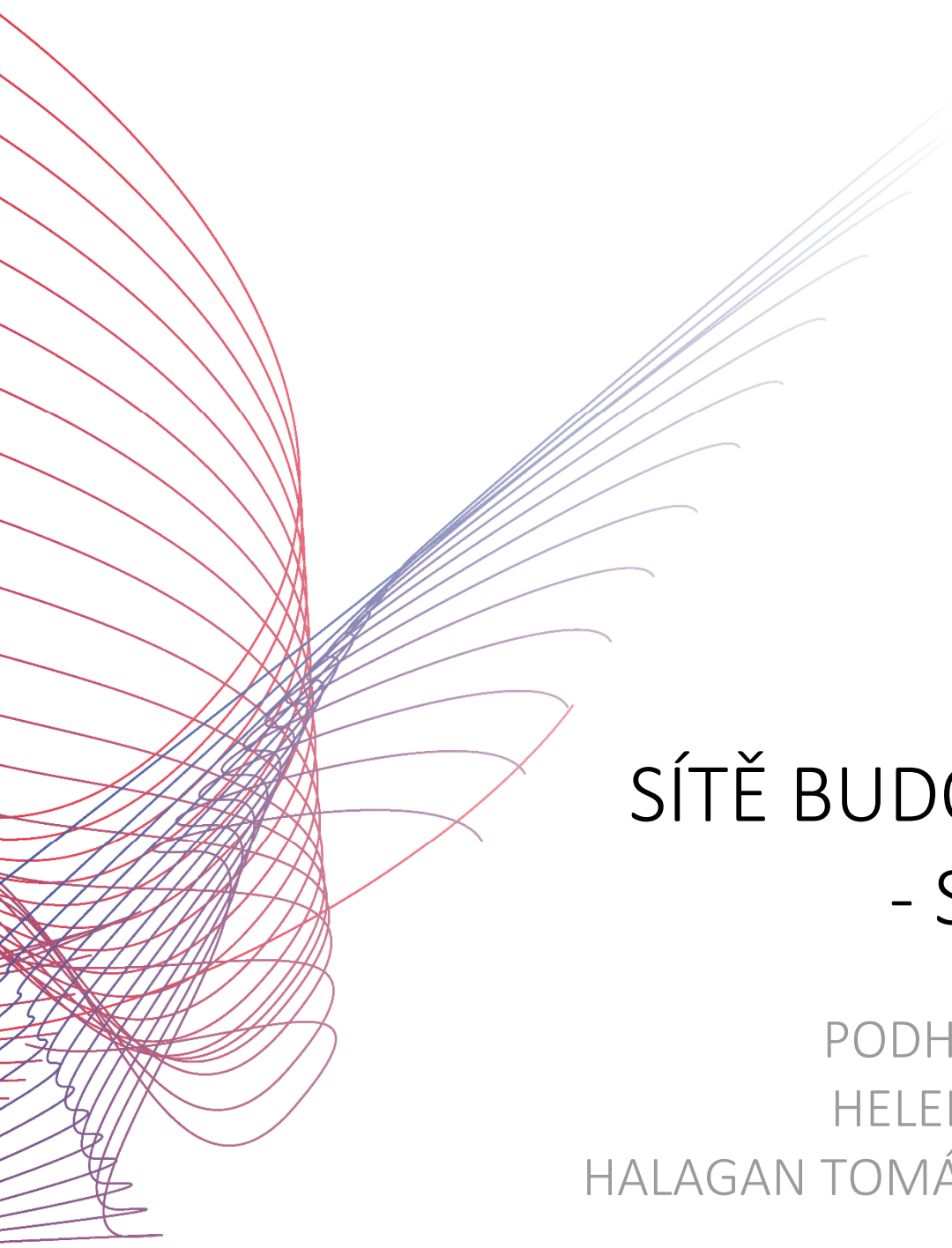




# TECH pedia



## SÍTĚ BUDOUCNOSTI - SDN A NFV

PODHRADSKÝ PAVEL,  
HELEBRANDT PAVEL,  
HALAGAN TOMÁŠ, DROZD IVAN

**Název díla:** Síť budoucnosti - SDN a NFV  
**Autor:** Podhradský Pavel, Helebrandt Pavel,  
Halagan Tomáš, Drozd Ivan  
**Přeložil:** Michal Lucki  
**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktní adresa:** Technická 2, Praha 6  
**Tel.:** +420 224352084  
**Tisk:** (pouze elektronicky)  
**Počet stran:** 38  
**Edice (vydání):** 1. vydání, 2017  
**ISBN** 978-80-01-06246-3

**TechPedia**

European Virtual Learning Platform for  
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>

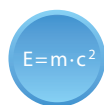


Tento projekt byl realizován za finanční podpory  
Evropské unie.

Za obsah publikací odpovídá výlučně autor.

Publikace (sdělení) nerepresentují názory Evropské  
komise a Evropská komise neodpovídá za použití  
informací, jež jsou jejich obsahem.

## VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTACE

Současný Internet je založen na internetovém protokolu, který vznikl před více než 40 lety pro určitý druh služeb. Během desetiletí nabyl Internet obrovské rozměry; nepočítalo se také s novými aplikacemi jako je webové plynulé stahování videa, sdílení souborů, které zásadním způsobem změnily charakter internetového provozu. Infrastruktura Internetu se vyvíjela při nových technologiích od pevných optických k bezdrátovým sítím. Nové aplikace a služby, technologie, stupeň a variabilita zařízení koncových uživatelů vyžadují flexibilní řešení. Nejmodernějším řešením se zdá být propojení programově a softwarově definovaných sítí a virtualizace síťových služeb. Tento modul se soustřeďuje hlavně na tyto technologie pro Internet budoucnosti, ale také prezentuje přehled sítí příští generace.

## CÍLE

Hlavním cílem tohoto kurzu je poskytnout základní poznatky o nových trendech v informačních a komunikačních technologiích, zejména o evoluci současných sítí k sítím budoucnosti a Internetu budoucnosti. Účastníci kurzu budou seznámeni se základními charakteristikami sítí příští generace. Nejdůležitější však budou informace o několika druzích technologiích, jako je vytváření softwarově definovaných sítí a virtualizace síťových funkcí z hlediska základní architektury, principů a protokolů. Dále je pozornost věnována platným aktuálním požadavkům Internetu budoucnosti.

## LITERATURA

- [1] Mikoczy, E., Kotuliak, I., van Deventer, M. O.: Evolution of the converged NGN service platforms towards Future Networks. in Future Internet Journal, special issue Special Issue "Network vs. Application Based Solutions for NGN", 2011, ISSN 1999-5903.
- [2] Mikoczy, E.: Next Generation of Multimedia Services in Context of Future Networks. In Proceedings of ETSI Future Network Technologies Workshop, Sophia Antipolis, France, 10–11 March 2010.
- [3] Podhradský, P., Mikóczy, E., Lábaj, O., Londák, J., Trúchly, P., at al: NGN Architectures and NGN Protocols. LdV IntEleCT, Educational publication, 210 pages, Published by ČVUT Praha, ISBN: ISBN:978-80-01-04949-5, September 2011, CD version.
- [4] Podhradský, P., Mikóczy, E., Dúha, J., Trúchly, P., at al: NGN – Selected topics, LdV IMProVET. Educational publication, 137 pages, Published by ČVUT Praha, ISBN: 978-80-01-05295-2, August 2013, CD versions (SK, EN, CZ).
- [5] Nadeau, T. D., Gray, K.: SDN: Software Defined Networks. O'Reilly Media. 2013. ISBN: 978-1-449-34230-2.

- [6] Helebrandt, P., Kotuliak, I.: Novel SDN multi-domain architecture. In IEEE 12th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), pp.139-143, 2014.
- [7] Open Networking Foundation: Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. White Paper, 2012  
<https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>.
- [8] McKeown, N.: OpenFlow and Software Defined Networks. online, Presentation. 2011  
[http://www.openflow.org/documents/OpenFlow\\_2011.pps](http://www.openflow.org/documents/OpenFlow_2011.pps).
- [9] Open Networking Foundation. <https://www.opennetworking.org>.
- [10] McKeown, N. et al.: OpenFlow: Enabling innovation in campus networks. In: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 38, no. 2, pp.69-74, 2008.
- [11] Open Networking Foundation: OpenFlow Switch Specification version 1.3.5. 2015  
<https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.3.5.pdf>.
- [12] Dong; L., Gopal, R., Halpern, J.: Forwarding and Control Element Separation (ForCES) Protocol Specification. IETF RFC 5810, 2010.
- [13] Chiosi, M., Clarke, D., Willis, P., Reid, A., Feger, J., Bugenhagen, M., Khan, W., at al.: Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. SDN and OpenFlow World Congress, 2012.  
[https://portal.etsi.org/nfv/nfv\\_white\\_paper.pdf](https://portal.etsi.org/nfv/nfv_white_paper.pdf).
- [14] Chiosi, M., Wright, S., Clarke, D., Willis, P., at al.: Network Functions Virtualisation: Network Operator Perspectives on Industry Progress. SDN and OpenFlow World Congress, 2013. [https://portal.etsi.org/nfv/nfv\\_white\\_paper2.pdf](https://portal.etsi.org/nfv/nfv_white_paper2.pdf).
- [15] ETSI GS NFV-INF 001 V1.1.1, Network Functions Virtualisation: Infrastructure Overview. Specification, 2015. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-INF/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-INF001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-INF001v010101p.pdf).
- [16] ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1, Network Functions Virtualisation: Management and Orchestration. Specification, 2014. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-MAN/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-MAN001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf).
- [17] ETSI GS NFV-SWA 001 V1.1.1, Network Functions Virtualisation: Virtual Network Functions Architecture. Specification, 2014. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-SWA/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-SWA001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-SWA/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-SWA001v010101p.pdf).
- [18] SdxCentral:Network Functions Virtualization Report. 2015.  
<https://www.sdxcentral.com/reports/network-functions-virtualization-report-2015/>.

- [19] Gruber C. G.: CAPEX and OPEX in Aggregation and Core Networks. In: Optical Fiber Communication, IEEE, 2009, pp. 1-3.
- [20] Strategy Analytics: Global Internet Device Installed Base Forecast. August 2014.  
<https://www4.strategyanalytics.com/default.aspx?mod=pressreleaseviewer&a0=5609>.
- [21] Wu, Y. et al.: CloudMoV: Cloud-Based Mobile Social TV. In: IEEE Transactions on Multimedia, vol.15, 2013, pp. 821-832.
- [22] Roberts, J.: The clean-slate approach to future Internet design: a survey of research initiatives. *annals of telecommunications - annales des télécommunications*, Volume 64, Issue 5, 2009. pp 271-276.
- [23] Banniza, T.R., Boettle, D., Klotsche, R., Schefczik, P., Soellner, M., Wuenstel, K.: A European Approach to a Clean Slate Design for the Future Internet. *Bell Labs Technical Journal - Core and Wireless Networks*, Volume 14 Issue 2, August 2009. pp. 5-22.
- [24] McKeown, N. et al.: Openflow: Enabling innovation in campus networks. In: *SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.38, no.2, 2008, pp. 69-74.
- [25] Bashker, D., Cascio, W., Boudreau, J.: *How to Apply HR Financial Strategies (Collection)*, Addison Wesley. Chapter 1, August 2013, ISBN 9780133743173. pp. 6-10.
- [26] Barroso, L. A., Clidaras, J., Hölzle, U.: *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines - Second Edition*. Morgan & Claypool. Chapter 6., pp. 69-71, 2013, ISBN 9781627050104.
- [27] Tits, Y.: Lack of standardization concerning interfaces between network equipments. In: *Electricity Distribution (CIRED 2013)*, 22nd International Conference and Exhibition on, IET, 2013, pp. 1-4.
- [28] McKeown, N., Girod, B.: *Clean-Slate Design for the Internet A Research Program at Stanford University*. White paper Version 2.0, 18 April 2006.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Evoluce architektury NGN k architektuře sítí budoucnosti</b> .....	<b>9</b>
2.1	Koncepce a architektury NGN .....	10
2.2	Vrstvy koncepčního modelu.....	12
<b>3</b>	<b>Softwarově definované sítě (SDN)</b> .....	<b>13</b>
3.1	Úvod do SDN .....	13
3.2	Oddělení vrstev řízení sítě a směrování dat.....	14
3.3	Centralizované řízení a programovatelnost sítě .....	16
3.4	Porovnání sítí s distribuovaným řízením s tradičními sítěmi .....	17
3.5	Protokoly SDN .....	19
<b>4</b>	<b>Virtualizace síťových funkcí (NFV)</b> .....	<b>23</b>
4.1	Co umožňuje NFV?.....	25
4.2	Požadavky na NFV.....	26
4.3	Architektura NFV .....	27
4.4	Infrastruktura NFV - NFVI .....	28
4.5	Řízení a vzájemná koordinace NFV (MANO).....	29
4.6	Softwarová architektura - funkce virtualizované sítě (VNF) .....	30
4.7	Případy použití NFV .....	31
<b>5</b>	<b>Internet budoucnosti</b> .....	<b>33</b>
5.1	Omezení Internetu .....	34
5.2	Charakteristika nového Internetu .....	36
5.3	Redesign internetových technologií .....	37

# 1 Úvod

Aktuálním tématem v oblasti informačních a komunikačních technologií je další evoluce technologií sítí příští generace **NGN** (*Next Generation Networks*) směrem k sítím budoucnosti. Jedná se zejména o několik aspektů, které ovlivňují aktuální architekturu NGN založenou na IMS a zlepšování dalších funkcionalit pro následující generaci multimediálních služeb. Prudký vývoj internetových služeb a služeb doručování po heterogenních sítích změnil požadavky různých aspektů, jakými jsou další funkcionality, mobilita, vizualizace a sdílení zdrojů, bezpečnost, zjednodušení architektury a pružnosti modelů řízení.

Pokračující diskuse o změnách architektury Internetu (Internetu budoucnosti) a také v oblasti telekomunikací pro sítě budoucnosti (**FN**, *Future Networks*) jsou zařazeny do výzkumných projektů a standardizace (ITU-T, ETSI).



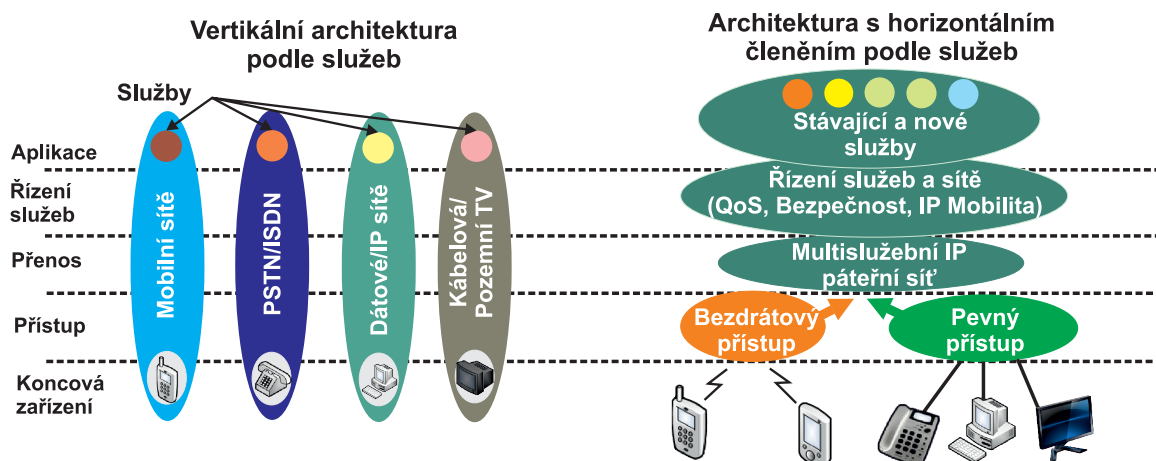
## 2 Evoluce architektury NGN k architektuře sítí budoucnosti

Lze identifikovat dva hlavní směry potenciálního vývoje:

1. Úplná změna postoje nebo revoluční princip - Internet budoucnosti, jeho nová architektura a protokoly musí být nově definovány a navrženy (nové scénáře sítí, modely nových protokolů a testování typů revoluční architektury), [1]. Revoluční skok je předpokládán, pokud by byl Internet navržen s novými technologiemi, bez omezování současnými koncepcemi.
2. Evoluční koncept, který rozšíří současné architektury NGN na základě nových požadavků a funkcí, které vedou ke koncepci zvané sítě budoucnosti [1], [2]. Evoluce NGN může dosáhnout k předpokládaným sítím budoucnosti použitím stávajících protokolů a schopností NGN (aktivovaných právě potřebným zlepšením architektury a mechanismů).

Druhý koncept je realističtější postup směrem k sítím budoucnosti z hlediska migrace, jelikož sítě NGN a technologie jsou již dostupné.

Je vhodné posoudit evoluci a naznačit budoucí trendy NGN a základní problémy, které je nutno řešit. Migrační scénáře pro různé typy síťových platform jsou založeny na myšlence integrace platform TDM a IP do jedné konvergované platformy NGN (z hlediska síťové infrastruktury a služeb). Nové koncepty a architektury nové generace ICT založené na konvergovaných ICT a NGN nabízejí provozovatelům nové možnosti pro zavedení a poskytování širokého spektra multimediálních služeb a aplikací.



Obr. 1 – Od vertikálních struktur k horizontální architektuře NGN [1]



Proto provozovatelé mohou přejít od vertikální struktury architektury, která má pro každý typ služby určen přístup, přenos, řízení a aplikační infrastrukturu na horizontální orientovanou architekturu nezávislejší od poskytovaných služeb (Obr. 1).

## 2.1 Koncepce a architektury NGN

Základní principy sítí NGN byly formulovány v době, kdy vznikla samotná představa NGN. Následující dvě definice od ETSI a ITU-T popisují podstatu NGN.




$E=m \cdot c^2$

ETSI popisuje NGN jako koncept definování a vytvoření sítí umožňujících formální distribuci funkcionalit do samostatných vrstev použitím otevřených rozhraní. Koncept NGN poskytuje nové podmínky pro vytváření, implementaci a efektivní správu inovativních služeb.

ITU-T popisuje NGN jako síť založenou na přenosu paketů, umožňující poskytování služeb a schopnou používat několik širokopásmových přenosových technologií, umožňujících garantování QoS. Funkce související se službami však nezávisí na základních přenosových technologiích. NGN poskytuje uživateli neomezený přístup k různým poskytovatelům služeb. Podporuje celkovou mobilitu uživatelů v případě důslednosti a dostupnosti služeb.

Toto říkají definice, ale pravděpodobné výhody NGN jsou důležitější. Za zmínku stojí některé požadavky na NGN, kterým musí tyto sítě vyhovovat:

- vysokokapacitní paketový přenos v přenosové infrastruktuře,
- separování řídicích funkcí od přenosových zařízení,
- separování poskytování služby od sítě,
- podpora velkého rozsahu služeb a aplikací,
- široké pásmo, v souladu s požadavky na kvalitu služby **QoS** (*Quality of Service*),
- různé typy mobility (uživatelé, koncová zařízení, služby),
- různá schémata identifikace a adresování,
- konvergované služby mezi pevnými a mobilními sítěmi (konvergence pro hlas, data a video),
- shoda s regulačními požadavky, tísňovými a bezpečnostními požadavky,
- levnější a efektivnější technologie.

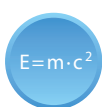


V rámci koncepce NGN normalizační instituce řešily následující otázky a problémy:

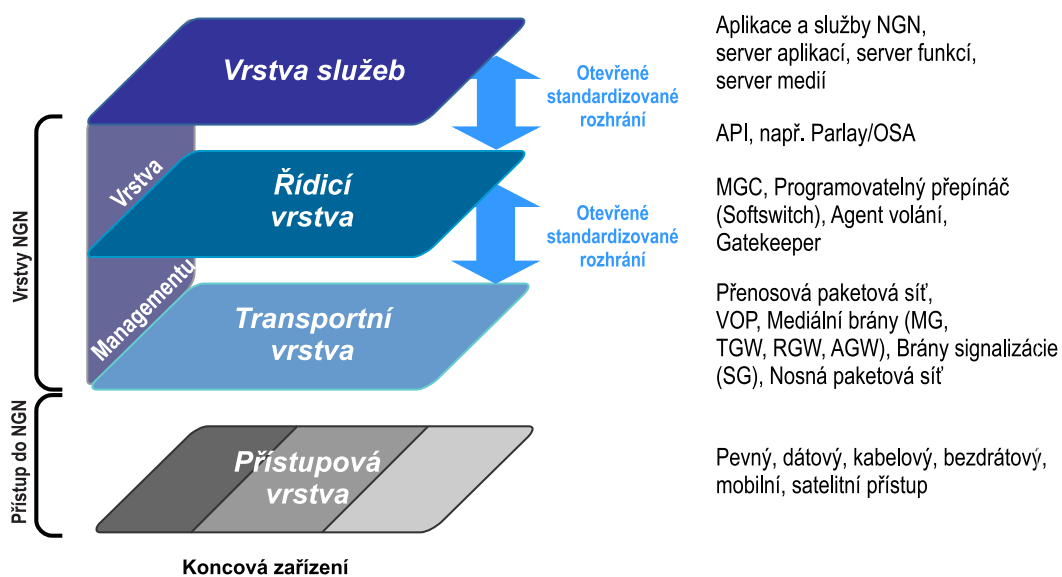
- migrace stávajících sítí do NGN,
- vývoj v oblasti přístupových technologií,
- připojení jiných sítí k IP sítím,

- poskytování služeb a vývoj nových,
- propojení systémů v oblasti adresování,
- propojení signalizačních systémů,
- roaming a mobilita.

Existuje mnoho koncepčních modelů a referenčních architektur pro obě konvergované sítě a architektury VoIP. Proto jsme se pokusili najít společné rysy a definovat použitelný koncepční model NGN. Cílem koncepčního modelu je určit funkční vrstvy (pokrývající jednoduché funkčnosti), jejich entity, referenční body (rozhraní) a informační toky mezi nimi. Takový model pak může snadněji mapovat fyzickou referenční architekturu a její nezávislost na fyzických entitách, tedy složkách architektury.



Ve velkém počtu analyzovaných případů jsou vrstvy koncepčního modelu NGN z hlediska funkcností rozdělené na nezávislé části následovně (Obr. 2): přístup (některé referenční architektury ho nezahrnují přímo do modelu NGN nebo jej přemísťují při adaptaci), odesílání (přenos, přepínání), řízení (volání / řízení relace) a aplikace (služby).



Obr. 2 – Koncepční model NGN a jeho funkční vrstvy

## 2.2 Vrstvy koncepčního modelu

---



**Přístupová vrstva** představuje infrastrukturu, například přístupovou síť mezi koncovým účastníkem a transportní sítí.

**Transportní vrstva** zajišťuje přenos mezi jednotlivými uzly (body) sítě.

**Řídící vrstva** zahrnuje řízení služeb a síťových prvků. Tato vrstva je zodpovědná za nastavení / vytvoření, řízení a zrušení multimediální relace.

**Vrstva služeb** nabízí základní funkce služeb, které mohou být použity k vytvoření komplexnějších a důmyslnějších služeb a aplikací.

---

U NGN se vyžaduje, aby řízení sítě nebylo determinováno pouze pro aplikace koncového zařízení, ale inteligence sítě musí řídit celou síť na všech úrovních referenčního modelu. Referenční model síťového managementu naznačuje následující úkoly pro **inteligenci sítě**, které mají zajistit:

- Management zdrojů (kapacita, porty a fyzické prvky), QoS od přístupu po síť a v transportní sítí, pokud je to nutné.
- Zpracování různých médií, kódování, přenos dat (informační toky).
- Management volání a připojení.
- Management a vzájemnou spolupráci všech prvků referenční architektury.
- Řízení služeb.

Koncepce NGN a architektury jsou detailněji popsány v [3], [4].

Jedná se o některé koncepce a evoluční trendy směřující k novým strukturám sítí, které budou schopny poskytnout široké spektrum / portfolio nových multimediálních služeb / multimediálního obsahu.

Nové architektury sítí založené na "softwarově definovaném vytváření sítí" a "virtualizaci síťových funkcí" jsou uvedeny a popsány v kapitole 3 a 4, anebo založené na koncepci "Internet budoucnosti" v kapitole 5 tohoto výukového modulu.

## 3 Softwarově definované sítě (SDN)

### 3.1 Úvod do SDN

$E=m \cdot c^2$

**SDN** (*Software Defined Networking*) je nový přístup k architektuře sítě ICT se zaměřením na programové řízení celé sítě.

SDN umožňuje řešit mnohé problémy tradičních přístupů při vytváření sítí, ale nabízí i nové přístupy. Obecně myšlenka SDN může zvýšit pružnost, správu systému a rozšiřitelnost ICT sítí. Dalším záměrem je snížení nákladů na zařízení. Lze toho dosáhnout využitím výhod rychlého vývoje a cyklu rozmístění relativně levných softwarových aplikací na rozdíl od drahého specializovaného síťového hardwaru.

Hlavní motivace pro SDN vznikla na začátku z potřeby najít lepší řešení pro inovaci při výzkumu a vývoji sítí. Tehdy byly k dispozici pouze dvě použitelné metody testování nových funkcí - softwarová simulace nebo hardwarová zkušebna (testovací platforma).

+

Simulace nabízí vysokou pružnost a opakovatelnost.

-

Simulace nemusí běžet v reálném čase - paralelně s tvorbou kódu - a není těžké připojit simulovanou síť k reálné síti a testovat koexistenci nových vlastností v reálném prostředí. Implementace hardwarové testovací platformy do uživatelského hardwarového vybavení je náročné na programování; může být obtížné modifikovat nastavení, které je velmi nákladné.

Může to vést ke kompromisům - buď se použije sdílená hardwarová zkušebna pro více výzkumných projektů, což však limituje čas dostupný na experimenty a opakovatelnost, nebo se alternativně vytvoří vlastní testovací platforma použitím síťových prvků dostupných ze zařízení provozovatelů. Ty jsou většinou dodávány jako „černá skříňka“ s minimální úpravou podle zákazníka, omezují možnosti testovací platformy pro nové a „exotičtější“ experimenty požadované spíše při revolučních než evolučních inovacích.

Koncem 90. let a počátkem milénia se výpočetní výkon univerzálních počítačů výrazně zvýšil ve srovnání se specializovaným hardwarem na vytváření sítí. Spolu s pokroky ve virtualizaci a některých dalších technologiích bylo možné využít k softwarově realizované řízení jednoduchých uzlů sítě při rychlém přepínání paketů. Řídící software může být modifikován pohodlně pomocí simulace, dokud levný hardware s limitovanými vyššími úrovněmi vlastností, používaný na přepínání paketů poskytuje při zpracování paketů rychlosti srovnatelné se specializovanými hardwarovými testovacími platformami. Popisované řešení bylo jedním ze základních pilířů SDN, jenž vedl k oddělení vrstev řízení a směrování, které je podrobně popsáno v následující části textu [5].

## 3.2 Oddělení vrstev řízení sítě a směrování dat

Než popíšeme koncept SDN, je vhodné definovat, co je to vrstva řízení a vrstva směrování dat.

$E=m \cdot c^2$

V mnoha směrovačích (nebo v síťových zařízeních pro tento účel) je specializovaný hardware pro rychlé přepínání dat mezi rozhraními - vrstva směrování dat. Směrování je řízeno podle pravidel vytvářených procesorem běžného operačního systému, směrovacími algoritmy, překladačem adres a dalšími vyššími funkcemi – tak lze definovat vrstvu řízení.

*i*

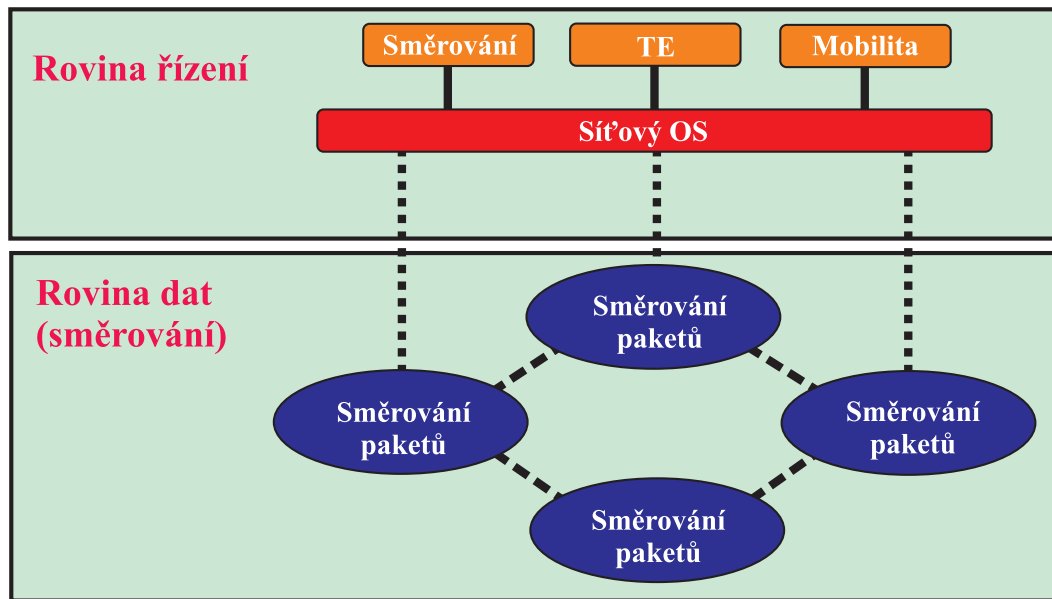
Při tradičním vytváření sítí je vrstva řízení a směrování implementována do každého síťového uzlu. Takové řešení umožňuje, aby všechna zařízení byla zcela autonomní a aby byla prováděna všechna rozhodnutí vysoké úrovně, směrování paketů, nezávisle.

Má to svůj původ u sítě ARPANET, původně navržené pro armádu, přičemž prvořadým cílem byla vysoká pružnost. Otevřenost pro modifikace nebo převzetí nových vlastností byl nanejvýš druhořadý cíl.

Základním principem SDN je oddělení vrstvy řízení a směrování dat v síti, jako je znázorněno na obr. 3. V případě samostatné vrstvy řízení a softwaru pro univerzální počítač z vrstvy směrování síťového zařízení je možné centralizovat rozhodování při směrování a přepínání, jakož i konfiguraci všech zařízení sítě.

+

Centralizované řízení implementované do softwaru, tvořené na univerzálních procesorech, může přinést při budování sítě mnoho výhod - speciální zrychlení inovací, vývoj nových vlastností sítě a rozmístění.



Obr. 3 – Základní architektura SDN

### 3.3 Centralizované řízení a programovatelnost sítě

V moderních síťových zařízeních vrstva řízení sbírá informace o stavu sousedních připojení a sítě jako celku a poskytuje je směrovacím algoritmům. Distribuované algoritmy zajišťují automaticky řešení směrování síťového provozu. Jejich nedostatkem je možný problém s konvergencí. Protože každé zařízení sbírá informace o síti a rozhoduje o směrování samostatně, zpoždění přenosu informací kvůli změnám sítě může způsobit problémy při provozu sítě.



Vypuštění vrstvy řízení z každého uzlu sítě a použití centralizovaného řízení umožní nejen kompletní pohled na síť bez výskytu problémů s konvergencí, které jsou pro distribuované algoritmy přirozené. Takové řešení zároveň sníží náklady. Navíc, bez nutnosti rozloženého směrování provozu, je možné použít, modifikovat a zdokonalovat nové algoritmy. Kromě toho konfigurování centrálního řízení dělá řízení sítě jednodušším. Zredukuje možnost nesprávné konfigurace a urychluje hledání problémů. Přídavnou výhodou softwaru v centralizované vrstvě řízení je snadná modifikace a vývoj nových vlastností. Její odstranění vyžaduje samostatnou konfiguraci každého uzlu.



Odpůrci SDN a centralizovaného řízení poukazují na omezení při jejím použití v rozlehlých sítích, takových jako Internet. Jejich kritika se soustřeďuje na řídicí jednotku, která je jediným bodem způsobujícím výpadek celé sítě a nedostatečnou škálovatelnost.

Řešením těchto problémů je použití logicky centralizované, ale fyzicky distribuované vrstvy řízení, kde několik řídicích jednotek řídí část sítě a komunikuje navzájem. Aby se snížilo zpoždění vrstvy řízení, poskytuje vysokou dostupnost a jeden bod logického řízení zpřístupňuje správu sítě. Nová architektura pro spojení mezi doménami s přiřazeným protokolem pro řídicí jednotky SDN je navržena v [6].



## 3.4 Porovnání sítí s distribuovaným řízením s tradičními sítěmi

Do firmwaru zařízení tradiční sítě je začleněno řízení, síťové aplikace a další vybavení vyšší úrovně. Tyto prostředky všech síťových uzlů rozhodují o směrování lokálně - efektivně využívají celou distribuovanou vrstvu řízení, jak je to znázorněno na obr. 4. Popisované řešení je protikladem centralizované vrstvy řízení v architektuře SDN uvedené na obr. 3.



---

Začlenění více funkcí poskytuje větší funkčnost každého uzlu, dělá ho více nezávislým a téměř vylučuje selhání jednoho bodu.

---



---

Popisovaných výhod lze dosáhnout za cenu větší komplexity, s využitím dražších zařízení, vyššího příkonu a může vést k prodlevám při ovládání provozu, jelikož vyžaduje zpracování různými aplikacemi. Kromě toho konfigurace nebo modifikace sítě vyžaduje manuální konfiguraci mnoha zařízení a často použití složitých příruček na řízení. Řízení sítě je navíc komplikované při implementaci a konfiguraci rozdílných zařízení jednotlivých dodavatelů. Také způsobuje problémy z hlediska provozuschopnosti.

---

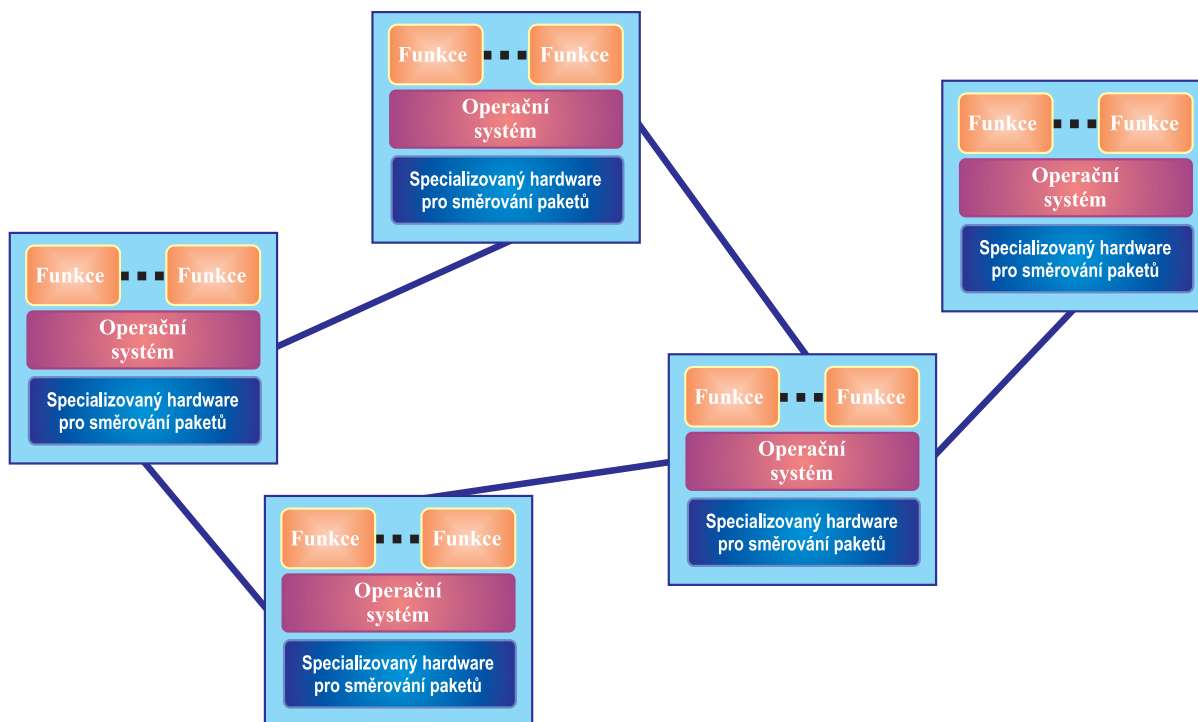
Jak je uvedeno v [7], složitost řešení vede k statickým sítím, což je v rozporu s požadavkem na dynamické prostředí s větší mobilitou uživatele a virtualizací serveru. Nesrovnalosti mezi strategiemi rozlehlých sítí jsou dalším typem problémů ve velkých sítích.



---

Centralizované řízení u SDN umožňuje správci sítě řídit provoz bez nutnosti manuálně konfigurovat mnoho zařízení, tím usnadňuje řízení sítě a zvyšuje pružnost.

---



Obr. 4 – Konvenční architektura paketové sítě [8]



Přestože se MPLS na první pohled podobá SDN s rychlým přepínáním provozních toků zavedeným na vrstvě řízení, funguje na odlišném principu. V tomto případě se nejedná o centralizované řízení, které je v každém směrovači MPLS s LER schopným vytvořit cestu a distribuovat tok použitím protokolu distribuce návěstí **LDP** (*Label Distribution Protocol*).

## 3.5 Protokoly SDN

Oddělení vrstvy řízení a směrování dat, které je jedním z hlavních pilířů SDN spolu s centralizací prostředků vrstvy řízení, vyžaduje komunikační protokol. V této sekci uvádíme některé z nich a začínáme s nejpobulárnějším - OpenFlow.

### OpenFlow

OpenFlow je otevřený standard původně vyvinut na univerzitách a aktuálně udržovaný Nadací pro otevřenou síť **ONF** (*Open Network Foundation*) [9] - neziskovým konsorciem s úkolem komercializovat a podporovat SDN založené na OpenFlow. ONF byl úspěšný s OpenFlow, který se stal nejpobulárnějším protokolem používaným na komunikaci mezi vrstvou řízení a směrování dat a v současnosti představuje fakticky standard. Tato kampaň ONF však často vedla k nesprávné interpretaci, že OpenFlow je vlastně SDN.



---

Navzdory existujícím softwarově založeným řešením, přepínání dovoluje zkoumat nové metody a protokoly vytváření sítí, ale nemůže poskytnout dostatečný výpočetní výkon a / nebo hustotu portů pro rozsáhlé experimenty.

---

Nejjednodušším příkladem je opensource software, založený na protokolech směrování nebo přepínání, běžící na univerzálních počítačích s několika síťovými rozhraními. Na druhém konci spektra jsou hardwarově založená řešení výzkumu vytváření sítí jako je NetFPGA, využívající specializovanou kartu FPGA schopnou zpracovávat provoz lineární rychlostí.

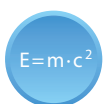


---

NetFPGA se používá hlavně v akademické obci pro rychlé posouzení simulovaných prototypů, je limitovaná pouze 4 porty na jednu kartu.

---

Jak bylo uvedeno v [10] jedná se o limitující faktor pro univerzitní výzkumníky, OpenFlow je kompromis mezi obecně nízkou výkonností, nezávislostí výzkumných řešení, uzavřeným a nepřiliš modifikovatelným zařízením od komerčních dodavatelů.

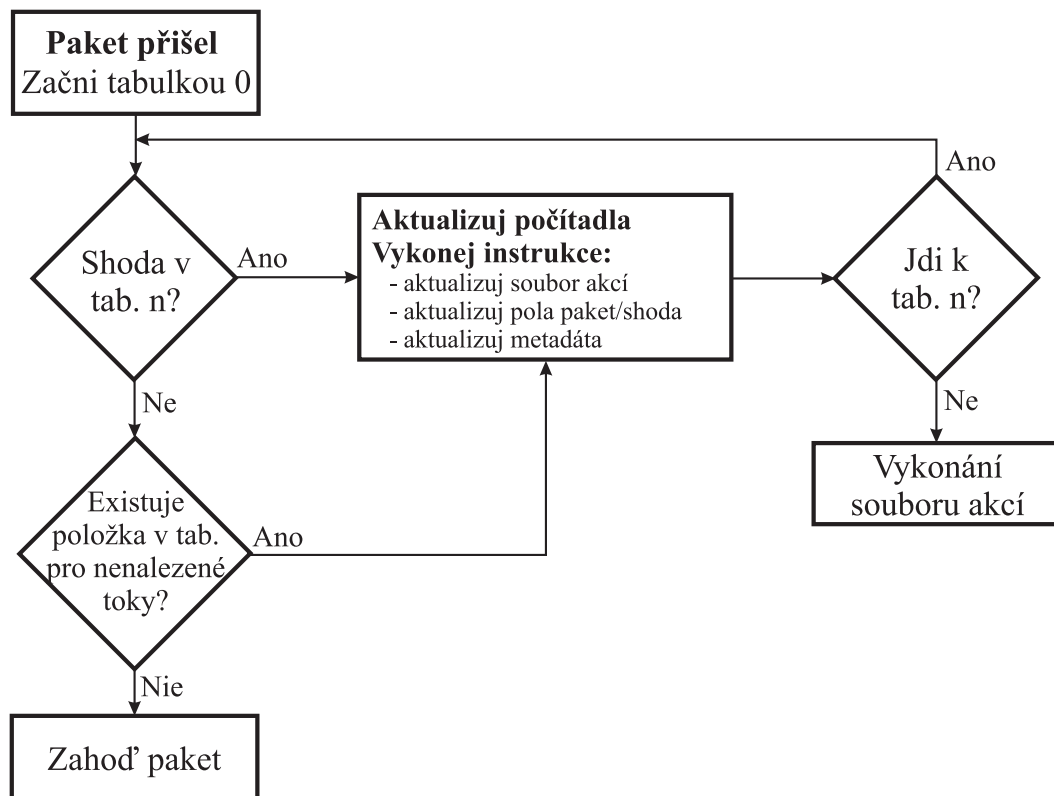


---

Protokol OpenFlow definuje komunikační rozhraní mezi zařízeními vrstvy řízení a směrování, a proto musí být implementován na obou stranách. Protože OpenFlow poskytuje mimořádně granuloané řízení na úrovni toků, umožňuje síti reagovat na změny spojené s topologií, aplikacemi nebo uživateli v reálném čase.

---

Bílá kniha ONF [9] uvádí, že směrování v klasické síti v současnosti nemůže podporovat řízení na takové úrovni granularity.



Obr. 5 – Vývojový diagram zpracování paketů v logickém přepínači OpenFlow [11]

Když je paket přijat přepínačem podporujícím OpenFlow, je zpracován řetězcem OpenFlow složeným z jedné nebo několika tabulek toků. Tabulky obsahují vstupy s pravidly a akcemi, které má provést s paketem patřícím do toku. Pokud se nenajde shoda pro paket v žádné tabulce toku a pravidlo na odeslání takového paketu do řídicí jednotky existuje, je odeslán do řídicí jednotky. Řídicí jednotka zpracuje paket, a buď zahodí paket, nebo zřídí nový tok vytvořením nového vstupu v tabulce toků. Mechanismus zpracování přijatého paketu v přepínači OpenFlow je zobrazen na obr. 5.

## ForCES

$E=m \cdot c^2$

Protokol oddělování směrovacích a řídicích prvků **Forces** (*Forwarding and Control Element Separation*) [12] definuje architekturu struktury a přidružené protokoly pro standardizovanou výměnu informací mezi vrstvou řízení a směrování v síťovém prvku.

ForCES je určen hlavně pro otevřený API / protokol, který poskytuje jasné oddělení řídicí a směrovací vrstvy.

+

Hlavní předností je jeho model přepínacího prvku, který umožňuje popsání nové funkčnosti vrstvy směrování bez změny protokolu mezi vrstvami řízení a směrování.

Vývoj v této oblasti je zaměřen na rozdělení síťového prvku do vrstev řízení a směrování. Motivací byla snaha vytvořit vrstvu směrování síťovými prvky z flexibilních hardwarových prvků nezávisle na vrstvě řízení. Výsledkem bylo vytvoření nové architektury pro síťové prvky, přestože výhledovým cílem bylo vytvořit novou architekturu sítě.

## NETCONF

$E=m \cdot c^2$

NETCONF je protokol řízení sítě, který poskytuje mechanismy pro dálkové instalování, správu a vymazání konfigurace síťových prvků.

Samotný protokol NETCONF je rozdělen na čtyři vrstvy se souborem operací základního protokolu s použitím metod procedury dálkového volání **RPC** (*Remote Procedure Call*) s parametry zpráv zakódovanými podle XML. Jednou z předností NETCONF je to, že poskytuje programovatelné rozhraní do zařízení, které přesně sleduje funkčnosti původního rozhraní.

+

Ačkoliv byl původně vyvinut jako nástupce protokolu SNMP a některých protokolů CLI pro konfiguraci síťových prvků, NETCONF může být použit k vytvoření hybridní SDN. Navíc podpora NETCONF je požadavkem pro síťové prvky, aby byly kompatibilní s OF-CONFIG, částí specifikace OpenFlow.

## PCE-P

$E=m \cdot c^2$

**Výpočetní prvek trasy PCE** (*Path Computational Element*) je entita, která vypočítává trasy pro uzly v síti, může najít optimální trasy pro provoz MPLS, GMPLS P2P a P2MP, řízenou **návěštím přepínanými trasami LSPs** (*label switched paths*).

PCE oznamuje danou trasu síťovým uzlům použitím komunikačního protokolu PCE. Takto je možné PCE chápat jako rozšíření schopností MPLS a GMPLS TE za účelem zmenšování rozdílů mezi SDN a standardními MPLS / GMPLS.

Ačkoli samotný PCE nebyl primárně vyvinut jako technologie umožňující SDN, může poskytnout model logicky centralizovaného řízení pro současné technologie s několika doplňkovými vylepšeními.

## Rozhraní pro systém směrovače

**Rozhraní pro systém směrování I2RS** (*Interface to the Routing System*) je jeden z několika ambiciózních přístupů k SDN, který je v počátečních stádiích. Byl vyvinut IETF. I2RS je obousměrné programovatelné rozhraní pro komunikaci mezi směrovacím systémem a aplikacemi. Umožňuje monitorování sítě, rezervování zdrojů a modifikování konfigurace směrování. I2RS se týká komunikace do a ze směrovacího systému a není určeno k tomu, aby přímo poskytovalo rozhraní pro vrstvu směrování. Využívá stávající mechanismy pro distribuci vybraných cest do vrstvy směrování.

## Cisco ONE

I když je Cisco členem nadace ONF a aktivně se podílí na vývoji OpenFlow, SDN není jediný projekt, na kterém pracuje. Jednou z jeho vlastních alternativ je **Prostředí otevřeného přístupu** k síti **ONE** - *Open Network Environment* (Cisco **ONE**), které poskytuje programovatelné rozhraní pro přímé řízení zařízení Cisco. Klíčovým prvkem Cisco ONE je Platforma ONE - *ONE Platform Kit (onePK)*. Součástí soupravy je několik platforem API umožňujících snadný vývoj síťových aplikací využitím přímého přístupu k zařízením vytvářejícím síť prostřednictvím vrstvy abstraktní sítě.

## Nuage



---

V dubnu 2013 Alcatel-Lucent otevřel dceřinou společností Nuage Networks, zaměřenou na vytváření řešení SDN založených na dřívějším Application Fluent Network (Síť plynulých aplikací), ale s možností využít nové alternativní technologie. Produktem této snahy je Nuage Virtualized Service Platform (vizualizovaná platforma služeb Nuage), softwarové řešení zaměřené na problém vizualizace sítě v datových centrech a u provozovatelů cloudové služby - *Cloud Service Providers (CSPS)*. Jelikož Nuage GSP je implementován do softwaru a používá VXLAN přes „hypervisory“, není funkčně závislé na specifickém typu nebo prepínačů TOR.

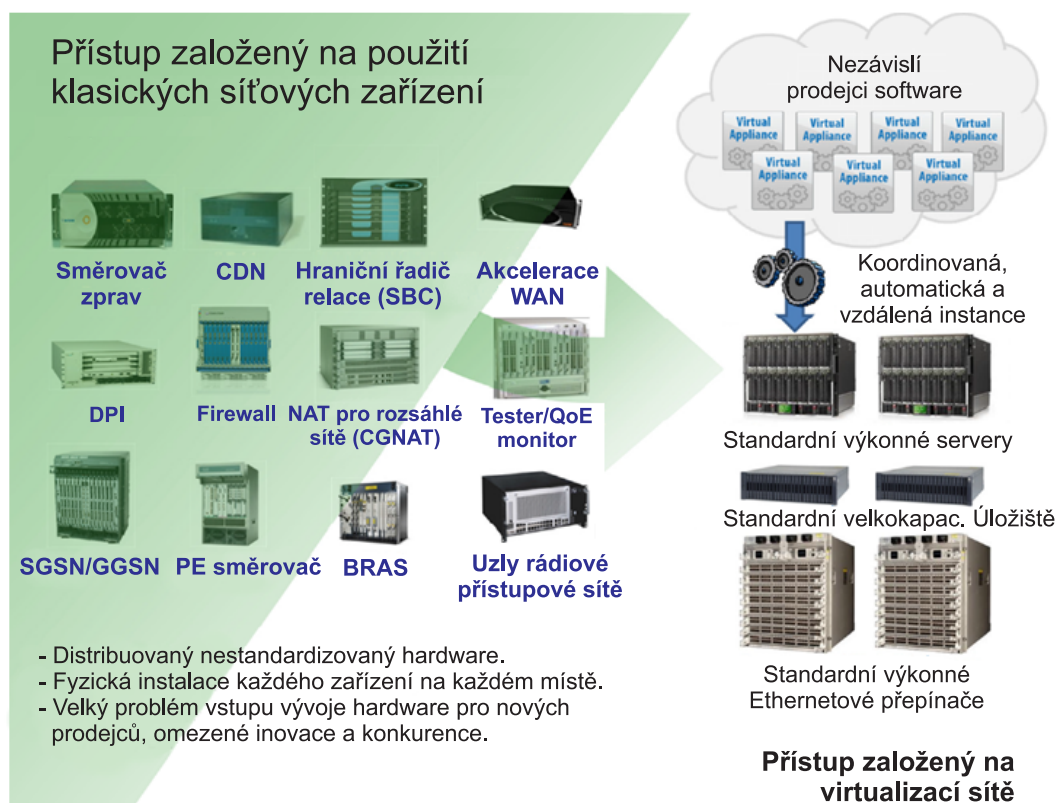
---

## 4 Virtualizace síťových funkcí (NFV)

Nedílnou součástí telekomunikačních operátorů je vlastnictví zařízení (hardwaru). Telekomunikační operátoři se nemohou vyhnout nákupu nového hardwaru se stejnou funkčností a službami, když jsou tato zařízení potřebná k poskytování nových služeb. Představuje to hodně komplikací způsobených jednak zvýšením nákladů a také časem potřebným na jejich rozmístění. Je to čas do uvedení na trh **TTM** (*time to market*) a čas potřebný k nasazení **TTD** (*time to deploy*). Tyto komplikace jsou v současnosti pro telekomunikační operátory omezujícími činiteli při poskytování kvality služeb. Obr. 6 ilustruje nový přístup k architektuře sítě založené na virtualizaci síťových funkcí NFV (*Network Functions Virtualization*).

$E=m \cdot c^2$

Tento přístup poskytuje síťovým a telekomunikačním operátorům možnost sjednotit mnoho typů síťových zařízení do standardních vysoce výkonných serverů, přepínačů a úložišť, které mohou být umístěny v datových centrech, síťových uzlech a provozních prostorách uživatelů.



Obr. 6 – Vize virtualizace síťových funkcí [13]

+

### Výhody pro síťové a telekomunikační operátory:

- snížení **investičních výdajů CAPEX** (*capital expenditure*) a provozních nákladů (takových jako opravy a údržba) **OPEX** (*operational expenses*) skrz snížení ceny zařízení a spotřeby energie,

- kratší doba od nákupu potřebná na nasazení nových síťových služeb,
  - lepší návratnost investic do nových služeb,
  - větší pružnost, rozšiřitelnost či vývoj služeb,
  - možnosti zkoušení a rozvinutí nových inovativních služeb s nižším rizikem.
- 

V říjnu 2012 byla zveřejněna bílá kniha, která prezentuje první vydání NFV [13]. ETSI vydal sérii různých požadavků, které jsou zaměřeny na technologii a popisují výhody, které by technologie NFV měla přinést. Byla vytvořena **Skupina průmyslové specifikace virtualizace síťových funkcí NFV ISG** (*Network Functions Virtualization Industry Specification Group*), která má řešit otázky spojené s touto novou technologií. Tato skupina byla vytvořena při **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*). Od října 2012 se skupina NFV ISG postupně zvětšuje a asi 235 vedoucích společností se zúčastnilo několika shromáždění v Asii, Evropě a Severní Americe. Výstupy z prvního shromáždění skupiny NFV ISG měly formu dokumentů a propojení mezi nimi je popsáno níže. V období od 2013 do 2015 probíhala druhá fáze a novější dokumenty jsou dostupné přímo na webové stránce NFV ISG.



## 4.1 Co umožňuje NFV?



---

Pokud je možné budovat síť způsobem, který představuje technologie NFV, je na místě otázka, proč síť od samého začátku využívá proprietární hardware. Odpověď je taková, že servery průmyslového standardu s operačním systémem a softwarem jen nedávno získaly vysokou výkonnost, aby byly schopny účinně soutěžit s proprietárními zařízeními, zejména ve smyslu cen, spotřeby elektřiny a spolehlivosti.

---

Musíme specifikovat čas "nedávno" jako posledních čtyři až pět let. Během tohoto období jsme svědky dramatického zvýšení propustnosti sítě a propustnosti zpracování paketů x86 procesory a rapidním zvýšením počtu procesorových jader na jednom fyzickém průmyslovém serveru.

## 4.2 Požadavky na NFV

Seznam základních požadavků na NFV [13]:

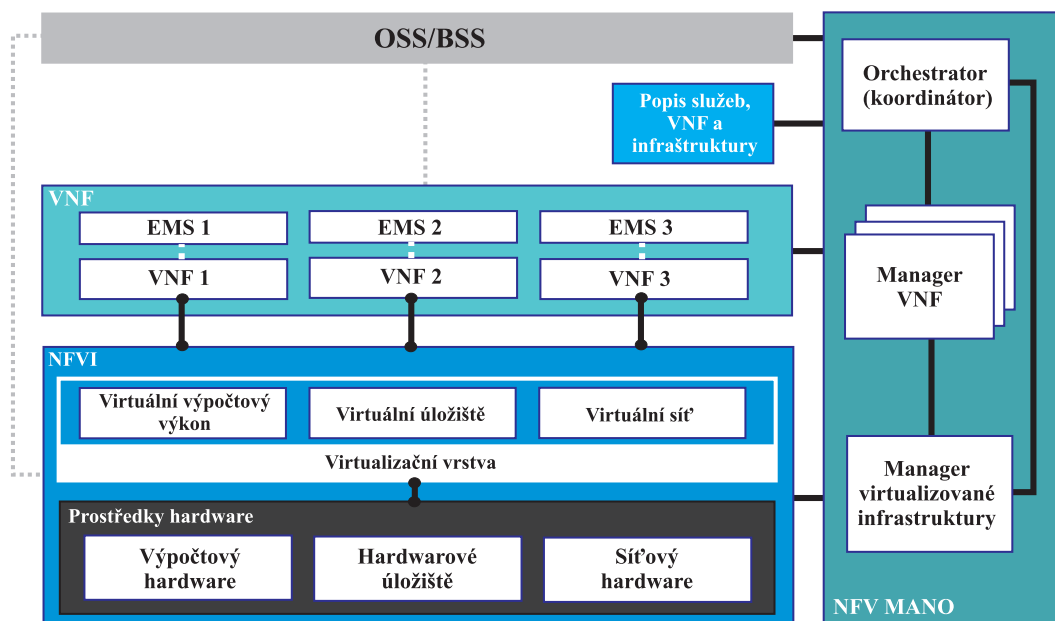
- Přenositelnost - vlastnost řešení nahrát a spustit měnící se softwarové funkce pomocí datových center s různými standardy.
- Výkonnost - výkonnost se zaměřuje na funkce softwaru.
- Řízení a vzájemná koordinace (orchestrace) - mechanismy pro koordinaci a řízení životního cyklu softwarových funkcí, zdrojů, infrastruktury a různých operací.
- Flexibilita - schopnost poskytnout řešení cestou rozšiřitelnosti hardwarových zdrojů.
- Bezpečnost - pevné proporce, které musí být analyzovány, protože virtualizované prostředí může být objektem vnějších útoků.
- Kontinuita služeb - funkce, které jsou nezbytné pro kontinuální poskytování služeb v souladu se specifikací **dohody o úrovni služeb SLA** (*Service Level Agreement*).
- Provoz - automatizace provozních funkcí (např. Adaptace kapacity sítě, stahování aktualizace softwaru, oprava detekovaných poruch, atd.).
- Energetická účinnost - pomáhá minimalizovat spotřebu energie rozlehlých virtualizovaných sítí.
- Migrace a koexistence se stávajícími platformami - podporuje přechod od současných sítí, které jako nevirtualizované koexistují s virtualizovanými bez přerušení činnosti služeb nebo výskytu jiných nežádoucích jevů u uživatele.

Schopnost dálkového rozmístění a provozu funkcí virtualizované sítě na infrastruktuře NFV poskytované různými poskytovateli služeb umožňuje příslušnou službu zpřístupnit zákazníkům celosvětově.

## 4.3 Architektura NFV

Architektura technologie NFV byla navržena ve druhém vydání bílé knihy [14] (Obr. 7) a skládá se z následujících složek:

- **Infrastruktury funkcí virtualizované sítě NFVI** (*network functions virtualization infrastructure*) - poskytují virtuální prostředky nezbytné pro podporu provádění funkcí virtualizovaného vytváření sítí - komerční hardwarové prvky COTS, vrstvu softwaru, která virtualizuje a abstrahuje základní hardware.
- Funkce virtualizované sítě **VNF** (*virtualized network feature*) - softwarová implementace síťových funkcí schopná běžet na NFVI a může být doplněna o systém řízení prvků **EMS** (*Element Management System*), který řídí VNF. VNF je entita odpovídající současnému síťovému uzlu, u něhož se očekává, že bude dodána jako čistý software nezávislý na hardwaru.
- **NFV MANO** (*management and orchestration* - řízení a orchestrace) - zahrnuje vzájemnou koordinaci a řízení životního cyklu fyzických a / nebo softwarových prostředků podporujících virtualizaci a infrastrukturu řízení životního cyklu všech VNF. NFV MANO se soustřeďuje na úkoly řízení virtualizace, které jsou potřebné pro rámec NFV. Spolupracuje také s externími NFV OSS / BSS a umožňuje integraci NFV do stávajících sítí.



Obr. 7 - Architektura NFV [14]

Celý systém je podporován souborem metadat popisujících funkce (VNF) služeb NFV a infrastrukturu požadavky na NFV MANO pro správné řízení. Tento popis spolu se službami, VNF a infrastrukturou může být poskytnut i jinými průmyslovými výrobci.

## 4.4 Infrastruktura NFV - NFVI

Infrastruktura NFV je rozdělena na tři domény [15]:

- Doména počítače - hlavním úkolem je poskytnout výpočetní a úložné zdroje. Poskytuje rozhraní do domény síťové infrastruktury, ale nemůže se připojit k síti samostatně.
- Doména hypervizoru - hlavním úkolem je zprostředkovat doméně výpočetních zdrojů spouštění softwaru na virtuálních strojích. Hypervisory jsou vyvinuty pro potřeby cloudových řešení a mají klást důraz na stanovení dostupného hardwaru, snadno mohou dosáhnout vysoké úrovně přenositelnosti virtuálních strojů. Hypervizor může emulovat každý typ hardwarové platformy a dokonce v některých případech kompletně emulovat sadu instrukcí tak, že virtuální stroj si myslí, že běží na zcela rozdílných procesorových architekturách, jako je ta reálná.
- Doména síťové infrastruktury - její úloha:
  - vytvořit kanál komunikace mezi několika **složkami funkcí virtualizované sítě VNFC** (*virtualized network functions components*) distribuované VNF (virtualized network function),
  - vytvořit kanál komunikace mezi několika VNF,
  - vytvořit komunikační kanál mezi VNF a MANO,
  - vytvořit kanál komunikace mezi složkami NFVI a jejich vzájemnou koordinací a řízením,
  - poskytnout prostředky dálkového řízení VNFC,
  - poskytnout prostředky spojování stávajících operátorů sítí.

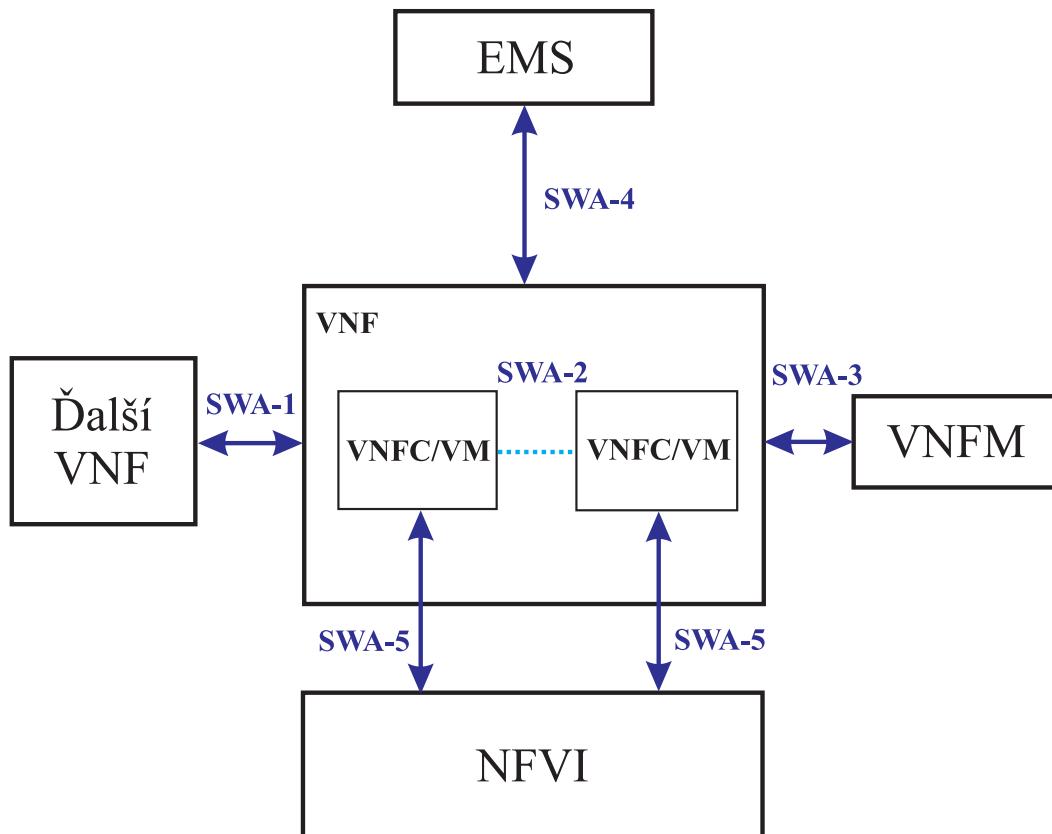
## 4.5 Řízení a vzájemná koordinace NFV (MANO)

Řízení a vzájemná koordinace (orchestrace) zahrnují tři složky [16]:

- Koordinátor (Orchestrator) NFV - odpovídá za koordinaci (správu) zdrojů NFVI pro více manažerů virtualizované infrastruktury **VIM** (*Virtualized Infrastructure Manager*), provádí funkce koordinace zdrojů, řízení životního cyklu síťových služeb (např. strategie řízení, rozšiřování, měření charakteristik, korelace události), umožňuje funkci koordinace pro síťové služby, celkové řízení prostředků, potvrzení a schválení zdrojů u NFVI aplikací
- Manažer VNF - odpovídá za řízení životního cyklu VNF (může být přidělen na řízení jednoho případu a může také řídit více případů stejného nebo různého typu), celkovou koordinaci a adaptaci konfigurací a ohlašování událostí mezi NFVI a E / NMS.
- Manažer virtualizované infrastruktury VIM - odpovídá za řízení a management výpočtu NFVI, paměťová a síťová zařízení v infrastruktuře subdomén jednoho operátora, sbírání a přenos měření charakteristik a událostí.

## 4.6 Softwarová architektura - funkce virtualizované sítě (VNF)

Funkce virtualizované sítě je síťová funkce, kterou je možné poskytovat v infrastruktuře NFV (NFVI) a je řízena pomocí klíčové komponenty NFV Orchestrátoru a manažerem VNF. Interní architektura VNF je znázorněna na obr. 8.



Obr. 8 - Architektura NFV [17]

Tato architektura zajišťuje kvalitu připojení použitím rozhraní:

- Rozhraní SWA-1 - přes toto rozhraní několik VNF komunikuje navzájem, používají ho k tomu, aby řešily úkoly pro celou síť.
- Rozhraní SWA-2 - tyto složky rozhraní využívá, když jsou připojeny VNF, každá složka má nějakou roli při zpracování virtualizovaných síťových funkcí.
- Rozhraní SWA-3 - toto rozhraní je připojeno k manažerovi VNF.
- Rozhraní SWA-4 - toto rozhraní se využívá, když je připojeno k VNF (EMS).
- Rozhraní SWA-5 - připojuje NFVI ke každému VNFC.

## 4.7 Případy použití NFV



NFV na jedné straně nabízí mnoho výhod: zjednodušení, inovativní přístupy při vytváření sítí. Na druhé straně poskytuje neohrazené množství případů použití, které jsou více či méně užitečné v reálném provozu sítě.

Přesto můžeme říci, že NFV není zcela samostatné funkční řešení, ačkoli organizace ETSI vyvíjí soustavně úsilí na vytvoření silně unifikovaného standardu NFV. NFV je myšlenka jak profitovat z virtualizace. Takový přístup bude vyžadovat zajištění funkčnosti sítě a také toho, jak vše řídit a koordinovat.



Webový portál SDxCentral každoročně zveřejňuje souhrnnou zprávu zvanou Zpráva o virtualizaci síťových funkcí (Network Functions Virtualization Report) [18], která obsahuje hlavní myšlenky NFV, její vývoj a přehled prodejců dodávajících řešení NFV a nejprospěšnější případy použití jsou uvedeny níže.

### Virtualizované síťové funkce

V současnosti dobře fungující cloud již nabízí mnoho možností jak snadno, pružně a rychle distribuovat nebo vyvíjet aplikace, infrastrukturu nebo platformy. Virtualizované síťové funkce jsou přizpůsobeny k plnému respektování již existujících metod v oblasti cloudu. Pro provozovatele cloudové služby je nejpritažlivější poskytování virtuálního směrování, virtuální privátní sítě (VPN), služby na zrychlení vrstvy 4 - 7 a bezpečnostní služby, umožnění jejich připojení a ochrana jejich aplikací založených na cloudu.

### Virtualizovaná / cloudová rádiová přístupová síť

Tento případ použití je důležitý hlavně pro poskytovatele mobilní služby, kteří hledají cesty ke zjednodušení a zrychlení vytváření nových rádiových přístupových sítí **RAN** (*radio access networks*), a zároveň jsou schopní kontrolovat náklady. Množství funkcí, které běží na proprietárním hardwaru umístěném v základnové stanici, je možné přesunout do virtuálního stroje nebo sady virtuálních strojů.

### Virtualizované mobilní jádro

Mobilní operátoři jsou často konfrontováni úkoly aktualizace jejich sítí, služeb a také rozšíření jejich služeb do venkovských oblastí, které jsou těžko dosažitelné. Použití spočívá v převzetí funkcí od zákaznického hardwaru do mobilního jádra a jejich nasazení do serverů COTS v cloudovém prostředí. Mobilní operátoři chtějí virtualizovat zejména následující služby: IMS, EPC, MME, S-GW, P-GW, HSS a PCRF.

## Virtualizovaný přístup

Poskytovatelé služeb zkoušejí najít způsob jak zjednodušit přístup, do kterého je zařazeno **zařízení v zákaznických prostorách CPE** (*Customer Premises Equipment*) a přístupové **zařízení zákazníka CE** (*Customer Edge*), aby mohli prodat více služeb zákazníkům i podnikatelům. NFV může být vhodným řešením zvýšení výnosů. Aby byl možný vstup NFV do prostředí poskytovatelů služeb, je nutné aby byly virtualizované složky přístupu - v CPE a CE.



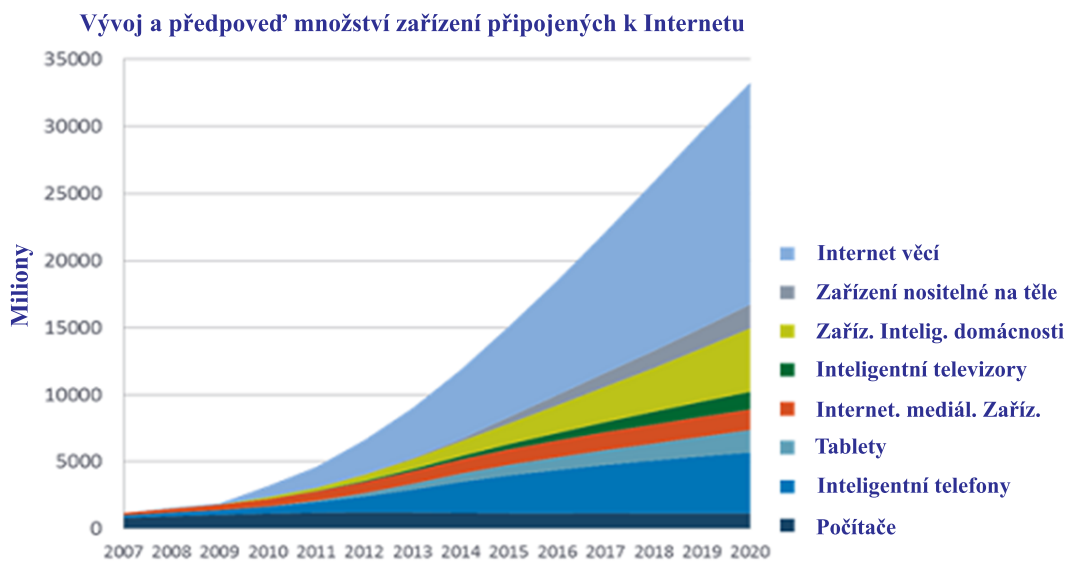
## 5 Internet budoucnosti

Dnešní dobu lze charakterizovat jako dobu *informačně-komunikačních technologií (ICT)*. Internet jak ho známe dnes, můžeme považovat za úspěch. Nicméně některé aspekty současného Internetu zaostávají v očekáváních pro spolehlivou komunikační infrastrukturu a také v kontextu budoucích požadavků, na tuto síť.



Podle autora článku [19], Clause G. Grubera, do roku 2015 bude celosvětová veřejná internetová síť připojovat přibližně 6 miliard lidí, více než 4 miliardy lidí bude používat síťové služby prostřednictvím mobilních zařízení a více než 2 miliardy lidí bude používat kabelové širokopásmové připojení k Internetu.

Autor také předpokládal, že provoz v síti bude mít tempo růstu od 40 % do 200 % ve srovnání s dnešním síťovým provozem v nadcházejících letech. Je proto důležité posoudit, v jakém stavu jsou dnešní počítačové sítě a další prvky, které jsou její nedílnou součástí. Vysoký podíl Internetu povzbuzuje a rozšiřuje také používání mobilních zařízení, jako jsou notebooky, mobilní telefony, tablety, atd. Na obr. 9 můžeme vidět předpověď množství zařízení připojených k veřejnému internetu [20].



Zdroj: Strategy Analytics, Říjen 2014

Obr. 9 – Předpověď množství instalovaných internetových zařízení na světě

Požadavky mobilních sítí jsou často náročnější než požadavky uživatelů v pevných sítích, zejména pokud jde o dostupnost kdekoli a v jakémkoliv čase [21]. Proto musí dnešní síť pružně poskytovat nejen vysokou dostupnost služeb, ale i jejich kvalitu.

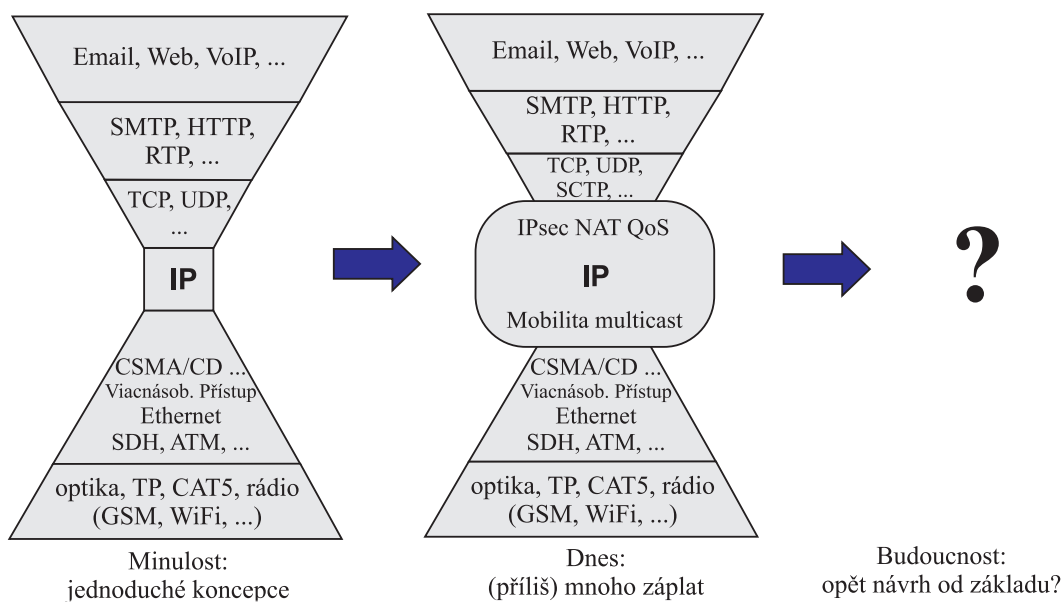
## 5.1 Omezení Internetu

Současný Internet je založen především na protokolu IP, který vznikl před více než 40 lety díky skupině vědců za účelem propojení svých lokálních sítí, hlavně pro přenos souborů, e-mailovou komunikaci atd.



Dnešní Internet výrazně překročil původní předpoklady. Z méně než několik stovek propojených počítačů na několik stovek milionů v současnosti. Internet také nepočítal s novými aplikacemi, jako jsou web, postupné stahování (streaming) videa, sdílení souborů, které významně změnily charakter internetového provozu. Infrastruktura Internetu se vyvinula díky technologickému procesu na optickou, bezdrátovou, atd. [22].

Na obr. 10 můžete vidět vývoj Internetu od minulosti po současnost. IP je uprostřed vrstveného modelu s aplikacemi na vrcholu a technologiemi nižší.



Obr. 10 – Evoluce Internetu [23]

V současné době neexistuje téměř žádná možnost, resp. praktický způsob, jak experimentovat s novými síťovými protokoly, nastavením zařízení atd. do takového rozsahu, aby tento experiment mohl získat důvěryhodnost pro široké nasazení v sítích **poskytovatelů internetových služeb (ISP)** a **poskytovatelů síťových služeb (NSP)**.



Autoři článku [24] potvrzují, že obrovské množství již nainstalovaných síťových zařízení na bázi stejné síťové infrastruktury se stejným síťovým protokolem, která jsou zde již po desetiletí, tvoří obrovskou překážku pro vstup inovativních řešení, výzkum a vývoj v počítačových sítích. Výsledkem tohoto přístupu je i skutečnost, že mnohé nové nápady v oblasti výzkumu jsou netestované a nepodložené. Atributy dnešních počítačových sítí jsou "zkostnatělé".

Je důležité poznamenat, že projekt Internet byl konstruován pro účely výzkumu. Architekti / vědci, kteří vybudovali infrastrukturu Internetu, si neuvědomovali možnost nastupu velkých sítí, které v současné době máme. Bezpečnost, mobilita, flexibilita, odolnost sítí nebyly nikdy vyřešeny, protože v době formalizace Internetu počítače nebyly mobilní a výzkumníci chtěli šířit nové myšlenky přes otevřené prostředí. Vize dokonalého prostředí Internetu začaly blednout s rostoucím počtem uživatelů v síti. Množství základních konceptů se od času jejich vzniku změnilo. S rychlým rozvojem technologií v oblasti informatiky a informačních technologií, nemůže Internet splňovat a nadále uspokojovat neustále vzrůstající požadavky. Je zřejmé, že dnešní sítě potřebují nový návrh, který by se lépe přizpůsobil novým trendům.

---

Provoz počítačových sítí vyžaduje řadu zdrojů vzhledem k nákladům. Náklady lze rozdělit do investičních nákladů a provozních nákladů, které se nazývají kapitálové výdaje (CAPEX) a provozní náklady (OPEX) [25]. CAPEX se odkazuje na investice, které musí být učiněno předem a vyřazovány po určitém časovém období. Příkladem může být výstavba datového centra (DC) nebo kupní cena serveru, síťových zařízení a dalších důležitých síťových prvků. Provozní náklady OPEX jsou spojeny s opakujícími se měsíčními náklady na vlastní provoz zařízení, jako jsou náklady na energie, opravy, údržbu, platy administrativních pracovníků atd.

## 5.2 Charakteristika nového Internetu

Charakteristika nového Internetu:

- Robustnost a dostupnost - sítě budoucnosti by měly být robustní, odolné vůči chybám a dostupné.
- Bezpečnost - jedním z největších problémů dnešního Internetu je zajištění zejména bezpečnosti koncového uživatele. To je důvod, proč musí být sítě budoucnosti od začátku navrženy s ohledem na bezpečnost. Tyto sítě by měly poskytovat nástroje pro lepší ochranu před rychlým šířením se malwaru, zmírnit dopady útoků DDoS a poskytovat lepší ověřování zdrojů [22].
- Podpora mobilních koncových uživatelů - jak jsme se zmínili v textu výše, počet koncových uživatelů Internetu se rychle zvyšuje a počet mobilních uživatelů bude tvořit hlavní část z nich. Internet budoucnosti slouží k usnadnění mobility uživatelů, terminálů a sítí a dokonce i aplikací, kdy je komunikace přesunuta z jednoho zařízení na druhé, např. viz příklad [22].
- Ekonomicky životaschopné a ziskové - sítě budoucnosti by měly být ziskové pro poskytovatele síťových služeb.
- Rozvíjející se - architektura internetu budoucnosti by měla předběžně předpokládat, že se bude měnit a vyvíjet v průběhu času.
- Předvídatelný - uživatel by měl vědět, co očekávat od sítě a ta by měla být schopna poskytnout předvídatelné a opakovatelné služby.
- Podpora anonymity, kdy jsou zapotřebí opatrnost a odpovědnost.

## 5.3 Redesign internetových technologií

---



Jak již bylo zmíněno, počet připojených zařízení na Internetu má tendenci konstantního a nezastavitelného růstu, přičemž se tento růst rok od roku neúměrně násobí.

---

Pokud chceme získat stabilní, bezpečnou, flexibilní a agilní síť, nemůžeme zůstat v normách šedesátých a sedmdesátých let, ale jsme nuceni k pohybu vpřed a otevření dveří pro nové technologie. Nadějným se zdá být propojení softwarově definovaných sítí a virtualizace síťových služeb. Taková nově vytvořená architektura slibuje nejen propojení nesporných výhod obou technologií, ale i vznik nových vylepšení.

---



Průlomová myšlenka je určitě architektura pro automatizované poskytování síťových služeb ve virtualizované formě. Softwarově definované sítě mohou vytvořit perfektní automatizované síťové prostředí, které automaticky konfiguruje sítě společností, jakož i zákaznické prostředí. Kromě toho bude aplikace na vrchu SDN. Řídicí jednotka bude schopna dynamicky generovat a hodnotit kvalitu sítě. V případě potřeby změnit cestu k síti, aby parametry sítě zůstaly zachovány, ale i zasáhnout v případě poruchy určitého síťového spojení.

---

V kontextu automatizace můžeme uvažovat o konkrétních šablonách nebo pravidlech pro konkrétní virtualizované služby, ale také o zmiňovaných pravidlech pro konkrétního klienta. Prostřednictvím softwarově řízeného přístupu jsme schopni udržet požadovanou konfiguraci přes počet síťových služeb, které jsou ještě v souladu - to zamezí nekonzistenci, která může vyplývat z lidského faktoru.

Největší výzvou je centralizace a převod vlastních služeb, takzvané "cestování s mými síťovými službami". To znamená, že služby již nejsou více v podobě velkých fyzických a těžko přenosných zařízení. Každý klient je schopen cestovat se svými službami, konfigurovanou sítí bez nutnosti přenášet něco fyzicky.

---



Díky flexibilitě těchto sítí budoucnosti je možno mnohem lépe sledovat a upravovat nabízený produkt (službu stejně jako i nabídku nových vylepšení), který dosud nebylo možné aplikovat díky výhradně účelovým zařízením.

---



Všechny tyto myšlenky zní lákavě, ale nasazení architektury propojující technologie SDN a NFV vyžaduje výměnu stávající zastaralé infrastruktury, což není tak jednoduché. Možným řešením může být integrace a testování architektury SDN a NFV ve stávajícím prostředí a následná výměna zastaralých zařízení.

---

Softwarově definované sítě reprezentují nový přístup, který by nám měl umožnit řídit, měnit a kontrolovat síť dynamicky pomocí dobře definovaných rozhraní. Centralizované řízení zaručí veškerou inteligenci a spravuje dohled nad datovými elementy cest a linkami mezi nimi. Tento moderní centralizovaný pohled vytváří řídicí jednotku vhodnou k plnění funkcí pro správu sítě a zároveň umožňuje snadné

změny síťových funkcí prostřednictvím centralizované řídicí vrstvy. SDN umožňuje řídit celou síť přes inteligentní zařízení a poskytuje systém, který umožňuje alokaci zdrojů na vyžádání.

Základní předpoklady nové síťové architektury [22]:

- Rozpoznávání toků - vědci v článku [22] věří, že první důležitou věcí je rozpoznávání toků.
- Síťové adresování - adresování by mělo být více intuitivní, odkazující se na služby a lidi, ne na rozhraní.
- Směrovací protokoly - směrovací protokoly by měly být spolehlivější a stabilnější.
- Využitelná struktura.
- Dynamické přepínání okruhů.
- Design páteřní sítě - design páteřní sítě by měl být předvídatelnější, odolnější vůči selhání a stabilní.
- Modely principu end-to-end.
- Mezivrstvový design - není pochyb o tom, že vrstvený model má mnoho výhod, ale je také neefektivní.
- Síťová virtualizace - síťová infrastruktura by se měla vyvíjet v průběhu času.

V této části byly prezentovány některé základní představy o Internetu budoucnosti.



---

V současné době existuje mnoho projektů běžících souběžně, snažících se vytvořit čistý koncept Internetu. Tento výzkum je stále ještě v plenkách, proto je těžké zavést přesnou architekturu sítě, trendy, atd. Pracuje na něm mnoho vědců z celého světa a každá výzkumná skupina o něm mluví z vlastního úhlu pohledu. Ale jedna věc je jasná. Protože aktuální Internet je založen na IP, je zde více než 40 let, již v současné době čelíme jeho omezením. Nový koncept Internetu s čistým štítem bude velmi důležitý a jeho nasazení je jen otázkou času.

---