

Przemysław KAŁUCKI¹
Paweł DYMORA²
Mirosław MAZUREK³

BADANIE WYDAJNOŚCI WYBRANYCH SYSTEMÓW WIRTUALIZACJI

Obecnie koncepcja wirtualizacji wkroczyła praktycznie do każdej dziedziny informatyki. Wzrost mocy obliczeniowej serwerów sprawił, że optymalne wykorzystanie ich zasobów stało się istotnym problemem. Celem artykułu jest scharakteryzowanie wybranych rozwiązań technologicznych umożliwiających wirtualizację fizycznych serwerów. W artykule przedstawiono wybrane oprogramowanie do wirtualizacji systemów, a następnie przedstawiono badanie ich wydajności.

Słowa kluczowe: wirtualizacja, hiperwizor, ESXi, Hyper-V, XenServer

1. Wybrane oprogramowanie do wirtualizacji systemów

Wirtualizacja polega na wydzieleniu w obrębie jednego fizycznego serwera wielu (od kilku, nawet do kilkuset) znacznie mniejszych środowisk wirtualnych, rozszerzającym potencjał pojedynczego środowiska. Umożliwia efektywniejsze wykorzystanie istniejących zasobów sprzętowych środowiska informatycznego poprzez dowolne (w ramach możliwości sprzętowych czy programowych oraz założeń projektowych) modyfikowanie cech wirtualizowanych zasobów, dostosowując je do indywidualnych wymagań użytkownika. Istnieje szereg rozwiązań programowych realizujących wirtualizację, np. VMware ESXi, Hyper-V, XenServer, które to kolejno zostały scharakteryzowane poniżej.

1.1. VMware ESXi

VMware (<https://www.vmware.com/>) to istniejący na rynku od 1998 roku lider komercyjnych rozwiązań wirtualizacji i producent wirtualizatora typu 1, *Elastic Sky X integrated* (ESXi). ESXi to główna część bogatego pakietu

¹ Autor do korespondencji: Przemysław Kałucki, adres e-mail: pakalucki@gmail.com

² Paweł Dymora, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Złożonych,
pawel.dymora@prz.edu.pl

³ Mirosław Mazurek, Politechnika Rzeszowska, Zakład Systemów Złożonych,
miroslaw.mazurek@prz.edu.pl

do wirtualizacji i rozwiązań w chmurze vSphere. Wirtualizator ten bazuje na linuxowym jądrze i jest instalowany jako *bare-metal*, czyli bezpośrednio na sprzęcie. Jądro ESXi bezpośrednio zarządza zasobami korzystając z techniki *scan before execution*, dzięki czemu może wychwycić i obsłużyć wrażliwe i niebezpieczne instrukcje systemów gości. Wirtualizator dodatkowo wykorzystuje parawirtualne sterowniki dla wirtualnych urządzeń i obsługi operacji wejścia/wyjścia co znacznie poprawia wydajność. Maszyny wirtualne w ESXi działają z wykorzystaniem wsparcia sprzętowego z dodatkiem parawirtualizowanych sterowników dla optymalizacji operacji wejścia/wyjścia. Wirtualizatorem można zarządzać przez sieć, łącząc się za pomocą aplikacji vSphere Client (aplikacja desktopowa) lub vSphere Web Client (aplikacja webowa). Dodatkowo istnieje oprogramowanie będące częścią pakietu vSphere o nazwie vCenter Server. Może być ono zainstalowane na fizycznej bądź wirtualnej maszynie z systemem Windows Server 2012 lub jako samodzielna maszyna wirtualna bazująca na jądrze Linuxa. vCenter Server zapewnia dużo większą kontrolę nad wirtualizatorem ESXi, jak i daje możliwość zarządzania siecią kilkunastu wirtualizatorów [1].

1.2. Microsoft Hyper-V

Wirtualizator Hyper-V (www.microsoft.com/pl-pl/cloud-platform/virtualization) to istniejące na rynku od 2008 roku podejście do wirtualizacji firmy Microsoft. Może funkcjonować jako właściwość (ang. *feature*) doinstalowywana do systemów klasy Windows Server, Windows Pro i Enterprise (od wersji 8.1 w górę) lub jako oddzielny produkt działający w trybie *bare-metal*. Do zarządzania Hyper-V wykorzystuje się cienkiego klienta Hyper-V Manager, który tak jak sam wirtualizator można dodać jako właściwość do wcześniej wspomnianych systemów z rodziny Windows. Ten wirtualizator stosuje izolację maszyn wirtualnych na zasadzie partycji. Systemy operacyjne gości działają w oddzielnych partycjach, zaś główne procesy wirtualizatora działają w osobnej, głównej partycji. Zbiór funkcji i zasobów wirtualizatora, inaczej stos wirtualizacyjny ma z głównej partycji bezpośredni dostęp do sterowników sprzętowych. Partycja użytkowa nie ma ani dostępu do procesora, ani nie obsługuje prawdziwych przerw. Wirtualizator może udostępnić partycjom maszyn wirtualnych fragment procesora, dzięki temu, że sam obsługuje przerwy i odpowiednio przekierowuje je wykorzystując mechanizm SynIC (ang. *Synthetic Interrupt Controller*). Maszyny wirtualne stworzone w Hyper-V posiadają przegląd dostępnych zasobów i sprzętu w postaci wirtualnych urządzeń. Każdy sygnał do wirtualnego urządzenia jest przekierowywany przez logiczny kanał zwany VMBus do głównej partycji, a odpowiedź tą samą drogą z powrotem do maszyny wirtualnej. W obrębie głównej partycji działa Dostawca Usługi Wirtualizacji (ang. *Virtualization*

Service Provider), który odpowiada za obsługę sygnałów otrzymanych od Konsumenta Usługi Wirtualizacji (ang. *Virtualization Service Client*) działającego w partycji użytkowej i zarządzającego sygnałami wysyłanymi przez maszyny wirtualne. Cały ten proces jest jawny dla systemu gościa. Całość opiera się na sprzętowym wsparciu wirtualizacji. Hyper-V 2016 jest oprogramowaniem komercyjnym z zamkniętymi źródłami, ale wersję samodzielną można za darmo pobrać ze strony producenta i użytkować, ciesząc się pełną funkcjonalnością [2-3].

1.3. Citrix XenServer

XenServer to projekt open source zarządzany przez firmę Citrix (<http://xenserver.org/>), dostarczający platformę do wirtualizacji bazującą na wirtualizatorze Xen. Xen zapoczątkowany był jako projekt naukowy w University of Cambridge, a pierwsze publiczne wydanie wirtualizatora Xen miało miejsce w 2003 roku. XenServer można za darmo pobrać ze strony produktu i używać w pełnej wersji. Dodatkowo istnieje możliwość rozszerzania platformy o funkcje i aplikacje produkowane przez firmy trzecie i innych użytkowników. Do zarządzania wirtualizatorem powstała aplikacja XenCenter przeznaczona na systemy Windows. Zarządzenie z innych systemów możliwe jest za pomocą innych aplikacji np. Xen Orchestra. Hyperwizor Xen to warstwa abstrakcji działająca bezpośrednio na sprzęcie, przed systemem operacyjnym. Oprócz zarządzania maszynami wirtualnymi jest dodatkowo odpowiedzialny za zarządzanie procesorem i pamięcią operacyjną. Do działania całego środowiska konieczne jest funkcjonowanie maszyny wirtualnej zwanej *Domain 0*, w skrócie *Dom0*. Jest to automatycznie tworzona maszyna wirtualna zawierająca zmodyfikowane jądro systemu Linux, posiadająca specjalne prawa dostępu do fizycznych zasobów jak i możliwość interakcji z innymi maszynami wirtualnymi. *Dom0* posiada dwa sterowniki *Network Backend Driver* i *Block Backend Driver* pozwalające jej na zarządzanie dostępnymi interfejsami sieciowymi i dyskami. Pod nazwą *Domain U* kryje się przestrzeń, w której działają normalne maszyny wirtualne i ich systemy nie mające bezpośredniego dostępu do fizycznych zasobów. W Xen systemy gości mogą działać w trybie parawirtualizacji oraz w trybie pełnej wirtualizacji z wykorzystaniem wsparcia sprzętowego [4-6].

2. Badanie wydajności i efektywności wybranych rozwiązań wirtualizacji

2.1. Oprogramowanie testowe

Do wykonania testów wydajnościowych zdecydowano się na skorzystanie z narzędzia *SiSoftware Sandra Lite* (<http://www.sisoftware.net/>). Jest to

popularna i darmowa wersja programu diagnostycznego dla komputerów z systemami z rodziny Windows, umożliwiającą uruchomienie kompleksowego zestawu testów sprawdzających wszystkie istotne elementy systemu. W celu sprawdzenia wydajności maszyn wirtualnych uruchomiono pakiet składający się z testów wymienionych w tabeli 1 [7].

Tabela 1. Pakiety testów wydajnościowych
Table 1. Performance testing packages

Nazwa testu	Kategoria	Opis	Jednostka
Processor Multi-Media	Procesor	Wydajność jednostek Single Instruction, Multiple Data (SIMD). Im wyższy wynik tym lepiej.	Mpix/s – MegaPixels Per Second
Processor Cryptography	Procesor	Wydajność operacji szyfrowania, deszyfrowania i haszowania. Im wyższy wynik tym lepiej.	GB/s – GigaBytes Per Second
Processor Financial Analysis	Procesor	Wydajność procesora w przeprowadzaniu analizy finansowej za pomocą popularnych modeli. Im wyższy wynik tym lepiej.	kOPT/s – Kilo Options Per Second
Processor Scientific Analysis	Procesor	Wydajność procesora w przeprowadzaniu analizy naukowej za pomocą popularnych modeli. Im wyższy wynik tym lepiej.	GFLOPS – Giga Float Operations Per Second
.NET Arithmetic	Maszyna Wirtualna .NET	Wydajność obliczeń arytmetycznych w maszynie wirtualnej .NET. Im wyższy wynik tym lepiej.	GOPS – Giga Operations Per Second
Memory Bandwidth	Pamięć operacyjna	Przepustowość pamięci operacyjnej. Im wyższy wynik tym lepiej.	GB/s - GigaBytes Per Second
Memory Latency	Pamięć operacyjna	Czas dostępu do pamięci operacyjnej. Im niższy wynik tym lepiej.	ns - nanosekundy
File System Bandwidth	Dysk	Wydajność systemu plików. Im wyższy wynik tym lepiej.	MB/s – MegaBytes Per Second

2.2. Metodologia badań

Do sprawdzenia wydajności i możliwości użytkowych wirtualizatorów zdecydowano się na przeprowadzenie kilku scenariuszy testowych:

- uruchomienie zestawu testów na jednej maszynie wirtualnej, gdy wszystkie pozostałe maszyny są nieaktywne;
- uruchomienie zestawu testów na jednej maszynie wirtualnej, kiedy łącznie aktywnych jest kolejno 30, 20, 15 i 10 maszyn;

- uruchomienie zestawu testów na wszystkich aktywnych maszynach w celu symulowania obciążenia, kolejno dla 30, 20, 15 i 10 maszyn.

Aby zmniejszyć wpływ błędu pomiaru na wyniki, wykonano 10 powtórzeń pomiarów dla każdego testu w każdym scenariuszu i obliczono średnie wyniki. Aktywna maszyna wirtualna oznacza, że dana maszyna jest uruchomiona i zakończył się proces inicjalizacji systemu operacyjnego. Za nieaktywną maszynę wirtualną uznaje się całkowicie wyłączoną maszynę. Na maszynach wirtualnych zainstalowano system Windows Server 2016. Do maszyn przydzielono zasoby w postaci 2 GB pamięci RAM oraz dwa wirtualne procesory. Dodatkowo maszyny działały jako połączone klony, dzieląc między sobą część plików systemowych i aplikacji [8].

2.3. Analiza wyników dla ESXI

Tabela 2 przedstawia średnie wyniki pomiarów uzyskane w testach wydajności maszyn wirtualnych w wirtualizatorze ESXi 6.5.0 dla scenariuszy testowych sprawdzających wydajność pojedynczej maszyny wirtualnej wraz ze zwiększającą się liczbą aktywnych łącznie maszyn, ale bez obciążania ich. Choć w teorii wirtualizator powinien dynamicznie alokować zasoby do maszyny wirtualnej, na której działa program przeprowadzający testy jako tej z największym zapotrzebowaniem i niwelować przez to spadek wydajności wynikający z braku zasobów, to jak widać wraz ze wzrostem liczby aktywnych maszyn, niewiele ale stopniowo pogarszają się też otrzymywane w testach wyniki, jednak nie dochodzi do sytuacji, w których obciążenie jest na tyle duże aby uniemożliwić płynne korzystanie z maszyn wirtualnych.

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla ESXi bez obciążeń

Table 2. Data results for ESXi without load

Nazwa testu	Liczba maszyn	1	1 z 10	1 z 15	1 z 20	1 z 30	Jednostka
Processor Multimedia		83.272	82.633	82.621	82.406	82.112	Mpix/s
Processor Cryptography		2.982	2.899	2.888	2.868	2.814	GB/s
Processor Analysis	Financial	5.941	5.940	5.922	5.901	5.880	kOPT/s
Processor Analysis	Scientific	13.655	13.622	13.424	13.378	13.311	GFLOPS
.NET Arithmetic		9.830	9.171	9.021	8.888	8.599	GOPS
Memory Bandwidth		23.763	23.753	22.166	16.911	14.908	GB/s
Memory Latency		33.111	33.998	34.607	45.122	55.888	ns
File System Bandwidth		1774.11 2	1694.608	1678.690	1666.103	1653.513	MB/s

W Tabeli 3 umieszczono średnie rezultaty testów wydajności maszyn wirtualnych w scenariuszach testowych wprowadzających element obciążenia poprzez uruchomienie programu testującego na wszystkich aktywnych maszynach wirtualnych, kolejno dla coraz większej liczby maszyn, aż do 30. W tym przypadku już dla 28 maszyny można zaobserwować większe spadki w wydajności, a w ostatnim przypadku, kiedy aktywne i obciążone jest 30 maszyn wirtualnych można odczuć już problemy z płynnym użytkowaniem maszyn wirtualnych.

Tabela 3. Wyniki pomiarów dla ESXi z obciążeniem

Table 3. Data results for ESXi with load

Nazwa testu	Liczba maszyn	10	15	20	30	Jednostka
Processor Multimedia		58.346	43.193	40.429	40.414	Mpix/s
Processor Cryptography		1.639	1.293	1.098	0.995	GB/s
Processor Financial Analysis		3.948	2.759	1.999	1.535	kOPT/s
Processor Scientific Analysis		5.365	3.859	3.376	2.472	GFLOPS
.NET Arithmetic		6.530	4.699	3.631	2.644	GOPS
Memory Bandwidth		18.049	14.141	14.161	7.176	GB/s
Memory Latency		42.910	63.260	63.705	74.820	ns
File System Bandwidth		1599.061	1184.148	1017.989	839.566	MB/s

2.4. Analiza wyników dla Hyper-V

Tabela 4 prezentuje średnie wyniki uzyskane w testach wydajnościowych przez maszyny wirtualne działające w wirtualnej pracowni komputerowej zaimplementowanej w wirtualizatorze Hyper-V 2016 w scenariuszu testowym bez dodatkowego obciążenia. Choć wirtualizator powinien dynamicznie rozdzielać zasoby między maszynami wirtualnymi, tak aby nie występowały spadki wydajności wynikające z braku zasobów (kiedy jedna z maszyn ma większe zapotrzebowanie niż pozostałe) to mimo tego można zaobserwować spadek wydajności wraz ze wzrostem liczby aktywnych maszyn. Warto zwrócić też uwagę na szczególnie dobry wynik uzyskiwany przez maszyny wirtualne w Hyper-V w teście *File System Bandwidth* sprawdzającym prędkość systemu plików i dysku.

Tabela 4. Wyniki pomiarów dla Hyper-V bez obciążeń

Table 4. Data results for Hyper-V without load

Nazwa Testu \ Liczba maszyn	1	1 z 10	1 z 15	1 z 20	1 z 30	Jednostka
Processor Multimedia	81.211	81.201	81.191	81.110	80.980	Mpix/s
Processor Cryptography	2.899	2.886	2.884	2.874	2.869	GB/s
Processor Financial Analysis	5.870	5.844	5.822	5.818	5.811	kOPT/s
Processor Scientific Analysis	12.573	12.466	12.433	12.417	12.399	GFLOPS
.NET Arithmetic	9.771	9.666	9.545	9.513	9.471	GOPS
Memory Bandwidth	23.409	23.110	22.998	22.989	22.983	GB/s
Memory Latency	31.633	32.211	32.134	32.101	32.033	ns
File System Bandwidth	4698.416	4567.512	4122.854	3889.899	3521.920	MB/s

W Tabeli 5 zaprezentowano rezultaty testów przeprowadzonych na maszynach wirtualnych w Hyper-V, w warunkach ze zwiększonym obciążeniem. Jak można się spodziewać w tym przypadku odnotowano już większe spadki wydajności we wszystkich testach. Ostatni z testów, dotyczący dysku i systemu plików wyprodukował znacznie lepsze wyniki, niż w innych sprawdzanych wirtualizatorach.

Tabela 5. Wyniki pomiarów dla Hyper-V z obciążeniem

Table 5. Data results for Hyper-V with load

Nazwa Testu \ Liczba maszyn	10	15	20	30	Jednostka
Processor Multimedia	57.648	44.156	34.980	25.906	Mpix/s
Processor Cryptography	1.772	1.294	1.024	0.848	GB/s
Processor Financial Analysis	3.819	2.714	2.018	1.332	kOPT/s
Processor Scientific Analysis	5.315	3.828	2.875	2.213	GFLOPS
.NET Arithmetic	6.437	4.669	3.480	2.638	GOPS
Memory Bandwidth	20.712	20.023	13.798	11.036	GB/s
Memory Latency	37.080	42.967	46.865	61.153	ns
File System Bandwidth	4343.215	4003.142	3844.297	2296.898	MB/s

2.5. Analiza wyników dla XenServer

Tabela 6 prezentuje rezultaty testów wydajnościowych, w których nie symulowano obciążenia dla maszyn wirtualnych w środowisku zaimplementowanym z wykorzystaniem wirtualizatora XenServer. W tym przypadku, dla scenariuszy z mniejszą liczbą aktywnych maszyn wirtualnych można zaobserwować wysokie wyniki w testach sprawdzających wydajność procesora, jednak wraz ze wzrostem liczby aktywnych maszyn osiągnięte wyniki szybko ulegają pogorszeniu.

Tabela 6. Wyniki pomiarów dla XenServer bez obciążenia

Table 6. Data results for XenServer without load

Nazwa testu \ Liczba maszyn	1	1 z 10	1 z 15	1 z 20	1 z 30	Jednostka
Processor Multimedia	100.520	98.510	96.501	88.767	88.440	Mpix/s
Processor Cryptography	3.994	3.579	3.163	3.101	2.985	GB/s
Processor Financial Analysis	7.280	7.170	7.060	6.999	6.480	kOPT/s
Processor Scientific Analysis	15.730	14.745	13.760	13.430	13.250	GFLOPS
.NET Arithmetic	10.960	10.465	9.970	8.410	8.260	GOPS
Memory Bandwidth	14.523	14.247	13.970	13.968	12.151	GB/s
Memory Latency	39.910	40.360	40.777	41.623	42.414	ns
File System Bandwidth	1327.855	1288.780	1259.705	1250.330	1241.380	MB/s

Tabela 7. Wyniki pomiarów dla XenServer z obciążeniem

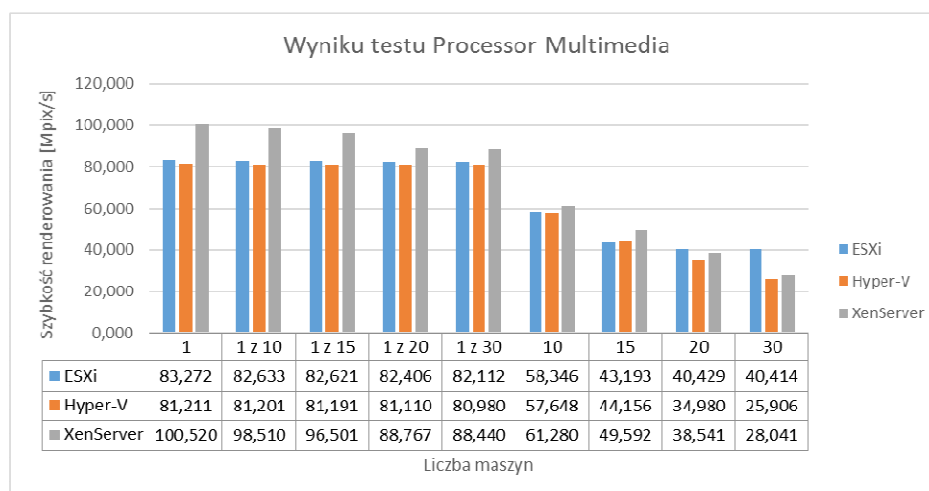
Table 7. Data results for XenServer with load

Nazwa testu \ Liczba maszyn	10	15	20	30	Jednostka
Processor Multimedia	61.280	49.592	38.541	28.041	Mpix/s
Processor Cryptography	1.065	0.851	0.674	0.536	GB/s
Processor Financial Analysis	4.007	2.684	2.042	1.340	kOPT/s
Processor Scientific Analysis	3.830	3.177	2.205	1.890	GFLOPS
.NET Arithmetic	6.247	4.664	3.407	2.412	GOPS
Memory Bandwidth	5.451	5.134	3.984	3.864	GB/s
Memory Latency	77.720	95.200	144.825	158.540	ns
File System Bandwidth	709.070	425.858	246.361	156.107	MB/s

Rezultaty testów wydajnościowych w XenServer przedstawiono w Tabeli 7. Wprowadzono obciążenie poprzez uruchamianie programu testującego na coraz większej liczbie maszyn jednocześnie. Z otrzymanych wyników wynika, że powyżej progu 15 aktywnych i obciążonych maszyn wirtualnych, XenServer zaczyna osiągać wyraźnie gorsze wyniki niż pozostałe wirtualizatory, a w ostatnim przypadku, dla 30 równocześnie pracujących maszyn wirtualnych trudno jest wykonywać operacje w systemie gościa maszyn wirtualnych ze względu na opóźnienie.

2.6. Analiza porównawcza rezultatów symulacji

Na rysunku 1. przedstawiono rezultaty uzyskane przez wszystkie testowane wirtualizatory w teście *Processor Multimedia*, który sprawdza wydajność jednostek SIMD (ang. *Single Instruction Multiple Data*) procesora poprzez generowanie zestawu fraktali i przedstawia zdolność procesora do obsługi instrukcji związanych z danymi i instrukcjami występującymi podczas obróbki grafiki [7]. W otrzymanych wynikach można zaobserwować wyraźną przewagę wirtualizatora XenServer, aż do testu dla 20 i 30 maszyn wirtualnych, gdzie wyraźnie przestaje radzić sobie z obciążeniem i najlepsze wyniki zaczyna uzyskiwać ESXi. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 51.467 %, 68.100 % i 72.103 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu a największym.

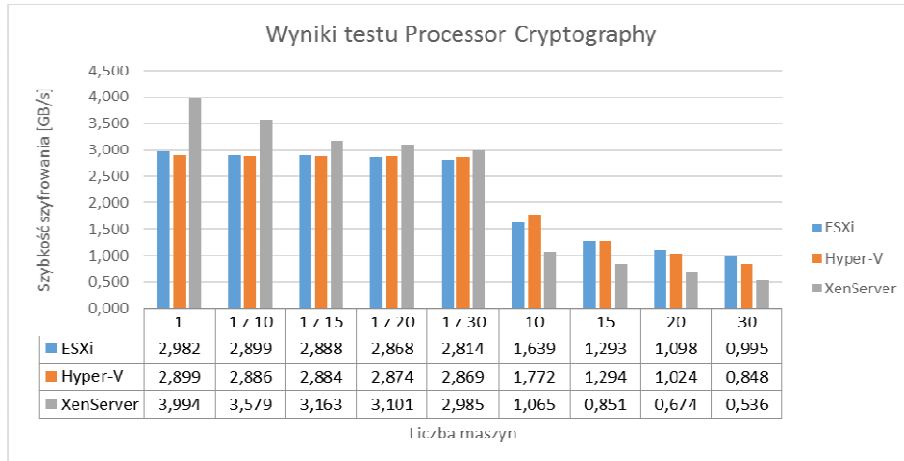


Rys. 1. Wyniki testu Processor Multimedia

Fig. 1. The results of the *Processor Multimedia* test

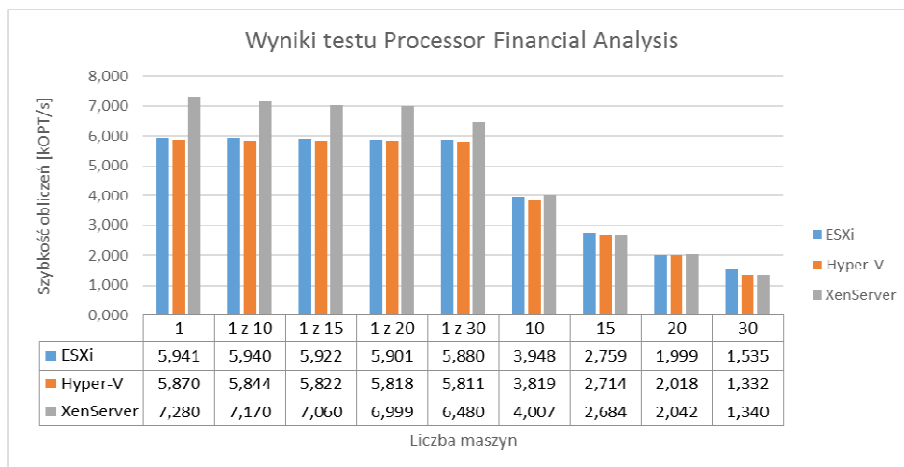
Rysunek 2. przedstawia rezultaty testu *Processor Cryptography*, który mierzy wydajność procesora w przeprowadzaniu typowych operacji wykonywanych na

wrażliwych danych takich jak szyfrowanie, deszyfrowanie i haszowane danych używając algorytmów typu AES (ang. *Advanced Encryption Standard*) i SHA (ang. *Secure Hash Algorithm*) [7]. Tak jak we wcześniejszym teście najlepsze wyniki początkowo osiąga XenServer, wyraźnie tracąc prowadzenie wraz ze wzrostem obciążenia na rzecz ESXi i Hyper-V. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 66.633 %, 70.749 % i 86.580 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu a największym.



Rys. 2. Wyniki testu *Processor Cryptography*

Fig. 2. The results of the *Processor Cryptography* test

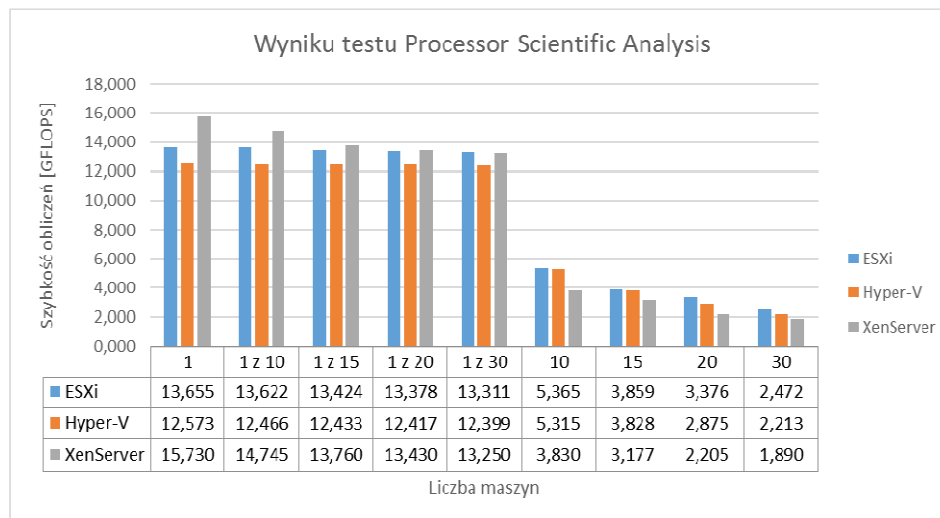


Rys. 3. Wyniki testu *Processor Financial Analysis*

Fig. 3. The results of the *Processor Financial Analysis* test

Na rysunku 3. przedstawiono porównanie rezultatów osiągniętych przez testowane wirtualizatory w kolejnych scenariuszach testowych w teście *Processor Financial Analysis*, który polega na sprawdzeniu wydajności procesora bazując na tym jak efektywnie wykonuje obliczenia z wykorzystaniem popularnych modeli stosowanych w finansach do określania przyszłej wartości akcji [7]. Przy mniejszym obciążeniu wirtualizator XenServer osiąga najlepsze wyniki. Wraz ze wzrostem obciążenia wirtualizatory zaczynają osiągać zbliżone wyniki, z niewielką przewagą dla ESXi. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 74.163 %, 77.308 % i 81.593 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu a największym.

Wykres widoczny na rys. 4. przedstawia wyniki testu *Processor Scientific Analysis*, który mierzy wydajność procesora w wykonywaniu obliczeń takich jak operacje na macierzach czy transformata Fouriera [7]. Dla najmniejszego obciążenia najlepsze wyniki osiąga XenServer, a następnie ESXi. Wraz ze wzrostem obciążenia wydajność wirtualizatora XenServer wyraźnie spada, a ESXi osiąga nieznacznie lepsze wyniki niż Hyper-V. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 81.897 %, 82.399 % i 87.985 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu, a największym.

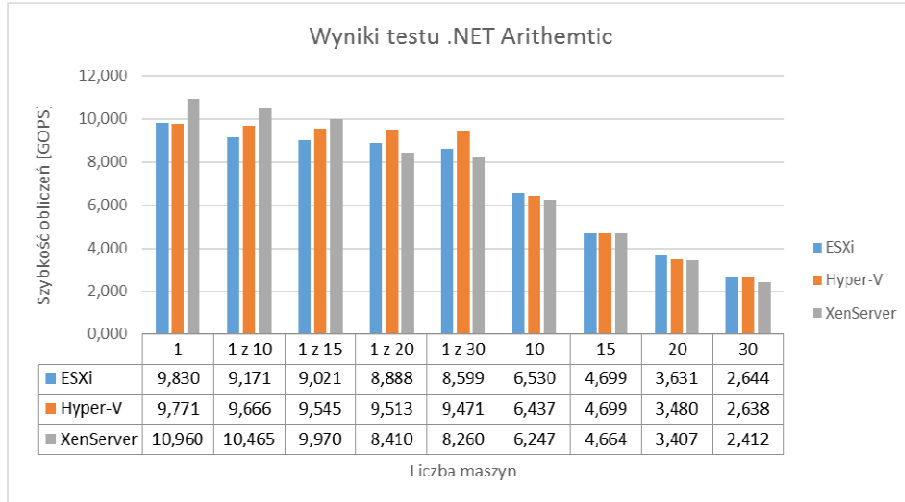


Rys. 4. Wyniki testu Processor Scientific Analysis

Fig. 4. The results of the *Processor Scientific Analysis* test

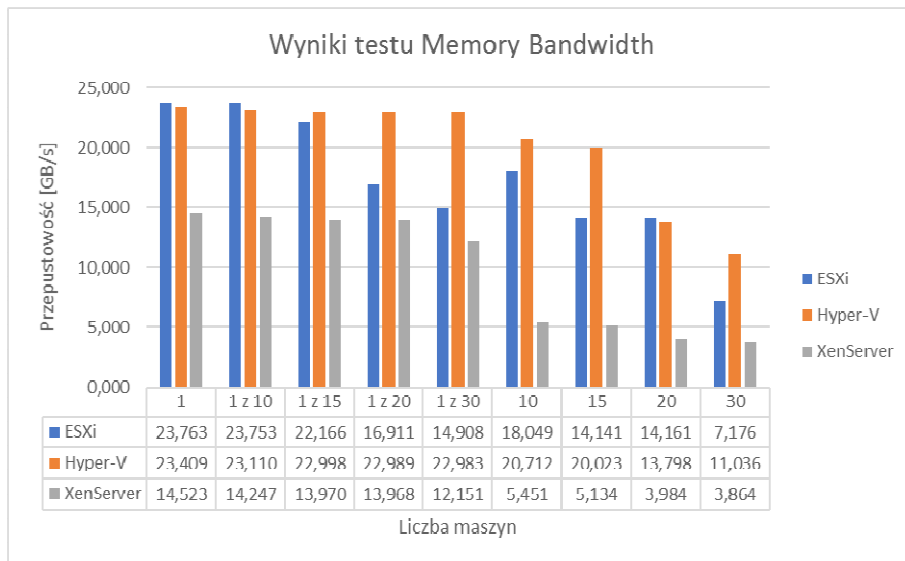
Test *.NET Arithmetic*, którego wyniki przedstawiono na rys. 5., mierzy wydajność wykonywania operacji arytmetycznych w frameworku .NET [7]. W tym przypadku dla testów przy najmniejszym obciążeniu najlepsze wyniki

uzyskuje XenServer z wyjątkiem dla testu przy 1 z 20 i 1 z 30 maszyn wirtualnych, gdzie góruje Hyper-V. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście zanotowały kolejno 73.103 %, 73.002 % i 77.993 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu a największym.



Rys. 5. Wyniki testu .NET Arithmetic

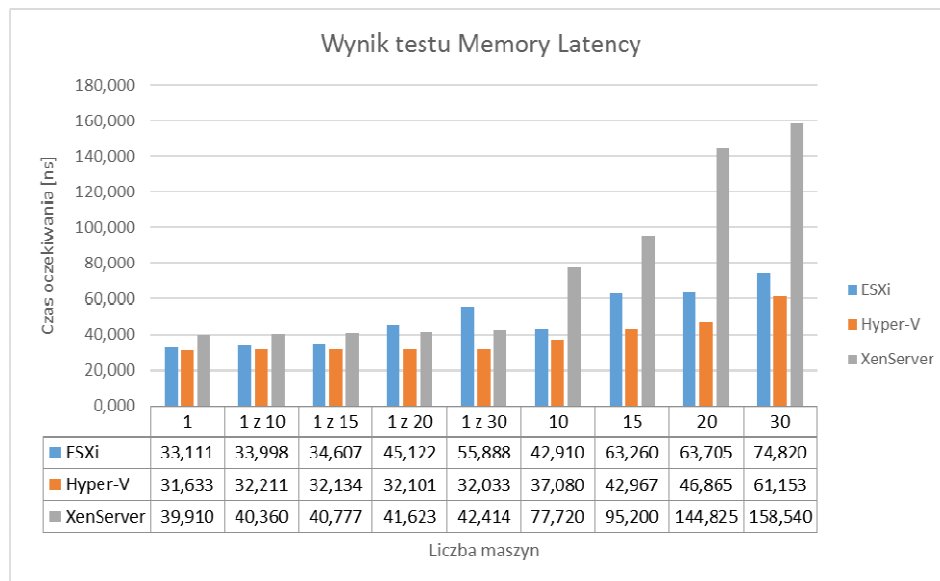
Fig. 5. The results of the *.NET Arithmetic* test



Rys. 6. Wyniki testu Memory Bandwidth

Fig. 6. The results of the *Memory Bandwidth* test

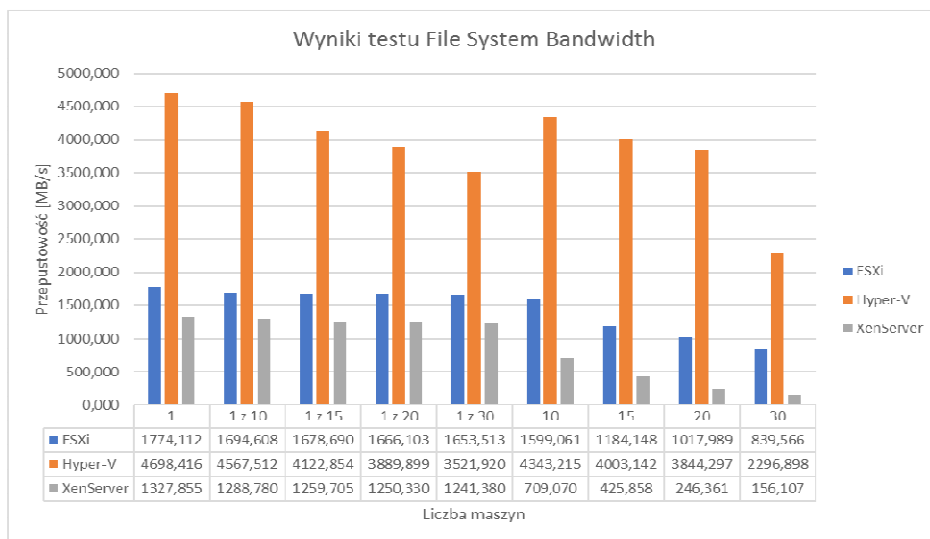
Test *Memory Bandwidth*, przedstawiony na rys. 6. czyli test przepustowości pamięci operacyjnej bazuje na popularnym benchmarku STREAM [7]. Dla tego testu najlepsze wyniki zaobserwowano dla wirtualizatorów ESXi i Hyper-V. Wraz ze wzrostem obciążenia wyraźnie lepsze wyniki zachowuje Hyper-V. Warto też zauważyć, że ESXi lepiej radzi sobie z mniejszą liczbą obciążonych maszyn niż większą działających bez obciążenia, porównując wynik dla testu 1 z 20 czy 1 z 30 do testu dla 10 i 15 maszyn. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 69.802 %, 52.856 % i 73.394 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu a największym.



Rys. 7. Wyniki testu *Memory latency*

Fig. 7. The results of the *Memory Latency* test

Test *Memory Latency*, którego wyniki można zaobserwować na rys. 7. obrazuje czas odpowiedzi pamięci operacyjnej jako czas w nanosekundach potrzebny na uzyskanie danych z pamięci [7]. W każdym przypadku można zaobserwować, że najlepszy wynik uzyskuje Hyper-V, a następnie ESXi. XenServer odczuwa znaczny spadek wydajności wraz ze wzrostem obciążenia. Tak jak w poprzednim teście pamięci ESXi lepiej radzi sobie z mniejszą liczbą obciążonych maszyn niż z większą liczbą mniej obciążonych maszyn, w przeciwieństwie do reszty wirtualizatorów. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście zanotowały kolejno 55.746 %, 48.272 % i 74.827 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu, a największym.

Rys. 8. Wyniki testu *File System Bandwidth*Fig. 8. The results of the *File System Bandwidth* test

Test *File System Bandwidth*, którego wyniki przedstawia rys. 8., czyli test przepustowości systemu plików pokazuje wydajność operacji na dysku. Nie jest to wynik zależny wyłącznie od prędkości dysku, ale też od różnych czynników jak m.in. system plików, cache systemu operacyjnego czy pozycja dysku [7]. W tym teście znacznie lepsze wyniki uzyskuje wirtualizator Hyper-V, dodatkowo można zauważyć, że obciążenie ma w większości przypadków znacznie mniejszy wpływ na przepustowość systemu plików w Hyper-V i wirtualizator lepiej radzi sobie z mniejszą ilością obciążonych maszyn niż z większą ilością mniej obciążonych maszyn. Drugi w kolejności jest ESXi, natomiast najgorsze wyniki osiąga XenServer. Wirtualizatory ESXi, Hyper-V i XenServer w tym teście odnotowały kolejno 52.677 %, 51.113 % i 88.244 % spadek wydajności pomiędzy testem przy najmniejszym obciążeniu, a największym.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone dla poszczególnych wirtualizatorów testy wydajności oraz porównanie oferowanych funkcjonalności wykazały, że ESXi firmy VMWare oferuje w większości przypadków najstabilniejsze rezultaty przy zwiększającym się obciążeniu. Dodatkową kwestią, którą można poruszyć w tym porównaniu to dużo bogatszy od konkurencji pakiet funkcjonalności i opcji konfiguracji. Wadą tego rozwiązania jest konieczność zakupu licencji.

Kolejny wirtualizator, czyli Hyper-V firmy Microsoft osiągał porównywalne lub lepsze wyniki w testach wydajności (znacznie lepsze w testach dysku) jednak wyraźnie przeznaczony jest do działania w środowisku, gdzie wykorzystywane są tylko rozwiązania firmy Microsoft i w porównaniu do reszty ma ograniczoną funkcjonalność i jest trudniejszy w konfiguracji.

Ostatni z testowanych wirtualizatorów, jedyny reprezentant wolnego programowania, XenServer wyraźnie lepiej radził sobie z wirtualizacją operacji procesora przy niższych obciążeniach i choć natywnie nie oferuje tak wielu funkcjonalności jak ESXi, to ze względu na otwarte źródła i dużą, aktywną społeczność tworzącą rozszerzenia i ulepszenia, potencjalna możliwość rozbudowy i dostosowywania tego rozwiązania do własnych potrzeb jest ogromna.

Literatura

- [1] <http://www.vmware.com/products/vsphere-hypervisor.html>, [dostęp: 10.12.2016].
- [2] <https://hyperv.veeam.com/blog/what-is-hyper-v-technology/>, [dostęp: 10.12.2016].
- [3] <https://technet.microsoft.com/windows-server-docs/compute/hyper-v/hyper-v-technology-overview>, [dostęp: 10.12.2016].
- [4] <http://xenserver.org/>, [dostęp: 10.12.2016].
- [5] <http://www-archive.xenproject.org/files/Marketing/HowDoesXenWork.pdf>, [dostęp: 10.12.2016].
- [6] Chris Takemura, Luke S. Crawford, The Book of Xen, NoStart Press 2010.
- [7] Dokumentacja programu SiSoftware Sandra Lite
- [8] https://www.vmware.com/support/ws5/doc/ws_clone_overview.html, [dostęp: 01.01.2017].

VIRTUALIZATION OF INFORMATION SYSTEMS

Summary

Nowadays concept of virtualization is common technology in almost every information technology based discipline. As the processing power of servers rise, it turns out that optimal use of available resources becomes meaningful issue. The purpose of this article is to summarize a few chosen virtualization platforms available for server virtualization. At the beginning, selected hypervisors and their characteristics are roughly described. Afterwards, results of overall performance tests inside environments implementing mentioned before hypervisors are presented and analyzed.

Keywords: virtualization, hypervisor, ESXi, Hyper-V, XenServer

DOI: 10.7862/re.2017.11

Tekst złożono w redakcji: wrzesień 2017

Przyjęto do druku: październik 2017

