

Numerki1

November 14, 2023

```
[6]: import time

import matplotlib.pyplot as plt
import mpmath
import numpy as np
from scipy import linalg
from scipy.linalg import det

mpmath.mp.dps = 50
#Zmienne dla sprawdzania dzialania
N = 124
#razy = 80
#-----

srednia = 500
value = 0.0
wektor = [0.0] * N

def forward_substitution(juz_nie_slownik, b, n):

    for i in range(1, n):
        b[i] -= juz_nie_slownik[0][i]*b[i-1]
    return b

def backward_substitution(juz_nie_slownik, x, n):

    x[n - 1] /= juz_nie_slownik[1][n - 1]
    x[n - 2] = (x[n - 2] - juz_nie_slownik[2][n - 2] * x[n - 1]) / \
    ↪juz_nie_slownik[1][n - 2]

    for i in range(n - 3, -1, -1):
        x[i] = (x[i] - juz_nie_slownik[3][i] * x[i + 2] - juz_nie_slownik[2][i] \
    ↪* x[i + 1]) / juz_nie_slownik[1][i]
    return x

def lu(juz_nie_slownik, n):
```

```

    for i in range(1, n-2):
        juz_nie_slownik[0][i] /= juz_nie_slownik[1][i - 1]
        juz_nie_slownik[1][i] -= juz_nie_slownik[0][i] * juz_nie_slownik[2][i - 1]
        juz_nie_slownik[2][i] -= juz_nie_slownik[0][i] * juz_nie_slownik[3][i - 1]

    juz_nie_slownik[0][n-2] /= juz_nie_slownik[1][n-3]
    juz_nie_slownik[1][n-2] -= juz_nie_slownik[0][n-2] * juz_nie_slownik[2][n-3]
    juz_nie_slownik[2][n-2] -= juz_nie_slownik[0][n-2] * juz_nie_slownik[3][n-3]

    juz_nie_slownik[0][n-1] /= juz_nie_slownik[1][n-2]
    juz_nie_slownik[1][n-1] -= juz_nie_slownik[0][n-1] * juz_nie_slownik[2][n-2]

    return juz_nie_slownik
#inicjalizacja macierzy do sprawdzania wyniku
macierz = np.zeros((N, N))

for i in range(N):
    for j in range(0, N):
        if(i == 0):
            macierz[0][0] = 1.2
            macierz[0][1] = 0.1
            macierz[0][2] = 0.15
        else:
            if(i == j+1):
                macierz[i][j] = 0.2
            elif(i == j):
                macierz[i][j] = 1.2
            elif(i == j-1):
                macierz[i][j] = 0.1/float(i+1)
            elif(i == j-2):
                macierz[i][j] = 0.15/float((i+1)*(i+1))
    wektor[i] = float(i+1)

print("Macierz incjalizowana jako 2-wymiarowa tablica: ")
print(macierz)
print("Wektor x: ")
print(wektor)

#metoda standardowa
start = time.time()
wyznacznik_strt = det(macierz)
result = linalg.solve(macierz, wektor)
stop = time.time()
wynik = float(stop - start)

```

```

print("Czas, za który rozwiązany był układ równań: ")
print(wynik)
print("Wyznacznik liczony przez det(A): ")
print(wyznacznik_strt)
print("Wynik(wektor y) liczony z linalg.solve: ")
print(result)
def moja_piekna_funkcja(razy, N, rozmiar):
    wyznacznik = 1.0
    wynik = 0.0

    LU_macierz = np.zeros((N, 4))
    n_lista = []
    wynik_lista = []
    wyz_lista = []
    z_lista = []

    #LU faktoryzacja
    while(N<124*rozmiar):

        # = np.zeros((N, 4))
        #LU_macierz = np.zeros((N, 4))
        z = [0.0]*N
        wektor1 = [0.0]*N
        for o in range(razy):

            juz_nie_slownik = []
            LU_macierz = np.zeros((4, N))
            wektor1 = [0.0] * N
            z = [0.0] * N
            wynik = 0.0
            wyznacznik = 1.0

            # Uzupełnienie diagonali macierzy A
            juz_nie_slownik.append([0] + [0.2] * (N - 1))
            juz_nie_slownik.append([1.2] * N)
            juz_nie_slownik.append([0.1 / i for i in range(1, N)] + [0])
            juz_nie_slownik.append([0.15 / i ** 2 for i in range(1, N - 1)] +
↪ [0] + [0])

            for i in range(0, N):
                wektor1[i] = i+1
            #print(wektor1)

```

```

        #pomiar czasu
        start = time.time()
        LU_macierz = lu(juz_nie_slownik, N)
        y = forward_substitution(LU_macierz, wektor1, N)
        z = backward_substitution(LU_macierz, y, N)
        stop = time.time()

        wynik += stop-start

    for s in range(N):
        wyznacznik *= LU_macierz[1][s]
    wyz_lista.append(wyznacznik)
    wynik /= razy
    n_lista.append(N)
    wynik_lista.append(wynik)
    z_lista.append(z)
    N+=124
    #print(wynik_lista)

    print("Czas, za który rozwiązany zostaje układ rownan N_min: ")
    print(wynik_lista[0])
    print("Wyznacznik liczony z macierzy U, N_min: ")
    print(wyz_lista[0])
    print("Wynik(wektor y) liczony z własnej metody: ")
    print(z_lista[0])

    plt.plot(np.array(n_lista), np.array(wynik_lista))

    plt.xlabel("N")
    plt.ylabel("Czas, potrzebny na obliczenie")
    plt.show()

```

Macierz incjalizowana jako 2-wymiarowa tablica:

```

[[1.20000000e+00 1.00000000e-01 1.50000000e-01 ... 0.00000000e+00
 0.00000000e+00 0.00000000e+00]
 [2.00000000e-01 1.20000000e+00 5.00000000e-02 ... 0.00000000e+00
 0.00000000e+00 0.00000000e+00]
 [0.00000000e+00 2.00000000e-01 1.20000000e+00 ... 0.00000000e+00
 0.00000000e+00 0.00000000e+00]
 ...
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 0.00000000e+00 ... 1.20000000e+00
 8.19672131e-04 1.00779360e-05]
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 0.00000000e+00 ... 2.00000000e-01
 1.20000000e+00 8.13008130e-04]
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 0.00000000e+00 ... 0.00000000e+00
 2.00000000e-01 1.20000000e+00]]

```

Wektor x:

```
[1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0,
```

15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0, 23.0, 24.0, 25.0, 26.0, 27.0, 28.0, 29.0, 30.0, 31.0, 32.0, 33.0, 34.0, 35.0, 36.0, 37.0, 38.0, 39.0, 40.0, 41.0, 42.0, 43.0, 44.0, 45.0, 46.0, 47.0, 48.0, 49.0, 50.0, 51.0, 52.0, 53.0, 54.0, 55.0, 56.0, 57.0, 58.0, 59.0, 60.0, 61.0, 62.0, 63.0, 64.0, 65.0, 66.0, 67.0, 68.0, 69.0, 70.0, 71.0, 72.0, 73.0, 74.0, 75.0, 76.0, 77.0, 78.0, 79.0, 80.0, 81.0, 82.0, 83.0, 84.0, 85.0, 86.0, 87.0, 88.0, 89.0, 90.0, 91.0, 92.0, 93.0, 94.0, 95.0, 96.0, 97.0, 98.0, 99.0, 100.0, 101.0, 102.0, 103.0, 104.0, 105.0, 106.0, 107.0, 108.0, 109.0, 110.0, 111.0, 112.0, 113.0, 114.0, 115.0, 116.0, 117.0, 118.0, 119.0, 120.0, 121.0, 122.0, 123.0, 124.0]

Czas, za który rozwiązany był układ równań:

0.12500357627868652

Wyznacznik liczony przez `det(A)`:

6141973498.857843

Wynik (wektor `y`) liczony z `linalg.solve`:

```
[ 0.44870083  1.41327329  2.13487785  2.86901327  3.59148857  4.31160496
 5.02982717  5.74701146  6.46350369  7.17952596  7.8952126   8.61065186
 9.32590362 10.04100995 10.75600127 11.47090008 12.18572339 12.90048431
13.61519305 14.32985776 15.04448494 15.7590799  16.47364698 17.18818978
17.90271132 18.61721411 19.3317003  20.04617173 20.76062997 21.47507637
22.18951211 22.90393821 23.61835557 24.33276499 25.04716715 25.76156269
26.47595215 27.19033601 27.90471473 28.61908869 29.33345825 30.04782373
30.76218542 31.47654359 32.19089847 32.90525028 33.61959923 34.33394549
35.04828923 35.76263061 36.47696977 37.19130683 37.90564193 38.61997516
39.33430663 40.04863645 40.76296469 41.47729144 42.19161678 42.90594078
43.6202635  44.33458501 45.04890537 45.76322462 46.47754284 47.19186005
47.90617631 48.62049166 49.33480613 50.04911978 50.76343263 51.47774471
52.19205606 52.90636671 53.62067669 54.33498602 55.04929473 55.76360284
56.47791038 57.19221737 57.90652382 58.62082977 59.33513522 60.04944019
60.76374471 61.47804879 62.19235244 62.90665567 63.62095851 64.33526096
65.04956305 65.76386477 66.47816614 67.19246718 67.90676789 68.62106829
69.33536838 70.04966818 70.76396768 71.47826691 72.19256587 72.90686457
73.62116301 74.33546121 75.04975916 75.76405688 76.47835438 77.19265165
77.90694872 78.62124557 79.33554222 80.04983867 80.76413494 81.47843101
82.19272691 82.90702262 83.62131817 84.33561355 85.04990876 85.76420381
86.4784987  87.19279247 87.90778524 88.68203579]
```

Sprawozdanie numeryczne

Cel badania

Celem badania było sprawdzenie efektywności rozwiązywania układu równań metodą faktoryzacji LU dla macierzy 4-diagonalnej oraz obliczenie wyznacznika tej macierzy dla różnych wymiarów N .

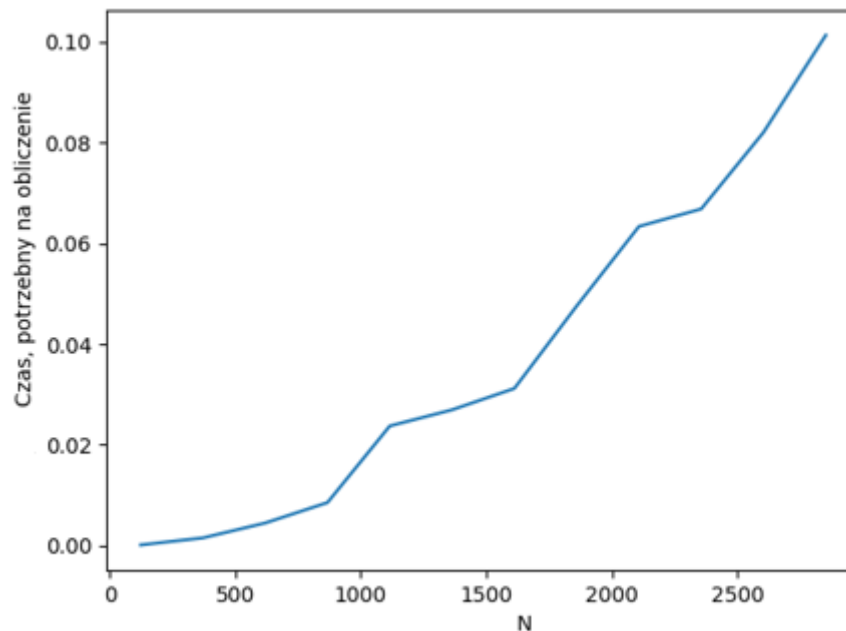
Metoda badawcza

1. Zaimplementowano funkcje `forward_substitution` i `backward_substitution`, które odpowiadały za rozwiązanie układu równań metodą faktoryzacji LU.
2. Macierz była zaimplementowana jako słownik ze wskaźnikami dla efektywnego wykorzystania pamięci komputera. Słownik ten posiada jedynie wartości 4-ech diagonal.
3. Dla sprawdzania wyniku była stworzona macierz w standardowy sposób oraz wykonano

- wszystkie odpowiednie operacje z wyznaczeniem straconego czasu
4. Funkcja LU dzieli macierz A na macierze diagonalne L oraz U w sposób efektywny rozważając tylko przypadki zmiany elementów diagonalnych
 5. Przeprowadzono serię pomiarów czasu dla różnych wartości N, poczynając od 124 do 4464 oraz dla różnych ilości powtórzeń pomiaru, od 10 do 200.
 6. Dokonano analizy wyznacznika i czasu rozwiązania układu równań, zarówno za pomocą funkcji bibliotecznych, jak i za pomocą własnej implementacji.
 7. Wyniki

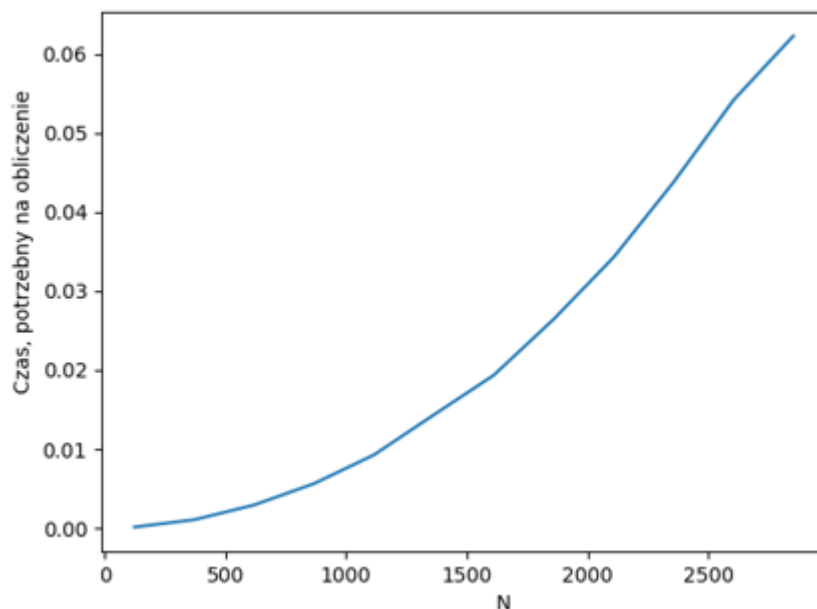
Odpowiednia metoda(LU) została wybrana przez swoją szybkość i dostosowano do niej korzystanie ze słownika, co pozwala nam znacznie zmniejszyć złożoność pamięciową. Metoda biblioteczna jest w znacznym stopniu wolniejsza od wybranej, na co wskazują badania czasu oraz potrzebuje tworzenia macierzy $N \times N$, co zajmuje znaczną ilość pamięci. Metoda LUP nie została wybrana, bo typ macierzy jest dobrany w taki sposób, że i tak wiemy, że nie będziemy dzielić przez zero. Faktoryzacja Thomasa dobrze działa z macierzami diagonalnymi symetrycznymi, nasza macierz jednak nie jest symetryczna. Nie używaliśmy do tego faktoryzacji Cholesky'ego, bo liczenie pierwiastku spowalnia algorytm i nasza macierz nie jest symetryczna. Faktoryzacja QR też pokazuje gorsze wyniki czasowe, dlatego została wybrana metoda LU Doolittle'a.

Poniższe wykresy odpowiadają realizacji kodu z używaniem słownika. Cały algorytm jest realizowany w $O(n)$, jednak widać jest, że wykres odpowiada funkcji kwadratowej, co świadczy, że złożoność algorytmu jest większa od $O(n)$. Jest to związane z tym, że w Pythonie dostęp do wartości pod kluczem nie jest $O(1)$, dlatego korzystania ze słownika spowalnia program. Dla dużego N ta różnica jest jaknajbardziej widoczna. Pierwsze pomiary czasu dla rozwiązania układu równań metodą LU wyniosły około 0.00014($N=124$) sekundy dla N w przedziałach [124, 2976] przy dziesięciu próbach wymiaru. Metoda biblioteczna trwała 0.0039 sekund. Dla $N = 2976$, pomiar czasu LU wynosi 0.1

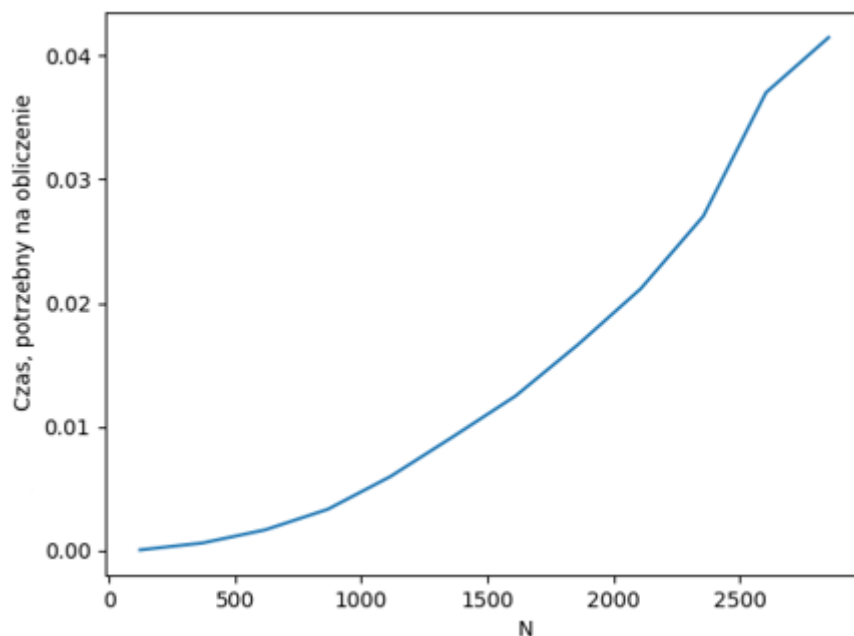


Drugie pomiary czasu dla rozwiązania układu równań metodą LU wyniosły około 0.00013($N=124$) sekundy dla N w przedziałach [124, 2976] przy trzydziestu próbach wymiaru. Metoda biblioteczna

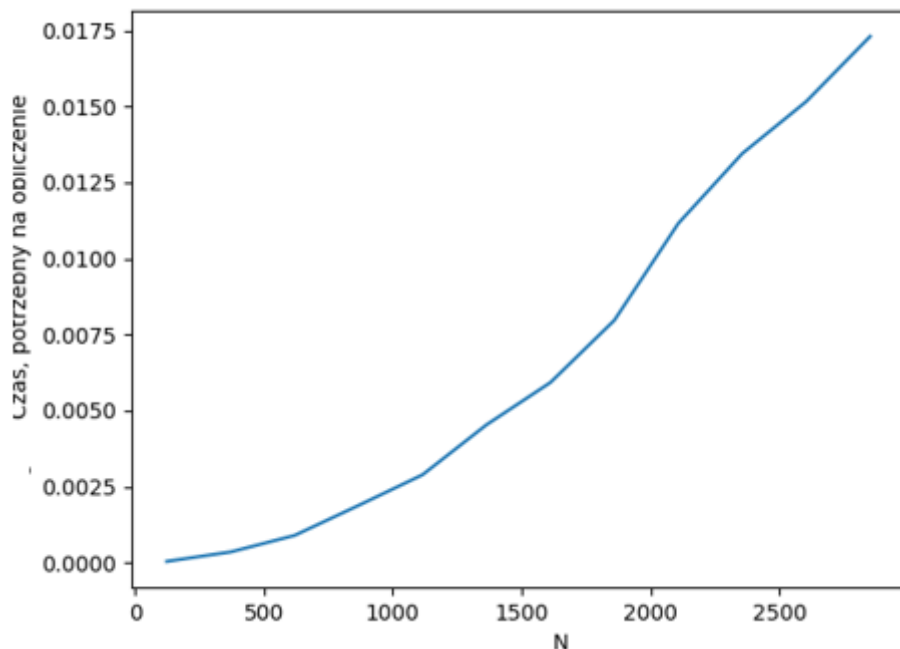
trwała 0.0040 sekund. Dla $N = 2976$, pomiar czasu LU wynosi 0.06225



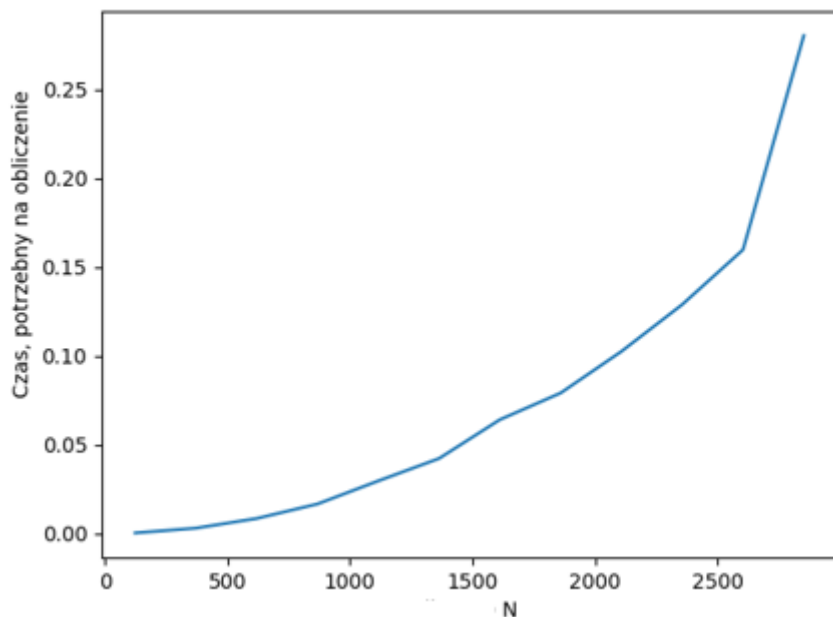
Trzecie pomiary czasu dla rozwiązania układu równań metodą LU wyniosły około 5.97×10^{-5} ($N=124$) sekundy dla N w przedziałach $[124, 2976]$ przy 50 próbach wymiaru. Metoda biblioteczna trwała 0.0045 sekund. Dla $N = 2976$, pomiar czasu LU wynosi 7.99×10^{-5}



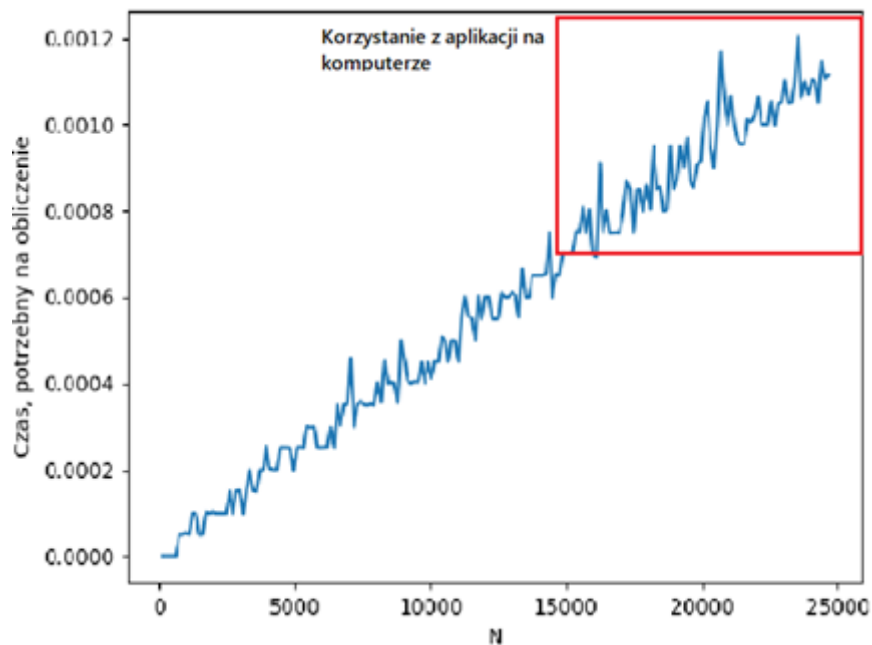
Czwarte pomiary czasu dla rozwiązania układu równań metodą LU wyniosły około 4.0×10^{-5} ($N=124$) sekundy dla N w przedziałach $[124, 2976]$ przy stu próbach wymiaru. Metoda biblioteczna trwała 0.0043 sekund. Dla $N = 2976$, pomiar czasu LU wynosi 0.0173



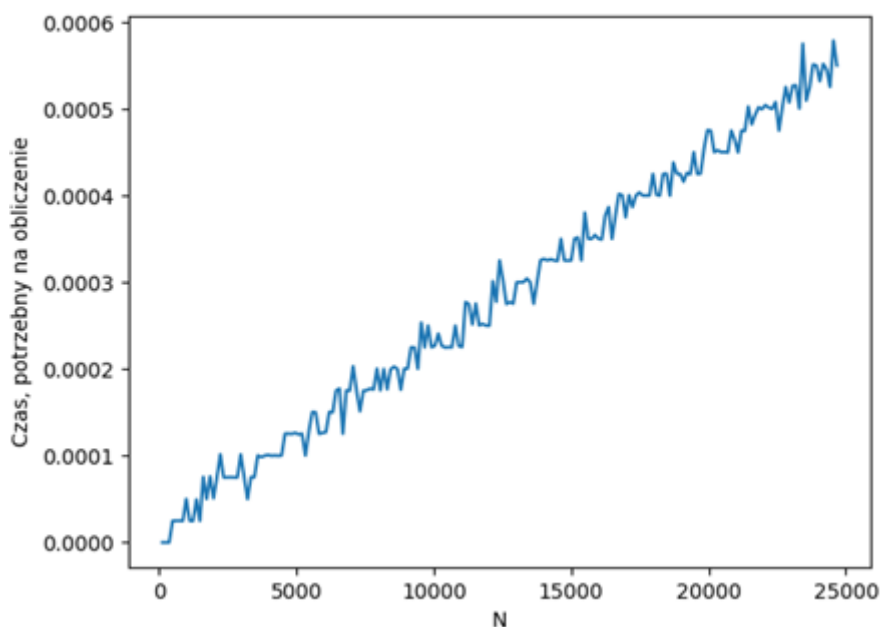
Pięte pomiary czasu dla rozwiązania układu równań metodą LU wyniosły około 0.00039(N=124) sekundy dla N w przedziałach [124, 2976] przy 10 próbach wymiaru. Metoda biblioteczna trwała 0.0040 sekund. Dla N = 2976, pomiar czasu LU wynosi 0.28



Wartość wyznacznika macierzy A (dla N=124), obliczona za pomocą metody bibliotecznej, wyniosła około 6141973498.857843. Natomiast dla metody własnej implementacji wynik wyniósł około 6141973498.857843, co znaczy, że wyznacznik obliczony jest w sposób poprawny. Następujące wykresy odpowiadają realizacji programu przy użyciu tablicy wymiarów 4xN. Algorytm nie był zmieniony, zmiany zostały wprowadzone jedynie dla typu danych.

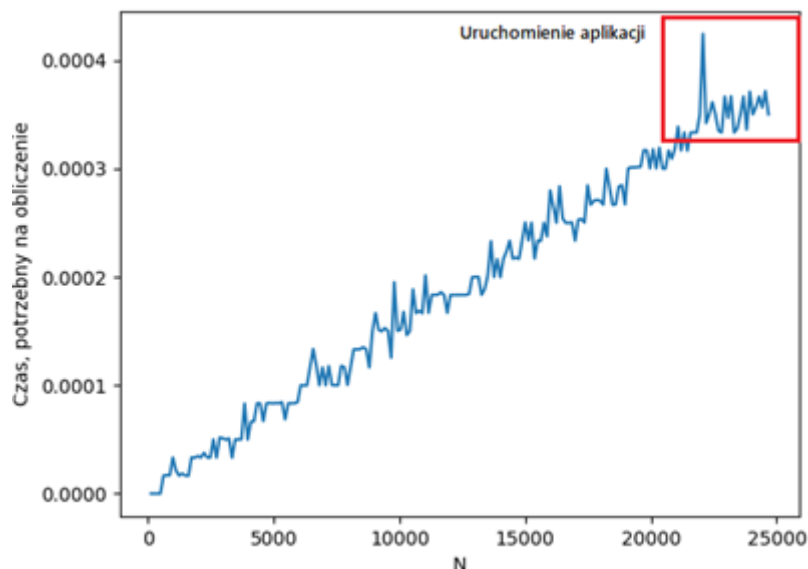


Pierwszy test był przeprowadzony dla N w zakresie $[124, 25000]$, przy uśrednieniu wyniku pomiaru czasu z 20 prób. Wynik nie ma dużej precyzyjności, oraz w drugiej połowie programu widoczne są duże skoki z powodu uruchomienia pewnej ilości innych programów, co wpływały na wynik w znacznym stopniu. Czas dla rozwiązywania metodą biblioteczną wynosi 0.0045 dla $N = 124$, własna metoda: 0.00005 sekund, dla $N = 25000$, pomiar czasu pokazał 0.0012 sekund.



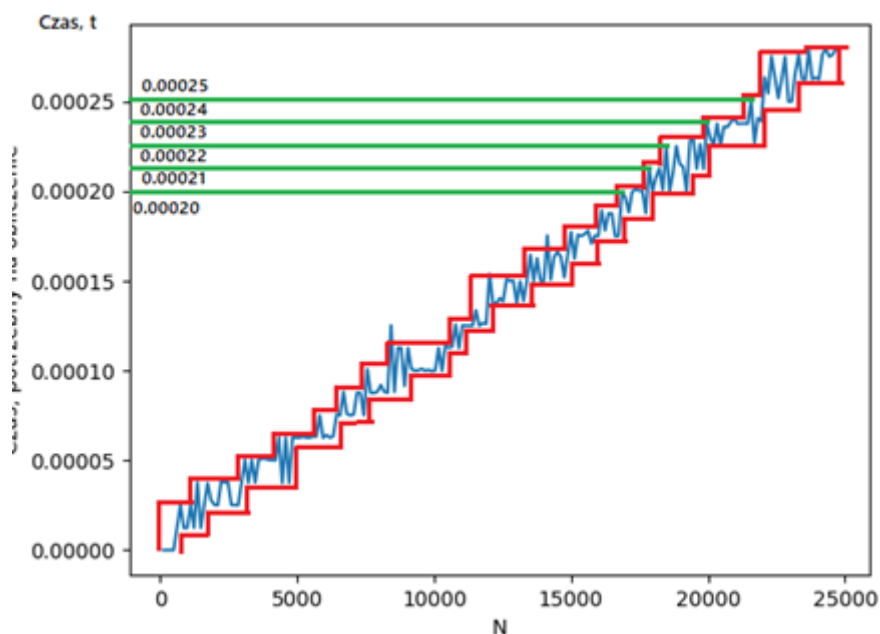
Drugi test przeprowadzony jest dla 40 prób przy wyłączonych programach na komputerze. Widać

stąd, że wcześniej programy miały duży wpływ na stabilność wyniku, który również można zminimalizować za pomocą zwiększenia ilości prób eksperymentu numerycznego. Dla $N=124$, czas wynosi 0.0043 sekundy, dla naszej metody 0.00003 sekundy. Dla $N=25000$ układ jest rozwiązywany za 0.0006 sekundy.

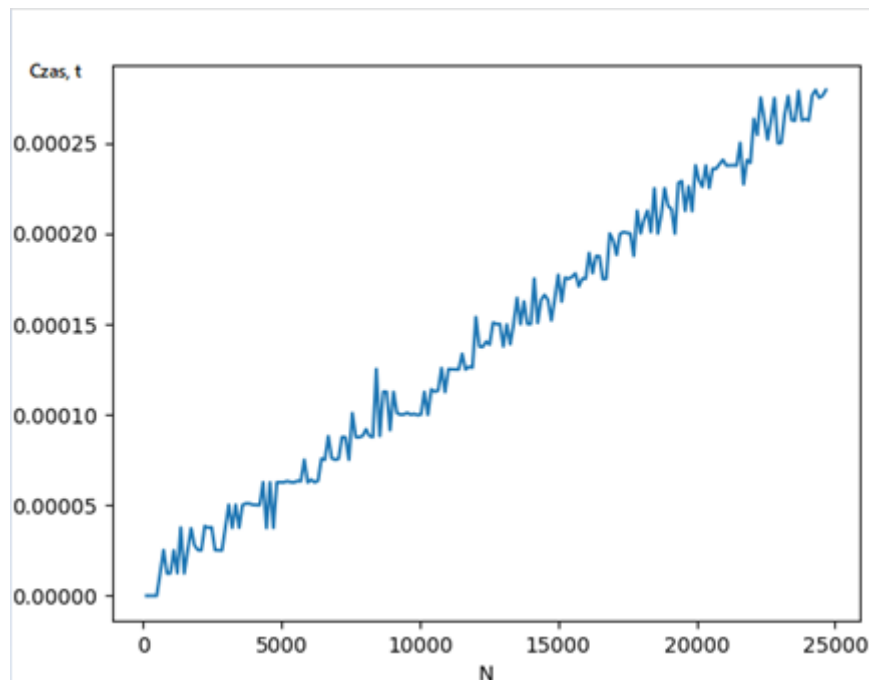


Trzeci test dla 60 prób pokazał większą precyzyjność wyniku i tutaj już wyraźnie widać „schodki”, o których mowa będzie dalej. W końcu uruchomiłem przez przypadek menedżer procesów, co spowodowało wydłużenie czasu rozwiązywania równania, co wskazuje, że nawet dla dużej ilości prób eksperymentu, działanie innych programów może wpływać na wynik pomiaru czasu.

$N=124 \Rightarrow t_1(\text{czas dla metody bibliotecznej}) = 0.00042$, $t_2(\text{czas dla metody własnej}) = 0.00002$
 $N= 25000 \Rightarrow t_2 = 0.00035$



Schodki Schodkowy wzrost czasu jest związany z reprezentacją wartości na wykresach dla funkcji `plot()` z biblioteki `matplotlib.pyplot`. Ta biblioteka dzieli przestrzeń między wartościami t na 5 części, przez co przy wypisywaniu czas jest zaokrąglany do najbliższej z tych części (wartości na osi t).



Grafik z wykresu powyżej. Prób jest 80, precyzyjność wyniku jest wyższa. $N = 124 \Rightarrow t1(\text{biblioteczny}) = 0.00042$, $t2(\text{własny}) = 0.00001$ $N = 25000 \Rightarrow t2 = 0.00028$. Macierz biblioteczna dla $N = 25000$ liczona nie jest z powodu braku takiej ilości pamięci i mocy obliczeniowej komputera, na którym zostały przeprowadzone eksperymenty. W każdym z eksperymentów wyznacznik oraz wynik są poprawne i wynoszą:

Wyznacznik = 6141973498.857843

Wektor wynik dla $N = 124$ (Jest wypisywany w kodzie na początku) [0.448700827728733, 1.4132732869357947, 2.1348778535462736, 2.8690132654396248, 3.5914885705595205, 4.311604959915503, 5.029827173723323, 5.747011462584994, 6.463503693914558, 7.179525964548697, 7.8952125968955915, 8.610651859797315, 9.325903619364162, 10.041009954626537, 10.756001271894783, 11.470900080737994, 12.185723394049369, 12.900484305313817, 13.615193053266005, 14.329857758065131, 15.044484941235352, 15.759079899902147, 16.473646980766127, 17.18818978377055, 17.902711315621058, 18.617214106977666, 19.331700302956037, 20.046171733762908, 20.76062997036838, 21.47507636878333, 22.189512105570603, 22.903938206548368, 23.6183555701598, 24.332764986629712, 25.047167153767735, 25.761562690082965, 26.475952145728595, 27.190336011683936, 27.904714727496145, 28.61908868783829, 29.33345824808956, 30.047823729103516, 30.762185421298863, 31.476543588182352, 32.19089846939369, 32.90525028334641, 33.61959922952588, 34.33394549049516, 35.048289233651346, 35.762630612767495, 36.4769697693505, 37.19130683383959, 37.90564192666726, 38.6199751592003, 39.33430663457682, 40.04863644845216, 40.762964689665075,

41.47729144083417, 42.19161677889273, 42.905940775569235, 43.62026349782013,
44.33458500822004, 45.04890536531427, 45.763224623938, 46.47754283550541, 47.19186004827236,
47.90617630757509, 48.62049165604775, 49.334806133820685, 50.04911977870149,
50.76343262634067, 51.47774471038327, 52.192056062607854, 52.9063667130542,
53.62067669014054, 54.33498602077156, 55.04929473043772, 55.76360284330703,
56.47791038230969, 57.192217369216245, 57.906523824710035, 58.62082976845425,
59.335135219153926, 60.049440194613666, 60.763744711791205, 61.47804878684707,
62.192352435190934, 62.90665567152471, 63.62095850988271, 64.33526096366691,
65.04956304569288, 65.76386476820053, 66.47816614290662, 67.19246718102224,
67.90676789328191, 68.62106828996849, 69.33536838093679, 70.0496681756356,
70.76396768312829, 71.47826691211242, 72.19256587093781, 72.90686456762393,
73.62116300987596, 74.33546120510012, 75.04975916041795, 75.76405688267984,
76.47835437847795, 77.19265165415811, 77.90694871583132, 78.62124556938441,
79.33554222049035, 80.04983867461782, 80.76413493704023, 81.47843101284448,
82.19272690693916, 82.90702262406211, 83.62131816878798, 84.33561354553508,
85.04990875857204, 85.76420381203626, 86.47849870460276, 87.19279247126808,
87.90778524137869, 88.68203579310355]

Analiza Wpływ uśrednienia wyników Uśrednianie wyników pomiarów okazało się ważnym aspektem. Wykonując pomiar czasu wielokrotnie i obliczając średnią uzyskanych wartości, eliminujemy wpływ czynników losowych na ostateczny wynik. Zauważyliśmy, że pojedyncze pomiary czasu mogą być obarczone znaczną zmiennością, co wynika z działania systemu operacyjnego i innych czynników zewnętrznych. Wpływ innych programów Inne programy mają znaczny wpływ na czas rozwiązywania równania i nie zawsze jest możliwe jego wyeliminowanie za pomocą zwiększenia ilości prób w związku z tym, że wszystkie takie próby są przeprowadzone w czasie działania tego programu i wszystkie próby będą mieli zwiększony czas. Wpływ rozmiaru macierzy Nasze badanie wyraźnie pokazało, że czas obliczeń rośnie w sposób liniowy wraz ze zwiększaniem rozmiaru macierzy N. Oznacza to, że złożoność obliczeniowa metody faktoryzacji LU dla macierzy 4-diagonalnych jest liniowa. Dla mniejszych wartości N czas obliczeń jest relatywnie krótki, ale w miarę wzrostu N staje się bardziej wymagający obliczeniowo. Jest to charakterystyczne dla tego typu algorytmów i ilustruje, że dla dużych problemów numerycznych, takich jak te związane z analizą wielkich ilości danych, czas obliczeń może być znaczący. Otrzymane wyniki potwierdzają skuteczność zastosowanej metody faktoryzacji LU do rozwiązywania układów równań liniowych dla macierzy 4-diagonalnych.

Wnioski 1. Metoda faktoryzacji LU jest skutecznym sposobem rozwiązywania układów równań dla macierzy 4-diagonalnych. 2. Złożoność obliczeniowa metody wzrasta wraz ze zwiększaniem rozmiaru macierzy, co może wpływać na czas wykonywania obliczeń. 3. Wartość wyznacznika macierzy A, obliczona za pomocą funkcji bibliotecznych oraz własnej implementacji, była zgodna, co potwierdza poprawność obliczeń. 4. W miarę wzrostu rozmiaru macierzy N, czas obliczeń rośnie liniowo, co może mieć znaczenie przy analizie dużych zestawów danych.

Dodatkowo dodaje mozliwosc do sprawdzania wykresow(aktualne wykresy zrobione są pod wpływem dużej ilości programów)

N[124, 124*200], 20 prób dla każdego N

[7]: `moja_piekna_funkcja(20, 124, 200)`

Czas, za który rozwiązany zostaje układ równań N_min:

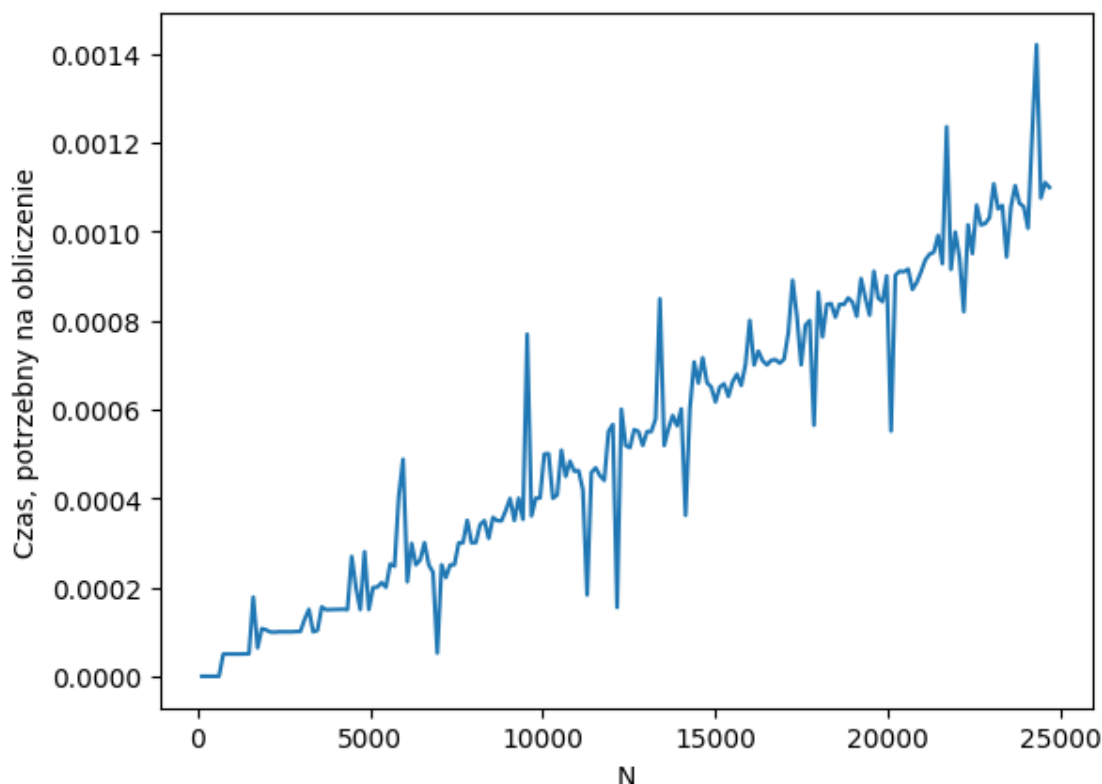
0.0

Wyznacznik liczony z macierzy U, N_min:

6141973498.857843

Wynik(wektor y) liczony z własnej metody:

[0.448700827728733, 1.4132732869357947, 2.1348778535462736, 2.8690132654396248, 3.5914885705595205, 4.311604959915503, 5.029827173723323, 5.747011462584994, 6.463503693914558, 7.179525964548697, 7.8952125968955915, 8.610651859797315, 9.325903619364162, 10.041009954626537, 10.756001271894783, 11.470900080737994, 12.185723394049369, 12.900484305313817, 13.615193053266005, 14.329857758065131, 15.044484941235352, 15.759079899902147, 16.473646980766127, 17.18818978377055, 17.902711315621058, 18.617214106977666, 19.331700302956037, 20.046171733762908, 20.76062997036838, 21.47507636878333, 22.189512105570603, 22.903938206548368, 23.6183555701598, 24.332764986629712, 25.047167153767735, 25.761562690082965, 26.475952145728595, 27.190336011683936, 27.904714727496145, 28.61908868783829, 29.33345824808956, 30.047823729103516, 30.762185421298863, 31.476543588182352, 32.19089846939369, 32.90525028334641, 33.61959922952588, 34.33394549049516, 35.048289233651346, 35.762630612767495, 36.4769697693505, 37.19130683383959, 37.90564192666726, 38.6199751592003, 39.33430663457682, 40.04863644845216, 40.762964689665075, 41.47729144083417, 42.19161677889273, 42.905940775569235, 43.62026349782013, 44.33458500822004, 45.04890536531427, 45.763224623938, 46.47754283550541, 47.19186004827236, 47.90617630757509, 48.62049165604775, 49.334806133820685, 50.04911977870149, 50.76343262634067, 51.47774471038327, 52.192056062607854, 52.9063667130542, 53.62067669014054, 54.33498602077156, 55.04929473043772, 55.76360284330703, 56.47791038230969, 57.192217369216245, 57.906523824710035, 58.62082976845425, 59.335135219153926, 60.049440194613666, 60.763744711791205, 61.47804878684707, 62.192352435190934, 62.90665567152471, 63.62095850988271, 64.3352609636691, 65.04956304569288, 65.76386476820053, 66.47816614290662, 67.19246718102224, 67.90676789328191, 68.62106828996849, 69.33536838093679, 70.0496681756356, 70.76396768312829, 71.47826691211242, 72.19256587093781, 72.90686456762393, 73.62116300987596, 74.33546120510012, 75.04975916041795, 75.76405688267984, 76.47835437847795, 77.19265165415811, 77.90694871583132, 78.62124556938441, 79.33554222049035, 80.04983867461782, 80.76413493704023, 81.47843101284448, 82.19272690693916, 82.90702262406211, 83.62131816878798, 84.33561354553508, 85.04990875857204, 85.76420381203626, 86.47849870460276, 87.19279247126808, 87.90778524137869, 88.68203579310355]



$N[124, 124*200]$, 40 prób dla każdego N

[8]: `moja_piekna_funkcja(40, 124, 200)`

Czas, za który rozwiązany zostaje układ równań N_{\min} :

0.0

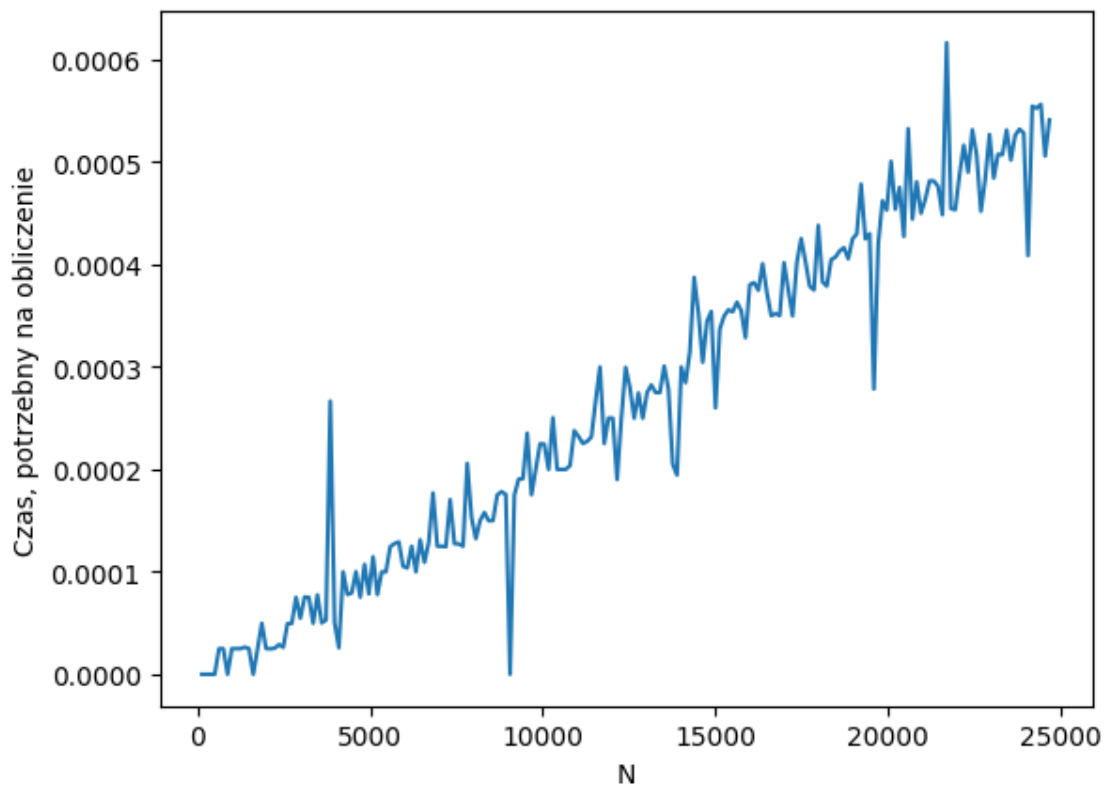
Wyznacznik liczony z macierzy U , N_{\min} :

6141973498.857843

Wynik (wektor y) liczony z własnej metody:

[0.448700827728733, 1.4132732869357947, 2.1348778535462736, 2.8690132654396248, 3.5914885705595205, 4.311604959915503, 5.029827173723323, 5.747011462584994, 6.463503693914558, 7.179525964548697, 7.8952125968955915, 8.610651859797315, 9.325903619364162, 10.041009954626537, 10.756001271894783, 11.470900080737994, 12.185723394049369, 12.900484305313817, 13.615193053266005, 14.329857758065131, 15.044484941235352, 15.759079899902147, 16.473646980766127, 17.18818978377055, 17.902711315621058, 18.617214106977666, 19.331700302956037, 20.046171733762908, 20.76062997036838, 21.47507636878333, 22.189512105570603, 22.903938206548368, 23.6183555701598, 24.332764986629712, 25.047167153767735, 25.761562690082965, 26.475952145728595, 27.190336011683936, 27.904714727496145, 28.61908868783829, 29.33345824808956, 30.047823729103516, 30.762185421298863, 31.476543588182352, 32.19089846939369, 32.90525028334641, 33.61959922952588, 34.33394549049516, 35.048289233651346, 35.762630612767495, 36.4769697693505, 37.19130683383959,

37.90564192666726, 38.6199751592003, 39.33430663457682, 40.04863644845216,
 40.762964689665075, 41.47729144083417, 42.19161677889273, 42.905940775569235,
 43.62026349782013, 44.33458500822004, 45.04890536531427, 45.763224623938,
 46.47754283550541, 47.19186004827236, 47.90617630757509, 48.62049165604775,
 49.334806133820685, 50.04911977870149, 50.76343262634067, 51.47774471038327,
 52.192056062607854, 52.9063667130542, 53.62067669014054, 54.33498602077156,
 55.04929473043772, 55.76360284330703, 56.47791038230969, 57.192217369216245,
 57.906523824710035, 58.62082976845425, 59.335135219153926, 60.049440194613666,
 60.763744711791205, 61.47804878684707, 62.192352435190934, 62.90665567152471,
 63.62095850988271, 64.3352609636691, 65.04956304569288, 65.76386476820053,
 66.47816614290662, 67.19246718102224, 67.90676789328191, 68.62106828996849,
 69.33536838093679, 70.0496681756356, 70.76396768312829, 71.47826691211242,
 72.19256587093781, 72.90686456762393, 73.62116300987596, 74.33546120510012,
 75.04975916041795, 75.76405688267984, 76.47835437847795, 77.19265165415811,
 77.90694871583132, 78.62124556938441, 79.33554222049035, 80.04983867461782,
 80.76413493704023, 81.47843101284448, 82.19272690693916, 82.90702262406211,
 83.62131816878798, 84.33561354553508, 85.04990875857204, 85.76420381203626,
 86.47849870460276, 87.19279247126808, 87.90778524137869, 88.68203579310355]



$N[124, 124*200]$, 60 prób dla każdego N

[9]: `moja_piekna_funkcja(60, 124, 200)`

Czas, za który rozwiązany zostaje układ równań N_{\min} :

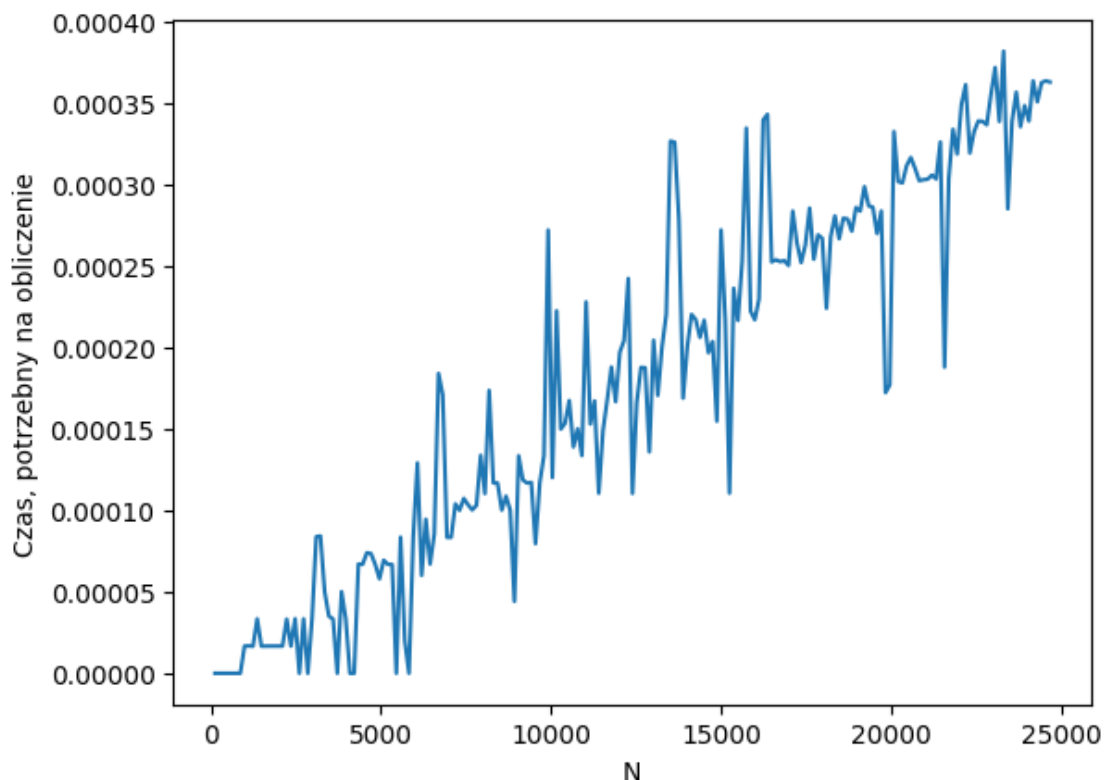
0.0

Wyznacznik liczony z macierzy U , N_{\min} :

6141973498.857843

Wynik (wektor y) liczony z własnej metody:

[0.448700827728733, 1.4132732869357947, 2.1348778535462736, 2.8690132654396248, 3.5914885705595205, 4.311604959915503, 5.029827173723323, 5.747011462584994, 6.463503693914558, 7.179525964548697, 7.8952125968955915, 8.610651859797315, 9.325903619364162, 10.041009954626537, 10.756001271894783, 11.470900080737994, 12.185723394049369, 12.900484305313817, 13.615193053266005, 14.329857758065131, 15.044484941235352, 15.759079899902147, 16.473646980766127, 17.18818978377055, 17.902711315621058, 18.617214106977666, 19.331700302956037, 20.046171733762908, 20.76062997036838, 21.47507636878333, 22.189512105570603, 22.903938206548368, 23.6183555701598, 24.332764986629712, 25.047167153767735, 25.761562690082965, 26.475952145728595, 27.190336011683936, 27.904714727496145, 28.61908868783829, 29.33345824808956, 30.047823729103516, 30.762185421298863, 31.476543588182352, 32.19089846939369, 32.90525028334641, 33.61959922952588, 34.33394549049516, 35.048289233651346, 35.762630612767495, 36.4769697693505, 37.19130683383959, 37.90564192666726, 38.6199751592003, 39.33430663457682, 40.04863644845216, 40.762964689665075, 41.47729144083417, 42.19161677889273, 42.905940775569235, 43.62026349782013, 44.33458500822004, 45.04890536531427, 45.763224623938, 46.47754283550541, 47.19186004827236, 47.90617630757509, 48.62049165604775, 49.334806133820685, 50.04911977870149, 50.76343262634067, 51.47774471038327, 52.192056062607854, 52.9063667130542, 53.62067669014054, 54.33498602077156, 55.04929473043772, 55.76360284330703, 56.47791038230969, 57.192217369216245, 57.906523824710035, 58.62082976845425, 59.335135219153926, 60.049440194613666, 60.763744711791205, 61.47804878684707, 62.192352435190934, 62.90665567152471, 63.62095850988271, 64.3352609636691, 65.04956304569288, 65.76386476820053, 66.47816614290662, 67.19246718102224, 67.90676789328191, 68.62106828996849, 69.33536838093679, 70.0496681756356, 70.76396768312829, 71.47826691211242, 72.19256587093781, 72.90686456762393, 73.62116300987596, 74.33546120510012, 75.04975916041795, 75.76405688267984, 76.47835437847795, 77.19265165415811, 77.90694871583132, 78.62124556938441, 79.33554222049035, 80.04983867461782, 80.76413493704023, 81.47843101284448, 82.19272690693916, 82.90702262406211, 83.62131816878798, 84.33561354553508, 85.04990875857204, 85.76420381203626, 86.47849870460276, 87.19279247126808, 87.90778524137869, 88.68203579310355]



$N[124, 124*200]$, 80 prób dla każdego N

[13]: `moja_piekna_funkcja(70, 124, 200)`

Czas, za który rozwiązany zostaje układ równań N_{\min} :

0.0

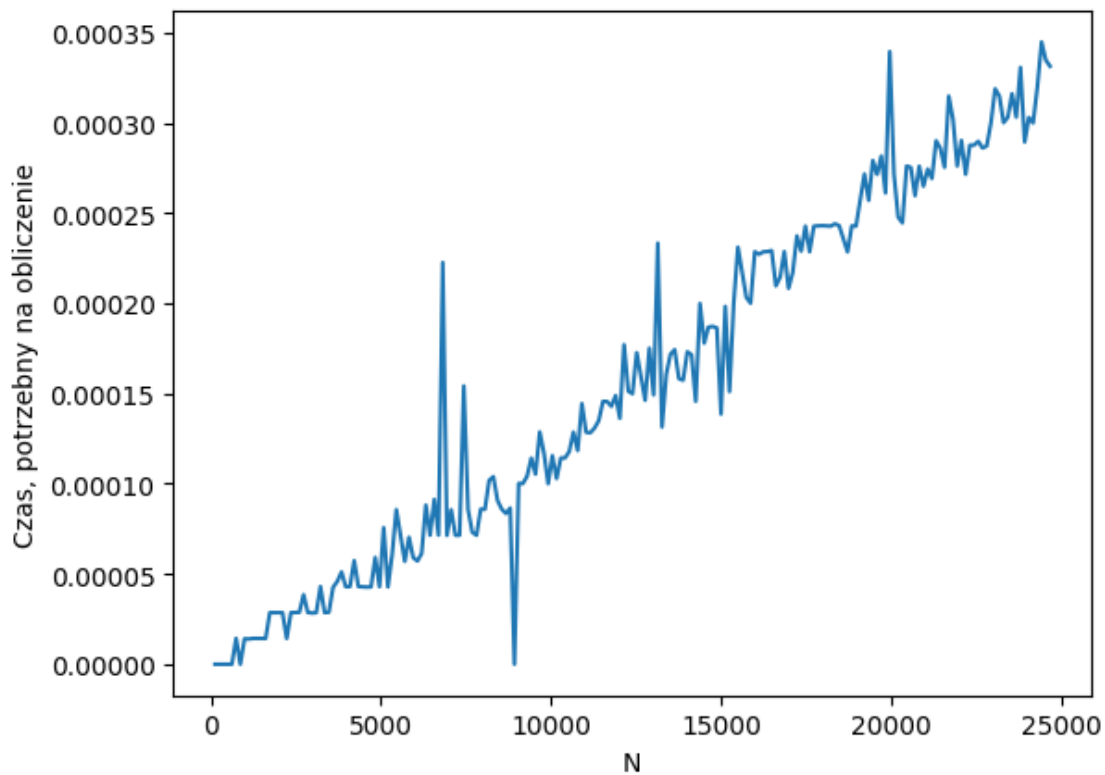
Wyznacznik liczony z macierzy U , N_{\min} :

6141973498.857843

Wynik (wektor y) liczony z własnej metody:

[0.448700827728733, 1.4132732869357947, 2.1348778535462736, 2.8690132654396248, 3.5914885705595205, 4.311604959915503, 5.029827173723323, 5.747011462584994, 6.463503693914558, 7.179525964548697, 7.8952125968955915, 8.610651859797315, 9.325903619364162, 10.041009954626537, 10.756001271894783, 11.470900080737994, 12.185723394049369, 12.900484305313817, 13.615193053266005, 14.329857758065131, 15.044484941235352, 15.759079899902147, 16.473646980766127, 17.18818978377055, 17.902711315621058, 18.617214106977666, 19.331700302956037, 20.046171733762908, 20.76062997036838, 21.47507636878333, 22.189512105570603, 22.903938206548368, 23.6183555701598, 24.332764986629712, 25.047167153767735, 25.761562690082965, 26.475952145728595, 27.190336011683936, 27.904714727496145, 28.61908868783829, 29.33345824808956, 30.047823729103516, 30.762185421298863, 31.476543588182352, 32.19089846939369, 32.90525028334641, 33.61959922952588, 34.33394549049516, 35.048289233651346, 35.762630612767495, 36.4769697693505, 37.19130683383959,

37.90564192666726, 38.6199751592003, 39.33430663457682, 40.04863644845216,
40.762964689665075, 41.47729144083417, 42.19161677889273, 42.905940775569235,
43.62026349782013, 44.33458500822004, 45.04890536531427, 45.763224623938,
46.47754283550541, 47.19186004827236, 47.90617630757509, 48.62049165604775,
49.334806133820685, 50.04911977870149, 50.76343262634067, 51.47774471038327,
52.192056062607854, 52.9063667130542, 53.62067669014054, 54.33498602077156,
55.04929473043772, 55.76360284330703, 56.47791038230969, 57.192217369216245,
57.906523824710035, 58.62082976845425, 59.335135219153926, 60.049440194613666,
60.763744711791205, 61.47804878684707, 62.192352435190934, 62.90665567152471,
63.62095850988271, 64.3352609636691, 65.04956304569288, 65.76386476820053,
66.47816614290662, 67.19246718102224, 67.90676789328191, 68.62106828996849,
69.33536838093679, 70.0496681756356, 70.76396768312829, 71.47826691211242,
72.19256587093781, 72.90686456762393, 73.62116300987596, 74.33546120510012,
75.04975916041795, 75.76405688267984, 76.47835437847795, 77.19265165415811,
77.90694871583132, 78.62124556938441, 79.33554222049035, 80.04983867461782,
80.76413493704023, 81.47843101284448, 82.19272690693916, 82.90702262406211,
83.62131816878798, 84.33561354553508, 85.04990875857204, 85.76420381203626,
86.47849870460276, 87.19279247126808, 87.90778524137869, 88.68203579310355]



Autor Maksym Yankovenko