VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Řešení virtuálních serverů v CSV clusteru v redundantním režimu NoSPOF

Virtual server solution in CSN cluster in redundant NoSPOF mode

2019 Bc. Lukáš Tesař

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Tesař**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: Řešení virtuálních serverů v CSV clusteru v redundantním režimu NoSPOF
Virtual server solution in CSN cluster in redundant NoSPOF mode

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Network Load Balancing (NLB) je technologie, která umožňuje spojit do clusteru několik serverů. Servery se tak stanou nody clusteru a vystupují pod jednou společnou virtuální IP adresou (a ARP adresou), takže klienti, kteří s touto virtuální adresou komunikují, neví, s kterým serverem ve skutečnosti komunikují. Windows Cluster naopak data sdílí, umožňuje několika serverům přistoupit k jednomu datovému úložišti tzv. CSV (Cluster Shared Volume). Tento typ clusteru nezajistí vyšší výkon, ale zajistí vysokou dostupnost nabízených služeb. Cílem absolventské práce je otestovat a vzájemně porovnat nástroje realizující řešení virtuálních serverů v CSV clusteru v redundantním režimu NoSPOF (Non Single Point of Failure) v prostředí Windows a Linux.

1. Definujte principy serverové virtualizace a konsolidace serverů na fyzický hardware včetně jednotlivých vrstev virtualizace.
2. Popište techniky serverové virtualizace včetně architektury hypervisorů a vysoké dostupnosti (High Availability).
3. Porovnejte mezi sebou jednotlivé virtualizační platformy.
4. Navrhněte řešení (varianty řešení) realizující virtuálních serverů v CSV clusteru v redundantním režimu NoSPOF pro potřeby střední firmy.
5. Realizujte navržené řešení a proveďte jeho otestování (např. pomocí aplikace Passmark Performance), výsledky zhodnoťte i po stránce CAPEX a OPEX.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] HOOPES, John. *Virtualization for security: including sandboxing, disaster recovery, high availability, forensic analysis, and honeypotting.* Burlington, MA: Syngress Pub., c2009, xix, 357 p. 1st edition. ISBN 15-974-9305-8.

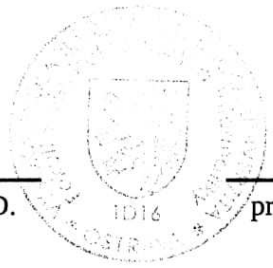
[2] RUEST, Danielle a Nelson RUEST. *Virtualizace: podrobný průvodce.* Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010, 408 s. ISBN 978-80-251-2676-9.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Koudelka, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. dubna 2019 .....

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 30. dubna 2019 .....

Rád bych poděkoval Ing. Petru Koudelkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, vedení a konzultaci při psaní této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a kolegům z práce za podporu a konzultace při psaní této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá popisem virtualizace, jejími výhodami a možnými úskalí. Dále pak porovnáním nejpoužívanějších virtualizačních platforem, pro provoz clusteru ve vysoké dostupnosti v komerčním prostředí. Zároveň diplomová práce obsahuje návrh řešení CSV vysoce dostupného clusteru pro potřeby střední firmy. Navržené řešení je otestováno nad hypervisory Microsoft Hyper-V a VMWare vSphere. Testován je rozdíl výkonu, vysoké dostupnosti a ekonomických rozdílů obou platforem. Na základě těchto testů je pak vybrána optimální varianta pro provoz vysoce dostupného clusteru.

Klíčová slova: cluster, diplomová práce, Hyper-V, Microsoft, virtualizace, VMWare, vSphere, vysoká dostupnost

Abstract

This master thesis deals with the description of virtualization, advantages and disadvantages of virtualization. Furthermore, by comparing the most widely used virtualization platforms for cluster in high availability mode in a commercial environment. At the same time the thesis contains a solution of a CSV high availability cluster for the needs of a medium-sized company. The proposed solution is tested on Microsoft Hyper-V and VMWare vSphere hypervisors. Tests are aiming to difference in performance, high availability, and economic differences between the both platforms. Based on these tests, is selected the optimal solution for high-availability cluster.

Key Words: cluster, high availability, Hyper-V, master thesis, Microsoft, virtualization, VMWare, vSphere

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů **10**

Seznam obrázků **12**

Seznam tabulek **14**

1 Úvod **15**

2 Virtualizace **16**

2.1 Výhody virtualizace 16
2.2 Nevýhody virtualizace 18
2.3 Vrstvy virtualizace 18
2.4 Techniky virtualizace 19
2.5 Architektura hypervisorů 20
2.6 Vysoká dostupnost 21
2.7 Systém odolný proti selhání 22

3 Porovnání virtualizačních platforem **23**

3.1 Microsoft Hyper-V 23
3.2 VMWare vSphere 25

4 Návrh řešení virtualizace pro střední firmu **27**

4.1 Výběr hardware 28
4.2 Fyzické zapojení 29
4.3 Řešení hardware 30
4.4 Řešení na technologii Microsoft 31
4.5 Řešení na technologii VMWare 31

5 Realizace řešení a jeho otestování **33**

5.1 Fyzické zapojení serverů v síti 33
5.2 Kompletace a instalace serveru 35
5.3 Konfigurace úložiště 37
5.4 Microsoft Hyper-V 38
5.5 VMWare vSphere 45
5.6 Smart Cache 56
5.7 Testování rozdílů - výkon 59
5.8 Testování rozdílů - HA 61
5.9 Zhodnocení ekonomických rozdílů 67

6 Závěr **70**

Literatura **71**

Přílohy **72**

A Tabulky **I**

Seznam použitých zkratek a symbolů

ARP	–	Address Resolution Protocol
CAPEX	–	Capital Expenditure
CPU	–	Central Processing Unit
CSV	–	Cluster Shared Volumes
CTO	–	Configure To Order
DHCP	–	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	–	Density Line
DNS	–	Domain Name System
DRS	–	Distributed Resource Scheduler
DVD	–	Digital Versatile Disc
FC	–	Foundation Care
FDX	–	Full Duplex
FT	–	Fault Tolerance
GUI	–	Graphical User Interface
HA	–	High Availability
HBA	–	Host Bus Adapter
HDD	–	Hard Disk Drive
HPE	–	Hewlett Packard Enterprise
HTML	–	Hypertext Markup Language
HW	–	Hardware
I/O	–	Input/Output
iLO	–	Integrated Lights-Out
IML	–	Integrated Management Log
IOPS	–	Input/output Operations Per Second
IP	–	Internet Protocol
iSCSI	–	Internet Small Computer System Interface
IT	–	Information Technology
L2	–	Layer 2
LACP	–	Link Aggregation Control Protocol
LAG	–	Link Aggregation Group
LAN	–	Local Area Network
LLDP	–	Link Layer Discovery Protocol
LUN	–	Logical Unit Number
MMC	–	Microsoft Management Console
MSA	–	Modular SAN Array
NBD	–	Next Business Day

NLB	–	Network Load Balancing
NoSPOF	–	No Single Point Of Failure
NTFS	–	New Technology File System
OEM	–	Original Equipment Manufacturer
OPEX	–	Operational Expenditures
OS	–	Operating System
RAID	–	Redundant Array of Independent Disks
RAM	–	Random Access Memory
RDP	–	Remote Desktop Protocol
SAN	–	Storage Area Network
SAS	–	Serial Attached SCSI
SCSI	–	Small Computer System Interface
SD	–	Secure Digital
SFF	–	Small Form Factor
SNMP	–	Simple Network Management Protocol
SSD	–	Solid-State Drive
SSH	–	Secure Shell
SW	–	Software
TCP	–	Transmission Control Protocol
UDP	–	User Datagram Protocol
UEFI	–	Unified Extensible Firmware Interface
UID	–	Unit Identification Light
UPS	–	Uninterruptible Power Supply
VCSA	–	VMware vCenter Appliance
VHD	–	Virtual Hard Disk
VHDX	–	Virtual Hard Disk v2
VLAN	–	Virtual Local Area Network
VM	–	Virtual Machine
VSA	–	Virtual Storage Appliance
wDMR	–	With Defective Material Retention
WWN	–	World Wide Name

Seznam obrázků

1 Architektura virtualizace [3] . . . 16
2 Vrstvy virtualizace [4] . . . 18
3 Typy hypervisorů [6] . . . 20
4 Monolitický vs Mikrokernel hypervisor . . . 21
5 Živá migrace v Hyper-V . . . 24
6 Redundantní zapojení clusteru . . . 29
7 Redundantní zapojení MSA2050 [11] . . . 30
8 Reálné zapojení CSV clusteru v LABu . . . 34
9 Fyzické zapojení CSV clusteru v LABu - přední pohled . . . 34
10 Fyzické zapojení CSV clusteru v LABu - zadní pohled . . . 35
11 Osazení paměti v serveru . . . 35
12 LED na předním panelu serveru . . . 36
13 Pojmenování hostů a WWN . . . 37
14 iSCSI mapování svazků . . . 38
15 Instalace rolí a funkcí na NODE01 . . . 39
16 Přidání node do clusteru . . . 40
17 Sestavený cluster . . . 41
18 Konfigurace vyvažování zátěže . . . 42
19 Úložiště clusteru . . . 43
20 Konfigurace kvora . . . 44
21 Konfigurace sítě v Hyper-V . . . 45
22 vSphere obrazovka po bootu . . . 46
23 Webové rozhraní vSphere . . . 47
24 Poslední krok před nasazením VCSA . . . 48
25 Přihlášení do webového rozhraní VCSA . . . 49
26 Domovská obrazovka VCSA . . . 50
27 Vytvoření HA clusteru . . . 51
28 Vytvořený HA cluster pro LAB . . . 52
29 Nakonfigurovaný LAG . . . 53
30 Konfigurace skupiny portů . . . 54
31 Přidání fyzických adaptérů do distribuovaného switche . . . 55
32 Topologie distribuovaného switche . . . 55
33 Příklady použití Smart Cache [16] . . . 57
34 Plotnové disky . . . 58
35 Plotnové disky s SSD cache . . . 58
36 SSD disky . . . 59
37 Rozdíl ve výkonu (Celkové skóre a CPU) . . . 61

38 Pozastavený Hyper-V node 62
39 Přepnutí do módu údržby 62
40 Proces migrace 63
41 Provoz přes síť pro migrace 64
42 Simulovaný výpadek uplinku 64
43 Simulovaný výpadek uplinku 65
44 Simulovaný výpadek core switche2 pro node01 65
45 Simulovaný výpadek core switche2 pro node02 65
46 Simulovaný výpadek core switche1 pro node01 66
47 Simulovaný výpadek core switche1 pro node02 66

Seznam tabulek

1 Definice procentuální dostupnosti [7] . . . 22
2 Licence Windows Server . . . 25
3 vSphere pro malé firmy . . . 26
4 vSphere pro velké firmy . . . 26
5 Požadavky na server pro virtualizaci . . . 27
6 Požadavky na datové úložiště . . . 27
7 Vybraný hardware pro server . . . 28
8 Vybraný hardware pro úložiště . . . 29
9 Cenový rozpad pro server . . . 30
10 Cenový rozpad pro úložiště . . . 31
11 Cenový rozpad pro Hyper-V licence . . . 31
12 Cenový rozpad pro Hyper-V cluster . . . 31
13 Cenový rozpad pro vSphere licence . . . 32
14 Cenový rozpad pro vSphere cluster . . . 32
15 Použitý hardware pro server . . . 33
16 Použitý hardware pro úložiště . . . 33
17 Popis agresivity při vyrovnávání zátěže . . . 41
18 Investiční náklady na hardware . . . 67
19 Investiční náklady pro Hyper-V licence . . . 67
20 Investiční náklady pro vSphere licence . . . 68
21 Provozní náklady clusteru . . . 68
22 Porovnání nákladů . . . 69

1 Úvod

Jelikož se již pár let pohybuji v oblasti správy serverů, jak fyzických tak virtuálních vybral jsem si toto téma pro vypracování diplomové práce. Do této práce se budu snažit promítnout i za tu dobu nabyté zkušenosti a znalosti z provozu serverů ve virtuálním prostředí. V práci se chci zabývat pouze virtualizačními platformami, které jsou určeny pro provoz ve firemním prostředí. Konkrétně se jedná o dva nejpoužívanější hypervisory [1] vSphere od firmy VMWare a Hyper-V od Microsoftu. Existují i další produkty pro virtualizaci, zaměřené například na virtualizaci OS pracovních stanic, ty však nebudou předmětem této diplomové práce. NoSPOF redundantní režim v tomto případě znamená, že veškeré aktivní prvky se v clusteru nacházejí dvakrát, tak aby nedošlo k výpadku celého systému v případě havárie jednoho ze zařízení. Stejně tak jsou i redundantně zapojeny propoje (jak LAN tak i SAN) mezi jednotlivými prvky.

Ve druhé kapitole této diplomové práce se věnuji teoretickému popisu virtualizace. Popisuji výhody a možná úskalí této technologie. Taktéž využití virtualizace pro provoz produkčních serverů ve virtuálním prostředí pro firemní zákazníky. Popisuji i techniky virtualizace, rozdělení hypervisorů a vysvětluji termín vysoká dostupnost.

Ve třetí kapitole srovnávám nejpoužívanější platformy, určené k virtualizaci ve firemním prostředí. Popisuji rozdíly jednotlivých platforem a jejich vývoj.

Ve čtvrté kapitole zjišťuji požadavky zákazníka a navrhuji možná řešení pro virtualizaci ve střední firmě. V této kapitole je navržen konkrétní hardware pro použití, tak aby splnil požadavky zákazníka. Taktéž je zde popsáno fyzické zapojení serverů a úložiště tak, aby byla splněna podmínka NoSPOF režimu a bylo možno dosáhnout provozu ve vysoké dostupnosti. Zároveň zde uvádím nutné softwarové vybavení pro provoz hypervisoru včetně rozpadu cen. Rozpad cen uvádím i pro pořízení hardware nutného pro provoz clusteru.

V první části páté kapitoly popisuji fyzický hardware, který jsem použil k otestování navrženého řešení a jeho fyzické zapojení. Poukazuji na možné problémy, se kterými jsem se běžně potkal a popisuji řešení, jak jim předcházet. Následně popisuji složení fyzického serveru a konfiguraci sdíleného úložiště pro cluster.

Poté realizuji již samotnou instalaci a konfiguraci hypervisorů Hyper-V a vSphere, sestavení clusteru na obou platformách. Dále se věnuji otestování technologie Smart Cache, která se využívá k urychlení I/O operací na diskovém subsystému.

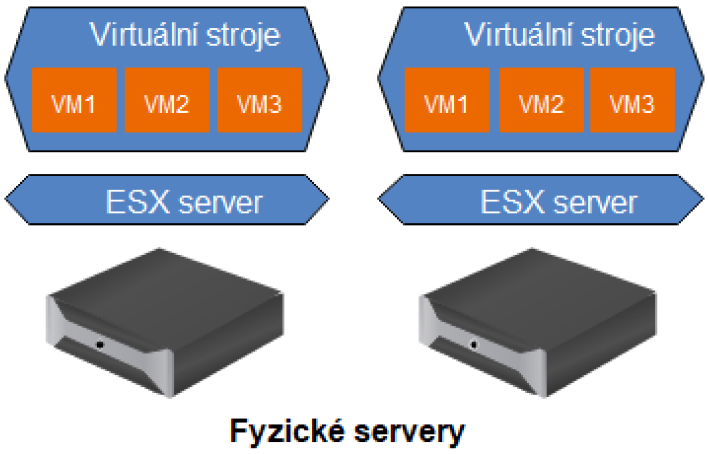
Následně obě virtualizační platformy podrobuji sérii testování rozdílů ve výkonu a rozdílů ve vysoké dostupnosti. V poslední části se zaměřuji na zhodnocení ekonomických rozdílů obou platforem.

2 Virtualizace

Ve světe informačních technologií není pojem virtuální nijak výjímečný. Již řadu let využíváme technologii virtuálních sítí (VLAN), virtuálních privátních sítí (VPN) či virtuálních úložišť (RAID). Virtualizace pro provoz virtuálních strojů je k dispozici již od roku 1998 [2] a nejedná se tak o žádnou novinku, ale již běžnou a dostupnou technologii, která se v praxi využívá.

Virtualizace je proces vytváření virtuálních verzí fyzických komponent. Virtualizací v tomto případě chápeme vytvoření virtuálního stroje (VM), který se sám pro sebe i jeho uživatelé jeví jako skutečný server. Virtuální stroj využívá prostředky, které poskytuje fyzický server (označován jako node či host) a není nijak závislý na jeho použitém operačním systému. Nad jedním nodem poté běží více virtuálních strojů o které se stará hypervisor.

Hypervisor je operační systém, který komunikuje s fyzickým hardware a stará se o komunikaci mezi virtuálním strojem a hardware. Virtuální stroje jsou mezi s sebou odděleny a neví o ostatních virtuálních strojích, které jsou provozovány na daném hypervisoru. Komunikace mezi jednotlivými virtuálními stroji je možná pomocí standardních prostředků, nejčastěji tedy pomocí lokální sítě (LAN). Virtuální stroje jsou mezi sebou odděleny a havárie jednoho z virtuálních strojů neovlivňuje provoz ostatních virtuálních strojů ani hypervisoru.



Obrázek 1: Architektura virtualizace [3]

2.1 Výhody virtualizace

Používáním virtualizace získáváme řadu výhod. Jednotlivé výhody jsou rozebrány a popsány níže.

2.1.1 Konsolidace serverů

Jednotlivé aplikační role se mezi sebou z bezpečnostních a provozních důvodů oddělují (např. Active Directory a Exchange). V historických dobách to tedy znamenalo provoz na dvou fy-

zických serverech. Využitím virtualizace jsme schopni tyto role provozovat ve dvou virtuálních strojích na jediném fyzickém stroji.

2.1.2 Šetření prostředků a jejich lepší využití

Díky možnosti běhu více virtuálních strojů v rámci jednoho fyzického hardware dokážeme ušetřit prostředky, dochází k lepšímu využití volného výkonu. Tím se rozumí ušetření jak fyzických (např. místo v racku), tak ve velké míře i ekonomických. Dokážeme ušetřit za hardware, software i provoz - elektrická energie v podobě nutné pro napájení a chlazení serverů. Také jednoduché a rychlé nasazení (např. z čisté šablony) nového serveru nám šetří čas. Méně fyzických serverů šetří čas potřebný na jejich správu a údržbu.

2.1.3 Snadné rozšíření

Virtualizace nám dává možnost snadného rozšíření provozovaných virtuálních strojů. Pod tím si můžeme představit libovolné rozšíření prostředků - od počtu procesorových jader přes RAM až po kapacitu pevného disku (samozřejmě do limitu fyzického serveru či provozovaného operačního systému) bez nutnosti zastavovat běžící stroj.

2.1.4 Snadné zálohování

Použitím vhodného software pro zálohování (např. Veeam Backup & Replication, Altaro VM Backup) lze docílit kompletního zálohování virtuálních strojů bez nutnosti instalace agenta do operačního systému tohoto stroje. Záloha probíhá z úrovně hypervisoru pomocí snapshotů a je tak nezávislá na stavu virtuálního stroje a lze ji provádět online - bez nutnosti vypínat či restartovat zálohovaný stroj. Následně dokážeme z těchto záloh obnovit systém do předešlého stavu a obnovit jej například do vedlejšího virtuálního stroje. Díky tomuto se virtualizace dá využívat i pro testování aplikací, kdy dochází k přepínáni mezi dvěma virtuálními stroji s rozdílnou verzi testované aplikace.

2.1.5 Nezávislost na hardware a migrace

Díky virtualizaci se virtuální stroje stávají nezávislé na použitém hardware, protože o komunikaci mezi virtuálními stroji a hardware se stará hypervisor. Je tedy dostačující, aby hypervisor uměl komunikovat s daným hardware, ten následně zprostředkovává přístup virtuálních strojů k reálnému hardware. Díky této nezávislosti virtuálních strojů na použitém hardware můžeme provést migraci virtuálního stroje z jednoho fyzického serveru na druhý bez nutnosti úprav provozovaných operačních systémů (nebo aplikací) ve virtuálním stroji. Tohoto se využívá při provozování clusterů a funkce vysoké dostupnosti anebo při havárii fyzického serveru, kdy jsme schopni daný virtuální stroj obnovit na jakémkoliv jiném hardware, který je podporován použitým hypervisorem.

2.1.6 Clustering a vysoká dostupnost

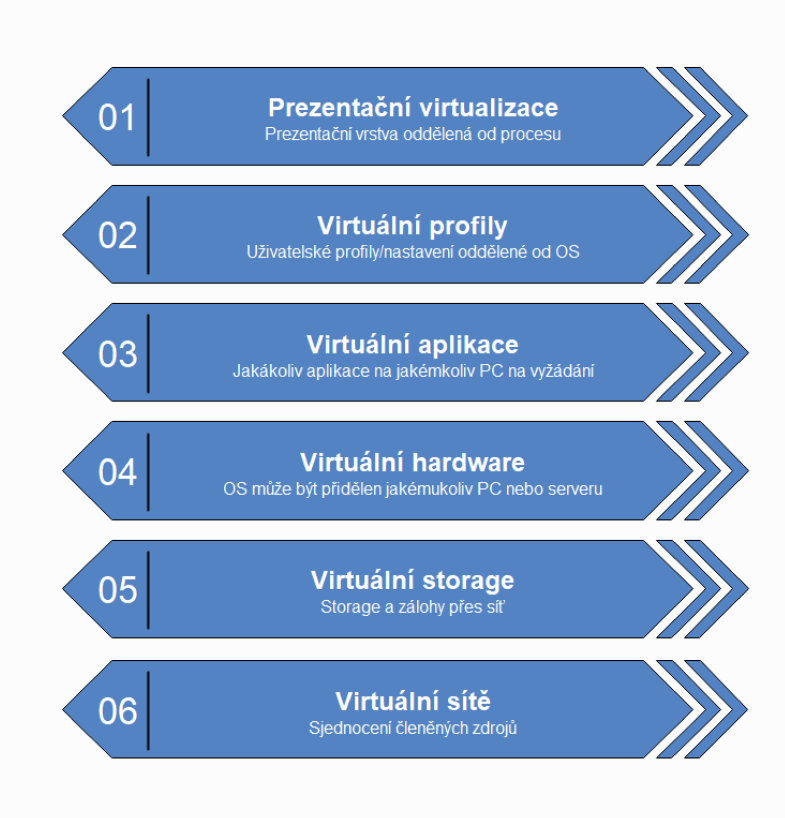
Použitím virtuálního prostředí jsme schopni jednotlivé fyzické nody spojovat do clusterů. Díky clusteru pak můžeme provozovat virtuální stroje ve vysoké dostupnosti, protože nutná údržba hardware (ať plánovaná či neplánovaná) nám neovlivní provozované virtuální stroje (dojde k migraci na jiný node v clusteru).

2.2 Nevýhody virtualizace

Velkou nevýhodou virtualizace je jedna z jejích výhod - sdílení fyzických prostředků mezi více virtuálními stroji. Havárie jednoho fyzického serveru totiž s sebou přinese nedostupnost všech provozovaných virtuálních strojů, což by v případě rozdělení fyzických serverů dle jejich rolí mělo za následek výpadek pouze dané role. Pro předcházení této situaci se využívá clusteringu a provozu virtuálních strojů alespoň na dvou fyzických serverech.

2.3 Vrstvy virtualizace

Samotnou virtualizaci lze řešit na několika úrovních - od virtualizace aplikací přes provoz virtualizovaných úložišť až po virtualizaci celých sítí. Tímto použitím se tak ztrácí vazby mezi fyzickým hardwarem a logickou strukturou.



Obrázek 2: Vrstvy virtualizace [4]

2.3.1 Virtualizace prezentační vrstvy

Prezentační vrstvou se zde rozumí grafické rozhraní se kterým pracuje uživatel. Nejčastěji se jedná o terminálové služby, ke kterým se dá připojit prakticky odkudkoliv a z jakéhokoliv používaného zařízení umožňující provoz terminálových služeb.

2.3.2 Virtualizace profilů

Od Windows Serveru 2000 existují roaming uživatelské profily [5], které mohou být uloženy na serveru. Tyto profily jsou tedy odděleny od fyzického počítače a lze k nim přistupovat opět z jakéhokoliv počítače. Uživatel má tak vždy přístup ke své ploše, dokumentům a další uloženým věcem jelikož se nacházejí na centrálním serveru.

2.3.3 Virtualizace aplikací

Virtualizované aplikace nejsou instalované na koncových stanicích, ale připraveny na serveru ve virtuálním prostředí. Po spuštění aplikace ze stanice dojde k přenesení aplikace a potřebných knihoven a o běh se stará hardware stanice. Veškerá aplikační data jsou uchovávaná pouze na serveru což je největší výhoda této virtualizace. Nevýhodou může být větší zatížení sítě při spuštění aplikace (nevhodnost např. práce přes VPN a mobilní data).

2.3.4 Serverová virtualizace

Serverová virtualizace je nejpoužívanější a nejznámější vrstvou. Umožňuje virtualizovat jednotlivé platformy ať už nad běžícím operačním systémem anebo přímo nad hardwarem.

2.3.5 Virtualizace úložišť

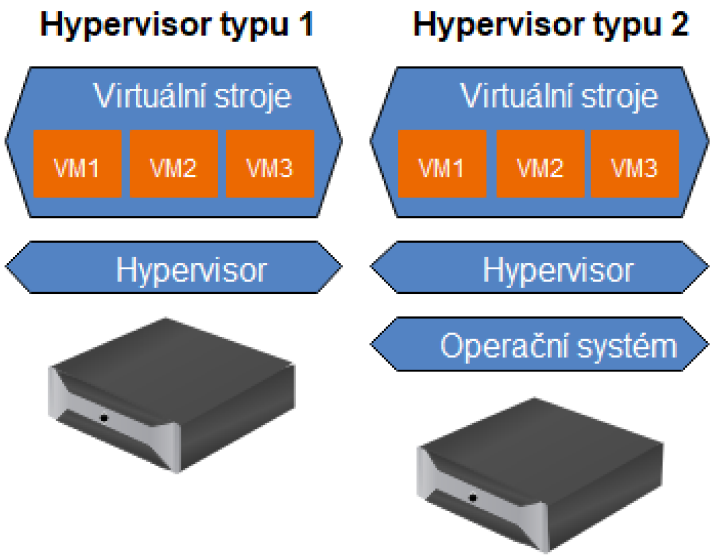
Při této virtualizaci dochází ke slučování fyzických disků do virtuálních úložišť. Lze tak například vytvořit CSV cluster bez vyhrazeného fyzického diskového pole. Technologie například HPE StoreVirtual VSA či VMware vSphere Storage Appliance.

2.3.6 Virtualizace sítí

Běžně používaná technika VLAN, kdy jsou sítě mezi sebou odděleny i přes to, že využívají stejný hardware. Síť pak lze lépe rozdělit do logických celků, zabezpečit či jen oddělit produkci od testovacího prostředí.

2.4 Techniky virtualizace

Hypervisor je aplikace, která umožňuje nad jedním fyzickým hardware provozovat jeden či více na sobě nezávislých virtuálních strojů. Role hypervisoru spočívá v přidělování prostředků jednotlivým virtuálním strojům a má plnou kontrolu nad hardwarem. Hypervisory můžeme rozdělit do dvou typů, jak je zobrazeno na obrázku 3.



Obrázek 3: Typy hypervisorů [6]

2.4.1 Hypervisor typu 1

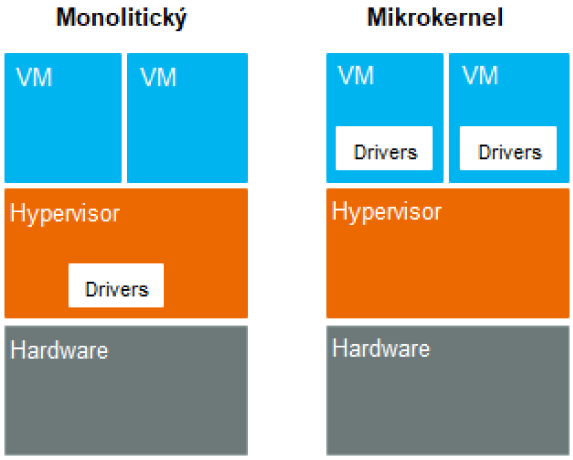
Jedná se o hypervisor, který běží přímo nad fyzickým hardware serveru. Tento způsob virtualizace se nazývá jako nativní či Bare-metal. Zástupce tohoto typu je např. Microsoft Hyper-V či VMWare vSphere.

2.4.2 Hypervisor typu 2

Tento typ hypervisoru vyžaduje pro svou funkci hostovský operační systém (ať už Linux či Windows) a s hardwarem komunikuje výhradně přes hosta. Mezi zástupce tohoto hypervisoru patří např. Oracle VirtualBox, VMWare Player.

2.5 Architektura hypervisorů

Pro obsluhu hardware využívají hypervisory dvou přístupů, rozdíly mezi oběma architekturami jsou zobrazeny na obrázku 4.



Obrázek 4: Monolitický vs Mikrokernel hypervisor

2.5.1 Monolitický hypervisor

Virtualizační vrstva monolitického hypervisoru emuluje hardware pro jednotlivé virtuální stroje. Virtuální stroje mohou tento hardware obsluhovat pomocí ovladačů napsaných přímo pro danou verzi hypervisoru. Omezuje se tak množství hardware, který lze využít pro provoz tohoto typu hypervisoru, zároveň hypervisor má větší množství kódu. Výhodou tohoto typu je pak vyšší výkon, jelikož se využívají ovladače optimalizované a určené přímo pro virtuální hardware. Typický představitel tohoto typu je VMWare vSphere.

2.5.2 Mikrokernel hypervisor

V případě použití mikrokernel hypervisoru ovladače pro obsluhu hardware obsahují až provozované virtuální stroje. Hypervisor v tomto případě řídí přístup virtuálních strojů k fyzickému hardware. Typickým představitelem tohoto typu hypervisoru je Microsoft Hyper-V.

2.6 Vysoká dostupnost

Dostupnost je udávána v procentech a vyjadřuje pravděpodobnost poskytování požadované funkce systému v daný okamžik.

$$D = (\frac{t_D}{t_D + t_N}) * 100, \tag{1}$$

Kde:

- D: je celková dostupnost v procentech
- t_D: je doba dostupnosti
- t_N: je doba nedostupnosti

Dále se dostupnost může vyjadřovat na počet devítek, znamenající procentuální dostupnost daného systému. Běžně nabízené dostupnosti jsou uvedeny v tabulce 1. Dosáhnout dostupnosti na 6 a více devítek je v praxi velice těžké, jelikož každý počítačový systém potřebuje údržbu či restart. Proto se nejčastěji setkáváme s maximální nabízenou dostupností na pět devítek 99,999 %.

	Výpadek			
Dostupnost [%]	**za rok**	**za měsíc**	**za týden**	**za den**
90	36,53 dnů	73,05 hodin	16,80 hodin	2,40 hodin
99	3,65 dnů	7,31 hodin	1,68 hodin	14,40 minut
99,9	8,77 hodin	43,83 minut	10,08 minut	1,44 minut
99,99	52,60 minut	4,38 minut	1,01 minut	8,64 sekund
99,999	5,26 minut	26,30 sekund	6,05 sekund	864 milisekund
99,9999	31,56 sekund	2,63 sekund	604,80 milisekund	86,40 milisekund
99,99999	3,16 sekund	262,98 milisekund	60,48 milisekund	8,64 milisekund

Tabulka 1: Definice procentuální dostupnosti [7]

Každý ze zákazníků vyžaduje co nejvyšší dostupnost poskytovaných služeb. Je to poměrně logické, jelikož nedostupnost služby znamená prostoje a (finanční) ztráty. Taktéž je tento termín poměrně obecný a u každé služby může být chápana vysoká dostupnost jinak. Určitě bude rozdíl u požadavku na dostupnost například e-shopu versus interního webu se znalostní bází. S rostoucím požadavkem na vyšší dostupnost roste pak samozřejmě i cena služby.

2.7 Systém odolný proti selhání

S požadavkem na co nejvyšší dostupnost se setkáváme s pojmem systém odolný proti výpadku (fault tolerant, NoSPOF). V tomto systému se nesmí nacházet žádný kritický prvek, jehož výpadek by znamenal selhání celého systému. Je zde kladen důraz na zajištění dostupnosti 100 %. Celý systém musí kontrolovat zdraví svých částí a v případě výpadku některé provést opravu sám bez zásahu člověka. V případě IT systému to nejčastěji znamená on-line replikace virtuálních strojů mezi nody clusteru.

Docílení takto vysoké dostupnosti je možné díky redundanci (nadbytečnosti). V systému tak provozujeme více zařízení, než je pro zajištění funkčnosti nezbytně nutné. Tímto primárně nedosahujeme vyššího výkonu, ale větší dostupnosti - v případě výpadku jednoho z prvku systému existuje alternativní cesta.

3 Porovnání virtualizačních platforem

Obě popisované platformy mají co nabídnout a patří v praxi mezi nejpoužívanější. Taktéž obsahují podobné funkce, které se však jen jinak jmenují. Níže v jednotlivých kapitolách uvádím popis těchto platforem.

3.1 Microsoft Hyper-V

Microsoft Hyper-V bylo vydáno ve Windows Server 2008. Jedná se o hypervisor, který lze použít pro virtualizaci jak 32 bitového operačního systému tak i 64 bitového. Samotné jádro Hyper-V (označováno jako Hyper-V server) je nabízeno k použití zdarma, bez nutnosti licence. Druhou možností použití Hyper-V je jako role doinstalovatelná do Windows Serveru, zde je již nutno mít zakoupenu licenci pro Windows Server. Ve Windows Serveru 2016 se nachází Hyper-V ve verzi 5.0. Podporované hostované klientské OS jsou od Windows 7 SP1 po novější, serverové OS pak Windows Server 2008 a novější. V případě UNIX systémů se jedná o FreeBSD a další Linuxové distribuce [8].

3.1.1 Hyper-V server

Hyper-V server nemá grafické uživatelské rozhraní, pouze příkazový řádek. Grafické rozhraní se nedá ani doinstalovat jako v případě použití Hyper-V role. Ovládání je řešeno pomocí textové konzole a PowerShellu. Další možností ovládání je vzdáleně pomocí grafické MMC Hyper-V konzole nainstalované na počítači s OS Windows.

Díky tomuto, je ale zase méně náročný na hardware, tím pádem lze využít více hardwarových prostředků pro virtualizaci. Stejně tak na samotné jádro vychází méně aktualizací, což znamená méně nutných restartů. Absence grafického rozhraní může zvyšovat bezpečnost, protože ovládat Hyper-V přes GUI umí i méně zdatný uživatel, přes textové rozhraní to není již tak lehké.

3.1.2 Hyper-V jako role

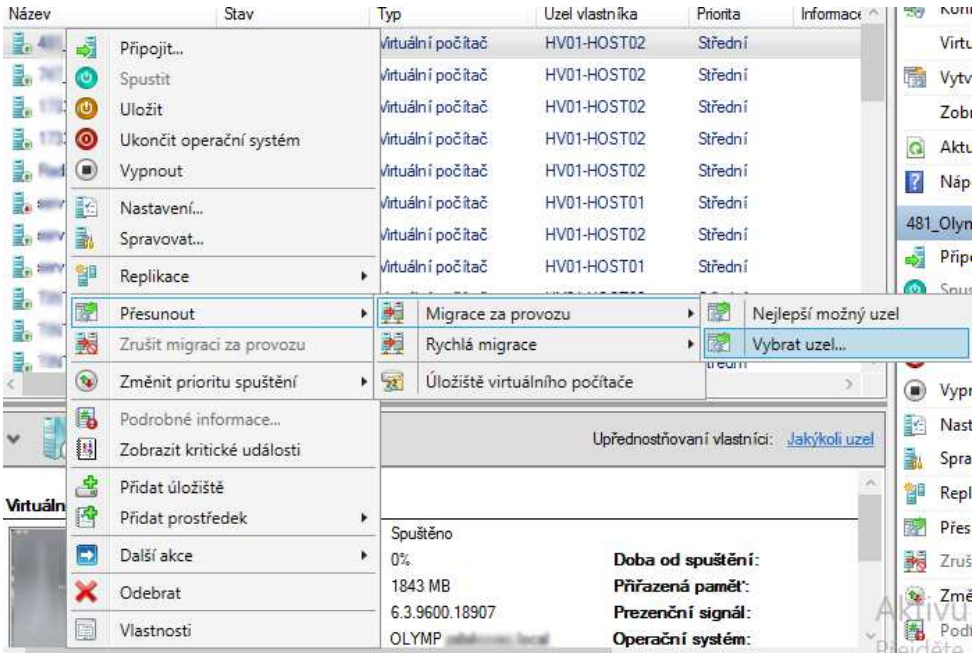
Při využití této možnost je nutné nainstalovat prvně samotný Windows Server. Poté přes správce serveru doinstalovat roli Hyper-V a provést restart serveru. Následně máme doinstalovanou roli a přibyla MMC konzole správce technologie Hyper-V.

3.1.3 Vysoká dostupnost

Microsoft v Hyper-V zajišťuje vysokou dostupnost na základě failover clusteringu. Každý node v clusteru může provozovat virtuální stroje a v případě havárie daného nodu jsou provozované virtuální stroje znovu spuštěny na ostatních členech clusteru. Tím vzniká nedostupnost od desítek sekund až po desítky minut v závislosti na rychlosti nastartování virtuálního stroje.

Microsoft Hyper-V nemá sám o sobě možnost provozu virtuálních strojů v režimu NoSPOF. Toto omezení je díky kernelu použitém ve Windows Serveru, který spoléhá na to, že režim NoSPOF zařídí hardware [9].

Pro funkčnost HA je v Hyper-V funkce migrace virtuálního stroje za provozu (ukázka použití na obrázku 5). Tato funkce se využívá i pro vyvažování zátěže, kdy ze zatíženého nodu jsou přesunuty virtuální stroje na méně zatížený node. Dále je této funkce využíváno při údržbě nodu. Druhou možností přesunutí virtuálního stroje je rychlá migrace, při které je virtuální stroj uspán, přesunut a znovu spuštěn, při využití této funkce dochází k nedostupnosti virtuálního stroje.



Obrázek 5: Živá migrace v Hyper-V

3.1.4 Clustering

Pro sestavení Hyper-V clusteru je nutné, aby členové měli stejnou verzi operačního systému, stejného výrobce procesoru včetně stejné rodiny procesoru. V opačném případě nelze cluster sestavit anebo využívat jeho všechny funkce (např. živé migrace). Každý node clusteru musí mít alespoň dvě síťové karty, které se využívají pro management a clusterovou komunikaci.

3.1.5 Licenční politika

Microsoft nabízí dvě edice Windows Serveru. Rozdíl mezi oběma je především v počtu instancí virtuálních strojů. V případě pořízení edice Stanard, lze jednou licencí zalicencovat až 3 instance (node + 2x virtuální stroj). V případě pořízení edice Datacenter je toto omezení odstraněno.

Tato edice se tak vyplatí od 13 provozovaných virtuálních strojů se systémem Windows Server. Zároveň tato licence pokrývá vždy jeden fyzický server.

	Standard	**Datacenter**
Počet instancí Windows Server	2 + Host	Neomezeně
Cena [Kč]	23 500	143 000

Tabulka 2: Licence Windows Server

3.2 VMWare vSphere

Společnost VMWare vznikla v roce 1998 a nabízí produkty, jak pro virtualizaci desktop prostředí (VMWare Player, VMWare Workstation), tak hypervisory pro virtualizaci serverů v podnikovém prostředí (vSphere).

vSphere je monolitický hypervisor prvního typu a poskytuje tak kompletní virtualizaci hardware pro virtuální stroj. Zároveň umožňuje průchod (passthrough) fyzického hardware přímo do virtuálního stroje. vSphere pro svůj běh využívá Linuxové jádro, které je upraveno pro běh virtuálních strojů.

3.2.1 Vysoká dostupnost

Podobně jako v případě Hyper-V, i zde je zajištěna vysoká dostupnost pomocí failover clusteru. Pro přesun virtuálních strojů mezi node clusteru bez výpadku se využívá funkce vMotion. Tato funkce zajišťuje přesunutí běžícího virtuálního stroje na další node postupnou synchronizací dat. Při této funkci dochází pouze k přesunu prostředků a dat v paměti mezi node.

Pro přesun úložiště virtuálního stroje se využívá funkce Storage vMotion, která dovoluje přesunout úložiště běžícího virtuálního stroje bez výpadku (např. z interního RAID pole na SAN).

Pro vyvažování zátěže mezi node v clusteru se využívá funkce DRS (Dynamic Resource Scheduler), která na pozadí využívá vMotion proto, aby dosáhla ideálního rozložení zátěže mezi jednotlivé node clusteru. Zároveň se DRS využívá například pro přepnutí node do stavu údržby.

V případě výpadku node s virtuálními stroji dochází díky HA k opětovnému nastartování virtuálního stroje na jednom z dalších členů clusteru. HA může být rozšířeno o funkci FT (Fault Tolerance), kdy jeden virtuální stroj běží v druhé kopii na jiném node clusteru. V reálném čase dochází k synchronizaci vůči primární VM a v případě výpadku primární VM je ihned k dispozici kopie, která se nachází ve stejném stavu jako primární VM před výpadkem.

3.2.2 Licenční politika

vSphere lze používat i ve verzi zdarma, kdy stačí registrace na webových stránkách VMWare. Tato verze je vhodná jen pro standalone provoz bez dalších přidaných funkcí, vychází z verze Essentials. Pro prostředí malých firem nabízí VMWare dvě verze: Essentials a Essentials Plus.

	Essentials Kit	**Essentials Plus Kit**
Funkce	ESXi	ESXi, vMotion, HA, vShield Endpoint, vSphere Replication
Cena [Kč]	17 000	129 000

Tabulka 3: vSphere pro malé firmy

U obou verzí můžeme zalicencovat až 3 node, kdy každý node může mít maximálně 2 procesory a zároveň můžeme node spravovat pomocí vCenter. Verze Essentials Plus je nutná pro HA cluster a nabízí základní funkce.

Pro větší organizace nabízí VMWare další dvě verze: Standard a Enterprise Plus. V tomto případě dochází ke změně licencování. Licencuje se každý fyzický procesor a každý node. Pro správu je nutné zakoupit zvlášť licenci vCenter Standard, u které se cena pohybuje okolo 210 000 Kč. U těchto licencí je již podpora pokročilých HA funkcí.

Funkce	**Standard**	**Enterprise Plus**
vMotion	vSwitch/Cloud	vSwitch/Cloud/vCenter
Storage vMotion	X	X
Fault Tolerant	2-vCPU	8-vCPU
Proactive HA		X
Distributed switch		X
Cena [Kč] / 1 CPU	34 000	72 000

Tabulka 4: vSphere pro velké firmy

4 Návrh řešení virtualizace pro střední firmu

Při návrhu řešení se zaměřuji rovnou na clusterové řešení - jedná se o požadavek od zákazníka. Dále je nutné zjistit hardwarové požadavky zákazníka, aby se dalo navrhnout vhodné řešení s rezervou do dalších let.

Cluster se bude skládat ze dvou serverů a jednoho úložiště. Servery budou ve shodné konfiguraci pro zajištění co možná nejlepší kompatibility a zjednodušení správy a dostupnosti náhradních dílů. Zjištěné požadavky od zákazníka na hardware serveru uvádím níže v tabulce 5. Samozřejmostí je railkit, možnost vzdálené správy včetně bootu z ISO souborů a to i s případnou nutnou licencí.

Rozměr serveru	maximálně 2U, 19"rack
Počet slotů pro CPU	minimálně 2
Počet zdrojů	2
Počet slotů RAM	24, DDR4, 12x 16 GB
SAS HBA	2x 12 Gbit/s včetně kabelů (min. 2,5 m)
Síť	Minimálně 2x 10 Gbit/s a 4x 1 Gbit/s Ethernet
Úložiště	SD Enterprise minimálně 32 GB pro hypervisor Možnost osadit minimálně 8x SFF disky
CPU	Každý procesor min. 20000 bodů, dohromady min. 28000 bodů
RAM	12x 16 GB DDR4

Tabulka 5: Požadavky na server pro virtualizaci

SAN datové úložiště bude řešeno centrálně pro oba servery a to na technologii SAS. Všechny komponenty datového úložiště musí být hot-plug. K úložišti musí být samozřejmě rack-mount kit, vestavěný engine pro monitoring výkonu, rozšiřitelnost na minimálně 120 disků, podpora SSD disků a disků SAS (15k; 10k; 7,2k). Úložiště musí podporovat rozšiřování a migraci RAID při provozu, šifrování dat. Případné dodané licence nesmí být vázány na počet připojených serverů, kapacitu diskového pole ani na počet jednotlivých disků. Zjištěné hardwarové požadavky na datové úložiště jsou uvedeny v tabulce 6.

Rozměr úložiště	maximálně 2U, 19"rack
Řadič	2 řadiče v HA režimu, každý s 8 GB zálohovanou cache Připojení min. 4 serverů v HA zapojení bez použití přepínače Minimálně 4x SAS 12 Gbit/s a 1x LAN pro správu na řadič
RAID	Podpora 0, 1, 1+0, 5 a 6
Disky	8x SAS 1,2 TB 10k a 2x SAS SSD o kapacitě min. 800 GB

Tabulka 6: Požadavky na datové úložiště

Servery i datová úložiště mají následující požadavky společné:

- Na veškeré komponenty garantována záruka výrobcem minimálně 5 let v režimu minimálně 8x5 NBD on-site
- Garance dostupnosti náhradních dílů minimálně po dobu 36 měsíců po ukončení záruky
- V případě vadného disku v záruční době nebude výrobce požadovat vrácení disku zpět
- Podpora stahování ovladačů, aktualizací firmware a manuálů z Internetu
- Veškeré komponenty musí být kompatibilní s MS Windows Server a s VMWare vSphere
- Servery i úložiště musí být od stejného výrobce, v opačném případě je nutná garance vzájemné kompatibility

4.1 Výběr hardware

Pro výběr výrobce hardware jsem volil z nejpoužívanějších výrobců s největším podílem na trhu a to Dell Inc., HPE a IBM/Lenovo [10]. Protože mám největší zkušenosti s hardware od HPE a protože je i zároveň mezi trojicí vyjmenovanou výše, zvolil jsem jej jako výrobce hardware pro návrh řešení. Pro konfiguraci jednotlivých dílů a zajištění kompatibility využiji program HPE Product Bulletin, který obsahuje podrobnou databázi produktů HPE a jejich technické specifikace.

Vybraný hardware pro server, který splňuje požadavky zákazníka je uveden v tabulce 7. Pro sestavení clusteru budou potřeba minimálně dva tyto servery. Zároveň v tabulce není uvedena žádná licence pro hypervisor. Jediné nehmotné věci jsou pouze licence pro iLO a carepack.

Tělo	HPE DL360 Gen10 8SFF CTO
CPU	2x HPE DL360 Gen10 Xeon-G 6136 Kit
RAM	12x HPE 16GB 2Rx8 PC4-2666V-R
SAS HBA	HPE Smart Array E208e-p SR Gen10 Ctrlr
Ethernet	Intel Eth Converged Adpt X710-DA2
SD karta	HP 32GBmicroSDMainstream Flash Media Kit
Zdroj	2x HPE 800W FS Plat Ht Plg LH Pwr Sply Kit
Vzdálená správa	HP iLO Adv 1-Svr incl 1yr
Záruka	HPE 5Y FC NBD DL360 Gen10 SVC

Tabulka 7: Vybraný hardware pro server

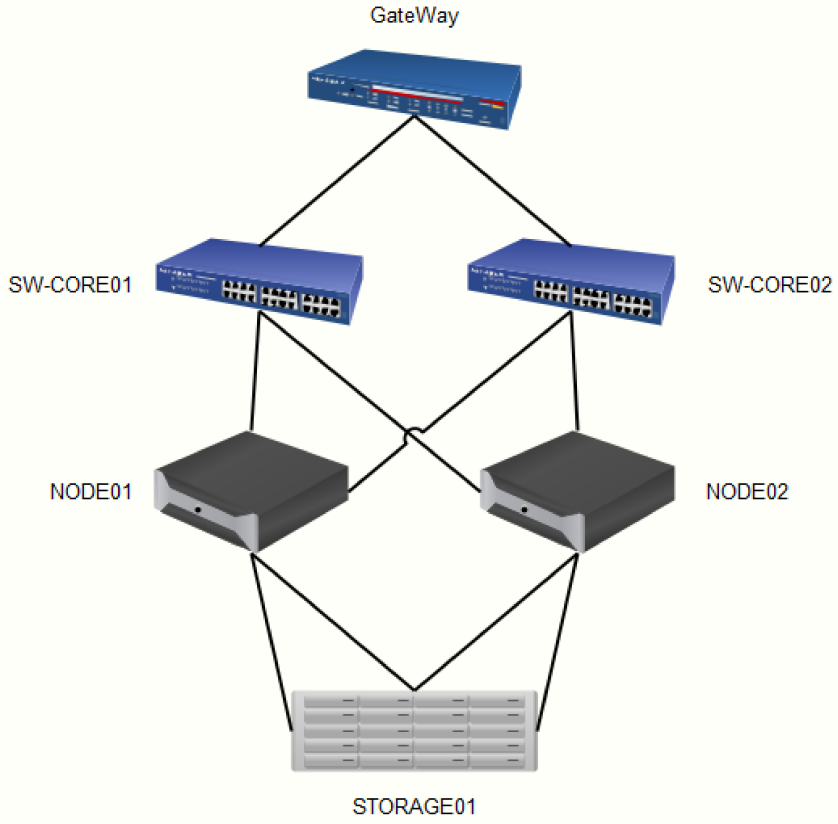
Úložiště pro cluster jsem zvolil od stejného výrobce, kde je zaručena a praxí ověřena kompatibilita. Zároveň jej doplnil o disky dle požadavků. Nehmotnou věcí je v tomto případě rozšiřující záruka na 5 let, kdy není vyžadováno vrácení poškozeného disku zpět výrobci. Popisovaný hardware je sepsán v tabulce 8.

Tělo	HPE MSA 2050 SAS DC SFF Storag
SSD	2x HPE MSA 800GB 12G SAS MU 2.5in SSD
HDD	8x HP MSA 1.2TB 12G SAS 10K 2.5in ENT HDD
Záruka	HPE 5Y FC NBD wDMR MSA 2050 Storage SVC

Tabulka 8: Vybraný hardware pro úložiště

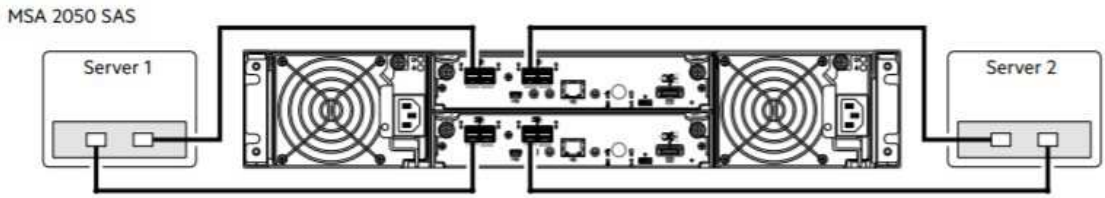
4.2 Fyzické zapojení

Pro dodržení redundantního zapojení je nutné, aby veškeré propoje v LAN i SAN síti byly vždy zdvojené a vedly do rozlišných zařízení či řadičů. V případě LAN sítě to znamená mít propojen každý server minimálně dvěma propoji do minimálně dvou přepínačů, jako je zobrazeno na obrázku 6.



Obrázek 6: Redundantní zapojení clusteru

Pro SAN síť to znamená mít ze serverového HBA dva propoje do úložiště, každý do jiného řadiče jako je uvedeno na obrázku 7.



Obrázek 7: Redundantní zapojení MSA2050 [11]

Redundantním zapojením dle výše uvedených pokynů docílíme NoSPOF režimu, kdy výpadek jakéhokoliv zařízení v celém systému neohrozí provoz a stabilitu tohoto systému.

4.3 Řešení hardware

Jelikož hardware bude pro Hyper-V i vSphere cluster shodný, bude uveden v této kapitole samostatně. Cenová nabídka vychází z požadavků na hardware dle zákazníka. Ceny jsou volně dostupné a uvedeny v Kč bez DPH. Jsou platné pro leden 2019, uvedeny z e-shopu ATC Market.

Rozpad cen jednotlivých hardware komponent pro jeden node clusteru je v tabulce níže.

Položka	**Kusů**	**Cena/Kus [Kč]**	**Celkem [Kč]**
HPE DL360 Gen10 8SFF	1	40 665	40 665
HPE DL360 Gen10 Xeon-G 6136 Kit	2	81 015	162 030
HPE 16GB 2Rx8 PC4-2666V-R	12	7 183	86 196
HPE Smart Array E208e-p SR Gen10 Ctrlr	1	5 915	5 915
Intel Eth Converged Adpt X710-DA2	1	7 412	7 412
HP 32GBmicroSDMainstream Flash Media Kit	1	4 411	4 411
HPE 800W FS Plat Ht Plg LH Pwr Sply Kit	2	4 837	9 674
HP iLO Adv 1-Svr incl 1yr	1	6 159	6 159
HPE 5Y FC NBD DL360 Gen10 SVC	1	42 038	42 038
Celkem			**364 500**

Tabulka 9: Cenový rozpad pro server

Rozpad cen pro clusterové úložiště je uveden v následující tabulce.

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
HPE MSA 2050 SAS DC SFF Storag	1	131 115	131 115
HPE MSA 800 GB 12G SAS MU 2.5in SSD	2	88 924	177 848
HP MSA 1.2TB 12G SAS 10K 2.5in ENT HDD	8	5 588	44 704
HPE 5Y FC NBD wDMR MSA 2050 Storag	1	119 242	119 242
Celkem			**472 909**

Tabulka 10: Cenový rozpad pro úložiště

4.4 Řešení na technologii Microsoft

Pro sestavení clusteru jsem vybral licence Windows Server 2019 ve verzi Standard. Standardní licence pokrývá v základu 16 jader procesoru, jelikož node clusteru je osazen procesorem 2x Intel Xeon 6136, který má 12 jader je nutno rozšířit licenčně o 8 jader. Rozpad cen licencí pro Hyper-V je uveden v tabulce 11.

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
Win Svr Std 2019 1pk OEM DVD 16 Core	1	19 401	19 401
Win Svr Std 2019 1pk OEM 4Cr POS AddLic	2	4 934	9 868
Celkem			**29 269**

Tabulka 11: Cenový rozpad pro Hyper-V licence

Pro kompletní sestavení clusteru bude potřeba zakoupit 2x node uvedený v tabulce 9 dále pak úložiště uvedené v tabulce 10 a 2x licence uvedené v tabulce 11. Vše je shrnuto níže v tabulce číslo 12. Celková cena za cluster s hypervisorem Microsoft Hyper-V je 1 260 447 Kč bez DPH.

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
HPE DL360 Gen10 Node	2	364 500	729 000
HPE MSA2050 Storage	1	472 909	472 909
Hyper-V licence	2	29 269	58 538
Celkem			**1 260 447**

Tabulka 12: Cenový rozpad pro Hyper-V cluster

4.5 Řešení na technologii VMWare

Pro provozování vSphere clusteru jsem vybral licenci VMWare vShere Essentials Plus Kit. Tato licence umožňuje provoz až na třech serverech bez omezení CPU. Cena za pořízení licence je uvedena níže v tabulce.

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
VMw vSphere 6 Essentials Plus Kit	1	96 988	96 988
Celkem			**96 988**

Tabulka 13: Cenový rozpad pro vSphere licence

K sestavení vSphere clusteru bude potřeba zakoupit 2x node, který je uveden v tabulce 9. Pro uložení dat je potřeba zakoupit úložiště z tabulky 10 a licence dle tabulky 13. Vše pro celý cluster je shrnuto níže v tabulce 14. Celková cena za cluster provozovaný na technologii VMWare vSphere je 1 298 897 Kč bez DPH.

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
HPE DL360 Gen10 Node	2	364 500	729 000
HPE MSA2050 Storage	1	472 909	472 909
vSphere licence	1	96 988	96 988
Celkem			**1 298 897**

Tabulka 14: Cenový rozpad pro vSphere cluster

5 Realizace řešení a jeho otestování

V kapitole je popsán postup realizace řešení, od samotného složení serveru přes konfiguraci hypervisoru až po testy ve virtuálních strojích.

Z důvodu nemožnosti se dostat k navrženému hardware jsem využil pro LAB dostupný hardware, který je nejpodobnější navrhovanému. Jedná se o dva servery HPE DL360 Gen7 a úložiště HP MSA P2000 Gen3. Hardware je popsán níže v tabulce 15 a 16.

Tělo	HPE DL360 Gen7
CPU	2x Intel Xeon E5630
RAM	12x HPE 2 GB 1333 MHz a 6x HPE 4 GB 1333 MHz
iSCSI HBA	QLogic QLE4062C
Zdroj	2x HPE 500W
Disky	2x HP 72-GB 6G 15K 2.5 DP SAS

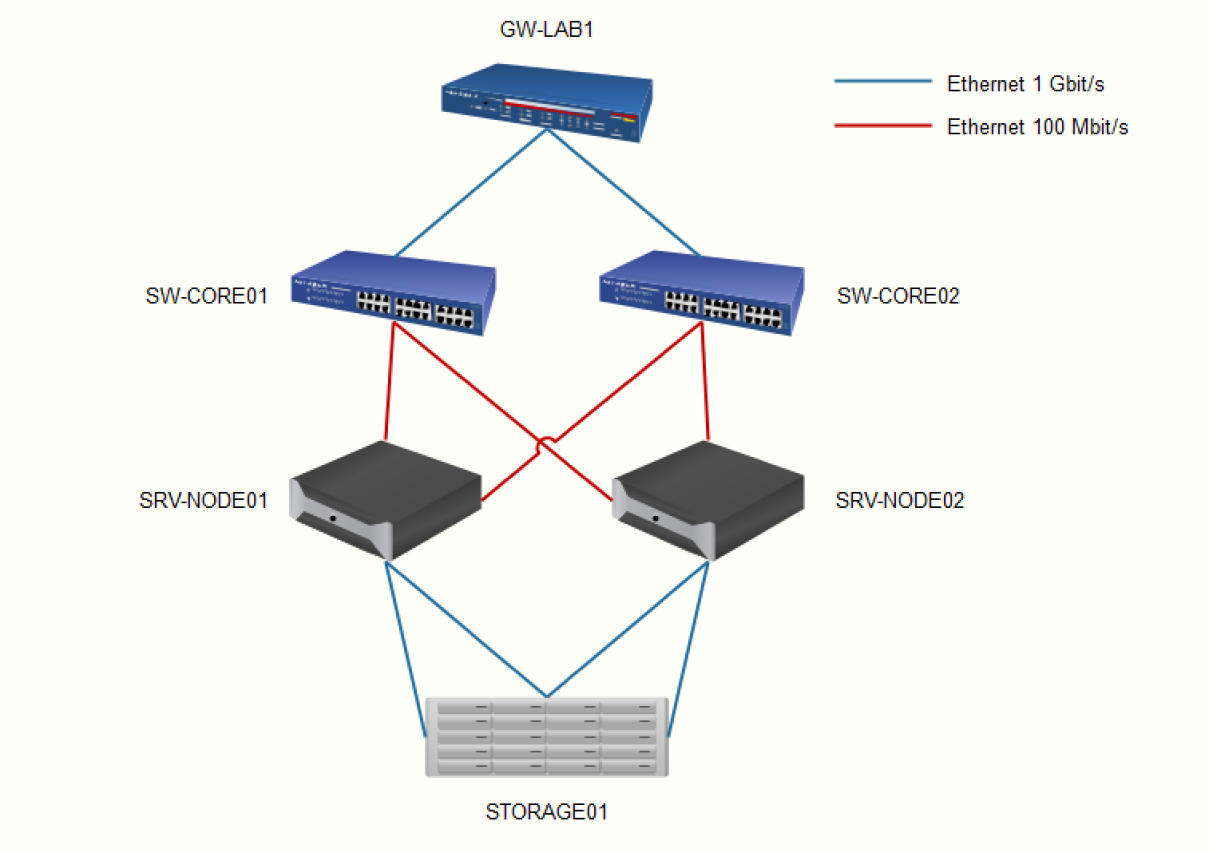
Tabulka 15: Použitý hardware pro server

Tělo	HP MSA P2000 G3 iSCSI
HDD	2x HP 72-GB 3G 15K 2.5 DP SAS 4x HP 146-GB 6G 15K 2.5 DP SAS 2x HP 500-GB 3G 7.2K 2.5 SATA

Tabulka 16: Použitý hardware pro úložiště

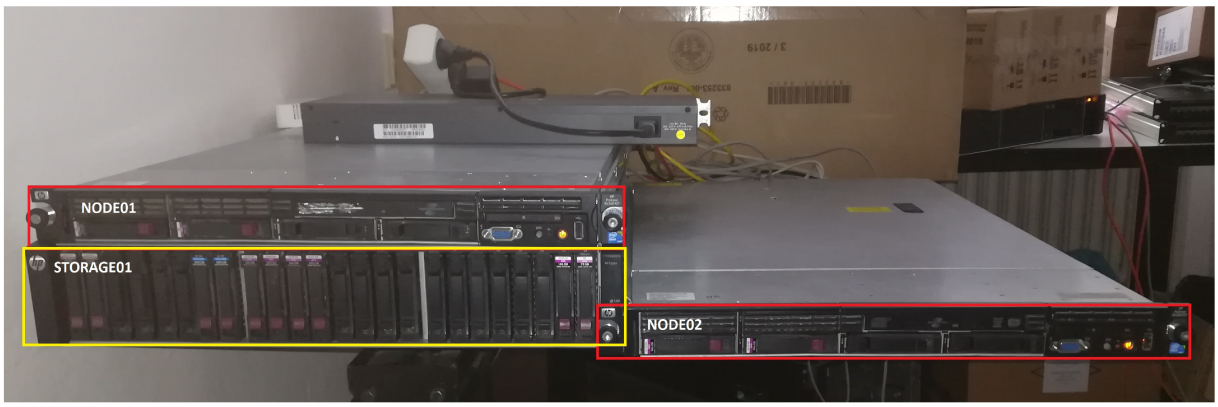
5.1 Fyzické zapojení serverů v síti

Pro simulaci stacku core switchů jsem využil switch HP ProCurve 1810G 24 GE, rozdělený do dvou VLAN, simulující CORE1 a CORE2 switche. Zapojení úložiště je řešeno redundantně pomocí iSCSI HBA dle obrázku 7 a servery jsou redundantně zapojeny do sítě dle návrhu na obrázku 6. Pro laboratorní účely jsou síťové karty serverů nastaveny pouze na rychlost 100 Mbit/s full fuplex a jsou v hypervisoru nastaveny v agregační skupině, každý server má tak konektivitu 200 Mbit/s do CORE. Reálné zapojení je vyobrazeno na obrázku 8 níže.

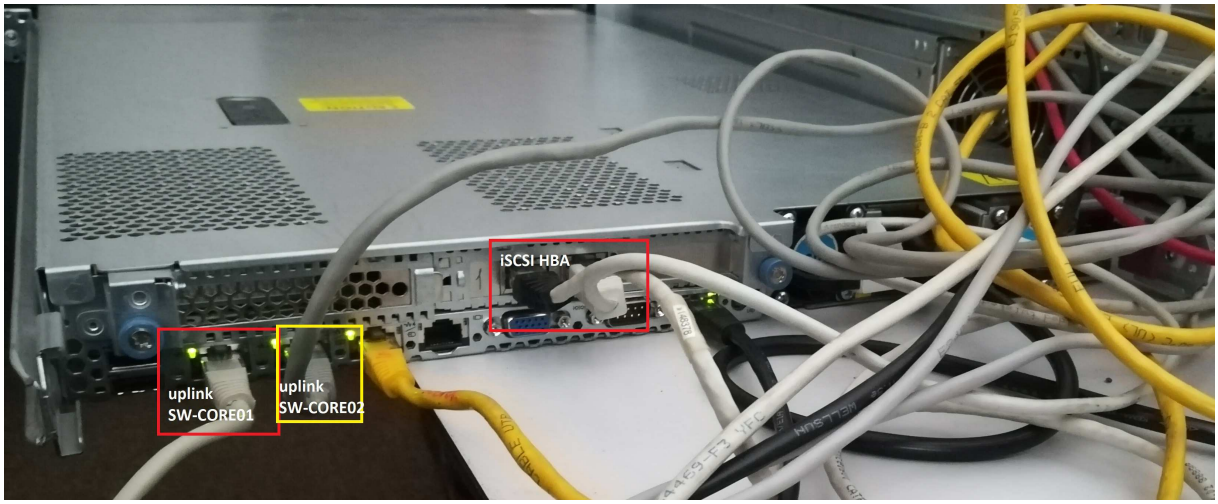


Obrázek 8: Reálné zapojení CSV clusteru v LABu

Na fotografiích níže, lze vidět fyzické zapojení clusteru v laboratorních podmínkách pro otestování. Na obrázku 9 je zobrazen cluster z přední strany, na obrázku 10 pak zapojení NODE02.



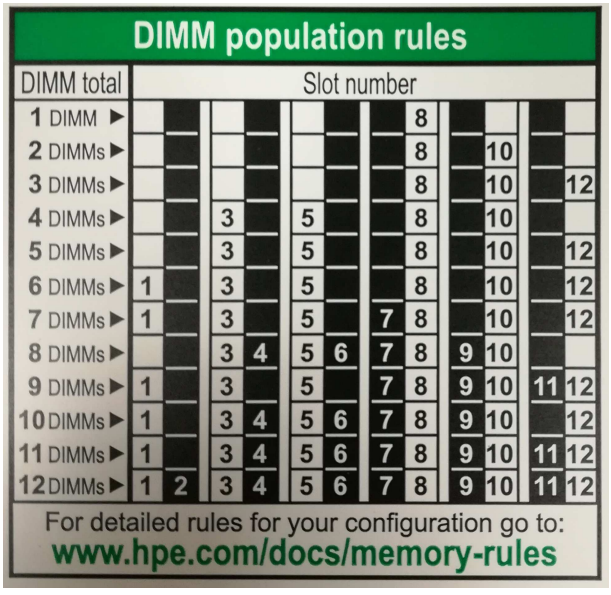
Obrázek 9: Fyzické zapojení CSV clusteru v LABu - přední pohled



Obrázek 10: Fyzické zapojení CSV clusteru v LABu - zadní pohled

5.2 Kompletace a instalace serveru

Při kompletaci jednotlivých komponent serveru je vhodné se držet pokynů dle manuálu výrobce. Obzvlášť při osazování serveru druhým procesorem, například aby nedošlo k špatnému osazení procesoru do patice nebo při instalaci chladiče procesoru k uštípnutí jeho části. Dále při osazování serveru paměťmi RAM je vhodné dodržet správné pořadí jednotlivých modulů a jejich rozdělení dle kanálů a procesorů, tak aby došlo k maximálnímu využití jejich potenciálu. Návod nejčastěji bývá vyobrazen na víku serveru (obrázek 11) případně je možno využít konfigurátor na stránkách výrobce [12].



Obrázek 11: Osazení paměti v serveru

Při osazení serveru do racku je více než vhodné si kromě produkční sítě do síťových adaptérů taktéž zapojit i management rozhraní serveru - v našem případě iLO. Pomocí tohoto rozhraní jsme následně schopni server na dálku ovládat stejně jako kdybychom byli u něho fyzicky. Dále přes toto rozhraní můžeme provést instalaci hypervisoru, provést monitoring a diagnostiku hardware nebo využít vzdálené konzole. Než bude nasazen server do produkčního prostředí doporučuji nakonfigurovat IP adresu pro toto rozhraní, změnit výchozí přihlašovací údaje, provést vložení licenčního klíče pro zpřístupnění pokročilých funkcí ovládání a nastavení modulu Power Regulator na hodnotu Static High Performance Mode, který je nejvhodnější pro provoz virtuálních prostředí (nedochází pak k podtaktování procesoru a k dalším úsporným funkcím, které jsou v tomto případě nežádoucí). Servery obsahují redundantní zdroje, proto je nutné zapojit i redundantně napájení s tím, že alespoň jedna napájecí větev by měla být zálohovaná z UPS.

Při propojování jednotlivých nodů s úložištěm doporučuji udržet logické návaznosti. Nejvíce se mi osvědčilo následující zapojení:

- 1. SAS port node-1 do 1. portu A řadiče úložiště
- 2. SAS port node-1 do 1. portu B řadiče úložiště
- 1. SAS port node-2 do 2. portu A řadiče úložiště
- 2. SAS port node-2 do 2. portu B řadiče úložiště

Díky udržení tohoto zapojení je pak v budoucnosti velice jednoduché zjistit fyzické zapojení i jinak než „následováním kabelu“.

Po zapnutí serveru bude na jeho přední straně svítit několik LED diod, signalizujících stav serveru. Všechny LED diody musí svítit zeleně (kromě UID, obrázek 12), v opačném případě je někde chyba a je nutné provést diagnostiku a chybu opravit. Nejčastější chybou bývá například nezapojené oba napájecí zdroje serveru, špatně osazené RAM moduly a jiné. Ke snadnější diagnostice nám může přispět iLO a jeho IML log.

Obrázek 12: LED na předním panelu serveru

Před samotnou instalací hypervisoru doporučuji provést instalaci HPE Service Pack for ProLiant (SPP). SPP je ISO obraz balíku aktualizací softwaru a firmware vydaný výrobcem

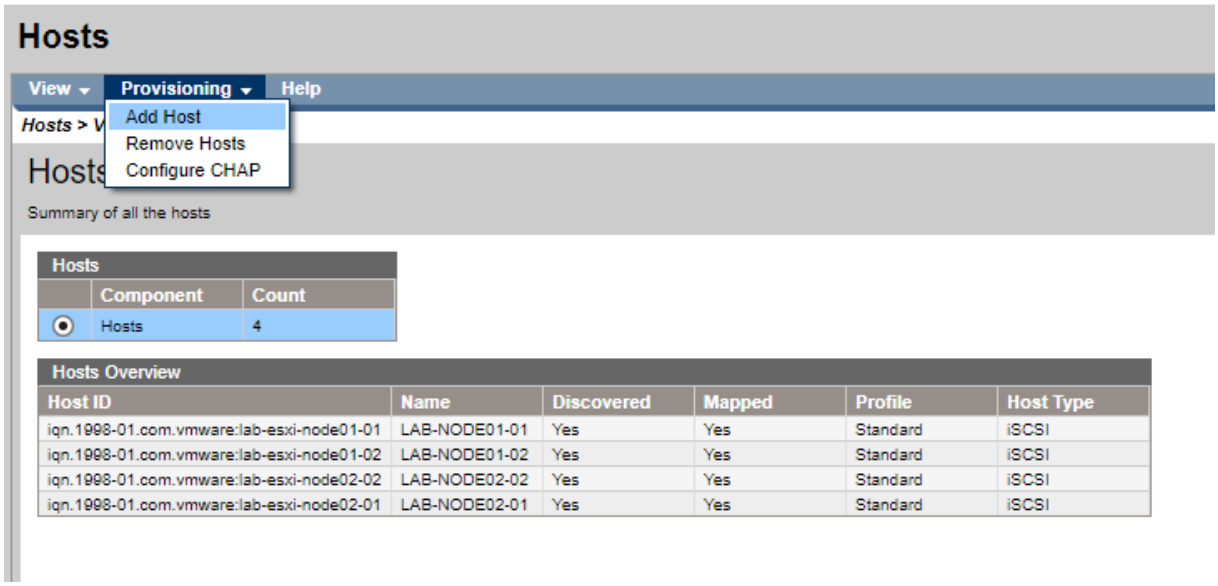
hardware. Instalací SPP docílíme toho, že veškeré komponenty budou mít bezpečnostní záplaty a poslední verze firmware. Tyto aktualizace velice často opravují nejen chyby, ale přinášejí zvýšení výkonu anebo rozšiřují kompatibilitu jednotlivých HW komponent a softwaru. Instalace se provádí nabootováním ze staženého ISO disku a následným průvodcem v SPP.

Abychom měli kde nainstalovat hypervisor, je nutné vytvořit logickou jednotku z dostupných disků. Pro hypervisor budou stačit 2 disky s kapacitou 300 GB (nebo interní SD karta). Nad těmito disky vytvořit RAID 1 pole a nad tímto polem vytvořit logickou jednotku určenou pro hypervisor. Správa polí a logických jednotek se provádí pomocí aplikace HPE Smart Storage Administrator (SSA), která je dostupná pod klávesou F10 při bootu serveru.

5.3 Konfigurace úložiště

Konfigurace samotného úložiště bude pro oba clustery shodná. Prvně je nutné z fyzických disků umístěných v úložišti vytvořit jednotlivá pole (virtuální disky), která budeme používat. Při vytváření virtuálního disku vybíráme, které fyzické disky chceme do skupiny umístit, úroveň RAID a jméno.

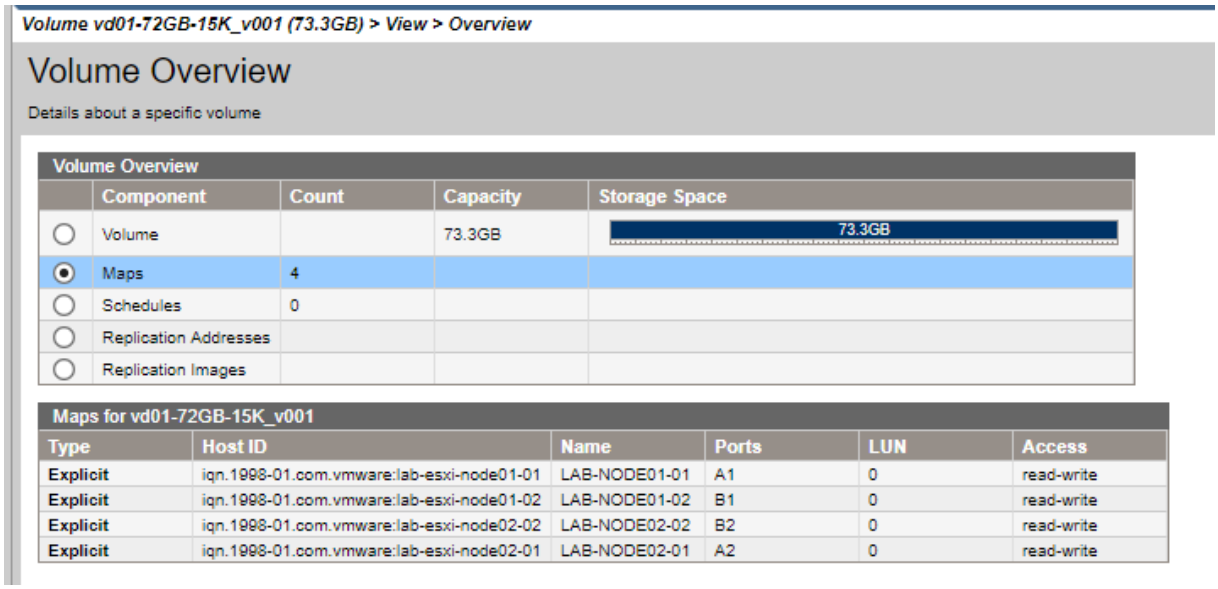
Poté je nutné vytvořit v úložišti jména pro jednotlivé iSCSI adaptéry NODE01 a NODE02 (WWN identifikátory), které budou přistupovat do virtuálních disků uložených v úložišti. Následně tato jména budeme používat při mapování virtuálních disků na konkrétní porty serveru a úložiště.



Obrázek 13: Pojmenování hostů a WWN

Následně nad virtuálním diskem můžeme vytvořit svazek, vytvořit mapování mezi svazkem a fyzickými porty úložiště a jednotlivými node. Na příkladu lze vidět, že do svazku vd01-72GB-15K má read-write přístup server LAB-NODE01 pomocí prvního portu iSCSI HBA přes první

port A kontroléru úložiště. Pomocí druhého iSCSI HBA portu má stejný node přístup do tohoto svazku přes první port B kontroléru úložiště. Stejné mapování je aplikováno pro NODE02. Mapování vychází z fyzického zapojení z obrázku 7.



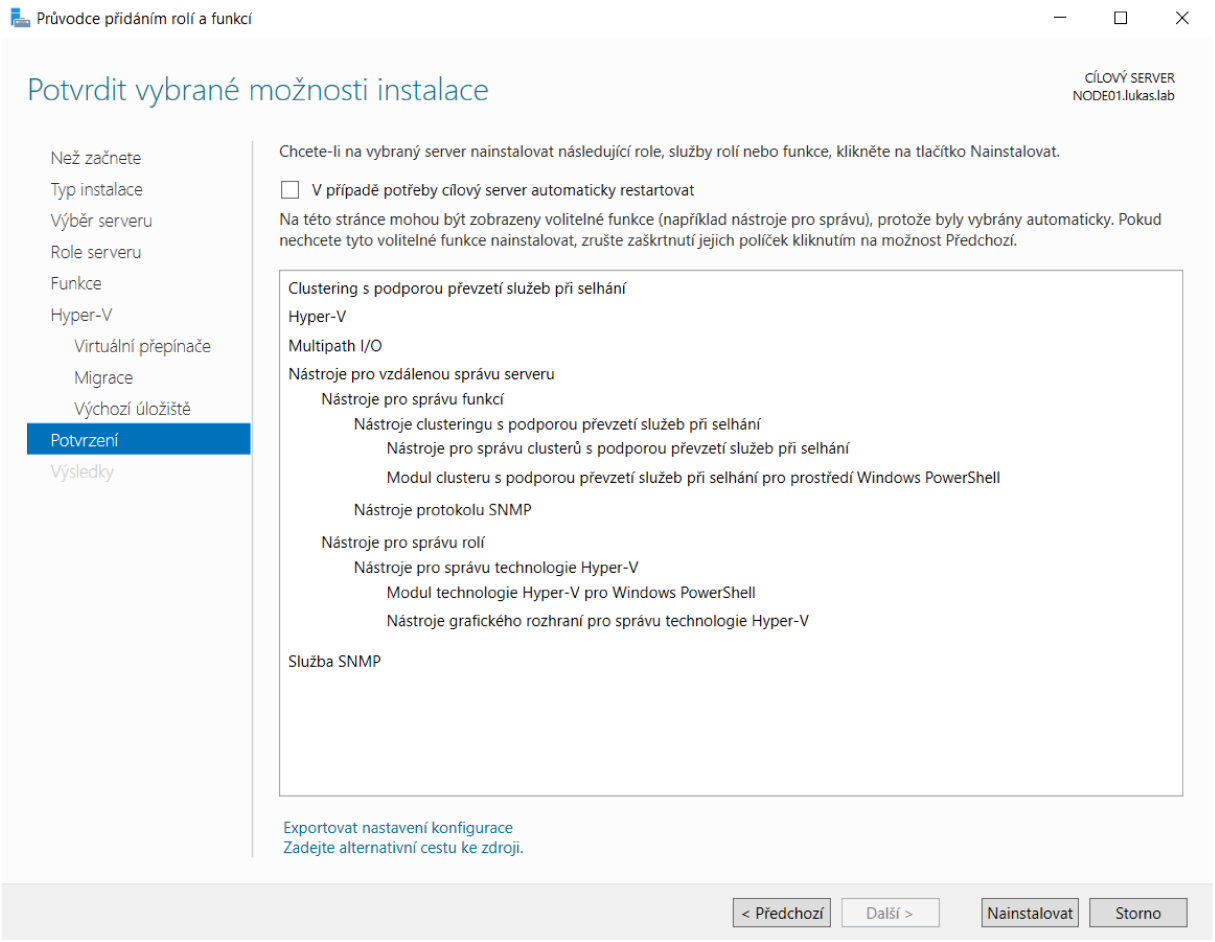
Obrázek 14: iSCSI mapování svazků

5.4 Microsoft Hyper-V

V kapitole je podrobně popsáno sestavení clusteru na technologii Hyper-V.

5.4.1 Instalace Microsoft Hyper-V

Na fyzickém serveru je již nainstalovaný Windows Server 2016 Datacenter s GUI včetně všech vydaných aktualizací. Po přihlášení k serveru provedeme instalaci potřebných rolí a funkcí pomocí správce serveru (obrázek 15).



Obrázek 15: Instalace rolí a funkcí na NODE01

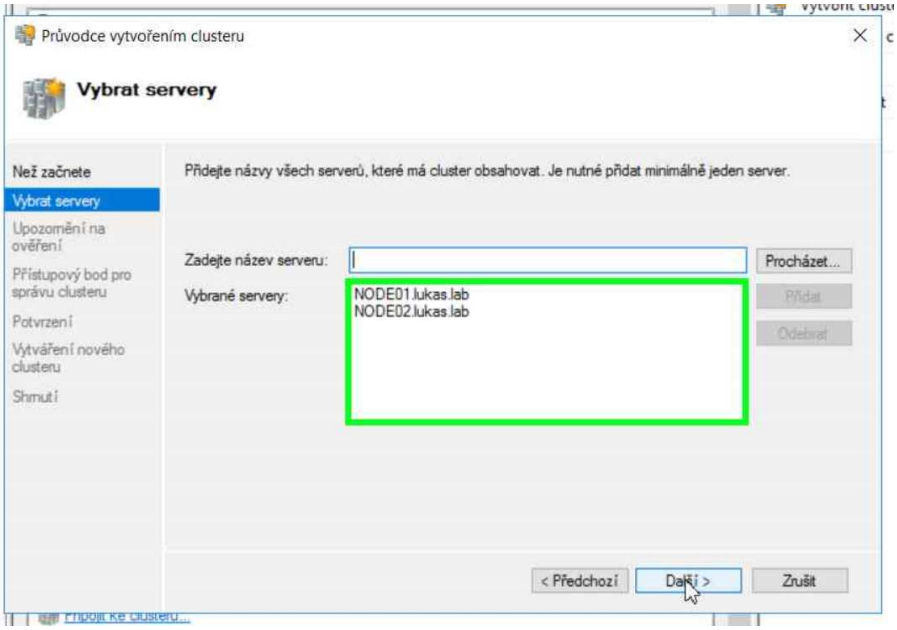
Role Hyper-V zajišťuje instalaci Hypervisora pro provoz virtuálních strojů. Zároveň doinstaluje další závislosti (např.: nástroje pro grafické ovládání modulu Hyper-V). Funkce Clustering s podporou převzetí při selhání je potřebná k vytvoření HA clusteru. Funkce Multipath I/O je potřebná k přístupu na sdílené úložiště clusteru pomocí více redundantních fyzických cest. Funkce SNMP je instalována pro monitoring a sběr informací z daného node. Po úspěšné instalaci je potřeba celý server restartovat, instalace na druhý node je totožná.

5.4.2 Sestavení clusteru

Pro jednodušší sestavení clusteru je vhodné na jeden z node (případně na jiný server) nainstalovat roli Active Directory a vytvořit samostatnou doménu pro cluster. Stejný princip funguje i u VMWare, kdy VCSA vytváří vlastní doménu pro členy clusteru.

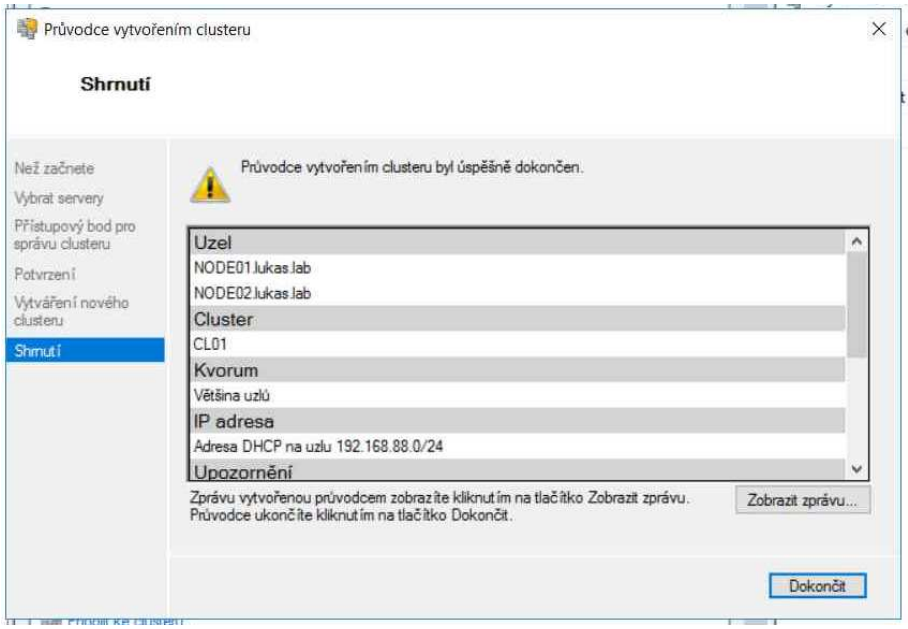
Jednotliví členové clusteru jsou přidáni do domény (lukas.lab), která zprostředkovává vztahy důvěry mezi NODE01 a NODE02. Po úspěšném přidání obou node do domény je nutný opět restart serveru. Po nastartování serveru se již hlásíme doménovým účtem, nikoliv lokální - v mém případě je účet Administrator@lukas.lab.

Konfigurace clusteru se provádí přes konzoli Správce clusteru s podporou převzetí služeb při selhání, která je ve složce Nástroje pro správu Windows. V konzoli vybereme možnost Vytvořit cluster, která spustí průvodce. V průvodci přidáme oba servery do clusteru (obrázek 16).



Obrázek 16: Přidání node do clusteru

Průvodce spustí několik testů na přidaných node, aby zjistil kompatibilitu a mohl nad nimi vytvořit cluster. V případě, že nenarazí na žádnou chybu, je možnost sestavit cluster a pojmenovat jej. Následně projde registrace do Active Directory a cluster je sestaven (obrázek 17).



Obrázek 17: Sestavený cluster

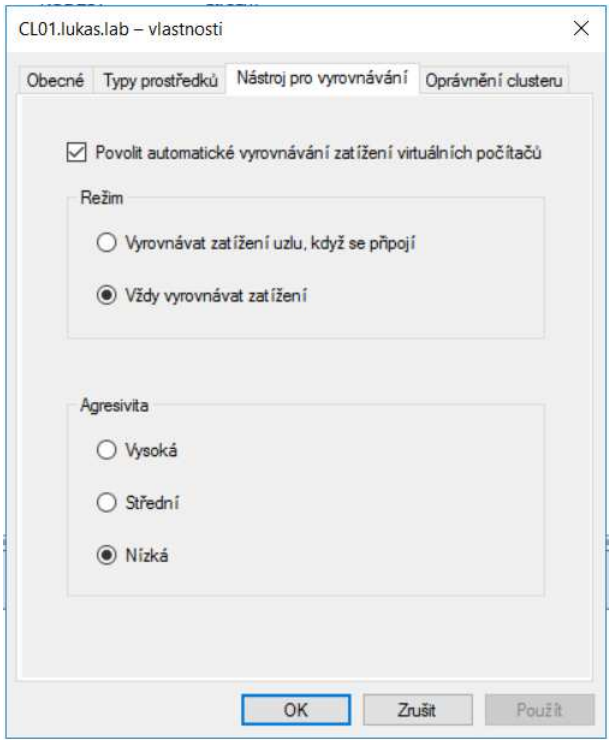
Cluster je automaticky v režimu HA a probíhá vyvažování zátěže mezi jednotlivými node, všechny běžící virtuální stroje v clusteru (označovány jako Role) toto nastavení dědí.

Ve výchozím stavu probíhá vyvažování zátěže v periodických 30 minutových intervalech a k přesunu virtuálního stroje dojde v případě, že daný node je vytížen na více jak 80 % (na základě vytížení RAM a CPU).

Toto chování lze ovlivnit přepnutím režimu na vyrovnávání zátěže jen v případě připojení node do clusteru nebo změnou agresivity (tabulka 17 [13]).

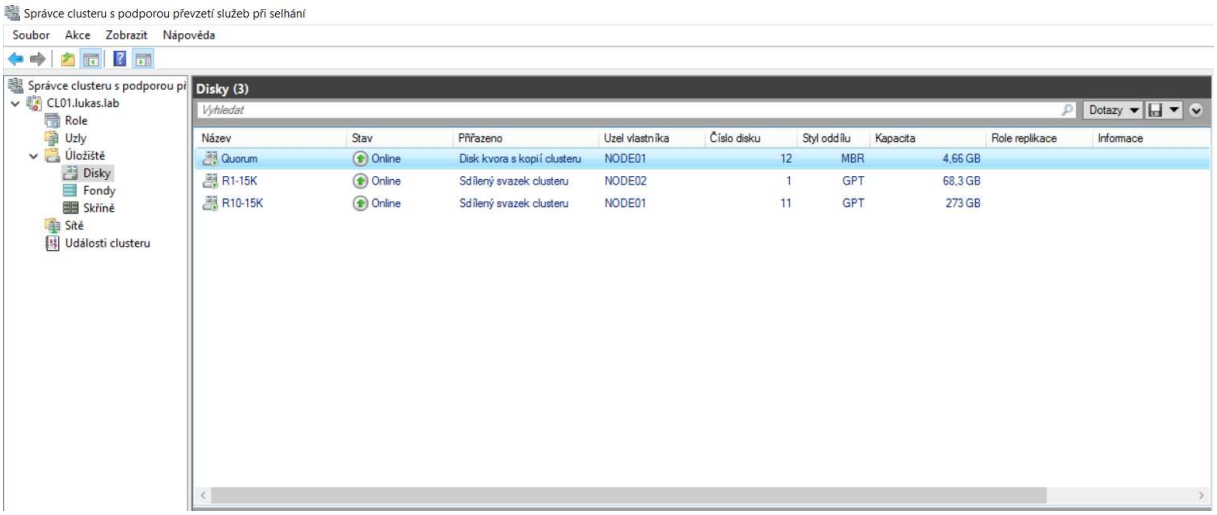
Agresivita	**Popis chování**
Nízká	Migrace, v případě že node je vytížen z více než 80 %
Střední	Migrace, v případě že node je vytížen z více než 70 %
Vysoká	Migrace, v případě že node je vytížen o více než 5 % průměru mezi node

Tabulka 17: Popis agresivity při vyrovnávání zátěže



Obrázek 18: Konfigurace vyvažování zátěže

Aby bylo kam ukládat data virtuálních strojů, je potřeba do clusteru přidat úložiště. Cluster si bere úložiště z node, proto každý node clusteru musí mít přístup k tomuto úložišti. Připojení k iSCSI úložišti je možné pomocí Iniciátor iSCSI, který se nachází v Nástrojích pro správu Windows. V iniciátoru přidáme WWN adresu MSA úložiště, díky čemuž získáme přístup k jednotlivým LUN na tomto úložišti. Disky se poté objeví ve Správci disků Windows. Tyto disky můžeme následně v konzoli Správce clusteru pod volbou Úložiště -> Disky přidat jako clusterové úložiště (obrázek 19).

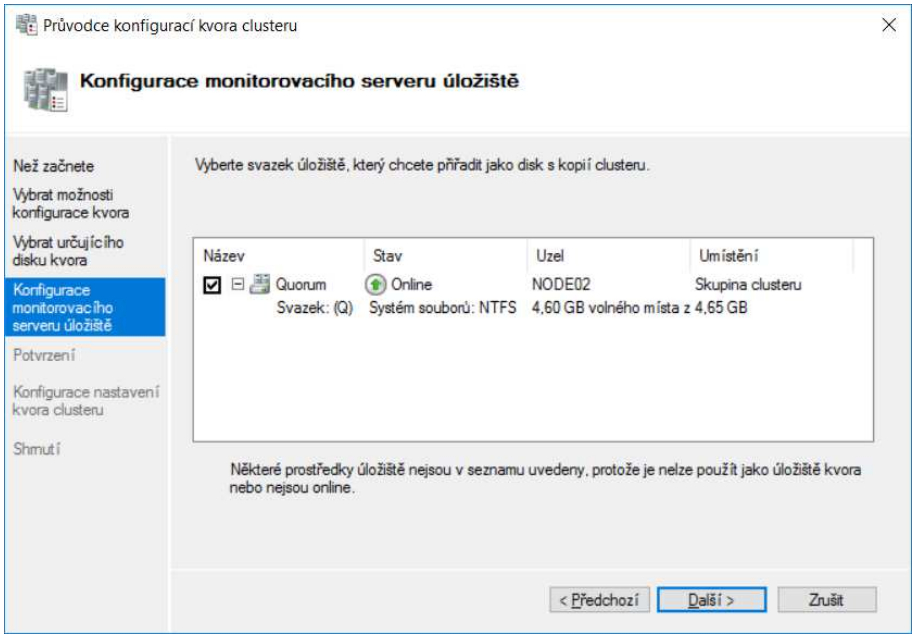


Obrázek 19: Úložiště clusteru

5.4.3 Konfigurace Microsoft Hyper-V

Každý funkční node z clusteru má hlas a cluster je provozuschopný v případě, že obsahuje nadpoloviční většinu hlasů. Pokud máme cluster dvou node, tak by v případě výpadku jednoho node měl cluster pouze jeden hlas a nebyl by provozuschopný. Pro tento případ musíme vytvořit diskové quorum (quorum disk, svědek), které bude přidávat hlas clusteru v případě dostupnosti tohoto disku a tento disk je nutné umístit na iSCSI úložiště. V případě výpadku jednoho z node je k dispozici stále nadpoloviční většina hlasů a cluster může takto fungovat.

Pro tento disk postačuje velikost 5 GB, stačí jej naformátovat na NTFS a přiřadit disku písmeno (např. Q). Následně ve správci disků tento disk převedeme do režimu offline. V konzoli správce clusteru pak nad clusterem zvolíme možnost Konfigurovat nastavení kvora clusteru. Přes tohoto průvodce zvolíme možnost Vybrat určující disk kvora a vybereme vyhrazený disk (Q), obrázek 20.



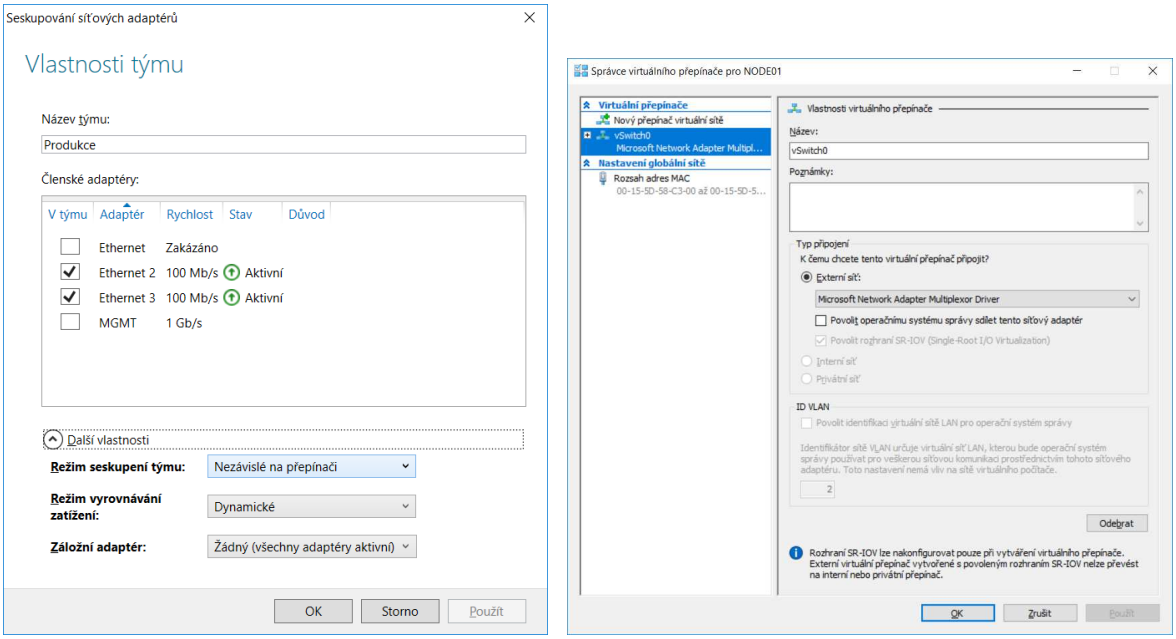
Obrázek 20: Konfigurace kvora

Stejně jako při konfiguraci napájecího profilu fyzického serveru je dobré i na každém node vybrat v možnostech napájení volbu vysokého výkonu, čímž se dá předcházet podtaktovávání procesoru či uspávání jednotlivých jader.

5.4.4 Konfigurace sítě v Hyper-V

Pro využití vyvažování síťové zátěže a vysoké dostupnosti produkční LAN sítě, je nutné vytvořit seskupení síťových adaptérů (teaming). Toto je možné z konzole správy serveru pod možností Seskupování síťových adaptérů, obrázek 21 (a).

Následně nad tímto seskupením můžeme z konzole Správy Hyper-V vytvořit virtuální switch. Pomocí Správce virtuálního přepínače vytvoříme nový Externí switch, který bude využívat k přístupu do sítě seskupení, obrázek 21 (b).



(a) Seskupování síťových adaptérů (b) Vytvoření externího virtuálního switche

Obrázek 21: Konfigurace sítě v Hyper-V

5.4.5 Doporučení pro VM v Hyper-V

Při provozování Linuxových virtuálních strojů doporučuji nainstalovat do každého z nich integrační služby (integration components), které jsou k dispozici na webových stránkách Microsoftu jako ISO disk. Tyto služby dodávají podporu např. pro synchronizaci času z hosta, oznamují virtuálnímu stroji začátek zálohování (snapshotu), povolují bezpečné vypnutí virtuálního stroje a další. V případě provozu Windows virtuálních strojů se integrační služby nainstalují skrze Windows Update.

Při vytváření nového virtuálního stroje máme na výběr mezi VM generace 1 a generace 2. Druhá generace přináší několik vylepšení: rychlejší boot OS, podpora UEFI, Secure Boot, boot z SCSI disku či DVD. Limitujícím faktorem může být podpora pouze 64 bitového OS nebo například bootování z disku typu VHDX, disk VHD je podporován pouze jako datový disk.

5.5 VMWare vSphere

Tato podkapitola se podrobně věnuje sestavení clusteru na platformě VMWare vSphere.

5.5.1 Instalace VMWare vSphere

Instalace hypervisoru vSphere probíhá podobně jako instalace jakéhokoliv jiného operačního systému. Prvně je potřeba nabootovat z instalačního ISO média, následně jsme v několika krocích vyzvání k zadání základních údajů, jako například vybrání oddílů pro instalaci, přiřazení IP adresy, zadání hesla pro root účet. Pro instalaci využiji upravenou verzi vSphere 6.0.0 Update 3

od HPE, která obsahuje i potřebné ovladače pro servery tohoto výrobce. Po úspěšné instalaci dojde k restartu serveru a ten následně nabootuje už do nainstalovaného hypervisoru vSphere.

Obrázek 22: vSphere obrazovka po bootu

Z této obrazovky lze po zmáčknutí klávesy F2 provést základní nastavení (IP, DNS, změnu hesla), pokročilá konfigurace se provádí přes web.

5.5.2 Konfigurace VMWare vSphere

Konfigurace vSphere se provádí z webového rozhraní pomocí běžného webového prohlížeče, stačí do něj zadat IP adresu zobrazenou na obrazovce jako je na obrázku 22. Po načtení webové stránky se nám zobrazí přihlašovací dialog pro webovou administraci. Výchozí přihlašovací jméno je root a heslo to, které jsme zadali při instalaci.

Obrázek 23: Webové rozhraní vSphere

Po přihlášení do administrace je vhodné rovnou vložit licenční klíč do Host -> Manage -> Licence, dále upravit napájecí profil na High Perfomance v Host -> Manage -> Hardware, aby nedocházelo k úsporným funkcím a poklesu výkonu.

Pro monitorování jednotlivých node serverů využiji SNMP, to je však ve výchozím stavu zakázané. Prvně je nutné povolit SSH (Host -> Actions -> Services -> Enable SSH), následně se připojit pomocí SSH na IP adresu daného node a zadat následující příkazy:

```
esxcli system snmp set -r
esxcli system snmp set -c public
esxcli system snmp set -L "LAB"
esxcli system snmp set -e yes
```

Tyto příkazy zajistí spuštění SNMP daemona na výchozím portu 161 v readonly režimu s komunitou public a lokací LAB, poté můžeme SSH opět zakázat.

Pro přidání datových úložišť z MSA vybereme možnost Storage -> New datastore. Poté vytvoříme nový datastore na vypropagovaných LUNech z datového úložiště.

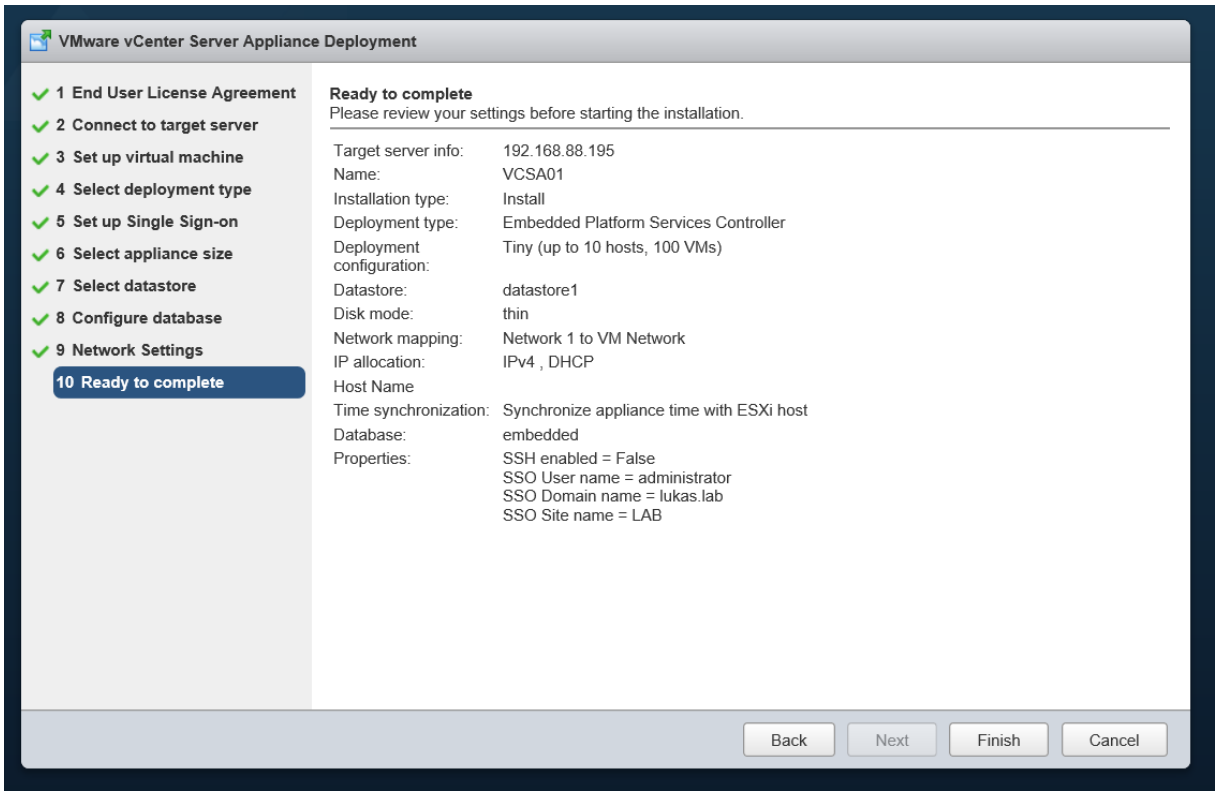
5.5.3 Sestavení clusteru

Pro sestavení vSphere clusteru je potřeba mít v síti nainstalován VMware vCenter Appliance (VCSA). Jak už název napovídá, jedná se o předem připravený VM přímo VMWarem, který stačí pouze nasadit (deploy), distribuován je jako ISO obraz. vCenter slouží pro hromadnou správu jednotlivých vSphere instancí či sestavení clusteru. VCSA musí být vždy stejné, nebo vyšší verze než verze zamýšlených vSphere jednotlivých nodů clusteru.

Nasazení VCSA se provádí na již existující vSphere node. Instance VCSA může běžet jak v budoucím clusteru tak i na node, který nebude v clusteru či nebude ani pomocí VCSA spravován. Podmínkou je síťová dostupnost mezi VCSA a jednotlivými nody.

Stažený ISO obraz připojíme do virtuální mechaniky, spustíme prvně instalaci VMware-ClientIntegrationPlugin-6.0.0.exe, který se nachází v adresáři vcsa. Toto rozšíření zajistí nutné funkce pro spuštění webové správy VCSA, osobně doporučuji použít webový prohlížeč Internet Explorer. V případě nasazení novější verze VCSA již není potřeba instalovat tento plugin. V nových verzích je totiž nahrazen moderními HTML5 funkcemi.

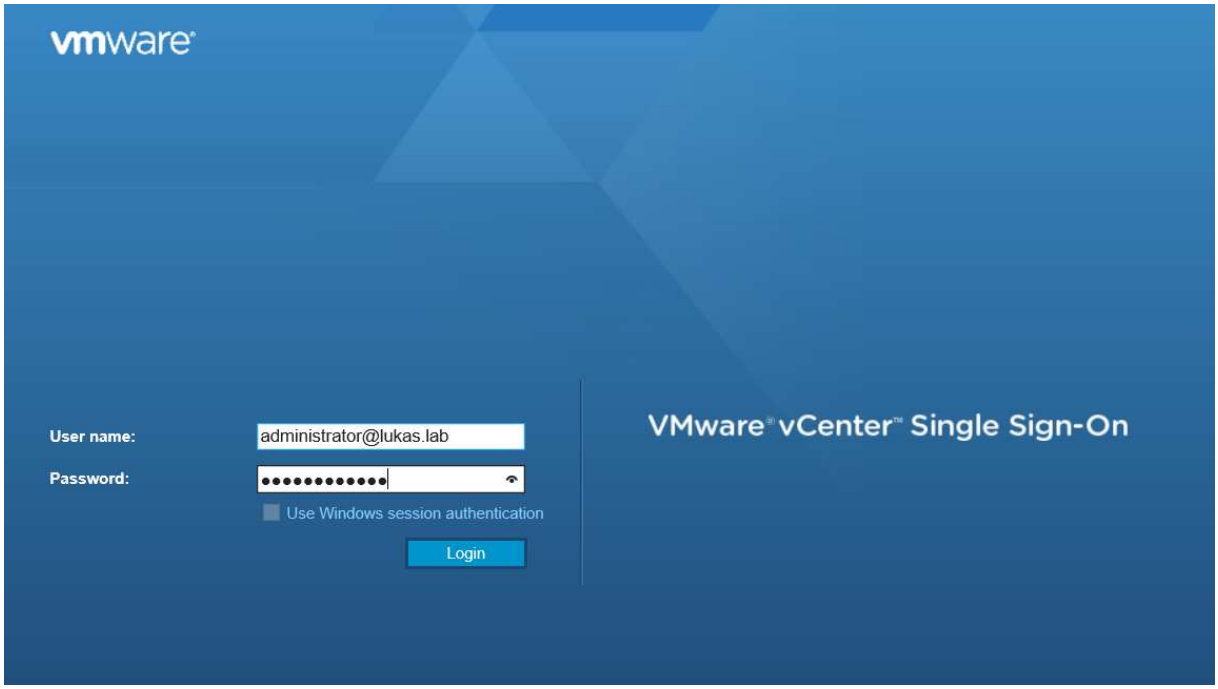
Po nainstalování doplňku je nutné otevřít webovým prohlížečem soubor vcsa-setup.html, který se nachází v kořenovém adresáři VCSA ISO média. Jedná se již o samotný webový instalátor, který provede samotným nasazením VCSA. Průvodce nasazením je intuitivní a požaduje nutné informace pro úspěšné nasazení (např. údaje serveru pro nasazení, IP adresu, přihlašovací údaje, název domény pro cluster, ...). Po potvrzení posledního kroku (obrázek 24) dojde již k samotnému nakopírování VM z našeho stroje do vSphere, doporučuji proto tuto instalaci provádět po lince s dostatečnou kapacitou.



Obrázek 24: Poslední krok před nasazením VCSA

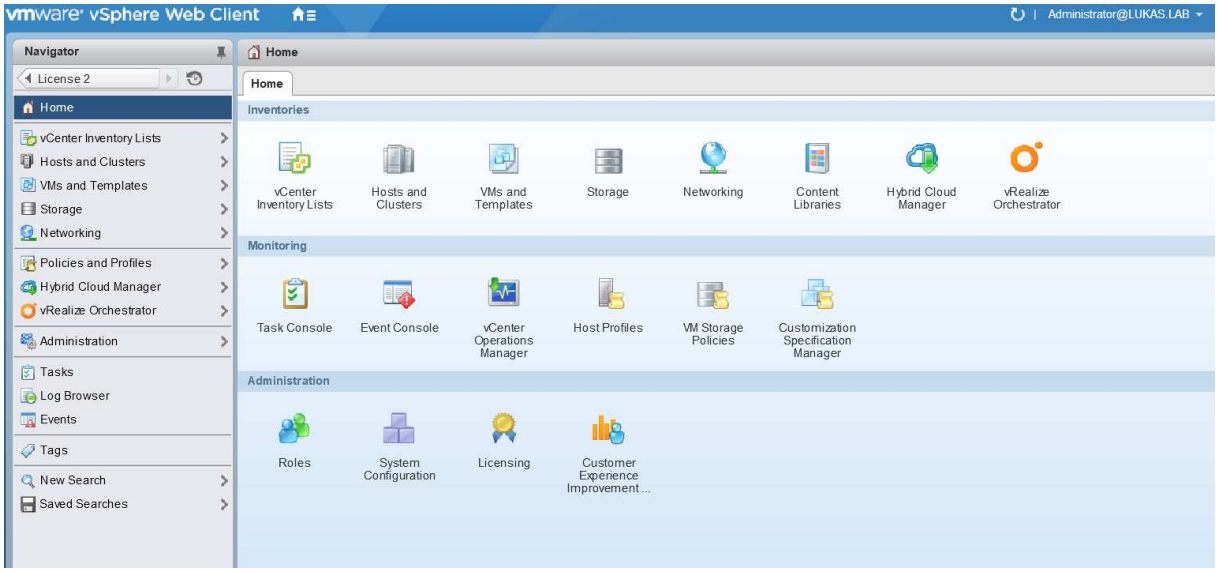
Z výše uvedeného obrázku je patrné, že VCSA budu instalovat na node s IP adresou 192.168.88.195, VM ponese název VCSA01 a bude uložen v datastore1 v módu thin provisioning.

Pro připojení do sítě si vezme IP adresu z DHCP serveru a využije VM Network adaptér. VCSA bude v doméně lukas.lab a účet správce má název administrator.



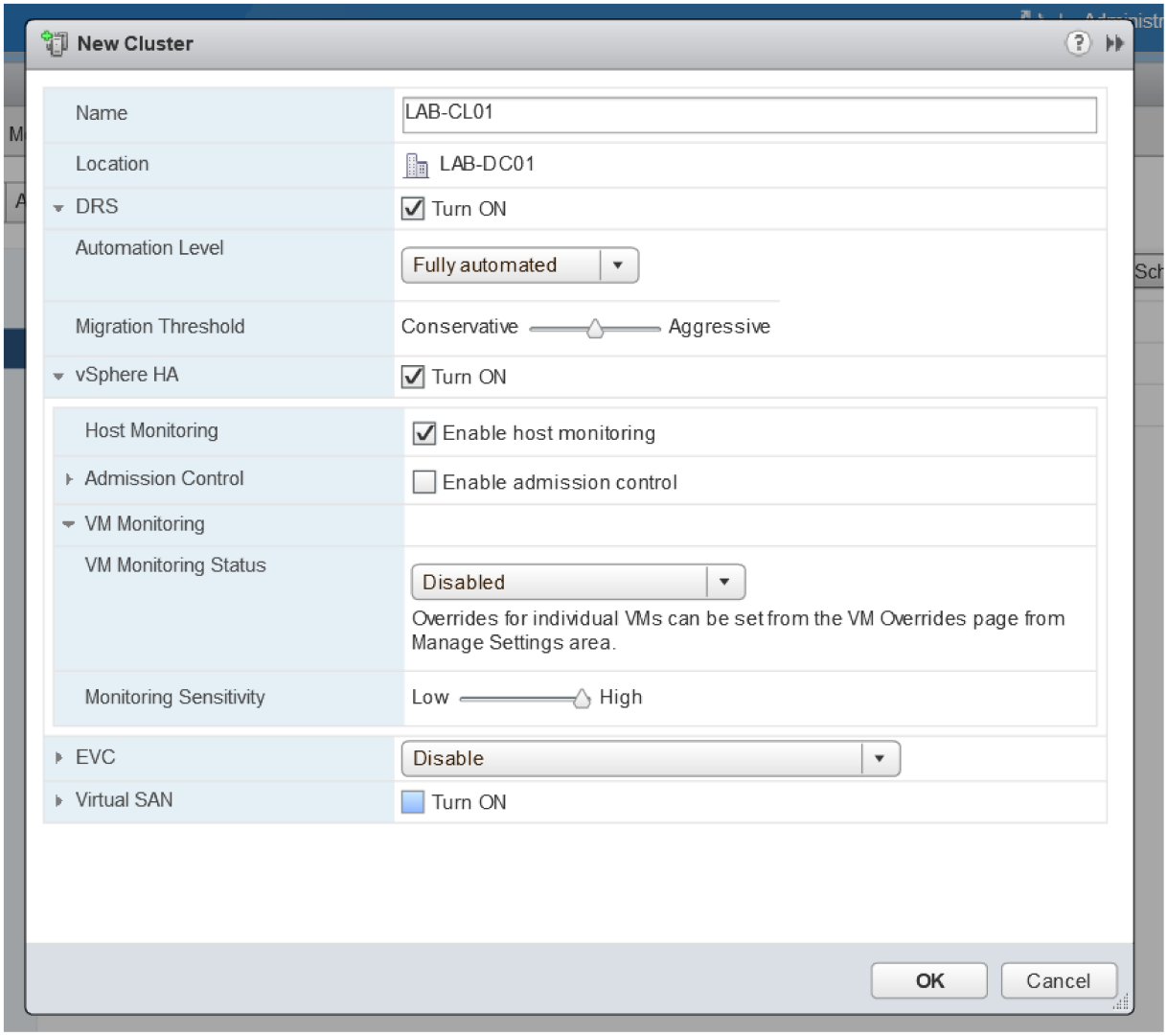
Obrázek 25: Přihlášení do webového rozhraní VCSA

Pro správu clusteru přes VCSA opět doporučuji použít Internet Explorer, v případě novější verze víceméně jakýkoliv moderní webový prohlížeč podporující HTML5. Správa clusteru je dostupná přes webovou adresu https://<IP-VCSA>/vsphere-client/, přihlašovací dialog je zobrazen na obrázku 25 a přihlášení je pomocí zadaných údajů při instalaci.



Obrázek 26: Domovská obrazovka VCSA

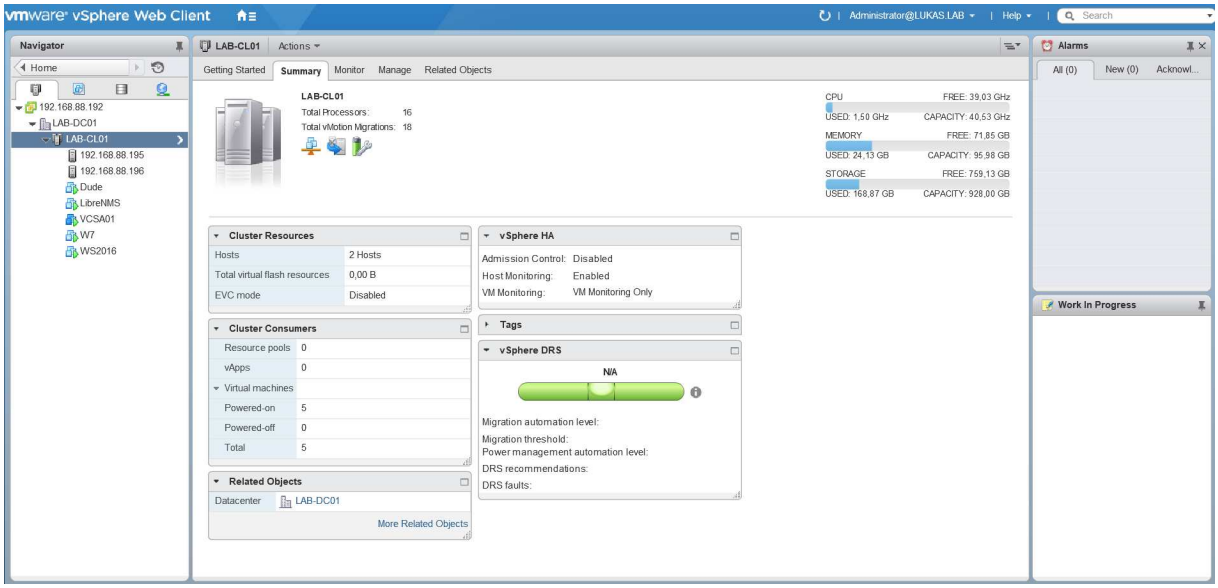
Po přihlášení (obrázek 26) je nutné VCSA zalicencovat, abychom mohli využívat funkce pro cluster (položka Licensing). Následně můžeme přistoupit k vytvoření clusteru (položka Hosts and Clusters). Aby bylo cluster kde umístit, je potřeba prvně vytvořit Datacentrum. Jedná se o logickou organizační jednotku, která může obsahovat více clusterů. Po vytvoření Datacentra je možno spustit průvodce pro vytvoření clusteru (obrázek 27).



Obrázek 27: Vytvoření HA clusteru

V průvodci volím jméno clusteru LAB-CL01, zapínám možnost DRS (Distributed Resource Scheduler), která zaručí load balancing a migraci VM mezi jednotlivými node. Dále jelikož se má jednat o HA cluster, tak zapínám i tuto možnost.

Nyní mohu do vytvořeného clusteru přidat jednotlivé node. Pro přidání budu potřebovat pouze jejich IP adresu a přihlašovací údaje k root účtu daného node. Po přiřazení node do clusteru provede VCSA konfiguraci jednotlivých node (instalace HA balíčku, začlenění do cluster domény), následně již máme sestaven funkční HA cluster (obrázek 28).



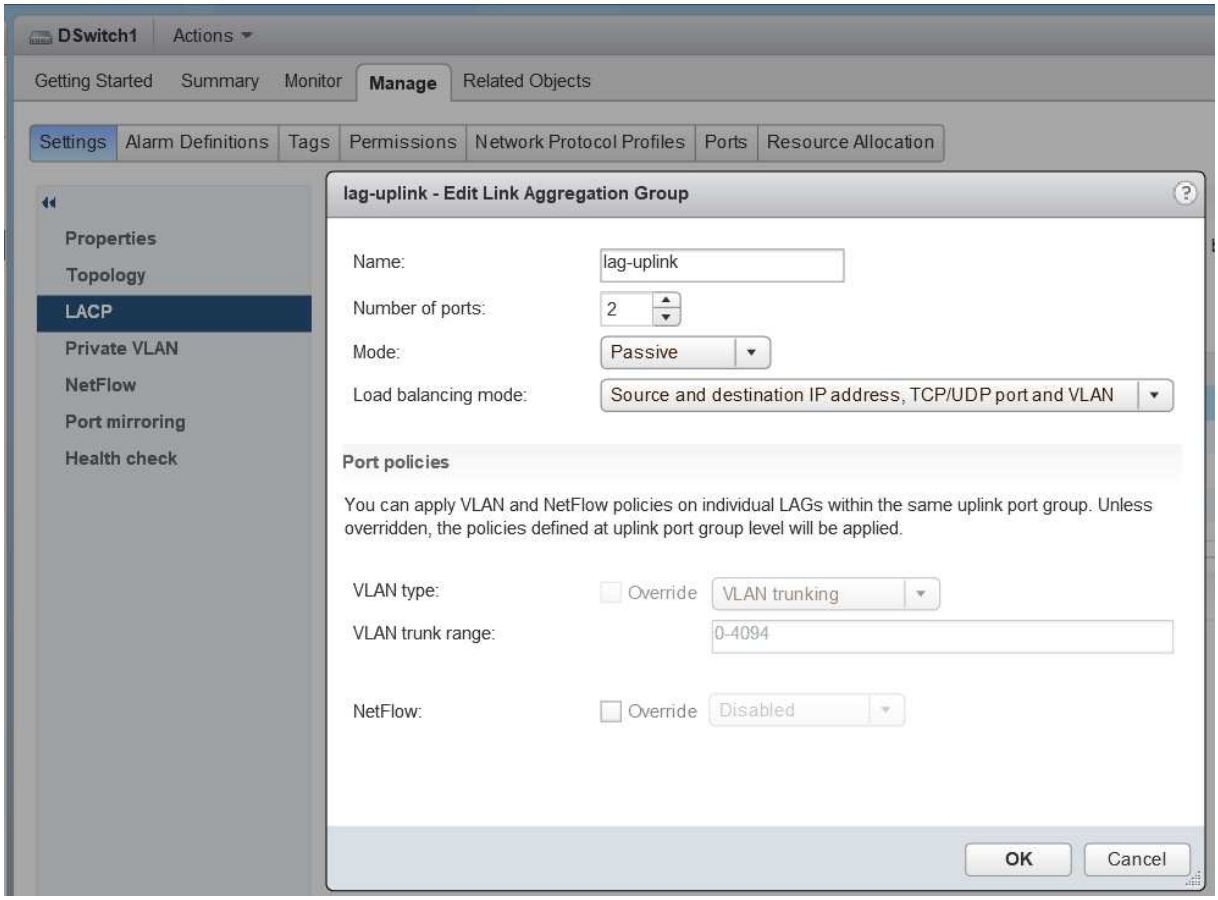
Obrázek 28: Vytvořený HA cluster pro LAB

5.5.4 Konfigurace sítě ve VCSA

Standardní vSwitch, který je dostupný po nainstalování vSphere má omezené možnosti load balancingu (lze přirovnat k běžnému L2 switchi), proto bude vhodnější pro HA cluster použít distribuovaný vSwitch. Standardní vSwitch vystačí v případech, kdy stačí mít pouze síťový failover a vyvažování zátěže z různých virtuálních strojů.

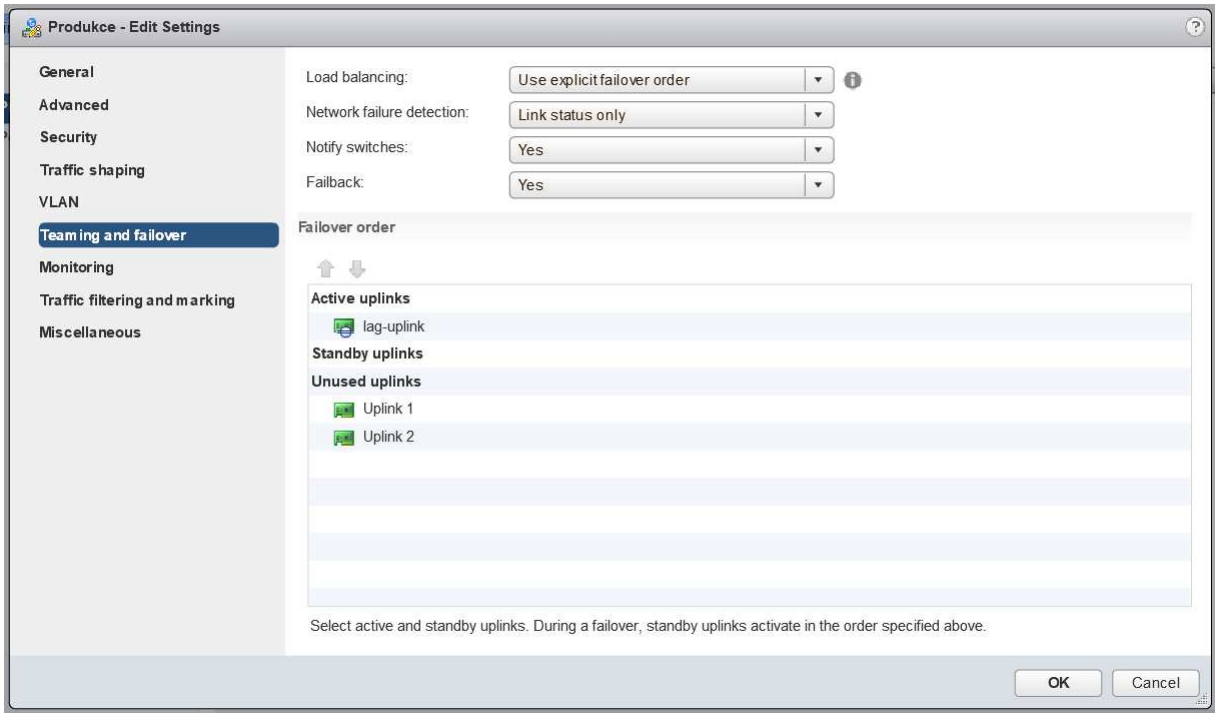
V distribuovaném vSwitchi je možno využít pokročilý teaming síťových karet a využít tak větší šířky pásma pro virtuální stroje běžící v clusteru. Zároveň distribuovaný switch lze vytvořit a spravovat pouze přes vCenter a má pokročilé možnosti konfigurace např.: Netflow, port mirroring, LLDP a další. Před samotným vytvořením distribuovaného switche, je nutno provést konfiguraci i fyzického switche, do kterého budou zapojeny síťové adaptéry jednotlivých node clusteru - nakonfigurovat na portech LACP.

Po vytvoření nového distribuovaného switche, je potřeba nastavit na něm LACP pro uplink (do fyzické sítě). V mém případě budu mít z každého node 2 uplink porty (100 Mbit/s, FDX) v pasivním režimu s vyvažováním zátěže na základě zdrojové a cílové IP adresy, TCP/UDP portu a VLAN tagu, nastaveno jako je znázorněno na obrázku 29.



Obrázek 29: Nakonfigurovaný LAG

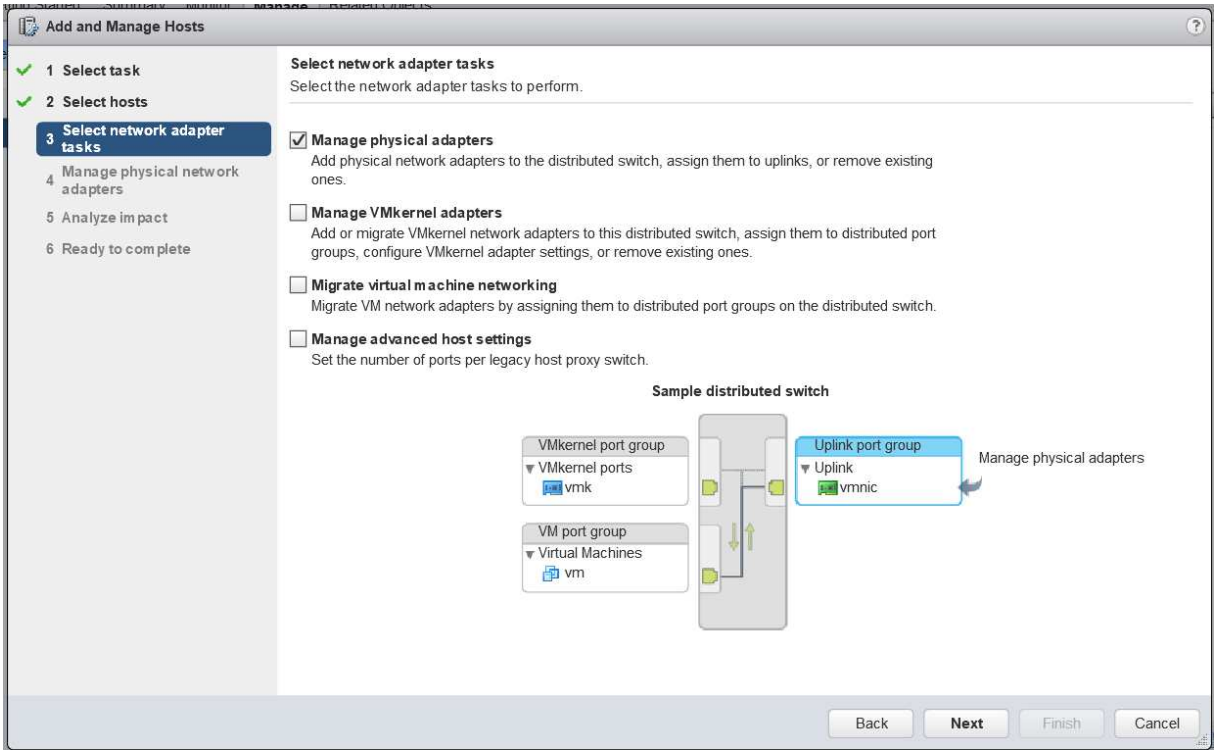
Po vytvoření LAG uplinku je potřeba vytvořit distribuovanou skupinu portu nad vytvořeným distribuovaným switchem. Do této skupiny portů pak budou připojeny jednotlivé virtuální stroje. Tato vytvořena skupina portů bude mít zároveň jako uplink LAG vytvořený o krok dříve. Jelikož loadbalancing řešíme již v samotném LAG, není potřeba řešit ve skupině portů (konfigurace na obrázku 30 níže).



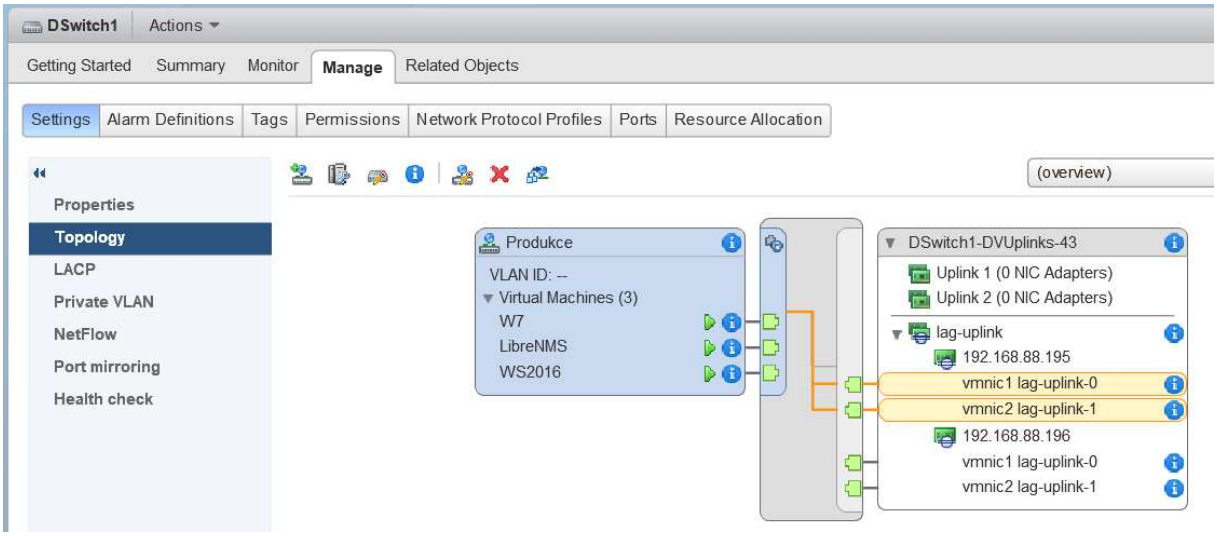
Obrázek 30: Konfigurace skupiny portů

Po této konfiguraci můžu přidat do distribuovaného switche samotné node clusteru, což se provede pod volbou Add and manage hosts. Po vybrání obou node do distribuovaného switche zvolíme možnost Manage physical adapters (obrázek 31) a přiřadíme fyzické síťové adaptéry node do distribuovaného switche. Před samotným přidáním provede ještě vCenter analýzu dopadu a až poté nám dovolí tyto adaptéry přiřadit. Následně se můžeme podívat na topologii distribuovaného switche (obrázek 32) a ověřit konfiguraci.

V levé části topologie, vidíme virtuální stroje, které využívají skupinu portů daného distribuovaného switche. V pravé části pak vidíme jednotlivé fyzické node a jejich fyzické adaptéry přiřazené do LAG uplinku.



Obrázek 31: Přidání fyzických adaptérů do distribuovaného switche



Obrázek 32: Topologie distribuovaného switche

5.5.5 Doporučení pro VM ve vSphere

Při vytváření nových virtuálních strojů ve vSphere je dobré využívat virtuální hardware, který je určen přímo pro tuto platformu. Především se doporučuje využít síťovou kartu typu VMXNET3,

která v porovnání s ostatními typy (E1000, E1000E) dosahuje vyšších výkonů s nižší režii a to až o desítky procent [14].

Virtuální síťové karty E1000 jsou emulovány Intel 825XX, čímž dochází ke zvýšení režie. Výhodou použití těchto síťových karet je rozšířenost ovladačů od systémů Windows Server 2003 respektive Windows Server 2012.

VMXNET3 síťová karta je paravirtualizována a vytvořena speciálně VMWarem. Je tak odladěna pro provoz ve virtualizovaném prostředí.

Z podobných důvodů se doporučuje použít SCSI řadič VMWare Paravirtual, raději než LSI Logic SAS [15].

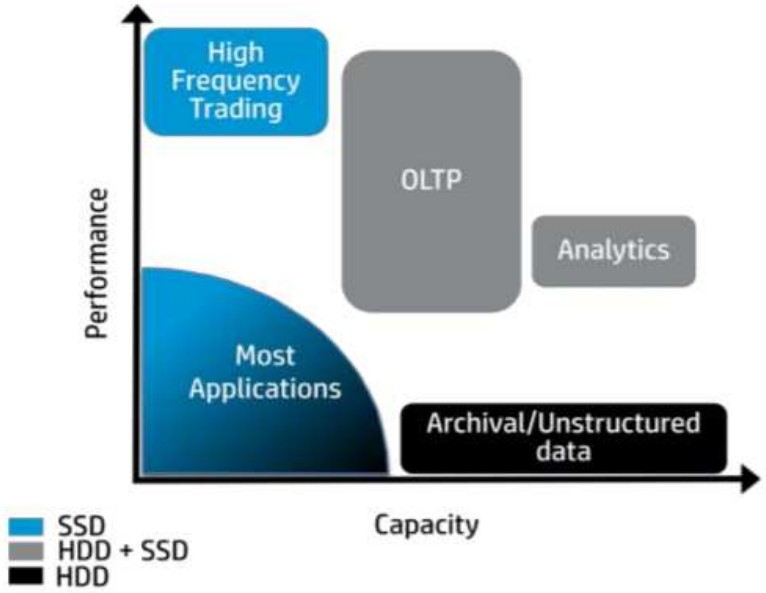
Pro využití těchto virtuálních komponent vytvořených VMWarem, je nutné mít nainstalované ve virtuálním stroji VMWare tools. VMWare tools je balík ovladačů a nástrojů, který zajišťuje i mimo jiné komunikaci virtuálního stroje s vSpher hypervisorem a doporučuje se mít nainstalované vždy v aktuální verzi.

5.6 Smart Cache

Souborový subsystém je nutnou součástí serverů a clusterů. Zároveň se v dnešní době jedná o nejpomalejší část serverů, obzvlášť v případě použití klasických plotnových disků. Na tom pak závisí výkon celého serveru, což je nejvíce pozorovatelné např. v případě provozování SQL serveru s velkými databázemi. Výrobci tak přichází s různými řešeními, HPE používá technologii Smart Cache.

Smart Cache je technologie, která využívá výhody rychlosti SSD disků a výhody vysoké kapacity plotnových disků. Získáme tak rychlejší úložiště (v porovnání s plotnovými disky) s relativně velkou kapacitou (v porovnání s SSD disky) za vynaložení rozumných finančních nákladů. Technologie vychází z požadavků, že plotnové disky se hodí díky své kapacitě především na uchovávání dat (použití např. pro souborové servery). Využití SSD disků je naopak tam, kde je potřeba co nejvyšší rychlosti (SQL servery). Kombinace plotnových disků se Smart Cache se pak hodí pro klasické nasazení jako je zobrazeno na obrázku 33 níže.

Technologie funguje tak, že pro vytvořený LUN z plotnových disků přiřadí jeden či více SSD disků, které následně fungují jako čtecí a zapisovací mezipaměť. Řadič si v této cache udržuje bloky, které jsou nejčastěji využívány čímž dochází k navýšení rychlosti u dat, ke kterým přistupujeme nejčastěji. Technologie se využívá i v úložištích, například HPE MSA 2052.



Obrázek 33: Příklady použití Smart Cache [16]

Pro otestování této technologie jsem měl dispozici server HPE DL380 Gen9 s následujicím hardware:

- CPU: 2x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620
- RAM: 272 GB, DDR4 2400 MHz
- Řadič: P440ar + P440
- HDD: 8x SFF HP 1.2 TB 10k SAS 12G
- SSD: 4x SFF HPE 400 GB SAS 12G MU

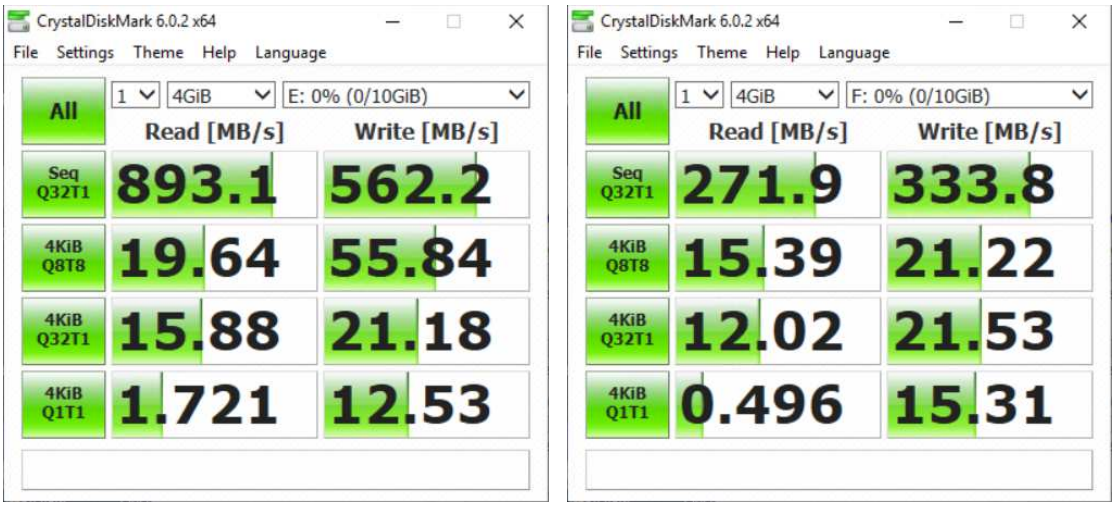
Na serveru byla provozována role Hyper-V s OS Windows Server 2016 se všemi aktualizacemi vydanými do ledna 2019. Server měl vytvořené tři LUNy v následující konfiguraci:

- LUN1: 400 GB, RAID1, SSD
- LUN2: 3,27 TB, RAID5, HDD+SSD cache (Write-Back)
- LUN3: 3,27 TB, RAID5, HDD

Virtuální stroj pro testovací účely byl s OS Windows Server 2019 se všemi aktualizacemi vydanými do ledna 2019. Server měl pro test 6 virtuálních disků. Každý disk měl kapacitu 10 GB. Na každém LUN byl vždy vytvořen jeden dynamický VHDX disk a jeden pevný VHDX disk. Pro testování rychlosti disků byl vybrán software Crystal Disk Mark ve verzi 6.0.2.

První test proběhl na LUN3, tedy na plotnových discích. Jeden disk (872479-B21) dle specifikace [17] má 165 IOPS při 128 KiB blocích. V případě RAID5 pole o čtyřech discích se dostáváme

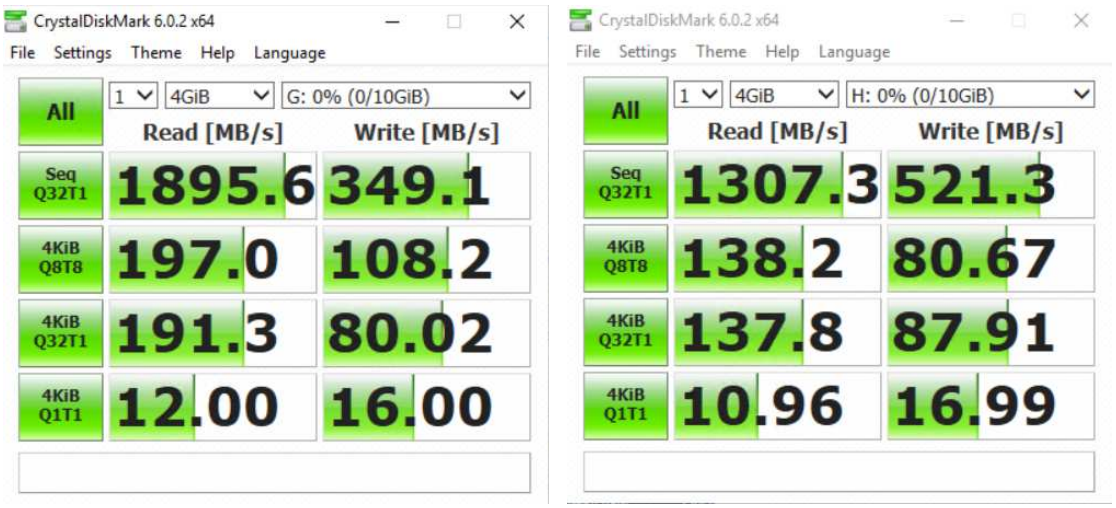
na 264 IOPS což je teoretických 34,603 MB/s. Při mém měření jsem se dostal na hodnoty okolo 18 MB/s. Rozdíl rychlostí pravděpodobně zapříčinil provoz na discích i mimo mé testy. I přes to, že se obecně doporučuje použít fixní VHDX disky pro náročné aplikace na rychlost disku se toto tvrzení nepotvrdilo a dynamické VHDX bylo ve většině případů rychlejší.



(a) Dynamický disk (b) Pevný disk

Obrázek 34: Plotnové disky

Další test proběhl na disky ve stejné konfiguraci, jen se zapnutou technologií Smart Cache - LUN2. Zde lze pozorovat výrazné navýšení rychlostí čtení a zápisu na disk. To je způsobeno využitím Smart Cache a oproti předchozímu testu je nárůst u čtení až desetinásobný.

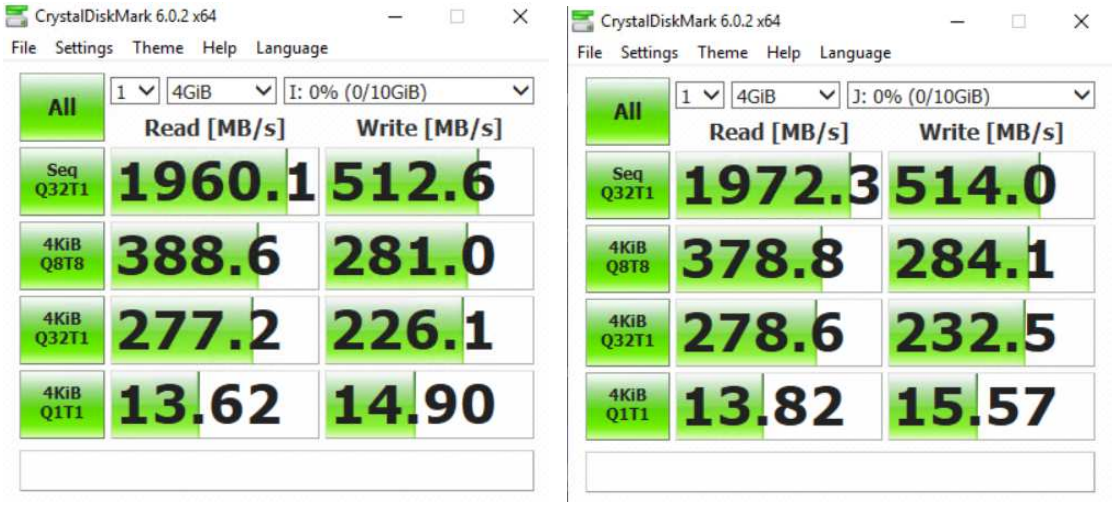


(a) Dynamický disk (b) Pevný disk

Obrázek 35: Plotnové disky s SSD cache

Třetí test proběhl na LUN1, který je tvořen pouze SSD disky v RAID1. Jeden disk (872374-B21) má dle specifikace [18] 120 000 IOPS při čtení a 80 000 IOPS pro zápis při 4 KiB blocích což je teoreticky 491,520 MB/s. Při mém měření jsem se k této hranici nepřiblížil, což může být způsobeno používáním SSD disků i ostatními aplikacemi mimo test. Až u této varianty se potvrdilo, že použití pevného VHDX je o něco rychlejší oproti tomu dynamickému.

Nárůst rychlosti oproti LUN2 je jen v některých testech. Nejvyššího nárůstu výkonu lze docílit použitím Smart Cache.



(a) Dynamický disk

(b) Pevný disk

Obrázek 36: SSD disky

5.7 Testování rozdílů - výkon

Pro porovnání rozdílů výkonu obou hypervisorů jsem připravil sérií několika testů. Testy by měly ukázat to, jak daný hypervisor umí využít přidělené prostředky.

5.7.1 Metodika testování

Testování výkonnostních rozdílů provádím na třech testovacích virtuálních strojích. VM v průběhu testu poběží na node clusteru samostatně, aby nedocházelo k ovlivňování výkonu ostatními VM. Ve VM je nainstalován OS Windows Server 2016 (verze 1607) a testy jsou prováděny softwarem PassMark PerformanceTest (verze 9.0).

Na každé VM provedu 5x test, kdy nebudu do průměrného skóre započítávat nejlepší a nejhorší výsledek. Výsledky všech testů jsou zapsány v tabulce a průměrné skóre je vyneseno do sloupcového grafu (obrázek 37) pro porovnání výsledků Hyper-V a vSphere.

5.7.2 Testování VM1

První testovací VM má 2x CPU a 4 GB RAM. Tyto přiřazené prostředky jsou typické např. pro server obsahující Active Directory. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 23 v příloze.

5.7.3 Testování VM2

Testovací VM má 4x CPU a 8 GB RAM. Tato VM simuluje server, který není náročný na výkon, typickým představitelem může být souborový server. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 24 v příloze.

5.7.4 Testování VM3

Poslední testovací VM obsahuje veškeré dostupné HW prostředky, které mohu použít - 16x CPU a 40 GB RAM. Simulace pro velice náročné servery, např. databázové, aplikační. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 25 v příloze.

5.7.5 Zhodnocení rozdílů ve výkonu

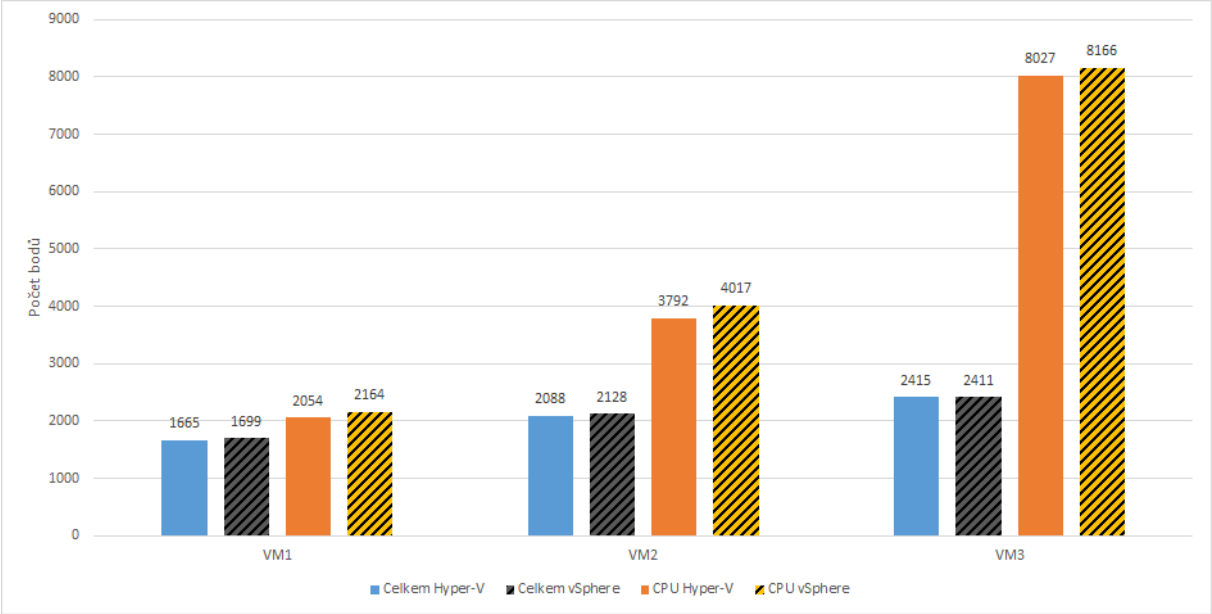
Při porovnání celkového rozdílů testů je nejvyšší rozdíl ve výkonu 3 % (test VM1) ve prospěch vSphere. S rostoucími prostředky virtuálních strojů tento rozdíl postupně klesá (pro VM2 je rozdíl 2 %) a v případě VM3 je asi o 1 % lepší Hyper-V. Z toho vyplývá, že v případě menší dostupnosti hardware prostředků je virtuální stroj na vSphere hypervisoru o něco úspornější.

Všechny testy výkonu procesoru vychází lépe pro vSphere (6 % rozdíl u VM1 a VM2). Při posledním testu u VM3 je rozdíl vSphere vs Hyper-V již pouze 2 % ve prospěch vSphere. Z testu vyplývá, že vSphere hypervisor umí předat více výkonu do virtuálního stroje.

I při testování RAM má navrch vSphere. Rozdíl mezi jednotlivými hypervisory je do 5 % v případě VM3 respektive 3 % pro VM1 a VM2. U naměřených hodnot vSphere lze pozorovat rostoucí tendenci naopak u Hyper-V dopadl test ve třetím případě hůře než předchozí test.

V případě testování HDD mělo ve všech testech navrch Hyper-V, rozdíl oproti vSphere byl 4 %. Rozdíl 2D operací byl shodný a zanedbatelný.

Při všech testech byly výsledky mezi jednotlivými testy u vSphere vyrovnanější. V případě Hyper-V docházelo k větším rozptylům mezi nasbíranými výsledky. Bodové hodnocení celkového testu a výkonu CPU je zobrazeno na obrázku 37.



Obrázek 37: Rozdíl ve výkonu (Celkové skóre a CPU)

5.8 Testování rozdílů - HA

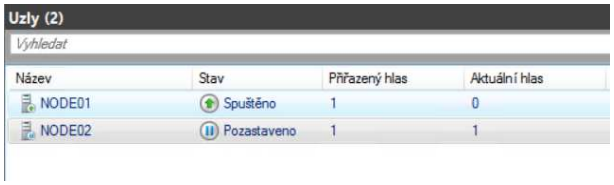
Pro otestování rozdílů implementace HA v hypervisorech jsem připravil několik testů, které se podobají reálným zkušenostem z provozu. V těchto testech chci zachytit to, jak HA cluster zareaguje na nenadálou situaci.

5.8.1 Údržba node clusteru

Běžná situace, kdy je potřeba na jednom node z clusteru provést údržbu (ať už HW či SW). Na node běží několik virtuálních strojů, ten je ve správě hypervisoru ručně přepnut do módu údržby a vše přenecháno automatice. Po potvrzení, že je node v režimu údržby je server ručně korektně vypnut. Očekávaný stav je takový, že proběhne migrace běžících strojů na druhý node bez výpadků.

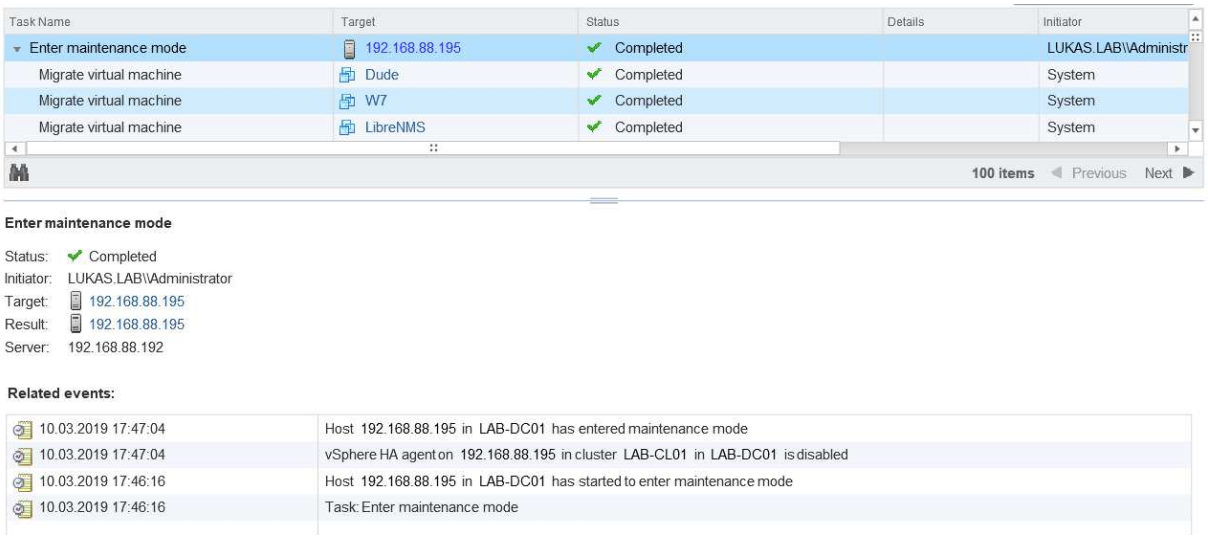
5.8.1.1 Hyper-V Pro přepnutí do režim údržby v Hyper-V máme 2 možnosti, daný node z konzole správy clusteru pozastavit s vyprázdněním rolí či bez vyprázdnění rolí. V první případě dojde k automatickému přesunu běžících virtuálních strojů na ostatní node. V opačném případě běží virtuální stroje dále na daném node, poté dochází k následnému pozastavení clusterových služeb (obrázek 38).

Při obnovení node je nutné jej opět manuálně přepnout přes nabídku pokračovat. I zde je možnost volby zda vrátit role zpět, anebo role nevracet. Přepnutí do údržby node clusteru proběhlo automaticky a bez výpadku. V případě ručního restartu/vypnutí daného node (pomocí nabídky start - restartovat) dojde k automatickému přesunutí virtuálních strojů na dalšího člena clusteru, tak aby bylo dosaženo HA clusteru.



Obrázek 38: Pozastavený Hyper-V node

5.8.1.2 vSphere Při ručním přepnutí do režimu údržby, lze vidět, že než se samotný node přepne, zahájí automaticky přesun běžících virtuálních strojů na druhý node, tak aby bylo zachováno HA virtuálních strojů. Po úspěšném přesunutí VM je node přepnut do režimu údržby (Maintenance Mode) a lze jej bezpečně vypnout. Po opětovném startu je nutné ručně node z režimu údržby opět vyjmout, čímž se opět stane funkčním členem clusteru.



Obrázek 39: Přepnutí do módu údržby

5.8.2 Výpadek node clusteru

Situace, kdy na node v clusteru dojde k fatální poruše HW a daný node je nedostupný. V mém testu je daný stav simulován přerušením napájení serveru. Očekávám, že virtuální stroje běžící na node, který se dostal do takovéhoto stavu budou během několika sekund automaticky spuštěny na druhém node clusteru.

5.8.2.1 Hyper-V Při zjištění výpadku node clusteru dochází během několika sekund k přepnutí jeho stavu do izolovaného. Virtuální stroje jsou automaticky nastartovány až po několika minutách (3 minuty).

5.8.2.2 vSphere V případě neočekávaného výpadku node v clusteru trvalo 15 sekund než došlo k vyřazení offline node z clusteru a následně po 3 sekundách došlo k automatickému startu

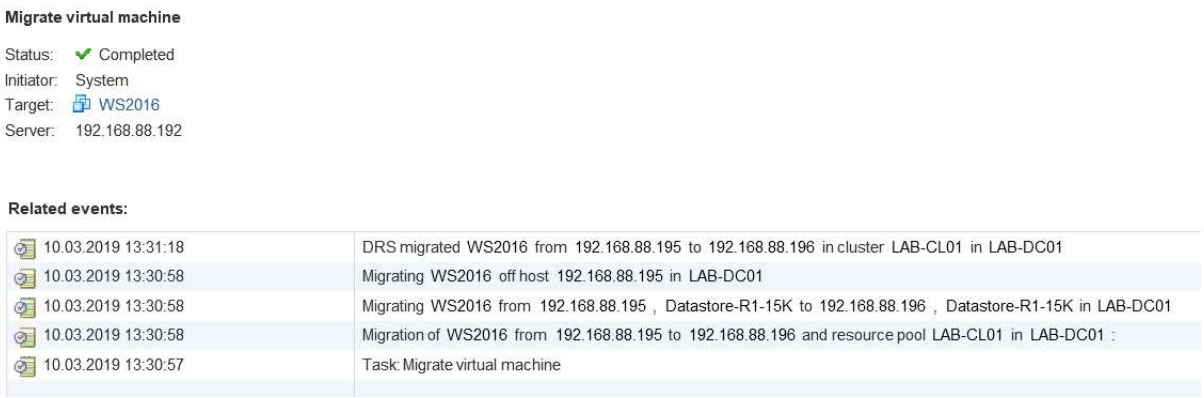
ovlivněných virtuálních strojů. Stroje nastartovaly běžným způsobem a v případě neuložené práce jsou data ztracena.

5.8.3 VM v clusteru vytěžuje prostředky

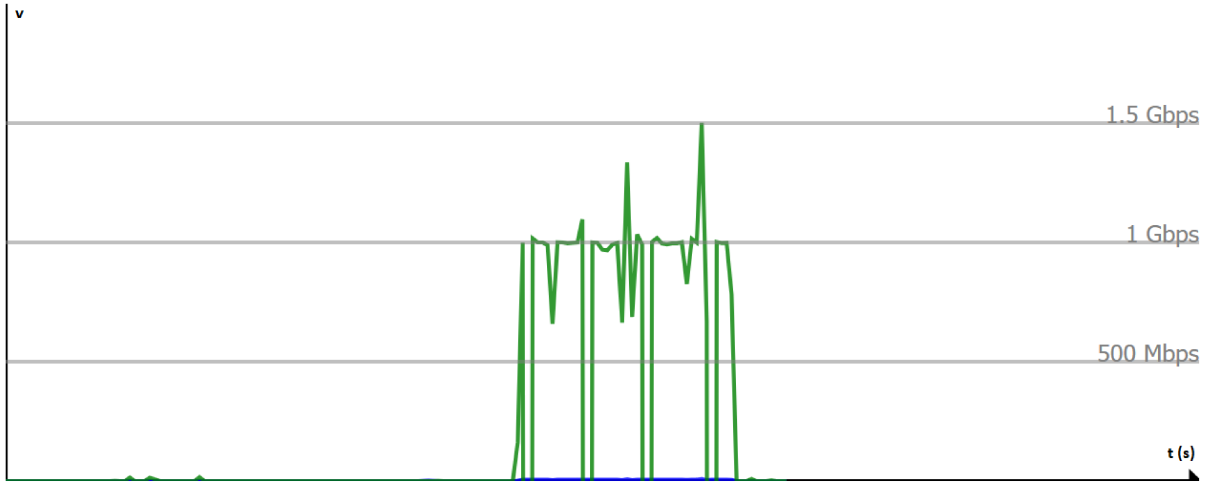
Tento test zaměřený na vyvažování zátěže mezi node v clusteru. Jedna z běžících VM začne využívat více zdrojů daného node, čímž je simulován špičkový nárůst požadovaného výkonu. Očekávaný stav je takový, že dojde k bezvýpadkovému přemístění virtuálních strojů tak, aby byla rovnoměrně rozložena zátěž.

5.8.3.1 Hyper-V V případě Hyper-V clusteru je ve výchozím stavu povoleno vyvažování zátěže při dosažení 80 % zatížení daného node. Kontrola zatížení však probíhá v půlhodinových intervalech, takže při krátkých výkyvech zatížení daného node nemusí vůbec k vyvážení zátěže dojít. Migrace každopádně i tak proběhne automaticky bez výpadku.

5.8.3.2 vSphere Při zatížení virtuálního stroje (WS2016) došlo po několika sekundách k zahájení automatického procesu migrace na méně vytížený node clusteru. Proces migrace šel vidět v úlohách clusteru ve VCSA (obrázek 40) a samozřejmě se projevil zvýšením provozu přes síť určenou pro migrace (obrázek 41). V migrovaném virtuálním stroji běželo stahovaní přes 1 TCP vlákno, které bylo migrací přerušeno, taktéž došlo k výpadku jednoho ping paketu. Vzdálené připojení přes RDP se neodpojilo. Automatika v tomto případě zafungovala správně a potvrdil se očekávaný stav.



Obrázek 40: Proces migrace



Obrázek 41: Provoz přes síť pro migrace

5.8.4 Výpadek trasy do core switche

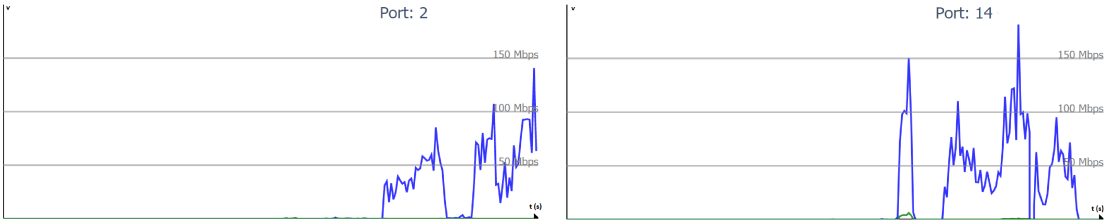
Test simuluje výpadek jednoho z datového uplinku do core switchů. Z virtuálního stroje na jednom z node běží testovací IP provoz a dojde k fyzickému odpojení jednoho z uplinků. Očekávaný stav je omezení šířky pásma a síťovému failoveru v ideálních podmínkách bez výpadku datového toku.

5.8.4.1 Hyper-V Hyper-V provádí loadbalancing na základě směru provozu - download jde přes propoj do core switche1 upload přes propoj do core switche2. V případě selhání primární linky však dojde ke správnému překlopení provozu na záložní linku s minimálním výpadkem (1 ping).

(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

Obrázek 42: Simulovaný výpadek uplinku

5.8.4.2 vSphere Před výpadkem dochází k síťovému vyvažování zátěže, přes oba uplinky teče přibližně stejné množství dat. Poté dochází k selhání trasy do core switche (port 14), z grafů lze vidět okamžité překlopení provozu přes funkční uplink (port 2) a nárůst provozu.



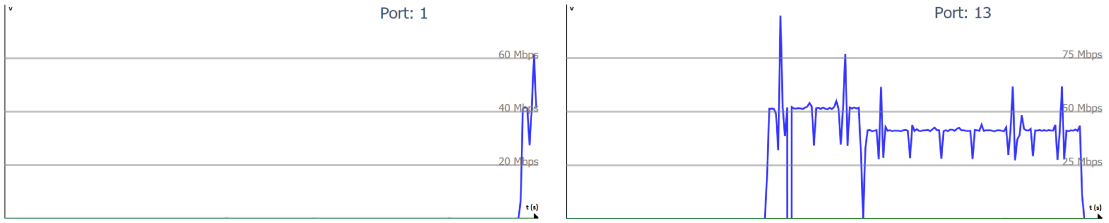
(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

Obrázek 43: Simulovaný výpadek uplinku

5.8.5 Výpadek core switche

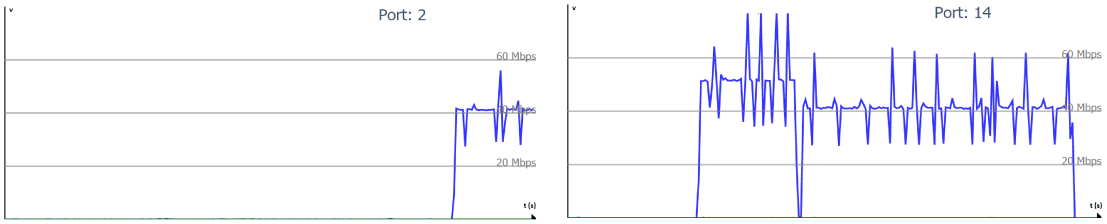
Tento test simuluje výpadek celého core switche, ten tak bude nedostupný pro oba node clusteru. Měření proběhne podobným způsobem jako v předchozím bodě. Očekávaný stav je takový, že dojde k omezení šířky dostupného pásma a síťovému failoveru.

5.8.5.1 Hyper-V Při výpadku celého core switche je provoz opět bezvýpadkově přesměrován přes funkční síťový adaptér. Šířka pásma pro daný virtuální stroj zůstává stejná, pro cluster dochází k omezení.



(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

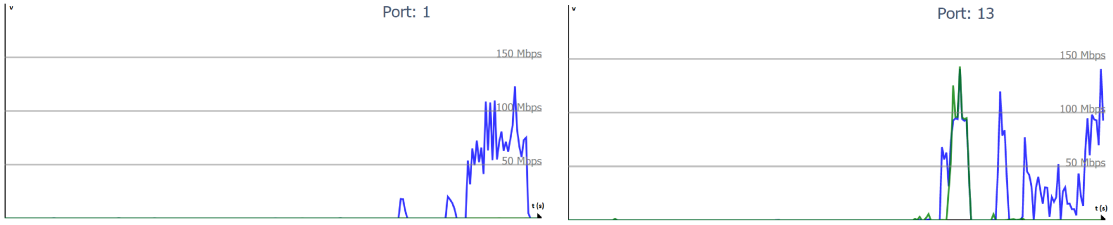
Obrázek 44: Simulovaný výpadek core switche2 pro node01



(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

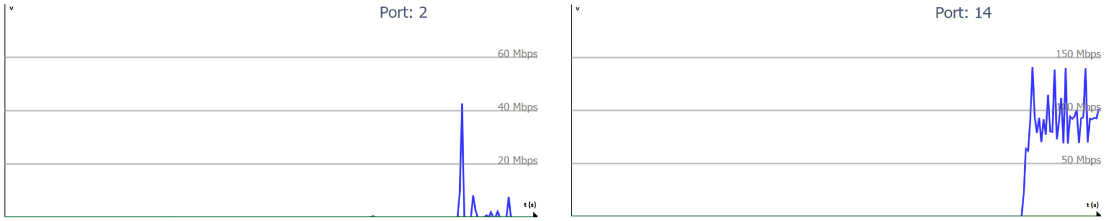
Obrázek 45: Simulovaný výpadek core switche2 pro node02

5.8.5.2 vSphere Podobně jako v případě výpadku uplink trasy i zde dochází k okamžitému přesměrování provozu přes druhý uplink do druhého core switche. Dochází k omezení šířky pásma, která se projevuje v případě vytížení, zvýšením odezvy testovacích virtuálních strojů.



(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

Obrázek 46: Simulovaný výpadek core switche1 pro node01



(a) Uplink do core switche 1 (b) Uplink do core switche 2

Obrázek 47: Simulovaný výpadek core switche1 pro node02

5.8.6 Zhodnocení rozdílů v HA

Při testu, kdy byla simulována údržba jednoho z nodů v clusteru je chování obou hypervisorů stejné a splňuje očekávaný stav. I tak je vhodné po přepnutí režimu údržby provést kontrolu, zda na daném node neběží ještě nějaký virtuální stroj. Občas se totiž stane, že automatická migrace z nějakého důvodu selže (např. málo prostředků, připojený lokální ISO image) a při neopatrnosti by mohlo dojít k nechtěné nedostupnosti daného virtuálního stroje.

Totální selhání jednoho z node je výrazně lépe implementováno ve vSphere, kdy ovlivněné virtuální stroje startují během několika desítek sekund po zjištění tohoto stavu. Hyper-V čeká se startováním ovlivněných virtuálních strojů až několik minut.

K přístupu vyvažování zátěže oba dva hypervisory přistupují s odlišným způsobem. Hyper-V provádí kontrolu zatížení členů clusteru v pravidelných (půlhodinových) intervalech, což může vést k tomu, že jeden node může být až 29 minut přetížen přičemž ostatní node nemusí být vytížené vůbec. vSphere dělá kontrolu vytížení každých 5 minut, takže k podobné situaci by nemělo dojít. V případě vSphere tedy dochází k vyvážení zátěže podstatně dříve, což lze považovat za benefit. Nevýhodou tohoto by mohlo být častější migrování virtuálních strojů, kdy samotný proces přesunu má taktéž jistou režii.

S výpadkem jedné z tras do core switche si umí oba hypervisory poradit dobře. V Hyper-V virtuální switch neumí vytvořit LAG do dvou různých switchů, proto jsme ve virtuálním stroji omezeni fyzickým připojením (v mém případě 100 Mbit/s) i když se virtuálních switch v hypervisoru tváří jako 200 Mbit/s. vSphere naopak umí v distribuovaném switchi využívat aktivně oba dva uplinky, takže virtuální stroj má k dispozici celou kapacitu (v mém případě 200 Mbit/s).

I v případě výpadku celého core switche je situace u obou hypervisorů stejná, přesměrování běžícího síťového provozu je bezvýpadkové.

Cluster postavený na vSphere vychází z těchto testů o něco lépe, především díky lepšímu vyvažování zátěže jednotlivých node a podstatně rychlejšímu obnovení běžících virtuálních strojů v případě havárie jednoho z node.

5.9 Zhodnocení ekonomických rozdílů

Každý zákazník porovnává ne jen technologické rozdíly virtualizačních platforem, ale také i ekonomické dopady na nákup a provoz firemní infrastruktury. Proto se budu snažit přiblížit tyto možné náklady níže ve dvou podkapitolách.

5.9.1 Investiční náklady

Investiční náklady (CAPEX) se v tomto případě dají rozdělit do třech kategorií. První kategorií jsou náklady na pořízení fyzického hardware, které jsou úplně shodné pro obě navržené varianty hypervisorů. Tyto náklady jsou uvedeny v tabulce 18 níže a vychází z kapitoly 4.3.

Položka	**Kusů**	**Cena/Kus [Kč]**	**Celkem [Kč]**
HPE DL360 Gen 10	2	364 500	729 000
HPE MSA2050 Storage	1	472 909	472 909
Celkem			**1 260 447**

Tabulka 18: Investiční náklady na hardware

Druhou kategorií jsou investiční náklady vynaložené na pořízení software, nutné pro provoz clusteru. Náklady pro cluster na technologii Hyper-V jsou uvedeny v tabulce 19, náklady pro provoz clusteru na technologii vSphere jsou v tabulce 20.

Položka	**Kusů**	**Cena/Kus [Kč]**	**Celkem [Kč]**
Win Svr Std 2019 1pk OEM DVD 16 Core	2	19 401	38 802
Win Svr Std 2019 1pk OEM 4Cr POS AddLic	4	4 934	19 736
Celkem			**58 838**

Tabulka 19: Investiční náklady pro Hyper-V licence

Položka	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Celkem [Kč]
VMw vSphere 6 Essentials Plus Kit	1	96 988	96 988
Celkem			**96 988**

Tabulka 20: Investiční náklady pro vSphere licence

Třetí kategorií nákladů jsou náklady spojené s implementací a zprovozněním nového clusteru či případnou migrací současné infrastruktury na infrastrukturu novou. Tyto náklady budou opět velice shodné pro obě technologie.

Výsledné investiční náklady jsou tvořeny součtem položek z těchto tří kategorií.

5.9.2 Provozní náklady

Provozní náklady (OPEX) se budou skládat především ze dvou částí - náklady na energii a náklady na administrátora.

Jeden node bere dle HPE kalkulačky [19] při 50 % zatížení 250 W. Dle datasheetu si úložiště MSA 2050 bere 390 W [11]. Pokud budeme uvažovat toto zatížení, je spotřeba clusteru 890 W za hodinu. K této spotřebě elektrické energie je zapotřebí připočíst energii za chlazení případně spotřebu dalších prvků (například core switchů). Pro výpočet budu tedy používat spotřebu 1 kWh a tato spotřeba není závislá na použitém hypervisoru. Cena za kWh pro firemní zákazníky je 1,88 Kč [20].

Další významnou položkou provozních nákladů budou náklady spojené s údržbou clusteru, tedy na virtualizačního administrátora. Na platformu Hyper-V vycházejí podstatně častěji aktualizace, proto zde budu počítat 4 hodiny měsíčně na údržbu clusteru. Na hypervisor vSphere vycházejí aktualizace podstatně méně častěji, proto pro cluster na této technologii budu u administrátora počítat pouze se dvěma hodinami (hodinová sazba 1 200 Kč).

Případné neočekávané výdaje za nefunkční hardware jsou kryté rozšířenou zárukou (carepack) a tedy na dobu 5 let nemusí být započítány. Předpoklad udržitelnosti celého řešení je 5 let, proto budu počítat provozní náklady na celou tuto dobu. Během 5 let může dojít k nárůstu cen jak za elektrickou energii, tak náklady na mzdu administrátora, proto budu předpokládat 2% nárůst energie cen každý rok a 5% nárůst výdajů na administrátora.

	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok	5. rok	Celkem
Elektrická energie [Kč]	16 469	16 798	17 134	17 477	17 827	**85 705**
Hyper-V administrátor [Kč]	57 600	60 480	63 504	66 679	70 013	**318 276**
vSphere administrátor [Kč]	28 800	30 240	31 752	33 340	35 007	**159 139**

Tabulka 21: Provozní náklady clusteru

5.9.3 Zhodnocení ekonomických rozdílů

Z hlediska investičních nákladů vychází cluster na technologii Hyper-V ekonomičtěji. Naopak z hlediska provozních nákladů vychází lépe cluster na technologii vSphere. Porovnání jednotlivých nákladů pro obě technologie jsou uvedeny níže v tabulce 22.

	Hyper-V	**vSphere**
Investiční náklady [Kč]	1 319 285	1 357 435
Provozní náklady [Kč]	403 981	244 844
Celkem [Kč]	1 723 266	1 602 279

Tabulka 22: Porovnání nákladů

Při uvažování provozu clusteru na 5 let je v řeči čísel ekonomičtější cluster na technologii vSphere a to až o 121 tisíc Kč oproti technologii Hyper-V.

6 Závěr

Díky otestování obou technologií, co se týče výkonu a poskytnutí vysoké dostupnosti, lze říci, že mezi nimi není jedna horší a druhá lepší. Obě technologie patří mezi špičku na poli virtualizace a mají co nabídnout.

Při testování rozdílů ve výkonu (kapitola 5.7) jsem nezaznamenal velký výkonnostní rozdíl. V mnou provedených testech dosahovaly testované virtuální stroje o něco lepších výsledků na platformě VMWare, ovšem i tak byl výkonnostní rozdíl zanedbatelný.

Testování vysoké dostupnosti v kapitole 5.8 taktéž neukázalo jednoznačného vítěze. U obou platforem funguje tato funkce při správném nakonfigurování automaticky a bez problémů. Pokud bychom však chtěli mít opravdu vysoce dostupnou infrastrukturu, bez nového startu VM v případě výpadku node, musíme volit VMWare. Technologie Hyper-V neumožňuje nic jako fault tolerant, takže v případě výpadku pokaždé dochází k čistému startu virtuálního stroje.

Důležitým aspektem bylo porovnání i ekonomických nákladů obou řešení (kapitola 5.9). V případě investičních nákladů je technologie Hyper-V ekonomičtější. Pokud ovšem přihlédneme i na provozní náklady, dochází k obratu a při uvažované době udržitelnosti 5 let vychází o něco lépe technologie vSphere.

Pro ještě lepší dosažení redundance by každý server měl být vybaven druhým HBA, aby i v případě poruchy HBA nebyl vyřazen celý node. Ovšem pokud bychom chtěli v budoucnu rozšířit cluster na více než dva nody, dostali bychom se do stavu, kdy by nám chyběly SAS porty a bylo by nutné přidat do SAN dva nové SAS přepínače. Podobně jako SAS HBA tak i síťové karty pro produkční síť by měly být dvě.

Při konfiguraci datového úložiště MSA doporučuji zapnout read/write cache z dostupných SSD disků, čímž lze rapidně navýšit rychlost souborového systému, jak se mi podařilo otestovat v kapitole 5.6.

V diplomové práci se vůbec nezabývám zálohováním serverů, což by v reálném nasazení nemělo určitě chybět. Jedná se o důležitou součást při poskytování služeb. Taktéž se v diplomové práci nezabývám volbou technologie připojení k úložišti a otázkou, zda vůbec je centrální úložiště potřeba. Již nyní existují technologie k vytvoření hyperkonvergované infrastruktury, ve které již dedikované úložiště nemá prostor a je nahrazeno virtuálním úložištěm (tzv. Virtual Storage Appliance).

Protože v zadání této diplomové práce bylo vytvořit CSV cluster v NoSPOF režimu doporučil bych zvolit platformu VMWare vSphere, jelikož provoz virtuálních strojů v tomto režimu plně podporuje. Stejně tak je VMWare dlouhodobým lídrem mezi virtualizačními platformami.

Literatura

[1] Microsoft Technology Evangelist. *Microsoft Hyper-V vs. VMware: How far is VMware Still Ahead?* [online]. 22. 8. 2018 [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: https://www.netwatch.me/2018/08/22/microsoft-hyper-v-vs-vmware-how-far-is-vmware-still-ahead/

[2] Wikipedia: the free encyclopedia. *Timeline of virtualization development.* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 10. 12. 2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_virtualization_development

[3] VMWare, Inc. *VMware Infrastructure Architecture Overview.* [online]. 2006 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: https://www.vmware.com/pdf/vi_architecture_wp.pdf

[4] PAVLIS, Martin a VÁVRA, Jan. *Možnosti virtualizace, přínosy virtualizace serverů.* [online]. 2009 [cit. 2018-11-10]. https://www.systemonline.cz/virtualizace/moznosti-virtualizace-prinosy-virtualizace-serveru.htm

[5] Microsoft Developer Network. *Roaming User Profiles.* [online]. 30. 10. 2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/bb776897(v=vs.85).aspx

[6] BIGELOW, Stephen. *What's the difference between Type 1 and Type 2 hypervisors?.* [online]. 2019 [cit. 2019-01-20]. https://searchservervirtualization.techtarget.com/feature/Whats-the-difference-between-Type-1-and-Type-2-hypervisors

[7] Wikipedia: the free encyclopedia. *High availability.* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 18. 12. 2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/High_availability

[8] Windows IT Pro Center. *Supported Linux and FreeBSD virtual machines for Hyper-V on Windows.* [online]. 3. 10. 2016 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/virtualization/hyper-v/supported-linux-and-freebsd-virtual-machines-for-hyper-v-on-windows

[9] Altaro. *How High Availability works in Hyper-V.* [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: https://www.altaro.com/hyper-v/how-high-availability-works-in-hyper-v/

[10] International Data Corporation. *Worldwide Server Market Revenue Grew 43.7% Year Over Year to a Record $22.5 Billion During the Second Quarter of 2018, According to IDC.* [online]. 5. 9. 2018 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44259518

[11] Hewlett Packard Enterprise Development LP. *HPE MSA 2050 User Guide.* [online]. 2018 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: https://support.hpe.com/hpsc/doc/public/display?docId=a00017710en_us

[12] Hewlett Packard Enterprise. *HPE DDR4 Server Memory Configurator.* [online]. 2018 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: https://memoryconfigurator.hpe.com/DDR4memoryconfig/Home/ConfigurationDetails

[13] Microsoft Docs. *Virtual Machine Load Balancing deep-dive.* [online]. 2016-09-16 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/failover-clustering/vm-load-balancing-deep-dive

[14] NOBEL Rickard. *VMXNET3 vs E1000E and E1000 – part 2.* [online]. 2014 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: http://rickardnobel.se/vmxnet3-vs-e1000e-and-e1000-part-2/

[15] ACHTEMICHUK Mark. *Which vSCSI controller should I choose for performance?* [online]. 2014 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: https://blogs.vmware.com/vsphere/2014/02/vscsi-controller-choose-performance.html

[16] Hewlett Packard. *HP SmartCache technology.* [online]. 2013 [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: http://www.pt-solutions.com/pdf/HPsmartcache.pdf

[17] Hewlett Packard Enterprise. *HPE Hard Disk Drives.* [online]. 2018 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: https://h20195.www2.hpe.com/v2/getpdf.aspx/a00001287enw.pdf

[18] Hewlett Packard Enterprise. *HPE Solid State Disk Drives (SSD & Accelerators).* [online]. 2017 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: https://h20195.www2.hpe.com/v2/getpdf.aspx/a00001288enw.pdf

[19] Hewlett Packard Enterprise Development. *HPE Power Advisor.* [online]. 2019-03-15 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: https://paonline56.itcs.hpe.com/?Page=Index

[20] Měšec.cz. *Srovnání cen elektřiny: Češi platí méně, než je evropský průměr, i když cena roste.* [online]. 2018-12-18 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: https://www.mesec.cz/clanky/srovnani-cen-elektriny-cesi-plati-mene-nez-je-evropsky-prumer-i-kdyz-cena-roste/

A Tabulky

	Skóre Hyper-V					Skóre vSphere				
Test	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**
Test 1	1940,5	371,2	1220,9	1148,7	1594,9	2173,0	400,7	1224,9	1123,2	1698,4
Test 2	2136,9	409,8	1221,7	1160,4	1706,4	2175,1	402,0	1239,5	1127,4	1704,8
Test 3	1983,8	401,9	1204,2	1163,1	1643,7	2177,2	406,8	1233,0	1130,2	1710,2
Test 4	2118,8	402,2	1203,0	1152,2	1685,9	2166,0	401,1	1231,3	1110,3	1694,6
Test 5	2058,6	404,3	1190,9	1148,4	1665,0	2144,8	403,7	1238,7	1119,2	1694,9
Průměr	2053,7	402,8	1199,4	1154,6	1664,9	2164,3	402,1	1234,4	1123,3	1699,4

Tabulka 23: Naměřené hodnoty pro VM1

	Skóre Hyper-V					Skóre vSphere				
Test	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**
Test 1	3841,6	394,4	1361,3	1154,3	2090,7	4030,6	404,9	1388,1	1125,8	2132,1
Test 2	3757,5	397,9	1360,0	1155,7	2084,4	4012,7	396,0	1397,7	1126,7	2116,7
Test 3	3776,7	399,6	1360,9	1152,1	2089,1	4014,4	403,2	1398,1	1125,1	2129,2
Test 4	3850,4	399,3	1353,0	1151,6	2097,3	4034,7	400,0	1396,3	1123,7	2125,4
Test 5	3776,9	398,4	1353,1	1144,0	2081,7	4002,3	402,3	1400,1	1129,5	2128,4
Průměr	3792,0	397,3	1360,7	1154,0	2088,0	4017,1	401,8	1398,2	1126,1	2127,7

Tabulka 24: Naměřené hodnoty pro VM2

	Skóre Hyper-V					Skóre vSphere				
Test	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**	**CPU**	**2D**	**RAM**	**HDD**	**Celkem**
Test 1	8040,0	386,8	1383,2	1146,5	2425,7	8163,3	381,7	1428,5	1099,1	2407,5
Test 2	8011,1	387,4	1363,7	1146,6	2419,0	8174,2	382,9	1420,7	1105,6	2412,1
Test 3	8030,8	386,7	1313,3	1148,1	2400,3	8179,1	370,4	1426,3	1107,7	2383,4
Test 4	8011,7	387,3	1396,0	1144,8	2429,1	8147,6	383,0	1455,3	1106,0	2422,6
Test 5	8009,2	388,4	1309,8	1133,1	2394,2	8160,5	380,8	1419,7	1120,6	2414,5
Průměr	8027,3	387,0	1353,4	1147,1	2415,0	8166,0	381,8	1423,0	1108,4	2411,4

Tabulka 25: Naměřené hodnoty pro VM3