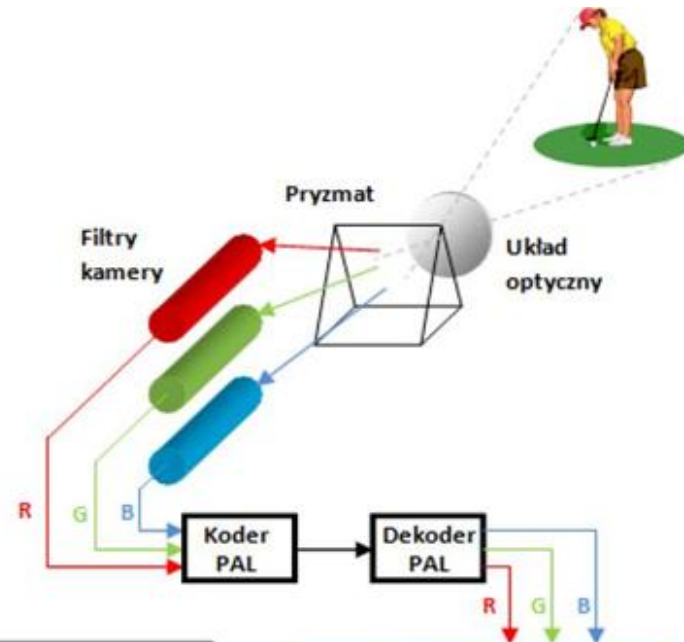


Sygnał wizyjny (widoczna jedna linia obrazu)

pasmo przenoszenia kanału telewizji analogowej



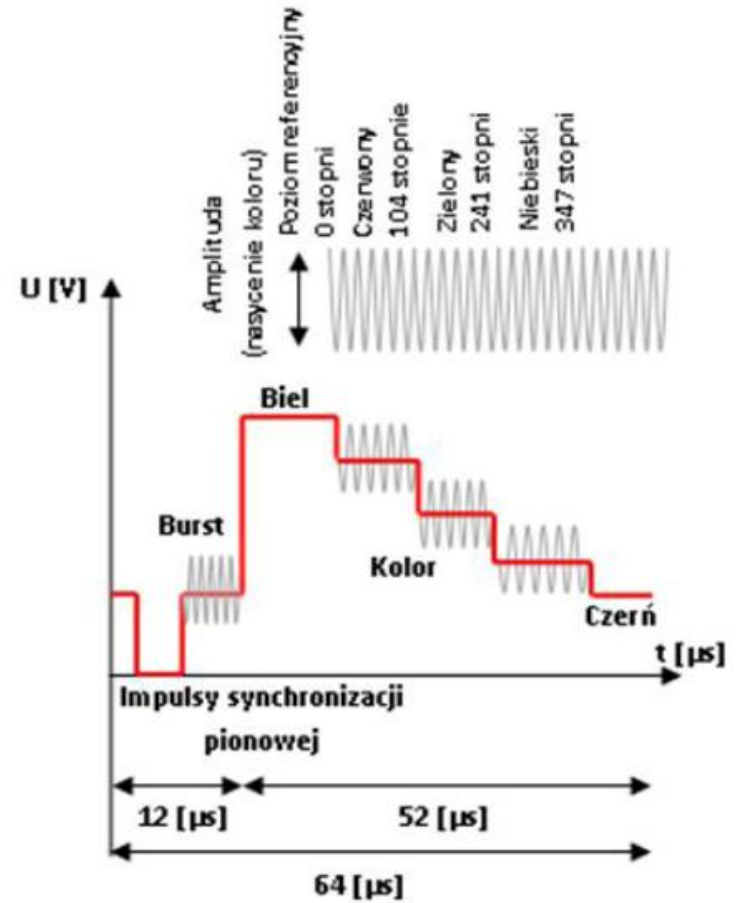
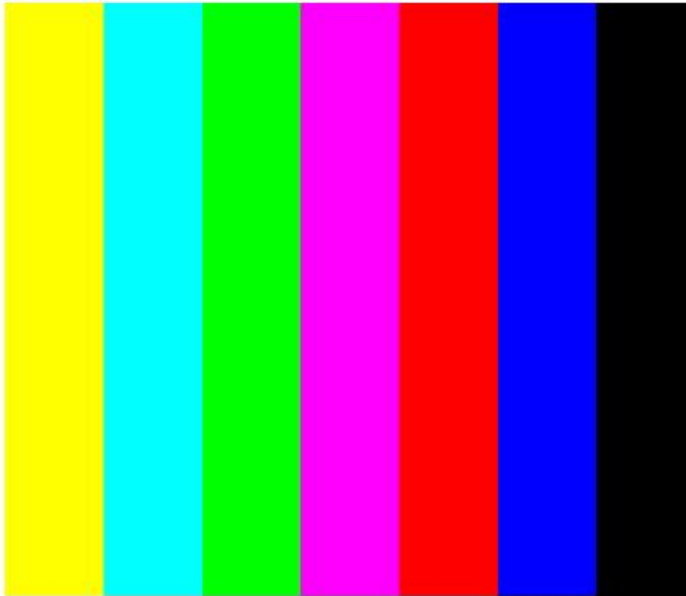
analogowa telewizja na przykładzie PAL



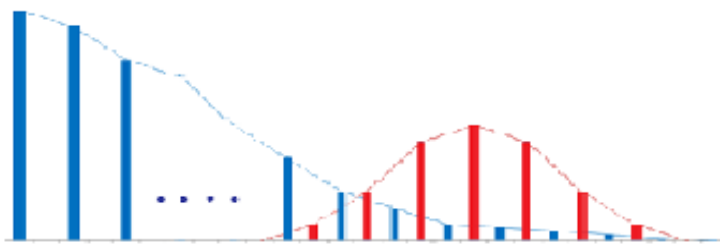
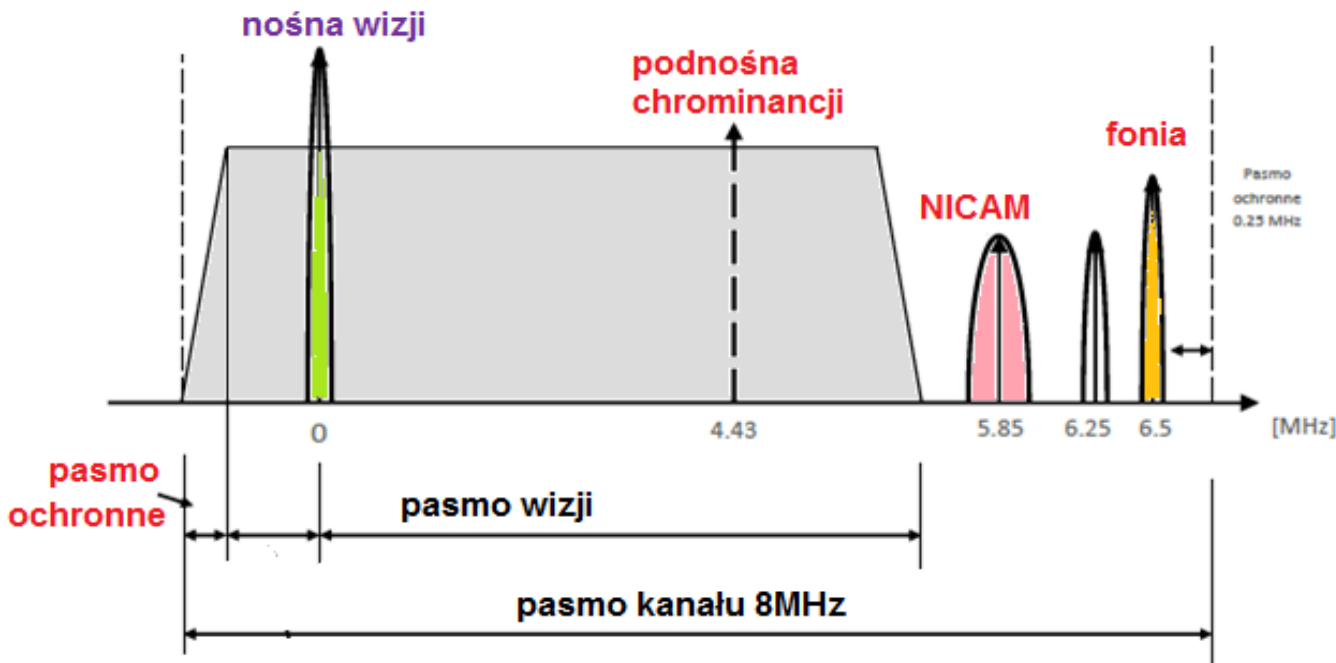
- **576** aktywnych linii (2x288)
- **49** pionowych ciemnych linii



sygnał wizyjny PAL (jedna linia obrazu)



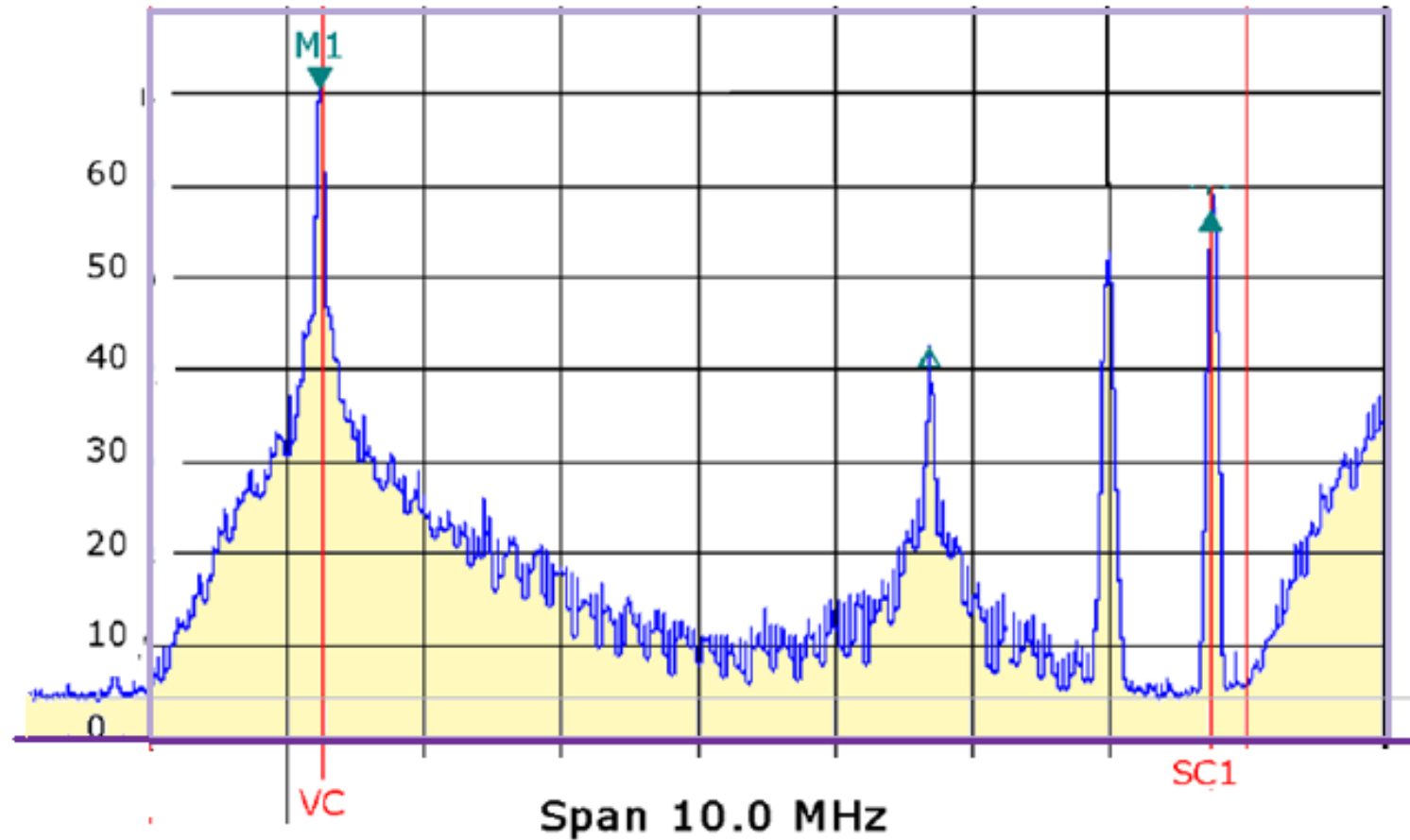
widmo sygnału kolorowej telewizji analogowej



pasmo luminancji = 0...4MHz

pasmo koloru = 3,13...5 MHz

parametry sygnałów PAL D/K



- Rozdzielczość obrazu 720x576
- format obrazu 4:3
- modulacja wizji C3F negatywna
- szerokość sygnału wizyjnego 5,5MHz
- odległość między nośną wizji i fonii analogowej 6,5MHz
- stosunek mocy sygnałów wizji i fonii 20:1 (13dB)
- modulacja fonii analogowej FM
- fonia cyfrowa NICAM 728 – modulacja DQPSK
- stosunek mocy sygnałów wizji i fonii NICAM 100:1 (20dB)
- odległość między wizją a nośną cyfrową 5,85MHz

- Kablowa DVB -C
- Satelitarna DVB -S
- Naziemna DVB -T

Zalety telewizji cyfrowej

- Wysoka jakość
- Nowe usługi -interaktywność
- Usługi płatne PPV
- Usługi dostępu do baz danych PPF
- Dźwięk wielokanałowy
- Telewizja HDTV
- Integracja z internetem

Aby upowszechnić technologie cyfrowe i uniknąć problemów z kompatybilnością konieczna jest standaryzacja

Europejski – Digital Video Broadcasting

DVB

Amerykański – Advanced Television Systems Committee

ATSC

Japoński – Integrated Services Digital Broadcasting

ISDB- T

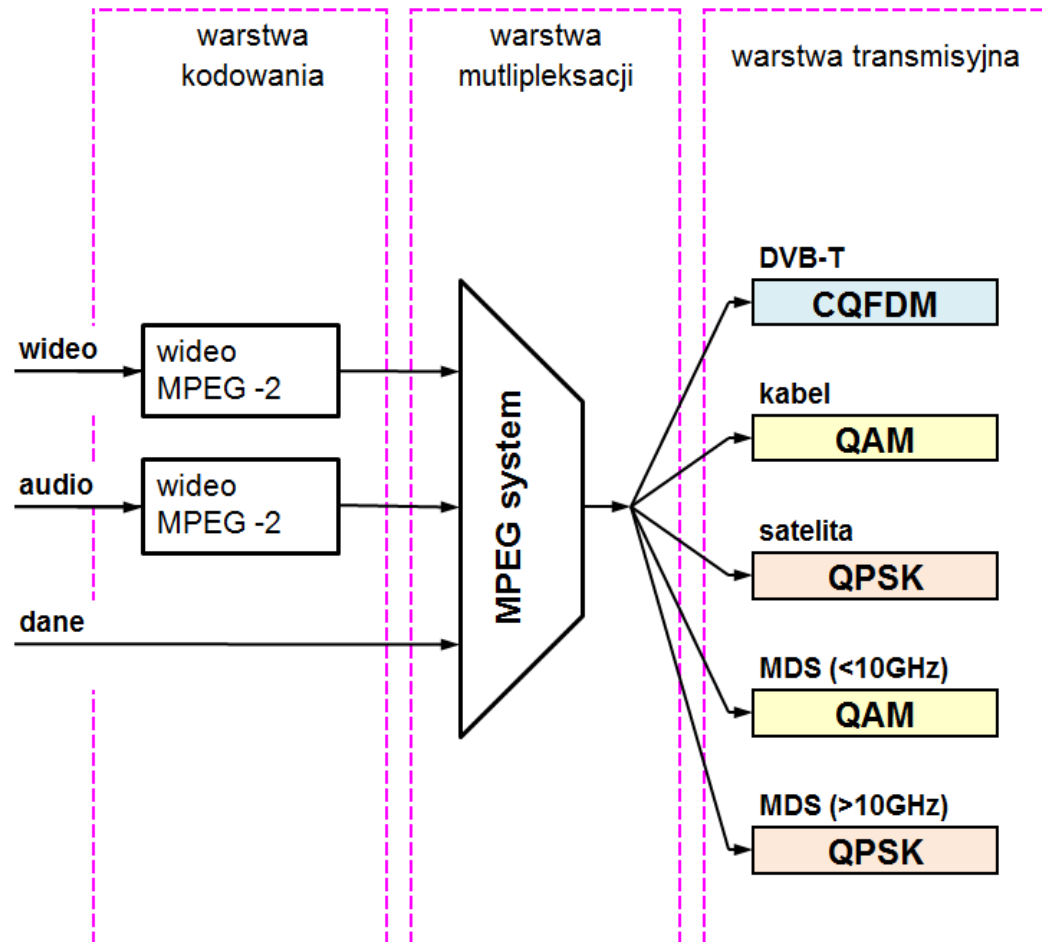
Brazylijski – International Standard for Digital Television

ISDTV

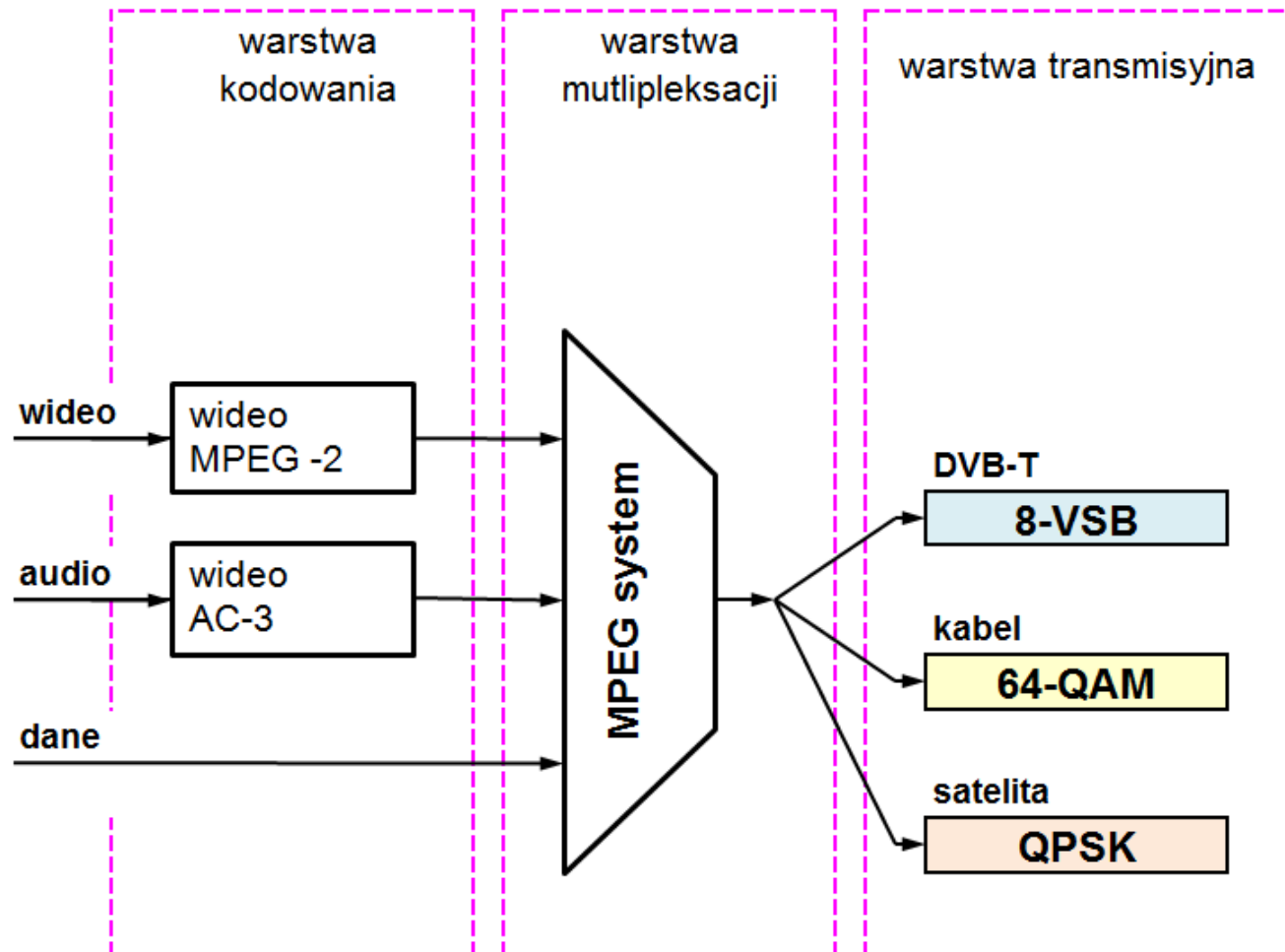
Chiński – Digital Terrestrial Multimedia Broadcast

DTMB

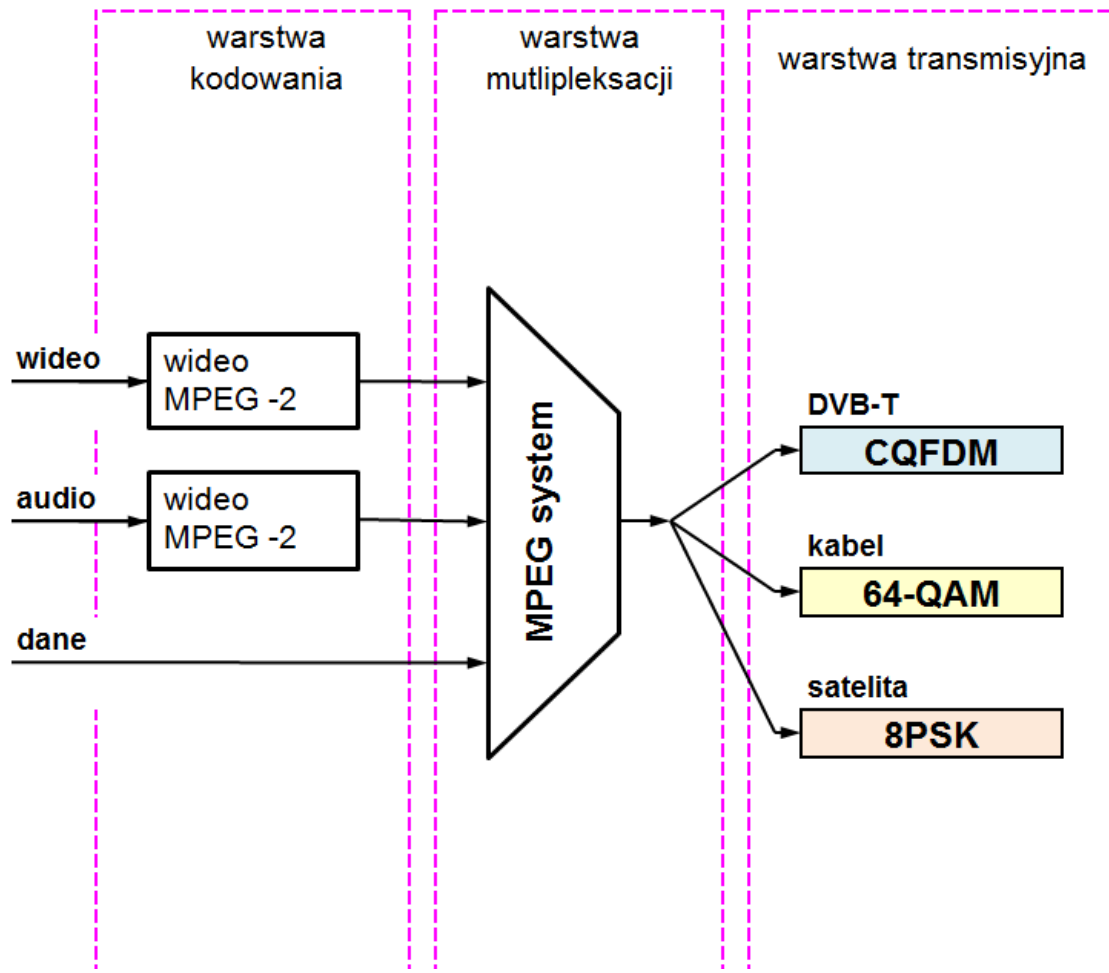
Podstawowe standardy w transmisji telewizji cyfrowej



schemat standardu ATSC



schemat standardu ISDB



Podstawowe parametry SDTV

- **PAL**
 - 720 x576i (format 4:3)
 - 704 x576i (format panoramiczny 16:9)
 - szybkość klatek wynosi 25 kl./s
- **NTSC**
 - 720 x480i (format 3:2)
 - szybkość klatek wynosi 29,98 kl./s

Podstawowe parametry HDTV

- **HDTV**

- 720p -1280 x720 pikseli
- 1080i /1080 -1920 x1080 pikseli

- **i** (interlaced) – obraz z przeplotem (dokładnie jak w przypadku telewizji analogowej)
- **p** (progressive) - obraz bez przeplotu. Technika zwiększa jakość obrazu, niweluje zmęczenie oczu spowodowane migotaniem obrazu

standard typu i

zalety

- Większa rozdzielczość i płynność ruchu przy tej samym paśmie (ilości próbek)

wady

- trudniej zmienić ilość linii w obrazie
- trudniejsza obróbka obrazu
- mniejsza ilość szczegółów w pionie 30% ... 50% (gdy obiekty poruszają się nieparzystą ilością linii na pole
- stop klatka ma dwukrotnie mniejszą rozdzielczość



4:3

- standardowy format PAL

3:2

- standardowy format NTSC

16:9

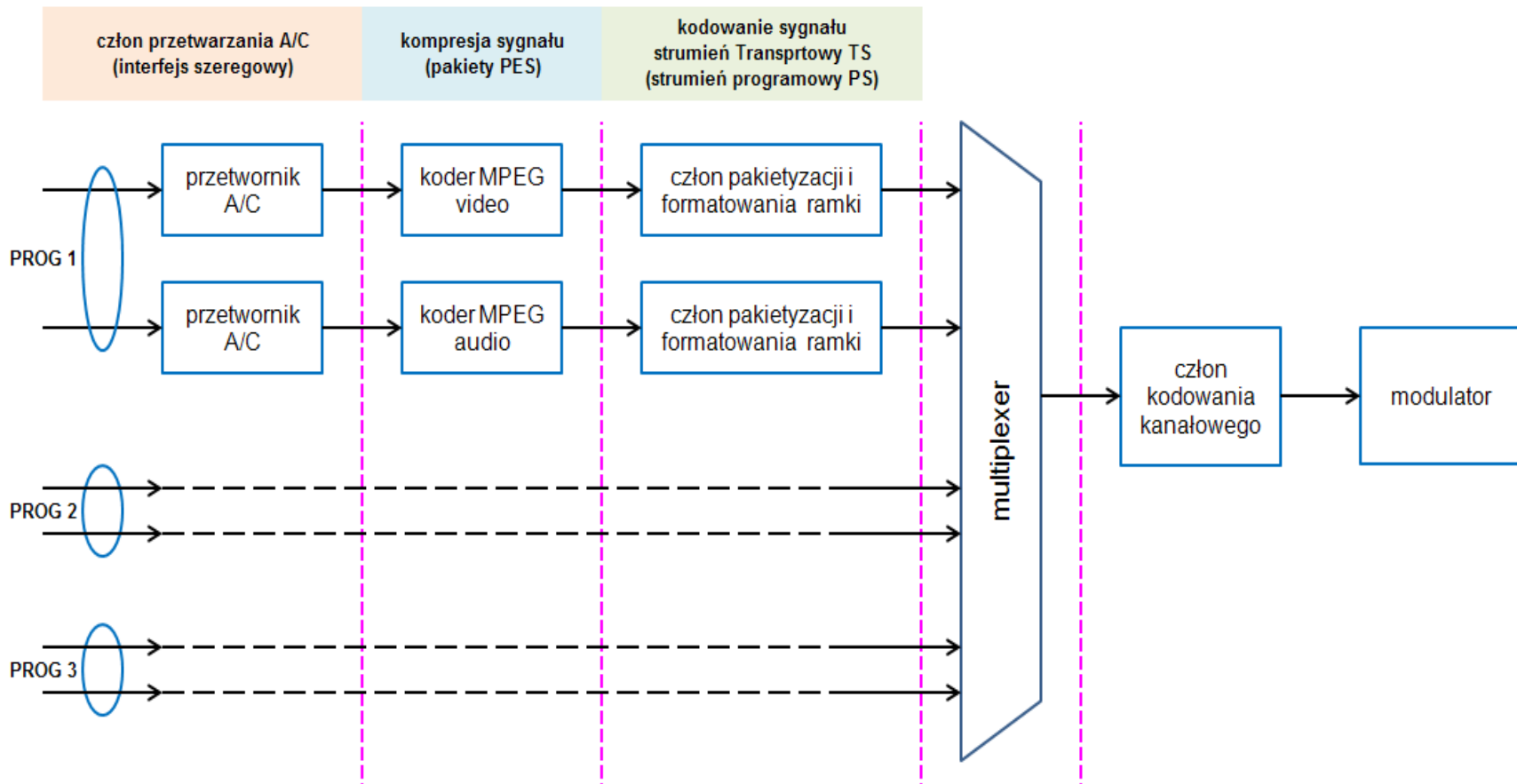
- standardowy format HDTV

1.85:1

- rozdzielczość kina panoramicznego

2.39:1

koder DVB, mechanizmy cyfryzacji



- próbkowanie

- kwantowanie

- kodowanie

Proces konwersji sygnału analogowego na cyfrowy odbywa się w trzech etapach:

W określonych odstępach czasu jest próbkowany sygnał analogowy

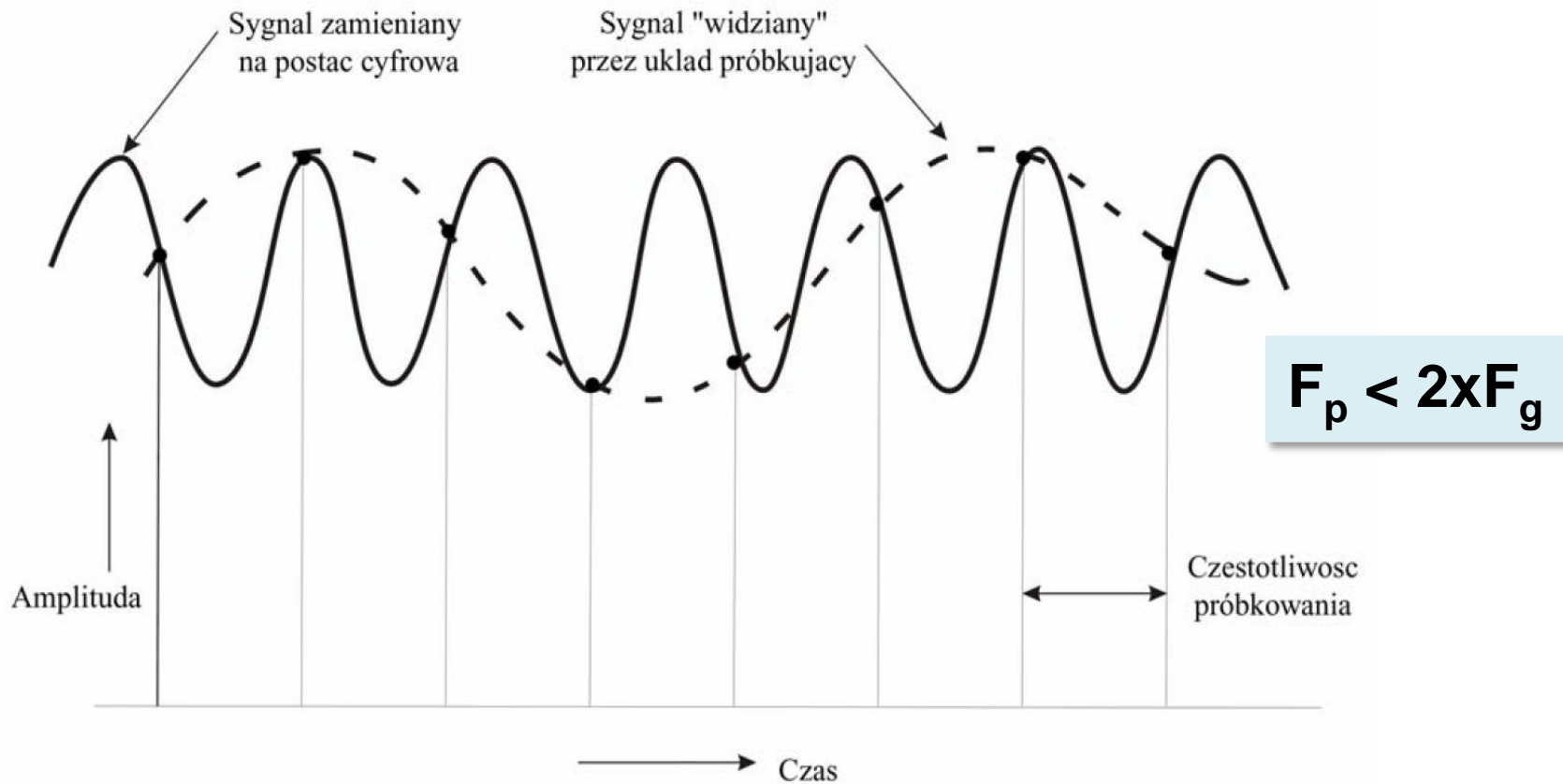
sygnał dyskretny (nieciągły) w czasie o wartościach zdefiniowanych tylko w określonych punktach

W postaci graficznej wyniki próbkowania są szeregiem impulsów o stałej częstotliwości i zmiennej amplitudzie

Większa częstotliwość próbkowania ... większa ilość danych

Za niska częstotliwość próbkowania ... zakłócenia , przekłamania

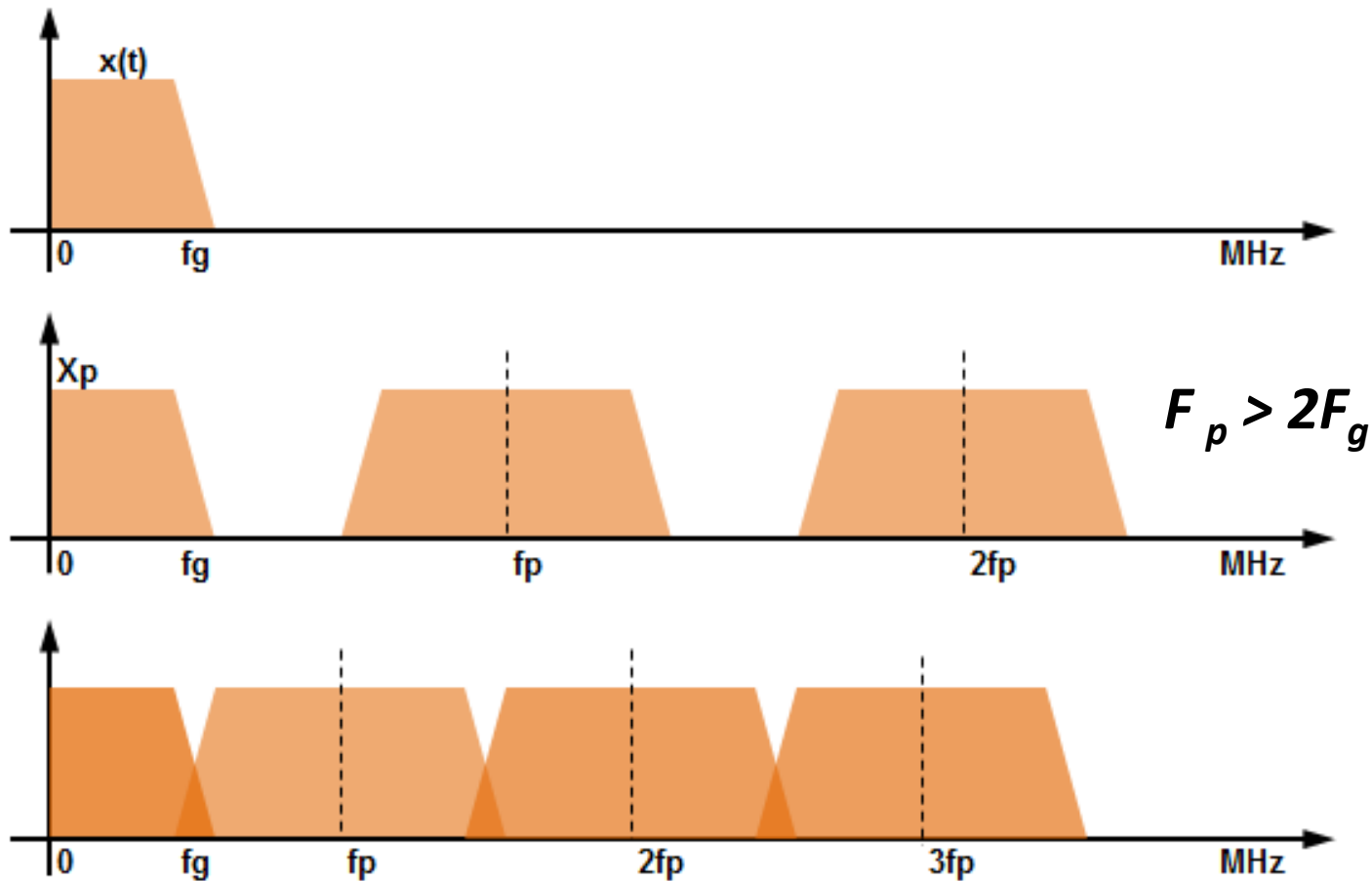
próbkiwanie, wybór częstotliwości próbkiwania



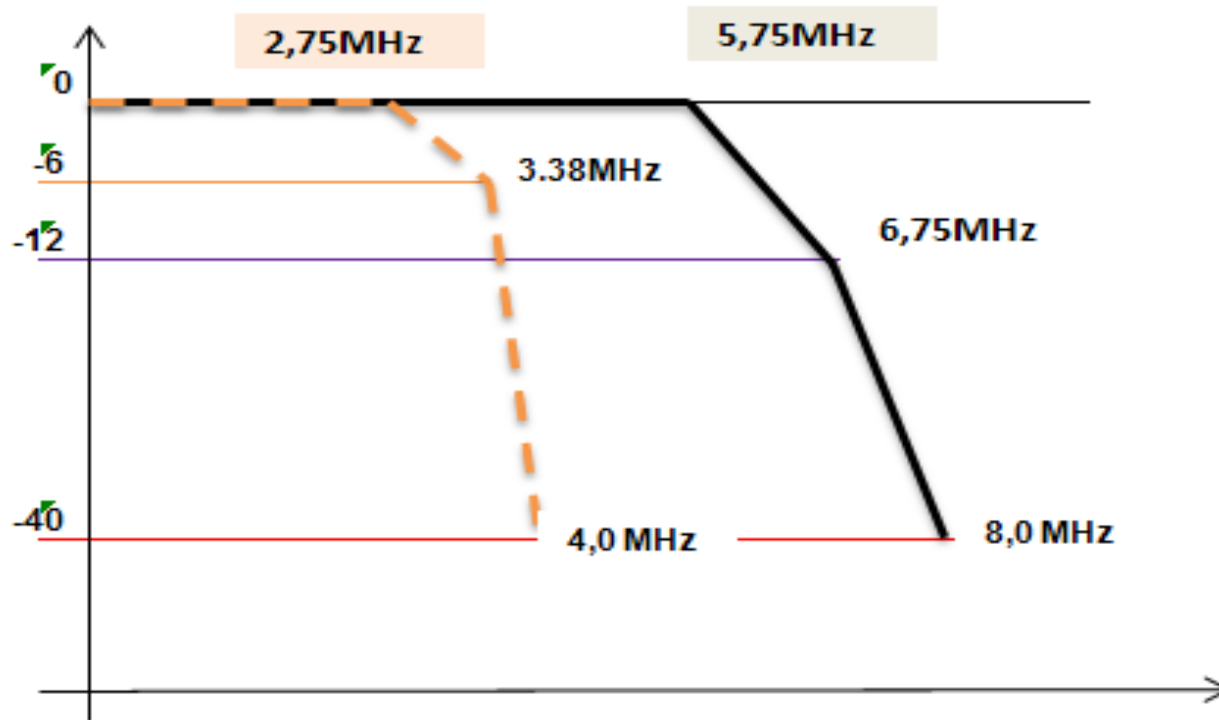
Przykładem małej częstotliwości próbkiwania jest:

Efekt migotania na ostrych przejściach tonalnych, takich jak poziome lub pionowe linie na marynarce prezentera, **koła samochodu** które wydają się obracać w przeciwną stronę do właściwego kierunku obrotu

próbkiwanie, wybór częstotliwości próbkowania



próbkowanie, wybór częstotliwości próbkowania



dla luminancji

$F_p > 11,5 \text{ MHz}$

dla różnicowych koloru

$F_p > 5,5 \text{ MHz}$

zakresie wyższych częstotliwości wzrok ludzki wykazuje mniejszą czułość na elementy składowych chrominancji niż luminancji.

Dzięki temu pasmo sygnałów chrominancji może być ograniczone za pomocą antyaliasingowych filtrów dolnoprzepustowych i próbkowane z **dwukrotnie mniejszą częstotliwością** w kierunku poziomym i pionowym. W rezultacie rozdzielczość składowych chrominancji jest czterokrotnie mniejsza niż rozdzielczość składowej luminancji.

SDI - sygnał luminancji

$$U_Y = 0,299U_R + 0,587U_G + 0,114U_B$$

pasmo U_Y wynosi **5,75MHz**

(w telewizji analogowej około 3MHz)

SDI – sygnały różnicowe

$$C_B = 0,56 (U_B - U_Y)$$

$$C_R = 0,71 (U_R - U_Y)$$

pasmo sygnałów różnicowych U_{R-Y} i U_{B-Y} wynosi **2,75 MHz**

(w telewizji analogowej około 1,3MHz)

Częstotliwość próbkowania zależy od standardu telewizji. Dla obrazów z systemów:

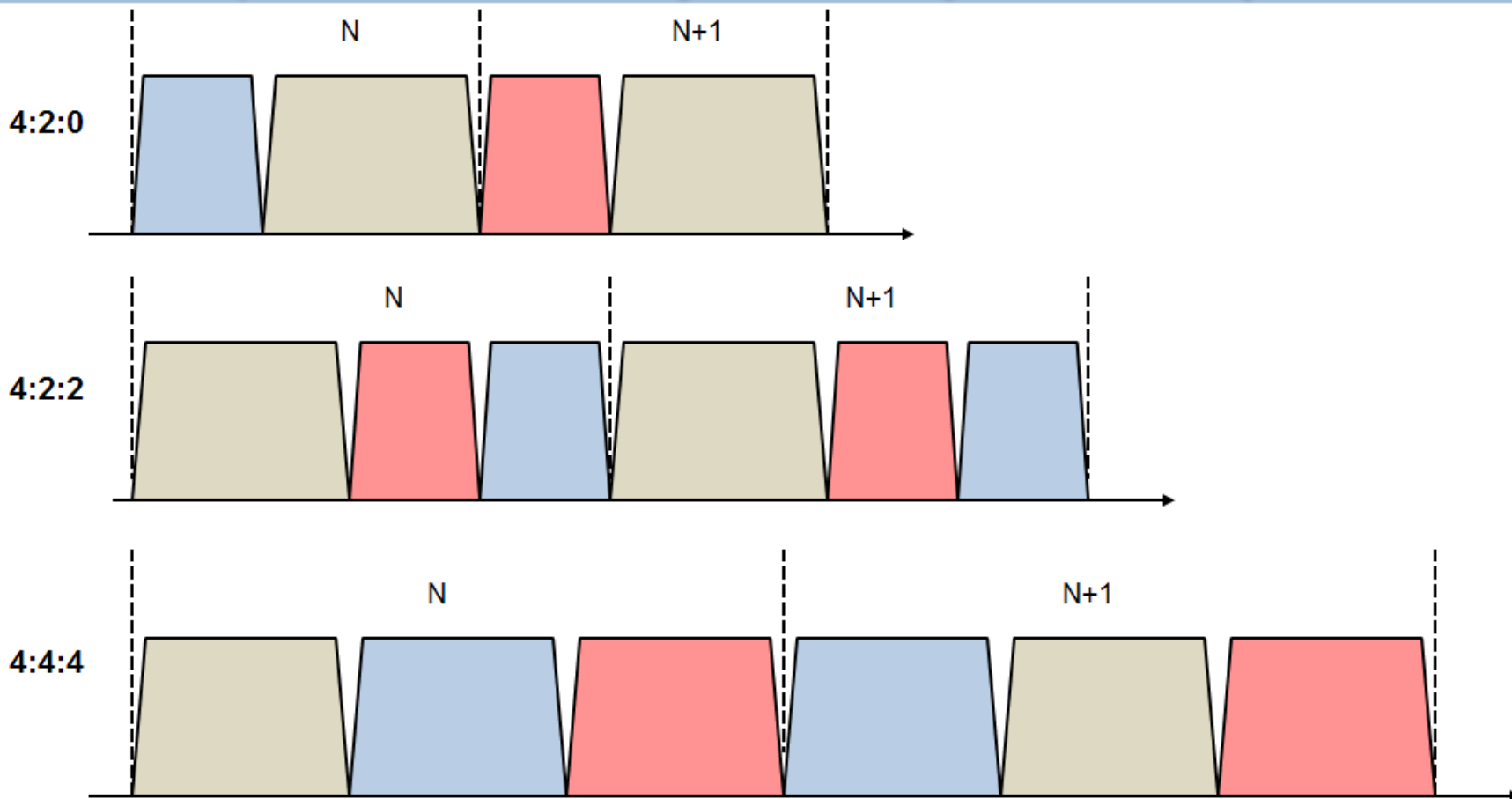
- PAL częstotliwość $f_H=15625$ Hz
- NTSC częstotliwość $f_H=15750$ Hz

dla **SDTV** częstotliwość próbkowania wynosi **13,5 MHz**

dla **HDTV** częstotliwość próbkowania wynosi **74,25 MHz**

Częstotliwość 13,5 MHz jest odpowiednio kolejną harmoniczną częstotliwości linii f_H dla obydwu systemów PAL i NTSC

próbkowanie składowych luminancji i chrominancji



Sposoby próbkowania sygnałów w telewizji DVB są zdefiniowane w tzw. Profilach

4-oznacza 13,5MHz

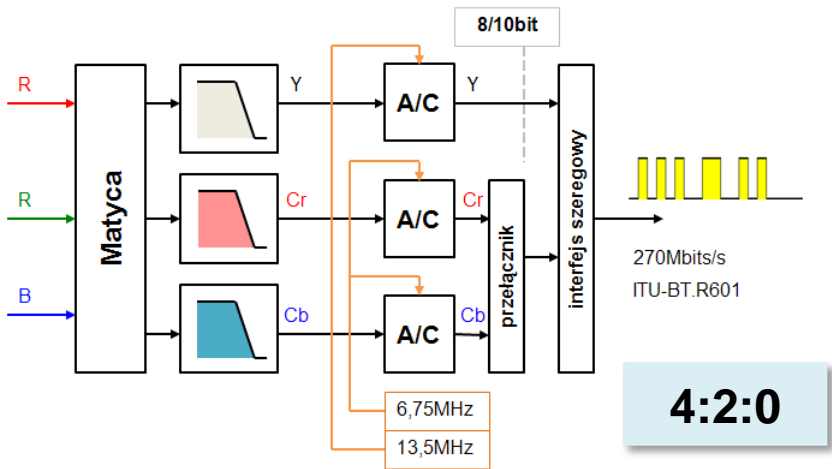
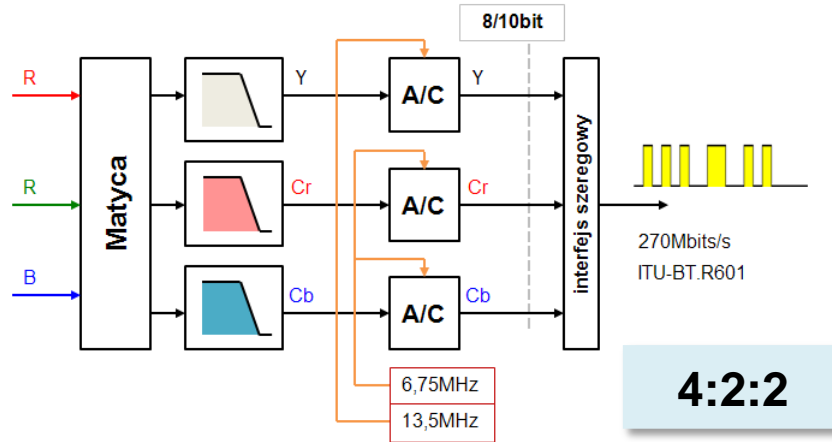
2-oznacza 6,75MHz

Luminancji jest odpowiednią harmoniczną częstotliwości linii w systemach 625/50 i 525/60.

Zapewnia to stałą ilość próbek 858 dla NTSC i 864 dla PAL

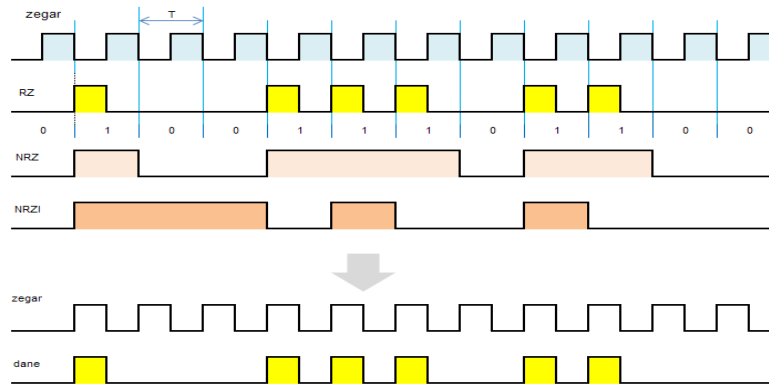
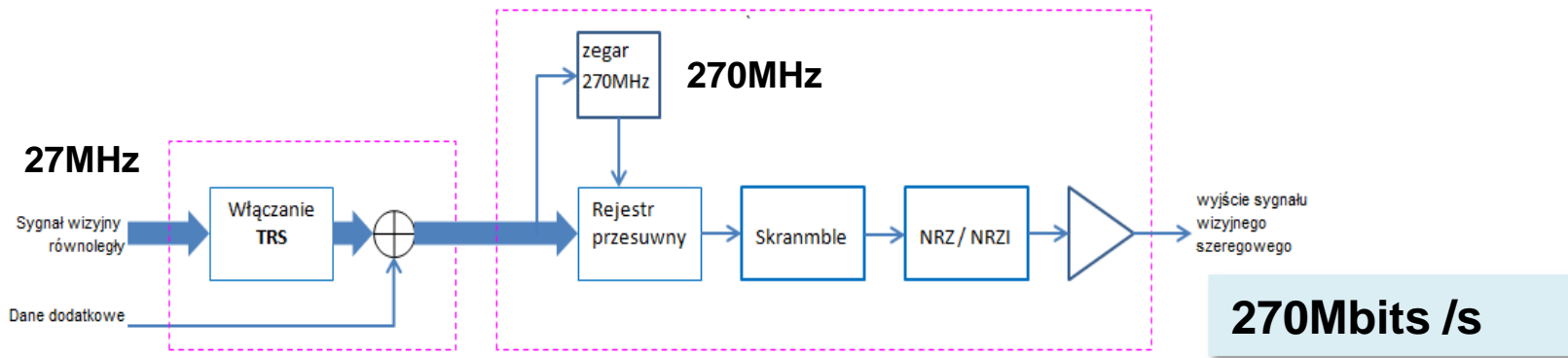
Dla obu systemów przyjęto 720 próbek na czynnej linii

próbkowanie składowych luminancji i chrominancji



*Częstotliwość próbkowania musi być zawsze stała, w przeciwnym wypadku współpracujące systemy nie będą „wiedzieć” w którym miejscu dana próbka dokładnie pasuje do obrazu.
Stąd też powstała konieczność standaryzacji.*

interfejs szeregowy



Równoległe dane muszą być poszeregowane i transmitowane z częstotliwością 10x większą od częstotliwości od częstotliwości transmisji w

interfejsie równoległym. $27\text{MHz} = 13,5 + 6,5 + 6,5$ dla 4:2:2

Szeregowy, cyfrowy sygnał wizyjny oprócz sygnałów Y , C_R , C_B zawiera multipleksowany sygnał kolejnych bitów danych.

Sygnału zegara nie przesyła się osobnym kablem, stąd „**Scrambled Code**”, czyli kod rozproszonych **0** i **1** co spowoduje, że nie występują dłuższe ciągi zer i jedynek i wydzielenie sygnału zegara po stronie odbiorczej jest prostsze.

NRZIZmiana poziomu daje logiczną **1**, natomiast **0** nie daje przejścia można wydzielić sygnał zegara na podstawie przejść w trakcie przesyłania danych

interfejs szeregowy

standard	Częstotliwość próbkowania MHz	liczba słów na sek Msł. /s	sygnał szereg. 8-bitowy Mb /s	sygnał szereg. 10-bitowy Mb /s
NTSC	14,3	14,3	111	143
PAL	17,7	17,7	141	177
4:2:2 CCIR 601	13,5	27	216	270
EDTV	18	36	288	360
HGTV (EU95)	72	144	1152	1440
HDTV (SMPTE 240)	74,25	148,5	1188	1485

720+360+360 =1440 próbek na linię

1440 x576 =829440 próbek na obraz 830kB

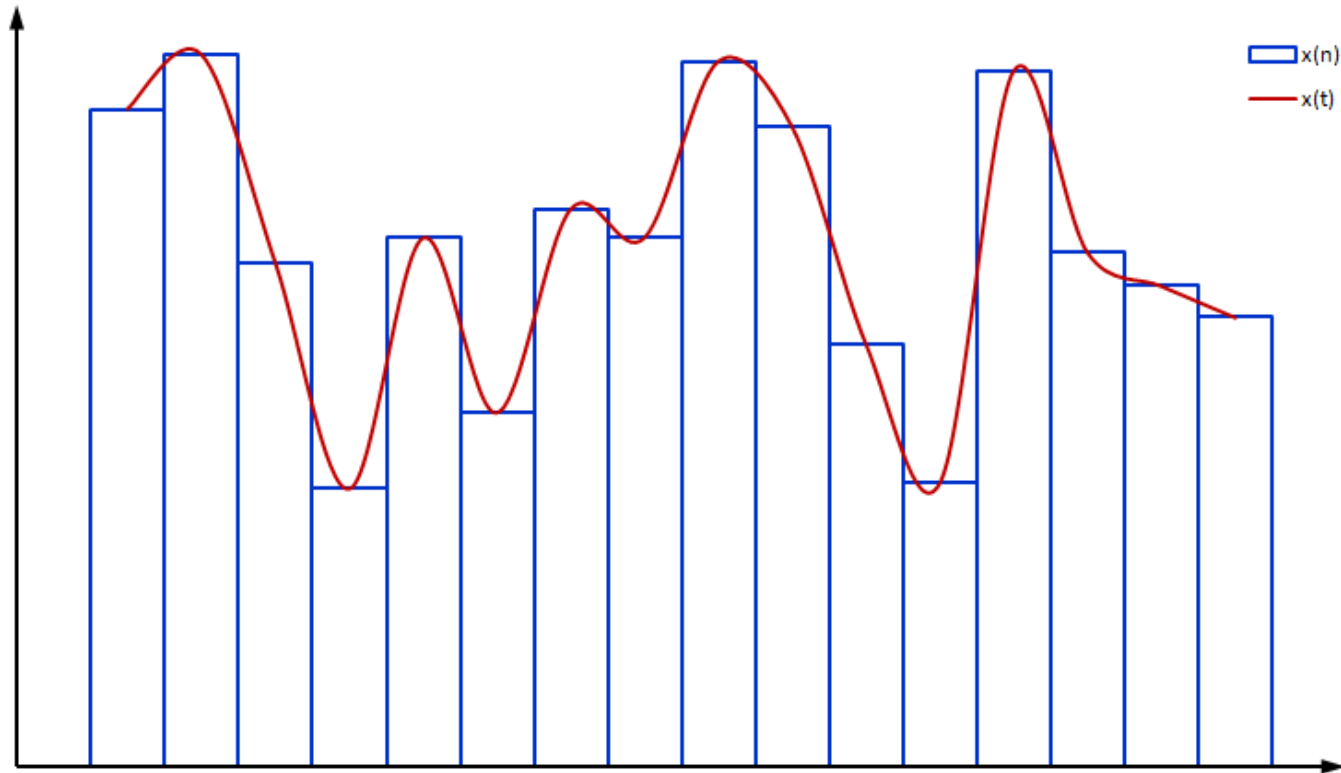
830 x25 =20750kB /s 21MB

*Próbkowany obraz 8-bitami (AC) jest opisywany 6635520bit lub **829440 8-bitowymi bajtami** jest zapisany jako **830kB**
Jeżeli używany kompresji np.: 5:1 to należy podzielić (pomnożyć) przez stopień kompresji*

Standard transmisji wideo ma wystarczająco dużo wolnego miejsca na dodanie minimum jednego cyfrowego kanału audio w postaci stereo lub dwóch sygnałów .

Max 8-audio stereo (16- mono) w czasie trwania wygaszania linii

kwantowanie



Przy **zgrubnej** kwantyzacji nie zostanie odtworzonych wielu szczegółów obrazu.

Kwantyzacja **zbyt dokładna** daje ogromną ilość danych

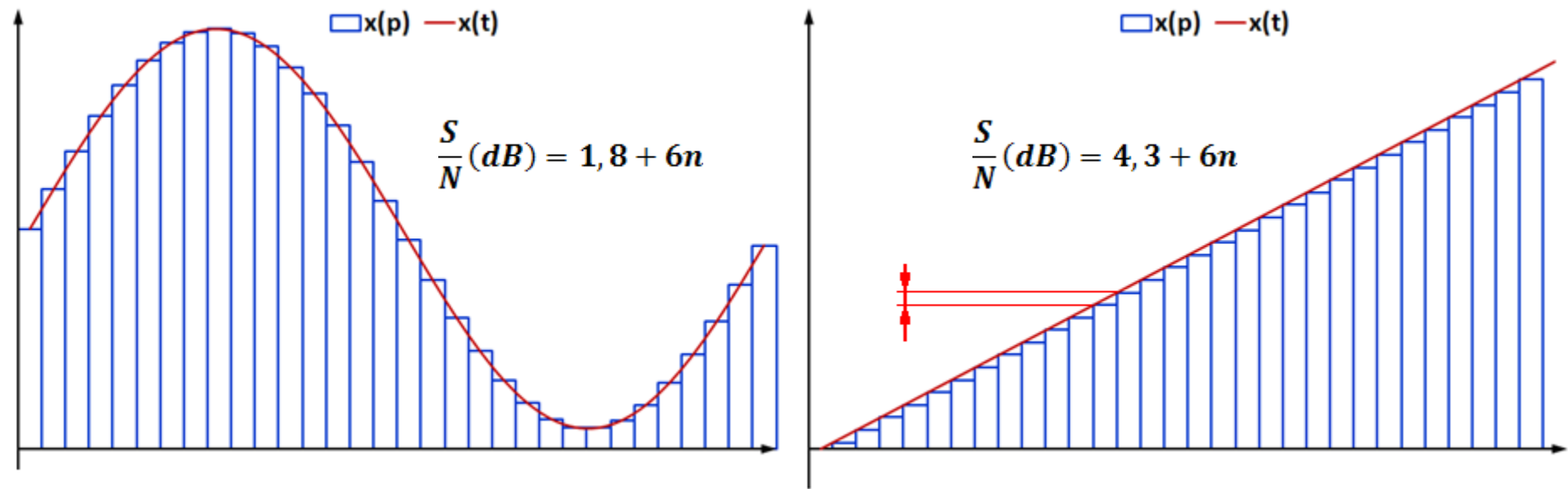
W wyniku skończonej ilości stopni amplitudy powoduje powstanie **błędu kwantyzacji**. Błąd ten musi być na tyle mały, aby nie był zauważalny przy oglądaniu obrazu. Dla sygnału video 0,7V oznacza to około 200 stopni kwantyzacji

Standard ITU-601 określa, –luminancja i chrominancja –mogą być próbkowane 8- bitami lub 10-bitami.

Standard ten uwzględnia maksymalnie dużo wspólnych cech systemów PAL i NTSC umożliwiając unormowane przejścia między nimi

Zdefiniowano też parametry dotyczące cyfrowego dźwięku. Określono na przykład, że częstotliwość próbkowania płyt CD powinna wynosić 44,1kHz, natomiast cyfrowe magnetowidy powinny próbować z częstotliwością 48kHz.

kwantowanie



$$\frac{S}{N} (dB) \cong 6n \quad n \dots \text{ilość bitów przetwornika AC}$$

moc szumu kwantyzacji nie zależy od poziomu przetwarzanego sygnału

*Różnica między sygnałem otrzymanym na wyjściu przetwornika C/A (po stronie odbiorczej) a sygnałem oryginalnym nosi nazwę **szumu kwantyzacji** i jest ona nieuchronnym skutkiem kwantyzacji*

Dla przebiegów wolnozmiennych szum kwantyzacji jest zbliżony do przebiegu stałego zaś dla przebiegu zmieniającego się liniowo będzie zbliżony do piłokształtnego

SDI - kodowanie sygnałów luminancji i różnicowych

8 bitów

256 poziomów w przedziale
0-255

10 bitów

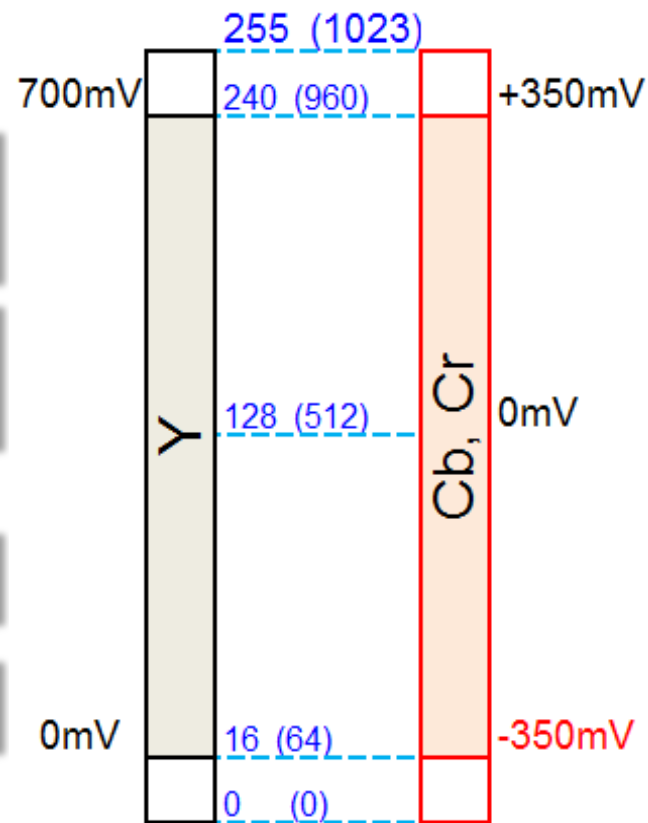
1024 poziomów w przedziale
0-1023

8 bitów

$700\text{mV} / 256 = 2,73 \text{ mV}$

10 bitów

$700\text{mV} / 1024 = 0,683\text{mV}$



parametry kodowania zawarte w CCIR 601

dla sytemu **PAL**:

$$864 \times 15625\text{Hz} = 13,5\text{MHz}$$

dla sytemu **NTSC**:

$$858 \times 15734\text{Hz} = 13,5\text{MHz}$$

$$6 \times 2,25\text{MHz} = 13,5 \text{ MHz}$$

$$3 \times 2,25\text{MHz} = 13,5 \text{ MHz}$$

$$144 \times F_H = 2,25\text{MHz} \quad \text{PAL}$$

$$143 \times F_h = 2,25\text{MHz} \quad \text{NTSC}$$

parametryz	NTSC	PAL
	525/60Hz	625/50Hz
kodowane sygnały Y, Cr, Cb	uzyskiwane z sygnałów RGB	
ilość próbek na całej linii		
sygnał luminancji	858	864
różnicowe koloru Cb i Cr	429	432
próbkowanie:		
luminancja	13,5MHz	13,5MHz
różnicowe koloru	6,75MHz	6,75MHz
ilość próbek na DAL		
sygnał Y	720	720
sygnał Cb i Cr	360	360
poziom kwantyzacji wideo		
skala	0...225	
sygnał Y	220 poziomów kwantyzacji	
	16 -poziom czerni 235 - poziom bieli	
sygnały różnicowe koloru	225 poziomów kwantyzacji z zerem odpowiadającym wartości 128	
zastosowanie słów kodowych		
poziomy 0 i 255		tylko do synchronizacji
poziomy 1 do 254		są dostępne dla sygnałów wideo

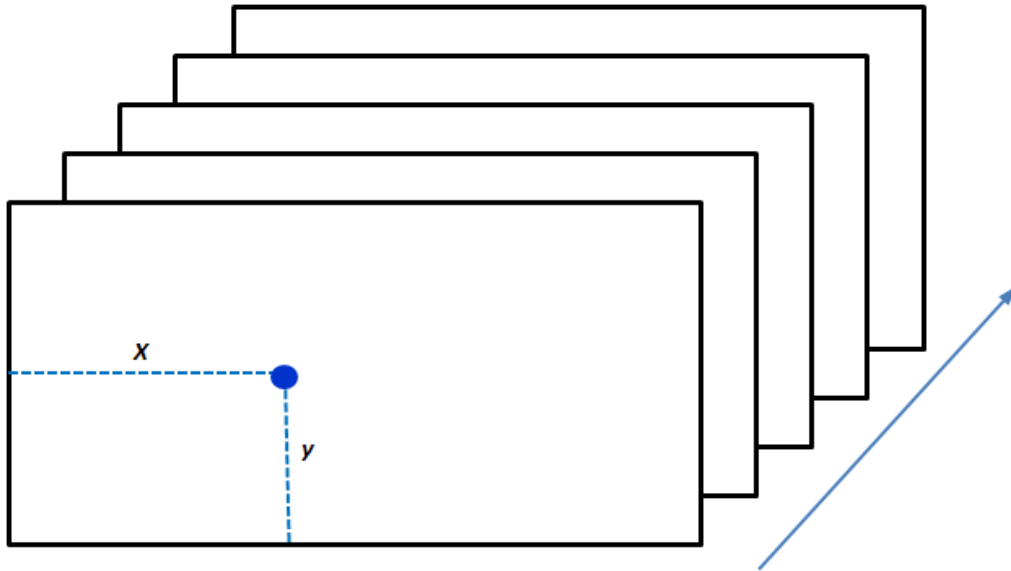
MPEG 1 oraz **MPEG 2** – norma odpowiednio :
ISO/IEC 11172-1:1993, 14496:1998

MPEG 4 – norma IO/IEC 14496:1998

MPEG 7 – norma IO/IEC 15938:2002

MPEG 21 – norma IO/IEC TR 21000:2007

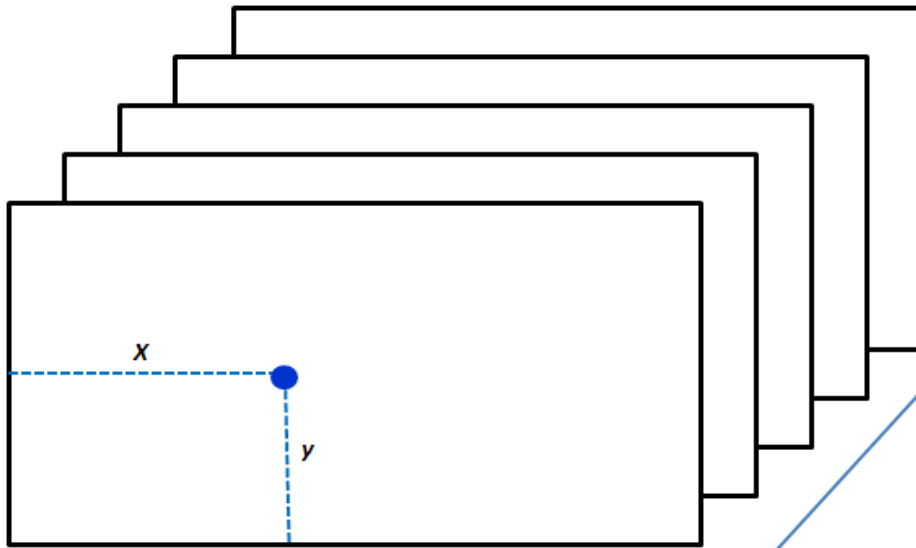
*W **MPEG-2** stosowana jest stratna metoda kompresji wizji, tzn. sygnał po dekompresji różni się od pierwotnego ale różnica jest niedostrzegalna okiem ludzkim (przy prawidłowo wybranych parametrach).*



22s na płycie CD

ilość miejsca zajmowanego w ciągu 1 sekundy (PAL)

- **25 obrazów** na sekundę
- **24bity** ...ilość wyświetlanych kolorów
- **3bajty** ...każdy punkt obrazu
- **1 klatka** $= (704 \times 576 \times 24) / 8 = 1\ 216\ 512 \approx 1,2\text{MBajt}$



- **trójwymiarowy zbiór elementów**
 - dwa wymiary związane z obrazem
 - jeden stanowi funkcję czasu

- kompresja opiera się na **szacowaniu ruchu**
- kompresja stratna
- **wykorzystanie podobieństwa** znajdujących się obok siebie ramek
- **rejestracja obrazu podstawowego** a następnie tylko te elementy, które odróżniają od niego następne obrazy

Informacja nadmiarowa

część informacji, która już była wcześniej wysłana i powtarza się w obrazie lub w następujących po sobie obrazach. Mamy tu do czynienia z redundancją zarówno przestrzenną (sąsiednie piksele) jak i czasową (sąsiednie obrazy).

Element niezauważalny

część informacji, którą oko ludzkie nie rejestruje ze względu na określoną zdolność rozróżniania szczegółów w widzianych obrazach (określona rozdzielczość) jak również ograniczoną zdolność śledzenia ruchu. Błędy na obszarach obrazu o dużej liczbie szczegółów oraz na elementach ruchomych są mniej zauważalne

Element podstawowy

podstawowa informacji wizyjnej. Element który nie jest ani redundancyjny, ani niezauważalny, bez którego informacja ta będzie zniekształcona lub niezrozumiała.

*Zadaniem kompresji jest zredukowanie w cyfrowym sygnale wizyjnym dwóch części: **redundancyjnej** i **niezauważalnej***

Kompresja bezstratna

Kompresja stratna

- o zmiennej przepływności (VBR)

- o stałej przepływności (CBR)

Kompresja bezstratna - ta zapewnia stałą jakość obrazu.

wymaga na dużą moc obliczeniową urządzeń do przeliczania algorytmu kompresji i zapotrzebowanie na dużą pamięć i duże wymagania przy transferze sygnału w czasie rzeczywistym

Kompresja stratna - Kompresja ze stałą szybkością strumienia jest najczęściej stosowana w technice telewizyjnej. Stały strumień jest wygodny przy transmisji sygnału w czasie rzeczywistym w systemach ze stałym pasmem jak i niezbędny przy zapisie na cyfrowych magnetowidach taśmowych.

Kompresja ze stałą szybkością bitową zawsze będzie jednak wpływała na utratę pewnej części zasadniczej informacji wizyjnej, co wiąże się z degradacją jakości obrazu zależną od zawartości sceny.

Im wyższy stopień kompresji tym nieunikniona jest częściowa utrata istotnych informacji.

Korelacja przestrzenna (wewnątrz obrazowa)

- Dyskretna Transformata Kosinusowa (DCT)
- ZIGZAG – zmienna długość kodowania
- Kodowanie Huffmana

Korelacja czasowa (szacowanie ruchu)

ramka typu I – kodowane w całości

ramka typu P – jednokierunkowa kompensacja ruchu

ramka typu B –dwukierunkowa kompensacja ruchu

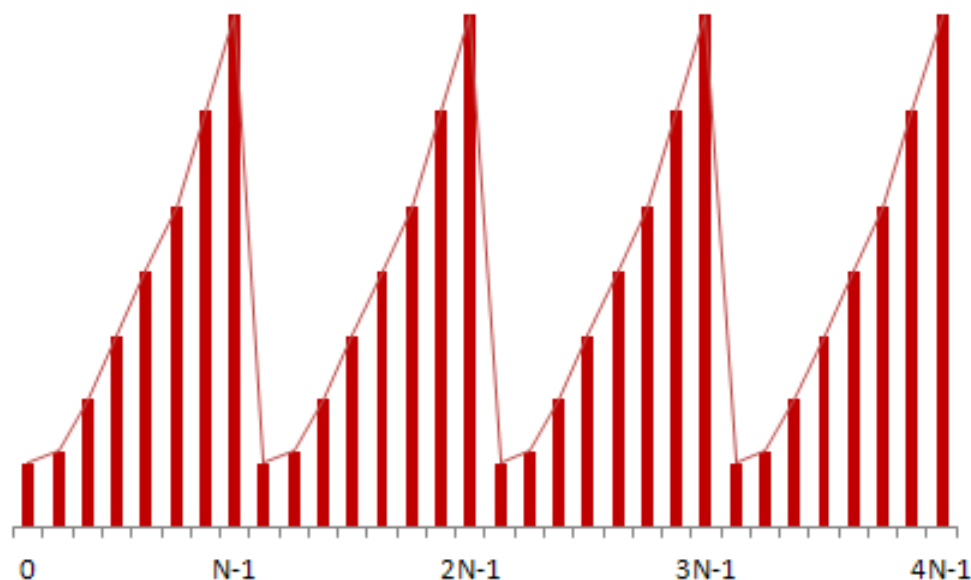
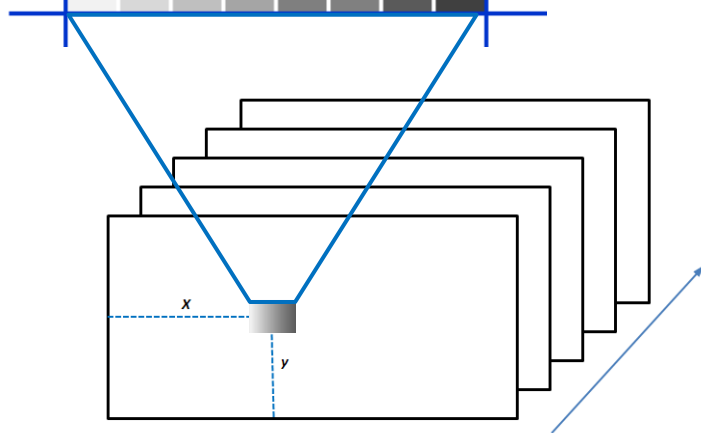
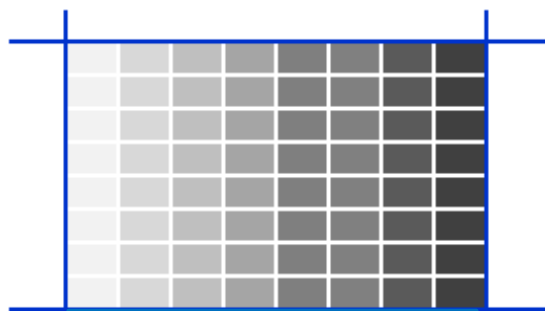
korelację przestrzenną (wewnątrz-obrazowa) – w większości obrazów występują jednolite lub nieznacznie tylko różniące się fragmenty, dzięki zastosowaniu dyskretnej transformaty kosinusowej DCT obszary takie mogą być efektywnie zakodowane;

*Najmniejszy stopień kompresji zapewniają **obrazy typu I***

***typu P** zapewniają większy stopień kompresji, przy ich kodowaniu powstają jednak pewne zniekształcenia spowodowane skończoną dokładnością obliczeń, które kumulują się i dlatego liczba kolejno następujących po sobie obrazów typu **P** nie może być zbyt duża.*

***największy stopień kompresji zapewniają obrazy typu B.** W tym przypadku także występują wspomniane wcześniej zniekształcenia, a ponadto przy transmisji obrazów tego typu musi zostać zmieniona kolejność nadawania obrazów - najpierw muszą być wysłane oba obrazy odniesienia, a dopiero potem obraz typu **B**. Wymaga to wyposażenia dekodera w odpowiednio dużą pamięć.*

kodowanie obrazu 8x8



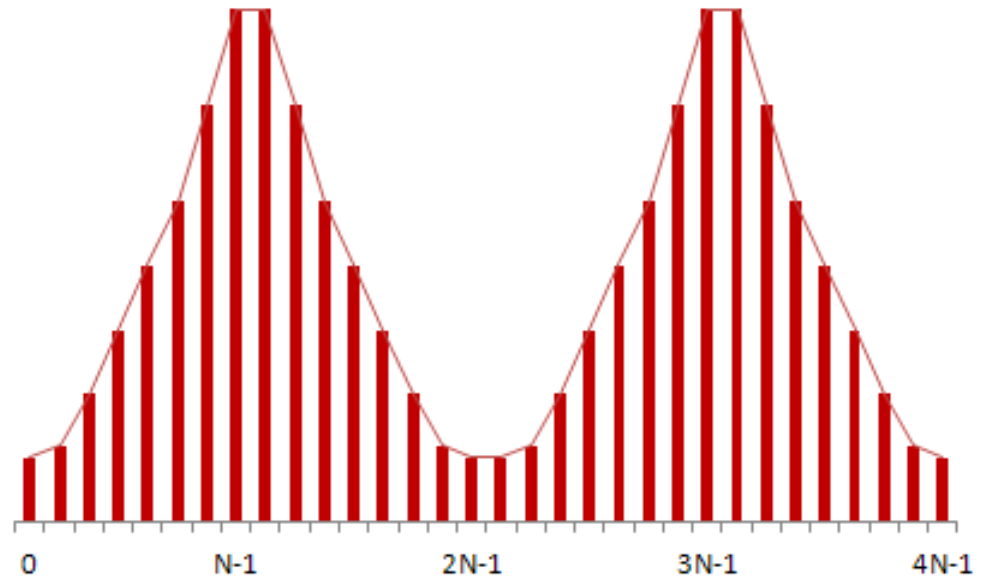
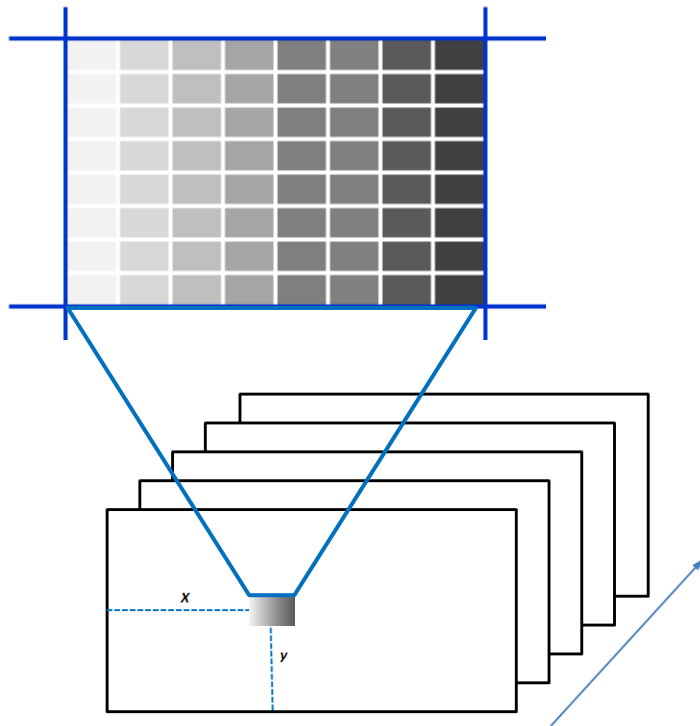
wartości sygnału na obu końcach okresu są zazwyczaj różne, sygnał na końcu zmienia się skokowo. **Takie skoki** -znacznych wartości próbek widma odpowiadającym dużym częstotliwościom. Wartości takich próbek są **niekorzystne w kompresji**

Pominięcie próbek widma o znacznych wartościach prowadzi nieuchronnie obłądów rekonstrukcji sygnału

lepiej budować sygnał okresowy w inny sposób

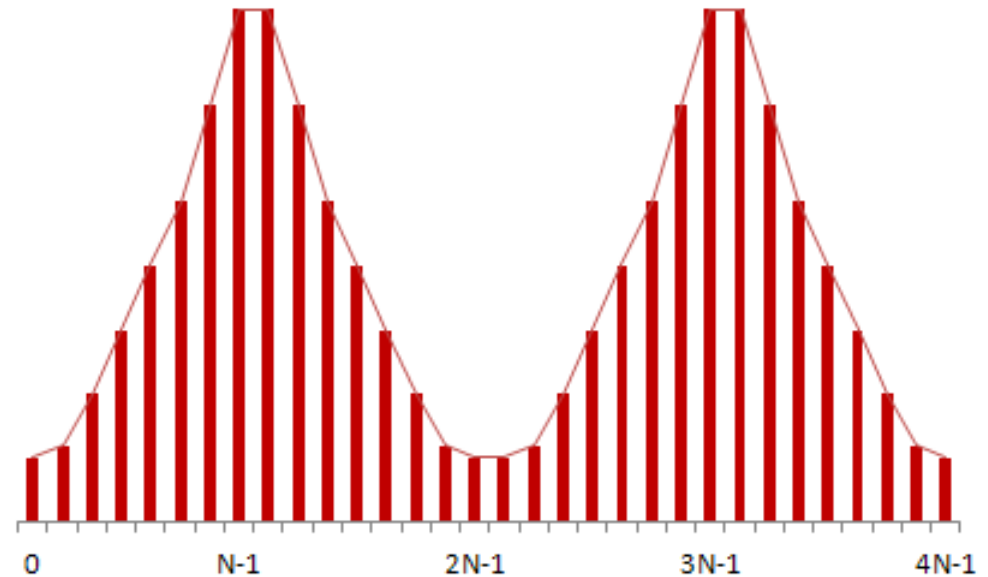
tak aby wartości próbek widma o dużych częstotliwościach były możliwe małe

kodowanie obrazu 8x8



sygnale okresowym $x(n)$ budowanym w sposób dotychczas odwróćmy co drugi okres **nowy sygnał** ma okres składający się z $2N$ próbek.

kodowanie obrazu 8x8



Dyskretna Transformata Fourier : $0 \leq k, n \leq (2N-1)$

Wykorzystując właściwości symetrii sygnału $y(n)$ otrzymujemy

$$U(k) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{n=0}^{2N-1} y(n) \cdot \exp\left(\frac{-j2\pi nk}{2N}\right)$$

Dyskretna Transformata Kosinusowa - DCT

$$U(k) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \exp\left(\frac{+j\pi k}{2N}\right) \cdot 2 \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cdot \cos\left(\frac{\pi(2n+1)k}{2N}\right)$$

$\exp\left(\frac{+j\pi k}{2N}\right)$ reprezentuje tu tylko widmo fazowe zależne od częstotliwości wyrażone indeksem k i odpowiada przesunięciu próbek $y(n)$ o $\frac{1}{2}$ okresu próbkowania. Wykorzystując właściwości symetrii sygnału $u(n)$ otrzymujemy:

$$U(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot C(k) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cdot \cos\left(\frac{\pi(2n+1)k}{2N}\right) \quad k = 0, \dots, N-1$$

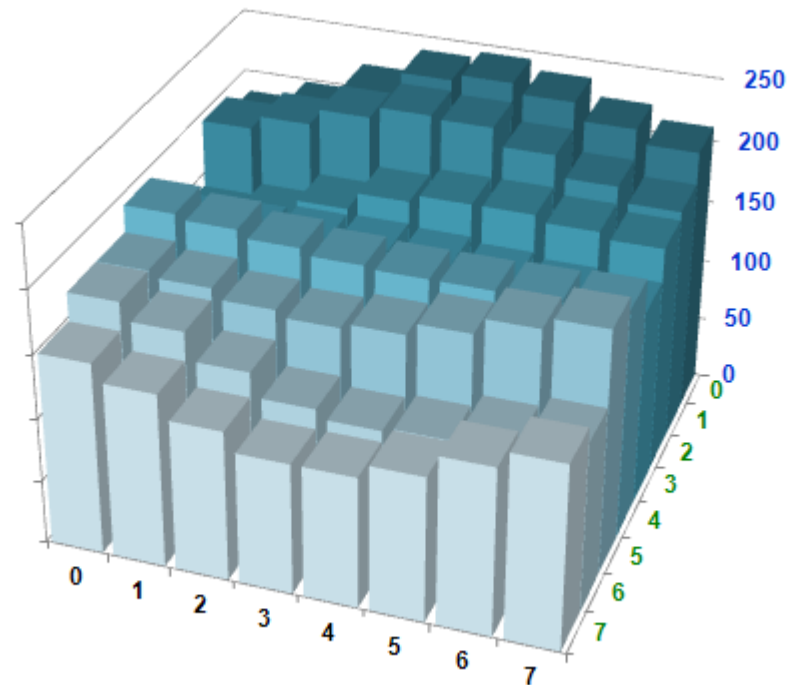
$$C(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{dla } k = 0 \quad \text{oraz } C(k) = 1 \quad \text{dla } k \neq 0$$

DCT -podobnie jak dyskretna przekształcenia Fouriera ciągłowi próbek sygnału w czasie przyporządkowuje ciąg N próbek widma

Transformata kosinusowa jest przekształceniem odwracalnym i z jej współczynników można odtworzyć pierwotny blok
Współczynniki transformaty kosinusowej zawierają informację o tym jak szybko zmieniają się wartości próbek w przetwarzanym bloku 8x8

przykładowy blok próbek sygnału wizji

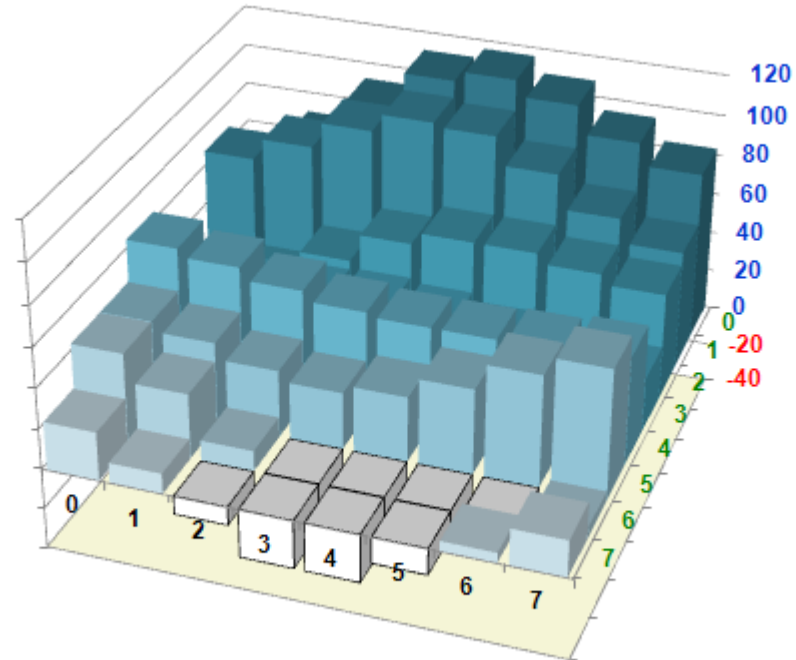
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	183	198	220	239	244	236	222	211
1	198	209	222	231	229	215	198	186
2	144	154	170	184	190	190	185	180
3	162	164	166	167	165	161	157	154
4	195	191	185	180	178	178	179	181
5	174	169	161	156	160	170	183	192
6	174	160	138	119	112	115	125	133
7	152	138	119	104	104	115	133	146



Charakterystyka czasowa

przykładowy blok próbek sygnału wizji

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	55	70	92	111	116	108	94	83
1	70	81	94	103	101	87	70	58
2	16	26	42	56	62	62	57	52
3	34	36	38	39	37	33	29	26
4	67	63	57	52	50	50	51	53
5	46	41	33	28	32	42	55	64
6	46	32	10	-9	-16	-13	-3	5
7	24	10	-9	-24	-24	-13	5	18



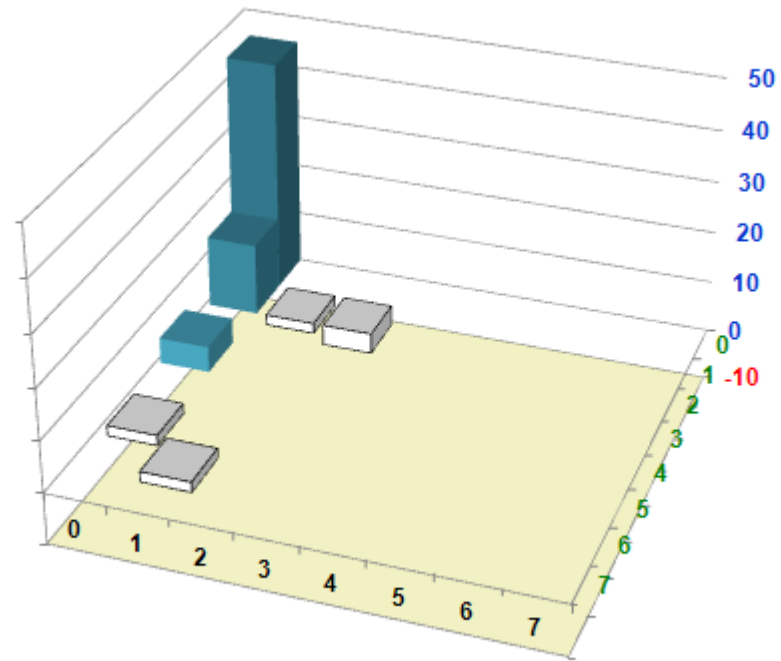
Charakterystyka czasowa

Po przeniesieniu próbek w zakres -128, 0, +128 (przez odjęcie wartości 128)

korelacja przestrzenna (podwójna transformata 2DCT)

tablica po zastosowaniu 2D DCT

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	45	0	0	0	0	0	0	0
1	14	-2	-4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-2	0	0	0	0	0	0	0
6	0	-2	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0



charakterystyka widmowa

Transformacja kosinusowa:

Najpierw kolejno dla każdego wiersza i później dla każdej kolumny (podwójna transformata kosinusowa **2D DCT**).

Otrzymuje się tablicę zawierającą **8x8** próbek DCT. Próbkę transformaty są nazywane współczynnikami DCT.

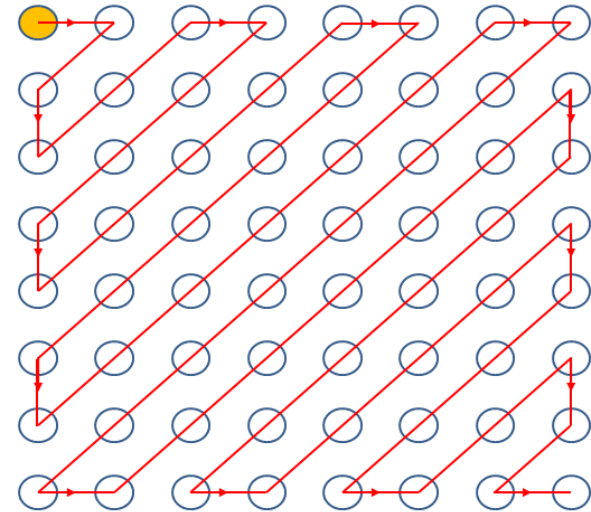
Współczynnik **U(0,0)** nazywa się **współczynnikiem DC**. Pozostałe 63 współczynniki nazywają się **współczynnikiem AC**

Obliczanie DCT jest w gruncie rzeczy wyznaczeniem **widma dla każdego bloku**. Pominięcie próbek widma odpowiadających dużym częstotliwościom przestrzennym skutkuje dla większości obrazu tylko umiarkowanym zakłóceniem obrazu. Wiemy, z której części bloku można usunąć próbki powodując stosunkowo małą degradację obrazu.

Największa wartość widma obrazu przyjmuje dla częstotliwości **(0,0)**. Współczynniki niskoczęstotliwościowe DCT powinny być kwantowane dokładniej

Korelacja przestrzenna (wybieranie ZIG-ZAG)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	45	0	0	0	0	0	0	0
1	14	-2	-4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-2	0	0	0	0	0	0	0
6	0	-2	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0



kod RLC

< długość, wartość >

DC=45

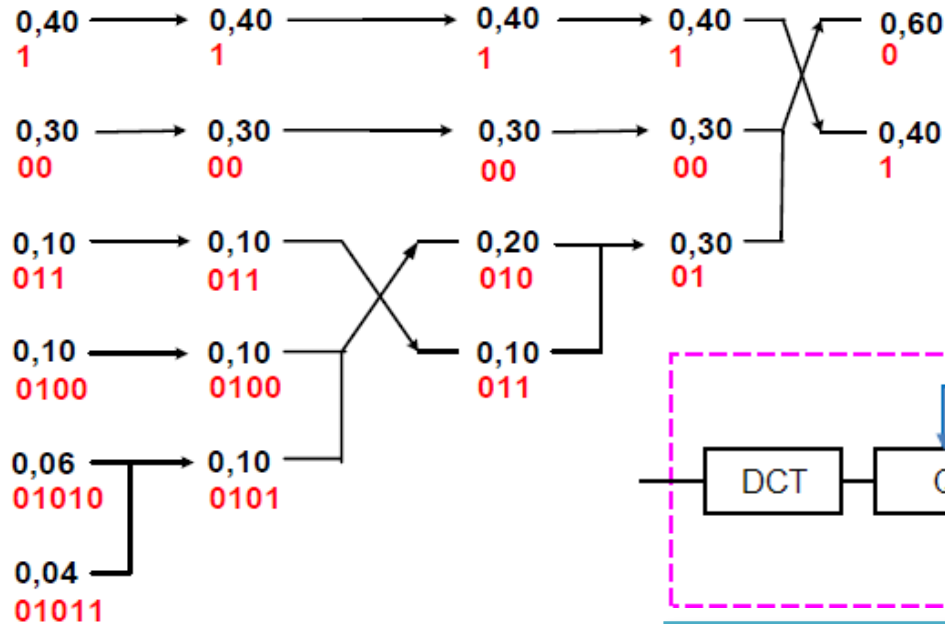
AC=(1,14), (1,-2), (2,-4), (1,5), (10,-2), (13,-2), (0,0)

Taki sposób wybierania powoduje powstanie ciągów liczb, w których znajdują się długie sekwencje kolejno po sobie następujących zer.

kodu RLC (Run Length Coding), tzn. w postaci symboli

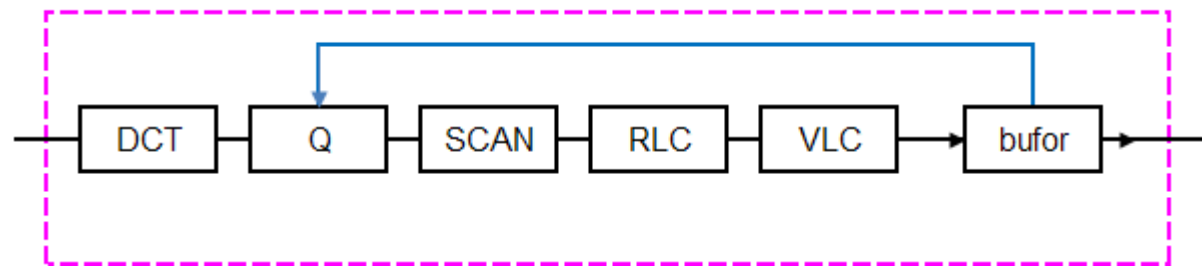
pary liczb - liczba zer bezpośrednio poprzedzającą wartość niezerową, wartość niezerowa

korelacja przestrzenna (kodowanie VLC)



(np: Huffmana)

koder ramki typu I



współczynnik redukcji może osiągnąć wartość 130

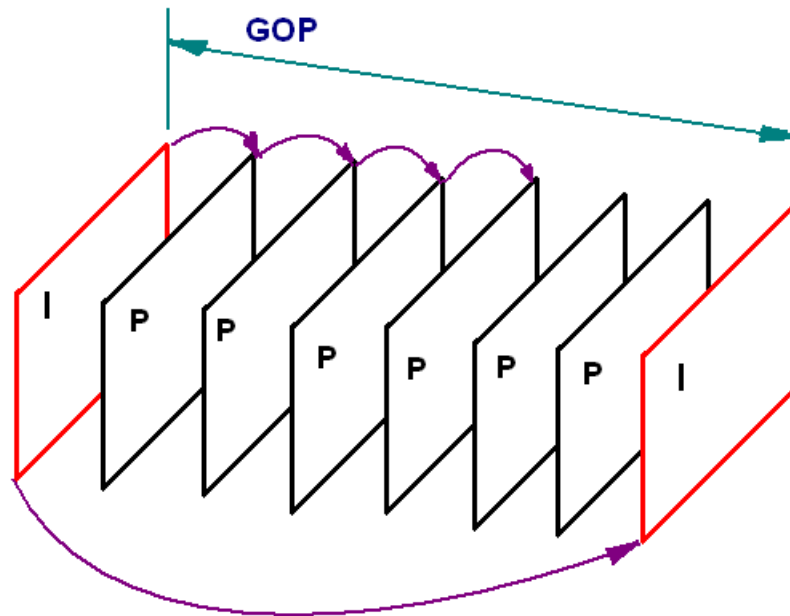
VLC - Variable Length Coding

częściej pojawiające się symbole – krótsze słowa
rzadziej pojawiające się symbole – dłuższe słowa

strumień danych po kompresji nie będzie stały i będzie się zmieniał w zależności od zawartości aktualnie przetwarzanego bloku. Ponieważ jednak w większości systemów transmisyjnych szybkość bitowa musi być stała, na wyjściu kodera znajduje się bufor, a cały koder objęty jest pętlą sprzężenia zwrotnego. Jeśli bufor zaczyna się przepełniać to wysyłany jest odpowiedni sygnał do bloku kwantyzacji, który powoduje, że współczynniki transformaty kodowane są mniej dokładnie. W odwrotnym przypadku, gdy w buforze zaczyna brakować danych do wysłania zwiększana jest dokładność kwantyzacji współczynników.

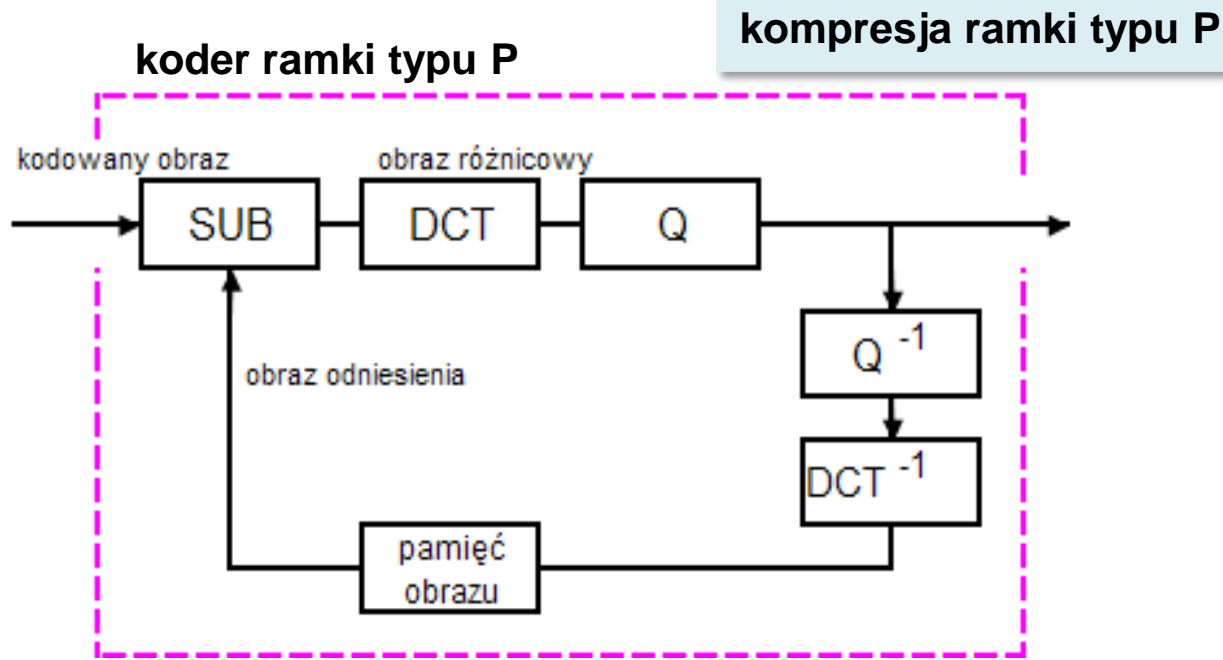
Stałe kontrolowanie stanu zapelnienia bufora pozwala na utrzymanie stałej szybkości bitowej strumienia danych na wyjściu kodera

kompresja obrazów typu P



kodowana jest różnica pomiędzy bieżącym obrazem a obrazem odniesienia

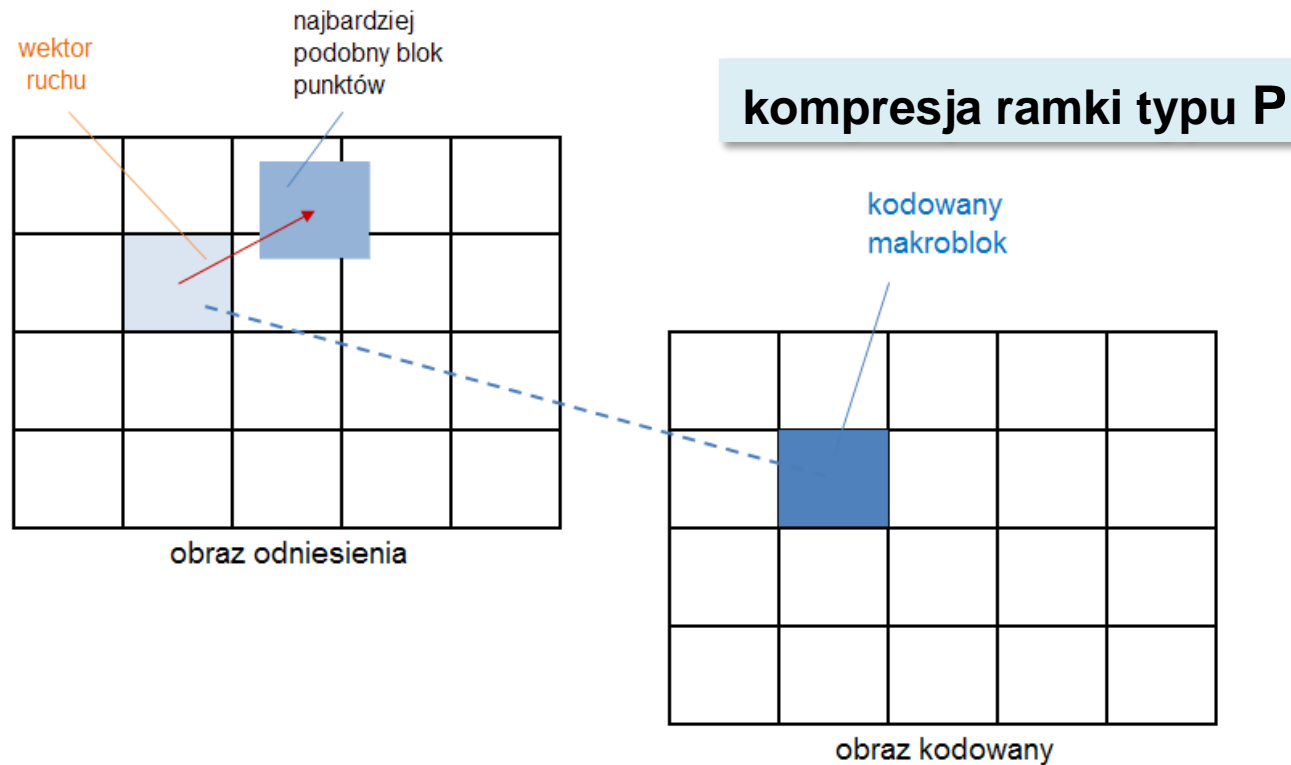
Group of Pictores kodowaniu obrazów typu *P* korzysta się z podobieństwa obrazów w sekwencji
koduje się nie poszczególne obrazy ale **różnice pomiędzy kolejnymi obrazami**



kodowana jest różnica pomiędzy bieżącym obrazem a obrazem odniesienia

Kodowaniu obrazów typu P korzysta się z podobieństwa obrazów w sekwencji. **Koduje się** nie poszczególne obrazy ale **różnice pomiędzy kolejnymi obrazami**. Jest to **kompresja stratna** więc transmitowana informacja różni się od wyniku odejmowania kolejnych obrazów. Ta różnica mogłaby spowodować rozbieżności pomiędzy procesami kodowania i dekodowania obrazów. Żeby tego uniknąć w koderze odtwarza się poprzez odwrotną transformatę kosinusową i odwrotną kwantyzację dokładnie taki sam obraz jaki powstanie w dekoderze. Obraz ten nazywany jest **obrazem odniesienia**. Przedstawiony powyżej schemat kodowania jest skuteczny, jeśli kolejne obrazy w sekwencji niewiele różnią się od siebie, a więc gdy transmitowana scena jest prawie statyczna.

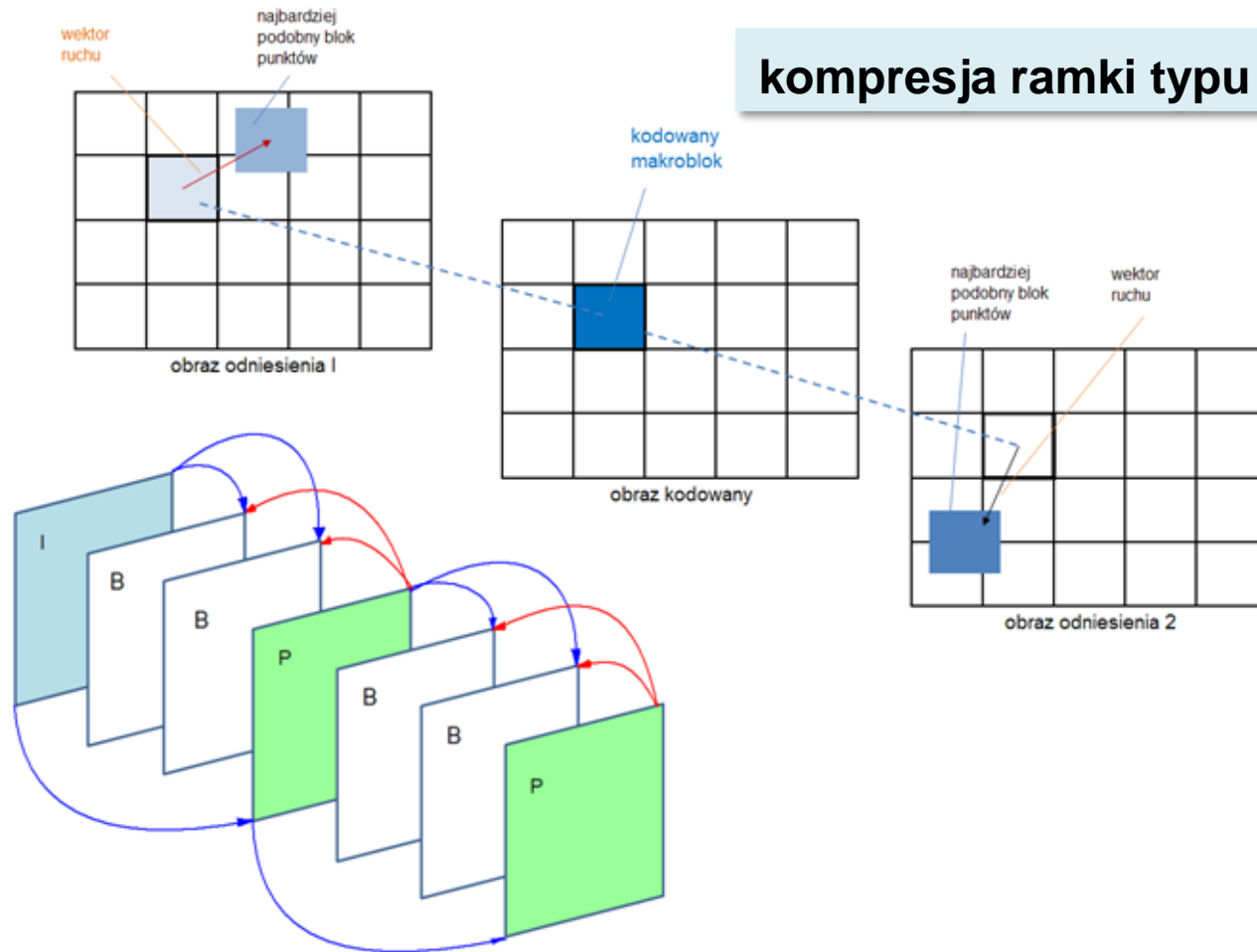
Jeśli jednak występują w niej ruchome elementy, to metoda kompresji oparta na kodowaniu różnic, pomiędzy tymi obrazami przestaje być efektywna.



Aby zwiększyć stopień kompresji na podstawie porównania kolejnych obrazów wyznaczana jest informacja o tym jakie fragmenty obrazu, jak szybko i w jakim kierunku się przemieszczają. Oba obrazy dzielone są na makro-bloki (16x16). Dla każdego **makro-bloku w bieżącym** obrazie znajduje się najbardziej podobny do niego makro-blok w obrazie odniesienia. Względne przesunięcia dopasowanych bloków -**wektory ruchu** -opisują ruch obiektów w przekazywanej scenie. **Na podstawie wektorów ruchu** modyfikowany jest obraz odniesienia - tworzona jest prognoza (predykcja) kolejnego obrazu z makro-bloków obrazu odniesienia przesuniętych zgodnie z wyznaczonymi wektorami ruchu-

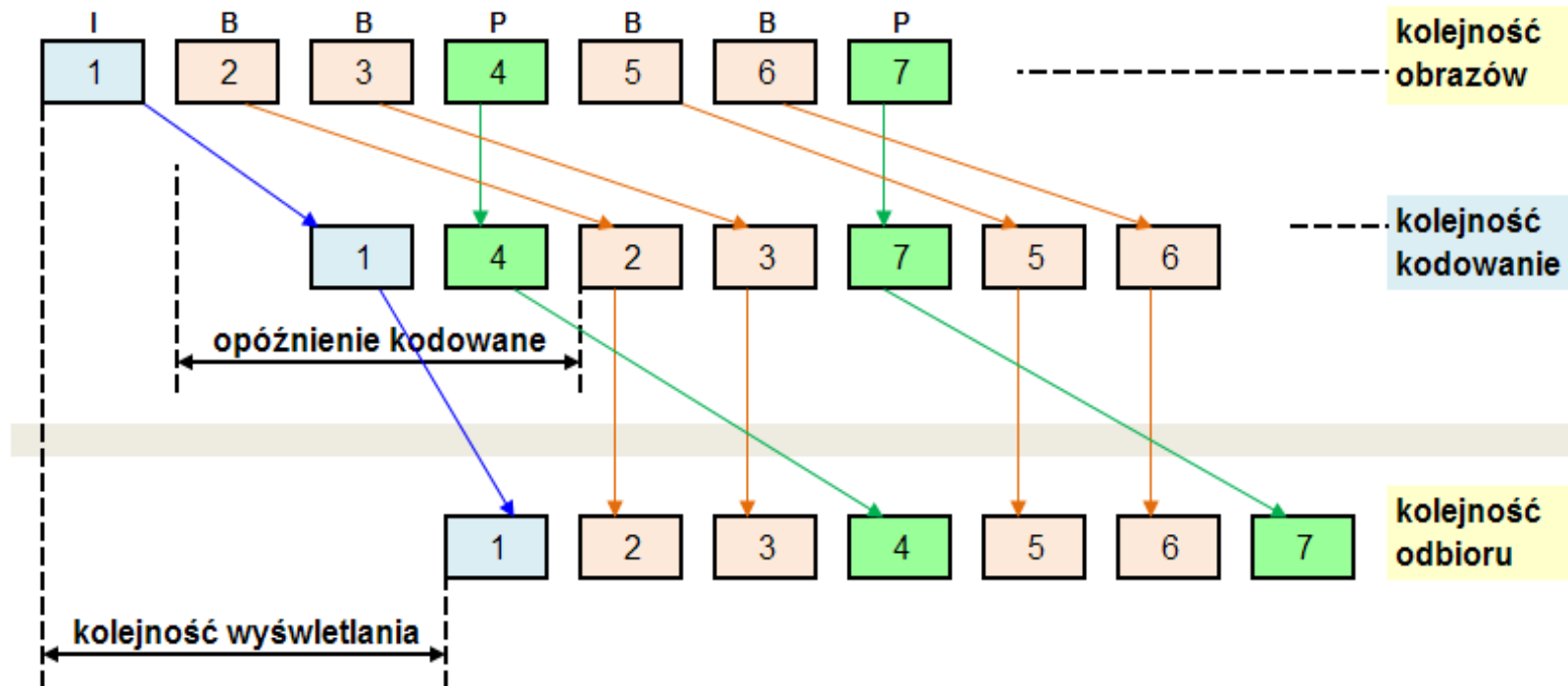
Informacja o obrazie typu P składa się więc z dwóch części: **wektorów ruchu** oraz informacji o **różnicy** pomiędzy **kodowanym obrazem i prognoza** tego obrazu wyznaczoną na podstawie obrazu odniesienia i wektorów ruchu. Informacje o różnicach poddaje się transformacji DCT - analogicznie jak próbki obrazu I

kompresja ramki typu B



w **MPEG** o wyborze opcji algorytmu decyduje blok sterujący kodera, jedną z możliwości jest jednorazowe kodowanie bloku 7-ramek

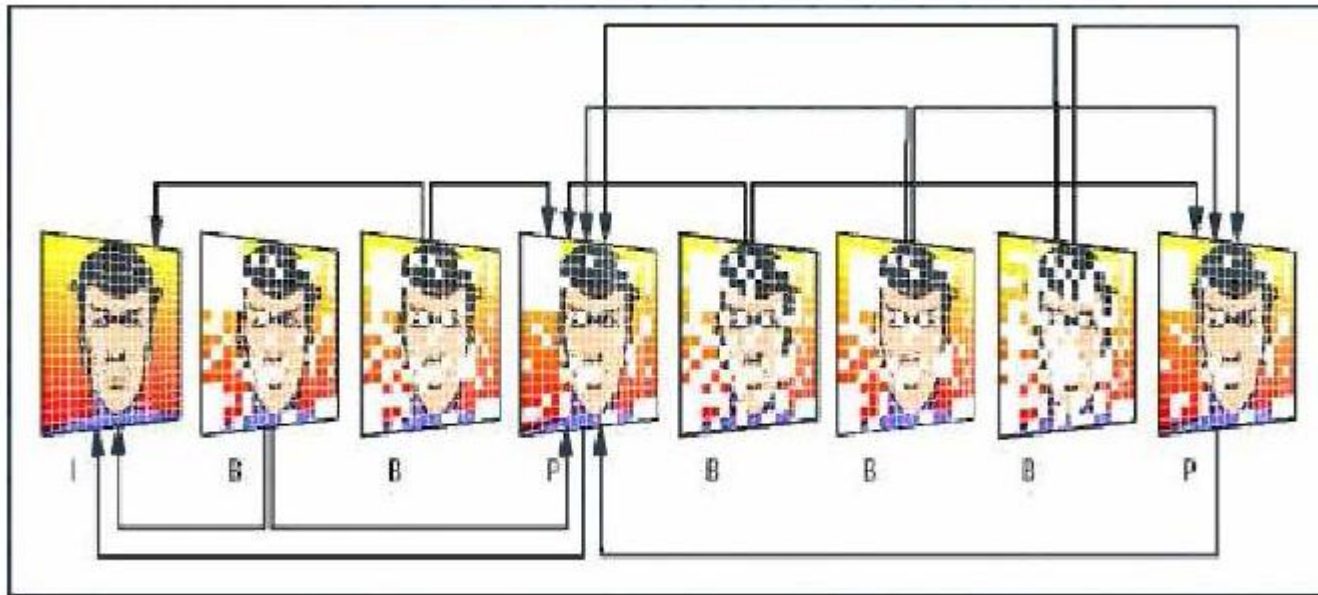
korelacja czasowa



W koderze potrzebny jest bufor pamięci.

Opóźnienie ramki typu B wynosi 3-okresy, przy 25Hz (standard w europie) daje 120ms opóźnienia

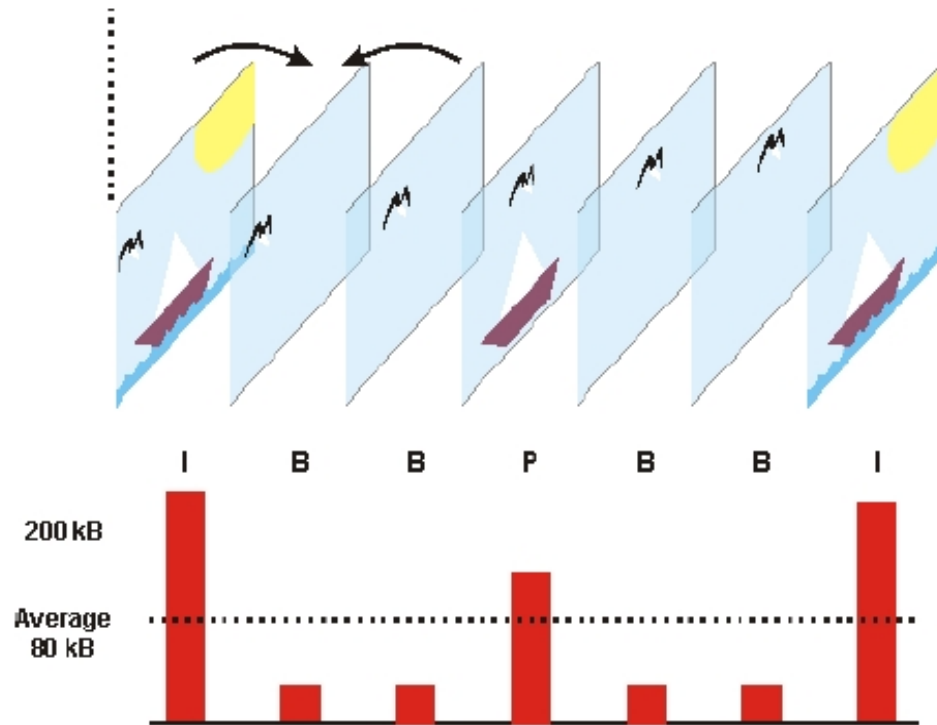
korelacja czasowa



W koderze potrzebny jest bufor pamięci.

Opóźnienie ramki typu B wynosi 3-okresy, przy 25Hz (standard w europie) daje 120ms opóźnienia

korelacja czasowa



Najmniejszy stopień kompresji zapewniają obrazy **typu I**.

Typ P zapewniają większy stopień kompresji, przy ich kodowaniu powstają jednak pewne zniekształcenia spowodowane skończoną dokładnością obliczeń, które kumulują się i dlatego liczba kolejno następujących po sobie obrazów **typu P** nie może być zbyt duża.

Największy stopień kompresji zapewniają obrazy **typu B**. W tym przypadku także występują wspomniane wcześniej zniekształcenia, a ponadto przy transmisji obrazów tego typu musi zostać zmieniona kolejność nadawania obrazów - najpierw muszą być wysłane oba obrazy odniesienia, a dopiero potem obraz **typu B**.

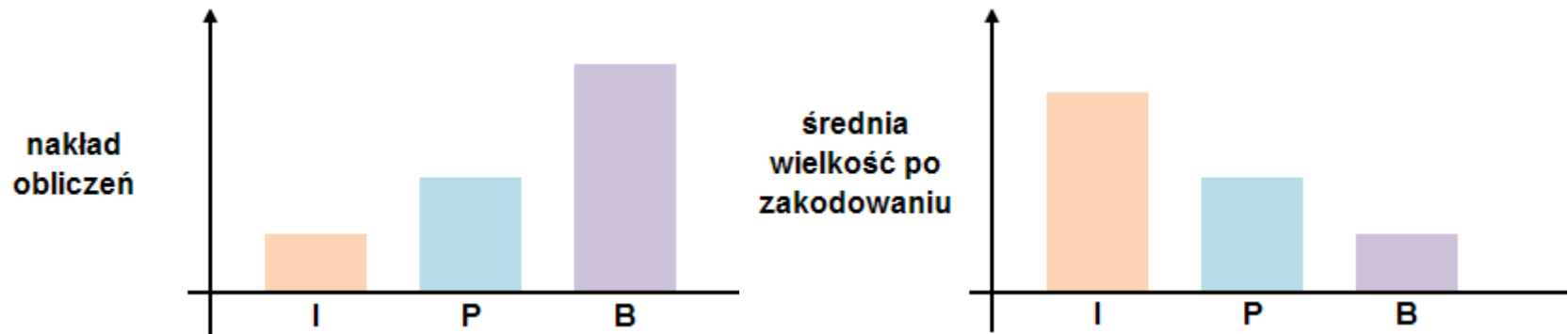
Wymaga to wyposażenia dekodera w odpowiednio dużą pamięć. Liczba obrazów poszczególnych typów jak i długość całej grupy obrazów nie jest określona w standardzie MPEG i może być różna w zależności od wymagań stawianych danemu systemowi transmisji. Struktura grupy obrazów nie musi być stała w czasie całej transmisji i może się zmieniać w zależności od aktualnej treści przekazywanego programu

korelacja czasowa

ramka typu I – informacja pełna

ramka typu P – informacja o zmianach i kierunku

ramka typu B – informacja prognozowana



Rozdzielczość 8-bitowa zamiast 10-bitowej

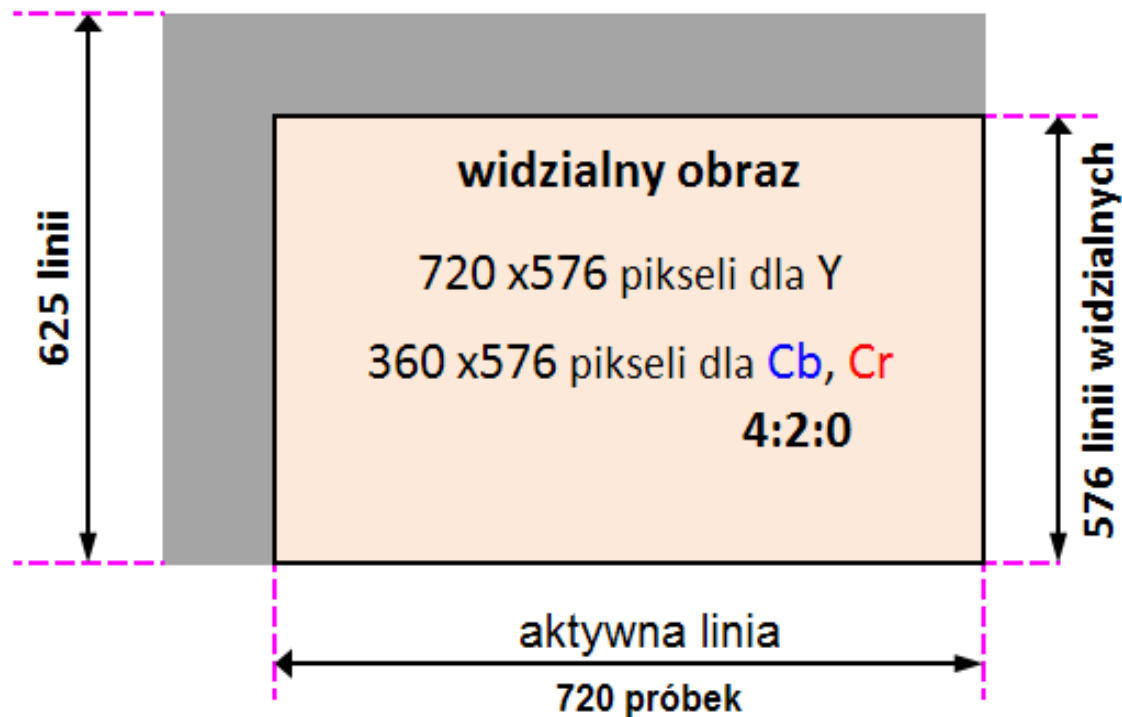
(element niezauważalny)

Redukcja rozdzielczości koloru w kierunku pionowym

(element niezauważalny)

Pomijanie linii wygaszania pionowego i poziomego

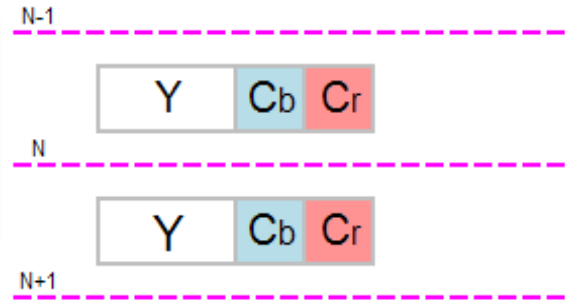
(element redundancyjny)



element redundancyjny

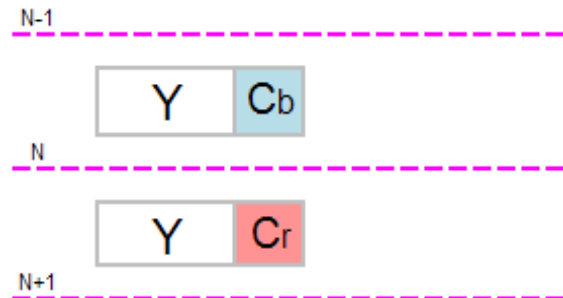
4:2:2

próbkowanie w kierunku poziomym dwukrotnie mniejsze



4:2:0

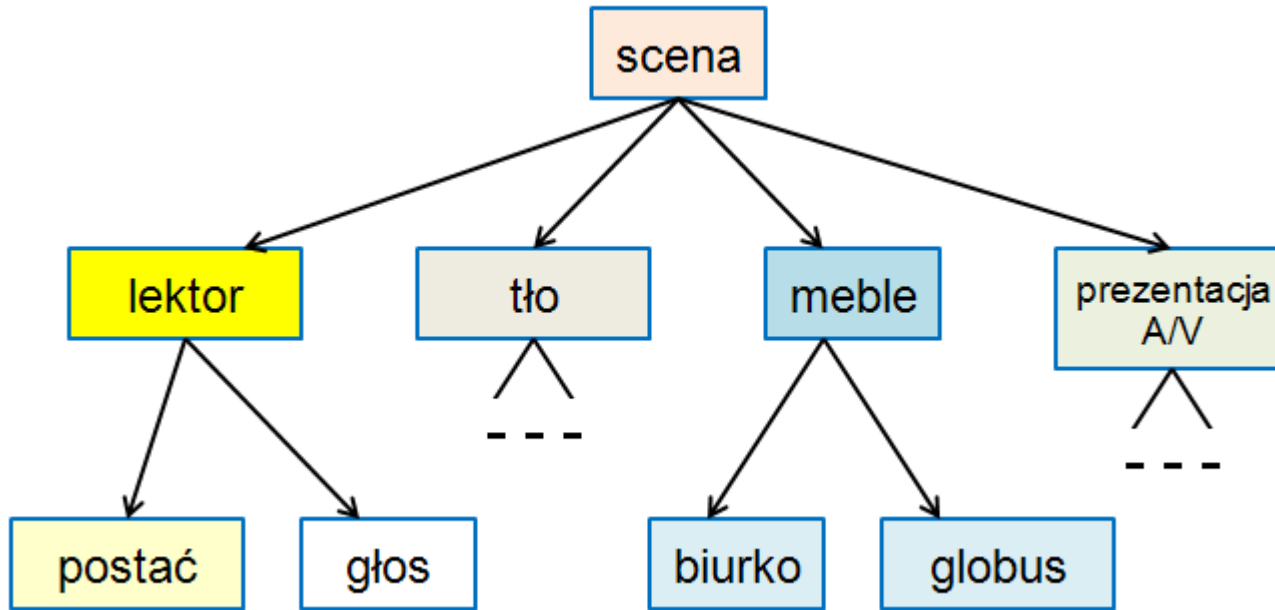
próbkowanie w kierunku poziomym i pionowym dwukrotnie mniejsza



element niezauważalny

- filmy (jakość VHS) ...1,15Mb/s
- Wiadomości ...3,46Mb/s
- Sport na żywo ...4,61Mb/s
- Obraz telewizyjny 16:9 ...5,76Mb/s
- HDTV ...**14,00Mb/s**
- Dźwięk stereo ...0,51Mb/s

- Dane cyfrowe ...9,6kb/s



MPEG4 reprezentuje wszystkie dane audio/video, jako **tzw. obiekty A**. Wprowadza multipleksację i synchronizację danych zawartych w obiektach **AVO**. Łączy mniejsze obiekty w większe, możemy za ich pomocą generować całe audiowizualne sceny. **Wszystkie obiekty** w scenie zorganizowane są według odpowiedniej hierarchii. Na najniższym szczeblu mogą znajdować się prymitywy AVO (dwuwymiarowe tła statyczne, obrazy mówiących osób/bez tła), głos skojarzony z daną osobą, teksty i grafika, „mówiące głowy” i skojarzony z nimi tekst wykorzystywany przez przeglądarkę, sceny do syntezy dźwięku i dopasowania do tego dźwięku animacji, animowane ludzkie sylwetki i tym podobne.

Ilość bitów niezbędnych do zakodowania takich obiektów nie jest większa niż konieczna ilość danych do określenia właściwości takich obiektów

Obiekty mogą być reprezentowane niezależnie od swojego otoczenia czy tła, co zwiększa odporność na błędy transmisji



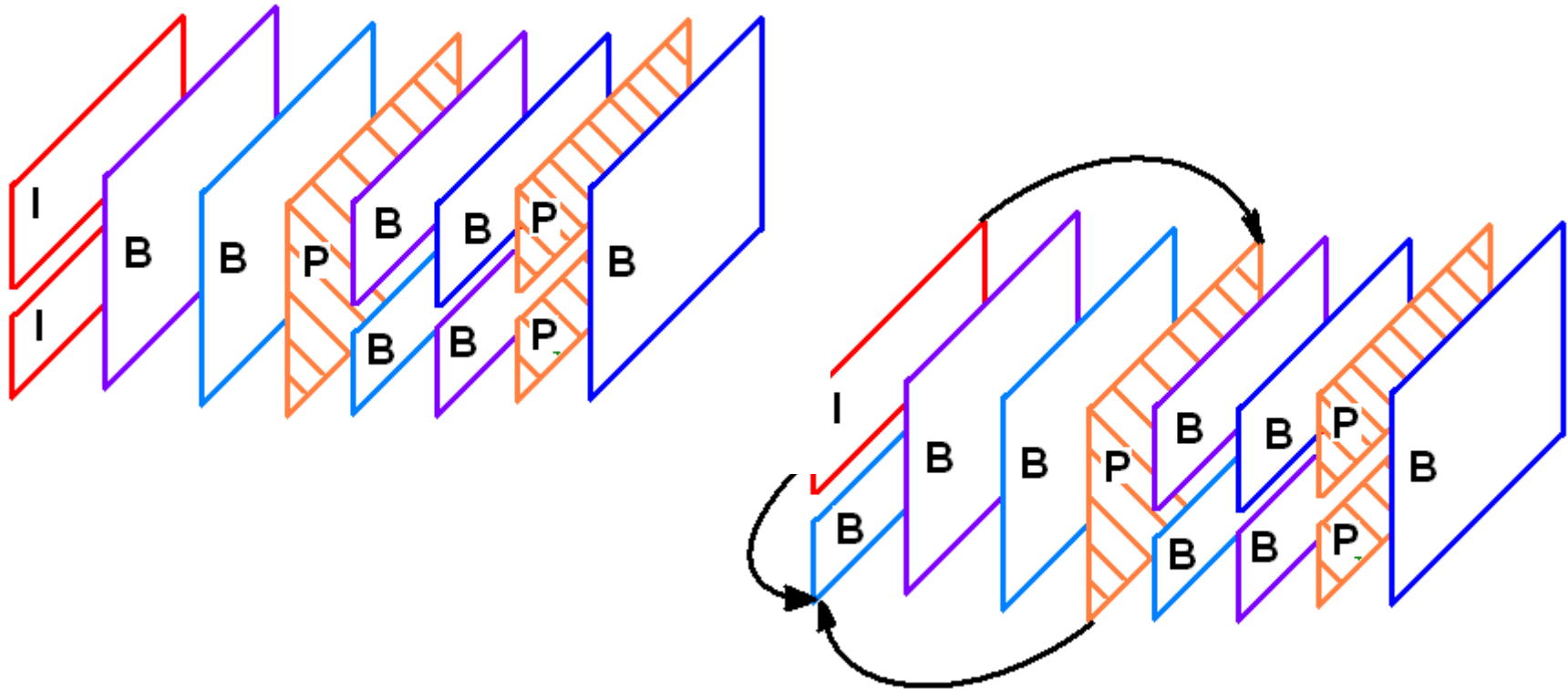
obiekt **AVO**



w **MPEG-4** została zdefiniowana specyfikacja metody opisu i animacji twarzy



Specyfikacja zawiera model geometryczny twarzy (siatka wielokropków lub płaty powierzchni), określenie parametrów animacji i sposobów ich kodowania, reguły pozwalające na obliczenie deformacji modelu geometrycznego na podstawie parametrów animacji. Określa **84 punkty** charakterystyczne **FAP (Face Animation Points)**, które pozwalają dalej na zdefiniowanie odpowiednich parametrów animacji. Parametry animacji pozwalają na celowe deformowanie modelu twarzy powodując odpowiednią zmianę w stosunku do stanu neutralnego. **Opisuje wiele profili** grupujących narzędzia dla poszczególnych zastosowań a między innymi wydajne kodowanie ramek wizyjnych, kodowanie wizyjne dla zawodnych sieci transmisyjnych, kodowanie i manipulacja oparte na obiekcie



W standardzie **MPEG4** została zdefiniowana lista obrazów odniesienia, którą można dowolnie zarządzać.

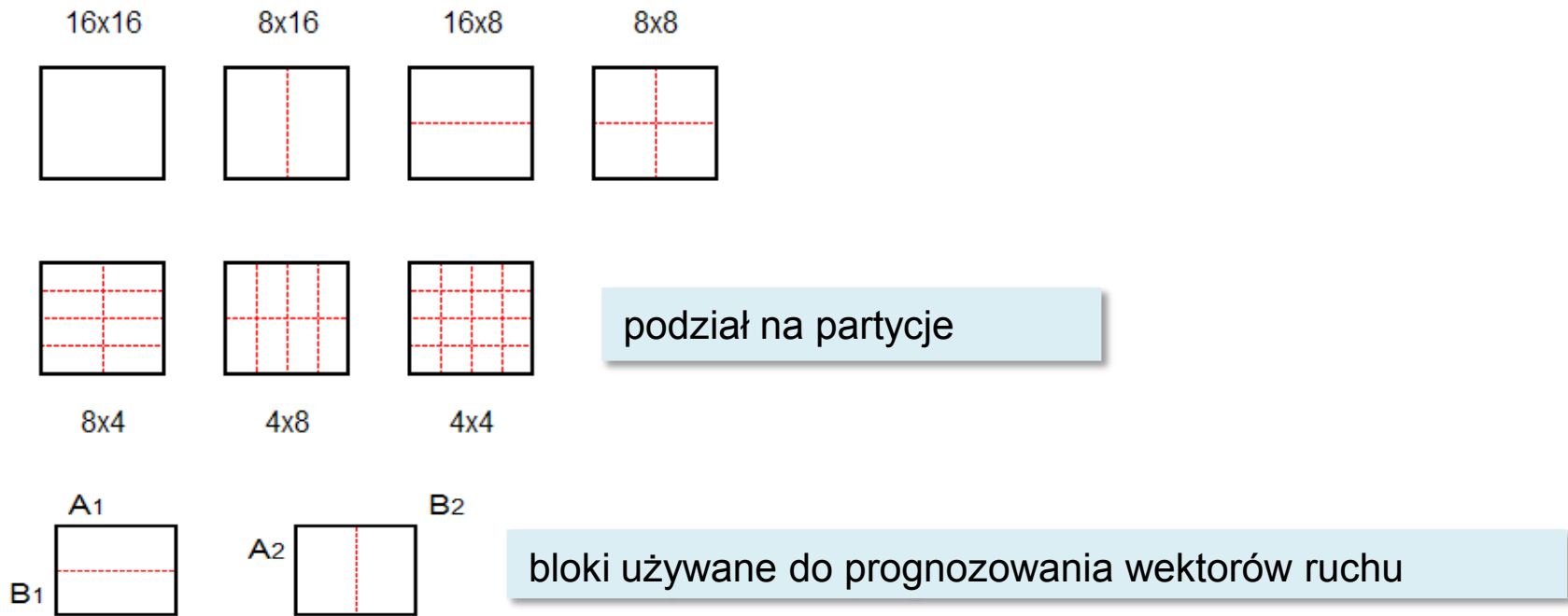
Lista ma dwie części: krótko i długoterminową.

Na liście krótkoterminowej znajdują się obrazy ostatnio zdekodowane natomiast na liście długoterminowej mogą się znaleźć obrazy wskazane przez specjalne znaczniki w strumieniu.

W standardzie H264/AVC wprowadzono także **kodowanie adaptacyjne** POLE/RAMKA makro-bloku (**MBAFF**).

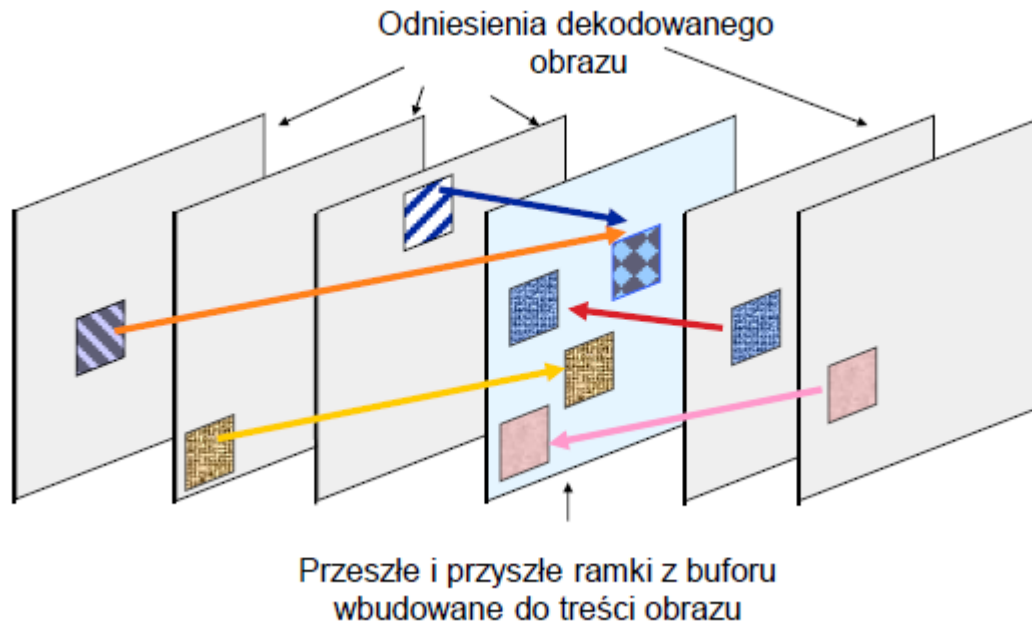
W takim trybie kodowania obrazu sąsiadujące w pionie makro-bloki łączone są w pary

W standardzie AVC/H.264 obrazy kodowane w trybie między-obrazowym (P i B) rekonstruowane są przy użyciu jednego lub więcej obrazów odniesienia, występujących w sekwencji wcześniej lub później w stosunku do bieżącego obrazu.



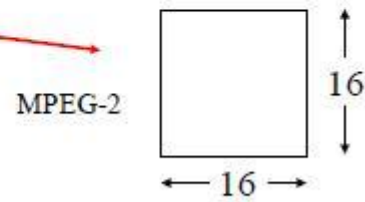
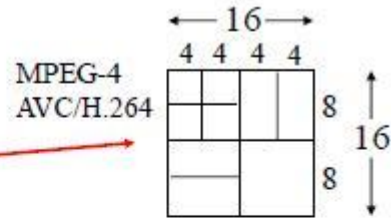
Każdy z makro-bloków może zostać podzielony w procesie kodowania na prostokątne fragmenty o rozmiarach: **16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8** oraz **4x4** próbki luminancji.

Do rekonstrukcji makro-bloku w takim obrazie konieczne jest przesłanie w zakodowanym strumieniu binarnym indeksów obrazów odniesienia oraz wektorów ruchu dla wszystkich fragmentów makro-bloku. Ponieważ pole wektorów ruchu cechuje się lokalną korelacją, dlatego kodowaniu podlegają jedynie błędy wektorów określonych na podstawie prognozy. W standardzie AVC zdefiniowano dwa ogólne schematy prognozy wektorów ruchu: prognoza kierunkową dla **16x8** i **8x16** adaptacyjną prognozę medianową dla pozostałych przypadków podziału **makro-bloku** na prostokąty o rozmiarach **16x8** i **8x16** zostały wprowadzone specjalnie do reprezentacji fragmentów obrazu o **wyraźnym kierunkowym charakterze ruchu**, tam gdzie **występuje krawędź** pomiędzy poruszającymi się obiektami, bądź też poruszającym się obiektem a statycznym tłem. W trybie **16x8** prognozę wektora ruchu dla **górnego fragmentu makro-bloku** jest wektor ruchu z górnego **sąsiedniego bloku (A1)**, zaś prognozą wektora ruchu dla dolnego fragmentu makro-bloku jest wektor ruchu z lewego sąsiada (B1).

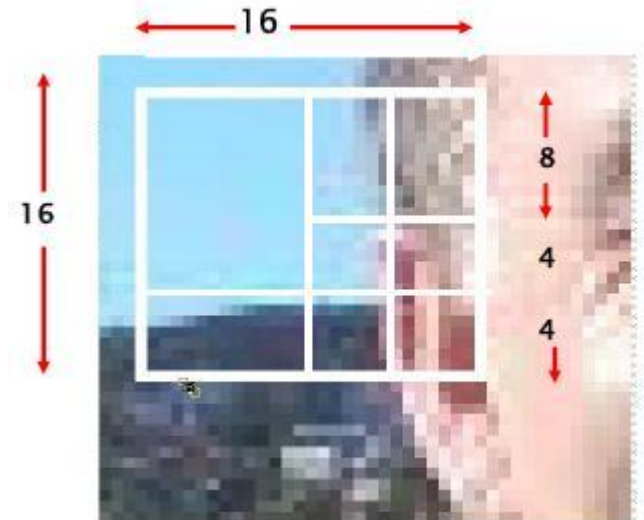


AVC/H.264 Predykcja między-obrazowa wiele ramek odniesienia (aż do 5)

MPEG-4



Stały Macroblock



MPEG-2 stały rozmiar makro-bloków

MPEG-4 zmienny adaptacyjny rozmiar bloków

MPEG-2 GOP 12-18 ramek pomiędzy **ramkami I**

MPEG 4/H264 – może być nawet 300

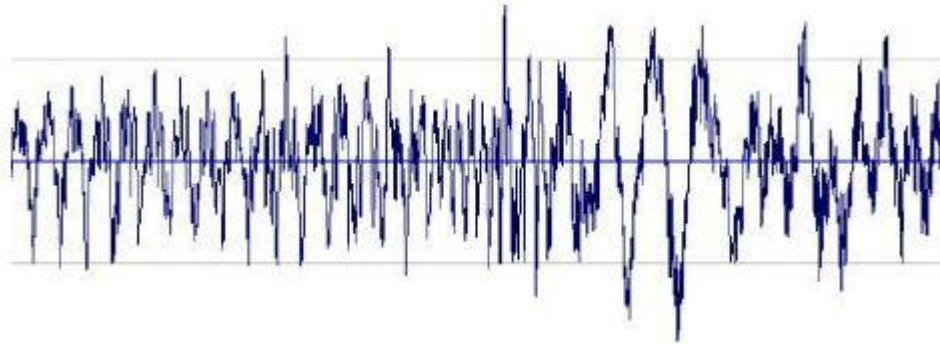
może być wiele rodzajów ramek „I”

I -slices (I-plastry)

I –bloks (I-bloki)

*Konwencjonalna kompresja wideo teoretycznie 50% bardziej efektywna, obliczeniowo 10 razy bardziej złożony niż **MPEG-2***

próbkowanie

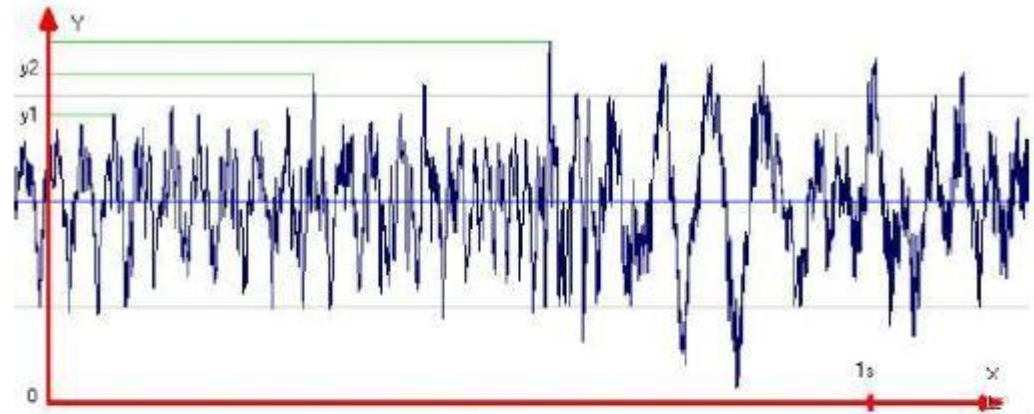


- widmo sygnału ciągłego musi być ograniczone do pewnego przedziału częstotliwości, a poza nim mieć wartość zerową
- możliwość odfiltrowania składowej podstawowej widma sygnału próbkowanego bez zmiany wartości fazy i amplitudy.

Chcąc próbkować sygnał o częstotliwości 20kHz (próg słyszalności ucha człowieka), musimy próbkować z częstotliwością 40 000 próbek na sekundę. Dla standardu CD- 44,1kHz , SACD -48kHz

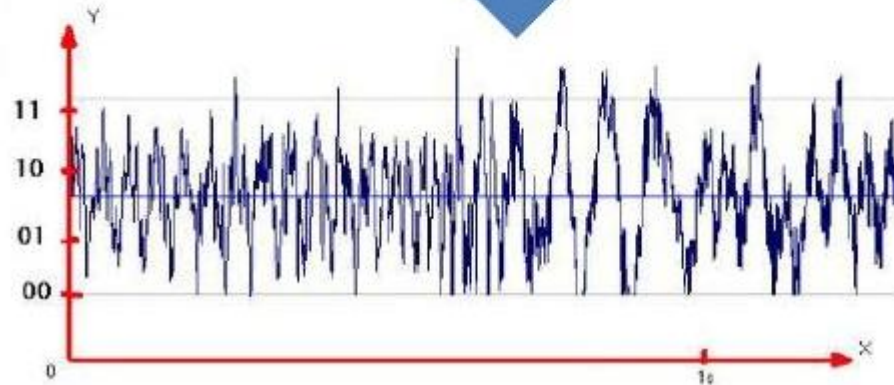
formaty i kompresja audio

próbkowanie 48000



kwantyzacja

16 bit 65535 wartości



Dla 16-bitowego słowa mamy 65535 wartości, co pozwala dokładnie odwzorować przebieg audio

formaty i kompresja audio

wysoka jakość (kompresja bezstratna)	Ogólne (wysoka lub średnia przepływność)	mowa (niska i średnia szerokość strumienia danych zoptymalizowana do mowy)
FLAC	A/52 (Dobly Digital, AC-3)	ADPCM
Lossless Audio	AAC	G.711
Monkey,s Audio	Apple Lossless Endcoding	G.723.1
OptimFrog	DTS	G.729
Shorten (SHN)	Coherent Aousticsc	GSM
TTA	MP1	HILM
WavPack	MP2	SVOPC
Windows Media Audio Professional	MP3	Speex
PCM	Musepack	Windows Media Audio Voice
	TwinVQ	
	Ogg, Vorbis	
	Windows Media Audio	

PCM Pulse Code - najpopularniejsza metoda kodowania w systemach cyfrowych. Używana jest w telekomunikacji, w cyfrowej obróbce sygnału (np. w procesorach dźwięku), do przetwarzania obrazu, do zapisu na płytach CD (CD-Audio) oraz DVD-Audio i w wielu zastosowaniach przemysłowych.

Modulacja 16-bit, 44100 próbek ramki, stąd wniosek iż każda ramka trwa tyle samo. Pozwala to na zachowanie pewności, iż każda sekunda naszej ścieżki będzie trwała tyle samo.

MPEG 1 layer I to III (ISO/IEC 11172-3)

Layer I

dzieli pasmo na podzakresy o tym samym rozrzucie częstotliwości, a model psychoakustyczny wykorzystuje tylko maskowanie częstotliwościowe.

kompresja 4:1, 384kbps

Layer II

w filtrowaniu kieruje się trzema ramkami: poprzednią, obecną i następną, wykorzystuje więc element maskowania czasowego

kompresja 6:1 ...8:1, 256..192kbps

Layer III

wprowadza nierówny rozdział częstotliwości w podzakresach (*uwzględnia różną czułość ucha ludzkiego dla różnych częstotliwości - z naciskiem na przedział 2 do 4 kHz*), używa zaawansowanego maskowania czasowego, redukuje powtarzalność sygnałów stereo (*gdym oba kanały mają te same lub bardzo podobne wartości w niższym przedziale pasma, są łączone w jeden strumień; człowiek nie wie, z jakiego kierunku rozchodzą się dźwięki poniżej pewnej częstotliwości, stąd idea subwooferów*).

kompresja 10:1 ... 12:1 , 128 ...112kbps

Kompresja stratna dźwięku opiera się na zjawisku maskowania. Polega ono na tym, że nie słyszymy pewnych słabych dźwięków, w obecności silniejszych, maskujących je.

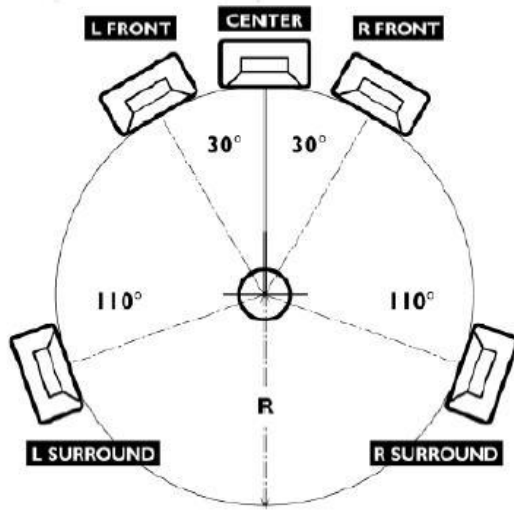
Layer III -We wszystkich trzech warstwach kodery dzielą sygnał na ramki zawierające po 384 próbki - po 12 z każdego z 32 podzakresów.

CBR (Constant BitRate) -Wszystkie ramki mają tę samą przepływność, równą średniej przepływności całego strumienia.
Rozmiar pliku jest proporcjonalny do czasu trwania utworu.

ABR (Average BitRate) -Ramki mają różną przepływność dobraną tak, aby skompresować utwór z możliwie małymi stratami, zachowując zadaną średnią przepływność. Rozmiar pliku jest w przybliżeniu proporcjonalny do czasu trwania utworu.

VBR (Variable BitRate) Ramki mają różną przepływność dobraną tak, aby zachować stałą jakość kompresji. Rozmiar pliku nie jest znany przed zakończeniem kompresji i nie jest proporcjonalny do czasu trwania utworu.

systemy dźwięku wielokanałowego



AC-3, A/52

DTS

Dolby Digital

Dolby Digital Plus (7.1)

AC-3 standard stratnego kodeka dźwięku używany na większości płyt DVD-Video, HD DVD, Blu-ray Disc DVB dla sygnałów audio w High Definition. Powszechnie znany jako **Dolby Digital Audio Compression-3**, **Dolby Digital**, **Dolby 5.1** lub **AC3**

AC-3 podobnie kodowany jak **MPEG 1** z zastosowaniem nowocześniejszych rozwiązań w zakresie filtrów oraz kodera z oryginalnego zapisu PCM o częstotliwości próbkowania 48kHz i próbkowaniu 16 bit (czyli o jakości wyższej niż CD-Audio). Taki zapis, **zajmujący ponad 5 Mb/s**, jest kompresowany do **384 kbps -Dolby Digital 11:1** lub **448 kbps dla DVD**

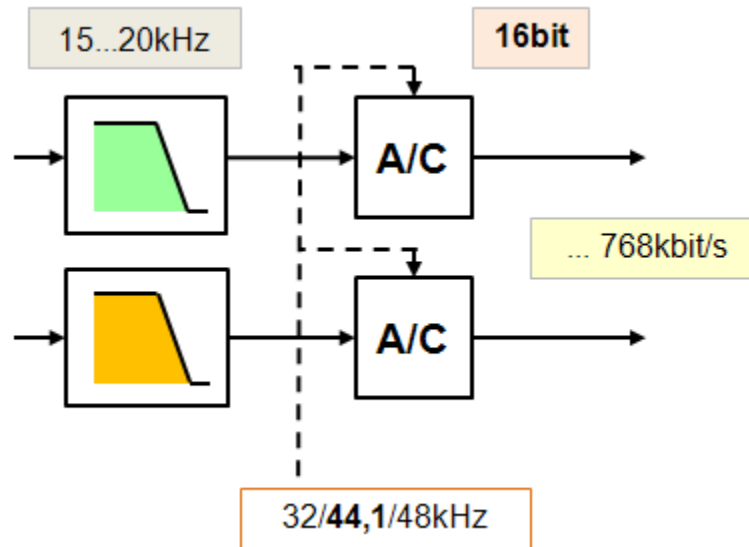
DTS (digital theatre systems) konkurencyjnym do **Dolby Digital** formatem dźwięku surround. (głównie w produkcjach kinowych w USA) -oferuje 6 kanałów dźwięku, "BitRate" formatu **DTS** jest znacznie wyższy i wynosi 1,5Mbps, czyli ścieżka dźwiękowa może być słabiej skompresowana stąd lepsza jakość

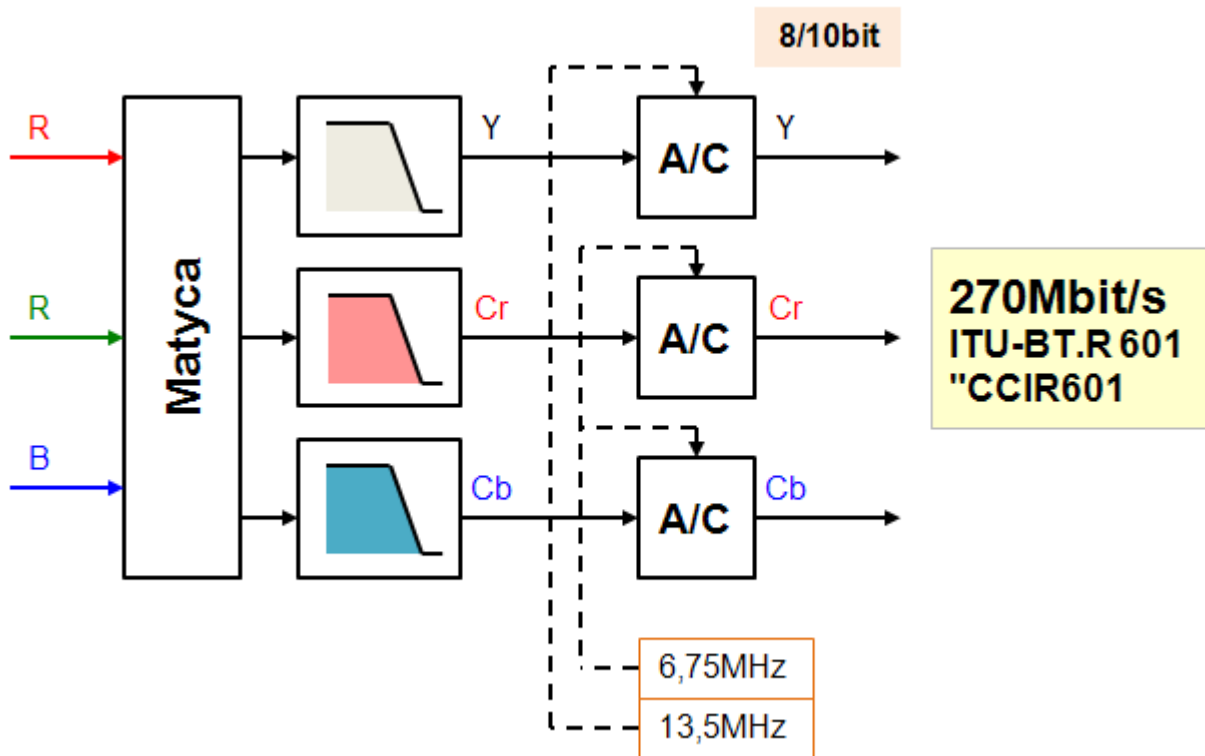
DTS - 24bit Główną wadą jest, oczywiście, ilość miejsca zajmowana przez dźwięk – znacznie większa (około trzech razy) **stopień kompresji 4:1**

Dolby Digital (5.1) 3-przednie, 2-tylne dźwięku przestrzennego, 1-oznacza kanał tonów niskich. Przednie kanały transmituje z opóźnieniem 1ms (słuchacz jest zwykle bliżej tylnych głośników). Strumień przenosi metadane – informacje o głośności dialogów, sposobie kompresji dynamiki,

Dolby Digital Plus (7.1) strumień danych do 640kbps, kanał centralny mono (tylny) jest rozdzielony na 2-kanały (stereo)

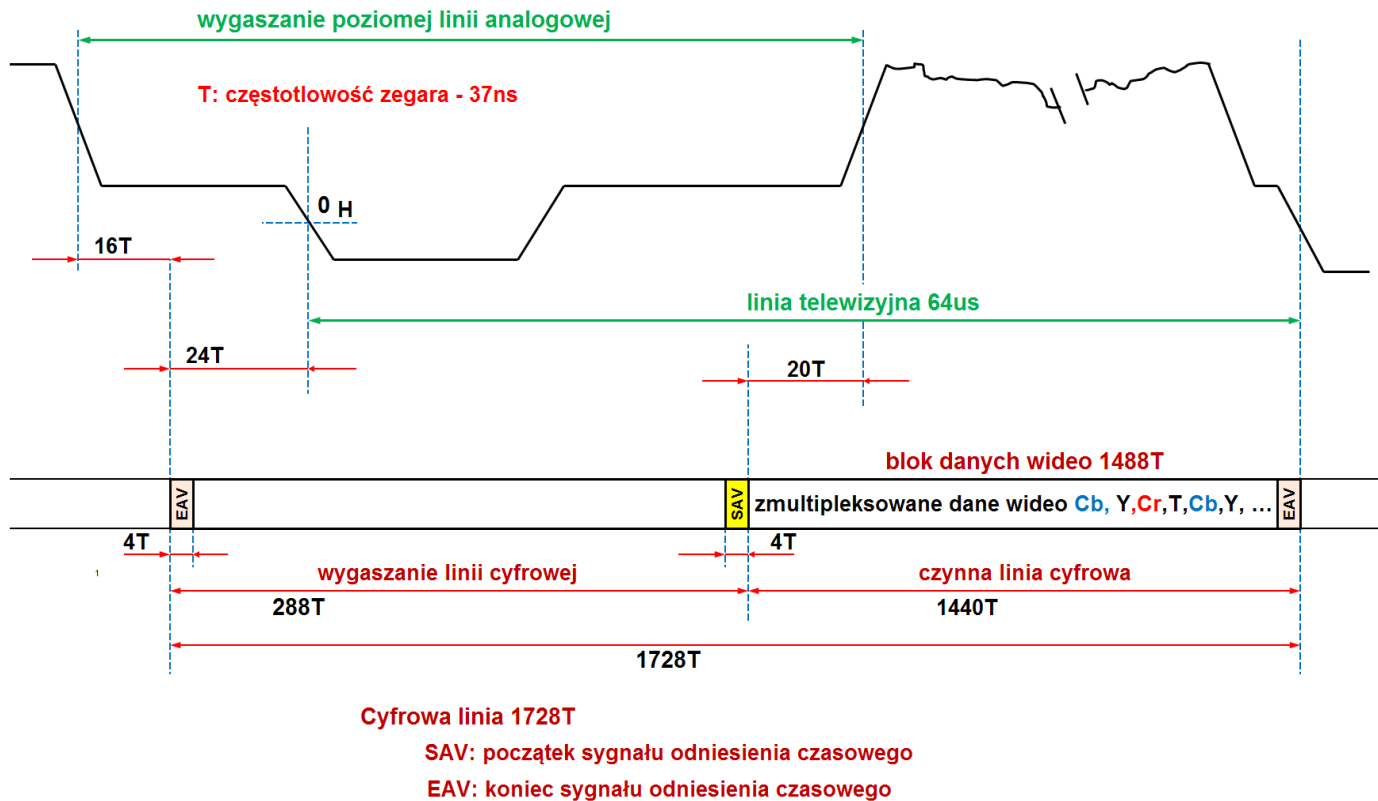
warstwa transportowa





Skompresowane strumienie danych są łączone w jeden sygnał cyfrowy, czyli elementarne strumienie danych, są dzielone na elementarne pakiety zwane PES (Packetized Elementary Streams).

związki czasowe dla DAL (Digital Active Line)



próbki 27Mśłów/s w następującej kolejności: **Cb, Y, Cr, Y, Cb, Y, Cr, Y, ..**

W przypadku wizji początek strumienia musi pokrywać się z początkiem zakodowanego obrazu

Aktywna cyfrowa linia (DAL) zaczyna się po 264 słowach od opadającego zbocza. Początek pierwszego cyfrowego pola jest ustalony poprzez pozycję wyznaczoną jako początek aktywnej cyfrowej linii-pierwsze pole zaczyna się na 24 słowa przed rozpoczęciem analogowej linii nr.1 (drugie pole od linii 313).

Częstotliwość zegara 27MHz. W czasie jednej poziomej linii mamy 1728 okresów.

TRS – sygnał kodu czasowego

składa się z sekwencji 4-słów, pierwsze trzy opisują obraz, czwarty zawiera informacje definiujące:

- **pierwszego i drugiego pola**
- **okres wygaszania**
- **początek i koniec okresu wygaszania**

NR bitu danych	słowo 1 FF	słowo 2 00	słowo 3 00	słowo 4 XY
7	1	0	0	1
6	1	0	0	F
5	1	0	0	V
4	1	0	0	H
3	1	0	0	P3
2	1	0	0	P2
0	1	0	0	P1
1	1	0	0	P0

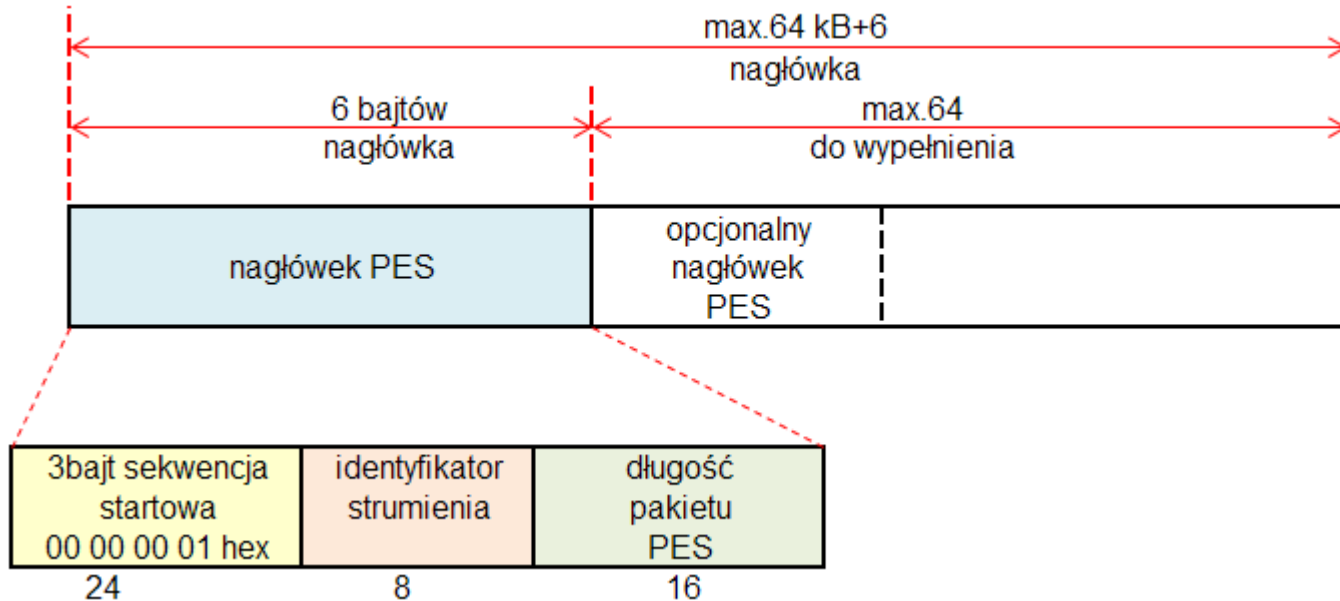
F=0	Pierwsze pole
F=1	Drugie pole
V=0	Czynna część pola
V=1	Długość trwania wygaszania
H=0	W czasie SAV
H=1	W czasie EAV

warstwa transportowa – nagłówek PES

Elementarny pakiet PES

Nagłówek PES

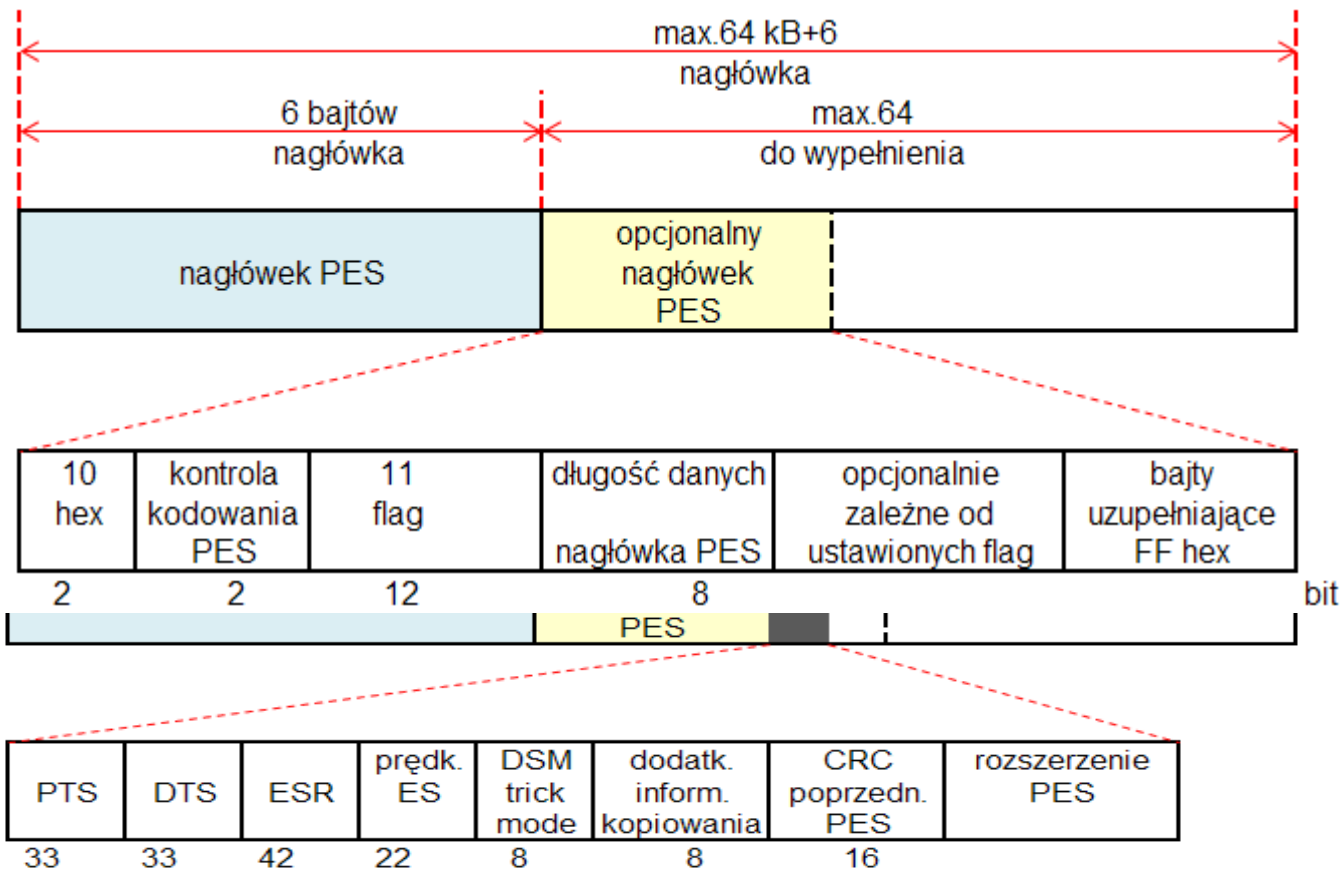
video PES (audio PES, data PES)



pakiet PES może być dokonany w sposób prawie dowolny: w **przypadku strumienia wizji** początek pakietu nie musi pokrywać się z **początkiem zakodowanego obrazu**. Ograniczeniem jest maksymalna długość pakietu wynosząca 64kB. Ważną informacją jest, że długość elementarnego pakietu jest różna i zależy od charakteru kodowanych danych

1-bajtowy identyfikator strumienia do którego należy pakiet, liczba identyfikatorów strumieni została ograniczona do 32 dla fonii i 16 dla wizji; dzięki temu zagwarantowane jest, że w strumieniu danych nie powtórzy się sekwencja bajtów startowych nagłówka pakietu PES i identyfikatora strumienia

warstwa transportowa – nagłówek PES

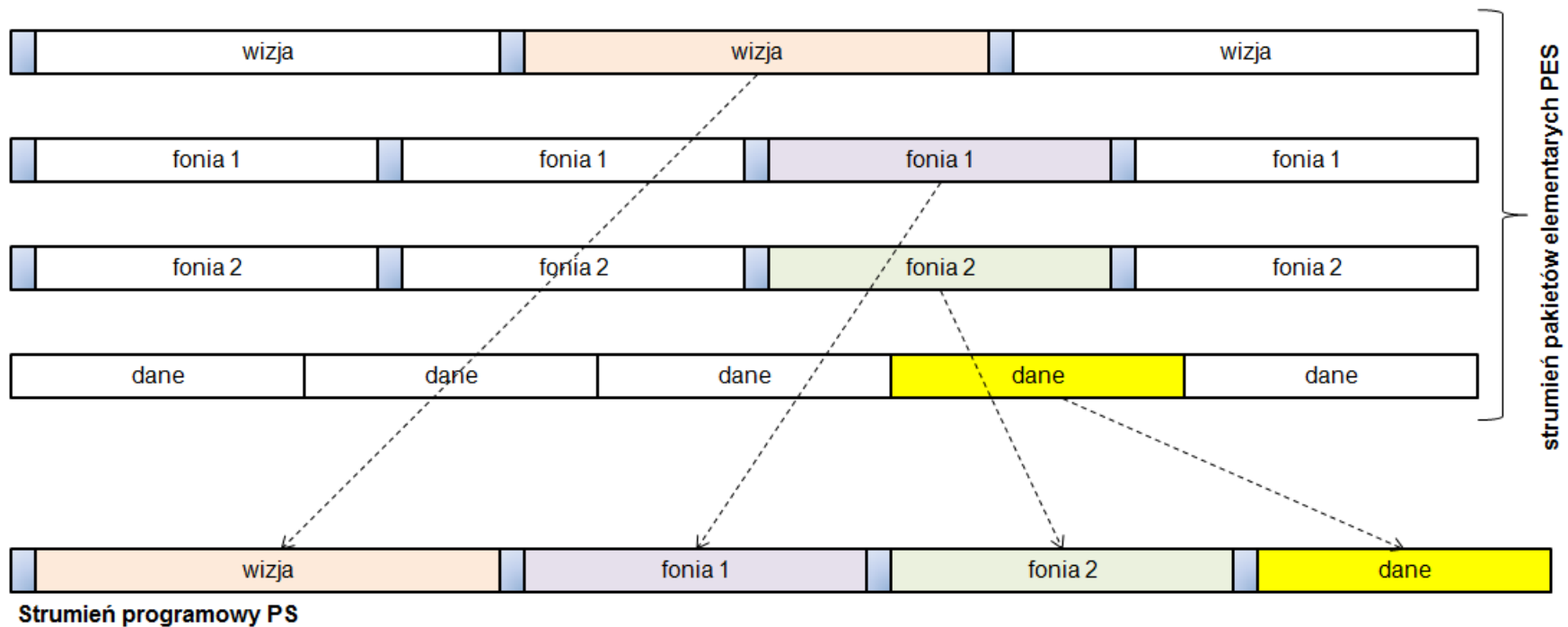


W nagłówkach pakietów elementarnych **PES** mogą znajdować się dwa znaczniki czasu **PTS** i **DTS**
2 bajty flag sygnalizujących występowanie w nagłówku pól dodatkowych, z których najważniejsze są:

Znacznik PTS przyporządkowany jest jednostce prezentacji (np. obraz lub dźwięk opisany stałą liczbą próbek) i wyznacza moment, w którym powinna ona zostać przedstawiona odbiorcy

Znacznik DTS odnosi się do jednostki dostępu i określa chwilę, w której powinno rozpocząć się jej dekodowanie do jednostki prezentacji.

strumień programowy PS

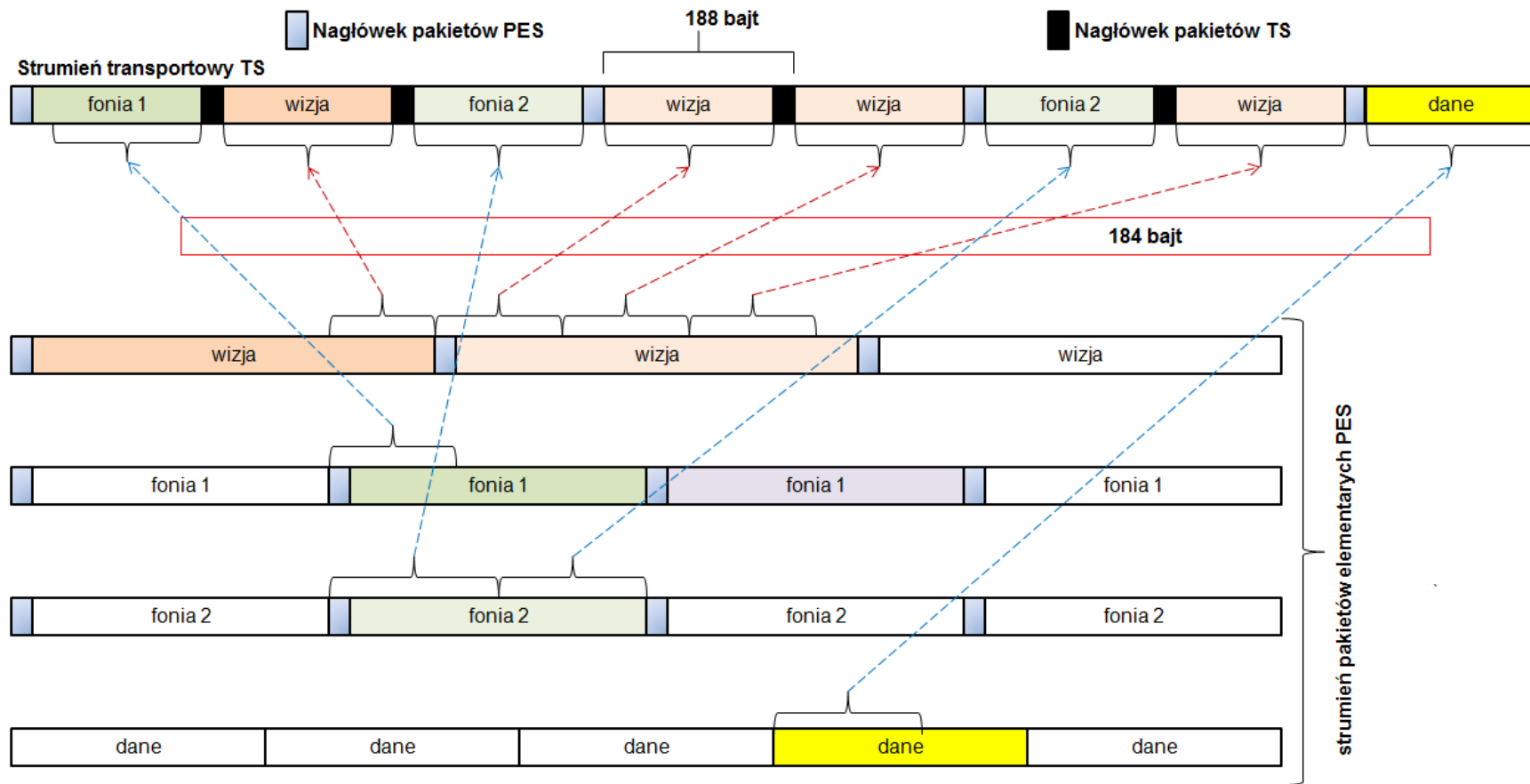


Strumień programowy PS jest tworzony przez zwykłe przeplatanie elementarnych pakietów danych należących do jednego programu telewizyjnego. Zaletą strumienia programowego jest mała nadmiarowość danych - elementarne pakiety z reguły są dość długie, a ich nagłówki stosunkowo krótkie.

Nie ma możliwości zabezpieczenia pakietów przed błędami transmisji, gdyż pakiety te są różnej długości, a kody protekcyjne wymagają pakietów o stałej długości

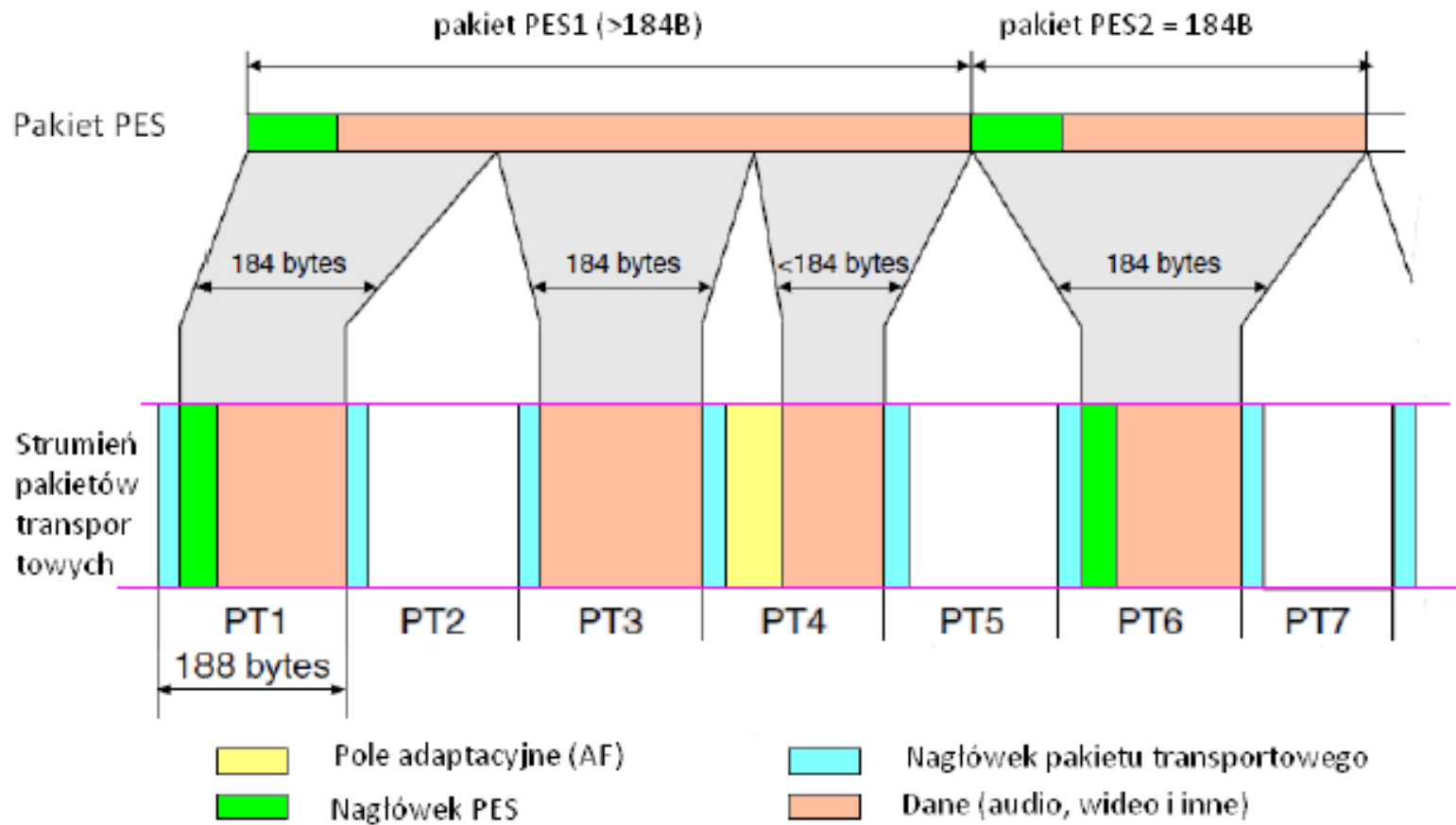
PS jest przesyłane kanałem o niskim poziomie zakłóceń, np. w **lokalnych sieciach komputerowych** albo w zapisie na **dyskach magnetycznych lub optycznych**.

strumień transportowy TS



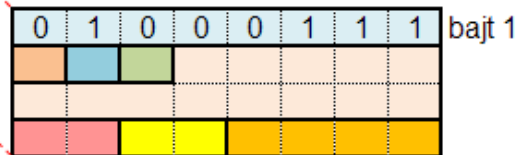
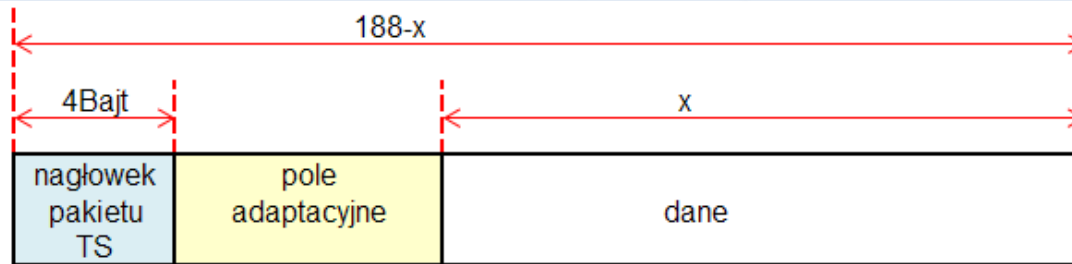
Początek obrazu w strumieniu wizji (lub bloku próbek w strumieniu fonii) musi być umieszczony na początku pakietu strumienia transportowego. Kolejne bajty danych pakietu elementarnego są umieszczane w kolejnych pakietach strumienia transportowego, jeśli długość pakietu elementarnego nie jest wielokrotnością 184 (co jest mało prawdopodobne) ostatni pakiet strumienia transportowego, w którym znajdują się dane z pakietu elementarnego jest wypełniany danymi nadmiarowymi (pole adaptacyjne), tak aby zawierał w sumie 184 bajty.

strumień transportowy TS



Początek obrazu w strumieniu wizji (lub bloku próbek w strumieniu fonii) musi być umieszczony na początku pakietu strumienia transportowego. Kolejne bajty danych pakietu elementarnego są umieszczane w kolejnych pakietach strumienia transportowego, jeśli długość pakietu elementarnego nie jest wielokrotnością 184 (co jest mało prawdopodobne) ostatni pakiet strumienia transportowego, w którym znajdują się dane z pakietu elementarnego jest wypełniany danymi nadmiarowymi (pole adaptacyjne), tak aby zawierał w sumie 184 bajty.

strumień transportowy TS



- synchronizacja
- wskaźnik błędu
- wskaźnik 1-pakietu
- priorytet
- PID
- identyfikator strumienia
- opis pola adaptacyjnego
- liczba pakietów

Bajt synchronizacji (47hex) 13bit PID

Licznik pakietów, określa który z kolei jest pakietem wydzielonym z PES. Wskaźnik pakietu sygnalizuje że dany pakiet jest nr.1 Zastosowanie w strumieniu transportowym krótkich pakietów o stałej długości pozwala na efektywne zabezpieczenie przed błędami transmisji.

Kod Reeda-Solomona -Typowo każdy pakiet jest zabezpieczony 16 bajtami korekcji czyli $188+16=204$

Strumień transportowy może być więc stosowany wszędzie tam, gdzie poziom zakłóceń w kanale transmisyjnym jest wysoki, a więc w transmisji programów telewizyjnych poprzez radiodyfuzję satelitarną, naziemną, lub w sieciach kablowych.

13bitów PID pozwala na multipleksowanie ponad 8000 różnych PES

Część pakietów zarezerwowano dla transmisji informacji **PSI (Program Specific Information)**

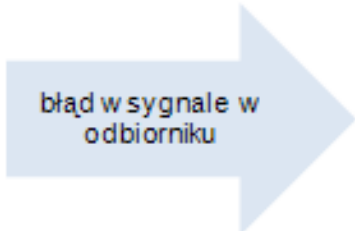
strumień transportowy TS

strumień danych

1 0 1 1 | 1 0 0 0 | 1 0 1 1 | 0 1 0 0

nagłówek pakietu TS	dane	RS FEC
4	184	16

1	0	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
0	1	0	0	1
1	1	0	0	0



1	0	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
0	1	0	0	1
1	1	0	0	0

strumień danych z FEC

1 0 1 1 | 1 0 0 0 | 1 0 1 1 | 0 1 0 0 | 1 1 1 1 | 1 1 0 0 0 0

błędny sygnał w odbiorniku

1 0 1 1 | 1 0 0 0 | 1 0 0 1 | 0 1 0 0 | 1 1 1 1 | 1 1 0 0 0 0

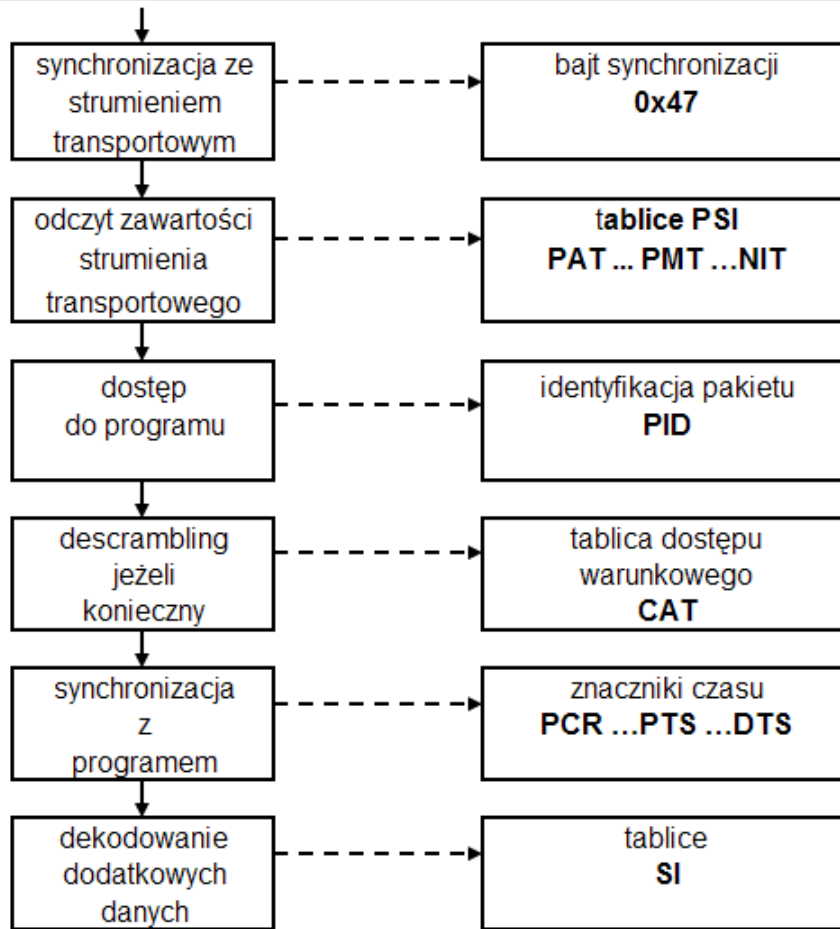
BER główny parametr określający jakość sygnału

BER $\leq 10^{-10}$ dobra jakość

FEC może poprawić z 10^{-4} do 10^{-10}

BER po zastosowaniu **FEC** zawiera nienaprawialne błędy

tablice – organizacja multipleksowego TS



- **PAT** –tablica powiązań
- **PMT** –tablica odwzorowań
- **NIT** -tablica informacji o sieci

- **SI** –informacje serwisowe

Tablice określają jakiego typu dane przynosi każdy pakiet i w skład którego programu wchodzi.

Dzielą się na tablice definiowane przez standard MPEG PSI (Program Specific Information).

Tablice definiowane przez standard DVB-SI (Service Information) umożliwiają odbiornikowi synchronizację z odpowiednim strumieniem transportowym, wybranie odpowiednich pakietów dla danego programu, descrambling (w przypadku dostępu warunkowego) i korzystanie z usług dostępnych w danej sieci

Każda tablica może być podzielona w sekcje co ułatwia jej wpasowanie w stosunkowo niewielkie pakiety TS.

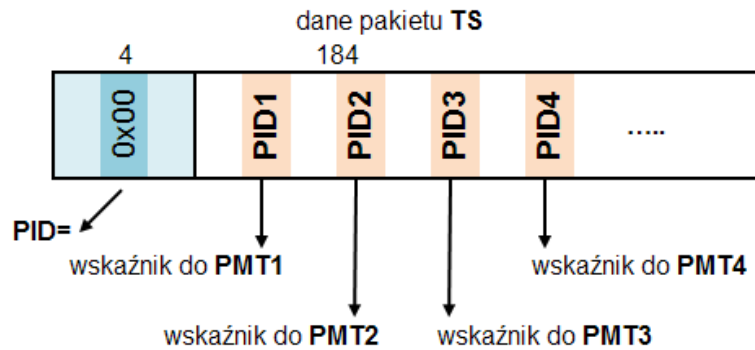
tablica PSI

nazwa	numer PID	opis
Program Association Table PAT	0x00	Wiąże numer programu z wartością PID strumienia przesyłającego Tablice Odwzorowań w której znajduje się definicja tego programu
Program Map Table PMT	przypisana wartość PID jest podana w PAT	Wskazuje wartość PID składowych każdego programu
Network Information Table NIT	przypisana wartość PID jest podana w PAT	Informuje o parametrach fizycznych sieci, takich jak częstotliwości, numery transponderów i inne
Conditional Access Table CAT	0x01	Określa sposoby skramblowania strumieni jeśli skrambling jest prowadzony

*tablica powiązań **PAT** ma zawsze przypisany numer **0x00** , co podkreśla jej rolę w poprawnej identyfikacji zawartości jedno- lub wieloprogramowych strumieni transportowych*

*Inne tablice (za wyjątkiem dostępu warunkowego) przesyłane są w pakietach **PID** o numerach przypisanych dynamicznie i określonych w **PAT***

tablica PSI: tablica PAT



1 PID dla każdego programu

PAT

Attributes

Transport Stream ID = 1 (0x1)

Network_PID = 16 (0x10)

8 Programs

Program Number	PMT PID
101 (0x65)	PID 1001 (0x3E9)
102 (0x66)	PID 1002 (0x3EA)
103 (0x67)	PID 1003 (0x3EB)
104 (0x68)	PID 1004 (0x3EC)
105 (0x69)	PID 1005 (0x3ED)
106 (0x6A)	PID 1006 (0x3EE)
107 (0x6B)	PID 1007 (0x3EF)
109 (0x6D)	PID 1009 (0x3F1)

Każdy strumień transportowy musi przenosić jeden lub więcej pakietów o wartości **PID 0x0000**.

Pakiety te przenoszą Tablice Powiązań **PAT**.

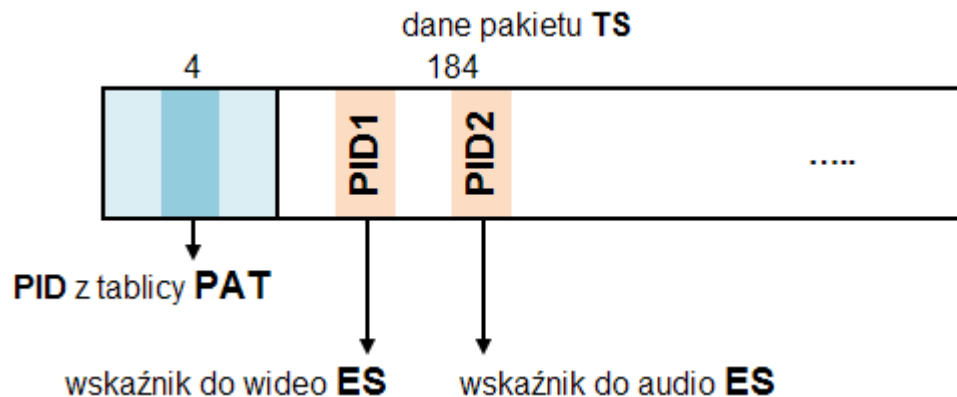
Tablica ta zawiera kompletną listę i opisy wszystkich programów przesyłanych w danym **strumieniu transportowym TS**.

Tabela PAT ustala związek pomiędzy **numerem programu** a wartościami **PID pakietów**

Każda zmiana w składzie programów pociąga za sobą zmianę tabeli **PAT**, a uaktualniona wersja jest ponownie transmitowana

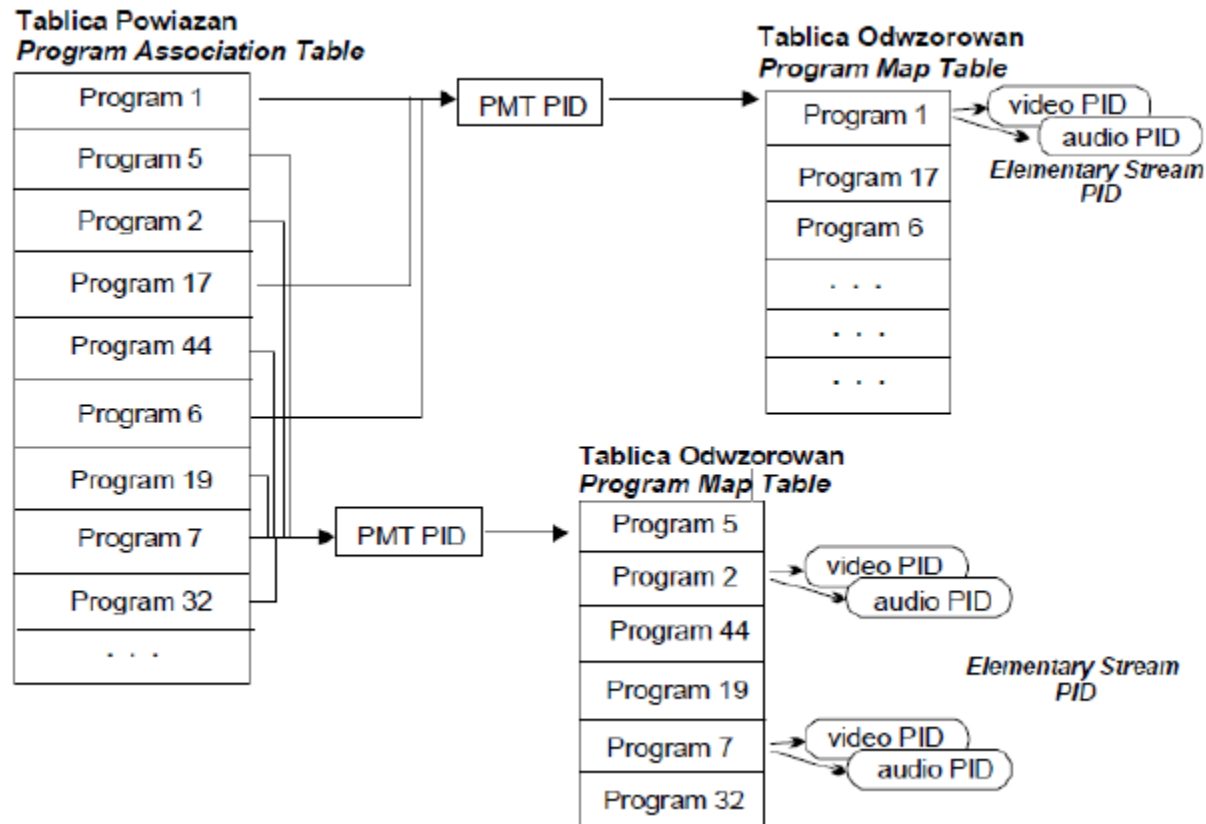
tablica PSI: tablica PMT

wartość PID	rodzaj strumienia
0x01	MPEG1 video (ISO/IEC 11172-2)
0x02	MPEG2 video (ITU-T H.262/ISO 13818-2 Video) lub MPEG1 video (ISO 11172-2 constrained parametr video)
0x03	MPEG1 audio (ISO.IEC 11172-3)
0x04	MPEG2 audio (ISO 13818-3)
0x05	Sekcja prywatna wg. ITU-T H.222.0/ISO 13818-1
0x09	MPEG2 Systems (ITU-T h.222,1)



Tablica Odwzorowań - zawiera definicje wszystkich programów przesyłanych w strumieniu transportowym. Definicje te ustalają związki pomiędzy numerem programu a komponentami, to jest strumieniami elementarnymi które się na niego składają

tablica PSI: powiązania PAT oraz PMT



Tablica Odwzorowań - zawiera definicje wszystkich programów przesyłanych w strumieniu transportowym. Definicje te ustalają związki pomiędzy numerem programu a komponentami, to jest strumieniami elementarnymi które się na niego składają

Opcja - nie jest ona szczegółowo określona w standardzie MPEG (jest za to wprowadzona do standardu DVB). Tablica ta informuje o parametrach fizycznych kanału transmisyjnego takich jak:
częstotliwość, typ transmisji, rodzaj modulacji, protekcja błędów.

Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x0067 (103)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x0068 (104)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x0069 (105)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x006A (106)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x006B (107)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Service id	16 bit	0x006D (109)	
Service type	8 bit	0x01	digital television service
Cable Delivery System Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x44 (68)	
Descriptor length	8 bit	11	
Frequency	32 bit	0x02660000	266.0000 MHz
reserved (future use)	12 bit	0xFFF	
FEC outer	4 bit	2	RS(204/188)
Modulation	8 bit	0x03	64 QAM
Symbol rate	28 bit	0x0068750	6.8750 Msymbol/s

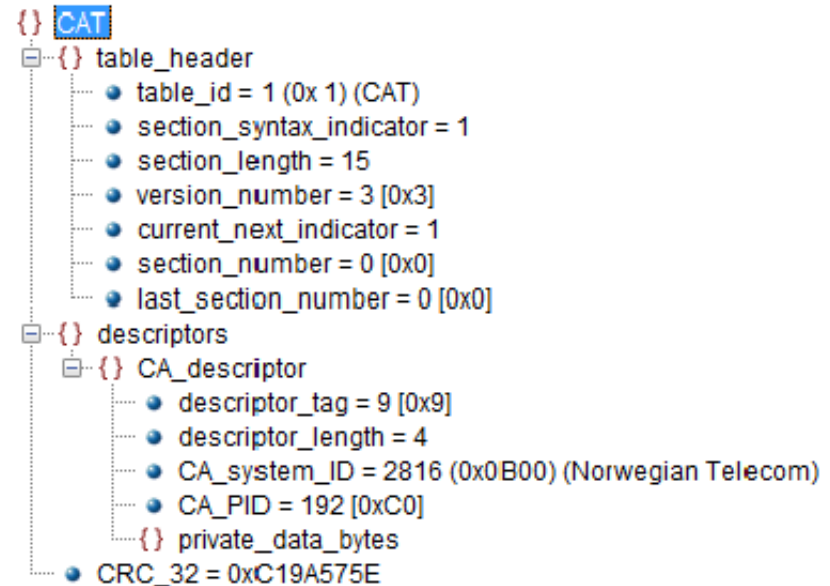
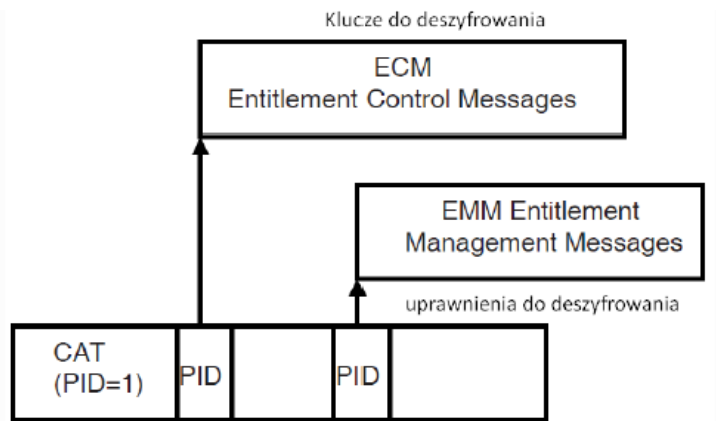
Tablica NIT o sieci jest opcjonalna a jej zawartość nie jest określona przez standard. Jeżeli jest obecna, powinna być przesyłana w pakietach o wartości PID ustalonych przez operatora (tzw. network_PID).

*Numer ten można odnaleźć w **Tablicy Powiązań PAT** w pozycji program_number=0x0000.*

Sekcje Tablicy Informacji o Sieci zawsze przesyłane są w pakietach o numerze PID 0x10.

*Każda opisywana sieć jest identyfikowana za pomocą **network_id**.*

tablica PSI: tablica CAT



Tablica CAT obserwowana w mierniku TS Tektronixa IPM 400A.

*Jeżeli jeden lub więcej strumieni elementarnych w danym strumieniu transportowym podlega skramblowaniu, w strumieniu tym muszą znaleźć się także pakiety PID 0x0001 niosące pełne informacje o stosowanym systemie kodowania. Do opisu systemu kodowania stosowana jest **Tablica Dostępu Warunkowego**.*

▪ **BAT** – Tablica Pakietów Usług (*Bouquet Association Table*)

umożliwia grupowanie programów i usług w pakiety na przykład pakiety o wspólnej tematyce (sportowej, edukacyjnej, przygodowej)

SDT – Tablica Opisu Usług (*Service Description Table*),)

Tablica SDT opisana na PID 0x11, służy do opisu wszystkich usług przesyłanych w danym strumieniu transportowym.

EIT – Tablica Informacji o Programach (*Event Information Table*).

Ta tablica służy do informowania o wydarzeniach w poszczególnych programach czyli do podawania godzinowego programu telewizyjnego na najbliższe max. 64 dni.

TOT/TDT (*Time Offset Table/Time Date Table*)

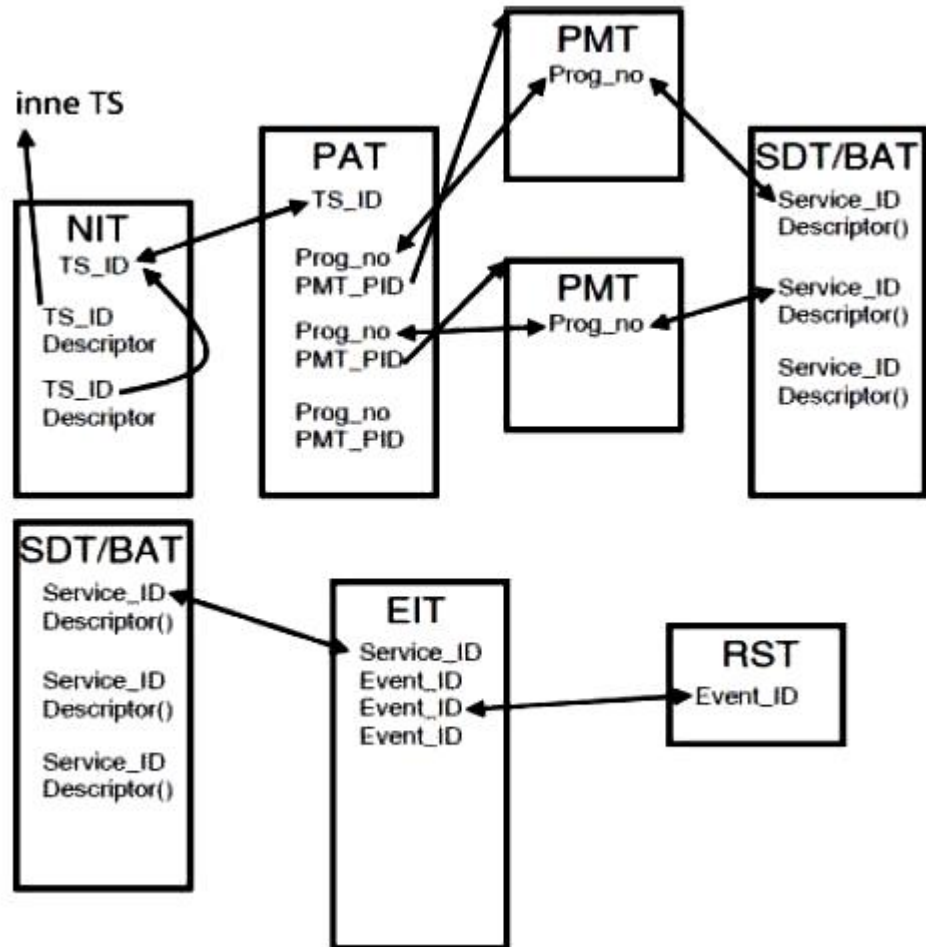
tablice opisujące czas systemowy. zawiera informacje o aktualnym czasie (GMT) i dacie. Czasy powtarzania tablic PSI/SI w strumieniu TS są dokładnie zdefiniowane

SDT - Pole **table_id** o wartości 0x42 sygnalizuje, że opis dotyczy bieżącego strumienia transportowego, natomiast wartość 0x46 wskazuje, że dotyczy innego strumienia.

EIT - Jest przesyłana w pakietach o numerze **PID 0x12**

tablica PSI: tablica SI

tablica	PID	ID Tablicy
PAT	0x0000	0x00
PMT	0x0020 ... 0x1FFE	0x02
CAT	0x0001	0x01
NIT	0x0010	0x40 ... 0x41
BAT	0x0011	0x4A
SDT	0x0011	0x42, 0x46
EIT	0x0012	0x4E ... 0x6F
RST	0x0013	0x71
TDT	0x0014	0x70
TOT	0x0014	0x73
ST	0x0010 ... 0x0014	0x72



synchronizacja czasu

PTS

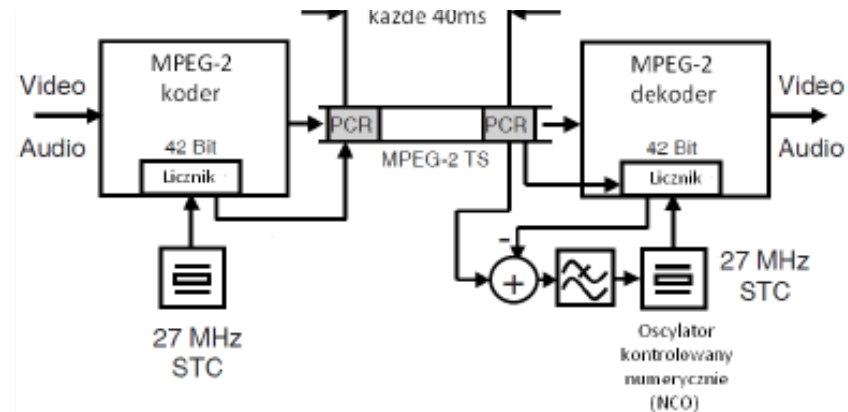
znacznik czasu prezentacji, określający czas wyświetlenia danego obrazu i zapewniający wzajemną synchronizację wizji i fonii

DTS

znacznik czasu dekodowania, pozwalający przyjąć odpowiednią kolejność dekodowania pakietów w celu otrzymania ich oryginalnej (takiej jak została zarejestrowana)

PTR

zapewnia synchronizację 27MHz zegarów systemowych po stronie nadawczej i odbiorczej (transmitowany w polu adaptacyjnym pakietu transportowego)



W nagłówkach pakietów elementarnych **PES** mogą znajdować się dwa znaczniki czasu **PTS** i **DTS**

Znacznik PTS przyporządkowany jest jednostce prezentacji (np. obraz lub dźwięk opisany stałą liczbą próbek) i wyznacza moment, w którym powinna ona zostać przedstawiona odbiorcy

Znacznik DTS odnosi się do jednostki dostępu i określa chwilę, w której powinno rozpocząć się jej dekodowanie do jednostki prezentacji.

W koderze znajduje się 42-bitowy licznik taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości 27 MHz. Licznik ten jest zegarem dla transmitowanego programu, przy czym zegar nie musi być w żaden sposób związany z czasem obowiązującym w danym kraju. Koder przetwarzając kolejno obrazy zawarte w strumieniu wizyjnym wpisuje do znaczników czasu prezentacji PTS poszczególne pakietów **33** najbardziej znaczące bity licznika zegarowego określające czas, w którym obraz transmitowany w tym pakiecie powinien być wyświetlony. Do poprawnej pracy dekodera konieczna jest oczywiście synchronizacja jego zegara z zegarem koder. Do tego celu służy sygnał zegarowy **PCR (Programme Clock Reference)** wyszczególniony w **tablicy PMT** każdego transmitowanego programu. W odróżnieniu od znaczników **PTS/DTS** jest on używany w polu adaptacyjnym **pakietów TS**, gdzie jest dla niego zarezerwowane 6 bajtów.

Skramblowanie - jest procesem przekształcania informacji o obrazie, dźwięku i danych do postaci niezrozumiałej dla odbiornika (mieszanie danych).

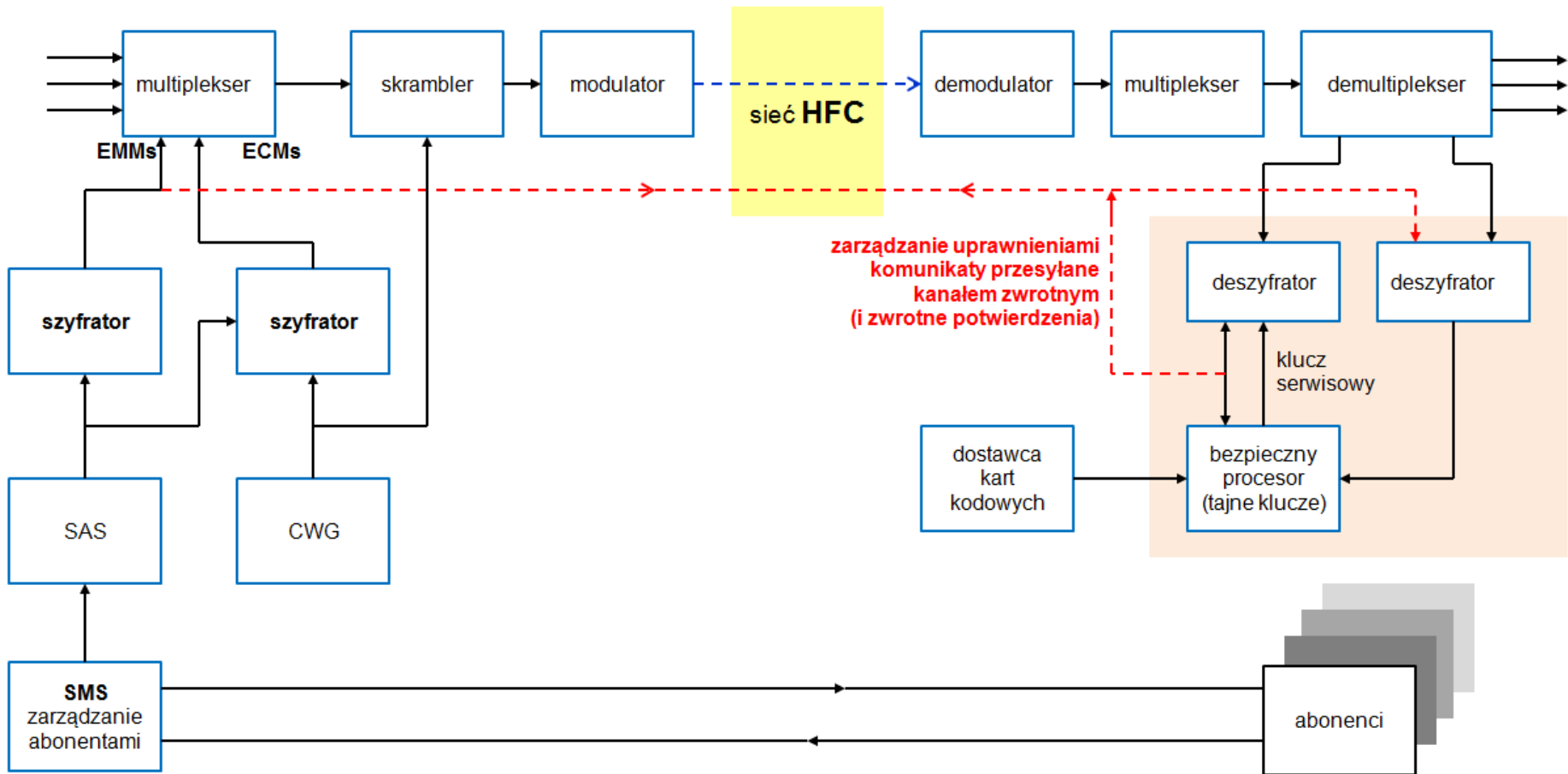
Szyfrowanie - jest procesem zabezpieczenia tajnego klucza przesyłanego razem ze skramblowanym do deskramblera aby mógł poprawnie działać.

przyjęto WSPÓLNY ALGORYTM SZYFROWANIA dla transmisji cyfrowej niezależnie od systemów kontroli dostępu CA

Podstawowym zadaniem CAS jest ograniczenie zasięgu odbioru wyłącznie do określonych odbiorców,

- sygnał po skramblowaniu powinien być niezrozumiały (ukryty),
- skramblowanie powinno być całkowicie odwracalne,
- koszty operacyjne powinny być niskie, deskramblery powinny być tanie,
- skramblowanie powinno być skuteczne dla sygnału każdego rodzaju,
- skramblowanie powinno umożliwiać obsługę różnego typu modeli biznesowych,
- powinien być na tyle skomplikowany, aby jego złamanie było nieopłacalne.

schemat CAS



Działanie skramblera

Działaniem skramblera steruje **słowo kodowe CW** które zmienia się co 4–12 (w zależności od systemu kodowania) sekund aby uniemożliwić jego ustalenie.

słowo kodowe CW powinno pochodzić z generatora pseudolosowego **CWG (Control Word Generator)**

Zadaniem CAS jest szyfrowanie słowa kodowego z wykorzystaniem klucza (lub wielu kluczy w przypadku szyfrowania wielopoziomowego) i informacji o autoryzowanych abonentach oraz transmisja wraz ze skramblowaną treścią w sieci telekomunikacyjnej.

Użytkownicy dekodują sygnały korzystając z adresowalnych modułów CASS, najczęściej w postaci karty kodowej.

MPEG-2 pozwala na wprowadzenie do przesyłanego strumienia danych szeregu informacji, które umożliwiają kontrolę tego samego zakodowanego programu, choć generowane są przez kilka różnych systemów warunkowego dostępu. Ma to zapewnić kompatybilność z różnymi systemami **CA**. Skramblery pracują z użyciem tych samych słów **CW**, ale stosują własne systemy szyfrowania **ECM**, poprzez ECM jest transmitowana zaszyfrowana informacja o **kluczach CW** i **EMM**.

Technika ta, nosząca nazwę **SimulCrypt**, pozwala na: – dostarczanie tego samego programu odbiorcom posiadającym dekodery z różnymi systemami dostępu warunkowego oraz –płynne przejście z jednego systemu dostępu warunkowego na drugi w dowolnej grupie odbiorców posiadających dekodery, na przykład dla ochrony przed piractwem. Proces skramblowania sterowany jest przez słowo kontrolne (**CW**), które pochodzi ze wspólnego źródła, ale może też być generowane w jednym z systemów warunkowego dostępu. To słowo kontrolne jest dostarczane do grupy dekoderek typu 1, pracujących w systemie **CA1** lub do grupy dekoderek typu 2, pracujących w systemie **CA2**. Dane obu systemów przesyłane są w multipleksie wraz z programem.

- **Aktywacja/dezaktywacja karty**
- **Aktywacja/dezaktywacja całego programu**
- **Wysyłanie komunikatu do dekodera**
- **Pokaż numer identyfikacyjny karty kodowej konsumenta**
- **Zmiana daty przełączenia i ważności**

• *Zmiana daty przełączenia i ważności*

• *Pojedyncze karty kodowe lub grupy kart kodowych (lub innych przyrządów bezpieczeństwa) powinny umożliwiać aktywację lub dezaktywację w zakresie dekodowania konkretnego programu.*

• *Komunikat tekstowy jest wysyłany do pojedynczych dekoderek lub grup dekoderek w celu wyświetlenia na ekranie; alternatywnie, komunikat wysłany może zawierać rozkaz i adres komunikatu zapisanego wcześniej w pamięci dekodera lub karty kodowej, np. ostrzeżenie o zbliżającej się utracie ważności lub prośba o kontakt z BOK z powodu problemów z kontem abonenckim*

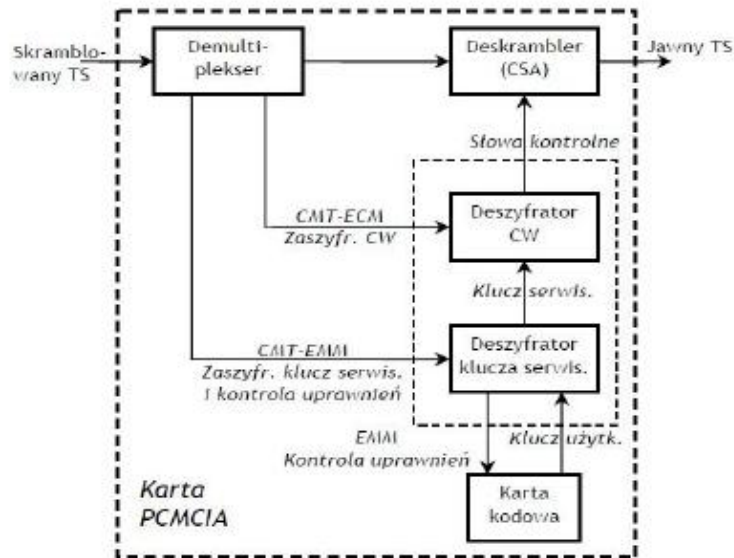
• *Numer identyfikacyjny karty kodowej lub innego środka identyfikacyjnego (ID) jest wyświetlany na ekranie. Nie jest to tajny numer ukryty w karcie tylko numer niechroniony, który bywa wydrukowany na karcie. Ta funkcja jest użyteczna do celów serwisowych.*

• *Ważną funkcją bezpieczeństwa jest możliwość zmiany algorytmów służących do deszyfrowania komunikatów upoważnień i odzyskiwania słów kontrolnych. W celu umożliwienia płynnego przejścia od jednego do następnego zestawu algorytmów wygodnie jest, jeżeli karta kodowa (lub inny przyrząd bezpieczeństwa) może przechowywać oba algorytmy wraz z datą przejścia od jednego do drugiego; data ta może być zmieniona zdalnie. Dotyczy to również daty ważności, po upływie której karta staje się bezużyteczna.*



- **autonomicznie**, gdzie po włożeniu do czytnika CA w dowolnym urządzeniu abonenckim nastąpi dekodowanie treści, na którą zezwolą uprawnienia jakie ma dany abonent.
- **karta może być na stałe „parowana”**, czyli przypisana do danego i tylko tego urządzenia abonenckiego, które jest identyfikowane poprzez tkz. box key, „zaszyty” w module ROM (- rodzaj pamięci urządzenia elektronicznego. Zawiera ona stałe dane potrzebne w pracy urządzenia

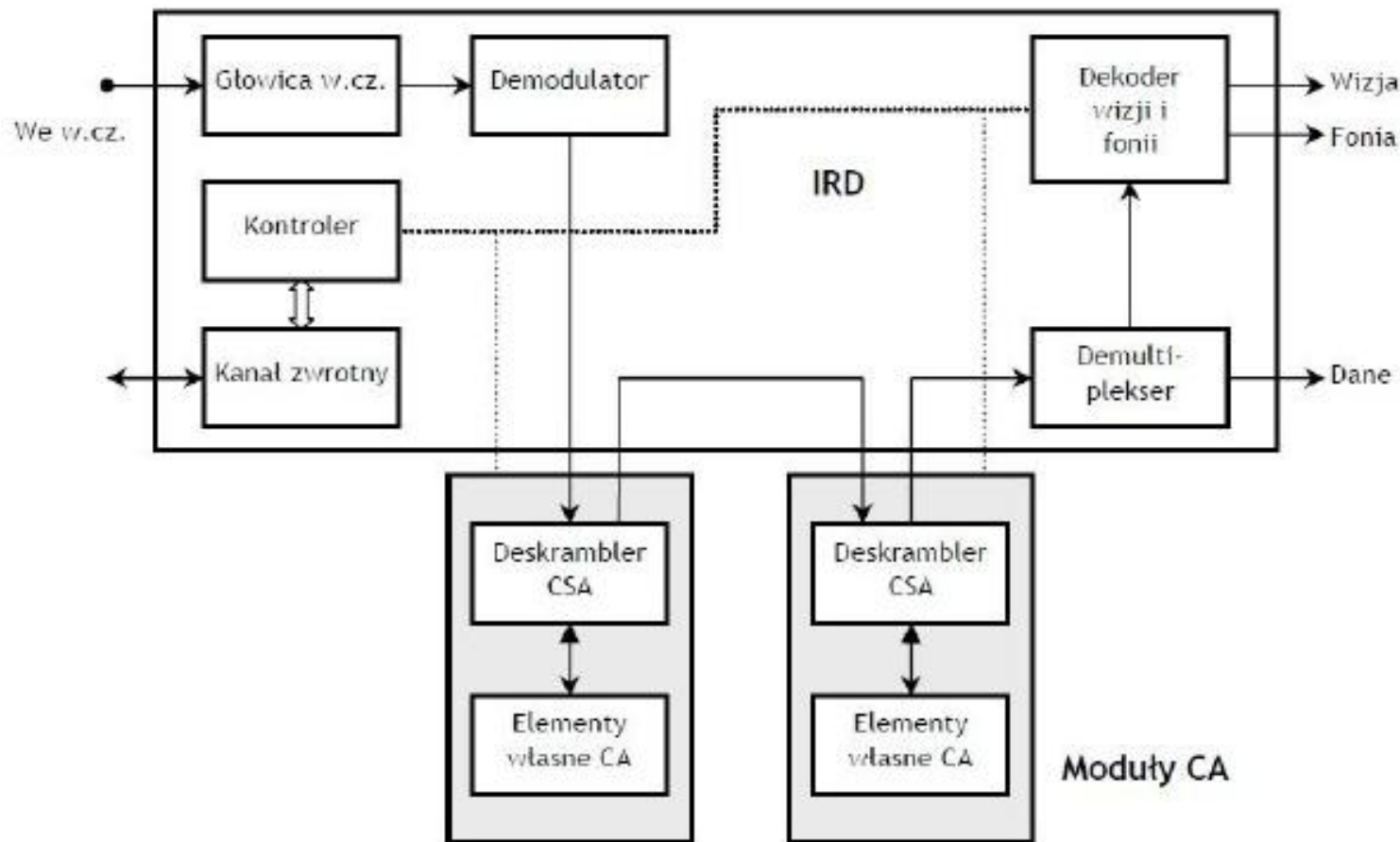
standard DVB -CI



- *autonomicznie, gdzie po włożeniu do czytnika CA w dowolnym urządzeniu abonenckim nastąpi dekodowanie treści, na którą zezwolą uprawnienia jakie ma dany abonent.*
- *karta może być na stałe „parowana”, czyli przypisana do danego i tylko tego urządzenia abonenckiego, które jest identyfikowane poprzez tkz. box key, „zaszyty” w module ROM (def. ang. Read-Only Memory - pamięć tylko do odczytu) - rodzaj pamięci urządzenia elektronicznego. Zawiera ona stałe dane potrzebne w pracy urządzenia - na przykład procedury startowe, dane identyfikacyjne itd.) określonego odbiornika DVB.*

Rozwiązania oparte o moduły CAM (istnieją realizacje, w których rezygnuje się dostępu warunkowego CA bezpośrednio w **IRD** (Integrated Receiver-Decoder)) **upraszczają budowę odbiornika** i praktycznie w całości go standaryzują, pozwalając na pełną konkurencję pomiędzy producentami sprzętu i szeroki wybór modeli dla użytkowników. **Aktualizacja systemu CA** dotyczy wówczas tylko wymiany modułu CAM, zrealizowanego jako układ współpracujący z kartą kodową. **Oprogramowanie odbiornika nie wymaga żadnej aktualizacji**, pod warunkiem poprawnej współpracy z nowym modułem CA.

standard DVB -CI, DVB -CI +



popularne systemy kodowania



Cryptoworks



Irdeto



NDS VideoGuard



Viaccess



Conax



SECA



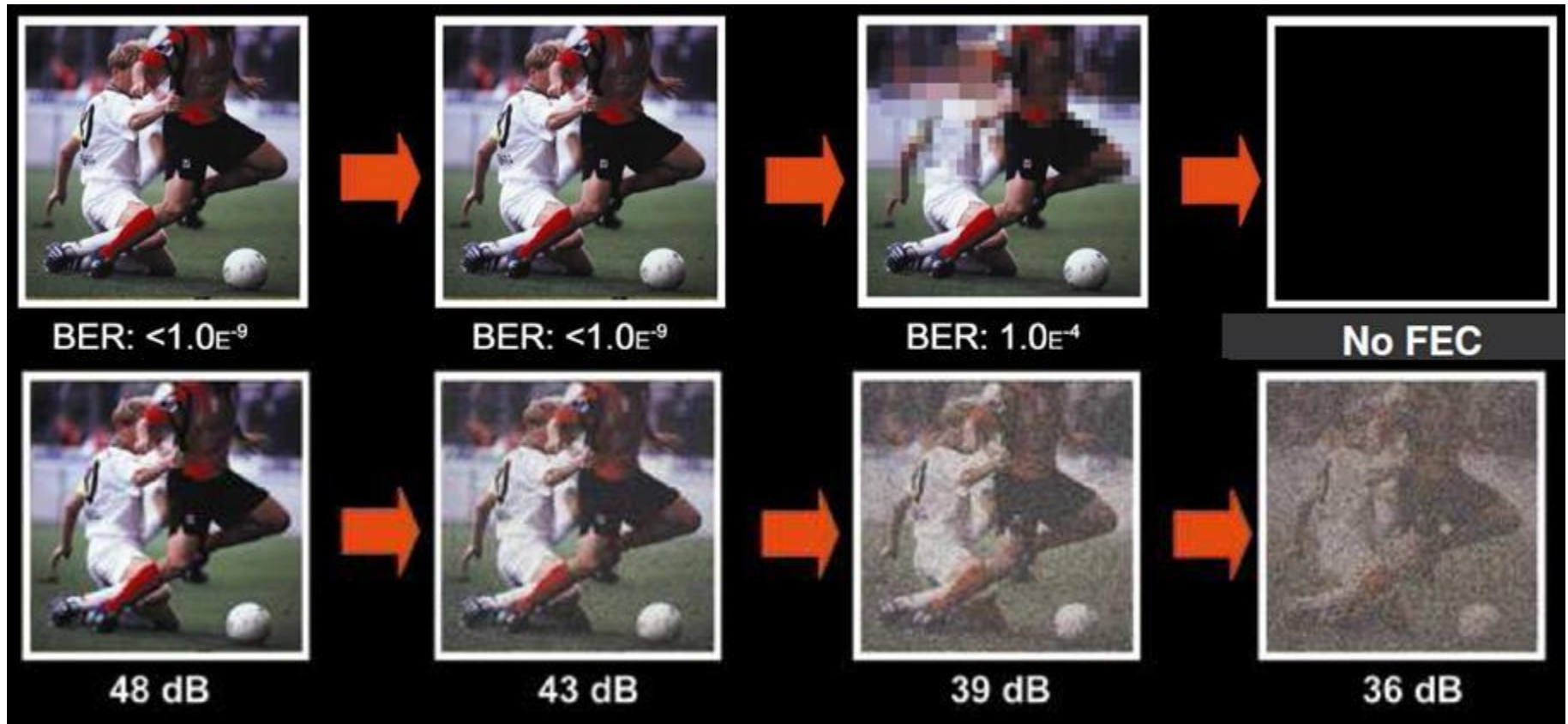
Nagravision



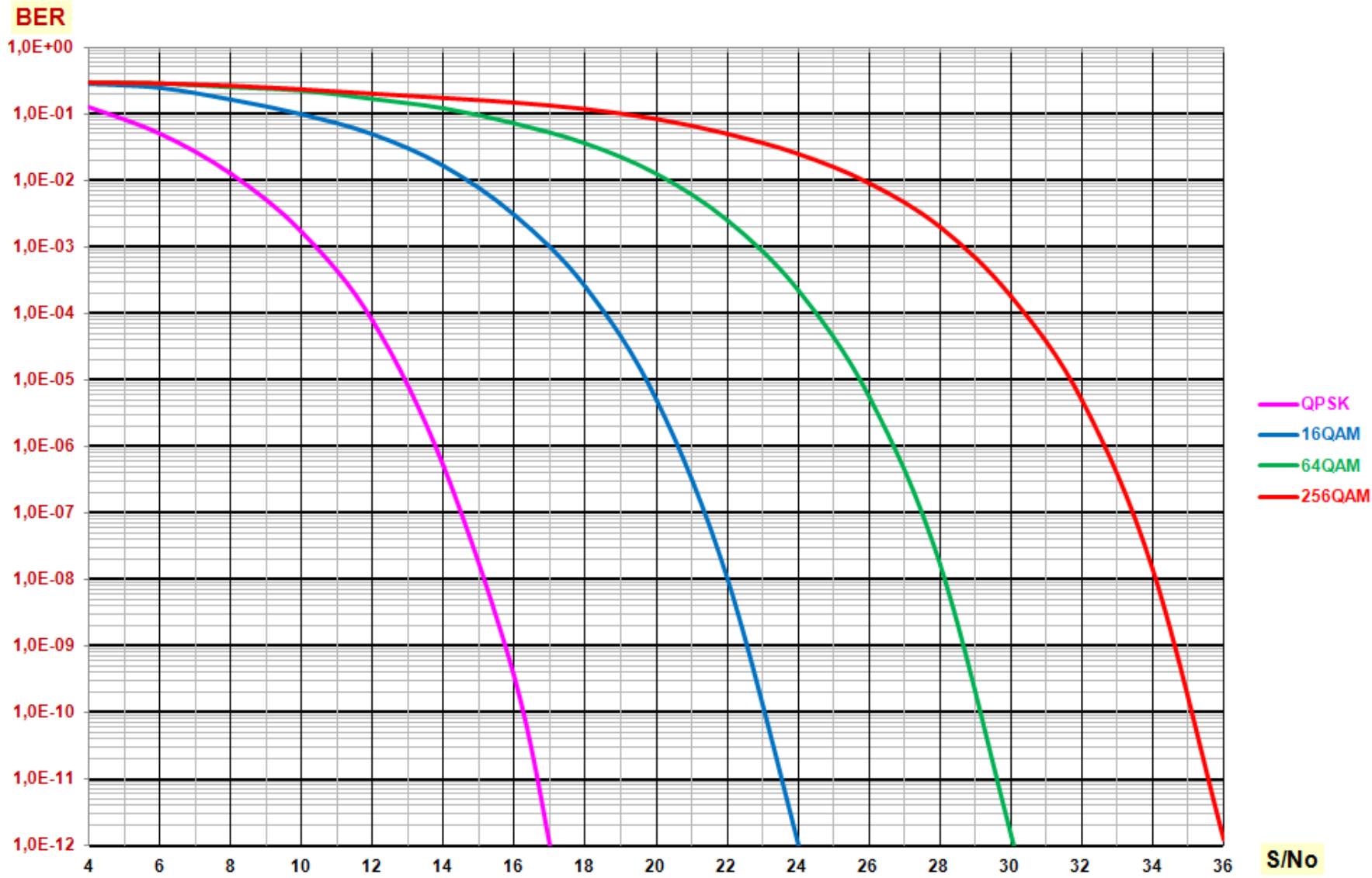
PowerVu

PowerVu Jest systemem dostępu warunkowego dla telewizji cyfrowej, opracowanym przez Instytut Atlanta.

System **PowerVu** w odróżnieniu od pozostałych nie opiera się na kartach kodowych lub modułach CAM, lecz na dedykowanych urządzeniach końcowych. Dlatego największymi odbiorcami w/w systemu są sieci satelitarne i kablowe, w których jest wykorzystywany do redystrybucji sygnału



jakość sygnału cyfrowego względem szumów



jakość sygnału cyfrowego

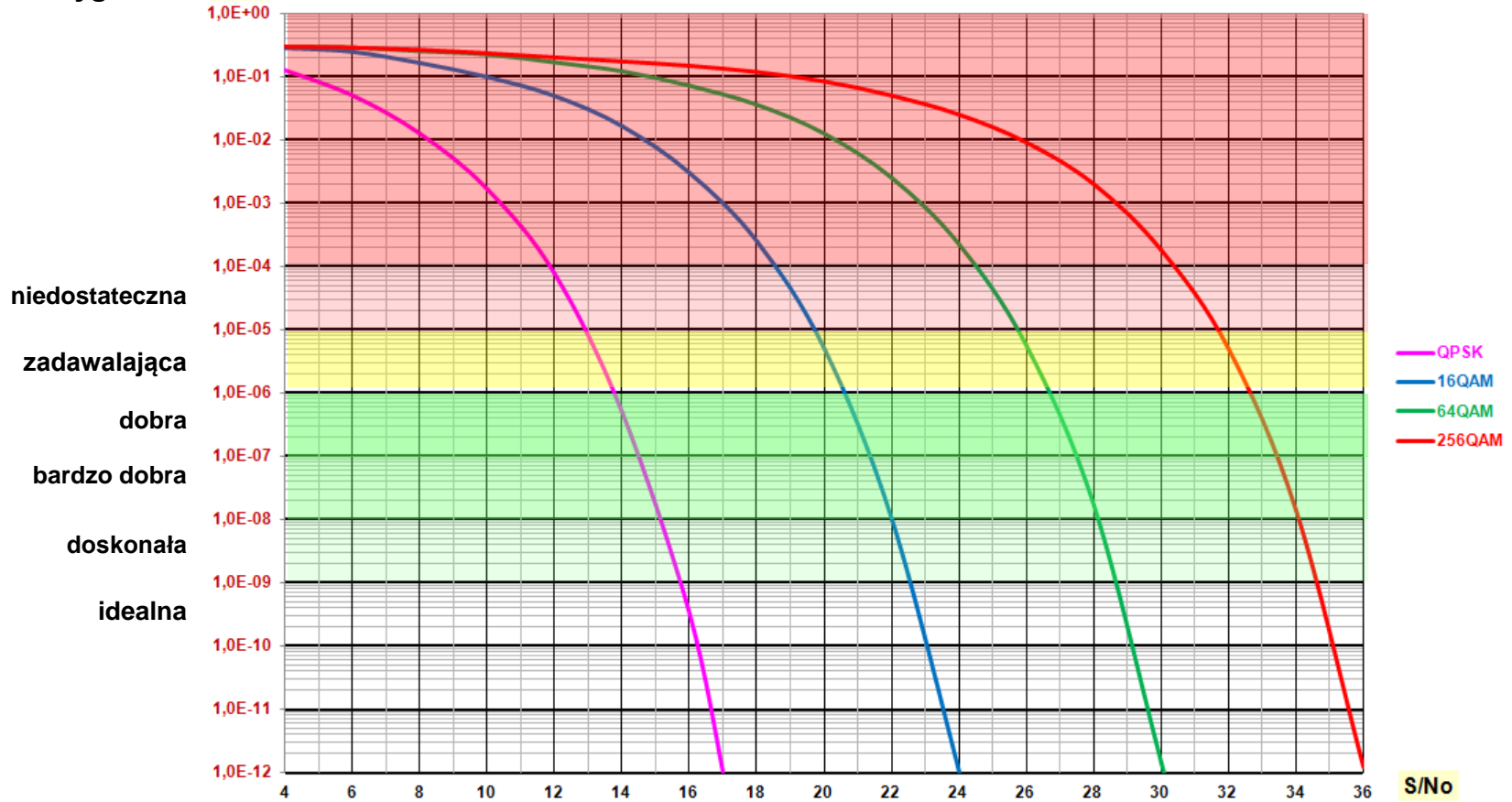
- 8MHz kanał z modulacją **256QAM** przesyła 5M symboli w ciągu sekundy
- **BR=8bitów/symbol** co daje BR=40M bitów /sekundę

BER	<i>ilość błędnych bitów</i>	<i>ilość błędnych bitów w czasie</i>
10^{-12}	1 na trylion bitów	25000sek bez błędu (6,94h)
10^{-11}	1 na 100 bilionów bitów	2500sek bez błędu (41,67min)
10^{-10}	1 na 10 bilionów bitów	250sek bez błędu (4,167min)
10^{-9}	1 na bilion bitów	25sek bez błędu
10^{-8}	1 na 100 milionów bitów	2,5sek bez błędu
10^{-7}	1 na 10 milionów bitów	4 w ciągu sekundy
10^{-6}	1 na milion bitów	40 w ciągu sekundy
10^{-5}	1 na 100 tysięcy bitów	400 w ciągu sekundy
10^{-4}	1 na 10 tysięcy bitów	4000 w ciągu sekundy

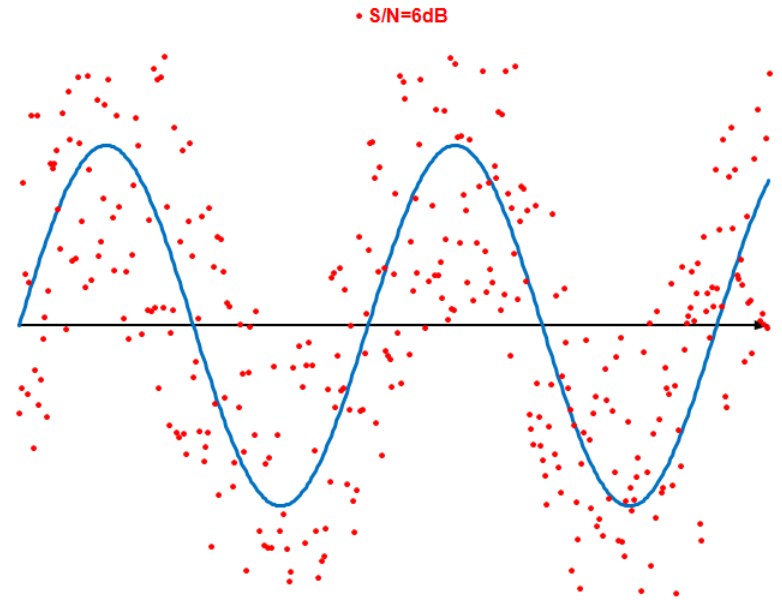
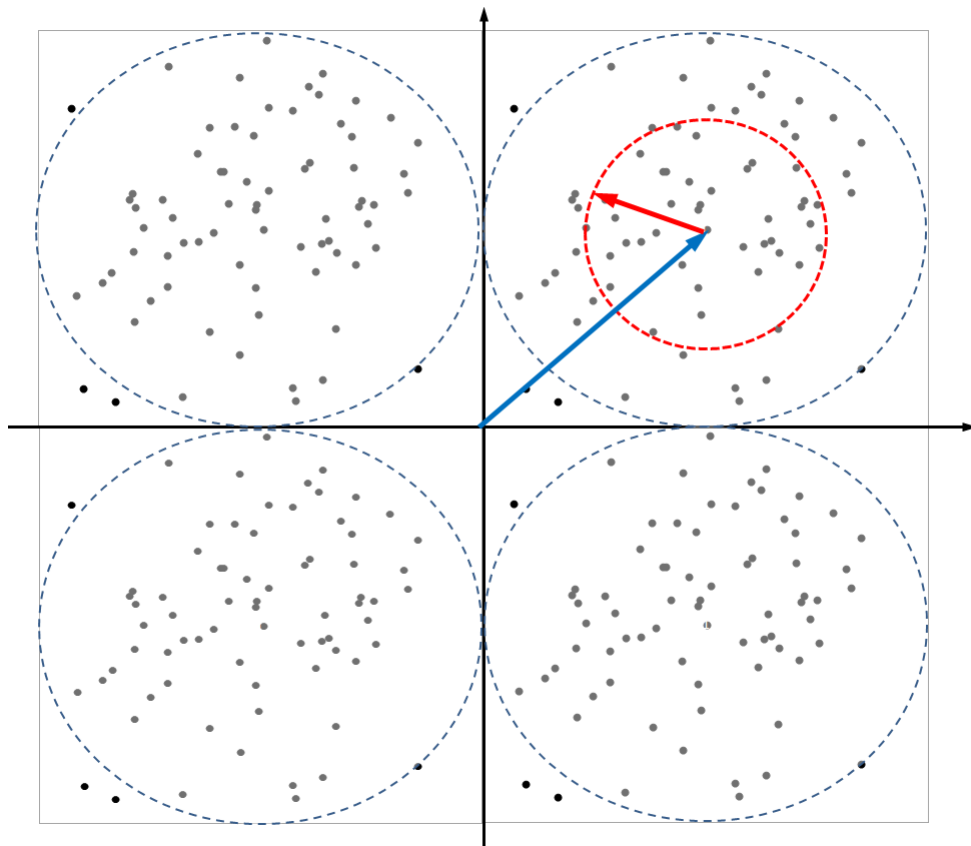
jakość sygnału cyfrowego

jakość sygnału:

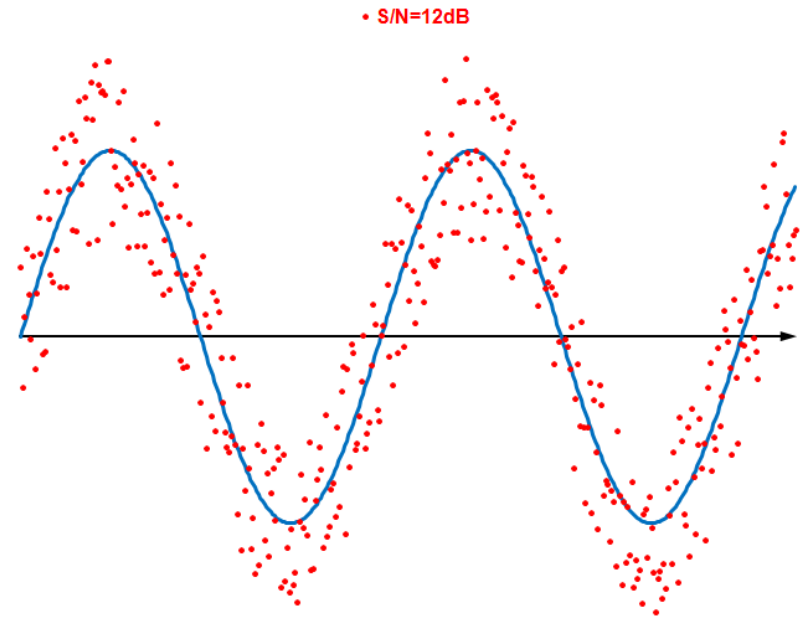
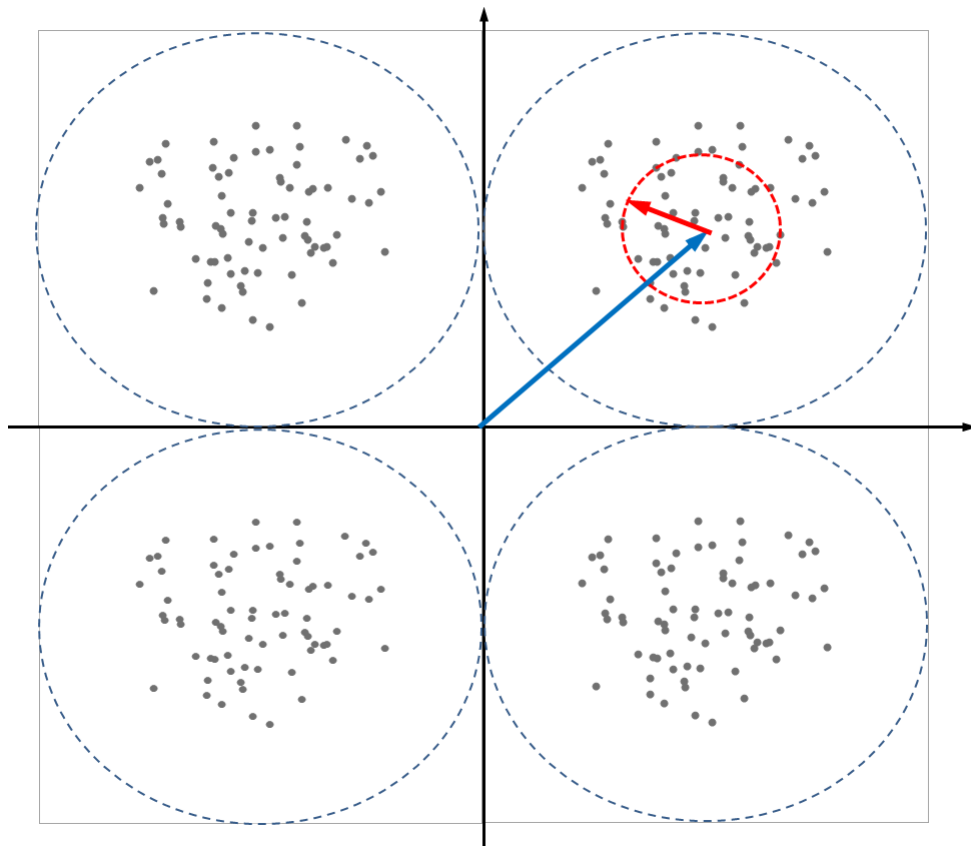
BER



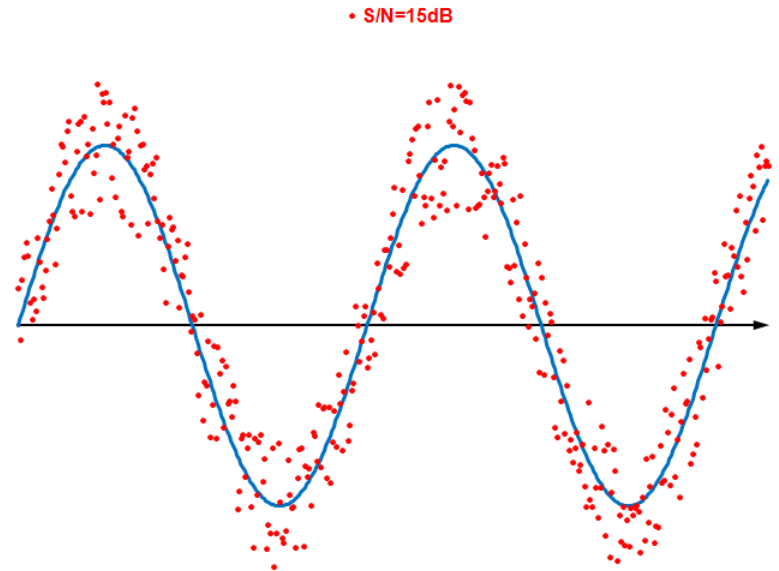
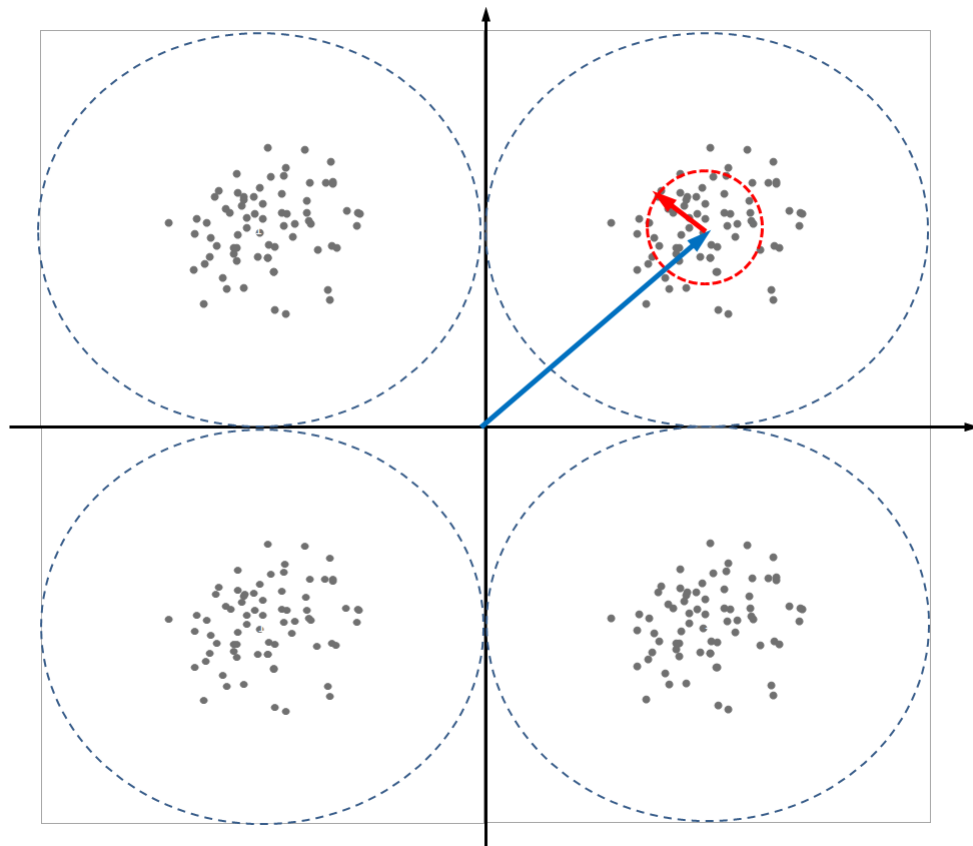
jakość sygnału cyfrowego (wpływ szumów)



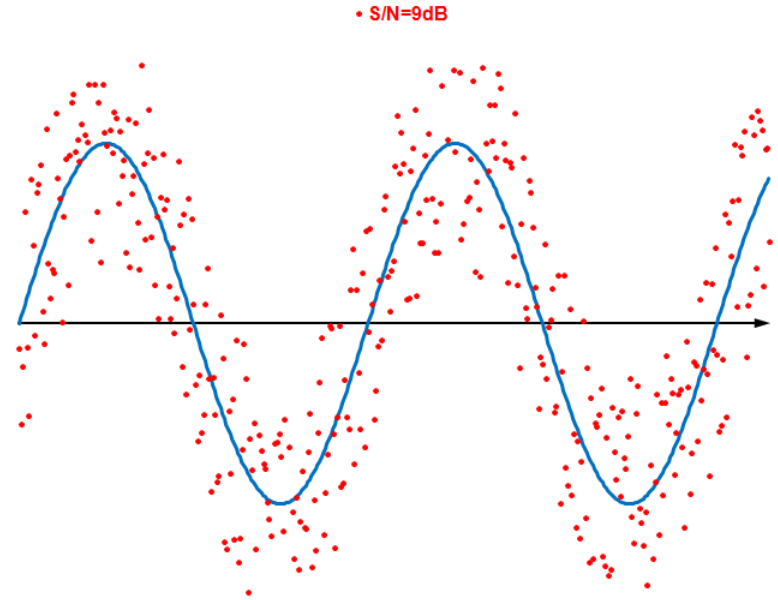
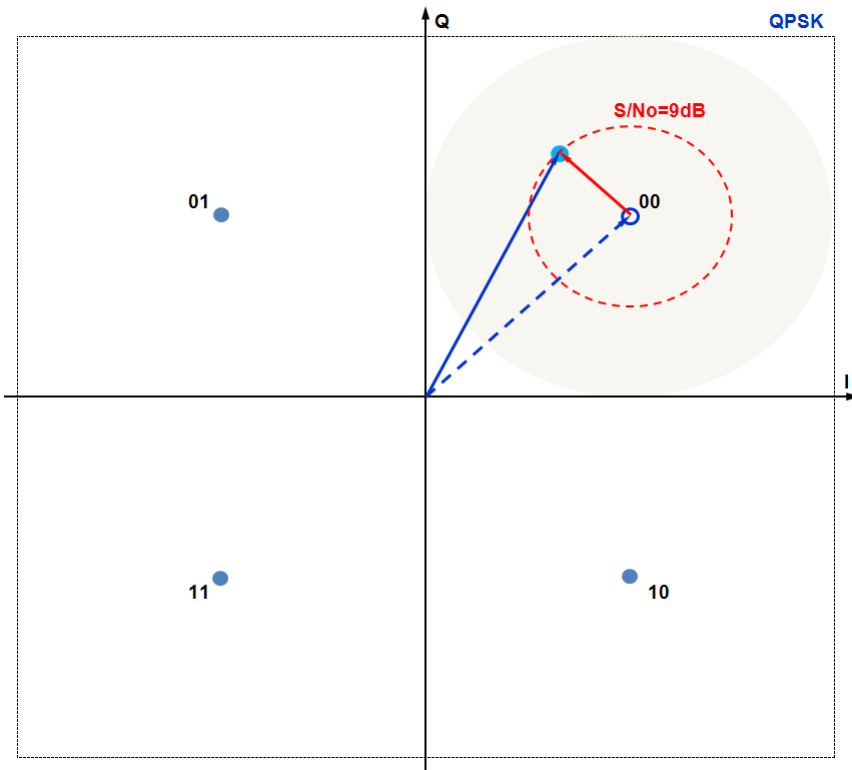
jakość sygnału cyfrowego (wpływ szumów)



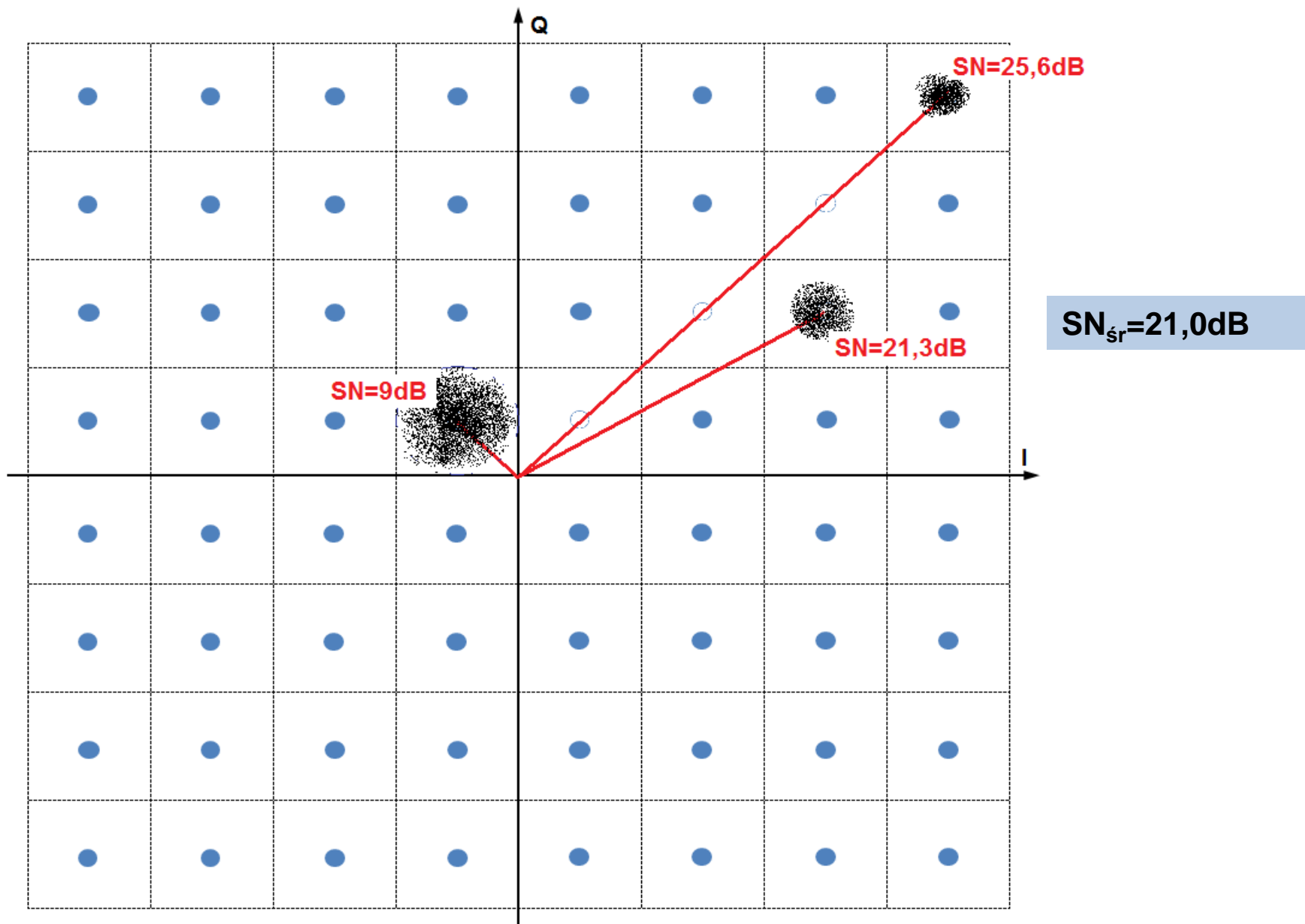
jakość sygnału cyfrowego (wpływ szumów)



jakość sygnału cyfrowego (zakłócenia)

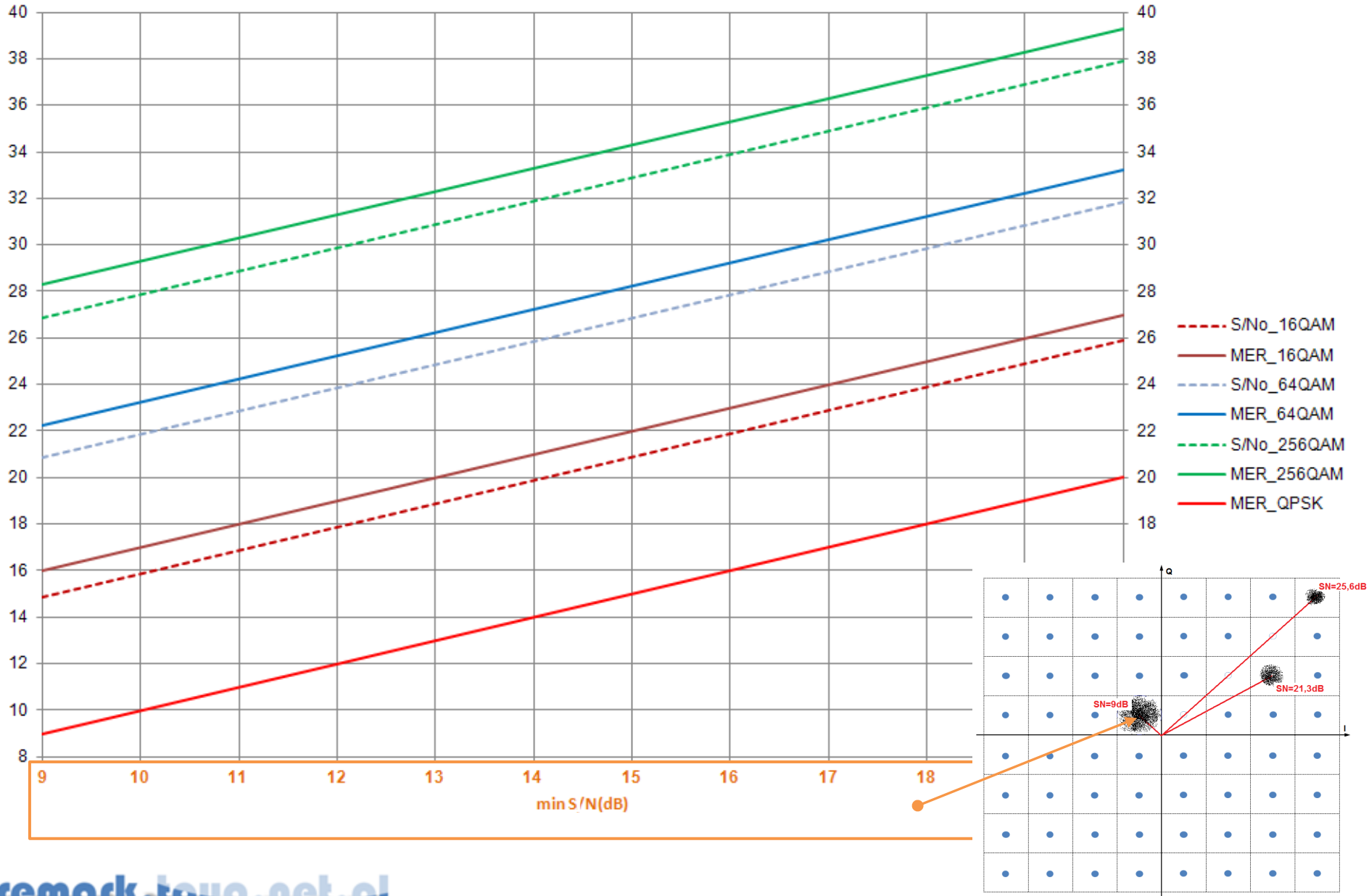


poziom szumów , MER

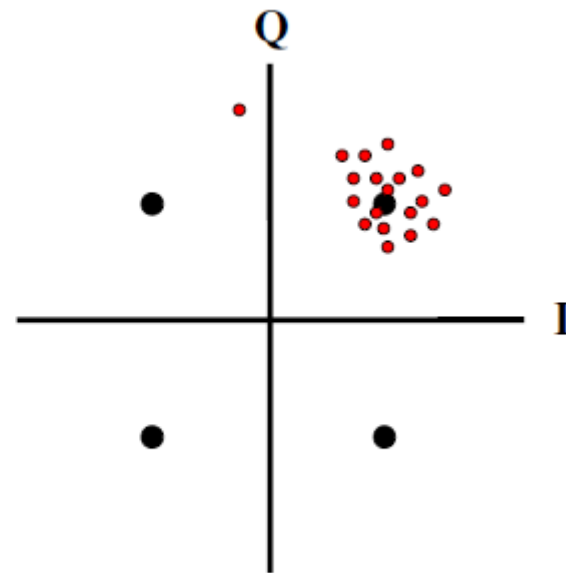
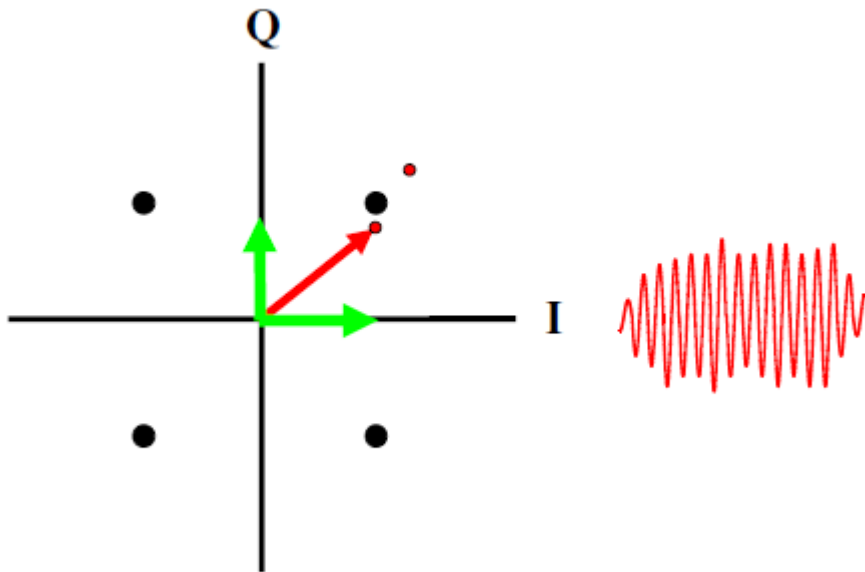
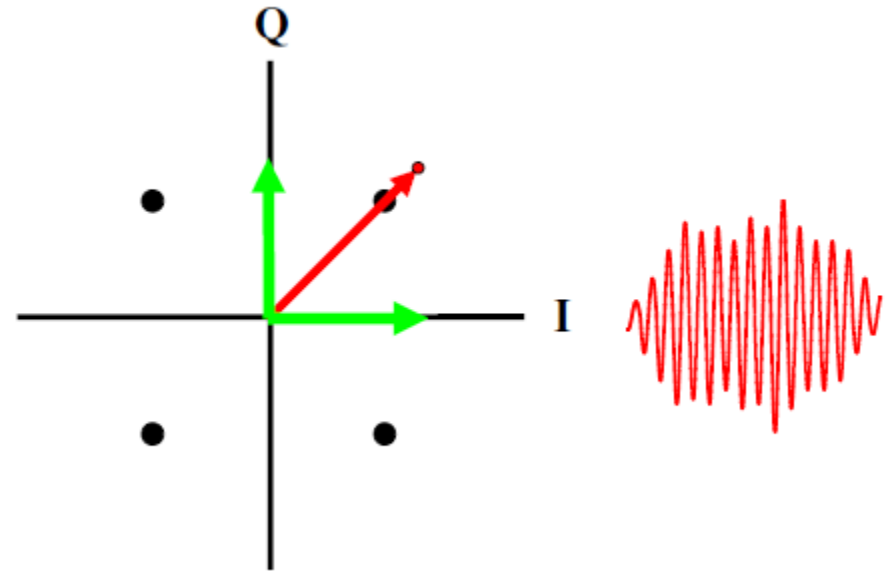
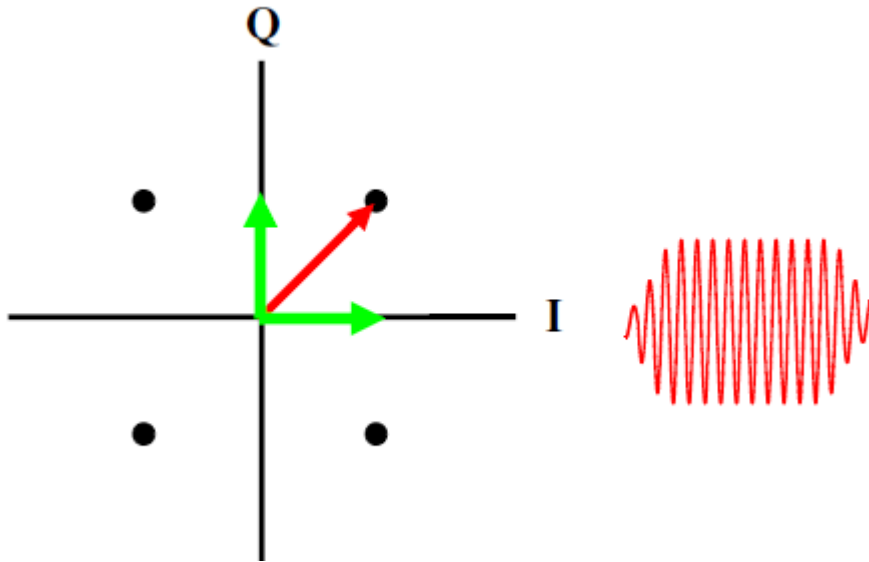


średni poziom S/No, MER funkcji minimalnego poziomu konstelacji

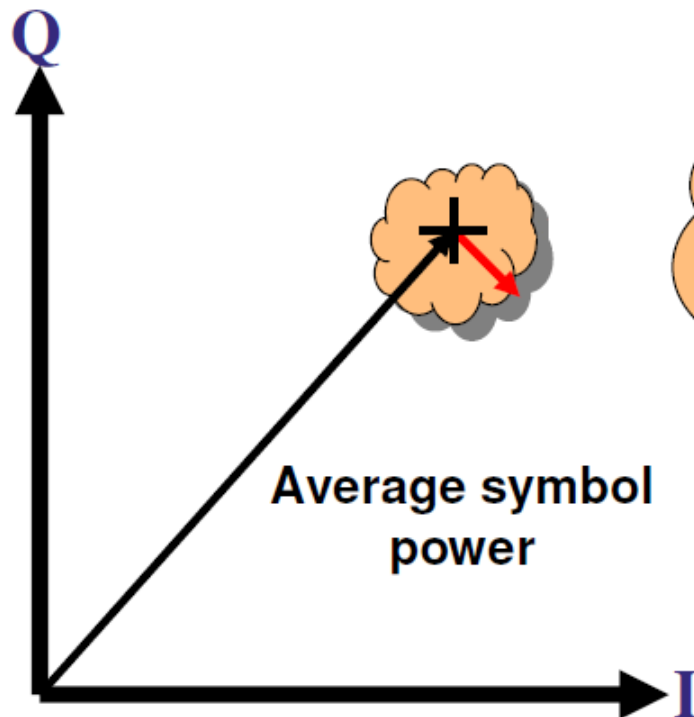
średni poziom S/No oraz MER funkcji minimalnego poziomu SN



jakość sygnału cyfrowego (zakłócenia)



$$\text{MER} = 10 \log \left(\frac{\text{średnia moc wektora symbolu}}{\text{średnia moc wektorów błędnych}} \right)$$

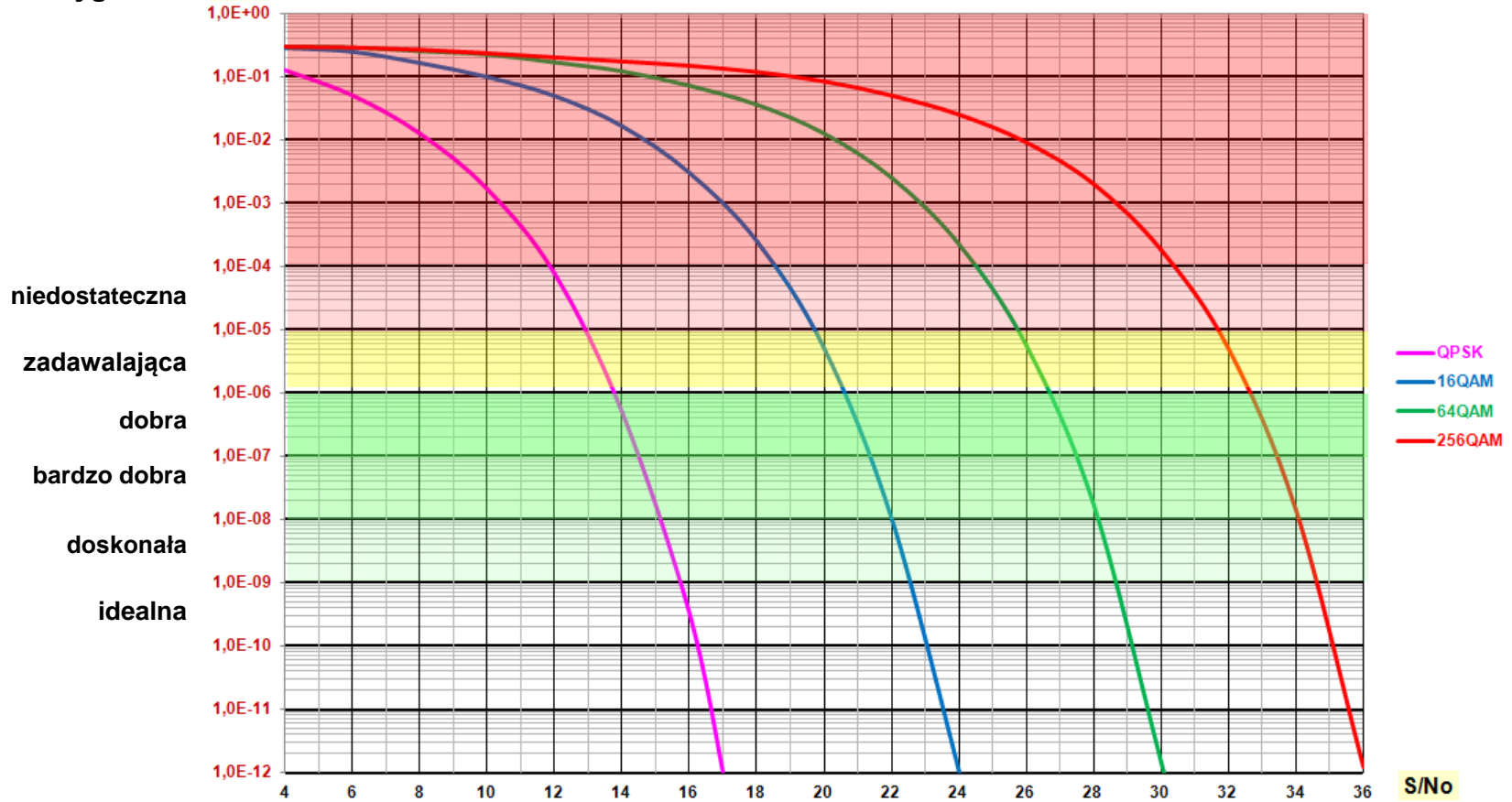


$$\text{MER} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right]$$

jakość sygnału cyfrowego

jakość sygnału:

BER



parametry sygnału cyfrowego i analogowego

QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM	BER	jakość	uwagi
5,5	11,0	17,0	23,0	1,0E-03	brak odbioru	
8,0	14,0	20,0	26,0	1,0E-04	niedostateczna	
10,5	16,5	22,5	28,5	1,0E-05	zadawalająca	
11,7	17,7	23,7	29,7	1,0E-06	dobra	Próg zauważalnego pogorszenia jakości
12,3	18,3	24,3	30,3	1,0E-07	bardzo dobra	
12,8	18,8	24,8	30,8	1,0E-08	doskonała	
13,2	19,2	25,2	31,2	1,0E-09	idealna	

FEC może poprawić **BER** od 10^{-4} do 10^{-10}

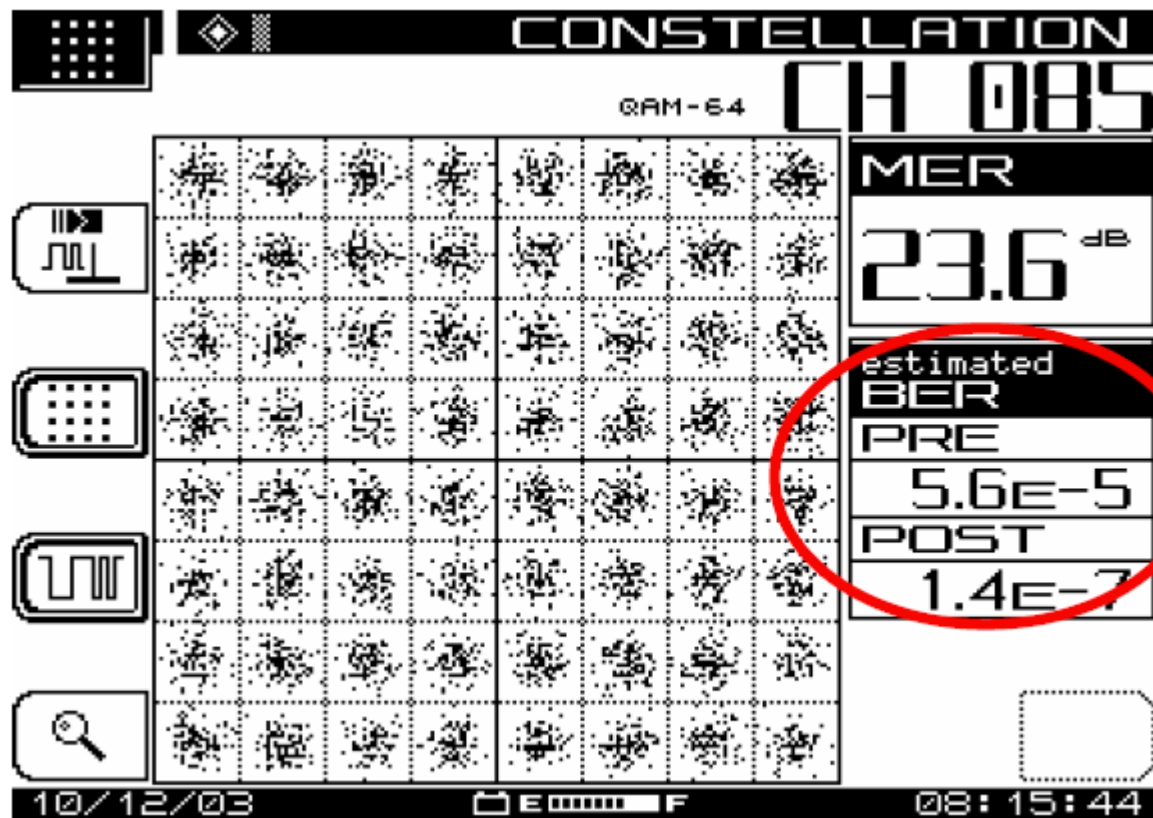
15...18	21...24	27...30	33...36
---------	---------	---------	---------

zalecany minimalne poziomy **MER** z zapasem **3-6dB**

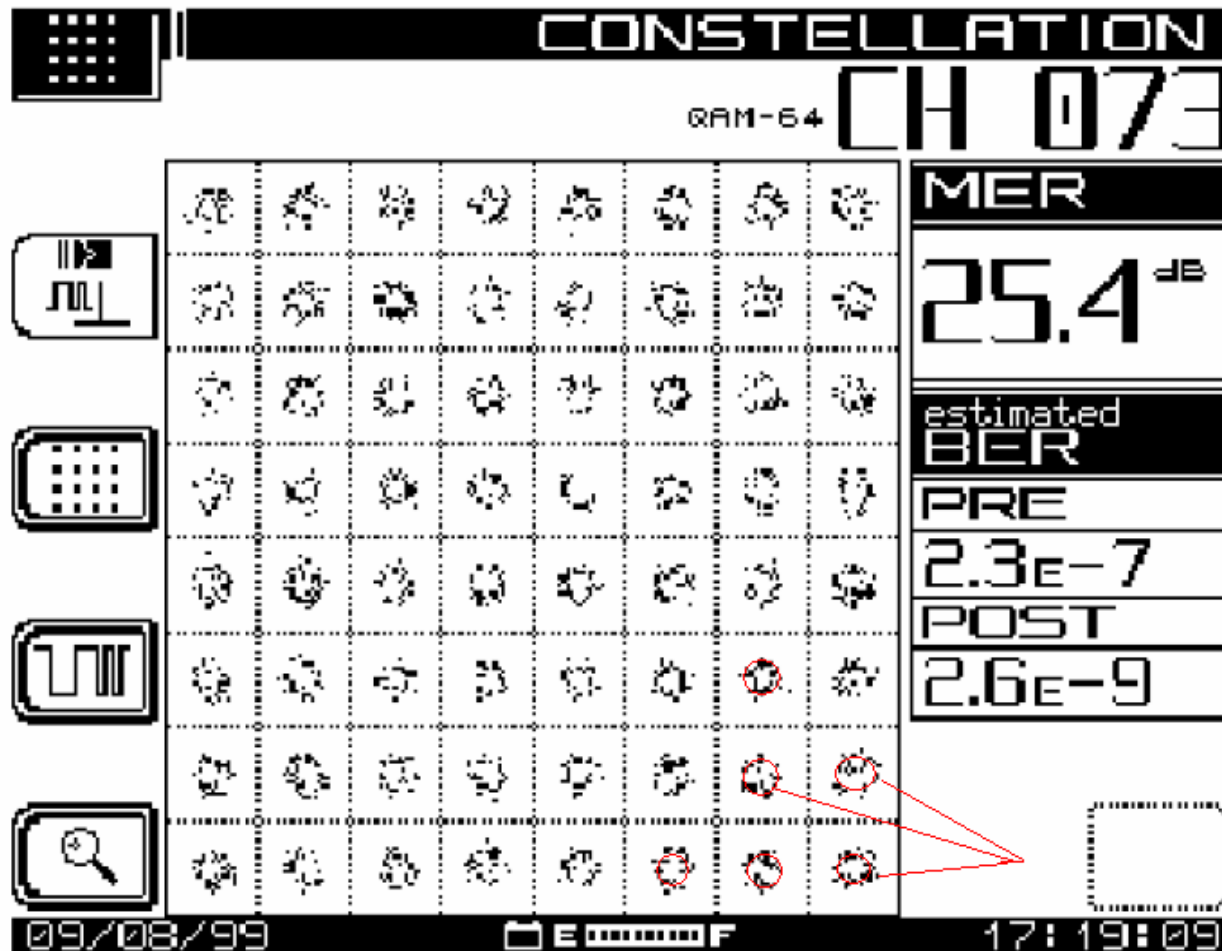
sygnał	Analog	QPSK	64-QAM	256-QAM	Radio FM
poziom(dBμV)	57...78	45...70	45...70	50...70	40...70
C/N, MER (dB)	>44	>16	>28	>34	>38
BER		>9,0E-06	>9,0E-06	>9,0E-06	

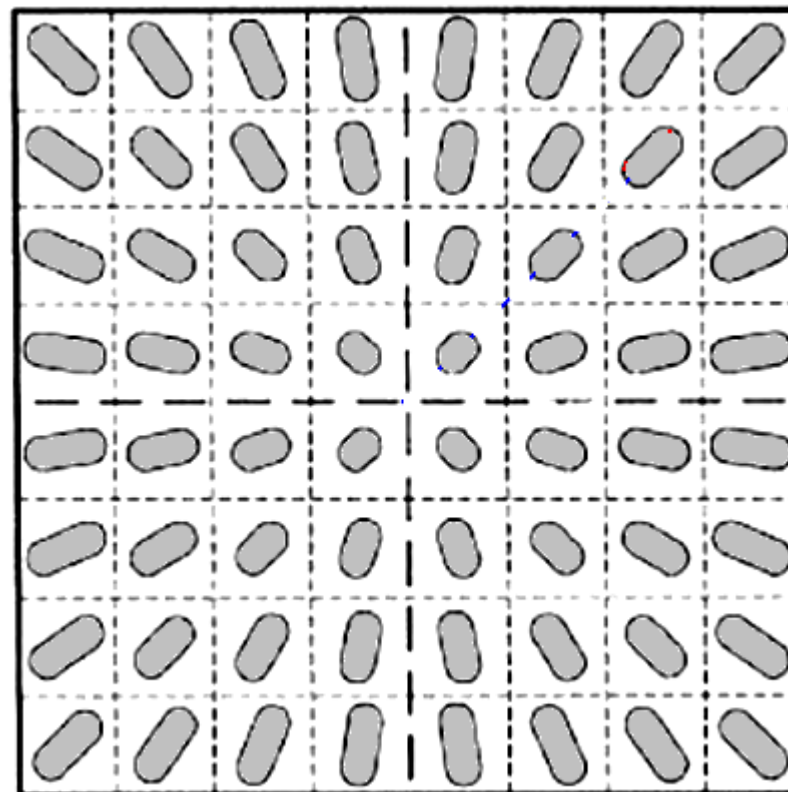
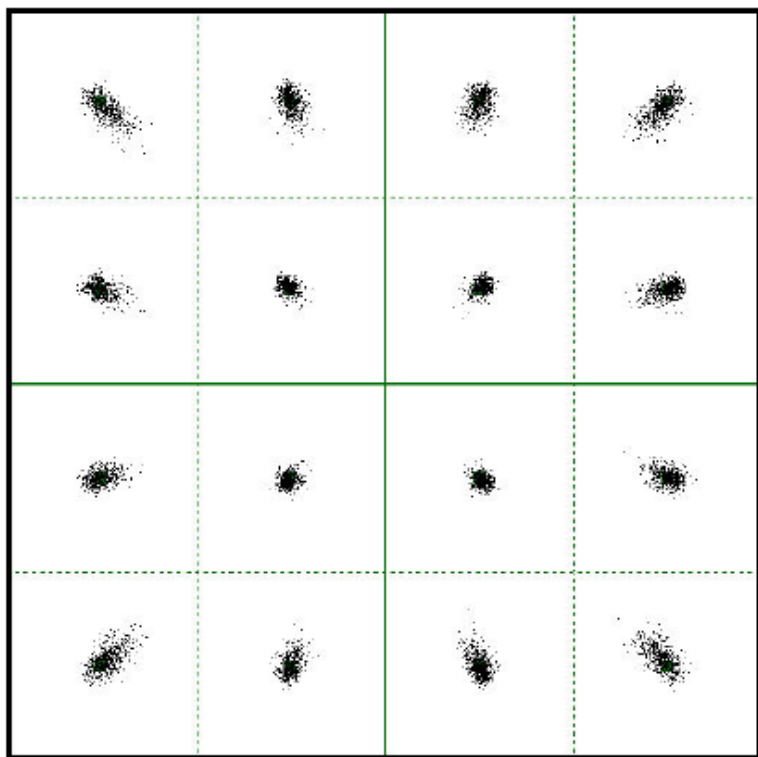
- niski poziom sygnał/szum w sieci HFC
- nieliniowość wzmacniaczy (*CSO, CTB, CPD, ...*)
- ingres (*interferencje*)
- modulacja skrośna (*HUM, laser*)
- duży poziom wzmacniaczy (*nasycenie*)
- szумы fazowe
- niedopasowanie w sieci, wpływ mikro-odbić (*modulacje amplitudy, zniekształcenia fazy*)

zwiększony poziom szumów



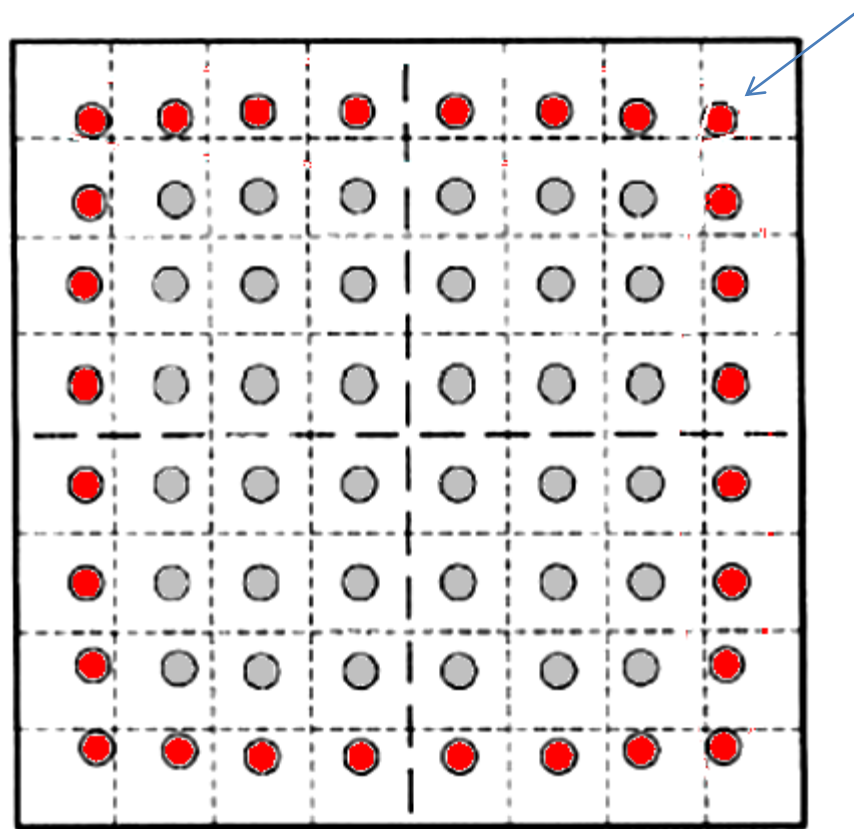
nośna zakłócająca (interferencja)





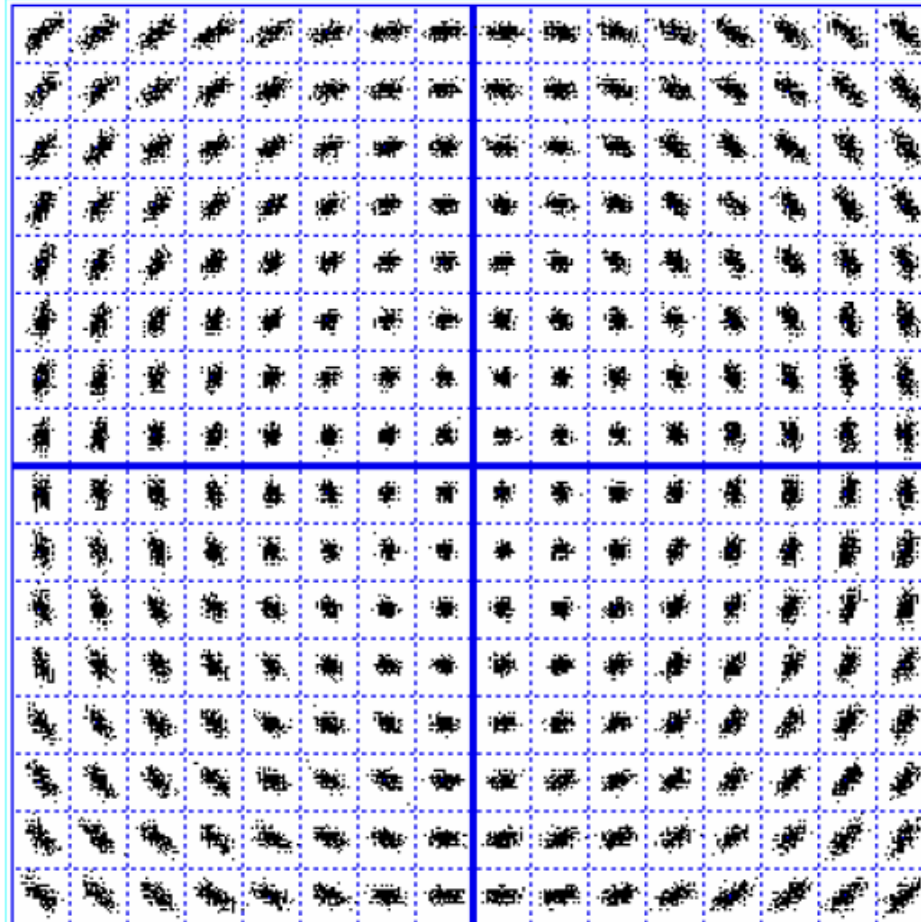
1. nasycenie lasera
2. modulacja skrośna (HUM)

wpływ nasycenia wzmacniacza



zakłócenia fazy

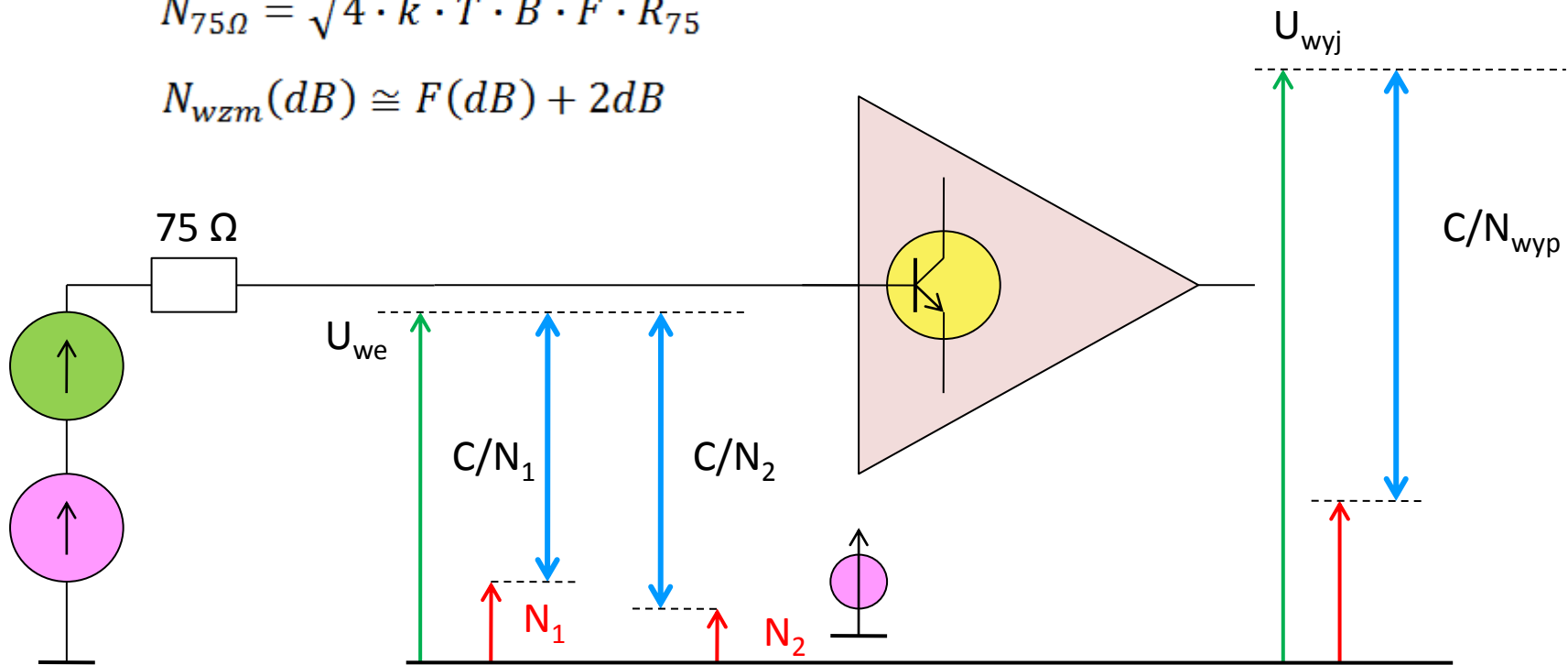
BER (Pre-Fec)	
BER (Post-Fec)	
MER: 34.0 dB	
ENM: 5.8 dB	
EUM: 1.2 %	
ES: 0 Sec	
SES: 0 Sec	
FLS: 52 Sec	
UNAU: 0 Sec	



poziom szumów na wyjściu wzmacniacza

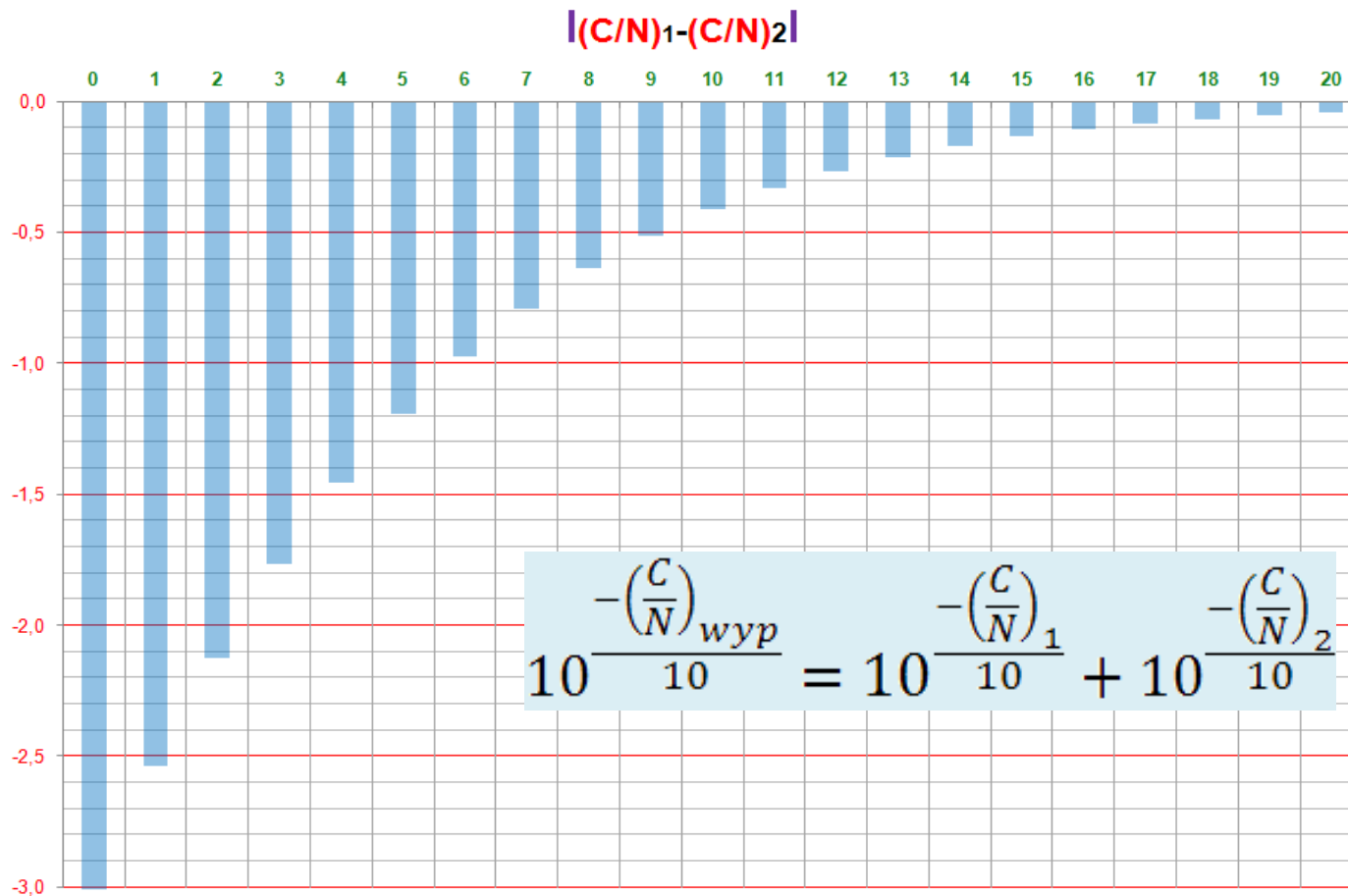
$$N_{75\Omega} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot F \cdot R_{75}}$$

$$N_{wzm}(dB) \cong F(dB) + 2dB$$

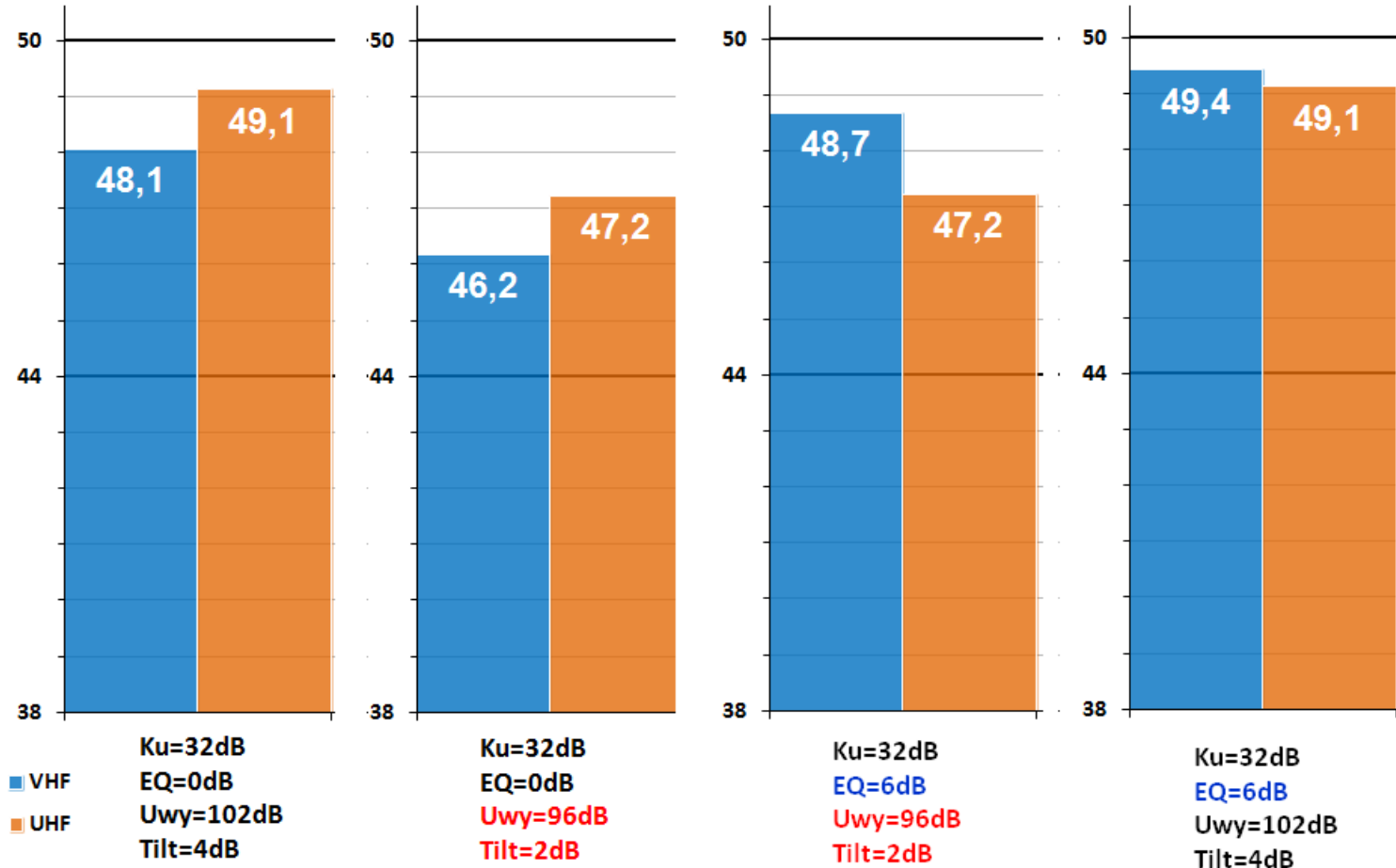


$$10^{\frac{-(C/N)_{wyp}}{10}} = 10^{\frac{-(C/N)_1}{10}} + 10^{\frac{-(C/N)_2}{10}}$$

poziom szumów na wyjściu wzmacniacza



poziom szumów na wyjściu wzmacniacza budynkowego



poziom szumów na wyjściu wzmacniacza budynkowego

$$N_{75\Omega} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot F \cdot R_{75}}$$

$$C/N_{wzm} = C/N_2 = U_{wyj} - K_U - (F+2) \quad N \approx F(\text{dB}) + 2\text{dB} \quad \dots \text{szumy wzmacniacza (dla } B=3,5\text{MHz)}$$

$$U_{wyj} = 96\text{dB} \quad K_U = 36 \quad F = 8\text{dB}$$

$$C/N_{wzm} = 96 - 36 - 8 - 2 = 50\text{dB}$$
$$C/N_{wej} = 49\text{dB}$$

$$C/N_{wyp} = 49 - 2,5 = 46,5\text{dB}$$

przyjmując

$$C/N_{wzm.budynkowy} = 50\text{dB}_{\min}$$

$$N_{wzm} = 8,5 + 2 = 10,5\text{dB}$$

$$\min U_{WE} = 60,5\text{dB} !$$

$$K_U = 36 \quad U_{WYJ} = 96,5\text{dB}$$

$$K_U = 28 \quad U_{WYJ} = 88,5\text{dB}$$

$$K_U = 21 \quad U_{WYJ} = 81,5\text{dB}$$

$$K_U = 10 \quad U_{WYJ} = 70,5\text{dB}$$

przyjmując

$$\begin{aligned} C/N_{\text{wzm.magistralny}} &= 59 \dots 65 \text{ dB}_{\text{min}} \\ N_{\text{wzm}} &= 6,5 + 2 = 8,5 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\min U_{WE} = 67,5 \dots 73,5 \text{ dB}$$

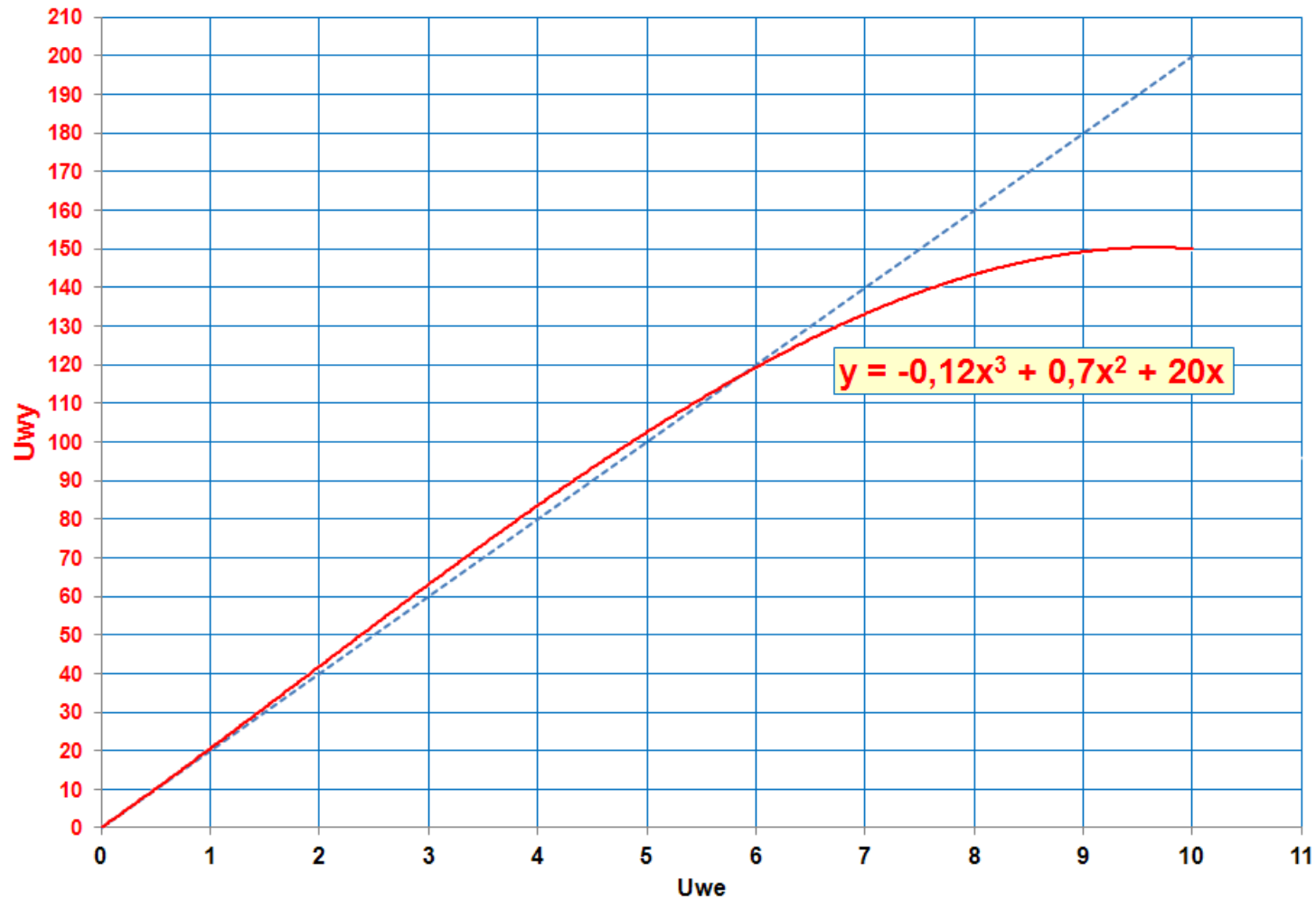
$$K_U = 31 \quad U_{WYJ} = 98,5 \dots 104,5 \text{ dB}$$

$$K_U = 28 \quad U_{WYJ} = 95,5 \dots 101,5 \text{ dB}$$

$$K_U = 21 \quad U_{WYJ} = 88,5 \dots 94,5 \text{ dB}$$

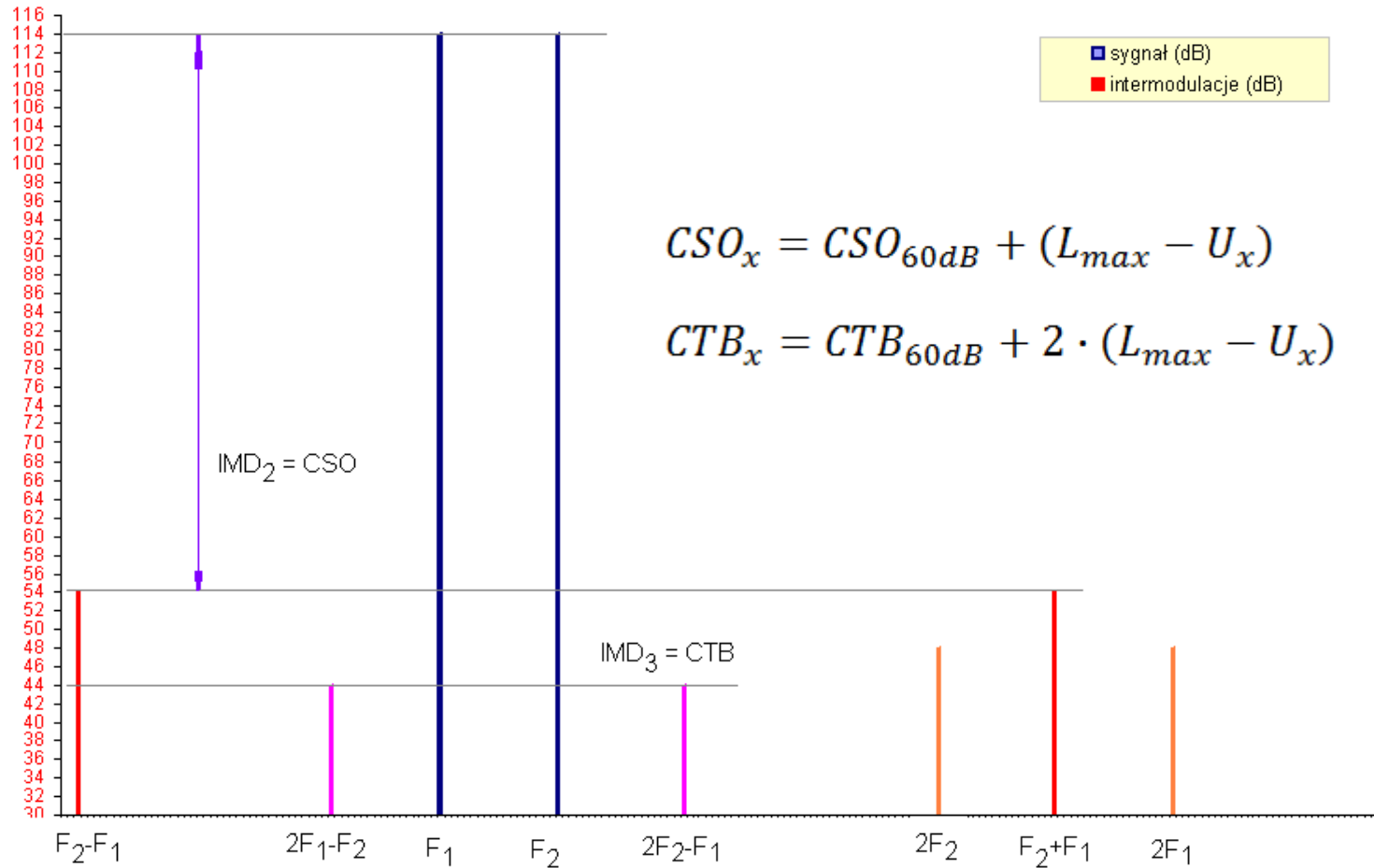
$$K_U = 10 \quad U_{WYJ} = 77,5 \dots 83,5 \text{ dB}$$

nieliniowość wzmacniacza

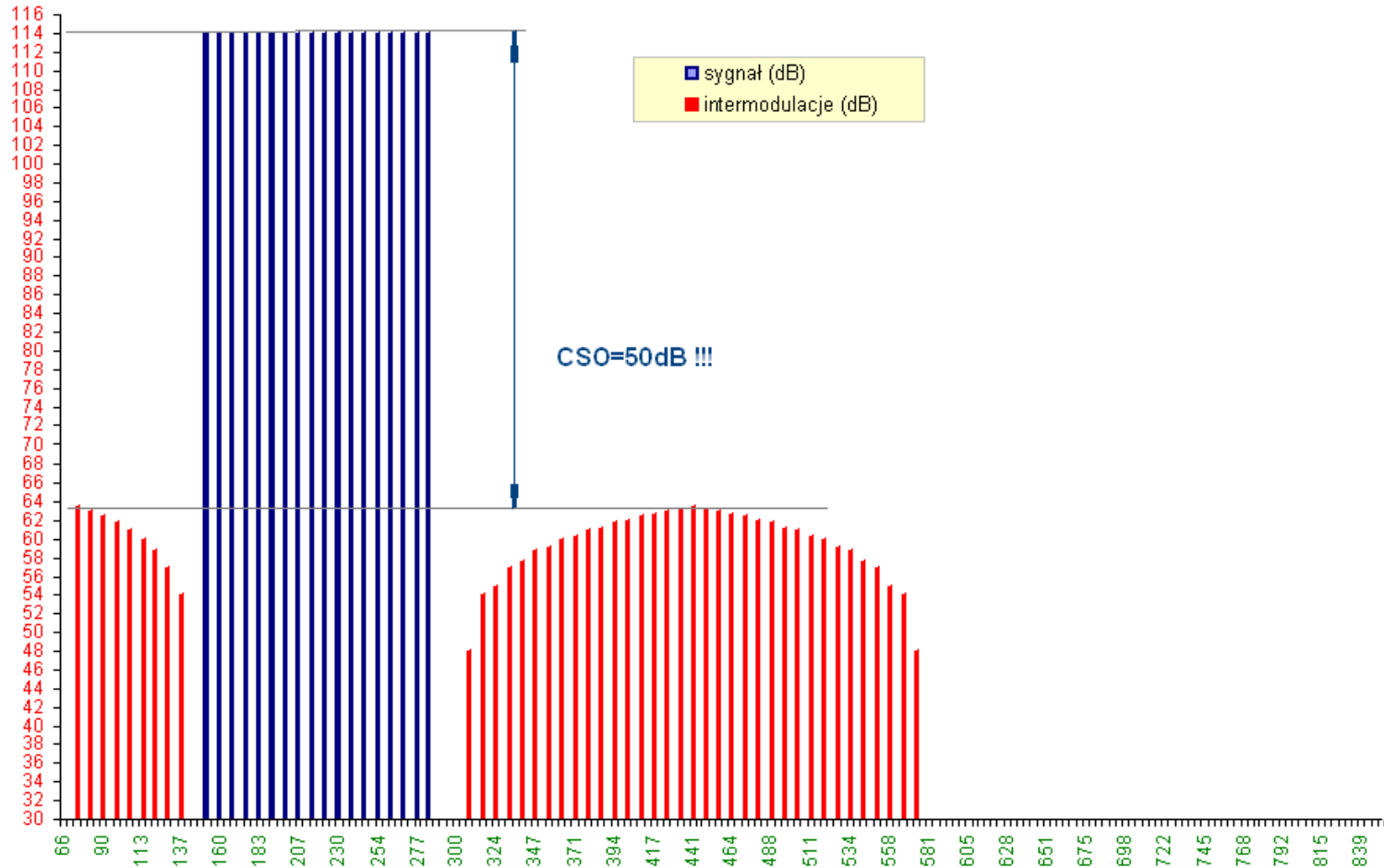


Ku

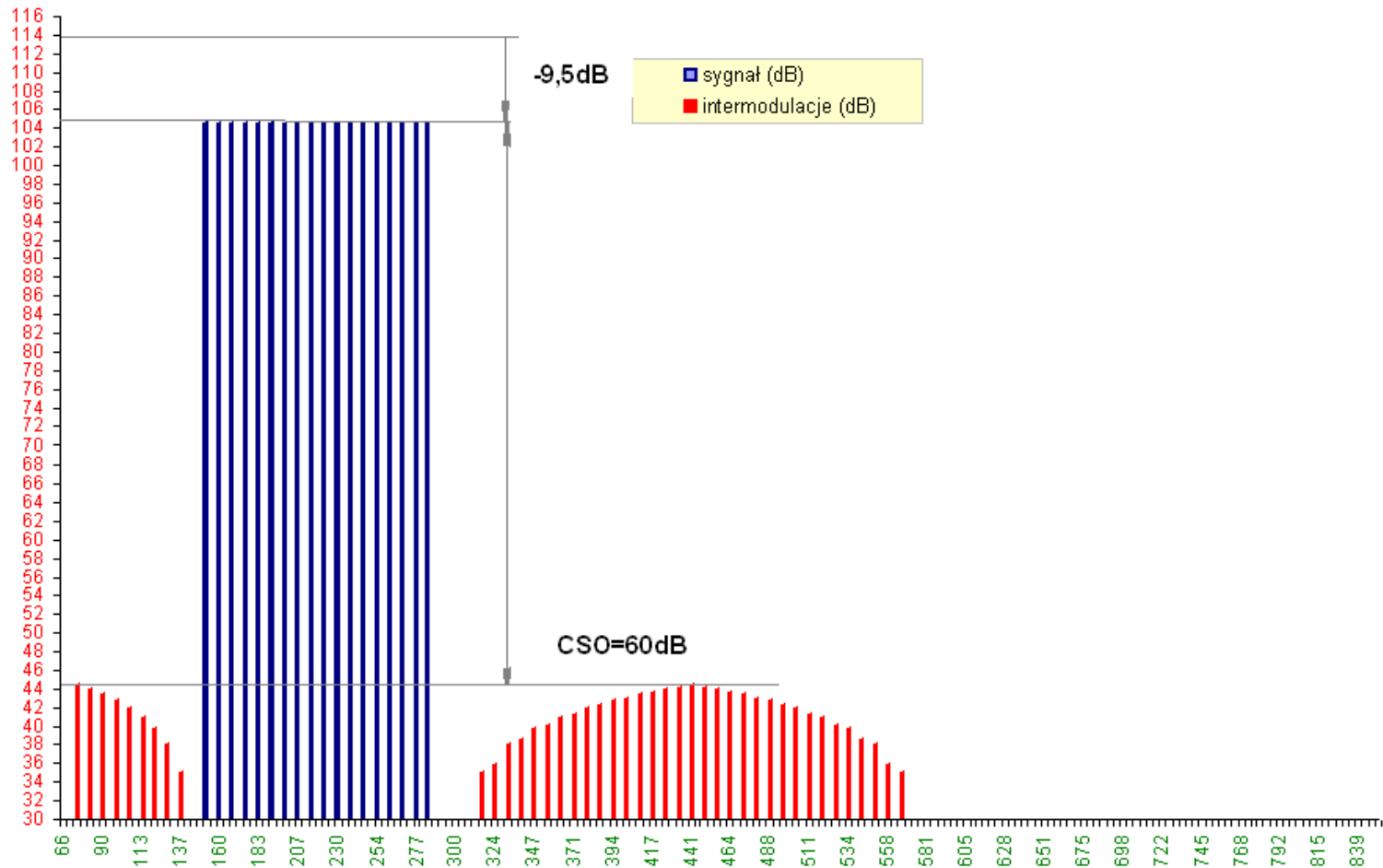
intermodulacje



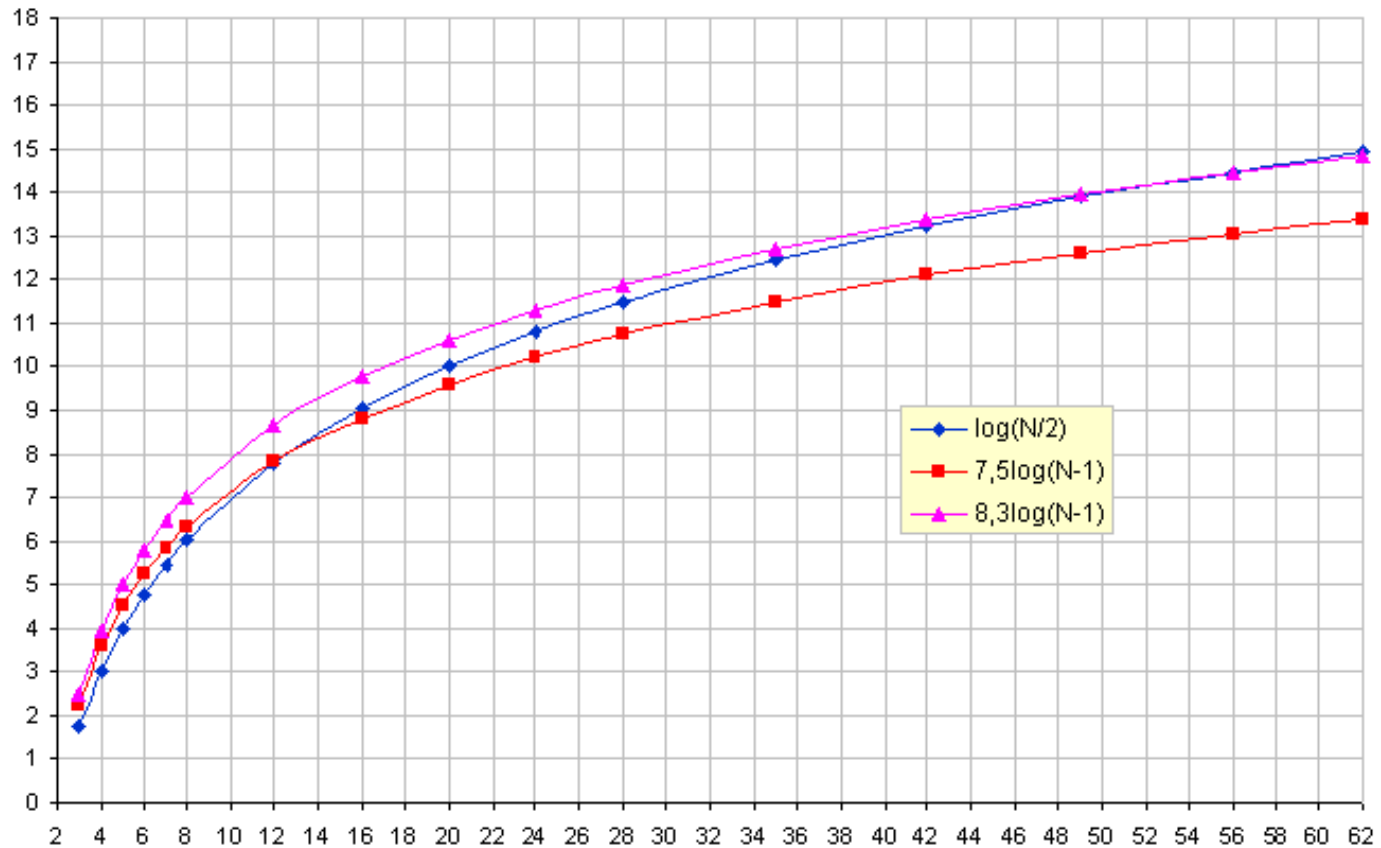
intermodulacje



intermodulacje

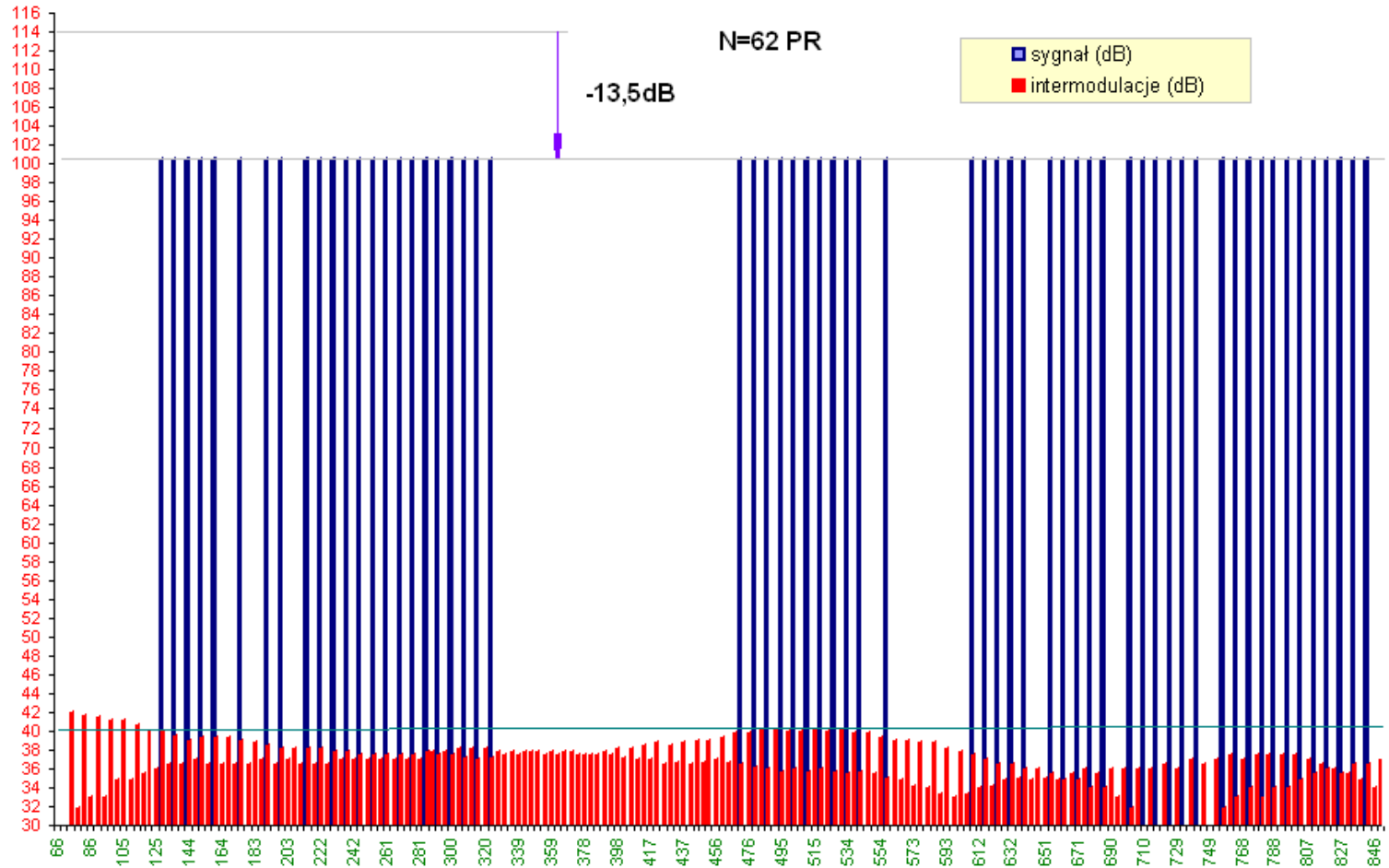


redukcja sygnału

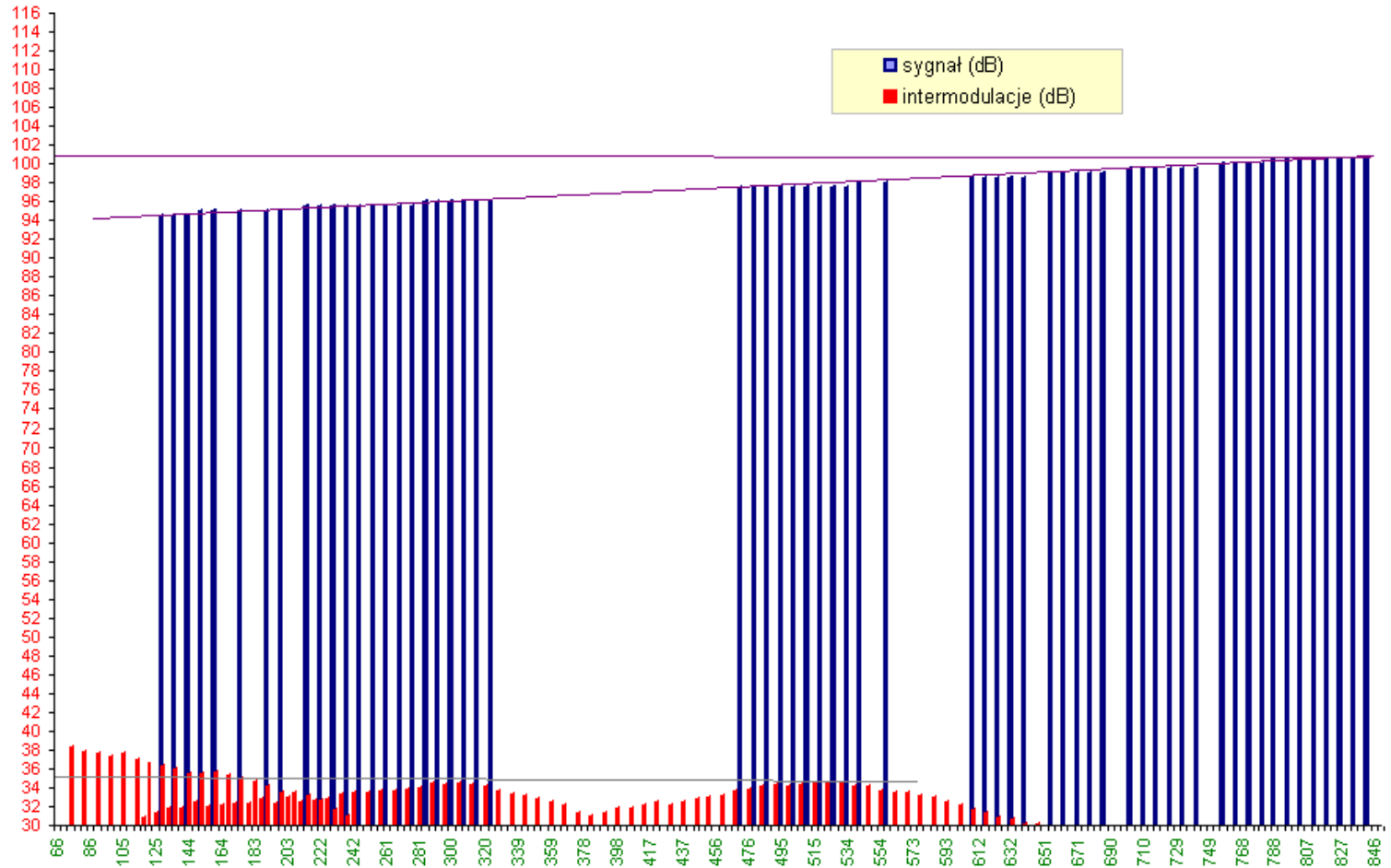


$$U_{wzm} = L_{max} - (CSO_{projekt} - CSO_{60dB}) - 7,5\log(N - 1)$$

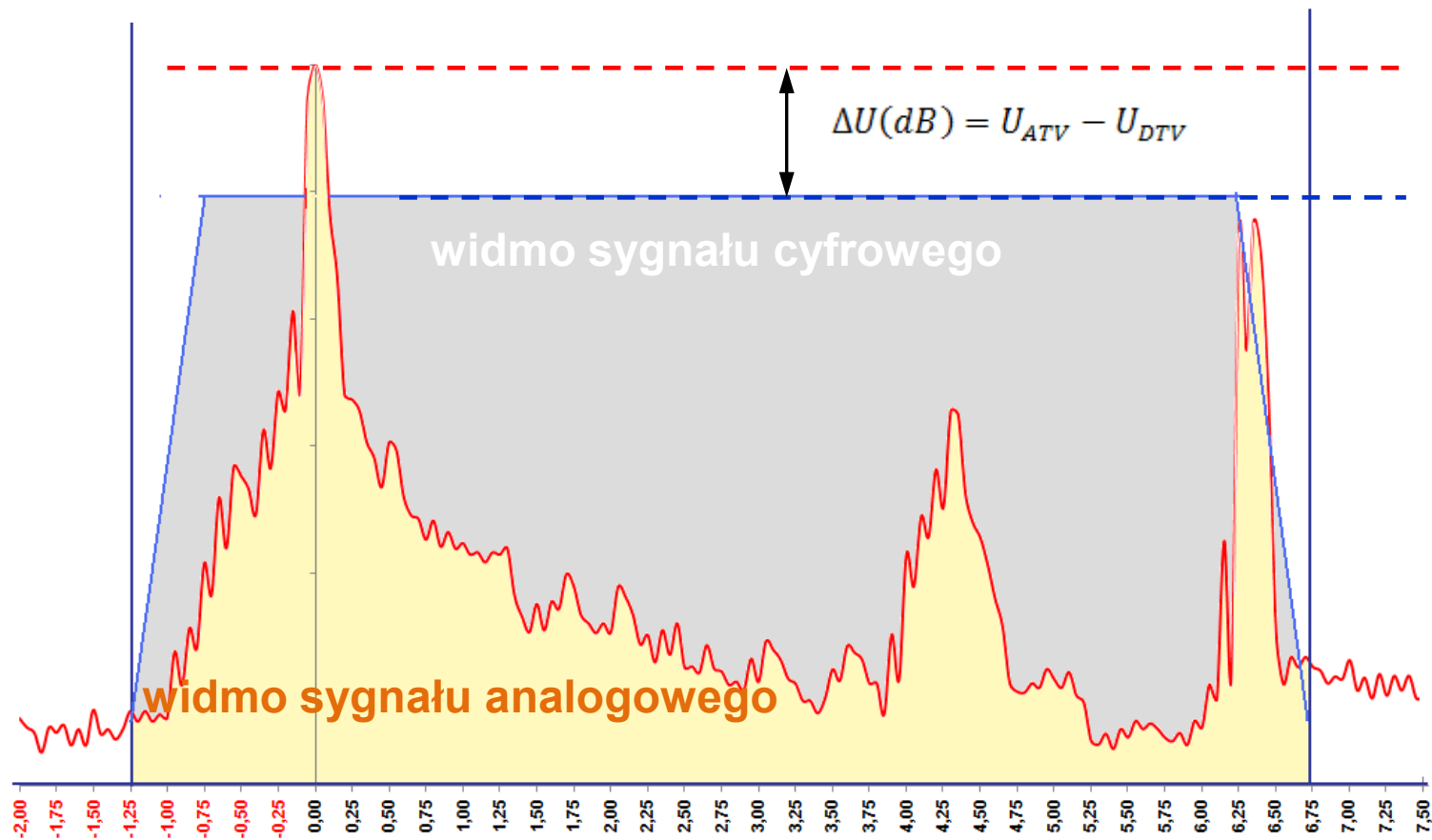
intermodulacje



intermodulacje



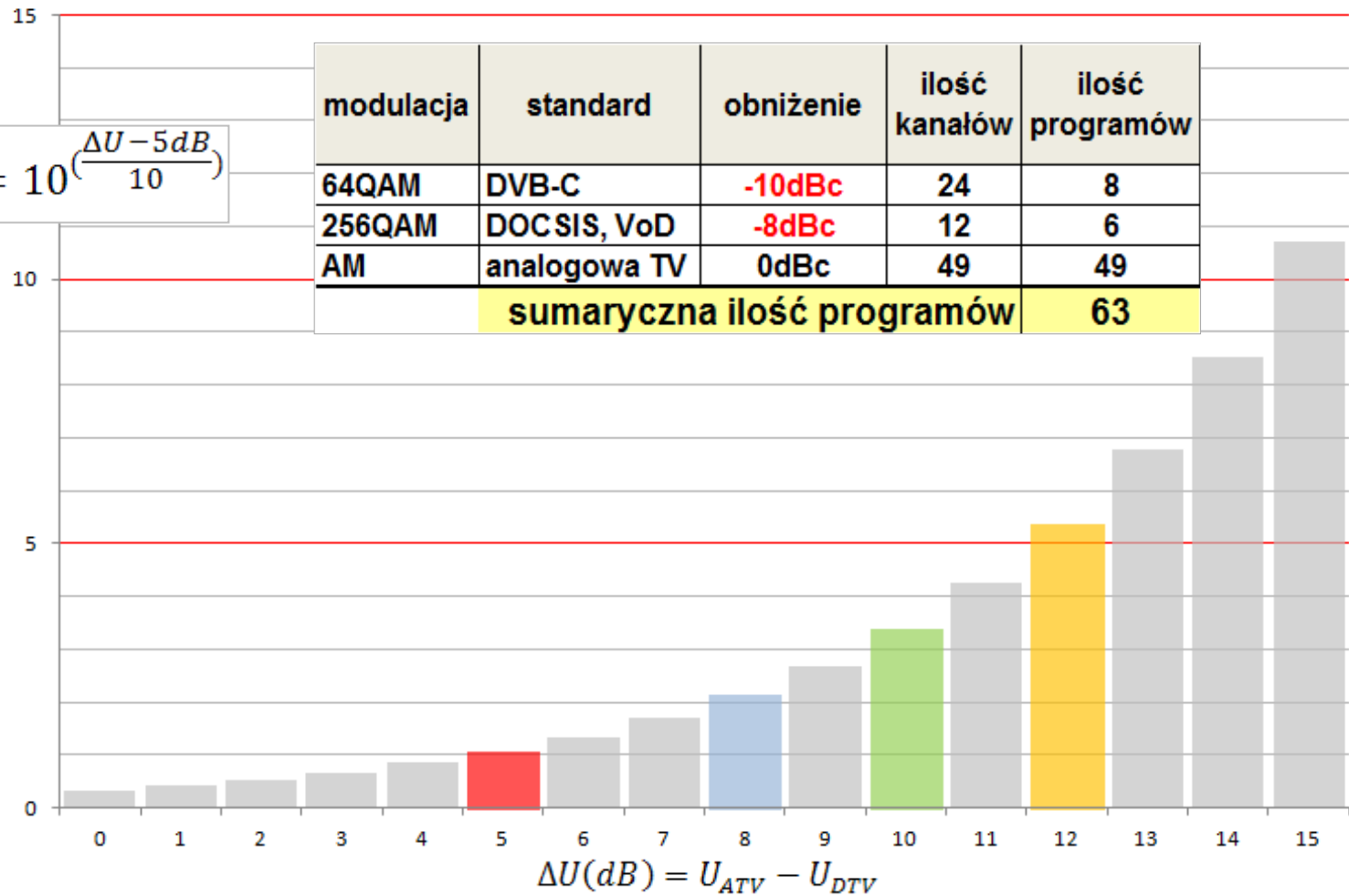
widmo sygnału



obniżenie kanału cyfrowego względem analogowego

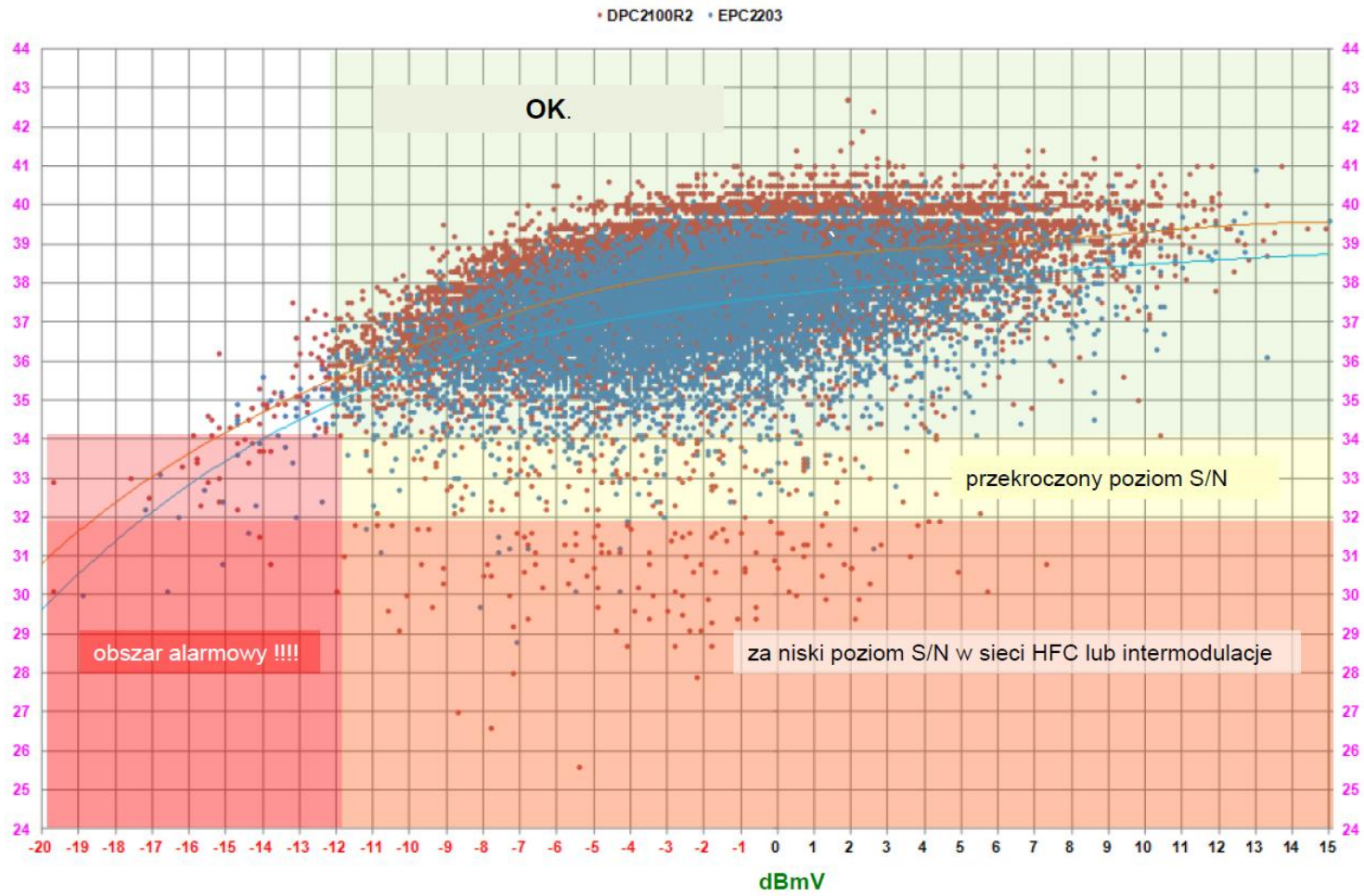
$$n_{cyfr} = 10^{\left(\frac{\Delta U - 5dB}{10}\right)}$$

modulacja	standard	obniżenie	ilość kanałów	ilość programów
64QAM	DVB-C	-10dBc	24	8
256QAM	DOCSIS, VoD	-8dBc	12	6
AM	analogowa TV	0dBc	49	49
sumaryczna ilość programów				63



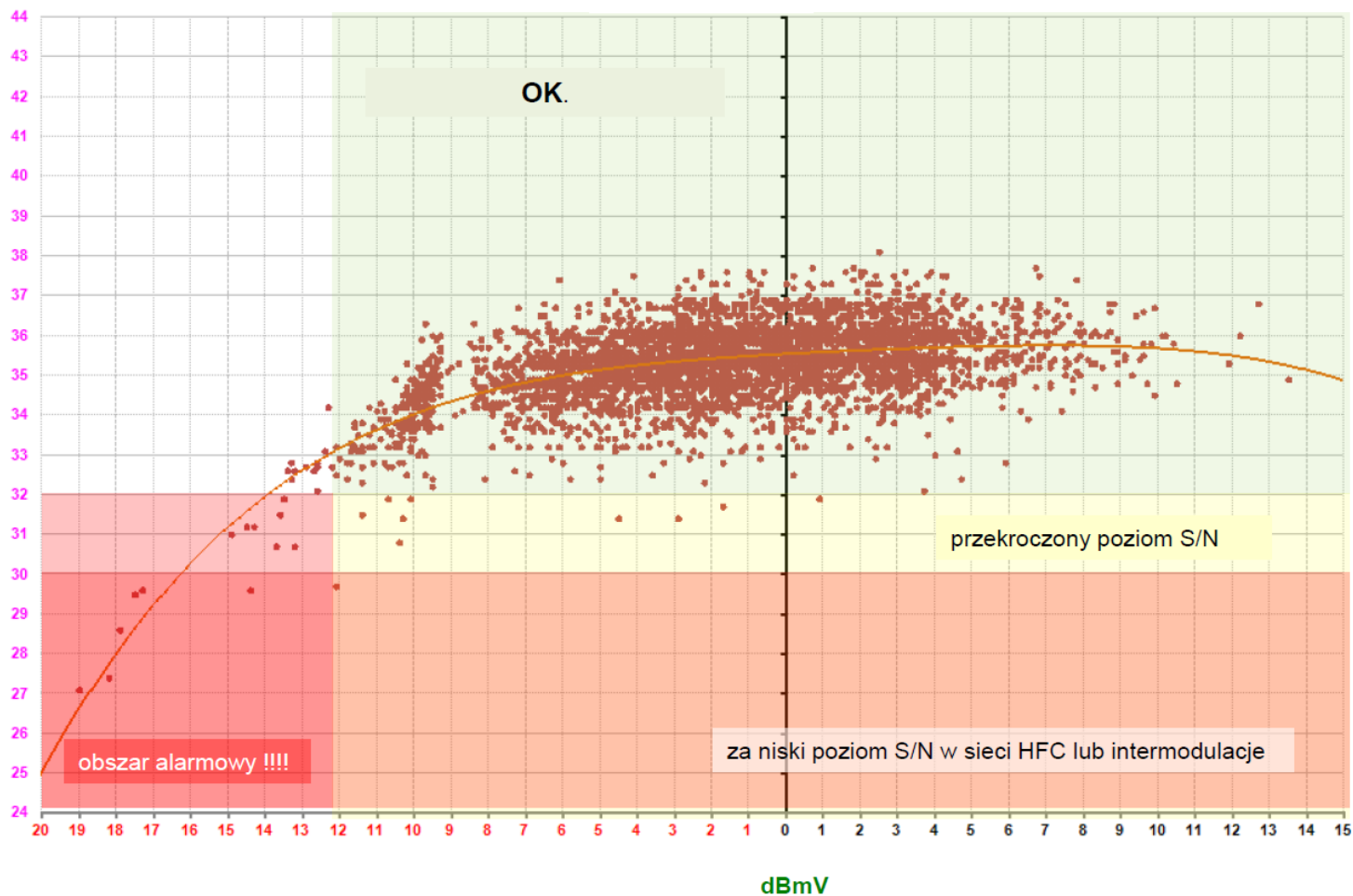
obniżenie kanału cyfrowego względem analogowego

pomiary S/N w zależności od poziomu downstream (256QAM) dla modemów CISCO



obniżenie kanału cyfrowego względem analogowego

pomiary S/N w zależności od poziomu DVB-C (64QAM) dla odbiorników SD, HD



ograniczenia standardu DVB -C

max ilość kanałów w paśmie 110-860MHz	94
ilość kanałów naziemnych	6
w tym naziemnych d.mocy	4
ilość kanałów dla celów nadzoru (np.: s-01)	1
modulator DVB (magnetowid ... itp.)	1
ilość kanałów dla NET (DOCSIS)	9
ilość kanałów dla DVB-C	24
ilość kanałów dla VoD	2
<hr/>	
pozostała ilość kanałów dla analogowej TV	53
<hr/>	
ilość kanałów dla DVB-C	24
kanał 8MHz przy 64QAM	36 MBps
<hr/>	
suma pasma	864 MBps
1-kanał HD	10 MBps
1-kanał SD	4,5 MBps
22 programy HD	220 MBps
max ilość programów SD	143

Ograniczone pasmo dla **DVB-C** zrodziło pomysł stworzenia nowego standardu **DVB-C2** wykorzystującego najnowsze osiągnięcia techniki w dziedzinie transmisji sygnałów cyfrowych.

DVB-C2 wywodzi się z **DVB-T2** wykorzystującą jednocześnie wiele nośnych

$$C = \frac{1}{3} \cdot B \cdot SNR$$

C ...maksymalna teoretyczna pojemność kanału (bit/s)

B ...pasmo kanału (Hz)

SNR ...stosunek sygnał/szum (dB)

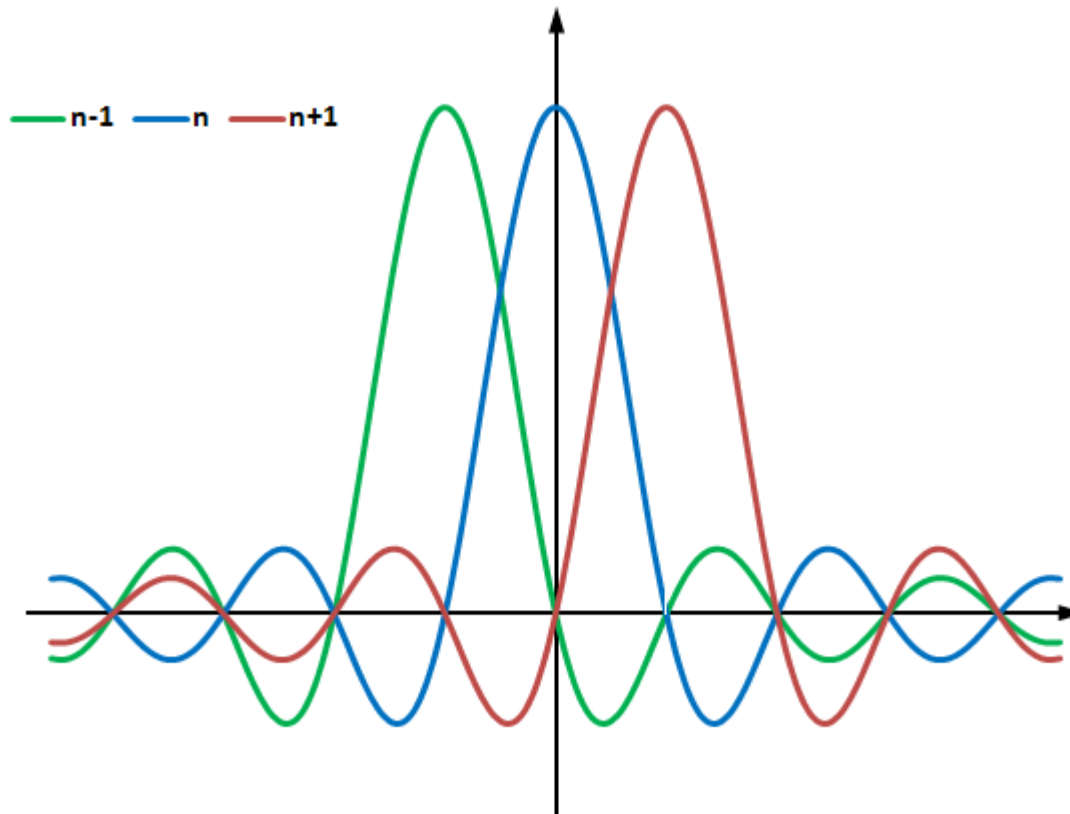
SNR (dB)	C (Mbit/s)	uwagi
26	69	granica bezbłędnego odbioru dla DVB-C 64QAM
30	80	
32	85	granica bezbłędnego odbioru dla DVB-C 256QAM
35	93	
40	107	dobry system HFC
45	120	osiągany poziom w stacji czołowej

dla standardu DVB-C maksymalna SR=6,9Msymb/s

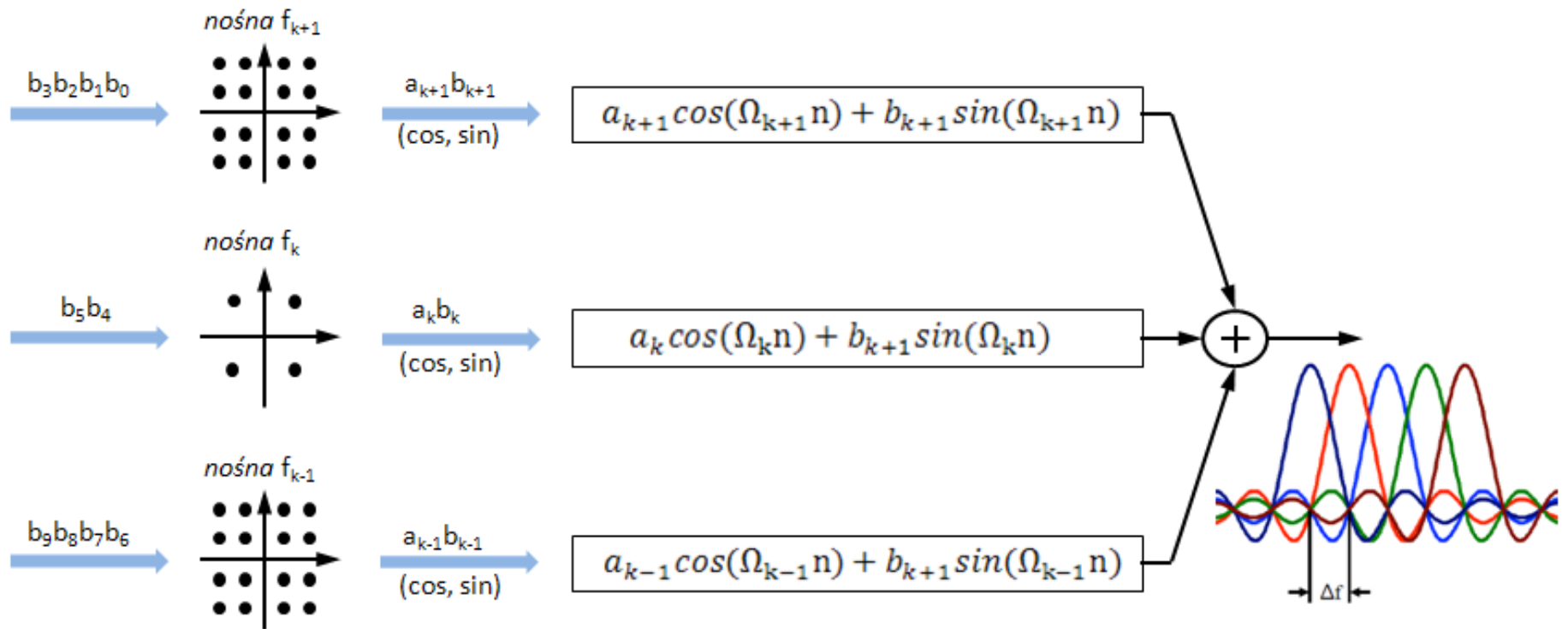
dla 64QAM ...**38,15** Mbit/s

dla 256QM ...**50,87** Mbit/s

- dane wejściowe podzielone na N - równoległych strumieni
- przepływność każdego strumienia zmniejszona N - razy
- czas trwania bitu/symbolu w każdym strumieniu zwiększona N - razy
- każdy z strumieni moduluje w dowolny sposób oddzielną falę nośną
- odporność na wielodrogowość (odbicia) zwiększona N - razy
- zmodulowane nośne nie interferują ze sobą (fale nośne ortogonalne)

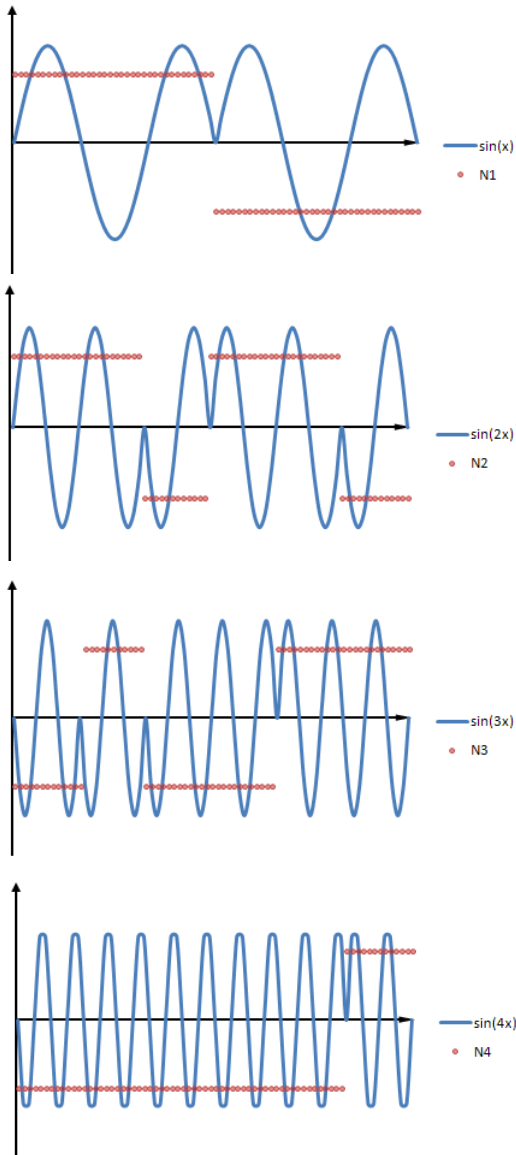


modulacja OFDM

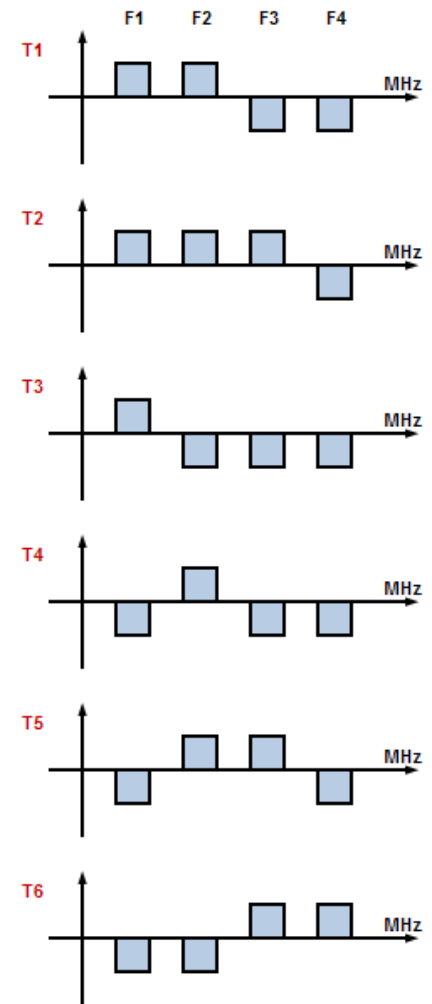
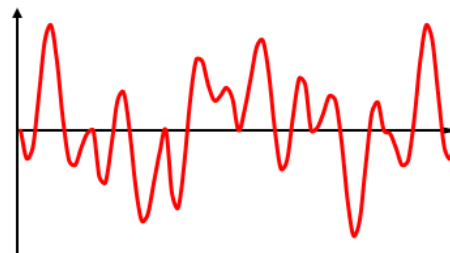
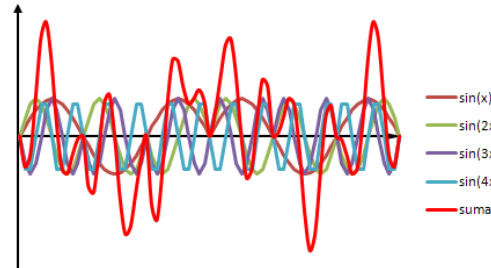


przykład tworzenia sygnału OFDM

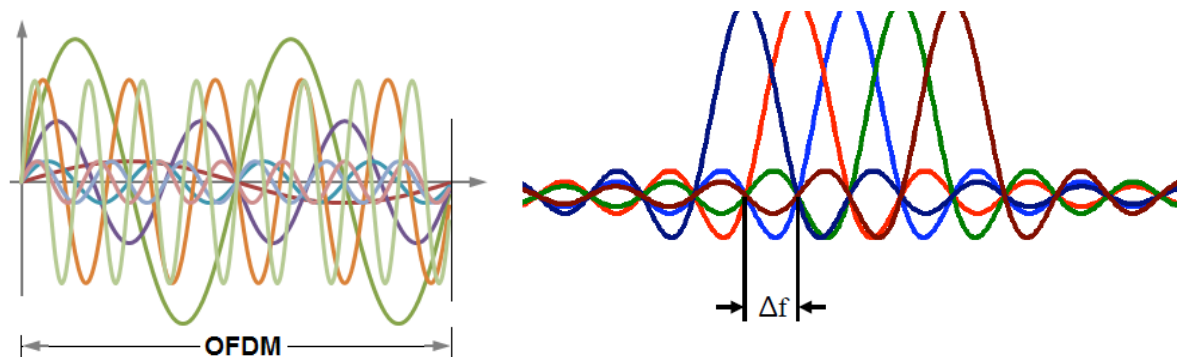
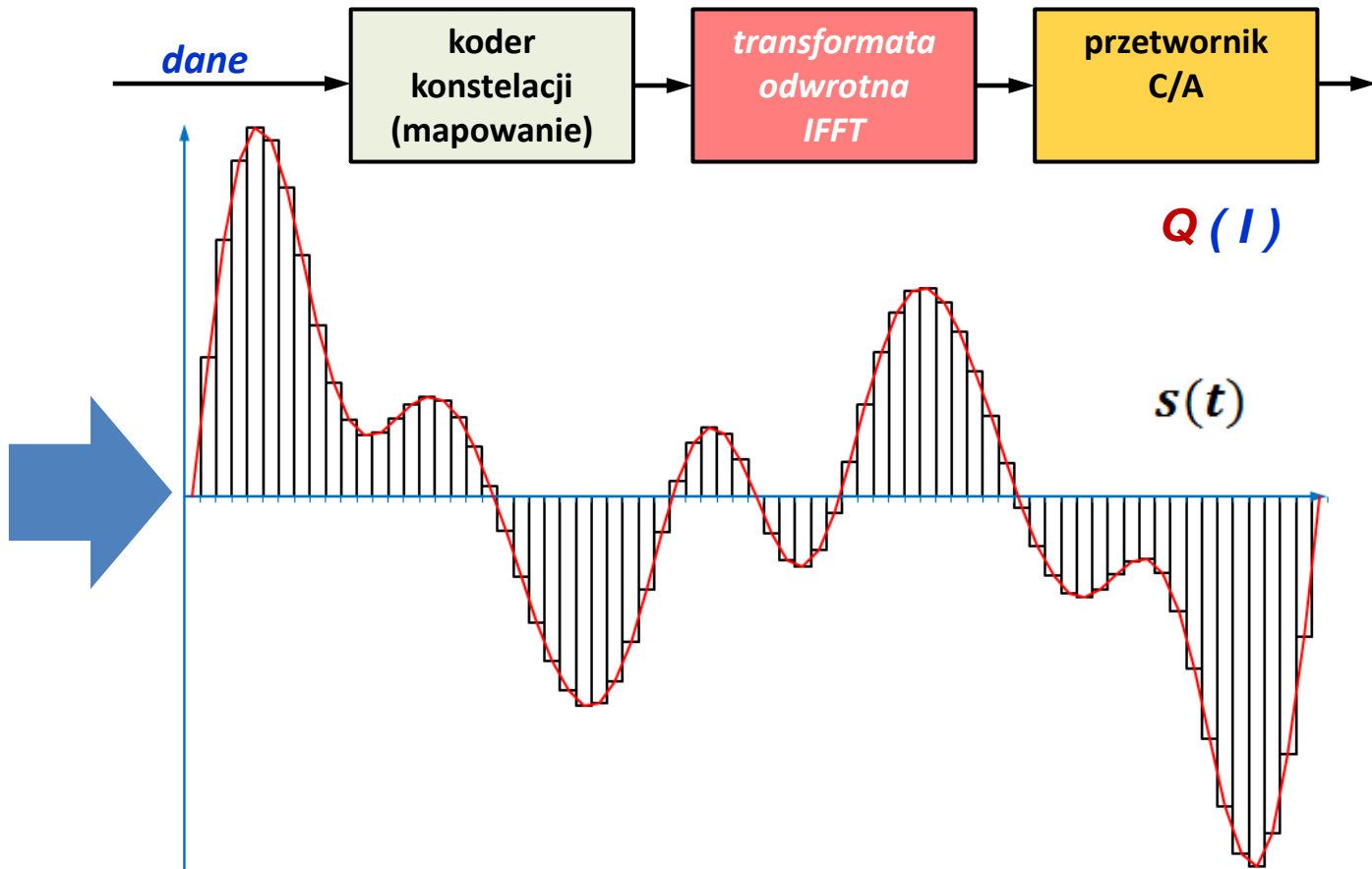
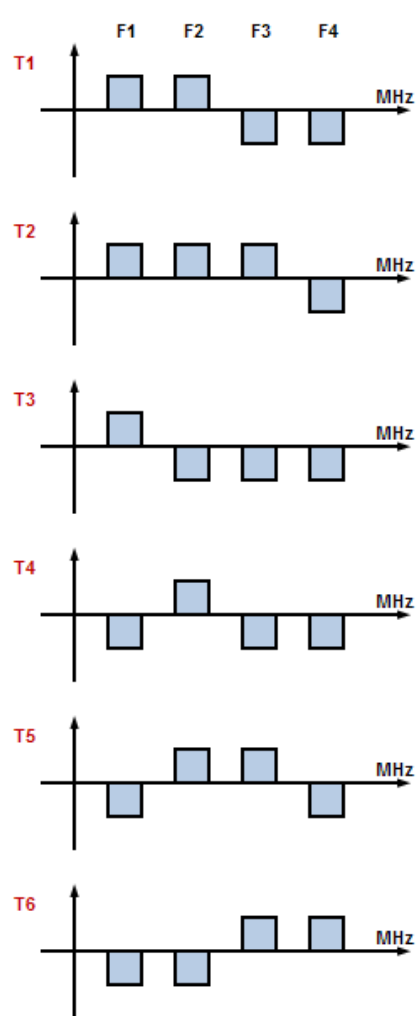
1, 1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1



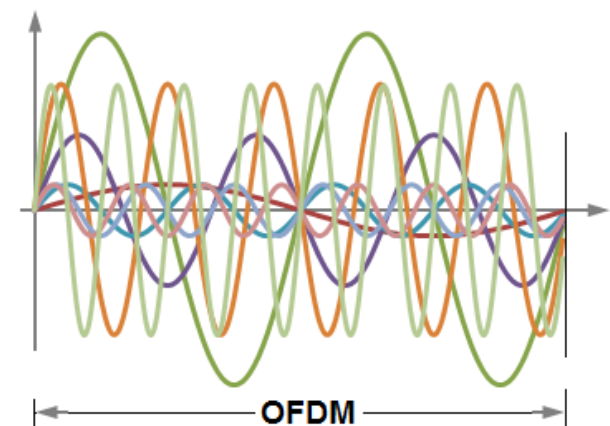
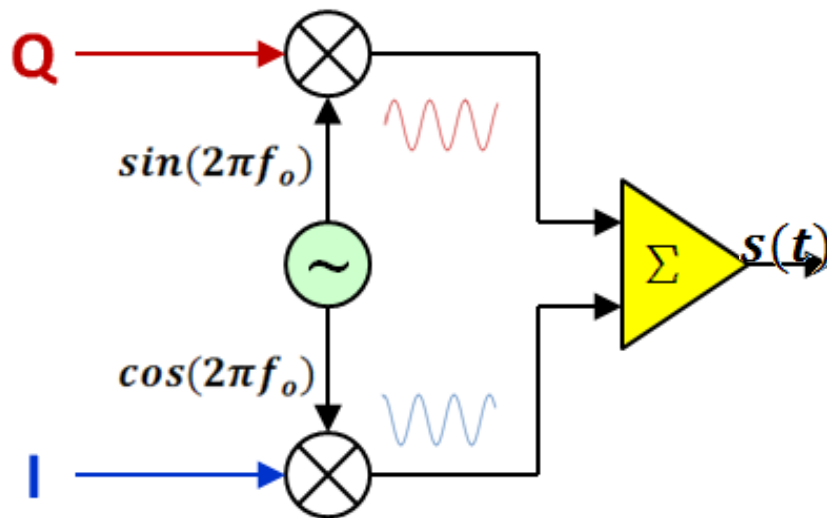
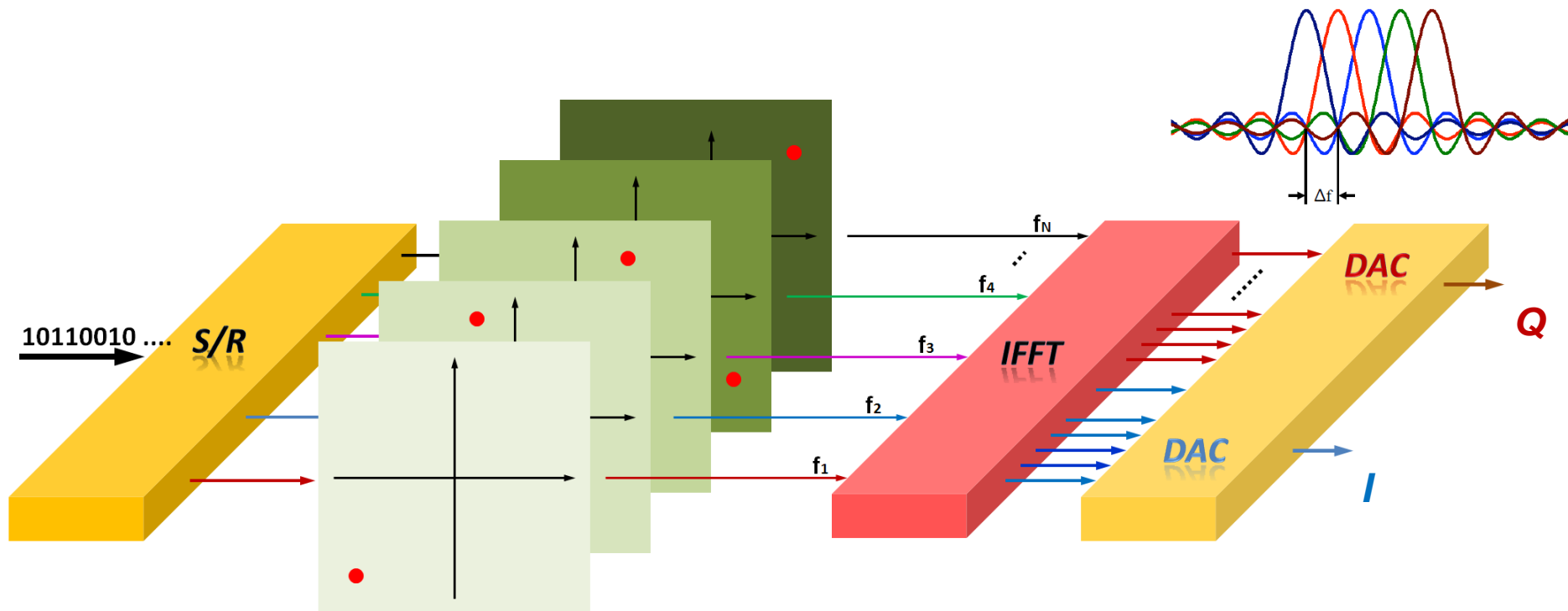
	N1	N2	N3	N4
T1	1	1	-1	-1
T2	1	1	1	-1
T3	1	-1	-1	-1
T4	-1	1	-1	-1
T5	-1	1	1	-1
T6	-1	-1	1	1



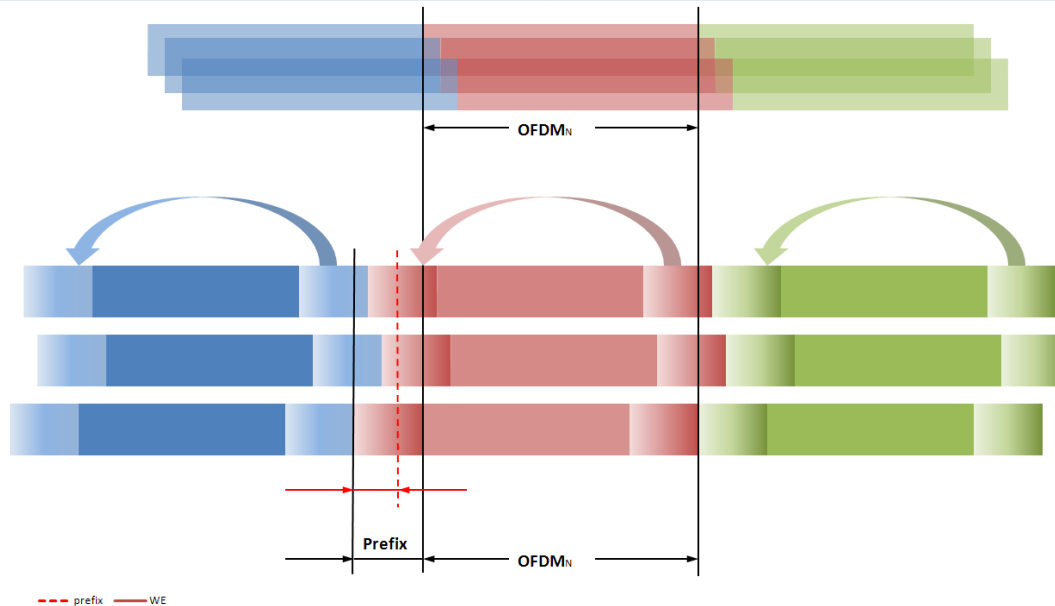
synteza modulacji OFDM



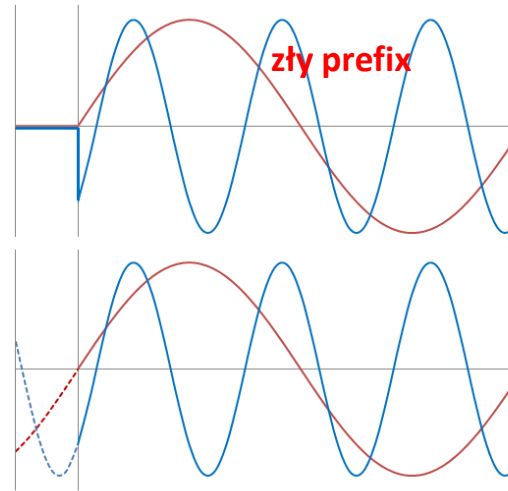
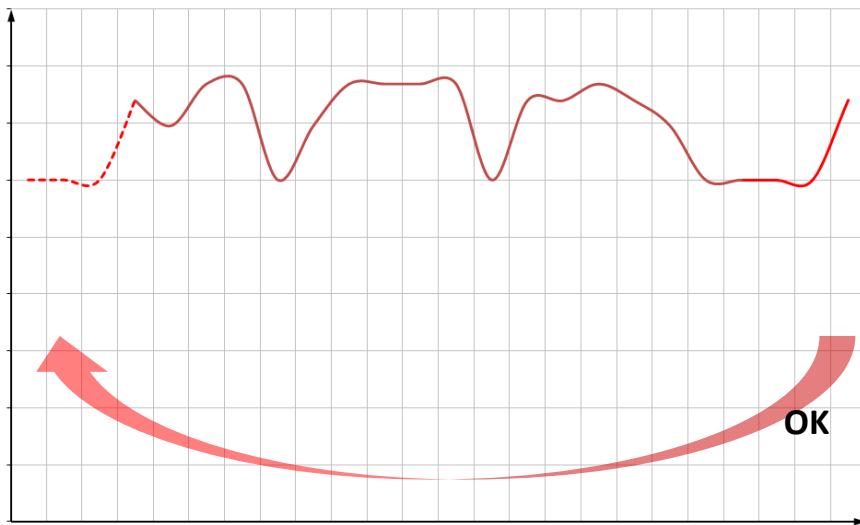
zastosowanie IFFT



prefix



--- prefix — WE

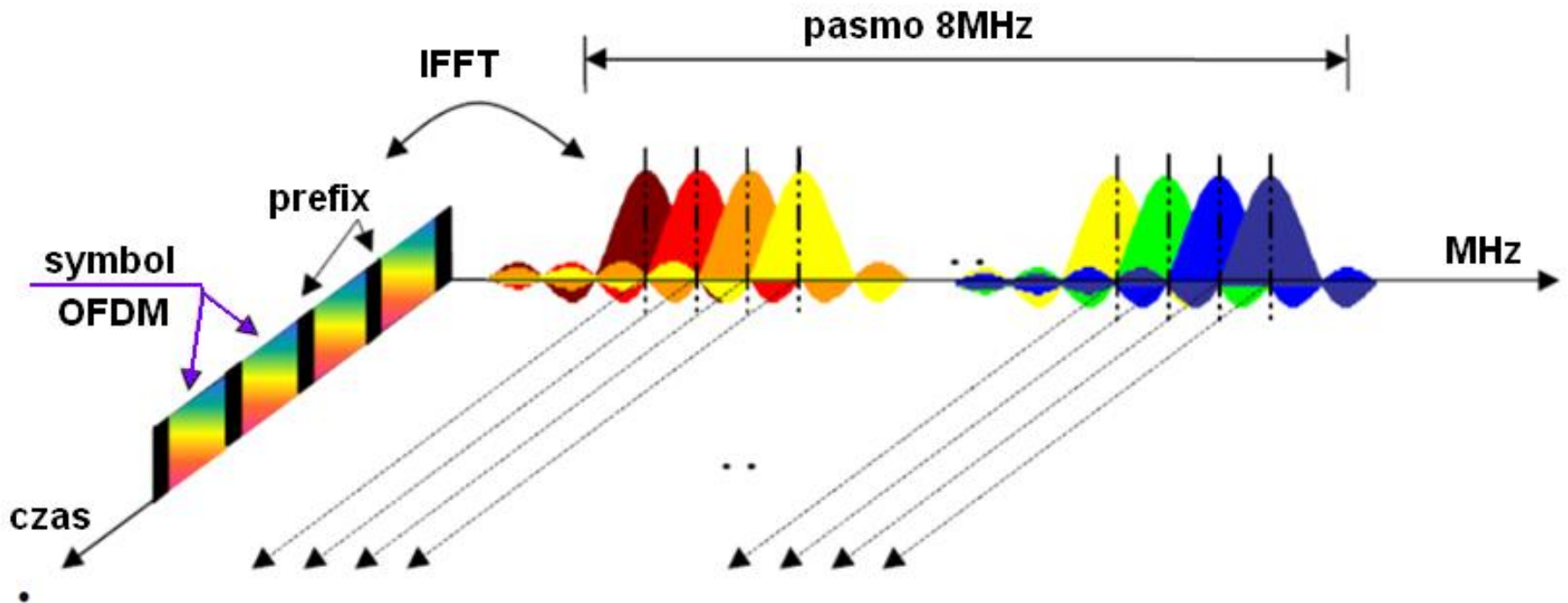


ZŁY PREFIX. Jeśli w czasie jego trwania po prostu nie będziemy nadawać sygnału, może stać się to źródłem interferencji międzykanałowych

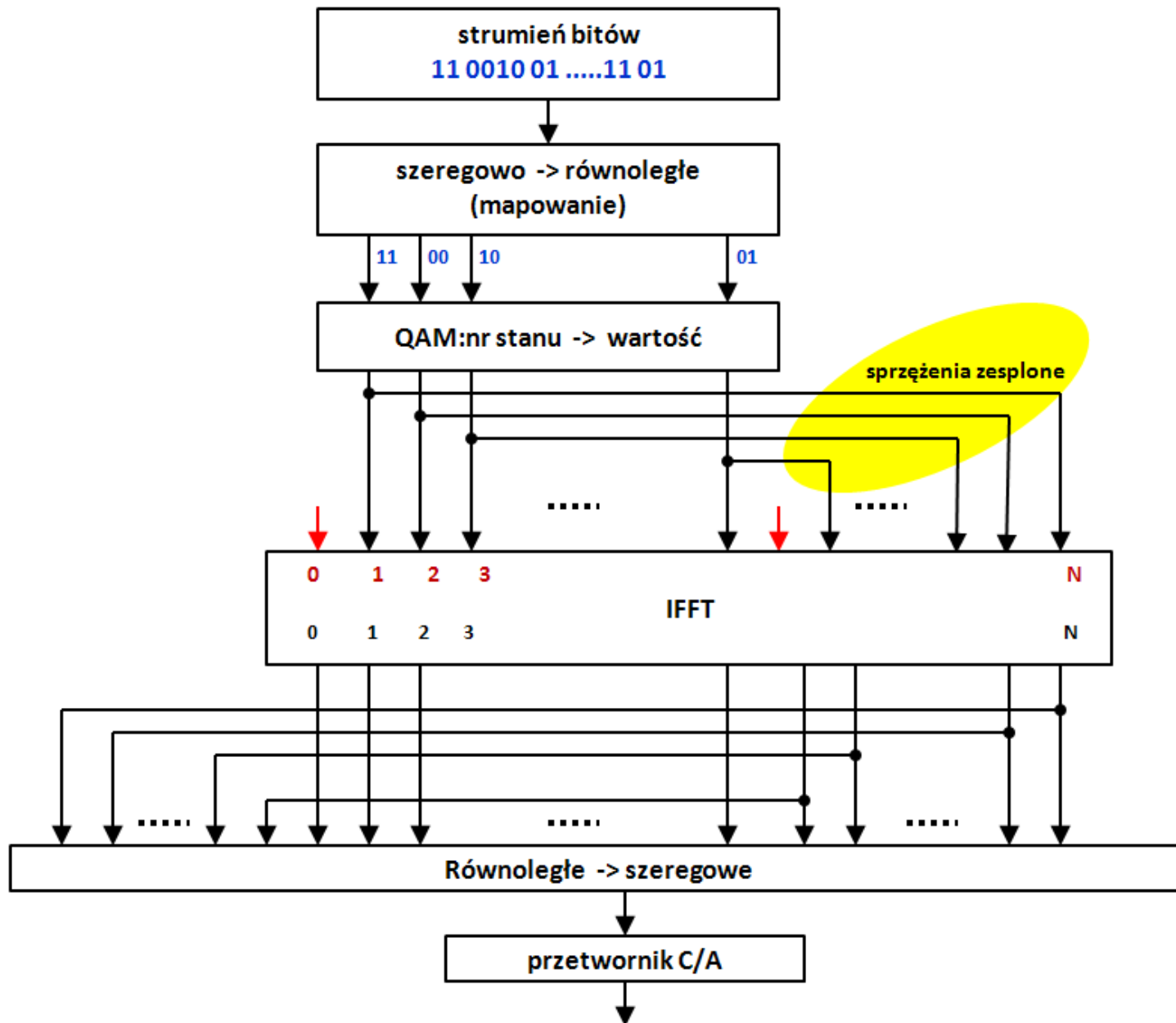
OK. Zachowana jest charakterystyka w dziedzinie częstotliwości

Prefix polega to na rozszerzeniu sygnału w taki sposób, aby nie wystąpiła zmiana fazy przy przejściu między okresem ochronnym a „właściwą” częścią symbolu. Zapewnia to ortogonalność mimo ewentualnych przesunięć podnośnych w czasie. Dzięki **prefixowi** możemy wyeliminować interferencje międzykanałowe.

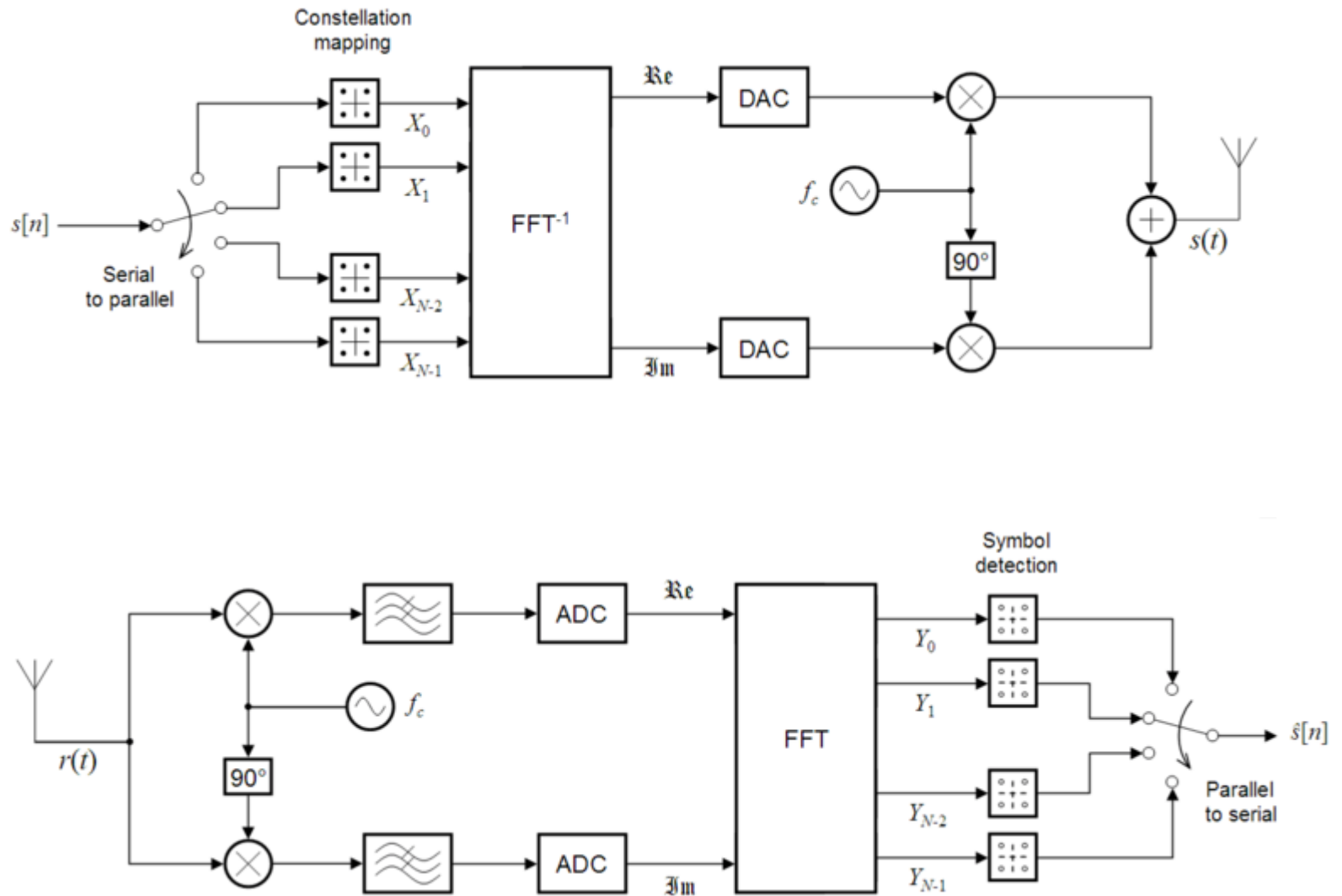
sygnał OFDM



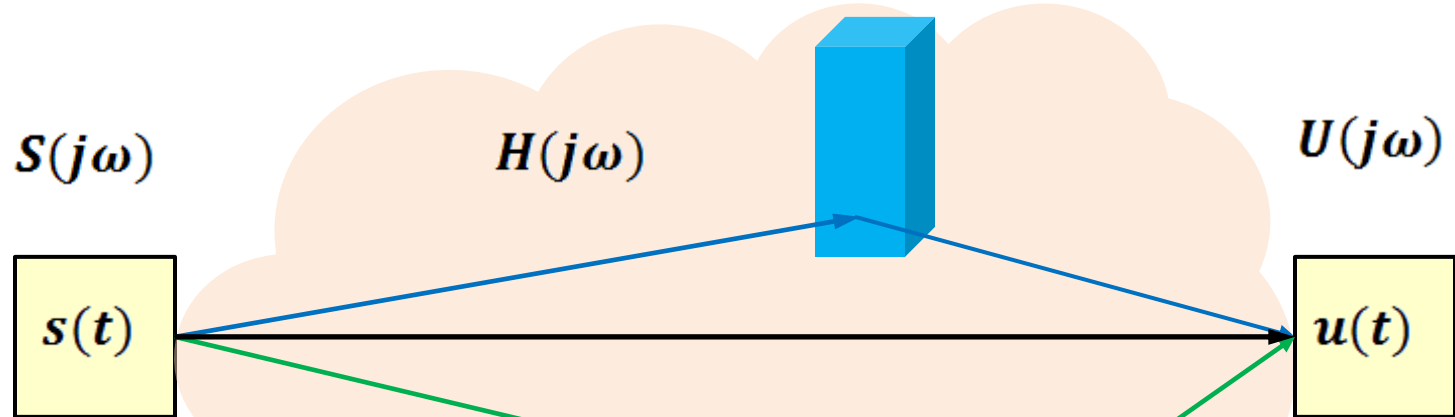
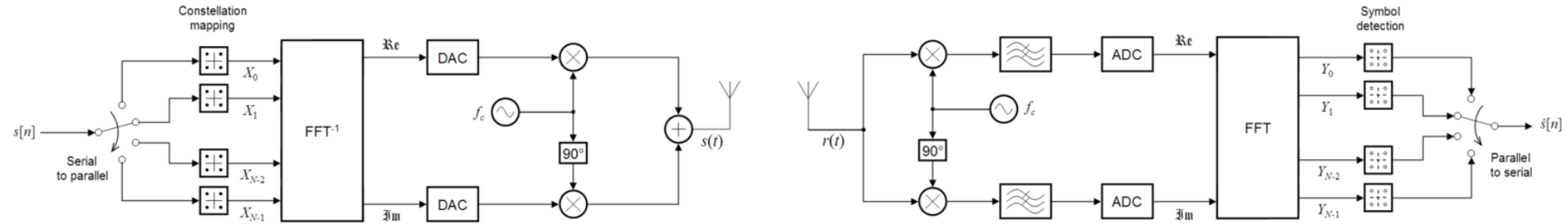
schemat blokowy OFDM z wykorzystaniem IFFT



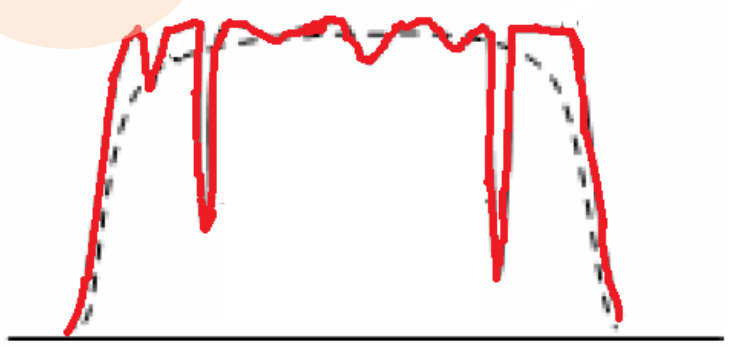
schematy odbiornika i nadajnika OFDM



wielodrogowość sygnału

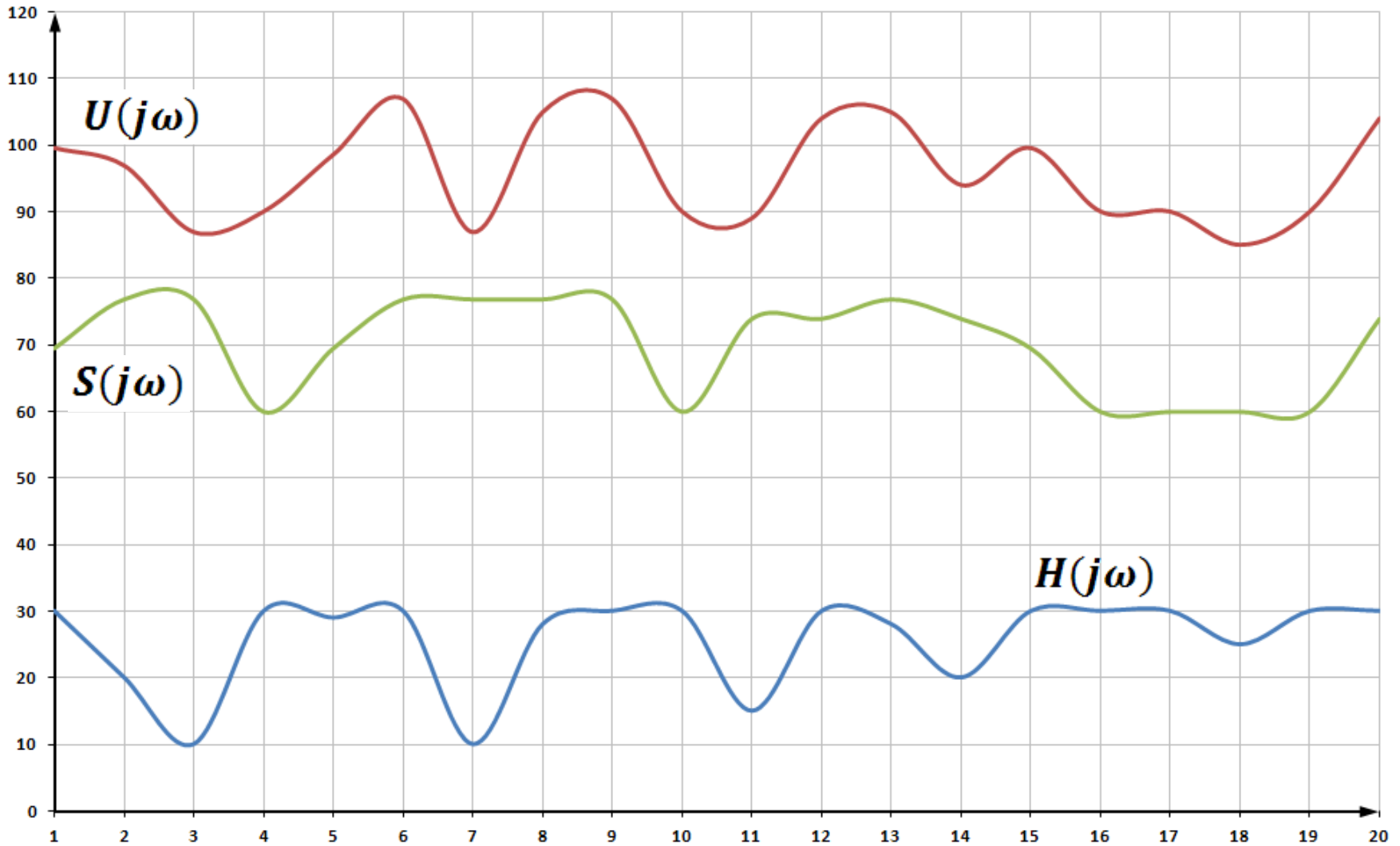


$$U(j\omega) = H(j\omega) \cdot S(j\omega)$$



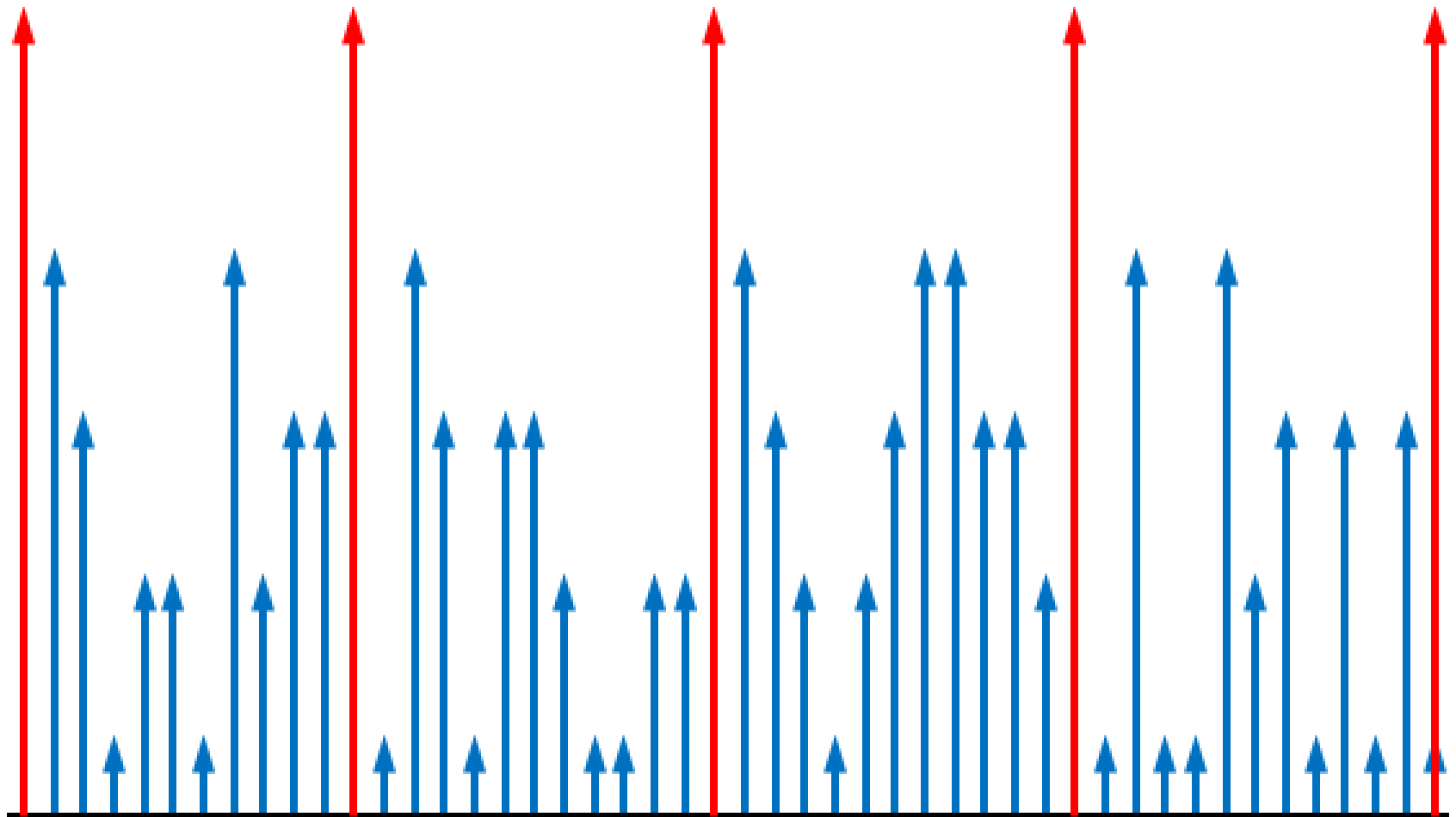
wpływ odbić

— Ku — WY — WE

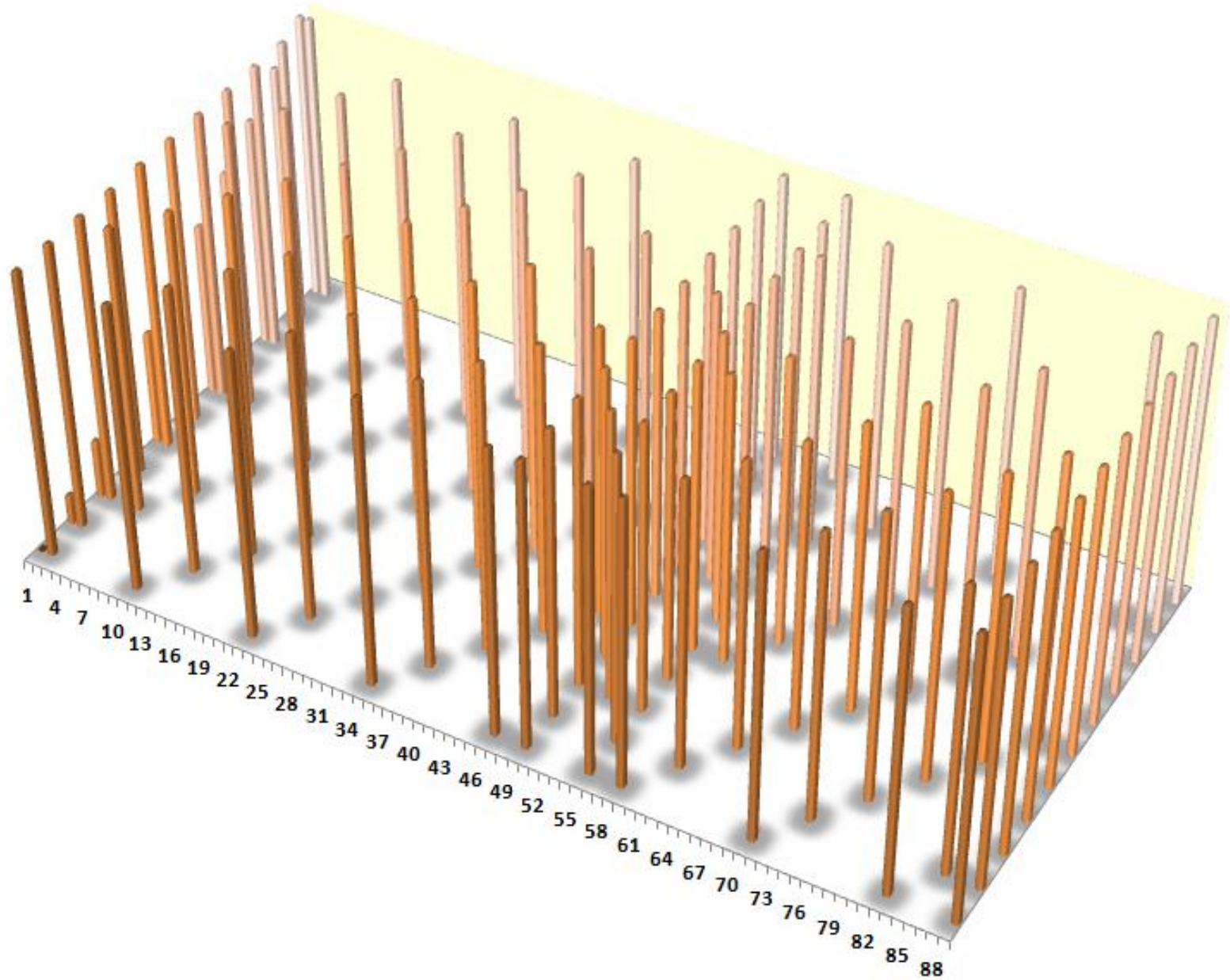


$$U(j\omega) = H(j\omega) \cdot S(j\omega)$$

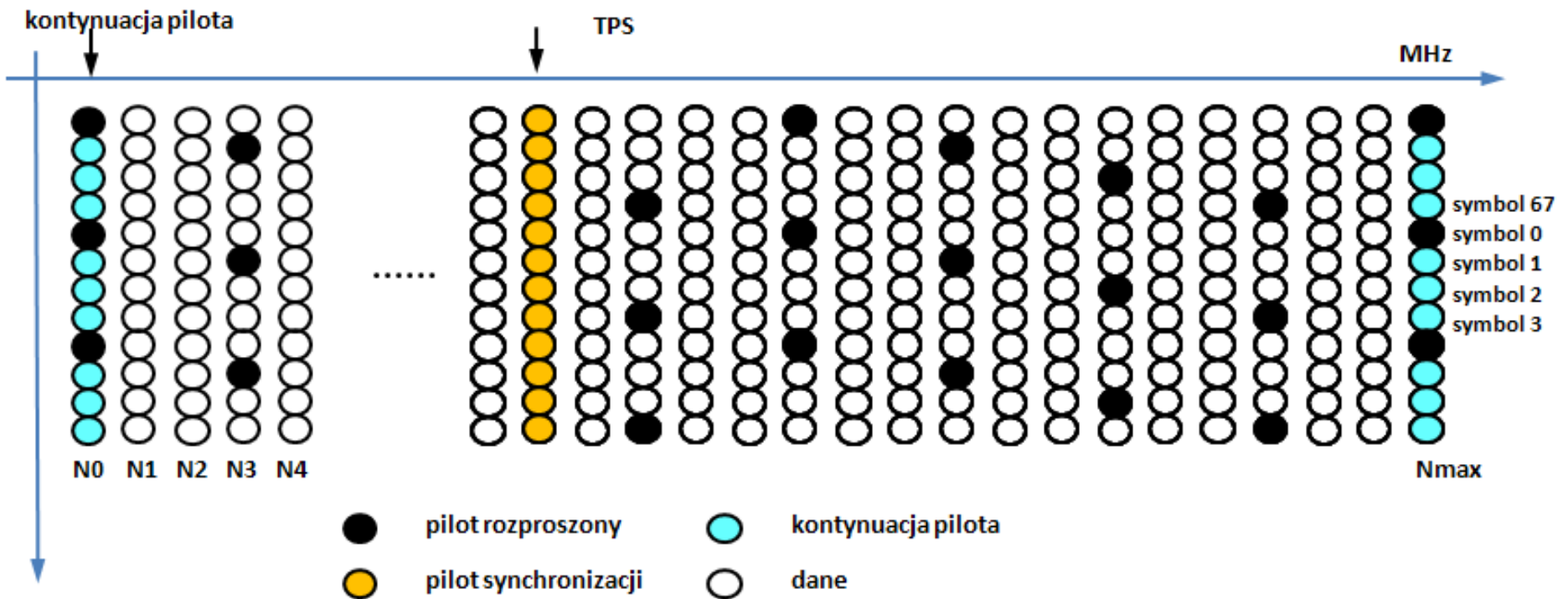
sygnały pilotujące



sygnały pilotujące



ramka OFDM



- **Piloty ciągłe** ... rozmieszczone losowo (na symbolu OFDM) do korekcji fazy i ARCh
- **Piloty rozproszone** rozmieszczone równomiernie w czasie i częstotliwości do bieżącej estymacji

TPS ... Sygnalizacja parametrów transmisji

Sygnaly kontynuacji służą do synchronizacji i korekcji fazy przy estymacji (szacowaniu, określaniu charakterystyki widmowej toru przesyłowego).

Sygnaly rozproszone z kolei do estymacji charakterystyki widmowej kanału przy interpolacji dla przebiegów w czasie i widmie częstotliwości

Każdy pilot rozproszony przesuwany jest o 3 nośne w kolejnym symbolu. Piloty te mają identyczną amplitudę i fazy jak piloty ciągłe z tym że ich pozycja w widmie jest zmienna

Całkowity sygnał **TPS** jest transmitowany w 68-symbolach OFDM

Dokładne numery aktywnych nośnych (nośne przenoszące dane), piloty i TPS

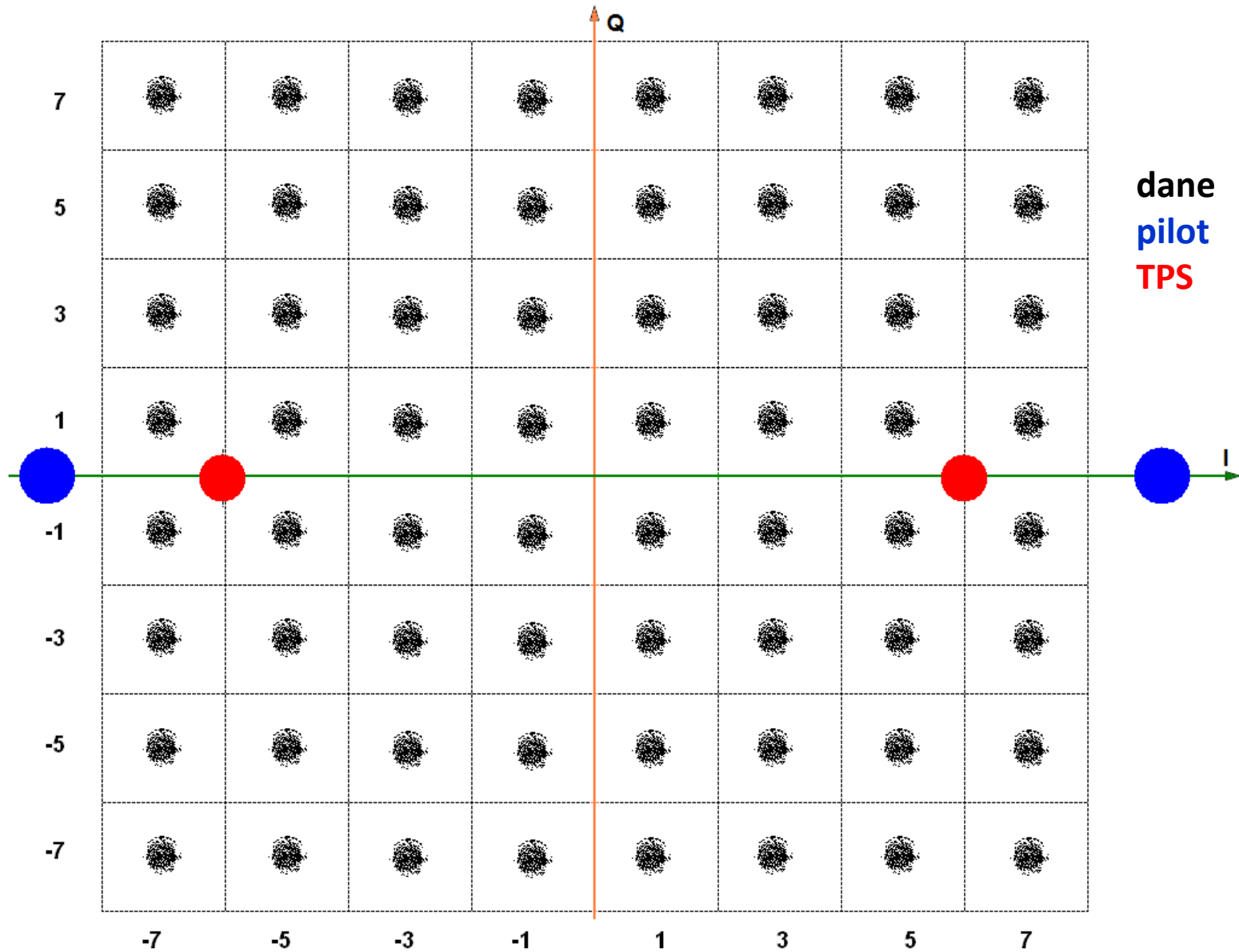
- *Maksymalna pojemność danych*
- *Podstawy struktury ramki dla rodzaju 2k i 8k*
- *dostarczony przedział pasma ochronnego dla pasma 8MHz*
- *dostarczony numer pilota dla zadanej pracy*
- *graniczne numery nośnych przenoszących dane dla wszystkich symboli OFDM*
- *całkowity numer przenoszonych pakietów dla MPEG-2 dla ramki*

2k	8k
34 50 209 346 413 569 595	34 50 209 346 413 569 595 688 790 901 1073 1219
688 790 901 1073 1219 1262	1262 1286 1469 1594 1687 1738 1754 1913 2050 2117
1469 1594 1687	2273 2299 2392 2494 2605 2777 2923 2966 2990 3173
	3298 3391 3442 3458 3617 3754 3821 3977 4003 4096
	4198 4309 4481 4627 4670 4694 4877 5002 5095 5146
	5162 5321 5458 5525 5681 5707 5800 5902 6013 6185
	6331 6374 6398 6581 6706 6799

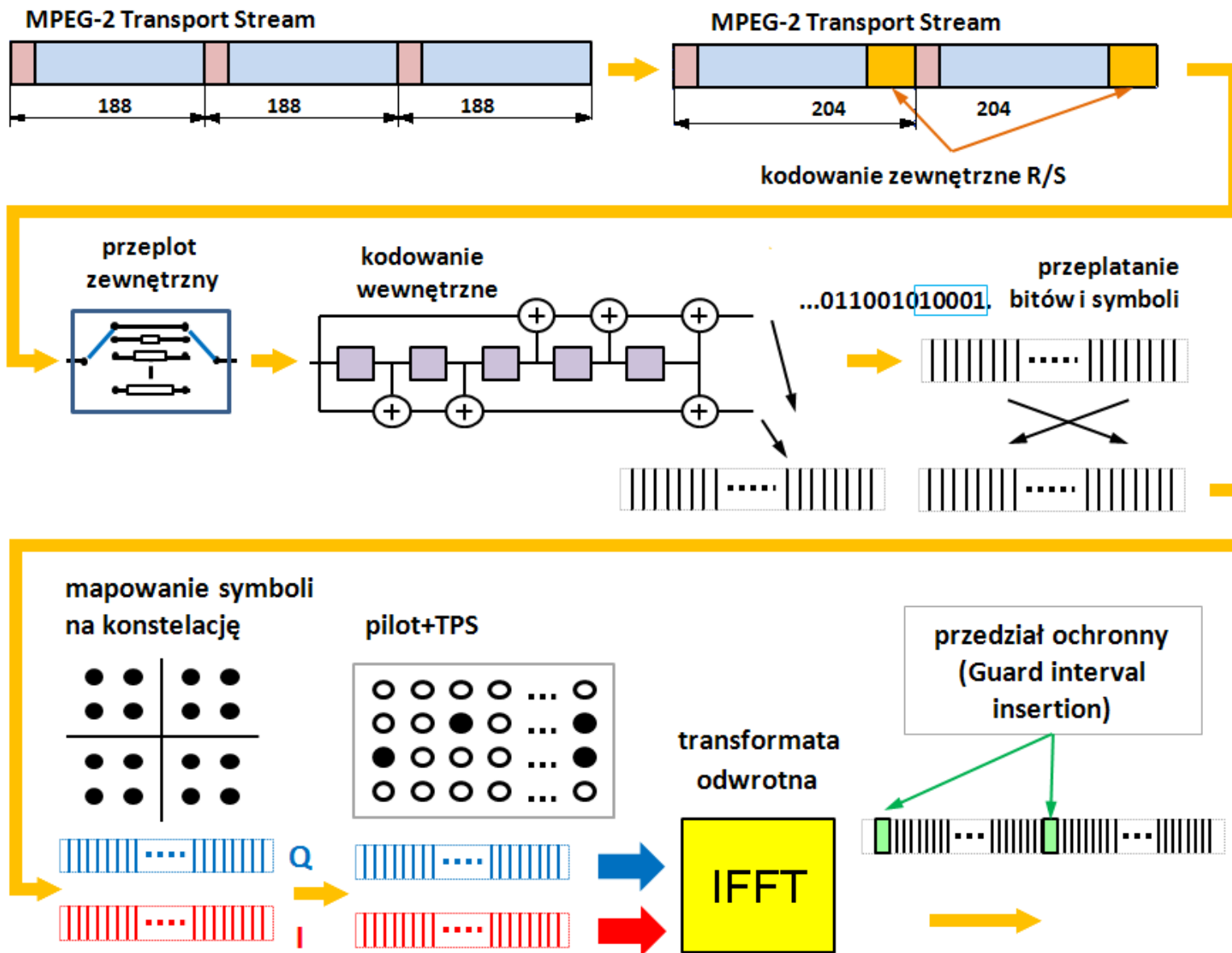
piloty ciągłe (kontynuacji)

2k	8k
0 48 54 87 141 156 192 201 255	0 48 54 87 141 156 192 201 255 279 282 333 432 450 483 525 531
279 282 333 432 450 483 525	618 636 714 759 765 780 804 873 888 918 939 942 969 984 1050
531 618 636 714 759 765 780	1101 1107 1110 1137 1140 1146 1206 1269 1323 1377 1491 1683
804 873 888 918 939 942 969	1704 1752 1758 1791 1845 1860 1896 1905 1959 1983 1986 2037
984 1050 1101 1107 1110 1137	2136 2154 2187 2229 2235 2322 2340 2418 2463 2469 2484 2508
1140 1146 1206 1269 1323	2577 2592 2622 2643 2646 2673 2688 2754 2805 2811 2814 2841
1377 1491 1683 1704	2844 2850 2910 2973 3027 3081 3195 3387 3408 3456 3462 3495
	3549 3564 3600 3609 3663 3687 3690 3741 3840 3858 3891 3933
	3939 4026 4044 4122 4167 4173 4188 4212 4281 4296 4326 4347
	4350 4377 4392 4458 4509 4515 4518 4545 4548 4554 4614 4677
	4731 4785 4899 5091 5112 5160 5166 5199 5253 5268 5304 5313
	5367 5391 5394 5445 5544 5562 5595 5637 5643 5730 5748 5826
	5871 5877 5892 5916 5985 6000 6030 6051 6054 6081 6096 6162
	6213 6219 6222 6249 6252 6258 6318 6381 6435 6489 6603 6795
	6816

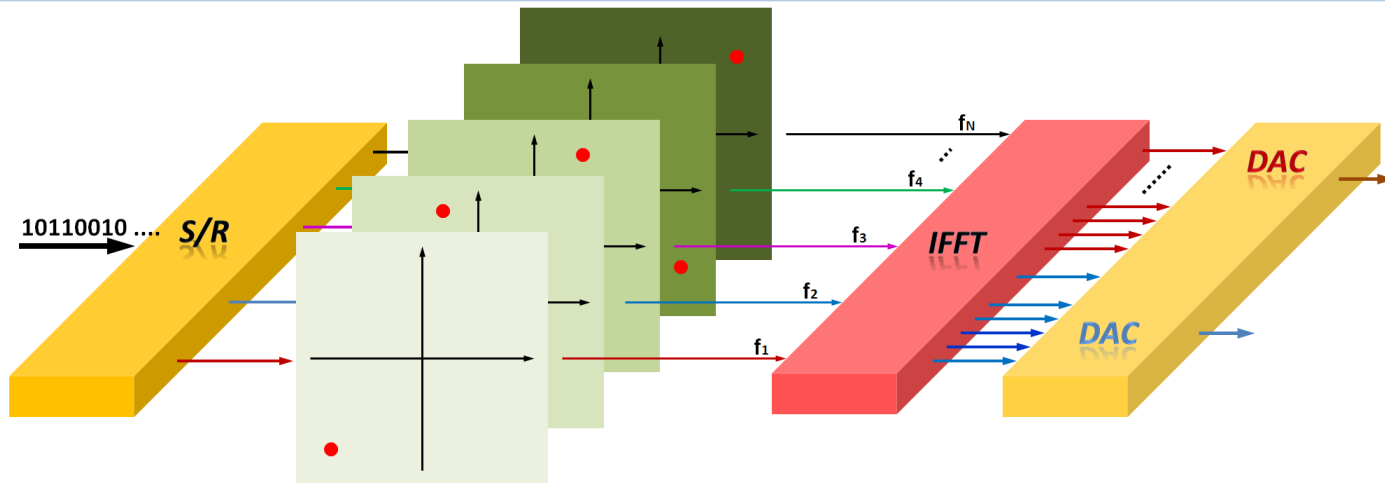
konstelacja DVB - T



schemat blokowy COFDM



system OFDM



System OFDM oparty na **FFT**. Dane wejściowe w postaci szeregowej są najpierw przetwarzane na postać równoległą, następnie grupowane po X -bitów w celu stworzenia liczby zespolonej. Liczba x determinuje konstelację sygnału odpowiedniej podnośnej, taką jak **QPSK**, **16QAM** czy **64QAM**. Utworzone liczby zespolone są modulowane w paśmie podstawowym z wykorzystaniem odwrotnej transformaty **Fouriera (IFFT)** i przetwarzane z powrotem na postać szeregową w celu transmisji. Aby zapobiec interferencjom międzysymbolowym (**ISI**) wynikającym z wielodrogowości pomiędzy symbolami tworzy się odstęp ochronny.

Przeplot – w **DVB-C2** przeprowadzane są trzy rodzaje przeplotów:

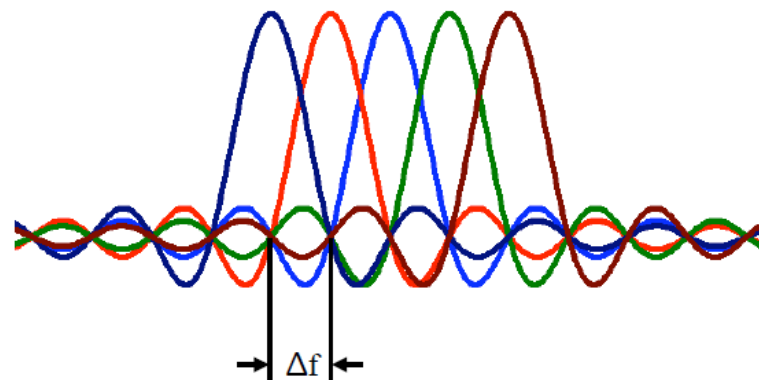
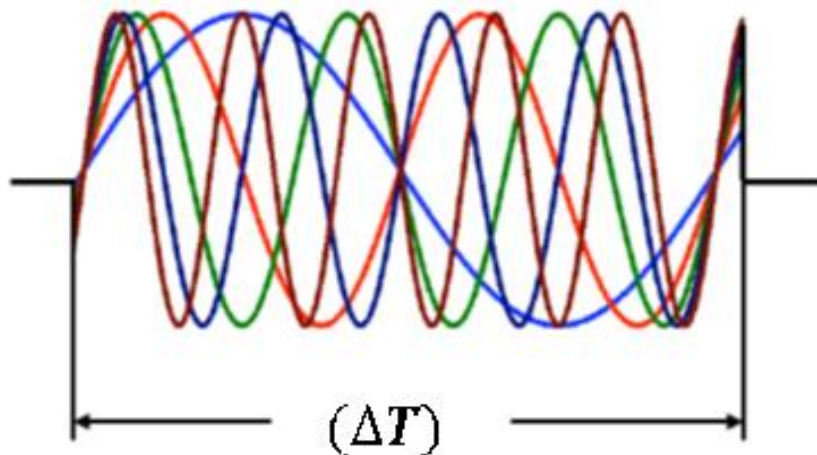
- **przeplot bitów** w bloku korekcji błędów **FEC** (optymalizuje charakterystykę protekcji błędów)
- **przeplot czasu** (zwiększą odporność na relatywnie długie impulsy zakłócające, można zmieniać głębokość tego przeplotu)
- **przeplot częstotliwości** (rozprasza losowo dane po wielu podnośnych **COFDM**)

Polega on na zamianie kolejności nadawanych bitów z pewnego fragmentu transmisji. Po odebraniu dane są odplatane i przywracana jest pierwotna kolejność. Dzięki temu gdy nastąpi uszkodzenie części transmisji przekłamujące kilka sąsiednich bitów, to po wykonaniu odplotu błędy zostaną rozproszone po przeplatanej fragmencie. Zwiększa to skuteczność korekcji kodów kanałowych.

W **DVB-C2** dostępny jest tylko tryb **4k COFDM** z 3408 nośnymi (odwrotna transformata Fouriera pracuje z 4096 nośnymi)

parametry OFDM

parametr	opcja 8k				opcja 2k			
ilość nośnych K	6817				1705			
Kmin	0				0			
Kmax	6816				1704			
użyteczny czas trwania T_u	896us				224us			
dodatkowy czas ochronny (D)	224us	112us	56us	28us	56us	28us	14us	7us
$1/T_u$ (odstęp między nośnymi)	1 116 Hz				4 464 Hz			
szerokość pasma ($K_{max}-K_{min}$)	7,61 MHz				7,61 MHz			
modulacja	QPSK, 16QAM lub 64QAM							
wewnętrzny code rate	1/2 ...2/3 ...3/4 ...5/6 ...7/8							



parametry OFDM

modulacja	sprawność kodu	przedział ochronny			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	4/6	8,29	9,22	0,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16 QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	4/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64 QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	4/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Przymując :

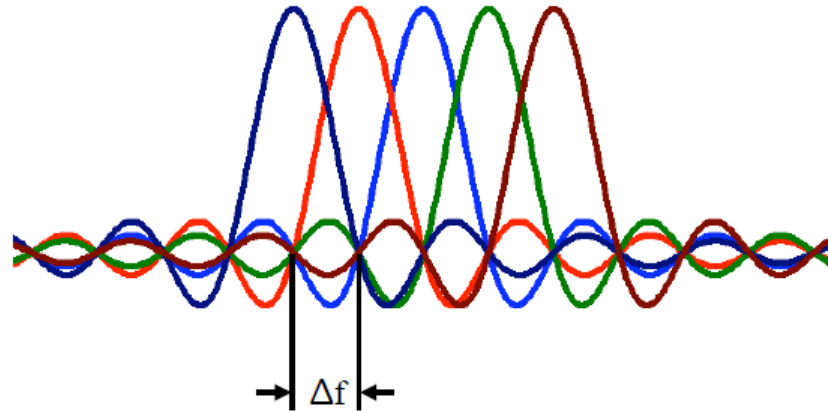
- **3Mbs dla MPEG-4**
- **384 kbs dla dźwięku**
- **kod 3/4 i odstęp ochronny 1/8**
- **1,26Mbs na teletext i dodatkowe dane cyfrowe**

otrzymujemy maksymalnie 7-programów TV

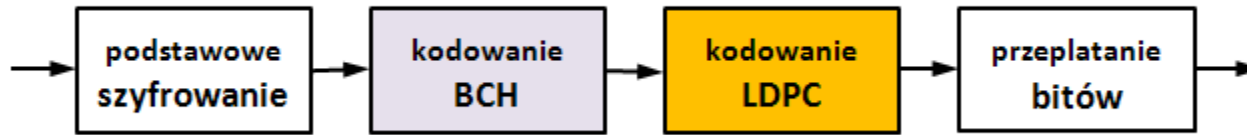
(można więcej kosztem kompresji sygnału)

Modulacja COFDM ... modulacja wielu niezależnych nośnych

- liczba nośnych 3408
- IFFT liczba nośnych 4096
- czas trwania symbolu 448 μ s
- odstęp podnośnych 2,232kHz
- szerokość pasma sygnału 7,61MHz
- przedział ochronny 1/64 lub 1/128 czasu trwania symbolu (7 lub 3,5 μ s)



Kodowanie kanałowe ... przeplatanie bitów – większa skuteczność korekcji kodów kanałowych



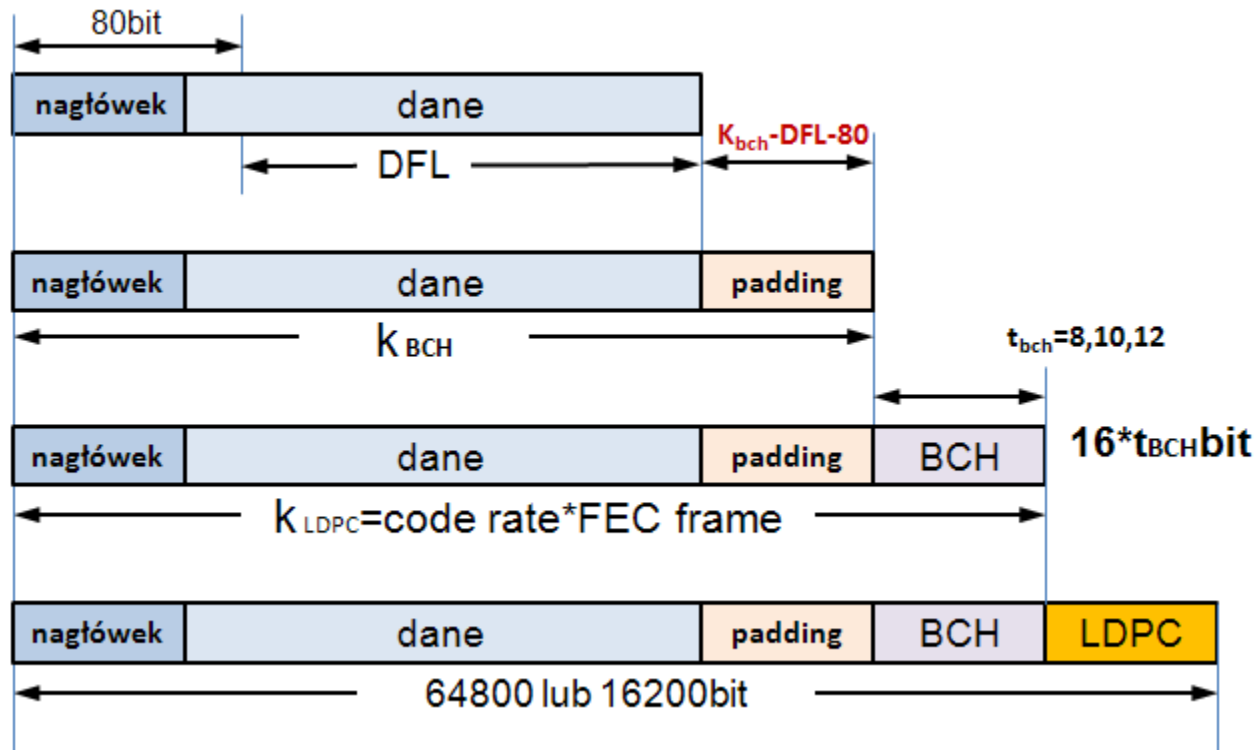
Protekcja błędów FEC ...bardziej zaawansowana (koder zewnętrzny **BCH** i wewnętrzny **LDPC**)

	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	4096QAM
9/10	tak	tak	tak	tak	tak
5/6	tak	tak	tak	tak	tak
4/5	tak	tak	tak	tak	nie
2/3	nie	tak	nie	nie	nie

współczynnik kodowania	
krótka ramka	długa ramka
16200bit	64800bit
2/3	2/3
3/4	3/4
4/5	4/5
5/6	5/6
8/9	9/10

*LDPC jest silnym narzędziem służącym do poprawiania błędów transmisji,
 BCH stosowany jest do usuwania podłogi błędów która może powstać na wyjściu LDPC odbiorniku
 Współczynniki kodowania BCH dają mniej niż 1% nadmiarowości, natomiast protekcja błędów w LDPC może być realizowana ze współczynnikiem kodowania (Code Rate)
 Ramki długie stosowane są do strumieni dużych prędkości danych, ramki krótkie do niższych prędkości danych.*

standard DVB-C2



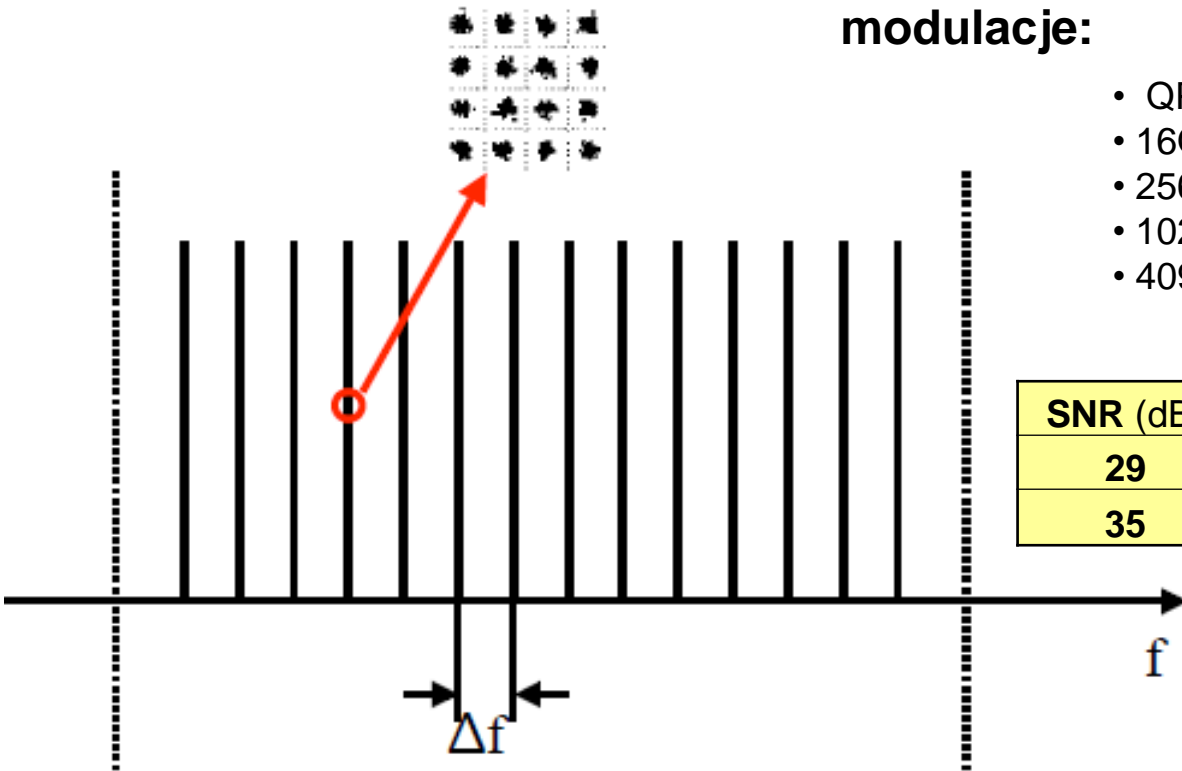
BCH koryguje podłoże błędów

LDPC do poprawienia błędów transmisji

modulacje:

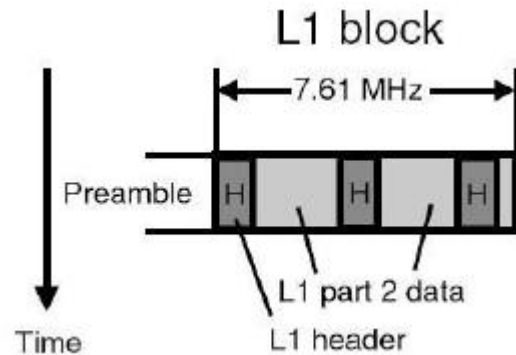
- QPSK
- 16QAM
- 256QAM
- 1024QAM
- 4096QAM

SNR (dB)	C (Mbit/s)	uwagi
29	70	1024 QAM
35	84	4096 QAM



W technice **OFDM** każda podnośna jest ortogonalna do innych podnośnych. Jak wiadomo, ortogonalność sygnałów pozwala na ich rozdzielenie w odbiorniku przy użyciu technik korelacyjnych. W związku z tym można wyeliminować interferencje międzysymbolowe. W nadajniku sygnał jest generowany z wykorzystaniem **odwrotnej transformaty Fouriera (IFFT)**. Każda nośna odpowiada jednemu składnikowi widma Fouriera. Amplitudy i fazy składników zależą od transmitowanych danych. W odbiorniku natomiast wykorzystywana jest **transformata Fouriera (FFT)**. Ortogonalność nośnych może być utrzymana, a pod-kanaly mogą być całkowicie oddzielone przy użyciu **FFT** w odbiorniku jedynie wtedy, gdy nie ma **interferencji międzysymbolowych (ISI)** ani **interferencji pomiędzy nośnymi (ICI)** wprowadzonych przez zniekształcenia w kanale transmisyjnym. W praktyce bardzo trudno osiągnąć te warunki. Można to zrobić poprzez zwiększenie czasu trwania symbolu lub liczby nośnych, wtedy zakłócenia stają się pomijalne.

standard DVB-C2 (preambuła)



Nagłówek:

- 32-podnośne
- Modulacja QPSK
- Kodowanie FEC

blok1 part 2:

- 16QAM
- FEC 1/2

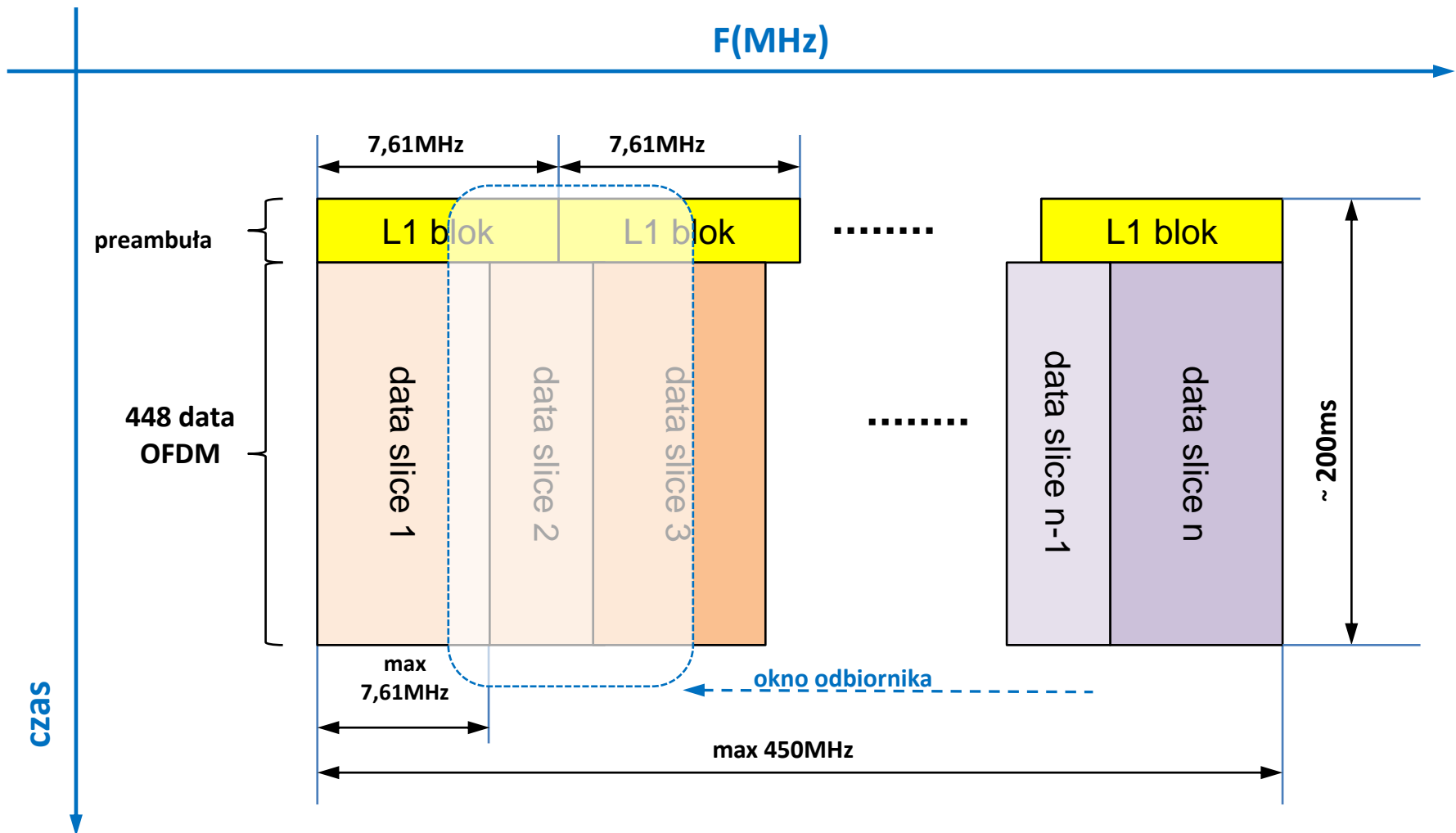
Preambuła – zawiera symbole służące do synchronizacji czasu, częstotliwości i sygnalizacji parametrów Warstwy 1 (L1) (przedział ochronny, modulacja, protekcja błędów itp.). Składa się ona z nagłówka (header) i **bloku przepływu czasu L1**.

Nagłówek preambuły ma szerokość 32 komórek OFDM i są w nim transmitowane najważniejsze parametry L1:

- L1_INFO_SIZE (14bitów opisuje połowę długości bloku L1 Part 2)
- L1_TI_MODE (2 bity informujących o użytym trybie przepływu czasu w bloku L1 Part 2)

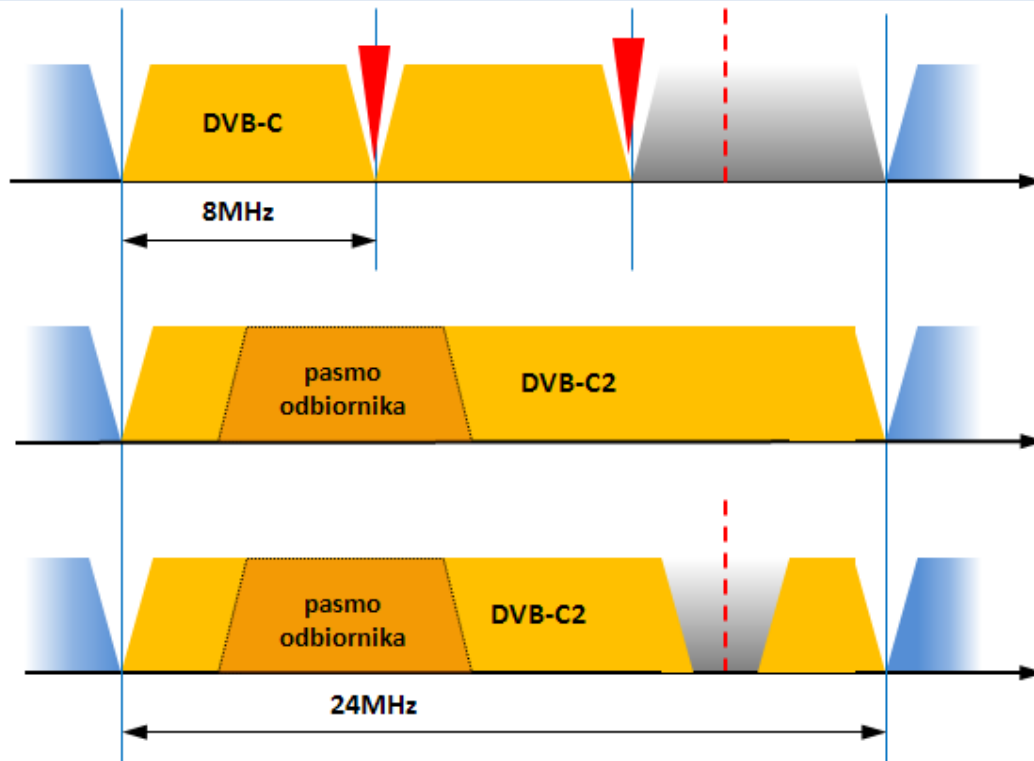
- ID sieci
- ID systemu C2
- częstotliwość początkowa
- przedział ochronny
- długość ramki C2
- liczbę połączonych kanałów
- liczbę wycinków danych
- liczbę wcięć (notch)
- parametry wycinka danych w pętli wycinającej
- parametry PLP w pętlach parametrów PLP
- parametry wcięcia (notch)

standard DVB-C2 9ramka)



Ramka DVB-C2 – zaczyna się preambułą powtarzaną co **7,61MHz** i ma szerokość 3408 podnośnych COFDM(7,61MHz). Symbole preambuły są używane do synchronizacji czasu i częstotliwości oraz do sygnalizacji parametrów **Warstwy 1**. Są one ułożone (względem częstotliwości) w taki sposób, że odbiornik sygnału w paśmie 7,61MHz (okno tunera) zawsze znajdzie wszystkie dane niezbędne do określenia parametrów **Warstwy 1** (L1). Po preambule w ramce znajduje 448 symboli danych. Na rysunku przedstawiono format DVB-C2 i ideę bundlingu (łączenia) kanałów.

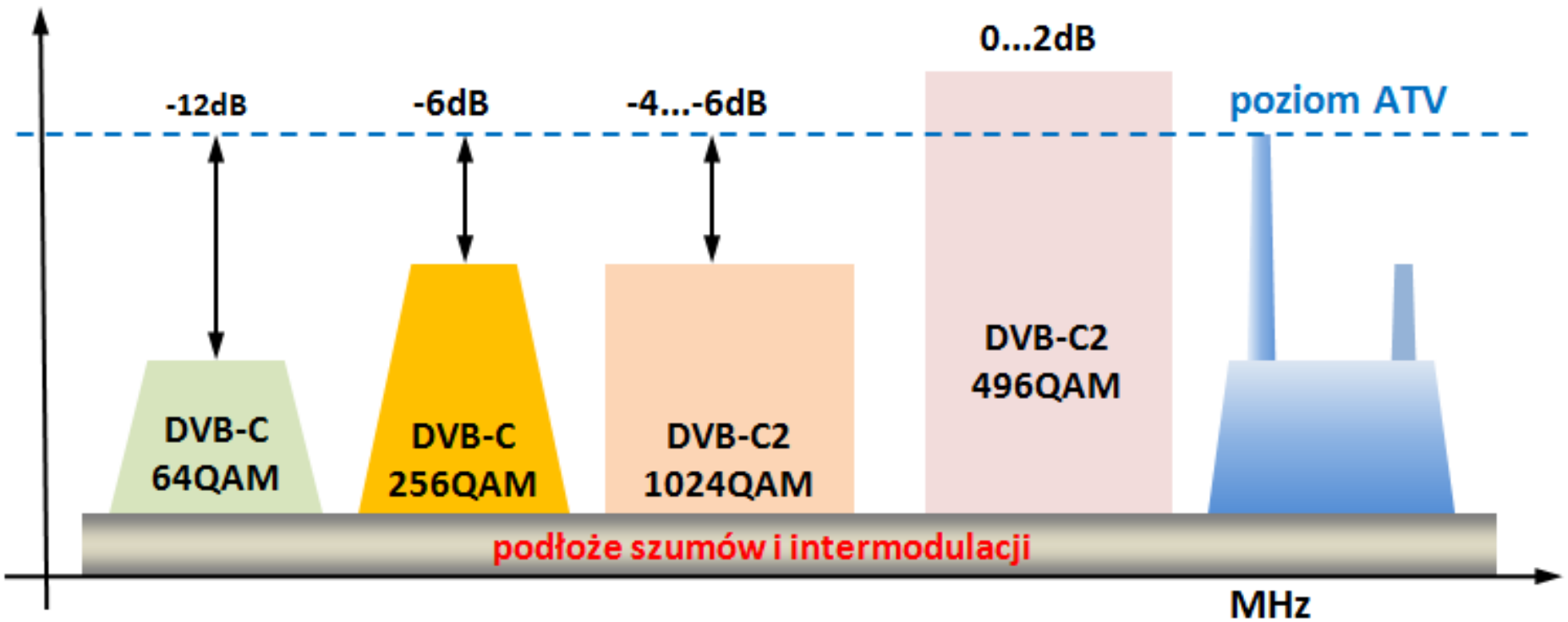
architektura sieci HFC



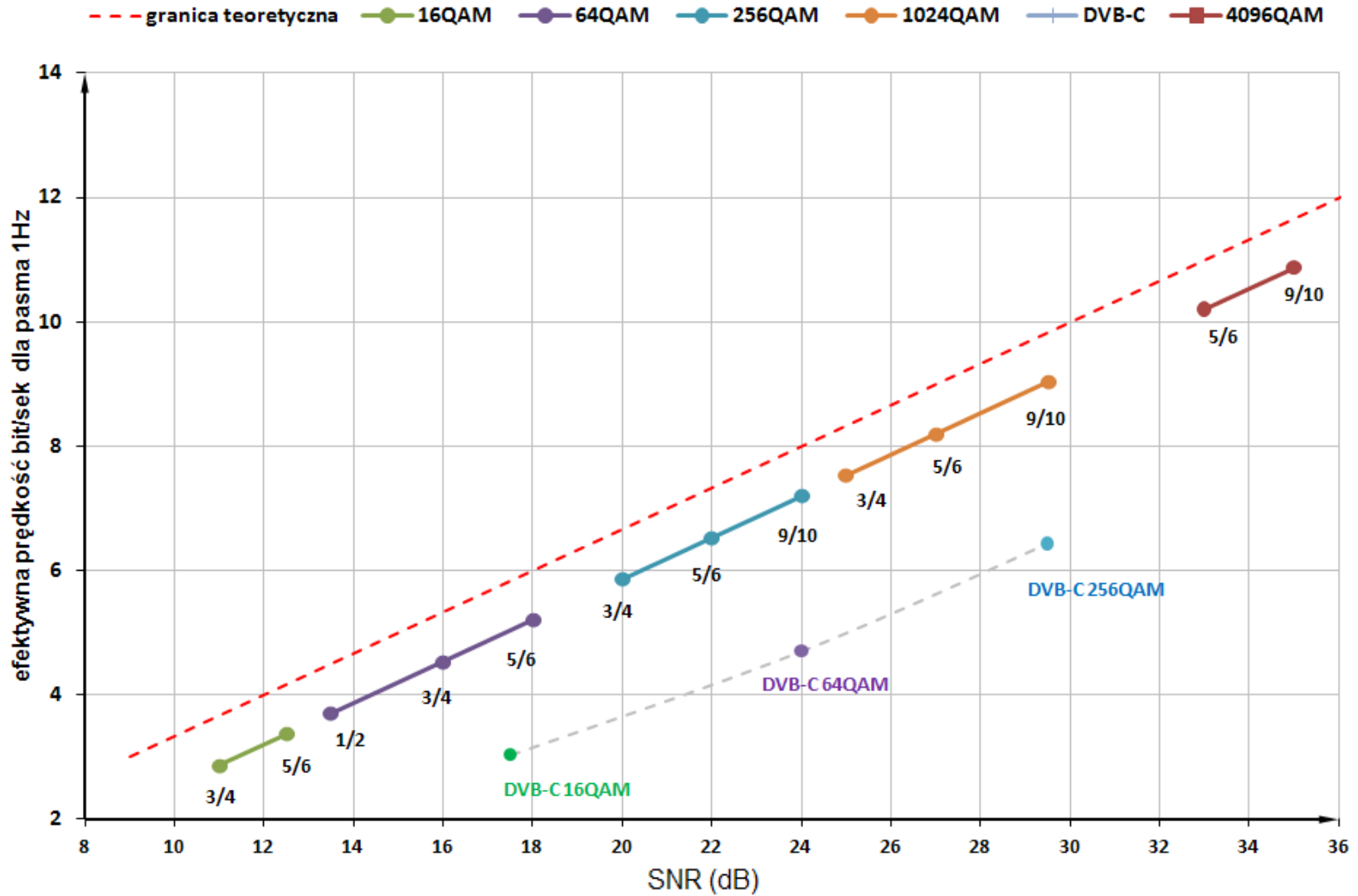
Łączenie (bundling) kanałów i budowanie wycinków danych – *w filozofii DVB-C2 nie ma*, w zasadzie, pojęcia pojedynczych kanałów, są tylko dwa rastry kanałowe 6 i 8MHz. Kanały są łączone ze sobą tworząc jeden kanał o maksymalnej szerokości pasma do ok. 450MHz. W takiej strukturze nie ma odstępów między kanałami, stąd lepsze wykorzystanie pasma częstotliwości i możliwość wyższych prędkości danych. Ze względu na występowanie zakłóceń w pewnych przedziałach pasma, przewidziano możliwość wyłączenia wybranych podnośnych COFDM – wcięcia (notch).

Wcięcia dzielimy na wąskopasmowe (*poniżej 48 podnośnych OFDM*) i szerokopasmowe (*powyżej 47 podnośnych OFDM*). Łączenie kanałów stawia większe wymagania modulatorom DVB-C2 natomiast nie wpływa na odbiorniki (muszą one tylko zdemodulować zadany raster kanałów z maksymalną szerokością 7,61MHz). Podczas demodulacji odbiornik wybiera wycinki częstotliwości zawierające dane do zdemodulowania (odpowiedni PLP). Po każdym 7,61MHz występuje sygnalizacja Warstwy 1 (L1) lokalizująca następne wycinki i przekazująca parametry transmisji w tych wycinkach. Pierwszy blok L1 zaczyna się matematycznie od 0MHz i jest powtarzany co 7,61MHz na początku ramki DVB-C2.

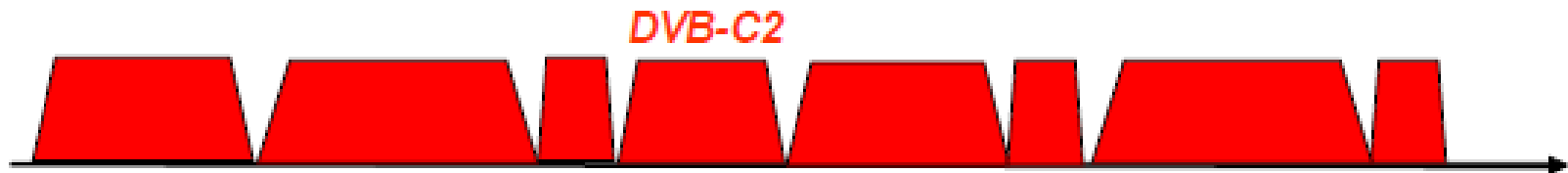
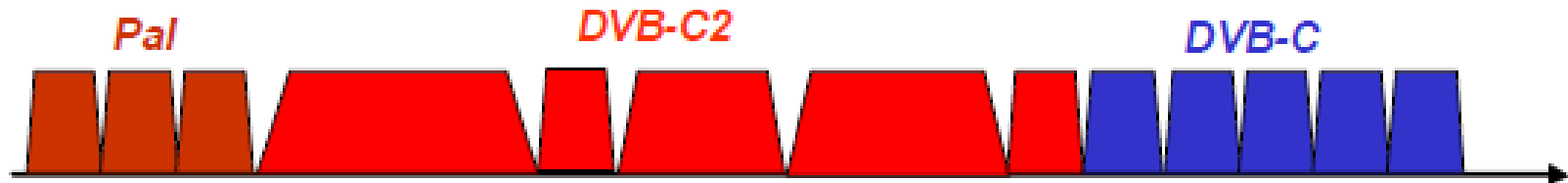
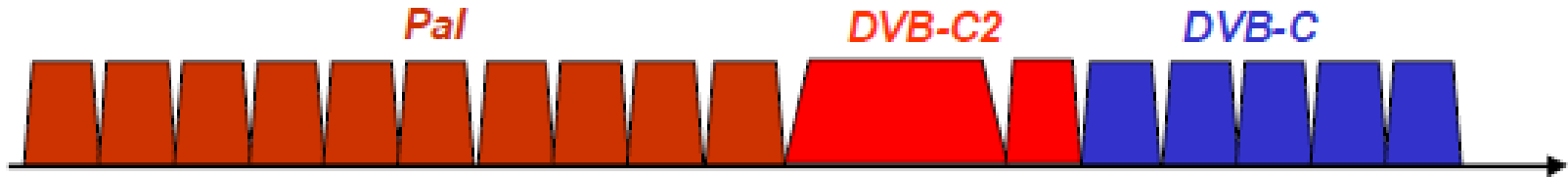
standard DVB-C2 (poziomy)



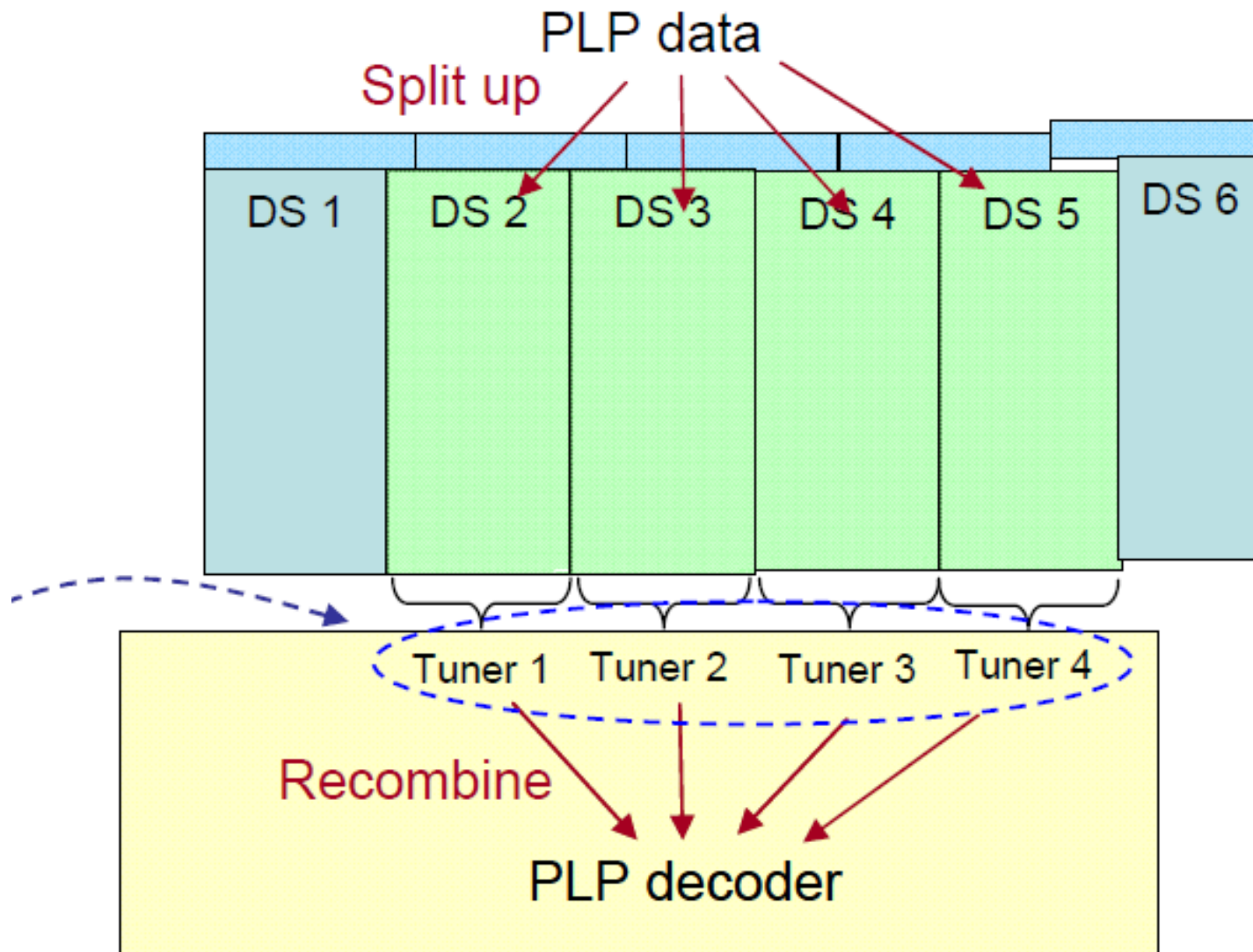
standard DVB-C2 (poziomy)



standard DVB-C2 (poziomy)



standard DVB-C2 (odbiornik szerokopasmowy)



Alternatywny szerokopasmowy odbiornik DVB-C2