

# Sieci transportowe cz.1: SDH

*Sławomir Kula*  
*na prawach rękopisu*

Instytut Telekomunikacji  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Politechnika Warszawska

Warszawa, styczeń 2023

# **Wprowadzenie i pojęcia podstawowe**

# Podział warstwowy sieci

LAN



Sieci dostępowe



Sieci transportowe  
(szkieletowe)



# Przykład sieci transportowej



# Trochę podstawowych pojęć

## Sygnał cyfrowy

Sekwencja występujących po sobie, w określonych chwilach bitów albo grup bitów (np. bajtów).

Postać fizyczna sygnału cyfrowego zależy od konwersji bitów na sygnał analogowy reprezentujący bit lub bity.

## Przepływność binarna sygnału

Liczba bitów sygnału przypadająca na jednostkę czasu, zwykle sekundę, np. [bit/s]. Przepływność może być stała albo zmienna.

## Przepustowość

Przepustowość zwana inaczej pojemnością określa maksymalne możliwości przesyłania sygnałów w jakimś kanale przesyłowym<sup>5</sup> (transmisyjnym), przepustowość wyraża się najczęściej w [bit/s].

# Trochę podstawowych pojęć

## Zapis heksadecymalny (szesnastkowy)

0	0	10	A
1	1	11	B
2	2	12	C
3	3	13	D
4	4	14	E
5	5	15	F
6	6		
7	7		
8	8		
9	9		

### Przykład

C7 hex

C                      7 hex

12                      7 dziesiętny

8+4                      4+2+1

1100                      0111 binarny

# Kod szesnastkowy

## Przykład 1

11000101 =>

1100 0101

$$2^3 + 0 \cdot 2^2 + 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 10$$

A

$$0 \cdot 2^3 + 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 2^0 = 5$$

5

## Przykład 2

7D

$$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 7 \quad 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 13$$

0111 1101

0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F

# Trochę podstawowych pojęć

## Bitowa stopa błędów BER (Bit Errored Ratio)

$$BER = \frac{\text{liczba bitów przekłamanych}}{\text{liczba wszystkich bitów przesłanych}}$$

## Pakietowa stopa błędów PER (Packet Errored Ratio)

$$PER = \frac{\text{liczba pakietów z błędnymi bitami}}{\text{liczba pakietów przesłanych}}$$



# Trochę podstawowych pojęć

## Utrata (zanik) sygnału LOS (Loss Of Signal)

Brak lub zbyt mała moc sygnału odbieranego.

## Utrata pakietów PLR (Packet Loss Ratio)

Stopa pakietów, które nie docierają do odbiornika lub są obciążone zbyt dużą liczbą błędów.

# Trochę podstawowych pojęć

## Sieć telekomunikacyjna

Urządzenia połączone za pomocą mediów transmisyjnych, umożliwiające przesyłanie sygnałów w celu realizacji usług telekomunikacyjnych.

## Topologia sieci

Struktura połączeń urządzeń sieciowych za pomocą mediów.

## Architektura sieci

Ustalone zasady przesyłania sygnałów w sieci o danej topologii.

## System teletransmisyjny (transportowy)

Zbiór zasad stanowiących podstawę szczególnej metody transmisji między dwoma lub wieloma punktami w sieci.

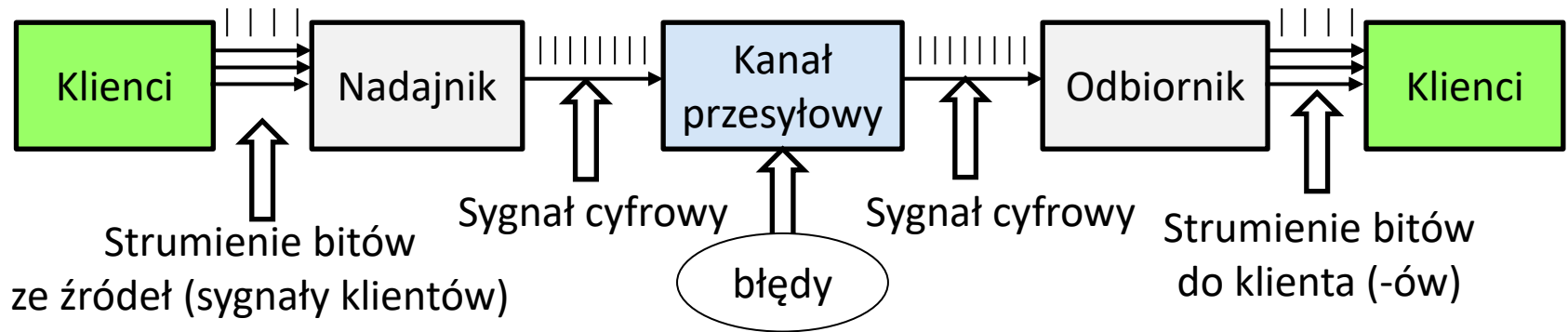
# **Cyfrowe systemy i sieci transportowe (teletransmisyjne)**

# Podstawowe wymagania nakładane na systemy i sieci transportowe

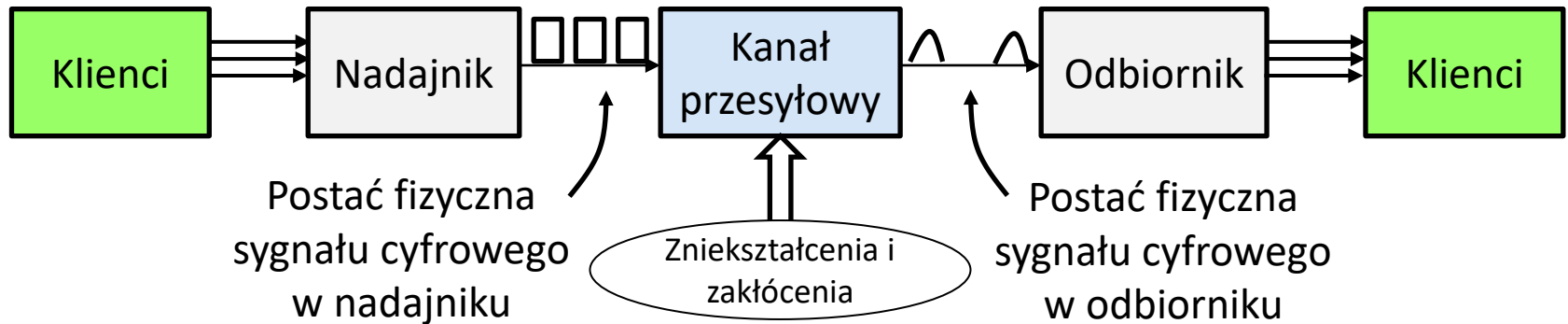
- Bezbłędny przesył strumienia bitów od nadawcy do odbiorcy
- W przypadku przesyłania sygnałów cyfrowych klienta zachowanie parametrów czasowych (częstotliwości i fazy)
- Minimalizacja opóźnień
- niezawodność

# Postać informacyjna a postać fizyczna transmitowanych sygnałów

## Postać informacyjna



## Postać fizyczna

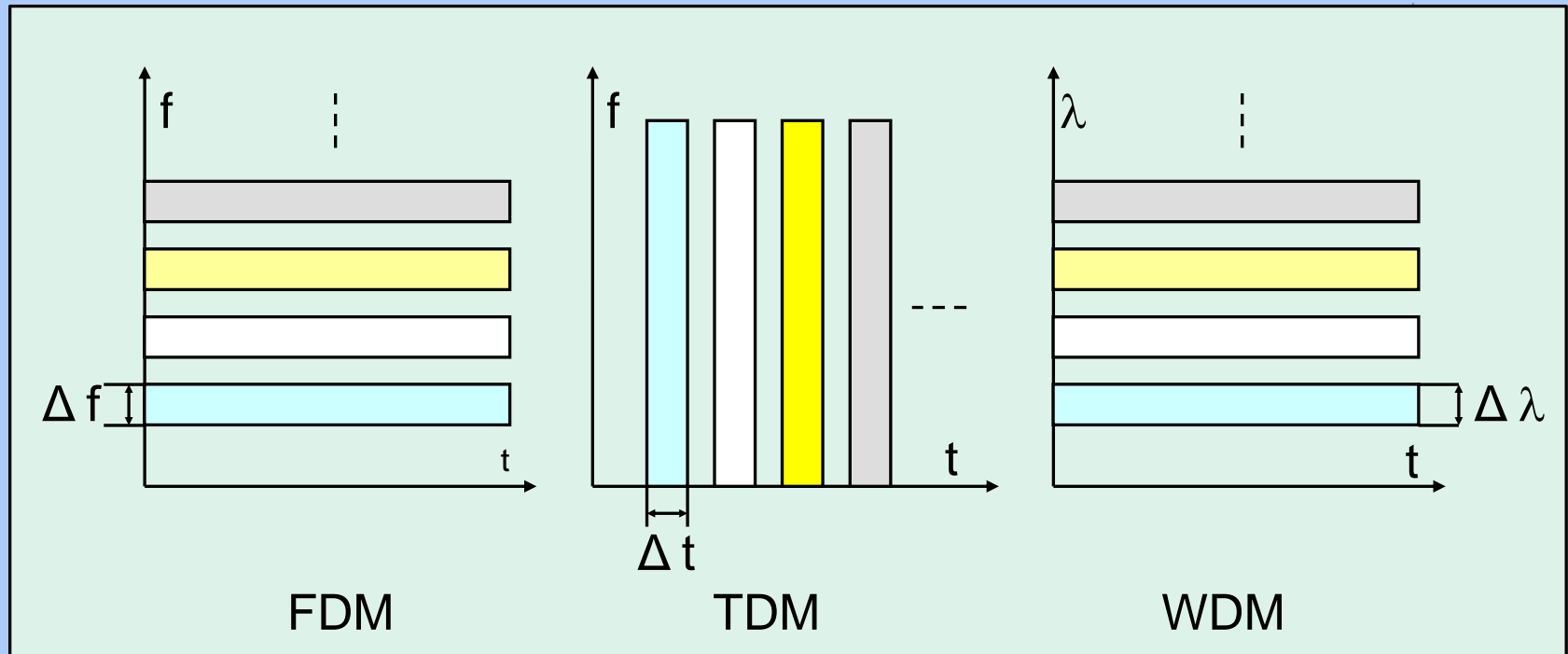


# **Multipleksacja (zwielokrotnianie)**

# Multipleksacja - definicja

Multipleksacja, inaczej zwielokrotnianie to proces przekształcania (łączenia) wielu sygnałów w jeden sygnał w celu przesłania go pojedynczym kanałem telekomunikacyjnym. Proces odwrotny nazywa się demultipleksacją.

# Techniki multipleksacji (zwielokrotniania)



FDM – zwielokrotnianie w dziedzinie częstotliwości (Frequency Devision Multiplexing)

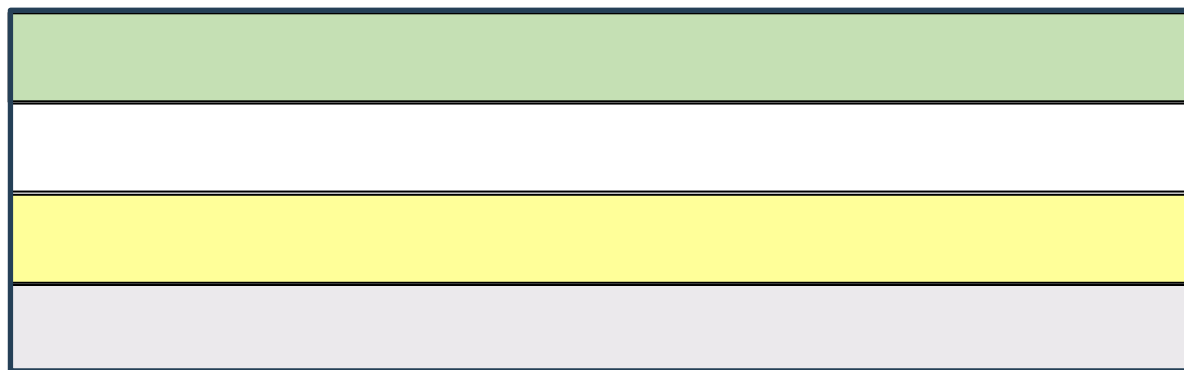
TDM – zwielokrotnianie w dziedzinie czasu (Time Devision Multiplexing)

WDM – zwielokrotnianie w dziedzinie długości fali (Wavelength Devision Multiplwexing)



# Ramka sygnału po multipleksacji czterech sygnałów techniką TDM - przykład

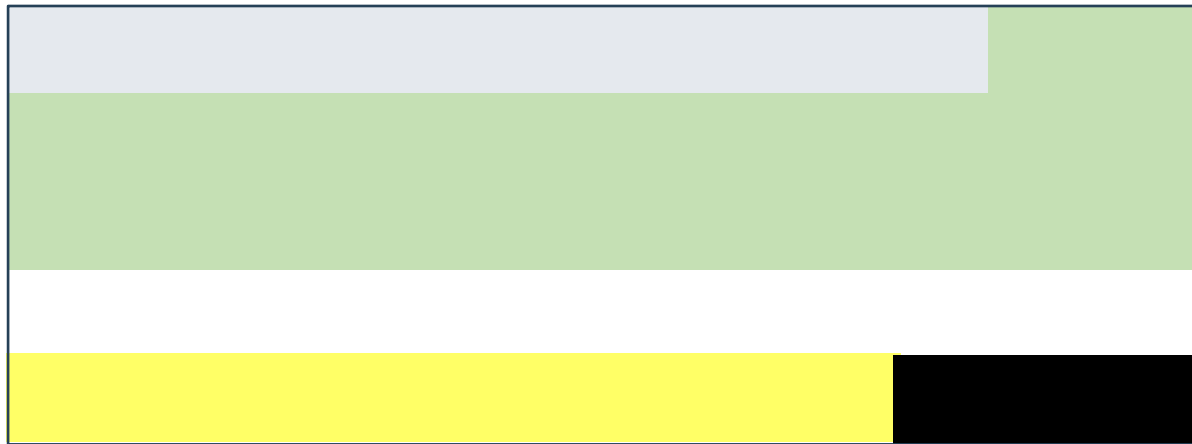
Ramka



Strumienie bajtów sygnałów multipleksowanych

# Uogólniona procedura ramkowania (GFP) - idea

Ramka

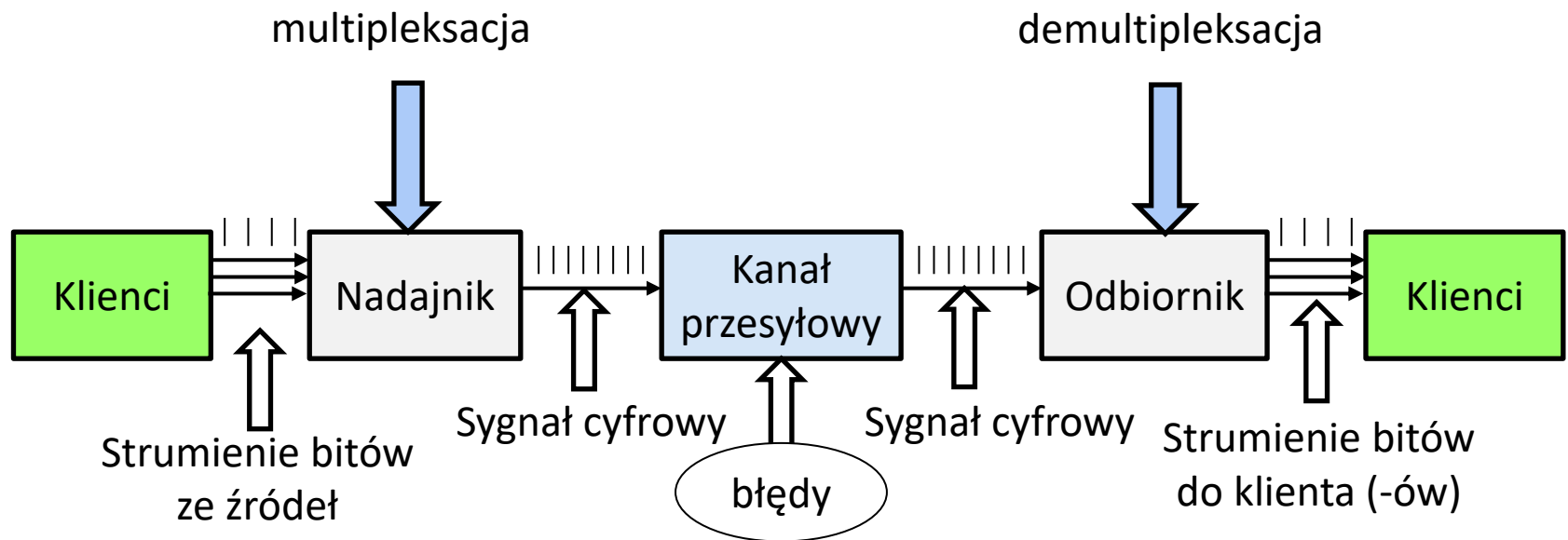


Strumienie bajtów sygnałów multipleksowanych

■ Ramki puste 4B

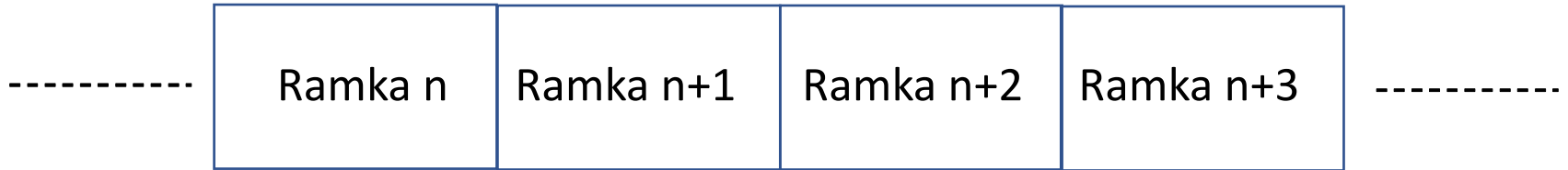
**GFP** – (Generic Framing Procedure)

# Generowanie nadawanego sygnału



# Struktury informacyjne sygnału wielokrotnionego

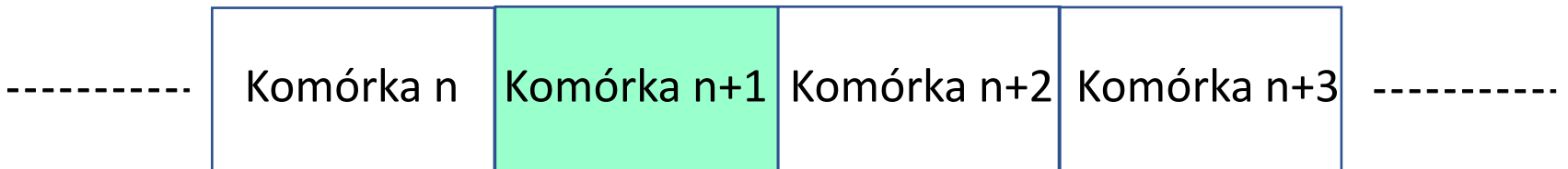
## Ramki



## Pakiety



## Komórki



## nieramkowane strumienie bitów



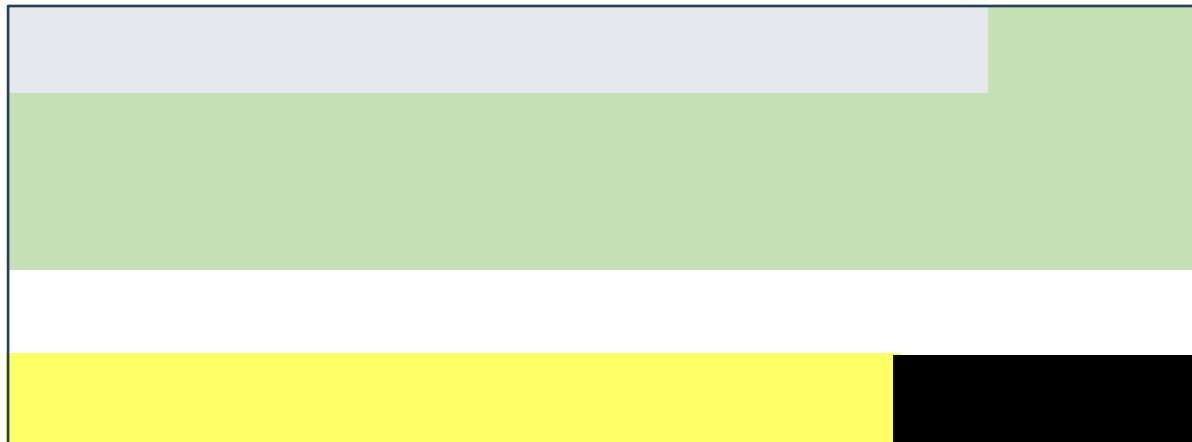
# **Odwzorowanie (mapping)**

# Mapping - definicja

Mapping (odwzorowanie, mapowanie) – przydzielanie miejsca w strukturze informacyjnej (np. ramce) bitom lub bajtom sygnału odwzorowywanego (klienta). Operacja odwrotna nazywa się demappingiem.

# Mapping - przykład

Ramka

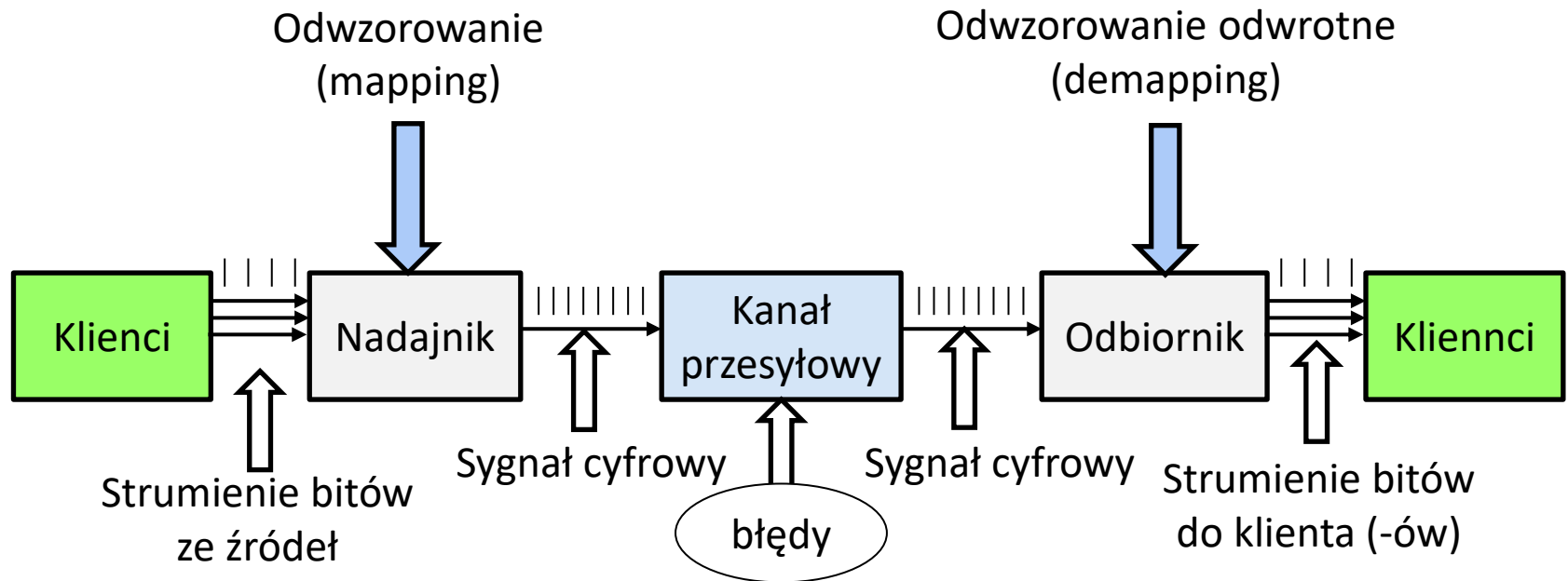


Strumienie bajtów sygnałów  
multipleksowanych

 Ramki puste 4B

**GFP** – (Generic Framing Procedure)

# Generowanie nadawanego sygnału





**Wykrywanie  
i korygowanie błędów  
- kodowanie kanałowe**

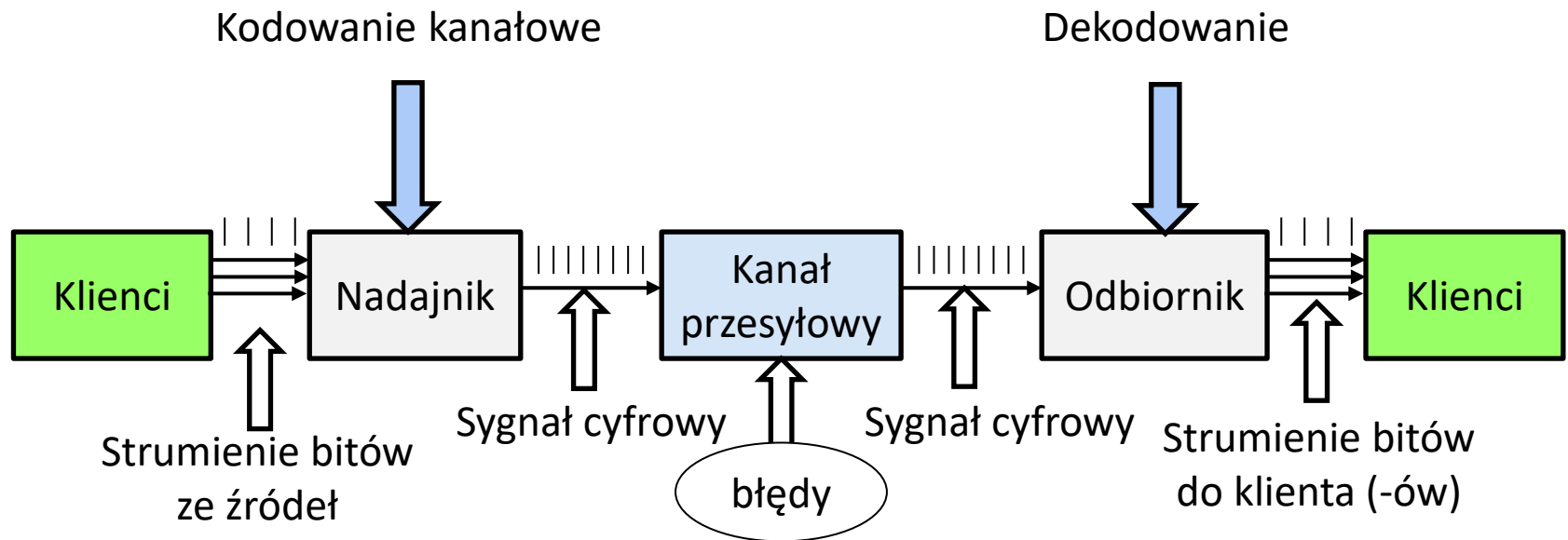
# Kodowanie kanałowe - definicja

Kodowanie kanałowe to operacja, dzięki której możliwe jest wykrywanie i/lub usuwanie błędów wprowadzonych w kanale telekomunikacyjnym.

# Wymagania nakładane na kody kanałowe

- jak największa skuteczność wykrywania i/lub usuwania błędów wprowadzanych w kanale telekomunikacyjnym,
- jak najmniejsza liczba dodatkowych bitów dodawanych do przesyłanego sygnału

# Generowanie nadawanego sygnału



# Przykład kodów kanałowych - kody parzystości

Wiadomość (ciąg bitów):  $a_1, a_2, \dots, a_k$

$$b = a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 \oplus \dots \oplus a_{k-1} \oplus a_k$$

$$b = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

Wiadomość kodowana:  $a_1, a_2, \dots, a_k, b$

## Przykład

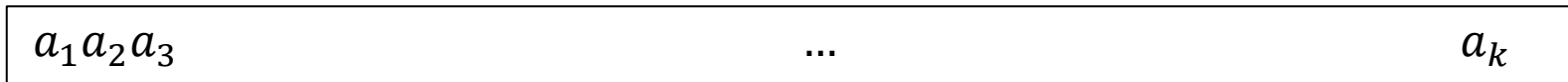
Kod ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*)

Litera „a” : 1100001+1

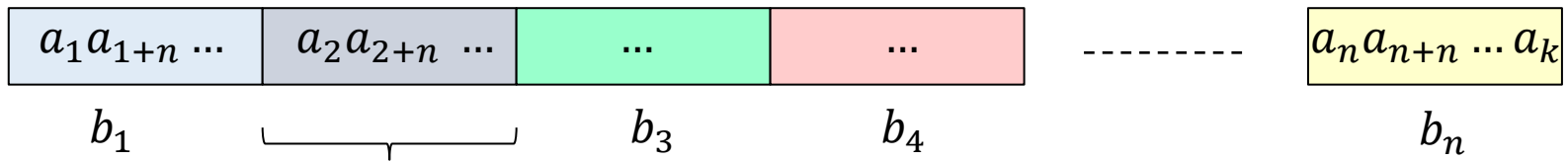
# Kody BIP-n

BIP – przeplotowa kontrola parzystości (*Binary Interleaved Parity*)

Wiadomość (ciąg bitów):



Podział wirtualny na n bloków:



$$b_2 = a_2 \oplus a_{2+n} \oplus a_{2+2n} \dots$$

Wiadomość kodowana:

$$b_1 b_2 b_3 \dots b_n a_1 a_2 a_3 \dots a_k$$

# Kody parzystości

Kody parzystości, nie pozwalają wykrywać błędów, jeżeli ich liczba jest parzysta, w przypadku niezgodności parzystości nie wiadomo ile błędów jest.

## Przykład

101110111001

Informacja o parzystości

101000111001

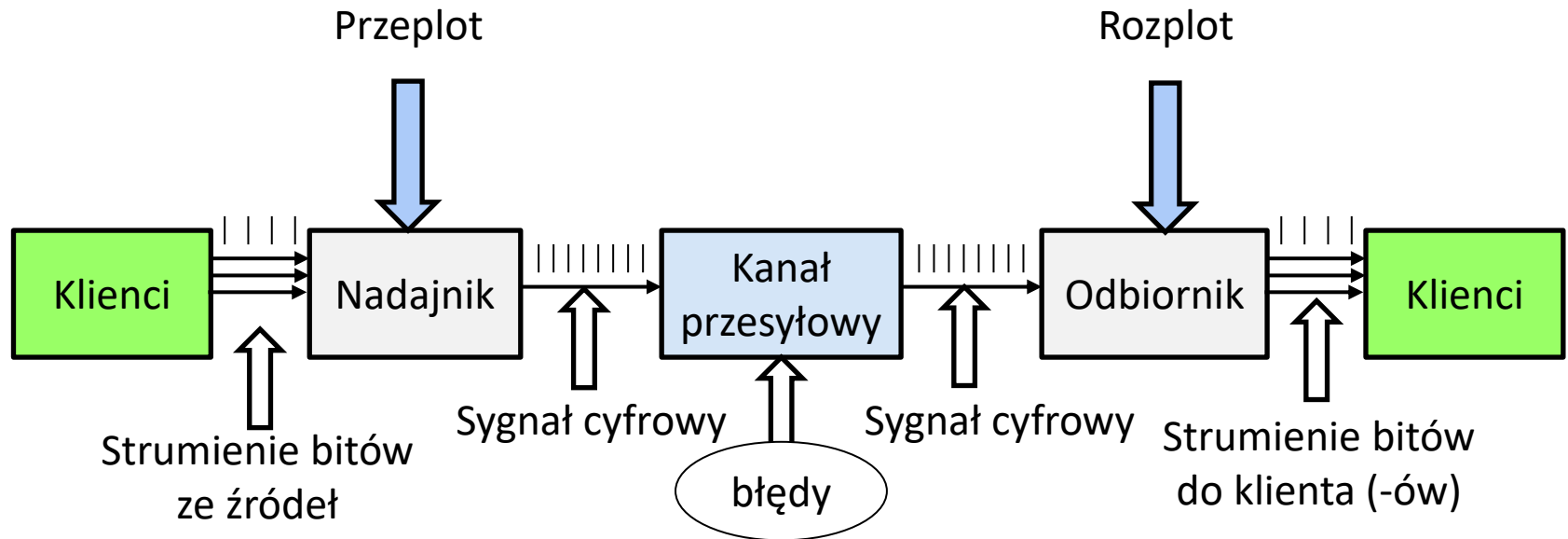
obliczona parzystość w odbiorniku

Wystąpiły dwa błędy, których nie wykrywamy.

# **Uodparnianie na błędy**

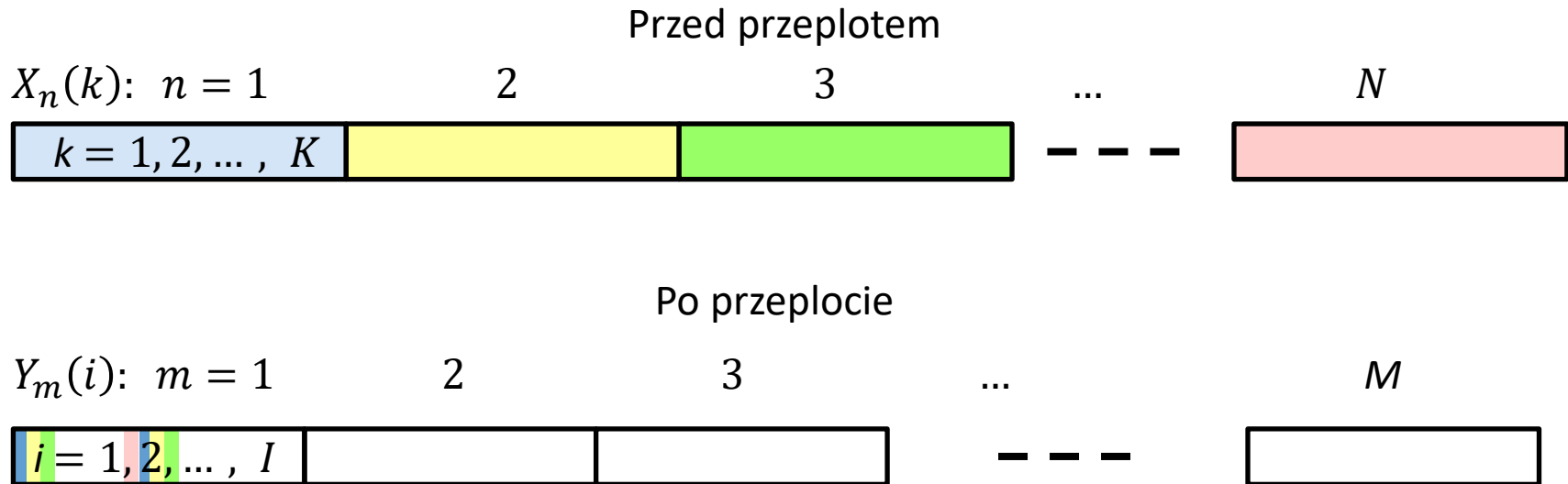


# Generowanie nadawanego sygnału



Przeplot (interleaving) – operacja, której celem jest rozproszenie błędów, tak by nie były skumulowane.

# Przeplot - interleaving



Przeplotowi podlega  $N$  bloków  $X$  (np. ramek, pakietów), każdy składa się z  $K$  elementów (np. bitów, bajtów). Po przeplotcie jest  $M$  bloków  $Y$ , każdy z nich składa się z  $I$  elementów.

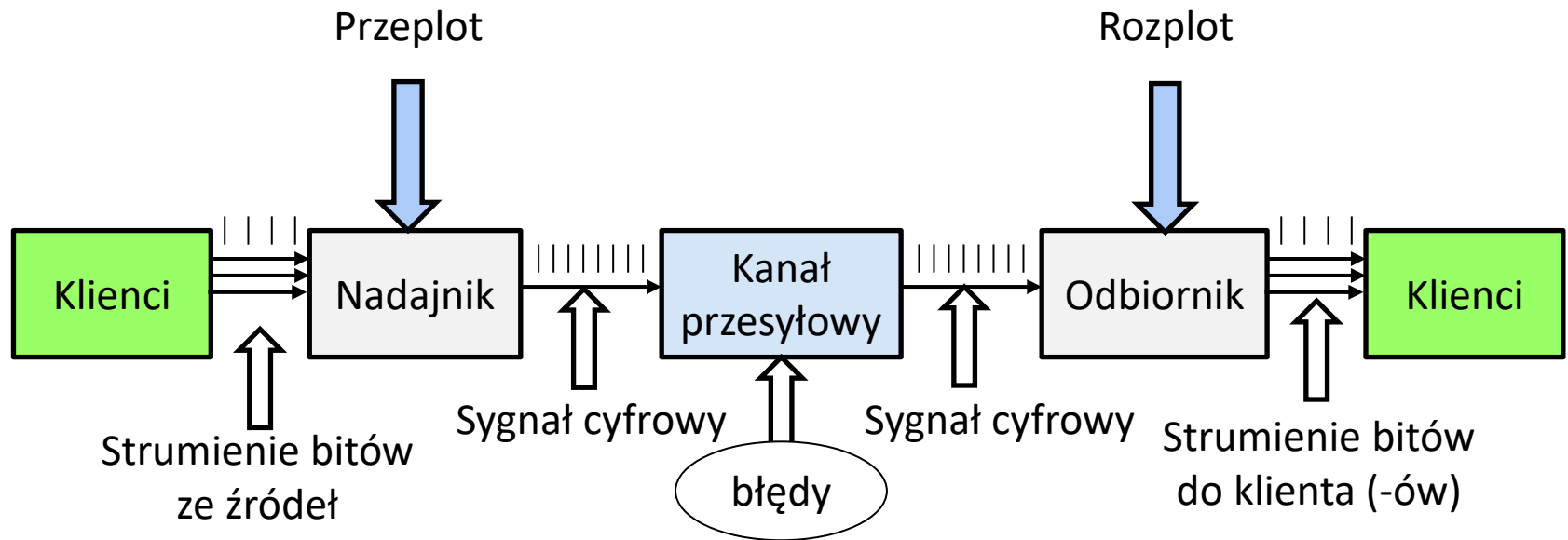
$$KN = IM$$

Głębokość przeplotu  $D$  – liczba  $N$  bloków podlegających przeplotowi.

# Przeplot - interleaving

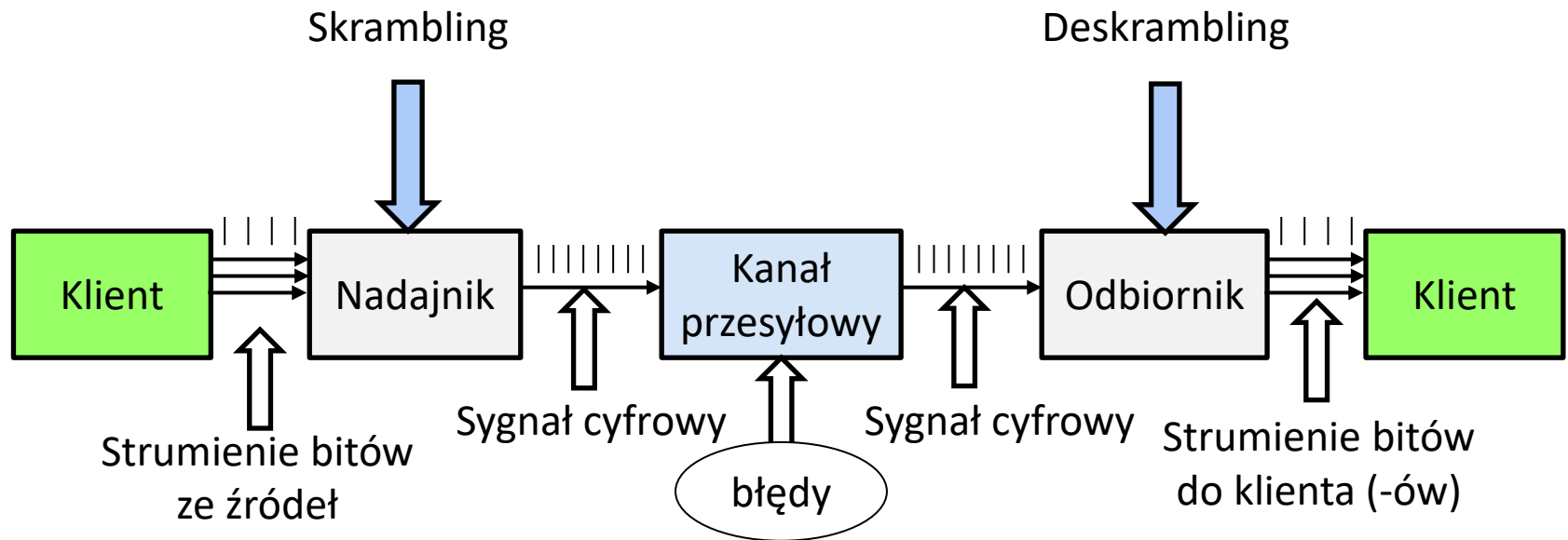
1. Przeplot stosuje się po operacji kodowania kanałowego.
2. Przeplot powoduje „rozzucenie” błędów przez co wzrasta skuteczność ich wykrywania i usuwania.
3. Im większa głębokość przeplotu, tym większa skuteczność wykrywania i usuwania błędów.
4. Im większa głębokość przeplotu tym większe opóźnienie on wprowadza.
5. Im dłuższe są serie błędów, tym głębokość przeplotu powinna być większa.

# Generowanie nadawanego sygnału



# **Skrambling**

# Generowanie nadawanego sygnału

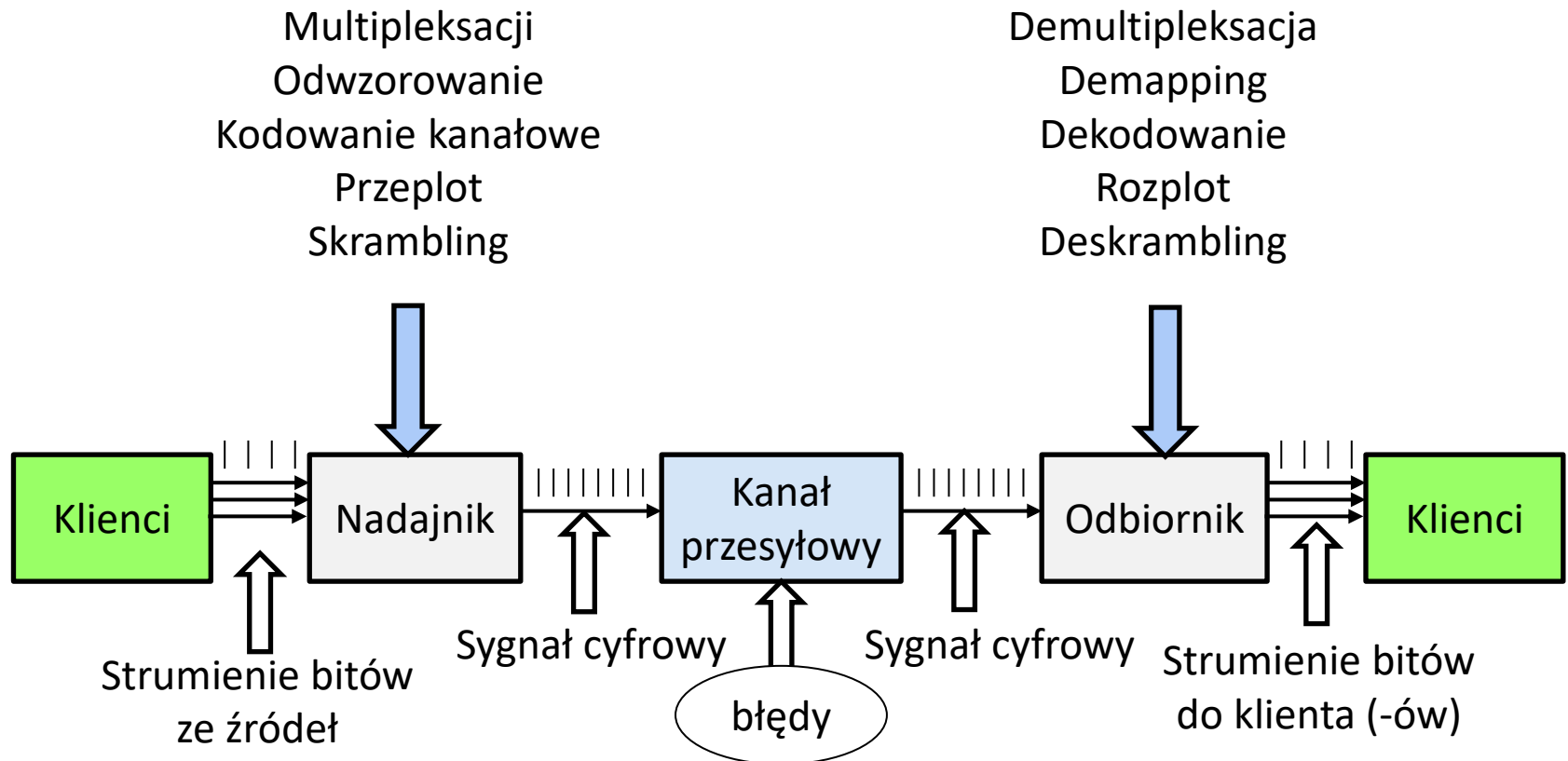


Skrambling – operacja, której celem jest nadanie strumieniowi bitów cech jak najbardziej zbliżonych do szumu białego.

## Przykład



# Generowanie nadawanego sygnału



# **Kodowanie liniowe - postać fizyczna sygnałów**



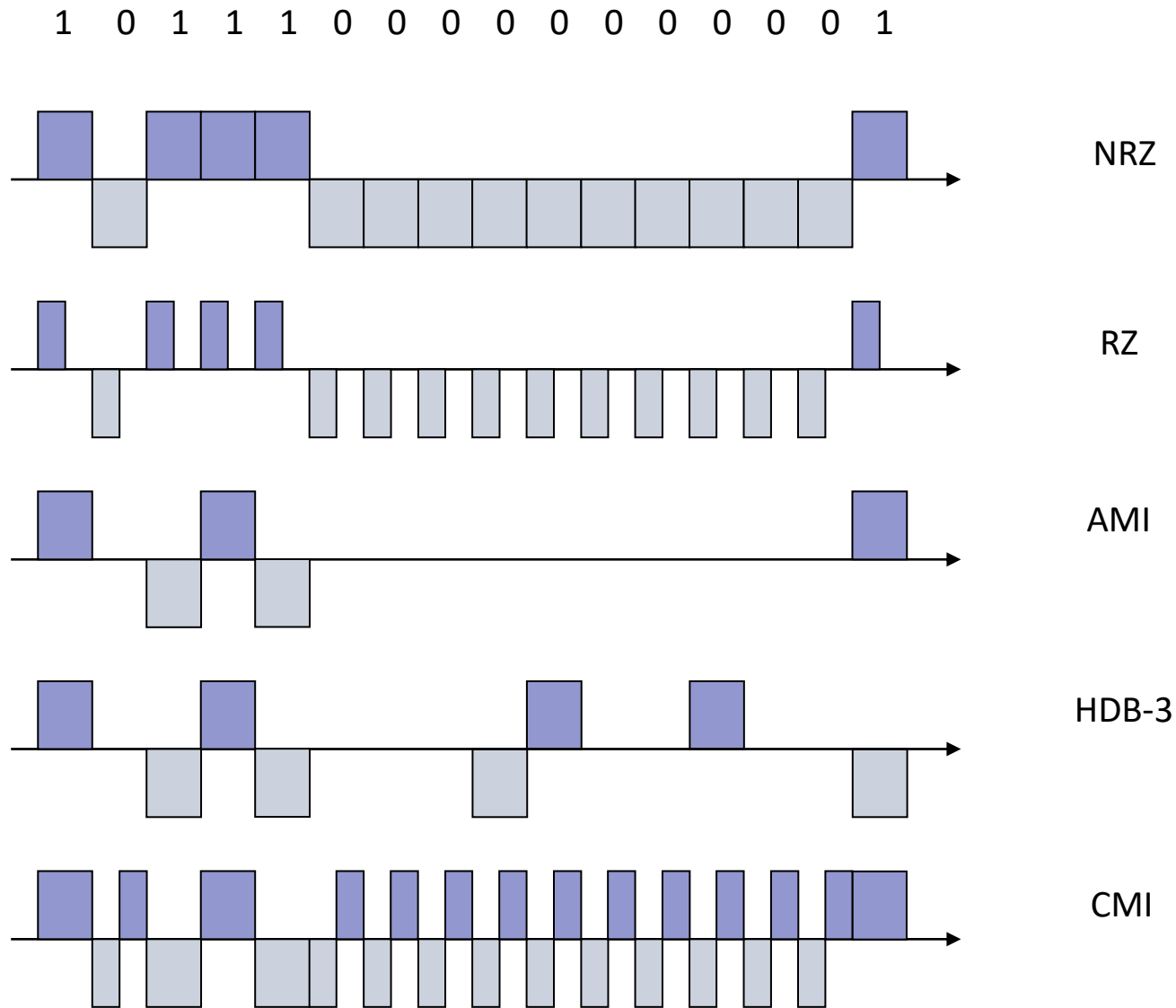
# Kodowanie liniowe - definicja

Kodowanie liniowe to operacja polegająca na zastąpieniu (konwersji) sekwencji bitów (sygnału cyfrowego) na sygnał analogowy, na przykład impulsy światła, sygnały elektryczne.

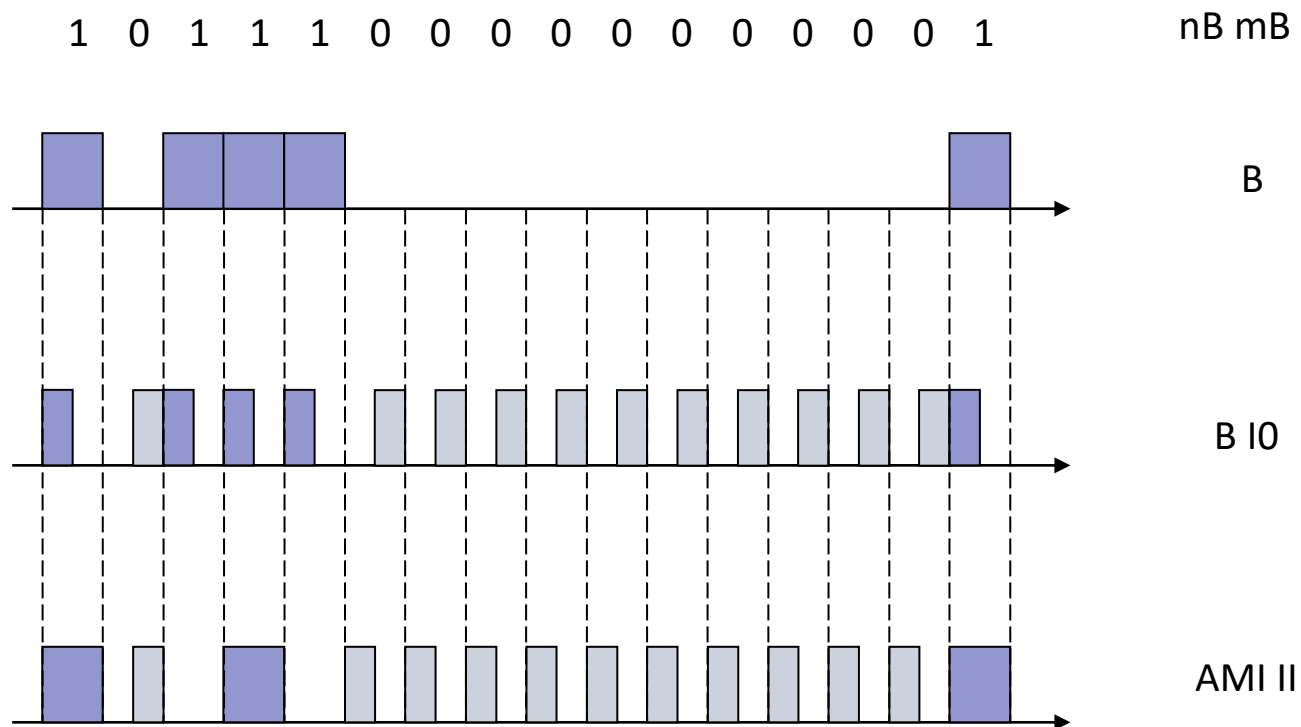
# Podstawowe wymagania nakładane na kod liniowy

- dopasowanie techniki kodowania do cech i parametrów medium transmisyjnego,
- jak największa odporność na zakłócenia i zniekształcania sygnału,
- umożliwienie w odbiorniku odtworzenia częstotliwości z jaką nadawane są bity (zegara taktującego).

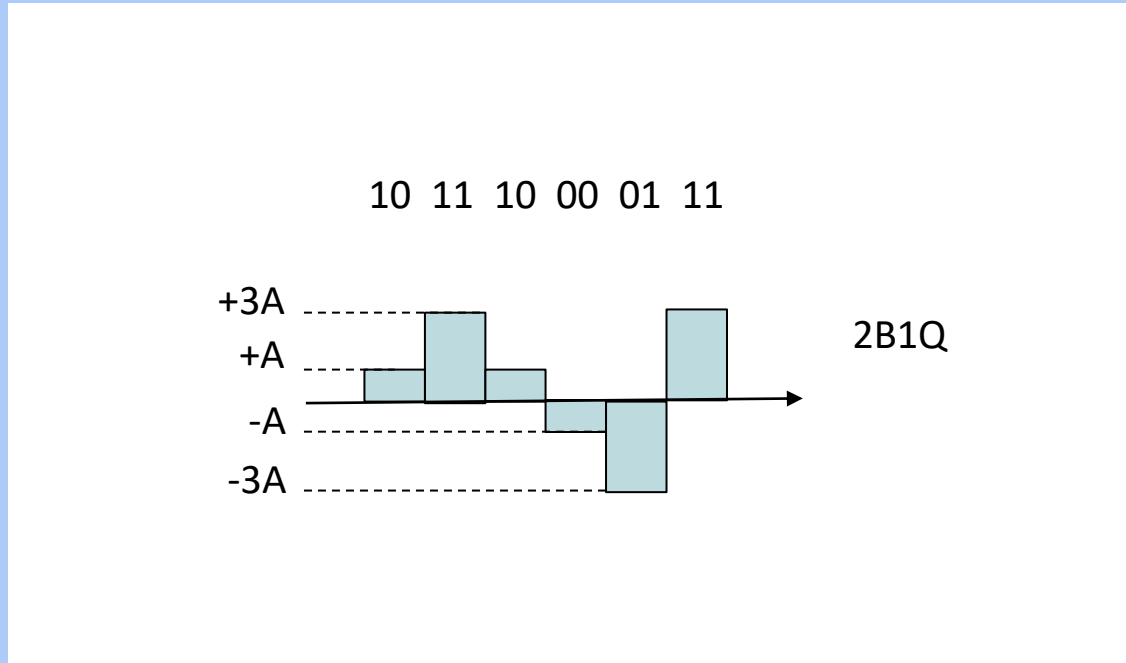
# Wybrane kody liniowe



# Konwersji bitów na kody liniowe nBmB



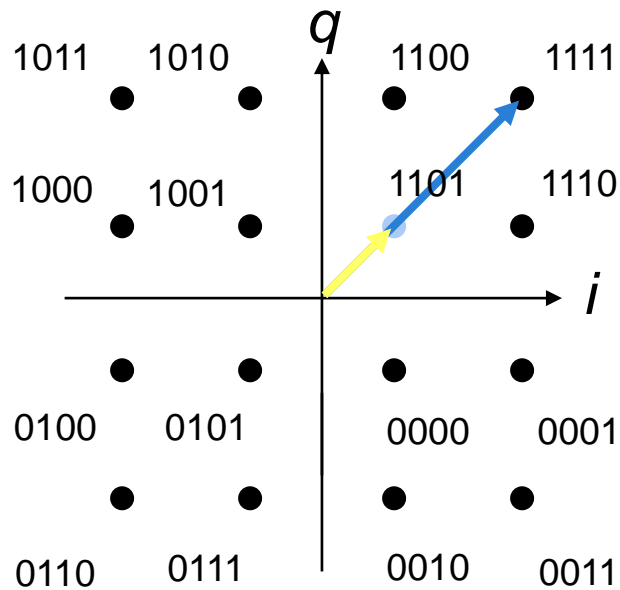
# Kod liniowy 2B1Q



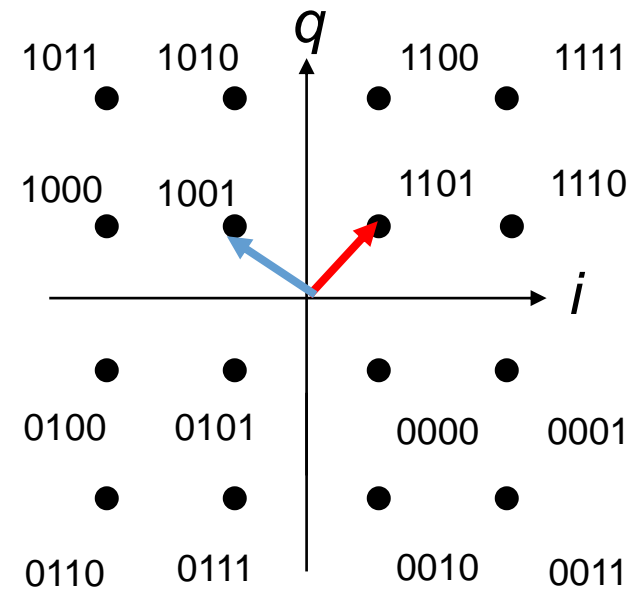
# Modulacja QAM

## Przykład

QAM -16



Różna amplituda,  
jednakowa faza

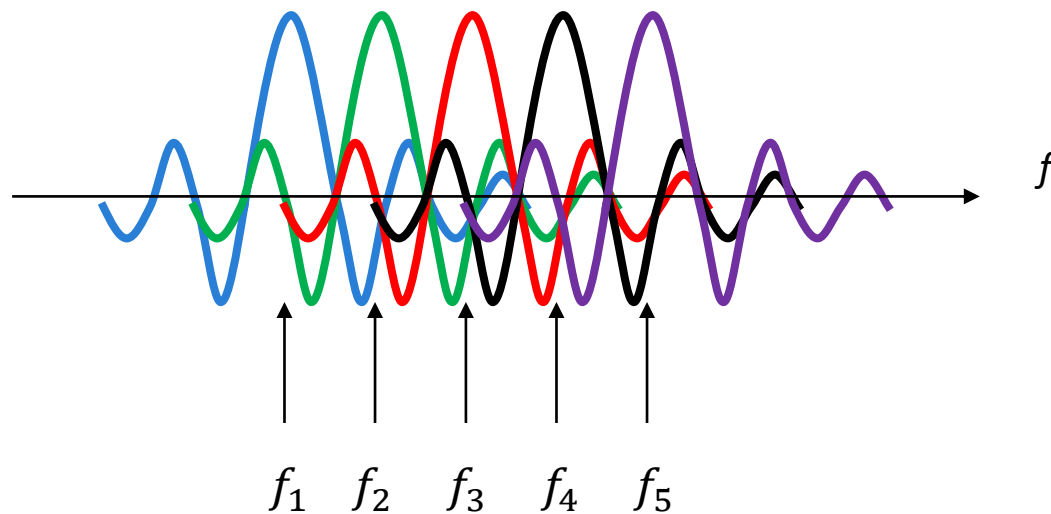


Jednakowa amplituda,  
różna faza

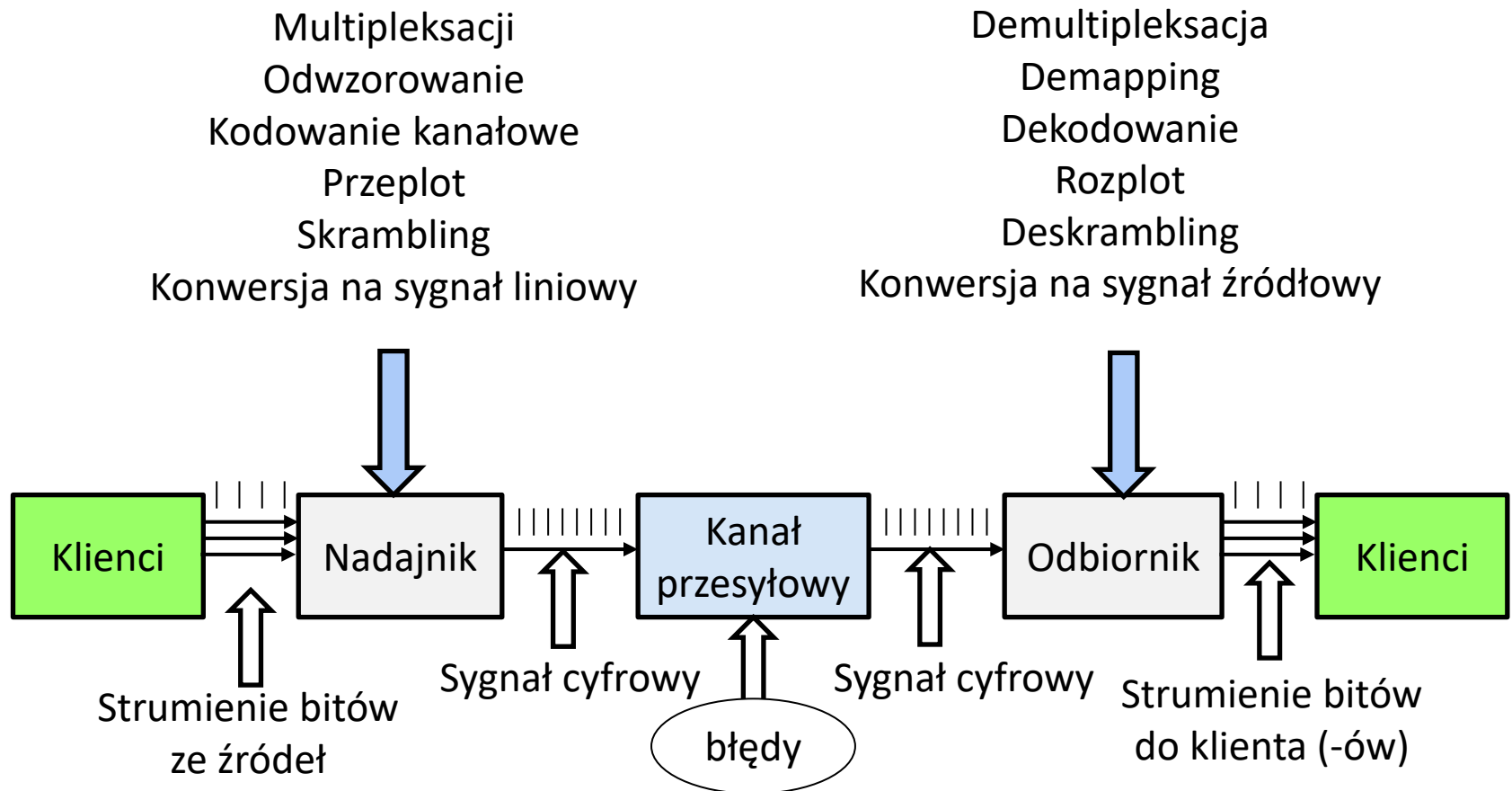
# Modulacja OFDM/DMT

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
DMT – Discret Multi-Tone

$$f_i = if_1 \quad x_i(t) = A_i \sin(2\pi f_i t + \varphi_i)$$



# Generowanie nadawanego sygnału





# **Synchronizacja struktur informacyjnych**

# Sposoby fazowania (synchronizacji) struktur informacyjnych

Odbiornik, jeżeli nawet poprawnie odbiera przesyłane bity, to aby znać ich przeznaczenie musi znać ich położenie w strukturze informacyjnej.

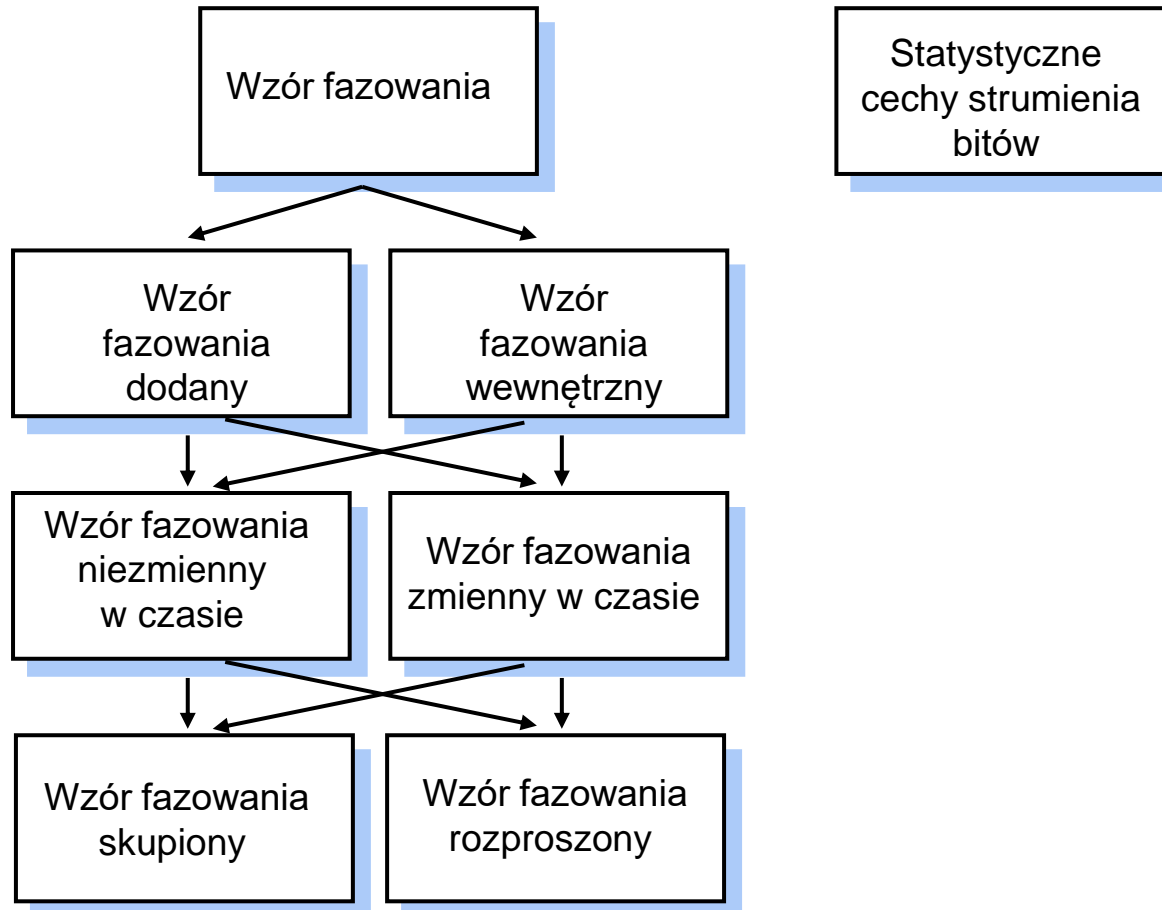
## Przykład

Jeżeli przesyłane strumienie bitów tworzą ramki, to odbiornik musi wiedzieć, gdzie jest początek ramki.

Proces wykrywania początku struktury informacyjnej (np. ramki, pakietu) nazywa się **fazowaniem, albo synchronizacją struktury informacyjnej** (ramki, pakietu). Opiera się on na pewnym algorytmie.

Fazowanie struktur informacyjnych opiera się na wstawieniu do niej pewnej, znanej odbiornikowi sekwencji bitów. Sekwencja taka nazywa się **wzorem fazowania**.

# Rodzaje wzorów fazowania (synchronizacji) struktur informacyjnych



# Wzór fazowania (wzór synchronizacji)

## Wymagania:

- jak największa liczba bitów wzoru
- liczba „0” i „1” identyczna albo prawie identyczna
- prawdopodobieństwo pojawienia się w przesyłanym strumieniu bitów sekwencji identycznej ze wzorem fazowana powinno być jak najmniejsze
- „0” lub „1” przed lub po wzorze fazowanie nie może z częścią wzoru tworzyć sekwencji identycznej, jak wzór fazowania

# Wzór fazowania stały

## Przykład

Wzór fazowania: 0011011

Sekwencje niezgodne  
ze wzorem fazowania

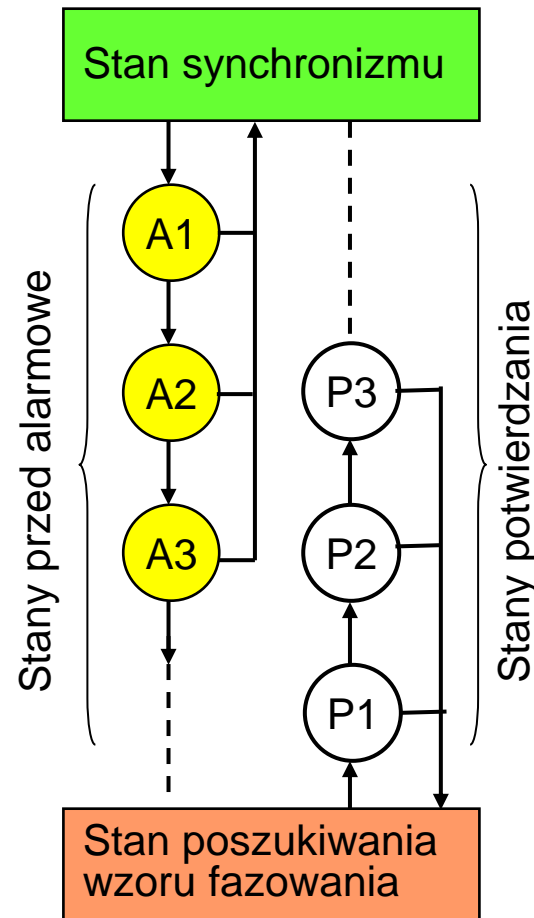
00011011

10011011

00110110

00110111

# Algorytm fazowanie struktur informacyjnych



# Zgodność sekwencji ze wzorem fazowania

Odległość Hamminga; liczba pozycji o różnej wartości logicznej dwóch porównywanych równolicznych sekwencji bitów.

## Przykład

11110000

10010000

Odległość Hamminga wynosi 2.

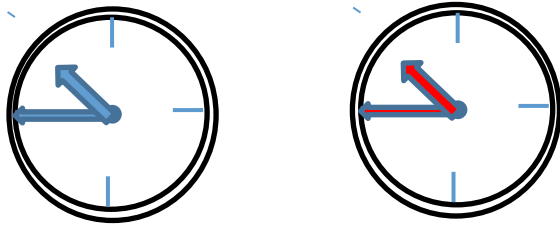
Odebrana sekwencja bitów uznawana jest za zgodną ze wzorem fazowania, w zależności od rozwiązania, gdy:

- odległość Hamminga jest równa zero,
- odległość Hamminga nie jest większa od pewnej ustalonej.

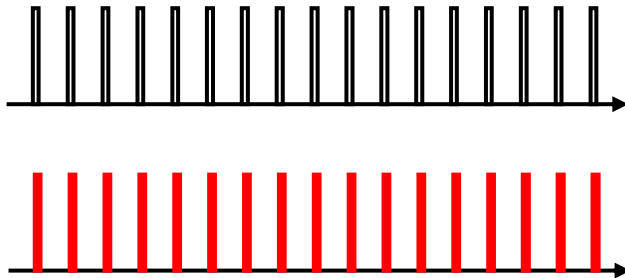
# **Synchronizacja czasu, częstotliwości i fazy**



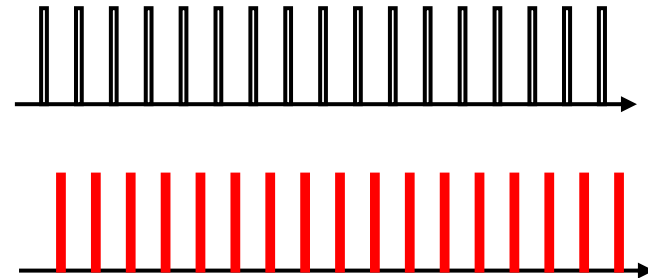
# Synchronizacja czasu, częstotliwości i fazy



Synchronizacja czasu

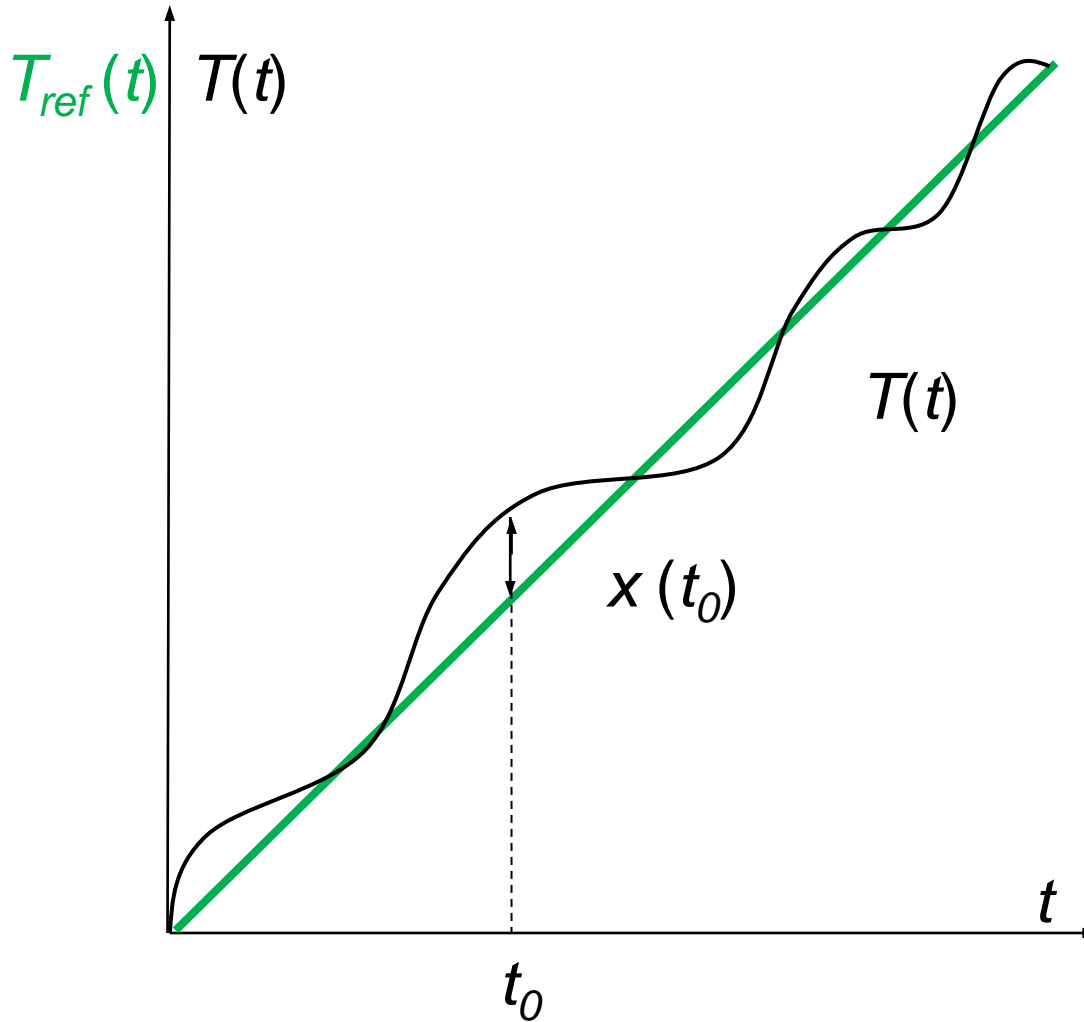


Synchronizacja częstotliwości  
i fazy

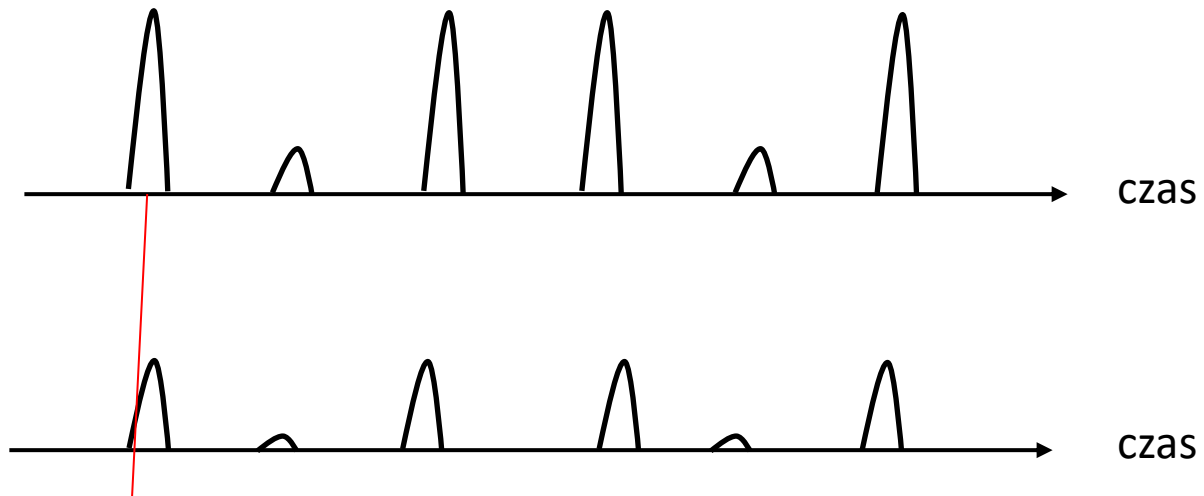


Synchronizacja częstotliwości,  
brak synchronizacji fazy

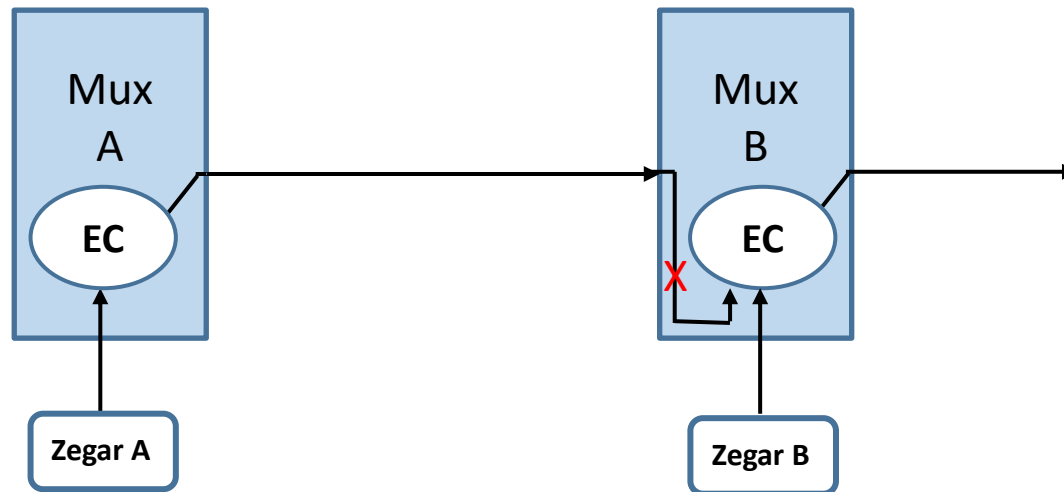
# Sygnal czasu rzeczywisty i idealny



# Konsekwencje braku synchronizacji częstotliwości i fazy



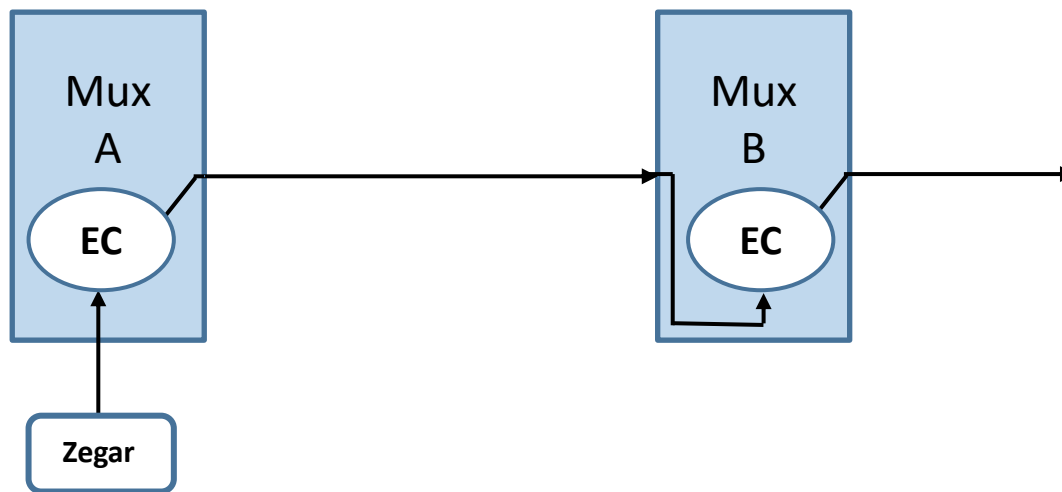
# Brak synchronizacji częstotliwości



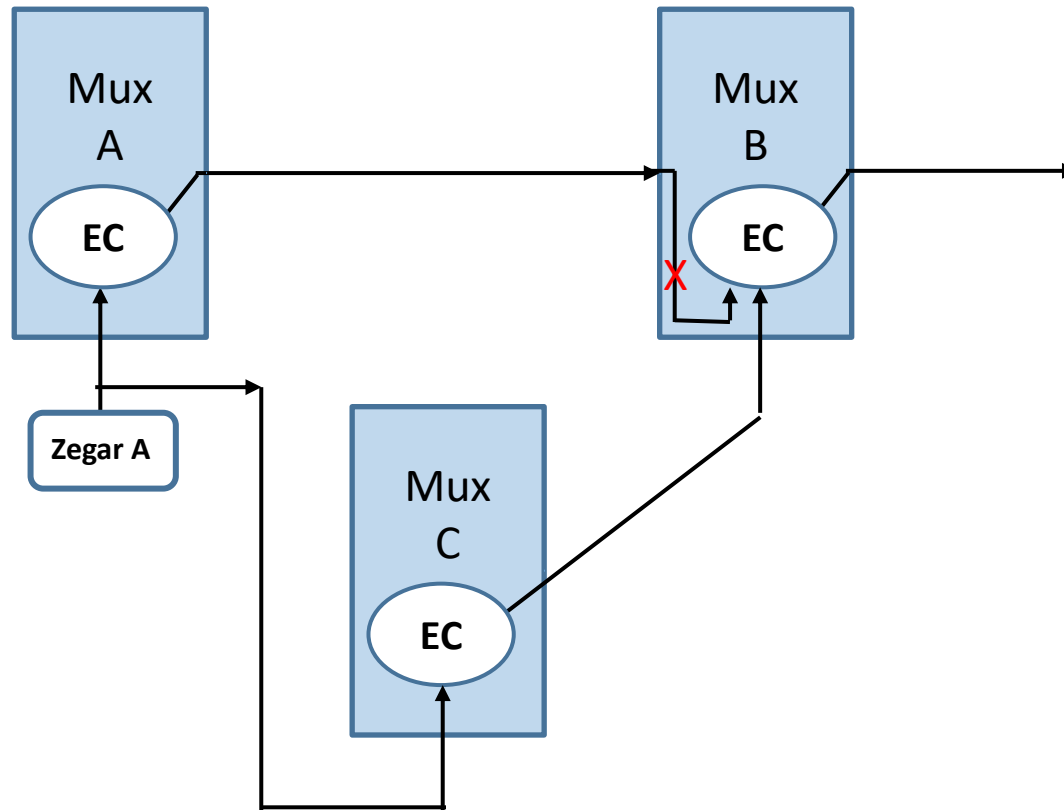
EC – zegar wewnętrzny urządzenia (Equipment Clock)

MUX - multiplekser

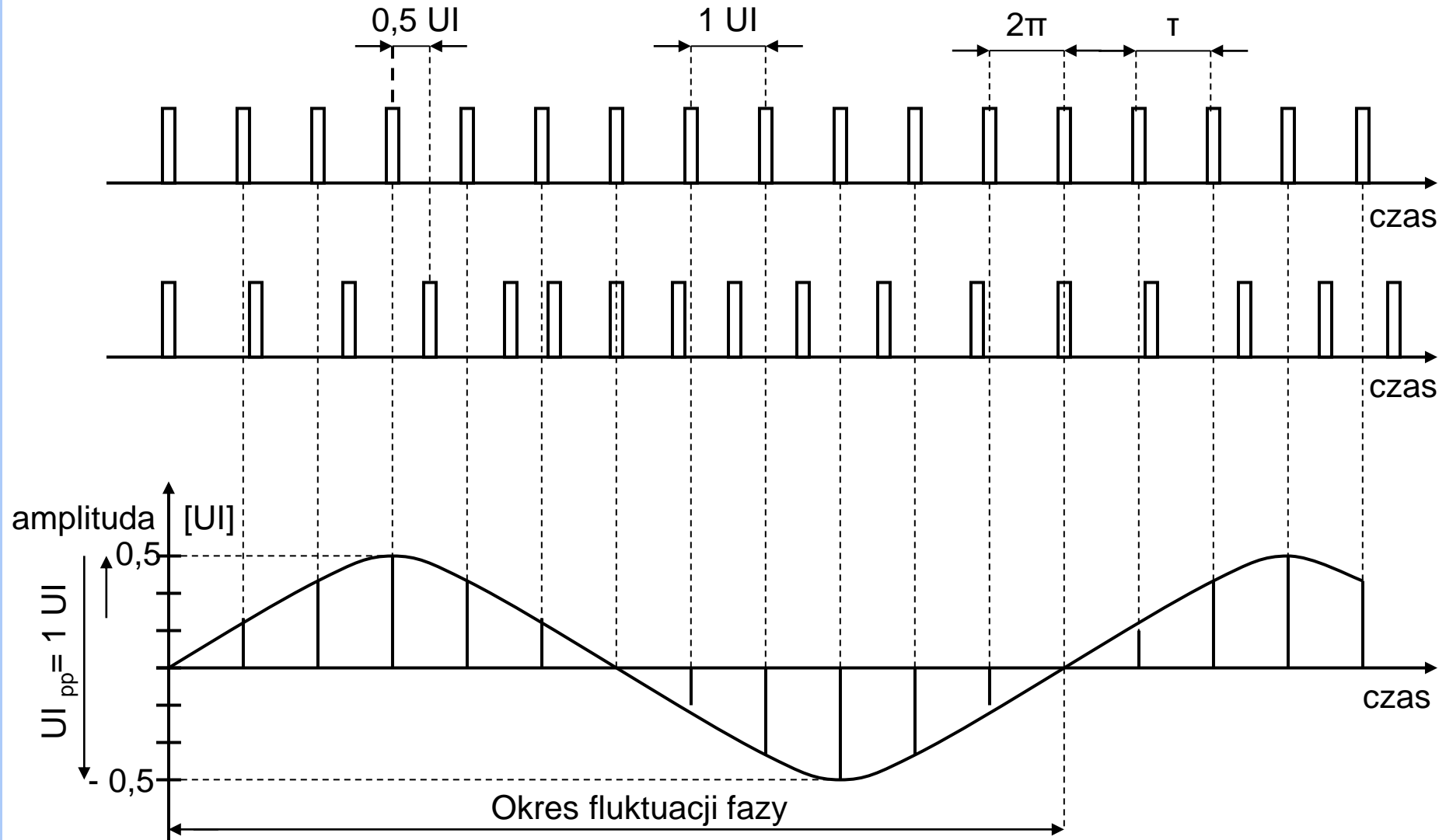
# Synchronizacja częstotliwości zegarem zewnętrznym



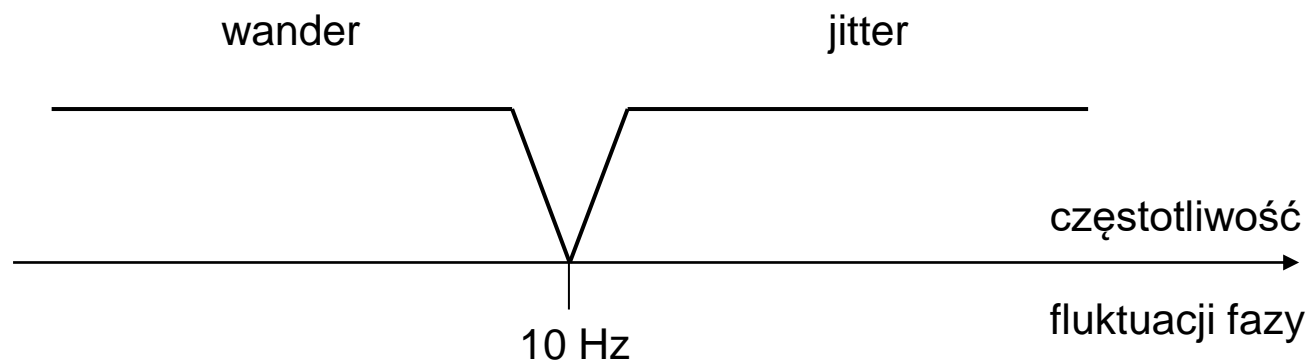
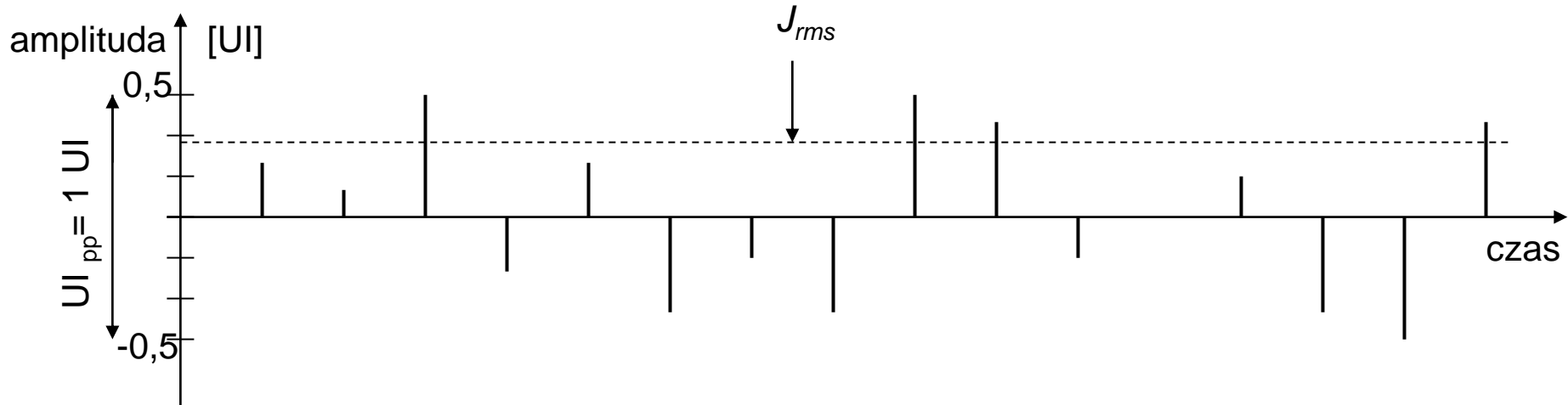
# Używanie jednego źródła sygnału synchronizacji częstotliwości



# Ilustracja fluktuacji fazy sygnału

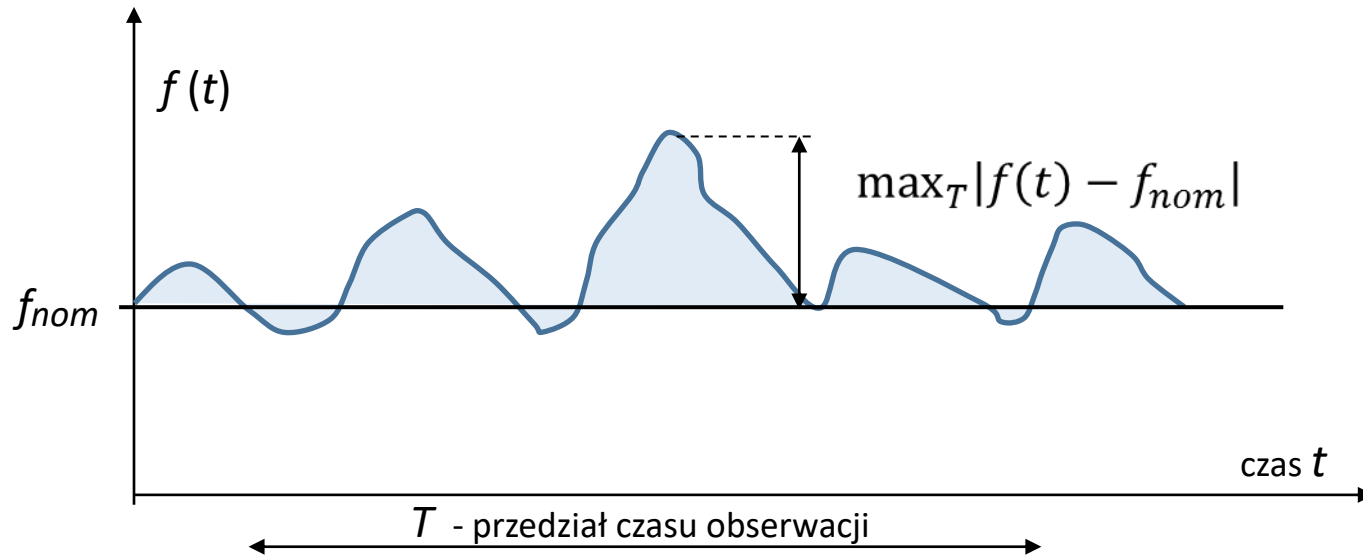


# Amplituda i częstotliwość fluktuacji fazy





# Jakość sygnału synchronizacji



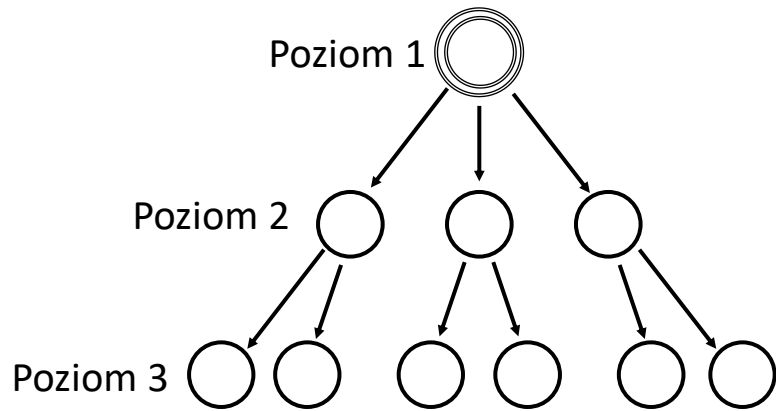
$s$  - względna odchyłka częstotliwości

$$s = \frac{\max |f(t) - f_{nom}|}{f_{nom}}$$

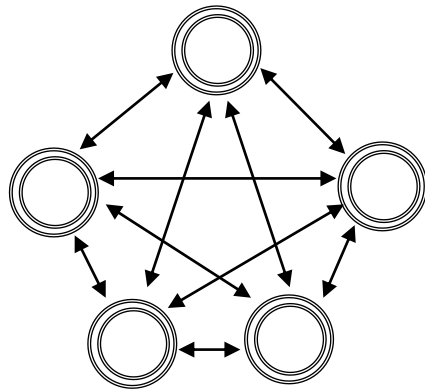
# Wymagania na względną odchyłkę częstotliwości taktowania $s$ dla zegarów różnych klas

Klasa zegara	Względna odchyłka częstotliwości $s$	Dokładność długookresowa
PRC	$\leq 10^{-11}$	$\leq 10^{-11}$
SSU-A	$10^{-10} \div 10^{-11}$	$10^{-9}$
SSU-B	$10^{-8}$	$10^{-6}$
SEC	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$

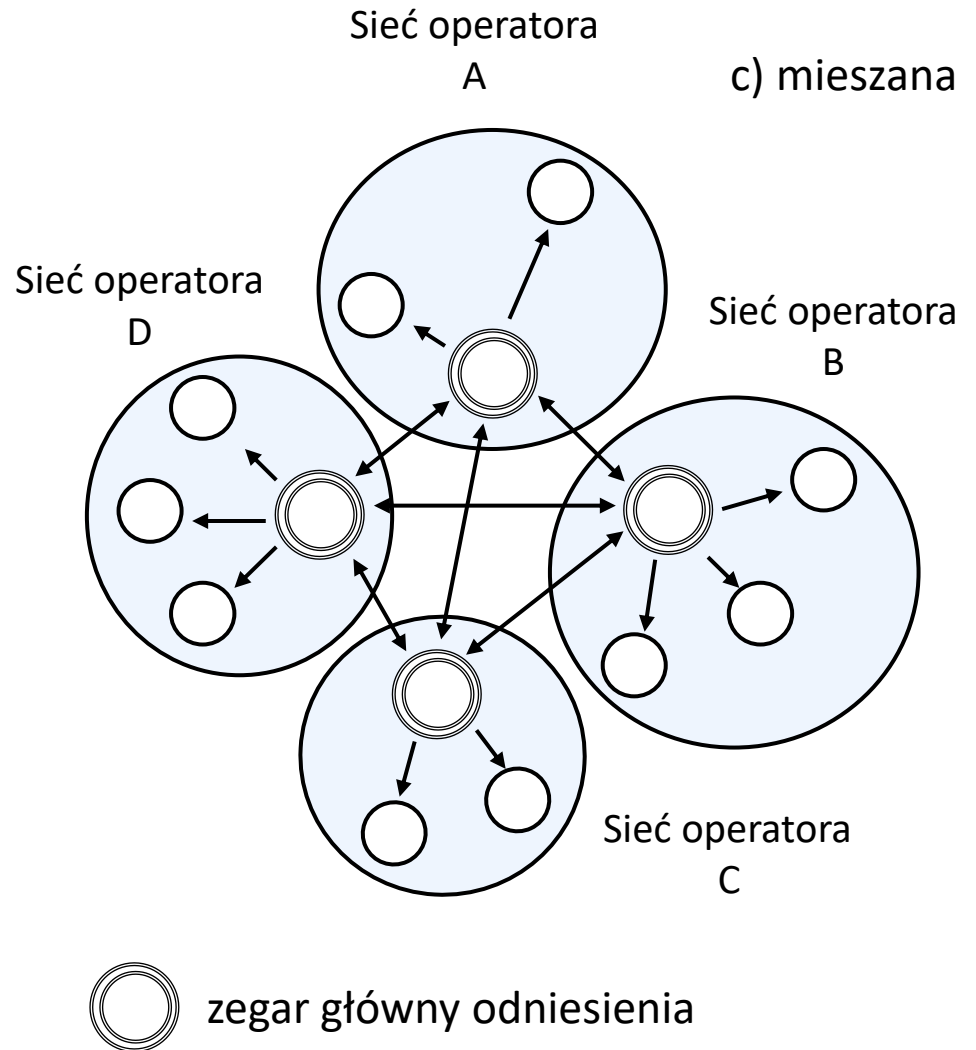
# Dystrybucja sygnału zegarowego



a) master-slave

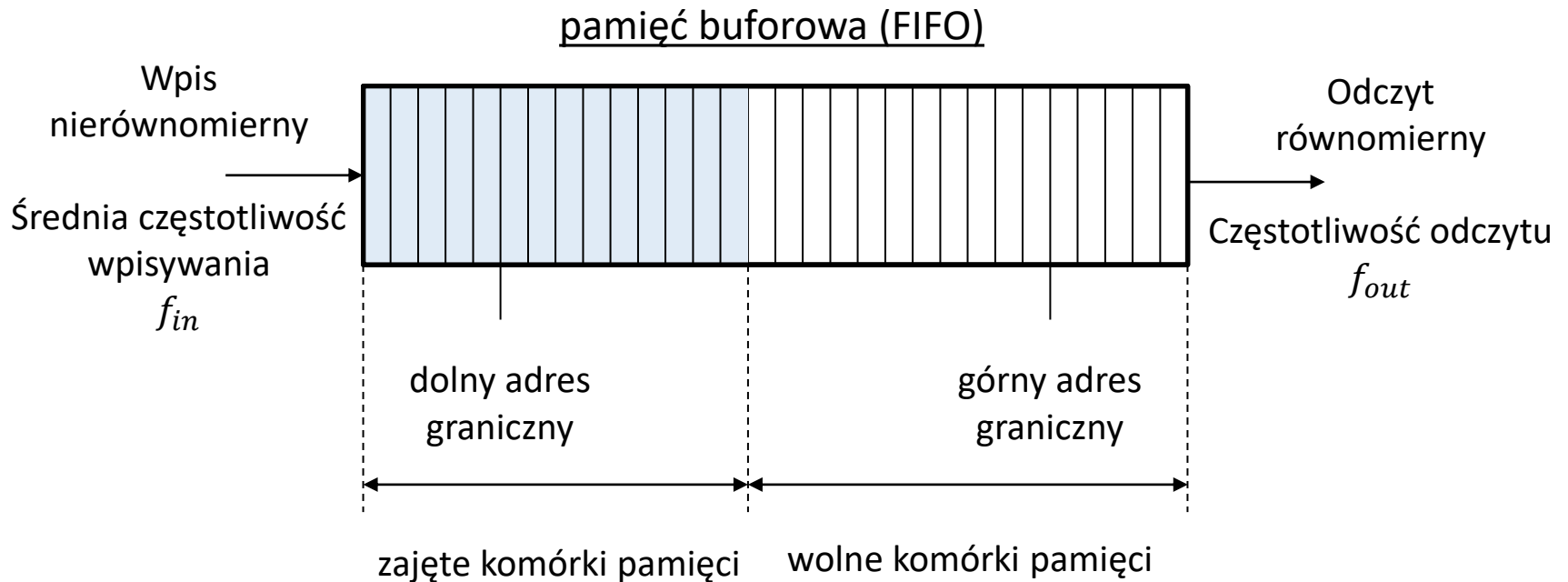


b) wzajemna



c) mieszana

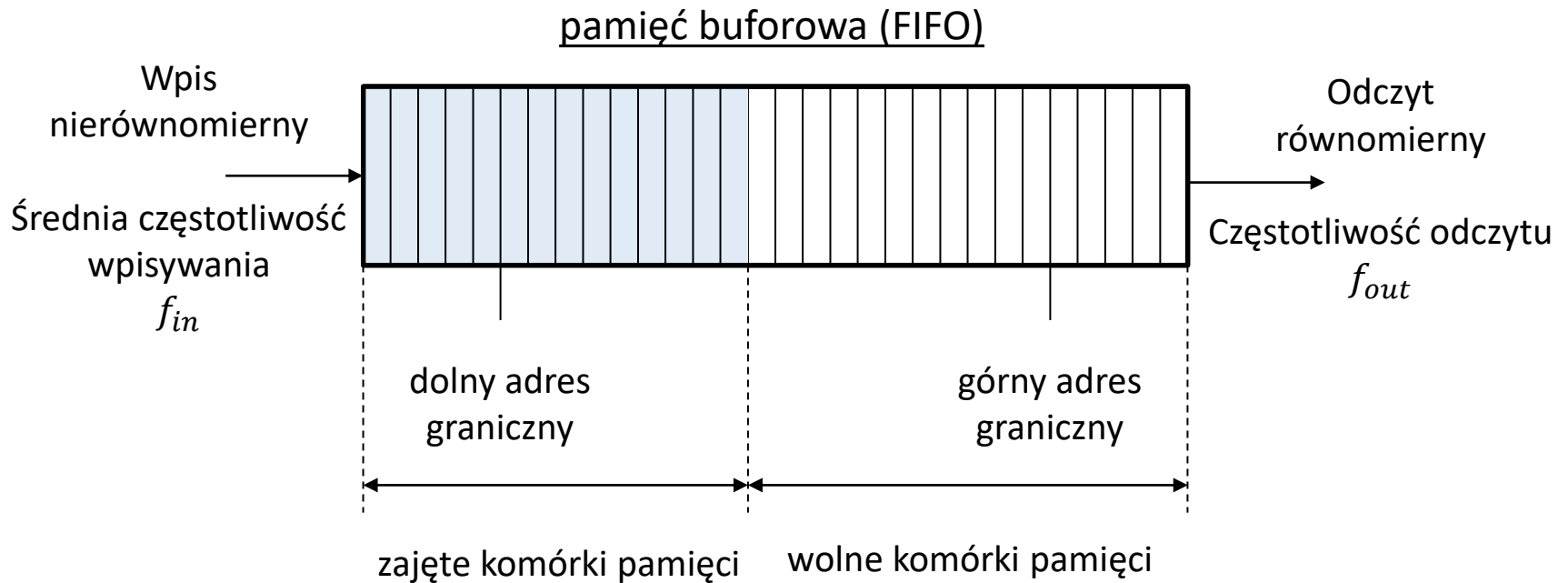
# Wyrównywanie wahania fazy sygnału odbieranego



FIFO – First In First OUT

# **Dopełnianie**

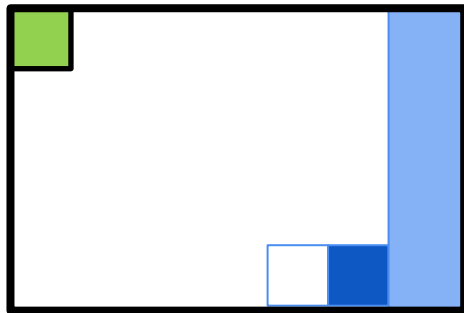
# Wyrównywanie wahania fazy sygnału odbieranego



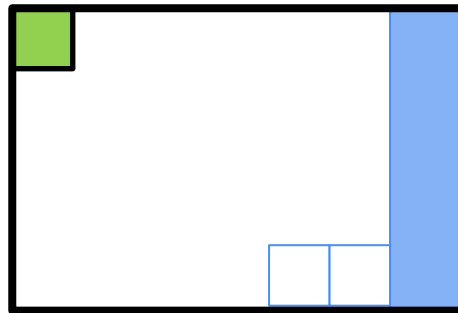
- 1)  $f_{in} = f_{out}$       brak dopełniania
- 2)  $f_{in} > f_{out}$       dopełnianie ujemne
- 3)  $f_{in} < f_{out}$       dopełnianie dodatnie

# Dopełnianie

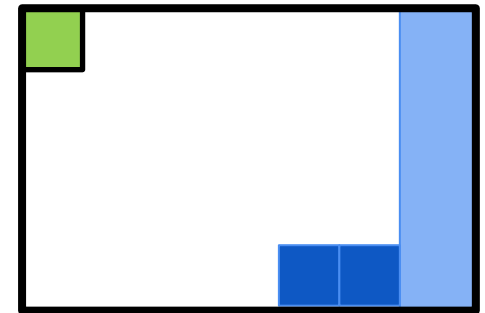
dopełnianie zerowe  
ZJ – zero justification




dopełnianie ujemne  
NJ – negative justification




dopełnianie dodatnie  
PJ – positive justification



 bity/bajty odbierane

 bity/bajty dopełniania zmiennego

 bity/bajty dopełniania stałego

 bity/bajty sterowania dopełnianiem

 ramka

# **Systemy teletransmisyjne**



# Cyfrowe systemy teletransmisyjne

**System teletransmisyjny** – zbiór zasad stanowiących podstawę szczególnej metody transmisji

**PDH** – Cyfrowe systemy hierarchii plezjochronicznej  
(Plesiochronous Digital Hierarchy)

**SDH** – Cyfrowe systemy hierarchii synchronicznej  
(Synchronous Digital Hierarchy)

**SONET** – synchroniczne sieci optyczne  
(Synchronous Optical Network)

**OTH** – Optyczna Hierarchia Transportowa  
(Optical Transport Hierarchy)

**SyncE** – synchroniczny Ethernet  
(Synchronous Ethernet)

# Trochę podstawowych pojęć

## ppm (per milion)

Liczba zdarzeń, bitów, cząstek na milion.

## dB (decybel)

$$10\log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

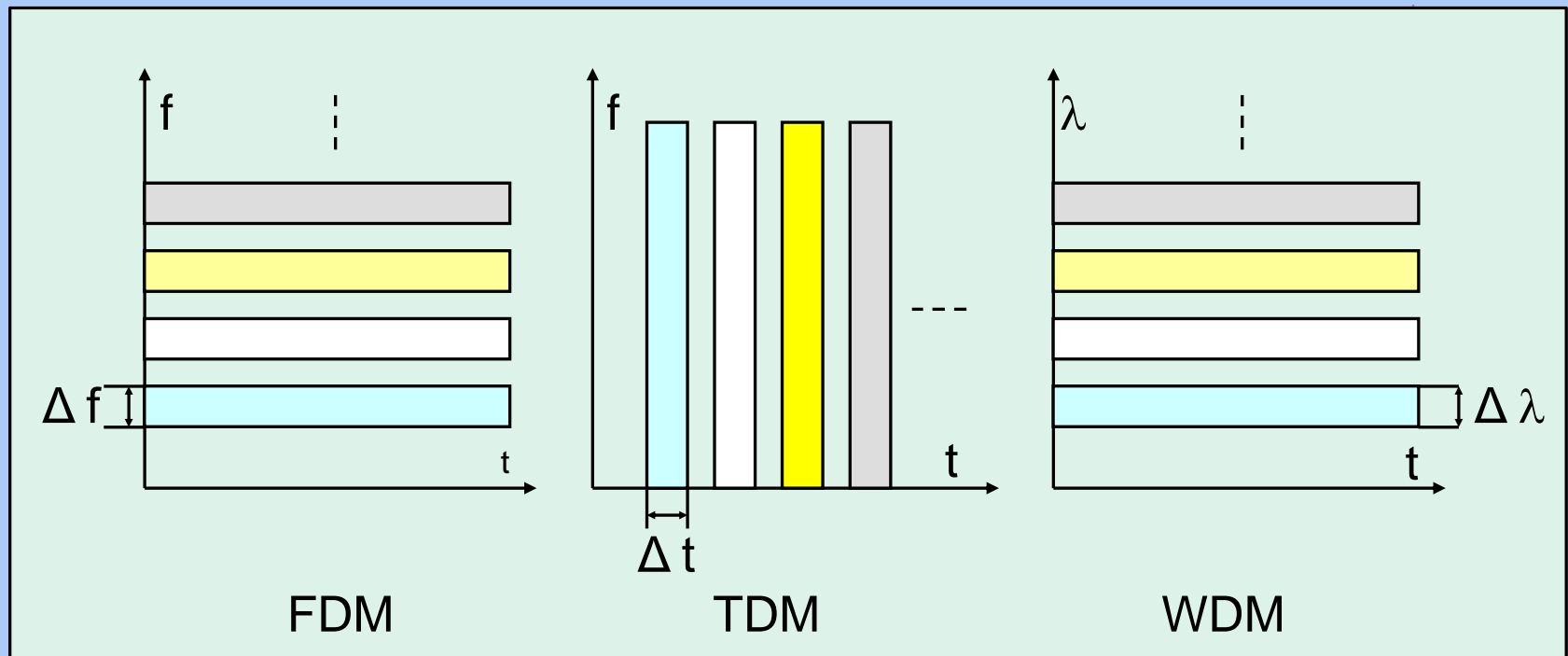
$$20\log_{10} \frac{U_1}{U_2}$$

## dBm

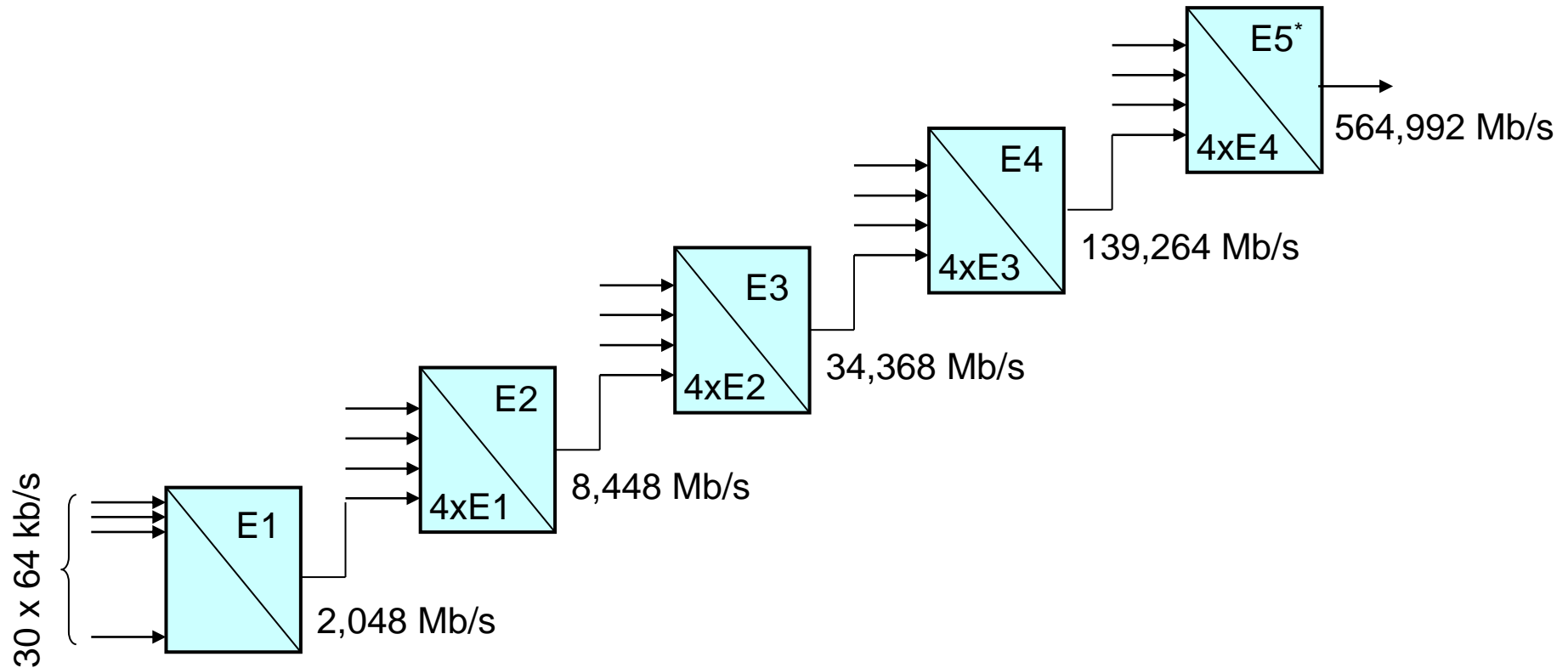
$$10\log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

**PDH**

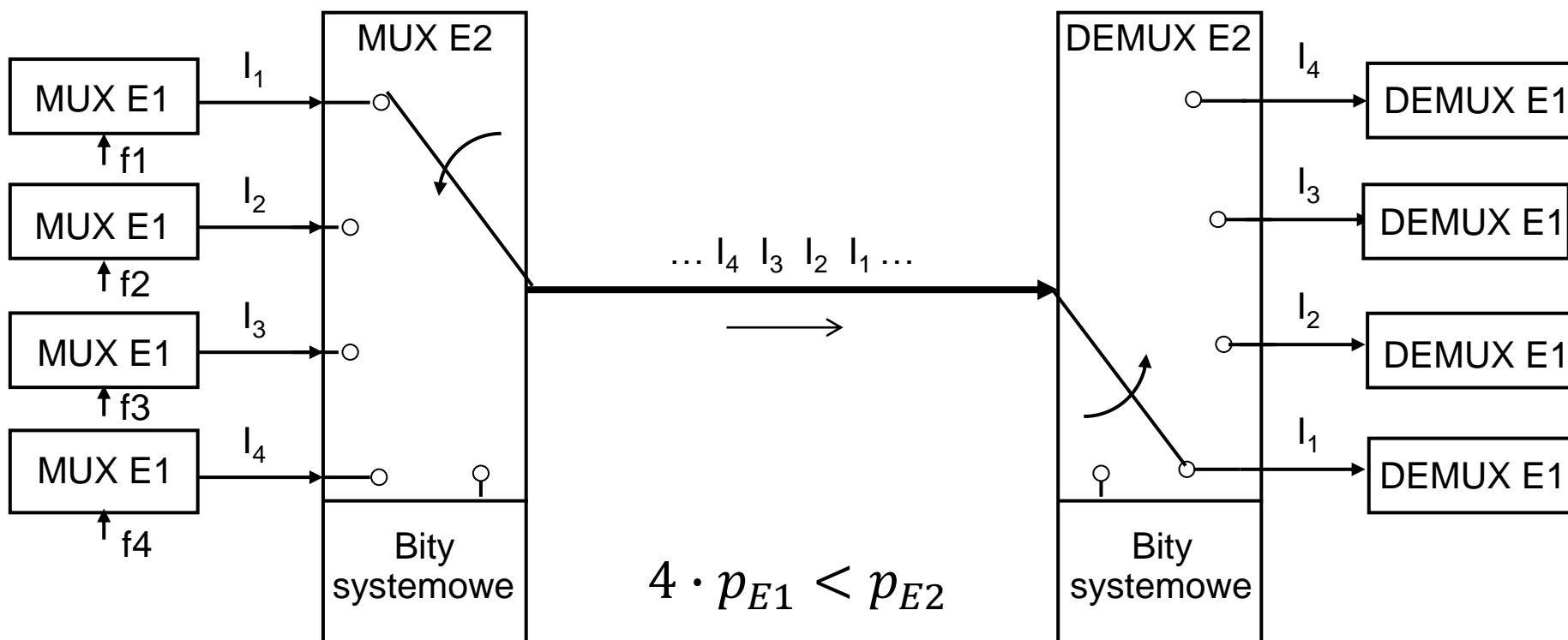
# Techniki multipleksacji



# Hierarchia europejska PDH



# Multipleksacji i demultipleksacji E2



$p_{E1}$  – przepływność binarna sygnału E1

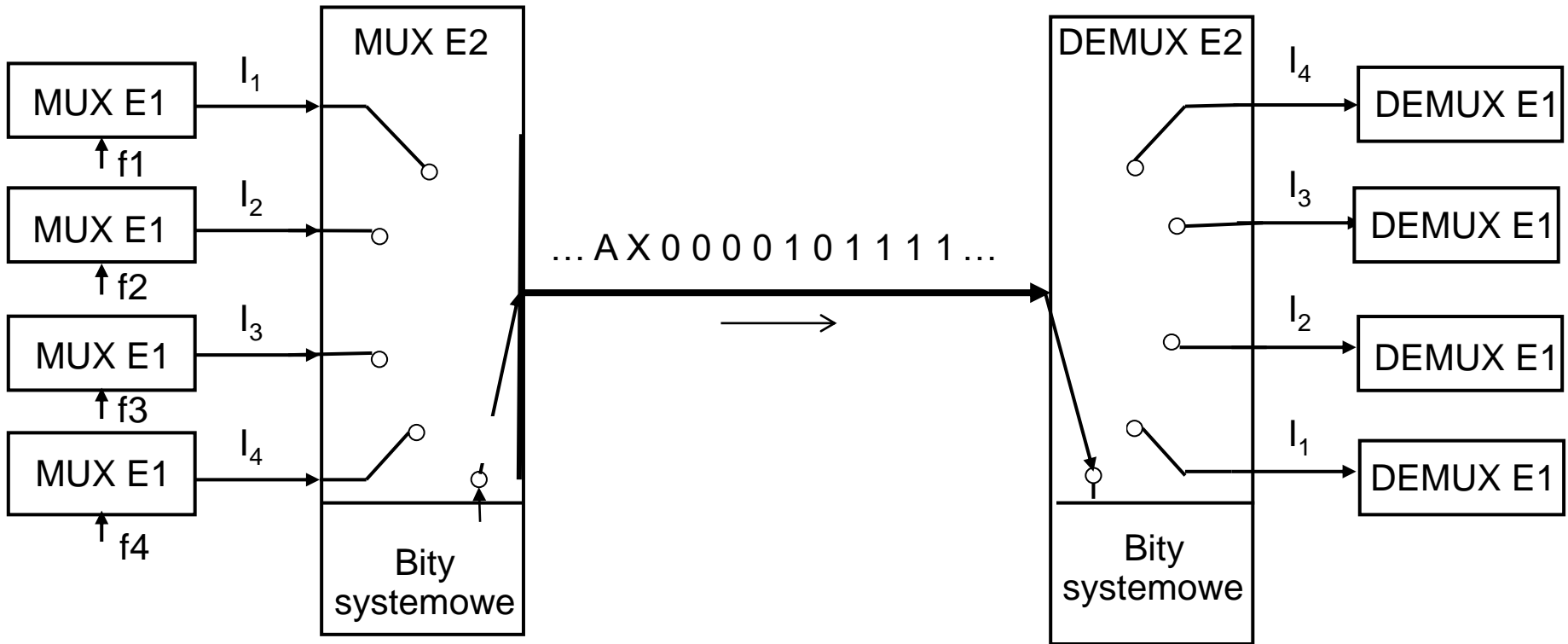
$p_{E2}$  – przepływność binarna sygnału E2

# Struktura ramki systemu PDH drugiego rzędu

Numer bitu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					209	210	211	212
sekcja 1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	A	X	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>					I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 2	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>						I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 3	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>					I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 4	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>					I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>

- bity wzoru fazowania
- bity alarmu i nadzoru
- bity sygnałów wejściowych E1
- bity dopełniania
- bity sterowania dopełnianiem

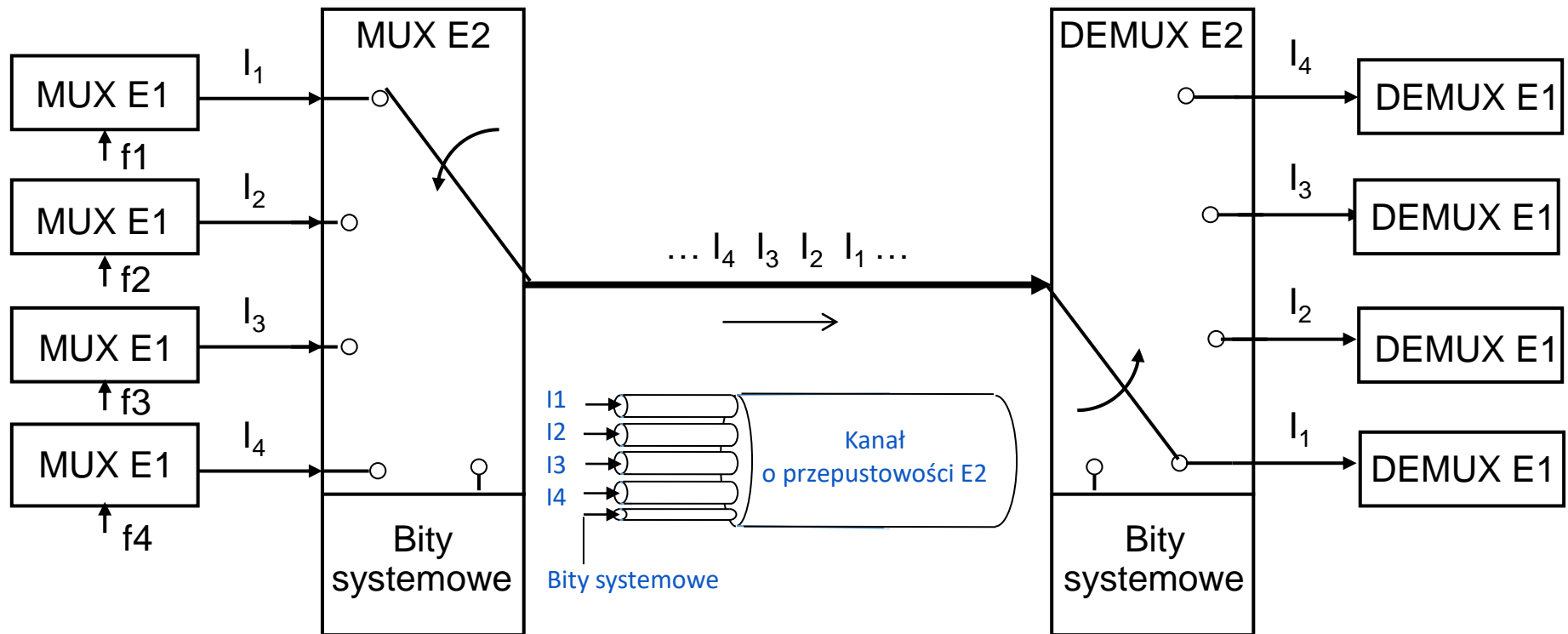
# Multipleksacja sygnałów w systemach PDH drugiego rzędu



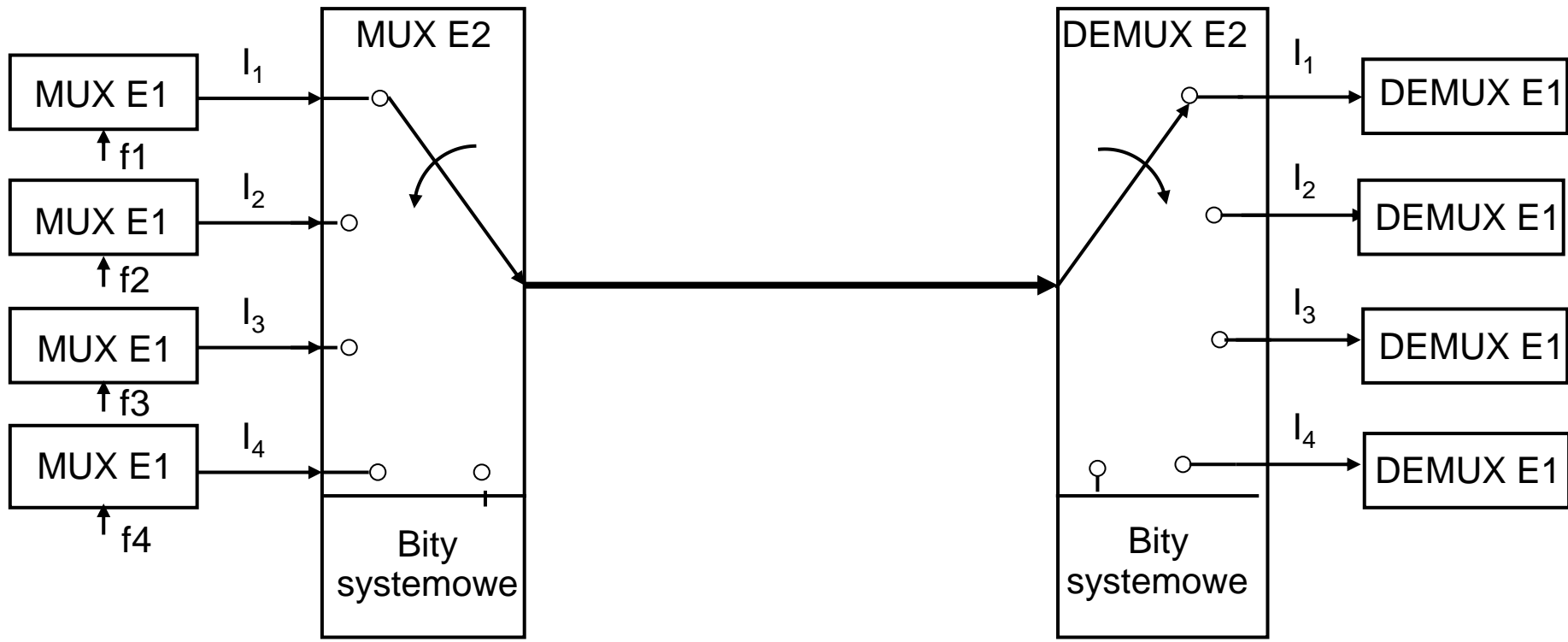
sekcja 1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	A	X	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 2	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 3	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
sekcja 4	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>



# Multipleksacja i demultipleksacja E2



# Multipleksacja sygnałów w systemach PDH drugiego rzędu



# Dopuszczalna odchyłka przepływności

$$p_{E1}(t) = p_{E1nom} + \delta(t)$$

$$p_{E1nom} = 2,048 \text{ Mb/s}$$

$$-50 \text{ ppm} \leq \delta_{E1}(t) \leq +50 \text{ ppm}$$

$$p_{E2}(t) = p_{E2nom} + \delta(t)$$

$$p_{E2nom} = 8,448 \text{ Mb/s}$$

$$-20 \text{ ppm} \leq \delta_{E2}(t) \leq +20 \text{ ppm}$$

# Zamiana ppm na b/s

Skrót ppm: pulses per million

Przykład 1: w przypadku sygnałów E1 mamy:

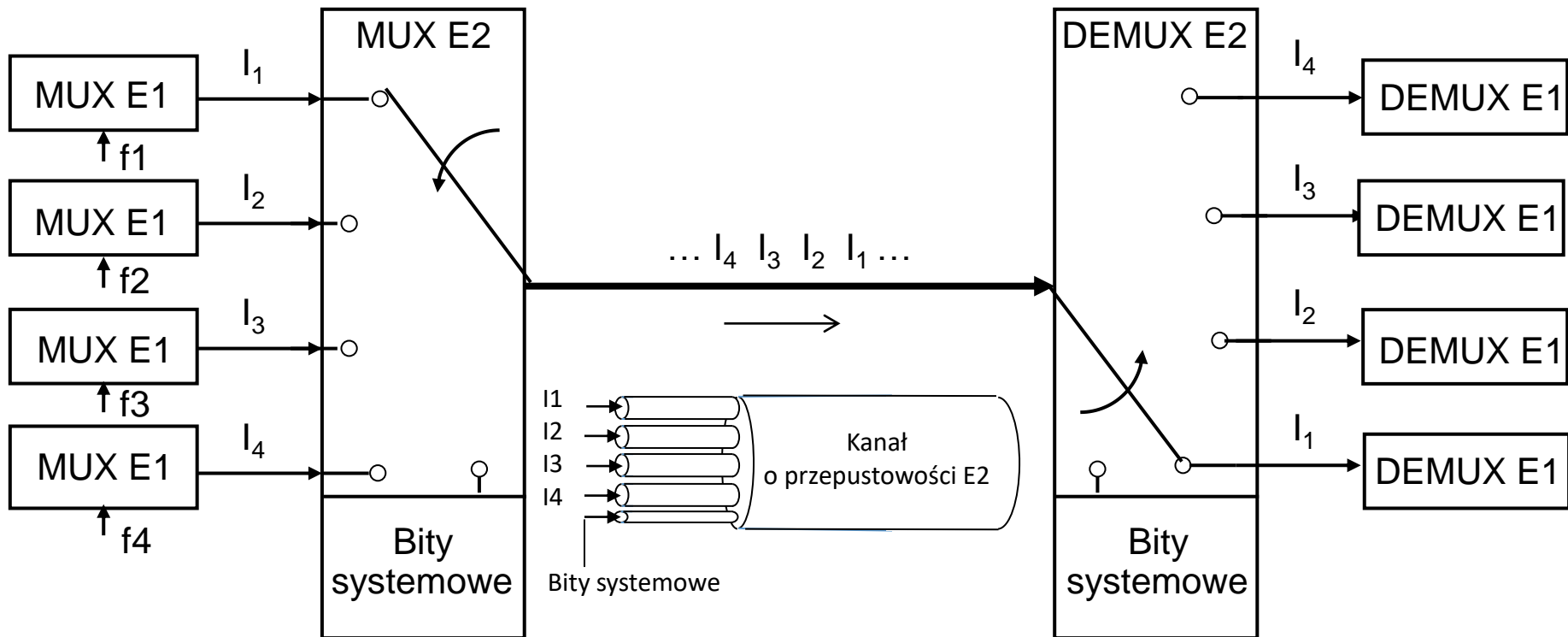
$$\begin{aligned} 2,048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm} &= 2,048 \text{ Mb/s} \pm 50 \cdot 2,048 \text{ b/s} \\ &= 2,048 \text{ Mb/s} \pm 102,4 \text{ b/s} \end{aligned}$$

# Zamiana b/s na ppm

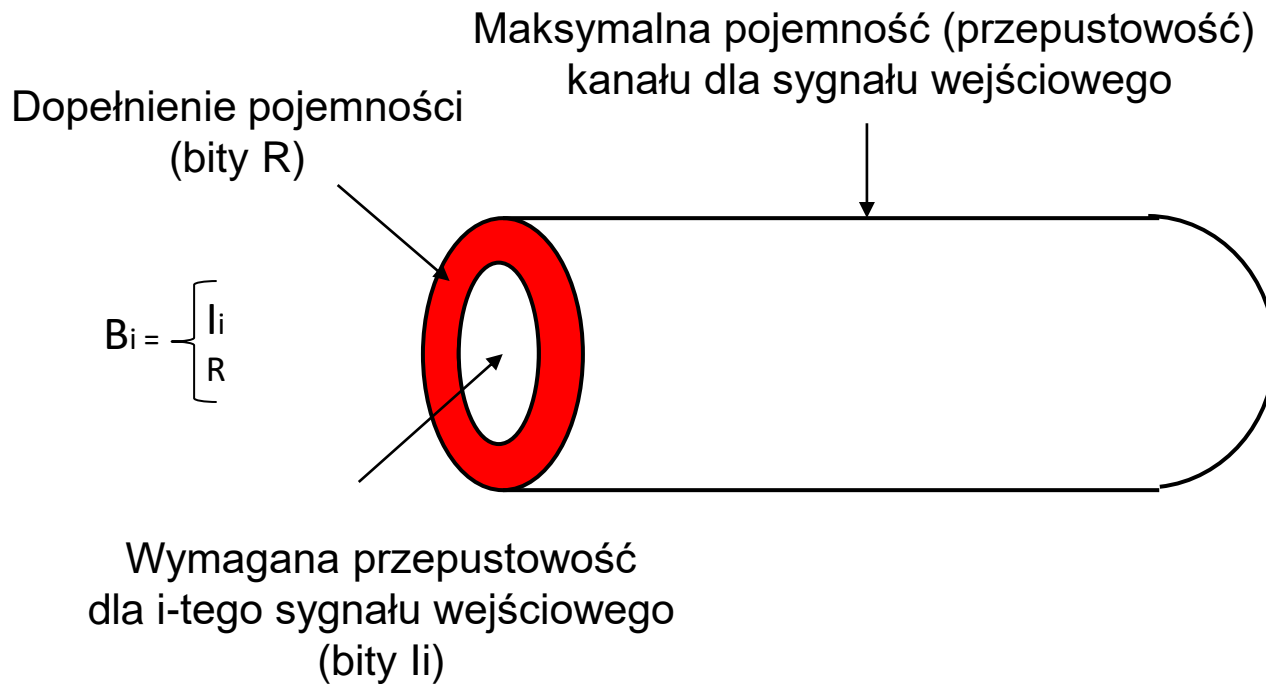
Przykład 2: zamienić odchyłkę podaną w b/s na ppm w przypadku sygnału  $10 \text{ Mb/s} \pm 200 \text{ b/s}$

$$10 \text{ Mb/s} \pm 200/10 \text{ ppm} = 10 \text{ Mb/s} \pm 20 \text{ ppm}$$

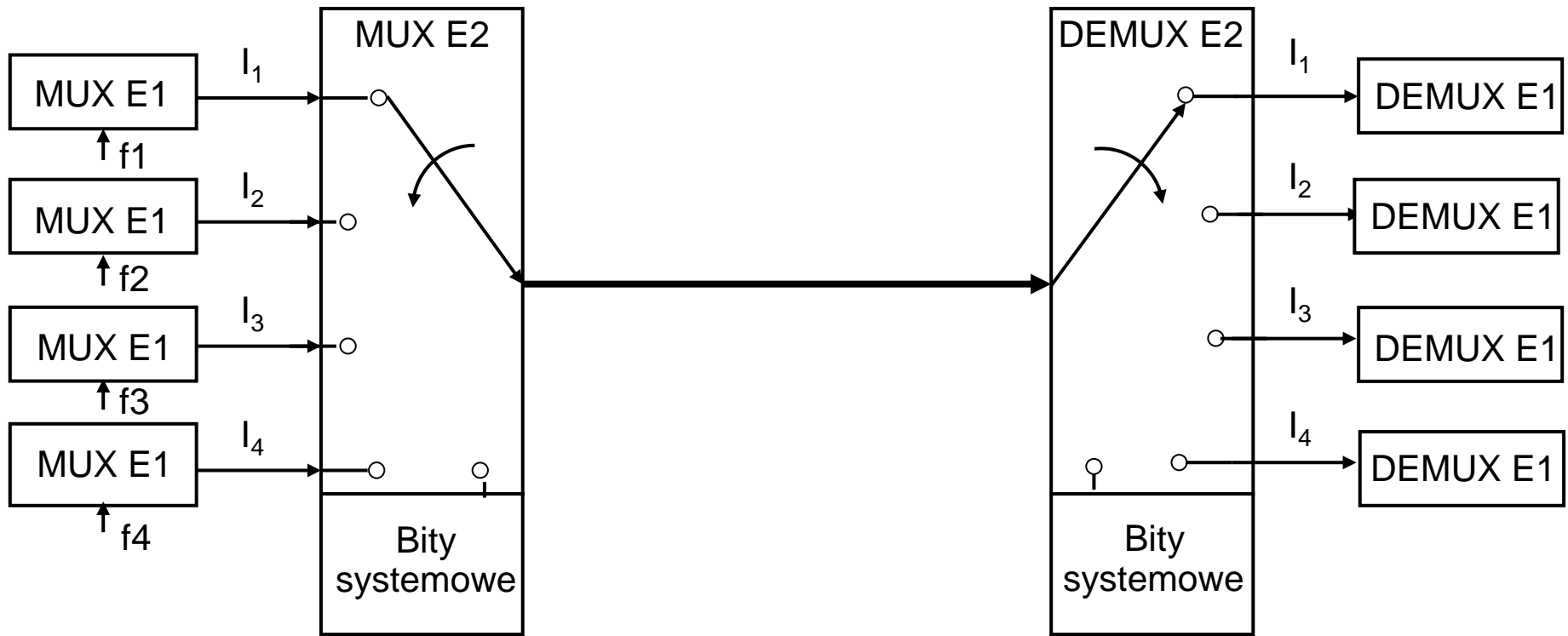
# Multipleksacja i demultipleksacja E2



# Dopełnianie dodatnie



# Multipleksacja sygnałów w systemach PDH drugiego rzędu

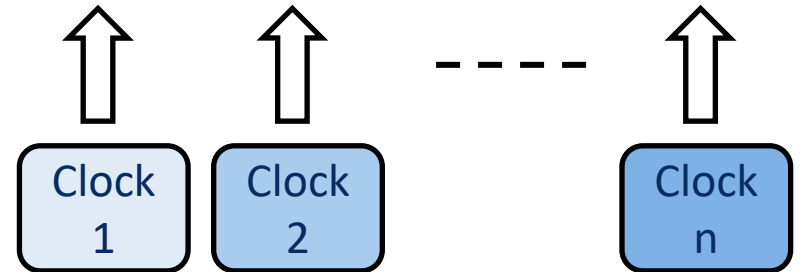
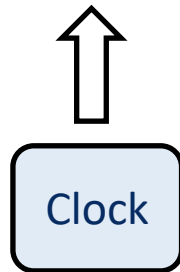


sekcja 1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	A	X	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$			$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
sekcja 2	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$				$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
sekcja 3	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$			$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
sekcja 4	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	R	R	$I_3$	R	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$			$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$



**SDH**

# Sieci synchroniczne, a sieci plezjochroniczne



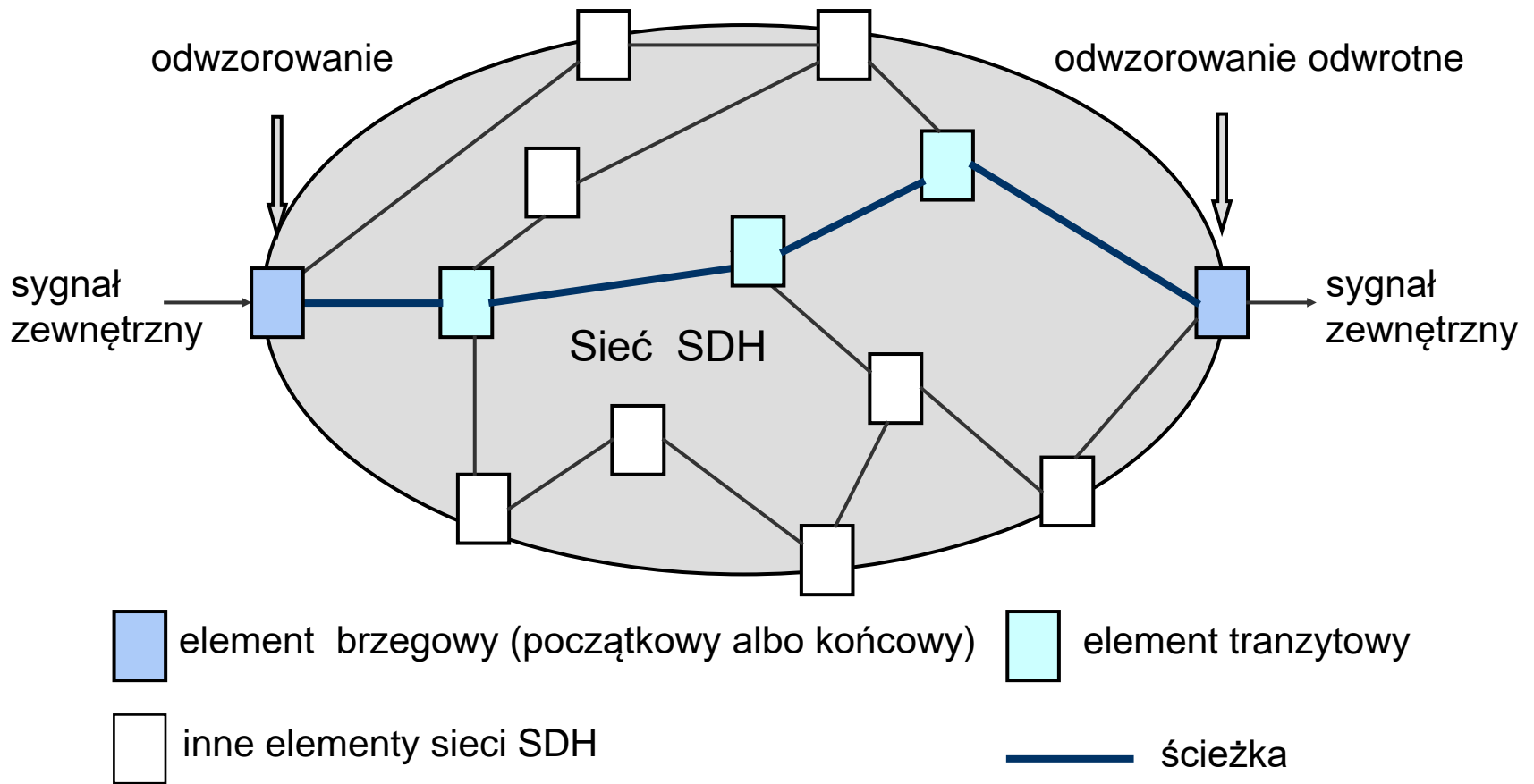
**SDH**  
**Synchronous Digital Hierarchy**

**SONET**  
**Synchronous Optical NETWORK**

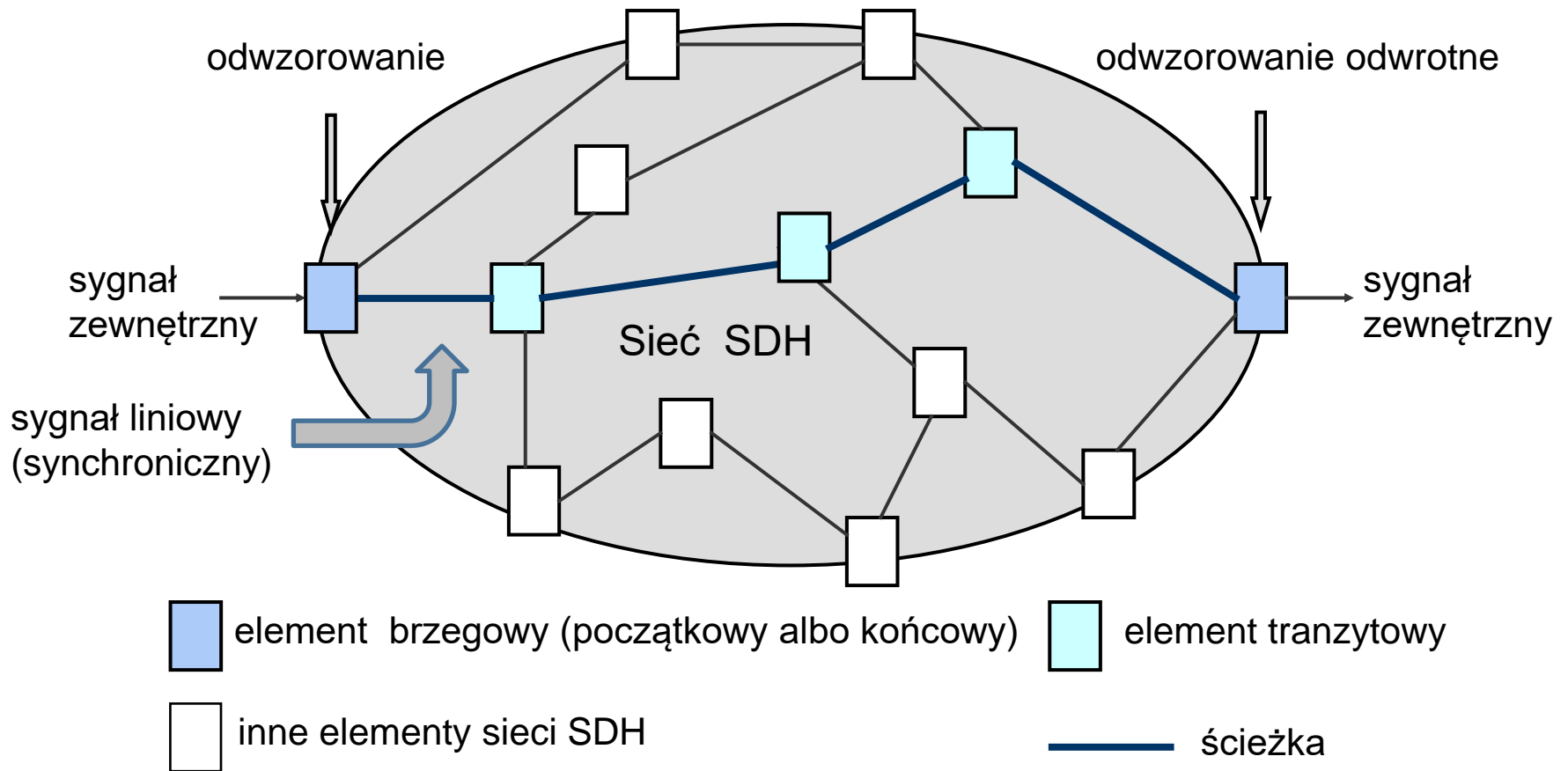
# Cel stworzenia systemów i sieci SDH

- ✓ Transport sygnałów o dowolnych przepływnościach
- ✓ Poprawa jakości transmisji
- ✓ Wyeliminowanie konieczności wielokrotnej multipleksacji i demultipleksacji
- ✓ Efektywne zarządzanie i nadzorowanie sieci
- ✓ Wprowadzenie efektywnego mechanizmu protekcji i restoracji sieci
- ✓ Łatwość rekonfiguracji sieci
- ✓ Zmniejszenie energochłonności
- ✓ Ujednoczenie standardów

# Idea systemów SDH



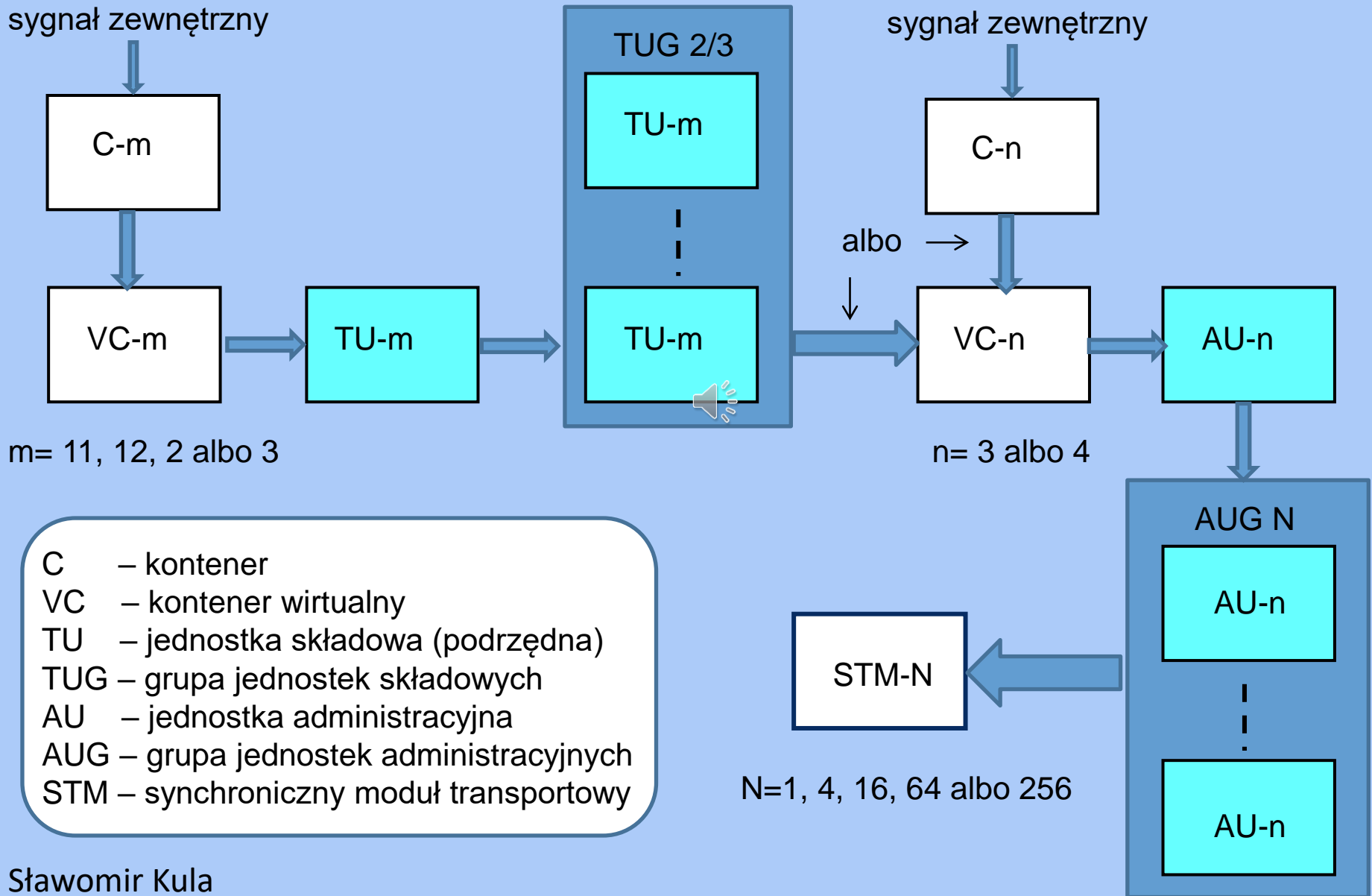
# Idea systemów SDH



# Przepływności sygnałów liniowych SONET i SDH

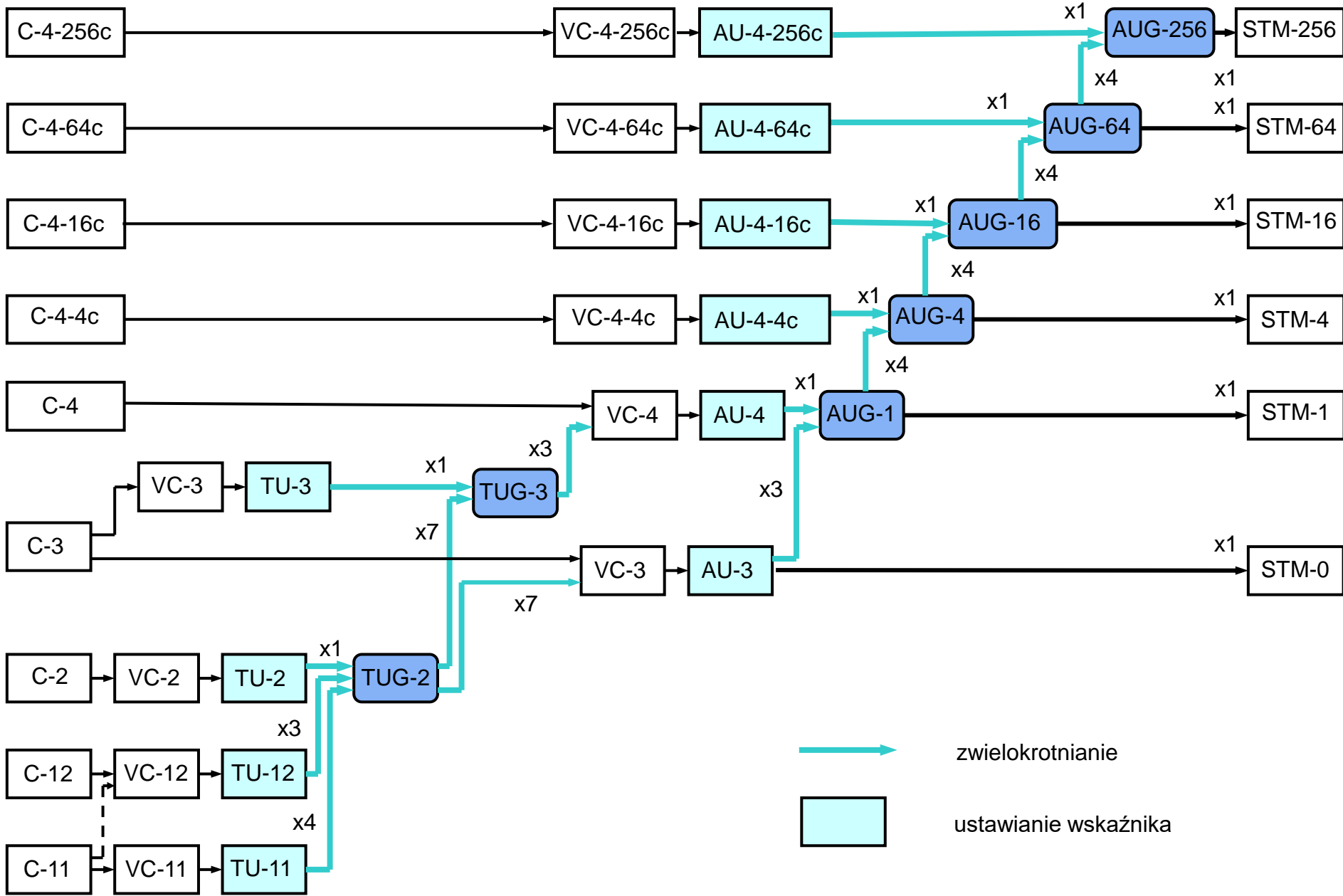
Przepływność [Mbit/s]	SONET		SDH
	Sygnał elektryczny	Sygnał optyczny	
51,84	STS-1	OC-1	STM-0
155,52	STS-3	OC-3	STM-1
622,08	STS-12	OC-12	STM-4
2488,32	STS-48	OC-48	STM-16
9953,28	STS-192	OC-192	STM-64
39813,12	STS-768	OC-768	STM-256

# W jaki sposób są tworzone sygnały STM-N?

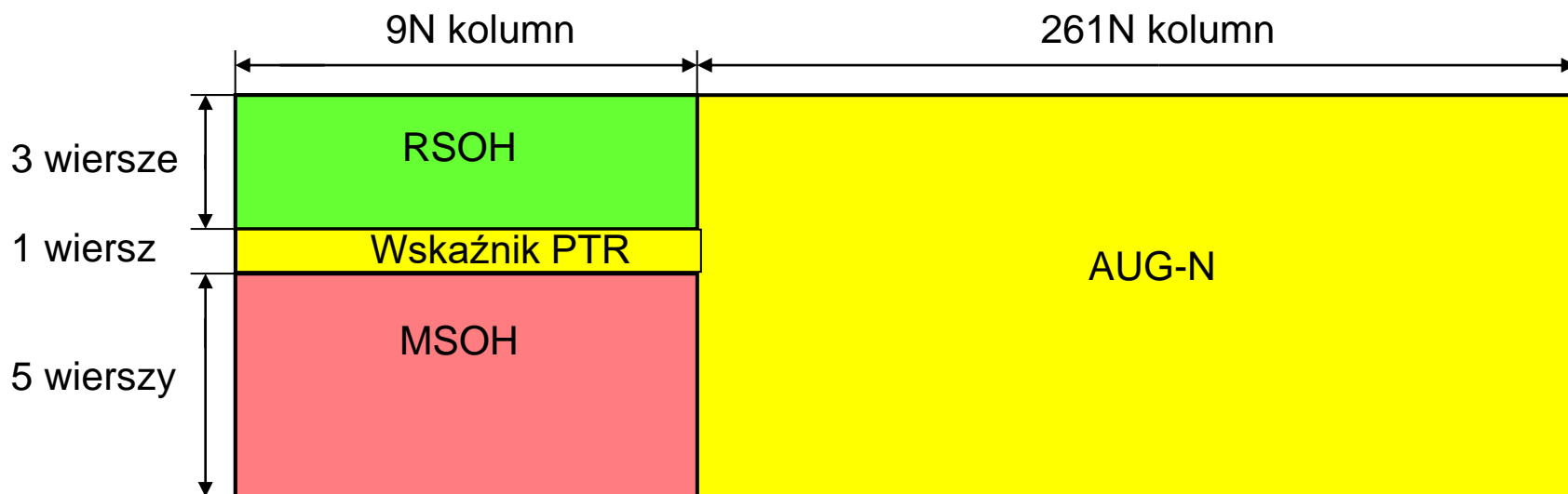
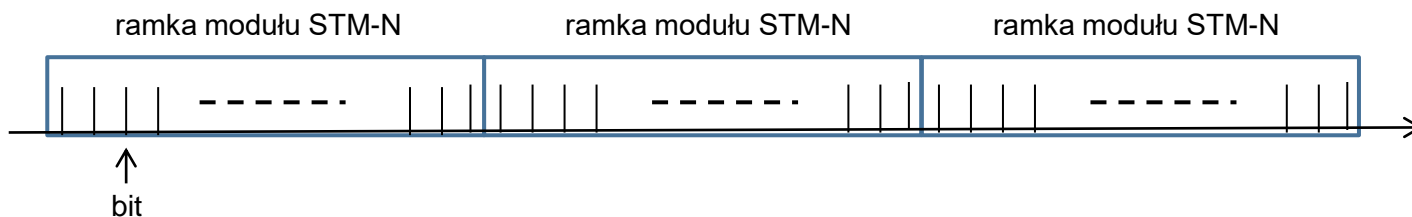




# Struktura zwielokrotniania według standardu ITU



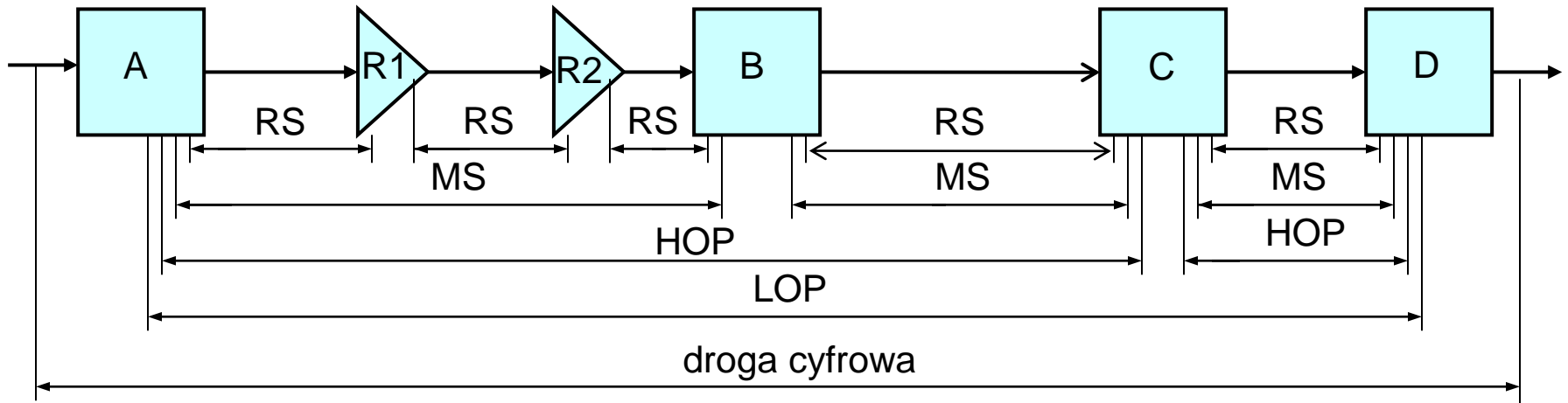
# Struktura ramek modułów transportowych STM-N



RSOH – nagłówek sekcji regeneracji (Regenerator Section OverHead)

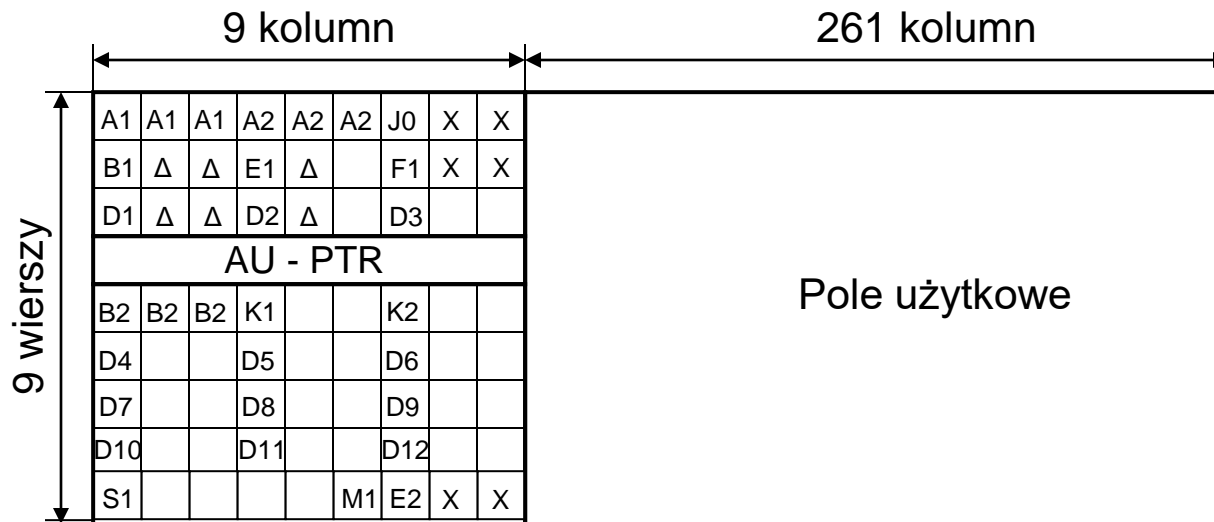
MSOH – nagłówek sekcji multipleksacji (Multiplexing Section OverHead)

# Ilustracja podstawowych pojęć sieciowych



- R1, R2 – regeneratory
- A,B,C,D – krotnice lub przełącznice
- RS – sekcja regeneracji
- MS – sekcja multipleksacji
- HOP – ścieżka wyższego rzędu
- LOP – ścieżka niższego rzędu

# Ramka modułu transportowego STM-1



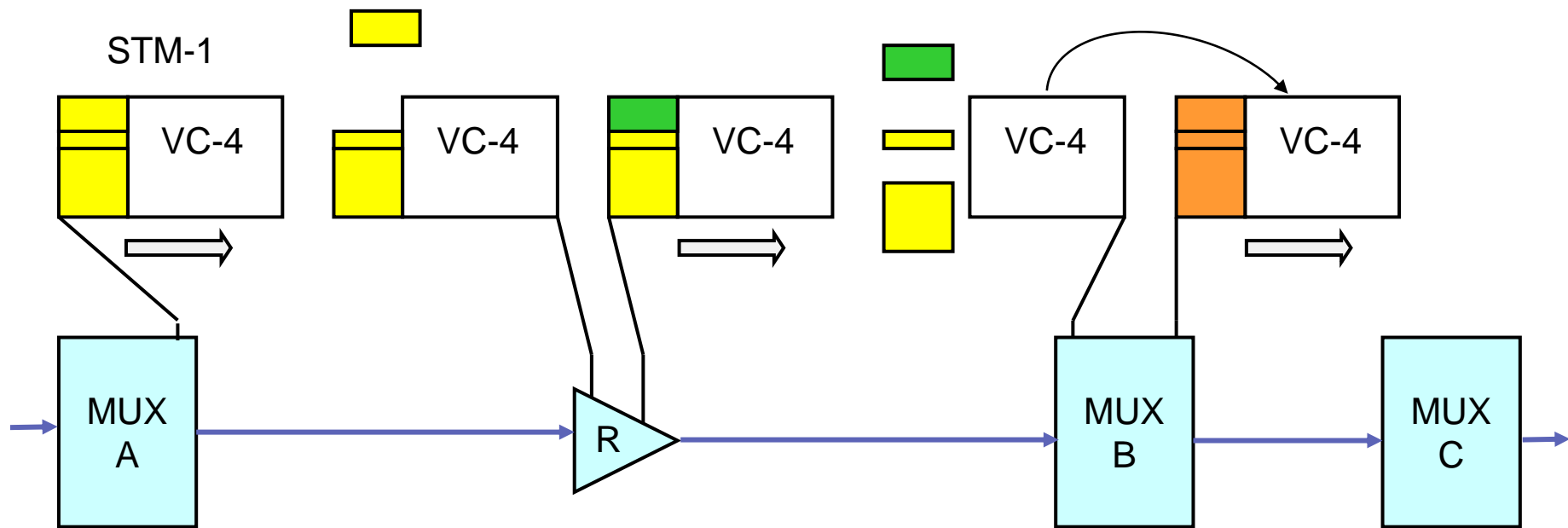
# Nagłówek modułu transportowego STM-1

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
B1	Δ	Δ	E1	Δ		F1	X	X
D1	Δ	Δ	D2	Δ		D3		
AU-PTR								
B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
S1					M1	E2	X	X



Bajty bez przeznaczenia

# Przesyłanie sygnałów w sieci SDH



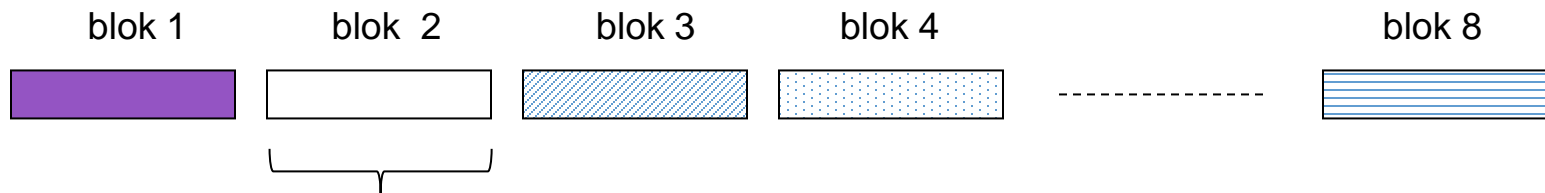
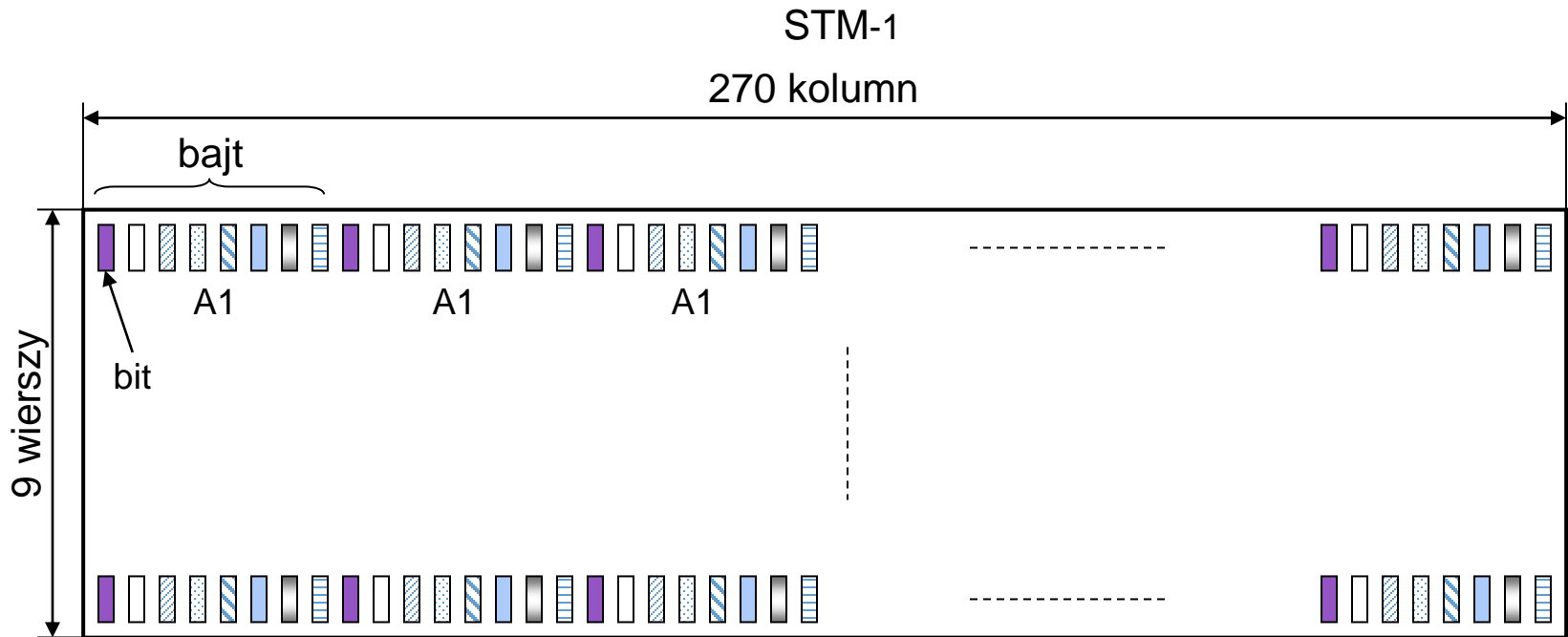
# Nagłówek modułu transportowego STM-1

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
B1	Δ	Δ	E1	Δ		F1	X	X
D1	Δ	Δ	D2	Δ		D3		
AU-PTR								
B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
S1					M1	E2	X	X



Bajty bez przeznaczenia

# Zasada podziału ramki STM-1 na bloki

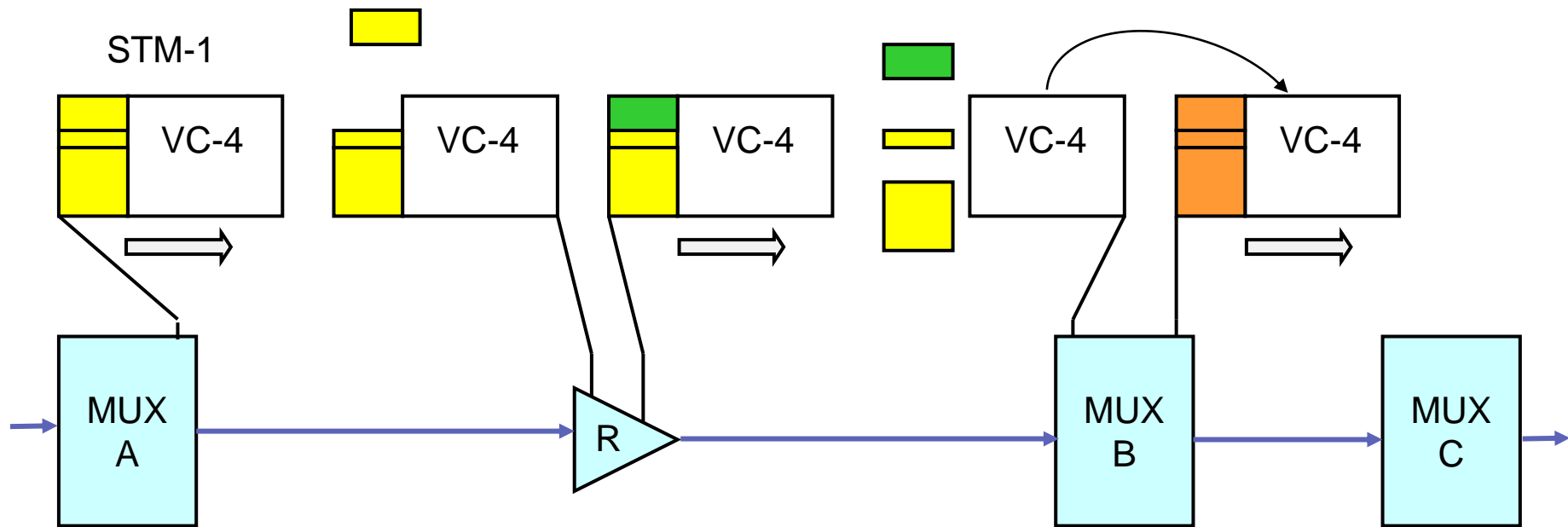


$$b_2 = a_2 \oplus a_{2+n} \oplus a_{2+2n} \dots$$

BIP-8 – przeplotowa kontrola parzystości



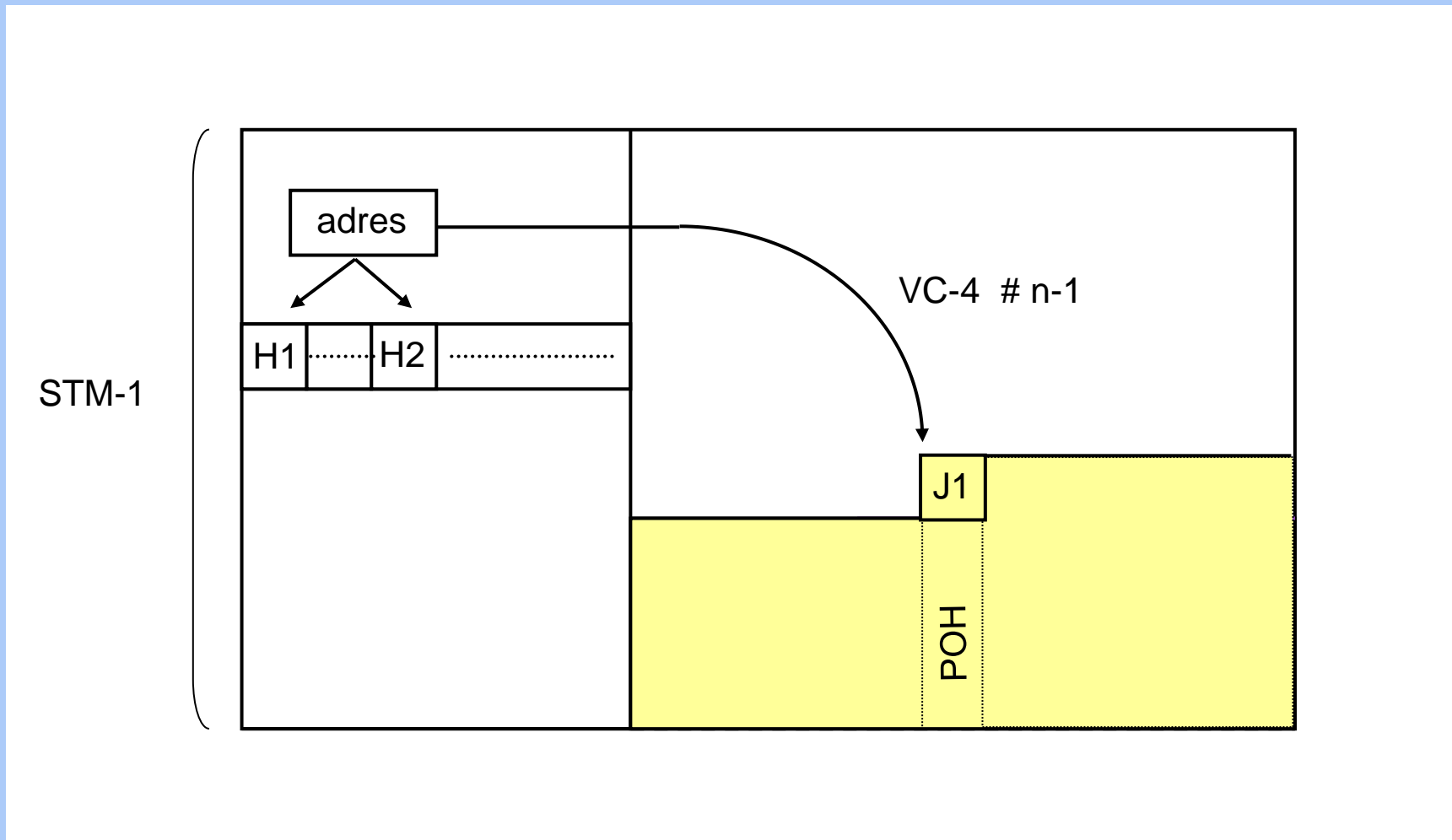
# Przesyłanie sygnałów w sieci SDH



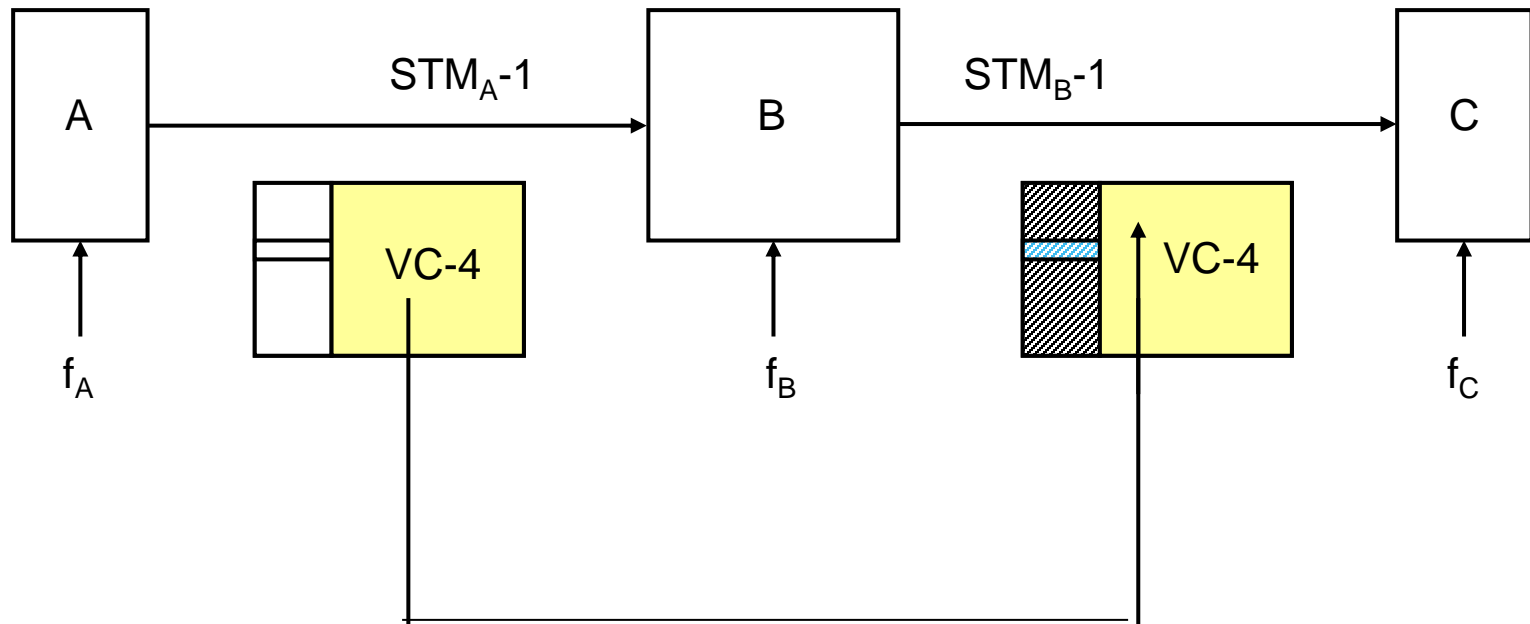
# Przeznaczenie bajtu S1

Zawartość binarna bajtu S1, bity b5÷b8	Opis
0000	Jakość nieznaną
0010	Jakość zegara PRC (G.811)
0100	Jakość zegara SSU-A
1000	Jakość zegara SSU-B
1011	Jakość zegara SEC (G.813)
1111	Nie używać do synchronizacji
Pozostałe	Rezerwa

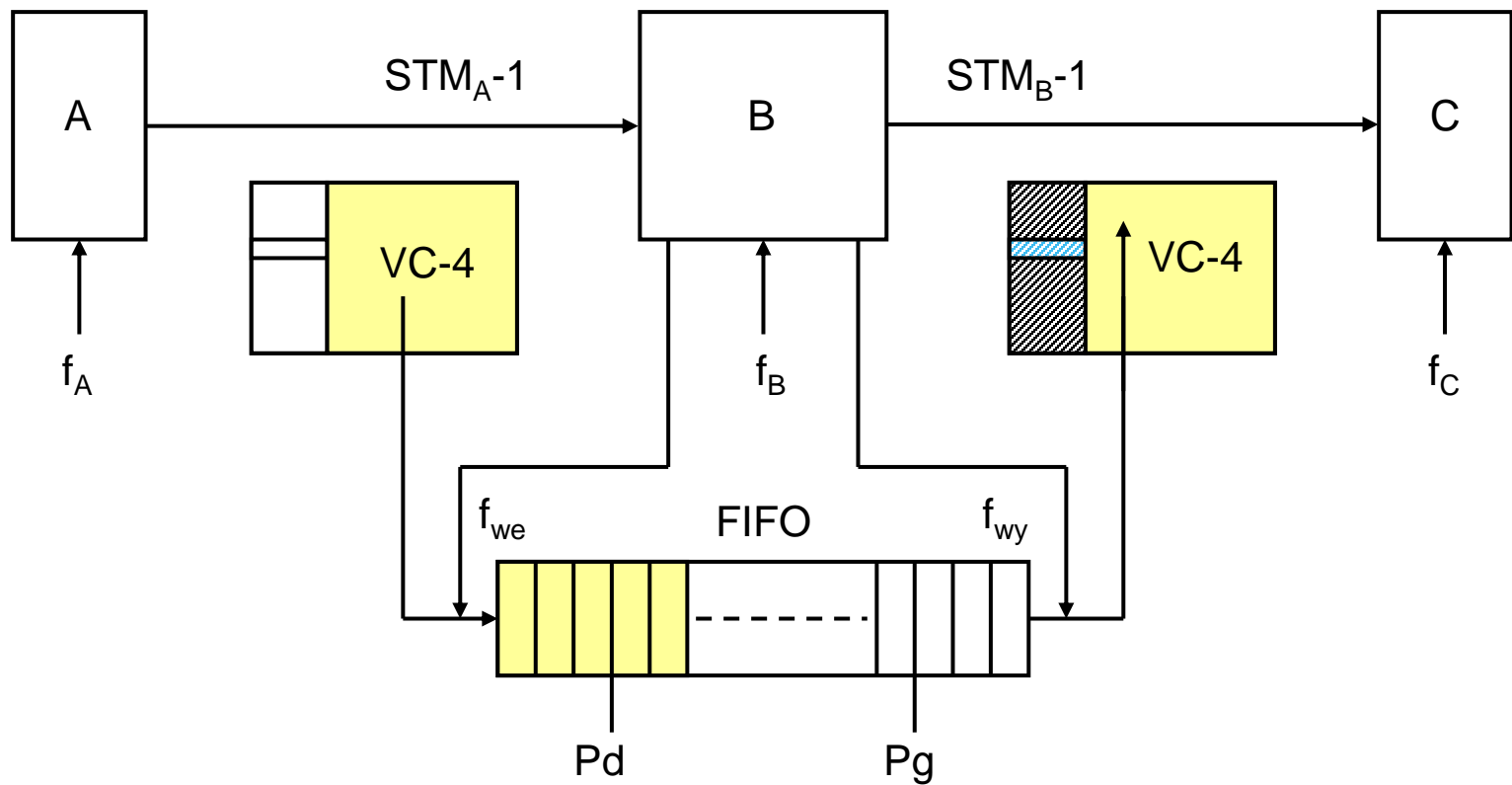
# Adresowanie położenia kontenera VC-4



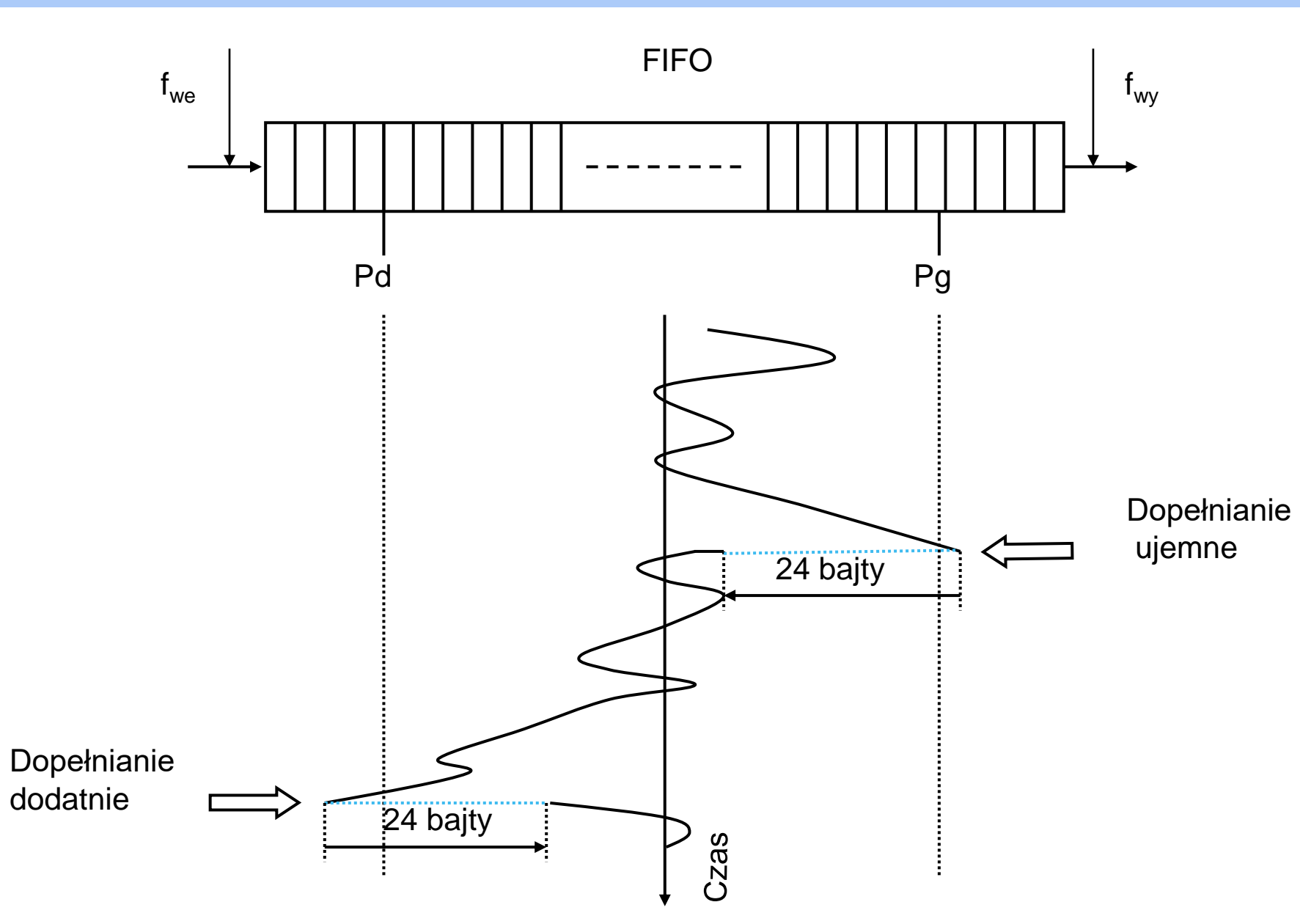
# Tranzyt kontenera VC-4 przez element sieci



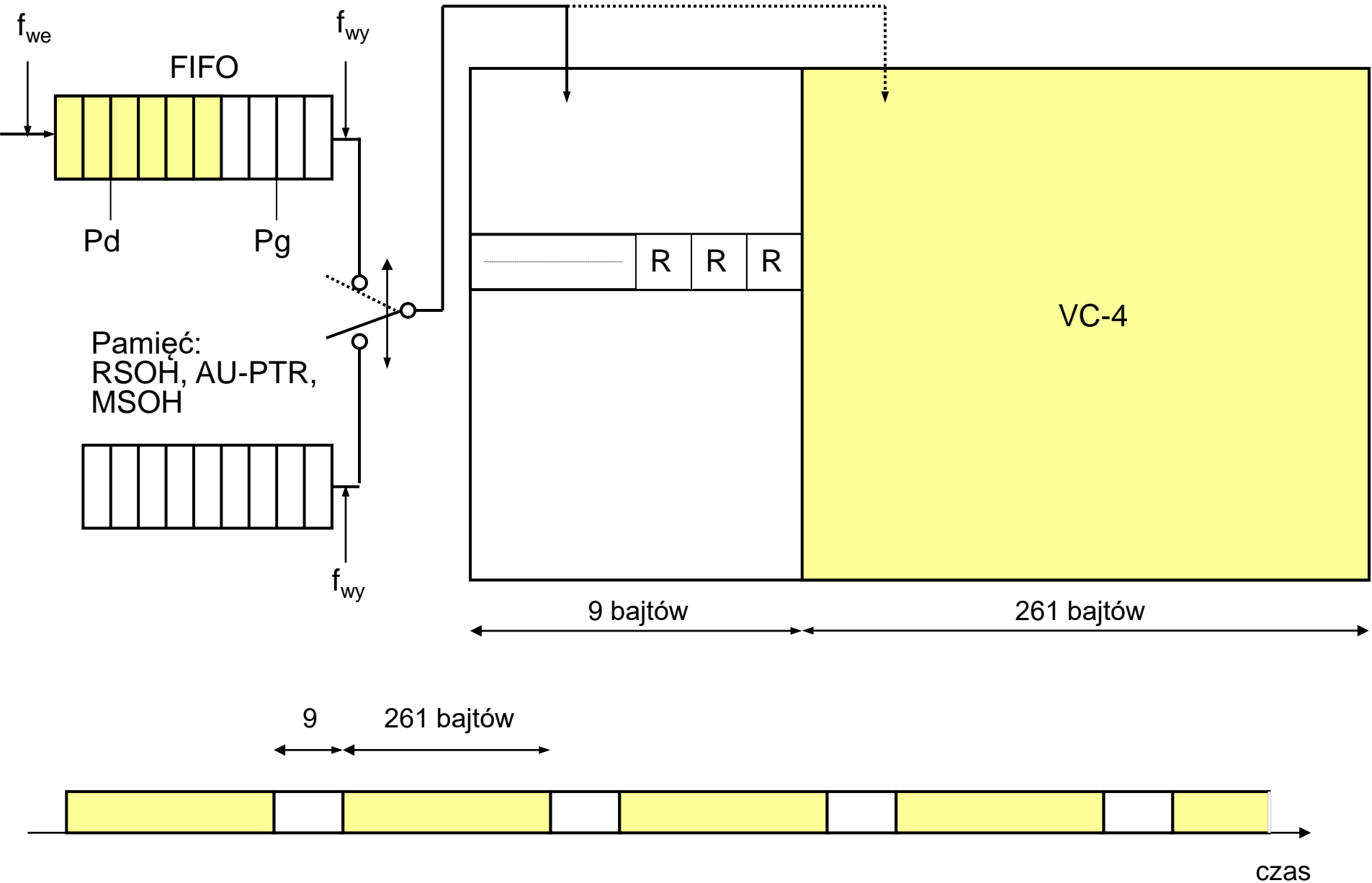
# Tranzyt kontenera VC-4 przez element sieci



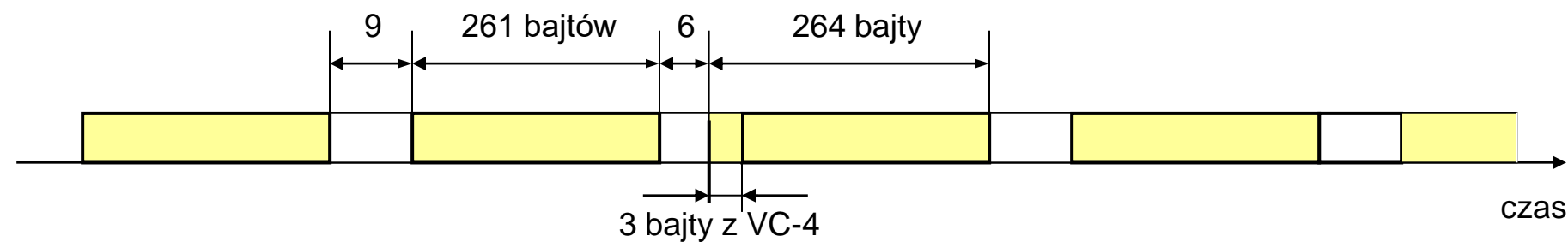
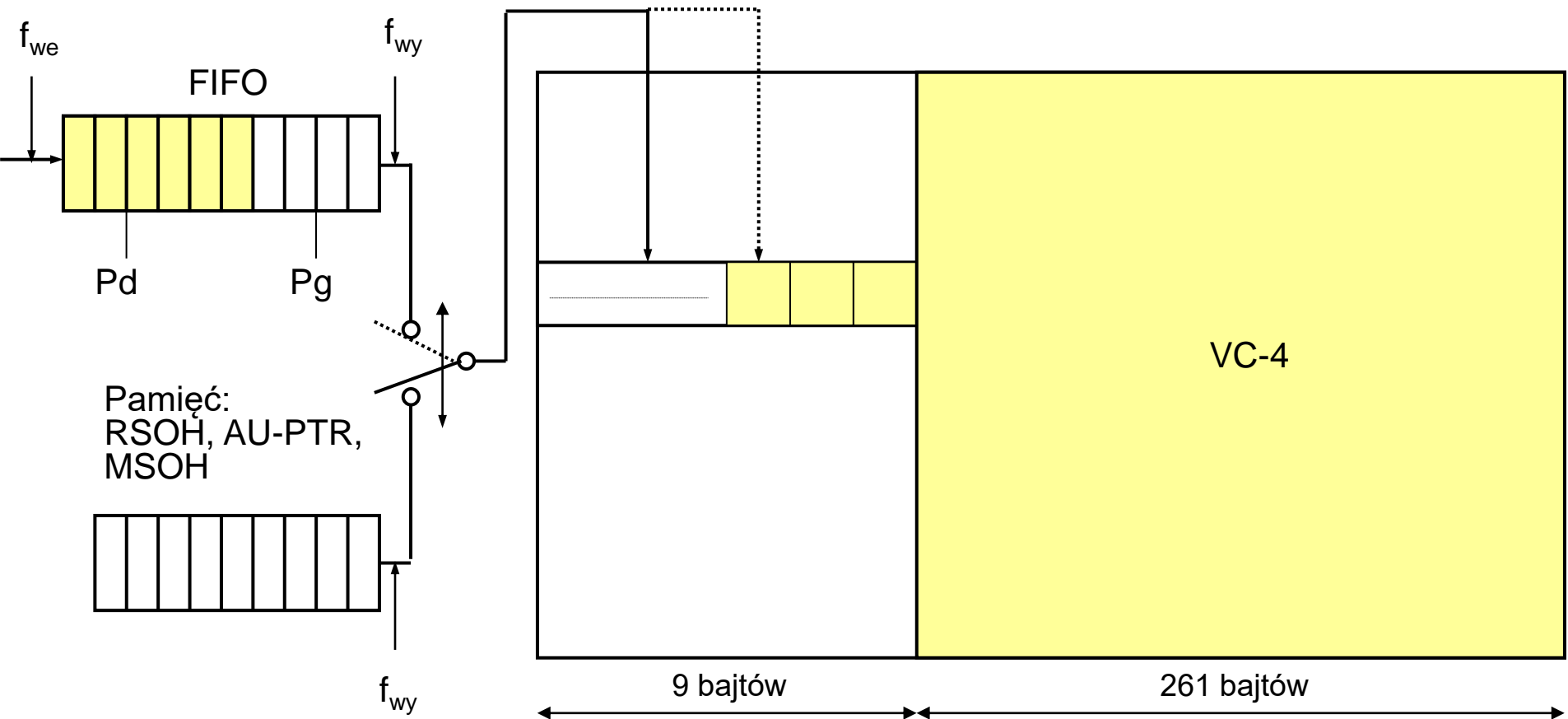
# Zmiana stopnia zajętości pamięci FIFO w czasie



# Tworzenie modułu STM-1 – brak dopełnienia

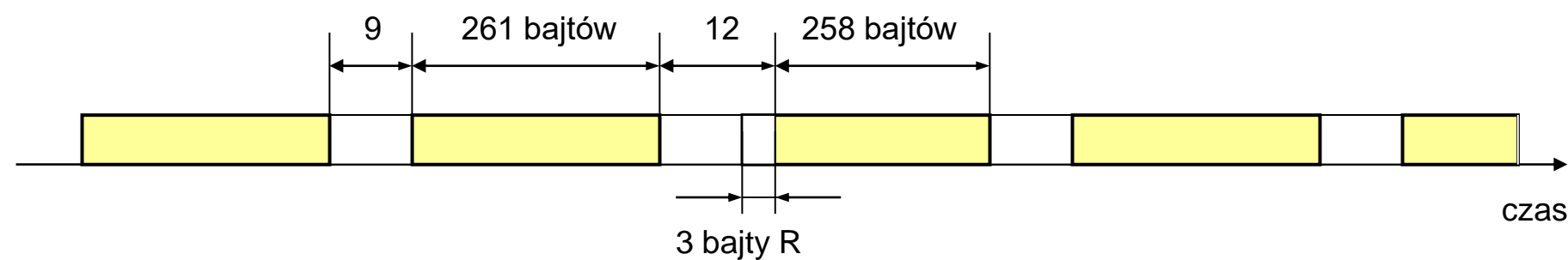
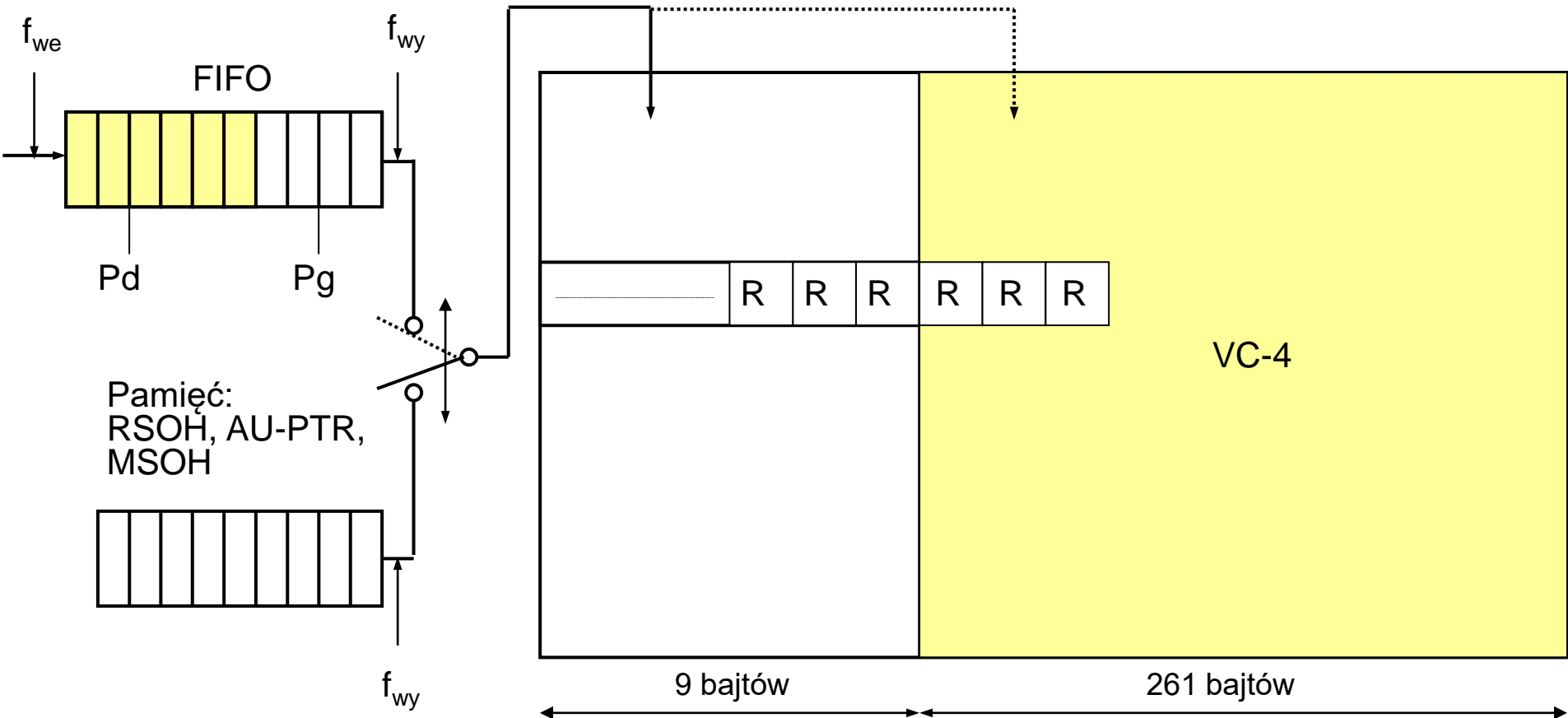


# Tworzenie modułu STM-1 – dopełnianie ujemne



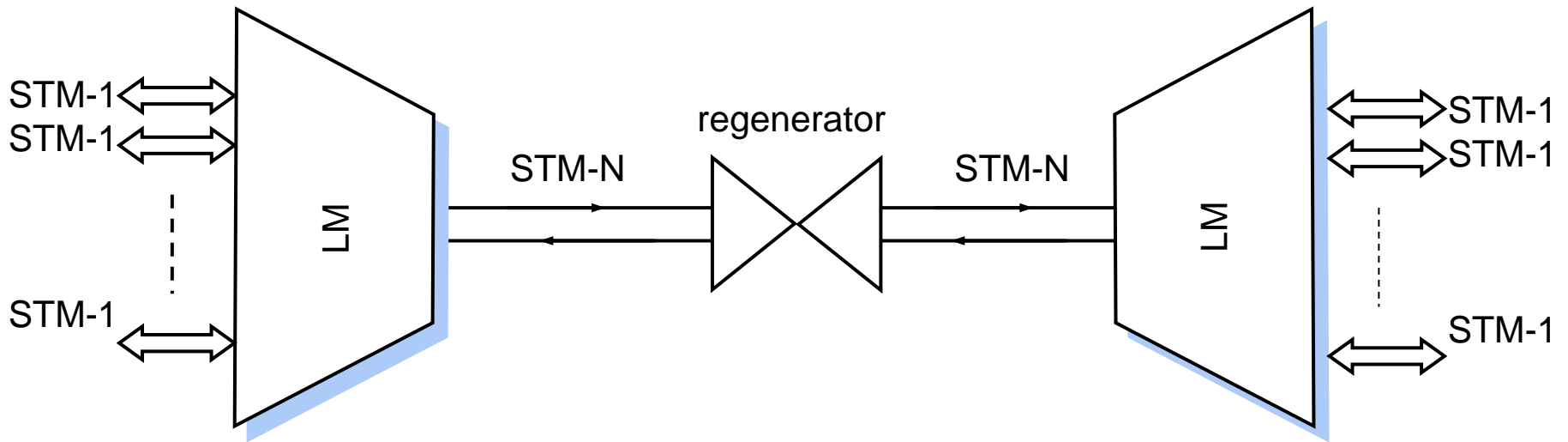


# Tworzenie modułu STM-1 – dopełnianie dodatnie



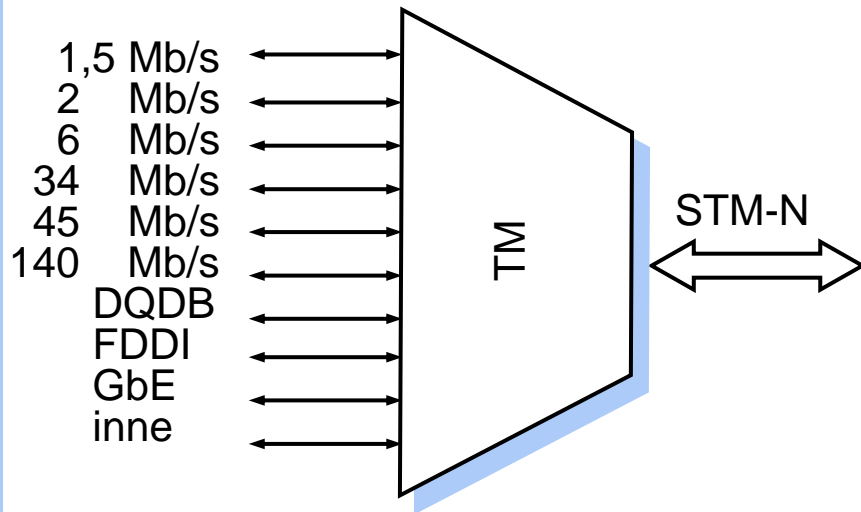
# Urządzenia sieci SDH

# Regenerative

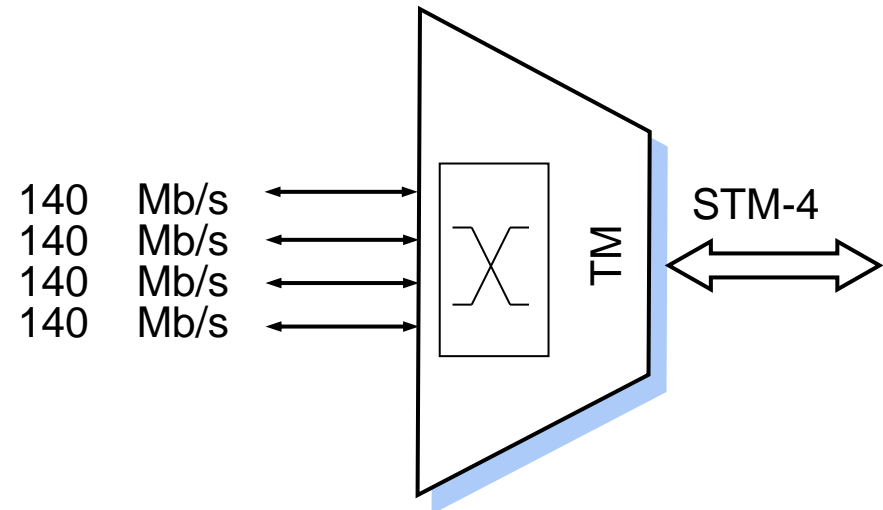


# Multipleksery końcowe - TM

a)

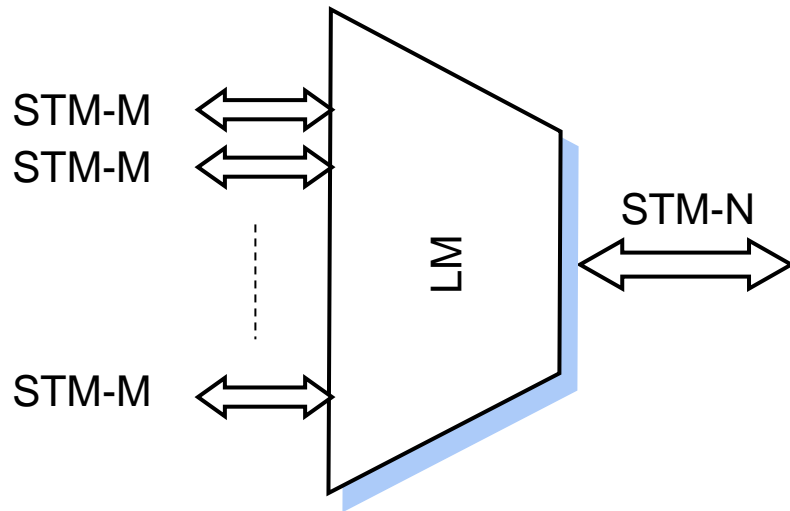


b)

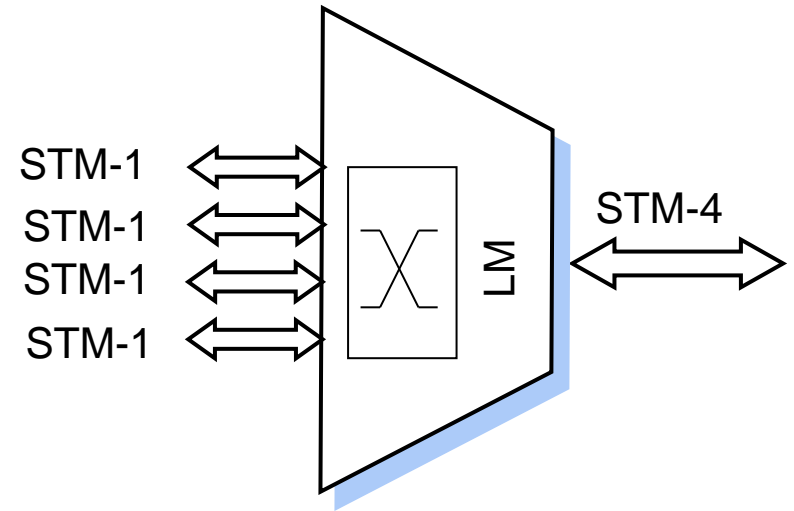


# Multipleksery liniowe - LM

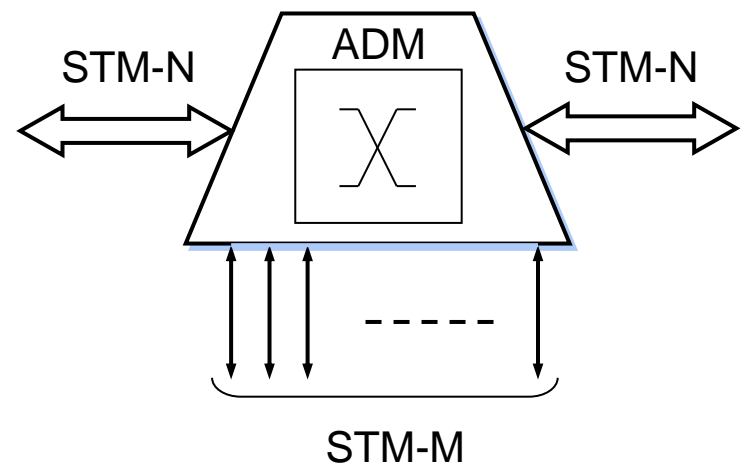
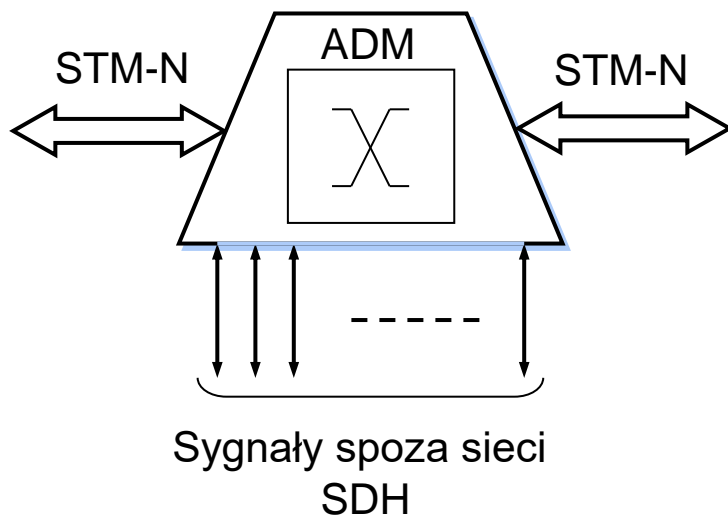
a)



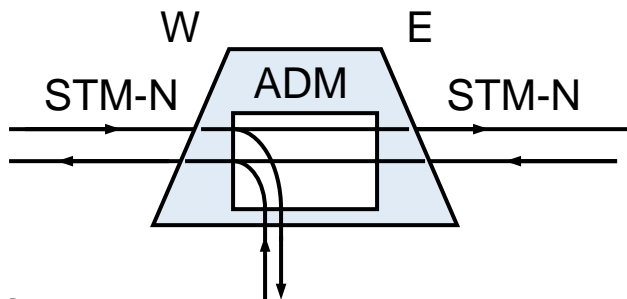
b)



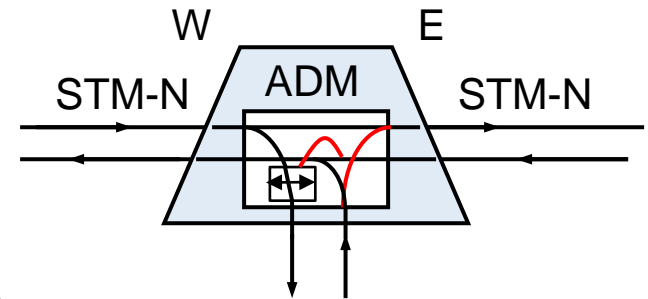
# Multipleksery transferowe - ADM



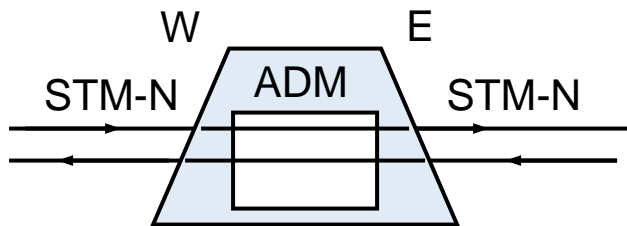
# Przykłady konfiguracji matryc przełączania



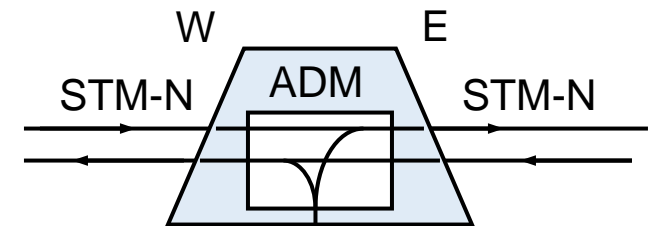
**D/I bidirectional W**



**D/I PROT W**

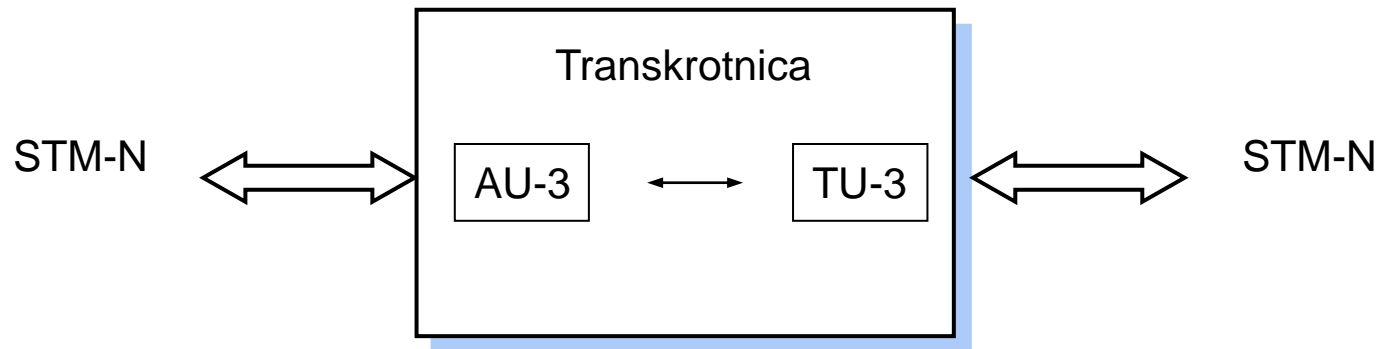


**PASS THROUGH**



**BRIDGE**

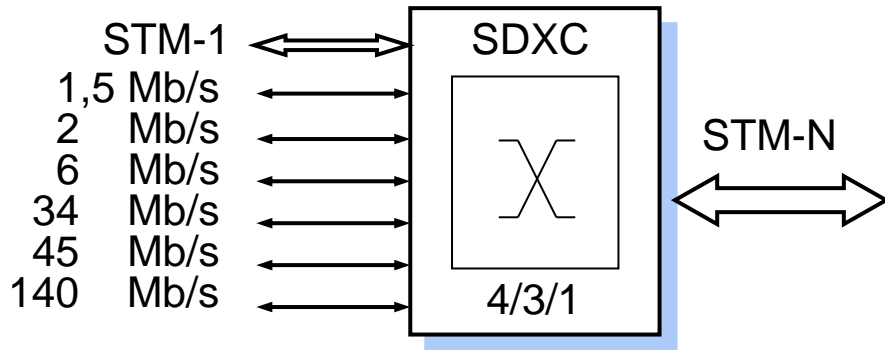
# Transkrotnica (transmultiplexser)



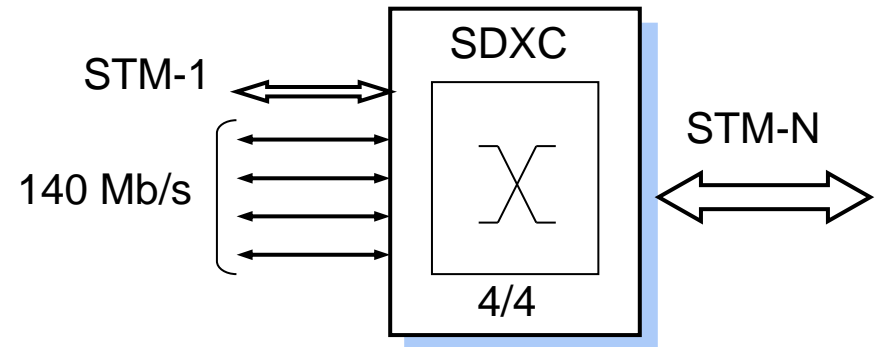


# Przełącznice cyfrowe SDXC

a)

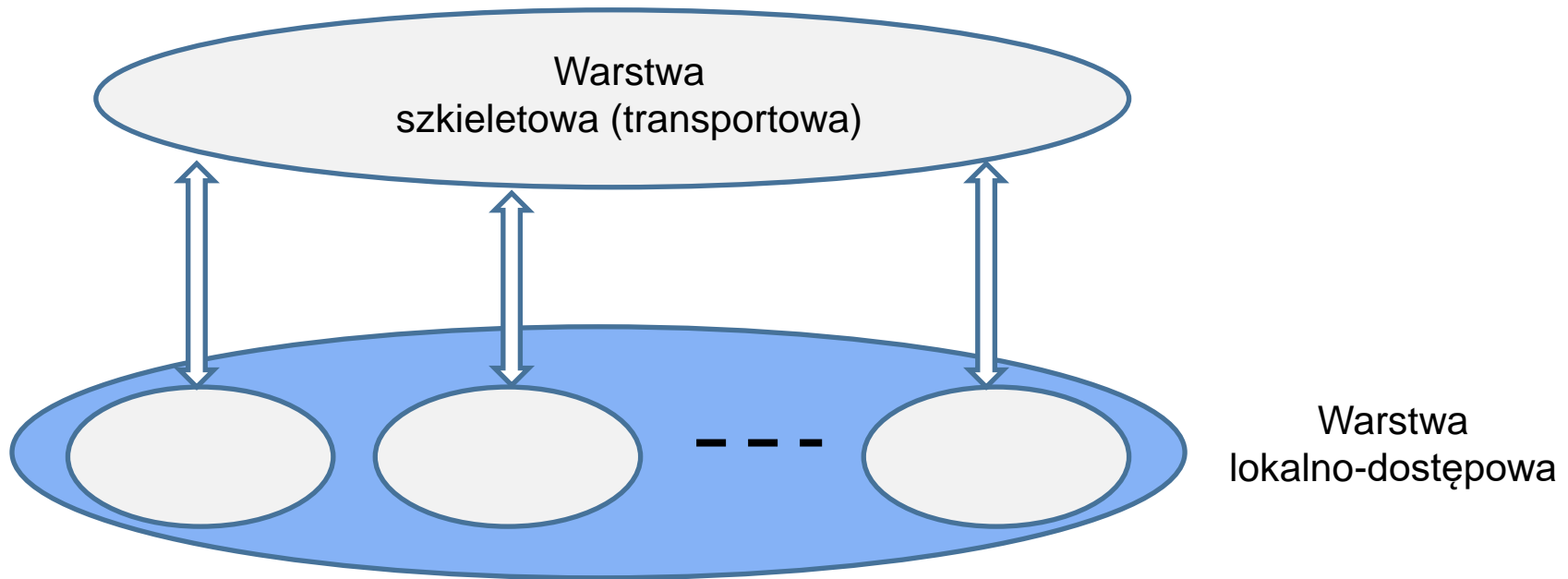


b)

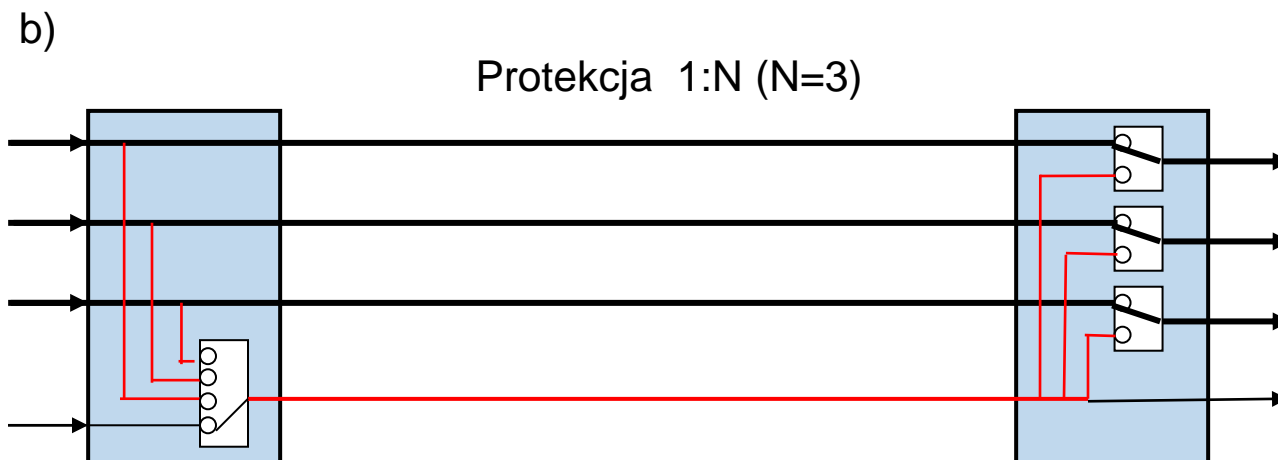
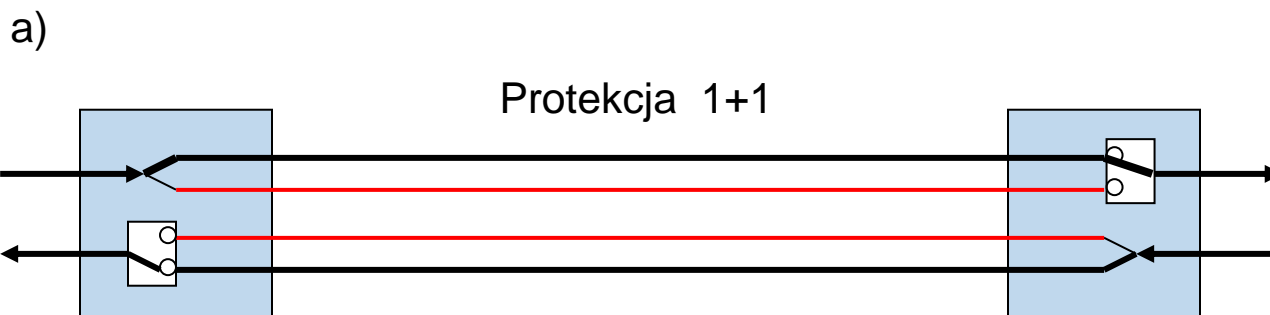


# Struktury sieci SDH

# Warstwowa struktura sieci transmisyjnej



# Połączenia punkt-punkt

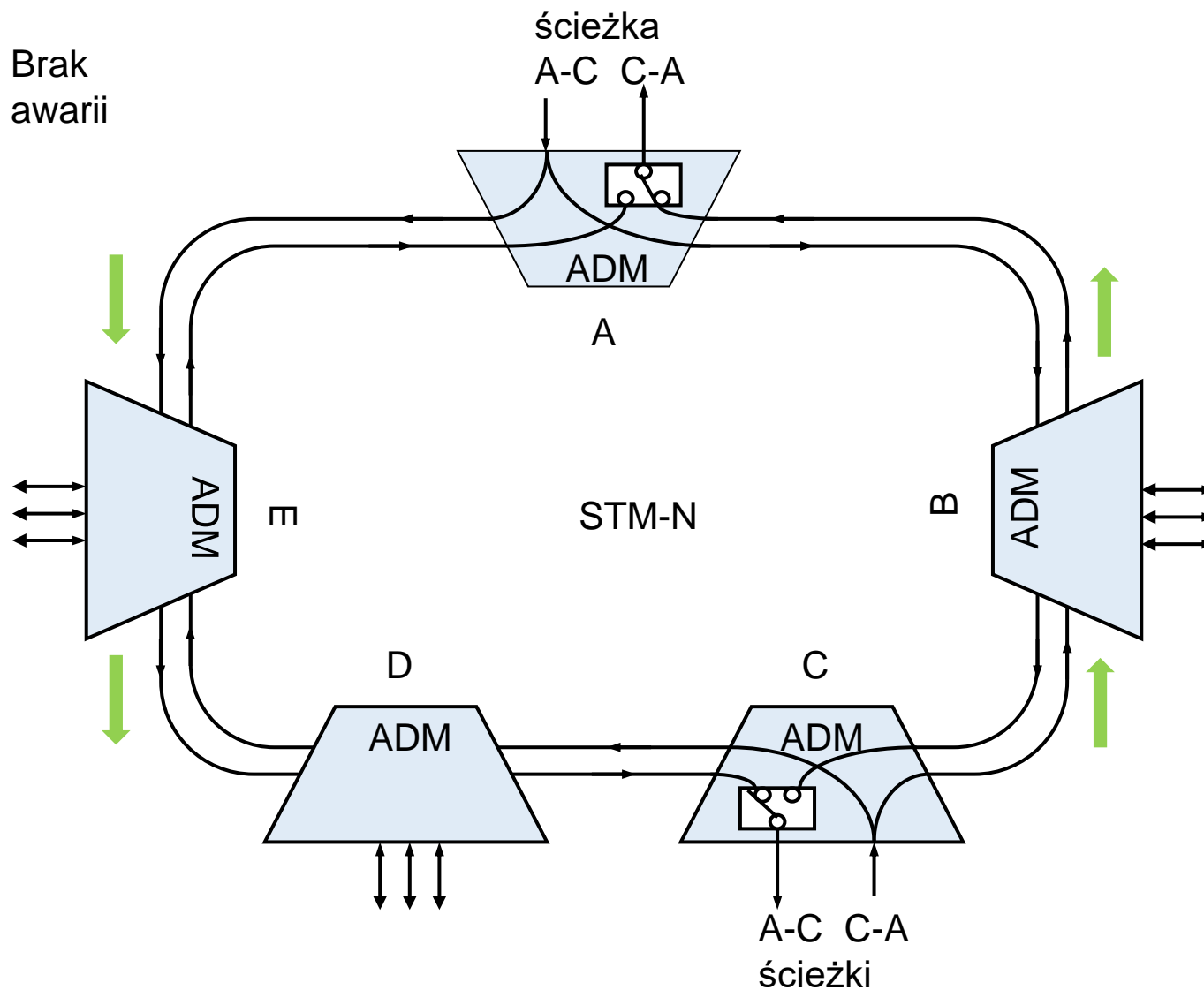


tor roboczy

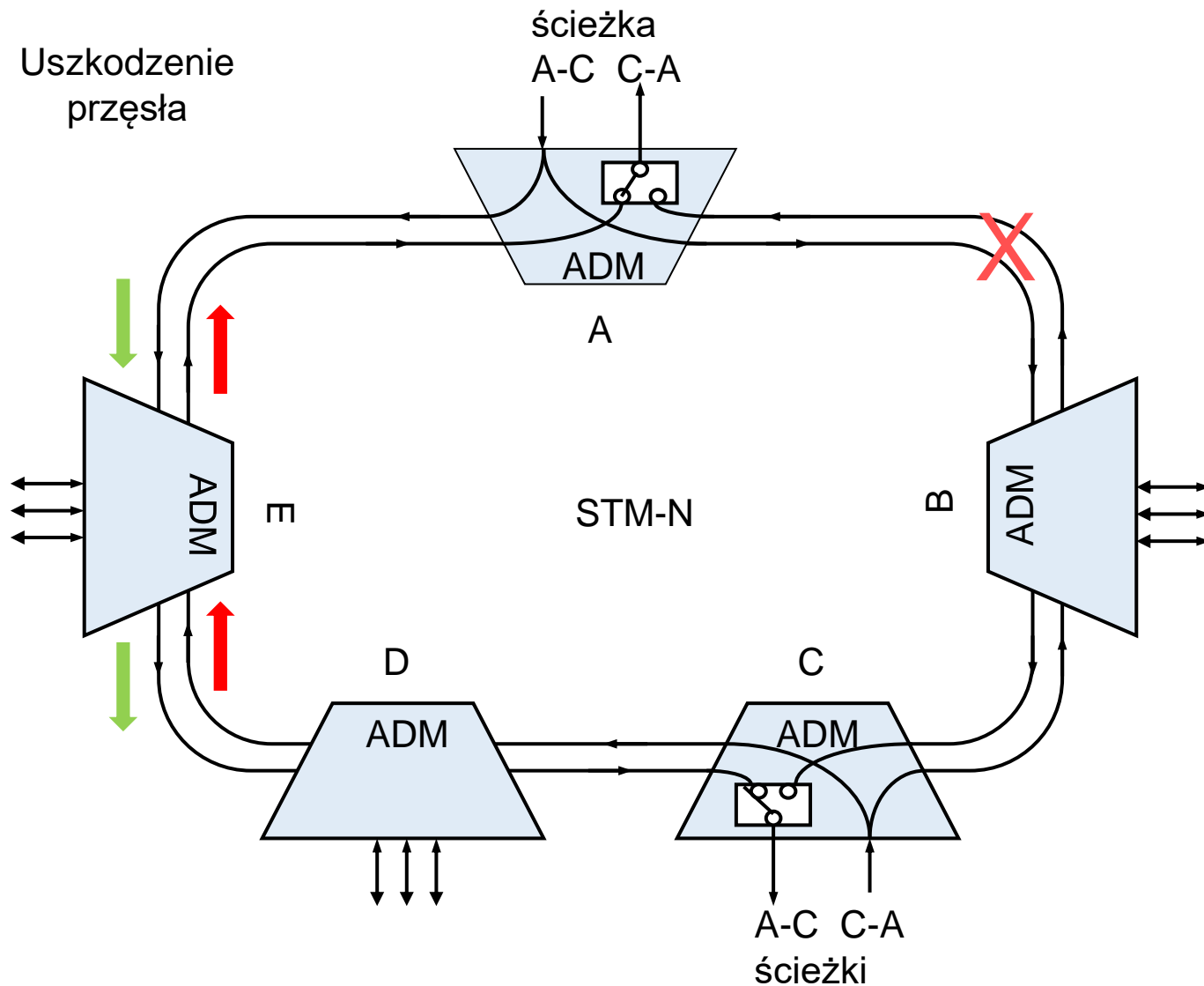


tor rezerwow

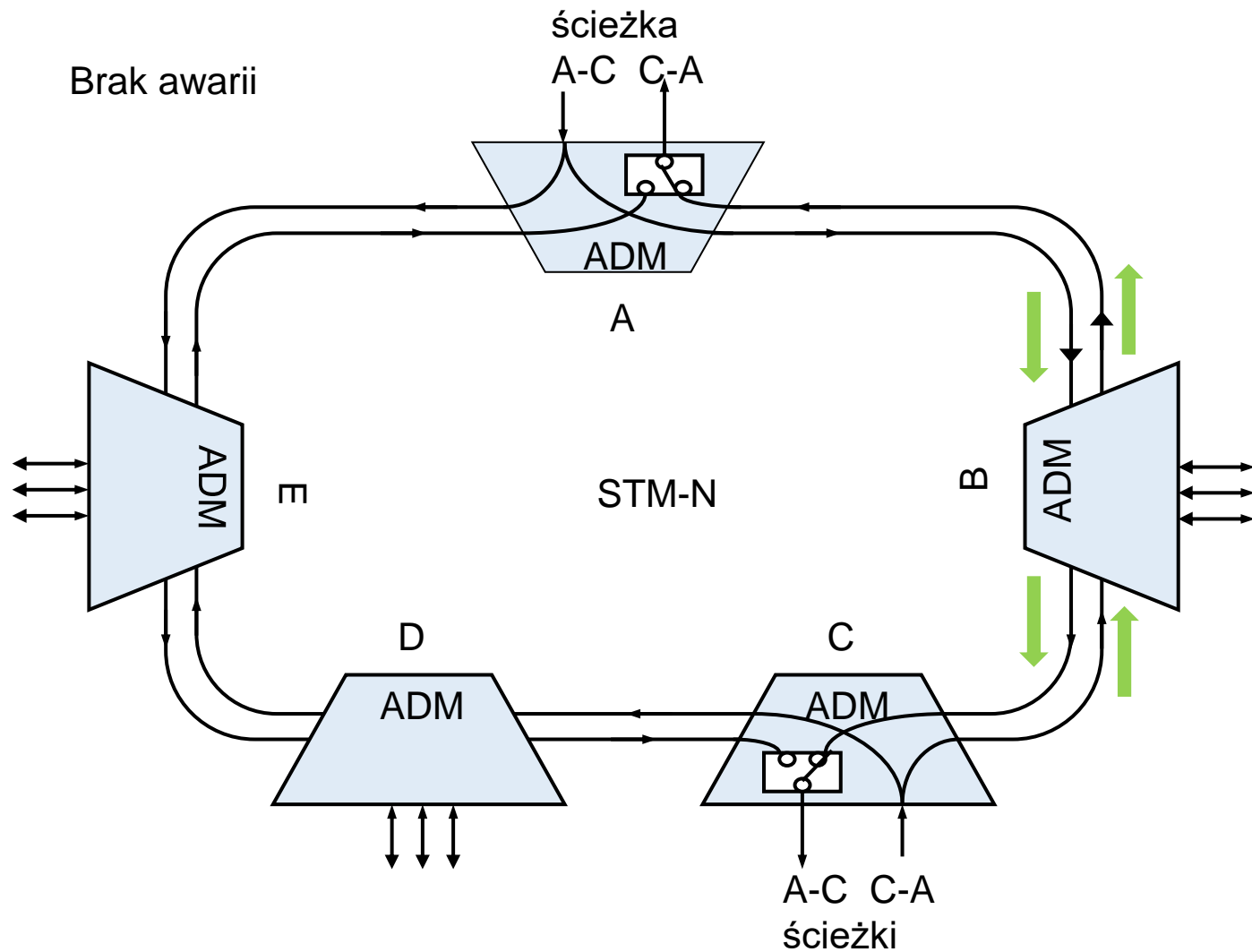
# Pierścień jednokierunkowy



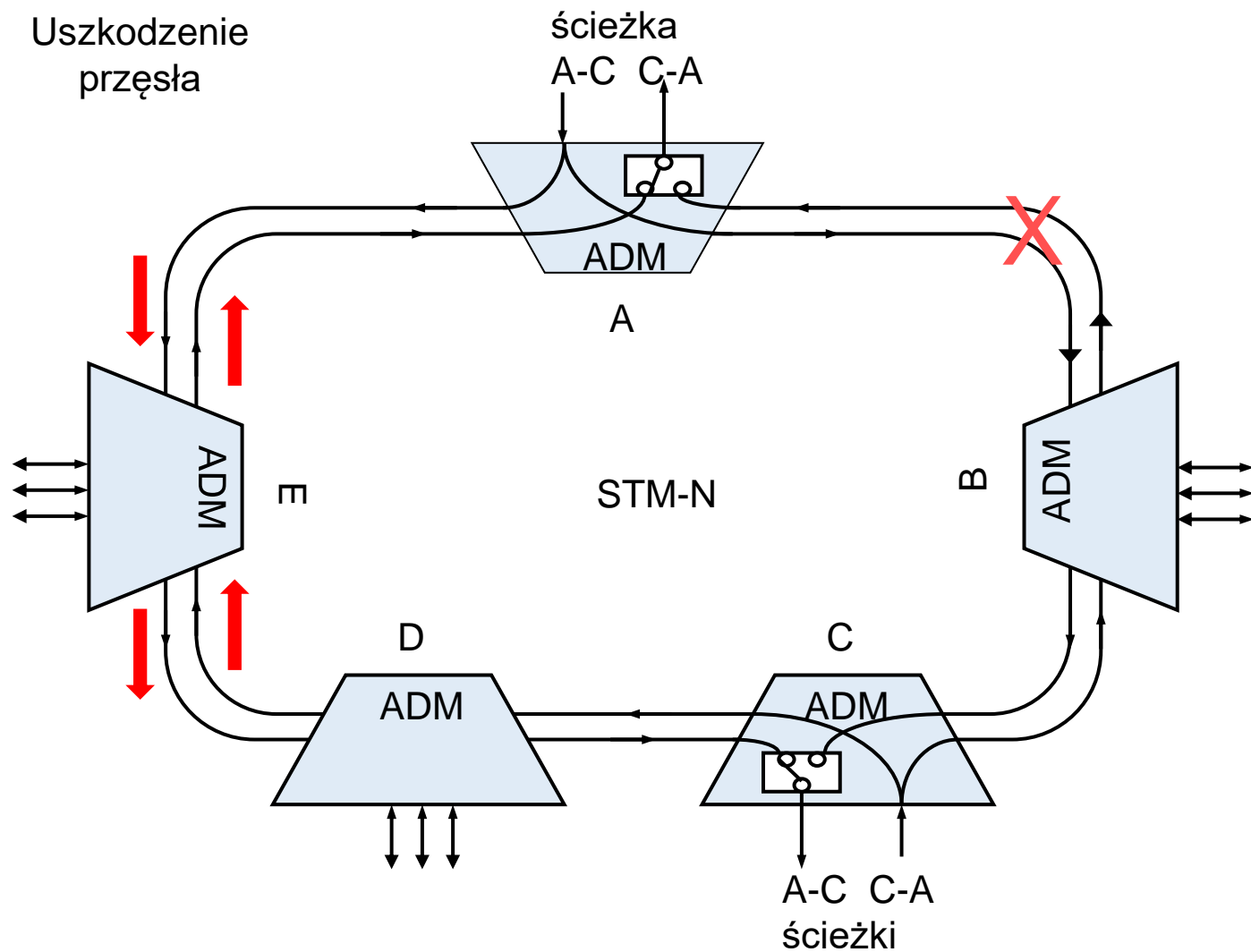
# Pierścień jednokierunkowy



# Pierścień dwukierunkowy - dwutorowy



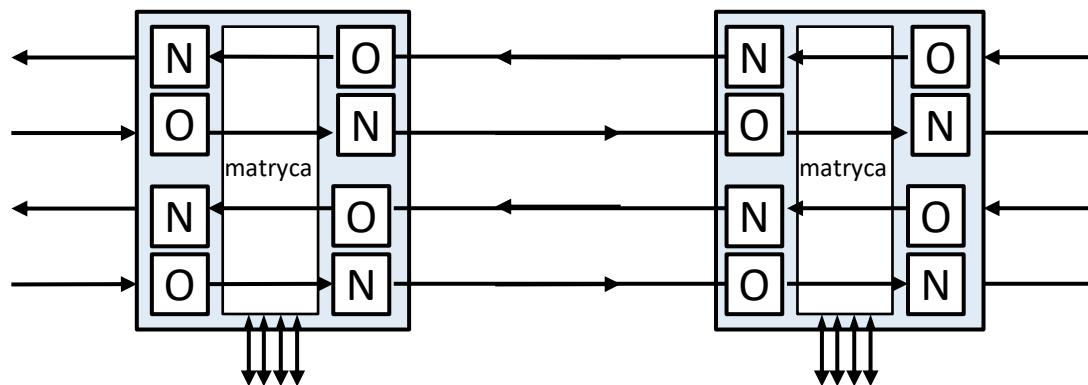
# Pierścień dwukierunkowy dwutorowy



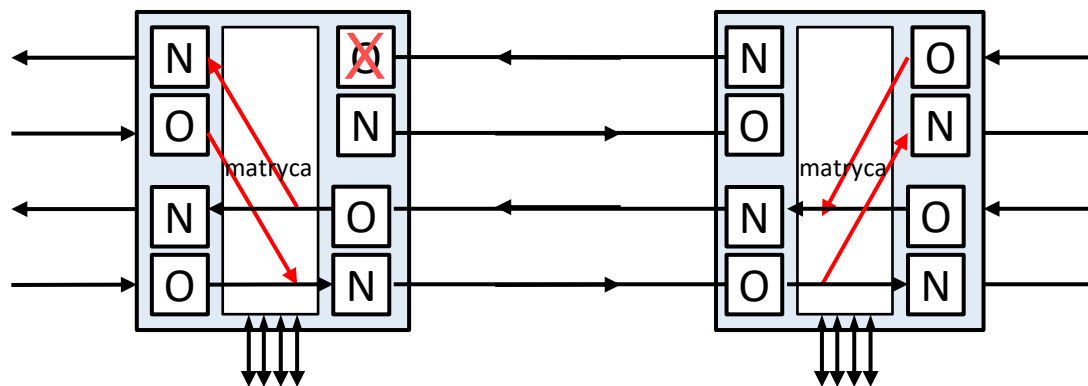


# Pierścień dwukierunkowy czterotorowy

Brak awarii

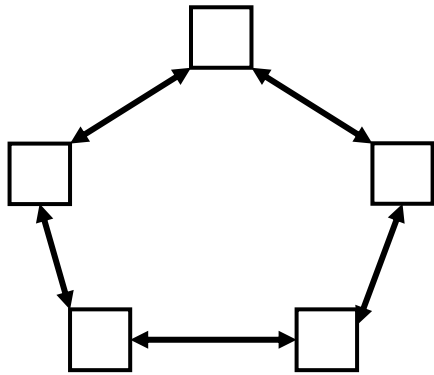


Uszkodzenie odbiornika

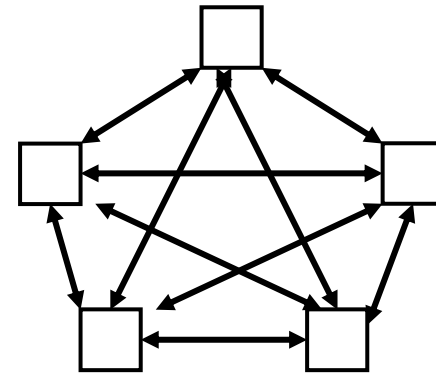


# Rozkład ścieżek w pierścieniu

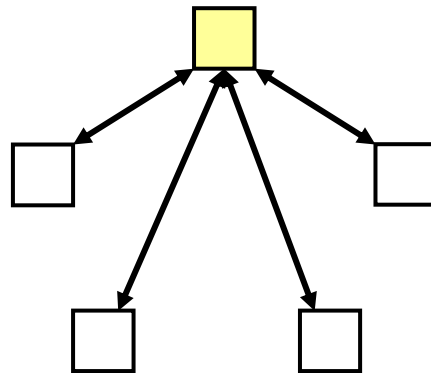
a) Rozkład do sąsiedniego węzła



b) Rozkład jednorodny



c) Rozkład z węzłem centralnym

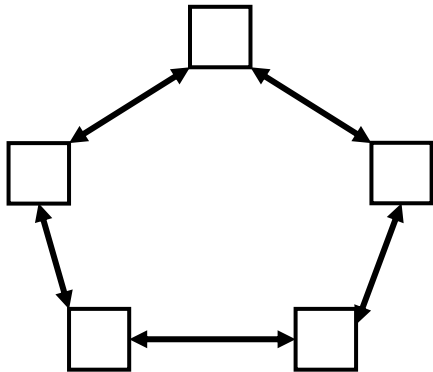


# Względne wykorzystanie przepustowości

$$\text{względne wykorzystanie} \\ \text{przepustowości pierścienia} = \frac{\sum \text{ścieżek dwukierunkowych } VC_4 \text{ z protekcją}}{STM-N} N$$

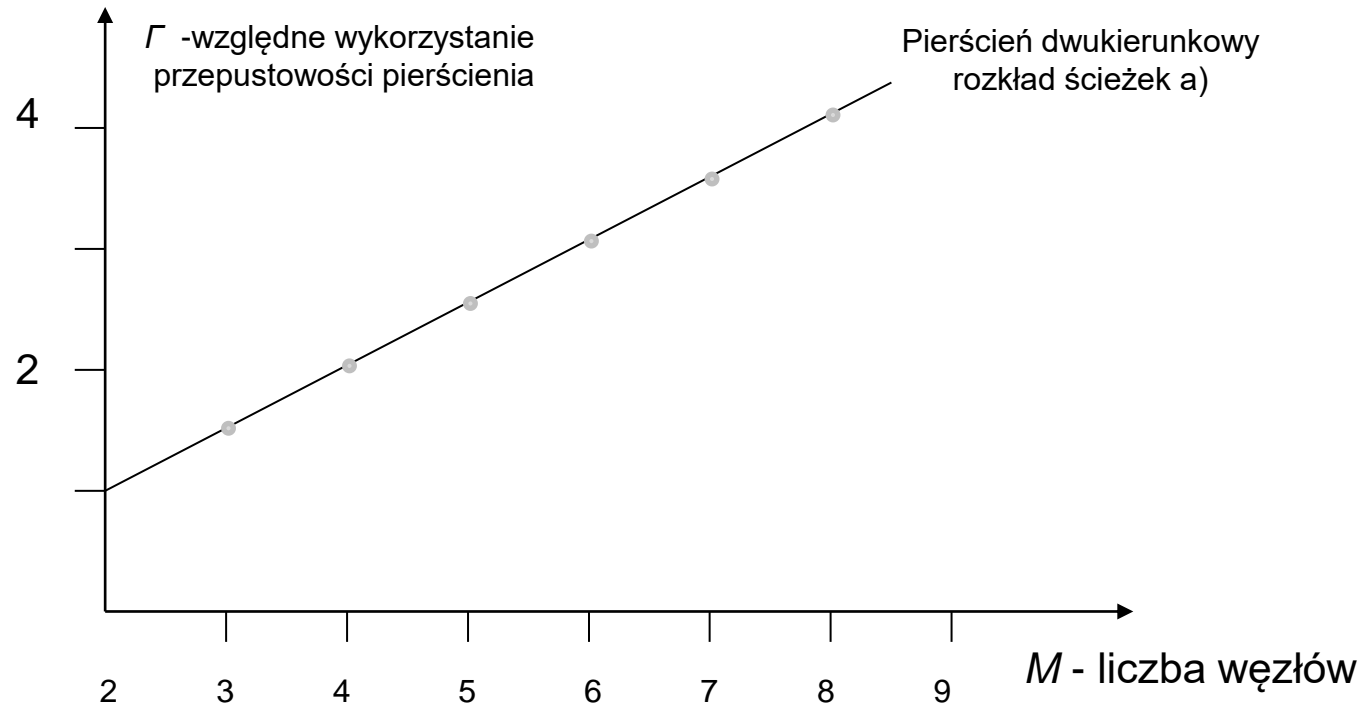
# Rozkład ścieżek w pierścieniu

Rozkład do sąsiedniego węzła – pierścień dwukierunkowy



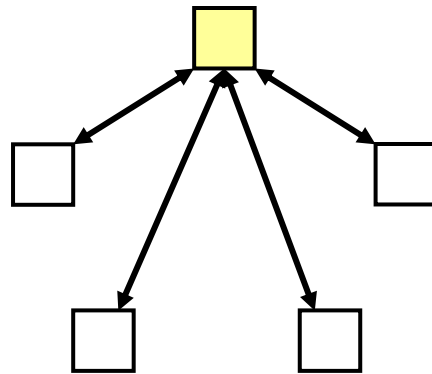
$$\Gamma = \frac{M}{2} \cdot N$$

# Efektywność tworzenia ścieżek w pierścieniu



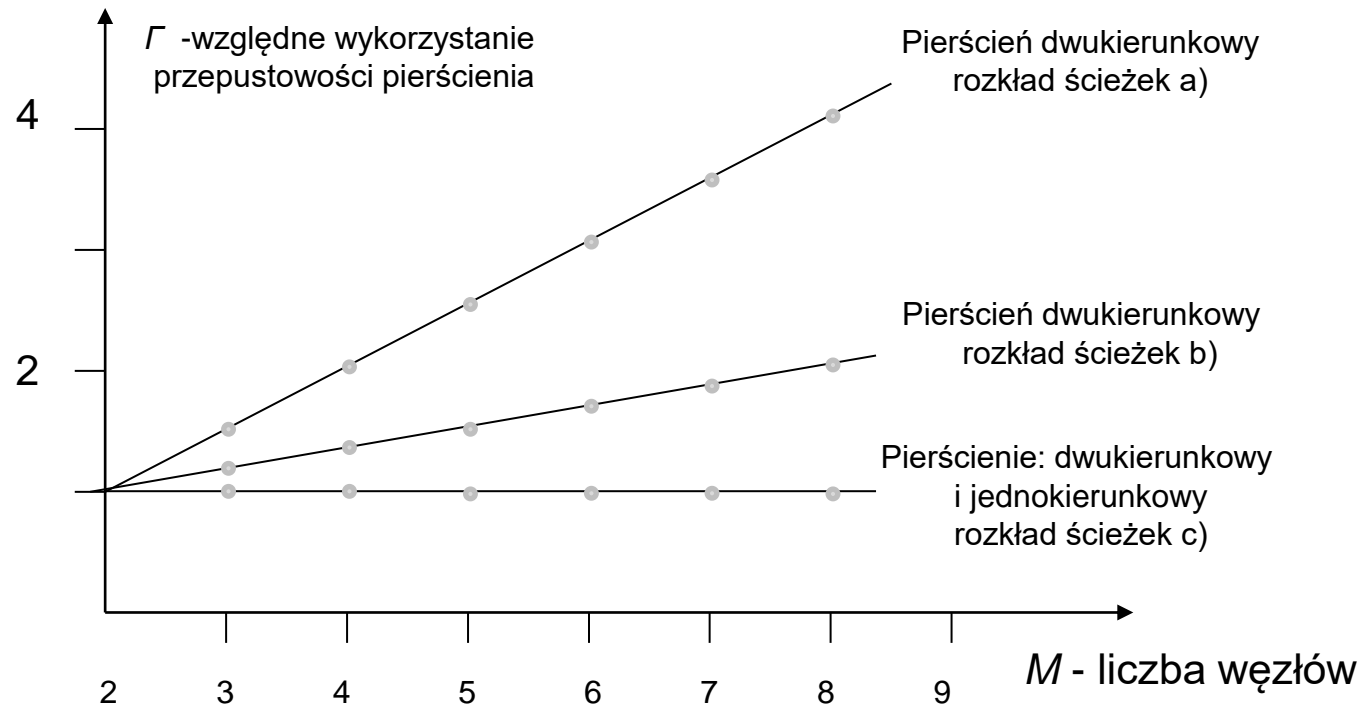
# Rozkład ścieżek w pierścieniu

Rozkład z węzłem centralnym

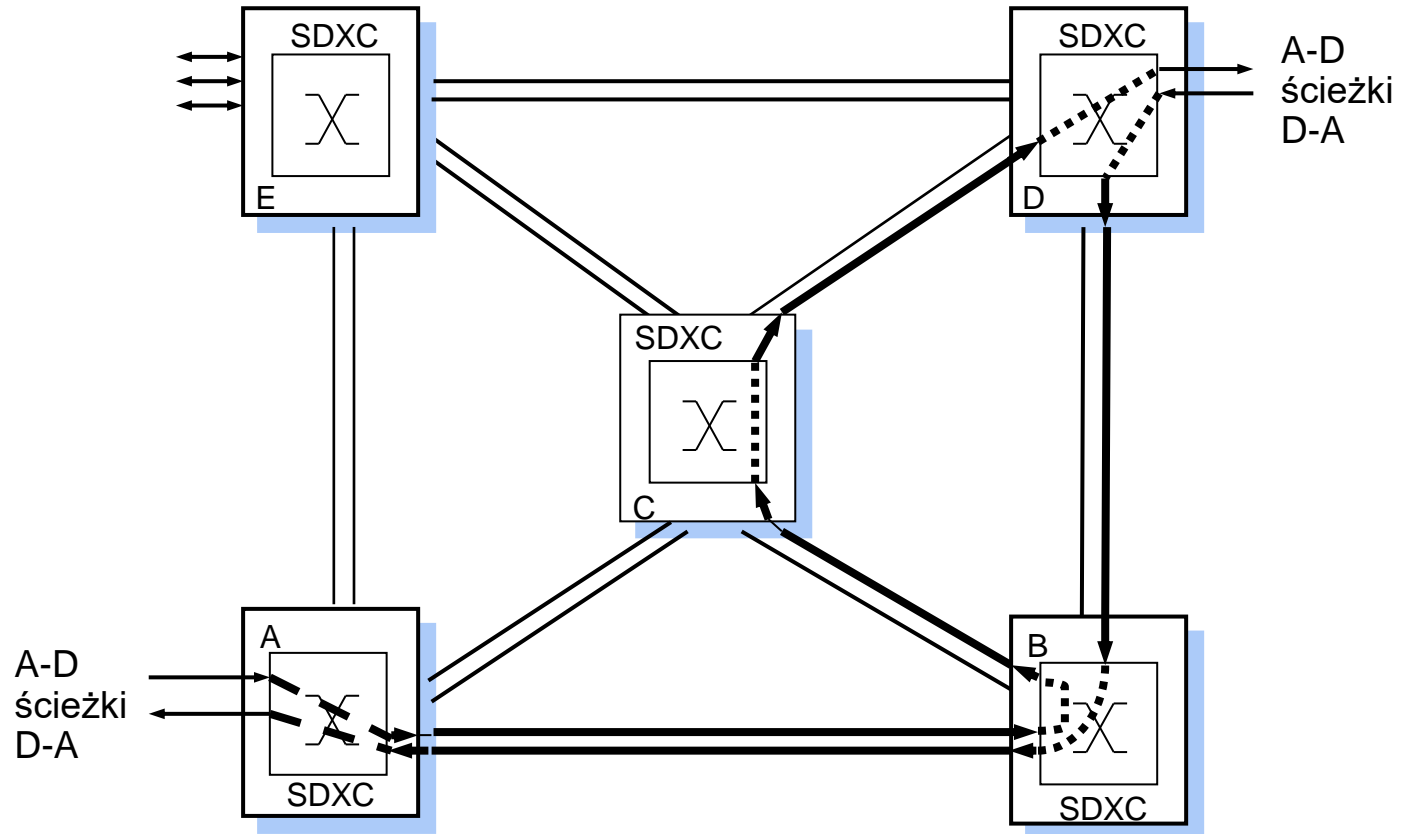


$$\Gamma = \frac{N/2 + N/2}{N} = 1$$

# Efektywność tworzenia ścieżek w pierścieniu



# Struktura kratowa





# Protekcja a restoracja

- Protekcja** – w sieci dwie ścieżki są tworzone na stałe, jedna robocza, druga rezerwowa, dostępna w razie potrzeby tylko dla sygnału przesyłanego ścieżką roboczą, przełączanie na rezerwę jest automatyczne i szybkie, zwykle poniżej 50 ms.
- Restoracja** – brak dedykowanej ścieżki rezerwowej, w sieci jest pewna liczba nieużywanych ścieżek, które mogą być użyte w razie potrzeby, o utworzeniu połączenia drogą rezerwową decyduje system zarządzania siecią, przełączanie jest wolniejsze

# **SyncE**

## **Synchronous Ethernet**

# Synchroniczny Ethernet

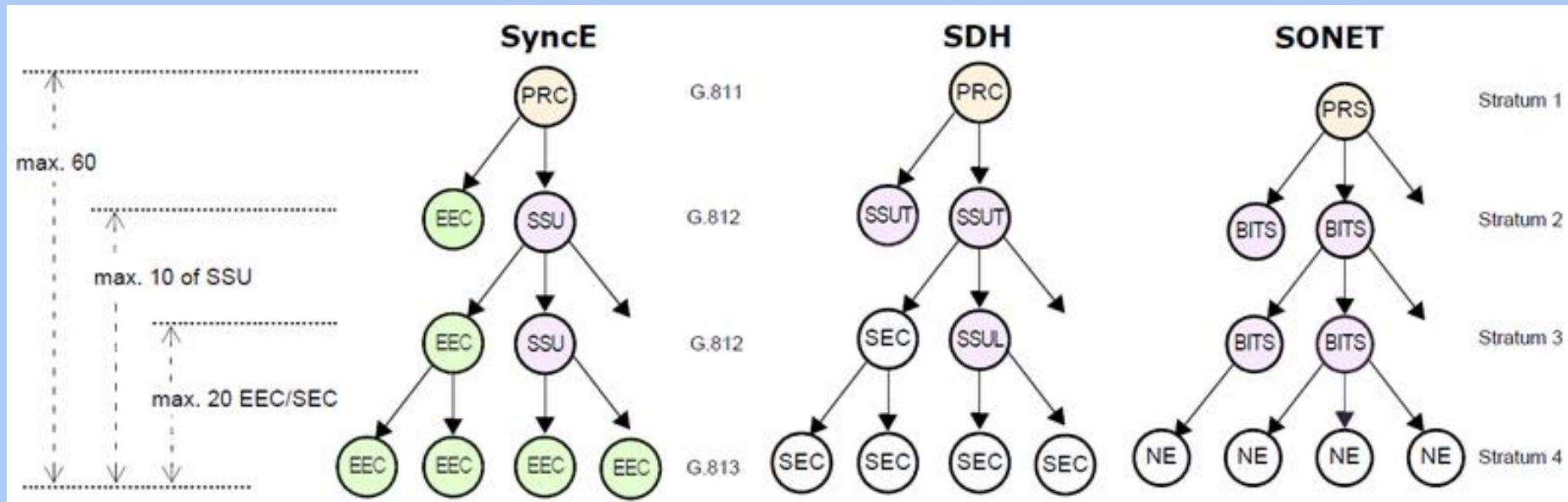
Standardy ITU-T opracowane we współpracy z IEEE:

ITU-T Rec. G.8261 – architektura i wymagania na wander w sieci SyncE

ITU-T Rec. G.8262 – wymagania na zegary w sieci SyncE

ITU-T Rec. G.8264 – opis kanału ESMC (Ethernet Synchronization Messaging Channel)

# Synchroniczny Ethernet



# Wiadomość SSM w przypadku SyncE

Zegar	Wiadomość	Kod	Odpowiednik w SDH
EEC 1	QL EEC 1	0xB	SEC
EEC 2	QL EEC 2	0xA	Typ IV

Typ IV – zegar klasy SEC opcja 2, tj. podtrzymanie nie 4,6 ppm, lecz 20 ppm

**Koniec części pierwszej**