

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ



ДОМАЋИ ЗАДАТАК  
Перформансе рачунарских система

Страхиња Стефановић  
2016/0130

Београд, мај 2020

## Опис аналитичког решавања

Најпре се на основу параметара система који су дати поставком задатка израчунавају брзине свих сервера (на основу просечних времена опслуживања). Такође, формира се и матрица прелаза – матрица која садржи информације о вероватноћама да посао пређе са сервера  $i$  на сервер  $j$ .

Добијене структуре су у строгој корелацији са самим системом који се обрађује и из тог разлога је њихово израчунавање смештено у класу *System* из које се и покреће само аналитичко решавање и симулација. Уколико се не врши аналитичко израчунавање, параметри ће свакако бити израчунати пре симулације.

Након тога се прелази на две кључне фазе овог дела које су представљене са две методе класе *Analytics*. Прва представља *Gordon-Newell*-ов метод којим се на основу система једначина прелаза стања израчунавају потражње сваког од сервера. Да би се ефикасно решио овај систем коришћена је библиотека *Armadillo* која је намењена за решавање проблема линеарне алгебре у програмском језику *C++*. Сам проблем се своди на решавање матричне једначине  $(P^T - I) * D = 0$ , где је  $D$  матрица непознатих које су у облику  $\mu_i x_i$ , а  $x_i$  су потражње које тражимо.

Уз помоћ добијених потражњи се даље *Buzen*-овим алгоритмом рачуна функција  $G(n)$ , а након ње и сви тражени параметри – искоришћеност, проток итд. Одзив целог система се рачуна *Little*-овом формулом.

## Опис симулације

Сваки сервер у систему је представљен објектом класе `Server` која чува све потребне податке потребне за накнадно рачунање резултата:

- `double workTime` - укупно време рада сервера
- `uint64_t tasksProcessed` - број обрађених послова
- `uint64_t runningTask` - посао који се тренутно обрађује
- `bool busy` - индикатор заузетости сервера
- `std::queue taskQueue` - ред за чекање на дати сервер
- `std::exponential_distribution exponential` - експоненцијална расподела за генерисање времена обраде сваког посла

Симулација је осмишљена коришћењем концепта догађаја. Догађај представља завршетак обраде на било ком серверу зато што је то једини тренутак када се заиста мења стање система. Он је енкапсулиран у објекту класе `Event` који чува идентификатор сервера на којем се посао обрађује, идентификатор тог посла и тренутак на замишљеној временској оси када ће се та обрада завршити. Управо на основу тог времена се ови догађаји сортирају у једном глобалном приоритетном реду из којег се узима следећи догађај који ће се десити. На тај начин се померање времена симулације увек врши до првог следећег догађаја, тачније оног који је на почетку приоритетног реда, а не у једнаким временским размацама.

Трајање обраде на серверу се симулира генерисањем случајног броја са експоненцијалном расподелом која као улазни параметар  $\lambda$  има реципрочну вредност просечног времена опслуживања.

Након обраде догађаја могу настати највише два нова догађаја. За посао који је обрађен се на основу топологије система и вероватноћа грана које су дате поставком задатка одређује на којем серверу ће следећем завршити. Тада су у зависности од тога да ли је тај сервер заузет могућа два сценарија:

1. сервер је заузет и посао улази у његов ред за чекање
2. сервер је слободан и генерише се нови догађај који ће назначити крај обраде истог тог посла, али сада на овом другом серверу

Којом граном ће посао отићи одређује се генерисањем случајног броја униформном расподелом. Као и за претходну, експоненцијалну расподелу коришћен је интерфејс библиотеке `<random>` која је стандардни део *STL*-а.

На сличан начин су, у зависности од тога да ли је ред сервера на којем је завршена обрада празан или не, могућа такође два сценарија:

1. ред је празан и сервер постаје слободан
2. ред није празан и генерише се нови догађај који ће назначити крај обраде тог новог посла, првог у реду, на истом овом серверу

## Рачунање параметара након симулације

Искоришћеност сервера се добија дељењем времена обраде на њему укупним временом симулације.

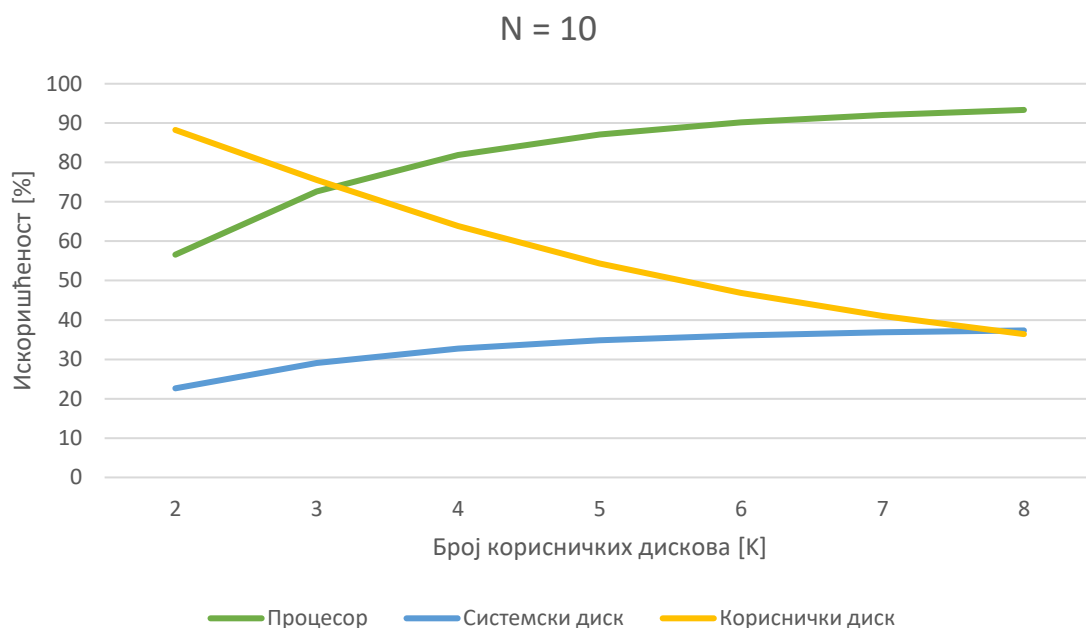
Проток сервера се добија дељењем укупног броја обрађених послова на њему укупним временом симулације.

Просечан број послова на сваком од сервера се добија праћењем броја послова на сваком серверу на почетку сваке итерације симулације и на крају дељењем тог броја укупним бројем итерација.

Средње време одзива система се добија праћењем тренутка када је посао ушао у ред за чекање процесора и тренутка када је прошао кроз повратну грану процесора.

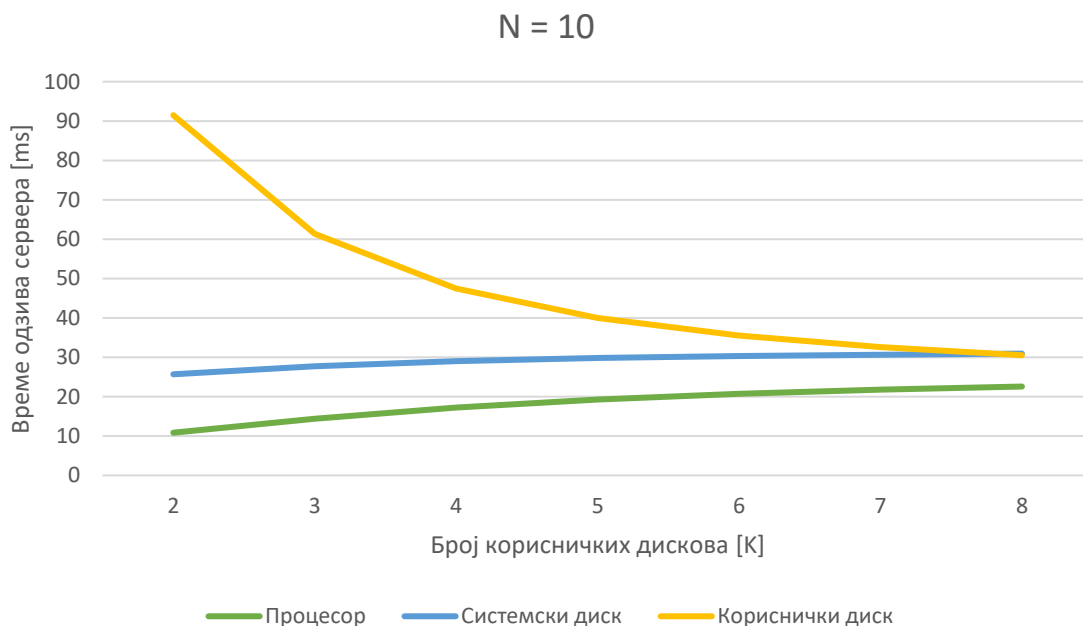
Сви подаци потребни за ова израчунавања и праћење стања система се чувају унутар објеката класа `Server` и `Simulation`.

## Приказ и поређење резултата



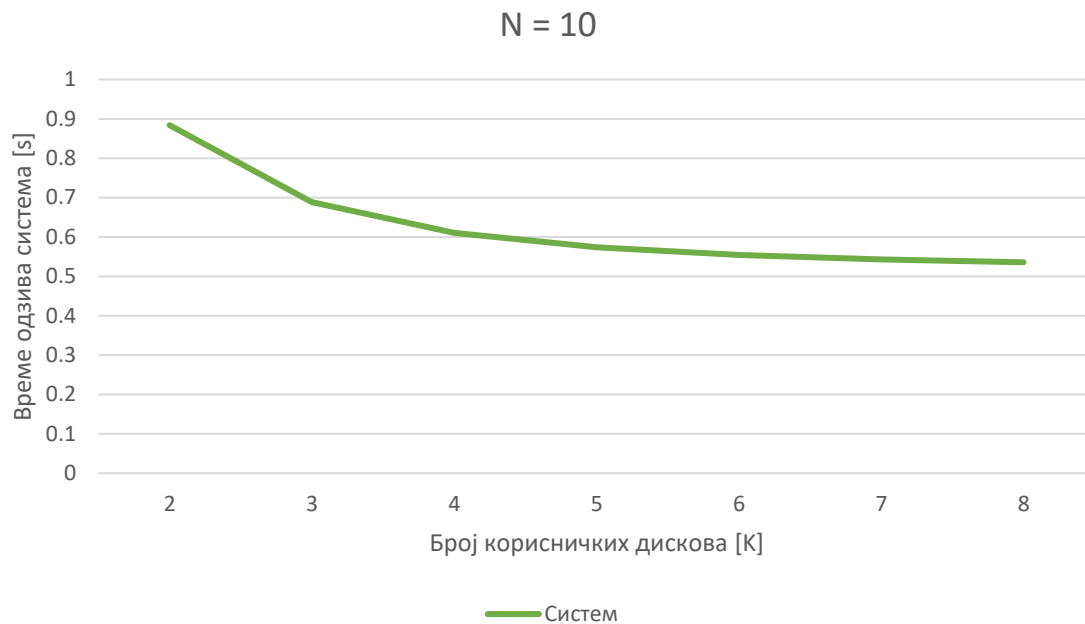
Одступање U (N = 10)				
	ресурс	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	0.565796	0.0081713	0.00488837
	системски	0.226319	0.000620562	0.0131821
	кориснички	0.882642	0.0318982	0.010456
<b>K = 3</b>	процесор	0.7264	0.0273134	0.0111232
	системски	0.29056	0.0520652	0.020054
	кориснички	0.755456	0.0642544	0.0287652
<b>K = 4</b>	процесор	0.818791	0.00499441	0.00595909
	системски	0.327516	0.0261011	0.0150456
	кориснички	0.638657	0.00231212	0.00804526
<b>K = 5</b>	процесор	0.870895	0.0116257	0.00265245
	системски	0.348358	0.0293583	0.00728195
	кориснички	0.543438	0.0474925	0.0131895
<b>K = 6</b>	процесор	0.901579	0.0168247	0.0026821
	системски	0.360632	0.0365625	0.00311124
	кориснички	0.468821	0.0054677	0.00881947
<b>K = 7</b>	процесор	0.920769	0.0292675	0.00673792
	системски	0.368308	0.0198364	0.00195026
	кориснички	0.4104	0.0103694	0.00794497

<b>K = 8</b>	процесор	0.93348	0.0230035	0.00420704
	системски	0.373392	0.0224084	0.0143348
	кориснички	0.364057	0.0169036	0.0133488

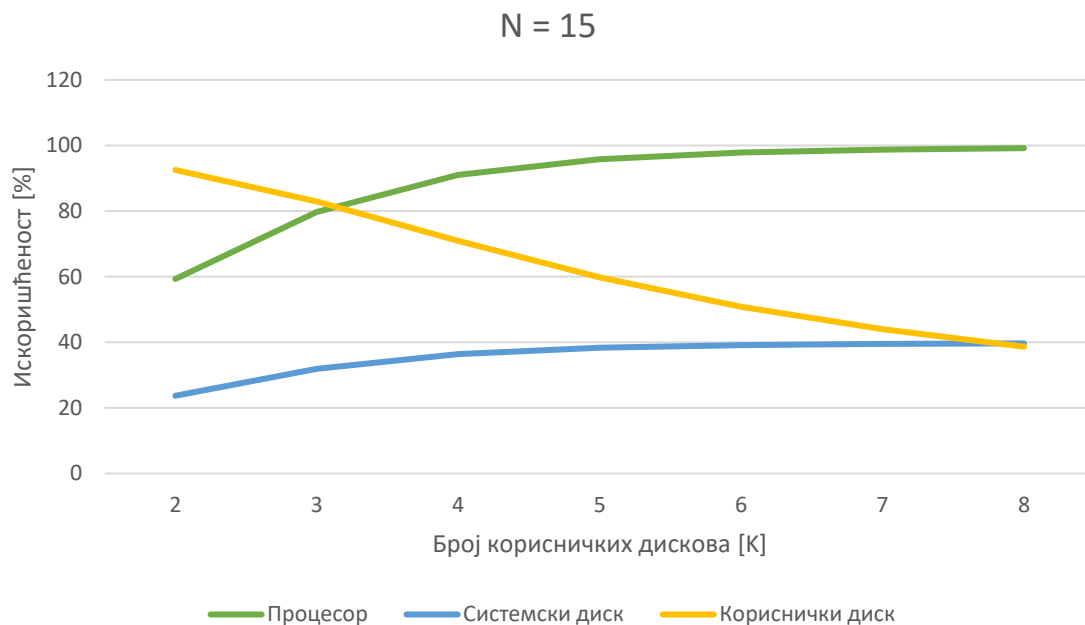


Одступање R (N = 10)				
[ms]	сервер	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	10.8417	4.69504	3.74614
	системски	25.6778	2.39688	3.39113
	кориснички	91.4919	3.60443	8.01767
<b>K = 3</b>	процесор	14.4044	3.1732	2.3075
	системски	27.6958	5.22089	2.99146
	кориснички	61.3642	5.25831	3.64834
<b>K = 4</b>	процесор	17.2088	1.51589	0.400872
	системски	28.9854	4.271	0.670928
	кориснички	47.4894	2.74843	1.53595
<b>K = 5</b>	процесор	19.2331	3.10242	0.417234
	системски	29.7938	5.54606	2.72546
	кориснички	40.0103	4.64584	0.51475
<b>K = 6</b>	процесор	20.6878	1.50859	0.941006
	системски	30.3184	2.18964	1.77834
	кориснички	35.5115	1.50472	1.29991

<b>K = 7</b>	процесор	21.7565	0.507347	1.08855
	системски	30.6753	0.804237	0.599219
	кориснички	32.5725	2.03047	0.887026
<b>K = 8</b>	процесор	22.564	1.34906	1.18894
	системски	30.929	4.21973	1.15434
	кориснички	30.5277	0.3142	2.34672

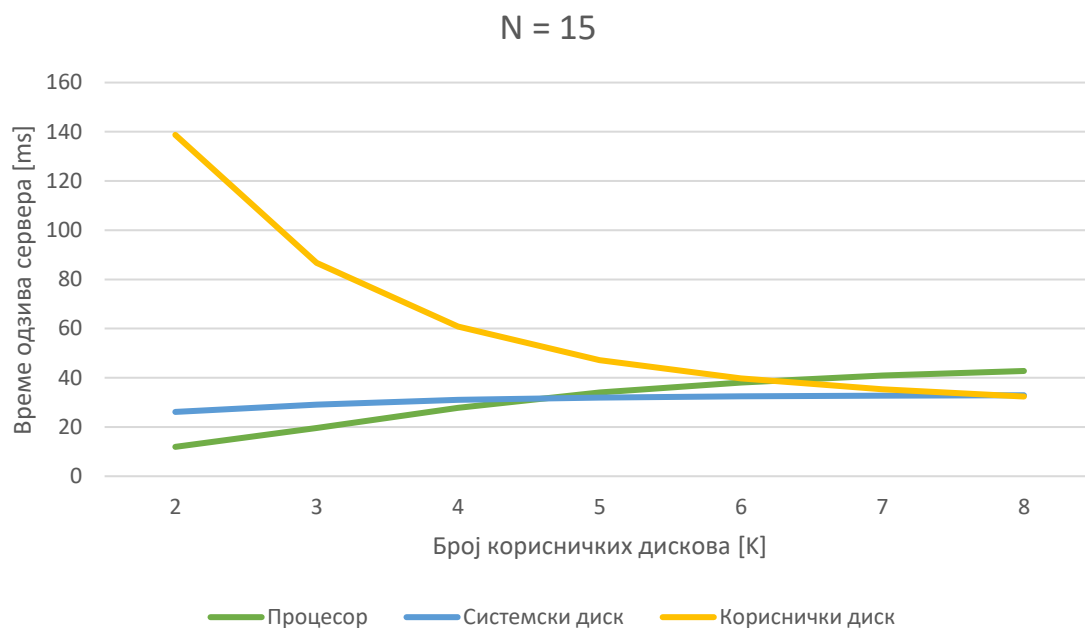


Одступање T (N = 10)			
[s]	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	0.88371	0.0150714	0.0713388
<b>K = 3</b>	0.688326	0.144269	0.0733442
<b>K = 4</b>	0.610657	0.058804	0.0464524
<b>K = 5</b>	0.574122	0.00420734	0.0176393
<b>K = 6</b>	0.554582	0.00873293	0.0326832
<b>K = 7</b>	0.543024	0.0595392	0.0330849
<b>K = 8</b>	0.53563	0.0529518	0.0366691



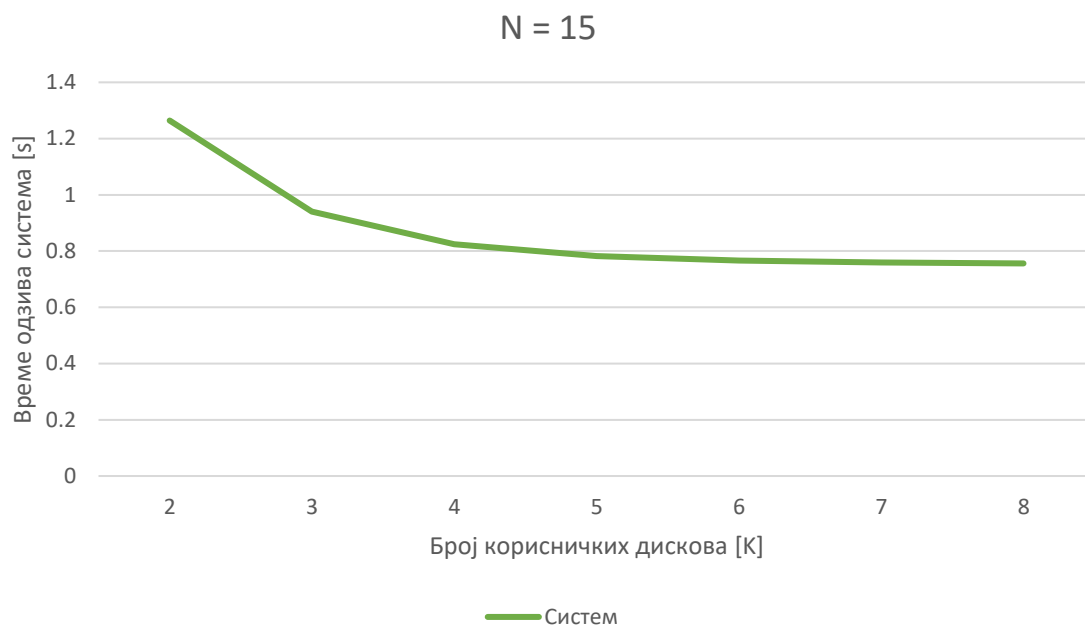
Одступање U (N = 15)				
	ресурс	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	0.593237	0.0526932	0.0143721
	системски	0.237295	0.0128036	0.00111656
	кориснички	0.925449	0.0767178	0.00202227
<b>K = 3</b>	процесор	0.797092	0.0586249	0.01438
	системски	0.318837	0.00974587	0.00863595
	кориснички	0.828975	0.0859539	0.000260966
<b>K = 4</b>	процесор	0.909929	0.015272	0.00225622
	системски	0.363971	0.0109909	0.00426665
	кориснички	0.709744	0.0571187	0.000148781
<b>K = 5</b>	процесор	0.958611	0.0159311	5.76129e-05
	системски	0.383445	0.0202665	0.0157307
	кориснички	0.598174	0.0538546	0.00551423
<b>K = 6</b>	процесор	0.978683	0.0137799	0.00340808
	системски	0.391473	0.0772565	0.0109883
	кориснички	0.508915	0.0121057	0.00371986
<b>K = 7</b>	процесор	0.9876	0.000550393	0.00132629
	системски	0.39504	0.0261434	0.0129766
	кориснички	0.440187	0.00784021	0.0105645
<b>K = 8</b>	процесор	0.991997	0.00521726	0.00156747
	системски	0.396799	0.0362	0.0198016
	кориснички	0.386879	0.0147987	0.0114373



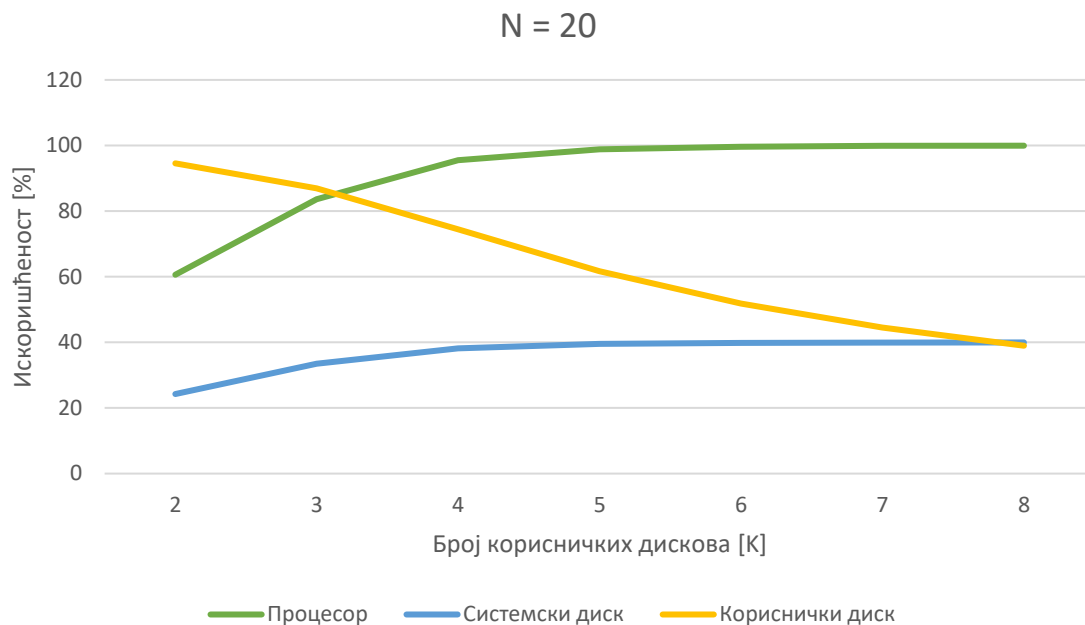


Одступање R (N = 15)				
[ms]	сервер	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	11.9467	7.39968	5.00321
	системски	26.1504	1.51605	3.93862
	кориснички	138.744	33.6121	9.00274
<b>K = 3</b>	процесор	19.6244	1.92939	3.07812
	системски	29.0799	3.7298	3.32141
	кориснички	86.7171	71.2916	1.82782
<b>K = 4</b>	процесор	27.8184	0.600643	0.1018
	системски	31.0078	2.14831	1.32978
	кориснички	60.7833	13.4538	1.4154
<b>K = 5</b>	процесор	34.0055	2.98474	1.17704
	системски	32.011	6.98873	2.65155
	кориснички	47.2445	8.94638	0.96021
<b>K = 6</b>	процесор	38.1364	1.64927	0.848945
	системски	32.5088	2.84031	1.75623
	кориснички	39.774	7.12495	1.58328
<b>K = 7</b>	процесор	40.8873	5.53991	1.60256
	системски	32.7691	0.922296	2.13053
	кориснички	35.2994	4.39766	3.38648

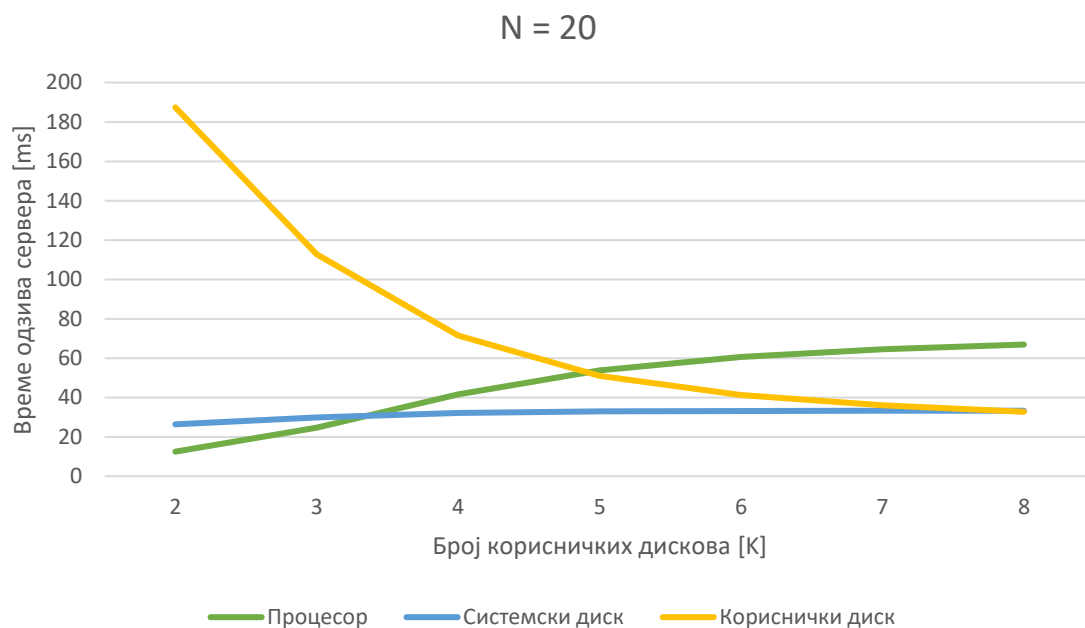
<b>K = 8</b>	процесор	42.7861	0.122612	1.59689
	системски	32.9163	2.454	1.61182
	кориснички	32.3996	2.15842	1.27222



Одступање T (N = 15)			
[s]	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	1.26425	0.295273	0.174898
<b>K = 3</b>	0.940921	0.186337	0.107116
<b>K = 4</b>	0.82424	0.0509288	0.0813659
<b>K = 5</b>	0.782382	0.0963825	0.0729565
<b>K = 6</b>	0.766336	0.0884223	0.0694821
<b>K = 7</b>	0.759417	0.14714	0.0676382
<b>K = 8</b>	0.756051	0.0295649	0.0385569

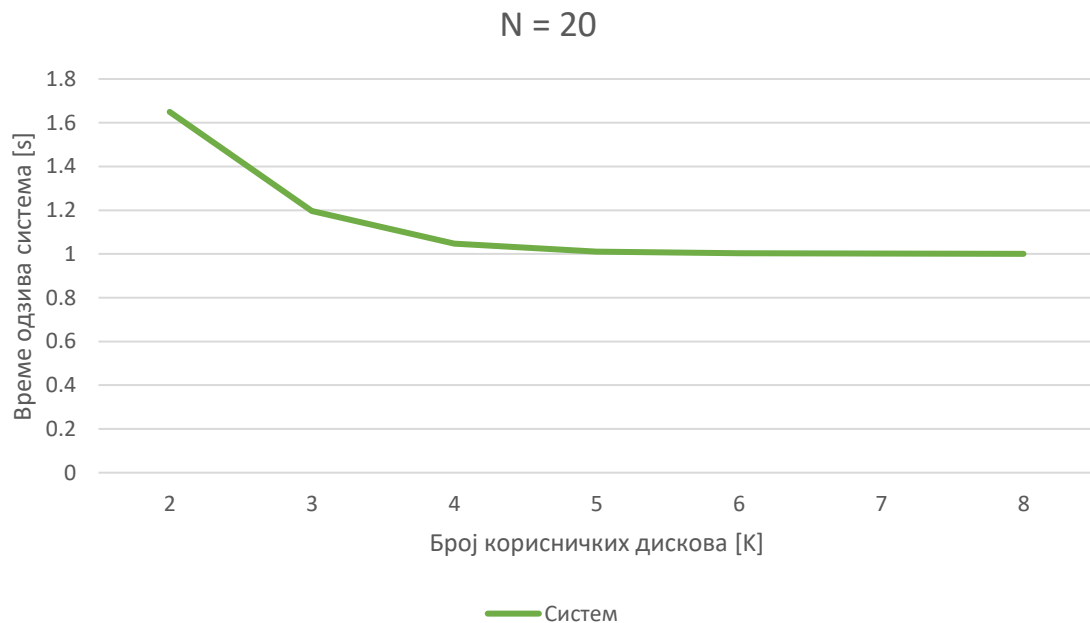


Одступање U (N = 20)				
	ресурс	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	0.60618	0.0470097	0.011522
	системски	0.242472	0.0112901	0.00621855
	кориснички	0.945641	0.0404547	0.00342447
<b>K = 3</b>	процесор	0.836175	0.0379196	0.00726691
	системски	0.33447	0.0853141	0.00091241
	кориснички	0.869622	0.00173393	0.00162701
<b>K = 4</b>	процесор	0.955149	0.00148835	0.00599499
	системски	0.38206	0.0275811	0.00781761
	кориснички	0.745016	0.0209664	0.00251696
<b>K = 5</b>	процесор	0.98884	0.00574928	2.32984e-05
	системски	0.395536	0.0229046	0.0064025
	кориснички	0.617036	0.0510278	0.00324929
<b>K = 6</b>	процесор	0.996681	0.00167395	0.000707666
	системски	0.398672	0.0404258	0.00506188
	кориснички	0.518274	0.023253	0.00450881
<b>K = 7</b>	процесор	0.99876	0.00205134	0.000830489
	системски	0.399504	0.00949172	0.00346978
	кориснички	0.445162	0.0499498	0.00730535
<b>K = 8</b>	процесор	0.999435	0.000915156	0.000792115
	системски	0.399774	0.0589506	0.00325864
	кориснички	0.38978	0.0510414	0.00574655



Одступање R (N = 20)				
[ms]	сервер	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	процесор	12.5011	7.25418	5.99339
	системски	26.3635	0.052005	3.49375
	кориснички	187.393	20.8753	2.75076
<b>K = 3</b>	процесор	24.615	9.12514	2.61981
	системски	29.8728	11.0754	2.59473
	кориснички	112.82	18.8504	9.43502
<b>K = 4</b>	процесор	41.5751	3.51814	0.345531
	системски	32.1186	3.2871	2.119
	кориснички	71.4378	7.78079	3.45083
<b>K = 5</b>	процесор	53.7455	1.84081	1.68771
	системски	32.9336	4.97961	2.27033
	кориснички	51.0702	2.30925	1.15954
<b>K = 6</b>	процесор	60.5481	5.01842	2.18151
	системски	33.1794	2.27799	2.50944
	кориснички	41.2725	2.33225	1.75543
<b>K = 7</b>	процесор	64.4547	1.53271	1.58221
	системски	33.2614	0.526901	1.45298
	кориснички	35.9776	2.2034	1.05328

<b>K = 8</b>	процесор	66.8987	1.23806	2.03091
	системски	33.2936	0.943232	1.33747
	кориснички	32.7504	7.07487	2.73697



Одступање T (N = 20)			
[s]	аналитичко	симулација	усредњено
<b>K = 2</b>	1.64967	0.472496	0.309
<b>K = 3</b>	1.19592	0.0764436	0.149134
<b>K = 4</b>	1.04696	0.074673	0.106347
<b>K = 5</b>	1.01129	0.159716	0.103115
<b>K = 6</b>	1.00333	0.0629926	0.0987469
<b>K = 7</b>	1.00124	0.0854729	0.0895001
<b>K = 8</b>	1.00056	0.148857	0.0868305

		Критични ресурс
<b>N = 10</b>	K = 2	кориснички диск
	K = 3	кориснички диск
	K = 4	процесор
	K = 5	процесор
	K = 6	процесор
	K = 7	процесор
	K = 8	процесор
<b>N = 15</b>	K = 2	кориснички диск
	K = 3	кориснички диск
	K = 4	процесор
	K = 5	процесор
	K = 6	процесор
	K = 7	процесор
	K = 8	процесор
<b>N = 20</b>	K = 2	кориснички диск
	K = 3	кориснички диск
	K = 4	процесор
	K = 5	процесор
	K = 6	процесор
	K = 7	процесор
	K = 8	процесор

## Дискусија

Усредњени резултати симулација углавном дају прецизније резултате од једне одрађене симулације због тога што се са повећањем броја понављања случајно генерисани бројеви који симулирају дужину рада сервера све више приближавају просечном времену опслуживања сервера које је дато у задатку. Самим тим су и резултати истоветнији онима добијеним аналитичким решавањем.

Треба напоменути да и дужина трајања сваке појединачне симулације има значајан утицај на тачност резултата јер се повећањем временског интервала посматрања добија боља слика рада система (релативна одступања дата у табелама су добијена за 10 секунди симулираног времена).