

# **NIEZAWODNOŚĆ I DIAGNOSTYKA UKŁADÓW CYFROWYCH**

## **SPRAWOZDANIE Z PROJEKTU**

Transmisja w systemie ARQ (Automatic Repeat Request)

Konrad Kieda, 250997

Katarzyna Bucka, 248826

# Spis treści

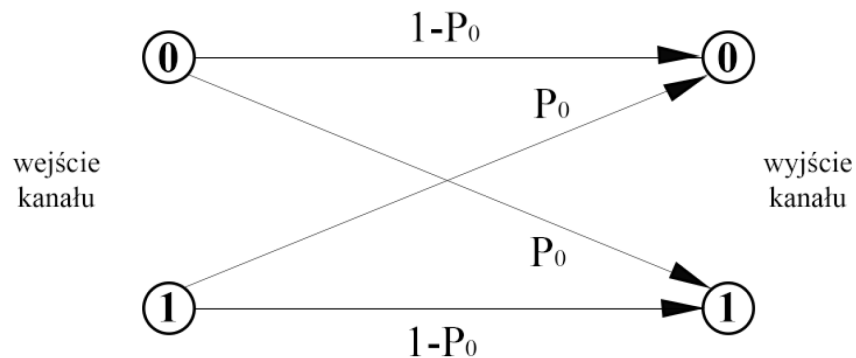
Spis treści .....	2
<b>Cel i założenia projektu .....</b>	<b>3</b>
Wstęp teoretyczny .....	3
Model KBS (BSC).....	3
Model Gilberta .....	3
Bit parzystości .....	3
Suma kontrolna.....	3
CRC32.....	4
System ARQ.....	4
Cel projektu .....	4
Założenia .....	4
Modele kanałów transmisyjnych .....	4
Badane kody detekcyjne.....	4
Środowisko programistyczne .....	4
Dane na wyjściu programu.....	4
<b>Opis symulatora .....</b>	<b>5</b>
Uruchamianie symulatora .....	5
Działanie symulatora .....	5
Graficzny interfejs użytkownika .....	6
Parametry wejściowe .....	6
Parametry wyjściowe .....	7
<b>Przebieg eksperymentu symulacyjnego .....</b>	<b>7</b>
<b>Wyniki eksperymentu .....</b>	<b>8</b>
Kanał KBS .....	8
Wszystkie wyniki .....	8
Bit parzystości .....	9
Suma kontrolna.....	10
CRC32.....	11
Kanał Gilberta .....	12
Wszystkie wyniki .....	12
Bit parzystości .....	13
Suma kontrolna.....	14
CRC32.....	15
<b>Analiza wyników .....</b>	<b>16</b>
Kanał KBS .....	16
Kanał Gilberta .....	17
Porównanie kanałów .....	18
<b>Uwagi i wnioski.....</b>	<b>18</b>

## 1. Cel i założenia projektu

### a. Wstęp teoretyczny

#### i. Model KBS (BSC)

W modelu KBS występuje parametr  $P_0$ , który określa prawdopodobieństwo przekazania błędnej wartości danego bitu. Prawdopodobieństwo to jest takie samo dla każdego bitu sygnału.

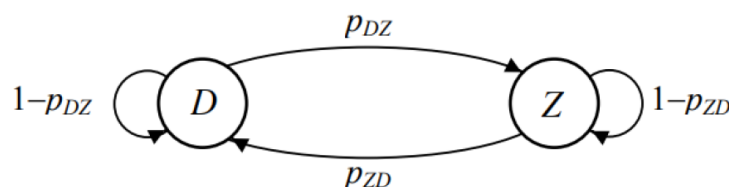


#### ii. Model Gilberta

W modelu Gilberta kanał ma dwa stany: dobry ( $D$ ) i zły ( $Z$ ). Prawdopodobieństwo przejścia ze stanu  $Z$  do  $D$  to  $p_{ZD}$ , a prawdopodobieństwo przejścia ze stanu  $D$  do  $Z$  to  $p_{DZ}$ .

Prawdopodobieństwo pozostania w stanie  $D$  lub  $Z$  to odpowiednio  $1-p_{DZ}$  lub  $1-p_{ZD}$ .

Prawdopodobieństwo przekłamania w stanie dobrym to  $p_D$ , natomiast w stanie złym -  $p_Z$ .



#### iii. Bit parzystości

Wysyłany sygnał dzielony jest na części, o określonej długości. Bit parzystości to reszta z dzielenia sumy bitów w danej części sygnału przez 2. Dodawany jest na koniec każdej z części.

#### iv. Suma kontrolna

Suma kontrolna to suma wszystkich bitów sygnału przycięta do zadanej długości. Jest dodawana na sam koniec sygnału.

v. CRC32

CRC, czyli cykliczny kod nadmiarowy, to rodzaj sumy kontrolnej o stałej długości 32 bitów. Kod obliczany jest poprzez dzielenie przez  $(n+1)$ -bitowy dzielnik CRC, zwany również wielomianem CRC.

vi. System ARQ

System ARQ (ang. *Automatic Repeat Query*) to metoda kontroli błędów w transmisji danych, która wykorzystuje potwierdzenia (komunikaty wysyłane przez odbiornik, wskazujące, że przesłany pakiet został odebrany poprawnie) i przekroczenia limitu czasu, aby uzyskać niezawodną transmisję danych przez mało wiarygodną usługę. Jeśli nadawca nie otrzyma potwierdzenia przed upływem limitu czasu, zwykle ponownie przesyła pakiet, dopóki go nie otrzyma lub dopóki nie przekroczy określonej liczby retransmisji.

**b. Cel projektu**

Celem projektu była symulacja transmisji danych w systemie ARQ (*Automatic Repeat Request*).

**c. Założenia**

i. Modele kanałów transmisyjnych

- Model KBS (BSC)
- Model Gilberta

ii. Badane kody detekcyjne

- Bit parzystości
- CRC32
- Suma kontrolna

iii. Środowisko programistyczne

Symulator został stworzony w środowisku programistycznym *MATLAB*. Do implementacji wykorzystana została dodatkowa biblioteka *Communications Toolbox*.

iv. Dane na wyjściu programu

- Czas transmisji
- Całkowita nadmiarowość
- Bit Error Rate (BER)
- Ilość prób przesłania

## 2. Opis symulatora

### a. Uruchamianie symulatora

Do otwarcia programu wymagane jest środowisko MATLAB z zainstalowanym pakietem Communications Toolbox.

Symulator może zostać uruchomiony poprzez włączenie graficznego interfejsu użytkownika lub poprzez wywołanie funkcji.

- Uruchamianie graficznego interfejsu użytkownika

Aby uruchomić graficzny interfejs użytkownika (GUI) w środowisku MATLAB należy otworzyć plik *arq\_gui.mlapp*, a następnie wcisnąć przycisk *Run* lub *F5*.

- Wywoływanie funkcji symulatora

Aby wywołać funkcję symulatora należy wpisać w konsoli

Aby uruchomić symulator poprzez wywołanie funkcji należy wykorzystać następujący fragment kodu:

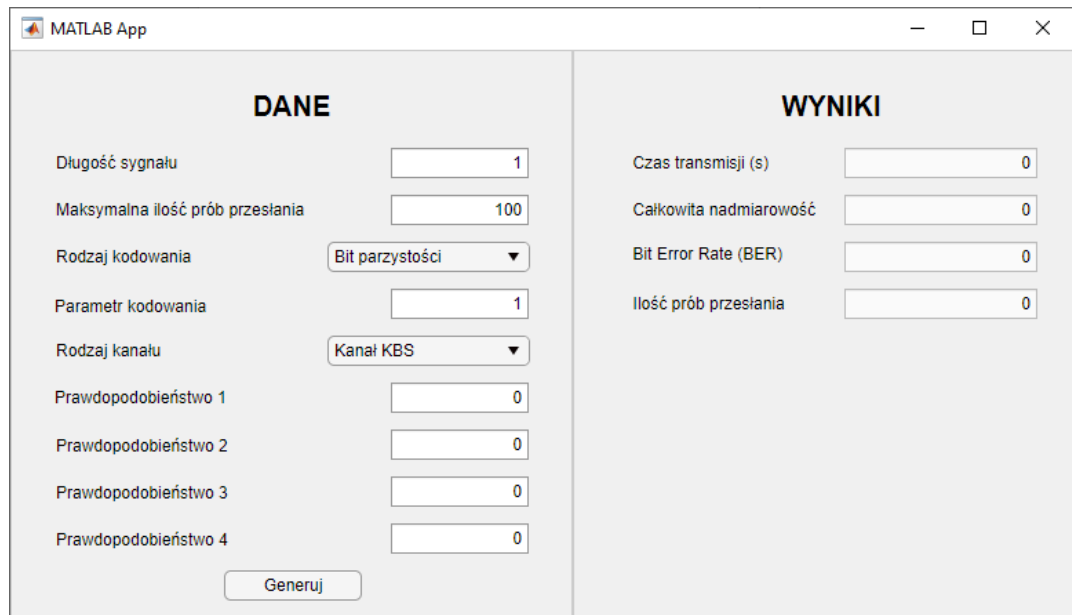
```
[time_taken, bit_error_rate, total_redundancy,  
attempts_taken] = arq_main( signal_length, max_attempts,  
code_type, coding_param, channel_type, first_probability,  
second_probability, third_probability,  
fourth_probability)
```

Na niebiesko zaznaczone zostały parametry wyjściowe, a na pomarańczowo – parametry wejściowe. Powyższy fragment może zostać wpisany w konsoli środowiska MATLAB lub wykorzystany wewnątrz skryptu.

### b. Działanie symulatora

Aplikacja umożliwia symulację przy użyciu dwóch modeli kanału transmisyjnego: kanału KBS (BSC) i kanału Gilberta. Rodzaje kodowania do wyboru to: bit parzystości, suma kontrolna i CRC32. Symulator generuje sygnał o zadanej długości, koduje go w wybrany sposób, a następnie generuje zakłócenia przy użyciu odpowiedniego kanału. Jeżeli w sygnale odnalezione zostaną błędy, przesyłany jest on ponownie (maksymalna liczba prób jest wstępnie ustawiona na 100). Na wyjściu programu pokazywane są trzy wartości: czas wykonania, Bit Error Rate (BER) oraz całkowita nadmiarowość wybranego sposobu kodowania.

### c. Graficzny interfejs użytkownika



Graficzny interfejs użytkownika umożliwia wykonywanie pojedynczych symulacji dla podanych parametrów wejściowych. Pola w sekcji *Dane* są edytowalne i to tam powinny zostać wpisane wszystkie parametry (z zachowaniem zasad przyjętych w dokumentacji).

Wyniki symulacji wyświetlają się w polach po prawej stronie. Jeżeli testy wykonane zostały dla dużych danych, na wyświetlenie wyników należy poczekać od kilku sekund do kilku minut (czas zależny od wpisanych parametrów).

### d. Parametry wejściowe

Symulator udostępnia interfejs graficzny, w którym można uzupełniać parametry, według których sygnał ma być wygenerowany i przesłany.

- Długość sygnału – dodatnia liczba całkowita.
- Maksymalna ilość prób przesłania – dodatnia liczba całkowita. W przypadku wystąpienia błędu, tyle razy będzie podejmowana próba przesłania sygnału (ograniczenie wprowadzone, aby proces nie trwał w nieskończoność, szczególnie w przypadku wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia błędu).
- Rodzaj kodowania - do wyboru: *Bit parzystości*, *Suma kontrolna* oraz *CRC32*.
- Parametr kodowania - w przypadku wyboru bitu parzystości jako rodzaj kodowania, oznacza długość części, na jakie zostanie podzielony sygnał. Jeżeli wybrano sumę kontrolną, wartość pola będzie odpowiadała długości sumy kontrolnej dołączonej na koniec sygnału. Dla wyboru kodowania CRC32 parametr nie jest brany pod uwagę i nie musi być uzupełniony.
- Rodzaj kanału – do wyboru: *Kanał KBS* oraz *Kanał Gilberta*.

- Prawdopodobieństwo 1 - Jeżeli wybrany rodzaj kanału to kanał KBS, wartość parametru oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia błędu dla danego bitu. Dla kanału Gilberta będzie to parametr odpowiadający prawdopodobieństwu przejścia ze stanu D do Z (PDZ). Wartość wpisana w to pole musi być należeć do przedziału [0, 100000].
- Prawdopodobieństwo 2 - Dla kanału Gilberta parametr odpowiada prawdopodobieństwu przejścia ze stanu Z do D (PZD). W przypadku kanału KBS pole nie jest brane pod uwagę i nie musi być uzupełnione. Wartość wpisana w to pole musi być należeć do przedziału [0, 100000].
- Prawdopodobieństwo 3 - Dla kanału Gilberta parametr odpowiada prawdopodobieństwu niewystąpienia błędu w stanie dobrym (PD). W przypadku kanału KBS pole nie jest brane pod uwagę i nie musi być uzupełnione. Wartość wpisana w to pole musi być należeć do przedziału [0, 100000].
- Prawdopodobieństwo 4 - Dla kanału Gilberta parametr odpowiada prawdopodobieństwu wystąpienia błędu w stanie złym (PZ). W przypadku kanału KBS pole nie jest brane pod uwagę i nie musi być uzupełnione. Wartość wpisana w to pole musi być należeć do przedziału [0, 100000].

#### e. Parametry wyjściowe

W wyniku działania programu zwracane są 4 wartości:

- Czas transmisji (s) - łączny czas trwania transmisji sygnału o zadanych parametrach.
- Całkowita nadmiarowość – całkowita nadmiarowość sygnału o zadanych parametrach.
- Bit Error Rate (BER) – stosunek ilości przekłamań do liczby przesłanych bitów.
- Ilość prób przesłania – ilość podjętych prób przesłania sygnału, równoznaczna z ilością prób, w których przesłany sygnał zawierał błędy.

### 3. Przebieg eksperymentu symulacyjnego

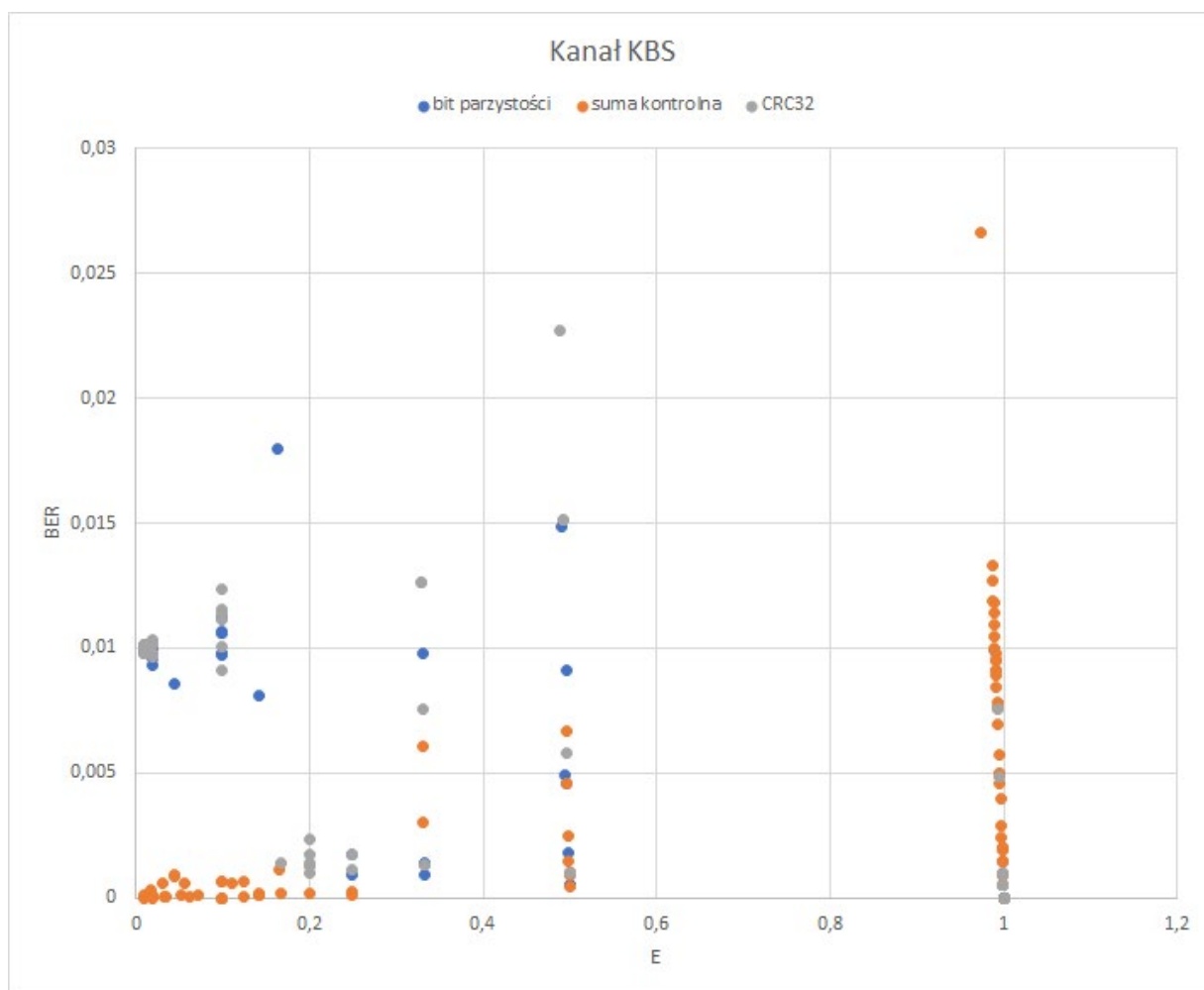
Eksperyment został przeprowadzony za pomocą dodatkowej funkcji *test.m*, dzięki której mogliśmy zbadać zachowanie się poszczególnych kanałów czy sposobów kodowań danych. Sam eksperyment został przeprowadzony dla kilku ustalonych z góry parametrów, które zostały zawarte w dwóch macierzach – w *prob\_matrix* znajdują się parametry (prawdopodobieństwa) dla kanałów, natomiast w *arq\_param* zostały zawarte pozostałe parametry potrzebne w symulacji - długość sygnału, ilość prób oraz parametr kodowania (dla bitu parzystości oraz sumy kontrolnej). Następnie wyniki zostały wpisane do skoroszytu.

#### 4. Wyniki eksperymentu

Dokładne wyniki zostały zawarte w skoroszycie *test\_output.xlsx* znajdującym się na Githubie.

##### a. Kanał KBS

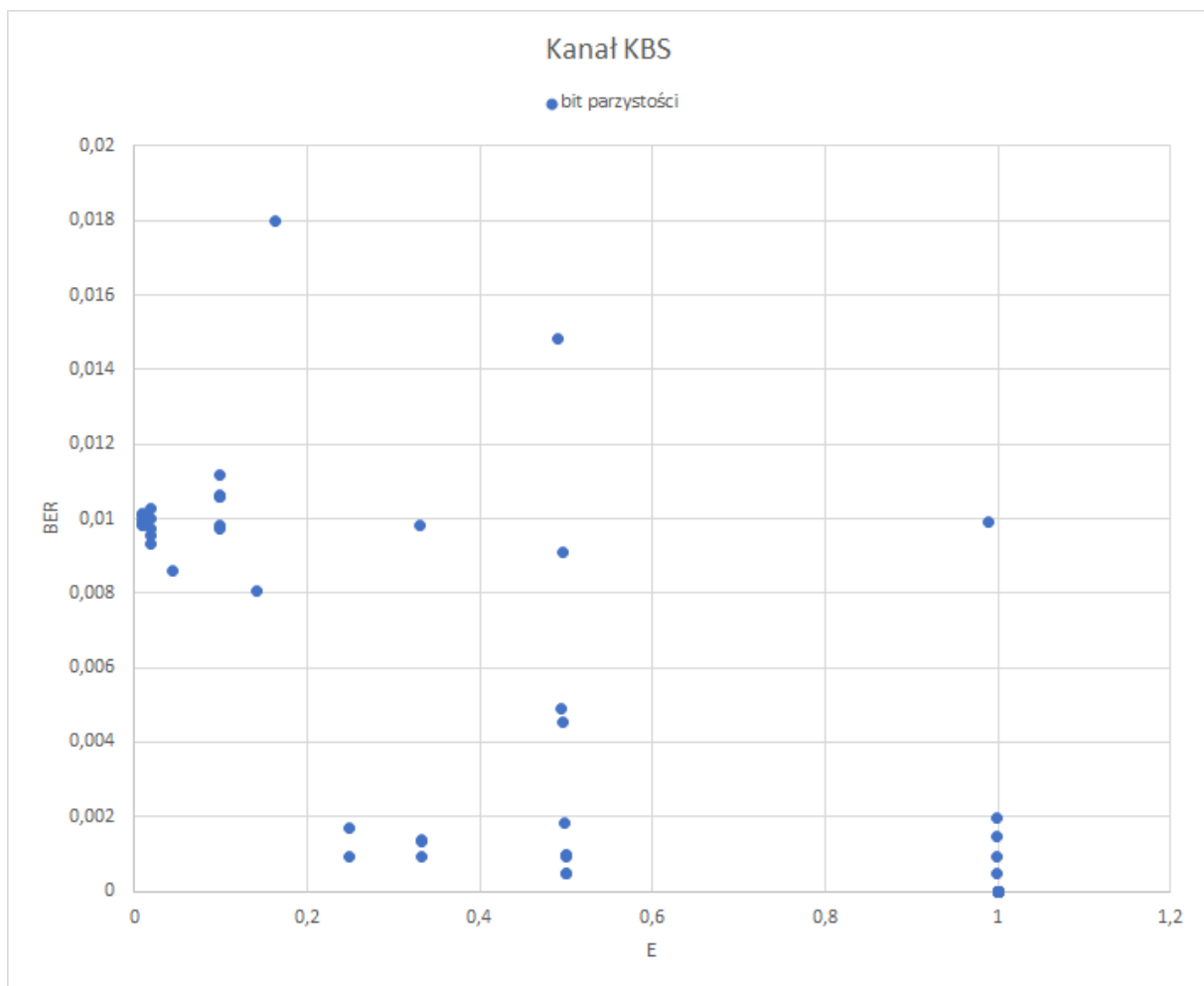
##### i. Wszystkie wyniki



Wykres 1 - Wszystkie wyniki symulacji dla kanału KBS i poszczególnych rodzajów kodowania

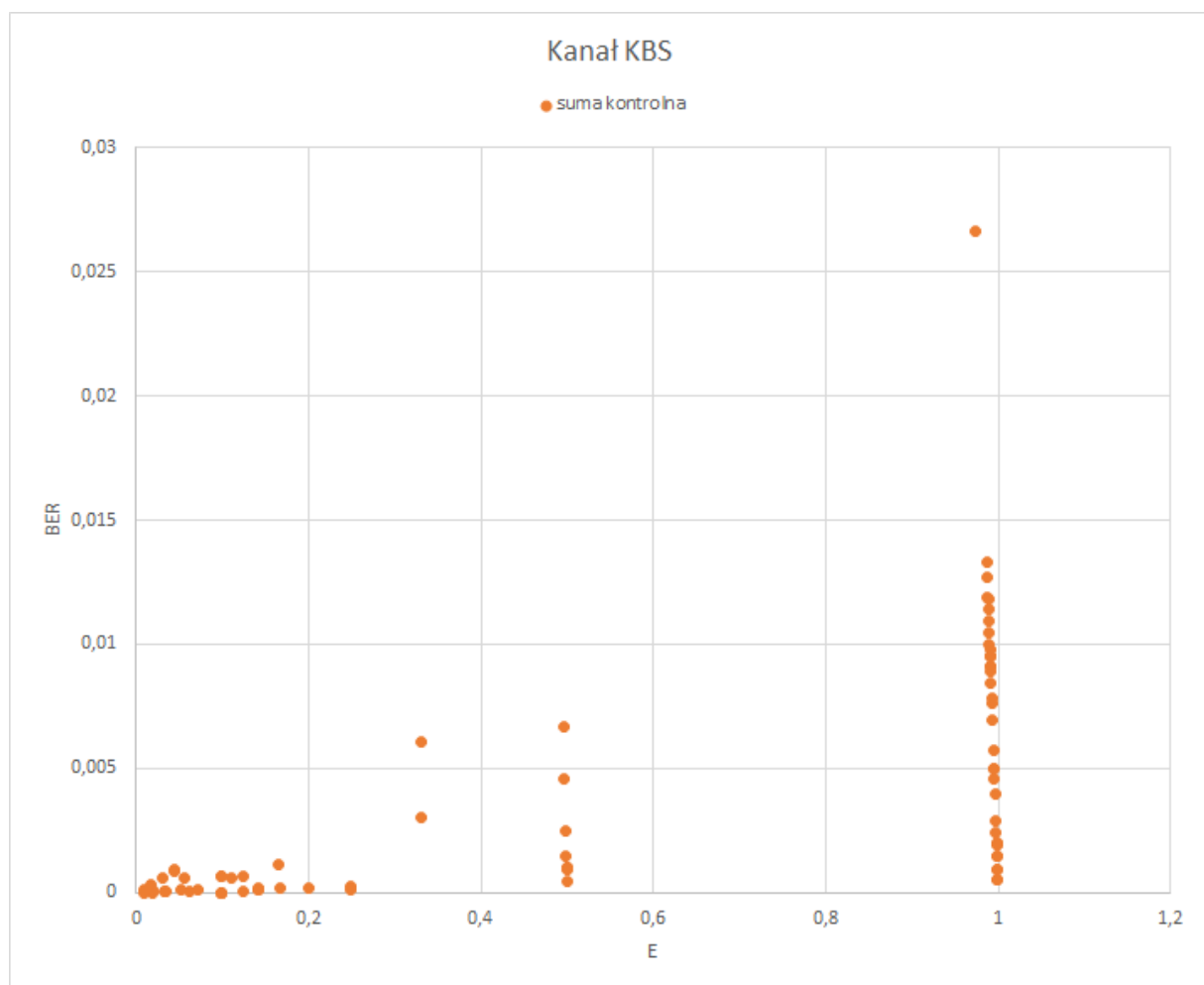


ii. Bit parzystości



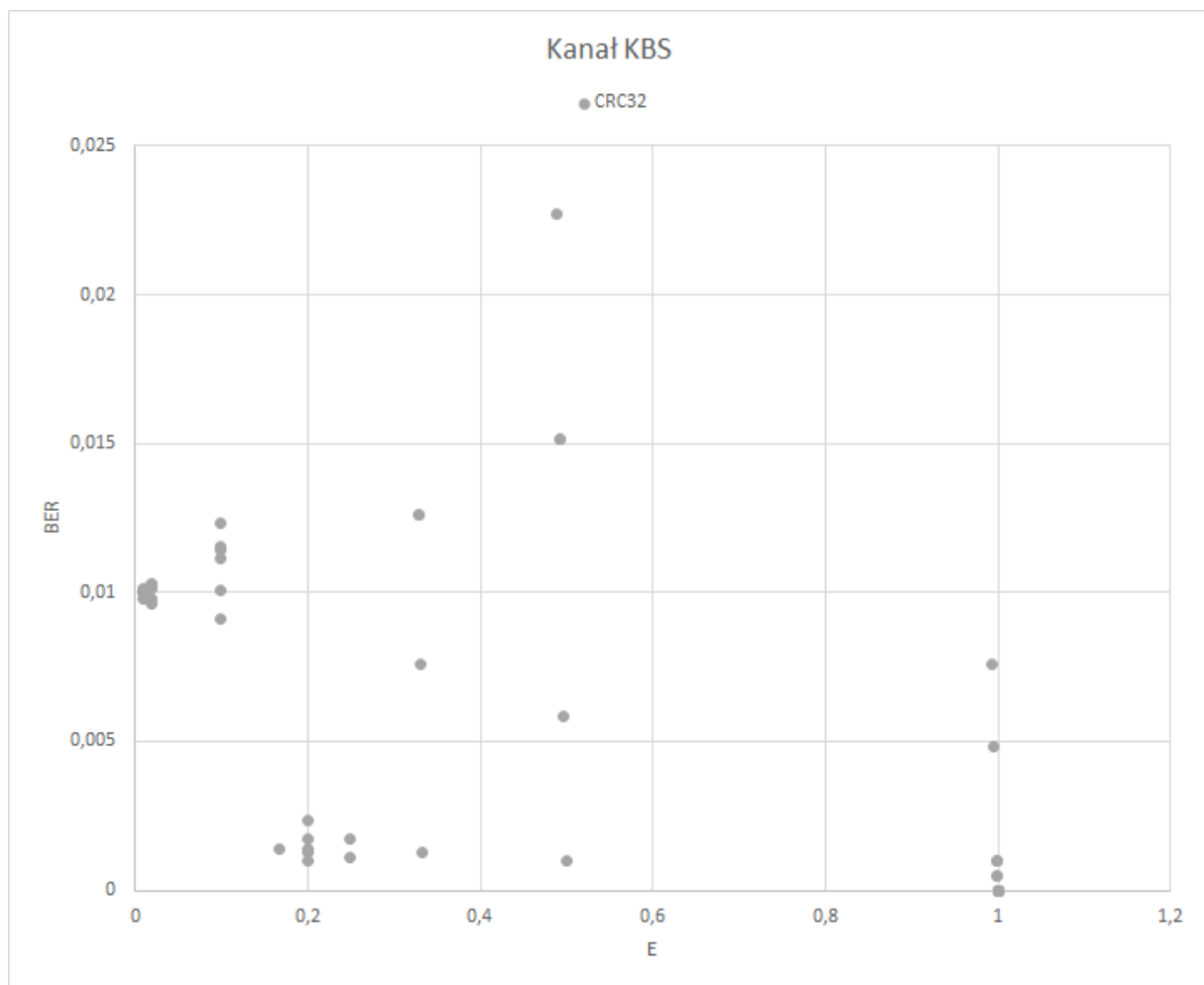
Wykres 2 – Wyniki symulacji dla kanału KBS przy zastosowaniu bitu parzystości jako metody kodowania sygnału.

### iii. Suma kontrolna



Wykres 3 – Wyniki symulacji dla kanału KBS przy zastosowaniu sumy kontrolnej jako metody kodowania sygnału.

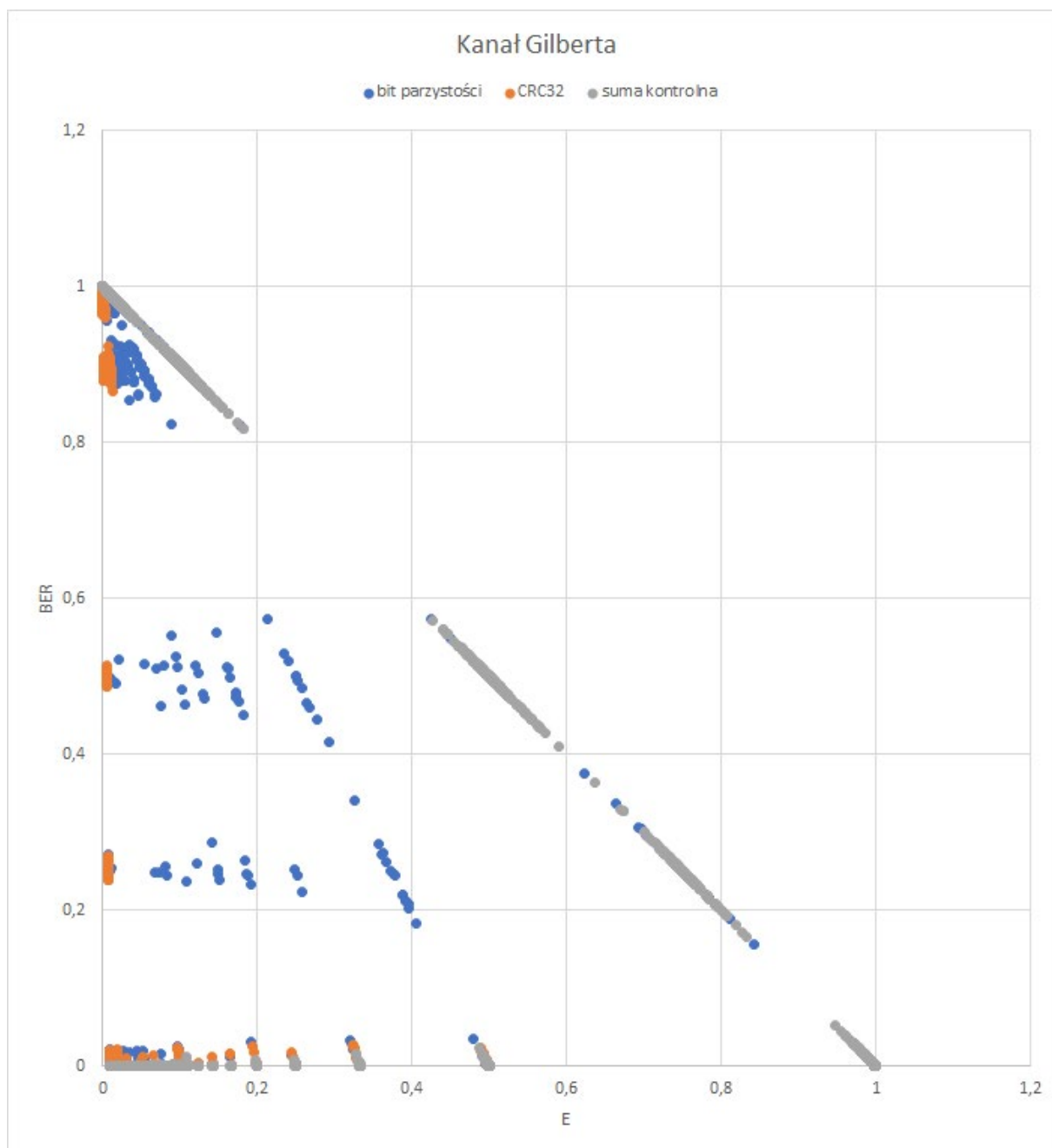
iv. CRC32



Wykres 4 - Wyniki symulacji dla kanału KBS przy zastosowaniu CRC32 jako metody kodowania sygnału.

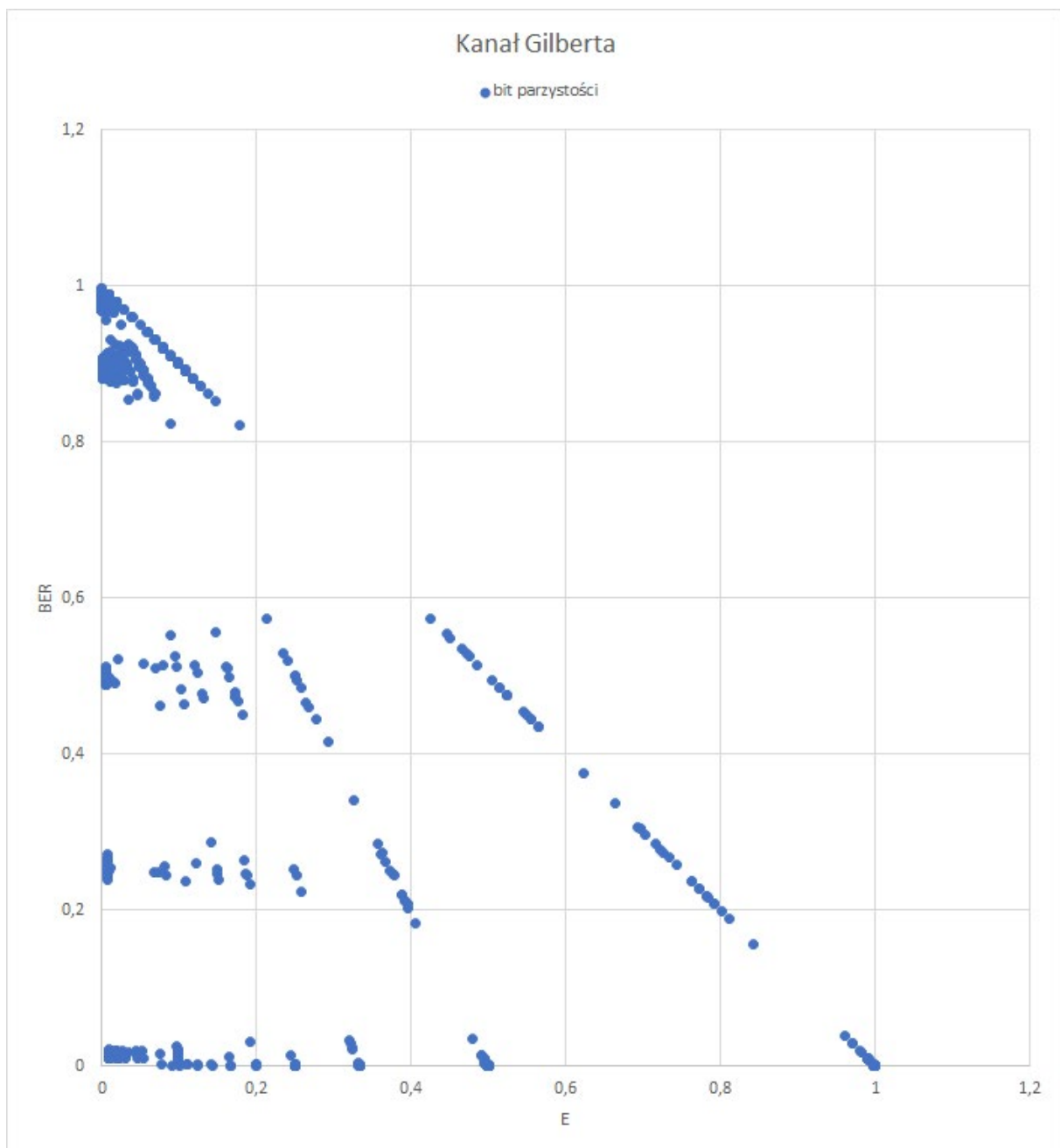
## b. Kanał Gilberta

### i. Wszystkie wyniki



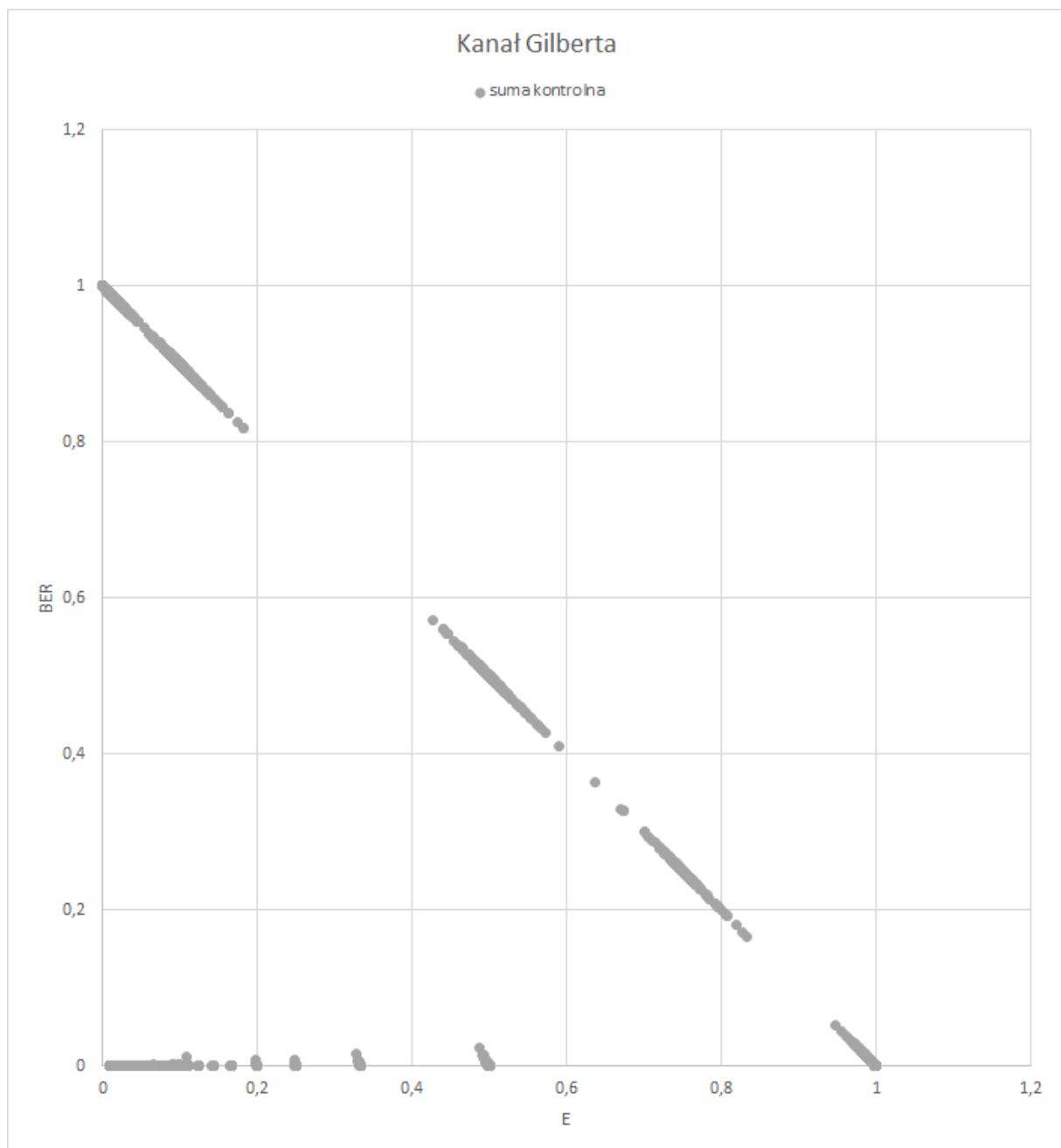
Wykres 5 - Wszystkie wyniki symulacji dla kanału Gilberta i poszczególnych rodzajów kodowania

ii. Bit parzystości



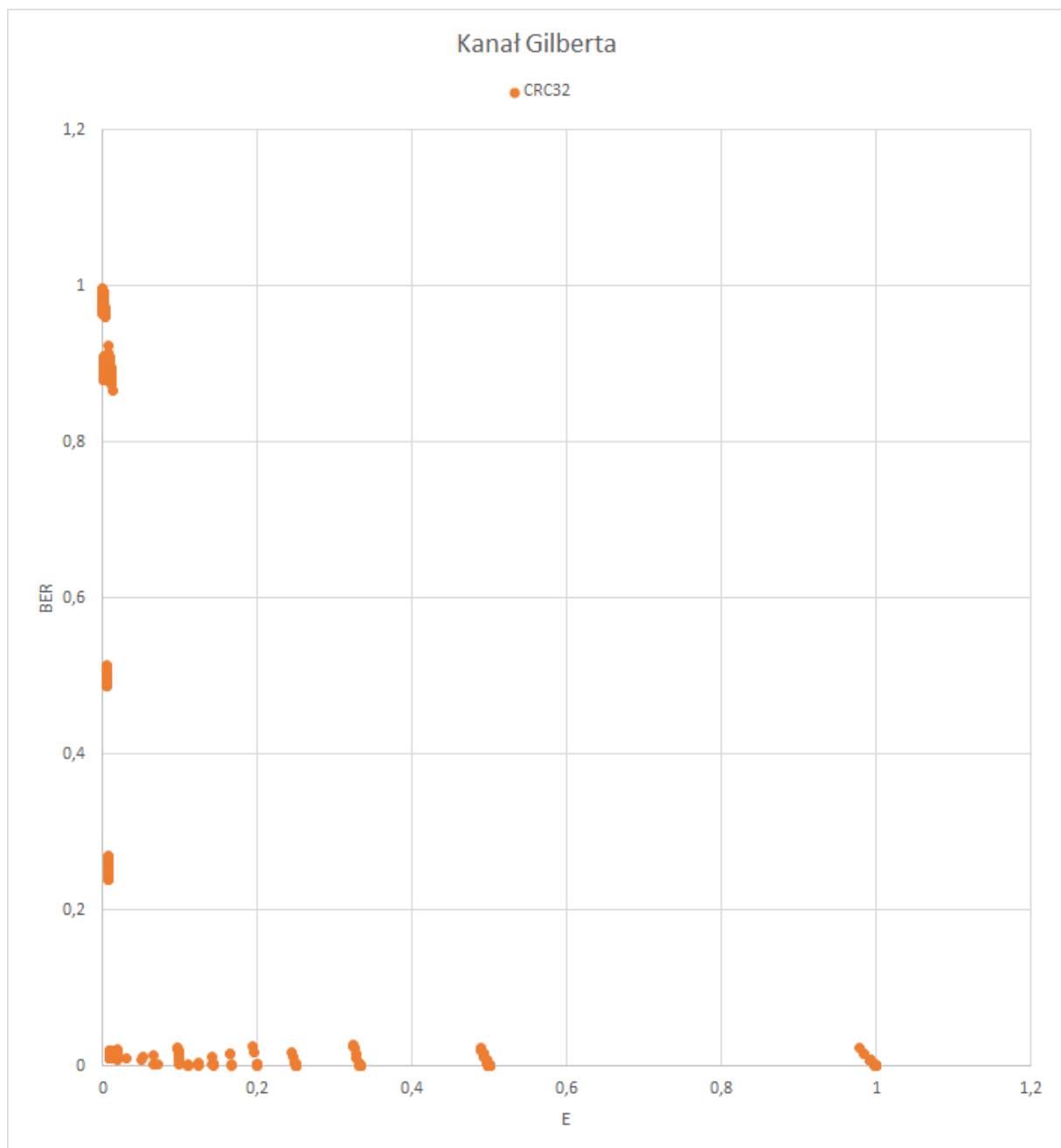
Wykres 6 - Wyniki symulacji dla kanału Gilberta przy zastosowaniu bitu parzystości jako metody kodowania sygnału.

### iii. Suma kontrolna



Wykres 7 - Wyniki symulacji dla kanału Gilberta przy zastosowaniu sumy kontrolnej jako metody kodowania sygnału.

iv. CRC32



Wykres 8 - Wyniki symulacji dla kanału Gilberta przy zastosowaniu CRC32 jako metody kodowania sygnału.

## 5. Analiza wyników

Na powyższych wykresach przypadkiem idealnym jest ten, dla którego *Bit Error Rate (BER)* wynosi 0, a *Efektywność (E)* wynosi 1.

### a. Kanał KBS

Dla kanału KBS wykonanych zostało łącznie 4320 pomiarów. Dla każdej metody kodowania możliwe jest wyznaczenie zbioru najbardziej optymalnych wyników:

- Bit parzystości (wykres 2)

$$0,998019802 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,001980198$$

W powyższym zbiorze znajduje się 41 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo: 10, 100

- Suma kontrolna (wykres 3)

$$0,986666667 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,013333333$$

W powyższym zbiorze znajduje się 35 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo: 100, 1000

- CRC32 (wykres 4)

$$0,999031008 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,000968992$$

W powyższym zbiorze znajduje się 41 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo: 10, 100

Po odrzuceniu nieoptymalnych rozwiązań, na podstawie powyższych zbiorów możliwe jest stwierdzenie, że najlepszą metodą kodowania dla kanału KBS jest CRC32.



## b. Kanał Gilberta

Dla kanału Gilberta wykonanych zostało łącznie 8748 pomiarów. Dla każdej metody kodowania możliwe jest wyznaczenie zbioru najbardziej optymalnych wyników:

- Bit parzystości (wykres 6)

$$0,96039604 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,03960396$$

W powyższym zbiorze znajduje się 779 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo 1: 10, 100, 1000
- Prawdopodobieństwo 2: 50000, 75000, 999999
- Prawdopodobieństwo 3: 1, 999999
- Prawdopodobieństwo 4: 1000, 5000, 10000, 100000
- Długości sygnałów: 100, 1000, 2000

- Suma kontrolna (wykres 7)

$$0,977272727 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,022727273$$

W powyższym zbiorze znajduje się 197 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo 1: 10, 100, 1000
- Prawdopodobieństwo 2: 50000, 75000, 999999
- Prawdopodobieństwo 3: 1, 999999
- Prawdopodobieństwo 4: 1000, 5000, 10000, 100000
- Długości sygnałów: 1000, 2000

- CRC32 (wykres 8)

$$0,946666667 < E \leq 1$$

$$0 \leq BER < 0,053333333$$

W powyższym zbiorze znajduje się 759 wyników.

Zastosowane parametry wejściowe dla powyższych wyników:

- Parametr kodowania: 10, 50, 100
- Prawdopodobieństwo 1: 10, 100, 1000
- Prawdopodobieństwo 2: 50000, 75000, 999999
- Prawdopodobieństwo 3: 1, 999999
- Prawdopodobieństwo 4: 1000, 5000, 10000, 100000
- Długości sygnałów: 100, 1000, 2000

Po odrzuceniu nieoptymalnych rozwiązań, na podstawie powyższych zbiorów możliwe jest stwierdzenie, że najlepszą metodą kodowania dla kanału Gilberta jest CRC32. Odrobinę gorzej sprawdził się bit parzystości.

### c. Porównanie kanałów

Porównując wykresy kanału KBS i kanału Gilberta widoczne jest, że kanał KBS jest lepszym rozwiązaniem, szczególnie w przypadku użycia CRC32 jako metody kodowania sygnału. Osiągane przez kanał Gilberta wartości BER są z przedziału od 0 do około 1, podczas gdy osiągnięte przez kanał KBS wartości BER są z przedziału od 0 do około 0,03 – widoczne jest więc, że kanał KBS.

Analizując plik z wynikami można też zauważyć, że średnia liczba prób retransmisji dla kanału KBS (średnio 11 prób) jest mniejsza, niż dla kanału Gilberta (średnio 30 prób).

Jeśli chodzi o czas przesłania sygnału, znacznie lepiej spisuje się jednak kanał Gilberta – średni czas transmisji wyniósł około 0,002s. Dla kanału KBS wyniósł on około 0,143s.

Średnia całkowita nadmiarowość transmisji to około 1314 dla kanału Gilberta oraz 363 dla kanału KBS – różnica ta wynika głównie z ilości prób retransmisji sygnału.

## 6. Uwagi i wnioski

W ramach projektu stworzony został program umożliwiający symulację transmisji sygnału w kanałach KBS i Gilberta dla trzech rodzajów kodowania: *bitu parzystości*, *sumy kontrolnej* i *CRC32*. Powstały symulator został wykorzystany do pomiarów efektywności ( $E$ ) i Bit Error Rate ( $BER$ ) oraz innych wielkości dla zadanych parametrów. Celem badania było znalezienie najlepszej konfiguracji (rozwiązania). Najlepsze rozwiązanie to takie, w którym wartość  $E$  jest jak najbliższa 1, a wartość  $BER$  jest jak najbliższa zeru.

Podczas realizacji projektu pojawiały się problemy, takie jak pewne niejasności w definicjach kanałów oraz w sposobach obliczania wartości  $BER$  i  $E$ . Największą przeszkodą okazała się jednak konfiguracja środowiska pracy. Prócz problemów z dostępnością licencji Matlaba, pojawiły się również trudności z jego konfiguracją, a w szczególności z instalowaniem odpowiednich dodatków wymaganych do poprawnego działania napisanych funkcji.

Cel ćwiczenia - symulacja transmisji danych w systemie ARQ - został osiągnięty, jednak istnieje dalsza możliwość przeprowadzenia dokładniejszych testów. Podczas naszych pomiarów użyliśmy kilku, ustalonych z góry wartości (często znacząco się różniących), które spowodowały wyraźne odstępstwa na wykresach podsumowujących pomiary. Poprzez mniejsze różnice oraz większą ilość badanych parametrów otrzymalibyśmy większą ilość wyników, z których można było wyciągnąć dokładniejsze wnioski.

