

# Poređenje performansi RAID 0 i RAID 5 nizova uparenih SSD uređaja

Nikola Davidović  
Univerzitet u Istočnom Sarajevu,  
Elektrotehnički fakultet,  
Istočno Sarajevo, RS, BiH  
nikola.davidovic@etf.ues.rs.ba

Slobodan Obradović  
Information Tehnology School  
Beograd, Srbija  
slobodan.obradovic@its.edu.rs

Dragoslav Perić  
Akdemija tehničkih strukovnih studija Beograd  
Beograd, Srbija  
dragoslav.peric@vts-pozarevac.edu.rs

**Abstract**—Korišćenjem nizova nezavisnih uparenih SSD uređaja moguće je u velikoj mjeri povećati ove karakteristike (kapacitet, brzine čitanja i upisa). U praksi se najviše koriste RAID 0 za povećanje kapaciteta i brzine čitanja, jer se vrlo jednostavno realizuju (sa najmanje dva uređaja). RAID 0 nizovi SSD uređaja ne osiguravaju pouzdanost podataka i mogućnost oporavka u slučaju otkaza makar jednog diska. Zbog toga se u praksi vrlo često koriste nizovi polja RAID 5 koji omogućavaju oporavak podataka u slučaju otkaza jednog uređaja. U radu su prikazana mjerenja performansi nizova RAID 0 sa dva i tri SSD uređaja i RAID 5 sa tri i četiri uređaja i izvršena poređenja dobijenih rezultata. Prilikom realizacije mjerenja pored broja uređaja koji su upareni u niz (veličina niza), varirani su i parametri koji se odnose na veličinu bloka podataka koji se skladišti ili čita (radno opterećenje) kao i broj paralelnih ulaznih i izlaznih operacija koje se izvršavaju istovremeno (dubina reda).

**Ključne riječi:** performanse sekundarnih memorija; SSD; RAID; RAID 0; RAID 5; Kingston; jedinica trake; radno opterećenje; dubina reda; veličina niza; ATTO; benchmark.

## I. UVOD

Dugi niz godina magnetni diskovi predstavljaju dominantnu tehnologiju sekundarnih memorijskih uređaja. Međutim neki od osnovnih nedostataka magnetnih memorija predstavljale su podsticaj za razvoj druge vrste sekundarnih memorijskih uređaja baziranih na poluprovodničkim memorijama. Osnovni zadatak sekundarnih memorijskih uređaja je da pouzdano čuvaju zapise koji se nalaze na njima, pri čemu je potrebno dostaviti te zapise što brže višim nivoima memorije na zahtjev procesora.

Prilikom odabira uređaja sekundarne memorije potrebno se voditi nekim osnovnim parametrima, kao što su: cijena, kapacitet, performanse, pouzdanost, izdržljivost, energetska efikasnost itd.

U odnosu na HDD (eng. Hard Disk Drive) uređaj, SSD (eng. Solid State Disk) uređaj riješio je i unaprijedio mnoge karakteristike sekundarnih memorijskih uređaja, ali pri tome u isto vrijeme postavljajući i neke nove zahtjeve [3].

## II. SSD UREĐAJ

S obzirom na samu tehnologiju izrade postoji veliki broj varijacija različitih SSD uređaja. Veliki broj varijabilnih parametara na različite načine utiče na bitne parametre koje imaju značajan uticaj kako na performanse, tako i na kapacitet pa i sam vijek trajanja nekog SSD uređaja.

Tehnologija izrade memorijske ćelije u najvećoj mjeri utiče na kapacitet i vijek trajanja same memorijske ćelije. Za odabir odgovarajućeg SSD uređaja bitno je poznavati podatak da li su memorijske ćelije SLC, MLC, TLC ili čak u novim SSD uređajima QLC. QLC ćelije imaju najviše različitih naponskih nivoa (čak 16) i kao takve pružaju najveći kapacitet i najmanju cijenu, ali sa posljedicom da te ćelije brže propadaju od TLC, MLC i SLC memorijskih ćelija. Drugim riječima broj upisa koji se može obaviti u QLC je značajno manji u odnosu na TLC, MLC i SLC memorijske ćelije[3][4].

Na vijek trajanja samog SSD uređaja najviše utiče mogućnost da se napon na memorijskoj ćeliji ispravno očita. U slučaju velikog broja upisa i/ili modifikovanja podataka dolazi do habanja izolacionog sloja čiji je krajnji rezultat ne održavanje odgovarajućeg naponskog nivoa na memorijskoj ćeliji što za posljedicu ima ne očitavanje ispravnog zapisa iz memorijske ćelije.

Osim memorijske ćelije značajnu ulogu na kvalitet SSD uređaja ima veličina stranice (eng. page) i bloka (eng. block). Stranica predstavlja najmanju jedinicu zapisa u koju je moguće uraditi upis i koju je moguće očitati. Veličina stranice obično iznosi 4 KB ili 8 KB, ali ovaj podatak zavisi od proizvođača uređaja. Blok se sastoji od većeg broja stranica i predstavlja najmanju memorijsku strukturu koja se može brisati. Obično iznosi 512 KB. Nažalost podatke o veličini stranice i bloka proizvođači ne dostavljaju korisnicima.

Iz navedenih osobina same tehnologije izrade NAND SSD uređaja, može se zaključiti da parametri koji utiču na performanse SSD uređaja značajno se razlikuju od HDD uređaja. Na performanse SSD uređaja, bilo kog proizvođača, u

velikoj mjeri utiče istorija upisa, kao i tip pristupa SSD uređaju. Posljedica toga je da se performanse tokom vremena mijenjaju i da se najbolji rezultati ostvaruju sa novim SSD uređajem čije su memorijske ćelije prazne (postavljene na logičku 1 kod SLC ili 1111 kod QLC).

### III. RAID 0 i RAID 5

Neke od najkorišćenijih RAID (eng. Redundant Array of Inexpensive Disks) tehnologija kod HDD uređaja su RAID 0 i RAID 5. RAID 0 tehnologija svoju primjenu je našla prvenstveno zahvaljujući tome što omogućava maksimalne performanse sa minimalnim brojem diskova u nizu. Osim toga RAID 0 predstavlja najjeftiniju implementaciju od svih RAID tehnologija, koja nudi bolje performanse i veći kapacitet. Osnovi problem koji ima RAID 0 je taj što ne omogućava redundantnost. Svoju primjenu RAID 5 ostvario je zahvaljujući tome što omogućava performanse bliske RAID 0 tehnologiji uz korišćenje jednog diska više, pri tome obezbjeđujući redundantnost [1][2].

### IV. TEST KONFIGURACIJA

#### A. Hardverska konfiguracija

Hardverska specifikacija prikazana je u Tabeli I. Testovi su urađeni na Microsoft Windows 10 Education sa operativnim sistemom na Kingston M2 SSD (karakteristike date u tabeli II) [11]. Prilikom testova za konfigurisanje RAID 0 i RAID 5 nivoa korišćen je integrisan RAID kontroler na matičnoj ploči ASUS H97M-E [10]. Prilikom kreiranja RAID nivoa korišćeni su Kingston SSD 2,5 diskovi (karakteristike date u tabeli III) [12].

TABELA I. HARDVERSKA KONFIGURACIJA PC

Hardver	Specifikacija
Matična ploča	ASUS H97M-E
RAM	16 GB, 2*DIMM DDR3 8GB 1866MHz Kingston HyperX Fury
CPU Model	CPU Intel(R) Core(TM) i7-4790 <a href="#">CPU@3.6GHz</a> , 3601 Mhz, 4 Core(s), 8 Logical Processor(s)
Sekundarna memorija sa OS	Kingston SM2280S3/120G
Operativni sistem	Microsoft Windows 10 Education, 10.0.17134 Build 17134

TABELA II. SSD KINGSTON M2 SPECIFIKACIJA

SSD	Specifications
Model	SSD KINGSTON SM2280S3/120G
Kapacitet	120 GB
Čitanje (eng. Read)	550 MB/s
Pisanje (eng. Write)	520 MB/s

TABELA III.

TABELA IV. SSD KINGSTON SPECIFIKACIJA

SSD	Specifications
Model	SSD KINGSTON, SSDNOW 300V, 2.5" SATA 6Gb/s
Kapacitet	120 GB
Čitanje (eng. Read)	450 MB/s
Pisanje (eng. Write)	450 MB/s

#### B. ATTO Disk benchmark

Jedan od programa koji se koristi prilikom testiranja sistema za skladištenje podataka je ATTO Disk Benchmark. ATTO testiranje može da radi samo nad partitionisanim i formatiranim prostorom. Verzija za Windows operativne sisteme podržava *File Allocation Table* (FAT) i *New Tehnology File System* (NTFS) fajl sisteme. Princip rada je da se na datoj particiji upiše prazan fajl, koji služi da se rezerviše radni prostor. Taj fajl se zatim popunjava šemom - pattern podataka. Nakon popunjavanja, upisa vrši se čitanje tih istih podataka. Proces se ponavlja za svaki korak u zadatom opsegu veličine transfera. Ovaj parametar određuje kolika dužina podataka se predaje, odnosno potražuje u jednom zahtjevu. Na raspolaganju je raspon transfera koji ide od 512 B do 64 MB, sa korakom u kome je naredna veličina dvostruko veća od prethodne. Na ovaj način može se dobiti jedna slika performansi i za male i za velike podatke. Performanse sistema su izmjerene za različite vrijednosti broja paralelnih U/I operacija (Queue Depth, QD 1 – nema paralelizma, QD 2, 4, 8, 16, 32). Najveći nedostatak ATTO Disk benchmark-a predstavlja nemogućnost testiranja performansi nasumičnog pristupa [9].

### V. TESTNI REZULTATI

U tabeli IV date su apsolutne vrijednosti brzina upisa i čitanja jednog SSD uređaja proizvođača KINGSTON u MB/s, za različite vrijednosti radnog opterećenja i dubine reda (Queue Depth, QD)[5][6][7]. U svim testovima jedinica trake (Stripe Unit - SU) je 16 KB, tako da je veličina pune trake za RAID nivoa sa 2, 3 i 4 diska, 32 KB, 48 KB i 64 KB, respektivno. Osnovne vrijednosti performansi SSD uređaja su bez paralelizma tj. pri dubini reda jedan (QD 1). S obzirom da su izmjerene vrijednosti brzina pri QD16 i QD32 približno iste, pri mjerenjima će QD biti ograničeno na 32.

Posmatranjem dobijenih rezultata za jedan uređaj SSD uređaj, bez paralelizma U/I operacija (QD1), maksimalne deklarirane vrijednosti od strane proizvođača, dostižu se tek pri vrlo velikim blokovima podataka (2MB i veći). Ovo je nastaje zbog prirode samog SSD uređaja koji je podjeljen na stranice veličine 32 KB i svaki blok podataka se nalazi na posebnoj stranici. Tek kada su blokovi podataka veći od 32 KB oni zauzimaju dvije ili više stranica. Povećanjem blokova podataka do 2 MB brzine se povećavaju i daljim povećanjem se ne postižu veće brzine, jer su praktično dostignute maksimalne vrijednosti. Sa povećanjem QD maksimalne brzine se dostižu

pri manji blokovima podataka. Za QD 4 maksimalna brzina pri čitanju se dostiže pri podacima veličine 512 KB a pri upisu već na 128 KB. Za QD 16 i QD 32 maksimalna brzina za čitanje se dostiže pri blokovima 128 KB dok se pri upisu dostiže na 32 KB.

Testiranje nizova uparenih SSD uređaja urađeno je takođe sa različitim radnim opterećenjima (veličina jednog radnog bloka podatka) čija se vrijednost mijenja u granicama od 512 B do 64 MB, pri čemu je svaka naredna veličina bloka podataka (workload) dvostruko veća od prethodne. Pri malim blokovima podataka, ukupan broj U/I operacija je veći, a njihova brzina je reda 130000 u sekundi. Za vrlo velike blokove podataka broj operacija je vrlo mali, a brzina im je između 10 i 20 u sekundi. Ukupna veličina radnog opterećenja je 32 GB u jednom ciklusu mjerenja za svaku vrijednost QD. To znači da se za svaku vrijednost bloka podataka od 0,5 KB do 64 MB radi sa radnim opterećenjima od prosječno 1,5 GB za svaku vrijednost. Brzine čitanja i upisa se povećavaju sa veličinom bloka radnog opterećenja (workload). Sa povećanjem QD maksimalne brzine se dostižu pri manjim blokovima podataka u odnosu a QD 1. U tabeli V, date su brzine čitanja za RAID 0 sa 2 i 3 SSD uređaja[6][7] i za RAID 5 sa 3 i 4 SSD uređaja [8]. Vrijednosti dubine reda QD (Queue Depth) su: 1, 2, 4, 8, 16 i 32. Vrijednosti izmerenih brzina čitanja i upisa date su u apsolutnim iznosima, u MB/s (kao i u tabeli IV).

U tabeli VI, date su brzine upisa za RAID 0 sa 2 i 3 SSD uređaja i za RAID 5 sa 3 i 4 SSD uređaja. Vrijednosti dubine reda QD (Queue Depth) su: 1, 2, 4, 8, 16 i 32. Vrijednosti izmerenih brzina čitanja i upisa date su u apsolutnim iznosima, u MB/s (kao i u tabeli IV).

## VI. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Očekivane vrijednosti brzina čitanja i upisa su sljedeće:

- Sa povećanjem radnog opterećenja (bloka podataka koje čita ili upisuje) povećava se i brzina upisa brzina i čitanja u oba niza uparenih SSD (RAID 0 i RAID 5).
- Sa povećanjem paralelizma ulazno/izlaznih operacija, za mala i srednja radna opterećenja, povećavaju se brzine čitanja i upisa. Pri velikim radnim opterećenjima paralelizam nema uticaja, jer su

dostignute maksimalne brzine. Sa povećanjem QD maksimalne brzine se dostižu pri manjim radnim blokovima podataka.

- Pri čitanju, RAID 0 sa 2 SSD i RAID 5 sa 3 SSD ponašaju se identično i dva puta su brži od jednog SSD.
- Pri čitanju, RAID 0 sa 3 SSD i RAID 5 sa 4 SSD ponašaju se identično i tri puta su brži od jednog SSD.
- Pri upisu, performanse RAID 5 su značajno lošije nego kod odgovarajućeg RAID 0 zbog izračunavanja i upisa bloka parnosti.

Sa povećanjem veličine radnog bloka podataka, povećavaju se brzine čitanja i upisa. Ovaj trend je uočljiv za male blokove podataka (do 8KB) kada se kod RAID 0 i RAID 5 dostižu maksimalne brzine čitanja. Neočekivano, maksimalna brzina kod RAID 0 sa 2 SSD je oko 800 MB/s (20% manja od teorijski očekivane 1000 MB/s), dok je kod RAID 5 sa 3 SSD oko 1100 MB/s (što je 10% veće od teorijski očekivane). Daljim povećanjem bloka podataka za srednje blokove podataka (veći od 8KB i manji od 1MB) brzine se ne menjaju.

Pri vrlo velikim blokovima podataka (veći od 1MB) kod RAID 0 zadržava dostignutu maksimalnu moguću brzinu i dalje se neznatno povećava. RAID 5 sa 3 SSD smanjuje brzinu čitanja i na 32 MB ona je ista kao kod RAID 0 i reda je 800 MB/s, odnosno 20% manja od teorijski očekivane (dva puta veća nego kod 1 SSD).

Neočekivano, pri dubini reda QD 2 performanse su u najboljem slučaju jednake kao za QD 1 (kada nema paralelizma), i za mala radna opterećenja se poklapaju sa performansama jednog uređaja. Izmerene vrijednosti za QD2 u tabelama IV, V i VI pokazuju da nema bitnijih razlika za QD1 i QD2 pa se neće analizirati ponašanje nizova uparenih diskova za QD2. Dakle, uticaj paralelizma U/I operacija na performanse nizova uparenih SSD RAID 0 i RAID 5 biće analiziran samo za vrijednosti QD 1, QD 4, QD 8, QD 16 i QD 32. Pri malim radnim blokovima podataka, manjim od jedinice trake, uvođenje paralelizma četiri U/I operacije (QD 4) značajno poboljšava brzinu čitanja, daljim povećanjem dubine reda ne povećava se brzina čitanja.

TABELA V. REZULTATI MJERENJA ZA JEDAN SSD ZA QD 1 DO QD 32 ZAVISNO OD VELIČINE RADNOG OPTEREĆENJA – WORKLOAD

VB SSD	MB/s	0.5 KB	1 KB	2 KB	4 KB	8 KB	16 KB	32 KB	64 KB	128 KB	256 KB	512 KB	1024 KB	2048 KB	4096 KB	8192 KB	16384 KB	32768 KB	65536 KB
KINGSTON 1 SSD čitanje	QD 1	9	17	35	61	111	137	195	220	238	301	373	421	450	467	478	483	485	484
	QD 2	9	18	34	68	125	162	174	220	238	300	369	419	450	467	481	484	485	485
	QD 4	17	34	68	132	202	277	307	344	424	481	493	509	512	512	511	511	510	510
	QD 8	25	50	100	193	307	396	412	452	478	495	510	512	512	511	511	510	510	510
	QD 10	31	62	120	233	304	396	434	463	491	500	510	511	510	510	510	510	510	510
	QD 16	32	65	129	256	350	407	460	477	495	513	513	513	512	511	511	511	510	510
	QD 32	33	65	130	260	345	412	468	498	508	514	513	512	512	512	511	511	510	510
KINGSTON 1 SSD upis	QD 1	11	20	35	97	155	212	209	270	281	389	431	442	463	472	477	480	481	480
	QD 2	11	20	32	94	158	208	252	255	316	374	411	438	456	464	473	476	478	479
	QD 4	15	29	56	205	334	412	456	480	491	502	502	503	503	502	501	501	501	500
	QD 8	24	46	78	283	396	460	482	490	493	499	495	500	499	499	499	499	499	500
	QD 10	25	53	88	308	420	459	485	491	493	499	499	501	501	501	501	500	501	501
	QD 16	33	64	107	325	433	465	486	489	498	494	503	501	501	501	501	501	501	501
	QD 32	35	67	117	312	432	464	485	491	494	498	501	499	500	499	498	501	499	500

TABELA VI. BRZINA ČITANJA RAID 0 SA 2 SSD I 3 SSD ; RAID5 SA 3 SSD I 4 SSD

VB SSD	MB/s	0.5 KB	1 KB	2 KB	4 KB	8 KB	16 KB	32 KB	64 KB	128 KB	256 KB	512 KB	1024 KB	2048 KB	4096 KB	8192 KB	16384 KB	32768 KB	65536 KB
RAID 0 2 SSD čitanje	QD 1	34	67	126	244	395	740	820	818	819	822	803	811	813	820	817	816	815	816
	QD 2	22	56	103	199	372	701	803	816	819	820	818	820	820	820	818	816	814	815
	QD 4	65	126	236	438	816	813	818	818	815	810	816	823	821	823	821	818	817	817
	QD 8	64	129	270	447	816	809	813	813	813	810	814	818	820	825	821	820	818	818
	QD 16	66	130	252	514	818	816	818	814	815	814	818	823	828	830	824	819	817	819
	QD 32	65	139	263	537	818	813	814	814	815	814	812	825	826	823	823	820	819	819
RAID 0 3 SSD čitanje	QD 1	31	65	124	222	413	660	1146	1172	1179	1170	1179	1185	1193	1198	1140	1190	1176	1165
	QD 2	23	49	104	193	366	637	1133	1169	1170	1173	1179	1168	1193	1194	1185	1191	1175	1174
	QD 4	66	130	254	481	992	1176	1169	1182	1198	1196	1202	1202	1200	1203	1190	1192	1196	1196
	QD 8	67	134	266	525	936	1180	1180	1194	1195	1208	1205	1202	1210	1201	1153	1199	1196	1195
	QD 16	68	134	259	491	984	1176	1188	1197	1204	1199	1199	1208	1172	1198	1203	1198	1194	1196
	QD 32	68	135	270	518	1055	1188	1188	1200	1207	1199	1199	1199	1158	1199	1205	1198	1195	1195
RAID 5 3 SSD čitanje	QD 1	34	70	133	261	445	828	1052	1060	1059	1059	1064	1057	1019	1023	1006	894	884	864
	QD 2	24	47	94	202	363	766	1044	1063	1062	1069	1071	1059	1017	1015	1014	917	888	853
	QD 4	72	143	276	533	996	1055	1068	1073	1075	1082	1100	1073	1022	964	941	867	830	829
	QD 8	70	143	286	578	1010	1070	1083	1088	1092	1095	1054	1062	1002	935	877	858	823	834
	QD 16	74	145	282	568	1025	1105	1112	1109	1111	1106	1095	1044	979	927	912	859	834	834
	QD 32	72	143	287	567	1055	1122	1127	1124	1117	1103	1077	1027	974	928	921	849	830	836
RAID 5 4 SSD čitanje	QD 1	28	73	145	265	460	805	1281	1322	1334	1358	1358	1386	1405	1421	1434	1402	1380	1372
	QD 2	25	48	102	220	421	758	1286	1322	1345	1358	1351	1402	1429	1429	1439	1379	1391	1388
	QD 4	69	136	268	529	1018	1309	1328	1365	1334	1372	1429	1463	1453	1320	1349	1415	1443	1420
	QD 8	69	139	285	578	1137	1332	1359	1406	1420	1438	1429	1435	1319	1372	1301	1418	1433	1438
	QD 16	71	142	299	543	1051	1367	1445	1465	1478	1446	1460	1322	1386	1379	1349	1420	1438	1439
	QD 32	74	143	279	609	1096	1406	1450	1485	1478	1423	1435	1351	1354	1349	1368	1418	1441	1440

TABELA VII. BRZINA UPISA U RAID0 SA 2 I 3 SSD I RAID5 SA 3 I 4 SSD

VB SSD	MB/s	0.5 KB	1 KB	2 KB	4 KB	8 KB	16 KB	32 KB	64 KB	128 KB	256 KB	512 KB	1024 KB	2048 KB	4096 KB	8192 KB	16384 KB	32768 KB	65536 KB
RAID 0 2 SSD upis	QD 1	12	22	38	101	168	251	459	614	730	770	862	897	913	930	931	937	939	939
	QD 2	12	22	40	100	168	251	455	613	737	768	866	905	915	926	931	936	938	935
	QD 4	17	33	63	226	424	729	808	882	926	943	955	962	964	971	973	970	972	969
	QD 8	36	58	111	390	727	758	898	935	950	950	955	964	971	978	970	968	971	970
	QD 16	38	58	130	376	748	717	902	939	954	955	966	973	976	978	971	971	969	969
	QD 32	57	102	182	517	816	883	904	937	959	955	971	971	976	976	976	973	967	971
RAID 0 3 SSD upis	QD 1	11	22	39	101	167	252	452	620	854	931	1047	1129	1147	1164	1171	1188	1190	1189
	QD 2	11	22	39	98	167	249	455	619	856	935	1054	1116	1156	1171	1180	1182	1188	1188
	QD 4	17	33	62	226	422	670	1094	1145	1182	1211	1217	1208	1224	1216	1235	1245	1244	1245
	QD 8	41	64	117	381	699	1059	977	1200	1216	1205	1205	1225	1220	1235	1244	1243	1245	1244
	QD 16	57	108	189	514	936	1023	1203	1207	1210	1211	1225	1229	1242	1240	1246	1186	1245	1245
	QD 32	62	122	238	516	943	1207	1203	1200	1219	1225	1225	1232	1245	1242	1240	1246	1216	1243
RAID 5 3 SSD upis	QD 1	6	12	21	47	74	109	140	141	210	249	313	382	455	488	502	502	508	505
	QD 2	6	11	20	47	77	112	138	143	216	251	317	380	452	491	504	502	508	509
	QD 4	10	17	38	70	111	128	236	213	300	369	463	523	498	487	508	507	511	517
	QD 8	19	36	63	104	121	291	360	280	410	496	502	513	465	483	502	513	517	516
	QD 16	31	53	77	116	288	706	498	361	507	527	503	478	482	479	503	515	519	517
	QD 32	42	68	97	245	770	772	639	361	523	417	478	477	481	484	501	511	512	516
RAID 5 4 SSD upis	QD 1	5	11	20	42	70	102	123	182	249	284	342	429	521	593	615	592	590	591
	QD 2	5	11	20	42	69	94	123	182	260	285	349	426	528	588	624	593	601	584
	QD 4	9	16	31	60	93	123	163	331	333	418	524	593	600	584	594	587	577	576
	QD 8	17	32	58	88	120	185	313	511	447	545	592	599	589	561	549	564	572	564
	QD 16	30	50	72	112	183	314	766	864	561	602	610	567	558	521	544	570	566	571
	QD 32	38	66	96	170	301	516	669	924	605	587	548	538	521	518	521	560	569	565

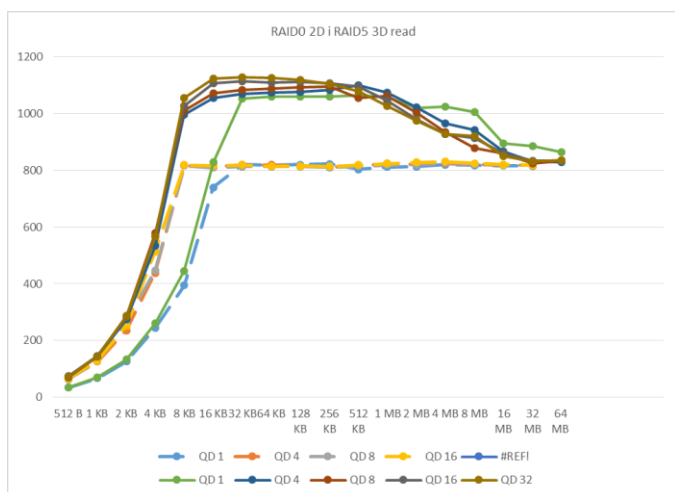
Na slikama 1 i 2 prikazane su brzine čitanja nizova RAID 0 sa 2 kao i RAID 5 sa 3 SSD uređaja (slika 1.) i RAID 0 sa 3 kao i RAID 5 sa 4 SSD uređaja (slika 2.).

Kod RAID 0 2D (slika 1., isprekidane linije), maksimalne brzine za QD 1 dostižu se pri čitanju blokova podataka od 32 KB (iste veličine kao jedinice trake). Za QD 4 i veće maksimalne brzine se dostižu već pri 8 KB i izmjerene vrijednosti se gotovo podudaraju za QD 8, 16 i 32. Dakle, pri čitanju kod RAID 0 sa 2 SSD dubina reda veća od 4 ne bi uticala na performanse. Isto važi i za RAID 5 sa 3 SSD (dijagrami punim linijama), s tim da je brzina čitanja veća od

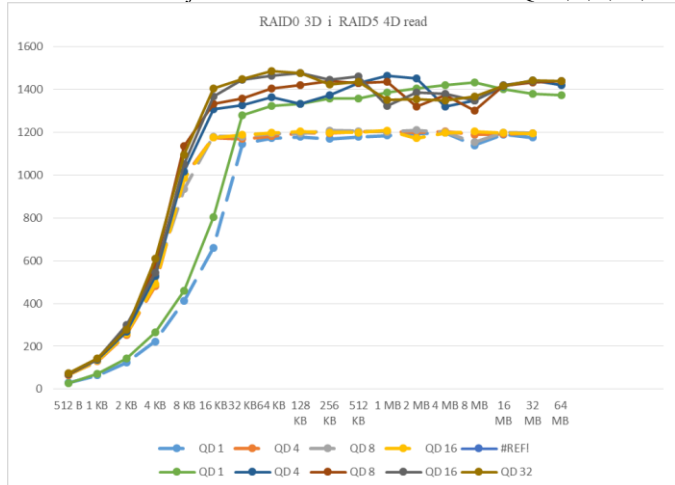
1000 MB/s za blokove podataka od 8KB do 1 MB. Ove brzine su 10% veće od teorijski očekivanih.

Maksimalne brzine čitanja kod RAID 0 3D (slika 2., dijagrami isprekidanim linijama), za QD 1 dostižu se pri čitanju blokova podataka od 32 KB (iste veličine kao jedinica trake SU). Za QD 4 i veće maksimalne brzine se dostižu već pri 16 KB i izmjerene vrijednosti se gotovo podudaraju. Dakle, pri čitanju kod RAID 0 sa 3 SSD dubina reda veća od 4 ne bi uticala na performanse. Kod RAID 5 sa 4 SSD (dijagrami punim linijama) sve je skoro isto s tim da postoji izraženija zavisnost brzine čitanja od QD, ali se mjerenja za QD 16 i QD 32 gotovo podudaraju. Izmjerene maksimalne brzine za RAID

0 3D su 50% veće nego za 2D, što je u skladu sa činjenicom da je dodat još jedan uređaj. Povećanje maksimalne brzine kod RAID 5 sa 4 SSD je oko 30% u odnosu na RAID 5 sa 3 SSD, ali je skoro tri puta veća nego kod jednog SSD (prosječno 2,8 puta veće).



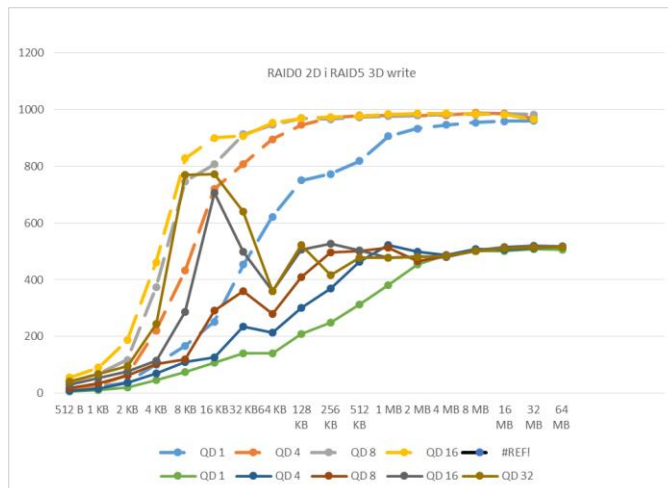
Slika 1. Brzina čitanja RAID 0 sa 2 i RAID 5 sa 3 SSD za QD 1, 4, 8, 16, 32



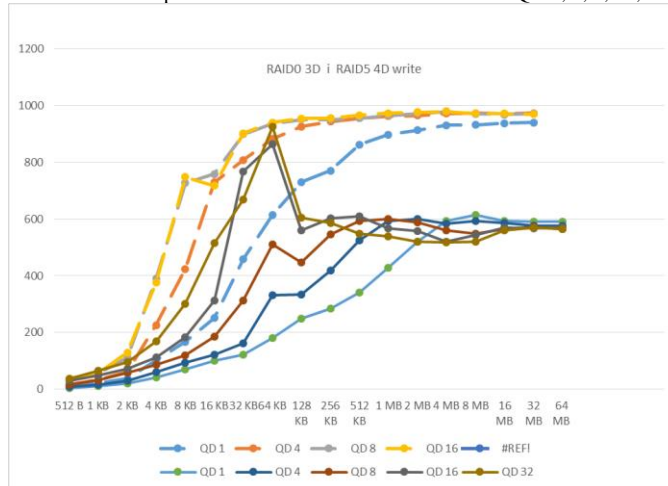
Slika 2. Brzina čitanja RAID 0 sa 3 i RAID 5 sa 4 SSD za QD 1, 4, 8, 16, 32

Kada posmatramo brzine upisa RAID 0 sa 2 SSD (slika 3.) ponaša se u skladu sa teorijskim očekivanjima. Naime, maksimalna brzina je 1,93 puta veća nego kod jednog uređaja. Zavisnost od QD je izražena za male i srednje blokove podataka i što je QD veće, maksimalna brzina se dostiže pri manjim blokovima. Za QD 8, 16 i 32 dijagrami se skoro poklapaju, dok se maksimalna brzina upisa postiže već za blokove od 64 KB.

Ako posmatramo RAID 5 sa 3 SSD za male blokove podataka uočljivo je da zavisnost brzine upisa od QD je vrlo izražena za male i srednje blokove podataka (manji od 2 MB). Za velike blokove podataka, veće od 2 MB RAID 5 sa 3 SSD se ponaša kao jedan SSD i nezavisan je od QD.



Slika 3. Brzina upisa RAID 0 sa 2 i RAID 5 sa 3 SSD za QD 1, 4, 8, 16, 32



Slika 4. Brzina upisa RAID 0 sa 3 i RAID 5 sa 4 SSD za QD 1, 4, 8, 16, 32

Na slici 4, prikazani su dijagrami brzina upisa za RAID 0 3D i RAID 5 4D. Ovi sistemi se ponašaju gotovo identično kao i RAID 0 2D i RAID 5 3D. Maksimalna brzina upisa kod RAID 0 3D je približno ista kao kod RAID 0 2D i dva puta je veća od brzine upisa kod jednog SSD uređaja. Maksimalna brzina upisa kod RAID 5 sa 4 SSD je 13,5% veća od brzine upisa kod jednog SSD.

## VII. ZAKLJUČAK

Kada je reč o zavisnosti brzina čitanja i upisa od veličine bloka podataka je da se one povećavaju sa povećanjem veličine bloka pri istim radnim opterećenjima. Ova zavisnost je prisutna samo do dostizanja maksimalnih brzina.

Kada posmatramo zavisnost brzine čitanja od QD ona postoji i više je izražena za blokove podataka manje od jedinice trake (SU). Više je izražena u RAID 5 sistemima nego u RAID 0 (koja praktično ne postoji pri blokovima podataka većim od SU). Takođe je znatno više izražena pri upisu nego pri čitanju.

Na osnovu dijagrama sa slike 1, zaključujemo da su brzine čitanja kod RAID 5 sa 3 SSD znatno veće nego kod RAID 0 sa 2 SSD i bliže su vrednostima za RAID 0 sa 3 SSD. Ovo nije



nelogično, jer zbog velikog broja operacija čitanje se kod RAID 5 sa 3 SSD simultano obavlja sa sva tri uređaja.

Na osnovu dijagrama sa slike 2, slijedi da su brzine čitanja kod RAID 5 sa 4 SSD veće nego kod RAID 0 sa 3 SSD, jer se čitanje kod RAID 5 sa 3 SSD simultano obavlja sa sva četiri uređaja, ali je manje nego što bi se očekivalo za RAID 0 sa 4 SSD.

Brzine upisa RAID 0 sa 2 SSD se ponaša u skladu sa teorijskim očekivanjima i ima dva puta veću brzinu od jednog SSD. RAID 0 sa 3 SSD ima iste performanse kao i RAID 0 sa 2 SSD. RAID 5 sa 3 SSD ima brzinu upisa kao jedan SSD, a RAID 5 sa 4 SSD ima samo 10% veću brzinu upisa od brzine upisa u jedan SSD. Ovo je očekivano jer se pri svakom upisu jednog bloka u neki od SSD uređaja izračunava i upisuje blok parnosti. Dakle pri upisu jedne trake (Stripe) dva, odnosno tri puta se upisuje blok parnosti.

U računarskim sistemima, gdje je od velikog značaja pouzdanost sistema potrebno je primjeniti RAID 5. Prilikom upisa zapisa na disk RAID 5 sa N diskova davaće približne performanse RAID 0 niza sa N-1 diskom. Operacija čitanja zapisa sa RAID 5 niza sa N diskova imao bi karakteristike između karakteristika RAID 0 niza sa N-1 i N diskova.

U računarskim sistemima gdje od velikog značaja brzina upisa i čitanja, kao i gdje nema veliki broj upisa bolja opcija za primjenu je RAID 0 niz. Primjenom RAID 0 niza uparenih SSD uređaja, za razliku od HDD uparenih uređaja u RAID 0, ne povećava se mogućnost gubitka zapisa na sekundarnoj računarskoj memoriji. Upotrebom više SSD uređaja manjeg kapaciteta i povezivanjem u RAID 0 ostvaruje se veća brzina kako upisa tako i čitanja gotovo za istu cijenu SSD uređaja većeg kapaciteta.

#### REFERENCES

- [1] Patterson, David; Gibson, Garth A.; Katz, Randy, "A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)", [www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1987/CSD-87-391.pdf](http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1987/CSD-87-391.pdf), december 2020.
- [2] Microsoft storage, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/storage-spaces-fault-tolerance>, decembar 2020.
- [3] Nikola Davidović, Dijana Kosmajac, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Komparativna analiza sekundarnih memorija – poređenje tvrdog diska sa poluprovodničkim diskom, INFOTEH-JAHORINA Vol. 13, March 2014.

- [4] Yoshiki TAKAI, Mamoru FUKUCHI, Chihiro MATSUI, Reika KINOSHITA, Ken TAKEUCHI, Analysis on Hybrid SSD Configuration with Emerging Non-Volatile Memories Including Quadruple-Level Cell (QLC) NAND Flash Memory and Various Types of Storage Class Memories (SCMs), IEICE TRANSACTIONS on Electronics Vol.E103-C No.4 pp.171-180, 2020/04/01
- [5] Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Borisav Đorđević, Valentina Timčenko, THE INFLUENCE OF DEPTH QUEUE ON THE SSD DISK PERFORMANCE, 19th International Symposium Infotech Jahorina, Rss-3-1, Pp.216-221, Jahorina, Bih, 18-20 March, 2020.
- [6] S. Obradović, B. Milosevic, "Comparative measurements of some performances of hard and ssd disks connected on the raid 0 level", International scientific conference Unitech'2014, 20-21 nov. Gabrovo, ISSN 1313-230Xvol.2, pp.II-333-II-338
- [7] Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Minka Yordanova, PERFORMANCE RAID 0 LEVEL ARRAY OF SSD DISKS , Academic Journal Industrial Technologies, ISSN: 1314-9911, Vol 7 (1), 2020, pp 33-39, "Prof. Dr. Assen Zlatarov" University – Burgas, Bulgaria
- [8] Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Analiza performansi RAID 5 polja SSD diskova, Performance analysis of RAID 5 arrays of SSDs, Savremeni materijali, 11.-12. septembar, 2020, Banja Luka
- [9] <https://www.atto.com/disk-benchmark/>
- [10] <https://www.asus.com/us/Motherboards/H97MECSM/specifications/>
- [11] [https://www.kingston.com/datasheets/sm2280s3\\_us.pdf](https://www.kingston.com/datasheets/sm2280s3_us.pdf)
- [12] [https://www.kingston.com/datasheets/sv300s3\\_us.pdf](https://www.kingston.com/datasheets/sv300s3_us.pdf)

#### ABSTRACT

By using a range of independent paired SSDs, it is possible to increase these features (capacity and performances). In practice, RAID 0 is mostly used to increase the capacity and speed of reading because they are very easy to implement (with at least two devices). RAID 0 arrays of solid state drives do not ensure data reliability and the possibility of recovery in case of failure of at least one disk. Therefore, in practice, RAID 5 arrays are often used to enable data recovery in the event of a single device failure. When performing measurements, in addition to the number of devices paired in the array (array size), the parameters related to the size of the data block to be stored or read (workload), as well as the number of parallel input and output operations, performed simultaneously (queue depth) were varied.

#### COMPARISON PERFORMANCES OF RAID 0 AND RAID 5 PAIRED ARRAYS OF SSD DEVICES

Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Dragoslav Perić