

*03.11.2019*

# **Obliczenia Naukowe**

Lista Nr 2( Laboratorium)

*Piotr Popis*

- Zadanie 1

## 1. Opis problemu.

Celem jest ponowne eksperymentalne zbadanie problemu różności rozwiązań iloczynu skalarnego dwóch wektorów. Tym razem usuwamy osatnie znaczące cyfry współrzędnych  $x_4$  oraz  $x_5$  odpowiednio 9 i 7. Problem należy sprawdzić dla pojedynczej i podwójnej precyzji.

@Zadanie 5 Lista 1

$x=[2.718281828, (-3.141592654), 1.414213562, \mathbf{0.5772156649}, \mathbf{0.3010299957}]$   
 $y=[1486.2497, 878366.9879, (-22.37492), 4773714.647, 0.000185049]$

@Zadanie 1 Lista 2

$a=[2.718281828, (-3.141592654), 1.414213562, \mathbf{0.577215664}, \mathbf{0.301029995}]$   
 $b=[1486.2497, 878366.9879, (-22.37492), 4773714.647, 0.000185049]$

## 2. Rozwiązanie problemu.

Ponowne przeprowadzenie zmienionych danych przez algorytmy :

- (a) "w przód"
- (b) "w tył"
- (c) od największego do najmniejszego (dodaj dodatnie liczby w porządku od największego do najmniejszego, dodaj ujemne liczby w porządku od najmniejszego do największego, a następnie daj do siebie obliczone sumy częściowe)
- (d) od najmniejszego do największego (przeciwnie do metody (c))

zaimplementowane w zadaniu nr 5 listy nr 1 oraz porównanie i analiza otrzymanych wyników.

### 3. Wyniki

#### @Zadanie 5 Lista 1

Algorytm	a	b	c	d
Float32	-0.4999443	-0.4543457	-0.5	-0.5
Float64	1.0251881368296 672e-10	- 1.5643308870494 366e-10	0.0	0.0

#### @Zadanie 1 Lista 2

Algorytm	a	b	c	d
Float32	-0.4999443	-0.4543457	-0.5	-0.5
Float64	- 0.0042963427398 91585	- 0.0042963429987 13953	- 0.0042963428422 80865	- 0.0042963428422 80865

### 4. Wnioski.

- *Jaki wpływ na wyniki mają niewielkie zmiany danych?*

W przypadku precyzji **Float32** wyniki nie zmieniły się. Dzieje się tak z przyczyny zbyt słabej precyzji (rzęd  $10^{-7}$ ) arytmetyki względem precyzji zapisu liczby (rzęd  $10^{-9}$ ).

W przypadku precyzji **Float64** zauważalna jest ogromna różnica między wynikami poprzednimi, (przed ucięciem), a nowymi, (po ucięciu). Możemy śmiało stwierdzić, że jest to przykład zadania **źle uwarunkowanego**. Minimalna zmiana danych wejściowych powoduje ogromne zmiany wyjściowego wyniku.

#### • Zadanie 2

##### 1. Opis problemu.

Celem jest narysowanie wykresu funkcji  $f(x)$  w co najmniej dwóch dowolnych programach do wizualizacji. Oraz policzenie limes  $f(x)$  dla  $x \rightarrow \infty$ , gdzie

$$f(x) = e^x \ln(1 + e^{-x})$$

Porównać otrzymany wynik limes z wykresami oraz wyjaśnić zjawisko.

##### 2. Rozwiązanie problemu.

W celu obliczenia wyznaczenia granicy wykorzystuję SymPy oraz jego podrzędna funkcję `limit(func,arg,aim)`. Do narysowania wykresu wykorzystuję Plots- biblioteka

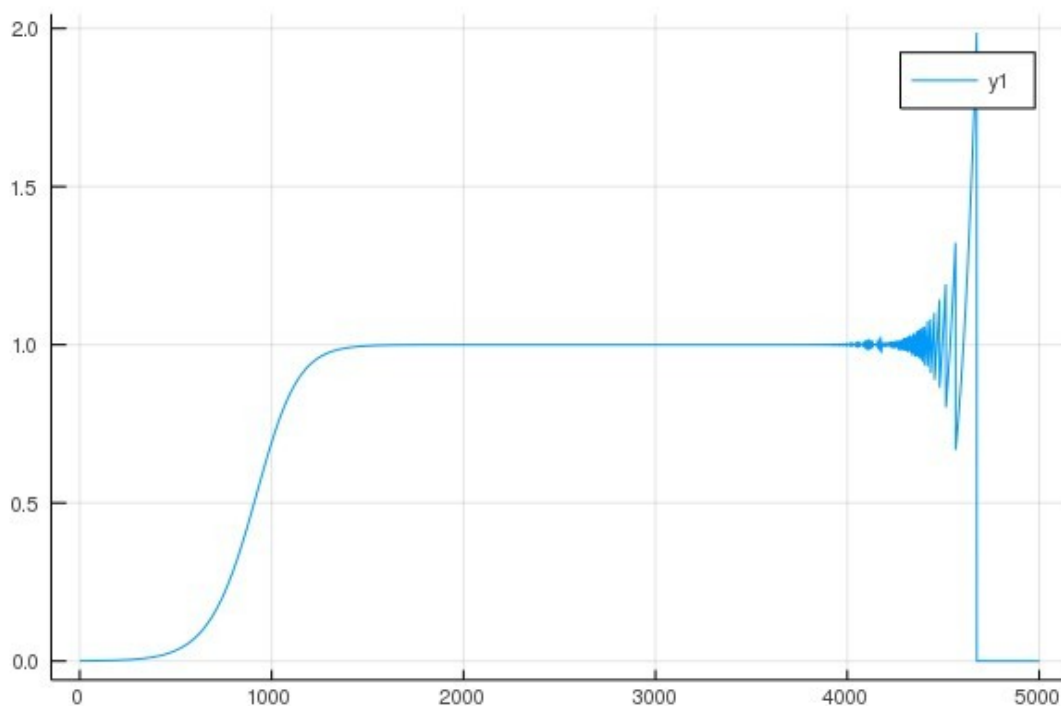
do tworzenia wykresów , Desmos – dostępny w każdej nowoczesnej przeglądarce, Geogebra oraz Footplot.

### 3. Wyniki.

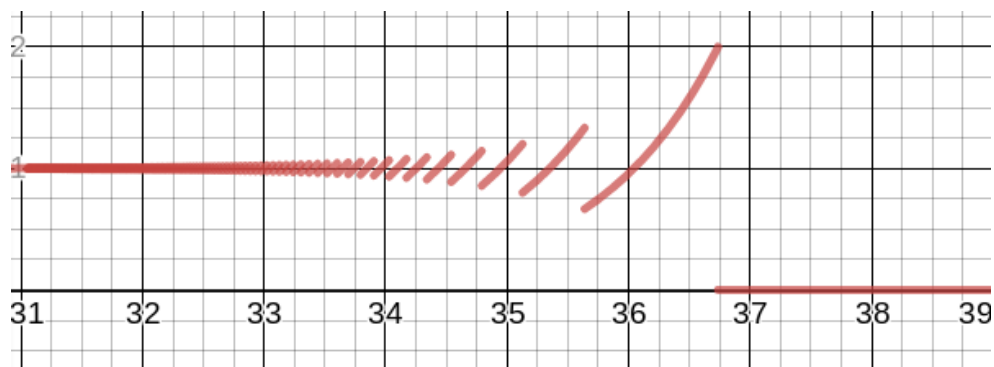
Szukana granica funkcji  $f(x) = e^x \ln(1 + e^{-x})$  wynosi 1.

Plots – Julia Library

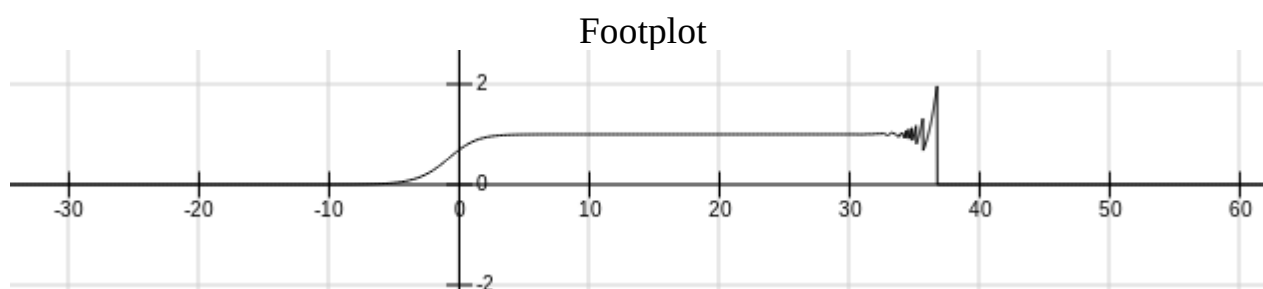
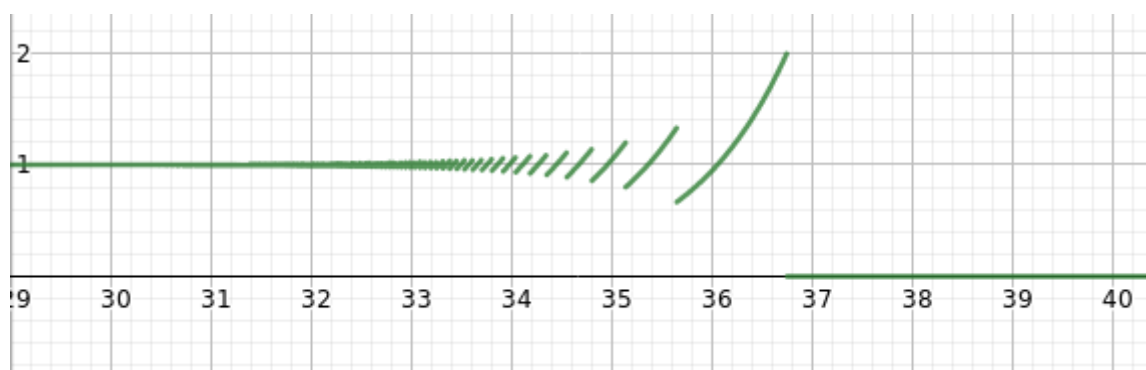
Osie są przesunięte ze względu na komendę RANGE()



Desmos



Geogebra



## 4. Wnioski.

Jak widzimy po przejściu przez  $x=32$  otrzymujemy bardzo dużą wartość  $e^{32}$ , która jest przemnażana przez liczbę bardzo małą  $\ln(1+e^x)$ . Przez co otrzymujemy wyniki oscylujące na przemian powyżej i poniżej wyliczonej granicy. Otrzymane wyniki są oczywiście błędne. Następnie dla  $x=37$  funkcja osiąga wartość 0 ze względu na fakt, iż wartość  $\ln(1+e^x)$  jest już tak mała, że zostaje przybliżona do 0. Więc przemnożona z pozostałym członem zawsze daje zero. W niektórych programach dla dostatecznie dużych  $x$  program jest na tyle inteligentny, że wylicza granicę podanej funkcji i od tego miejsca podaje jej wartość zamiast błędnych wyników.

## • Zadanie 3

### 1. Opis problemu.

Głównym problemem jest rozwiązanie układu równań liniowych

$$\mathbf{Ax}=\mathbf{b}$$

zadana jest macierz współczynników  $A$  i wektor prawych stron  $b$ . Macierz generujemy na dwa sposoby. Pierwszy to wykorzystanie macierzy Hilberta stopnia  $n$ . Druga natomiast jest macierzą losową stopnia  $n$  z zadanyim wskaźnikiem uwarunkowania  $c$ .

Wektor  $\mathbf{b}$  jest zadany jako  $\mathbf{Ax}$ , gdzie  $\mathbf{a}$  to wygenerowana przez nas macierz, a

$$\mathbf{x}=(1,\dots,1)^T$$

Rozwiązać zadane równanie na dwa sposoby, przy użyciu eliminacji Gausa i inwersji. Eksperymenty wykonać dla rosnącego  $n>1$  w przypadku macierzy Hilberta, dla  $n=5,10,20$  z rosnącym  $c=1,10,10^3,10^7,10^{12},10^{16}$ . Policzyc błędy względne.

## 2. Rozwiązanie problemu.

Do rozwiązania wykorzystamy pakiet LinearAlgebra w celu pobrania `cond()` oraz `rank()` odpowiednio wskaźnik uwarunkowania wygenerowanej macierzy oraz rząd macierzy. Zostały zaimplementowane metody do generowania macierzy hilberta oraz losowej z zadaniem wskaźnikiem `c` oraz metoda obliczająca błąd względny wykorzystujący funkcję `norm()`. Następnie zostały przeprowadzone eksperymenty a ich wyniki możemy sprawdzić w sekcji wyniki.

## 3. Wyniki.

Macierz Hilberta $M_n$				
<code>cond()</code>	Rozmiar	<code>rank()</code>	Błąd względny eliminacji Gaussa	Błąd względny inwersji
19.28147006790397	2	2	5.661048867003676e-16	1.4043333874306803e-15
524.0567775860644	3	3	8.022593772267726e-15	0.0
15513.73873892924	4	4	4.137409622430382e-14	0.0
476607.25024259434	5	5	1.6828426299227195e-12	3.3544360584359632e-12
1.4951058642254665e7	6	6	2.618913302311624e-10	2.0163759404347654e-10
4.75367356583129e8	7	7	1.2606867224171548e-8	4.713280397232037e-9
1.5257575538060041e10	8	8	6.124089555723088e-8	3.07748390309622e-7
4.931537564468762e11	9	9	3.8751634185032475e-6	4.541268303176643e-6
1.6024416992541715e13	10	10	8.67039023709691e-5	0.0002501493411824886
5.222677939280335e14	11	10	0.00015827808158590435	0.007618304284315809
1.7514731907091464e16	12	11	0.13396208372085344	0.258994120804705
3.344143497338461e18	13	11	0.11039701117868264	5.331275639426837
6.200786263161444e17	14	11	1.4554087127659643	8.71499275104814
3.674392953467974e17	15	12	4.696668350857427	7.344641453111494
7.865467778431645e17	16	12	54.15518954564602	29.84884207073541
1.263684342666052e18	17	12	13.707236683836307	10.516942378369349
2.2446309929189128e18	18	12	9.134134521198485	7.575475905055309
6.471953976541591e18	19	13	9.720589712655698	12.233761393757726

1.3553657908688225e18	20	13	7.549915039472976	22.062697257870493
-----------------------	----	----	-------------------	--------------------

Macierz Losowa $R_n$				
cond()	Rozmiar	rank()	Błąd względny eliminacji Gausaa	Błąd względny inwersji
1.0	5	5	1.5700924586837752e-16	1.4043333874306804e-16
10.0	5	5	1.719950113979703e-16	1.719950113979703e-16
1000.0	5	5	1.4148266844381742e-15	9.79415571016078e-15
1.0e7	5	5	3.6204531690624907e-10	3.1588048560580086e-10
1.0e12	5	5	1.6541515455114935e-5	1.619562508800795e-5
1.0e16	5	4	0.11443581117792277	0.0739509972887452
1.0	10	10	2.1642230995786354e-16	1.9229626863835638e-16
10.0	10	10	1.2658490090568384e-16	2.016820280180126e-16
1000.0	10	10	2.920810890748086e-14	3.0974784661609553e-14
1.0e7	10	10	1.711913162282261e-10	1.7144107812809687e-10
1.0e12	10	10	1.423255114178321e-6	3.428588488053808e-6
1.0e16	10	9	0.032216726513605014	0.04332240822816178
1.0	20	20	5.23691153334427e-16	5.09978018830275e-16
10.0	20	20	3.7485443673843946e-16	4.37799666588975e-16
1000.0	20	20	8.177680028281057e-15	5.9090571005317786e-15
1.0e7	20	20	3.2123824321972287e-10	3.55640107589538e-10
1.0e12	20	20	3.1645714988939825e-5	3.2600983724545365e-5
1.0e16	20	19	0.14898201945476774	0.1196613874909112

## 4. Wnioski.

Dla macierzy Hilberta wraz ze wzrostem rozmiaru macierzy błąd względny obu metod oraz wskaźnik uwarunkowania `cond()` również rośnie. Wskaźnik `cond()` Osiąga wartość rzędu  $10^7$  już dla  $H_6$ . Macierz Hilberta jest przykładem macierzy bardzo źle uwarunkowanej.

Dla macierzy Losowej przy zwiększeniu stopnia macierzy zauważalny jest wzrost błędów względnych obu metod. Jednak w tym przypadku rosnący błąd powiązany jest również z wskaźnikiem uwarunkowania `cond()` danej macierzy.

Metoda inwersji jest w tym przypadku widocznie bardziej precyzyjna niż metoda Eliminacji Gauss'a.

Zwłaszcza dla macierzy losowej zauważalne jest, że większy wpływ ma `cond()` niż sam rozmiar, co dla macierzy Hilberta nie jest tak widoczne. Jednak nie zmienia to faktu, iż tym większa macierz tym większy błąd. Błędy dla macierzy losowej rosną jednakże dużo wolniej niż dla macierzy Hilberta.

Na podstawie wyników eksperymentu macierz Hilberta jest macierzą bardzo **źle uwarunkowaną**. Kolejna inkrementacja stopnia powoduje gwałtowny wzrost jej wskaźnika uwarunkowania `cond()`, a za tym wzrost błędu.

- Zadanie 4

## 1. Opis problemu.

Celem zadania jest znalezienie 20 miejsc zerowych wielomianu  $P$  o zadanych współczynnikach:

$$p = [1, -210.0, 20615.0, -1256850.0, \\ 53327946.0, -1672280820.0, 40171771630.0, -756111184500.0, \\ 11310276995381.0, -135585182899530.0, \\ 1307535010540395.0, -10142299865511450.0, \\ 63030812099294896.0, -311333643161390640.0, \\ 1206647803780373360.0, -3599979517947607200.0, \\ 8037811822645051776.0, -12870931245150988800.0, \\ 13803759753640704000.0, -8752948036761600000.0, \\ 2432902008176640000.0]$$

Wielomian skonstruowany z powyższych współczynników jest postacią naturalną wielomianu Wilkinsona  $p$

$$p(x) = (x-20)(x-19)(x-18)(x-17)(x-16)(x-15)(x-14)(x-13)(x-12)(x-11) \\ (x-10)(x-9)(x-8)(x-7)(x-6)(x-5)(x-4)(x-3)(x-2)(x-1)$$

W następnym etapie zadania należy koniecznie sprawdzić wszystkie pierwiastki obliczając  $|P(z_k)|$ ,  $|p(z_k)|$  oraz  $|z_k - k|$  i wyjaśnić rozbieżności. Sprawdzić eksperyment Wilkinsona.



## 2. Rozwiązanie problemu.

W pierwszej części zadania skorzystamy z funkcji `roots` z pakietu `Polynomials` do obliczenia szukanych miejsc. **Poly** do utworzenia wielomianu z tablicy zawierającej współczynniki. Natomiast **poly** do tworzenia wielomianu z tablicy zawierającej miejsca zerowe. Kolejno **polyval(P,x)** do obliczenia wartości wielomianu  $P$  w  $x$  z wykorzystaniem metody Hornera.

W drugiej części przeprowadzamy eksperyment Wilkinsona tzn, zamieniamy współczynnik przy  $-2^{10}$  na  $-2^{23}$ .

## 3. Wyniki.

### 3.1.a

k	$z_k$	$ z_k - k $	$ P(z_k) $	$ p(z_k) $
1	0.9999999999996989	3.0109248427834245e-13	36352.0	38400.0
2	2.0000000000283182	2.8318236644508943e-11	181760.0	198144.0
3	2.9999999995920965	4.0790348876384996e-10	209408.0	301568.0
4	3.9999999837375317	1.626246826091915e-8	3.106816e6	2.844672e6
5	5.000000665769791	6.657697912970661e-7	2.4114688e7	2.3346688e7
6	5.999989245824773	1.0754175226779239e-5	1.20152064e8	1.1882496e8
7	7.000102002793008	0.00010200279300764947	4.80398336e8	4.78290944e8
8	7.999355829607762	0.0006441703922384079	1.682691072e9	1.67849728e9
9	9.002915294362053	0.002915294362052734	4.465326592e9	4.457859584e9
10	9.990413042481725	0.009586957518274986	1.2707126784e10	1.2696907264e10
11	11.025022932909318	0.025022932909317674	3.5759895552e10	3.5743469056e10
12	11.953283253846857	0.04671674615314281	7.216771584e10	7.2146650624e10
13	13.07431403244734	0.07431403244734014	2.15723629056e11	2.15696330752e11
14	13.914755591802127	0.08524440819787316	3.65383250944e11	3.653447936e11
15	15.075493799699476	0.07549379969947623	6.13987753472e11	6.13938415616e11
16	15.946286716607972	0.05371328339202819	1.555027751936e12	1.554961097216e12
17	17.025427146237412	0.025427146237412046	3.777623778304e12	3.777532946944e12
18	17.99092135271648	0.009078647283519814	7.199554861056e12	7.1994474752e12
19	19.00190981829944	0.0019098182994383706	1.0278376162816e13	1.0278235656704e13
20	19.999809291236637	0.00019070876336257925	2.7462952745472e13	2.7462788907008e13

				13
--	--	--	--	----

### 3.1.b Eksperyment Wilkinsona

k	$z_k$	$ z_k - k $	$ P(z_k) $	$ p(z_k) $
1	0.9999999999998357 + 0.0im	1.6431300764452317e-13	20992.0	22016.0
2	2.0000000000550373 + 0.0im	5.503730804434781e-11	349184.0	365568.0
3	2.99999999660342 + 0.0im	3.3965799062229962e-9	2.221568e6	2.295296e6
4	4.000000089724362 + 0.0im	8.972436216225788e-8	1.046784e7	1.0729984e7
5	4.99999857388791 + 0.0im	1.4261120897529622e-6	3.9463936e7	4.3303936e7
6	6.000020476673031 + 0.0im	2.0476673030955794e-5	1.29148416e8	2.06120448e8
7	6.99960207042242 + 0.0im	0.00039792957757978087	3.88123136e8	1.757670912e9
8	8.007772029099446 + 0.0im	0.007772029099445632	1.072547328e9	1.8525486592e10
9	8.915816367932559 + 0.0im	0.0841836320674414	3.065575424e9	1.37174317056e11
10	10.095455630535774 - 0.6449328236240688im	0.6519586830380406	7.143113638035824e9	1.4912633816754019e12
11	10.095455630535774 + 0.6449328236240688im	1.1109180272716561	7.143113638035824e9	1.4912633816754019e12
12	11.793890586174369 - 1.6524771364075785im	1.665281290598479	3.357756113171857e10	3.2960214141301664e13
13	11.793890586174369 + 1.6524771364075785im	2.045820276678428	3.357756113171857e10	3.2960214141301664e13
14	13.992406684487216 - 2.5188244257108443im	2.5188358711909045	1.0612064533081976e11	9.545941595183662e14
15	13.992406684487216 + 2.5188244257108443im	2.7128805312847097	1.0612064533081976e11	9.545941595183662e14
16	16.73074487979267 - 2.812624896721978im	2.9060018735375106	3.315103475981763e11	2.7420894016764064e16
17	16.73074487979267 + 2.812624896721978im	2.825483521349608	3.315103475981763e11	2.7420894016764064e16



takich, że  $|a-b|$  jest mniejszy od  $a^2$  (np. 15). Powyższy eksperyment argumentuje, iż zadanie jest zadaniem skrajnie źle uwarunkowanym. Warto dodać, że dla tak małego zaburzenia pojawiają się zera zespolone.

- Zadanie 5

## 1. Opis problemu.

Rozważanym problemem jest model logistyczny, model wzrostu populacji Ver-hulste

$$p_{n+1} = p_n + r \cdot p_n (1 - p_n)$$

gdzie  $r$  jest zadaną stałą,  $r(1 - p_n)$  jest czynnikiem wzrostu populacji natomiast  $p_n$  jest wielkością populacji stanowiącą procent maksymalnej wielkości populacji dla danego stanu środowiska.

W zadaniu mamy zmierzyć się z dwoma eksperymentami. Dla narzuconego  $p=0.01$  oraz  $3=3$  przeprowadzić 40 iteracji wyrażenia w arytmetyce Float32 z zaburzeniem tzn ucięciem do 3 cyfr po przecinku dla wartości w 10 iteracji. Następnie to samo doświadczenie wykonać bez zaburzenia dla arytmetyki Float64.

## 2. Rozwiązanie problemu.

Zaimplementowanie algorytmu iterującego 40 razy dla aż trzech wartości  $p_1, p_2$  oraz  $p_3$  jest słusznym podejściem. Wykonanie zadanego działania 40 razy dla  $p_1$  oraz  $p_3$  natomiast z zatrzymaniem w 10 iteracji dla  $p_2$ . Zapisanie otrzymanych wyników

kolejnych kolumnach w celu ułatwienia interpretacji otrzymanych wartości dla kolejnych problemów.

### 3. Wyniki.

i	Float32	Float32 z ucięciem	Float64
1	0.0397	0.0397	0.0397
2	0.15407173	0.15407173	0.154071730000000002
3	0.5450726	0.5450726	0.5450726260444213
4	1.2889781	1.2889781	1.2889780011888006
5	0.1715188	0.1715188	0.17151914210917552
6	0.5978191	0.5978191	0.5978201201070994
7	1.3191134	1.3191134	1.3191137924137974
8	0.056273222	0.056273222	0.056271577646256565
9	0.21559286	0.21559286	0.21558683923263022
<b>10</b>	<b>0.7229306</b>	<b>0.722</b>	<b>0.722914301179573</b>
11	1.3238364	1.3241479	1.3238419441684408
12	0.037716985	0.036488414	0.03769529725473175
13	0.14660022	0.14195944	0.14651838271355924
14	0.521926	0.50738037	0.521670621435246
15	1.2704837	1.2572169	1.2702617739350768
16	0.2395482	0.28708452	0.24035217277824272
17	0.7860428	0.9010855	0.7881011902353041
18	1.2905813	1.1684768	1.2890943027903075
19	0.16552472	0.577893	0.17108484670194324
20	0.5799036	1.3096911	0.5965293124946907
21	1.3107498	0.09289217	1.3185755879825978
22	0.088804245	0.34568182	0.058377608259430724
23	0.3315584	1.0242395	0.22328659759944824
24	0.9964407	0.94975823	0.7435756763951792
25	1.0070806	1.0929108	1.315588346001072
26	0.9856885	0.7882812	0.07003529560277899
27	1.0280086	1.2889631	0.26542635452061003
28	0.9416294	0.17157483	0.8503519690601384
29	1.1065198	0.59798557	1.2321124623871897
30	0.7529209	1.3191822	0.37414648963928676
31	1.3110139	0.05600393	1.0766291714289444
32	0.0877831	0.21460639	0.8291255674004515

33	0.3280148	0.7202578	1.2541546500504441
34	0.9892781	1.3247173	0.29790694147232066
35	1.021099	0.034241438	0.9253821285571046
36	0.95646656	0.13344833	1.1325322626697856
37	1.0813814	0.48036796	0.6822410727153098
38	0.81736827	1.2292118	1.3326056469620293
39	1.2652004	0.3839622	0.0029091569028512065
40	0.25860548	1.093568	0.011611238029748606

## 4. Wnioski.

Pozornie drobne, niewielkie zmiany w danych takie jak obcięcie kilku miejsc po przecinku doprowadza wyniki końcowe do dużych błędów. Takie ucięcie może być np. spowodowane ograniczeniami ze strony bazy danych.

Zauważalne jest, że różnice są coraz większe w kolejnych iteracjach.

Zadanie jest zadaniem źle uwarunkowanym. Zwiększenie precyzji dla małych  $n$  może przynieść się do zbliżenia do bardziej poprawnych wyników. Proces numeryczny można także uznać za niestabilny.

## • Zadanie 6

### 1. Opis problemu.

Rozważanym problemem jest równanie rekurencyjne postaci:

$$\mathbf{x_{n+1} = x_n^2 + c \text{ dla } n = 0,1\dots}$$

Celem jest przeprowadzenie eksperymentów dla danych :

1.  $c = -2$  i  $x_0 = 1$
2.  $c = -2$  i  $x_0 = 2$
3.  $c = -2$  i  $x_0 = 1.9999999999999999$
4.  $c = -1$  i  $x_0 = 1$
5.  $c = -1$  i  $x_0 = -1$
6.  $c = -1$  i  $x_0 = 0.75$
7.  $c = -1$  i  $x_0 = 0.25$

## 2. Rozwiązanie problemu.

W celu rozwiązania problemu wykonujemy 40 iteracji wyżej podanego wyrażenia. Konkluzję i wnioski wyciągniemy z iteracji graficznej zadanego równania.

## 3. Wyniki.

i	C= -2 $x_0=1$	C= -2 $x_0=2$	C= -2 $x_0=1.9999999999999999$	C= -1 $x_0=1$	C= -1 $x_0=2$	C= -1 $x_0=0.75$	C= -1 $x_0=0.25$
1	-1.0	2.0	1.9999999999999996	0.0	0.0	-0.4375	-0.9375
2	-1.0	2.0	1.9999999999999998401	-1.0	-1.0	-0.80859375	-0.12109375
3	-1.0	2.0	1.9999999999999993605	0.0	0.0	-0.3461761474609375	-0.9853363037109375
4	-1.0	2.0	1.9999999999999997442	-1.0	-1.0	-0.8801620749291033	-0.029112368589267135
5	-1.0	2.0	1.999999999999999897682	0.0	0.0	-0.2253147218564956	-0.9991524699951226
6	-1.0	2.0	1.999999999999999590727	-1.0	-1.0	-0.9492332761147301	-0.0016943417026455965
7	-1.0	2.0	1.999999999999999836291	0.0	0.0	-0.0989561875164966	-0.9999971292061947
8	-1.0	2.0	1.9999999999999993451638	-1.0	-1.0	-0.9902076729521999	-5.741579369278327e-6
9	-1.0	2.0	1.99999999999999973806553	0.0	0.0	-0.01948876442658909	-0.99999999999670343
10	-1.0	2.0	1.99999999999999989522621	-1.0	-1.0	-0.999620188061125	-6.593148249578462e-11
11	-1.0	2.0	1.999999999999999580904841	0.0	0.0	-0.0007594796206411569	-1.0
12	-1.0	2.0	1.9999999999999998323619383	-1.0	-1.0	-0.9999994231907058	0.0
13	-1.0	2.0	1.9999999999999993294477814	0.0	0.0	-1.1536182557003727e-6	-1.0
14	-1.0	2.0	1.99999999999999973177915749	-1.0	-1.0	-0.99999999999986692	0.0
15	-1.0	2.0	1.99999999999999982711734937	0.0	0.0	-2.6616486792363503e-12	-1.0
16	-1.0	2.0	1.999999999999999570848090	-1.0	-1.0	-1.0	0.0

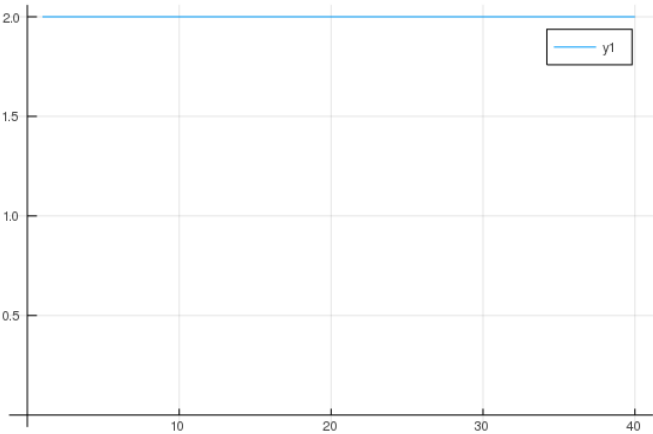
			826				
17	-1.0	2.0	1.9998283410780 44	0.0	0.0	0.0	-1.0
18	-1.0	2.0	1.9993133937789 613	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
19	-1.0	2.0	1.9972540465439 481	0.0	0.0	0.0	-1.0
20	-1.0	2.0	1.9890237264361 752	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
21	-1.0	2.0	1.9562153843260 486	0.0	0.0	0.0	-1.0
22	-1.0	2.0	1.8267786298739 1	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
23	-1.0	2.0	1.3371201625639 997	0.0	0.0	0.0	-1.0
24	-1.0	2.0	-0.212109670864 82313	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
25	-1.0	2.0	-1.955009487525 6163	0.0	0.0	0.0	-1.0
26	-1.0	2.0	1.8220620963151 73	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
27	-1.0	2.0	1.3199102828284 43	0.0	0.0	0.0	-1.0
28	-1.0	2.0	-0.257836845283 7396	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
29	-1.0	2.0	-1.933520161214 1288	0.0	0.0	0.0	-1.0
30	-1.0	2.0	1.7385002138215 109	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
31	-1.0	2.0	1.0223829934574 389	0.0	0.0	0.0	-1.0
32	-1.0	2.0	-0.954733014689 0065	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
33	-1.0	2.0	-1.088484870662 8412	0.0	0.0	0.0	-1.0
34	-1.0	2.0	-0.815200686338 0978	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
35	-1.0	2.0	-1.335447840993 8944	0.0	0.0	0.0	-1.0
36	-1.0	2.0	-0.216579063984 74625	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
37	-1.0	2.0	-1.953093509043 491	0.0	0.0	0.0	-1.0
38	-1.0	2.0	1.8145742550678 174	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
39	-1.0	2.0	1.2926797271549	0.0	0.0	0.0	-1.0



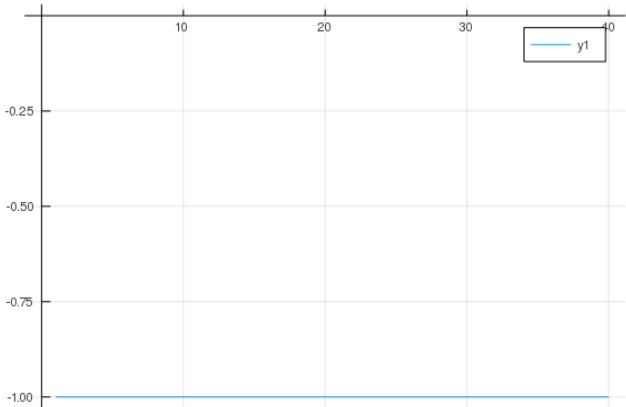
			244				
40	-1.0	2.0	-0.328979123002 6702	-1.0	-1.0	-1.0	0.0

4. Wnioski.

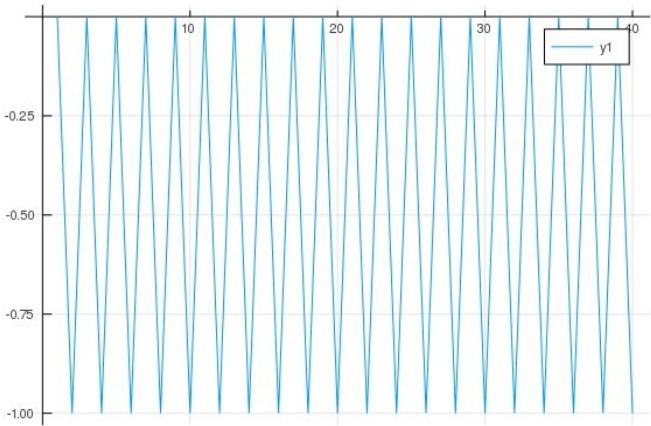
$X_0 = 1 \quad c = -2$



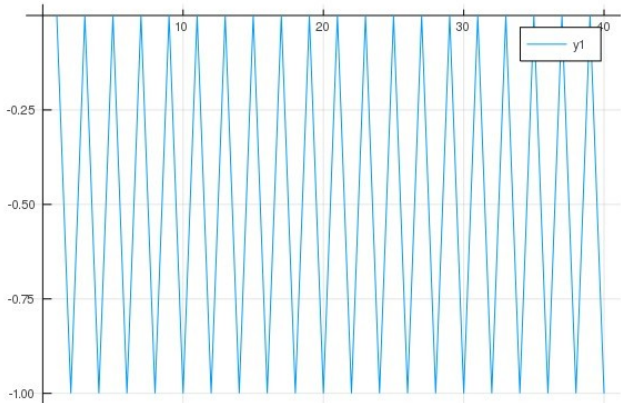
$x_0 = 2 \quad c = -2$



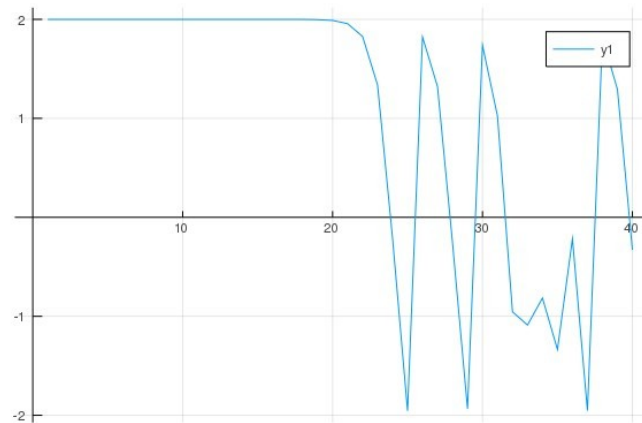
$c = -1 \quad x_0 = -1$



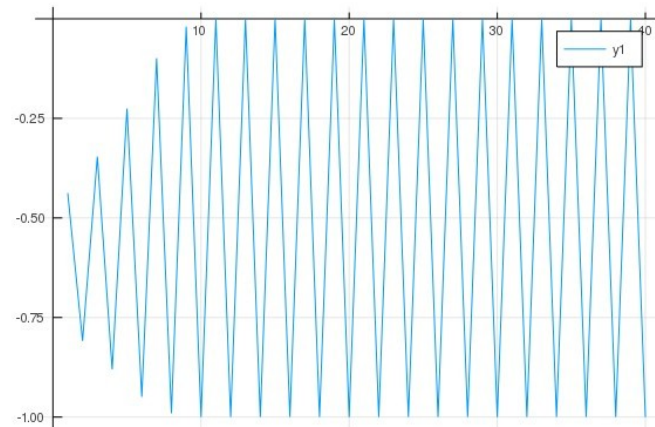
$x_0 = 1 \quad c = -1$



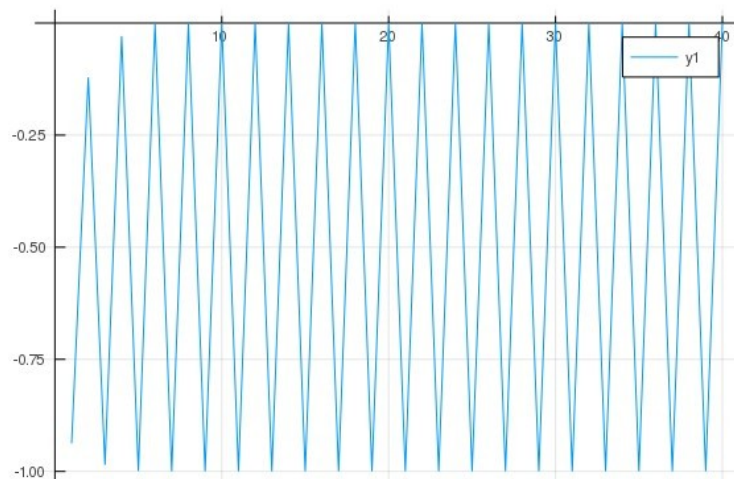
$$x_0 = 1.999999999999999 \quad c = -2$$



$$c = -1 \quad x_0 = 0.75$$



$$c = -1 \quad x_0 = 0.25$$



Dla pierwszych 4 wykresów wyniki są dość przewidywalne, zgodne.

W kolejnym przykładzie tj. dla  $x_0=1.9999999999999999$  zauważalny jest fakt, iż z kolejną iteracją wyniki są coraz bardziej rozrzucone, niezgodne. Intuicja podpowiada, że  $x_0$  zostanie zaokrąglony do 2 i otrzymamy rezultaty zbliżone to  $[2.0, 2.0, \dots, 2.0]$ .

Dla  $x_0=0.75$  v  $x_0=0.25$  wartości po pewnej iteracji stabilizują się i oscylują po wartościach 0 oraz  $-1.0$ .

Sprawcą chaosu potencjalnie jest podnoszenie do kwadratu, ponieważ w wyniku np. błędu przybliżenia w pewnej iteracji w kolejnych błąd będzie wielokrotnie powtarzany. Jednak nasza analiza dowodzi, że wyniki są bezpośrednio i w dużym stopniu zależne od danych wejściowych  $x_0$  i  $c$ . Jest to również zadanie źle uwarunkowane, ponieważ drobna zmiana może doprowadzić do otrzymania skrajnie błędnych wyników.