

**Bartosz Bilczewski, Krzysztof Lichy**  
Instytut Informatyki Politechniki Łódzkiej  
Wólczańska 215, 90-924 Łódź  
email: krzysztof.lichy@p.lodz.pl

## **TEMPO ZUŻYWANIA DYSKÓW SSD W MASZYNACH WIRTUALNYCH**

Streszczenie – Wirtualizacja to technologia powszechna obecnie w zastosowaniach profesjonalnych jak i prywatnych. To samo można powiedzieć o dyskach SSD konkurujących z "tradycyjnymi" dyskami magnetycznymi. W artykule opisano jak wpływają na siebie te dwie technologie. Dokładniej, odpowiedź na pytanie, czy stosowanie dysków SSD do wirtualizacji może prowadzić do szybszego ich zużycia.

Słowa kluczowe: wirtualizacja, SSD, trwałość dysków

### **1 Wstęp**

Wirtualizacja jest zjawiskiem, które w ostatnich latach staje się wszechobecną praktyką, obecną zarówno w środowiskach korporacyjnych jak i domowych. Podobną ewolucję - od środowisk firmowych po prywatne - przeszły i przechodzą dyski Solid State Drive (SSD).

Do niedawna większość prac badawczych skupiało się na ulepszaniu i poszerzaniu zastosowań dysków twardych, gdyż technologia dysków SSD była bardzo kosztowna, a przez to poza zasięgiem przeciętnego użytkownika. Jednakże spadek cen spowodował, że dyski SSD mają coraz więcej zastosowań, wśród których znajduje się wirtualizacja. Choć posiadają wiele zalet, dyski SSD mają pewne ograniczenie, którym jest określona liczba cykli zapisu/kasowania danych komórek flash, z których są zbudowane.

Producenci dysków, chcąc wydłużyć czas życia produktu, wprowadzają zaawansowane algorytmy, które powodują rozproszony zapis danych po powierzchni dysku. Jednak każdy dysk SSD po wykorzystaniu przez komórki flash możliwości zapisu staje się bezużyteczny dla użytkownika.

Problem ten stanowi wyzwanie dla specjalistów, acz na chwilę obecną wydaje się, że w mniejszym lub większym stopniu będzie nie do uniknięcia.

W tym momencie należy postawić sobie pytanie: w jakim stopniu wpłynie on na wykorzystanie dysków SSD w procesie wirtualizacji?

W niniejszej pracy zaprezentowane zostaną wyniki badań w jaki sposób dwie wspomniane technologie wpływają na siebie. Mianowicie: czy użycie dysków SSD do wirtualizacji spowoduje szybsze zużycie dysku niż miałyby to miejsce bez użycia wirtualizacji? Czy może użycie wirtualizacji, a co za tym idzie posiadanie dodatkowego bufora danych w postaci pamięci RAM maszyny wirtualnej, spowoduje mniejsze obciążenie dysku SSD, a w konsekwencji wydłużenie jego życia?

## 2 Porównanie zużycia dysku w środowisku zwirtualizowanym i niewirtualizowanym

Dyski SSD swoją przewagą nad dyskami magnetycznymi prezentują głównie wtedy, kiedy porównamy ich możliwą do wykonania ilość operacji wejścia-wyjścia na sekundę (Input-Output Operations per Second). Operacje IOPS dzielimy na sekwencyjne i losowe. Sekwencyjne operacje dostępu do danych wykonywane są na ciągłej powierzchni dyskowej, zwykle przy pomocy większej próbki danych (128 KB), symulują one zachowanie się napędu przy zapisie dużej ilości danych. Operacje losowe wykonywane są na małej próbce danych, około 4 KB, symulują zapisy i odczyt małej ilości danych w różnych obszarach testowanego napędu. Operacje IOPS pozwalają określić wydajność pojedynczych dysków (SSD, HDD), macierzy z nich złożonych, dysków sieciowych NAS (Network Attached Storage), czy pamięci masowej SAN (Storage Area Network) [1].

Dyski magnetyczne przeznaczone dla środowisk domowych obracają się z prędkością 5400 lub 7200 obrotów na minutę, dyski przeznaczone dla środowisk korporacyjnych potrafią wirować z prędkością 10 000 lub 15 000 obrotów na minutę. Pomimo tak dużych prędkości obrotowych dyski magnetyczne mają wydajność od 150 - 300 operacji wejścia-wyjścia na minutę. To bardzo mała liczba w porównaniu z tą, którą uzyskują dyski SSD: do 100 000 IOPS.

Środowisko zwirtualizowane generuje dużo losowych operacji wejścia-wyjścia, ponieważ w takim środowisku występuje kilka lub kilkanaście wirtualnych maszyn (serwerów, desktopów), a każda z nich zapisuje niewielką porcję danych na swoich dyskach, które zlokalizowane są na powierzchni dyskowej. Powierzchnią dyskową może być w tym przypadku pojedynczy dysk lub macierz. Niezależnie od tego, jaka jest przestrzeń dyskowa, zauważyć można, że do przechowywania obrazów maszyn wirtualnych wykonujących dużo operacji IOPS lepiej będzie pasował dysk Solid State Drive [4][5].

W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki badań, czy praca dwóch dysków SSD pod takim samym obciążeniem a w różnych środowiskach będzie znacząco od siebie różna.. Dokładność badań była mierzona w skali gigabajtowej – to bardzo duża jednostka danych,

jednak jest ona wprowadzona z dwóch powodów. Pierwszym jest ograniczenie techniczne – dostarczane przez producentów narzędzia do odczytu zapisanych danych na dyskach SSD są właśnie tej dokładności. Drugim powodem, dla którego uznano tę skalę porównawczą za właściwą, są względy praktyczne, bowiem współcześnie dla użytkownika komputera nie stanowi różnicy, czy na jego dysku zapisanych jest 20 GB danych, czy tych danych zostało zapisanych 21,3 GB.

### 3 S.M.A.R.T. i zmiany po wprowadzeniu dysków SSD

Awarie dysku twardego komputera można podzielić na dwie grupy: awarie nieprzewidywalne, które nie dawały wcześniej żadnych sygnałów ostrzegających, związane zwykle z uszkodzeniem mechanicznym dysku. Druga grupa to awarie przewidywalne, związane ze degradacją mechanicznych elementów dysku lub zużyciem powierzchni magazynowych. Awary z drugiej grupy można przewidywać dzięki oprogramowaniu o nazwie S.M.A.R.T. wbudowanemu w dyski twarde.

Technologia SMART (Self Monitoring Analysis and Reporting Technology) została wprowadzona w dyskach magnetycznych jako narzędzie do monitorowania stanu dysku twardego i ewentualnego ostrzegania użytkowników o koniecznej wymianie dysku. Ostrzeżenia są generowane przez oprogramowanie odczytujące dane atrybuty i komunikaty z systemu SMART, a ze względu na fakt, że podstawowe oprogramowanie odczytujące informacje SMART znajduje się na płytach głównych współczesnych komputerów, w czasie uruchamiania komputera użytkownik może być poinformowany o konieczności diagnozy stanu dysku. Technologia monitorowania stanu dysku jest standardem, lecz jej implementacja może różnić się w przypadku różnych producentów dysków (zarówno HDD jak i SSD). Atrybuty systemu podawane przez SMART zawierają:

- ID - numer danego atrybutu, podawany w postaci liczby w systemie dziesiętnym lub szesnastkowym,
- Attribute name - opis danego atrybutu,
- Current – obecna wartość opisywanego atrybutu,
- Worst – najgorsza wartość atrybutu, jaka została zapamiętana,
- Threshold – próg wartości, programowany przez producentów dysków; po przekroczeniu tej wartości przez dany atrybut istnieje prawdopodobieństwo pogorszenia stanu dysku, co może skutkować utratą danych,
- Raw value – wartość atrybutu, może się bardzo różnić dla dysków poszczególnych producentów, zwykle pokazuje ona wprost wartość danego atrybutu w formacie dziesiętkowym, rzadziej w szesnastkowym, w celu właściwej interpretacji tego

parametru należy zapoznać się z dokumentacją techniczną dysku.

Poniżej zaprezentowano dwa odczyty danych SMART tego samego dysku magnetycznego przez dwa różne bardzo popularne i bezpłatne programy: Crystal Disk Info 6.5.2 i Smartmontools 6.4.1 z wykorzystaniem nakładki graficznej Gsmartcontrol.

ID	Attribute Name	Current	Worst	Threshold	Raw Values
01	Read Error Rate	100	100	62	000000000000
02	Throughput Performance	100	100	40	000000000000
03	Spin-Up Time	140	140	33	001500000002
04	Start/Stop Count	97	97	0	000000001380
05	Reallocated Sectors Count	100	100	5	000000000000
07	Seek Error Rate	100	100	67	000000000000
08	Seek Time Performance	100	100	40	000000000000
09	Power-On Hours	82	82	0	000000002068
0A	Spin Retry Count	100	100	60	000000000000
0C	Power Cycle Count	98	98	0	0000000011DB
BF	G-Sense Error Rate	100	100	0	000000000000
C0	Power-off Retract Count	100	100	0	00000000001A
C1	Load/Unload Cycle Count	94	94	0	00000000EBF0
C2	Temperature	148	148	0	0035000B0025
C4	Reallocation Event Count	100	100	0	000000000000
C5	Current Pending Sector Count	100	100	0	000000000000
C6	Uncorrectable Sector Count	100	100	0	000000000000
C7	UltraDMA CRC Error Count	200	200	0	000000000000
DF	Load/Unload Retry Count	100	100	0	000000000000

Rys. 1. Atrybuty S.M.A.R.T. odczytywane przez Crystal Disk Info

ID	Name	Norm-ed value	Worst	Threshold	Raw value
1	Raw Read Error Rate	100	100	11	0
2	Throughput Performance	100	100	5	0
3	Spin-Up Time	140	140	7	2
4	Start / Stop Count	97	97	18	5040
5	Reallocated Sector Count	100	100	51	0
7	Seek Error Rate	100	100	11	0
8	Seek Time Performance	100	100	5	0
9	Power-On Time	82	82	18	8296
10	Spin-Up Retry Count	100	100	19	0
12	Power Cycle Count	98	98	50	4571
191	G-Sense Error Rate	100	100	10	0
192	Head Retract Cycle Count	100	100	50	26
193	Load / Unload Cycle	94	94	18	60400
194	Temperature (Celsius)	144	144	2	38 (Min/Max 11/53)
196	Reallocation Event Count	100	100	50	0
197	Current Pending Sector Count	100	100	34	0
198	Offline Uncorrectable	100	100	8	0
199	UDMA CRC Error Count	200	200	10	0
223	Load / Unload Retry Count	100	100	10	0

Rys. 2. Atrybuty S.M.A.R.T. odczytywane przez Smartmontools

Powyższe ilustracje wskazują na pewne różnice w odczycie danych z systemu SMART. Przede wszystkim aplikacja Crystal Disk Info prezentuje wartości RAW w formie liczb szesnastkowych, a druga aplikacja Smartmontools podaje te wartości w postaci liczb dziesiętnych. Wartość RAW atrybutu opisującego liczbę godzin pracy dysku - "Power-On Hours" o id 9 (atrybut standardowy występujący w dyskach wszystkich typów) w aplikacji Crystal Disk wynosi 2068, natomiast w Smartmontools 8296. Należy przypomnieć, że liczba 2068 w formacie szesnastkowym to 8296 w formacie dziesiętnym. W razie niejasności należy sprawdzić dokumentację danego producenta dysku, gdzie zawarte są progi, jakie zostały ustanowione, i sposób odczytu wartości "RAW value" danego atrybutu. W przypadku dysków SSD producenci kontrolerów pamięci wprowadzili nowe atrybuty opisujące stan dysków, co ma oczywiście związek z odmienną technologią wykonania dysku i inną specyfiką trwałości urządzenia. Atrybuty które zostały dodane do napędów SSD to między innymi:

- ID – 100 – Gigabytes Erased – pokazana została liczba gigabajtów skasowanych z całego obszaru dysku,
- ID – 170 – Reserve Block Count – pokazywana jest liczba zarezerwowanych bloków pamięci, wartość pierwotna tego parametru pokazuje całkowitą liczbę zarezerwowanych bloków przez producenta dysku,
- ID – 171 – Program Fail Count – wylicza liczbę błędnych zapisów do pamięci flash, atrybut ten pokazuje tę samą wartość co atrybut o ID 181,
- ID – 172 – Erase Fail Count – wylicza liczbę błędnych kasowań z pamięci flash, podobny do atrybutu ID = 182,
- ID – 177 – Wear Range Delta – pokazuje wartość określającą różnicę pomiędzy komórką wykonującą najwięcej cykli zapisu / kasowania a komórką która tych cykli wykonuje najmniej, atrybut ten pokazuje jak sprawnie działa system Wear Leveling,
- ID – 181 – Program Fail Count – podobna wartość do atrybutu ID = 171,
- ID – 182 – Erase Fail Count - podobna wartość do atrybutu ID = 172,
- ID – 196 – Reallocation Event Count – wskazuje na liczbę remapowanych bloków pamięci flash z powodu degradacji komórek,
- ID – 230 – Drive Life Protection Status – pokazuje aktualny stan dysku, często przybiera jedną z dwóch wartości: 100 - dysk pracuje normalnie, 90 – włączona została ochrona dysku: ma to miejsce, gdy na skutek nadmiernego zużycia komórek istnieje zagrożenie, że nastąpi wyczerpanie puli

zapasowych komórek flash przed końcem czasu gwarancji dysku,

- ID – 231 – SSD Life Left – pokazuje status dysku SSD (od 100 – stan fabrycznie nowy, do 1 – niewystarczająca liczba sprawnych komórek flash do poprawnej pracy SSD) na podstawie ilości zapisów do komórek flash i pozostałych w zarezerwowanej przestrzeni,
- ID – 232 – Available Reserved Space – pokazuje ilość zarezerwowanej przestrzeni dysku SSD, wartość wyrażona w GB,
- ID – 241 – Lifetime Writes from Host System – który wskazuje liczbę danych zapisaną na SSD przez system Hosta podczas całego życia dysku,
- ID – 242 – Lifetime Reads to Host System – wskazujący liczbę danych odczytanych przez Hosta z SSD.

Występowanie wyżej wymienionych atrybutów systemu SMART jest zależne od kontrolera pamięci flash zaimplementowanego w danej serii dysków. Zwykle serie przeznaczone do środowisk korporacyjnych posiadają większą ilość możliwych atrybutów do odczytania i analizy. Dla różnych producentów dysków mogą występować też różne atrybuty, na przykład w dyskach SSD Intela występują atrybuty ID=226 Timed Workload, Media Wear informujący o ilości cykli w procentach w odniesieniu do całkowitej ilości cykli zapisu / kasowania, ID=227 Timed Workload, Host Read/Write Ratio prezentuje procent operacji odczytu do wszystkich operacji wejścia-wyjścia. Dane, które dostarczają producenci dysków Solid State Drive, są częściowo ustandaryzowane; różnice w „standardowych” atrybutach polegają zwykle na metodzie zapisu wartości RAW [8][9]. W przypadku atrybutów niestandardowych, różnice są powodowane odmiennymi podejściami do obliczania stopnia „zużycia dysku” poprzez stosowania innych algorytmów obliczeń.

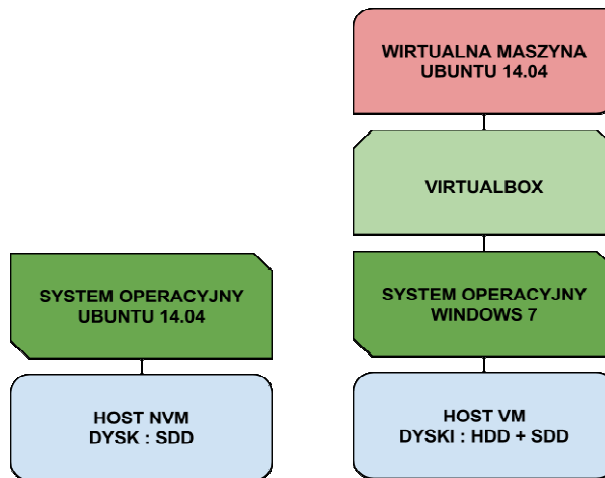
Porównanie wyników zużycia testowych dysków SSD w analizie odbyło się za pomocą oprogramowania dostarczonego przez producenta dysku (firma Kingston), w którym bez problemów interpretacyjnych można odczytać dane atrybutów SMART danego nośnika, dokładniej atrybut o ID=241 Lifetime Writes From Host System. Wymieniony atrybut występuje w większości dysków SSD, w opisywanych już dyskach firmy Intel nazywa się ID=241 „Total LBAs Written” i wskazuje on liczbę sektorów zapisanych na dysku, podczas gdy w testowanych dyskach Kingston wymieniony atrybut wskazuje liczbę Gigabajtów zapisanych podczas pracy dysku. Oprogramowanie, za pomocą którego odczytywana była liczba danych do porównania zużycia dysków, nazywa się Kingston SSD Toolbox, używana wersja posiada numer 1.0.8.

## 4 Środowisko testowe

Do przeprowadzenia testów porównawczych zużycia dysków półprzewodnikowych w dwóch różnych środowiskach użyto dwóch komputerów Dell OptiPlex 780 wyposażonych w procesor Intel Core 2 Duo E8400 o taktowaniu zegara 3,0 GHz. Procesory wyposażone są w instrukcje wspierające wirtualizację Intel VT-x i VT-d. Każdy z komputerów testowych wyposażony jest w dysk SSD firmy Kingston model SSDNow V300 o pojemności 240 GB, całkowita liczba możliwych do zapisania danych (TBW) na dysku to 128 TB, dysk posiada trzyletnią gwarancję. Wartość MTBF (Mean Time Between Failures) wynosi 1 milion godzin, co w przeliczeniu na lata daje wartość ponad 114. Parametr DWPD nie został podany w specyfikacji technicznej, można go w łatwy sposób obliczyć. Okres gwarancji podany w latach należy wyrazić w dniach: 3 (letnia gwarancja) \* 365 (dni w roku) = 1095. Wartość całkowitych danych możliwych do zapisania należy podzielić przez liczbę dni gwarancyjnych i otrzymany wynik będzie przybliżoną ilością danych, jakie dziennie można zapisać na dysku podczas okresu gwarancji wyrażoną w gigabajtach:  $131\,072\text{ GB} / 1095 = 119\text{ GB}$ . Dysk ma pojemność (widoczną przez użytkownika 240 GB) więc w przybliżeniu DWPD dla tego napędu to:  $119/240 = 0,49$ . Należy przypomnieć że 1 TB = 1024 GB więc  $128\text{ TB} = 128 * 1024\text{ GB} = 131\,072\text{ GB}$ .

Host pierwszy – nazywany dalej „NVM”, pracował pod kontrolą systemu operacyjnego Ubuntu 14.04.01 LTS w wersji 64bitowej. System operacyjny został zainstalowany na dysku SSD. Posiada on 4 GB pamięci RAM.

Host drugi – dalej nazywany „VM”, pracował pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 7 Professional w wersji 64 bitowej – system jest zainstalowany na dysku magnetycznym, podobnie jak oprogramowanie do wirtualizacji: Virtualbox w wersji 4.3.24 kompilacja 98716. W Virtualboxie utworzono maszynę wirtualną, której wszystkie pliki (plik obrazu VDI i pliki konfiguracyjne XML) są przechowywane na dysku SSD. Host VM posiada 12 gigabajtów pamięci RAM, z czego 4 GB zostały przypisane maszynie wirtualnej, na której zainstalowano ten sam system operacyjny co na komputerze NVM – to jest Ubuntu 14.04.01 LTS, któremu przydzielono dysk wirtualny o wielkości 240 GB. Rozmiar dysku wirtualnego jest większy od rozmiaru dysku SSD, na którym plik obrazu zamieszczono. Dysk wirtualny został utworzony jako dysk dynamiczny – znaczy to, że zajmuje on tyle miejsca, ile jest używane przez maszynę wirtualną, rozmiar obrazu zwiększa się wraz z tworzeniem plików na wirtualnej maszynie. Nadanie podobnej ilości miejsca dla obu systemów operacyjnych miało pozwolić stworzyć takie same warunki przestrzeni dyskowej.



Rys. 3. Ilustracja środowiska testowego

Podczas konfiguracji maszyny wirtualnej w programie Virtualbox zaznaczono opcję „Solid-state Drive” i „Use Host I/O Cache”. Pierwsza odpowiada za informowanie systemu gościa o tym, że dysk, na którym został zainstalowany, jest dyskiem półprzewodnikowym, co dla współczesnych systemów operacyjnych stanowi cenną informację, pozwalającą systemom gościa dostosować się do obsługi SSD, między innymi poprzez włączenie funkcji TRIM, wyłączenie defragmentacji (w przypadku systemów z rodziny Windows). Opcja „Use Host I/O Cache” umożliwia buforowanie asynchroniczne pomiędzy systemem gościa a urządzeniem udostępniającym przestrzeń dyskową dla pliku obrazu. Pliki obrazów maszyn wirtualnych stworzone przez Virtualbox są traktowane przez system operacyjny jak zwykłe pliki na dysku, co skutkuje tym, że są wczytywane (o ile jest dostępne miejsce do pamięci operacyjnej) przez system hosta. W takim przypadku, kiedy nastąpił zapis w systemie operacyjnym gościa, w systemie hosta ten zapis na dysku może nastąpić później, zmiany dokonane zostały w buforowanym pliku, lecz nie zostaną one natychmiast zapisane na dysku twardym komputera. Włączenie obu opisywanych opcji w aplikacji Virtualbox powoduje takie same warunki dla obu systemów Ubuntu. System niezwirtualizowany „wie”, że został zainstalowany na dysku SSD, ponieważ poprawnie rozpoznał urządzenie, co zostało przedstawione na poniższej ilustracji przedstawiającej zrzut ekranu wykonane na hoście VM, zawierającym komendę sprawdzającą, czy dysk, który posiadamy, jest dyskiem magnetycznym (jeśli okaże się dyskiem rotacyjnym, to w takim przypadku wynik podany przez OS będzie liczbą jeden, gdy w wyniku ujrzymy liczbę zero znaczy że nasz dysk jest dyskiem SSD).



## 5 Narzędzia porównawcze

Porównywanie zużycia dysków w obu środowiskach zostało oparte na dwóch rodzajach testów obciążeniowych: syntetycznego i realnego. Syntetyczne testy odbywały się za pomocą programów: sysbench i fio dostępnych na systemy operacyjne Linux. Testy realnego obciążenia operacjami zapisu i kasowania polegały na kilkudniowej pracy obu systemów podczas której cyklicznie były wykonywane operacje kopiowania i kasowania danych. Skrypt, za pomocą którego zautomatyzowano powyższe działania, co godzinę kopiował z dysku sieciowego plik o wielkości 500 MB, które następnie był kasowany; skrypt był aktywny przez 48 godzin. Programy, które wykorzystano do testów syntetycznych, to:

- Sysbench- narzędzie zapewniające testowanie możliwości procesora, pamięci operacyjnej, dyskowych operacji wejścia wyjścia, wydajność serwera bazodanowego,
- Fio- narzędzie dostępne na systemy Linux pozwalające zmierzyć wydajność operacji wejścia-wyjścia (IOPS).

Podczas używania wyżej wymienionych programów sprawdzana była wydajność dyskowych operacji wejścia-wyjścia, bowiem w ten sposób dysk komputera jest obciążany porcjami danych do zapisu lub odczytu. Wielkości danych, jakie były używane podczas testów, są dwie: 3 GB i 23 GB, przy czym takie wartości mają swoje uzasadnienie. Wielkość 3 GB jest mniejsza od dostępnej pamięci operacyjnej w obu maszynach i tym samym programy testujące mają przyzwolenie na całkowite lub częściowe używanie pamięci RAM podczas testów. Przypominam, że istotą badania nie jest prawidłowość wykonywania testów, ale próba znalezienia różnic wynikających ze środowisk używania dysków SSD.

Drugą wielkość danych (23 GB) została wybrana jako reprezentatywna wielkość dużej partii plików, która to jest o wiele większa od dostępnej pamięci RAM i przez to operowanie na niej powinno całkowicie odbywać się w ramach dysku SSD.

Zapis sekwencyjny został wybrany jako reprezentant grupy możliwych operacji plikowych wejścia-wyjścia, dodatkowo za każdym razem starano się, aby blok danych w każdym teście posiadał wartość 16 kilobajtów [6][11][12].

## 6 Przeprowadzone testy

Przeprowadzone zostały trzy główne testy: kopiowania, Sysbench i Fio. W celu potwierdzenia wyników otrzymywanych podczas testów przeprowadzona została druga seria takich samych testów na identycznych próbkach danych. Otrzymane wyniki były bardzo porównywalne z pierwszą serią – jedyne różnice, jakie się pojawiały, to

zwiększenie lub zmniejszenie prędkości zapisu danych w testach syntetycznych (maksymalne odstępstwo wynosiło poniżej 10 MB/s). Przy tak niskich różnicach prędkości i przy braku różnic w ilości zapisywanych danych na dyskach SSD, seria druga nie została uwzględniona w analizie wyników, aby nie rozmywać przejrzystości obrazu.

Poniższa tabela ilustruje postęp w zużyciu dysków SSD dokonywany podczas pierwszej serii testów; na czerwono (kursywa) wpisano przyrost wartości atrybutu 241 systemu SMART wyrażony w gigabajtach, na czarno (pogrubienie) zapisano aktualny stan wyżej wymienionego atrybutu.

Tabela. 1. Porównanie zużycia dysków SSD na przestrzeni kolejnych testów w gigabajtach, na czarno (pogrubienie) zapisano aktualny stan wyżej wymienionego atrybutu.

Opis zdarzenia	Host <b>NVM</b> sn: 50026B77511266AB	Host <b>VM</b> sn: 50026B7251137628
Wartość początkowa	<b>10</b>	<b>15</b>
Po teście kopiowania <b>(24 GB)</b>	<b>34 / +24</b>	<b>39 / +24</b>
Przed testami Sysbench	<b>35</b>	<b>43</b>
Po Sysbench I <b>(3 GB)</b>	<b>41 / +6</b>	<b>43 / +0</b>
Po Sysbench II <b>(23 GB)</b>	<b>87 / +46</b>	<b>43 / +0</b>
Przed testami Fio	<b>87</b>	<b>43</b>
Po Fio I <b>(3 GB)</b>	<b>90 / +3</b>	<b>46 / +3</b>
Po Fio II <b>(23 GB)</b>	<b>113 / +23</b>	<b>69 / +23</b>
Suma zapisanych danych po pierwszej serii	<b>102</b>	<b>50</b>

Widoczna jest bardzo duża różnica pomiędzy uzyskanymi wynikami na korzyść systemu operacyjnego pracującego w środowisku wirtualnym. Jest to oczywiście różnica wynikająca tylko z dwóch rodzajów testów (spośród pięciu przeprowadzonych), jednak nie można jej zbagatelizować. Przyczyna uzyskania takiej różnicy wyników podczas przeprowadzania testów za pomocą programu Sysbench może leżeć zarówno w ustawieniach samego testu jak i w tym że został on

wykonany w środowisku wirtualnym. Niezależnie od tego, co jest przyczyną takiej rozbieżności – różnice pomiędzy środowiskami są widoczne i zostały znalezione, to jeszcze nie dowodzi to wyższości środowiska wirtualnego, a jest jedynie dowodem na to, że „środowisko wirtualne” pozwoliło na wydłużenie czasu życia dysku SSD. Bardziej zastanawiające jest to, jakie było zużycie danych podczas testów programem Sysbench pod kontrolą Ubuntu, który został bezpośrednio zainstalowany na dysku SSD. W przypadku uruchomienia tego programu i przygotowywania plików do testów można było spodziewać się sytuacji podobnej, jak w przypadku systemu VM, bowiem pliki tworzone w obu komputerach były równie wysoko kompresowalne - zostało to sprawdzone i udowodnione. Pomimo tego iż pliki powinny łatwo poddać się kompresji przez kontroler – prawdopodobnie tak się nie stało i zarówno tworzenie plików tymczasowych jak i późniejsze przeprowadzanie na nich testów zostawiły ślad w postaci zwiększenia wielkości atrybutu 241 SMART. Test programem Sysbench, który wykazał różnice, powtórzony został kilka razy – wynik za każdym razem był podobny: brak widocznego zużycia dysku w przypadku maszyny zwirtualizowanej i dwukrotnie zwiększona ilość zapisanych danych do danych zadeklarowanych w teście na maszynie niezvirtualizowanej[3][7].

Tabela poniżej zawiera dodatkowe informacje uzyskane podczas testów syntetycznych. Nie mają one wpływu na badaną ilość danych zapisywanych na dyskach podczas testów, lecz ilustrują różnice w prędkości zapisu w środowisku zwirtualizowanym i niezvirtualizowanym.

Tabela. 2. Porównanie szybkości dysków w testach syntetycznych.

Test:	Host NVM sn: 50026B77511266AB		Host VM sn: 50026B7251137628	
	Prędkość zapisu (MB/s)	Wartość IOPS	Prędkość zapisu (MB/s)	Wartość IOPS
Sysbench (3 GB)	230.17	14730	262.44	16796
Sysbench (23GB)	239.24	15311	320.73	20526
Fio (3 GB)	256.83	16437	276.05	17667
Fio (23 GB)	240.34	15381	214.16	13706

W powyższej tabeli jest wyraźnie widoczna przewaga wyników uzyskanych przez hosta VM. Porównując wyniki prędkości zapisu danych, największą szybkość zanotowała również maszyna wirtualna z wynikiem ponad 320 MB/s, podczas gdy komputer niezvirtualizowany nie przekroczył 260 MB/s. Najgorsze wyniki również zostały zanotowane przez maszynę wirtualną zarówno w prędkości wyrażonej w megabajtach na sekundę (214.16 MB/s) jak i w ilości operacji wykonywanych na sekundę (13706 IOPS). Można z pewnością stwierdzić, że pewność i stabilność wyników jest po stronie maszyny niezvirtualizowanej.

Testy pokazują, jak niewielkie różnice wydajnościowe występują pomiędzy komputerem zvirtualizowanym a niezvirtualizowanym. Należy podkreślić, że wyniki te zostały osiągnięte przez dobrze dobrany sprzęt i właściwe testy dla tegoż sprzętu. Tak minimalnych różnic nie uzyskano by podczas testów wydajności procesora graficznego, którego obsługa jest mocno ograniczona w środowisku wirtualnym [2] [10].

## 7 Wnioski i podsumowanie

Celem badań było sprawdzenie czy wykorzystanie dysków Solid State Drive jako przestrzeni magazynowej dla maszyn wirtualnych, ma wpływ na ich zużycie. Na podstawie przeprowadzonych testów i ich analizy można stwierdzić, że wirtualizacja nie wywiera negatywnego wpływu na dyski SSD. Może w pewnych warunkach przynieść korzyści wynikające z buforowania całego obrazu dysku w pamięci operacyjnej maszyny hostującej, jak również dzięki zastosowaniu technologii opóźnionego zapisu. Wykazane większe prędkości zapisu danych na dysku maszyny zvirtualizowanej w większości testów świadczą o wysokiej wydajności maszyny wirtualnej.

Planowane dalsze badania w tym temacie będą zawierać porównanie zużycia dysków tej samej klasy pracujących na takich samych kontrolerach a różnych producentów. Takie zestawienie odpowie na pytanie czy istnieją różnice w konstrukcjach układów różnych producentów i czy te różnice mają znaczący wpływ na zużycie dysków Solid State Drive.

Dalszym rozwinięciem tematu będzie planowane porównanie dysków do zastosowań domowych z dyskiem klasy enterprise.

Trwałość dysków Solid State Drive jest ograniczona cyklem życia komórek flash, z których to dyski są zbudowane. Technologie zastosowane w kontrolerze takie jak kompresja danych czy nadmiarowe bloki pamięci pozwalają znacząco wydłużyć życie komórek pamięci flash. Producenci starają się promować nowe dyski SSD jako jeszcze bardziej niezawodne od poprzednich generacji, dotyczy to zarówno

nośników wyposażonych w pamięci MLC jak i SLC. Zwiększona niezawodność nie została osiągnięta przez zmianę cyklu życia komórek, lecz poprzez zmianę algorytmów które mają spowodować zmniejszenie współczynnika WAF, dodanie pamięci RAM. Dodanie ulotnej pamięci DRAM pracującej jako cache dysku SSD, powoduje zmniejszenie wykorzystania pamięci flash, dotychczas używanej jako pamięć podręczna. Przy okazji nastąpiło zwiększenie wydajności dysków stosujących pamięć DRAM jako bufora dysku SSD.

Wymienione zabiegi powodują znaczne wydłużenie czasu żywotności dysków SSD, czego dowodem może być zwiększenie okresów gwarancyjnych dysków. Do niedawna pięcioletnie okresy gwarancyjne posiadały dyski SSD przeznaczone do zastosowań korporacyjnych, obecnie można zakupić dyski półprzewodnikowe z dziesięcioletnią gwarancją przeznaczone dla klientów indywidualnych. Ilość danych możliwych do zapisania w dziesięcioletnim okresie gwarancyjnym jest uzależniona od pojemności dysku - dla dysków (firmy Samsung serii 850 Pro) o wielkości 128 GB i 256 GB parametr Tera Bytes Written wynosi 150, dla dysków 512 GB i 1 TB wartość TBW wynosi 300.

Ostatecznie nie uchroni to jednak dysku przed zużyciem komórek flash - które zależnie od intensywności wykorzystywania napędu może nastąpić po kilku miesiącach lub dopiero po kilkunastu latach. To co z jednej strony jest problemem - ograniczona ilość danych do zapisu na dysk - może być bardzo dobrym wyznacznikiem pozwalającym na planowanie wymiany dysku jeszcze przed awarią napędu. Dotychczas monitorowane w dyskach twardych były parametry SMART mogące świadczyć o mechanicznym zużyciu dysku lub uszkodzeniem powierzchni talerza. W obecnie sprzedawanych dyskach Solid State Drive najtrwalszym elementem jest elektronika dysku, więc uwaga powinna skupić się na nie tyle awaryjnym elemencie co zużywającej się pamięci flash. Administratorzy systemów komputerowych w aplikacjach monitorujących powinni skupić się na monitorowaniu dwóch parametrów systemu SMART: "Media Wearout Indicator" i "Total LBAs Written". Na podstawie wymienionych parametrów z dużym prawdopodobieństwem można określić czas w którym będzie konieczna wymiana dysku SSD.

Według statystyk rynku zaprezentowanych przez firmę Gartner w roku 2012 sprzedaż dysków zbudowanych z komórek SLC stanowiła 34 %, pozostałe 66 % stanowiły sprzedane dyski zbudowane z komórek Multi-Level Cell. Gartner przewiduje że w roku 2017 około 77% dysków SSD będą stanowiły te zbudowane z komórek MLC (komórki wielopoziomowej), aż 15% SSD TLC (komórki trójpoziomowej), a niecałe 8% SSD zbudowane w oparciu o komórki o najdłuższej żywotności SLC. Te statystyki zakładają, że coraz mniejszą grupę kupowanych dysków będą stanowiły te o największej ilości cykli zapisu-kasowania komórki flash. Trend ten obrazuje coraz większe zaufanie

konsumentów do dysków Solid State Drive – zaufanie budowane na dobrych podstawach, ponieważ obecne dyski nie powodują najmniejszych problemów użytkownikom. Dyski Solid State Drive to naturalny następca dysków magnetycznych przewyższający go pod wieloma względami, przed upowszechnieniem się dysków z pamięciami flash jest tylko jedna znacząca przeszkoda – cena dysku, ponad dwukrotnie więcej należy zapłacić za gigabajt danych kupując dysk SSD. Jest to podyktowane tym iż dyski magnetyczne są technologią dojrzałą, infrastruktura produkcji jest lepiej rozbudowana. W kolejnych latach można spodziewać się obniżania cen dysków SSD.

## Literatura

- [1] Atkin I., *Getting The Hang Of IOPS*, 2012  
<https://www.symantec.com/connect/articles/getting-hang-iops-v13>
- [2] Bilczewski B., *Wpływ wirtualizacji na trwałość dysków SSD*, praca magisterska w. FTIMS PŁ 2015.
- [3] Drossel G., *Methodologies for Calculating SSD Useable Life*, 2009  
[http://www.snia.org/sites/default/orig/sdc\\_archives/2009\\_presentations/wednesday/GaryDrossel\\_Methodologies\\_SSD\\_Usable\\_Life.pdf](http://www.snia.org/sites/default/orig/sdc_archives/2009_presentations/wednesday/GaryDrossel_Methodologies_SSD_Usable_Life.pdf)
- [4] Kim E., *An Introduction to Solid State Drive Performance, Evaluation and Test*, 2013  
<http://www.snia.org/sites/default/files/SNIASSSI.SSDPerformance-APrimer2013.pdf>
- [5] Min Changwoo, Kim Kangnyeon, Cho Hyunjin, Lee Sang-Won, Eom Young Ik, *Random Write Considered Harmful in Solid State Drives*, FAST'12 Proceedings of the 10th USENIX conference on File and Storage Technologies Pages 12-12 USENIX Association Berkeley, CA, USA ©2012
- [6] *Intel® Virtualization Technology and Intel® Active Management Technology in Retail Infrastructure*, intel.com, 2006  
<http://www.intel.com/design/intarch/papers/316087.pdf>
- [7] *Kingston's Data Reduction Technology for longer SSD life and greater performance*, kingston.com, 2014  
[https://media.kingston.com/images/ssd/technicalbrief/MKF\\_612\\_SDWhatIsDuraWriteTechBrief-Ir.pdf](https://media.kingston.com/images/ssd/technicalbrief/MKF_612_SDWhatIsDuraWriteTechBrief-Ir.pdf)
- [8] *SMART Attribute Details*, kingston.com, 2015  
<https://media.kingston.com/support/downloads/UV400-SMART-attribute.pdf>

- [9] *SMART Attributes for the C400 SSD*, micron.com, 2013  
[https://www.micron.com/tnfd20\\_c400\\_ssd\\_smart\\_attributes.pdf](https://www.micron.com/tnfd20_c400_ssd_smart_attributes.pdf)
- [10] *Solid State Drive Technology, Differences between SLC, MLC and TLC NAND*, hp.com, 2013  
<http://h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c03757461.pdf>
- [11] *Solid-State Drive (SSD) Endurance Workloads*, 2012  
<https://www.jedec.org/standards-documents/results/jesd219>
- [12] *Solid-State Drive (SSD) Requirements and Endurance Test Method*, 2011
- [13] *Wear Leveling Architecture And Read Disturbance Technology For Solid-State Drives*, innodisk.com, 2012  
[https://www.texim-europe.com/promotion/836/innodisk%20wear%20leveling%20and%20read%20disturbance%20white%20paper201304\\_te.pdf](https://www.texim-europe.com/promotion/836/innodisk%20wear%20leveling%20and%20read%20disturbance%20white%20paper201304_te.pdf)
- [14] *Where Do SSDs Fit With Security and Surveillance Systems?*, sandisk.com, 2014  
[https://www.sandisk.de/content/dam/sandisk-main/en\\_us/assets/resources/enterprise/white-papers/where-do-ssds-fit-with-security-and-surveillance-systems-white-paper.pdf](https://www.sandisk.de/content/dam/sandisk-main/en_us/assets/resources/enterprise/white-papers/where-do-ssds-fit-with-security-and-surveillance-systems-white-paper.pdf)

## **THE RATE OF EXPLOITATION SSD DISK IN VIRTUAL MACHINES**

Summary – Virtualization is a technology born in the 20th century and commonly present in modern world: in professional as well as in private environment. The same can be said about Solid State Discs, which compete with ‘traditional’ magnetic discs. The purpose of the article is to check how these two technologies influence each other. More precisely, it helps to answer a question if using SSD for virtualization causes faster exploitation of the disc itself. Moreover, it gives an explanation, if using virtualization can lead to SSD’s operating extension.

Keywords: virtualization, SSD, disc durability