UNIVERZITET U BEOGRADU - ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

MULTIPROCESORKI SISTEMI (13S114MUPS, 13E114MUPS)

DOMAĆI ZADATAK – OPENMP

Izveštaj o urađenom domaćem zadatku

Predmetni saradnici:

prof. dr Marko Mišić

Student:

Vuk Lužanin 29/2022

Beograd, april 2025.

SADRŽAJ

1. NAPOMENE

Projekat se nalazi na Githubu, na linku: **Feynman-Kac-Parallelization-Research.** Kako bi ga pokrenuli, potrebno ga je klonirati i zatim pratiti uputstvo napisano u **`README.md`** fajlu.

Svi testovi su pokretani na fakultetskom **`rtidev5`** računaru, a na njemu se projekat nalazi u direktorijumu:

`/home/lv220029d/Istrazivanje/Feynman-Kac-Parallelization-Research/`

Odgovarajuće implementacije se mogu pronaći u folderu **`src/OpenMP/.`** Svaki fajl sadrži po 4 različita rešenja koja su u ovom dokumentu razmatrana. U prvoj sekciji dokumenta je reč o prva dva rešenja, dok je u drugoj sekciji dokumenta reč o druga dva.

Data su objašnjenja za 3D verziju, bez umanjenja opštosti (sve dimenzije problema sadrže isto/slično rešenje, samo što je ono prilagođeno datoj verziji), dok su grafici ubrzanja priloženi za sve tri dimenzije problema

2. PROBLEM 1 - POASONOVA JEDNAČINA

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 1.

2.1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši izračunavanje 1D, 2D i 3D Poasonove jednačine korišćenjem Feynman-Kac algoritma. Algoritam stohastički računa rešenje parcijalne diferencijalne jednačine krenuvši N puta iz različitih tačaka domena. Tačke se kreću po nasumičnim putanjama i prilikom izlaska iz granica domena kretanje se zaustavlja računajući dužinu puta do izlaska. Proces se ponavlja za svih N tačaka i konačno aproksimira rešenje jednačine. Program se nalazi u datoteci **`./src/OpenMP/`** u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Delovi koje treba paralelizovati

2.1.1. Diskusija

Implementacije su odvojene u zasebne funkcije, obeležene kao **`feynman_i(),`** a koje implementiraju sam *Feynman-Kac* algoritam**.** Promenljiva **i** u nazivu funkcije uzima vrednosti [1, 2], za rešenja pomoću **`for worksharing`** direktive, pa je u nastavku objašnjenje svakog od rešenja. Specifičnost ovog algoritma je nasumično generisanje putanja tačaka, za šta se koristi generator pseudoslučajnih brojeva po uniformnoj raspodeli u funkciji **`r8_uniform_01()`**. Razmatrana je mogućnost kretanja čestice ne samo diskretno po rešetki za korak od ±stepsz u svakoj dimenziji, već i pomeranja za manje korake unutar intervala između -stepsz i stepsz, kao i korišćenje ugrađene **`rand()`** funkcije za generisanje pseudo/nasumičnih brojeva. Ova implementacija za sada nije testirana zbog zahteva za dodatnim vremenom izvođenja, ali može biti aktivirana korišćenjem kompilacionog flega -DSMALL_STEP. Postoji *seed* za generisanje ovih pseudo-nasumičnih brojeva, ali on ne pravi problem za paralelizaciju, jer svaka nit može da ima svoj sopstveni *seed* i brojevi koji se generišu će nastaviti da budu uniformni. Ukoliko je ovaj *seed* deljen, zaključili smo da se ne garantuje uniformnost raspodele.

2.1.2. Način paralelizacije [FOR COLLAPSE]

Napomena: u 1D rešenju se korišćenje for *worksharing* direktive sa collapse opcijom svodi na for *worksharing* direktivu bez opcija, tako da indeks funkcije počinje od 2.

Paralelizacija je izvršena jednom **`for`** *worksharing* direktivom sa **`collapse(3)`** opcijom nad tri prve petlje. Ovom prilikom je računanje brojeva **`x`** i **`y`** premešteno unutar iste petlje kao računanje broja **`z`**, zbog zahteva ove direktive, ne izazivajući naročito usporenje u izvršavanju.

Kako različite niti počinju sa istim *seed*-om, zaključeno je da će generisati iste brojeve po uniformnoj raspodeli. Kada je pokušano da se svakoj niti dodeli različit *seed*, uvećavanjem podrazumevanog *seed*-a za identifikator trenutne niti, dobijeno je da je *root-mean-square error* malo bliži onom od sekvencijalnog algoritma, pa je tako i ostavljeno.

Sinhronizacija između niti postignuta je sabirajućom redukcijom po promenljivama **`err`** i **`n_inside`**.

2.2. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije ovog problema.

2.2.1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

2.2.1.1. Logovi 2D problema

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=1
1000    0.022755    0.995499
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=2
1000    0.022633    0.498286
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=4
1000    0.023235    0.391813
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=8
1000    0.023249    0.221893
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=16
1000    0.022652    0.136212
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=1
5000    0.021163    4.957427
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=2
5000    0.021191    2.480981
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=4
5000    0.021471    1.943766
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=8
5000    0.021752    1.162587
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=16
5000    0.021565    0.785023
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=1
10000    0.021240    9.898465
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=2
10000    0.021161    4.960533
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=4
10000    0.021484    3.884980
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=8
10000    0.021674    2.472048
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=16
10000    0.021792    1.619796
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=1
20000    0.021439    19.821658
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=2
20000    0.021273    9.926953
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=4
20000    0.021485    7.937330
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=8
20000    0.021552    4.968104
TEST END
```

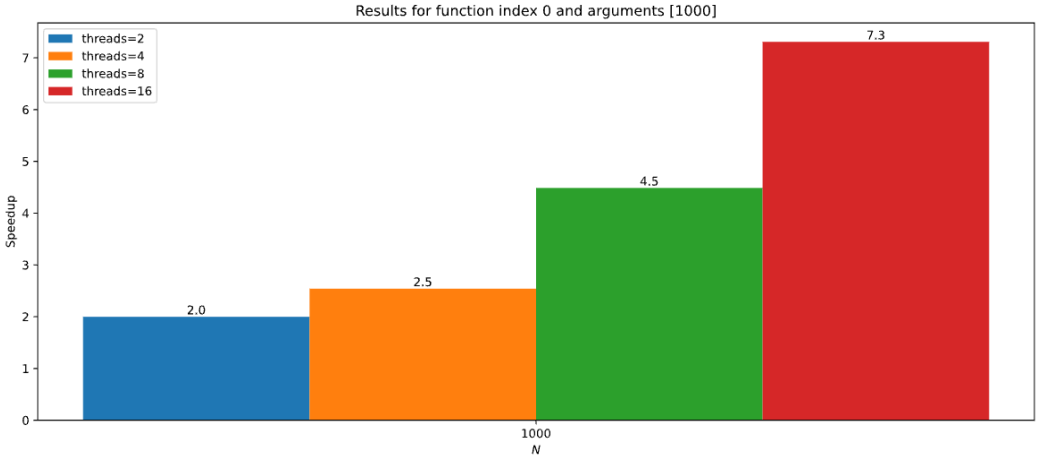
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=16
20000    0.021485    3.224030
TEST END
```

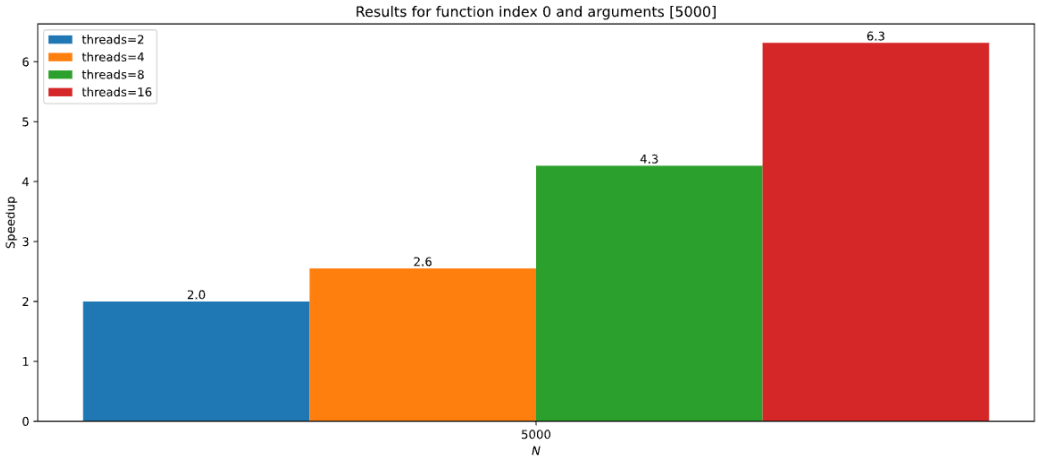
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

2.2.1.2. Grafici ubrzanja 2D problema

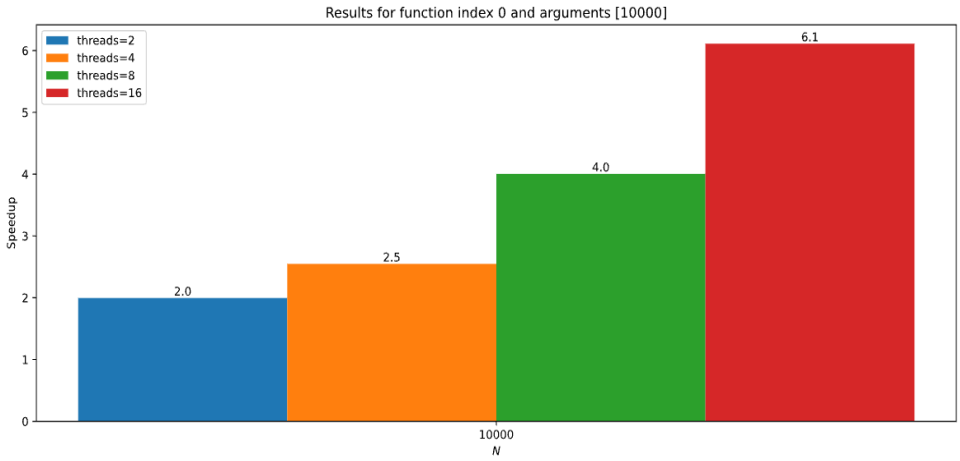
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



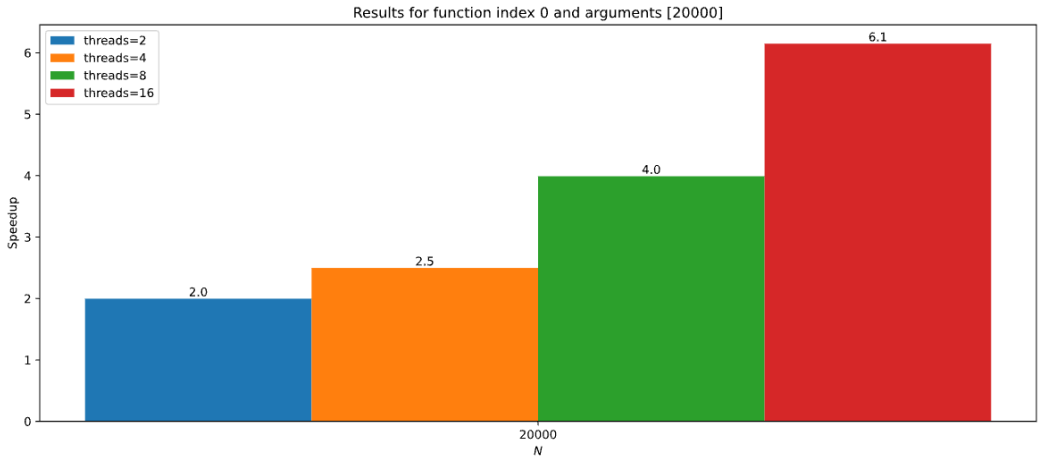
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

2.2.1.3. Logovi 3D problema

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=1
1000    0.021717    3.046836
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=2
1000    0.021614    1.528430
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=4
1000    0.021846    1.263588
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=8
1000    0.021634    0.807631
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=16
1000    0.022469    0.523907
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=1
```

```
5000    0.021273    15.264332
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=2
5000    0.021125    7.661872
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=4
5000    0.021317    6.612114
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=8
5000    0.020931    4.179080
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=16
5000    0.020941    2.494137
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=1
10000    0.021100    30.591238
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=2
10000    0.020984    15.456571
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=4
10000    0.021043    13.145688
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=8
10000    0.021000    8.240244
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=16
```

```
10000    0.020995    5.323410
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=1
20000    0.021027    61.031435
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=2
20000    0.020978    30.858416
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=4
20000    0.021046    26.159093
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=8
20000    0.020947    16.413737
TEST END
```

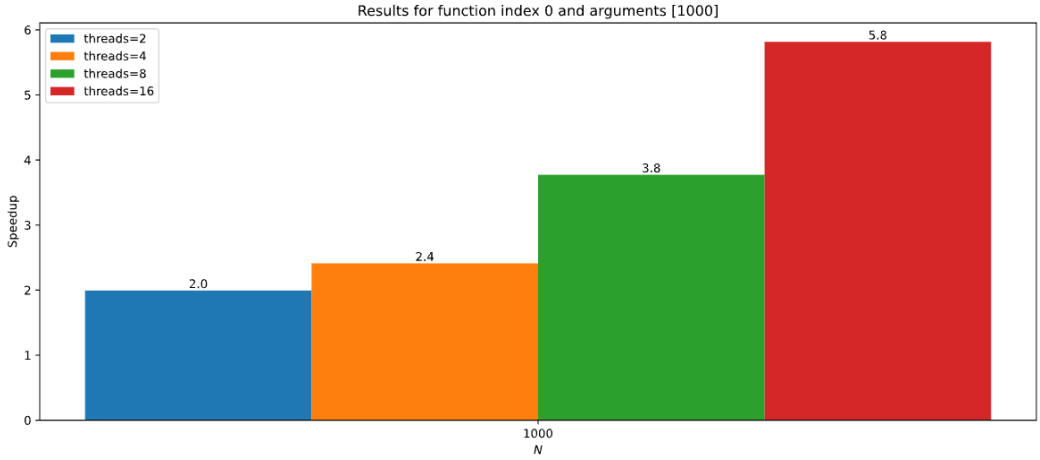
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=16
20000    0.020964    10.313700
TEST END
```

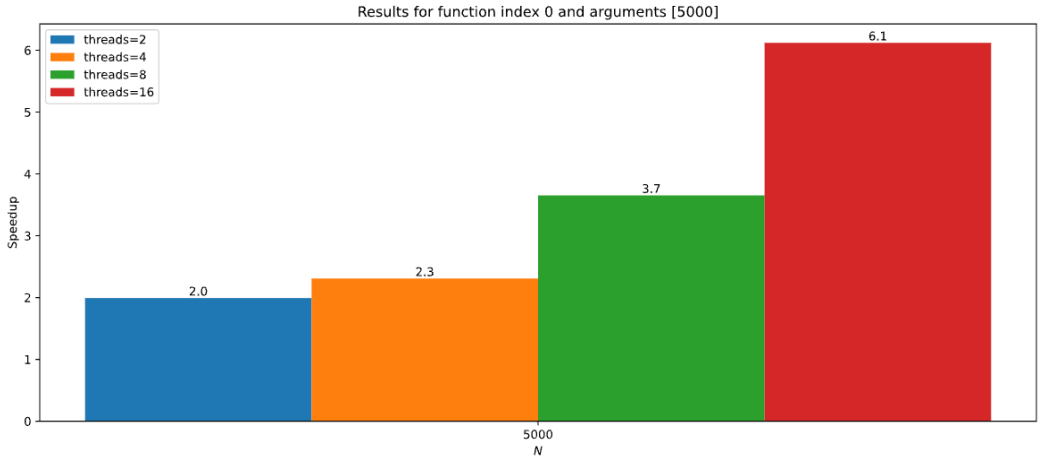
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

2.2.1.4. Grafici ubrzanja 3D problema

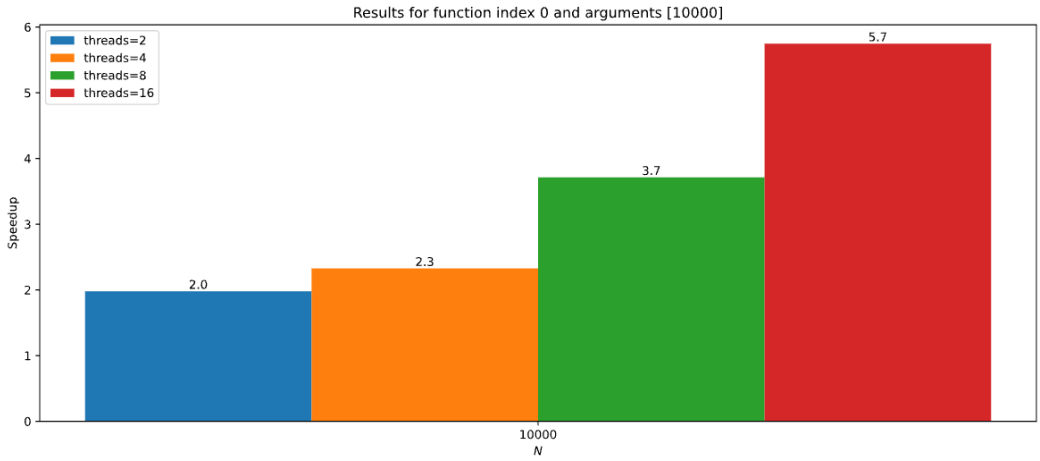
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



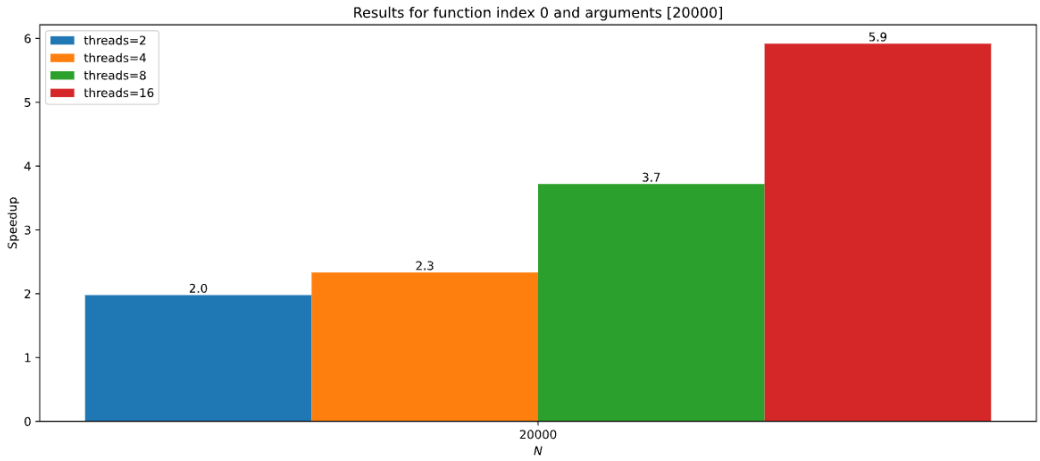
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

2.2.1.5. Diskusija dobijenih rezultata

Paralelizacija je uspešno izvršena i svi rezultati su bili u dozvoljenom opsegu odstupanja ±**`ACCURACY`** (kao što je navedeno u tekstu zadatka). Za veći broj niti dobija se vidljivo veće ubrzanje, što pokazuje da se problem može uspešno skalirati.

2.2.2. Način paralelizacije [FOR + schedule(dynamic)]

Paralelizacija je izvršena jednom **`for`** *worksharing* direktivom sa **`schedule(dynamic)`** opcijom nad najspoljnijom petljom. Kako je vreme izvršavanja unutrašnje petlje neravnomerno između niti, empirijski je zaključeno da će **dynamic** raspored dati najbolje rezultate, budući da će niti koje imaju manje posla, uzeti veći broj iteracija za obradu.

Ostatak implementacije je gotovo isti kao kod prethodnog rešenja. Sinhronizacija između niti takođe je postignuta sabirajućom redukcijom po promenljivama **`err`** i **`n_inside`**.

2.3. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije ovog problema.

2.3.1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

2.3.1.1. Logovi 1D problema

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=1
1000    0.009362    1.320087
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=2
1000    0.007205    0.688187
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=4
1000    0.008971    0.360296
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=8
1000    0.006166    0.212293
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=1000, num_threads=16
1000    0.006447    0.257275
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=1
5000    0.003243    6.737046
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=2
5000    0.004111    3.427073
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=4
```

```
5000    0.003185    1.764354
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=8
5000    0.004699    1.129232
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=5000, num_threads=16
5000    0.003618    1.132560
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=1
10000    0.002901    13.415577
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=2
10000    0.002852    6.930533
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=4
10000    0.002422    3.576365
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=8
10000    0.002504    2.555768
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=10000, num_threads=16
10000    0.002442    2.564570
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=1
20000    0.002446    26.884451
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=2
```

```
20000     0.002761     14.132822
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=4
20000     0.002395     7.465715
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=8
20000     0.002404     5.026315
TEST END
```

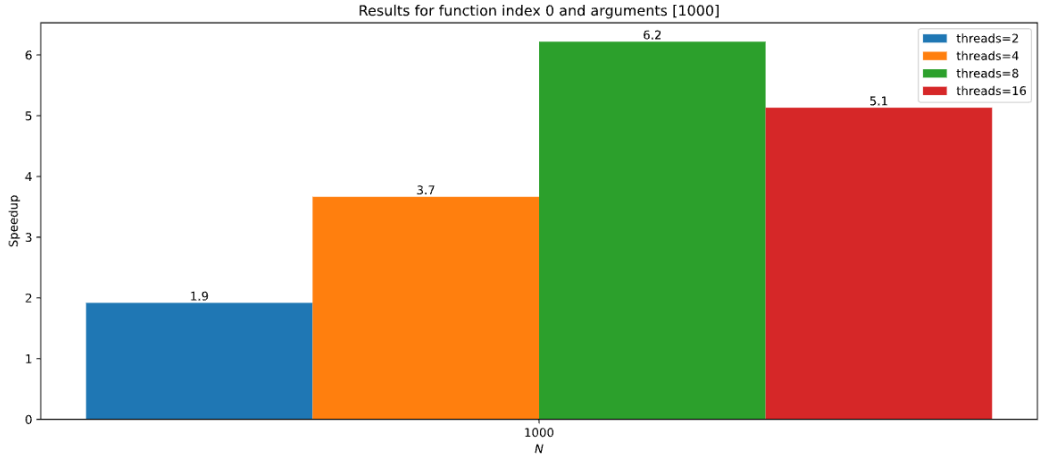
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=0, N=20000, num_threads=16
20000     0.002423     5.190004
TEST END
```

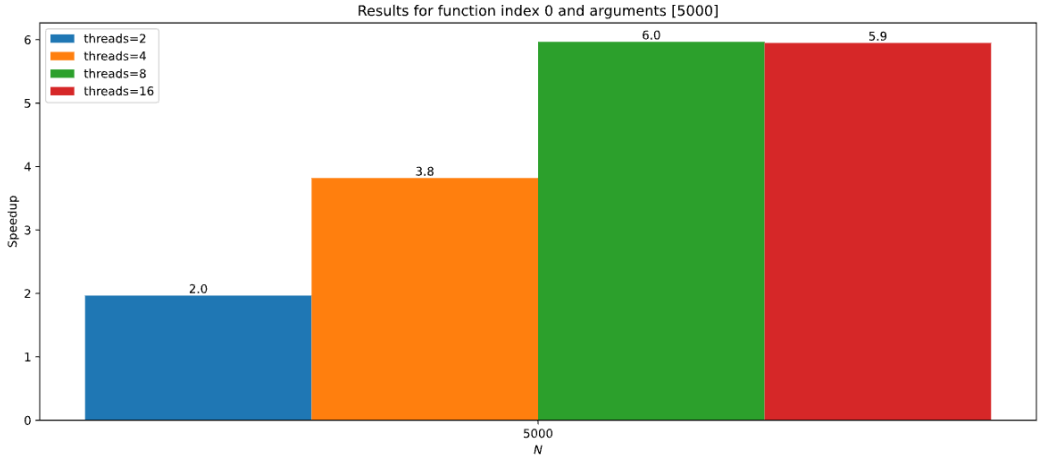
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

2.3.1.2. Grafici ubrzanja 1D problema

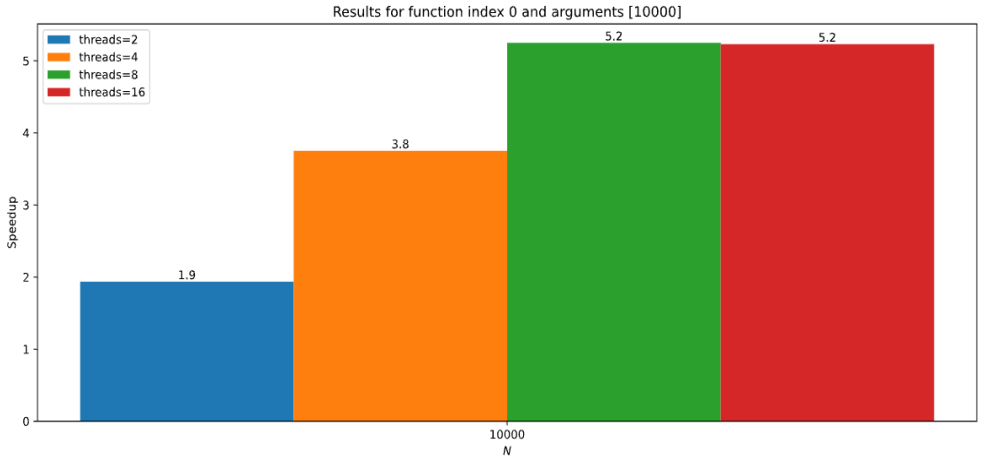
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



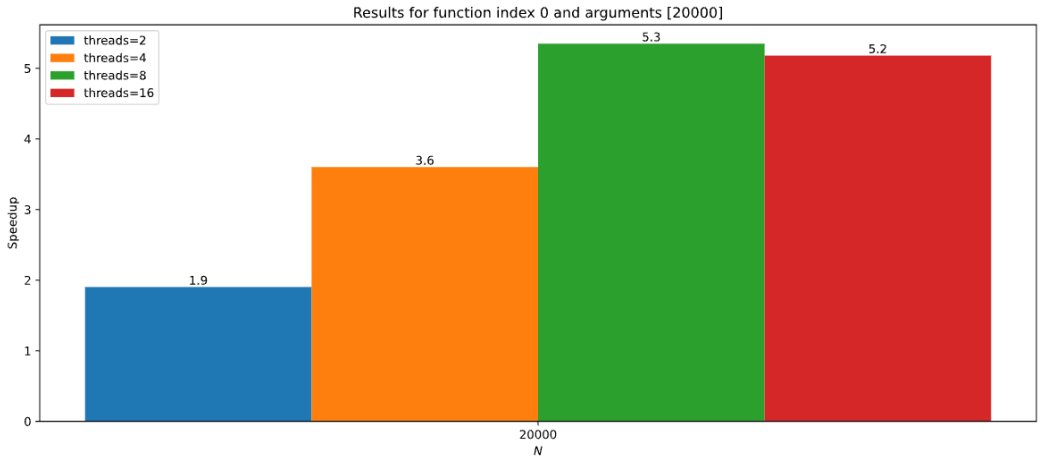
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

2.3.1.3. Logovi 2D problema

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=1
1000    0.022755    0.991304
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=2
1000    0.022589    0.497080
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=4
1000    0.023187    0.256413
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=8
1000    0.022579    0.147595
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=16
1000    0.021948    0.173404
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=1
5000    0.021163    4.937234
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=2
5000    0.021217    2.472245
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=4
5000    0.021906    1.281648
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=8
```

```
5000    0.021947    0.896379
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=16
5000    0.021616    0.811666
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=1
10000    0.021240    9.862222
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=2
10000    0.021708    4.957641
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=4
10000    0.021694    2.677300
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=8
10000    0.021632    1.784100
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=16
10000    0.021433    1.632045
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=1
20000    0.021439    19.750499
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=2
20000    0.021277    9.906535
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=4
```

```
20000     0.021647     5.547020
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=8
20000     0.021402     3.572340
TEST END
```

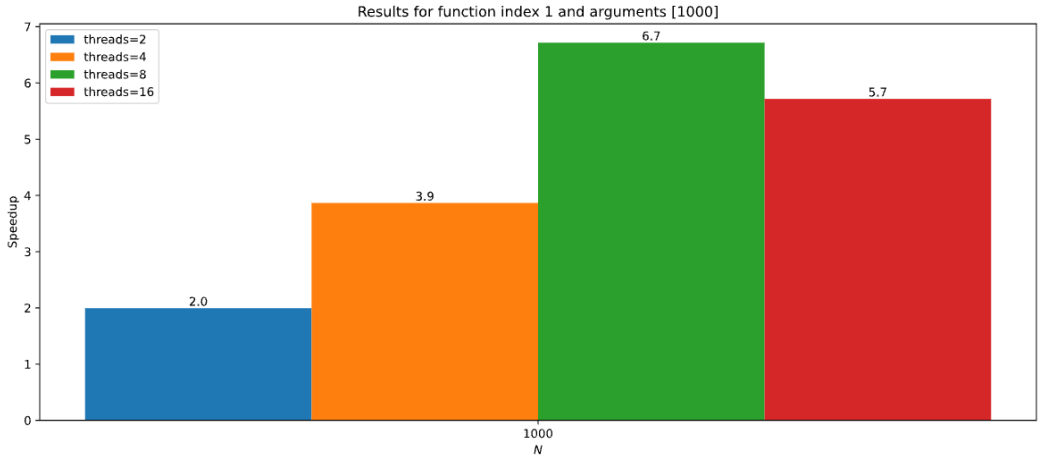
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=16
20000     0.021273     3.199425
TEST END
```

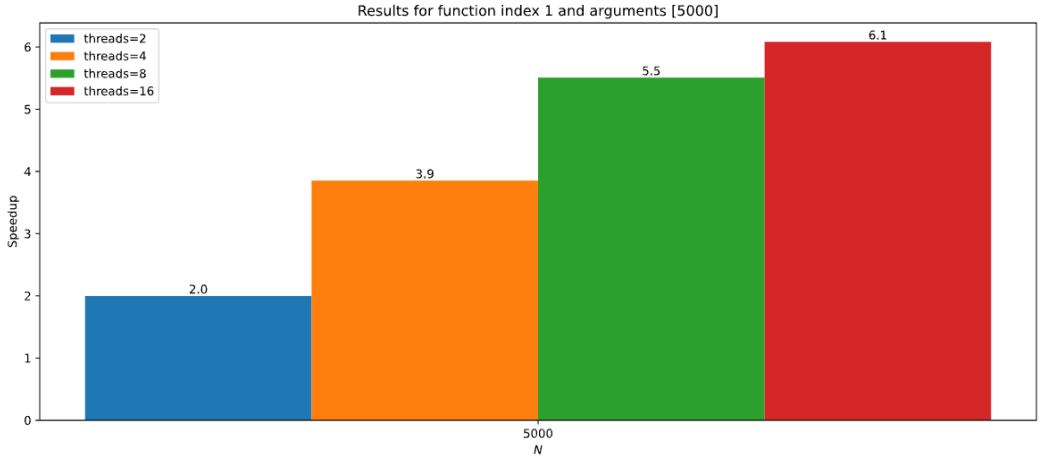
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

2.3.1.4. Grafici ubrzanja 2D problema

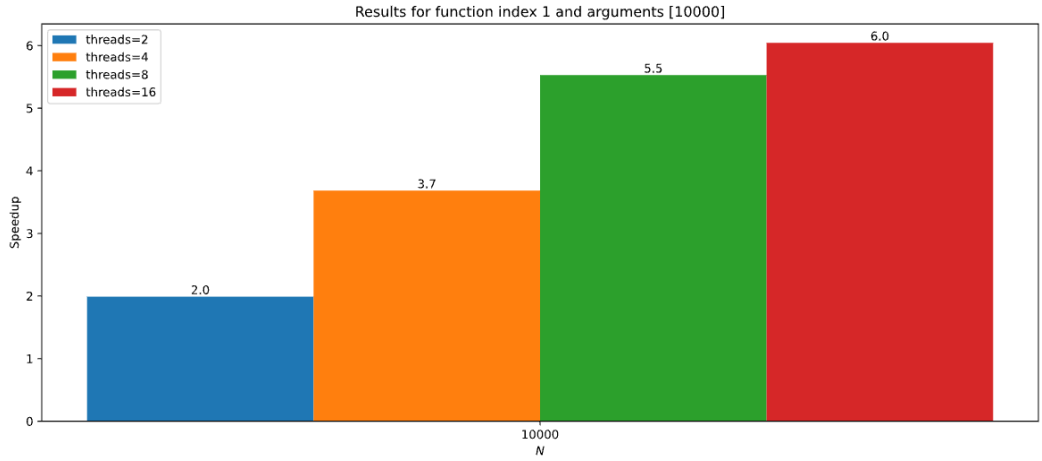
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



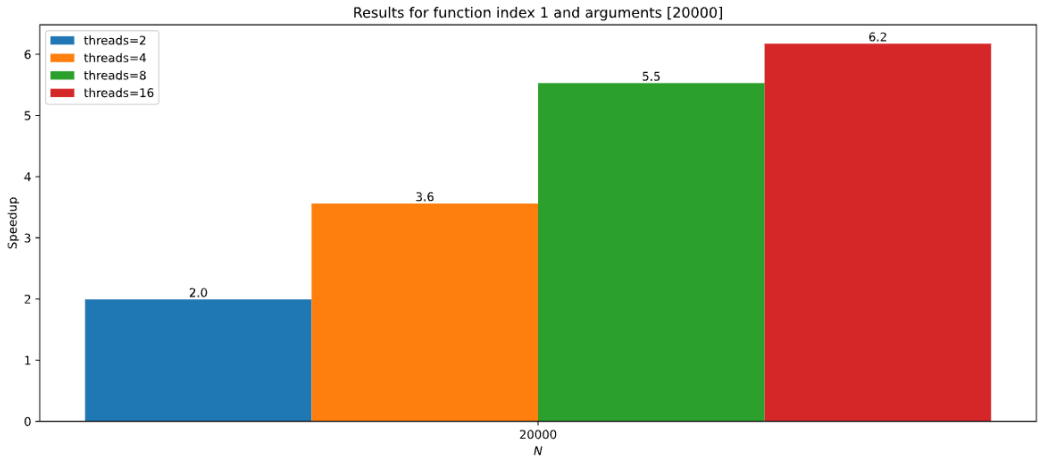
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

2.3.1.5. Logovi 3D problema

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=1
1000    0.021717    3.062745
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=2
1000    0.022281    1.535872
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=4
1000    0.021581    0.803876
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=8
1000    0.022497    0.555150
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=16
1000    0.022259    0.548322
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=1
5000    0.021273    15.359097
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=2
5000    0.021476    7.700150
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=4
5000    0.021044    4.336099
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=8
```

```
5000    0.021017    2.710036
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=16
5000    0.021090    2.677024
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=1
10000    0.021100    30.697407
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=2
10000    0.020977    15.478918
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=4
10000    0.020969    8.728394
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=8
10000    0.021013    5.442690
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=16
10000    0.021182    5.214098
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=1
20000    0.021027    61.423389
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=2
20000    0.021059    31.049201
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=4
```

```
20000     0.021030     17.497032
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=8
20000     0.020920     10.889129
TEST END
```

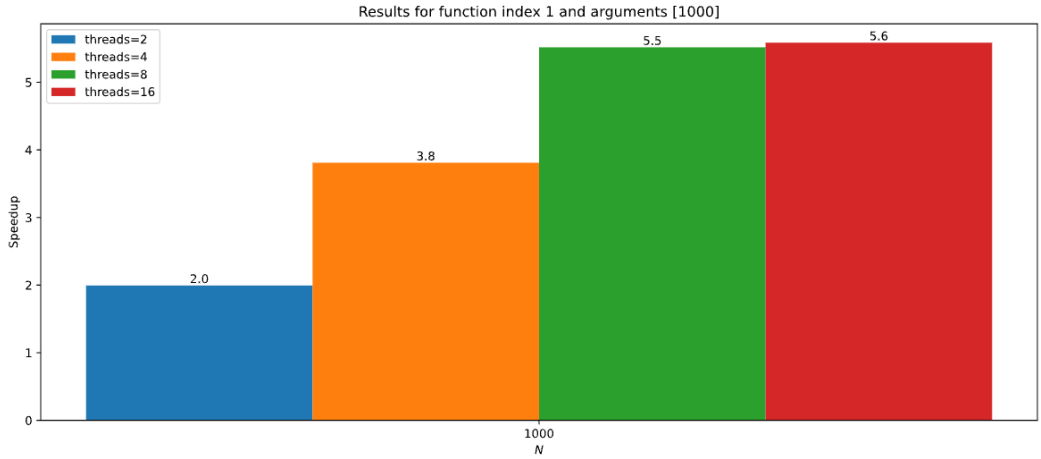
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=16
20000     0.021028     10.379655
TEST END
```

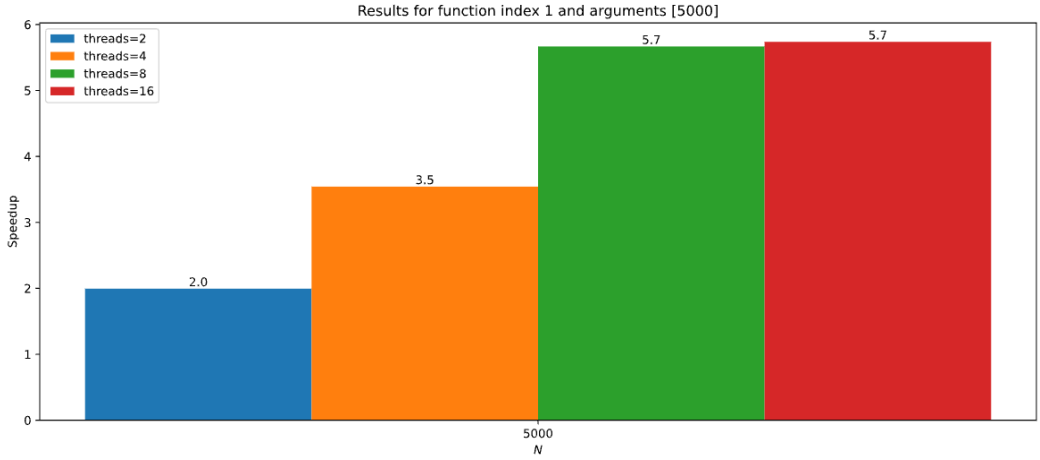
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

2.3.1.6. Grafici ubrzanja 3D problema

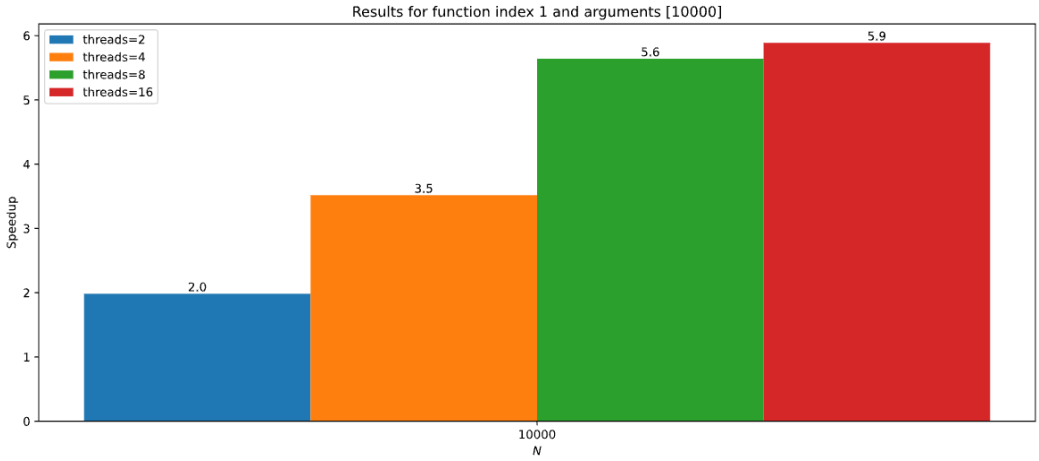
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



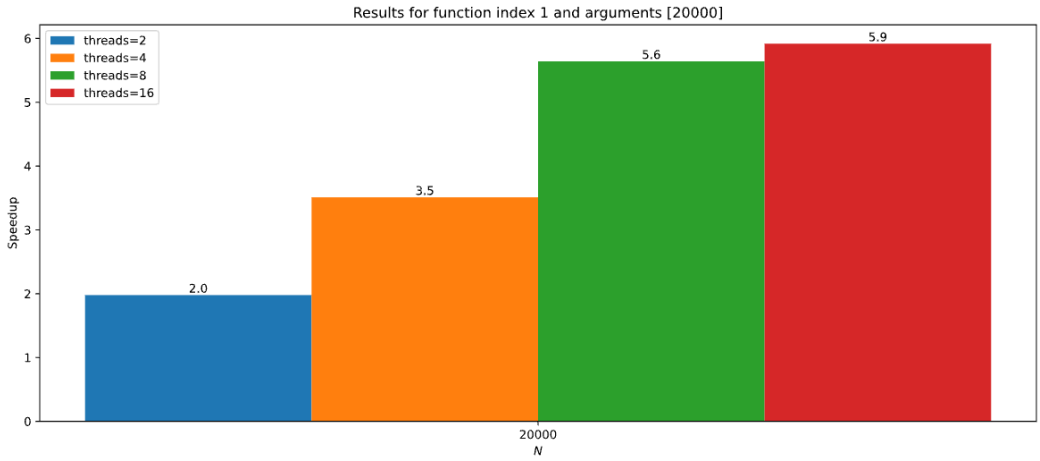
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

2.3.1.7. Diskusija dobijenih rezultata

Paralelizacija je uspešno izvršena i svi rezultati su bili u dozvoljenom opsegu odstupanja ±**`ACCURACY`** (kao što je navedeno u tekstu zadatka). Za veći broj niti dobija se vidljivo veće ubrzanje, do broja niti 16, gde se vidi zasićenje. Zbog ovoga je prvi način paralelizacije pomoću collapse opcije bolji izbor.

3. PROBLEM 2 - POASONOVA JEDNAČINA

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 4.

3.1. Tekst problema

Rešiti prethodni problem korišćenjem koncepta poslova (*tasks*). Obratiti pažnju na eventualnu potrebu za sinhronizacijom i granularnost poslova.

3.2. Delovi koje treba paralelizovati

3.2.1. Diskusija

Implementacije su odvojene u zasebne funkcije, obeležene kao **`feynman_i(),`** a koje implementiraju sam *Feynman-Kac* algoritam**.** Promenljiva **`i`** u nazivu funkcije uzima vrednosti [3, 4], za rešenja pomoću koncepta poslova, pa je u nastavku objašnjenje svakog od rešenja.

Diskusija je slična kao i za prethodni problem. Ipak, korišćenje poslova nam daje mogućnost da paralelizujemo sadržaj skroz unutrašnje **`for`** petlje, koji u sebi sadrži još jednu **`while`** petlju sa promenljivim brojem iteracija. Ovo ukazuje na to da poslovi mogu značajno pomoći u raspodeli posla ukoliko bi se paralelizovali na tom nivou. Paralelizacija na nivou pojedinačnih iteracija **`while`** petlje nije smislena, jer iteracije zavise jedna od druge.

Ipak, ovaj način paralelizacije donosi dodatne probleme sa sobom. Promenljiva **`wt`**, koja služi za izračunavanje sabirka sa ukupnom greškom, se sada računa unutar jednog posla, i računanje pomenutog sabirka bi moralo da se vrši nakon završetka poslova koje menjaju tu promenljivu. Prva ideja koja bi mogla da radi jeste **`taskwait`** direktiva nakon pomenute **`for`** petlje, ali to može da donese značajno usporenje.

3.2.2. Način paralelizacije TASK + ATOMIC direktiva

Način na koji odabrano rešavanje ovog problema jeste mala preformulacija algoritma. Pošto je primećeno da su dimenzije tri spoljašnje petlje jako male (17, 12 i 7 iteracija respektivno), promenljiva koja čuva izračunate **`w_exact`** i **`wt`** vrednosti u zavisnosti od iteracije petlje ne bi zauzela značajnu količinu memorije, ali se jasno vidi da problem ne skalira baš najbolje. Zbog ovoga, unutar samog posla se na **`wt`** promenljivu dodaje izračunata vrednost (zaštićena **`atomic`** direktivom)

a nakon cele te procedure se vrši sabiranje izračunatih vrednosti kako bi se dobila krajnja greška. Na ovaj način više nije potrebna sinhronizacija po **`err`** niti **`n_inside`**, jer im pristupa samo jedna nit. Takođe, održano je svojstvo da svaka nit koristi različit **`seed`**, definisanjem promenljive **`seed`** kao statičke, a zatim korišćenjem **`threadprivate(seed)`** opcije postižemo da svaka nit ima svoju privatnu kopiju ove promenljive, pa tako ne postoji **`race-condition.`**

3.3. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije ovog problema.

3.3.1. Logovi izvršavanja 1D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=1
1000    0.007980    1.356493
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=2
1000    0.004651    0.669341
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=4
1000    0.009101    0.347682
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=8
1000    0.008146    0.184080
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=1000, num_threads=16
1000    0.006432    0.159051
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=1
5000    0.003724    6.686004
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=2
5000    0.003106    3.361074
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=4
5000    0.003821    1.707203
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=8
5000    0.003914    1.103313
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=5000, num_threads=16
5000    0.003544    0.973251
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=1
10000    0.002754    13.444329
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=2
10000    0.003149    6.729859
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=4
10000    0.002879    3.570461
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=8
10000    0.003148    2.247729
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=10000, num_threads=16
10000    0.002969    1.951506
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=1
20000    0.002440    26.961134
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=2
20000    0.002483    13.511319
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=4
20000    0.002685    7.369683
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=8
20000    0.002452    4.501850
TEST END
```

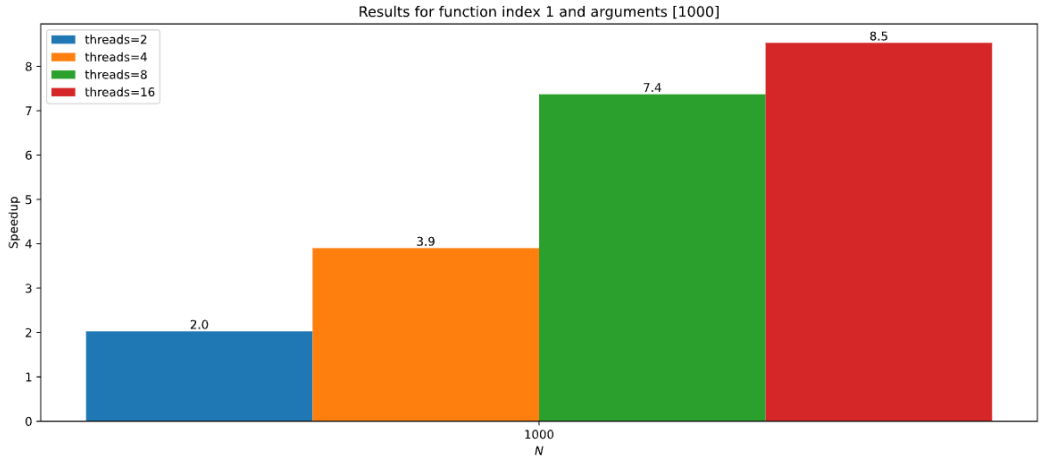
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=1, N=20000, num_threads=16
20000    0.002382    3.926390
TEST END
```

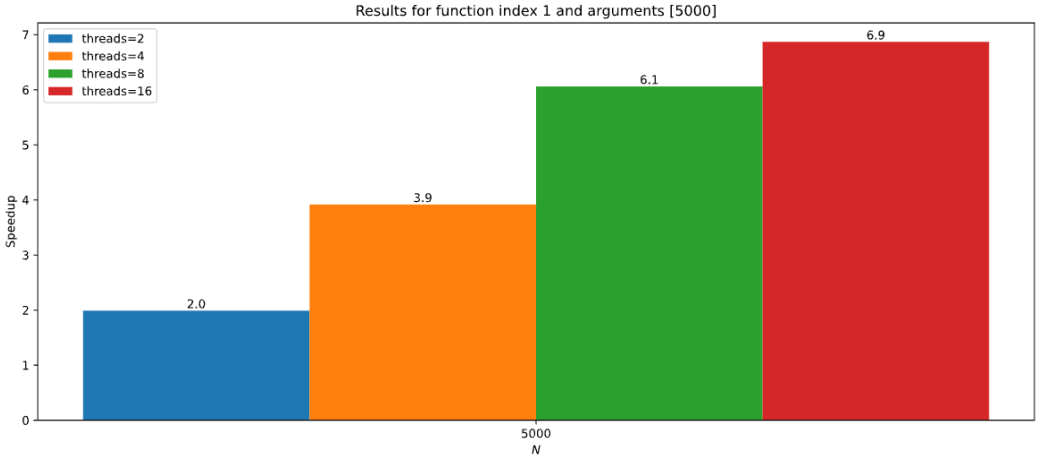
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.3.2. Grafici ubrzanja 1D problema

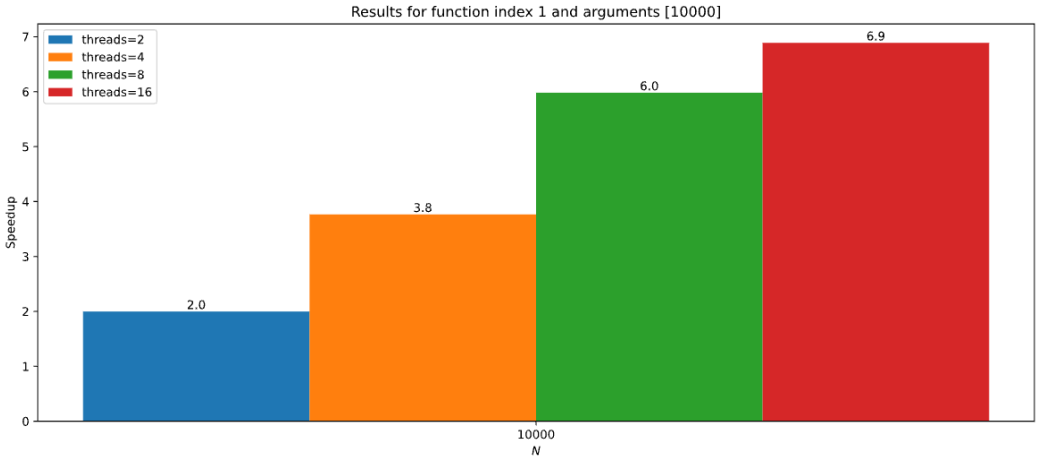
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



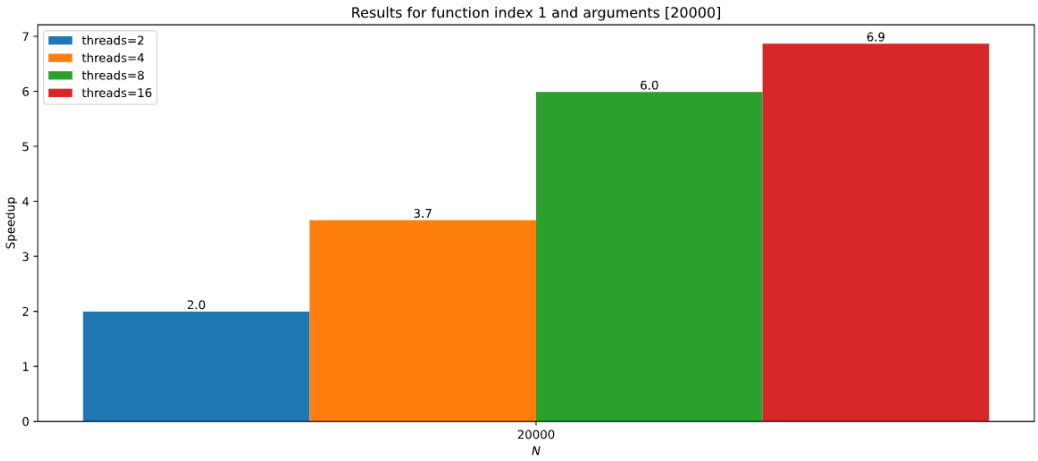
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.3.3. Logovi izvršavanja 2D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=1
1000    0.022715    0.992876
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=2
1000    0.023224    0.503911
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=4
1000    0.022838    0.261095
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=8
1000    0.022767    0.144217
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=16
1000    0.024250    0.150924
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=1
5000    0.021192    4.945979
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=2
5000    0.021662    2.509540
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=4
5000    0.021603    1.320600
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=8
5000    0.021608    0.908570
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=16
5000    0.021707    0.823187
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=1
10000    0.021232    9.885788
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=2
10000    0.021477    5.018174
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=4
10000    0.021518    2.747521
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=8
10000    0.021555    1.821954
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=16
10000    0.021696    1.643764
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=1
20000    0.021435    19.780673
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=2
20000    0.021345    10.028531
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=4
20000     0.021367     5.653628
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=8
20000     0.021527     3.651123
TEST END
```

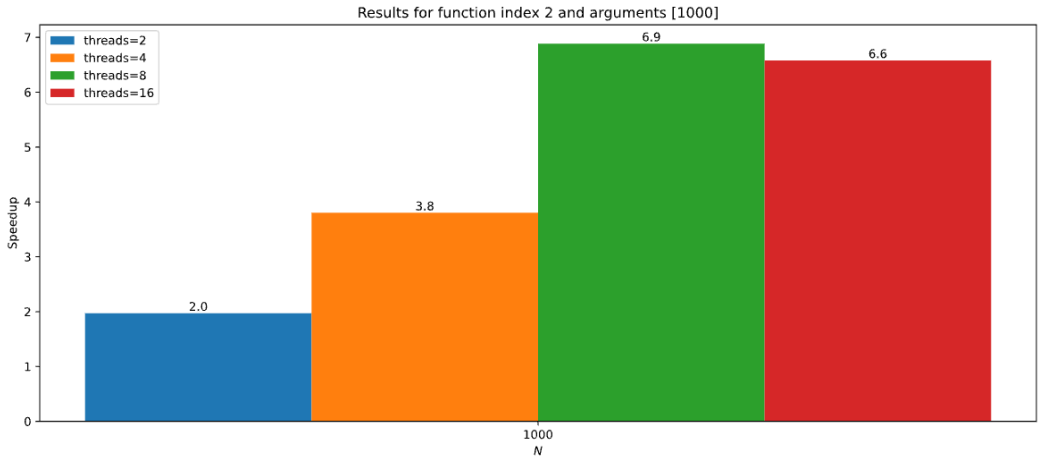
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=16
20000     0.021741     3.227234
TEST END
```

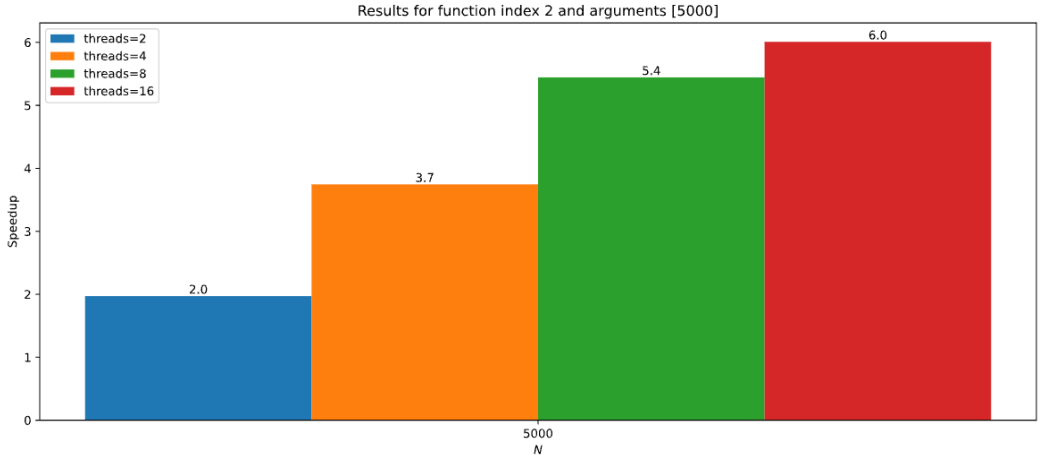
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.3.4. Grafici ubrzanja 2D problema

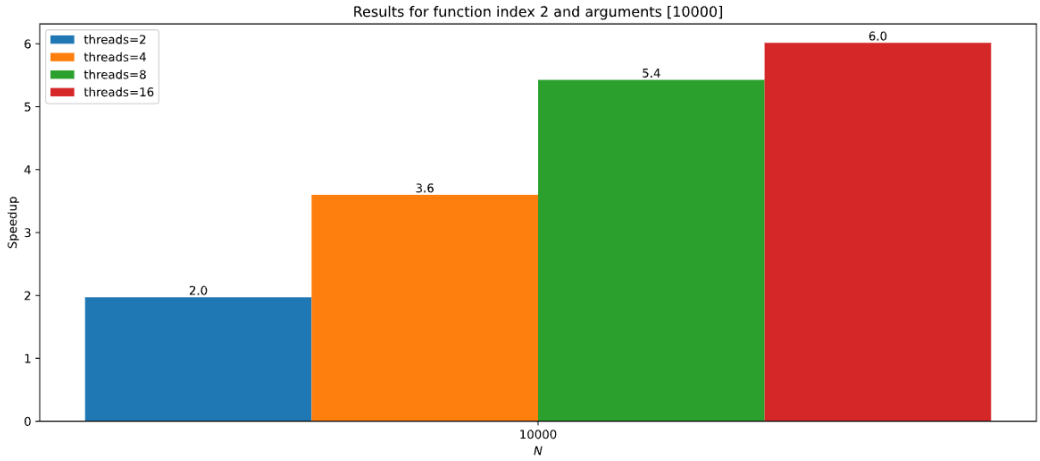
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



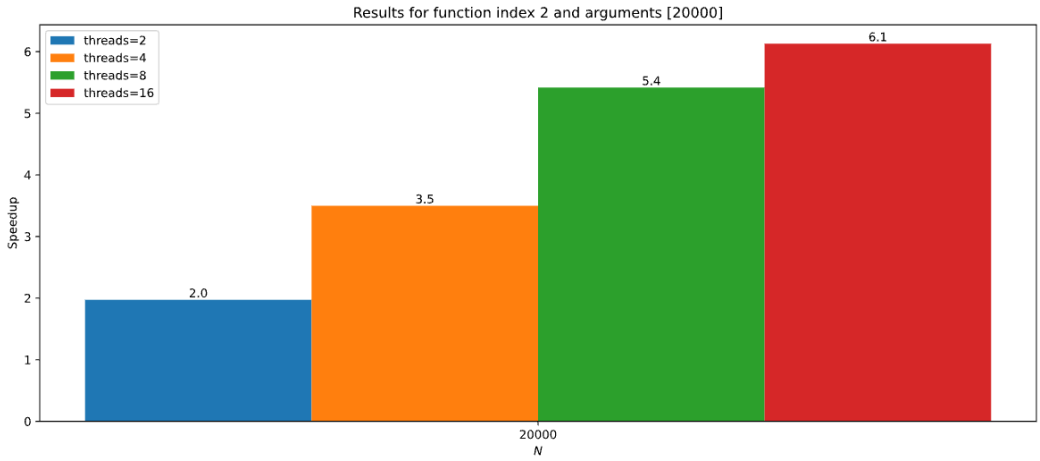
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.3.5. Logovi izvršavanja 3D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=1
1000    0.021712    3.074757
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=2
1000    0.022109    1.571493
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=4
1000    0.021475    0.992118
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=8
1000    0.021303    0.564069
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=16
1000    0.021691    0.457407
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=1
5000    0.021272    15.410696
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=2
5000    0.021007    7.822821
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=4
5000    0.020992    4.482696
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=8
5000    0.021078    2.863595
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=16
5000    0.021072    2.550105
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=1
10000    0.021099    30.827771
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=2
10000    0.020862    15.828347
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=4
10000    0.021022    9.011122
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=8
10000    0.021001    5.734614
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=16
10000    0.021061    5.131505
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=1
20000    0.021027    61.652812
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=2
20000    0.020951    31.848441
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=4
20000     0.020963     18.044311
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=8
20000     0.020968     11.524479
TEST END
```

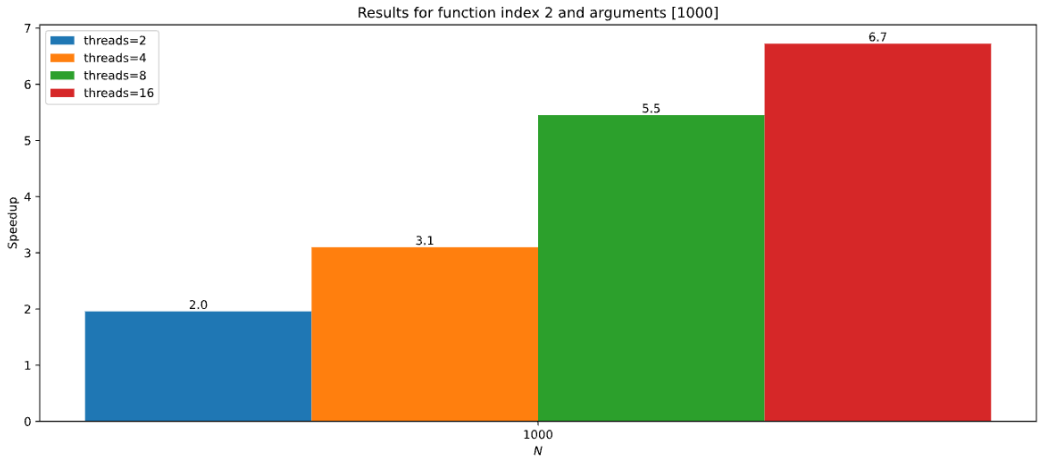
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=16
20000     0.020975     10.076146
TEST END
```

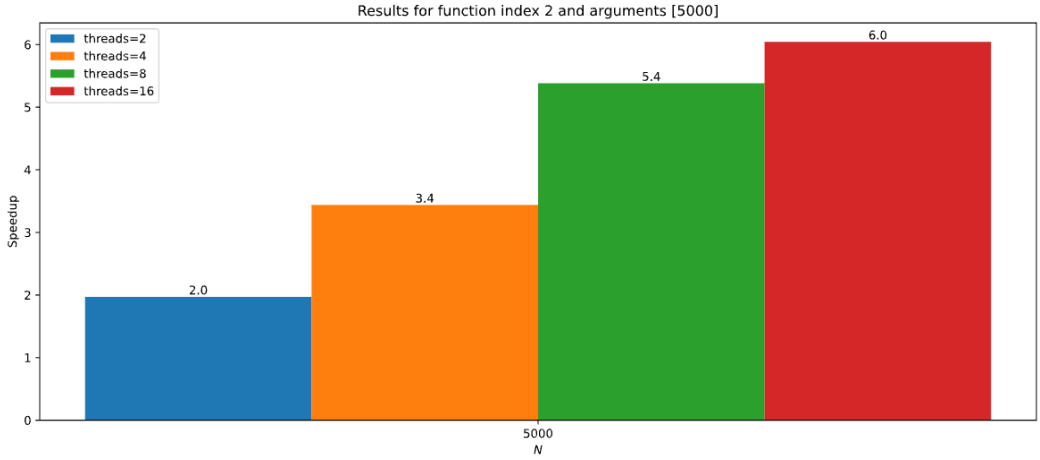
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.3.6. Grafici ubrzanja 3D problema

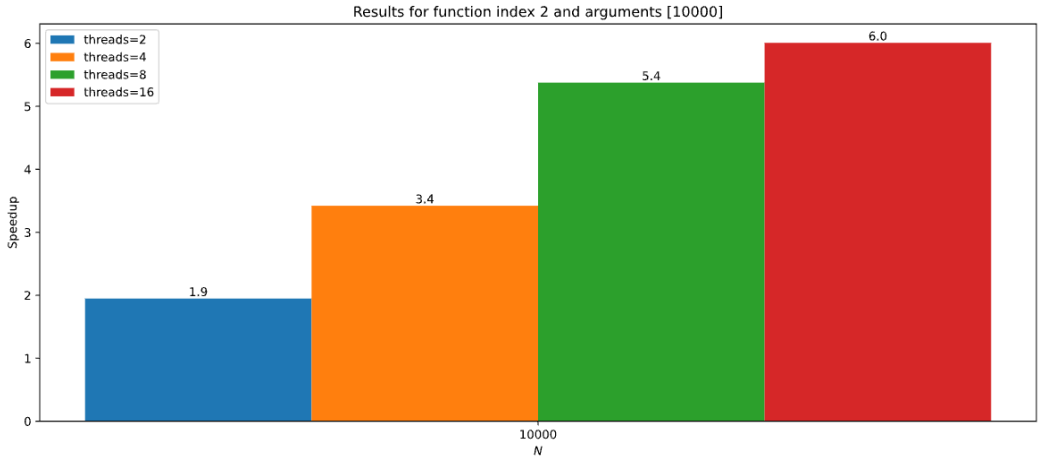
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



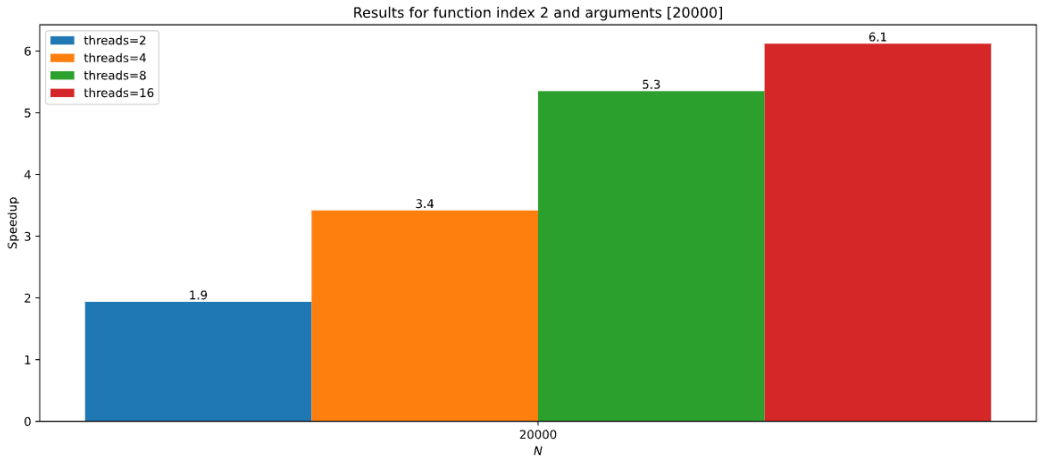
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.3.7. Diskusija dobijenih rezultata

Grafici ubrzanja ovom metodom u nekim slučajevima pokazuju veće ubrzanje nego u prethodnom zadatku. Ovu paralelizaciju smatramo uspešnom, a tražena tačnost je takođe u traženom opsegu.

3.3.8. Način paralelizacije TASK + locks distributed across multiple threads

Razlika u odnosu na prethodno rešenje se ogleda u tome što sada postoji fiksan broj **`NUM_LOCKS` (trenutno 256 – mogu se ispobati i druge vrednosti)** brava na kojima se sinhronizuju niti. Kada nit dođe do kritične sekcije, uzeće indeks brave, koja joj pripada na osnovu pozicije u rešetki (brojača **`i, j i k`**). Kako se kretanje čestice koja polazi iz tačke koja je van elipsoida odmah završava, obična podela indeksa brave samo na osnovu brojača **`i, j i k,`** neće dati dobre rezultate, jer će jedan broj brava biti više korišćen, dok drugi broj neće biti korišćen. Ovo dovodi do neuravnoteženosti, pa samim tim do lošijih performansi. Zato se u rešenju, za dobijanje indeksa brave koristi neka vrsta heš funkcije, koja koristi velike proste brojeve kako bi bolje podelila indekse. Na ovoj funkciji se može dalje raditi, tako što će se pronaći funkcija koja svakoj od brava dodeli približno jednak broj tačaka unutar i van elipsoida. Njena trenutna implementacija i primer korišćenja je dana u nastavku:

```
unsigned int get_lock_index(int i, int j, int k)
{
  unsigned int hash = (unsigned int)(
      i * 73856093 ^
      j * 19349663 ^
      k * 83492791
  );
  return hash % NUM_LOCKS;
}
. . .
// koriscenje
int lock_id = get_lock_index(i, j, k);
omp_set_lock(&locks[lock_id]);
wt[i][j][k] += w;
omp_unset_lock(&locks[lock_id]);
. . .
```

Kao što je navedeno, rešenje se može unaprediti odabirom bolje heš funkcija koju koristi `get_lock_index()`. U razmatranje je potrebno uzeti i prirodu problema, budući da interpoliranjem, za indekse `i, j i k,` brave se više koriste, što je tačka bliža koordinatnom početku, tj. kada su vrednosti ovih brojača bliže vrednostima `NI/2, NJ/2` i `NK/2` respektivno.

3.4. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije ovog problema.

3.4.1. Logovi izvršavanja 1D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu `omp_get_wtime()`.

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=1
1000    0.007980    1.356881
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=2
1000    0.004295    0.671027
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=4
1000    0.008037    0.345547
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=8
1000    0.006519    0.183218
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=1000, num_threads=16
1000    0.006184    0.176642
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=1
5000    0.003724    6.685248
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=2
5000    0.003653    3.339278
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=4
5000    0.003274    1.715172
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=8
5000    0.003978    1.120695
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=5000, num_threads=16
5000    0.003546    0.976868
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=1
10000    0.002754    13.447884
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=2
10000    0.002877    6.735230
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=4
10000    0.002617    3.531056
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=8
10000    0.002713    2.242829
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=10000, num_threads=16
10000    0.003436    1.949794
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=1
20000     0.002440     26.962216
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=2
20000     0.002327     13.462419
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=4
20000     0.002549     7.367382
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=8
20000     0.002512     4.500842
TEST END
```

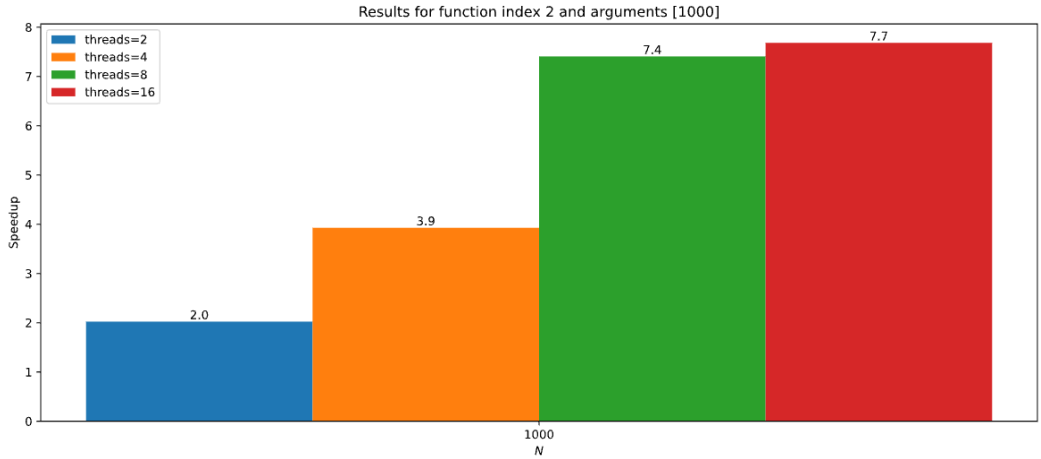
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=2, N=20000, num_threads=16
20000     0.002628     3.939088
TEST END
```

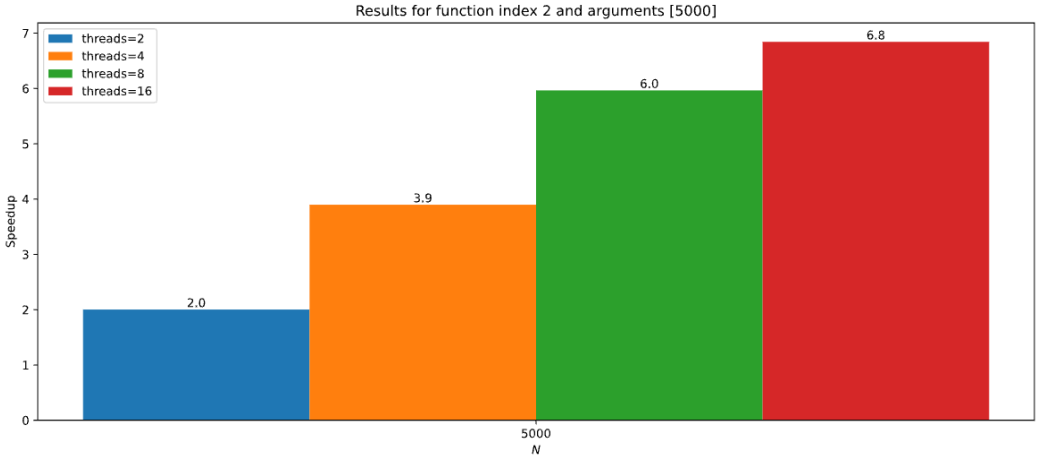
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.4.2. Grafici ubrzanja 1D problema

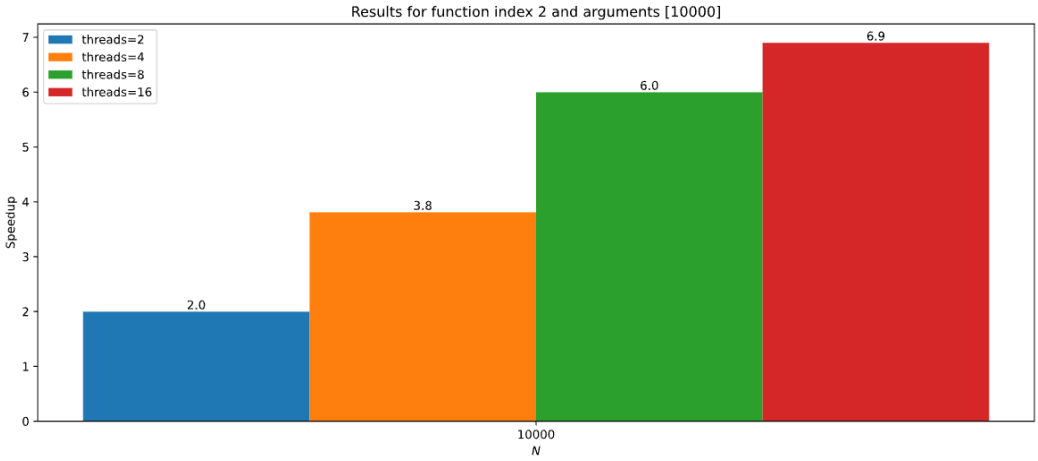
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



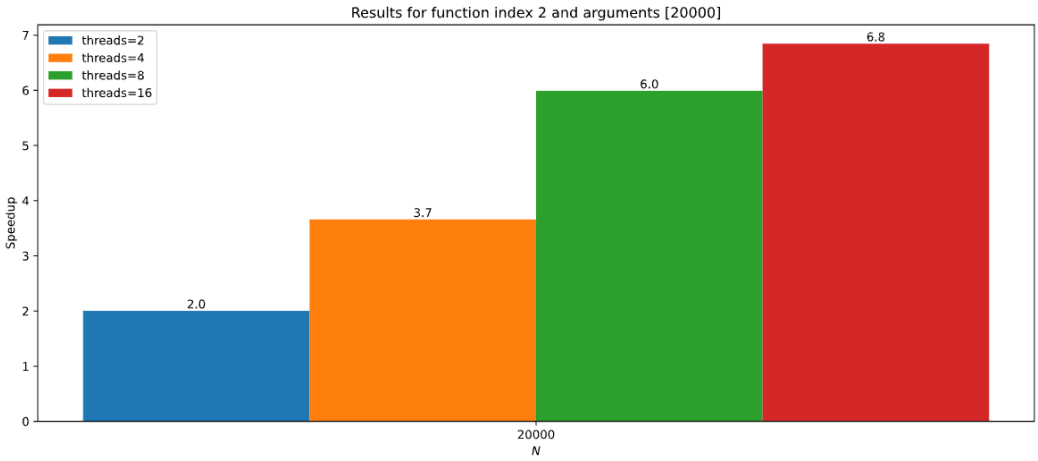
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.4.3. Logovi izvršavanja 2D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=1
1000    0.022715    0.994604
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=2
1000    0.023353    0.505000
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=4
1000    0.022595    0.261688
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=8
1000    0.023413    0.148423
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=16
1000    0.023386    0.155257
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=1
5000    0.021192    4.956835
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=2
5000    0.021755    2.516966
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=4
5000    0.021694    1.322462
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=8
5000    0.021605    0.911495
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=16
5000    0.021717    0.848224
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=1
10000    0.021232    9.902769
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=2
10000    0.021414    5.033443
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=4
10000    0.021447    2.763848
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=8
10000    0.021603    1.831766
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=16
10000    0.021467    1.612478
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=1
20000    0.021435    19.817893
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=2
20000    0.021386    10.051411
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=4
20000     0.021382     5.670350
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=8
20000     0.021333     3.659758
TEST END
```

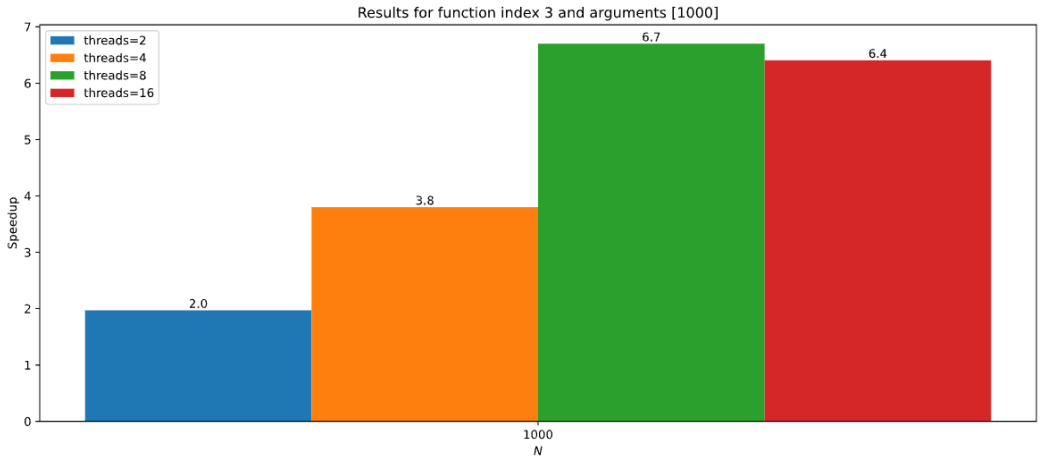
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=16
20000     0.021538     3.204024
TEST END
```

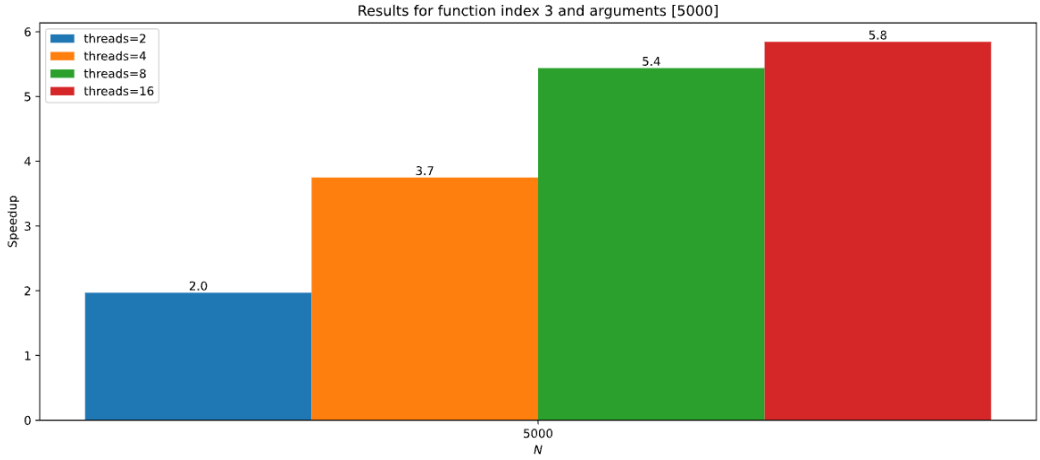
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.4.4. Grafici ubrzanja 2D problema

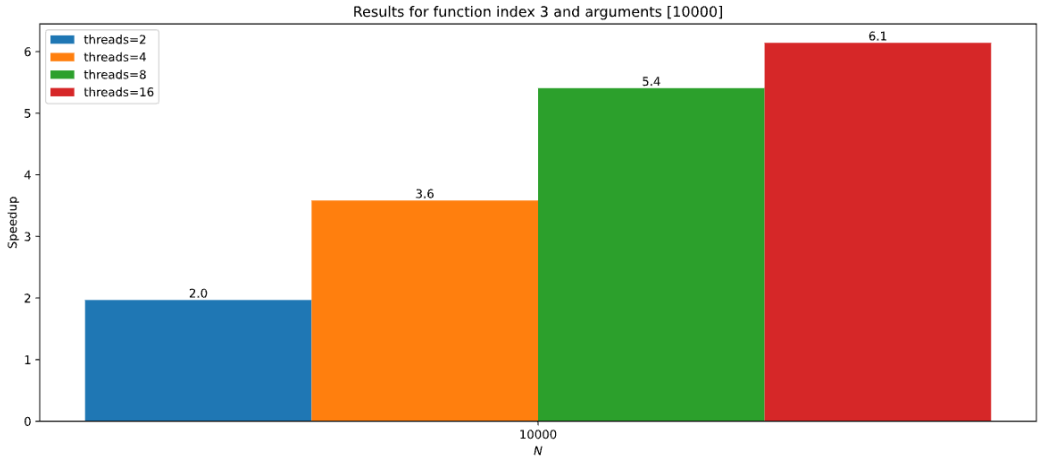
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



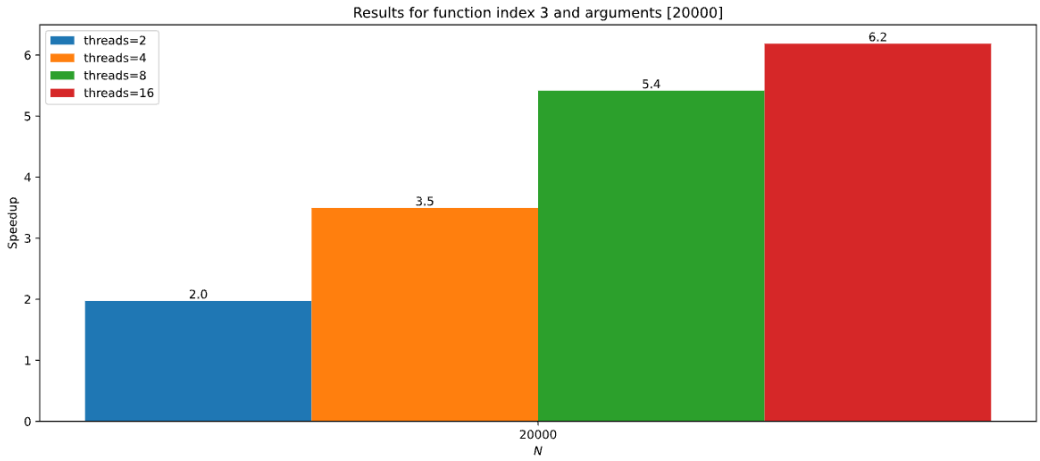
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.4.5. Logovi izvršavanja 3D problema

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti. Merenje vremena je rađeno korišćenjem *wall clock time*, koristeći OpenMP rutinu **`omp_get_wtime()`**.

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=1
1000    0.021712    3.097028
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=2
1000    0.021648    1.573662
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=4
1000    0.021311    0.844098
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=8
1000    0.022280    0.569881
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=1000, num_threads=16
1000    0.021871    0.451361
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 1000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=1
5000    0.021272    15.532099
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=2
5000    0.020995    7.893211
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=4
5000    0.021099    4.536205
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=8
5000    0.021165    2.874447
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=5000, num_threads=16
5000    0.020993    2.470741
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 5000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=1
10000    0.021099    31.074860
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=2
10000    0.020841    15.898273
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=4
10000    0.021096    9.088829
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=8
10000    0.021068    5.755733
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=10000, num_threads=16
10000    0.020911    5.109369
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 10000 i šestnaest niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=1
20000    0.021027    62.221741
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i jednu nit

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=2
20000    0.020933    32.099376
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i dve niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=4
20000     0.020870     18.135718
TEST END
```

Izvršavanje za argumente 20000 i četiri niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=8
20000     0.020829     11.606387
TEST END
```

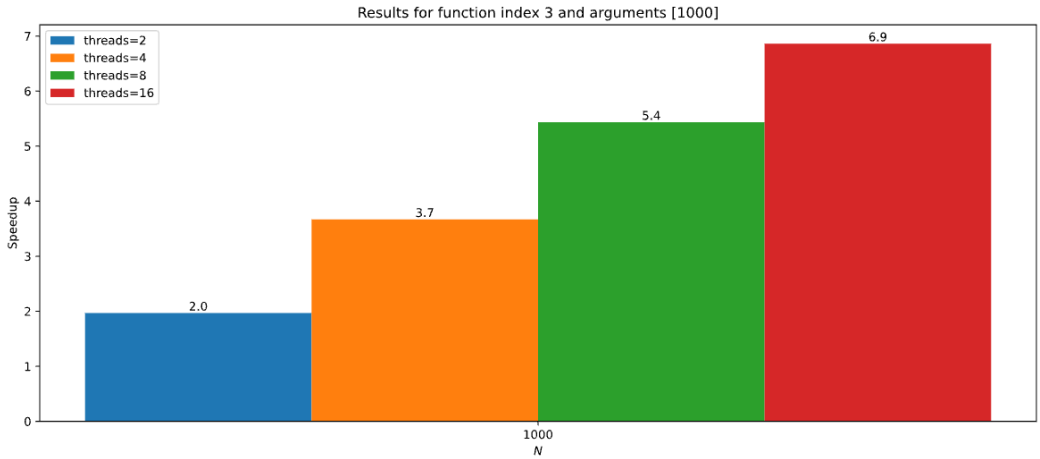
Izvršavanje za argumente 20000 i osam niti

```
TEST: func=3, N=20000, num_threads=16
20000     0.020981     10.016916
TEST END
```

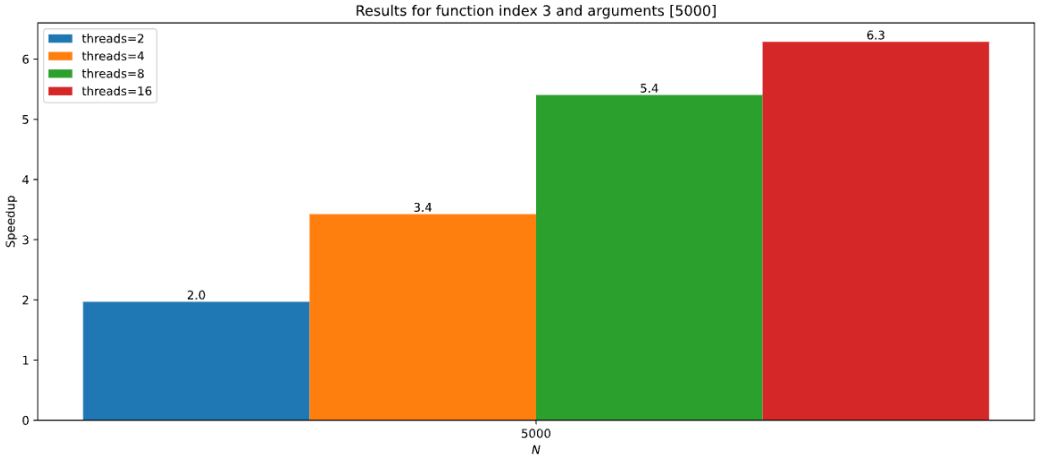
Izvršavanje za argumente 20000 i šestnaest niti

3.4.6. Grafici ubrzanja 3D problema

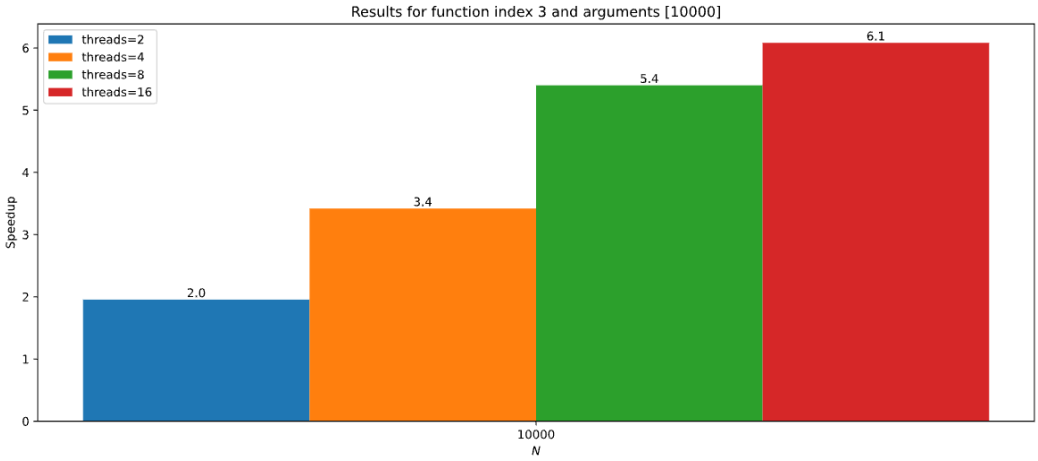
U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.



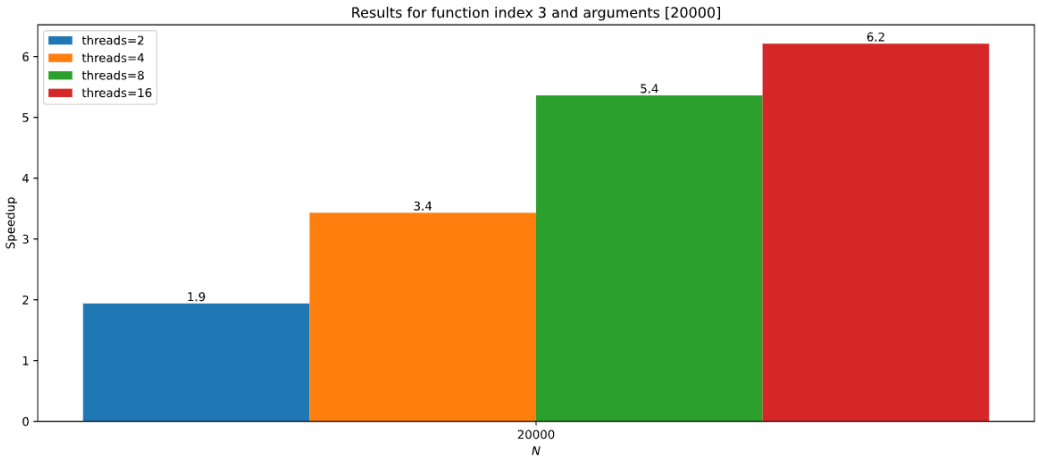
Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 1000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 5000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 10000.



Grafik ubrzanja za različit broj niti, sa argumentom 20000.

3.4.7. Diskusija dobijenih rezultata

Grafici ubrzanja ovom metodom na nekim delovima pokazuju nešto veće ubrzanje, u odnosu na prethodnu metodu. Ovu paralelizaciju smatramo uspešnom, a tražena tačnost je takođe u traženom opsegu.