

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ
FAKULTA INFORMATIKY A MANAGEMENTU
KATEDRA INFORMATIKY A KVANTITATIVNÍCH METOD

Orchestrace a management virtuálních
síťových funkcí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Ondřej Smola

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Soběslav, Ph.D.

Hradec Králové

srpen, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne 20. srpna 2016

Ondřej Smola

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Vladimíru Soběslavovi, Ph.D, za metodické vedení práce, odborné rady a připomínky v průběhu jejího psaní. Dále bych chtěl poděkovat za podporu své rodině, kolegům a přátelům. Především děkuji Jakubovi Pavlíkovi za podmětné rady a připomínky, které také přispěli k tomu, že mohla tato práce vzniknout.

Anotace

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku spojenou s virtualizací síťových funkcí (NFV). Jedná se velice aktuální a dynamické oblast, která si klade za cíle transformovat síťovou funkcionalitu z hardwarových prvků do softwarových aplikací či virtuálních instancí. Ty následně mohou těžit z výhod cloudových platforem. Hlavním cílem této práce je popsat oblast NFV, se zaměřením přímo na virtuální síťové funkce (VNF). Na závěr této práce jsou získané poznatky využity pro vytvoření ukázkových příkladů pro VNF, která mohou být využita na cloudové platformě OpenStack s SDN řešením OpenContrail.

Annotation

This master thesis focuses on network function virtualization (NFV). It's a very current and dynamic field, which goal is to transform network functionality from hardware appliances to software applications or virtual machines. They can then profit from benefits of cloud platforms. Main goal of this thesis is to describe field of NFV with direct focus on virtual network function (VNF). At the conclusion of this work are learned knowledge used to create a sample examples of VNF, which can be used to cloud platform OpenStack with SDN solution OpenContrail.

Obsah

1. Úvod	1
2. Základní problematika virtualizace síťových funkcí	3
2.1. Virtualizace a Cloud Computing	3
2.2. Potřeba virtualizace síťových funkcí	5
2.3. NFV a softwarově definované sítě (SDN)	7
2.3.1. Service Chaining	9
3. Dostupné technologie NFV a VNF	11
3.1. Architektura NFV a VNF	11
3.1.1. Infrastruktura NFV	12
3.1.2. Virtuální síťová funkce	14
3.1.3. Management a orchestrace NFV	15
3.2. Dostupné prostředky pro NFV Infrastrukturu	17
3.2.1. OpenStack	17
3.2.1.1. Vanilla Neutron	19
3.2.1.2. OpenContrail	19
3.2.2. VMware vCloud Suite	20
3.3. Dostupné možnosti pro VNF	22
3.3.1. Firewall as a Service	22
3.3.2. Load balancer as a Service	23
3.4. Možnosti prostředky pro Management a Orchestraci VNF	24
4. Požadavky a návrh prostředí pro NFV a VNF	26
4.1. Požadavky a výběr platformy pro NFV Infrastrukturu	26
4.2. Požadavky a výběr řešení pro VNF	27
4.3. Výsledná architektura použitého frameworku	29

5. Testovací scénáře a realizace pro VNF a NFV	31
5.1. Scénáře pro použití vybraných VNF	31
5.1.1. Scénář LbaaS	31
5.1.2. Scénář FwaaS	32
5.2. Realizace VNF pro LbaaS	33
5.2.1. HAproxy - Neutron HAproxy agent	34
5.2.1.1. Heat template pro haproxy	35
5.2.1.2. Testování heat templatu pro haproxy	37
5.2.2. AVI networks	39
5.3. Realizace VNF pro FwaaS	39
5.3.1. Servisní instance v OpenContrailu	39
5.3.2. Heat template pro FwaaS	42
5.3.3. Management PfSense	45
5.3.4. Management Fortigate VM	47
5.4. Shrnutí získaných poznatků	50
6. Závěr	51
Literatura	I
Seznam obrázků	VIII
Seznam tabulek	IX
Seznam ukázek kódu	X
Přílohy	XI
A. Heat template Lbaas - HAproxy	XII
B. Heat template FwaaS	XIX

1. Úvod

V dnešní době dochází v datových centrech k nasazování nových moderních technologií. V oblasti výpočetního výkonu a úložišť se jedná především o virtualizaci a cloud computing. Jak například udává [1], tak v době psaní této práce 95% IT profesionálů používá nějaký typ cloudové platformy. Přechází se tedy z hardwareově orientovaných data center na virtuální cloudová data centra. Je již tedy běžnou praxí, že v datových centrech vše běží na rozsáhlé fyzické infrastruktuře, která je abstrahovaná na jeden souvislý blok výpočetního výkonu a jeden souvislý blok úložiště.

Dalším takovýmto funkcionálním blokem, který je součástí datových centrech a je velice důležitou součástí infrastruktury velkých společností, jsou počítačové sítě. V oblasti počítačových sítí byl, oproti dvěma zmíněným oblastem, pomalejší vývoj inovací. Je to z důvodu toho, že počítačové sítě jsou velmi komplexní oblastí a také to, že produkční vývoj v telekomunikačním průmyslu se tradičně řídil přísnými standardy kvůli stabilitě a kvalitě komunikace, jak zmiňuje [2]. Přestože tento model v minulosti fungoval, tak vedl nevyhnutelně k dlouhým produkčním cyklům, pomalému tempu vývoje a spoléhání se na proprietární či specializovaný hardware. Management takovéto sítě

Avšak i zde je snaha změnit dosavadní návrh a fungování počítačových sítí. Je zde snaha využívat nové přístupy a technologie, které umožní flexibilní a rychlé nasazování nových síťových služeb a zároveň snížit jejich náklady. Jedná se především o využití již zmíněné virtualizace a programatické správě sítě. [3]

Jedním z nových přístupů je virtualizace síťových funkcí (Network functions virtualization - NFV), kterou poprvé navrhl ETSI v publici [4]. Virtualizace síťových funkcí se zaměřuje na transformaci způsobu, jakým síťový architekti při-

stupují k oblasti počítačových sítí především u telekomunikačním poskytovatelů služem. Snaha je tedy přesunout mnoho typů síťového příslušenství z fyzických síťových prvků do standardních průmyslově používaných serverů a úložišť, které mohou být umístěny v datových centrech či přímo u koncových zákazníků. Tímto lze dosáhnout virtuálních síťových funkcí, které mají naprosto stejnou funkcionality jako síťové funkce umístěné v síťových prvcích, avšak získávají výhody spojené s virtualizací a cloud computingem. NFV je relativně nová oblast, ve které je mnoho prostoru pro inovace a zlepšení, jak popisují [5] a [6]. Jedním z nich je i management a orchestrace virtuálních síťových funkcí, kterou se zabývá tato práce.

Cílem této diplomové práce je analyzovat a navrhnout řešení pro management a orchestraci jednoduchých virtuálních síťových funkcí, které by mohli využít uživatelé cloudové platformy. Celé řešení spočívá v návržení architektury pro NFV frameworku, na kterém následně bude provedeno testování několika virtuálních síťových funkcí a jejich následné porovnání a zhodnocení. Výsledná řešení, které budou výstupem této práce, by měla sloužit jako obecný blueprint pro tvorbu NFV a VNF v cloudových prostředí. V celé práci budou využívány pouze aktuálně dostupné technologie, které by následně mohli být využity i produkčním prostředím.

Celá struktura této práce je rozdělena na několik částí. V druhé kapitole jsou vysvětleny hlavní pojmy a problematika oblasti virtualizace síťových funkcí. Třetí se zabývá referenční architekturou NFV a popisem možných technologií. Ve čtvrté kapitole je popsána již výsledná architektura a použité technologie společné s odůvodněním pro jejich vybrání. Pátá kapitola je následně věnována testování a realizaci jednotlivých virtuálních síťových funkcí. Na konci této práce je poté uvedeno závěrečné shrnutí.

Závěrečná práce byla zpracována ve spolupráci s firmou tcp cloud a.s., která poskytuje implementace jednoho z nejlepších cloudových řešení na světě. Firma umožnila využít jejich stávající infrastrukturu v nejmodernějším datovém centru v České republice, které je v budově Technologického centra Písek s.r.o.

2. Základní problematika virtualizace síťových funkcí

Tato kapitola se zabývá základní analýzou a popisem problematiky spojené s oblastí virtuální síťových funkcí. Nejprve uveden přehled a krátký popis virtualizace a cloud computingu spolu s jejich přínosem pro IT. Následně je vysvětlena potřeba virtualizace síťových funkcí. Zde jsou porovnány jednotlivé přístupy k řešení a návrhu počítačových sítí. Zároveň je zde vysvětlen i základní koncept virtualizace síťových funkcí.

2.1. Virtualizace a Cloud Computing

Virtualizace je technologie, která změnila způsob, jakým se přistupuje k IT infrastruktuře. V tradičním modelu IT infrastruktury servery podporují pouze jeden operační systém v daném čase. Na tomto systému obvykle běží pouze jedna aplikace. Přestože by na tomto systému mohlo běžet více aplikací, tak je lepší držet aplikace odděleně na různých systémech z důvodu minimalizace potencionálních bodů selhání. Pokud například nastane s aplikací problém, tak častým řešením je restartování systému. Pokud by na systému bylo více aplikací, znamenalo by to jejich vyřazení z provozu po dobu restartu, který může trvat velice dlouho. [7]

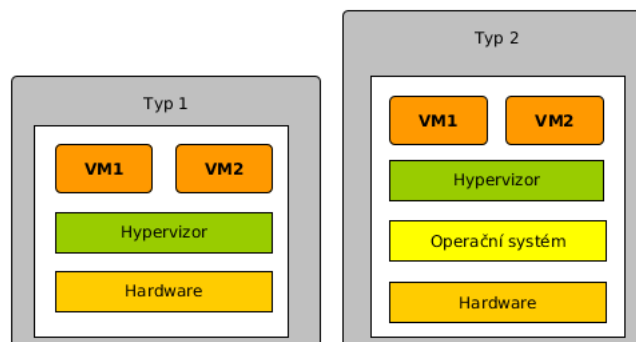
Z výše zmíněných důvodů došlo k velkému rozvoji a nasazování virtualizace. Virtualizací obecně označujeme techniky, které umožňují k dostupným hardwarovým zdrojům přistupovat jiným způsobem, než jakým fyzicky existují. Je tomu díky softwaru, který tento hardware abstrahuje a vytvoří tím virtuální prostředí. Virtualizované prostředí se dá snadněji přizpůsobit potřebám uživatelů, případně

skrýt pro uživatele nepodstatné detaily (jako např. rozmístění hardwarových prostředků). Tím je tedy umožněno na jednom fyzickém serveru provozovat více od sebe oddělených virtuálních strojů, které mají každý svůj vlastní operační systém s aplikacemi.

Software, který slouží pro virtualizaci, se nazývá hypervisor. Jak zmiňuje Popel a Goldberg v [8], tak existují tyto dva základní typy hypervisorů:

- Typ 1 (Nativní - Bare-metal) - Tento hypervisor běží přímo na fyzickém hardwaru. Tím umožňuje provozovat více operačních systémů na jednom fyzickém stroji. Příkladem takového hypervisoru je VMware ESXi, XEN a KVM.
- Typ 2 (Hostovaný) - Na rozdíl od předchozího případu tento typ hypervisoru běží v prostředí operačního systému. Příkladem je například velice oblíbený Virtualbox či VMware Workstation.

Obrázek 2.1 zobrazuje schématický popis obou typů hypervisorů a jejich rozdíl.



Obrázek 2.1.: Schéma hypervisorů

Virtualizace je základní technologie, na které je postavena virtualizace síťových funkcí. Ve většině případů je však využití pouze jednoho hypervisoru telekomunikačními provozovateli a velkými společnostmi nedostačující a je proto nutné využít cloud computingu.

Existuje několik definic pro cloud computing. Nejčastější používaná definice pro cloud computing je [9], kde je uvedeno, že je to model umožňující využívání společného poolu počítačových zdrojů vzdáleně přes počítačovou síť. Tyto zdroje

mohou být flexibilně alokovány a uvolňovány dle potřeby. Základní charakteristiky cloudu jsou tedy:

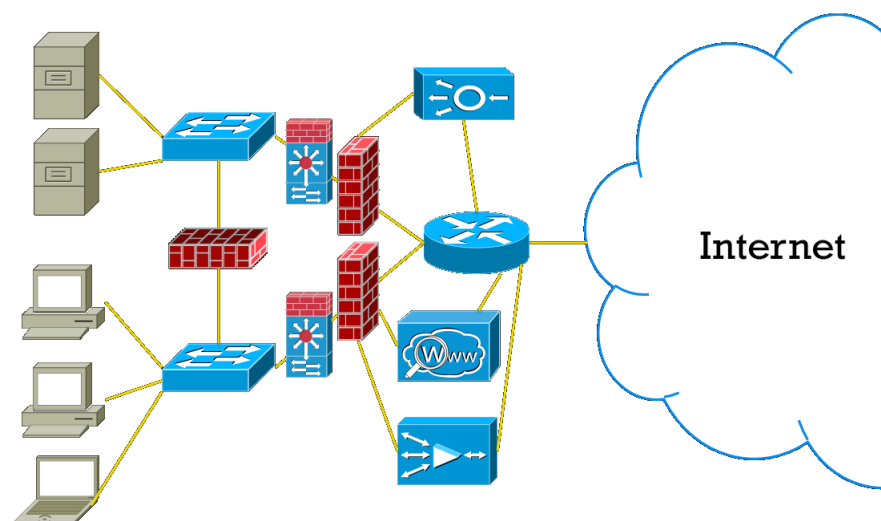
- Služby dostupné na požádání
- Všudypřítomný přístup k síti
- Sdílení zdrojů
- Vysokou elasticitu a flexibilitu
- Měření využitých zdrojů

Z technického hlediska je cloud resp. cloudová infrastruktura několik společně propojených serverů v clusteru. Na těchto serverech běží hypervisor, který vytvoří virtuální infrastrukturu. Tímto způsobem je tvořen společný pool zdrojů. Pro vytváření cloudových služeb zde ještě musí existovat cloudová platforma, která dokáže celou tuto virtuální infrastrukturu centrálně spravovat. Výhodou tohoto přístupu je efektivní využívání dostupných výpočetních zdrojů a velká flexibilita v poskytování a využívání služeb. Více informací lze najít například v [10].

2.2. Potřeba virtualizace síťových funkcí

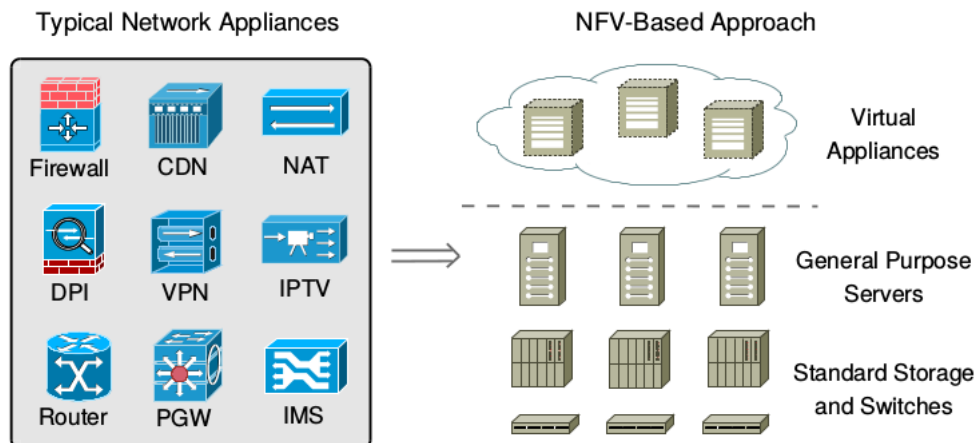
Tradiční počítačové sítě jsou složeny ze značného množství propojených hardwarových zařízení, jako jsou např. routery, switche a firewally. Tyto zařízení jsou speciálně určena pro daný účel a jejich řízení může být zkrze distribuované protokoly. Tím se počítačové sítě stali stabilními a vysoce výkonnými, avšak omezilo je to ve flexibilitě. Tradiční schéma sítě je zobrazeno na obrázku č. 2.2.

Z obrázku je patrné, že takovéto sítě se mohou skládat z desítek či i stovek hardwarových boxů. Management je tedy velice náročný a velice často může docházet chybám v důsledku lidské chyby. Bylo tedy nalézt lepší řešení. V [11] je například navrženo přesunout většinu funkcionality do veřejného cloudu a tím správu sítě přenechat třetí straně. To však pro telekomunikační poskytovatele a většinu velkých firem není vhodné řešení.



Obrázek 2.2.: Tradiční schéma počítačové sítě

Z tohoto důvodu bylo navrženo koncept NFV. Celá myšlenka NFV je založena na tom, že dojde k separování softwarové funkcionality v síťových prvcích od proprietárního hardwaru, na kterém běží. Jak znázorňuje obrázek č. 2.3.



Obrázek 2.3.: Koncept virtualizace síťových funkcí, převzato z [5]

To umožní se síťovými funkcemi zacházet jako s klasickými softwarovými aplikacemi, které mohou běžet na standardním komerčně dostupných serverech jenž organizace v současnosti používají. Díky tomu může být také využito cloudu (privátních) a virtualizace. To umožní zlepšit následující aspekty provozu telekomunikačních sítí.

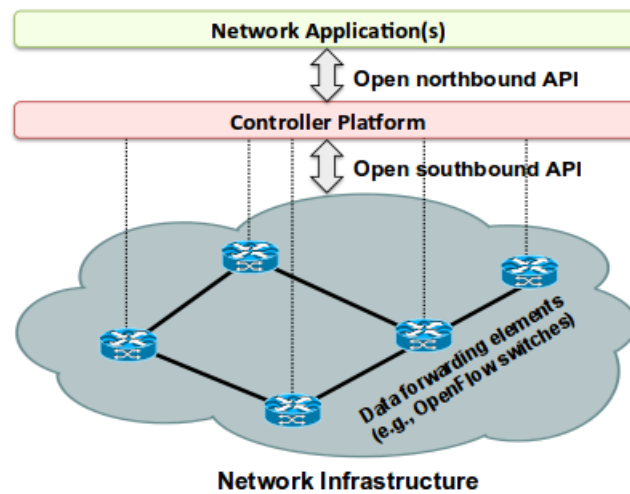
- Smíření investičních nákladů – snížení potřeby nákupu jednoúčelových hardwarových zařízení, možnost platby pouze za využití kapacity a snížení rizik přílišného předimenzování kapacit
- Snížení provozních nákladů – snížení prostoru, napájení a požadavky na chlazení, zjednodušení správy a řízení síťových služeb
- Urychlení Time-to-market – zkrácení doby pro nasazení nových síťových služeb, chopení se nových příležitosti na trhu, vyhovění potřebám zákazníka
- Doručit agilitu a flexibilitu – možnost rychle škálovat (rozšiřovat nebo zmenšovat služby) dle měnících se požadavků od zákazníka. Podpora služeb, které mají být dodány pomocí softwaru na libovolném standardním serverovém hardwaru

Za zmínění stojí poznámka v [6], kde je řečeno, že obecný koncept oddělení síťové funkce od hardwaru ještě nutně neznamená potřebu využití virtualizace. Protože budou síťové funkce dostupné jako software, tak mohou být nainstalovány a provozovány přímo na fyzickém stroji. Ovšem rozdíl je, že tento stroj již nebude speciální hardware, ale klasický server. Tento scénář může být do jisté míry použit při nasazování síťových funkcí v malém měřítku např. v uživatelských koncových bodech. Avšak pro plné využití všech výše zmíněných výhod, které jsou třeba ve velkých datových centrech, je třeba s použitím virtualizace počítat.

2.3. NFV a softwarově definované síť (SDN)

Kromě NFV existuje i další technologie, která se snaží zlepšit řízení a správu počítačových sítí. Jde o softwarově definované síť (SDN). Dle [13] jde o koncept, ve které je oddělena řídicí logika (control plane) z jednotlivých routerů a switchů, které přeposílají traffic (data plane). Tím, že dojde k oddělení datové a řídicí vrstvy, se routery a switche stanou pouze přeposílající data a veškerá řídicí logika může být implementována v jednom logicky centrálním místě (SDN Controller). Z tohoto centrálního místa lze do jednotlivých routerů a switchů předávat instrukce pomocí aplikačních programovacích rozhraní (API). Samotný SDN Controller také

obsahuje API, které mohou využívat aplikace a tím řídit, resp. programovat celou počítačovou síť.

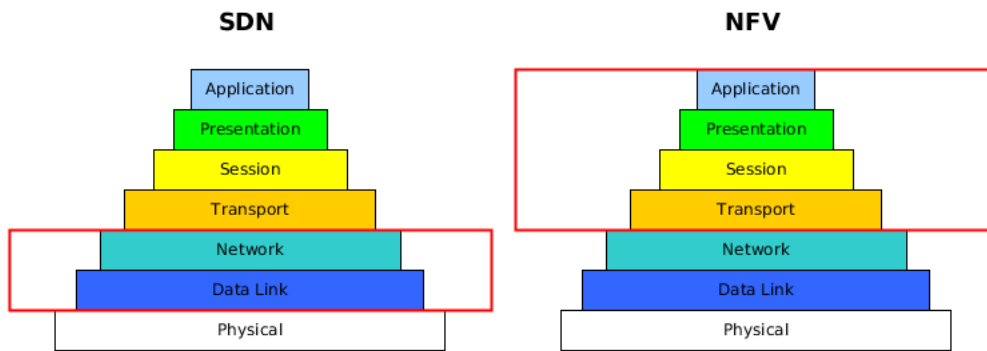


Obrázek 2.4.: Schéma SDN, převzato z [13]

Obrázek č. 2.4 ukazuje jednoduché schéma softwarově definovaných sítí. Jak je z obrázku patrné, tak celou architekturu lze tedy rozdělit do 3 logických vrstev, které spolu komunikují pomocí API.

- **Aplikační vrstva** - Na této úrovni se nachází samotné síťové aplikace jako jsou například DHCP, ACL, NAT, DNS a další. Jejich vytváření by mělo být poskytováno prostřednictvím nižší vrstvy, nazývané northbound API.
- **Control vrstva** - V této vrstvě je centralizována veškerá logika, které dříve byla v síťových prvcích.
- **Vrstva infrastruktura** - Nejnižší vrstvou je samotný hardware pro předávání datagramů na fyzické úrovni. Pro funkčnost celé architektury je nutné, aby zde byla nasazena zařízení, která umí přijímat pokyny od control plane skrze southbound API.

Přestože Softwarově definované sítě a virtualizace síťových funkcí jsou dvě různé technologie a koncepty, tak dle [12] využití obou těchto technologií je nejlepší cestou pro telekomunikační poskytovatelé a velké firmy. Je to z důvodu toho, že se každá orientuje na jinou část datového provozu. To znázorněno na obrázku č. 2.5.



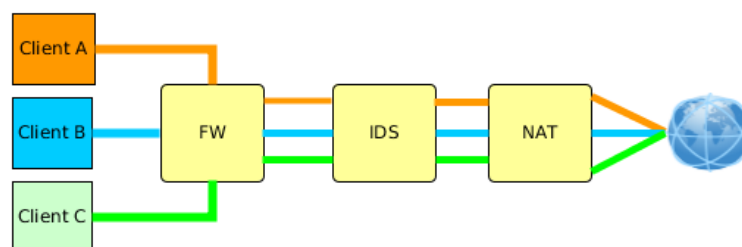
Obrázek 2.5.: Srovnání SDN a NFV

Fakt je, že SDN umožňuje programaticky ovládat počítačovou síť. To lze využít u NFV pro poskytnutí programovatelné konektivity mezi jednotlivými virtuálními síťovými funkcemi. Tento proces nazývá Service Chaining.

2.3.1. Service Chaining

Jednou z výhod NFV a SDN je možnost využít Service Chaining. Service chaining je ve skutečnosti součástí SDN. Jde o princip jakým lze dynamicky pospojovat jednotlivé VNF a ovládat tak toky v síti. [14]

Service chaining není ve skutečnosti nic nového. V klasických počítačových sítích je používán také, ale pomocí fyzických síťových prvků. Jedná se zjednodušeně o způsob zapojení mezi jednotlivými síťovými prvky (či VNF) a způsob, jakým na sebe navazují. Příklad takového zapojení je vidět na obrázku č. 2.6.

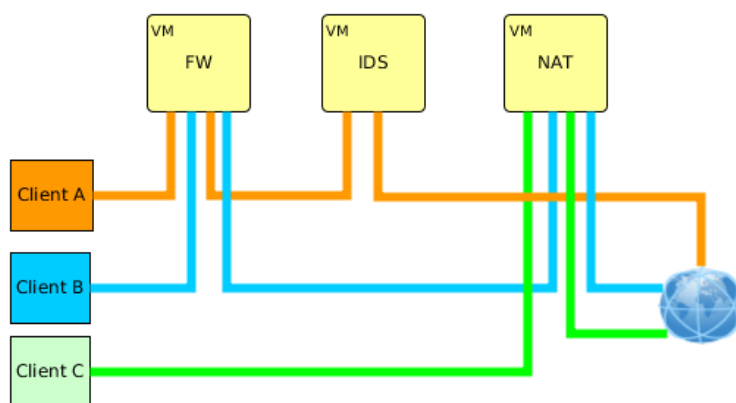


Obrázek 2.6.: Ukázka klasického service chainigu pomocí fyzických síťových prvků

Zde se provozovatel sítě rozhodl, že odchozí data z klientských stanic musí jít přes firewall, IDS a nakonec přes NAT do Internetu. Příchozí data mají logicky

obrácené pořadí. Toto zapojení funguje dobře pro síť, kde není třeba rozlišovat cestu jakou proudí data jednotlivých uživatelských stanic. Ale není to optimální řešení pro síť s více uživateli, kde každý požaduje jinou síťovou funkci. Také je možné, že se potřeby pro jednotlivé síťové služby mohou měnit v čase. Příklad takové sítě lze nalézt ve většině datových center.

Zde tedy přichází na řadu VNF spolu s SDN. Protože jednotlivé VNF existují jako virtuální stroje, tak mohou být dynamicky nasazovány dle aktuálních požadavků jednotlivých klientů a pomocí SDN mohou být tyto VM dynamicky pospojovány. Obrázek č. 2.7 ukazuje schéma zapojení, kde každý klient může mít jinou požadovanou cestu do internetu. Je možná i varianta, kde každý klient má své vlastní VNF s jinou konfigurací.



Obrázek 2.7.: Ukázka VNF service chainu

Je tedy vidět, že NFV a SDN jdou velice dobře dohromady a lze pomocí nich získat mnoho výhod. Vzhledem k tomu, že tato práce se zabývá managementem a orchestrací VNF, tak zde tedy nutné počítat s využitím SDN při návrhu NFV frameworku, na kterém budou následně testovány jednotlivé VNF.

3. Dostupné technologie NFV a VNF

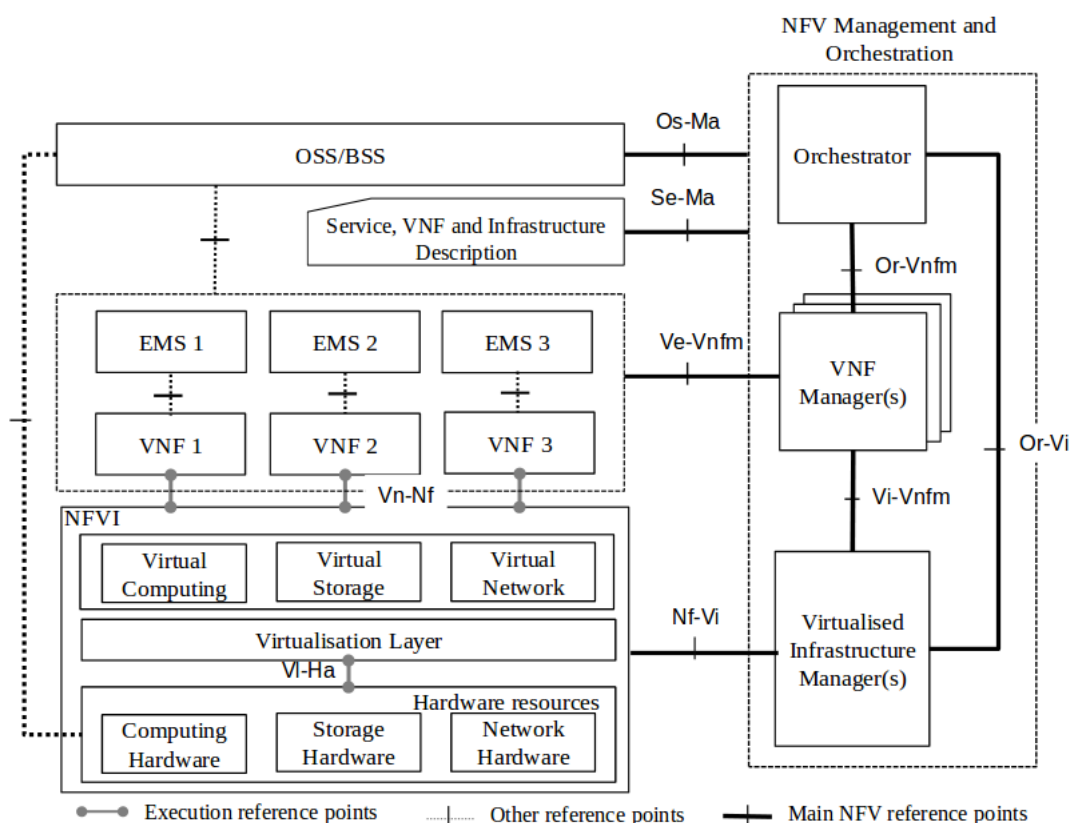
V předchozí sekci byla popsána myšlenka a motivace související s virtualizací síťových funkcí. V této kapitole bude probrána architektura pro NFV a následně možnosti pro implementaci jednotlivých částí této architektury.

3.1. Architektura NFV a VNF

V [15] je popsána referenční architektura pro NFV, která byla navržena organizací ETSI. Jedná se pouze o funkční návrh bez náznaků konkrétní implementace. Obrázek č. 3.1 znázorňuje tuto architekturu.

Z obrázku je patrné, že celá architektura se dá rozdělit na tyto 3 hlavní části, které mezi sebou mají komunikovat. Tyto části jsou:

- **Infrastruktura virtualizace síťových funkcí (NFVI)** - Jsou všechny softwarové a hardwarové zdroje potřebné k vytvoření prostředí, ve které mohou být jednotlivé VNF být nasazeny. Tato infrastruktura může být velice rozsáhlá, proto je její součástí i síť poskytující konektivitu mezi vzdálenými lokacemi infrastruktury.
- **Virtualizované síťové funkce (VNFs)** - Jsou softwarové implementace síťových funkcí, jako je např. NAT a routing, které mohou být nasazeny na NFV infrastruktuře.
- **Management a orchestrace NFV (NFV-MANO)** - zde se jedná o řízení softwarových a hardwarových zdrojů v celé infrastruktuře NFV a životního cyklu jednotlivých virtuálních síťových funkcí. Tato část se tedy zaměřuje na řízení a správu všech úloh související v virtualizaci v NFV frameworku.



Obrázek 3.1.: NFV architektura, převzato z [15]

Podrobné vysvětlení všech zkratk a terminologií, která je vyobrazena na obrázku lze nalézt v [16]. Pro účely této práce jsou dále popsány pouze výše uvedené hlavní části architektury.

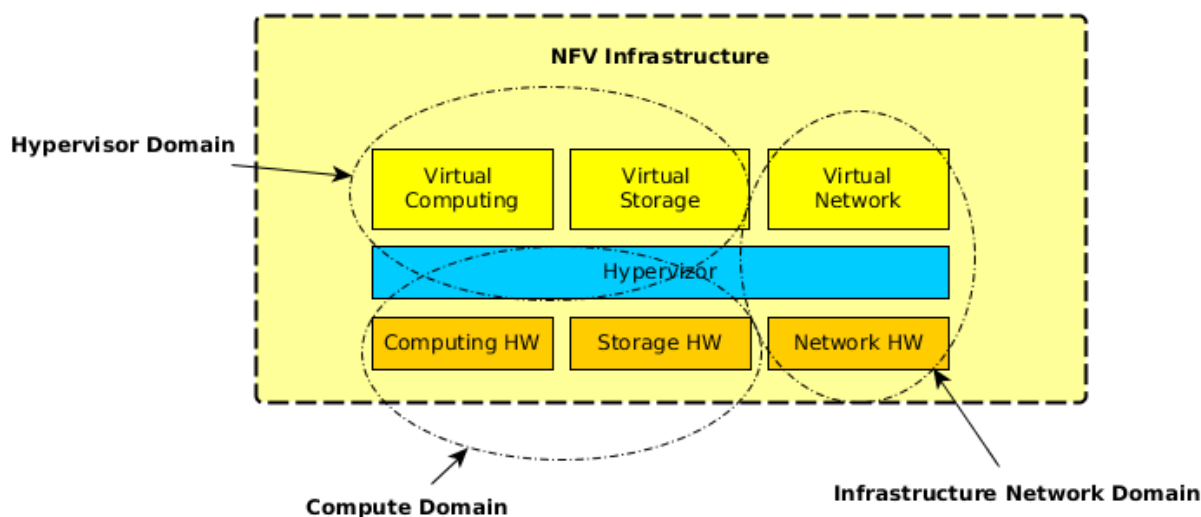
3.1.1. Infrastruktura NFV

Ve zdroji [17], který detailně popisuje infrastrukturu pro virtualizaci síťových funkcí (NFVI), je uvedeno, že je v ní sdružení všech základních zdrojů potřebných pro běh virtuálních síťových funkcí (VNF). Z tohoto důvodu sem patří veškerý hardware. Do NFVI také patří některé softwarové komponenty, které jsou společné pro mnoho VNF a poskytují funkcionalitu potřebnou pro podporu nasazení, propojení či managementu VNF. Celou infrastrukturu může tvořit jeden či více strojů, které mají tyto potřebné funkce. Tyto stroje také mohou být umístěny v různých spolu spojených geografických lokacích.

Pro zjednodušení lze celou NFV infrastrukturu rozdělit do 3 následujících domén:

- **Compute Domain** - Do této domény patří veškeré hardwarové zdroje jako jsou servery, úložiště a komponenty, které tyto zdroje obsahují, např. procesory, pevné disky, síťové karty, atd. Zároveň je zde řešen návrh fyzické topologie. [18]
- **Hypervisor Domain** - Toto je doména, které představuje softwarové prostředí abstrahující hardware v compute doméně a poskytuje je jako virtuální zdroje. Tyto zdroje následně mohou využívat virtuální síťové funkce. [19]
- **Infrastructure Network Domain** - V této doméně je řešeno veškeré propojení výše zmíněných domén. Tedy fyzické i virtuální infrastruktury.[20]

Funkci obsaženou v jednotlivých doménách znázorňuje obrázek č. 3.2. Více informací na tuto problematiku lze nalézt v [17] a ve zdrojích uvedených u každé domény.



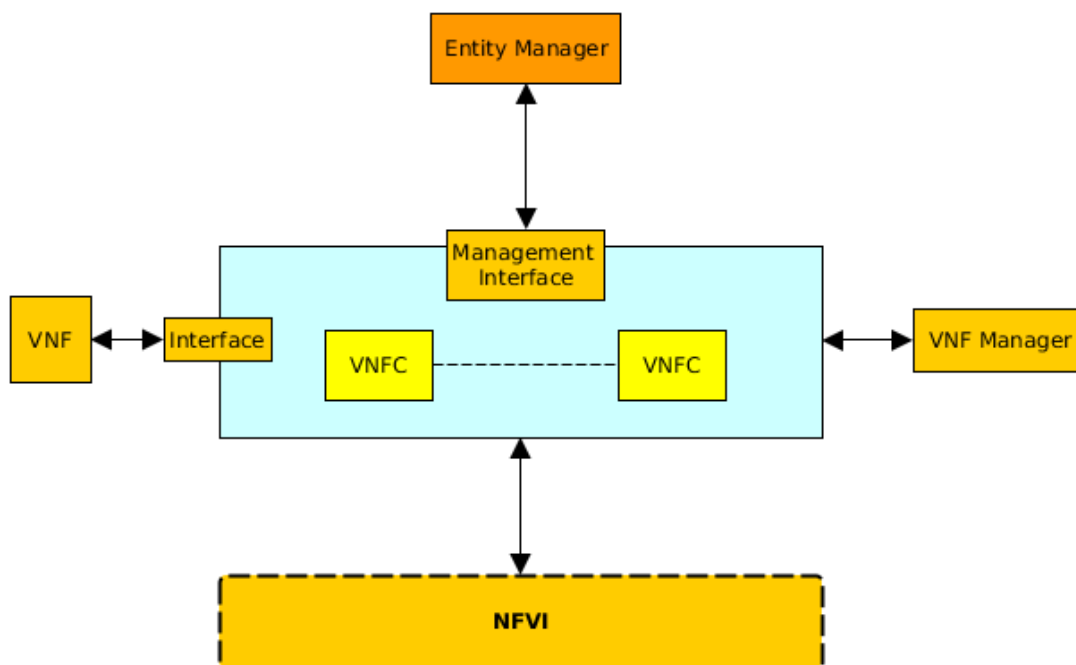
Obrázek 3.2.: Schéma NFV infrastruktury

Dá se říci, že referenční návrh infrastruktury pro NFV je podobný jako pro návrh infrastruktury pro cloud computing platformu. V kapitole 3.2 jsou uvedeny příklady možných cloudových platform, které lze NFVI využít.

3.1.2. Virtuální síťová funkce

Virtuální síťová funkce (VNF) je dle [21] určitá síťová funkce, která běží na NVF infrastruktuře a je zároveň NFV frameworkem řízena a spravována. Zároveň musí mít dobře definované rozhraní k ostatním síťovým funkcím, k VNF Managerovi a měla by obsahovat management rozhraní či port. Jedna VNF může být obsažena v jednom virtuálním stroji nebo může být roztažena přes více virtuálních strojů.

Na obrázku č. 3.3 je vidět jednoduché schéma virtuální síťové funkce dle referenčního návrhu [21]. Celý životní cyklus VNF (vytvoření, spuštění, zastavení, smazání a škálování) řídí VNF Manager, který je součástí NVF managementu a orchestrace. Současně je možné dynamicky změnit aktuální konfiguraci pomocí Entity manageru (EM) přes management interface. EM může spravovat více VNF nebo právě jednu. Vnitřní struktura celé instance může být tvořena více komponentami (VNFC), které spolu mohou být navzájem provázány. Toto provázání však nemusí být viditelné zvenčí.



Obrázek 3.3.: Schéma virtuální síťové funkce

Pohledem na současný trh zjistíme, že VNF je prakticky poskytována ve 3 zá-

kladních podobách.

- Softwarová aplikace - V tomto případě je poskytována VNF jako aplikace, která může být nainstalována na běžný operační systém jako je například GNU/Linux.
- Ucelený operační systém - Zde je poskytován přímo celý operační systém, který může být nainstalován do virtuálního stroje nebo i na fyzický server.
- Kompletní VM - Poskytovatel VNF může dát k dispozici rovnou přetvořený obraz virtuálního stroje (image), který může obsahovat operační systém se síťovými funkcemi. Tento systém však nemusí být klasicky dostupný operační systém jako je GNU/Linux či FreeBSD, ale může se jednat o speciálně vytvořený systém od výrobce. Tento způsob budou využívat poskytovatelé, kteří mají proprietární řešení pro síťová řešení jako je například Cisco či Juniper.

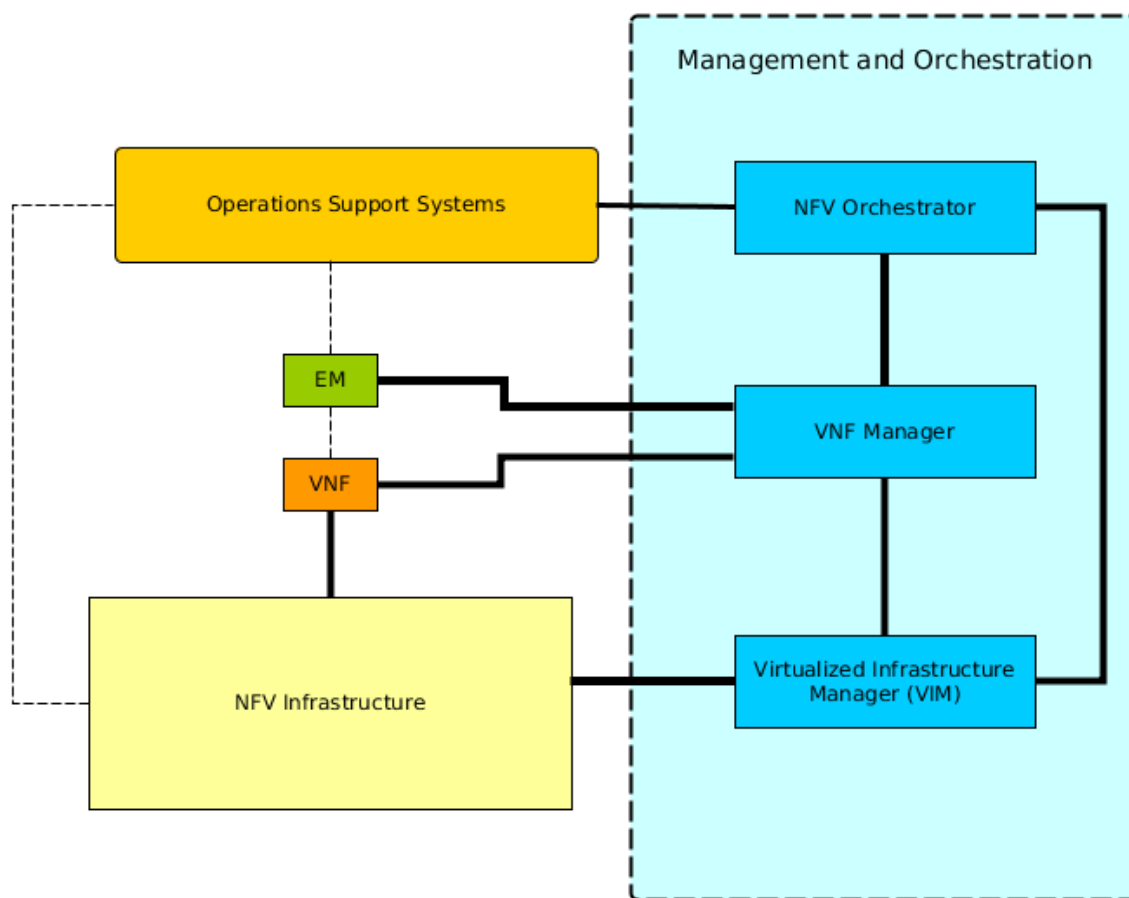
V kapitole 3.3 jsou uvedeny příklady softwaru existujícím na současném trhu, který lze využít jako VNF.

3.1.3. Management a orchestrace NFV

Management a orchestrace virtualizace síťových funkcí (NFV MANO) je nejdůležitější část celého NFV frameworku. Je tomu tak, protože MANO zajišťuje správné fungování NFV infrastruktury i jednotlivých virtuálních síťových funkcí. MANO také poskytuje funkce nutné pro provisioning VNF a související operace, jako je jejich konfigurace jednotlivých VNF a infrastruktury, na které běží. Zároveň spravuje a řídí životní cyklus fyzických a virtuálních zdrojů, které slouží pro podporu VNF.

Jak vyplývá z obrázku č. 3.4, tak referenční návrh MANO dle [22] se skládá ze hlavních 3 částí, které se zabývají správnou jednotlivých vrstev NFV frameworku.

- Virtualized infrastructure manager (VIM) - Řídí a spravuje fyzické a virtuální zdroje v jedné doméně infrastruktury. Celková infrastruktura se může



Obrázek 3.4.: Schéma NFV MANO

skládat z více domén a každá musí mít svůj VIM. Jeho typickými úlohami jsou vytváření, udržování a uvolňování VM na dostupných zdrojích v doméně. Zároveň musí mít přehled o všech těchto a stavu hardwarových zdrojů.

- VNF manager - Dohlíží na lifecycle management jednotlivých VNF instancí. To znamená, že vytváří, udržuje a ukončuje VNF instance, které běží na jednotlivých VM (ty však spravuje VIM). Opět může existovat více VNF managerů, kteří mohou spravovat jednu či více VNF.
- NFV orchestator - Zjednodušeně slouží jako řízení a správu všech VIM a všech VNF managerů. Pomocí komunikace s VIM dokáže spravovat dostupné zdroje a pomocí komunikace s VNF managery dokáže řídit síťové služby. Jeho další funkcí je i přehled všech dostupných VNF, neboli katalog VNF, a registrace nových VNF do tohoto katalogu. Ten je pak dostupný uživatelům.

Celý systém je navržen tak, že by měl pracovat společně se stávajícími aplikacemi a systémy, které potencionální uživatelé používají pro provoz své infrastruktury a podnikových procesů (Operation support system).

V oblasti NFV MANO probíhá v současnosti rozsáhlý vývoj a existuje několik projektů, které se tím zabývají. V článku [23] je nabídnut zajímavý přehled. V kapitole 3.4 je uveden přehled možných přístupů k managementu a konfiguraci jednotlivých VNF.

3.2. Dostupné prostředky pro NFV Infrastrukturu

Pro tvorbu NFV infrastruktury bude v této práci využívána cloudová platforma. V přehledu [1], který byl zmíněn v úvodu, je také uvedeno, že mezi nejpoužívanější řešení pro cloud patří OpenStack a řešení od společnosti VMware. Tyto dvě jsou dále popsána podrobněji.

3.2.1. OpenStack

OpenStack [24] je open-source platformou umožňující postavit cloud, který může být nainstalován na běžném hardwaru. Toto řešení má za cíl vytvořit dostupnou cloudovou platformu, která bude splňovat všechny potřeby privátních a veřejných cloudů nezávisle na velikosti řešení.

Celá stavba systému OpenStack se skládá z několika na sobě nezávislých projektů (modulů), které řeší různé oblasti cloudové platformy. Tyto projekty mezi sebou komunikují pomocí otevřených API a mohou být spravovány pomocí dashboardu. Celé administrace OpenStacku může být prováděna přes webové rozhraní, příkazovou řádku či přímo pomocí příkazů zaslaných do API. Celé toto řešení se vyznačuje jednoduchostí implementace, škálovatelností a rychlým vývojem nových vylepšení. Hlavními moduly OpenStacku jsou:

- Keystone - identifikační služba používaná OpenStackem pro autorizaci a autentizaci. Ověřování probíhá pomocí tokenů. Uživatel přihlášením odesílá žádost na Keystone, který tento modul zpracuje, zjistí pověření a vytvoří

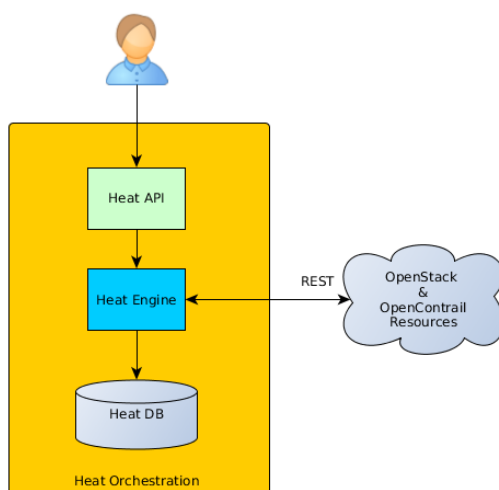
token. Vytvořený token je poté odesílán s žádostí do ostatních služeb. Zde dojde ke komparaci tokenu se současnou přístupovou politikou a dojde ke zjištění, zdali má uživatel dostatečná oprávnění pro provedení požadovaného úkonu.

- Glance - služba umožňující práci s virtuálními diskovými obrazy (imagy). Tyto obrazy mohou být uloženy na mnoha různých místech od lokálních systémových disků až po distribuované souborové systémy, jako je OpenStack Storage.
- Nova - tento modul poskytuje výpočetní služby. Umožňuje tedy běh několika instancí virtuálních strojů na několika hostitelských strojích, na kterých je nainstalována služba OpenStack compute. OpenStack podporuje hypervizory KVM, QEMU, VMware ESX, Hyper-V, Xen.
- Neutron - je služba pro správu všech síťových aspektů OpenStacku. Jedná se tedy o SDN komponentu. Neutron podporuje možnost rozšíření o tzv. pluginy, které umožňují využívat řešení třetích stran pro síťování.
- Cinder - poskytuje infrastrukturu pro mapování volumů v OpenStacku.
- Heat - umožňuje automatizovanou orchestraci virtuálních strojů na základě vytvořených templatů.
- Horizon - představuje dashboard, který umožňuje cloudovým administrátorům a uživatelům spravovat různé zdroje a služby OpenStacku. Dashboard umožňuje interakci s OpenStackovým kontrolerem prostřednictvím API.

Další informace lze nalézt například v [25]. V této práci jsou vzhledem k NFV infrastruktuře nejzajímavějšími Neutron a Heat moduly.

Heat je projekt, který je určen pro Orchestraci. Má za úkol automatické vytvoření požadovaných resourců (instancí, sítí, atd) podle předdefinovaných scénářů tzv. heat templatů. Obrázek č. 3.5 znázorňuje jeho funkci. [26]

Dalším projektem, který v rámci NFV a OpenStacku důležitý je Neutron, který slouží pro práci se sítěmi. Neutron má podporu pro rozšiřující pluginy, které mo-



Obrázek 3.5.: Popis heat orchestrace

hou využít SND řešení. Funkce OpenStacku se značně mění dle použitého pluginu, kterých je více než 20. Pokud se podíváme na [27], tak mezi nejpoužívanější patří tzv. Vanilla Neutron a OpenContrail.

3.2.1.1. Vanilla Neutron

Vanilla Neutron nabízí základní funkcionalitu pro networking v prostředí OpenStack, kterou uživatel může vyžadovat. Je to z důvodů toho, že OpenStack původně vyšel z AWS (Amazon Web Services) a jeho cílem bylo sjednotit privátní a veřejný cloud. Dnes do Neutronu přibývají další funkce jako je například VPNaaS.

Problém samotného Neutronu je, že prozatím nemá podporu pro NFV. Proto byla vytvořena iniciativa OP-NFV [28], která se snaží vytvořit otevřený framework pro NFV založený na OpenStacku. Přestože tento projekt má velký potenciál, tak v době psaní této práce je v začátcích a není vhodný pro produkční nasazení.

3.2.1.2. OpenContrail

OpenContrail je jeden z nejpoužívanějších komerčně dostupných řešení pro networking pro OpenStack. Obsahuje všechny potřebné komponenty pro virtualizaci sítí v cloudovém prostředí - SND controller, virtuální router, analytický engine a REST API. [29]

OpenContrail není pouze SDN řešení, ale je to i řešení pro NFV. OpenContrail obsahuje funkci Service Chainingu. Tím pádem umožňuje dynamicky vytváření instancí, které mohou sloužit jako VNF. Zároveň také dokáže řídit datový tok z ostatních instancí resp. virtuálních sítí k nimž je VNF připojena tak, aby procházela právě danou VNF. V poslední verzi dále přináší nové funkce jako BGPaaS a Physical Service Chaining. Je to tedy komplexní řešení vhodné pro produkční nasazování.

3.2.2. VMware vCloud Suite

Společnost VMware [30] se původně zabývala vývojem předního virtualizačního nástroje. Postupně nabrala do svého portfolia i další služby a rozšířila působnost obecně na virtualizaci a služby s ní úzce spojené. Mezi ně dnes patří i cloudová platforma.

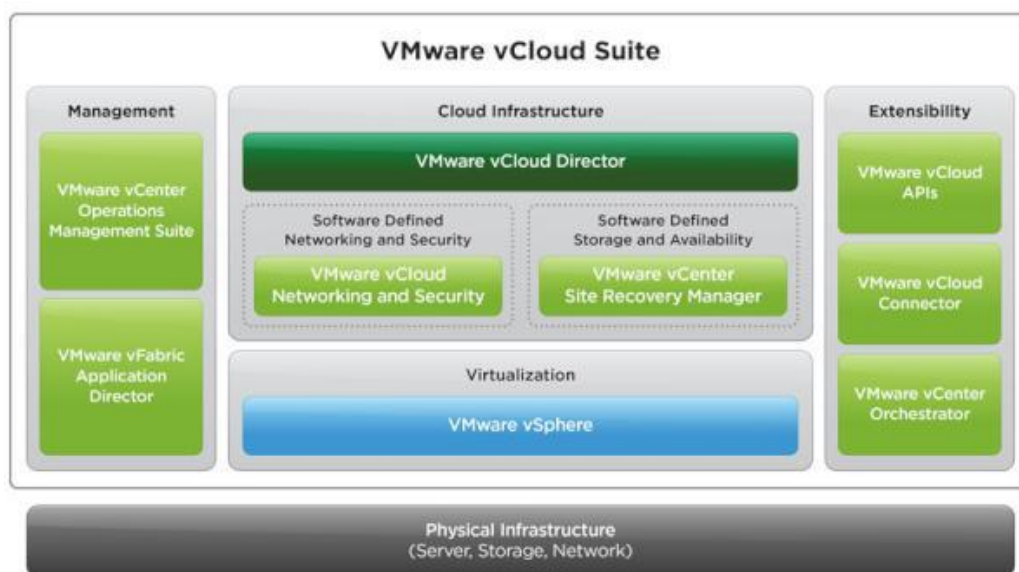
VMware vCloud Suite je právě určený pro vytváření privátních cloudů. Je to řešení poskládané z jednotlivých produktů společnosti VMware. Jeho hlavními komponentami jsou:

- VMware vCloud Director - je jedna ze základních součástí potřebných pro vytvoření privátního cloudu ve stylu VMwaru. Umožňuje vytvořit a doručovat koncovým zákazníkům infrastrukturu jako službu. Je propojen a přímo spolupracuje s VMware vSphere center.
- VMware vSphere - tento produkt slouží pro vytvoření virtualizované infrastruktury. Je to sdružení více komponent. Ty nejhlavnější jsou:
 - VMware ESX (ESXi) - je to bare-metal hypervisor.
 - VMware vCenter Server - umožňuje efektivní a pokročilejší správu virtualizovaného prostředí, bez ohledu na jeho velikost. Jedná se např. o snadné vytváření nových virtuálních počítačů, jejich klonování nebo importování z jiného úložiště.
 - VMware vSphere Client - je určený pro dálkovou správu hostitelů ESXi. Připojit se můžeme prostřednictvím vCenter serveru nebo přímo přes

ESXi server.

- VMware vCloud Networking and Security - poskytuje síťování a bezpečnost pro virtuální prostředí. Poskytuje mnoho síťových funkcí a poskytuje framework pro integraci řešení třetích stran.
- VMware vShield - představuje možnost zabezpečení v prostředí VMware vSphere. Může být konfigurován pomocí vShield Managera, který umožňuje centrální správu přes webové rozhraní, vSphere klient plug-in, nebo command line interface (CLI).
- VMware vCenter Chargeback - slouží pro monitorování virtuálních strojů, které následně může být účtováno.

VMware VCloud Suite má hierarchickou strukturu, kterou znázorňuje obrázek č. 3.6. Více informací o tomto řešení či jeho částech nabízí např. [31] .



Obrázek 3.6.: Schéma VMware vCloud Suite, převzato z [32]

Celé vmware řešení je proprietární. To znamená, že kód pro jednotlivé komponenty je uzavřený a není do něj přístup. S tím zamožřejmě souvisí i licence. Pro používání jakéhokoli produktu od společnosti VMware v produkčním prostředí je potřeba zakoupení licence. Všechny produkty této společnosti se vyznačují tím,

že je vše ovládané z grafického uživatelského prostředí bez nutnosti použití příkazové řádky. Je však toto řešení dostatečně standartní pro NFV Infrastrukturu?

Pokud se podíváme na možnosti orchestrace, tak je zde oproti předchozímu řešení zvolený odlišný přístup. Přestože VMware poskytuje REST API, tak vše je orientované na ovládání zkrze dashboard. To znamená, že automatizace či předdefinování scénáře pro vytváření resourců zde spočívá v naklikání celého workflow v přehledném GUI.

Pro networking v této cloudové platformě existuje tzv. VMware NSX. Je to SDN Controller, které je opět velmi často používané i s cloudovou platformou OpenStack. Přestože opět obsahuje vše potřebné pro vytváření a správu virtuálních sítí, tak zde není přímá podpora NFV, která by usnadnila práci s jednotlivými VNF.

3.3. Dostupné možnosti pro VNF

Protože v této práci mají být ukázány příklady pro vytváření a management VNF. Je nutné najít software, který může být použit jako VNF. Protože existuje celá řada síťových funkcí a bylo by nad rámec této práce zmínit všechna jejich řešení, tak bylo nutné výběr zúžit výběr na dvě nejčastěji používané síťové funkce. Těmi jsou firewall a load balancer. Dále je tedy uveden software, který je možné použít pro Firewall as a Service (FwaaS) a Load balancer as a Service (LbaaS).

3.3.1. Firewall as a Service

Pokud se podíváme na vendory ve zdroji [33], jejichž firewally jsou nejvíce využívány, tak zjistíme, že mnozí již chápou důležitost NFV a své produkty začínají poskytovat jako virtuální instance, které se dají použít pro účely VNF v této práci. Jedná se například o tyto:

- Fortigate-VM - Fortigate Virtual Appliances je řešení pro cloudové prostředí od společnosti Fortinet. Nabízí stejné funkce pro firewall jako jsou obsaženy ve Fortigate fyzických zařízeních. [34]

- Juniper vSRX - Jde o firewall od společnosti Juniper, který je obdobou jejich fyzického zařízení Juniper SRX. Jde virtuální instanci poskytující funkce pro firewall, routing a pokročilé bezpečnostní funkce pro poskytovatele telekomunikačních služeb a větší společnosti. Toto VM je určené pro privátní, public i hybrid cloud. [35]
- Cisco virtual ASA - Společnost Cisco nabízí Adaptive Security Virtual Appliance (ASAv), která obsahuje stejný software jako fyzické ASA zařízení a většinu funkcí pro firewall, routing a VPN. [36]
- PFSense - PFSense je open-source projekt, který má za cíl poskytnout firewall postavený na operačním systému FreeBSD, který může běžet na klasické architektuře jednodeskových počítačů. Toto řešení poskytuje všechny důležité vlastnosti komerčních firewallů, má jednoduché ovládání a je to otevřené řešení. [37]

3.3.2. Load balancer as a Service

Na trhu s virtuálními load balancery je situace podobná. Zde vendori také začínají poskytovat virtuální instance či software. Pro správné fungování load balancu je však nejlepší, pokud existuje integrace či plugin pro danou cloudovou platformu či používané SDN. Výše zmíněný VMware i OpenStack podporují následující software sloužící jako LbaaS.

- HAproxy – Je velmi rychlé a spolehlivé řešení nabízející vysokou dostupnost, load balancing a proxy pro aplikace založené na TCP a HTTP. Jedná se de-facto o standartní opensource load balancer, který občas bývá součástí některých linuxových distribucí. Velice oblíbené je jeho využití práce cloudových platformách, kde je jako defaultní možnost pro load balancing. Více informací poskytuje [38] .
- AVI networks - Je celkem nová společnost poskytující platformu, která poskytuje automatizované aplikační služby zahrnující load balancing, aplikační analýzu a prediktivní auto škálování. Platforma je postavena na softwarově

definovaném principu a tím pádem může být nasazena klasickou x86 platformu serverů. Více informací obsahuje [39] .

3.4. Možnosti prostředky pro Management a Orchestraci VNF

Poslední částí referenční architektury NFV je management a orchestrace VNF. Přestože se jedná o nejkomplexnější část architektury, tak v této práci se situace o něco zjednodušila použitím cloudové platformy. Díky ní totiž není nutné hledat řešení pro úlohu, kterou plní Virtualized infrastructure manager, neboť pokud bude provedena správná volba této platformy, tak v ní bude již obsažena. Zároveň je třeba říci, že zde není tedy nutné se příliš starat o to, kde budou jednotlivá VNF vytvořena, přestože z hlediska výkonu to může hrát roli, jak je například popsáno v [40] .

Dále je nutné zmínit, že není nutné realizovat roli NFV orchestratoru, protože by to bylo nad rámec cílů této práce. Jediným problémem, pro který je tedy nutné navrhnout řešení je management jednotlivých síťových funkcí. Roli, kterou zastává VNF manager. Tou je tedy management jednotlivých VNF a softwaru, který na nich poběží.

Management počítačové sítě je sama osobě komplexní činnost skládající dle [41] se ze:

- Správa poruch a chyb (ang. Fault management)
- Správa konfigurace (ang. Configuration management)
- Účetní a evidenční správa (ang. Accounting management)
- Správa výkonu (ang. Performance management)
- Správa bezpečnosti (ang. Security management)

Přestože všechny tyto části jsou důležité, tak kromě správy konfigurace jsou to detekční a monitorovací úkony, které mohou být do určité míry i součástí implementace cloudové platformy. Avšak správa konfigurace je hlavní část, pro kterou

je nutné nalézt řešení v této práci, protože většina softwaru pro VNF uvedené v předchozí části bude mít jiné možnosti pro jejich správu konfigurace. Existuje zde tedy několik přístupů, jak k ní přistupovat. Některé jsou zmíněné v předchozí práci [42]. Pro účely této práce lze uvažovat o následujících:

- Předdefinovaný image či aplikace - V tomto případě je veškerá potřebná konfigurace součástí dodávaného image. Pokud je požadována jednoduchá síťová funkce, jejíž konfigurace se v čase nebude měnit, pak je toto nejlepší způsob.
- Využití scriptování / API - Pokud daná VNF poskytuje API či podporuje skriptovací rozhraní, pak je možné ho využít a dopravit, tak požadovanou konfiguraci.
- Standardizované protokoly - Dnes již také existují relativně standardizované protokoly určené právě pro správu konfigurace. Jedním je například protokol NETCONF, jak je uvedeno v [41]
- Konfigurační management - Další možností je využití konfiguračního managementu, který se dnes velmi často využívá při správě velkého množství serverů. Zde je však nutné, aby daná VNF podporovala danou metodu správy, kterou využívají jednotlivé konfigurační managementy. Může být například vyžadováno, aby daná VNF obsahovala agenta, který bude pro konfiguraci využíván. Dnes existuje několik řešení pro konfigurační management jako je např. SaltStack, Puppet či Ansible.

4. Požadavky a návrh prostředí pro NFV a VFN

V předešlé kapitole byla vysvětlena základní problematika, která souvisí s virtualizací síťových funkcí, cloud computingem a softwarově definovanými sítěmi. Zároveň byla popsána referenční architektura frameworku pro virtualizaci síťových funkcí a popsána existující řešení vhodná pro jednotlivé části architektury.

Tato kapitola bude již věnována konkrétnímu návrhu platformy pro testování NFV a VNF. Nejprve jsou zde popsány jednotlivé požadavky související s návrhem platformy pro NFV a následně jsou popsány požadavky i na jednotlivé VNF. Na základě těchto požadavků je poté navrhuta a popsána výsledná architektura.

4.1. Požadavky a výběr platformy pro NFV Infrastrukturu

V předchozí kapitole bylo řečeno, že existuje několik možností, jakými může být NFV infrastruktura vytvořena. Z tohoto důvodu musí být definované specifické požadavky, které by měla splňovat NFV infrastruktura pro účely této práce. Podle nich následně může být zvolena specifická technologie. Na základě již uvedených informací o NFV a cílů této práce byli identifikovány následující požadavky:

- Otevřenost řešení - Vzhledem k tomu, že NFV je založeno na myšlence přechodu z proprietárních hardwarových boxů k standardním softwarově definovaným funkcím, tak je rozumné využít opensource technologie i pro NFV

Infrastrukturu.

- Možnost automatizace a vytváření šablon - Jedním z cílů práce je VNF řešení, které by mohlo sloužit jako blueprint pro ostatní uživatele. Proto musí být zvolené technologie, které mají podporu vytváření šablon. Těmi může být následně automaticky vytvořeno celé či alespoň část řešení pro VNF. Zároveň však jejich tvorba musí být dostatečně flexibilní a jednoduchá, aby ji zvládli i uživatelé.
- Podpora SDN - Dalším důležitým požadavkem je podpora softwarově definovaných sítí. Jak již bylo řečeno, tak přestože NFV a SDN jsou odlišné technologie, tak se velice dobře doplňují. Z tohoto důvodu by zvolená platforma pro NFV Infrastrukturu mělo podporovat i SDN. Díky tomu následně může být využíván service chainig pro jednotlivá VNF.

Na základě těchto požadavků je v následující tabulce uvedeno srovnání cloudových platform z předchozí kapitoli.

	VMware vCloud Suite	OpenStack
Typ	opensource	proprietary/licence
Podpora SDN	ANO (VMware NSX)	ANO (OpenContrail)
Service Chaning	ANO	ANO
Tvorba šablon pro orchestraci	Tvorba v GUI	Tvorba v YAML formátu

Tabulka 4.1.: Srovnání VMware vCloud Suite a OpenStacku na požadovaných parametrech

Na základě těchto informací bylo rozhodnuto, že pro NFV infrastrukturu bude využita cloudová platforma OpenStack.

4.2. Požadavky a výběr řešení pro VNF

Dále je potřeba rozhodnout, který software bude použit pro implementaci jednotlivých VNF. Proto byly opět definované požadavky, které by potenciálně

software měl splňovat. Tyto požadavky jsou:

- Dostupnost - Pro to, aby bylo vůbec možné uvažované řešení použít, tak je nutné, aby bylo dostupné pro testování. Dostupnost může být ve formě opensource či určité formy trial licence.
- Kompatibilita s platformou x86 - Dalším požadavkem musí být kompatibilita s platformou x86. Je tedy nutné, aby mohlo být využito klasických serverů pro řešení.
- Úspěšné spuštění na virtualizační platformě - Pro účely této práce musí být ověřeno, že dané řešení je schopné běžet na daném hypervizoru, který bude použit s OpenStackem. Tedy s hypervizorem KVM.
- Integrace s OpenStackem - V případě LbaaS je požadované, aby vybraný software měl určitou formu integrace s prostředím OpenStacku. Je to z důvodu lepší automatizace VNF.

Následující tabulka nabízí přehled toho, zda daný software splňuje určené požadavky.

LbaaS	HAproxy	AVI networks
Dostupnost	ANO - opensource	ANO - Trial licence
Integrace s OpenStackem	ANO (default)	ANO - plugin
Úspěšné spuštění	ANO	ANO
Kompatibilita x86	ANO	ANO

Tabulka 4.2.: Přehled softwaru pro LbaaS

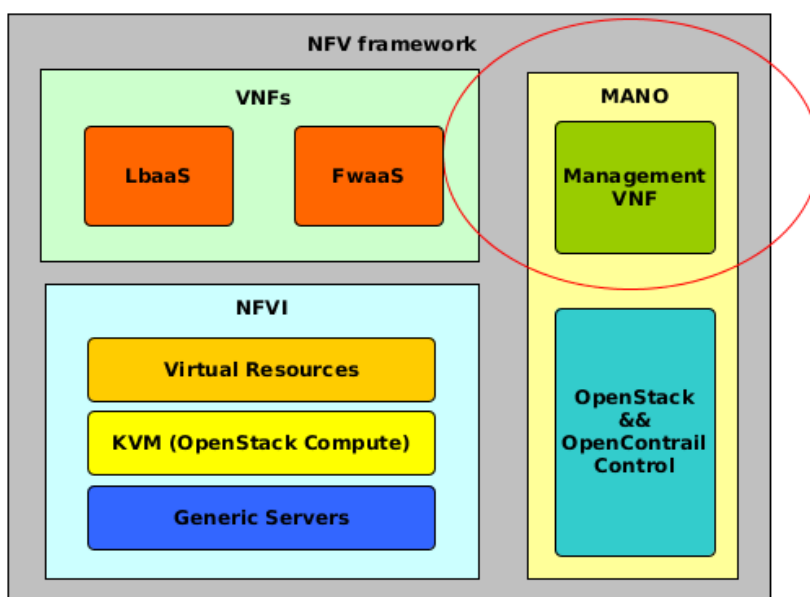
Z výše uvedených informací vyplývá, že pro implementaci LbaaS bude použita HAproxy a platforma, kterou poskytuje firma AVI networks. V případě softwaru pro FwaaS je zřejmé, že bude využit PfSense a Fortigate VM v 15 denní trial verzi. Cisco ASA v nebylo možné testovat kvůli licenčním poplatkům a Juniper vSRX se bohužel nepodařilo zprovoznit v KVM hypervizoru na testovací infrastruktuře.

FwaaS	Fortigate VM	Juniper vSRX	Cisco ASA v	PfSense
Dostupnost	ANO - Trial	ANO - Trial	NE - Licence	ANO - opensource
Úspěšné spuštění	ANO	NE	NE	ANO
Kompatibilita x86	ANO	ANO	ANO	ANO

Tabulka 4.3.: Přehled softwaru pro FwaaS

4.3. Výsledná architektura použitého frameworku

V předchozích částech byly vybrány technologie, které jsou použity v návrhu pro NFV framework. Na obrázku č. 4.1 je znázornění celého framework s vyobrazením všech použitých částí.

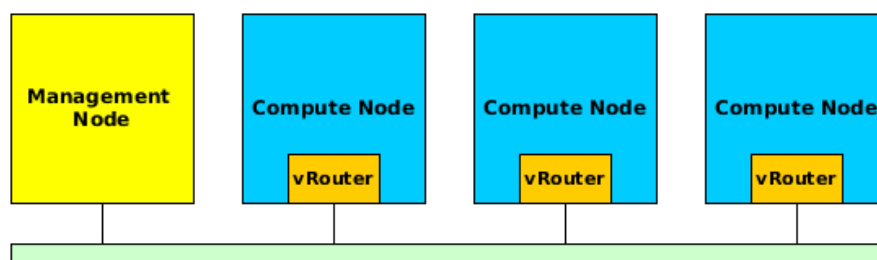


Obrázek 4.1.: Architektura NFV řešení

Z obrázku je patrné, že celou NFV Infrastrukturu tvoří OpenStack s SDN řešením OpenContrail. Ty zasahují i managementu a orchestrace na nejnižší úrovni. Jako hypervizor byl použit KVM. Jako VNF služby budou poskytovány Load Balancer a Firewall. Poslední částí, kterou se bude zabývat zbytek práce je management jednotlivých VNF.

Pro fyzické vytvoření frameworku bylo využito 4 serverů. Jeden slouží jako

Control node, na kterém jsou řídicí služby OpenStacku a OpenContrailu společně s jejich dashboardy. Zbylé 3 servery jsou použity jako Compute nody. Na nich nainstalovaný hypervisor společně s compute rolemi OpenStacku. Dále je na nich i OpenContrail vRouter. Pomocí něho je vytvořený tzv. Overlay network, který používají vytvořené instance.



Obrázek 4.2.: Architektura NFV řešení

5. Testovací scénáře a realizace pro VNF a NFV

V předchozí kapitole byla popsána oblast virtualizace síťových funkcí a její architektura. Také byly popsány jednotlivé technologie, které budou v této kapitole použity pro vytvoření NFV frameworku, který bude následně využit k realizaci ukázkových VNF. Jak již bylo řečeno, tak Pro každou VNF zde bude uveden příklad jejího použití a jakým způsobem je možné vytvořit automatizované řešení pro VNF nad navrženým NFV frameworkem.

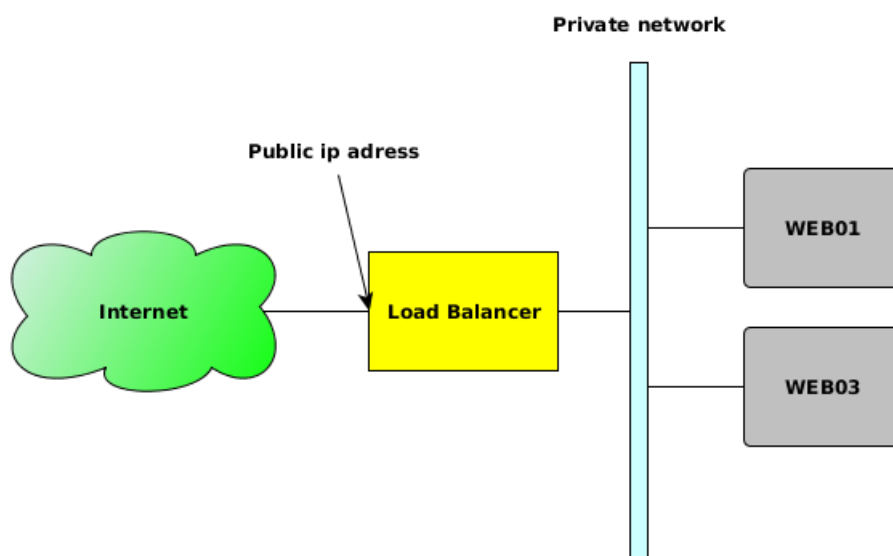
5.1. Scénáře pro použití vybraných VNF

Před samotnou implementací je nutné vysvětlit, jakým způsobem budou VNF využívat uživatelé. Toto by mělo sloužit pro lepší pochopení daných příkladů a usnadnit realizaci jednotlivých VNF. Dále v této sekci budou postupně uvedeny jednotlivé scénáře pro všechna uvedené VNF v této práci.

5.1.1. Scénář LbaaS

Jedním z často využívaných síťových funkcí je load balancing. Pokud chce uživatel v cloudu provozovat nějaký druh webové služby, která musí být vysoce dostupná nebo bude velice vytížená, tak bude ve většině případů potřebovat využít více než jeden server. Pro rozdělení zátěže mezi tyto servery by následně použil fyzický load balancer. Ten bude spravovat příchozí komunikaci a distribuovat ji mezi několika serverů. Tím bude zajištěna rozloha zátěže a zajištěn bezvýpadkový provoz.

Uvažujme tedy jednoduchý příklad, ve které bude uživatel chtít dva servery, na kterých poběží webová služba v HA. Pro tuto službu bude chtít využít cloudovou platformu s podporou LbaaS. Uživatel samozřejmě požaduje, aby se celá infrastruktura a nastavení webové aplikace proběhlo automaticky s co možná nejméně manuálními zásahy. Celý proces by se tedy v praxi měl skládat z výběru vhodného templatu, zadáním požadovaných vstupních parametrů (IP adresy, názvy instancí, atd.) a následné spuštění templatu, který vytvoří vše požadované. Obrázek č. 5.1 zobrazuje požadovaný výstup tohoto procesu.



Obrázek 5.1.: Firewall as a Service

Je tedy vidět, že VNF pro load balancing by měla být již integrovanou součástí návrhu cloudové aplikace, resp. návrhu cloudového templatu pro orchestraci. V případě HAproxy by toto neměl být problém, protože je to standartní součást OpenStacku a OpenContrailu. Mělo by tedy jít využít standartního heat templatu, ve kterém bude nadefinované vše potřebné pro Load Balancer. Otázkou je, zda bude možné využít stejný postup i případě AVI networks řešení.

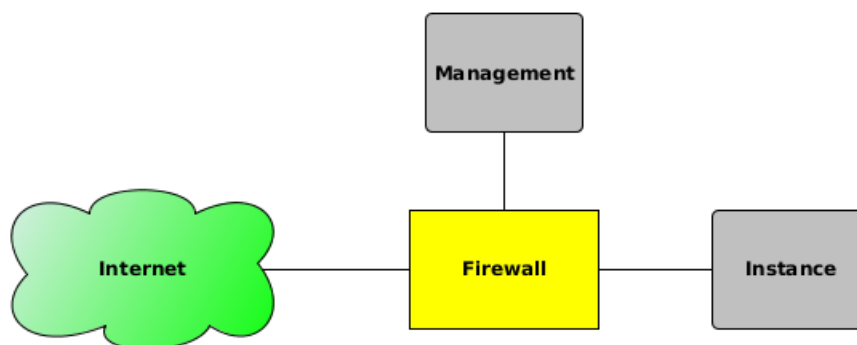
5.1.2. Scénář FwaaS

Další z často využívaných síťových funkcí je firewall, resp. síťové funkce, které dokáží řídit a zabezpečovat síťový provoz mezi různými sítěmi. Zjednodušeně se

dá říct, že slouží jako kontrolní bod, který definuje pravidla pro komunikaci mezi sítěmi, které od sebe odděluje.

Příkladů užití FwaaS v cloudovém prostředí existuje značné množství, protože uživatelé mohou mít různé požadavky na řízení datového provozu. Uvažujme však nejjednodušší příklad, kterým je překlad adres tzv. NAT. V tomto případě uživatel chce vytvořit virtuální instanci, která by měla mít konektivitu k externí síti, ale zároveň nechce, aby daná instance byla dostupná z této externí sítě.

Otázkou zde je, jakým způsobem by měl být daný firewall nakonfigurován? Jak bylo popsáno kapitole 3.4, tak existuje více možností. Konfigurace by mohla být doručena jako součást orchestračního templatu, např. v podobě scriptu, který by se provedl po spuštění firewall instance. Tento přístup však nemusí existovat podpora ze strany PfSense a Fortigatu. V tom případě bude muset být využita jiná metoda, pro kterou však ve většině případů musí být vyhrazený dedikovaný interface, určený právě management. Tento interface může být využit i pro manuální zásahy do konfigurace. Obrázek č. 5.2 zobrazuje schématické zapojení pro FwaaS.



Obrázek 5.2.: Firewall as a Service

5.2. Realizace VNF pro LbaaS

Zde již budou vysvětleny jednotlivé kroky související s realizací VNF pro LbaaS. Nejprve je ukázáno řešení s využitím HAproxy. Popsaný je zde obecný popis

funkce haproxy, resp. LbaaS Neutronu a popis toho, jak byl využit pro tvorbu VNF. Po této ukázce následuje popis a vysvětlení realizace VNF související s platformou od AVI networks.

5.2.1. HAproxy - Neutron HAproxy agent

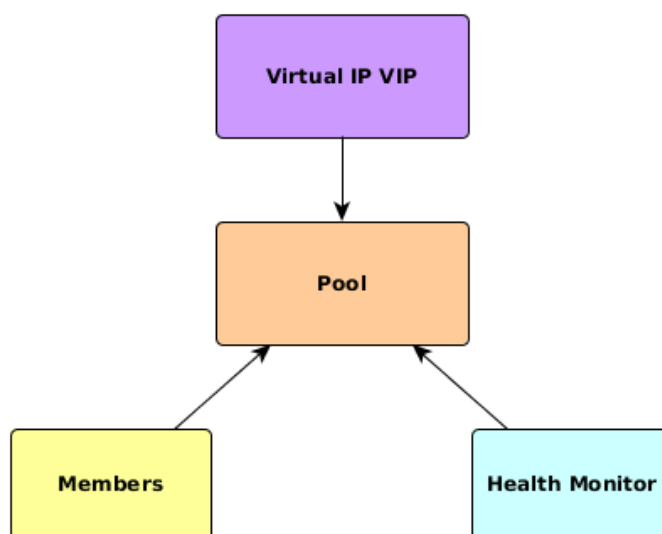
OpenStack Neutron ve své implementaci obsahuje službu LBaaS. Je to jedna z jeho pokročilou služeb, která umožňuje použít jeden soubor API k ovládání load balanceru od poskytovatelů třetích stran. Jedinou podmínkou je, aby toto API implementovali. Toto velice zjednodušuje uživatelům OpenStacku ovládání load balancerů a odpadá díky tomu nutnost seznamování se s implementací a konfigurací těchto různých řešení, která mohou být velmi specifická a odlišná. HAproxy je defaultní backend sloužící pro LBaaS pro OpenStack s využitím OpenContrailu jako SDN řešení.

Load balancer se v Neutron LbaaS skládá ze základních 4 objektů, které jsou vzájemně provázány. Tyto objekty jsou:

- Pool - Obsahuje základní parametry pro load balancer. Jako je např. síťový rozsah, ve kterém budou webové servery či metodu pro distribuci zátěže (Round Robin, Least connection, atd.)
- Virtuální IP (VIP) - ip adresa, na kterou přichází komunikace
- Member - Je konkrétní virtuální instance, která je členem poolu např. webový server. Označení membra je pomocí jeho ip adresy.
- Monitor - Periodicky kontroluje stav jednotlivých serverů a aplikací. Kontrola může být pomocí pingu či http a https dostupnosti.

Obrázek č. 5.3 zachycuje jednotlivé závislosti mezi těmito objekty.

Celý proces probíhá tak, že každý virtuální server, který je asociovaný s daným poolem z něj obdrží IP adresu. Když přijde na VIP nějaký dotaz na danou webovou aplikaci, tak je tento dotaz předán dál na jednu z těchto přiřazeným IP adres. Pokud nastane s aplikací či serverem nějaký problém, který zachytí monitor, tak



Obrázek 5.3.: Neutron LbaaS

load balancer ip adresu tohoto serveru přestane posílat komunikaci, dokud není vše zase v pořádku.

Z výše uvedených informací vyplívá, že je nutné správně nadefinovat jednotlivé komponenty v heat templatu tak, abychom dosáhli požadovaného chování. Tím bude zajištěné správné a automatické řešení pro VNF.

5.2.1.1. Heat template pro haproxy

Celý heat template pro LbaaS s HAProxy v sobě obsahuje několik prostředků, které se po jeho spuštění pokusí heat engine vytvořit. Protože celý heat template je značně dlouhý, tak zde nebude ukazován celý jeho kód, ale pouze části týkající se load balanceru. V případě zájmu lze celý template nalést v příloze. Template se tedy skládá z:

- Privátní síť - K této síti jsou připojeny obě webové instance, load balancer a router. Součástí je definice toho zdroje jsou i subnet, který má dále parametry týkající se DHCP ip adres.
- 2 x web instance - jedná se o virtuální instance s operačním systémem Ubuntu 14.04. Po spuštění heat templatu se na tyto instance nainstaluje Apache server a vytvoří se index.html. Díky tomu je možné následně otestovat zda load

balancer distribuje komunikaci mezi těmito dvěma servery.

- router - toto je Neutron router implementující SNAT. V tomto příkladě je využíván webovými servery pro konektivitu k Internetu. Toto je nutné pro nainstalování programu Apache na webové servery.
- public síť - toto je veřejná síť, ze které je získána VIP pro load balancer. Na tuto VIP bude dále asociována floating ip.
- members - po vytvoření instancí je nutné jejich přidání do poolu jako members. Pokud webová aplikace na serverch využívá jiný port než port 80, je možné ho zde změnit.

```
lb_pool_member_instance_01:
  type: OS::Neutron::PoolMember
  properties:
    address: { get_attr: [ instance_01 , first_address ] }
    admin_state_up: True
    pool_id: { get_resource: lb_pool }
    protocol_port: 80
    weight: 1
```

Ukázka kódu 5.1: Health monitor

- health monitoring - zdroj pro monitoring. Dle zvolených parametrů je vidět, že každých 5 sekund bude poslán ping na servery a bude se čekat 5 sekund na odpověď. Pokud nepříjde, tak load balancer usoudí, že je daný server není v pořádku a přestane na něj přeposílat komunikaci.

```
lb_ping_health_monitor:
  type: OS::Neutron::HealthMonitor
  properties:
    admin_state_up: True
    delay: 5
    max_retries: 1
    timeout: 5
```

```
type: PING
```

Ukázka kódu 5.2: Healt monitor

- pool - jedná se o definování poolu pro load balancer. Na ukázce je vidět, že byla zvolena metoda Round Robin. Tato metoda byla zvolena kvůli co nejjednoduššímu testování tohoto templatu.

```
lb_pool:
  type: OS::Neutron::Pool
  properties:
    admin_state_up: True
    lb_method: ROUND_ROBIN
    name: { get_param: lb_name }
    protocol: HTTP
    monitors:
      - { get_resource: lb_ping_healt_monitor }
    subnet_id: { get_resource: private_subnet }
  vip:
    protocol_port: 80
    admin_state_up: True
    subnet: { get_resource: public_subnet }
```

Ukázka kódu 5.3: Healt monitor

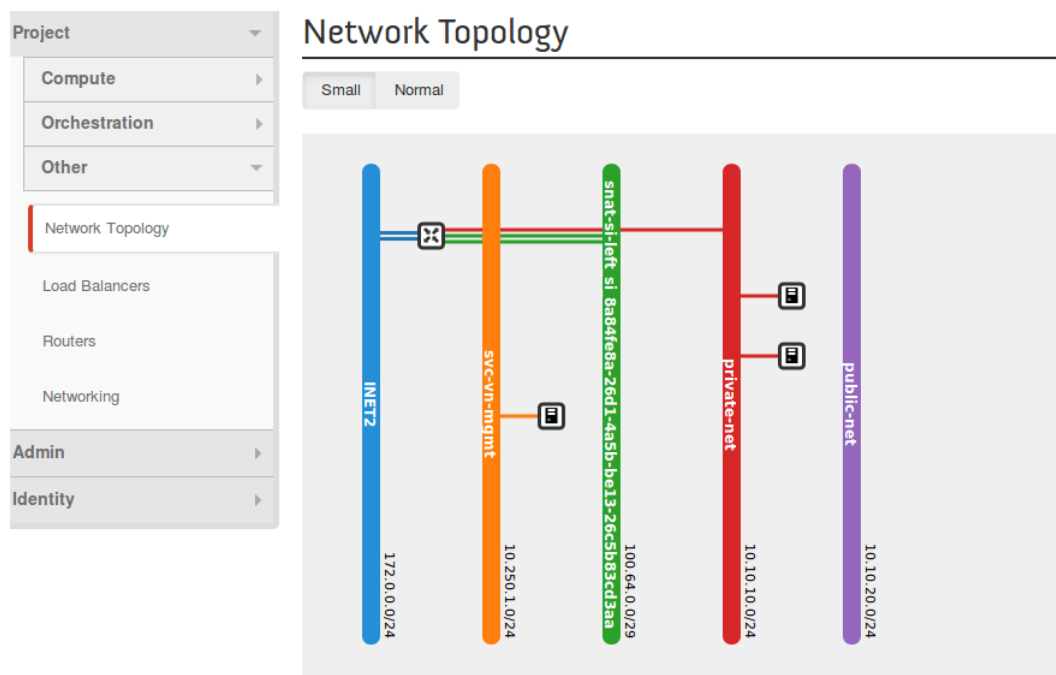
Takto byl vytvořen heat template, který vytvoří LbaaS pomocí HAproxy. Nyní je nutné tento template otestovat, zda funguje správně.

5.2.1.2. Testování heat templatu pro haproxy

V reálném případě by si uživatel heat template vybral z katalogu. Avšak v rámci testování bude heat template spouštěn pomocí příkazu v terminálu:

```
heat stack-create -f heat/templates/lbaas_template.hot -e
  heat/env/lbaas_env.env lbaas
```

Tento příkaz vytvoří všechny prostředky uvedené v šabloně pro load balancing. Na obrázku č. 5.4 je zobrazen screenshot vytvořené topologie z OpenStack dashboardu. Jsou zde vidět vytvořené servery a sítě. Není zde zobrazen load balancer, protože tato vizualizace tento prvek nezobrazuje. Lze ho nalézt v jiné části dashboardu, ale pro názornost bude rovnou otestováno jeho správné chování.

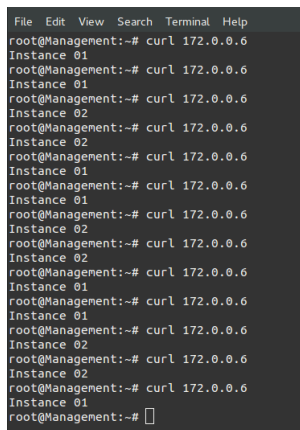


Obrázek 5.4.: Vytvořená síťová topologie

Otestování správného chování virtuálního load balanceru, lze provést opakovaným dotazem na právě vytvořené webové servery. Tím bude zároveň otestována jejich správná konfigurace. Pokud by totiž nevrátili správnou odpověď je možné, že chyba může být i zde.

Dotaz na webové servery byl proveden pomocí příkazu curl, kterému byla dána jako parametr public adresa load balanceru. Celý výstup toho testování znázorňuje obrázek č. 5.5.

Po několika takovýchto dotazech na webové servery je vidět, že odpověď přichází střídavě od obou webových serverů. Probíhá mezi nimi tedy load balancing metodou round robin tak, jak bylo požadováno.



```

File Edit View Search Terminal Help
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 02
root@Managemet:~# curl 172.0.0.6
Instance 01
root@Managemet:~#

```

Obrázek 5.5.: Test konektivity a load balancingu

5.2.2. AVI networks

//Popsat jak to dělá AVI networks

5.3. Realizace VNF pro FwaaS

V této sekci jsou vysvětleny jednotlivé kroky související s realizací VNF pro FwaaS. Jako první je popsána realizace pomocí PfSense a po ní následuje Fortigate VM.

5.3.1. Servisní instance v OpenContrailu

V OpenContrailu je sice možnost využívat implementaci routeru s SNAT, která umožňuje instancím v privátních sítích konektivitu s externí sítí. Pokud však uživatel potřebuje využít pokročilejší funkce firewallu, tak je možné vytvořit servisní instanci, která bude sloužit jako VNF. V té může být použit libovolný požadovaný image firewallu uživatele.

Servisní instance v OpenContrailu je jednoduše virtuální stroj, který poskytuje danou VNF. Úplně nejjednodušším příkladem může být virtuální stroj s operačním systémem GNU/Linux, který může sloužit jako router mezi dvěma sítěmi. Pro vytvoření takového virtuálního stroje jsou nutné 3 základní elementy.

- Service Template

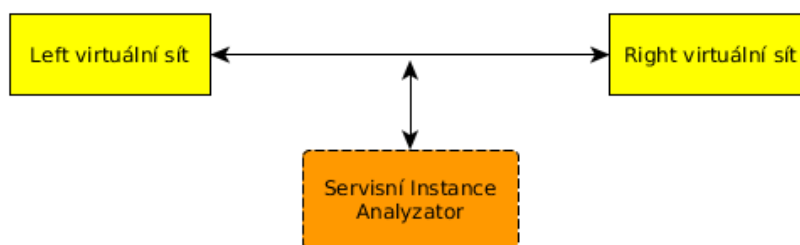
- Service Instance
- Service Policy

Servisní Template obsahuje obecný předpis pro danou VNF v OpenContrailu. Pro správné fungování je nutné zadat nastavit správné parametry patří:

- Název - Název je označení daného Servisního Templatu. Pomocí něho lze následně identifikovat daný template a spustit dle jeho parametrů Servisní instanci.
- Image - Je image, který má být použit pro vytvoření dané servisní instance. V našem případě se bude jednat o image, který obsahuje požadované síťové funkce. Tento image musí před tím než může být použit nahrán do OpenStacku Glance.
- Service Type - V OpenContrailu, prozatím existují dva typy. Jsou to Trafic Analyzer a Firewall.
- Service Mode - Zde se určuje v jakém modu daný template bude nastaven. Jsou zde 3 možnosti. , , .
 - Transparent - v tomto případě se jedná o neroutovaný firewall, neboli L2 firewall.
 - In-Network - poskytuje výchozí bránu a průchozí traffic je routovaný. Tento mode může být využit pro NAT, HTTP proxy, atd.
 - In-Network-NAT - zde je situace podobná jako u In-Network, ale navracující traffic nemusí být routovaný zpět do zdrojové sítě.
- Typy síťových portů - Zde se určuje kolik portů bude daná instance, vytvořená pomocí tohoto templatu mít a jaká bude jejich role. Jsou zde možnosti Left, Right a Management.

Po úspěšném vytvoření Servisního templatu je možné z něj vytvořit libovolný počet Servis Instancí. Ty běží jako klasické instance v OpenStacku. Jak tedy vyplývá z výše uvedených informací, tak existují dva druhy servisních instancí v OpenContrailu.

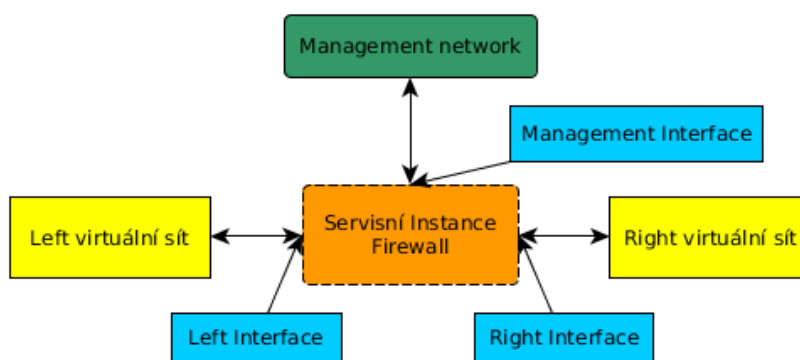
První z nich je Analyzer. Ten slouží k analýze a zachytávání síťového trafficu. Image pro tento typ servisní instance obvykle obsahuje protokolový analyzátor a paketový sniffer, jako je například oblíbený program Wireshark. Tato instance dostává traffic, který je posílán mezi dvěma sítěmi. Tento traffic vybírá OpenContrail podle nastaveného pravidla pro dané sítě. Podle těchto pravidel je vybrána jen část trafficu, která je následně dána k dispozici servisní instanci. Samotná servisní instance nijak nemanipuluje s trafficem a ani do něj žádný negeneruje. Jednoduše lze říci, že má nastavený síťový port v promiskuitním modu a pouze pozoruje traffic. Poté jen hlásí zachycené události uživateli či jiným entitám v síti. Obrázek č. 5.6 znázorňuje tento typ servisní instance.



Obrázek 5.6.: Schéma zapojení servisní instance Analyzátor

Druhým typem servisní instance je firewall. V tomto případě již servisní instance manipuluje s trafficem. Hlavní bodem při vytváření servisní instance jako firewall je přiřadit správné virtuální sítě k správným virtuálním síťovým portům. Servisní instance má obvykle dva síťové porty - left a right. Ty slouží pro propojení sítí do kterých jsou zapojeny. V některých případech je možné servisní instanci přidat třetí síťový port, který slouží pro out-of-band management. Přestože některá řešení pro servisní instance sloužící jako firewall mohou mít již své požadované chování definované hned při jejich startu, tak tento port může být velice užitečný při konfiguraci dané servisní instance. A to ať už se jedná o konfiguraci manuální či pomocí nějaké vyšší management entity.

Service policy dovoluje síťový traffic mezi virtuálními sítěmi a říká systému, aby ho posílal skrze servisní instanci.



Obrázek 5.7.: Schéma zapojení servisní instance

5.3.2. Heat template pro Fwaas

Pro Fwaas je naruhot heat template, který obsahuje:

- privátní síť

```

private_net_1:
  type: OS::Neutron::Net
  properties:
    name: { get_param: private_net_1_name }

private_subnet_1:
  type: OS::Neutron::Subnet
  depends_on: private_net_1
  properties:
    network_id: { get_resource: private_net_1 }
    cidr: { get_param: private_net_1_cidr }
    gateway_ip: { get_param: private_net_1_gateway }
    allocation_pools:
      - start: { get_param: private_net_1_pool_start }
        end: { get_param: private_net_1_pool_end }

```

Ukázka kódu 5.4: Privátní síť

- firewall template


```
service_template:
  type: OS::Contrail::ServiceTemplate
  properties:
    name: { get_param: template_name }
    service_mode: { get_param: template_mode }
    service_type: { get_param: template_type }
    image_name: { get_param: template_image }
    service_scaling: { get_param: scaling }
    availability_zone_enable: { get_param:
      availability_zone }
    ordered_interfaces: { get_param: ordered_interfaces }
    flavor: { get_param: template_flavor }
    service_interface_type_list: { "Fn::Split" : [ ",",
      Ref: service_interface_type_list ] }
    shared_ip_list: { "Fn::Split" : [ ",", Ref:
      shared_ip_list ] }
    static_routes_list: { "Fn::Split" : [ ",", Ref:
      static_routes_list ] }
```

Ukázka kódu 5.5: Firewall servisní instance

- firewall instance

```
service_instance:
  type: OS::Contrail::ServiceInstance
  depends_on: [private_subnet_1]
  properties:
    name: { get_param: private_instance_name }
    service_template: { get_resource: service_template }
    availability_zone: { get_param:
      private_availability_zone }
  scale_out:
    max_instances: { get_param: max_instances }
  interface_list: [
```

```
{
    virtual_network: "auto"
},
{
    virtual_network: {get_param: public_net}
},
{
    virtual_network: {get_resource: private_net_1}
}
]
```

Ukázka kódu 5.6: Privátní síť

- virtuální instance

```
test_instance_01:
  type: OS::Nova::Server
  properties:
    image: { get_param: instance_image }
    flavor: { get_param: instance_flavor }
    key_name: { get_param: key_name }
    name: test-web01
    networks:
      - network: { get_resource: private_net_1 }
    security_groups:
      - default
  user_data_format: RAW
  user_data: |
    #!/bin/bash -v
    apt-get install apache2 -yy
    echo "Instance 01" > /var/www/html/index.html
```

Ukázka kódu 5.7: Virtuální instance pro testování

- contrail policy

```
private_policy:
  type: OS::Contrail::NetworkPolicy
  depends_on: [ private_net_1, service_instance ]
  properties:
    name: { get_param: policy_name }
    entries:
      policy_rule: [
        {
          "direction": { get_param: direction },
          "protocol": "any",
          "src_ports": [{"start_port": {get_param:
            start_src_ports}, "end_port": {get_param:
            end_src_ports}}],
          "dst_ports": [{"start_port": {get_param:
            start_dst_ports}, "end_port": {get_param:
            end_dst_ports}}],
          "dst_addresses": [{ "virtual_network":
            {get_param: public_net}}],
          "action_list": {"apply_service":
            [{get_resource: service_instance}]},
          "src_addresses": [{ "virtual_network":
            {get_resource: private_net_1}}]
        },
      ]
```

Ukázka kódu 5.8: Contrail network policy

5.3.3. Management PfSense

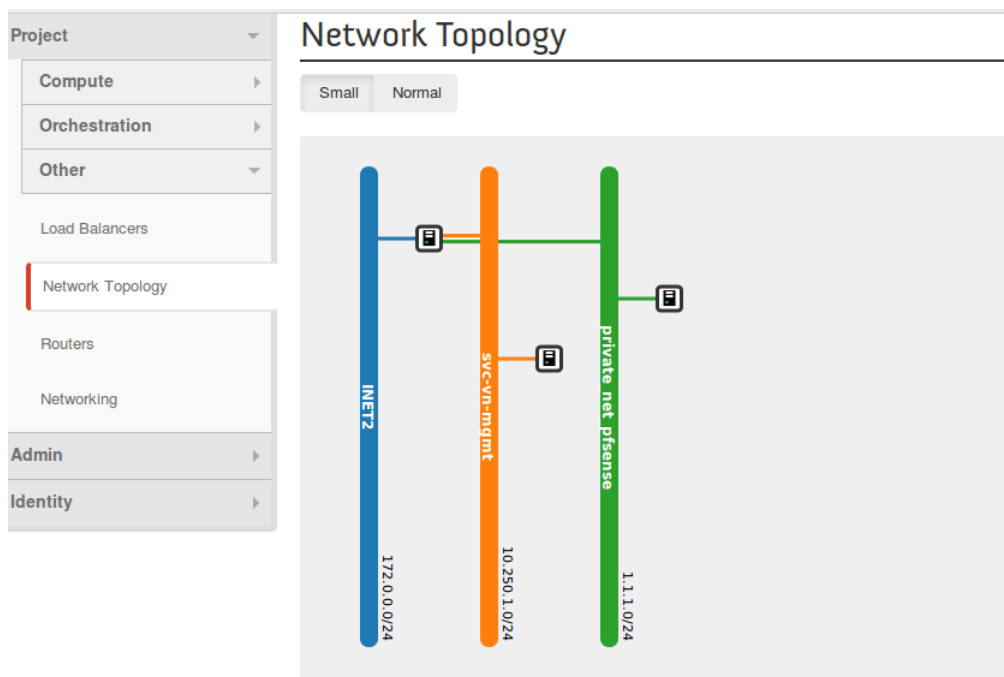
Pro vytvoření heat stacku s PFSense z templatu lze použít příkaz:

```
heat stack-create -f heat/templates/fwaas_mnmg_template.hot -
```

```
e heat/env/fwaas_pfsense_env.env pfsense
```

a pro vytvoření heat stacku s Fortigate VM jde vytvořit pomocí příkazu:

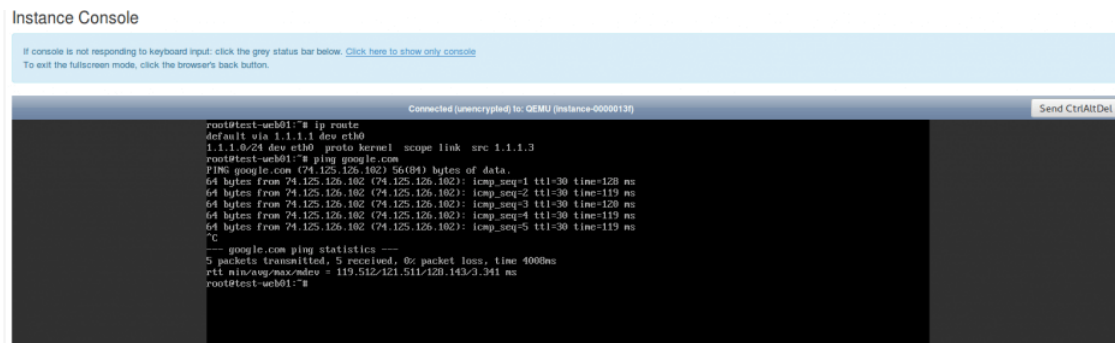
```
heat stack-create -f heat/templates/fwaas_mnmg_template.hot -  
e heat/env/fwaas_fortios_contrail.env fortios
```



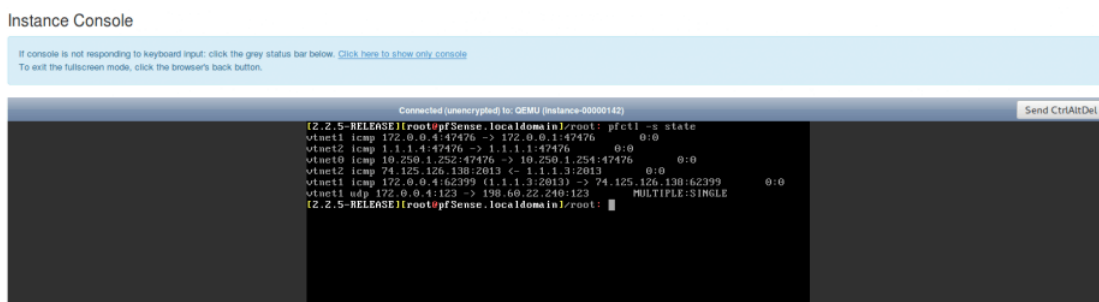
Obrázek 5.8.: Síťová topologie

By default, pfsense firewall is configured to NAT after the heat stack is started. As a result, there is no need to make any configuration for this function. Pfsense image was preconfigured with DHCP services on every interface and there is out-bound policy for NAT.

After we start the heat with pfsense there is already functional service chaining. Testing instance has default gateway to contrail and contrail redirects it to pfsense.



Obrázek 5.9.: Test konektivity PFSense



Obrázek 5.10.: Ukázka NAT session

//Bash script nefunguje //Salt minion neprosel //Predpripraveny image

5.3.4. Management Fortigate VM

//Python API = Script // => Salt module

```

root@mnmg01:~# python fortios_intf.py
This is the diff of the conigs:

This is how to reach the desired state:
config system interface
  edit port1
    set allowaccess ssh ping http https
  next
  edit port2
    set defaultgw enable
  next
  edit port4
    set mode static
  next
  edit port5
    set mode static
  next
  edit port6
    set mode static
  next
  edit port7
    set mode static
  next
  edit ssl.root
    set mode static
  next
end
root@mnmg01:~#

```

Obrázek 5.11.: Fortigate VM intergace konfigurace

```

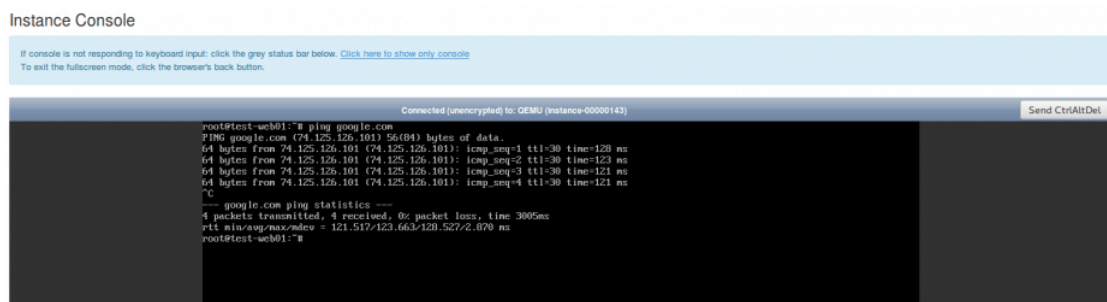
ubuntu@Management:~$ ssh root@172.0.0.5
Welcome to Ubuntu 14.04.3 LTS (GNU/Linux 3.19.0-26-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com/
Last login: Tue Jan 12 10:03:49 2016 from mgmtserver14041vag
root@mnmg01:~# ls
fabfile.py  fortigate-formula  fortios_intf.txt  fortios_nat.py  param.py  update.sh
fabfile.pyc  fortios_intf.py  fortios_nat.conf  fortios_nat.txt  text.py
root@mnmg01:~# python fortios_nat.py
This is the diff of the conigs:

This is how to reach the desired state:
config firewall policy
  edit 1
    set nat enable
    set service ALL
    set schedule always
    set srcaddr all
    set dstintf port2
    set srcintf port3
    set action accept
    set dstaddr all
    set logtraffic all
  next
end
root@mnmg01:~#

```

Obrázek 5.12.: Fortigate VM NAT konfigurace



Obrázek 5.13.: Test konektivity

5.4. Shrnutí získaných poznatků

6. Závěr

Je v paráda.

Literatura

- [1] WEINS, Kim. *Cloud Computing Trends: 2016 State of the Cloud Survey*. In: RightScale [online]. 2016 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://www.rightscale.com/blog/cloud-industry-insights/cloud-computing-trends-2016-state-cloud-survey>
- [2] STEVENSON, Rick. *How Low-Cost Telecom Killed Five 9s in Cloud Computing*. In: Wired [online]. 2013 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.wired.com/insights/2013/03/how-low-cost-telecom-killed-five-9s-in-cloud-computing/>
- [3] SKOLDSTROM, Pontus, Balazs SONKOLY, Andras GULYAS, et al. *Towards Unified Programmability of Cloud and Carrier Infrastructure*. In: 2014 Third European Workshop on Software Defined Networks [online]. IEEE, 2014, s. 55-60 [cit. 2016-08-12]. DOI: 10.1109/EWSDN.2014.18. ISBN 978-1-4799-6919-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6984052>
- [4] R. Guerzoni, "Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges and Call for Action. Introductory white paper," in SDN and OpenFlow World Congress, June 2012. [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné také z: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
- [5] HAN, Bo, Vijay GOPALAKRISHNAN, Lusheng JI a Seungjoon LEE. *Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations*. IEEE Communications Magazine. 2015, 53(2), 90-97. DOI:

- 10.1109/MCOM.2015.7045396. ISSN 0163-6804. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7045396>
- [6] MIJUMBI, Rashid, Joan SERRAT, Juan-Luis GORRICHIO, Niels BOUTEN, Filip DE TURCK a Raouf BOUTABA. *Network Function Virtualization: State-of-the-Art and Research Challenges*. IEEE Communications Surveys. 2016, 18(1), 236-262. DOI: 10.1109/COMST.2015.2477041. ISSN 1553-877x. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7243304>
- [7] KUSNETZKY, Dan. *Virtualization: a manager's guide*. Sebastopol, CA: O'Reilly, c2011. ISBN 1449306454.
- [8] J. Smith and R. Nair, *The architecture of virtual machines*, Computer, vol. 38, no. 5, pp. 32–38, May 2005. doi: 10.1109/MC.2005.173
- [9] MELL, Peter a Tim GRANCE. *The NIST definition of cloud computing*. [online]. In: . 2011 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- [10] FONSECA, Nelson L. S. da. a Raouf BOUTABA. *Cloud services, networking, and management*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2015. ISBN 9781118845943.
- [11] SHERRY, Justine, Shaddi HASAN, Colin SCOTT, Arvind KRISHNAMURTHY, Sylvia RATNASAMY a Vyas SEKAR. *Making middleboxes someone else's problem*. In: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication - SIGCOMM '12 [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2012, s. 13- [cit. 2016-08-07]. DOI: 10.1145/2342356.2342359. ISBN 9781450314190. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2342356.2342359>
- [12] WOOD, Timothy, K. K. RAMAKRISHNAN, Jinho HWANG, Grace LIU a Wei ZHANG. *Toward a software-based network: integrating software de-*

- defined networking and network function virtualization. IEEE Network [online]. 2015, 29(3), 36-41 [cit. 2016-08-07]. DOI: 10.1109/MNET.2015.7113223. ISSN 0890-8044. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7113223>
- [13] KREUTZ, Diego, Fernando M. V. RAMOS, Paulo ESTEVES VERISSIMO, Christian ESTEVE ROTHENBERG, Siamak AZODOLMOLKY a Steve UHLIG. *Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey*. Proceedings of the IEEE [online]. 2015, 103(1), 14-76 [cit. 2016-04-09]. DOI: 10.1109/J-PROC.2014.2371999. ISSN 0018-9219. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6994333>
- [14] DOHERTY, Jimmy. *SDN and NFV simplified: a visual guide to understanding software defined networks and network function virtualization*. 1st edition. Indianapolis, IN: Addison-Wesley Professional, 2016. ISBN 9780134306407.
- [15] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, “ETSI GS NFV 002 V1.2.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework,” December 2014. [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné také z: <http://www.etsi.org/deliver/etsigs/NFV/001099/002/01.02.0160/gsNFV002v010201p.pdf>
- [16] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, “ETSI GS NFV 003 V1.2.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Terminology for Main Concepts in NFV,” December 2014. [online]. [cit. 2016-04-07]. <http://www.etsi.org/deliver/etsigs/NFV/001099/003/01.02.0160/gsNFV003v010201p.pdf>
- [17] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-INF 001 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV);Infrastructure Overview* , 2015. [online]. [cit. 2016-04-07].http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/001/01.01.01_60/gs_nfv-inf001v010101p.pdf

- [18] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-INF 003 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Infrastructure; Compute Domain*, 2014. [online]. [cit. 2016-04-07]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/003/01.01.01_60/gs_NFV-INF003v010101p.pdf
- [19] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-INF 004 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Infrastructure; Hypervisor Domain*, 2015. [online]. [cit. 2016-01-07]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/004/01.01.01_60/gs_nfv-inf004v010101p.pdf
- [20] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-INF 005 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Infrastructure; Network Domain*, 2014. [online]. [cit. 2016-03-05]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/005/01.01.01_60/gs_NFV-INF005v010101p.pdf
- [21] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-SWA 001 V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Virtual Network Functions Architecture*, 2014. [online]. [cit. 2016-02-09]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-SWA/001_099/001/01.01.01_60/gs_nfv-swa001v010101p.pdf
- [22] ETSI Industry Specification Group (ISG) NFV, *ETSI GS NFV-MAN V1.1.1: Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration*, 2014. [online]. [cit. 2016-02-01]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_nfv-man001v010101p.pdf
- [23] MIJUMBI, Rashid, Joan SERRAT, Juan-luis GORRICHIO, Steven LATRE, Marinos CHARALAMBIDES a Diego LOPEZ. *Management and orchestration challenges in network functions virtualization*. IEEE Communications Magazine. 2016, 54(1), 98-105. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7378433. ISSN 0163-6804.

- Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7378433>
- [24] Openstack: Open source cloud computing software. 2016.[Online]. OpenStack Foundation, © 2016 [cit. 2016-08-13] Dostupné z: <https://www.openstack.org>
- [25] KHEDHER, Omar. *Mastering OpenStack: design, deploy, and manage a scalable OpenStack infrastructure*. First published. Birmingham: Packt Publishing, 2015. Community experience distilled (Packt). ISBN 978-1-78439-564-3.
- [26] Heat; OpenStack Orchestration. [online]. OpenStack Foundation, © 2016 [cit. 2016-08-13] Dostupné z: <https://wiki.openstack.org/wiki/Heat>
- [27] OpenStack User Survey. [online]. OpenStack Foundation, 2016 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: <https://www.openstack.org/assets/survey/April-2016-User-Survey-Report.pdf>
- [28] Open Platform for NFV (OPNFV) [online]. Open Platform for NFV Project, Inc., © 2016 [cit. 2016-08-14]. Dostupné z: <https://www.opnfv.org/>
- [29] RIJSMAN, Bruno a Ankur SINGLA. *Day One: Understanding OpenContrail Architecture*. Juniper Networks Books, 2013
- [30] Virtualizace od společnosti VMware pro desktopy, servery, aplikace, veřejné a hybridní cloudy [online]. VMware, Inc., 2016 [cit. 2016-08-14]. Dostupné z: <http://www.vmware.com/cz.html>
- [31] GALLAGHER, Simon a Aidan DALGLEISH. *VMware private cloud computing with vCloud Director*. Indianapolis, Ind.: Sybex, c2013
- [32] <http://letusgovirtual.com/?p=591>
- [33] <http://www.itproportal.com/2015/08/21/the-top-enterprise-firewalls-of-2015/>
- [34]

- [35]
- [36]
- [37]
- [38] <http://www.haproxy.org/>
- [39]
- [40] MOENS, Hendrik a Filip De TURCK. VNF-P: A model for efficient placement of virtualized network functions. In: 10th International Conference on Network and Service Management (CNSM) and Workshop [online]. IEEE, 2014, s. 418-423 [cit. 2016-08-14]. DOI: 10.1109/CNSM.2014.7014205. ISBN 978-3-901882-67-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7014205>
- [41] CLEMM, Alexander. *qNetwork management fundamentals*. Indianapolis, IN: Cisco Press, c2007. ISBN 1587201372.
- [42] SMOLA, Ondřej. *Automatizace síťového provozu na operačních systémech směrovačů*. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Fakulta Informatiky a Managementu. Vedoucí práce Vladimír Soběslav.
- [43]

Seznam obrázků

2.1. Schéma hypervisorů	4
2.2. Tradiční schéma počítačové sítě	6
2.3. Koncept virtualizace síťových funkcí, převzato z [5]	6
2.4. Schéma SDN, převzato z [13]	8
2.5. Srovnání SDN a NFV	9
2.6. Ukázka klasického service chainigu pomocí fyzických síťových prvků	9
2.7. Ukázka VNF service chainigu	10
3.1. NFV architektura, převzato z [15]	12
3.2. Schéma NFV infrastruktury	13
3.3. Schéma virtuální síťové funkce	14
3.4. Schéma NFV MANO	16
3.5. Popis heat orchestrace	19
3.6. Schéma VMware vCloud Suite, převzato z [32]	21
4.1. Architektura NFV řešení	29
4.2. Architektura NFV řešení	30
5.1. Firewall as a Service	32
5.2. Firewall as a Service	33
5.3. Neutron LbaaS	35
5.4. Vytvořená síťová topologie	38
5.5. Test konektivity a load balancingu	39
5.6. Schéma zapojení servisní instance Analyzer	41
5.7. Schéma zapojení servisní instance	42

5.8. Síťová topologie	46
5.9. Test konektivity PFSense	47
5.10. Ukázka NAT session	47
5.11. Fortigate VM intergace konfigurace	48
5.12. Fortigate VM NAT konfigurace	48
5.13. Test konektivity	49

Seznam tabulek

4.1. Srovnání VMware vCloud Suite a OpenStacku	27
4.2. Přehled softwaru pro LbaaS	28
4.3. Přehled softwaru pro FwaaS	29

Seznam ukázek kódu

5.1. Healt monitor	36
5.2. Healt monitor	36
5.3. Healt monitor	37
5.4. Privátní síť	42
5.5. Firewall servisní instance	42
5.6. Privátní síť	43
5.7. Virtuální instance pro testování	44
5.8. Contrail network policy	45

Přílohy

A. Heat template Lbaas - HAproxy

```
heat_template_version: 2013-05-23
description: LBAAS Template
parameters:
  key_name:
    type: string
  instance_flavor:
    type: string
    description: Instance type for servers
    default: m1.small
    constraints:
      - allowed_values: [m1.tiny, m1.small, m1.medium, m1.large]
        description: instance_type must be a valid instance type
  instance_image:
    type: string
    description: Image name to use for the servers.
    default: ubuntu-14-04-x64
  public_net_id:
    type: string
    description: ID or name of public network for which floating
      IP addresses will be allocated
  router_name:
    type: string
    description: Name of router to be created
    default: test-router
  lb_name:
```

```
    type: string
    description: Name of balancer to be created
    default: test-lb
public_net_name:
    type: string
    description: Name of public network to be created
    default: public-net
public_net_cidr:
    type: string
    description: Public network address (CIDR notation)
    default: 10.10.20.0/24
public_net_pool_start:
    type: string
    description: Start of public network IP address allocation
        pool
    default: 10.10.20.100
public_net_pool_end:
    type: string
    description: End of public network IP address allocation pool
    default: 10.10.20.200
private_net_name:
    type: string
    description: Name of private network to be created
    default: private-net
private_net_cidr:
    type: string
    description: Private network address (CIDR notation)
    default: 10.10.10.0/24
private_net_pool_start:
    type: string
    description: Start of private network IP address allocation
        pool
    default: 10.10.10.100
```

```
private_net_pool_end:
  type: string
  description: End of private network IP address allocation
    pool
  default: 10.10.10.200
resources:
  http_security_group:
    type: OS::Neutron::SecurityGroup
    properties:
      name: http
      rules:
        - direction: ingress
          remote_mode: remote_ip_prefix
          remote_ip_prefix: 0.0.0.0/0
          port_range_min: 80
          port_range_max: 80
          protocol: tcp
  public_net:
    type: OS::Neutron::Net
    properties:
      admin_state_up: True
      name: { get_param: public_net_name }
      shared: False
  public_subnet:
    type: OS::Neutron::Subnet
    properties:
      allocation_pools:
        - start: { get_param: public_net_pool_start }
          end: { get_param: public_net_pool_end }
      cidr: { get_param: public_net_cidr }
      enable_dhcp: True
      ip_version: 4
      name: { get_param: public_net_name }
```

```
    network_id: { get_resource: public_net }
private_net:
  type: OS::Neutron::Net
  properties:
    admin_state_up: True
    name: { get_param: private_net_name }
    shared: False
private_subnet:
  type: OS::Neutron::Subnet
  properties:
    allocation_pools:
      - start: { get_param: private_net_pool_start }
        end: { get_param: private_net_pool_end }
    cidr: { get_param: private_net_cidr }
    enable_dhcp: True
    ip_version: 4
    name: { get_param: private_net_name }
    network_id: { get_resource: private_net }
router:
  type: OS::Neutron::Router
  properties:
    name: { get_param: router_name }
    external_gateway_info:
      network: { get_param: public_net_id }
router_interface:
  type: OS::Neutron::RouterInterface
  properties:
    router_id: { get_resource: router }
    subnet_id: { get_resource: private_subnet }
lb_ping_health_monitor:
  type: OS::Neutron::HealthMonitor
  properties:
    admin_state_up: True
```

```
    delay: 5
    max_retries: 1
    timeout: 5
    type: PING
lb_pool:
  type: OS::Neutron::Pool
  properties:
    admin_state_up: True
    lb_method: ROUND_ROBIN
    name: { get_param: lb_name }
    protocol: HTTP
    monitors:
      - { get_resource: lb_ping_health_monitor }
    subnet_id: { get_resource: private_subnet }
    vip:
      protocol_port: 80
#     address: { get_param: public_net_ip }
      admin_state_up: True
      subnet: { get_resource: public_subnet }
instance_01:
  type: OS::Nova::Server
  properties:
    image: { get_param: instance_image }
    flavor: { get_param: instance_flavor }
    key_name: { get_param: key_name }
    name: test-web01
    networks:
      - network: { get_resource: private_net }
    security_groups:
      - default
      - { get_resource: http_security_group }
    user_data_format: RAW
    user_data: |
```

```
#!/bin/bash -v
apt-get install apache2 -yy
echo "Instance 01" > /var/www/html/index.html
lb_pool_member_instance_01:
  type: OS::Neutron::PoolMember
  properties:
    address: { get_attr: [ instance_01 , first_address ] }
    admin_state_up: True
    pool_id: { get_resource: lb_pool }
    protocol_port: 80
    weight: 1
instance_02:
  type: OS::Nova::Server
  properties:
    image: { get_param: instance_image }
    flavor: { get_param: instance_flavor }
    key_name: { get_param: key_name }
    name: test-web02
    networks:
      - network: { get_resource: private_net }
    security_groups:
      - default
      - { get_resource: http_security_group }
    user_data_format: RAW
    user_data: |
      #!/bin/bash -v
      apt-get install apache2 -yy
      echo "Instance 02" > /var/www/html/index.html
lb_pool_member_instance_02:
  type: OS::Neutron::PoolMember
  properties:
    address: { get_attr: [ instance_02 , first_address ] }
    admin_state_up: True
```

```
    pool_id: { get_resource: lb_pool }
    protocol_port: 80
    weight: 1
lb:
  type: OS::Neutron::LoadBalancer
  properties:
    members:
      - { get_resource: instance_01 }
      - { get_resource: instance_02 }
    pool_id: { get_resource: lb_pool }
    protocol_port: 80
lb_floating:
  type: OS::Neutron::FloatingIP
  properties:
    floating_network_id: {get_param: public_net_id}
    port_id: {get_attr: [lb_pool, vip, port_id]}
```

B. Heat template FwaaS

Podklad pro zadání DIPLOMOVÉ práce studenta

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA	OSOBNÍ ČÍSLO
Smola Ondřej	Polizy 16, Osice - Polizy	11475

TÉMA ČESKY:

Orchestrace a management virtuálních síťových funkcí

TÉMA ANGLICKY:

Orchestration and management of virtual network functions

VEDOUcí PRÁCE:

Ing. Vladimír Soběslav, Ph.D. - KIT

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem této práce je analyzovat možnosti vytváření a nasazení virtuálních sítí v cloud computingu s důrazem na technologie VNF nad NFV a jejich srovnání. V rámci závěrečné práce budou analyzovány metody a nástroje pro vývoj a automatizaci služeb virtuálních sítí. V závěrečné části provede autor implementaci VNF řešení v prostředí cloud computingové platformy OpenStack.

Osnova:

1. Úvod
2. Problematika virtualizace síťových funkcí
3. Testovací prostředí
4. Příklad virtualizace síťových funkcí
5. Shrnutí
6. Závěr

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

DOSTÁLEK, Libor.; KABELOVÁ, Alena. Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS. 5. aktualizované vydání, Brno: Computer Press, a.s., 2008. 488 s. ISBN 978-80-251-2236-5.

HICKS, Michael. Optimizing Applications on Cisco Networks. 1. vydání. Indianapolis: Cisco Press, 2004. 384 s. ISBN: 978-1-58705-153-1.

HUCABY, David. CCNP SWITCH 642-813 Official Certification Guide. 1. vydání. Indianapolis: Cisco Press, 2011, 533 s. ISBN 978-1-58720-243-8.

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum: