

MOŽNOSTI VÝUKY VIRTUALIZAČNÍCH TECHNOLOGIÍ A JEJÍ AUTOMATIZACE S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE VMWARE VSPHERE

KLEMENT Milan, CZ

Resumé

Využití virtualizace a virtualizačních technologií ve vzdělávacích institucích se jeví jako velmi přínosné a z pohledu učitelů i žáků jako podnětné. Je možné je využívat nejen pro zajištění chodu školních informačních systémů, ale také k samotné výuce žáků či studentů. Pro žákovské pokusy ale většinou nejsou prostředky pro vybudování potřebného technologického zázemí, a to částečně platí i pro možnosti nasazení v produkčním prostředí. Nabídka virtualizačních technologií je v současné době velmi rozsáhlá a může pokrývat celou škálu potřeb uživatele, počínaje virtualizací desktopového operačního systému, přes virtualizaci serverů až po virtualizaci a konsolidaci jednotlivých služeb.

Prezentovaný článek se tak zabývá aktuální problematikou konstrukce, provozu a přípravy konsolidovaných datacenter na výuku pokročilé správy a provozu virtualizačních technologií postavených na VMware vSphere. Přibližuje čtenáři nejen vlastní pojem virtualizace, ale také potřebnou hardwarovou a softwarovou infrastrukturu potřebnou pro její realizaci, včetně možností automatizace přípravy výukových prostředí pomocí PowerCLI a PowerShell.

Klíčová slova: virtualizační technologie, virtualizace, virtualizační datacentrum, VMware, vSphere, vCenter.

POSSIBILITIES OF TEACHING VIRTUALIZATION TECHNOLOGIES AND ITS AUTOMATION USING VMWARE VSPHERE TECHNOLOGY

Abstract

The use of virtualization and virtualization technologies in educational institutions seems to be very beneficial and from the point of view of teachers and students as stimulating. It is possible to use them not only to ensure the operation of school information systems, but also for the teaching of pupils or students. For student experiments, but usually there are no means to build the necessary technological background, and this partly applies to the possibility of deployment in a production environment. The range of virtualization technologies is currently very extensive and can cover the full range of user needs, from desktop operating system virtualization, through server virtualization to virtualization and consolidation of individual services.

The presented article deals with current issues of construction, operation and preparation of consolidated data centers for teaching advanced management and operation of virtualization technologies based on VMware vSphere. It introduces the reader not only to the concept of virtualization, but also the necessary hardware and software infrastructure needed for its implementation, including the possibility of automating the preparation of learning environments using PowerCLI and PowerShell.

Key words: Virtualization technology, virtualization, virtualization datacenter, VMware, vSphere, vCenter.

Úvod

Slovo „virtual“ je možné z angličtiny volně přeložit jakožto „fiktivní“ nebo „zdánlivý“. Toto spojení by tedy mohlo vést k názoru, že je virtualizace něco nereálného, či falešného. Nicméně faktem je, že princip této technologie je na určité úrovni fikce založen. Tato skutečnost je dána především tím, že uvnitř jakéhosi „obalu“ se dějí unikátní procesy, a vně tohoto obalu se celek tváří jako něco úplně jiného, strukturou jasně definovaného (Lowe, 2010). Kdokoliv nebo cokoliv je pak v interakci s takovýmto objektem, nepochybuje o jeho relevantnosti.

Vlastní virtualizace platformy je prováděna pro danou hardwarovou platformu pomocí speciálního softwaru hostitele (řídící program), který vytváří simulované prostředí počítače (virtuální stroj) pro hostovaný software (Lalrinawma, Lalchhanhima, 2020). Software hosta, což často bývá celý operační systém, běží, jako by byl nainstalován na samostatné hardwarové platformě. Typicky je simulováno více takových virtuálních strojů na jednom fyzickém stroji (Pizzonia, Rimondini, 2016). Pro správnou funkci hosta je třeba, aby simulace byla dostatečně robustní, aby podporovala všechna vnější rozhraní hostovaného systému, což (vzhledem k druhu virtualizace) může zahrnovat i ovladače hardwaru (Klement, 2009).

Na základě výše uvedených skutečností lze tedy hardwarovou virtualizaci charakterizovat jako vytvoření a provoz virtuálního stroje (VM), který se chová jako skutečný počítač s operačním systémem. Fyzický počítač, na kterém je VM umístěn, je nazýván hostitelským počítačem neboli HOSTem (El-Omar, 2016). Operační systém tohoto počítače nemá vliv na použitý operační systém VM, a ve virtuálním stroji tedy může být použit libovolný operační systém, který je virtuálním prostředím podporován. Z tohoto popisu je možné odvodit klasifikaci virtualizačních technologií, která je založena na „uživatelském“ přístupu a zaměřuje se na možnosti uplatnění z pohledu cílového systému. Z tohoto pohledu je potom možné virtualizaci rozdělit do tří skupin (Klement, 2017).

- Desktopová virtualizace (virtualizace na stanicích či virtualizace stanic) je charakteristická tím, že hostitelským počítačem není specializovaný hardwarový server, ale běžná pracovní stanice, notebook, či mobilní dotykové zařízení. Cílem těchto virtualizačních nástrojů tedy není konsolidace rozsáhlých hardwarových či síťových struktur, ale virtualizace běžných typů uživatelských operačních systémů za účelem testování, vývoje či zajištění zpětné kompatibility aplikací.
- Infrastrukturní virtualizace (virtualizace na serverech či virtualizace serverů) je zaměřena na celkovou konsolidaci a zjednodušení zprávy rozlehlých hardwarových a síťových infrastruktur, kdy jsou používány specializované virtualizační servery, disková pole, a především komplexní virtualizační nástroj (hypervisor), schopný spravovat a řídit celou infrastrukturu, a to i ve vzájemně odlehlých geografických oblastech.
- Virtualizace v cloudu (virtualizace serverů a služeb či služby pro virtualizaci) je zaměřena na poskytování virtualizačních řešení externími poskytovateli, který umožňuje přístup a použití sdílených infrastruktur prostřednictvím webových služeb. V rámci těchto služeb, které jsou často placené, je možné ze strany uživatele vytvářet dedikované virtualizované servery či služby, které jsou provozovány na geograficky odlehlých místech, a to formou outsourcingu.
- Virtualizace aplikací (oddělení závislosti aplikace na operačním systému). Aplikace se tedy v tomto případě nemusí instalovat a uživatel ji může využívat na různých typech zařízení a operačních systémech. Toto virtuální prostředí se chová jako vrstva mezi aplikací a operačním systémem, která zabraňuje konfliktům mezi aplikací a OS nebo mezi aplikacemi vzájemně (např. technologie docker, docker swarm, kubernetes apod.).

Nabídka virtualizačních technologií je v současné době velmi rozsáhlá (Klement, Gregar, 2016) a může pokrývat celou škálu potřeb uživatele, počínaje virtualizací desktopového operačního systému, přes virtualizaci serverů až po virtualizaci a konsolidaci jednotlivých služeb. Pro úplnost tedy v další části statí pojednáme o nejčastěji se vyskytujících virtualizačních nástrojích, které je možné v současné době používat pro jednotlivé typy a způsoby virtualizace.

1 Způsoby využití virtualizačních nástrojů ve vzdělávání

Využití virtualizačních technologií ve vzdělávání, respektive v podmínkách škol, je v současnosti relativně neprobádanou oblastí (Klement, 2017; Xu, Ren, Wang, 2017; Besemer, Eve, 2009 aj.). Jednou z cest, jak je možné virtualizační technologie využít pro vlastní výukové činnosti, je jejich využití pro podporu výuky hardwarové a softwarové konfigurace počítačů. Tato podpora může být zjevná (výuka instalace či pokročilé konfigurace OS, testování aplikací na různých typech OS), nebo skrytá (emulace výukových programů, terminálové služby apod.), kdy žáci či studenti ani nevědí, že pracují na virtuálních strojích (Klement, 2017). Pro takto koncipovanou výuku není nutné uvažovat pouze o infrastrukturní podpoře, ale je možné využít i desktopové virtualizační nástroje. Tato oblast tedy zahrnuje především tyto části či činnosti:

- výuka hardwarové a softwarové instalace OS (v podmínkách škol je mnohdy obtížné vyučovat problematiku instalace OS, neboť není k dispozici specializovaná učebna, na které by bylo možné opakovaně přeinstalovat OS),
- výuka hardwarové a softwarové konfigurace OS (v podmínkách škol je opět obtížné nechat žáky či studenty zasahovat do systémových nastavení OS, neboť PC na učebnách nejsou zpravidla dedikovány pouze na tuto činnost a špatný zásah do nastavení OS může vyvolat jejich kolaps a znemožnění využití PC pro další výuku),
- výuka instalace a konfigurace uživatelského software (podobná situace jako u předchozích dvou bodů),
- simulace řešení virových incidentů (práce s antivirovými programy, práce s registry a službami, kdy nehrozí rozšíření virů na hostitelský počítač či v síti),
- testovací účely (vývoj aplikací pod vícero OS, portování aplikací do jiných OS apod.).

Tato oblast je z pohledu výukových činností velmi široká a umožňuje využívat potenciálu virtualizačních technologií v celé řadě výukových situací. Skutečnost, že virtuální stroje je možné snadno přenášet či zálohovat (v případě desktopové virtualizace je virtuální stroj často tvořen pouze dvěma soubory), ušetří učitelům mnoho starostí s přípravou vhodných výukových podmínek.

Jednou z možností využití virtualizačních technologií ve vzdělávání je zaměření na výuku o virtualizaci (Klement, 2017; Fitzpatrick, 2013). Jejím cílem je tedy vytvořit takové podmínky a výukové situace, které by umožnili žákům a studentům seznámit se s provozem a správou těchto technologií, neboť se zvyšujícím se podílem virtualizačních technologií na trhu, bude také logicky stoupat potřeba kvalifikovaných operátorů, kteří tyto technologie budou obsluhovat či konfigurovat. V rámci této oblasti je možné využívat jak nástrojů pro infrastrukturní virtualizaci ale i virtualizaci desktopovou, která je v dnešní době často bezplatná a školy ji tedy mohou v široké míře využívat. Tato oblast tedy zahrnuje především tyto části či činnosti:

- správa virtualizačních nástrojů (desktopová, infrastrukturní i cloudová virtualizace),
- obsluha virtualizačních nástrojů, ve smyslu zvládnutí uživatelských rozhraní a základních činností s nimi,
- konfigurace virtualizačních nástrojů (v případě desktopové zahrnuje instalaci a prvotní konfiguraci virtualizačního nástroje; v případě infrastrukturní potom zahrnuje především

konfiguraci hypervizoru a souvisejících hardwarových komponent; v případě cloudové potom přístupnost a customizaci poskytovaných zdrojů),

- konfiguraci virtuálních strojů a prostředí a jejich spouštění.

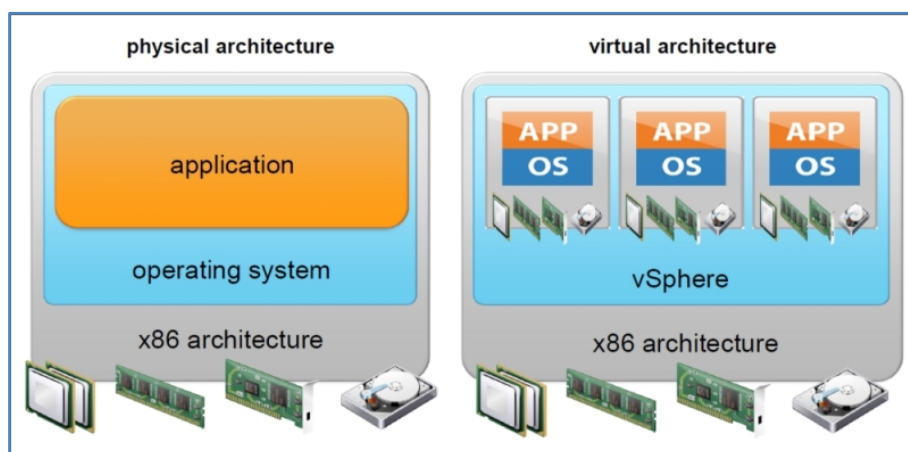
Tato oblast tedy zahrnuje nejen technologickou stránku, ale konkrétní činnosti a postupy, které si mohou žáci či studenti osvojit a dále využívat jak v rámci výuky, tak v mimoškolní činnosti (testovací prostředí, emulace vícero OS apod.). Její nevýhodou však je, pokud se zaměříme na virtualizaci infrastrukturní, která vyžaduje příslušné vybavení, relativní finanční náročnost a pracnost přípravy takto zaměřené výuky (Klement, 2009). V současnosti existuje několik nástrojů pro infrastrukturní virtualizaci, některé jsou pro školství zdarma, ale ty vždy předpokládají existenci potřebné hardwarové infrastruktury ať již vlastní či pronajaté v cloudových řešeních. Nespornou výhodou je potom vysoká komplexnost výuky, kdy žáci a studenti mohou s těmito nástroji pracovat na mnoha úrovních, a to i vzdáleně.

Je tedy pouze otázkou času, kdy i školská zařízení začnou ve větší míře virtualizačních nástrojů využívat nejen ve výuce, ale také pro řešení svých infrastrukturních potřeb a služeb (Klement, 2009). Jednou z cest je tedy i využití infrastrukturního virtualizačního nástroje VMware vSphere, které čtenáři přiblížíme v další části textu.

2 VMware vSphere

Společnost VMware je lídrem v oblasti virtualizace, což dokládá i více než 500 000 zákazníků a přes 55 000 partnerů. Produkty VMware svým zákazníkům zajišťují větší pružnost, efektivitu a lepší zhodnocení investic. Kromě řešení pro virtualizaci desktopů a aplikací nabízí též pokročilé nástroje pro datová centra a cloudové infrastruktury. Základní komponenty VMware vSphere využívá sílu virtualizace k přeměně datových center na jednoduché výpočetní střediska v podobě cloudu a umožňuje IT organizacím poskytovat flexibilní a robustní IT služby (Ruest, 2010). Jedná se o komplexní řešení pro nasazení a správu virtuálních strojů napříč datovými centry.

Základním stavebním kamenem vSphere jsou komponenty VMware ESXi a VMware vCenter Server. Komponenta ESXi slouží jako hypervizor pro běh virtuálních strojů. Komponenta vCenter Server zastupuje funkci centrálního správce ESXi hostitelů připojených do počítačové sítě (možnost vytvoření virtuálního switchu, díky kterému lze propojit virtuální počítače v ethernetové síti) a umožňuje správu a monitoring prostředků i pro více hostitelů zároveň (Kusnetzky, 2011).

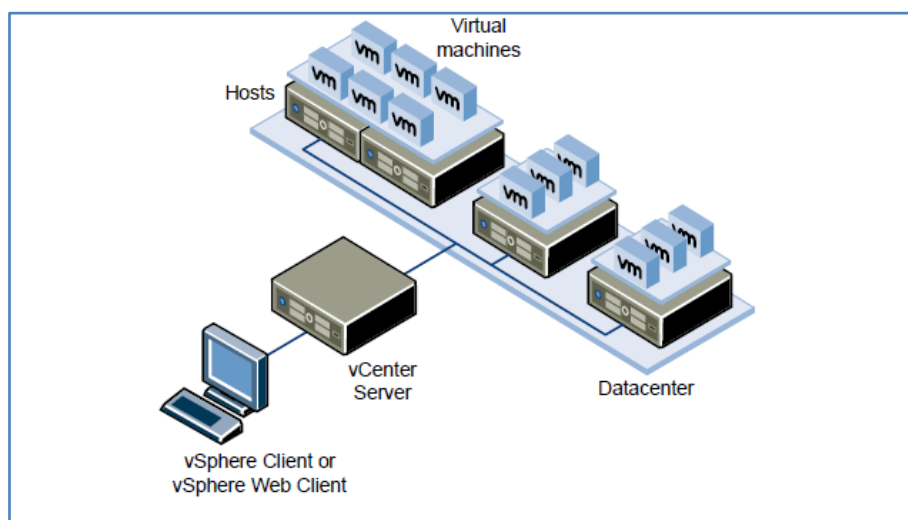


Obrázek 1 – Rozdíl mezi fyzickou a virtuální infrastrukturou VMware vSphere

3 Topologie datacentra postaveného na technologii VMware vSphere

Datacentrum postavené na technologii VMware vSphere musí obsahovat některé hardwarové, ale i softwarové komponenty, které zajišťují provoz hostovaných virtuálních strojů a jejich komponent (VMware, 2015):

- Základní komponentou je tak výpočetní server – ESXi server, který je nainstalovaný na fyzickém serveru, poskytuje prostředky (CPU, RAM, HDD, LAN apod.) pro virtuální počítače. Každý takový server tvoří ve virtuálním prostředí samostatného hostitele a v případě více serverů s podobnou konfigurací připojených do stejné sítě lze sdružovat výkon všech těchto serverů k přiřazování prostředků virtuálním strojům.
- Další důležitou komponentou je síťové úložiště nebo diskové pole – VMware vSphere podporuje všechny hojně využívané úložné technologie typu SAN (ať už Fibre Channel nebo iSCSI) i NAS (Network Area Storage). Taková pole, pokud jsou propojená a sdílená v rámci jedné skupiny serverů, je možné využívat jako jedno obří úložiště, z něhož lze jednotlivým virtuálním strojům flexibilně poskytnout potřebnou kapacitu virtuálního HDD.
- IP síť – virtuální servery mohou mít hned několik síťových adaptérů tak, aby obsáhly celé pásmo sítě a poskytly spolehlivou síťovou komunikaci v celém datovém centru.
- vCenter Server – poskytuje kontrolu přístupu, monitorování výkonu a možnost konfigurování datového centra přehledně na jednom místě. V této komponentě dochází ke sjednocování dostupných prostředků z jednotlivých výpočetních serverů, aby mohly být následně propůjčeny virtuálním strojům v síti pomocí správce přiřazování na základě nastavení politik.
- Management klienti – pro přístup a správu virtuálních strojů nabízí vSphere několik rozhraní pro přístup k virtuálním strojům. Pomocí aplikace vSphere Client, webového klienta vSphere Web Client pro přístup přes webový prohlížeč nebo pomocí příkazového řádku vSphere Command Line Interface (vSphere CLI).



Obrázek 2 – Topologie datového centra vSphere

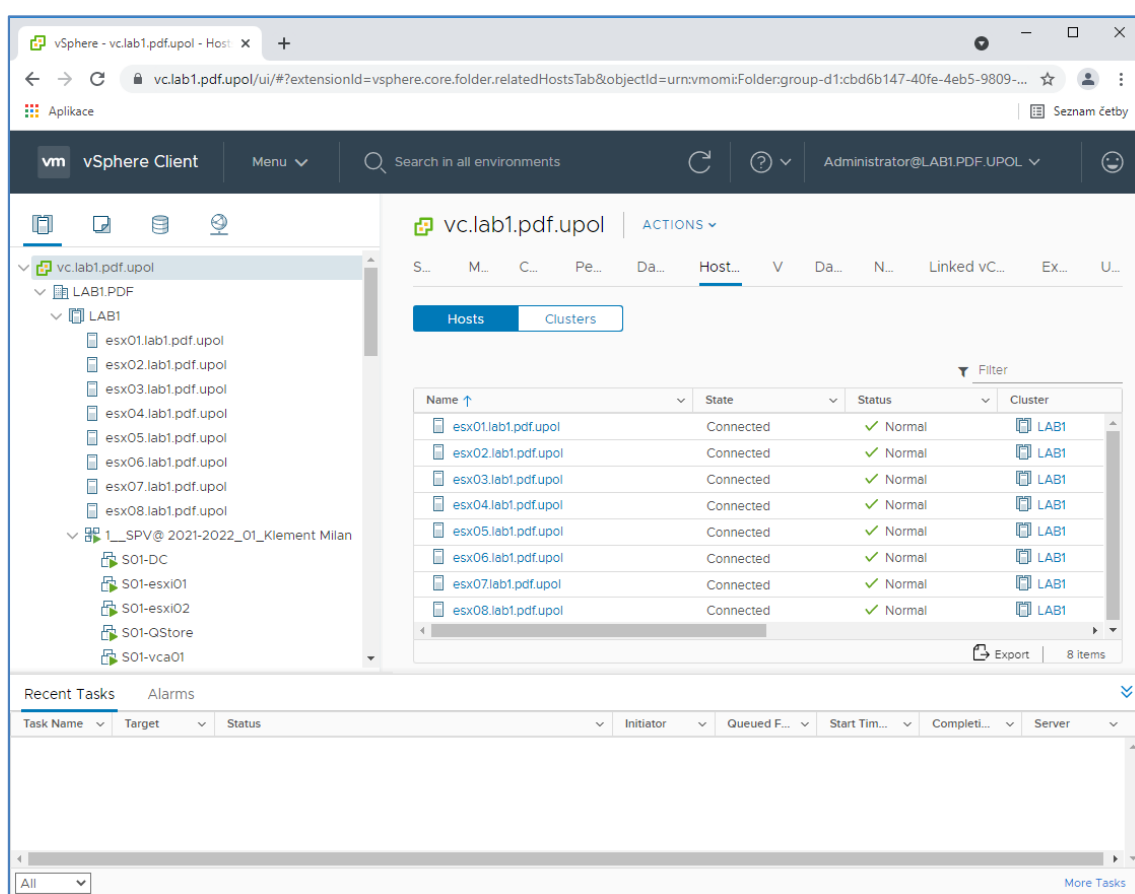
4 Struktura výukového datacentra KTE UPOL

V rámci realizace výuky na katedře technické a informační výchovy, Pedagogické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci (KTE UPOL) jsou studenti bakalářských i navazujících studijních programů seznamováni s problematikou virtualizace (Klement, 2016). V rámci těchto aktivit jsou vyučovány předměty VIT@ - Virtualizační technologie a SPV@ - Správa a provoz virtualizačního datacentra.

Cílem těchto předmětů je poskytnout studentům přehled o klíčových konceptech virtualizačních a cloudových systémů a o jejich využití v praxi se zvláštním zaměřením na školská zařízení. Předměty jsou tedy zaměřeny na pokročilou správu, design a konfiguraci těchto pokročilých virtualizačních řešení (VMware, Hyper-V apod.) s přesahem do cloudových řešení. Zvláštní zřetel je kladen na možnosti implementace virtualizačních technologií pro konsolidaci a rozvoj Školních Informačních Systémů (ŠIS), a to jak po stránce hardwarové, tak i softwarové.

Aby bylo možné takto komplexně orientovanou výuku realizovat, byl zakoupeno zprovozněno výukové datacentrum postavené na technologii VMware vSphere verze 6.7, na kterém je tato výuka realizována. Studenti mohou k výukovému datacentru přistupovat jak lokálně, tedy přímo z učeben katedry, či vzdáleně pomocí protokolu RDP, tedy z domova či pracoviště. Předměty ročně absolvuje více než 120 studentů, v prezenční i kombinované formě, a proto musí být výukové datacentrum dostatečně výkonné. V současnosti je toto výukové datacentrum osazeno těmito komponenty:

- 8 x ESXi server: 8 x 4 Core CPU, 256 GB RAM, 6 x NIC 10 Gbit,
- 2 x vCenter server: 8 x 4 Core CPU, 128 GB RAM, 4 x NIC 10 Gbit
- 1 x diskové pole: servery jsou k němu připojeny FC (20 Gbit) konektivitou a pole je osazeno 24 ks 900 GB HDD SAS LFF s celkovou kapacitou 16 TB s RAID 5, na tomto poli jsou uloženy obrazy virtuálních serverů a zároveň tvoří konsolidované úložiště všech dat,
- 1 x pásková knihovna LTO: plně robotická pásková knihovna s 24 páskami.
- 2 x UPS: UPS APC 6000 W,
- LAN prostředí je tvořeno switchi Juniper EX 3300 a Core switchi Juniper QS 4550.



Obrázek 3 – Struktura výukového datacentra KTE UPOL

Na výukovém clusteru jsou provozovány virtuální stroje s OS Windows 10 respektive OS Windows 2016 a 2019 server na virtualizační vrstvě vSphere 6.7, sloužící k výuce hardwarové a softwarové konfigurace těchto OS a celkovou manipulací s komponenty virtualizační infrastruktury. V rámci výukového datacentra má každý student výše uvedených předmětů dedikován tzv. výukový balíček (viz obrázek výše – Masterkit), který zahrnuje sadu virtuálních strojů, které jsou k výuce potřebné. Konkrétně se jedná o:

- dva virtualizované EXSi servery (esx01 a esx02),
- jedno virtualizované diskové pole (QStore),
- jeden virtualizovaný vCenter server (vca01),
- jeden virtuální stroj s Windows 10 pro testování (Win10),
- dva virtuální stroje s Windows 2016 server pro správu (DC a Win2016 server).

Velkým problémem je tak vytvoření potřebného počtu výukových balíčků a jejich zpřístupnění studentům. Výukových balíčků se každoročně vytváří více než 120 a jejich ruční klonování či kopírování by byla činnost časově i technicky velmi obtížná. Z tohoto důvodu jsme za začali zabývat řešením tohoto problému pomocí automatizovaného deploymentu.

5 Deployment výukových balíčků

Pojem deployment původně vychází z vojenského termínu, který se používal při popisu umístění vojáků a vojenského vybavení v bitevním poli. Dnes se s tímto termínem nejčastěji setkáme v souvislosti s informačními technologiemi a doslova znamená nasazení. V této oblasti se deployment může týkat serverů, stanic, softwaru, počítačových sítí nebo třeba i webů. Deployment operačního systému je kritickým bodem IT administrátorů. V každé organizaci, která má svoji vlastní síť, se nachází více počítačů, jejichž individuální instalace a nastavování je časově a potažmo i finančně velice náročný proces. Z tohoto důvodu se hledají cesty, jak proces instalace zjednodušit a urychlit automatizací u desítek i stovek počítačů. Při nasazování operačních systémů se nabízí hned několik možností, jak zautomatizovat nasazování operačního systému, jako je např. použití sady nástrojů Microsoft Deployment Toolkit, služeb Windows Deployment Services, či Windows Automated Installation Kit (Microsoft TechNet, 2016).

Microsoft Deployment Toolkit (MDT) je nástroj pro automatizaci při nasazování operačních systémů a aplikací. Výrazně zkracuje dobu instalace a udává standard instalačních obrazů a zároveň vylepšuje zabezpečení a správu konfigurace. Nejnovější verze Microsoft Deployment Toolkit 2019 podporuje deployment operačního systému Windows 8/8.1/10 i serverového OS Windows Server 2012/2016 a Windows Server 2019. Nejdůležitější funkcionality v Microsoft Deployment Toolkit 2019:

- podpora Windows Assessment a Deployment Kit (ADK) pro Windows,
- podpora deploymentu systémů Windows 8/8.1 a 10 a Windows Server 2012/2016 a 2019,
- podpora System Center 2016 R2 Configuration Manager,
- vylepšuje podporu 32bitových systémů UEFI (Unified Extensible Firmware Interface),
- podpora využití PowerShell a PowerCLI pro deployment Appliances VMware.

Základem použití této technologie v rámci VMware vSphere je příprava skriptu v prostředí PowerCLI, který je poté možné spouštět v prostředí PowerShell operačních systémů Windows. PowerCLI obsahuje více než 1900 cmdlet pro správu cloudu VMware a virtuální infrastruktury (vSphere, vSAN, vRealize Operations Manager, vCloud Director, Site Recovery Manager, Horizon 7 a vCloud Air). Po spuštění rutiny cmdlet se API volá na určeném serveru ESXi nebo serveru vCenter a na tomto serveru vykonává svou práci.

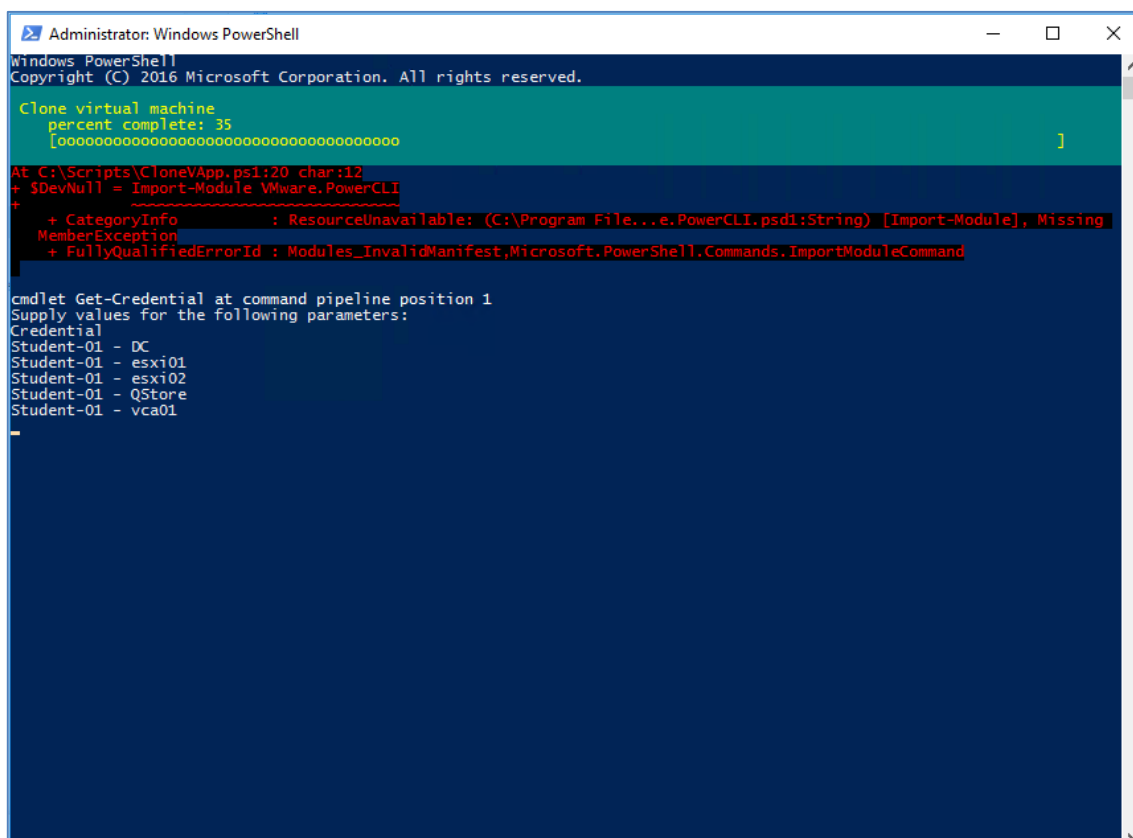
Úplný popis všech příkazů a možností tohoto nástroje by značně přesáhl možnosti rozsahu této stati, a proto pro úplnost uvádíme pouze základní příkazy pro práci s PowerCLI (kompletní seznam příkazů je dostupný na adrese: <https://vdc-download.vmware.com/vmwb-repository/dcr-public/724628c9-ab57-47b3-a78a-3e9f94110283/1c847357-d705-44b9-9d46-e1aa2f73a4f7/vmware-powercli-65r1-user-guide.pdf>). Pokud potřebujeme zjistit seznam všech příkazů pro jednotlivé cmdlet, použijeme příkaz:

```
Get-command * vm
```

Chceme-li získat nápovědu ohledně účelu a příkladů použití jednotlivých rutin cmdlet PowerCLI, můžeme použít příkaz help (Získat nápovědu), například:

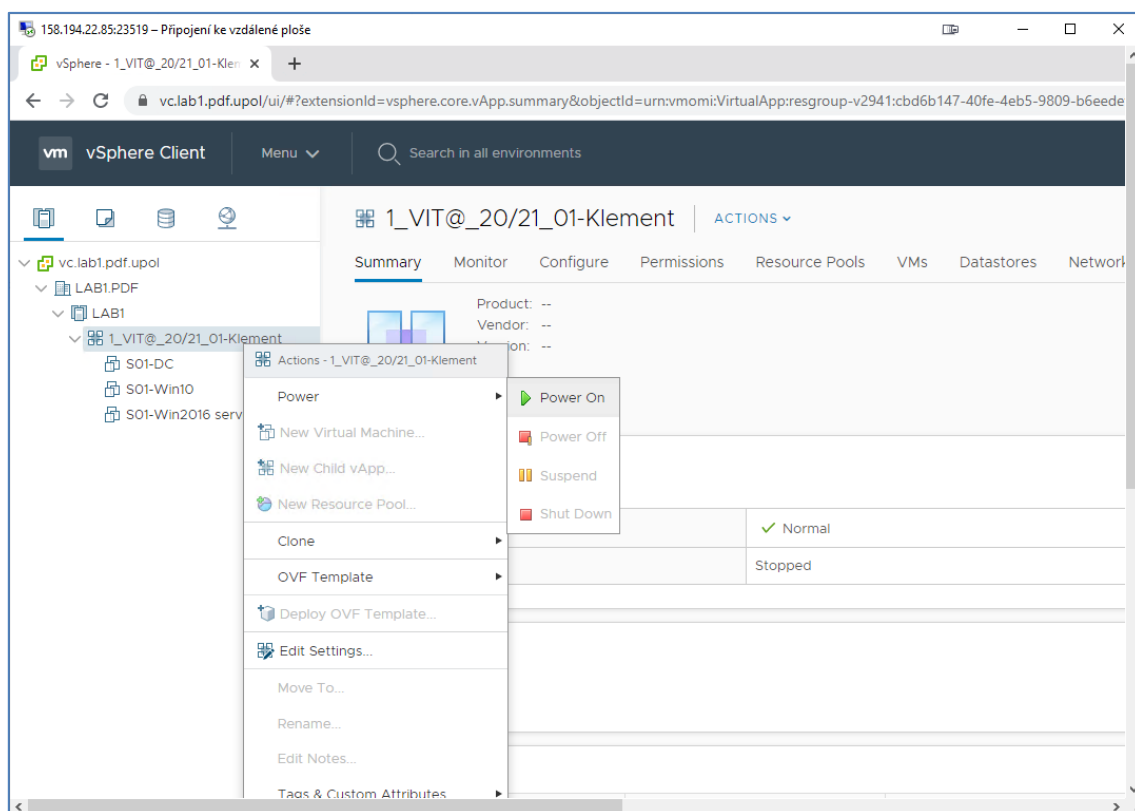
```
help Connect-VIServer -Full
```

Správné fungování tohoto skriptu umožňuje nejen vytvoření klonů výchozího výukového balíčku (tzv. MasterKit – viz obrázek níže), ale napojení klonovaných balíčků na jednotlivé virtuální podsítě výukového datacentra (VLAN), jak pro management síť, tak pro produkční síť.



Obrázek 4 – Aplikace skriptu PowerCLI v prostředí PowerShell

Aplikací připraveného skriptu je potom možné automaticky vygenerovat požadovaný počet výukových balíčků, které je možné zpřístupnit konkrétním studentům. Dle nastavených oprávnění (Permissions) mohou potom uživatelé přistupovat a ovládat nejen celý výukový balíček na úrovni vApp, ale mohou pracovat s jednotlivými virtuálními stoji, které obsahuje.



Obrázek 5 – Vytvořený výukový balíček v rámci VMware vSphere

Závěr

Využití virtualizačních technologií ve vzdělávacích institucích, a to nejen pro produkční nasazení, skýtá mnoho podnětů pro rozvoj kompetencí žáků a studentů v oblasti využití a provozování informačních a komunikačních technologií. V celkové důsledku mohou také snížit celkovou pracnost a finanční náročnost na provoz školních informačních systémů a celkové zjednodušení jejich správy. Daleko větší potenciál ale mají při využití pro vlastní vzdělávání žáků a studentů, a to jako vlastní objekt vzdělávání (Klement, 2017) kdy stále více zvyšuje poptávka po odbornících na tuto oblast, ale také jako prostředek k zajištění vzdělávání žáků a studentů v náročnějších oblastech jako je pokročilá konfigurace a správa operačních systémů. Je tedy pouze otázkou času, kdy i školská zařízení začnou ve větší míře virtualizačních technologií využívat nejen ve výuce, ale také pro řešení svých infrastrukturních potřeb a služeb.

Využití VMware vSphere a PowerCLI či PowerShell je jednou z cest, jak bez vynaložení vysokých finančních prostředků, nutných pro vybudování potřebného technologického zázemí, využívat virtualizační technologie ve vzdělávání, a to jak pro produkční nasazení, tak pro testovací a vzdělávací účely.

Literatura

Besemer, D., Eve, R. When Data Virtualization? (2009). In: *Database Trends and Applications*, 12, Vol. 24, No. 4, pp. 20-22 ProQuest Central; ProQuest Technology Collection. ISSN 1547-9897.

- El-Omari, N. K. T. (2019). Cloud IoT as a Crucial Enabler: a Survey and Taxonomy. In: *Journal of Modern Applied Science*, Canadian Center of Science and Education. Vol. 13, No. 8. pp 86-149. ISSN 1913-1844. DOI: 10.5539/mas.v13n8p86.
- Fitzpatrick, J. (2013). *Best Virtual Machine Application: VirtualBox*. In: Lifehacker.com [online] Gawker Media, [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: http://wikibon.org/wiki/v/VMware's_hypervisor_hold_may_be_waning
- Klement, M. (2009). Hardware virtual infrastructure. In: *Journal of Technology and Information Education*, Olomouc - EU, Palacký University, Vol. 1, No. 2, pp. 86–88. ISSN 1803-537X.
- Klement, M. (2017). Models of integration of virtualization in education: Virtualization technology and possibilities of its use in education. In: *Computer & Education*. Elsevier, Vol. 105, No. 3, pp. 31 – 43. ISSN 0360-1315.
- Klement, M. (2009). Virtuální infrastruktura. In: *Journal of Technology and Information Education*, Olomouc - EU, Palacký University, Vol. 1, No. 2, p. 86–88. ISSN 1803-537X.
- Klement, M., Gregar, J. (2016). Options of Integration Virtualization Technologies into Education. In: *Proceedings of 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts (SGEM 2016)*. Stef92 Technology, Sofia, Bulgaria, pp. 713-722. ISSN 2367-5659.
- Kusnetzky, D. (2011). *Virtualization: a manager's guide* [online]. Sebastopol, CA: O'Reilly, 58 p. [cit. 2021-02-21]. ISBN 14-493-0645-4.
- Lalrinawma, C., Lalthanhima, H. (2020). Virtual cloud technology in education. In: *Journal Science, Technology and Development*, Vol. 12, No. 3. pp.253-261. ISSN: 0950-0707.
- Lowe, S. (2010). *Mistrovství ve VMware vSphere 4, kompletní průvodce profesionální virtualizací*. 1. vyd. ISBN 978-80-251-2915-9.
- Microsoft Deployment Toolkit. *Microsoft TechNet* [online]. (2016). [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://technet.microsoft.com/en-us/windows/dn475741>
- Pizzonia, M., Rimondini, M. (2016). Netkit: network emulation for education. In *software-practice & experience*, Wiley-Blackwell, NJ USA, Vol. 46. No.2, pp. 133-165. ISSN 0038-0644.
- Ruest, D., Ruest, N. (2010). *Virtualizace: podrobný průvodce*. 1. vyd., Brno: Computer Press, 408 p. ISBN 978-80-251-2676-9.
- Vmware. (2015). *Virtualizace VMware pro klientské osobní počítače, servery, aplikace, veřejné a hybridní cloudy* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <http://www.vmware.com/cz/>.
- Xu, J., Ren, T., Wang, Y. (2017). Identification and Evaluation for Key Factors of Innovative Education in Universities Based on Grey Relational Model. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, Vol. 13, No. 12. pp. 8313-8321.

Kontaktní adresa:

Milan Klement, doc. PhDr. Ph.D.,
Katedra technické a informační výchovy, Pedagogická fakulta UP, Žižkovo nám. 5, 771 40
Olomouc, ČR, tel.: 00420 585 635 8011, fax +420 585 231 400, e-mail: milan.klement@upol.cz