

Telewizja cyfrowa

DVB - Digital Video Broadcasting

DVB-S (*Digital Video Broadcasting for Satellite application*)

DVB-T (*Digital Video Broadcasting for Terrestrial application*)

DVB-C (*Digital Video Broadcasting for Cable application*)

Wprowadzenie do telewizji cyfrowej

Zalety cyfrowej transmisji obrazu w telewizji naziemnej:

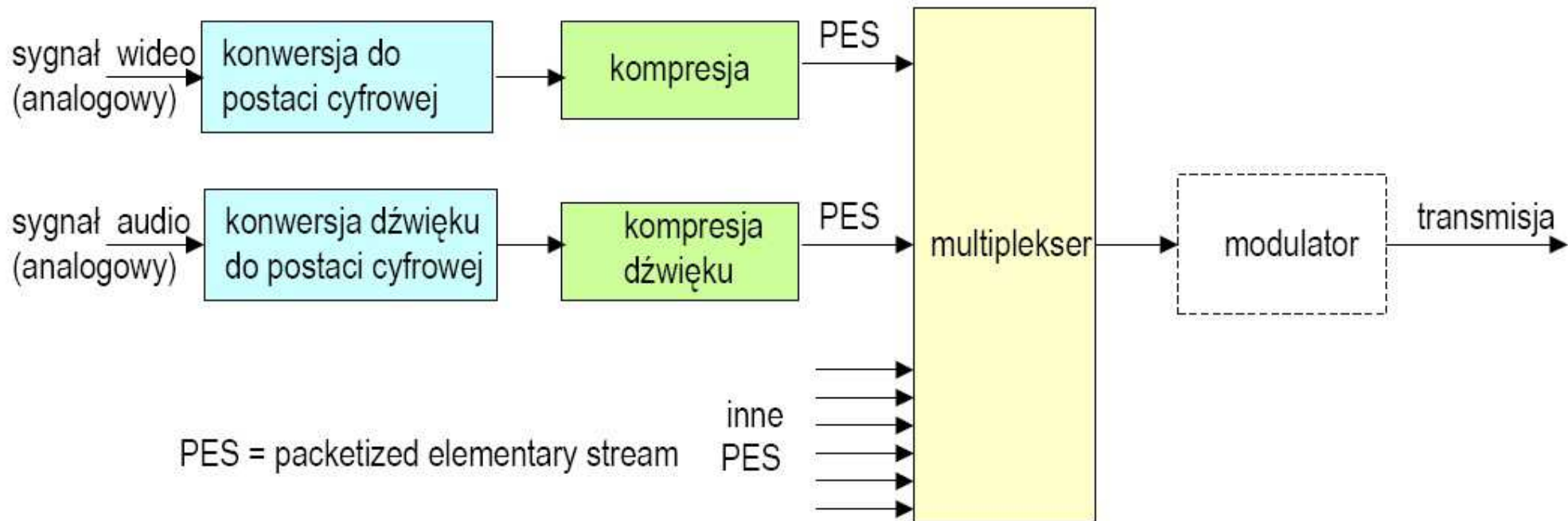
- ✓ Dobra jakość obrazu
- ✓ Wymagany mniejszy stosunek sygnał/szum
- ✓ Brak zniekształceń typowych dla wielodrogowości
- ✓ Większa liczba programów - kilka programów w jednym standardowym kanale telewizyjnym 8 MHz
- ✓ Wymagana mniejsza moc nadawcza - mniejszy poziom interferencji w sąsiednich kanałach

Rozdzielczość

☞ Obraz telewizyjny w większości standardów analogowych ma 625 linii, ale z tego 576 linii czynnych – pozostałe są wykorzystywane do synchronizacji półobrazów i powrotu wiązki

- ✓ Dla telewizji cyfrowej wybrano proporcje obrazu 5:4 => rozdzielczość pozioma $576 * 5/4 = 720$ punktów (w telewizji analogowej $576 * 4/3 = 768$)
- ✓ Dla HDTV przyjęto format 1920 x 1152, z tego przy proporcjach 16:9 wykorzystywane jest 1080 linii

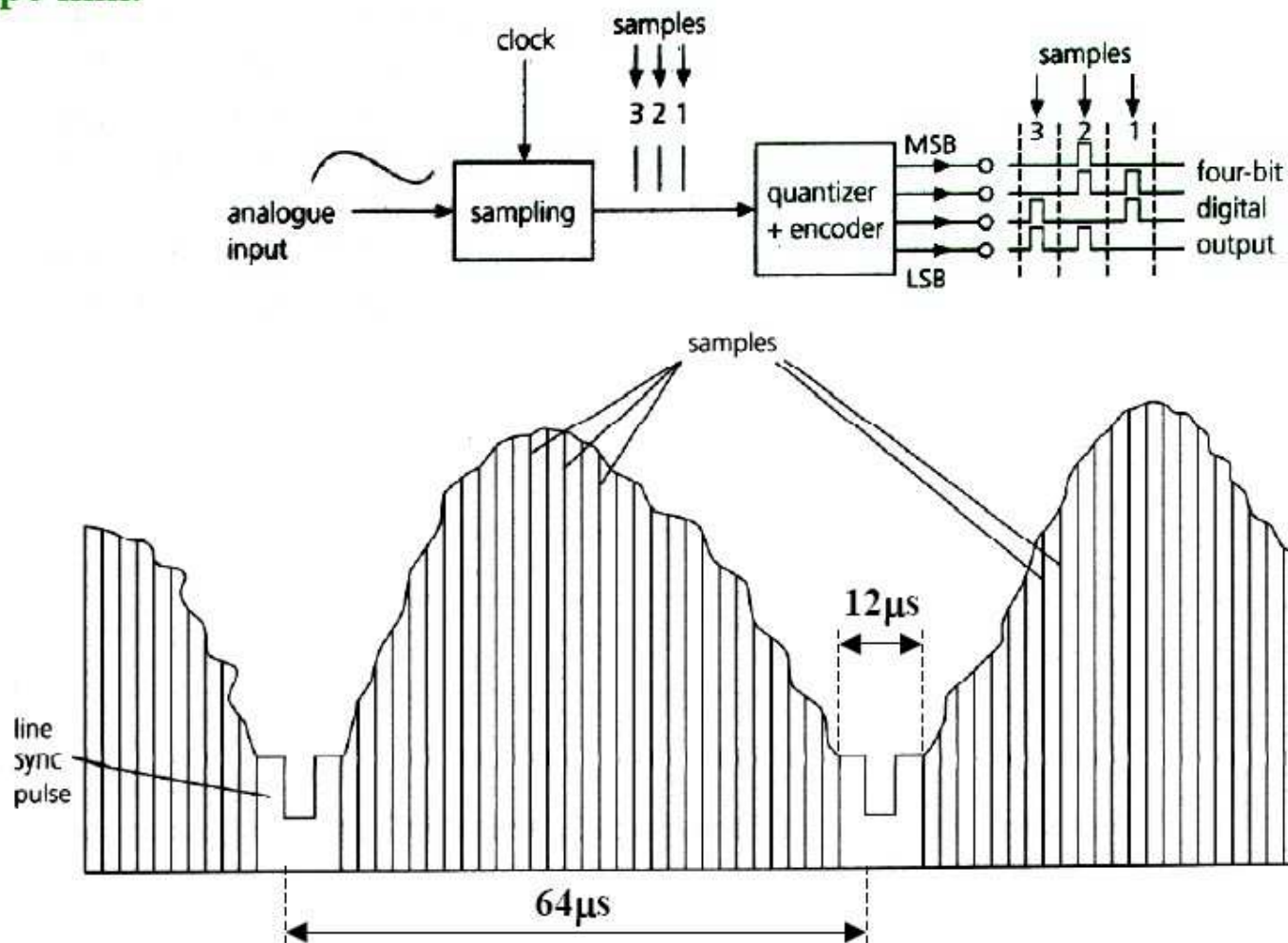
Konwersja sygnału telewizyjnego na postać cyfrową



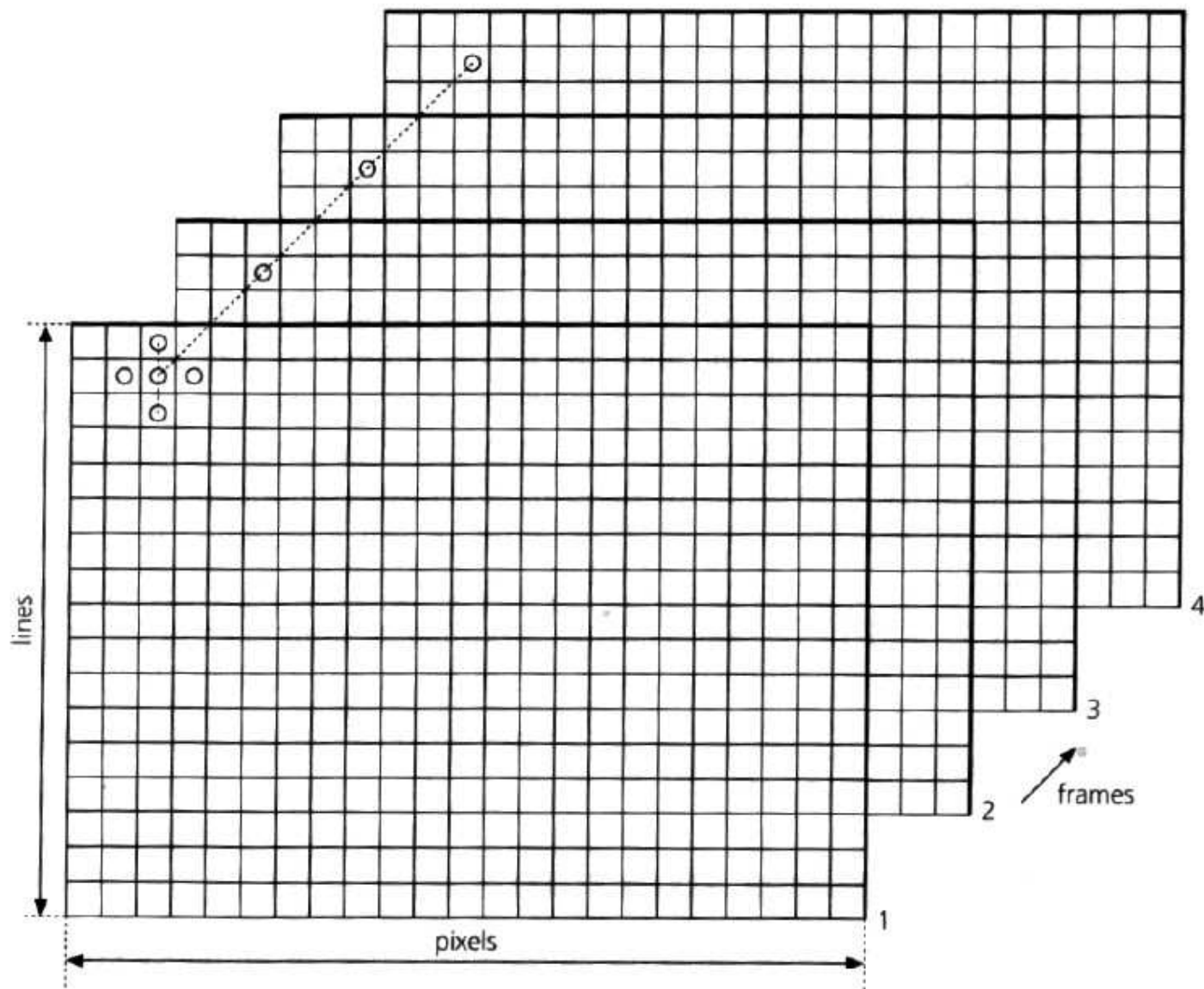
- ☞ Przekaz cyfrowy wymaga konwersji analogowych sygnałów wideo i audio do postaci cyfrowej. Sygnały te tworzą tzw. elementarny strumień pakietów (PES).
- W wyniku konwersji otrzymuje się strumień bitowy o ogromnej przepływności którego przesłanie nie byłoby możliwe w standardowym kanale TV naziemnej ani satelitarnej. Dzięki kompresji można zmniejszyć ilość przesyłanej informacji o kilkadziesiąt razy.
 - ☞ Bez kompresji ok 200Mbit/s na program. DVD PAL to kompresja 40-50 razy (4-5 Mbit/s). Jakość VHS to ok. 1-2Mbit/s a więc kompresja 100-200 razy).

Konwersja obrazu do postaci cyfrowej

- ❑ Konwersja obrazu do postaci cyfrowej polega na próbkowaniu zawartości obrazu linia po linii.



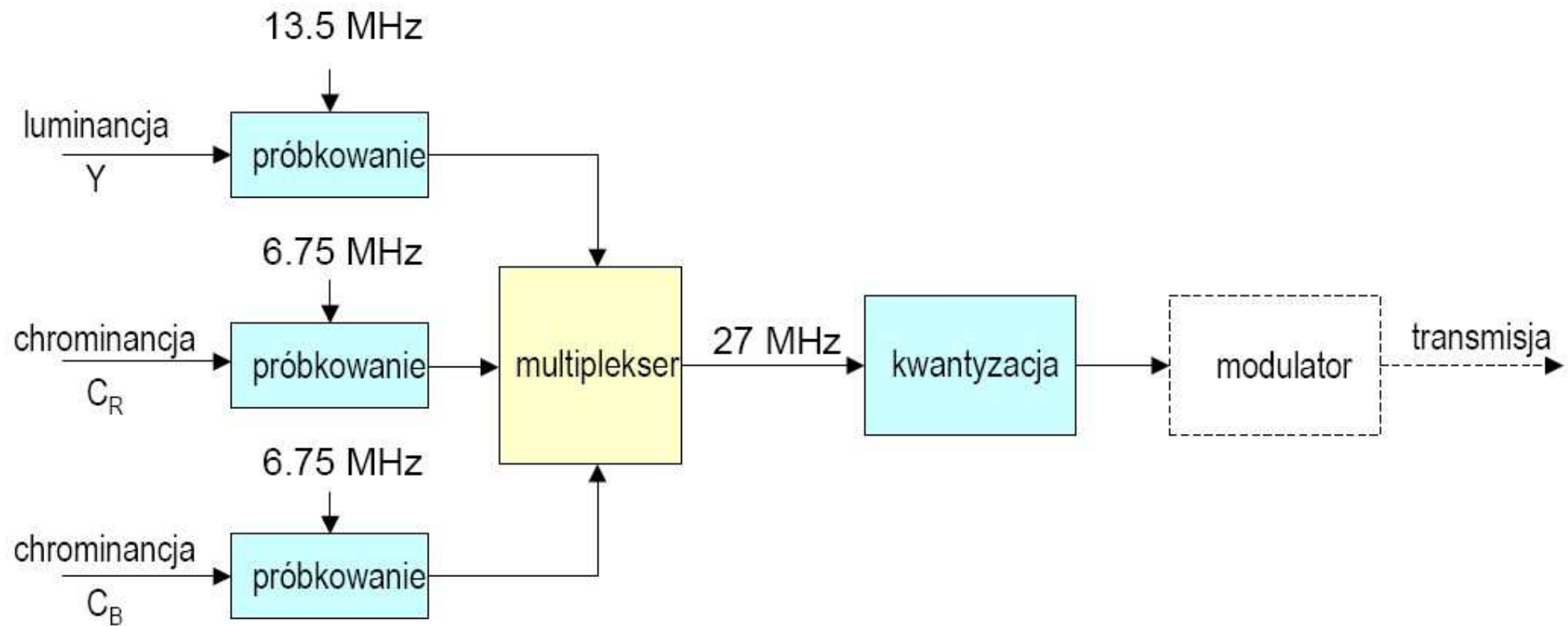
- ❑ Aby utrzymać jakość liczba próbek na linię musi być równa liczbie pikseli w linii obrazu
- 🔔 Czas trwania linii wynosi 64µs, w tym 52µs treść obrazu a 12µs wygaszanie linii
- Jeśli próbkowany ma być każdy piksel obrazu to częstotliwość próbkowania = liczba pikseli w linii / czas trwania linii = $576 \cdot 5/4 / 52\mu s = 720/52 \sim 13.8 \text{ MHz}$
(równocześnie z kryterium Shanona $f_p > 2 \cdot 6\text{MHz}$; $f_p + 10\% > 13\text{MHz}$)



- ☞ Jednocześnie częstotliwość próbkowania musi być całkowitą wielokrotnością częstotliwości linii, tak żeby próbki były pobierane z tego samego miejsca każdej linii i półobrazu => przyjęto częstotliwość próbkowania 13.5 MHz
 $13.5 \text{ MHz} / 15625 \text{ Hz} = 864$ (i równocześnie 858 razy dla 525 linii)
 (częstotliwość linii: $625 \cdot 25 = 15\,625 \text{ Hz}$ lub $1/64 \mu\text{s} = 15\,625 \text{ Hz}$)

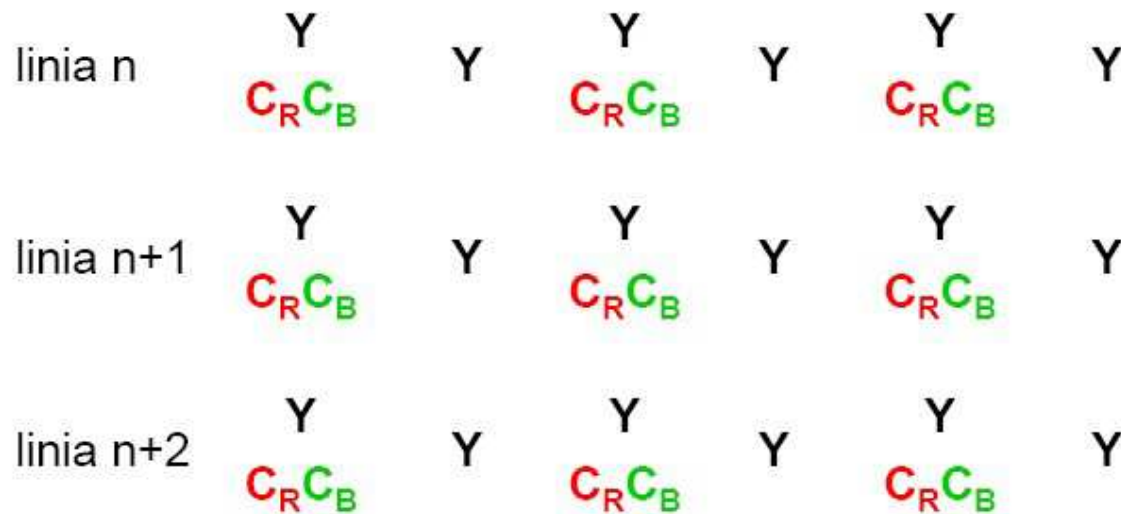
Przetwarzanie sygnałów luminancji i chrominancji

- W związku z mniejszym pasmem sygnałów chrominancji (2.75 MHz) dla potrzeb transmisji cyfrowej wystarczy próbkowanie ich z połową częstotliwości próbkowania luminancji tj. 6.75MHz.



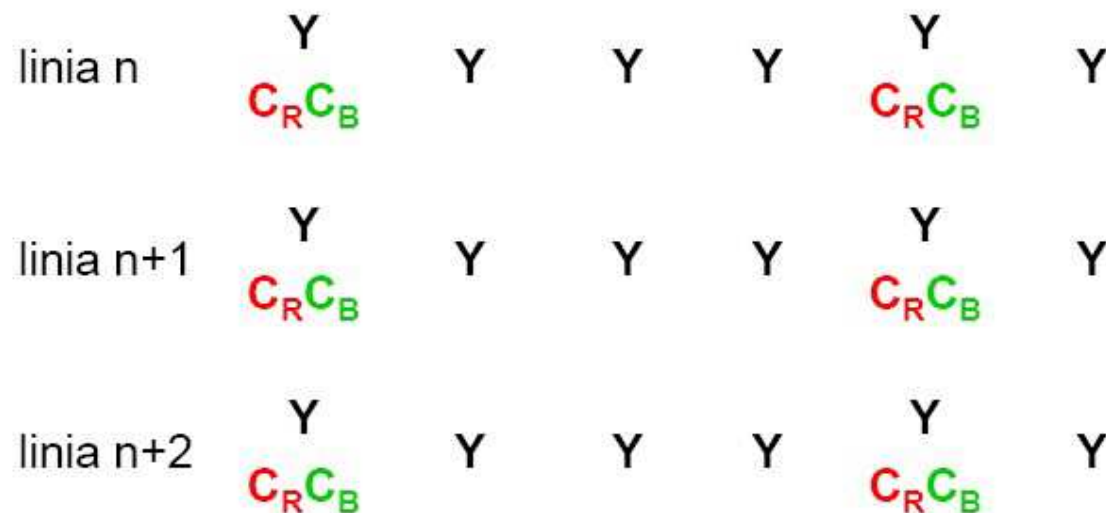
- Próbkowanie polega tylko na pobraniu wartości sygnału – wartość analogowa, czas dyskretny. Kwantyzacja polega na przydzieleniu tej wartości analogowej poziomowi dyskretnego (z zakresu wynikającego z rozdzielczości kwantyzacji, np. 8-bitowa pozwoli na $2^8=256$ poziomów)

Struktura próbkowania



Struktura samplingu **4:2:2**

⇒ Komponenty chrominancji próbkowane co 2 piksele



Struktura samplingu **4:1:1**

⇒ Komponenty chrominancji próbkowane co 4 piksele

+ Mniejsza częstotliwość próbkowania sygnału chrominancji => mniejsze pasmo sygnału

— Duża nierównomierność poziomej i pionowej rozdzielczości kolorów

linia n	Y	Y $C_R C_B$	Y	Y $C_R C_B$	Y	Y $C_R C_B$
linia n+1	Y	Y	Y	Y	Y	Y
linia n+2	Y	Y $C_R C_B$	Y	Y $C_R C_B$	Y	Y $C_R C_B$
linia n+2	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Struktura samplingu 4:2:0

- ↪ Komponenty chrominancji próbkowane co 2 piksele w liniach nieparzystych
- ↪ W linii parzystych próbkowana tylko luminancja
- + Lepsze zrównoważenie rozdzielczości kolorów w pionie i poziomie niż 4:1:1
- + Mniejsze pasmo niż 4:2:2

Przepływność bitowa strumienia wideo

Przepływność bitowa = liczba próbek na sekundę x liczba bitów dla każdej próbki.
W telewizji przyjęto kwantyzację na 8 bitach.

➤ Przepływność w torze luminancji:

$$25 \text{ obrazów} \times 720 \times 576 = 1\,036\,800 \text{ próbek/s}$$

$$1\,036\,800 \times 8 \text{ bit} = \mathbf{82,944 \text{ Mbit/s}}$$

➤ Przepływność każdego z torów chrominancji (R i B)

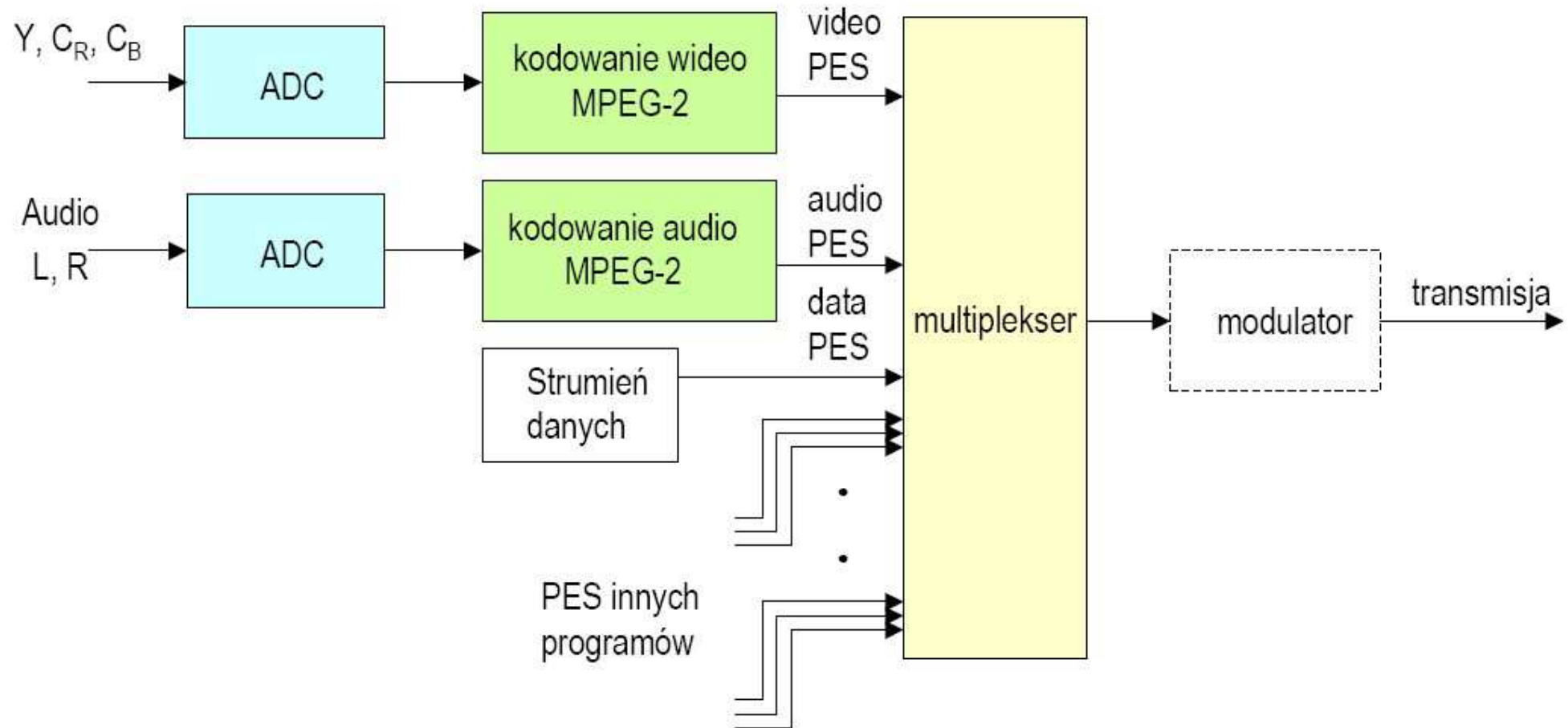
$$\text{Dla struktury obrazu 4:2:2 otrzymujemy } 360 \times 576 \times 25 \times 8 = \mathbf{41,472 \text{ Mbit/s}}$$

$$\text{Dla struktury obrazu 4:2:0 otrzymujemy } 360 \times 288 \times 25 \times 8 = \mathbf{20,736 \text{ Mbit/s}}$$

$$\mathbf{\text{Przepływność całkowita dla samplingu 4:2:0} = 124 \text{ Mbit/s}}$$

=> konieczna jest kompresja - nawet wielopoziomowa modulacja 64QAM wymaga pasma transmisyjnego $124/6 = 20 \text{ MSymboli/s} = 20 \text{ MHz}$

- ❖ Dla potrzeb telewizji cyfrowej zostało wybrane kodowanie audio i video w standardzie MPEG-2



Jakość obrazu - Profile MPEG-2

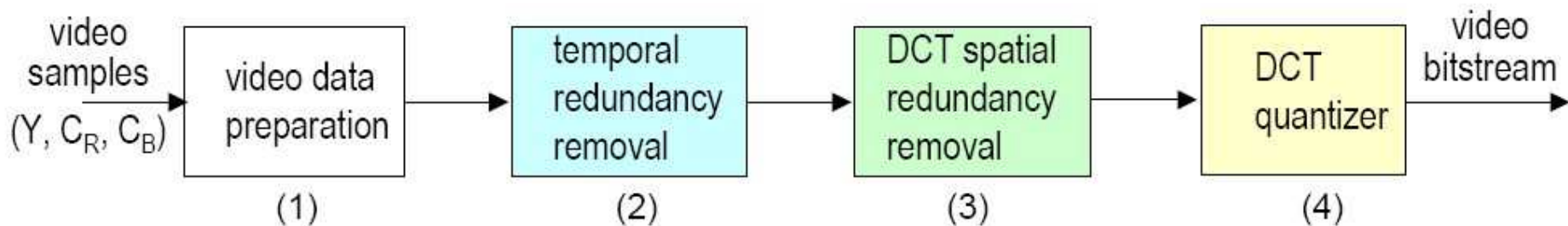
- Standardowa telewizja cyfrowa (SDTV – Standard Digital Television) wykorzystuje MPEG-2 MP@ML, natomiast HDTV korzysta z MP@HL

Profile Level	Simple	Main	SNR	Spatial	High
High		4:2:0 1920 x 1152 80 Mbit/s I, P, B			4:2:0, 4:2:2 1920 x 1152 100 Mbit/s I, P, B
High-1440		4:2:0 1440 x 1152 60 Mbit/s I, P, B		4:2:0 1440 x 1152 60 Mbit/s I, P, B	4:2:0, 4:2:2 1440 x 1152 80 Mbit/s I, P, B
Main	4:2:0 720 x 576 15 Mbit/s I, P	4:2:0 720 x 576 15 Mbit/s I, P, B	4:2:0 720 x 576 15 Mbit/s I, P, B		4:2:0, 4:2:2 720 x 576 20 Mbit/s I, P, B
Low		4:2:0 352 x 288 4 Mbit/s I, P, B	4:2:0 352 x 288 4 Mbit/s I, P, B		

Parametry tunera satelitarne - II. DEKODOWANIE SYGNAŁU A/V

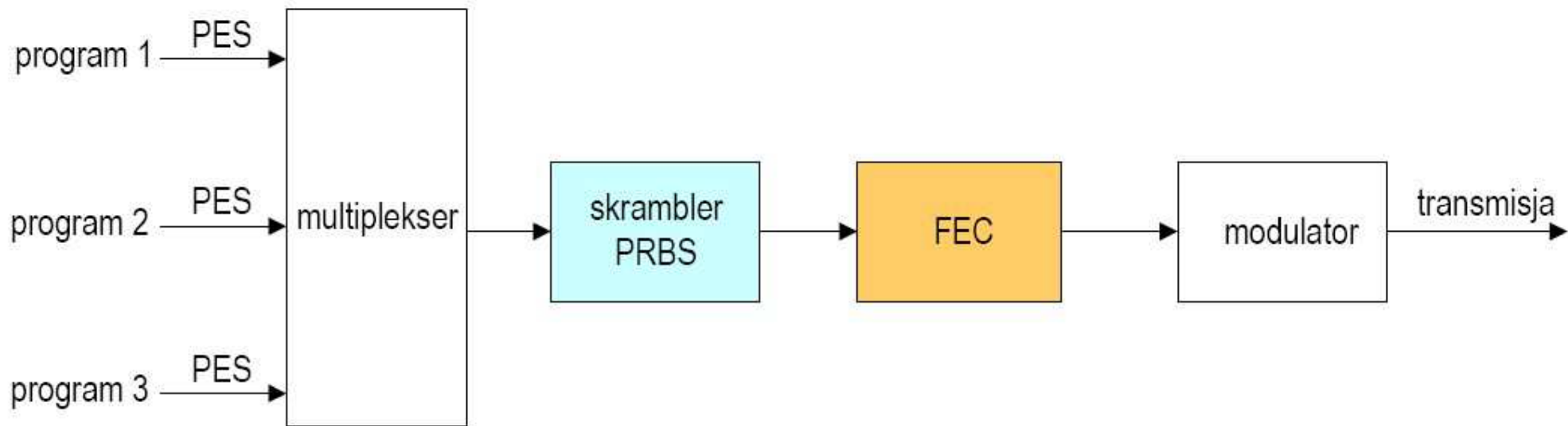
Strumień przesyłu danych	MPEG - 2 ISO/IES 13818
Standard Dekodera Video	MPEG -2 MP@ML
Prędkość wejściowa	Max, 60 Mbit/s
Stosunek wymiarów obrazu	4:3, 16:9 (Letter Box)
Rozdzielczość	720x576 (PAL), 720X480 (NTSC)
Standard Dekodera Audio	MPEG Poziom I i II - ISO/IEC 11172-3
Rodzaj sygnału Audio	Pojedynczy Kanał / Podwójny Kanał Połączenie Stereo/ Stereo
Częstotliwość Próbkowania	32; 44,1 i 48 kHz
Strumień przesyłu danych	MPEG - 2 ISO/IES 13818

Kodowanie obrazu w standardzie MPEG-2



- 1) Blok przygotowania strumienia wideo porządkuje próbki obrazu w sposób odpowiedni dla kompresji MPEG-2
- 2) Redukcja bitów związanych z powtarzającymi się elementami w kolejnych obrazach (*interframe data reduction*)
 - porównanie bloków o wielkości 16x16 pikseli w kolejnych obrazach, oblicza różnicę i przesyła wektor opisujący ich ruch w kolejnych obrazach
- 3) Redukcja bitów związanych z powtarzającymi się elementami w przestrzeni danego obrazu (*intraframe data reduction*)
 - wykorzystywana jest transformata DCT (*Discrete cosine transform*) w celu transformacji wartości próbek bloków o wymiarach 8x8 pikseli na współczynniki. Aby zredukować liczbę współczynników nie transformuje się współczynników bliskich zeru
- 4) Kwantyzacja współczynników otrzymanych w poprzednim bloku t.j. zaokrąglenie ich do najbliższej wartości z określonego zbioru wartości dyskretnych. Każdy współczynnik jest następnie zapisywany na 8-bitach i tworzy strumień wynikowy.

Kodowanie kanałowe



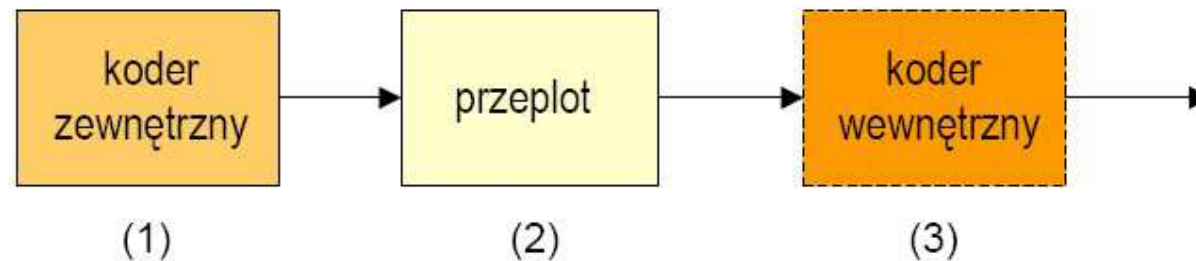
- ❑ Skramblowanie pozwala na uzyskanie równomiernego rozproszenia energii sygnału w kanale radiowym.

☞ Do realizacji skramblowania służą rejestry przesuwne ze sprzężeniem zwrotnym

- ❑ FEC (Forward Error Correction) - kodowanie protekcyjne polegające na dodaniu bitów nadmiarowych, umożliwiającich wykrycie i korekcję błędów transmisji

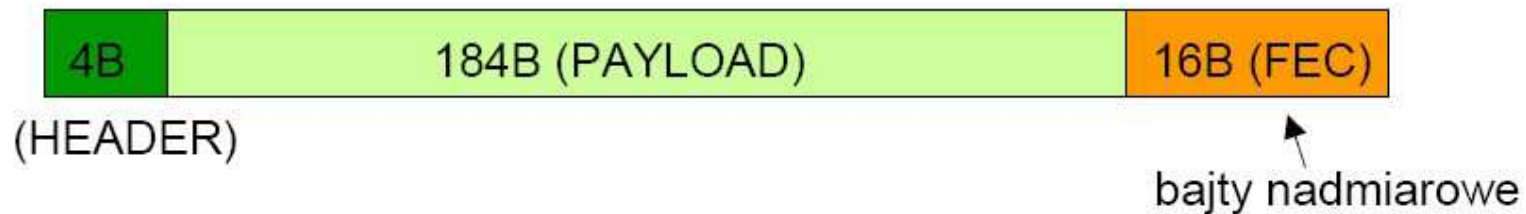
☞ Dla potrzeb DVB bitowa stopa błędów musi być lepsza niż 10^{-11} tzn. 1 błąd na 100 miliardów bitów, co odpowiada mniej niż 1 nieskorygowanemu bitowi w 1 godzinnej transmisji (!). Błędy podczas transmisji w kanale radiowym muszą być więc wykryte i skorygowane.

Kodowanie protekcyjne (FEC) w telewizji cyfrowej



- 1) Koder blokowy wykorzystujący kod **Reed-Solomona RS(204,188)**
- 2) **Przeplot (*interleaving*)** pozwala na uzyskanie większej odporności na błędy seryjne (paczki błędów)
- 3) **Koder splotowy (*convolutional coding*)**
 - ☞ Uzyskanie bardzo niskiego BER w odbiorniku w przypadku transmisji w kanale radiowym wymaga dużej sprawności bloku korekcji błędów stąd kolejny stopień wykorzystujący kodowanie splotowe.
 - ☞ Kodowanie splotowe stosowane jest zarówno w telewizji satelitarnej (DVB-S) jak i naziemnej (DVB-T). Nie jest natomiast konieczne do transmisji w cyfrowej telewizji kablowej (DVB-C)

Korekcja błędów przy użyciu kodu Reed-Solomona



- ✓ Kod Reed-Solomona RS(204,188) dodaje 16 bajtów nadmiarowych do przesyłanego bloku 188 bajtowego => na wyjściu otrzymujemy 204 bajtowe słowo kodowe.
- ✓ Kod RS(204,188) Ma możliwość skorygowania do 8 błędnych bajtów w odebranym pakiecie.
- ❖ W ogólnym przypadku kod RS(n,k) tworzy słowo kodowe n symbolowe na podstawie bloku k symboli danych, przy czym każdy symbol może zawierać s bitów. Kod dodaje więc $n-k$ symboli do bloku wejściowego.

Kod RS(n,k) ma możliwość skorygowania $(n-k)/2$ błędnych symboli.

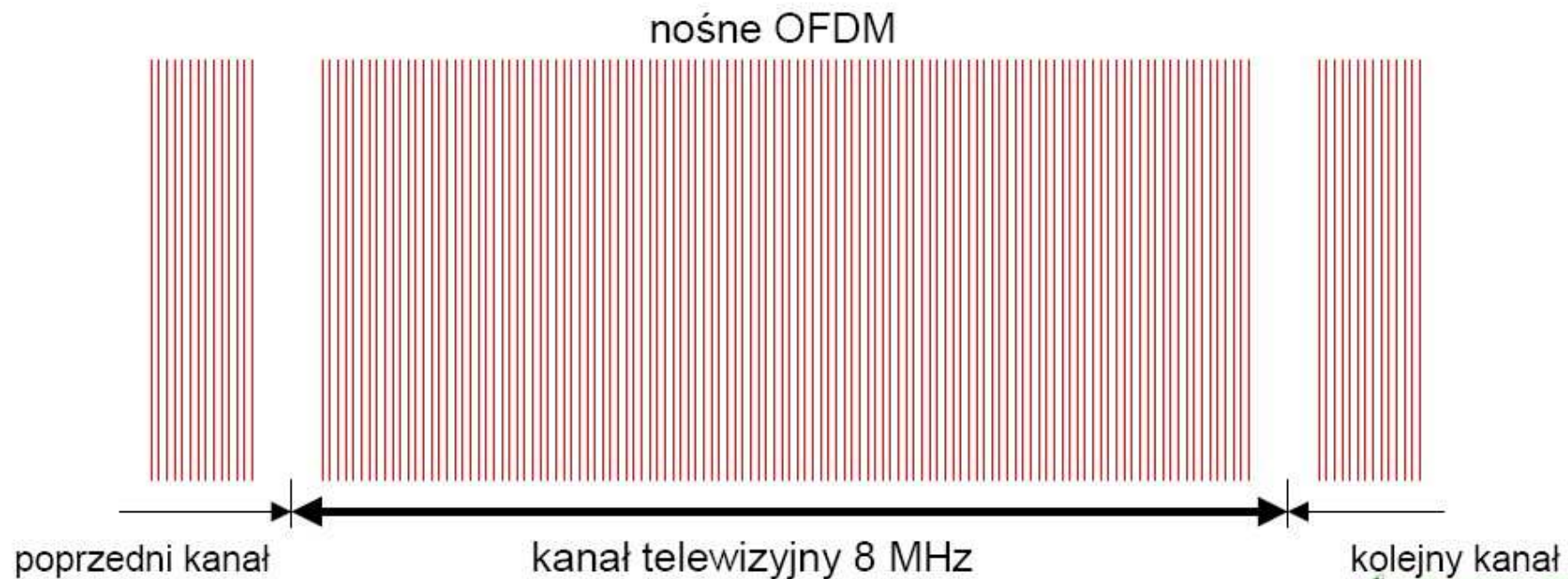
- 🔗 W DVB stosowany kod RS(204,188) a symbole są 1 bajtowe (8 bitowe), więc mające 16 bajtów nadmiarowych słowo kodowe umożliwia skorygowanie do 8 błędnych bajtów w odebranym słowie kodowym.*
- 🔗 Dla danego rozmiaru symbolu s , maksymalna długość słowa kodowego n dla kodu Reed-Solomona wynosi $n \leq 2^s - 1$ (dla symboli 1 bajtowych słowo kodowe może więc mieć maksymalnie długość 255 bajtów).
- 🔗 Czym więcej symboli nadmiarowych, tym więcej błędów można skorygować ale tym więcej mocy obliczeniowej wymaga proces kodowania i dekodowania (i tym mniejsza uzyskana przepływność dla danych użytkowych).

Kodowanie splotowe

- W koderach blokowych otrzymane słowo kodowe zależy tylko od zawartości bloku wejściowego poddanego kodowaniu. W koderach splotowych wyjściowa sekwencja kodowa zależy nie tylko od zawartości bitów w bieżącym cyklu ale także od poprzednio przetworzonych danych.
 - ☞ Kodery blokowe operują na dużych blokach danych, najczęściej rzędu kilkuset bajtów. Kodery splotowe operują na danych seryjnych najczęściej o długości do kilku bitów w jednym cyklu.
- ❖ Kody splotowe są skuteczniejsze od kodów blokowych szczególnie do korekcji błędów rozłożonych przypadkowo.
- W procesie kodowania k bitów wejściowych jest mapowanych na n bitów wyjściowych ($R=k/n$, *code rate*). Koder jest złożony z rejestrów przesuwnych (kL stopni, gdzie L jest długością wymuszoną kodera).
- W odbiorniku strumień symboli jest poddawany dekodowaniu z równoczesną korekcją ewentualnych błędów transmisji. Optymalną metodą dekodowania jest metoda największego prawdopodobieństwa (*maximum-likelihood decoding*) w której dekodery próbuje znaleźć najbliższą poprawną sekwencję do odebranej.
- Jednym z najskuteczniejszych algorytmów dekodowania kodów splotowych jest algorytm Viterbiego, który jest szczególnie skuteczny w korekcji błędów przypadkowych w kanale AWGN.
- ❖ Zaletą dekodera Viterbiego jest stały czas dekodowania. Nadaje się też dobrze do implementacji sprzętowej.
- Wymagania obliczeniowe dekodera Viterbiego rosną eksponencjalnie ze wzrostem L . W aplikacjach praktycznych długość kodu jest zwykle ograniczana do $L=9$ lub mniej.

Modulacje

- **DQPSK** (Differential Quadrature Phase Shift Keying) w telewizji cyfrowej satelitarnej
- **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation) w kablowej telewizji cyfrowej
- **COFDM** (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) w naziemnej telewizji cyfrowej.
 - Tryb 2K, 2048 nośnych, z tego 1705 aktywnych, odległość nośnych $1/t_u$ gdzie $t_u=224\mu s$ (czas trwania użytecznej części symbolu)
 - Tryb 8K, 8192 nośne, w tym 6817 aktywnych, $t_u=896\mu s$
 - Pozostałe nośne (343 w trybie 2K lub 1375 w trybie 8K) są przesyłane bez modulacji podczas okresu ochronnego i używane przez dekodery do synchronizacji



Rozmieszczenie kanałów telewizji analogowej w Polsce (standard OIRT)

Częstotliwości nośne wizji i fonii [MHz] Standard OIRT - odstęp międzykanałowy 8 MHz (W standardzie CCIR – odstęp: VHF 7 MHz, UHF 8 MHz)			
VHF I	1	49.75	56.75
	2	59.25	65.75
VHF III	6	175.25	181.75
	:	:	:
	12	223.25	229.75
UHF IV	21	471.25	477.75
	:	:	:
	37	599.25	605.75
UHF V	38	607.25	613.75
	:	:	:
	56	751.25	757.75
UHF VI	57	759.25	765.75
	:	:	:
	69	855.25	861.75

➤ Kanał 48 odpowiada częstotliwości nośnej 687,25MHz

☞ Zakres VHF II został zlikwidowany w 1979 r. Obecnie jego część jest wykorzystywana przez radiofonię UKF

Perforowanie kodu (*puncturing*)

👁️ Dodanie dodatkowych bitów nadmiarowych wydłuża słowo kodowe => spadek przepływności netto.

Długi kod zwiększa też prawdopodobieństwo wystąpienia błędu w danym słowie kodowym (więcej bitów na słowo kodowe).

👉 Idea skracania słowa kodowego - perforowanie kodu.

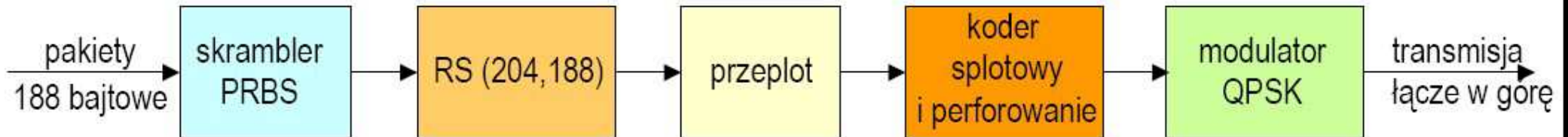
📖 Proces ten polega na selektywnym usuwaniu niektórych bitów ze każdego słowa kodowego wg schematu znanego odbiorcy.
W odbiorniku przypadkowe bity są wstawiane w miejsca w których zostały usunięte w nadajniku i oznaczane jako bity z zerowym współczynnikiem zaufania.

➤ np. dla kodu o sprawności $R=1/2$, jeśli usunięty zostanie 1 bit z czterech bitów wyjściowych, to zamiast przesyłać 4 bity kodu na 2 bity danych, przesyłanych zostanie 3 bity kodu na każde 2 bity danych, co odpowiada sprawności $R=2/3$.

👁️ kod perforowany jest mniej skuteczny w korekcji błędów transmisji niż oryginalny kod wejściowy ale uzyskuje się większą przepływność bitową.

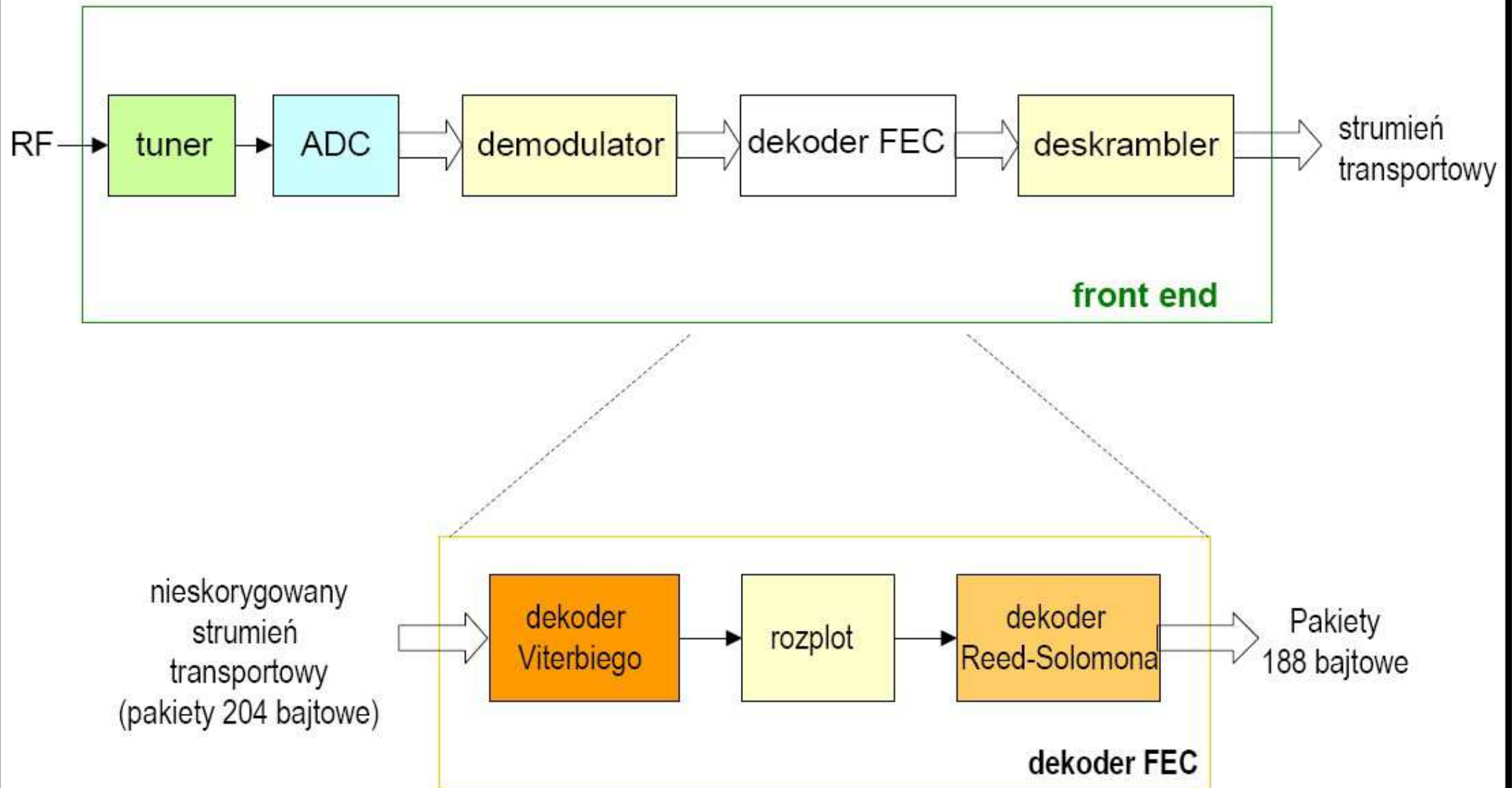
❖ W telewizji cyfrowej DVB zastosowano koder splotowy o sprawności $R=1/2$. Kod jest następnie perforowany tak aby otrzymać sprawności $R=2/3, 3/4, 5/6$, lub $7/8$ w zależności od wyboru nadawcy.

Koder kanałowy telewizji satelitarnej DVB-S

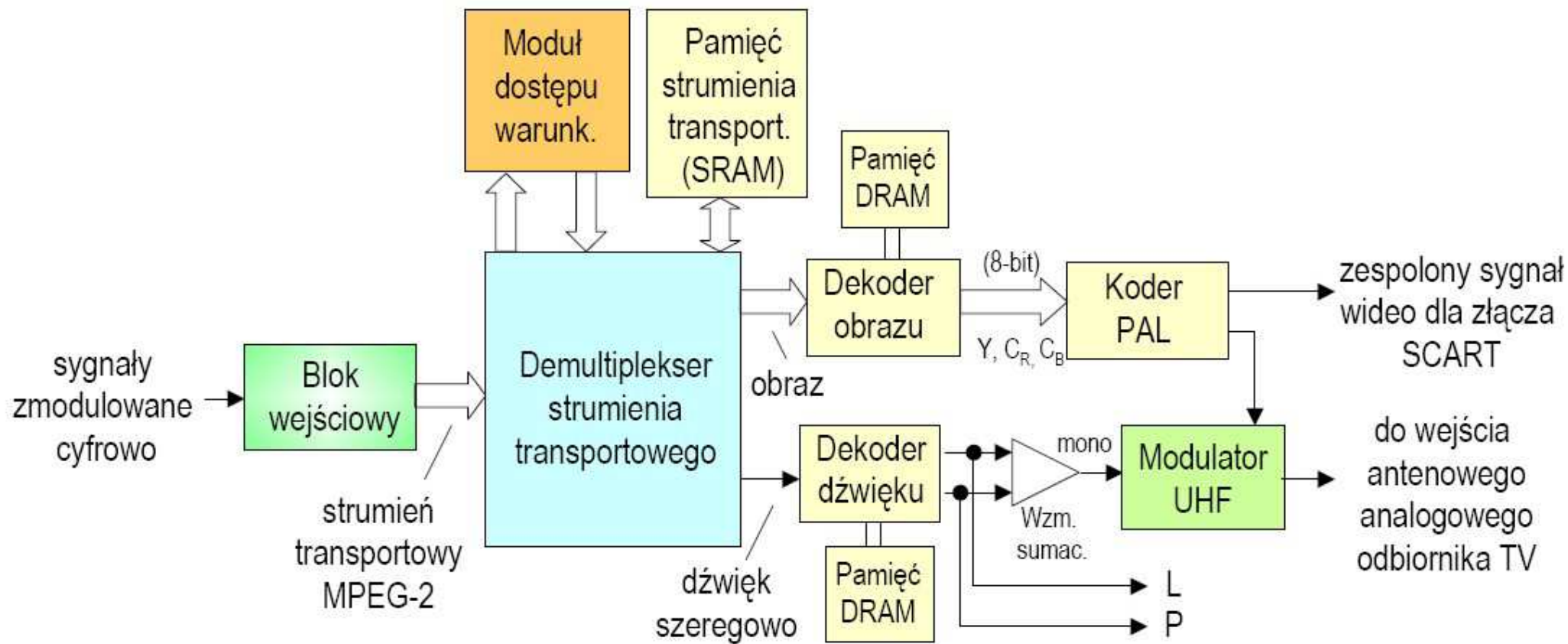


- Strumień wejściowy tworzą programy wchodzące w skład multipleksu w pakietach 188 bajtowych.
- Sygnał jest najpierw skramblowany a następnie uzupełniany 16 bajtami nadmiarowymi w koderze Reed-Solomona RS(204,188)
- Po wykonaniu przeplotu pakiet trafia do kodera splotowego o sprawności $R=1/2$. Kod ten jest następnie perforowany, dając na wyjściu sprawności $2/3$, $3/4$, $5/6$, lub $7/8$.
- Tak zabezpieczony strumień pakietów trafia do modulatora QPSK a następnie przez interfejs łącza w górę są nadawane na transponder satelitarny.

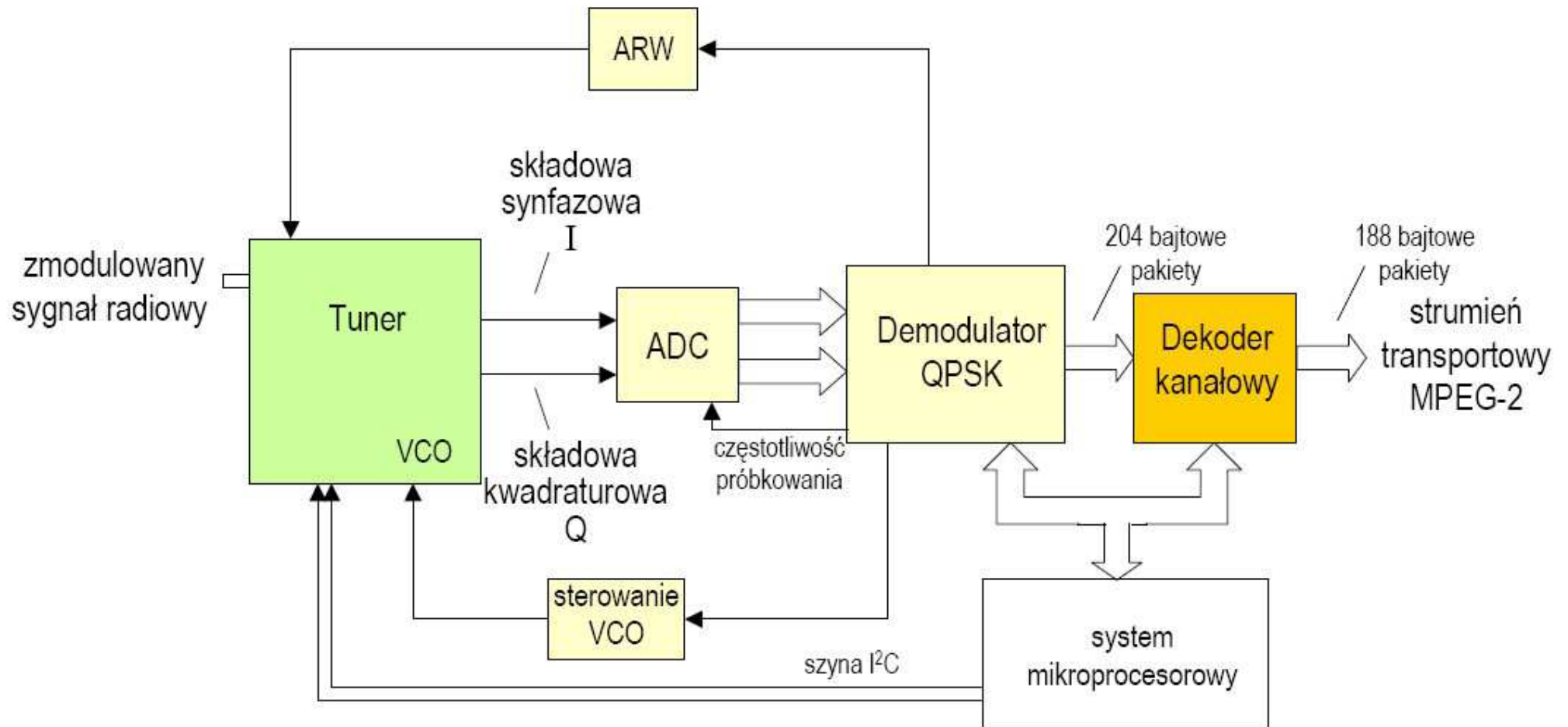
Elementy toru odbiorczego DVB



Ogólna budowa odbiornika/dekoder DVB



Budowa bloku wejściowego odbiornika DVB-S



Przykładowa specyfikacja tunera satelitarnego

I. TUNER CYFROWY I DEMODULATOR

Złącze wejściowe RF	F-żeńskie, IEC 169-24
Pasmo częstotliwości wejściowych	950 - 2150 MHz
Impedancja wejściowa	75 ohm
Poziom sygnału wejściowego	- 60 dBm do -30 dBm
Zasilanie konwertera	Polaryzacja pionowa: 13,0 V DC Polaryzacja pozioma: 18,0 V DC
Prąd zasilania LNB	Prąd maksymalny: 500 mA Zabezpieczenie przeciwprzeciążeniowe
DiSEqC	DiSEqC 1.0 i 1.2
Przełączanie pasma częstotliwości	22 kHz
Sygnał 22 kHz	Częstotliwość: 22 ± 2 kHz Amplituda: $0,6 \pm 0,2$ V
Demodulacja	QPSK
Prędkość transmisji	1 - 45 Ms/s

DiSEqC - *Digital Satellite Equipment Controller*

* pasmo dolne 10,7 - 11,7GHz, górne 11,7 - 12,75GHz. (f_{OSC} odp. 9,75GHz i 10,6GHz)