

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Diplomová práce

Optimalizace síťových topologií: 3-tier vs. Spine-and-Leaf

Jiří Franek

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Franek

Informatika

Název práce

Optimalizace síťových topologií: 3-tier vs. Spine-and-Leaf

Název anglicky

Network Topology Optimization: 3-tier vs. Spine-and-Leaf

Cíle práce

Cílem práce je prozkoumat potenciální požadavky na síťové technologie v kontextu průmyslu 4.0 a posoudit technické a ekonomické aspekty 3-tier topologie a Spine-and-Leaf topologie. Na základě získaných informací a ekonomického hodnocení bude navržena strategie migrace z 3-tier topologie na Spine-and-Leaf topologii.

Metodika

První část práce bude prozkoumání dostupné literatury v kontextu požadavků průmyslu 4.0 na síťové technologie a ekonomického hodnocení síťové infrastruktury.

Dále identifikace a analýza klíčových požadavků na moderní síťovou infrastrukturu s důrazem na náklady, návratnost investic a další ekonomické aspekty a komparativní srovnání 3-tier topologie a Spine-and-Leaf topologie z hlediska klíčových parametrů, jako jsou výkon, škálovatelnost a nákladová efektivita.

V druhé části práce bude dokumentace projektu vytvoření návrhu migrace mezi topologiemi se zaměřením na technické a ekonomické aspekty, aplikace tohoto návrhu na konkrétním případě k ověření jeho praktické aplikovatelnosti, efektivity a ekonomického přínosu. V závěrech bude shrnutí zjištění a doporučení s identifikací omezení a rizik navrhovaného řešení.

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

IT síťová infrastruktura; Průmysl 4.0; 3-tier topologie; Spine-and-Leaf topologie; STP; VxLAN; Ekonomické hodnocení

Doporučené zdroje informací

- Donahue, G. A. (2011). Network Warrior (2nd ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc. ISBN: 978-1-449-38786-0
- Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Bangken, Nonthaburi, Thailand: Apress. ISBN: 978-1-4842-2046-7. [Online] Dostupné z: DOI 10.1007/978-1-4842-2047-4.
- Liu, Y., Muppala, J.K., Lin, D., Hamdi, M., & Veeraraghavan, M. (2013). Data Center Networks: Topologies, Architectures and Fault-Tolerance Characteristics. Department of Computer Science and Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, Hong Kong, SAR; Department of Electrical and Computer Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA, USA: Springer. ISBN: 978-3-319-01948-2. [Online] Dostupné z: DOI 10.1007/978-3-319-01949-9
- McCabe, J. D. (2007). Network Analysis, Architecture, and Design (3rd ed.). Burlington, MA: Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier. ISBN: 978-0-12-370480-1
- Peterson, L. L., & Davie, B. S. (2012). Computer Networks: A Systems Approach (5th ed.). Burlington, MA: Morgan Kaufmann, Elsevier. ISBN: 978-0-12-385059-1
- Schegolev, B., Wijekoon, H., & Merunka, V. (2020). Cost Perspective of a Service Oriented Architecture in Vehicle Design. In HAICTA (pp. 90-97). [Online] Dostupné z: https://ceur-ws.org/Vol-2761/HAICTA_2020_paper15.pdf

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Vojtěch Merunka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 21. 11. 2023

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 22. 11. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "**Optimalizace síťových topologií: 3-tier vs. Spine-and-Leaf** " jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.11.2023

Poděkování

Rád(a) bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Vojtěchovi Merunkovi, Ph.D. za jeho neuvěřitelnou trpělivost a vysoce odbornou pomoc s touto prací.

Optimalizace síťových topologií: 3-tier vs. Spine-and-Leaf

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na požadavky průmyslu 4.0 na síťové topologie s důrazem na jejich výkon a nákladovou efektivitu. Obsahuje srovnání dvou dominantních topologických modelů – 3-tier a Spine-and-Leaf – a klíčových protokolů, jako jsou STP (Spanning Tree Protocol), IEEE 802.1Q a VxLAN (Virtual Extensible LAN).

V teoretické části je provedena analýza na základě zkoumání dostupné literatury, popisů jednotlivých topologií a použitých protokolů. Jsou zde zkoumány možnosti rozšíření, historie a možný předpoklad budoucího vývoje.

V praktické části je cílem posoudit technické a ekonomické aspekty ovlivňující výběr mezi těmito topologiemi a navrhnout strategii migrace z 3-tier topologie na Spine-and-Leaf topologii. Tento návrh je dále technicky i ekonomicky zhodnocen a aplikován na skutečný případ. Nalezené výsledky mohou být použity jako podklady pro informované rozhodování v oblasti plánování a optimalizace síťové infrastruktury.

Klíčová slova: Průmysl 4.0, Síťové topologie, 3-tier architektura, Spine-and-Leaf architektura, STP (Spanning Tree Protocol), IEEE 802.1Q, VxLAN (Virtual Extensible LAN)

Network Topology Optimization: 3-tier vs. Spine-and-Leaf

Abstract

This thesis focuses on the requirements of Industry 4.0 for network topologies, emphasizing their performance and cost-effectiveness. It includes a comparison of two dominant topological models—3-tier and Spine-and-Leaf—as well as key protocols such as STP (Spanning Tree Protocol), IEEE 802.1Q and VxLAN (Virtual Extensible LAN). In the theoretical part, an analysis is conducted based on the examination of available literature, descriptions of individual topologies, and utilized protocols. Possibilities for expansion, history, and potential future developments are also explored.

In the practical part, the objective is to assess the technical and economic aspects influencing the choice between these topologies and to propose a migration strategy from a 3-tier to a Spine-and-Leaf topology. This proposal is further technically and economically evaluated and applied to a real-world case. The findings can serve as a basis for informed decision-making in the area of network infrastructure planning and optimization.

Keywords: Industry 4.0, Network Topologies, 3-tier Architecture, Spine-and-Leaf Architecture, IEEE 802.1Q, STP (Spanning Tree Protocol), VxLAN (Virtual Extensible LAN)

Obsah

1 Úvod	11
2 Cíl práce a metodika	11
2.1 Cíl práce	11
2.2 Metodika	11
3 Teoretická východiska	12
3.1 Definice a historie Průmyslu 4.0.....	12
3.1.1 Vytváření a získávání dat.....	14
3.1.2 Výzvy.....	15
3.2 Základní technologie (IoT, Big Data, atd.)	16
3.2.1 Internet věcí (IoT).....	16
3.2.2 Big Data v Průmyslu 4.0.....	17
3.2.3 Cloud Computing.....	18
3.2.3.1 Klíčoví poskytovatelé cloudových služeb:	18
3.2.3.2 Lokální hráči.....	19
3.2.4 Strojové učení	19
3.2.5 Kybernetická fyzikální systémy (CPS).....	20
3.2.6 5G.....	21
3.3 SOA a Průmysl 4.0.....	22
3.4 Ekonomický pohled na provoz datacentra	22
3.4.1 TCO	22
3.4.2 Příkon.....	23
3.4.3 BTU	23
3.4.4 PUE.....	23
3.4.5 Cena za port	27
3.4.6 Ostatní náklady	29
3.5 Ethernet a OSI model	29
3.5.1 Ethernet.....	29
3.5.2 OSI Model.....	30
3.6 Síťové topologie (3-tier, Spine-and-Leaf).....	31
3.6.1 3-tier.....	33
3.6.2 Spine and leaf.....	36
3.7 Klíčové protokoly IEEE 802.1Q, VxLAN, STP a další + TCP/IP	39
3.7.1 IEEE 802.1Q.....	39
3.7.2 IEEE 802.3ad	41
3.7.3 VxLAN	42
3.7.4 STP (Spanning Tree Protocol).....	45

3.7.5	VRRP	47
3.7.6	TCP/IP	47
3.7.6.1	Verze 4.....	48
3.7.7	OPSF.....	49
3.7.8	Prioritizace	51
3.8	Možnosti zapojení	54
3.8.1	Oversubscription	54
3.8.2	Kabeláž:	56
3.8.3	Redundance.....	56
3.8.4	Výpadek	57
4	Vlastní práce	58
4.1	Popis řešeného případu	58
4.2	Projektový plán	58
4.2.1	Přípravná fáze	58
4.2.2	Technická a ekonomická analýza	59
4.2.3	Plán vlastní implementace:	59
4.2.3.1	Před prvním Údržbovým Oknem:	59
4.2.3.2	První Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):.....	59
4.2.3.3	Mezi Prvním a Druhým Údržbovým Oknem:	59
4.2.3.4	Druhé Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):.....	60
4.2.3.5	Post-Implementační Plán.....	60
4.2.3.6	Hodnocení Projektu:	60
4.3	Přípravná fáze.....	61
4.3.1	Průzkum trhu.....	61
4.4	Technická a ekonomická analýza.....	62
4.4.1	Koncová zařízení	62
4.4.2	Architektura	63
4.4.2.1	3 tier.....	63
4.4.2.2	Spine and leaf	66
4.4.2.3	Architektura shrnutí.....	68
4.4.3	Kalkulace nákladů.....	68
4.4.3.1	Přímé náklady na pořízení HW zařízení.....	68
4.4.3.2	Školení personálu	69
4.4.3.3	Náklady na implementaci	69
4.4.3.4	Souhrn kalkulací	69
4.4.4	Výběr topologie	70
4.5	Implementace a testování	70

4.5.1	Počáteční instalace	73
4.5.2	První Údržbové Okno (Den 1 a Den 2)	73
4.5.3	Mezi Prvním a Druhým Údržbovým Oknem	73
4.5.4	Druhé Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):	74
4.5.5	Post-Implementační Plán	75
5	Výsledky a diskuse	76
5.1	Hodnocení Projektu	76
5.2	Porovnání teoretických a praktických výsledků	76
5.2.1	Výchozí měření původní infrastruktury	77
5.2.2	Měření nové infrastruktury	78
5.3	Doporučení pro budoucí výzkum	81
6	Závěr	83
7	Seznam použitých zdrojů	84
8	Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk	86
8.1	Seznam obrázků	86
8.2	Seznam tabulek	86
8.3	Seznam grafů	87
8.4	Seznam použitých zkratk	87
9	Přílohy	88

1 Úvod

Průmysl 4.0 označuje novou éru v průmyslové revoluci, kde jsou moderní chytré technologie integrovány do výrobních systémů a procesů. Tyto technologie generují velké množství dat, která je nutné rychle a spolehlivě přenášet a analyzovat. Jednou z klíčových komponent této revoluce je síťová infrastruktura, která je základem pro efektivní a spolehlivou komunikaci mezi různými průmyslovými systémy. Výběr optimální síťové topologie a protokolů je proto kritickým aspektem, který může výrazně ovlivnit výkon a nákladovou efektivitu průmyslových operací.

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu a porovnání dvou dominantních síťových topologií - 3-tier a Spine-and-Leaf - a klíčových protokolů jako jsou STP (Spanning Tree Protocol), IEEE 802.1Q a VxLAN (Virtual Extensible LAN). Cílem je posoudit, jak tyto topologie odpovídají na požadavky průmyslu 4.0 v kontextu výkonu a nákladové efektivity.

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V teoretické části je provedena analýza na základě zkoumání dostupné literatury, popis jednotlivých topologií a použitých protokolů, možnosti rozšiřování a předpokládaný budoucí vývoj. V praktické části je posouzena technická a ekonomická efektivita jednotlivých topologií, a na základě těchto zjištění je navržena strategie pro optimální výběr a migraci.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je analyzovat a porovnat dvě dominantní síťové topologie - 3-tier a Spine-and-Leaf - v kontextu jejich schopnosti splnit požadavky průmyslu 4.0, zejména s ohledem na výkon a nákladovou efektivitu. Dále se práce zaměřuje na klíčové síťové protokoly, konkrétně IEEE 802.1Q, VxLAN (Virtual Extensible LAN) a STP (Spanning Tree Protocol), a jejich vliv na výkon a efektivitu sítě. Výsledkem bude doporučení strategie pro optimální výběr síťové topologie a protokolů, které budou podloženy kvantitativním a kvalitativním hodnocením. Tato doporučení budou následně aplikována a vyhodnocena a implementována na konkrétním případu.

2.2 Metodika

V teoretické části je provedena analýza, která vychází ze zkoumání dostupné literatury a konceptu průmyslu 4.0. Klíčové pojmy jako Internet věcí (IoT), big data, autonomní systémy a další jsou prozkoumány, aby bylo možné porozumět, jak tyto technologie ovlivňují a formují aktuální i budoucí požadavky na síťovou infrastrukturu. Po této fázi následuje detailní studium literatury s cílem získat komplexní přehled o síťových topologiích a protokolech. Vzhledem k praktické neexistenci literatury na tyto témata budou použity mé překlady textů z anglických originálů.

3 Teoretická východiska

3.1 Definice a historie Průmyslu 4.0

Termín "Průmysl 4.0" má své kořeny v Německu a byl poprvé prezentován na Hannoverském veletrhu v roce 2011. Německé ministerstvo pro vzdělání a výzkum (BMBF) a Akademická unie pro výzkum v průmyslu (acatech) jsou často považovány za klíčové instituce, které tento termín popularizovaly.

Klíčové prvky Průmyslu 4.0:

1. Digitalizace a Integrace Procesů: Tento koncept zdůrazňuje integraci vertikální a horizontální hodnotové sítě.
2. Big Data Analýza: Data z různých zdrojů (stroje, senzory, procesy) jsou analyzována pro optimalizaci výroby a prediktivní údržbu.
3. Využití Internetu věcí (IoT): Stroje a zařízení jsou vybaveny senzory a připojeny k internetu
4. Automatizace a Robotizace: Vysoká úroveň automatizace včetně použití robotů, kteří mohou vykonávat komplexní úkoly.
5. Kustomizace: Schopnost pružně reagovat na individuální potřeby zákazníků a přizpůsobit výrobní procesy. (Saurabh Vaidya, 2018)

GE (General Electric) a jejich koncept "Industrial Internet" byl oficiálně spuštěn v roce 2012, tedy rok po prvním uvedení termínu "Průmysl 4.0". Obě koncepce se velmi podobají ve svém zaměření na integraci moderních informačních technologií do průmyslových procesů, ale mají různé geografické a kulturní kontexty.

Klíčové prvky Industrial Internet (nebo Industrial Internet of Things - IIoT)

1. Konektivita: Schopnost zařízení a strojů komunikovat mezi sebou a s databázemi.
2. Analytické Nástroje: Využití pokročilých analytických nástrojů na data shromážděná ze zařízení pro lepší rozhodování.
3. Zabezpečení: Zdůraznění na zabezpečení dat a síťové infrastruktury.
4. Optimalizace prostřednictvím softwaru: Využití softwarových aplikací pro monitorování a kontrolu fyzických operací.
5. Otevřené Standardy a Platformy: Snaha o vytvoření otevřených standardů pro podporu interoperability. (Gilchrist, 2016)

Definice dle Svazu Průmyslu a dopravy České Republiky z roku 2019:

„Průmysl 4.0 sjednocuje fyzické, informační i datové komponenty nejen samotného výrobního prostředí. Propojuje chytré stroje, úložné a logistické systémy a další technologická zařízení do jednoho celku. V něm spolu vzájemně komunikují podél celého hodnototvorného procesu. Plně digitalizovaný automatizovaný systém přináší zásadní zlepšení všech podnikových procesů - od návrhu a výroby, přes řízení logistického řetězce až po zákaznickou podporu a údržbu během životního cyklu produktu, včetně návrhu a realizace inovačních aktivit.

V centru konceptu Průmysl 4.0 je takzvaná "Chytrá továrna". Chytré továrny jsou klíčovým prvkem přechodu k digitalizovanému a automatizovanému podnikání. Umí autonomně řídit a zároveň zefektivnit kompletní výrobní proces. V chytrých továrnách spolu přirozeně komunikují lidé, stroje a zdroje.“ (SPCR.cz, 2019)

Čtyři základní atributy průmyslu 4.0 dle Svazu Průmyslu a dopravy České Republiky z roku 2019

- 1) Interoperabilita - všechny části vstupující do hodnototvorného řetězce spolu komunikují, ať už se jedná o výstup z konstrukčních nebo projektových prací, inteligentní senzory, chytrá výrobní zařízení nebo systémy pro vzdálenou správu a údržbu.
- 2) Virtualizace - jednotlivé prvky i celá zařízení lze ve virtuálním prostředí nasimulovat, a to nejen jejich fyzické parametry, ale i způsob řízení, uvádění do provozu nebo údržby, včetně nároků na zdroje lidské, materiálové a energetické.
- 3) Decentralizace - umožňuje autonomní provoz jednotlivých dílčích firemních systémů, které je možné s ohledem na aktuální potřeby výroby operativně konfigurovat.
- 4) Reálný čas - veškeré procesy, ať už kybernetické nebo fyzické se odehrávají v reálném čase. (SPCR.cz, 2019)

Jak je zřejmé, tak se nám definice a pojetí značně liší a z české interpretace je cítit drobné nepochopení mezi vizí a praktickou realizací, nicméně je zde vidět několik společných jmenovatelů. Optimalizace výrobních procesů pomocí výpočetní techniky, automatizace a robotizace, analytické nástroje a zařízení produkující velké množství dat.

Vzhledem k současnému používání inteligentních zemědělských strojů, prediktivních mechanismů a automatických závlahových systémů nabízí Průmysl 4.0 v zemědělství nové možnosti. Půdní senzory, například, mohou v reálném čase monitorovat vlhkost a složení půdy, které vede k efektivnějšímu využití vody a hnojiv. K tomu přidávají inovace, jako je automatizované klíčení semen, které optimalizuje celý výrobní proces od začátku. V tomto kontextu je možné integrovat pokročilé technologie, jako jsou Internet věcí (IoT), umělá inteligence a cloudové služby, do zemědělských a lesnických operací. Tyto synergie nejen zvyšují efektivitu a snižují provozní náklady, ale také podporují ekologickou udržitelnost prostřednictvím precizního využití zdrojů. V souvislosti s globálními cíli udržitelnosti tak Průmysl 4.0 otevírá dveře k efektivnější a udržitelnější zemědělské produkci i lesnímu hospodářství. Jeden z klíčových prvků modernizace a udržitelného rozvoje v obou těchto sektorech. (McKittrick, 2012)

3.1.1 Vytváření a získávání dat

Oblast Sběru Dat	Popis
Sensory a Stroje	Každý senzor nebo stroj ve výrobní lince může generovat data o svém výkonu, stavu a dalších parametrech.
Logistika a Řetězec Dodavatelů	Informace o pohybu materiálů, stavu zásob a dodavatelských lhůtách.
Kvalita Produktu	Data spojená s kvalitou a kontrolou, například záznamy z vizuální inspekce nebo ze senzorů měřících teplotu, vlhkost atd.
Spotřeba Energie	Sensory mohou sledovat a zaznamenávat spotřebu energie v reálném čase
Pracovní Postupy a Výkonnost	Data mohou být sbírána o efektivitě pracovních postupů a výkonnosti zaměstnanců, optimalizace pracovních procesů.
Prediktivní Údržba	Sběr dat z různých strojů a zařízení může umožnit analýzu, která předpovídá potřebu údržby dříve, než dojde k poruše.
Interakce s Zákazníkem	V některých průmyslových odvětvích, jako je maloobchod, data o interakci se zákazníky mohou být shromažďována a analyzována pro lepší pochopení jejich potřeb a preferencí.
Kvalita Vzduchu a Prostředí	Sensory měřící kvalitu vzduchu, úroveň hluku a další environmentální faktory v průmyslovém prostředí
Bezpečnostní Monitoring	Data ze systémů pro videomonitoring a senzorů detekujících například pohyb nebo teplotu mohou být použita pro zvýšení bezpečnosti.
Brand Monitoring	I když to není přímo spojeno s výrobním procesem, sociální sítě mohou být monitorovány, aby se zjistilo, jak je značka nebo produkt vnímán ve veřejném prostoru.
Vedlejší Produkty Výroby	Někdy mohou být sociální sítě použity k sběru dat o tom, jak se výrobky používají, zvýšení informovanosti vývojové a výrobní strategie.

Tabulka 1 Sběr dat (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019)

3.1.2 Výzvy

Oblast	Popis
Ukládání Dat	Díky masivnímu množství generovaných dat je potřeba efektivní a škálovatelné řešení pro jejich ukládání
Analýza Dat	Pouhé shromažďování dat není dostatečné. Data musí být analyzována a interpretována za použití pokročilých analytické nástrojů a algoritmů.
Modelování a analýza systémů	V modelování systémů, k redukci dynamických rovnic a k návrhu vhodného řídicího modelu, by systémy měly být modelovány jako samoorganizované výrobní systémy. Výzkum v této oblasti stále probíhá
Kybernetická bezpečnost	S rostoucí konektivitou a používáním standardních komunikačních protokolů, které přináší průmysl 4.0, dramaticky roste potřeba chránit kritické průmyslové systémy a výrobní linky před kybernetickými hrozbami
Síťová infrastruktura	Protože generovaná data musí být nejen shromažďována, ale také rychle a bezpečně přenášena mezi různými částmi průmyslového ekosystému, stává se výběr optimální síťové infrastruktury kritickým faktorem.
Inteligentní rozhodovací a vyjednávací mechanismy	Ve chytrém výrobním systému jsou potřebné vyšší úrovně autonomie a společenských schopností jako klíčové faktory samoorganizovaných systémů. Současné systémy však trpí nedostatkem autonomie a mají pouze 3C schopnosti ("Communication" (komunikace), "Coordination" (koordinace) a "Cooperation" (spolupráce)) Pokud systém nemá dostatečnou úroveň autonomie, může to znamenat, že je závislý na manuálním ovládní nebo externím rozhodování
Modularizované a flexibilní fyzické artefakty	Při zpracování produktu by zařízení pro obrábění nebo testování mělo být seskupeno a fungovat společně pro distribuované rozhodování. Je tedy potřeba vytvořit modularizovanou a chytrou přepravní jednotku, která může dynamicky

	rekonfigurovat výrobní trasy
Otázky investic	Investiční problém je obecným problémem pro většinu nových technologických iniciativ ve výrobě. Pro implementaci průmyslu 4.0 je potřeba značného investování, zejména v malých a středních podnicích. Implementace všech pilířů průmyslu 4.0 vyžaduje obrovské investice

Tabulka 2 Výzvy (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019)

3.2 Základní technologie (IoT, Big Data, atd.)

Technologie	Popis
Internet věcí (IoT)	Síť fyzických objektů (senzorů, strojů, vozidel, atd.) spojených s internetem, které mohou shromažďovat a vyměňovat data.
Big Data	Manipulace s velkými a komplexními datovými sadami, které tradiční databázové systémy nemohou efektivně zpracovat.
Cloud Computing	Ukládání a zpracování dat na vzdálených serverech místo lokálních počítačů nebo databází.
Strojové učení	Typ umělé inteligence, který umožňuje systémům učit se a vylepšovat se bez explicitního programování.
Kybernetická fyzikální systémy (CPS)	Integrované systémy spojující digitální a mechanické komponenty.
5G	Pátá generace mobilních sítí, která umožňuje rychlejší a spolehlivější bezdrátovou komunikaci.

Tabulka 3 Základní technologie (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019)

3.2.1 Internet věcí (IoT)

Internet věcí (IoT) je koncept, který spočívá v propojení fyzických zařízení s internetem nebo jinými síťovými strukturami, aby se mohla sbírat, analyzovat a využívat data. V průmyslu 4.0 znamená IoT často rozšíření tradičních výrobních systémů o inteligentní senzory, stroje a další zařízení, které jsou schopny komunikovat mezi sebou i s centrálními řídicími systémy. Tento druh propojení umožňuje v reálném čase sbírat detailní data o výrobním procesu, stavu strojů, kvalitě produktu a mnoho dalších aspektů.

IoT je klíčovým prvkem v transformaci tradičního průmyslu na digitální, protože umožňuje rychlejší a efektivnější rozhodování. Například, místo toho, aby se musela provádět manuální kontrola strojů, senzory mohou automaticky detekovat potenciální problémy a varovat operátory nebo dokonce samy iniciovat opravné akce.

IoT také představuje výzvy, zejména v oblasti bezpečnosti a ochrany dat. Každé zařízení připojené k internetu je potenciálním cílem kybernetických útoků, a proto je nezbytné zajistit odpovídající ochranná opatření. (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016)

3.2.2 Big Data v Průmyslu 4.0

Big data lze definovat pomocí populárních V. V původní definici jsou 3 s dalším rozšířením na 6 a i více. Zde je malý seznam základních tří a jednotlivá další rozšíření původní definice s příklady.

Objem (Volume): Tento termín odkazuje na masivní množství dat generovaných zejména z IoT zařízení, sociálních médií, senzorů a dalších zdrojů. V kontextu průmyslu může jít o data ze senzorů na výrobní lince, transakční data atd.

Rychlost (Velocity): Rychlost generování nových dat je důležitá, zejména v real-time aplikacích jako je monitorování výrobního procesu nebo detekce chyb. Data musí být zpracována a analyzována v reálném čase, aby byla užitečná.

Různorodost (Variety): Díky IoT a dalším technologiím je nyní možné shromažďovat nejen strukturovaná data, ale také nestruturovaná a polostruturovaná data, jako jsou texty, obrazy, zvuky atd. V průmyslu to mohou být například data z kamery na výrobní lince, záznamy z kontroly kvality atd. (Jonathan Stuart Ward, 2015)

Pravdivost (Veracity): Ve světě, kde se generují obrovské objemy dat, je důvěryhodnost těchto dat klíčová. Data musí být čistá a bez chyb, aby byla při analýze spolehlivá. V průmyslovém kontextu se to může týkat například kvality sensorových dat. (IBM, nedatováno)

Hodnota (Value): Jakýkoli objem dat je bezcenný, pokud z něj nelze získat smysluplné informace. Konverze dat na užitečné informace je kritická, a to zvláště v průmyslovém sektoru, kde analýza dat vede k optimalizaci procesů, snížení nákladů a zvýšení efektivity. (Ishwarappa, 2015)

Variabilita (Variability): Termín "Variabilita" v kontextu Big Data se týká nejen různorodosti datových typů, ale také dynamické povahy těchto dat. Zatímco různorodost (Variety) odkazuje na různé formáty dat (struturované, nestruturované, polostruturované), variabilita zdůrazňuje, jak se mění charakteristika datových sad v čase. To může být způsobeno sezónními změnami, trendovými oscilacemi nebo nepravidelnými událostmi, které mohou významně ovlivnit kvalitu a dostupnost dat. Variabilita dat je v průmyslu klíčová, zejména v dynamických prostředích s rychle se měnícími podmínkami. Například v logistice mohou variabilní data ukázat sezónní nárůsty v poptávce, zatímco ve výrobním sektoru by variabilní data mohla indikovat potřebu rychlého přizpůsobení

výrobních procesů kvůli náhlým změnám v dostupnosti surovin nebo v poptávce. (Fan, 2012)

3.2.3 Cloud Computing

Cloud Computing představují model poskytování výpočetních zdrojů (jako jsou servery, úložiště, databáze, sítě, software atd.) prostřednictvím internetu.

Zde jsou některé klíčové body:

Flexibilita a Škálovatelnost: Cloudové služby jsou navrženy tak, aby byly flexibilní a škálovatelné. V průmyslu to znamená, že podniky mohou rychle reagovat na potřeby zákazníků a měnit svou infrastrukturu podle potřeby.

Nákladová Efektivita: Placení pouze za to, co skutečně využíváte, snižuje kapitálové a provozní náklady.

Dostupnost a Spolehlivost: Cloudové služby často nabízejí vysokou míru dostupnosti a redundance, zásadní pro průmyslové aplikace, kde je jakákoli doba výpadku nepřijatelná.

Bezpečnost a Shoda: Mnoho cloudových poskytovatelů nabízí robustní bezpečnostní opatření a pomáhá s dodržováním průmyslových a regulačních standardů.

Data a Analýza: Díky cloudovým nástrojům mohou průmyslové podniky efektivně spravovat a analyzovat velké množství dat, nezbytná podmínka pro optimalizaci a inovace v rámci Průmyslu 4.0.

Remote Access: Cloudové služby umožňují vzdálený přístup k datům a aplikacím, aplikace v průmyslu pro sledování a správu výrobních procesů z různých geografických lokalit. (Ahmad, 2017)

3.2.3.1 Klíčoví poskytovatelé cloudových služeb:

Amazon Web Services (AWS) - Lídr v cloudových službách, který nabízí širokou škálu nástrojů a služeb, včetně analýzy Big Data, strojového učení a Internetu věcí (IoT).

Microsoft Azure - Další velký hráč nabízející podobný rozsah služeb jako AWS, ale s některými navíc, jako je podpora pro Windows Server a různé databázové služby.

Google Cloud Platform (GCP) - Zaměřuje se na vysokou škálovatelnost a strojové učení, užitečné prostředky pro analýzu a vizualizaci průmyslových dat.

IBM Cloud - Nabízí silné nástroje pro analýzu dat a umělou inteligenci, včetně Watsonu, a má silné vazby na podnikový sektor.

Oracle Cloud - Specializuje se na databázové služby a aplikace pro řízení vztahů se zákazníky (CRM), výhodnost pro průmyslové podniky, které potřebují integrovat různé databáze a systémy.
(Chand, 2023)

3.2.3.2 Lokální hráči

Master Internet - Nabízí různé cloudové služby, včetně privátního cloudu a cloudového hostingu.

Active24 - Poskytuje cloudové hostingové služby, doménové jméno a další webové služby.

VSHosting - Specializuje se na managed servery a cloudové služby, včetně kontejnerových řešení.

Forpsi - Nabízí široké spektrum služeb od webhostingu po VPS a cloudové servery.

Wedos - Kromě webhostingových služeb nabízí také cloudové servery.

Coolhousing - Specializuje se na server hosting, virtuální servery a cloudová řešení.

Jak je vidět z rozsahu nabízených služeb tak stav odpovídá cca 5-10let za zbytkem světa a omezuje se většinou na registraci domén, web, případně kontejnerizaci, virtualizaci a server hosting....

3.2.4 Strojové učení

Strojové učení (Machine Learning, ML) je podobor umělé inteligence, který se zaměřuje na vývoj algoritmů, které mohou "učit" ze zkušeností. Jinými slovy, strojové učení umožňuje systémům zlepšovat svůj výkon na základě analýzy dat, aniž by bylo třeba je explicitně programovat.

Několik významných aplikací strojového učení v průmyslu:

Prediktivní Údržba: Algoritmy strojového učení jsou schopny analyzovat data ze strojů a senzorů k predikci potřeby údržby, dříve než dojde k poruše.

Optimalizace Výroby: ML je použito k optimalizaci výrobních procesů tím, že najde nejefektivnější cesty a metody pro zpracování materiálů.

Kontrola Kvality: Strojové učení automaticky identifikuje defekty ve výrobním procesu nebo ve finálních produktech díky analýze vizuálních nebo sensorových dat.

Logistika a Dodávky: Algoritmy předpovídají optimální trasy pro dopravu, minimalizace zpoždění a optimalizace správy skladu.

Analýza Spotřebitelského Chování: ML použitá pro analýzu nákupních vzorů a preference zákazníků, díky tomu průmyslové společnosti mohou lépe chápat své trhy a přizpůsobovat nabídku.

Bezpečnost a Ochrana: Použití ML v analýze bezpečnostních dat pomáhá rychle identifikovat potenciální hrozby a zlepšit ochranu zařízení a dat.

Pozitiva používání strojového učení v průmyslu:

Automatická Adaptace: Algoritmy se postupně zlepšují a adaptují na nové podmínky.

Rychlá Analýza a Rozhodování: ML zpracovává velké objemy dat rychleji, než by to bylo možné manuálně.

Větší Přesnost: Snížení chybovosti v různých průmyslových procesech, od kvalitativní kontroly až po logistiku.

Efektivita a Nákladová Úspora: Automatizací složitých úloh lze snížit potřebu lidského zásahu a tím snížit náklady. (Ramjattan, Received: 5 October 2022 / Revised: 2 November 2022 / Accepted: 5 November 2022 / Published: 9 November 2022)

3.2.5 Kybernetická fyzikální systémy (CPS)

Kybernetická fyzikální systémy (Cyber-Physical Systems, CPS) jsou integrace výpočetní techniky s fyzickými procesy. V takových systémech embedded (vestavěné) počítačové systémy monitorují a řídí fyzické procesy, často v reálném čase. Výpočetní a fyzické složky jsou hluboce propojeny a každý z nich může ovlivnit výkon celkového systému.

Aplikace v průmyslu:

Automatizace a Robotika: V průmyslové výrobě se CPS používají k řízení robotických ramen, transportních pásů a dalších strojů.

Řízení Energie: V energetickém sektoru CPS umožňují monitorování a optimalizaci spotřeby energie, vede k úsporám a efektivnímu využití zdrojů.

Bezpečnost a Sledování: CPS slouží k automatické detekci nebezpečných podmínek v průmyslovém prostředí, jako jsou například výkyvy teploty nebo tlaku, úniky nebezpečných látek.

Zdravotnické Aplikace: Ve zdravotnictví CPS pomáhají v monitorování pacientů a automatizovaném podávání léků.

Doprava: Ve veřejné dopravě se CPS používají k optimalizaci provozu, včetně semaforových systémů, navigace a sledování vozidel.

Pozitiva používání CPS v průmyslu:

Real-time Monitoring: Umožňuje sledování a reagování na události v reálném čase.

Větší Efektivita: Optimalizace procesů může vést k větší efektivitě a úsporám.

Zlepšení Bezpečnosti: Rychlá detekce a reakce na nebezpečné situace.

Flexibilita: Možnost rychlého přizpůsobení se změnám v prostředí nebo operacích.

Integrace s jinými technologiemi: CPS lze snadno integrovat s jinými technologiemi jako IoT, Big Data a strojové učení a přináší vytváření komplexních, vysoce efektivních systémů. (Saurabh Vaidya, 2018)

3.2.6 5G

5G je pátá generace mobilních sítí, která přináší značné vylepšení ve srovnání s předchozími generacemi, zejména co se týče rychlosti, latence a schopnosti propojit mnohem více zařízení současně. 5G je navrženo tak, aby splnilo rostoucí požadavky moderního průmyslu, kde je zapotřebí rychlá a spolehlivá komunikace.

Aplikace v průmyslu:

Automatizace a Robotika: Ultra-nízká latence 5G umožňuje rychlejší a přesnější řízení průmyslových robotů.

IoT a CPS: S 5G je možné snadno a efektivně propojit stovky nebo tisíce IoT zařízení v průmyslovém prostředí.

Dálkové Operace: 5G umožňuje dálkové ovládání a monitorování průmyslových zařízení s vysokou spolehlivostí a minimální latencí.

Real-time Analytics: Rychlá a spolehlivá síť je klíčová pro analýzu velkých datových toků v reálném čase.

Bezpečnost: Vysoká rychlost a spolehlivost 5G umožňuje efektivní monitorování a reakci na bezpečnostní incidenty.

Pozitiva používání 5G v průmyslu:

Rychlá komunikace: Značně zlepšená rychlost přenosu dat.

Nízká Latence: Umožňuje téměř okamžitou reakci, klíčová vlastnost pro kritické aplikace.

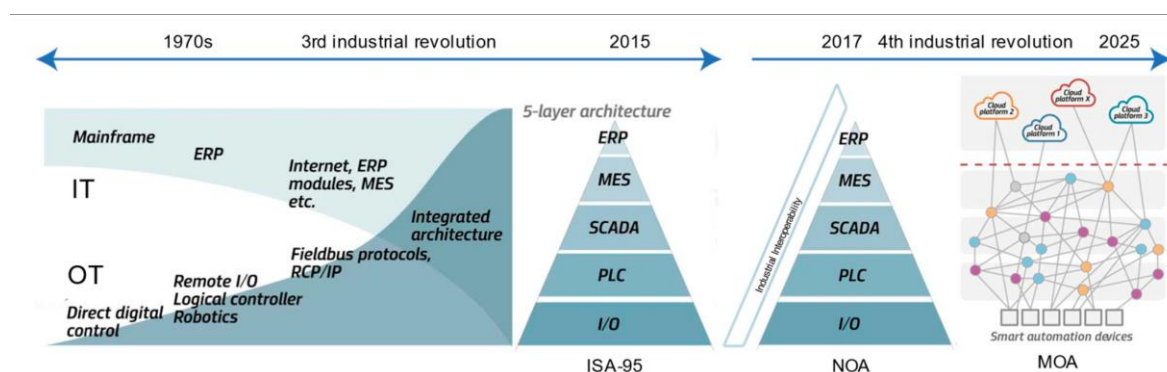
Vysoká Kapacita: Schopnost podporovat velký počet zařízení současně, výhodnost v průmyslových prostředích s mnoha propojenými zařízeními.

Flexibilita a Škálovatelnost: Snadná integrace s existujícími technologiemi a možnost rychlého rozšiřování sítě podle potřeb.

Bezpečnost a Spolehlivost: Pokročilé šifrování a autentizační mechanismy zvyšují bezpečnost komunikace. (Doyle, 2021)

3.3 SOA a Průmysl 4.0

Cílem Průmyslu 4.0 je vytvořit více propojený, digitalizovaný, inteligentní a autonomní výrobní systém, který může zlepšit efektivitu, snížit náklady a zvýšit kvalitu. Většina technologií potřebných pro implementaci Průmyslu 4.0 již existuje, například rozšířená realita, IPV6, bezdrátové sítě, umělá inteligence, robotika, identifikace pomocí rádiové frekvence (RFID), průmyslový internet věcí (IoT), cloudové výpočty, kybernetické fyzikální systémy a velká data. Proto největší překážka spočívá v integraci a společném využívání těchto technologií k dosažení nové výrobní reality, ve které budou všichni zúčastnění propojeni, aby se na vyžádání činila nejlepší rozhodnutí v oblasti výroby, bezpečnosti a hodnot.



Obrázek 1 Vývoj systémů (Ricardo Pasquati Pontarolli, Received: 27 January 2023 / Revised: 28 March 2023 / Accepted: 13 April 2023 / Published: 19 April 2023)

Hlavní cíle SOA

- Škálovatelnost
- Dostupnost
- Odolnost
- Flexibilita
- Nezávislost, autonomie
- Decentralizovaná správa
- Izolace selhání
- Automatické provizování
- Nepřetržité dodávání prostřednictvím DevOps
- Oddělení zájmů" (Schegolev, 2020)

3.4 Ekonomický pohled na provoz datacentra

3.4.1 TCO

Celkové náklady na vlastnictví, známé jako TCO, jsou způsobem, jak spočítat všechny náklady spojené s nějakým produktem, službou nebo zařízením, a to nejen pořizovací cenu, ale také náklady na provoz, údržbu a další. Tento přístup pomáhá firmám rozhodnout se, který produkt nebo službu vybrat z několika podobných možností, aby celkově ušetřily peníze. Například když firma zvažuje, jaký server použít, může použít TCO k výpočtu celkových nákladů na jeho provoz po dobu tří let. Tímto způsobem může firma porovnat, který server je pro ni nejefektivnější, nebo jaké náklady by měla očekávat, pokud si server

pronajme od externího poskytovatele. V mnoha firmách se stává, že analýza nákladů nebo návratnosti investice je použita jen jako zdůvodnění rozhodnutí, která už byla udělána. To většinou znamená, že se vybere první nápad, který splní finanční požadavky, ale nemusí být nejlepší volbou. Ideálně by se mělo při plánování projektu brát v úvahu jak technické, tak finanční stránky věci. To pomáhá lépe využít dostupné zdroje a dělat chytřejší rozhodnutí. Finanční analýza je prostě další nástroj, který vám může pomoci udělat lepší volby. (HwAiyu GENG, 2014)

3.4.2 Příkon

V datacentrech se pro měření potřebného chlazení a energie obvykle používá jednotka kilowatt (kW). Tato jednotka je široce používaná, protože poskytuje přesnější a jednodušší způsob měření, který je snadno konvertovatelný do dalších jednotek a je kompatibilní s mezinárodním systémem jednotek (SI). (HwAiyu GENG, 2014)

3.4.3 BTU

BTU je zkratka pro "British Thermal Unit". Je to jednotka měření tepla používaná především v anglosaských zemích. Jedna BTU je definována jako množství tepla potřebného na zvýšení teploty jedné libry (přibližně 0,454 kg) vody o jeden stupeň Fahrenheita (přibližně 0,556 °C).

BTU je často používána v kontextu klimatizace, topení a chlazení, kde se používá k popisu výkonu těchto systémů. Například, klimatizační jednotka s výkonem 12 000 BTU/h je schopna odstranit 12 000 BTU tepla z místnosti za jednu hodinu. (HwAiyu GENG, 2014)

3.4.4 PUE

V datacentrech je spotřeba elektrické energie (vyjádřená v kW) rozdělena mezi provozní vybavení (servery, přepínače, úložiště atd.) a infrastrukturu, která zahrnuje chlazení, napájení a další podpůrné systémy.

Poměr mezi těmito dvěma kategoriemi se obvykle vyjadřuje pomocí metriky zvané PUE (Power Usage Effectiveness), která je definována jako celkový příkon datacentra dělený příkonem potřebným pro provoz IT vybavení.

$$PUE = \frac{\text{Celkový příkon datacentra}}{\text{Příkon IT vybavení}}$$

Ideální PUE by bylo 1,0, ale to je v praxi téměř nemožné. Hodnoty PUE se obvykle pohybují mezi 1,3 až 2,0 v závislosti na efektivitě a designu datacentra. Nižší PUE znamená, že menší část energie je vynaložena na chlazení a další náklady, a větší část jde přímo na provoz IT vybavení.

V praxi to může znamenat, že pokud má datacentrum PUE 1,5, pak na každé 2 kW elektrické energie spotřebované celkově je 1 kW využito přímo pro provoz IT vybavení a 1

kW na podporu infrastruktury, včetně chlazení. (HwAiyu GENG, 2014) (Maria Avgerinou, 2017)

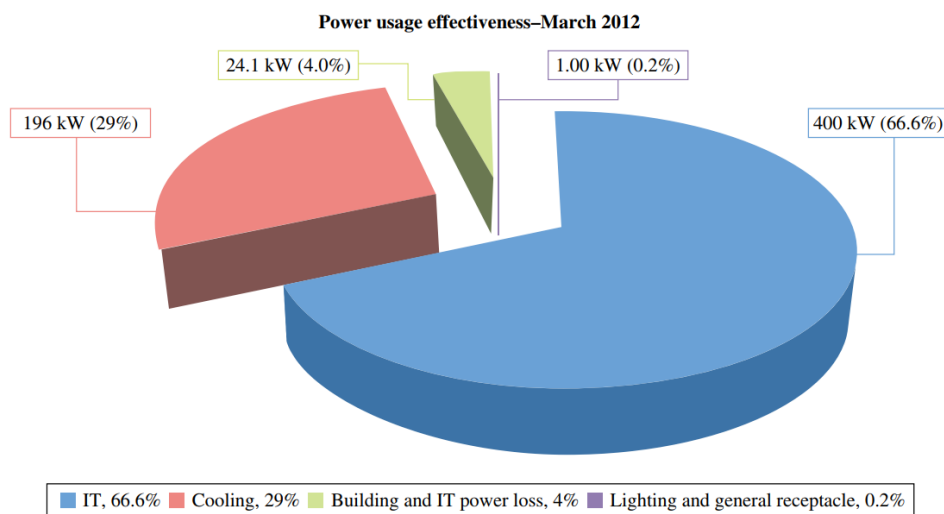
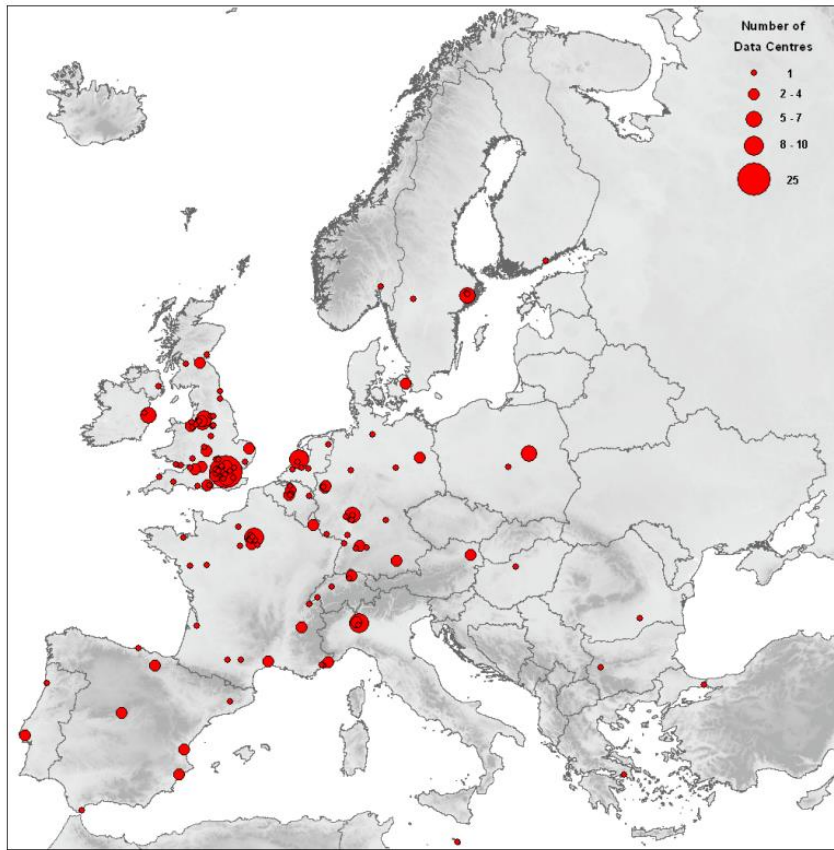


FIGURE 1.1 The DOE national average PUE for data centers is 1.75. 50B-1275 data center has evolved from an average PUE of 1.65 (calculated in 2009) to today's 1.47. Getting there, staying there, and further improving the PUE is an ongoing effort (Source: Nina Lucido, Data Center Utilization Report, March 2012, LBNL, U.S. Department of Energy. <https://commons.lbl.gov/display/itdivision/2012/04>).

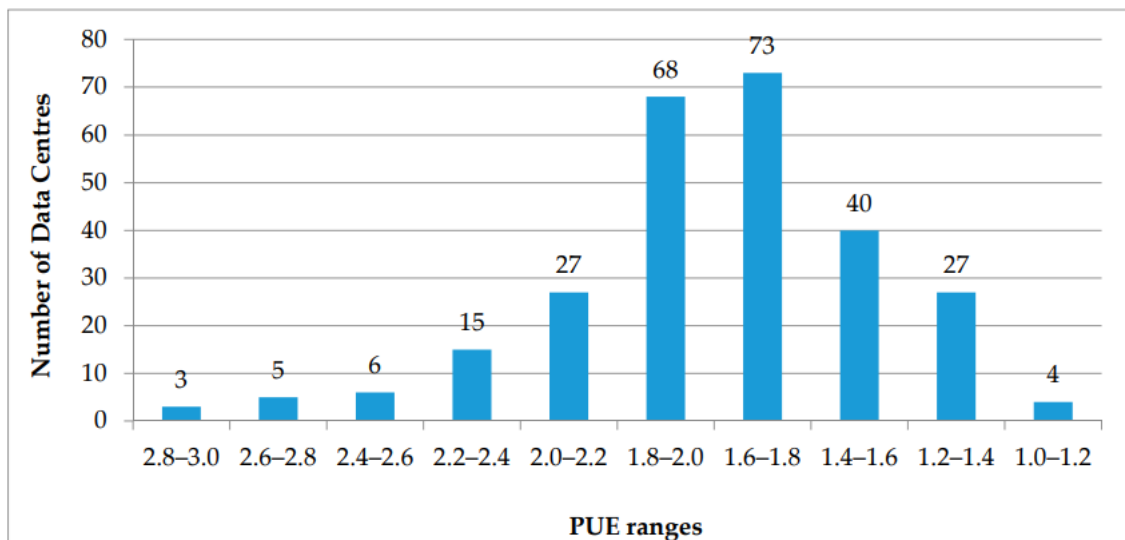
Obrázek 2 Spotřeba energie datacentra (HwAiyu GENG, 2014)

Při pohledu na statistiku tak průměrné datacentrum v USA k 2014 mělo PUE 1,47, kde oproti roku 2009, kde PUE bylo 1,65 značné zvýšení efektivity provozu. Takže to vypadá že nastavený trend je pro zvyšování efektivity.

Jak jsme na tom v Evropě?

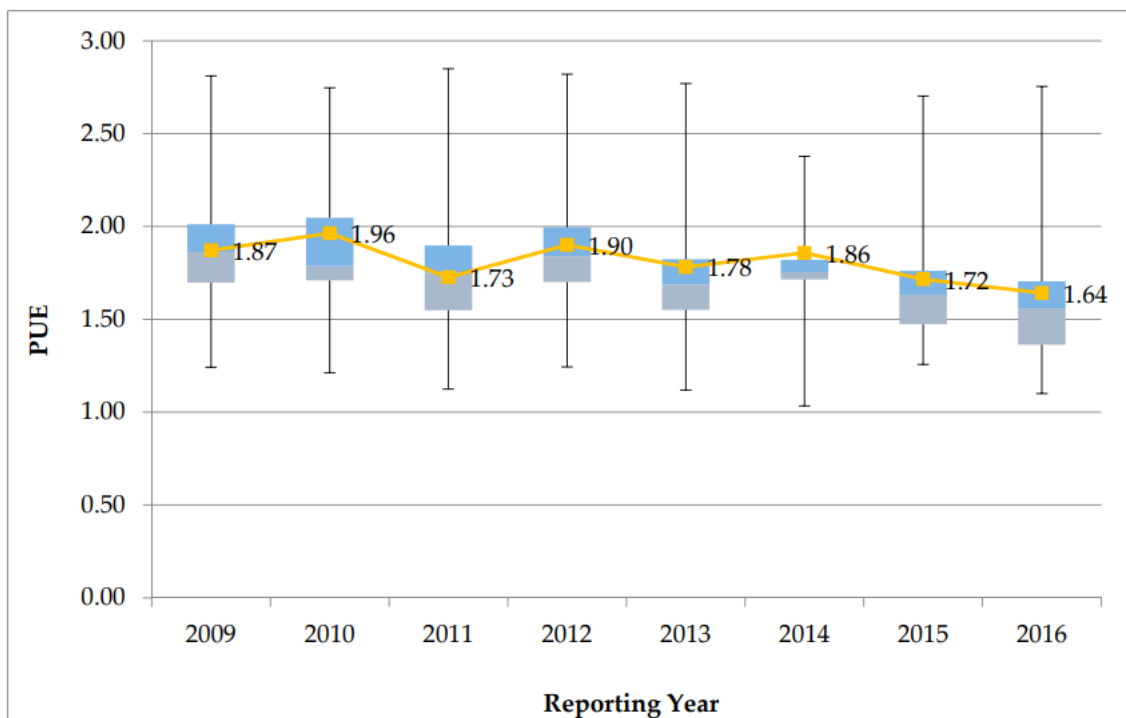


Obrázek 3 Rozmístění evropských datacenter participující v průzkumu (Maria Avgerinou, 2017)



Obrázek 4 Četnost datacenter dle PUE (Maria Avgerinou, 2017)

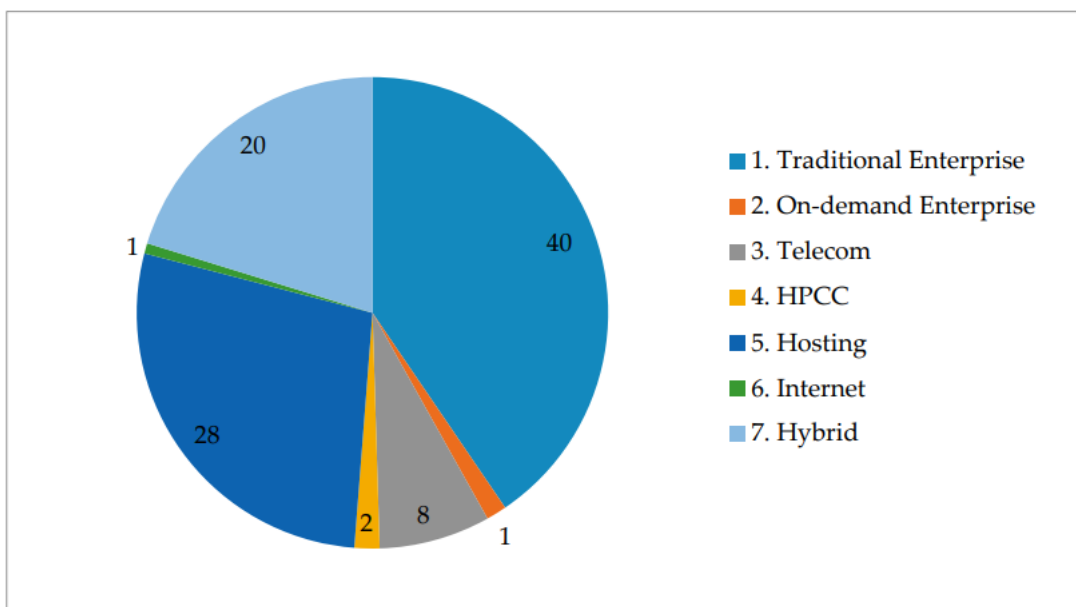
Jak je vidět u grafu, tak většina datacenter se pohybuje v rozsahu 1.6-2.2 PUE.



Obrázek 5 Vývoj PUE v čase (Maria Avgerinou, 2017)

Trend PUA v čase

Zas je zde vidět sestupný trend, jako v USA, nicméně lze předpokládat že křivka bude do budoucna plochá a efektivita se bude pohybovat okolo 1.2 PUE.



Obrázek 6 Procentuální zastoupení datacenter v odvětvích (Maria Avgerinou, 2017)

Jak je vidět z grafu, tak velká část 40% se týka tradičních podniků

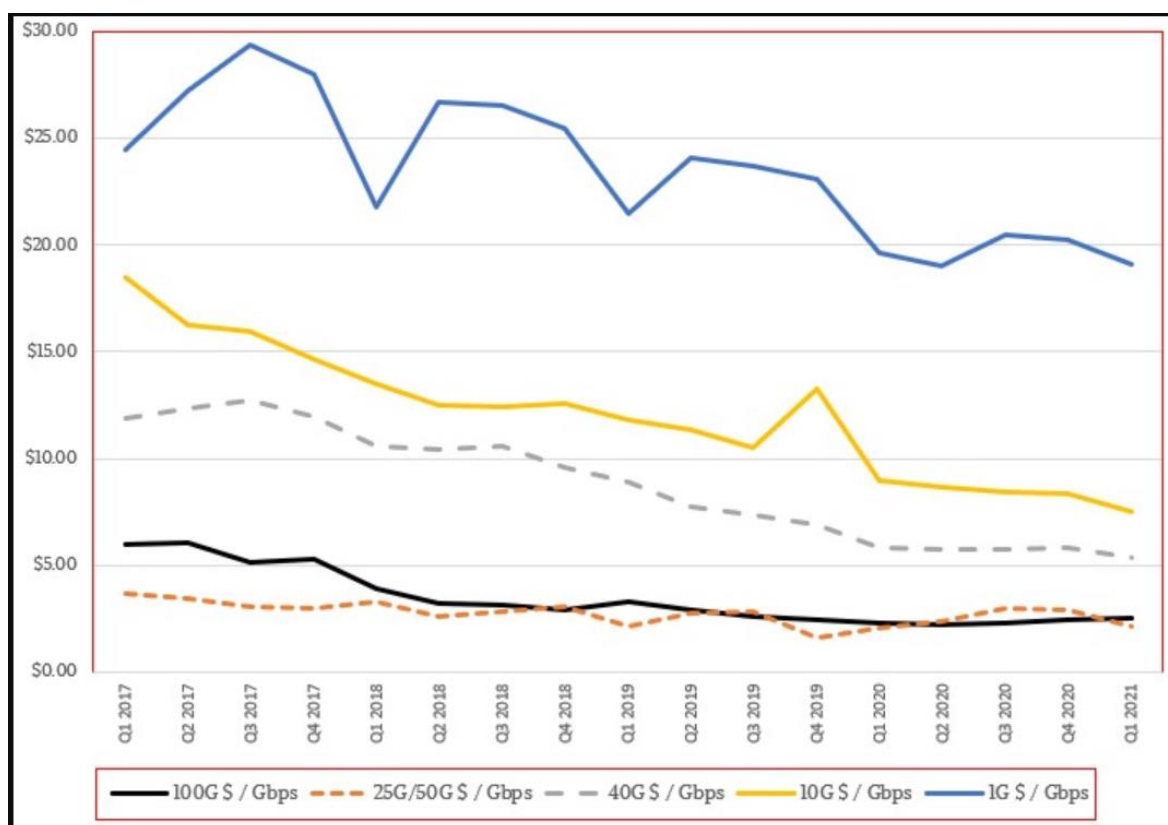
Jak je videt z detailnější studie Evropské komise, tak je zřejmé, že základní trend kopíruje data z USA, nicméně o pár jednotek efektivita zaostává. V USA průměrné PUE v roce

2014 bylo 1,47 kdežto v Evropě 1,86. Lze ovšem předpokládat ze se efektivita bude v průběhu času vyrovnávat.

Evropský kodex chování pro datacentra (EU DC CoC) je dobrovolná iniciativa zřízená Společným výzkumným centrem (JRC) jako reakce na rostoucí spotřebu energie v datacentrech a na následný dopad na životní prostředí, ekonomiku a energetickou bezpečnost. Tato iniciativa motivuje a usměrňuje provozovatele a vlastníky datacenter k efektivnímu snížení spotřeby energie, aniž by byla ohrožena jejich klíčová funkcionalita.

Cílem EU DC CoC je zlepšit pochopení energetických potřeb v rámci datacenter, zvýšit povědomí o této problematice a doporučit osvědčené postupy pro energetickou efektivitu. Tím se snaží dosáhnout významných úspor energie v tomto energeticky náročném sektoru. (Bertoldi, 2008)

3.4.5 Cena za port



Obrázek 7 Vývoj ceny za port (Morgan, August 30, 2021)

Všechny technologie nakonec dosáhnou svého limitu: Tuto skutečnost jasně ukazuje graf nákladů na gigabit za sekundu od prvního čtvrtletí 2017 do prvního čtvrtletí 2021. Nejde tak moc o to, jak rychle technologie postupují (osa X), jako spíše o to, jak vysoké náklady jsou (osa Y). Oba tyto faktory jsou důležité, když velké firmy rozhodují, jaké technologie použít pro spojení svých serverů a datových úložišť. (Morgan, August 30, 2021)

Opačný pohled na ekonomiku skýtá cena za jednotku přenesených dat.

	Q1 2021	Growth		Q1 2021	Growth	Aggregate		
						Capacity		
						Pbits	Avg Cost Per Port	Avg Cost Per Gbit
100G Revenue	\$1,630 M	27.2%	100G Ports	6.5 M	8.6%	647.6	\$252	\$2.52
25G/50G Revenue	\$618 M	28.0%	25G/50G Ports	7.6 M	14.8%	2861	\$81	\$2.16
40G Revenue	\$289 M	-38.0%	40G Ports	14 M	0.0%	54.0	\$214	\$5.35
10G Revenue	\$1,522 M	-0.4%	10G Ports	20.2 M	8.6%	2019	\$75	\$7.54
1G Revenue	\$2,617 M	8.9%	1G Ports	137.0 M	10.2%	137.0	\$19	\$19.10
Total Revenue	\$6,675 M	8.4%	Total Ports	172.6 M	12.8%	1326.6	\$39	\$5.03

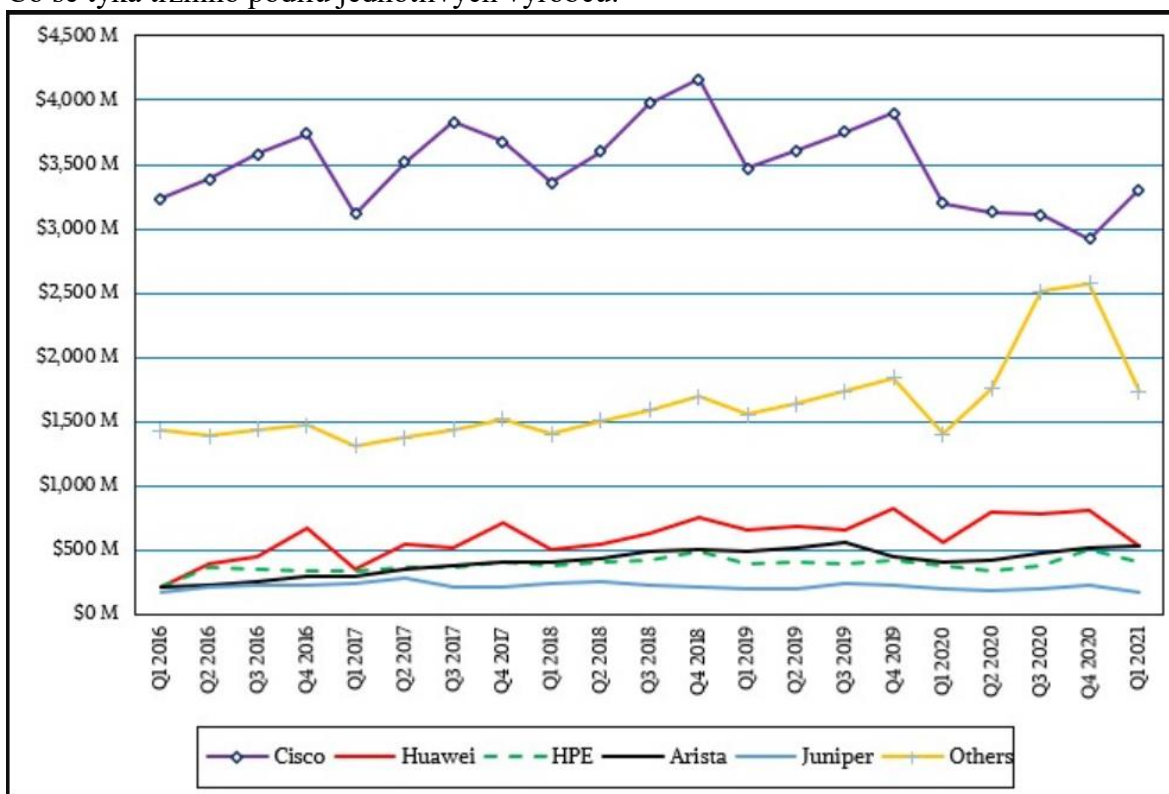
Obrázek 8 Cena za port a Gbit (Morgan, August 30, 2021)

Zde je souhrnná tabulka, která byla vytvořena podle rychlosti portů přepínače za první čtvrtletí 2021. Tabulka ukazuje vzájemné srovnání rychlosti portu, celkového obrátu ze všech prodaných přepínačů s těmito rychlostmi portů, počtu portů, celkové kapacity všech přepínačů prodaných v daném čtvrtletí, průměrného nákladu na port a průměrného nákladu na přenesený Gigabit za sekundu. (Morgan, August 30, 2021)

Pro tuto práci jsou důležité poslední dva sloupce a to průměrná cena za port a průměrná cena za přenesený Gbit.

Jak je z tabulky patrné tak cenově nejefektivnější připojení v současné době je 25/50Gbps následováno 100Gbps. Je vcelku zajímavé že nejvyšší náklad na přenesená data má 1Gbps. Dále začíná být zřejmé, že 10Gbps připojení se stává velmi neefektivní pro použití v datacentrech.

Co se týká tržního podílu jednotlivých výrobců:



Obrázek 9 Tržní podíl (Morgan, August 30, 2021)

Tak je zde vidět naprostá dominace společností Cisco, kde ostatní výrobci společně mají nižší tržní podíl, než společnost Cisco. (Morgan, August 30, 2021)

3.4.6 Ostatní náklady

V rámci celkových kalkulací se počítá ještě s náklady na personál, bezpečnostní schodu, dostupnost a spolehlivost, analytiku a monitorig a podobně (HwAiyu GENG, 2014) nicméně v této práci budu předpokládat že tyto hodnoty jsou řádově stejné pro obě varianty a rozdíly budou vyplývat z počtu zařízení, energetické efektivity, ceny za port a ceny za přenesená data.

3.5 Ethernet a OSI model

3.5.1 Ethernet

Ethernet je standard síťového rozhraní používaný v lokálních počítačových sítích (LAN), který se stal de facto normou pro vytváření fyzických a linkových vrstev počítačových sítí. Byl původně vyvinut firmou Xerox v roce 1973 a následně standardizován organizací IEEE jako IEEE 802.3.

IEEE 802.3 Standard	Rok schválení	Typ Ethernetu
IEEE 802.3	1983	10BASE5 (10 Mbps, koaxiální)
IEEE 802.3a	1985	10BASE2 (10 Mbps, koaxiální)
IEEE 802.3i	1990	10BASE-T (10 Mbps, UTP)
IEEE 802.3u	1995	100BASE-TX (100 Mbps, UTP)
IEEE 802.3z	1998	1000BASE-X (1 Gbps, optický)
IEEE 802.3ab	1999	1000BASE-T (1 Gbps, UTP)
IEEE 802.3ae	2002	10GBASE-X (10 Gbps, optický)
IEEE 802.3an	2006	10GBASE-T (10 Gbps, UTP)
IEEE 802.3ba	2010	40/100GBASE-X (40/100 Gbps)
IEEE 802.3bz	2016	2.5/5GBASE-T (2.5/5 Gbps, UTP)
IEEE 802.3cd	2018	50/100/200GBASE-X (50/100/200 Gbps)
IEEE 802.3ck	2020	100/200/400GBASE-X (100/200/400 Gbps)

Tabulka 4 IEEE Ethernet standards (IEEE Association, n.d.)

Rychlost: Ethernetové sítě mohou pracovat s různými rychlostmi, často 10 Mbps (10BASE-T), 100 Mbps (Fast Ethernet), 1 Gbps (Gigabit Ethernet), 10 Gbps (10 Gigabit Ethernet) až po současných 400 Gbps+.

Ethernet používá protokol na linkové vrstvě k řízení přístupu k médiu, obvykle Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) v tradičních sítích, ale novější verze umožňují plný duplexní provoz bez kolizí.

Ethernetový rámec je základní jednotkou dat v ethernetové síti a obsahuje záhlaví, náklad (payload) a CRC (kontrolní součet). Rámec může obsahovat i VLAN tagy a další metadata.

Ethernetové sítě často používají technologie jako Virtual LAN (VLAN) pro logické oddělení sítí a Spanning Tree Protocol (STP) pro prevenci smyček v síti.

Ethernet je nyní základem mnoha druhů sítí, včetně datových center, podnikových sítí, ale i v některých širších sítích (WAN).

V současné době je standardem v koncových zařízeních, jako jsou notebooky a stolní počítače, síťová karta s rychlostí 1 Gbps, která je zpětně kompatibilní s 100 Mbps. Paralelně k tomu mají mnohé z těchto zařízení také vestavěné bezdrátové adaptéry, obvykle podporující Wi-Fi standardy jako Wi-Fi 5 (802.11ac) nebo Wi-Fi 6 (802.11ax), které umožňují flexibilní připojení bez nutnosti fyzického kabelu. Tato kombinace kabelového a bezdrátového připojení dává uživatelům možnost volby mezi rychlostí a flexibilitou podle aktuálních potřeb.

V kontextu datových center se už ovšem hovoří o vyšších rychlostech. Zde se pro serverové připojení a páteřní rozvody běžně používají linky s rychlostí alespoň 10 Gbps. Modernější a více náročné aplikace a služby, které vyžadují rychlejší přenos dat, si však čím dál více vynucují potřebu ještě rychlejšího připojení. Proto se v novějších datových centrech začínají objevovat 25/50 a dokonce i 100 Gbps připojení.

Zajímavým pozorováním je, že 40 Gbps linky se zdají být jakousi "slepou větví" v evoluci sítě. To může být dáno různými faktory, například náklady na hardware, neefektivnost v použití jak bylo ukázáno v předchozí kapitole. 40 Gbps linky bývají nahrazovány ve prospěch rychlejších a ekonomicky efektivnějšími 25/50/100 Gbps linkami. (IEEE Association, nedatováno)

3.5.2 OSI Model

OSI (Open Systems Interconnection) model byl vyvinut jako teoretický rámec pro pochopení a standardizaci síťových protokolů. Práce na něm začala v roce 1977 pod záštitou Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a model byl publikován v roce 1984.

Sedm vrstev OSI modelu

Fyzická vrstva (Physical Layer): Tato vrstva se zabývá přenosem surových bitových dat přes fyzické médium (např. kabely, prepínače).

Linková vrstva (Data Link Layer): Na této vrstvě jsou data rámována a přenášena mezi síťovými uzly v lokální síti. Zajímá se také o správu chyb na fyzickém spojení.

Síťová vrstva (Network Layer): Zodpovědná za směrování datových paketů mezi různými sítěmi. Protokol IP (Internet Protocol) je tady klíčovým prvkem.

Transportní vrstva (Transport Layer): Zajišťuje spolehlivý přenos dat mezi dvěma uzly na síti. Protokoly jako TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Datagram Protocol) operují na této vrstvě.

Relační vrstva (Session Layer): Spravuje sezení mezi dvěma komunikujícími uzly a řeší otázky, jako je navázání, udržování a ukončení spojení.

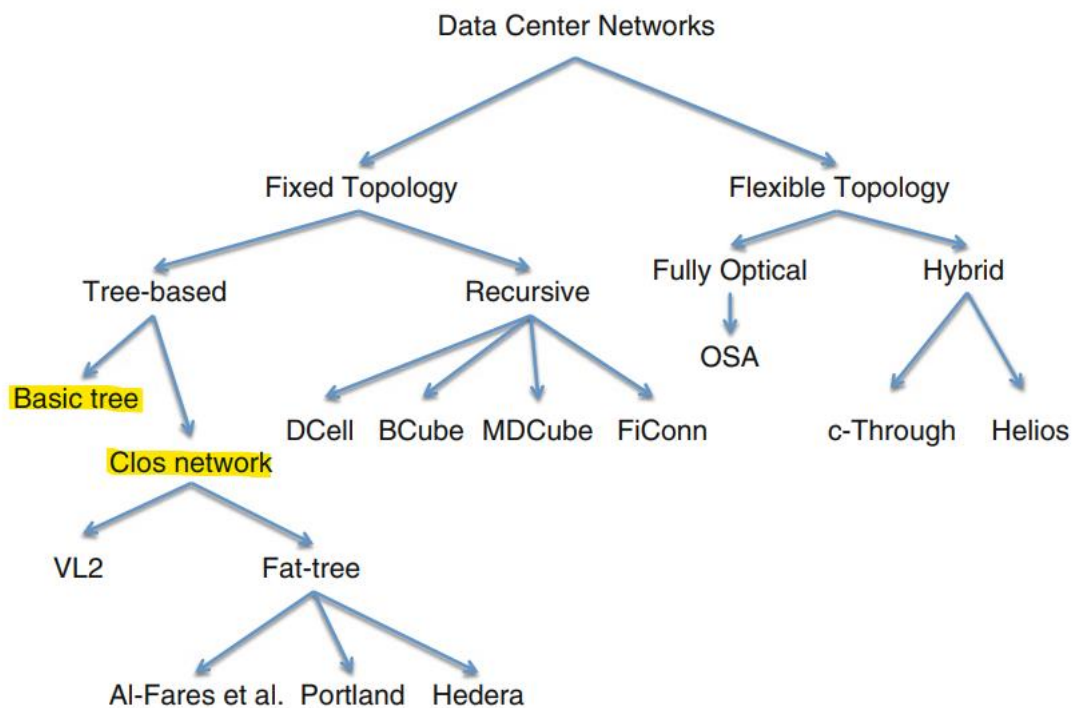
Prezentační vrstva (Presentation Layer): Zodpovědná za převod dat mezi formátem, který rozumí aplikace, a síťovým formátem.

Aplikační vrstva (Application Layer): Tato vrstva poskytuje síťové služby koncovým uživatelům. Protokoly jako HTTP, FTP a SMTP operují na této vrstvě. (ISO/IEC Standardization, 1994)

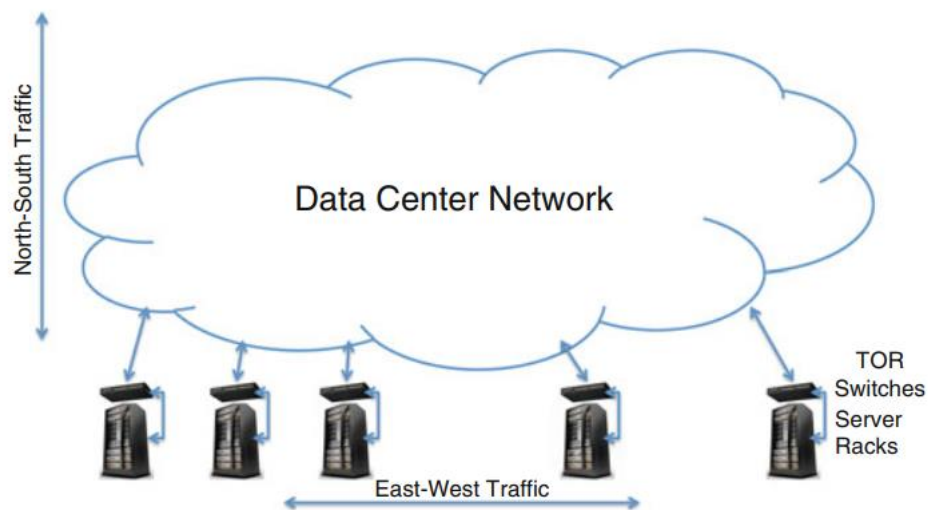
3.6 Síťové topologie (3-tier, Spine-and-Leaf)

Topologie sítě, která propojuje servery, má významný dopad na pružnost a rekonfigurovatelnost infrastruktury datového centra, aby mohla reagovat na měnící se požadavky aplikací a servisních služeb. (Al-Fares, 2008)

Pokud se zaměřím na základní taxonomii sítí v datacentrech:



Obrázek 10 Taxonomie síťových topologií (Liu, 2013)



Obrázek 11 Směry komunikace v datacentru (Liu, 2013)

V podstatě se hledá optimální řešení síťové komunikace v horizontální (North-South) a vertikální rovině (East-West).

North-South komunikace:

Tento termín se používá k popisu provozu, který prochází mezi klientem a serverem napříč různými vrstvami sítě, obvykle od uživatelů na vnější síti k aplikacím a službám uvnitř datového centra. V některých případech tato komunikace může zahrnovat přístup k internetu. Příkladem by mohl být klient, který přistupuje k webovému serveru v datovém centru. Tento typ provozu obvykle prochází firewall, load balancerem, a několika dalšími síťovými prvky před dosažením cílového serveru.

East-West komunikace:

Tento termín označuje provoz, který se pohybuje v rámci datového centra mezi různými servery. Tento typ komunikace je často vysoký v objemu a je kritický pro výkon aplikací a služeb. Příkladem může být komunikace mezi databázovým serverem a aplikačním serverem, kdy oba jsou umístěny ve stejném datovém centru.

Oba tyto typy komunikace mají různé nároky na síťovou infrastrukturu a často vyžadují různé typy síťového hardware a konfigurace. Například, North-South komunikace může vyžadovat pokročilé funkce pro load balancing a zabezpečení, zatímco East-West komunikace vyžaduje vysokou propustnost a nízkou latenci.

Vzhledem ke komplexitě problematiky, jak je uvedeno v nadpisu v této práci se zaměřím pouze na dvě nejčastěji používané stromové síťové topologie. A to na klasickou třívrstvou topologii, která vychází ze základní stromové struktury a spine and leaf topologii, která vychází z neblokovací Closovi topologie. Záměrně vynechám Fat-Tree topologii, která se většinou používá ve speciálních případech jako HPC clustery a je poměrně finančně náročnější.

3.6.1 3-tier

Klasická 3tier síťová architektura (také známá jako hierarchická nebo stromová architektura) vznikla z potřeby organizovat a spravovat složitější a větší sítě v co nejefektivnější a nejrozumnější formě. Tento model byl jedním z prvních pokusů o systematizaci a standardizaci síťového designu.

Dnes se v sítích datových center primárně používají přepínače umístěné na vrcholu racku (ToR - Top of Rack), které jsou propojeny prostřednictvím přepínačů umístěných na konci řady (EoR - End of Row). Tyto pak jsou dále spojeny přes jádrové (core) přepínače. Tento přístup vede k významnému přetížení přenosové kapacity na spojeních v jádru sítě. (Al-Fares, 2008)

Klasická 3-tier (třívrstvová) síťová infrastruktura je model, který je navržen tak, aby od sebe oddělil různé komponenty v síťovém prostředí pro lepší řízení, bezpečnost a výkonnost. Tento model je obvykle rozdělen do tří hlavních vrstev:

1. Přístupová vrstva (Access Layer)

Tato vrstva je prvním bodem kontaktu mezi zařízeními uživatele (počítače, tiskárny, telefony atd.) a síťovou infrastrukturou. V této vrstvě se nacházejí síťové prvky jako jsou přepínače, které zajišťují připojení k LAN. V přístupové vrstvě se obvykle realizuje i prvotní řízení síťového přístupu, například pomocí VLAN, portového zabezpečení, nebo identifikace MAC adres.

2. Distribuční vrstva (Distribution Layer)

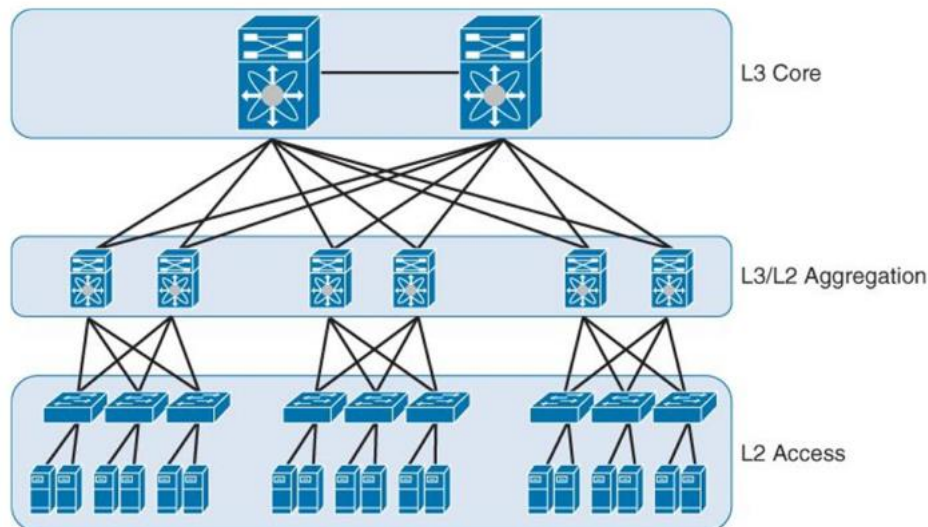
Distribuční vrstva slouží jako spojení mezi přístupovou a jádrovou vrstvou. V této vrstvě se obvykle nacházejí pokročilejší přepínače, které mohou provádět směrování mezi různými VLAN segmenty a podsítě. Tato vrstva také často obsahuje funkce jako filtrování, firewall, nebo pokročilé QoS (Quality of Service) nastavení.

3. Jádrová vrstva (Core Layer)

Jádrová vrstva je místo, kde se nacházejí nejrychlejší a nejvýkonnější síťové prvky. Je navržena tak, aby co nejefektivněji přenášela velké množství dat. V této vrstvě obvykle najdeme prvky jako vysokorychlostní přepínače nebo routery, které jsou spojeny do redundantního uspořádání pro zajištění vysoké dostupnosti a odolnosti proti selhání.

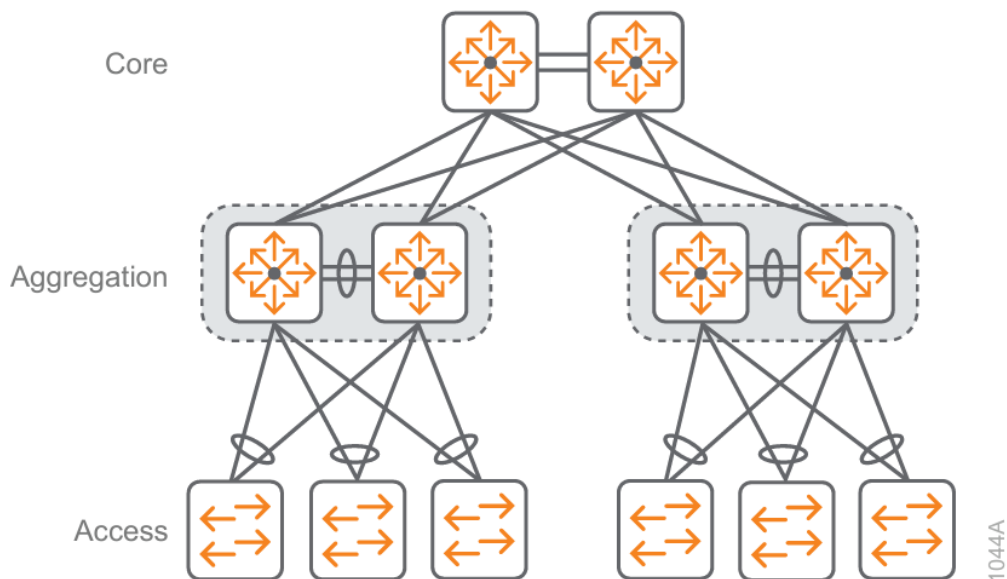
Klasická 3-tier architektura je velmi flexibilní a umožňuje snadnou škálovatelnost. Každá vrstva může být optimalizována pro konkrétní potřeby, čímž je zajištěna vysoká výkonnost a bezpečnost celého systému. (HOODA, 2014)

Typické zapojení dle společností Cisco:



Obrázek 12 Hierarchická topologie Cisco (Cisco, 2023+)

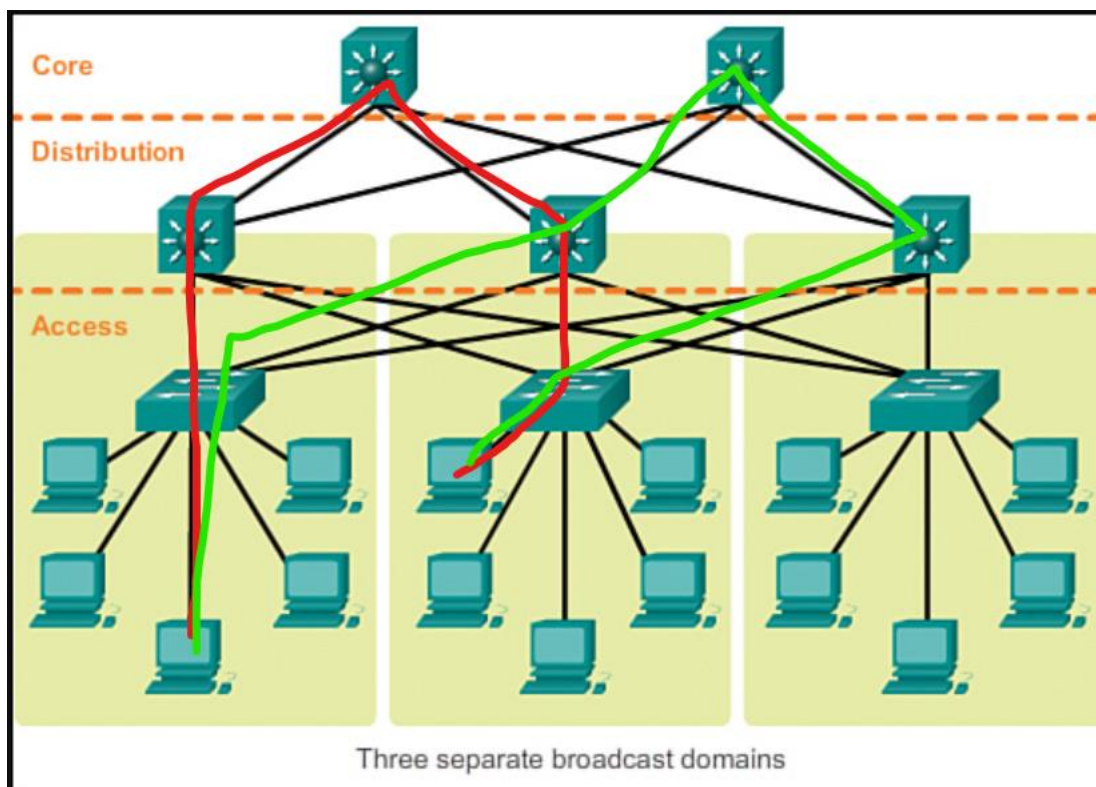
Figure 1 Three-tier campus design



Obrázek 13 hierarchická topologie Aruba (Aruba, January 2022)

V doporučených zapojení jsou vidět rozdíly kde například Cisco nespojuje přepínače v agregační úrovni a Aruba používá LACP propojení mezi úrovněmi pro zvýšení propustnosti.

Poněkud lepší pohled na zapojení, kde jsou oddělené broadcast domény pro jednotlivé skupiny koncových zařízení. Jak je zřejmé z obrázku existuje několik možných cest komunikace mezi koncovými zařízeními. Jako příklad (zelená a červená cesta):



Obrázek 14 Různé délky datových cest s STP (Cisco, 2023+) (Vlastní práce, 2023)

Toto zapojení ke své funkčnosti musí nějakým způsobem jak vybrat tu správnou cestu, ošetřit duplicity cest, tzn. smyčky (network loops) a jak je videt možné cesty nejsou stejně dlouhé => nepředvídatelná a různá doba cesty komunikace mezi koncovými body. Celá infrastruktura je založena na druhé vrstvě OSI modelu, tzn. na linkové vrstvě. Tato vrstva je odpovědná za rámcování, adresaci, linkovou kontrolu, fyzické kódování a správu chyb na fyzickém spojení mezi dvěma síťovými uzly. Ethernet je jedním z nejběžnějších standardů používaných na této vrstvě. Linková vrstva MAC adresy (Media Access Control) pro identifikaci zařízení v síti.

Klíčové věci které se zde řeší:

Rámcování: Ethernetový rámec je základní jednotka datového přenosu v Ethernetové síti. Rámec obsahuje MAC adresy odesílatele a příjemce, VLAN tagy (pokud jsou použity), typ pole (např. IP, ARP, atd.), samotná uživatelská data a kontrolní sekvenci (CRC).

Adresace: Ethernet používá 48bitové MAC adresy pro identifikaci síťových zařízení. Tyto adresy jsou hardwarově zakódovány v síťové kartě, ale mohou být také softwarově nastaveny.

Přepínání: Ethernetové přepínače pracují na L2 a používají MAC adresy k rozhodnutí o tom, jak směřovat rámce mezi porty. Přepínač si udržuje tabulku MAC adres, která spojuje MAC adresy s porty, na kterých byly zjištěny.

VLANs: Virtuální LANy (VLANs) umožňují logické segmentování sítě na L2 úrovni. Každá VLAN má svůj vlastní adresový prostor a doménu pro vysílání (broadcast). (Cisco, 2023+)

Spanning Tree Protocol (STP): Tento protokol prevence smyček v sítích s fyzickými smyčkami. Smyčky způsobují nekonečné vysílání => zahlcení sítě. Více o STP protokolu v další kapitole.

Některé moderní Ethernetové přepínače umožňují nastavit pravidla priorit na L2 úrovni, pro stanovení priorit určitého typu provozu (např. VoIP nebo video) pomocí CoS.

Link Aggregation: Tato funkce umožňuje spojit více fyzických Ethernetových linek do jedné logické linky, pro zvýšení propustnosti a redundanci.

Zabezpečení: Funkce jako portová zabezpečení, MAC filtrování a další lze konfigurovat na L2 vrstvě.

Typický Ethernetový rámec:

MAC adresa cíle	MAC adresa zdroje	802.1Q Tag	EtherType	Data/Payload	STP	CRC/FCS
6 bajtů	6 bajtů	4 bajty	2 bajty	46-1500 bajtů (9000 pro jumbo frame)	Variabilní	4 bajty

Tabulka 5 Ethernetový rámec (Cisco, 2023+)

MAC adresa cíle (6 bajtů): Stejně jako v základním rámci.

MAC adresa zdroje (6 bajtů): Stejně jako v základním rámci.

802.1Q Tag (4 bajty): Toto pole obsahuje informace o VLAN (Virtual Local Area Network). První 16 bitů je EtherType pro VLAN tag (0x8100), a následující 16 bitů obsahuje samotný VLAN identifikátor (ID).

EtherType (2 bajty): Identifikátor protokolu užitečného zatížení.

Data/Payload (46-1500 bajtů/9000 jumbo frame): Užitečná data.

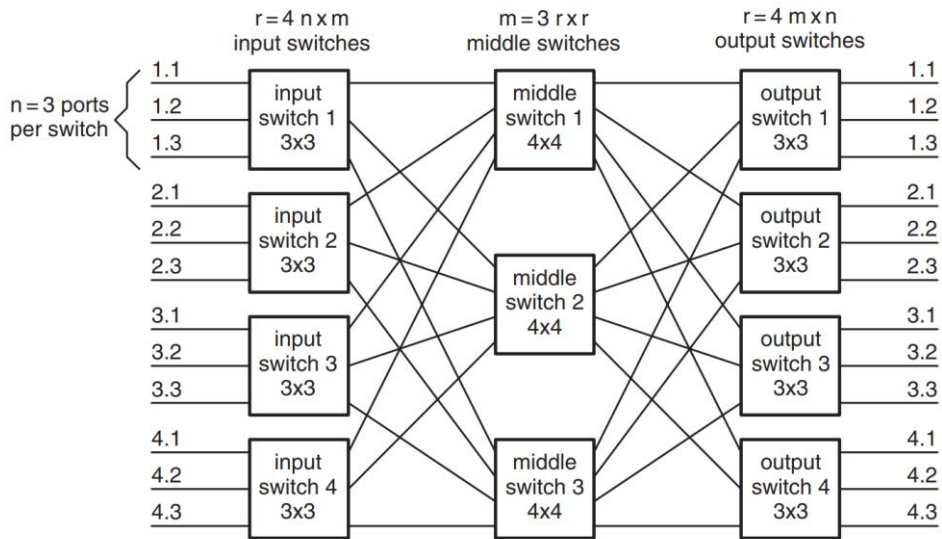
STP (Variabilní): Pokud je aktivován Spanning Tree Protocol, pak by toto pole obsahovalo informace potřebné pro detekci a prevenci smyček v síti.

CRC/FCS (4 bajty): Kontrolní součet. (Cisco, 2023+)

3.6.2 Spine and leaf

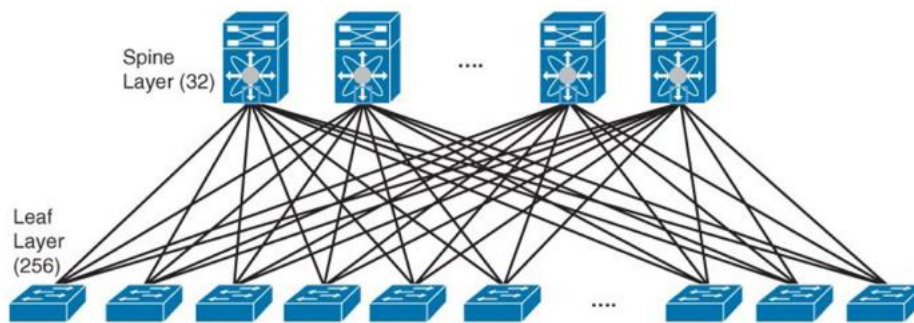
Tato topologie vychází z zjednodušení a aplikaci originální topologie vymyšlené Charlesem Closem. Clos publikoval své práce v roce 1953, jako zaměstnanec společnosti Bell Labs. Jeho přepojovací architektura byla původně navržena pro telefonní ústředny, ale v dnešní době nachází široké uplatnění v mnoha dalších oblastech, zejména v designu moderních datových center.

Původní symetrický model:



Obrázek 15 Původní symetrická Closova síť (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003)

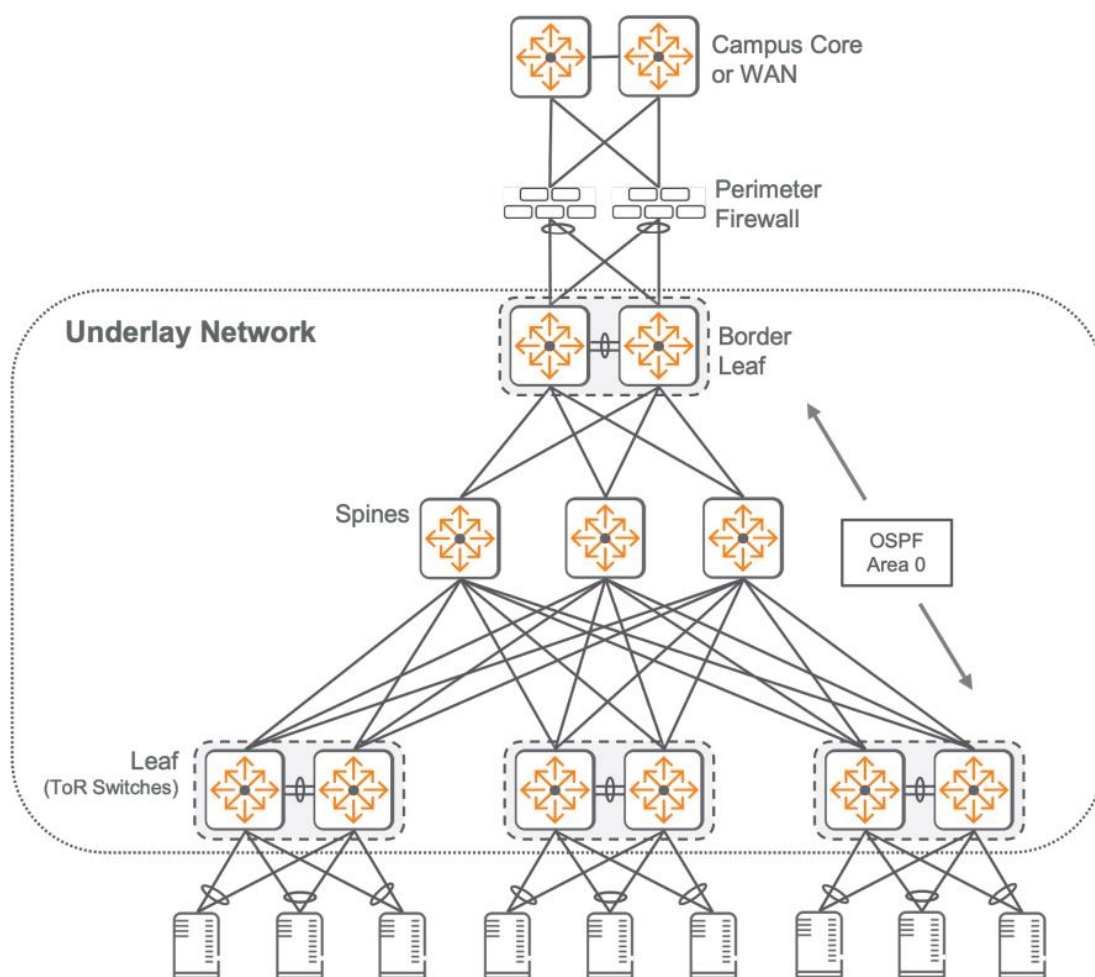
Původní Closova síť obsahuje vstupní a výstupní přepínače a prostřední se starají o neblokovací konektivitu mezi všemi koncovými body. (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003)



Obrázek 16 Cisco Spine and Leaf (Cisco, 2023+)

(HOODA, 2014)

Jak je zřejmé z obrázku, tak tato topologie obsahuje pouze dvě vrstvy a každý leaf přepínač je propojen s každým spine přepínačem a jednotlivé leaf nebo spine přepínače nemají žádné propojení mezi sebou. To znamená, že komunikace mezi koncovými zařízeními zapojenými mezi různými leaf přepínači prochází konkrétním leaf přepínačem a všemi spine přepínače a končí prostřednictvím dalšího leaf přepínače v druhém koncovém zařízení bez blokace nebo vytvoření smyčky. Vzhledem k nemožnosti L2 protokolů poskytnout mimo jiné nějaký způsob rozložení zátěže, tak komunikace mezi leaf a spine probíhá na L3, kde se používají směrovací protokoly s rozkládáním zátěže, typicky OSPF (Open Shortest Path First) s ECMP (Equal-Cost Multi-Path), který se postará o rozložení zátěže mezi jednotlivá spojení. (Cisco, 2023+)



Obrázek 17 Aruba Spine and Leaf (Aruba, January 2022)

Síť je založena na topologii "spine-and-leaf" postavené na 3-stupňovém Clos modelu. Je implementována jako směrovaná síť na vrstvě 3, přičemž každý "leaf" (listový) přepínač je připojen k každému "spine" (páteřnímu) přepínači pouze prostřednictvím směrovaného portu. Tato topologie "spine-and-leaf" optimalizuje výkon, zajišťuje vysokou dostupnost a snižuje latenci, protože každý listový přepínač je od všech ostatních listových přepínačů vzdálen nikdy více než o jeden skok přes více vyvážených tras.

Topologie "spine-and-leaf" poskytuje flexibilní a škálovatelný návrh sítě, který lze rozšířit bez narušení stávající sítě. Je jednoduché začít s malou konfigurací z jednoho nebo dvou racků, kterou lze rozšířit bez nutnosti výměny stávajícího hardwaru. K novým rackům se přidávají listové přepínače, aby se zvýšila výpočetní kapacita a kapacita síťově připojeného úložiště (NAS). Páteřní přepínače se přidávají pro zvýšení kapacity východ-západ mezi listovými přepínači. (TME, 02-Nov-22)

3.7 Klíčové protokoly IEEE 802.1Q, VxLAN, STP a další + TCP/IP

3.7.1 IEEE 802.1Q

Standard IEEE 802.1Q je klíčovým prvkem v oblasti rámcování a protokolů VLAN (Virtual Local Area Network) v Ethernetových sítích. Jeho hlavní funkcí je umožnit více logicky oddělených sítí fungovat na jednom fyzickém médium. To se děje prostřednictvím takzvaných 'tagů', které jsou přidány do Ethernetových rámců. Konkrétně, standard rozšiřuje základní Ethernetový rámec o čtyřbajtový 802.1Q tag. Tento tag je umístěn mezi MAC adresou příjemce a polem EtherType/Length, kde je možnost různého nastavení, včetně prioritizace a izolace provozu.

Tag obsahuje několik klíčových polí: první z nich je 12bitový VLAN Identifier (VLAN ID), který jasně identifikuje, ke které VLAN síti daný rámec patří. Další pole, Priority Code Point (PCP), je tříbitový identifikátor, který umožňuje nastavit různé úrovně priority pro Ethernetové rámce. To je velmi užitečné ve scénářích, kde je nutná diferenciací služeb, často označovaná jako 'CoS' (Class of Service). Existuje také jednobitové pole zvané Canonical Format Indicator (CFI), které je v Ethernetových sítích obvykle nastaveno na 0.

Některá zařízení podporují techniku zvanou 'VLAN Stacking' nebo 'double tagging', pro implementaci více úrovní VLAN na jednom fyzickém médium. To je zvláště výhodné ve velkých a komplexních síťových topologiích. Standard 802.1Q také definuje dva základní typy portů na síťových přepínačích: Access porty a Trunk porty. Access porty jsou konfigurovány k přenosu jediné VLAN a jsou obvykle používány pro konektivitu s koncovými stanicemi jako jsou počítače nebo tiskárny. Na druhé straně, Trunk porty jsou určeny k přenosu více VLAN mezi různými síťovými zařízeními, jako jsou přepínače a směrovače.

Na trunk portech může být jedna VLAN označena jako 'native'. Rámce patřící k této native VLAN nejsou tagovány, pro kompatibilitu s zařízeními, která nemusí podporovat standard 802.1Q. Tento přístup se často používá pro správu sítě nebo jako záložní komunikační kanál. Na závěr je důležité poznamenat, že standard 802.1Q podporuje inter-VLAN směrování. Toto umožňuje, že VLAN, které jsou normálně izolované a nekomunikují mezi sebou, mohou komunikovat prostřednictvím směrovače nebo vícevrstvého přepínače s funkcí inter-VLAN směrování. (IEEE Association, nedatováno)

Příklady konfigurace s nastavením VLAN 100 například pro oddělení účetnictví. Příkazy jsou žádány do konzole přepínače buď pomocí sériového připojení nebo IP management a SSH terminálu.

Cisco iOS

```
# přístup do konfiguračního modu
enable
configure terminal
#definice VLAN a názvu
vlan 100
name Accounting
```

```
# nastavení VLAN pro dané porty přepínače
interface range GigabitEthernet0/1 - 24
switchport mode access
switchport access vlan 100
# uložení konfigurace
write memory
# kontrola
show vlan brief
```

Cisco Nexus

```
# přístup do konfiguračního modu
config terminal
#definice VLAN a názvu
vlan 100
name Accounting
# nastavení VLAN pro dané porty přepínače
interface range Ethernet1/1 - Ethernet1/24
switchport
switchport mode access
switchport access vlan 100
# uložení konfigurace
copy running-config startup-config
# kontrola
show vlan brief
```

Aruba (OS-Switch)

```
# přístup do konfiguračního modu
enable
configure terminal
#definice VLAN a názvu
vlan 100
name Accounting
# nastavení VLAN pro dané porty přepínače
interface range GigabitEthernet 1/0/1 - 1/0/24
switchport access vlan 100
# uložení konfigurace
write memory
show vlan
```

Aruba (OS-CX)

```
# Přístup do konfiguračního módu
enable
configure terminal
# Definice VLAN a názvu
vlan 100
name "Accounting"
```



```

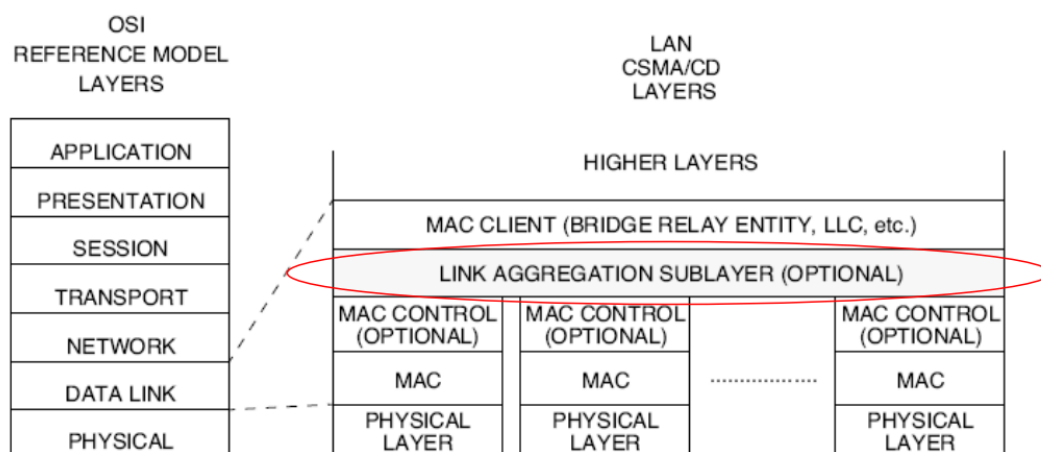
no shutdown
# Nastavení VLAN pro dané porty přepínače
interface 1/1/1-1/1/24
  untagged vlan 100
# Uložení konfigurace
write memory
# kontrola
show vlan

```

Jak je videt CLI notace je velmi podobná. (Cisco, 2023+) (HPE, 2023+) (Aruba, January 2022)

3.7.2 IEEE 802.3ad

IEEE 802.3ad, známý jako Link Aggregation Control Protocol (LACP), je standardem, který se zabývá sdružením několika fyzických Ethernetových portů do jednoho logického spojení. Tím se zvyšuje dostupná šířka pásma a poskytuje redundance v případě selhání jednoho z fyzických portů. Tento standard je částí většího rámce IEEE 802.1AX-2008, který obecně zahrnuje Link Aggregation.



Obrázek 18 Pozice LACP v OSI modelu (Howard Frazier – Broadcom, 17-April-2007)

Struktura: LACP umožňuje automatické začlenění a odstranění linky z agregovaného svazku. LACP používá terminologii "aktér" a "partner" pro identifikaci dvou koncových bodů linky.

Frame Forwarding: Logická linka zajišťuje přenos rámce na základě hashovací funkce, která může zahrnovat zdrojové a cílové MAC adresy, porty a další.

Port Identification: Každý port v agregovaném svazku je jednoznačně identifikován systémovým prioritním číslem a MAC adresou, pro flexibilní a dynamickou konfiguraci.

Bridge Aggregation: V některých konfiguracích, zejména v zařízeních od firmy HPE, se LACP někdy označuje jako "Bridge Aggregation". Tento termín je v podstatě ekvivalentním termínem pro LACP a odkazuje na to, že agregace probíhá na úrovni mostu (bridge). (Howard Frazier – Broadcom, 17-April-2007)

Srovnání konfigurace LACP (Link Aggregation Control Protocol) na různých typech přepínačů. Předpokládáme, že chceme agregovat porty 1/0/1 až 1/0/4 na každém přepínači.

Cisco IOS

```
conf t
interface range GigabitEthernet1/0/1 - 1/0/4
  channel-group 1 mode active
  switchport mode trunk
end
```

Cisco Nexus

```
conf t
interface Ethernet1/1 - 1/4
  channel-group 1 mode active
  switchport mode trunk
end
```

Aruba (OS-Switch)

```
conf t
trunk 1 trk1 lacp
interface 1/1 - 1/4
  lacp group 1 mode active
end
```

Aruba (OS-CX)

```
enable
conf t
interface lag 1
  no shutdown
  lacp mode active
  lacp timeout long
interface 1/1/1-1/1/4
  lag 1
  no shutdown
end
```

(Cisco, 2023+) (HPE, 2023+) (Aruba, January 2022)

3.7.3 VxLAN

VxLAN (Virtual Extensible LAN) je síťová technologie, která rozšiřuje možnosti VLAN (Virtual Local Area Network) a umožňuje vytvářet izolované síťové segmenty v rozsáhlých datových centrech. Ačkoliv VxLAN nemá přímo standard IEEE, je to IETF

standard (Internet Engineering Task Force) definovaný v dokumentu RFC 7348. Tato technologie byla vyvinuta zejména jako odpověď na omezení klasických VLAN v moderních datových centrech, které potřebují flexibilní a škálovatelné síťové architektury.

VxLAN funguje na základě zapouzdření (encapsulation) původních Ethernetových rámců do UDP (User Datagram Protocol) paketů. To znamená, že každý rámec je "obalen" dalšími hlavičkami a přenášen přes existující L3 (síťovou vrstvu) infrastrukturu. To umožňuje vytvářet logické sítě, které mohou být rozprostřeny napříč různými fyzickými lokalitami.

Jedním z klíčových rozdílů mezi VxLAN a klasickými VLAN je velikost identifikátoru. Zatímco VLAN používá 12bitové identifikátory (VLAN ID), kde velké omezení je počet možných VLAN na 4096, VxLAN používá 24bitové identifikátory (VxLAN Network Identifier, VNI) a teoreticky umožňuje až 16 milionů izolovaných síťových segmentů.

VxLAN také podporuje moderní síťové funkce, jako jsou multitenancy, schopnost izolovat provoz mezi různými klienty nebo odděleními v rámci jednoho fyzického datového centra. To je často kritické v prostředích s vysokou hustotou a virtualizací.

Výhody VxLAN zahrnují:

Vyšší škálovatelnost: Možnost definovat více logických síťových segmentů.

Flexibilita: Možnost rozptřeni sítí přes různé fyzické lokalizace.

Podpora pro moderní síťové funkce: Včetně možnosti izolovat a segmentovat provoz v multitenantových prostředích.

VxLAN, stejně jako VLAN, může být konfigurován s různými úrovněmi priority a Quality of Service (QoS) nastaveními, klíčová funkce pro optimalizaci výkonu datových center s různými druhy aplikací a služeb.

Tento protokol je široce podporován mnoha výrobci síťového hardwaru a softwaru, a je považován za de facto standard v moderních, velkých datových centrech.

Vrstva	Hlavička/Segment	Popis
Aplikační	Data	Aplikační data získaná z uživatelských programů
Transportní	TCP/UDP segment	TCP nebo UDP segment, který nese aplikační data
Síťová	IP paket	IP hlavička přidaná k transportnímu segmentu
Linková	Ethernet rámec	Ethernetová hlavička + IP paket + CRC
VxLAN	VxLAN hlavička	8-bajtová hlavička s VxLAN Network Identifier (VNI)
UDP	UDP hlavička	User Datagram Protocol
Outer IP	Outer IP hlavička	IP hlavička pro tunelovaný paket
Outer MAC	Outer Ethernetová hlavička	Ethernetová hlavička pro tunelovaný paket

Tabulka 6 Zapouzdření pomocí VxLAN (IEEE Association, nedatováno)

V této tabulce "Outer MAC" a "Outer IP" se odkazují na hlavičky, které jsou přidány během procesu enkapsulace, a které umožňují VxLAN paketu cestovat přes existující L3 síť. VxLAN hlavička je 8-bajtová struktura, která obsahuje VxLAN Network Identifier (VNI), 24bitový identifikátor používaný k rozlišení logických síťových segmentů. (M. Mahalingam, August 2014)

Příklady konfigurace pro VLAN 100 mapovaná na VNI 10000, nezbytná konfigurace OSPF protože VxLAN je L3 protokol

Cisco Nexus

```
conf t
feature nv overlay
feature ospf
feature vn-segment-vlan-based
interface loopback0
  ip address 192.168.1.1/32
interface nve1
  no shutdown
  source-interface loopback0
  member vni 10000
vlan 100
vn-segment 10000
router ospf 1
  router-id 192.168.1.1
  passive-interface default
  no passive-interface nve1
interface Ethernet1/1 - 1/4
  switchport mode trunk
  switchport trunk allowed vlan 100
interface vlan100
  nve vni 10000
  ip ospf 1 area 0.0.0.0
end
```

Aruba (OS-CX)

```
! Povolení VxLAN a OSPF
vxlan-enable
router ospf
```

```
! Nastavení Loopback rozhraní
interface loopback 0
ip address 192.168.1.1/32
```

```
! Nastavení OSPF
router ospf
router-id 192.168.1.1
network 192.168.1.1 0.0.0.0 area 0
```

```
! Nastavení VxLAN
interface Vxlan1
source-interface loopback 0
vxlan vlan 100 vni 10000
```

```
! Nastavení portů
interface 1/1/1 to 1/1/4
no shutdown
switchport mode trunk
switchport trunk allowed vlan 100
```

(Cisco, 2023+) (HPE, 2023+) (Aruba, January 2022)

3.7.4 STP (Spanning Tree Protocol)

„I think that I shall never see
A graph more lovely than a tree.
A tree whose crucial property
Is loop-free connectivity.
A tree which must be sure to span
So packets can reach every LAN.
First the Root must be selected
By ID it is elected.
Least cost paths from Root are traced
In the tree these paths are placed.
A mesh is made by folks like me.
Then bridges find a spanning tree.“

Radia Perlman

V roce 1985 Radia Perlman pracovala pro společnost Digital Equipment Corporation (DEC), tak vytvořila STP protkol. Spanning Tree Protocol (STP) byl navržen k řešení problému smyček v Ethernetových sítích na vrstvě L2 (Link Layer). V sítích L2 smyčky vytvářejí problémy, jako je nekonečný tok broadcastových rámců vedoucí k přetížení sítě a následně k jejímu selhání.

V protokolech vrstvy L3, jako je IP, existují mechanismy pro kontrolu smyček, jako například TTL (Time to Live), který omezuje počet skoků, které paket může udělat po síti. Na L2 tedy linkové vrstvě moc možností původně neexistuje.

STP byl původně standardizován jako IEEE 802.1D.

Hlavní funkce STP:

Určení kořenového mostu (Root Bridge): V síti se volí jeden most jako kořenový most. Výběr je založen na několika faktorech, jako je MAC adresa a priorita mostu.

Výpočet nejkratší cesty k kořenovému mostu: Každý most a každý port v síti vypočítává svou cestu k kořenovému mostu na základě ceny cesty.

Blokování redundantních cest: Aby se zabránilo smyčkám, STP blokuje porty, které neposkytují nejkratší cestu k kořenovému mostu.

Přepínání stavů portu: Porty v STP procházejí různými stavy (Blocking, Listening, Learning, Forwarding) během dosažení stabilní topologie.

Rekonfigurace po změně topologie: Pokud dojde k výpadku linky nebo přidání nového mostu, STP automaticky přepočítá strom a aktualizuje stavy portů, aby se zachovala smyčková volná topologie. (Perlman, (September 14, 1999))

Pomocí STP mohou přepínače dynamicky zjišťovat smyčky a zakázat redundantní linky, dokud nebudou potřeba (např. v případě výpadku). V rámci STP prochází porty několika stavy:

Blocking: Port je v neaktivním stavu a nepřesměrovává rámce.

Listening: Port je v procesu zapojení do STP a poslouchá BPDU (Bridge Protocol Data Units).

Learning: Port je připraven přidat MAC adresy do své MAC adresové tabulky, ale stále nepřesměrovává rámce.

Forwarding: Port je plně funkční a přesměrovává rámce.

Disabled: Port je manuálně zakázán.

Celý proces od detekce smyčky po přechod do stavu Forwarding trvá až 50 sekund (20 sekund ve stavu Listening a 30 sekund ve stavu Learning). (Perlman, (September 14, 1999))

Protokol je definován v IEEE 802.1D

Rozšíření a modifikace:

Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

RSTP je vylepšení klasického STP, které značně zrychluje čas konvergence. V RSTP existují jen tři stavy: Discarding, Learning a Forwarding. Zde je čas na konvergenci v řádu několika sekund. Použití je vhodnější pro dynamické sítě. Definován v IEEE 802.1w (IEEE Association, nedatováno)

Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)

MSTP je další vývojová varianta STP, která umožňuje více STP instancí. Tím pádem je možné mít jednu STP instanci (a tedy jeden kořenový most) pro několik VLANů. Toto je velmi užitečné v komplexních sítích s mnoha VLANy, kde by jedna STP instance nebyla efektivní.

MSTP také nabízí většinu výhod RSTP, jako je rychlá konvergence. Definován v IEEE 802.1s. MSTP (IEEE Association, nedatováno)

PVST+ (Per-VLAN Spanning Tree Plus) je Cisco rozšíření, které provozuje jednu instanci STP pro každou VLAN. Každá instance STP může mít svůj vlastní kořenový přepínač, pro pokročilou a granulární kontrolu nad chováním síťové topologie.

PVST+ umožňuje konfiguraci kořenového mostu na VLAN-bázi. Tato vlastnost je výhodná v sítích s více VLANy. To vám umožní optimalizovat datové toky pro různé VLANy, minimalizovat čas konvergence a snížit zátěž na jednotlivých přepínačích.

V sítích, kde se používá PVST+, je možné například konfigurovat oddělené kořenové mosty pro hlasovou a datovou komunikaci, pro zlepšení celkové výkonnosti a spolehlivosti sítě. (Cisco, 2023+)

Tento protokol je specifický pro Cisco přepínače a není obecně podporován na zařízeních od jiných výrobců.

3.7.5 VRRP

VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) je protokol navržený tak, aby poskytl vysokou dostupnost v síťových topologiích, eliminováním jednoho bodu selhání na úrovni směrovačů nebo přepínačů. Konkrétně, VRRP umožňuje, aby více fyzických zařízení pracovalo společně a poskytovalo spojení pod jednou virtuální IP adresou. V případě selhání jednoho zařízení tuto roli převezme jiný člen VRRP skupiny, pro zajištění nepřetržité konektivity.

V typické konfiguraci VRRP:

Dva nebo více směrovačů nebo přepínačů (nody), které jsou propojeny s jednou síťovou segmentací.

Jeden z těchto nodů je zvolen jako "Master", zatímco ostatní jsou "Backup". Master je odpovědný za směrování datového provozu, který přichází na virtuální IP adresu.

Všechny nody ve skupině sledují dostupnost Master nodu. Pokud Master selže, jeden z Backup nodů je povýšen na Master a převezme směrování provozu. Tento proces je obvykle rychlý, často trvající jen několik sekund.

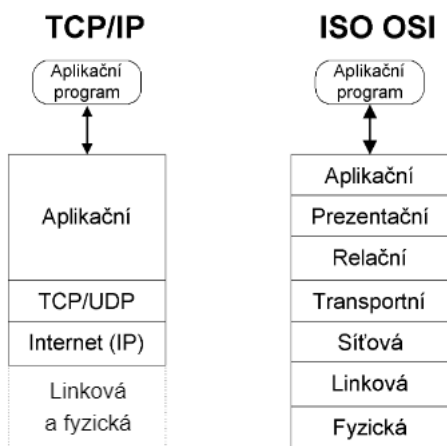
Konfigurace VRRP zahrnuje definování priority pro každý node, pro určení, který Backup node bude povýšen na Master v případě selhání.

VRRP verze 2, je definována v RFC 3768, a VRRP verze 3, je definována v RFC 5798. (R. Hinden, April 2004) (S. Nadas, March 2010)

3.7.6 TCP/IP

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) je rodina komunikačních protokolů používaná v počítačových sítích. Je to základní protokolová sada internetu a byla vyvinuta jako část projektu ARPANET v 70. letech. TCP/IP je nejznámější rodinou protokolů a má řadu verzí, ale nejběžnější jsou IPv4 a IPv6. Tyto protokoly definují, jak

mají být data formátována, adresována, přepravována a směrována v síťových komunikacích.



Obrázek 19 TCP/IP a OSI model (Libor Dostálek, 2000)

3.7.6.1 Verze 4

Protokol verze 4 byl specifikován RFC-760 v lednu 1980, tato specifikace byla v září 1981 nahrazena RFC-791

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) verze 4 je souborem protokolů, které jsou základem internetu a mnoha privátních sítí. Je to čtvrtá verze protokolového souboru a je někdy označována jako IPv4 (Internet Protocol version 4). Zde je několik klíčových aspektů:

Adresování:

IPv4 používá 32bitové adresování s teoretickým maximem cca 4,3 miliardy jedinečných adres.

Přidělení Adres:

Adresy se přidělují pomocí DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) nebo staticky.

Fragmentace:

V IPv4 je fragmentace možná jak na zdroji, tak v průběhu přenosu dat přes směrovače.

Routing:

Pro směrování se obvykle používá protokol OSPF (Open Shortest Path First) nebo RIP (Routing Information Protocol) na vnitřních sítích a BGP (Border Gateway Protocol) pro směrování mezi různými autonomními systémy na internetu.

Podpora QoS:

Podpora pro Quality of Service (QoS) existuje, ale není tak robustní jako v IPv6.

NAT (Network Address Translation):

IPv4 často vyžaduje NAT pro sdílení omezeného počtu veřejně dostupných adres mezi více zařízeními v soukromé síti.

Bezpečnost:

IPv4 byl navržen bez zřetele na bezpečnost. Tato skutečnost vedla k vytvoření doplňkových bezpečnostních standardů a protokolů, např. IPSec. (Libor Dostálek, 2000)

3.7.6.1.1 Verze 6

IP-protokol verze 6 byl v prosinci 1995 specifikován RFC-1883.

IPv6 je následující generací internetového protokolu, navržená tak, aby řešila různé problémy a omezení spojená s používáním staršího IPv4. Některé z klíčových vlastností a výhod IPv6 oproti IPv4 zahrnují větší adresní prostor, zjednodušené zpracování paketů, lepší směrování, a vestavěnou podporu pro bezpečnost.

Větší adresní prostor

Jednou z nejvýraznějších výhod IPv6 je jeho rozšířený adresní prostor. IPv6 používá 128bitové adresy, kde teoreticky poskytuje až 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 jedinečných adres. To je obrovský skok oproti 32bitovým adresám používaným v IPv4, a dává nám prakticky neomezené množství adres pro budoucí použití.

Zjednodušené zpracování paketů

IPv6 byl navržen tak, aby zjednodušil zpracování paketů. Na rozdíl od IPv4, IPv6 snižuje nároky na zpracování hlaviček, díky čemuž je rychlejší a efektivnější. To zahrnuje například vypuštění některých polí z hlavičky, které byly považovány za zastaralé nebo nepotřebné.

Lepší směrování

IPv6 poskytuje vylepšené směrovací mechanismy, včetně schopnosti vytvářet hierarchické a více efektivní směrovací tabulky. To zlepšuje celkovou efektivitu a škálovatelnost sítě.

Vestavěná bezpečnost

Bezpečnost byla jedním z hlavních faktorů bráněných v úvahu při návrhu IPv6. Protokol má vestavěnou podporu pro některé bezpečnostní funkce, jako jsou IPsec (Internet Protocol Security) a lepší autentizační metody.

Zlepšená podpora pro mobilní a IoT zařízení

IPv6 má lepší podporu pro mobilní a IoT (Internet věcí) zařízení. Díky většímu adresnímu prostoru a lepším směrovacím mechanismům je jednodušší integrovat a spravovat tato zařízení v sítích. (Libor Dostálek, 2000)

3.7.7 OSPF

OSPF (Open Shortest Path First), který je jedním z běžně používaných směrovacích protokolů v IP sítích. OSPF je protokol ze standardů IETF (Internet Engineering Task Force) a je klasifikován jako protokol směrovacího protokolu vnitra (Interior Gateway Protocol, IGP).

OSPF Version 2: RFC 2328 pro IPv4

OSPF Version 3: RFC 5340 a rozšíření pro IPv6

Dynamické Směrování: OSPF automaticky aktualizuje směrovací tabulku, pokud dojde ke změně v topologii.

Stavový (Link-State): OSPF je stavový směrovací protokol, každý směrovač udržuje stavovou databázi odkazů (link-state database), která obsahuje informace o topologii sítě.

Výkonnost: OSPF je navržen tak, aby poskytoval rychlou konvergenci a efektivní využití šířky pásma.

Obecně použitelný: Je vhodný pro velké i malé sítě a je zvláště dobrý v rozsáhlých a komplexních topologiích.

Nákladové Metriky: OSPF používá metriku založenou na rychlosti, tzv. "cost," pro výběr nejkratší cesty.

Podpora pro různé sítě: OSPF umožňuje použití různých druhů sítí, jako jsou point-to-point, non-broadcast multi-access (NBMA), atd.

Hierarchické Směrování: V OSPF lze vytvářet oblasti (areas) pro efektivnější směrování, pro zvýšení škálovatelnosti.

Otevřený Standard: Jedná se o protokol s otevřeným standardem.

Bezpečnost: OSPF umožňuje autentizaci mezi směrovači, pro zvýšení bezpečnosti sítě.

Příklady konfigurace OSPF pro Cisco Nexus a Aruba CX switch. Oba příklady předpokládají loopback rozhraní s IP adresou 192.168.1.1/32 a OSPF na rozhraních 1-4, včetně ECPM pro 4 cesty.

Cisco Nexus:

```
! Nastavení loopback rozhraní
interface loopback0
  ip address 192.168.1.1/32
```

```
! Aktivace OSPF na fyzických rozhraních
interface Ethernet1/1
  ip router ospf 1 area 0
interface Ethernet1/2
  ip router ospf 1 area 0
interface Ethernet1/3
  ip router ospf 1 area 0
interface Ethernet1/4
  ip router ospf 1 area 0
```

```
! Nastavení OSPF
router ospf 1
  router-id 192.168.1.1
  maximum-paths 4
```

Aruba CX:

```
! Nastavení loopback rozhraní
interface loopback 0
  ip address 192.168.1.1/32
```

! Aktivace OSPF na fyzických rozhraních

```
interface 1/1/1
 ip ospf 1 area 0.0.0.0
interface 1/1/2
 ip ospf 1 area 0.0.0.0
interface 1/1/3
 ip ospf 1 area 0.0.0.0
interface 1/1/4
 ip ospf 1 area 0.0.0.0
```

! Nastavení OSPF

```
router ospf 1
 router-id 192.168.1.1
 max-paths 4
```

(Cisco, 2023+) (Aruba, January 2022)

Přestože Aruba CX ma ve výchozím stavu ECMP, explicitní konfigurace je doporučený postup, který usnadní případnou kontrolu a zajistí konsistenci konfigurací.

3.7.8 Prioritizace

V počítačových sítích je důležité řídit, jaká data mají přednost před ostatními, aby se zajišťovala efektivní a spolehlivá komunikace.

Na úrovni L2, linkové vrstvě lokální sítě, se používá "CoS" (Class of Service) k označení priority datových rámců. CoS upravuje první tři bity v hlavičce datového rámce, specificky v 802.1Q VLAN tagu, kde máme možnost základního řízení priorit. Tento mechanismus je relativně jednoduchý a nabízí osm úrovní priority.

Na úrovni L3, která se věnuje komplexnější komunikaci mezi různými sítěmi, se používá QoS (Quality of Service). Tento nástroj je výkonnější a flexibilnější než CoS a dovoluje nám nastavit priority na úrovni jednotlivých IP paketů. Toho je dosaženo nastavením prvních šesti bitů v hlavičce IP paketu. Kromě toho může QoS na vrstvě L3 používat různé metody pro identifikaci provozu, včetně zkoumání hlaviček na IP a transportní vrstvě, a dokonce i aplikací na aplikační vrstvě L7. Tato flexibilita činí QoS na vrstvě L3 ideálním nástrojem pro rozlišení služeb v sítích, kde je důležitá kvalita spojení, jako například v případě VoIP nebo video streamingu. (IEEE Association, nedatováno)

Parametr	CoS (Class of Service)	QoS (Quality of Service)
Co to je?	Mechanismus pro prioritizaci Ethernetových rámců.	Soubor technologií pro řízení datového provozu na síti.
Úroveň OSI modelu	Linková vrstva (vrstva 2)	Síťová vrstva (vrstva 3)
Protokoly	IEEE 802.1p	IP DSCP, TOS, RSVP, MPLS, atd.
Prioritizace	Ano, pomocí 3-bitového PCP (Priority Code Point) ve VLAN tagu.	Ano, pomocí různých mechanismů, včetně DSCP.
Komplexnost	Relativně jednoduché	Může být velmi komplexní,

		závisí na implementaci
Konfigurace	Obvykle konfigurováno na přepínačích	Konfigurováno na směrovačích, přepínačích, firewallech, a dalších zařízeních
Flexibilita	Omezena na 8 prioritních úrovní (0-7)	Mnohem flexibilnější, s více možnostmi prioritizace a plánování
Počet priorit	8 (0-7)	Až 64, pokud používáme DSCP

Tabulka 7 Srovnání Cos a QoS (Cisco, 2023+)

DSCP (Differentiated Services Code Point) je 6-bitový kód používaný v IP hlavičce pro identifikaci a třídění datových paketů, pro různé formy služby v rámci Quality of Service (QoS) na síťové vrstvě (Layer 3). Konkrétně je DSCP pole součástí 8-bitového ToS (Type of Service) pole v hlavičce IPv4 nebo v poli Traffic Class u IPv6.

DSCP je standardizován v RFC 2474 a RFC 3260 a poskytuje více možností pro třídění provozu než starší metody, jako je například TOS. Díky 6-bitovému kódu DSCP můžete definovat až 64 různých úrovní služeb, pro flexibilnější a sofistikovanější správu síťového provozu.

Typicky je DSCP konfigurován na síťových zařízeních, jako jsou směrovače a přepínače, aby bylo možné třídít pakety na základě různých faktorů, například podle toho, jak jsou kritické, jakou mají latenci, jakou mají šířku pásma apod. Tímto způsobem lze efektivně řídit, jak se síť chová při různých typech datového provozu. Skýtá kritickou výhodu pro aplikace, které vyžadují vysokou kvalitu služeb, jako je například VoIP, streamingové služby nebo životně důležité podnikové aplikace. (René Molenaar, 2013-2023)
Zde je jednoduchý příklad nastavení CoS a QoS pro Voice over IP pro jednotlivá zařízení

Cisco IOS

CoS

```
! Nastavení CoS na portech
interface GigabitEthernet0/1
  mls qos cos 5
exit
```

QoS

```
! Nastavení QoS pravidel
class-map match-any VoIP
  match ip dscp ef
!
policy-map VoIP-Policy
  class VoIP
    set dscp ef
    bandwidth 1024
!
```

```
interface GigabitEthernet0/1
  service-policy input VoIP-Policy
exit
```

Cisco Nexus

CoS

```
interface Ethernet1/1
  set cos 5
exit
```

QoS

```
class-map type qos match-any VoIP
  match dscp ef
!
policy-map type qos VoIP-Policy
  class VoIP
    set dscp ef
!
interface Ethernet1/1
  service-policy type qos input VoIP-Policy
exit
```

(Cisco, 2023+)

Aruba (ArubaOS)

CoS

```
interface gigabitethernet 1/0/1
  qos 5
exit
```

QoS

```
qos profile voip
  dscp 46
exit
interface gigabitethernet 1/0/1
  qos apply voip
exit
```

Aruba (ArubaOS-CX)

CoS

```
interface 1/1/1
  cos 5
```

```
exit
```

QoS

```
qos dscp-map 101110 priority 5
qos queue-profile "VoIP"
  queue 5
  bandwidth 1024
exit
!
interface 1/1/1
  apply qos queue-profile "VoIP" in
exit
(Aruba, January 2022) (HPE, 2023+)
```

3.8 Možnosti zapojení

Osnovou mého zkoumání byla srovnávací analýza dvou základních síťových topologií: Hierarchické 3 Tier a Spine and Leaf. V této části se budu věnovat konkrétním implementačním variantám a praktickým aspektům, které z těchto topologických rozhodnutí plynou.

3.8.1 Oversubscription

Oversubscription síťové infrastruktury se vztahuje k strategii, kdy je více zařízení, aplikací nebo uživatelů schopno přistupovat k omezenému množství zdrojů, obvykle k šířce pásma nebo kapacitě portů. Tento přístup je založen na předpokladu, že ne všechny zařízení nebo uživatelé budou potřebovat plnou kapacitu zdrojů současně.

V síťových topologiích jako Hierarchická 3 Tier a Spine and Leaf je otázka oversubscription klíčová. V Hierarchické 3 Tier topologii je obvykle větší pravděpodobnost vysokého stupně oversubscription, zvláště na vyšších vrstvách hierarchie, kde se agregují datové toky. Na druhou stranu, Spine and Leaf topologie je navržena tak, aby minimalizovala oversubscription tím, že poskytuje více cest mezi Spine (páteřní) a Leaf (listové) přepínači.

Předpoklady:

Máme například 480 koncových zařízení (např. počítače, servery).

Každý Access přepínač má 48 portů.

Aggregation a Core přepínače mají dostatečné množství portů pro uplinky.

Hierarchická 3 Tier Topologie:

Access Přepínače:

480 koncových zařízení / 48 portů = 10 přepínačů

Aggregation Přepínače:

Minimálně 2 pro redundanci (mohou být více pro scalability).

Core Přepínače:

Minimálně 2 pro redundanci (mohou být více pro scalability).

Spine and Leaf Topologie:

Leaf Přepínače:

480 koncových zařízení / 48 portů = 10 přepínačů

Spine Přepínače:

3 Spine přepínače pro 3 uplinky z každého Leaf přepínače (může být více pro scalability). V obou topologiích potřebujeme 10 Access (nebo Leaf) přepínačů pro 480 koncových zařízení. Pro Aggregation a Core vrstvy (v Hierarchické 3 Tier) čtyři, pro Spine vrstvu (ve Spine and Leaf) tři.

Hierarchická 3 Tier Topologie:

Access Přepínače:

10 přepínačů, každý s 48 porty.

Celková kapacita: 10 přepínačů x 48 portů x 1 Gbps = 480 Gbps

Aggregation Přepínače:

Každý Access přepínač je připojen dvěma 10 Gbps uplinky na Aggregation vrstvu.

Celková kapacita uplinků: 10 přepínačů x 2 x 10 Gbps = 200 Gbps

Oversubscription poměr: 480 Gbps (Access) / 200 Gbps (Aggregation) = 2.4:1

Předpokládá se že aggregation – core oversubscription bude 1:1, v případě vyšší se celkový poměr oversubscription zvýší a bude vyšší pravděpodobnost zahlcení segmentu.

Spine and Leaf Topologie:

Leaf Přepínače:

10 přepínačů, každý s 48 porty.

Celková kapacita: 10 přepínačů x 48 portů x 1 Gbps = 480 Gbps

Spine Přepínače:

Každý Leaf přepínač má 3 uplinky o rychlosti 10 Gbps k Spine vrstvě.

Celková kapacita uplinků: 10 přepínačů x 3 x 10 Gbps = 300 Gbps

Oversubscription poměr: 480 Gbps (Leaf) / 300 Gbps (Spine) = 1.6:1

V tomto příkladu Hierarchická 3 Tier topologie má vyšší poměr oversubscription (2.4:1) ve srovnání se Spine and Leaf topologií (1.6:1), výsledkem bude vyšší latence a menší šířka pásma na vrstvě Aggregation v případě, že všechna zařízení komunikují současně. Navíc u Spine and Leaf topologie potřebujeme o jedno zařízení méně. (HwAiyu GENG, 2014) (Al-Fares, 2008) (Liu, 2013) (Cisco, 2023+) (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003)

3.8.2 Kabeláž:

Hierarchická 3 Tier Topologie:

Access Přepínače:

10 přepínačů, každý s 48 porty.

Aggregation Přepínače:

Každý Access přepínač je připojen dvěma 10 Gbps uplinky na Aggregation vrstvu.

Core Přepínače:

Každý Aggregation přepínač je připojen dvěma 10 Gbps uplinky na Core vrstvu.

Celkový počet kabelů (drátů):

Access k Aggregation: 10 přepínačů x 2 uplinky = 20 kabelů

Aggregation k Core: (2 přepínače) x 2 uplinky = 4 kabely

Celkem: 20 + 4 = 24 kabely

Spine and Leaf Topologie:

Leaf Přepínače:

10 přepínačů, každý s 48 porty.

Spine Přepínače:

Každý Leaf přepínač má 3 uplinky o rychlosti 10 Gbps k Spine vrstvě.

Celkový počet kabelů (drátů):

Leaf k Spine: 10 přepínačů x 3 uplinky = 30 kabelů

Ale je potřeba o 6 víc propojů mezi zařízeními. ((Al-Fares, 2008) (Cisco, 2023+) (HwAiyu GENG, 2014)

3.8.3 Redundance

Hierarchická 3 Tier Topologie:

Aggregation Layer: Každý Access přepínač je připojen k dvěma různým Aggregation přepínačům, pro zajištění redundanci na úrovni Aggregation.

Core Layer: Aggregation přepínače jsou připojeny k Core přepínačům. Většinou je zde více než jeden Core přepínač pro redundanci.

Single Points of Failure: Core a Aggregation vrstvy jsou obvykle konfigurovány tak, aby minimalizovaly jednoduché body selhání.

Celková redundance: Pokud jeden z Core nebo Aggregation přepínačů selže, datový tok se automaticky přesměruje přes jiné dostupné cesty.

Spine and Leaf Topologie:

Leaf to Spine Connections: Každý Leaf přepínač je připojen ke každému Spine přepínači, v zapojení s velmi vysokou úrovní redundance.

ECMP (Equal-Cost Multi-Path): Tato topologie umožňuje použití ECMP pro load-balancing mezi Spine přepínači, pro zvýšení celkové propustnosti a redundance.

Single Points of Failure: Vzhledem k tomu, že každý Leaf přepínač je připojen ke každému Spine přepínači, single points of failure jsou výrazně redukovány.

Celková redundance: Vysoká. Selhání jednoho Spine přepínače má minimální dopad na celkovou síťovou dostupnost.

Shrnutí:

Hierarchická 3 Tier: Nabízí redundanci, ale s vyšší složitostí a potenciálně delšími dobu obnovení po selhání.

Spine and Leaf: Nabízí vysokou míru redundance a rychlejší dobu obnovení po selhání s za cenu vyšší složitosti počáteční konfigurace.

Pokud tedy pomineme Access přepínače, které jsou v tomto případě jedním bodem selhání, obě topologie nabízejí solidní redundanci, ale Spine and Leaf má obvykle rychlejší a efektivnější mechanismy pro obnovení po selhání. (HwAiyu GENG, 2014) (Cisco, 2023+) (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003) (TME, 02-Nov-22) (Al-Fares, 2008)

3.8.4 Výpadek

Hierarchická 3 Tier:

Ve 3-Tier topologii, která v tomto scénáři zahrnuje dvě Aggregation přepínače a dva Core přepínače, je zajištěna vysoká úroveň redundance. V případě selhání jednoho z Aggregation nebo Core přepínače snižuje kapacita sítě na polovinu. Přestože to zvyšuje pravděpodobnost oversubscription, sítě jako celek nepřestává fungovat. VRRP je často používán v 3-Tier architekturách k zajištění redundance na úrovni Core a Aggregation vrstev.

Spine and Leaf:

Ve Spine and Leaf konfiguraci, která v našem modelu zahrnuje tři Spine přepínače, se kapacita sítě snižuje pouze o jednu třetinu v případě výpadku jednoho Spine přepínače. Datové toky jsou přeměrovány díky konfiguraci ECMP (Equal-Cost Multi-Path), s minimalizací dopadu na celkovou provozuschopnost sítě. (HwAiyu GENG, 2014) (TME, 02-Nov-22) (Cisco, 2023+) (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003) (Liu, 2013) (Al-Fares, 2008)

4 Vlastní práce

4.1 Popis řešeného případu

Podnik z oblasti lehkého průmyslu, kde se vyrábí, testuje a nastavují elektronická zařízení. V podniku je hlavní serverová místnost kde se provozuje většina systémů v souvislosti s výrobou jako ERP a podobně, specializovanou serverovou místností pro HPC a Hadoop cluster, kancelářskou budovou, výrobní halou s testovacím centrem a halou pro zákaznické nastavení vyráběných zařízení. Mezi jednotlivými částmi podniku existují několikanásobné optické spoje s maximální přenosovou kapacitou 50 Gbps, které jsou v současné době využívány s 10Gbps transceivery.. Výrobní systémy požadují spolehlivý přístup k datům, nároky testovacího centra, nároky HPC a Hadoop clusterů na data jsou enormní. Výrobní a testovací centrum má požadavky na segmentaci dle výrobních systémů a různých testů zařízení v rozsahu maximálně 50 segmentů. U haly pro zákaznické nastavení je datový provoz variabilní, ale je potřeba provoz rozdělovat na velké množství 200+ oddělených segmentů. Současná infrastruktura umožňuje simultánní použití pouze 256 segmentů z důvodu technických omezení současně použitého hardware. Co se týká počtu koncových zařízení, tak v serverové místnosti je uvažováno o 60 vysokorychlostních portů, v kancelářské budově pevných 70 x 1Gbps portů a napojení na oddělenou novou bezdrátovou síť, ve výrobní hale a testovacím centru je potřeba 50 vysokorychlostních portů pro připojení zařízení a 50 1Gbps portů pro stacionární pracoviště. HPC a Hadoop cluster mají vlastní infrastrukturu, kde je využit optický spoj s 12 vlákny. V hale pro zákaznické nastavení je potřeba 150 portů s různou rychlostí. V současné době podnik používá 3tier čistě L2 síťovou infrastrukturu, která je na konci životnosti. Mezi hlavními problémy patří nestabilní fungování protokolu STP, náhodné odpojení některých segmentů a nedostatečný průtok dat. Většina tepelného zatížení je koncentrována v serverové místnosti, která je vybavena aktivním chlazením. V ostatních částech podniku, včetně výrobních hal, je dostatečné pasivní chlazení. Hledám řešení, které je ekonomicky a technicky efektivní a které zároveň lze implementovat s minimálními narušeními běžného provozu. K zásadním změnám jsou k dispozici pravidelná údržbová okna jednou za čtvrtletí na dobu cca dvou dnů při konci výrobního cyklu, kde lze provádět potřebné změny s co nejmenšími akceptovatelnými výpadky v řádu hodin.

4.2 Projektový plán

Jak bylo stanoveno v popisu řešeného případu, tak podnik má čtvrtletní odstávkové cykly s tříměsíčním 24 hodinovým provozem. Celý projekt proto musí být naplánován tak, aby nebyl ovlivněn standardní provoz společnosti.

4.2.1 Přípravná fáze

Průzkum trhu: V tomto případě nemám moc na výběr. Vzhledem k rozhodnutí vedení společnosti a z praktických důvodů, jako minimální náklady na školení personálu, byla vybrána společnost Aruba, takže se zaměřím pouze na výběr vhodných komponentů od tohoto výrobce. Přihlédnutí k tomu, že společnost Aruba patří k 5ti největším výrobcům

síťových prvků, tak lze očekávat standardní podporu a životnost zařízení. Nicméně bude provedena srovnávací cenová varianta s výrobky společnosti Cisco.

4.2.2 Technická a ekonomická analýza

Topologický návrh: Na základě průzkumu trhu a výběru možných produktů bude vytvořeno několik variant topologických návrhů. To by mělo zahrnovat jak fyzické, tak logické spojení mezi jednotlivými částmi infrastruktury.

Kalkulace nákladů: Po vytvoření několika topologických návrhů by měla následovat kalkulace nákladů. Nejde jen o náklady na hardware a software, ale také na školení, implementaci a další provozní náklady. Je potřeba stanovit také nejvýhodnější varianty z ekonomického hlediska

Schválení a financování: Tato část je dle vkusu každého soudruha, kde někteří preferují ženy s velkým srdcem, jiní dobré víno.

4.2.3 Plán vlastní implementace:

Vzhledem k údržbovým oknům je třeba zohlednit části, které ovlivní a které neovlivní provoz. Ty části, které neovlivní provoz je možné provádět ve standardní provozní době a ty kde je nutný jakýkoli výpadek je potřebné naplánovat do dvou dnů údržbového okna s dostatečnou časovou rezervou pro řešení případných problémů

4.2.3.1 Před prvním Údržbovým Oknem:

Nákup a doručení nového hardwaru
Základní konfigurace zařízení mimo provozní infrastrukturu
Fyzická instalace nových síťových zařízení do serverových racků
Základní dodatečná konfigurace zařízení v serverové místnosti.
Příprava VLAN a routování pro serverovou místnost
Testování paralelního provozu v serverové místnosti na zprovozněném testovacím segmentu

4.2.3.2 První Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):

Den 1 Aktivace a přepojení nové infrastruktury v serverové místnosti
Den 2 Validace zapojení, konfigurace a testování v serverové místnosti

Polovina dne jako nutná rezerva pro řešení případných problémů.

V této fázi máme paralelní provoz kde základní systém již běží na nové infrastruktuře ale pouze v serverové místnosti a ta je dále napojena na stávající starou infrastrukturu

4.2.3.3 Mezi Prvním a Druhým Údržbovým Oknem:

Příprava hardwaru pro ostatní části podniku (např. výroba, kanceláře)

Fyzická instalace nových síťových zařízení v ostatních lokacích.
Základní konfigurace zařízení v těchto lokalizacích
Příprava VLAN a routování pro ostatní lokace
Vzhledem k několikanásobným optickým spojům, kde jsou nevyužity záložní linky lze přejít i k následujícím bodům.
Testování paralelního provozu a konektivity
Monitorování a ladění

4.2.3.4 Druhé Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):

Den 1 Aktivace a přepojení nové infrastruktury v ostatních lokalizacích
Tento krok by byl podobný jako v serverové místnosti, ale provedený v ostatních důležitých lokalizacích podniku (např. výroba).
Den 2 Validace a Testování v ostatních lokalizacích
Ověření, že všechny služby jsou plně funkční.
Polovina dne jako rezerva pro řešení problémů.

4.2.3.5 Post-Implementační Plán

Monitoring a Ověřování:

Sledování Provozu: Monitorování nové sítě k detekci jakýchkoli anomálií nebo problémů.
Validace Konfigurací: Kontrola, zda všechny nové konfigurace fungují tak, jak mají.

Dokumentace a Revize:

Aktualizace Dokumentace: Zaznamenání všech provedených změn a aktualizace síťové dokumentace.

Revize Postupů: Aktualizace interních postupů a směrnic tak, aby odražely nový stav infrastruktury.

Trénink a Předání:

Trénink Technického Personálu: Zaškolení IT personálu v nových konfiguracích, hardwaru a softwaru.

Předání do Provozu:

Formální předání nové infrastruktury do běžného provozu.

Údržba a Podpora:

Plán Preventivní Údržby: Stanovení plánu pro pravidelnou údržbu hardwaru a softwaru.

Podpora: Ustanovení procesů pro rychlé řešení případných problémů.

4.2.3.6 Hodnocení Projektu:

Shrnutí a Analýza: Zhodnocení, co bylo úspěšné a co by se dalo příště udělat lépe.

Finální Zpráva: Sestavení zprávy, která obsahuje všechny klíčové aspekty implementace, úspěchy, výzvy a místa pro zlepšení.

4.3 Přípravná fáze

4.3.1 Průzkum trhu

Vzhledem k tomu že výrobce přepínačů je společnost z USA a dalších praktických důvodů jako přehlednost tabulek budu uvádět ceny v USD.

Z důvodu omezení zadání ohledně výrobce přepínačů je uvažováno pouze o následujících modelech:

Aruba CX 8325 pro vysokorychlostní připojení, kde přepínače nabízí základní varianty s 48x 25G SFP28 portů a 8x 100G QSFP28 ports nebo 32x 100G QSFP28 portů, kde se koncová cena za kus pohybovala okolo 31000USD. Zde se nákupní cena za 25GbE port pohybuje v částce 645USD a v případě 100GbE v částce 970USD

Pro nižší rychlosti připojení se nabízí použití přepínačů Aruba řady 6300 s 48x 1GbE portů a 4x 1G/10G/25G SFP portů, kde se koncová cena za kus pohybovala okolo 7000USD. Model Aruba řady 6300 s 24x 1GbE porty se koncová cena za kus pohybovala okolo 5200USD. Zde se nákupní cena za 1GbE port pohybuje v částce 146USD respektive 217USD u 24 portové varianty přepínače.

Pro srovnání ceny počáteční investice byla ještě provedena porovnávací analýza s přepínači od společnosti Cisco, kde lze uvažovat buď o modelech Catalyst nebo vyšší řady Nexus. Bohužel řada Nexus neobsahuje modely které by umožňovaly přímé připojení UTP kabelů jinak než prostřednictvím specializovaných SFP modulů, takže bylo třeba zvolit dvě produktové řady s rozdílným způsobem konfigurace.

Pro srovnání cena Cisco Catalyst řada 9300 se pohybovala kolem 11000USD za kus, to znamená 230USD za 1GbE port a vyšší řada Nexus 9300 se pohybovala okolo 33000USD, to znamená 688USD za 25GbE port. Ovšem bez dodatečných licenčních poplatků za funkcionalitu.

Jak je vidět z náhledů cen, jsou obě možnosti srovnatelné, nicméně u Cisco varianty jsou zde licenční omezení a dvě produktové řady, což vede ke zvýšení nákladu na správu, kdežto u varianty Aruba se jedná o stejnou produktovou řadu se stejným systémem konfigurace a správy.

Celkové výsledky jsou srovnány v následující tabulce:

Značka/Model	Typ Portů	Počet Portů	Cena za Přepínač (USD)	Cena za Port (USD)
Aruba CX 8325	25G SFP28	48	31,000	645
Aruba CX 8325	100G QSFP28	32	31,000	970
Aruba 6300	1GbE	48	7,000	146
Aruba 6300	1GbE	24	5,200	217
Cisco Catalyst	1GbE	48	11,000	230
Cisco Nexus	25GbE	48	33,000	688

Tabulka 8 Cena za port (Vlastní práce, 2023)

Je zřemé, že cena mezi Cisco a Aruba je srovnatelná v případě vysokorychlostních přepínačů, ale Aruba je markantně cenově výhodnější pro 1GbE připojení. Uvedené ceny jsou orientační ceníkové a výsledné kalkulace přesných nákladů jsou předmětem obchodního tajemství, nicméně jak je zřejmé z teoretické části, tak celkové náklady na nákup zařízení budou nižší.

4.4 Technická a ekonomická analýza

4.4.1 Koncová zařízení

Vycházím ze zadání o počtu koncových připojení doplněným o informace o počtu portů a potřebných přepínačů. Jak bylo stanoveno v teoretické části, tak nejlepší poměr cena/výkon v současné době nabízí použití 25GB propojů. 100GB propoj vychází jako druhá nejlepší varianta, bohužel máme technická omezení, jako maximální rychlost propojů. Výsledná předběžná kalkulace počtu portů ukazuje následující tabulka:

Pracoviště	Počet 25Gbp s portů	Počet 1/10Gbp s portů	Počet 1Gbps portů	Počet přepínačů (48 portů 25Gbps/1/10 Gbps)	Počet přepínačů (48 portů 1G)	Počet přepínačů (24 portů 1G)
Serverová místnost	60	-	-	2	-	-
Kancelářská budova	-	-	70	-	2	-
Výrobní hala a testovací centrum	50	50	-	2	1	1
Hala pro zákaznická nastavení	150			4	-	-
Celkem přepínačů				8	3	1

Tabulka 9 Počet portů (Vlastní práce, 2023)

Na základní pokrytí potřebných připojení vychází použití devíti 48 portových přepínačů s připojením 25/10/1Gbp, třech 48 portových a jednoho 24 portového v rychlosti 1Gb. Tento počet pokrývá potřebu základní redundance kde v serverové místnosti se předpokládá použití VSX protokolu pro redundantní zapojení a v ostatních místech je redundance zajištěna počtem hrdwarových zařízení, kde v případě výpadku dojde pouze k omezení provozu. Pro zjednodušení celkové správy a zvážení dalších ekonomických aspektů jako množstevní slevy je uvažováno pouze o třech typech přepínačů. Pro vysokorychlostní připojení 48 portů 1/10/25GBps s 10/25/100 GB uplink porty, přepínače pro koncové uživatele.

Tento návrh vypadá, že není není úplně optimální, kde pro koncové uživatele sice máme dostatečný počet portů, ale rozdílné typy přepínačů a cena za port u použití 24 portového přepínače je o cca 30% vyšší. Pro výrobní halu je zase počet nepoužitých rychlých portů skoro dvojnásobný z důvodu maximalizace použití jednoho typu přepínačů, pro halu pro

zákaznická nastavení je přesah redundance 1/3 a pro serverovou místnost 2/3. Po diskuzi a revizi počtu 1G portů, rozhodnutí ohledně případného budoucího rozšíření výroby se jeví výhodnější použít jednotné produktové řady, ponechat nepoužité porty ve výrobní hale. Výsledná tabulka konečného návrhu vypadá:

Pracoviště	Počet 25Gbps portů	Počet 1/10Gbps portů	Počet 1Gbps portů	Počet přepínačů (48 portů 25Gbps/1/10Gbps)	Počet přepínačů (48 portů 1G)
Serverová místnost	60	-	-	2	-
Kancelářská budova	-	-	70	-	2
Výrobní hala a testovací centrum	50	50	-	2	2
Hala pro zákaznická nastavení	150			4	-
Celkem přepínačů				8	4

Tabulka 10 Revidovaný počet (Vlastní práce, 2023)

To znamená, že po revizi návrhu pro celkové pokrytí potřeby základního připojení bude nutné použít 8 vysokorychlostních a 4 standardních přepínačů. Vzhledem k tomu že 48 a 24 portový přepínač používají stejný PSU, tak nedojde ke zvýšení odpadního tepla jednotek a pro potřeby výpočtu TCO lze uvažovat pouze o bagatelního rozdílu v pořizovací ceně.

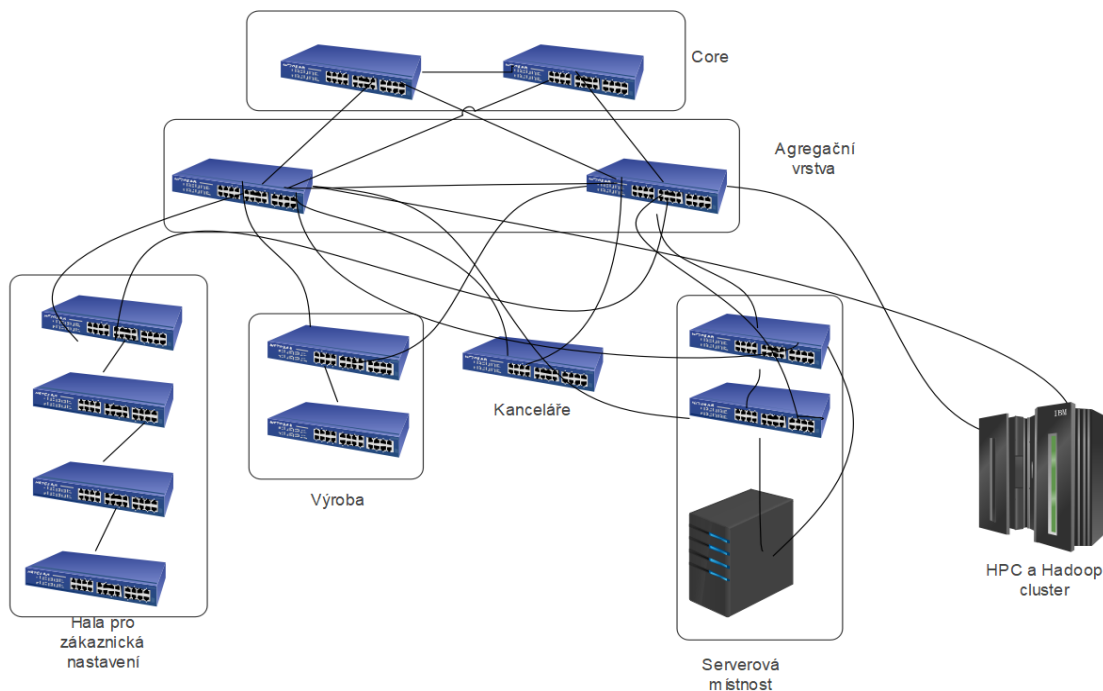
4.4.2 Architektura

Na propojení koncových zařízení lze v zásadě pokračovat ve stávajícím zapojení a použít 3tier nebo přejít na Spine and Leaf. Nejprve je potřeba stanovit počet přepínačů core infrastruktury pro jednotlivé varianty.

4.4.2.1 3 tier

Zde je nutné uvažovat o 2 agregačních a dvou core přepínacích. Každý agregační přepínač bude propojen minimálně jedním plně redundantním propojem s koncovými prvky a komunikace mezi core a agregační vrstvou lze realizovat buď na L2 nebo na L3 protokolech.

Orientační schéma zapojení:



Obrázek 20 3Tier HLD (Vlastní práce, 2023)

Jak je vidět tak jsou dvě možnosti, kde je možné přepínače ve výrobě a v hale pro zákaznická nastavení buď propojit mezi sebou, kde přepínač s uplinky do agregační vrstvy bude zároveň „single point of failure“ a za cenu vyšší oversubscription nebo propojit jednotlivé uzly zvlášť.

V této variantě vycházím ze dvou agregačních přepínačů a dvou core přepínačů, kde lze použít standardizovaný model Aruba CX 8325, kde pro variantu agregační je použit model s 48x25GB porty a pro variantu core model s 32x 100GB porty. V případě výpadku jednoho core, nebo agregačního přepínače dojde k omezení použitelného přenosového pásma o 1/2. Pro případné další rozšíření bude potřeba dobudovat více linek mezi koncovými a agregačními přepínači a následně posílit linky mezi core a agregační vrstvou. V případě nedostatečné propustnosti těchto vrstev bude potřeba provést výměnu za modely s vyšší propustností.

Kategorie	SWOT Analýza pro 3-Tier Network Architekturu
Síly	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dobře známá a ověřená 2. Vysoká škálovatelnost 3. Optimalizace provozu 4. Bezpečnost a kontrola
Slabiny	<ol style="list-style-type: none"> 1. Komplexnost 2. Náklady na hardware 3. Latence 4. Riziko úzkých míst
Příležitosti	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modernizace a optimalizace

	2. Integrace s novými technologiemi 3. Zlepšení bezpečnosti
Hrozby	1. Rychlý technologický vývoj 2. Vysoké požadavky na údržbu 3. Konkurence z novějších architektur

Tabulka 11 SWOT 3.tier (Vlastní práce, 2023)

V případě vlastního propojení předpokládáme u vysokorychlostních prepínačů dvě spojení na agregační vrstvu o rychlosti 25GbE a pro 1GbE jeden spoj. Jak je vidět v následující tabulce toto číslo je pro vysokorychlostní prepínače připojené pouze dvěma 25GbE spoji poměrně vysoké, proto bude vhodné navýšit toto připojení pro serverovou část kde lze předpokládat nejvyšší zatížení provozu na 100GbE spoje. Výsledná maximální předpokládaná oversubscription:

Typ Připojení	Celková Kapacita Připojení (Gbps)	Kapacita Uplinku (Gbps)	Oversubscription Ratio
Standardní	$48 \times 25 = 1200$	$2 \times 25 = 50$	24:1
Serverové	$48 \times 25 = 1200$	$4 \times 100 = 400$	3:1
48x 1G	$48 \times 1 = 48$	25	1.92:1

Tabulka 12 Oversubscription 3T access (Vlastní práce, 2023)

Access Switche (1G)

Kapacita uplinku: $4 \times 25 \text{ Gbps} = 100 \text{ Gbps}$

Polovina kapacity uplinku: $100 / 2 = 50 \text{ Gbps}$

Standardní Access Switche (25G)

Kapacita uplinku: $6 \times 50 \text{ Gbps} = 300 \text{ Gbps}$

Polovina kapacity uplinku: $300 / 2 = 150 \text{ Gbps}$

Serverové Switche (25G)

Kapacita uplinku: $2 \times 400 \text{ Gbps} = 800 \text{ Gbps}$

Polovina kapacity uplinku: $800 / 2 = 400 \text{ Gbps}$

Celková kapacita uplinku do jednoho prepínače agregační vrstvy:

$50 \text{ Gbps (1G)} + 150 \text{ Gbps (Standardní 25G)} + 400 \text{ Gbps (Serverové 25G)} = 600 \text{ Gbps}$

Do výsledné kalkulace je nutno ještě přidat HPC a Hadoop clusteru, kde je propojení pomocí optických spojů o celkové kapacitě 8x25GB tak celková kapacita uplinku z agregace včetně HPC a Hadoop clusteru. Toto připojení je rozděleno mezi dva agregační prepínače.

Původní celková kapacita uplinku: 600 Gbps (z předchozího výpočtu)

Přidání HPC a Hadoop clusteru: $(8/2) 4 \times 25 \text{ Gbps} = 100 \text{ Gbps}$

Nová celková kapacita uplinku: $600 \text{ Gbps} + 100 \text{ Gbps} = 700 \text{ Gbps}$

Oversubscription Ratio pro Jeden 100G uplink na Core Vrstvu

Celková kapacita uplinku z agregace: 700 Gbps

Kapacita uplinku na core vrstvu: 100 Gbps

Oversubscription Ratio: $700 \text{ Gbps} / 100 \text{ Gbps} = 7:1$

Oversubscription Ratio pro dva 100G uplinky na Core Vrstvu (Celkem 200G)

Celková kapacita uplinku z agregace: 700 Gbps
 Kapacita uplinku na core vrstvu: 200 Gbps (2 x 100 Gbps)
 Oversubscription Ratio: 700 Gbps / 200 Gbps = 3,5:1

Je zřejmé že použití více 100GbE linků mezi core a agregačními přepínači zajistí vyšší propustnost celého systému, Následný přepočít se započítáním ztráty mezi core a agregační vrstvou kde core vrstva je spojena s agregační pouze 2x100GbE spoji. Následná oversubscription systému:

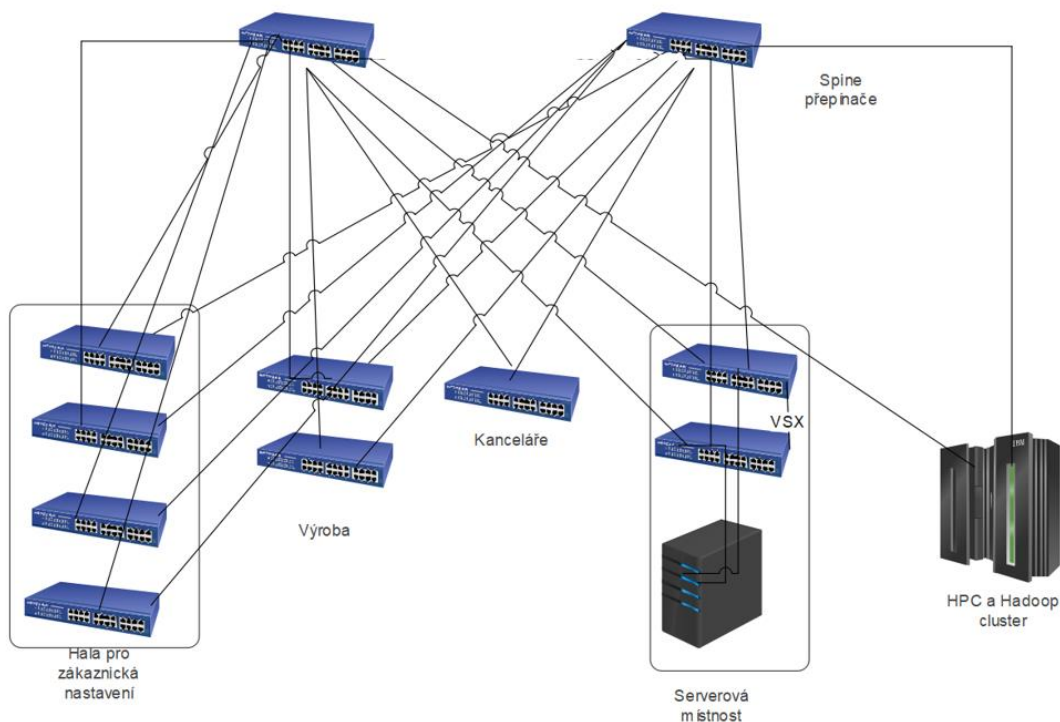
Typ Připojení	Původní Oversubscription Ratio (pouze na agregační vrstvě)	Nové Oversubscription Ratio s Core vrstvou a 2x100GbE spoji
Standardní	24:1	84:1
Serverové	3:1	10.5:1
48x 1G	1.92:1	6.72:1

Tabulka 13 Oversubscription 3T core (Vlastní práce, 2023)

Jak je videt v ideálním případě by bylo nutné použít propojení které zajistí co nejnižší oversubscription, v tomto případě lze použít maximálně osm 100GbE spojů na serverový přepínač. Tím se nám zvýší celková komplexita a náklady na propojení s minimálním efektem.

4.4.2.2 Spine and leaf

Tato architektura nabízí plošší řešení a je možné uvažovat o použití dvou nebo tří spine přepínačů. V případě použití třech přepínačů je potřeba o třetinu zvýšit počet propojení mezi koncovými a spine přepínači. Vzhledem k minimalizaci investic budu uvažovat pouze o použití dvou spine přepínačů, kde lze očekávat srovnatelné hodnoty propustnosti jako v 3tier architektuře a to i v případě výpadku, kde ztrácím 50% využitelného pásma.



Obrázek 21 Spine and Leaf HLD (Vlastní práce, 2023)

U tohoto zapojení je nutné mít ke každému přepínači (stacku) spojení ke každému spine přepínači, nicméně celý model je plošší.

V tomto případě pro spine přepínače lze použít standardizovaný model Aruba CX8325 s 48x 25GbE porty a je možné zvážit variantu použití dvou nebo třech spine přepínačů. Vzhledem k tomu, že všechny vybrané přepínače mají alespoň 4 propojovací porty je zřejmé, že investice pro případné rozšíření se bude týkat pouze dokoupení dodatečného spine přepínače a zajištění dodatečných propojení mezi přepínači. Pro tuto možnost je nutné počítat s dostatečnou rezervou v adresaci.

Kategorie	SWOT Analýza pro Spine-Leaf Network Architekturu
Síly	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nízká latence a vysoká propustnost 2. Snadná škálovatelnost a flexibilita 3. Zlepšená odolnost a redundance 4. Efektivní správa provozu
Slabiny	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vyšší náklady na školení a technické znalosti 2. Možná složitější konfigurace v porovnání s tradičními topologiemi 3. Vyžaduje pokročilé technické znalosti
Příležitosti	<ol style="list-style-type: none"> 1. Podpora pro moderní datacentra a cloudové služby 2. Integrace s novými technologiemi jako je SDN 3. Optimalizace pro vysoký provoz a aplikace
Hrozby	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rychlé změny v síťových technologiích 2. Potřeba průběžného vzdělávání a technického rozvoje 3. Konkurence z dalších nových architektur

Tabulka 14 SWOT Spine and Leaf (Vlastní práce, 2023)

Typ Připojení	Celková Kapacita Připojení (Gbps)	Kapacita Uplinku (Gbps)	Oversubscription Ratio
Standardní Access	48 x 25 = 1200	2 x 25 = 50	24:1
Serverové Access	48 x 25 = 1200	2 x 200 = 400	3:1
1G Access	48	25	1,96:1
Clustery (HPC/Hadoop)	4 x 25 = 100	100	1:1

Tabulka 15 Oversubscription S&L 2 spine (Vlastní práce, 2023)

Po srovnání s 3tier a ekvivalentním spojením tato varianta vychází lépe. Kde základní oversubscription pro serverový přepínač je 3:1 a pro 3tier 10.5:1 a poměr u ostatních připojení je stejný jako v případě použití pouze agregační vrstvy. Pro zvýšení kapacity v tomto případě je potřeba přidat další spine přepínač. Následný přepočít pro vysokorychlostní přepínače:

Typ Připojení	Celková Kapacita Připojení (Gbps)	Kapacita Uplinku (Gbps)	Oversubscription Ratio
Standardní Access	48 x 25 = 1200	6 x 25 = 150	8:1
Serverové Access	48 x 25 = 1200	2 x 300 = 600	2:1

Tabulka 16 Oversubscription S&L 3 spine (Vlastní práce, 2023)

Vzhledem k doporučené hodnotě oversubscription pro serverovou část, která by měla být mezi 1:1 – 1:5, se i varianta při použití pouze dvou spine přepínačů nabízí jako dostatečná.

4.4.2.3 Architektura shrnutí

Jak je vidět z technického srovnání na tomto případě, tak jak 3tier tak Spine and leaf nabízí možné spolehlivé připojení infrastruktury. V případě 3tier řešíme nedostatečný počet spojení mezi core a agregační vrstvou a následné zatížení core přepínačů, kdežto u Spine a Leaf počet spine přepínačů. Kalkulace oversubscription jsou maximální možné při plném vytížení všech portů na přepínačích na maximální kapacitu, kde v případě serverové části se počítalo s plným obsazeným počtem 48 portů, ale v zadání je použití pouze 60 portů celkem to znamená 30 portů na jeden serverový přepínač, takže výsledné praktické hodnoty oversubscription budou ještě nižší o cca 40% i v případě plného využití přenosové kapacity 30ti portů.

4.4.3 Kalkulace nákladů

Orientační odhadnuté náklady na pořízení infrastruktury jednotlivých variant, včetně školení personálu. Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole orientační ceny jsou v USD.

4.4.3.1 Přímé náklady na pořízení HW zařízení

4.4.3.1.1 3 tier

Typ Přepínače	Počet	Cena za Přepínač (USD)	Celková Cena (USD)
Aruba CX 8325 (25G)	2	31,000	62,000
Aruba CX 8325 (100G)	2	31,000	62,000
Aruba CX 8325 (25G)	8	31,000	248,000
Aruba 6300F	4	7,000	28,000
Další Náklady			
Kabely, SFP, atd.			N
Celkem (3T)			400,000 + N

Tabulka 17 3T HW pořízení (Vlastní práce, 2023)

V tomto případě jsou dodatečné náklady na pořízení na potřebná zařízení dva agregační a dva core přepínače. Hodnota N udává počet SFP modulů, následně kabeláže a speciálních propojů mezi přepínači, v tomto případě je nutné počítat s 100GbE propojeními mezi core a agregační vrstvou, kde cena propoje se pohybuje okolo 150USD.

4.4.3.1.2 Spine and leaf

Typ Přepínače	Počet	Cena za Přepínač (USD)	Celková Cena (USD)
Aruba CX 8325 (25G)	10	31,000	310,000
Aruba 6300F	4	7,000	28,000
Další Náklady			
Kabely, SFP, atd.			N
Celkem (SL)			338,000 + N

Tabulka 18 S&L HW pořízení (Vlastní práce, 2023)

V této variantě jsou náklady na pořízení potřebných zařízení pro toto řešení a znovu hodnota N vyjadřuje náklady na propojení a SFP moduly.

4.4.3.2 Školení personálu

Typ Školení	Délka Školení	Náklady na Školitele (USD/den)	Celkové Náklady (USD)
Externí Školení	3 dny	2,000	6,000 * 3 = 18,000
Materiály a Vybavení			500
Celkové Náklady na Školení			18,500

Tabulka 19 školení (Vlastní_práce, 2023)

K celkové ceně projektu je nutné připočítat zaškolení personálu na konkrétní technologie.

4.4.3.3 Náklady na implementaci

Položka	Odhad	Poznámka
Pracovní síla pro instalaci	\$100/hod x 140 hod	Předpokládá se složitá instalace
Čistá doba instalace	3-4 týdny	
Plánované výpadky	Minimalizovány	Využití údržbových oken
Dodávky a materiál	\$5,000	Kabely, montážní hardware
Cestovní a ubytovací náklady	\$2,000	Pokud je třeba
Projektové řízení	\$10,000	Koordinace a správa projektu
Celkové Náklady	\$31,000	

Tabulka 20 Implementace (Vlastní_práce, 2023)

4.4.3.4 Souhrn kalkulací

Celkové náklady na pro 3tier architekturu jsou vyšší z důvodu většího počtu zařízení a ekonomicky výhodnější se jeví použití Spine and Leaf architektury. Celkové náklady pro ekonomičtější variantu budou tedy:

Položka	Náklady
Pořízení HW	338,000
Školení personálu	18,500
Náklady na implementaci	31,000
Náklady na SFP, kabeláž odhad (N)	100,000
Celkem	487,500

Tabulka 21 Odhad celkových nákladů projektu (Vlastní_práce, 2023)

Položka N obsahuje náklady na případné opravy, nové pokládání kabeláže, přeměření spojů a nákup SFP modulů, kde lze očekávat cenu kolem 400USD za kus o rychlosti 25GbE, 50USD za 1 nebo 10GbE modul. Bylo rozhodnuto že pro základní pokrytí funkčnosti infrastruktury budou pořízeny moduly v rámci projektu a dodatečné požadavky na rozšíření budou řešeny v rámci dodatečných nákupů z rozpočtů příslušných oddělení, tzn. výroba a Hala pro zákaznická nastavení, kde je potřeba zajistit dostatečnou flexibilitu různých typů a možností připojení. S dodavatelem bylo dohodnuto že bude zapůjčeno 200 SFP modulů pro každou rychlost (1/10/25GbE) a 20 x 100GbE DAC kabelů různé délky.

Po implementaci se nepoužité moduly vrátí a účtováno bude pouze množství použitých modulů.

Jak je vidět tak největší část celkové ceny projektu je v nákupu potřebných zařízení, což je zásadní rozdíl mezi softwarovými projekty, kde většina ceny je vztažena na práci programátorů.

4.4.4 Výběr topologie

Výběr mezi Spine and Leaf a 3 Tier topologiemi pro síťovou infrastrukturu byl analyzován z hlediska technických vlastností a ekonomické efektivity. Z této analýzy vyplývá, že Spine and Leaf topologie je preferovaným řešením. Klíčové důvody zahrnují:

Lepší Síťová Propustnost a Výkon: Spine and Leaf topologie nabízí rychlejší a efektivnější síťovou komunikaci s nižší latencí.

Větší Rozšiřitelnost a Flexibilita: Snadné škálování a přidávání nových uzlů bez nutnosti zásadních změn v infrastruktuře činí Spine and Leaf topologii flexibilnější.

Nižší Počáteční a Dlouhodobé Náklady: Vzhledem k nižšímu počtu hardware a snazší správě, Spine and Leaf topologie nabízí nižší počáteční investici a snížené dlouhodobých nákladů oproti 3 Tier topologii.

4.5 Implementace a testování

Po doručení vybraného hardware dodavatelskou společností bylo provedeno vybalení a první spuštění pro ověření funkčnosti na všech dodaných zařízeních. Byl ověřen přístup prostřednictvím seriové konzole, provedena inventarizace zařízení a v neposlední řadě byla provedena unifikace použitého Aruba CX OS na všech zařízeních. Byl vytvořen plán IP adresace jednotlivých zařízení a základní rozdělení síťových segmentů pro první fázi. Pro IP adresní rozdělení se nabízí použití privátních rozsahů a pro tyto účely byl vybrán A segment v rozsahu 10.0.0.0/8.

Jak bylo stanoveno redundance řešení je rozdělena na dvě části, kde serverová část musí zajistit plnou ochranu proti výpadku, kde dva leaf přepínače budou konfigurovány do redundantního páru. V ostatních částech je dostatečná redundance zajištěná počtem zařízení, to znamená že například u „Haly pro zákaznická nastavení“ nemá smysl řešit redundantní připojení na nastavované zařízení a v případě výpadku připojení je smysluplnější zařízení přiojit jinde a použít další přepínač který funguje, s tím že se celková maximální kapacita přípojných míst sníží dočasně o 1/4. Stejně je to v případě kancelářských prostor, kde výpadek jednoho přepínače nezpůsobí zásadní výpadek celkového provozu a vychází se z toho že koncová stanice není redundantní v základu. Z ekonomického hlediska je výhodnější přesunout pracovníka/konfigurované zařízení na jiné dočasné místo než zde řešit plně redundantní infrastrukturu. Přepínače pro koncová zařízení (Aruba CX6300 s 1GbE připojení) umožňují stackování zařízení, to znamená, že v mém případě pár přepínačů, je konfigurován jako jedno zařízení. Pro serverovou část se nabízí použití VSX protokolu, který umožňuje redundantní virtuální spojení mezi přepínači a koncovým zařízením v tomto případě serverové infrastruktury. Celková topologie se

sestává tedy z dvou Spine přepínačů, dvou virtuálních párů 1GbE, dvou serverových leaf přepínačů s redundancí a 6ti samostatných přepínačů.

Správa a konfigurace přepínačů: 10.11.1x.yy/23 kde x=0 je vyhrazeno pro spine přepínač a x=1 pro leaf přepínače a yy pro vlastní přepínač. V tomto případě adresa pro správu prvního Spine přepínače byla nastavena na 10.11.10.01/23, pro druhý 10.11.10.02/23, pro první leaf přepínač 10.11.11.01/23, druhý 10.11.11.02/23 a tak dále, z důvodu rezervace pro případné rozšíření počtu Spine přepínačů, leaf přepínače začínají na adrese 10.11.11.10/23. Celkové rozdělení v následující tabulce:

Název	Určení	Adresa pro správu
Spine1	první spine přepínač	10.11.10.01/23
Spine2	druhý spine přepínač	10.11.10.02/23
Leaf1a	první leaf přepínač v serverové místnosti	10.11.10.10/23
Leaf1b	druhý leaf přepínač v serverové místnosti	10.11.10.11/23
Leaf2ab	leaf přepínač složený s virtuálního stacku 1GbE v kancelářských prostorech	10.11.10.12/23
Leaf3ab	leaf přepínač složený s virtuálního stacku 1GbE ve výrobních prostorech	10.11.10.13/23
Leaf4	první leaf přepínač ve výrobě	10.11.10.14/23
Leaf5	druhý leaf přepínač ve výrobě	10.11.10.15/23
Leaf6	první leaf přepínač pro zákaznická nastavení	10.11.10.16/23
Leaf7	druhý leaf přepínač pro zákaznická nastavení	10.11.10.17/23
Leaf8	třetí leaf přepínač pro zákaznická nastavení	10.11.10.18/23
Leaf9	čtvrtý leaf přepínač pro zákaznická nastavení	10.11.10.19/23

Tabulka 22 určení a adresace (Vlastní práce, 2023)

Příklad vlastní konfigurace adresy pro správu:

```
interface mgmt
  no shutdown
  ip static 10.11.10.01/23 // pro první spine přepínač
  default-gateway 10.11.11.254
```

Obdobné nastavení bylo provedeno v ostatních zařízeních v rámci přípravné fáze.

Pro OSPF je potřeba nejprve definovat areu, kde byla použita standardní 0.0.0.0 a adresu pro loopback interface, adresy byly zvoleny v síti 10.11.100.x pro spine přepínače a 10.11.101.x pro leaf přepínače. Vlastní příklady konfigurace přepínačů obsahuje:

Pro Spine1:

```
router ospf 1
router-id 10.11.100.1
area 0.0.0.0
interface loopback 0
ip address 10.11.100.1/32
ip ospf 1 area 0.0.0.0
```

Pro Spine2:

```
router ospf 1
router-id 10.11.100.2
area 0.0.0.0
interface loopback 0
ip address 10.11.100.2/32
ip ospf 1 area 0.0.0.0
```

Pro Leaf1a:

```
router ospf 1
router-id 10.11.101.1
area 0.0.0.0
interface loopback 0
ip address 10.11.101.1/32
ip ospf 1 area 0.0.0.0
Pro Leaf1b:
```

```
router ospf 1
router-id 10.11.101.2
area 0.0.0.0
interface loopback 0
ip address 10.11.101.2/32
ip ospf 1 area 0.0.0.0
```

a tak dále.

Pro OSFP komunikaci byla síť rozdělena do párů se síťovou maskou 31 v rozsahu 10.11.11.0 pro Spine1 kde jednotlivé páry spojů budou řešeny následujícím způsobem:

```
Spine1 10.11.11.0/31 – Leaf1a 10.11.11.1/31
Spine1 10.11.11.2/31 – Leaf1b 10.11.11.3/31
```

```
Spine1 10.11.11.4/31 – Leaf2ab 10.11.11.5/31
Spine1 10.11.11.6/31 – Leaf3ab 10.11.11.7/31
```

```
Spine1 10.11.11.x-sudá/31 – Leafx 10.11.11.x+1-lichá/31
```

Pro Spine2 OSFP komunikaci byla síť rozdělena obdobně do párů se síťovou maskou 31 v rozsahu 10.11.12.0 kde jednotlivé páry spojů budou řešeny následujícím způsobem:

```
Spine2 10.11.12.0/31 – Leaf1a 10.11.12.1/31
Spine2 10.11.12.2/31 – Leaf1b 10.11.12.3/31
```

```
Spine2 10.11.12.4/31 – Leaf2ab 10.11.12.5/31
Spine2 10.11.12.6/31 – Leaf3ab 10.11.12.7/31
```

```
Spine2 10.11.12.x-sudá/31 – Leafx 10.11.12.x+1-lichá/31
```


4.5.1 Počáteční instalace

V serverové místnosti byly nainstalovány Spine přepínače a pár leaf přepínačů (Leaf1a a Leaf1b) pro serverová připojení. Bylo zapojeno propojení mezi spine and leaf přepínači v tomto případě pomocí 4x100GbE kabelů a ověřena dostupnost komunikace pro správu jak na L3 tak pomocí sériové konzole. Na leaf přepínačích byl zvolen pár portů pro testovací připojení, kam bude připojen testovací server a vyhrazen další pár pro dočasné připojení stávající infrastruktury. Oproti původnímu projektovému plánu bylo rozhodnuto, že v této fázi pro lepší ověření funkcionality se vyhradí nevyužitý optický spoj po změření propustnosti do „Haly pro zákaznická nastavení“ a zde byl nainstalován další přepínač Leaf6. Díky tomu výsledné zapojení bez zásahu do stávající infrastruktury nabídlo možnost ověření funkcionality jak v serverové místnosti tak pro „dlouhé“ propojení mimo serverovou místnost. Jako dodatečný benefit tohoto stavu byla možnost ověření funkcionality s minimálním dopadem na provoz, kde na testovacím serveru byl nainstalován kustomizační software a v „Hale pro zákaznická nastavení“ byl připojeno nastavované testovací zařízení.

4.5.2 První Údržbové Okno (Den 1 a Den 2)

Vzhledem k tomu že základní konfigurace byla nastavena a ověřena před údržbovým oknem se celá práce soustředila na fyzické přepojení a výměnu špatných kabelů. V první fázi byla připojena původní síťová infrastruktura do leaf přepínačů rychlostí 10GbE, ověřena funkčnost komunikace mezi již stávajícími síťovými uzly. Byla ověřena dostupnost mezi „Halou pro zákaznická nastavení“ do přepínače Leaf6 a po té byla zahájena migrace serverových spojů. Po migraci serverových připojení byl proveden test na redundanci mezi serverovými adaptéry a Leaf1a a Leaf1b, kde se ověřovalo fyzické odpojení/vypnutí jednotlivých komponent. Jeden z nálezů byl nutnost změny load balancing algoritmů u některých serverů z důvodu přizpůsobení na nové prostředí. Dále byla ověřena funkce propojení mezi serverovou částí a HPC a Hadoop clustery, kde nedošlo k fyzické změně, ale výpadek těchto služeb by znamenal ekonomické ztráty. Plánovaná odstávka se obešla bez větších komplikací a byla dodržena původní časová dotace na jednotlivé úkoly.

4.5.3 Mezi Prvním a Druhým Údržbovým Oknem

Vzhledem k mírnému útlumu výroby bylo rozhodnuto pokračovat s implementací v „Hale pro zákaznická nastavení“ kde dočasné snížení celkové kapacity o ¼ bylo shledáno jako akceptovatelná varianta. Za plného provozu došlo k odstavení a přepojení části tohoto provozu, kde se nejprve na plno využil Leaf6 přepínač a zapojil do pracovních přípojních míst a pokračovalo se postupně s Leaf7 až Leaf9. Výsledkem byla kompletně odstavená původní infrastruktura s minimálním omezením. Vzhledem k odlehčení stávající infrastruktury a uvolnění kapacity core přepínačů byl pozorován zvýšený výkon propustnosti i v částech, kde nedošlo k přepojení. Pro přípravu 1G přepínačů byla provedena konfigurace virtuálního stacku.

Nastavení VSF stacku na prvním přepínači:

```
switch(config)# vsf member 1
```

```
switch(vsf-member-1)# link 1 1/1/49-1/1/50 //porty vyhrazený pro automatické stackování
```

Na druhém prepínači:

```
switch(config)# vsf secondary-member 2  
Po propojení portů 49 a 50 výsledná konfigurace:
```

```
switch# show vsf  
MAC Address : e0:07:1b:00:10:ba  
Secondary : 2  
Secondary : 2 Topology : Chain  
Status : No Split  
Split Detection Method : mgmt  
Mbr Mac Address type Status  
ID  
-----  
1 e0:07:1b:00:10:ba JL660A Master  
2 e0:07:1b:00:10:bb JL661A Standby
```

Tím jsme získali pár propojených 1GbE prepínačů a další nastavení je obdobné jako v předchozích případech, kde jsou potřeba nastavit adresa pro správu, adresa pro loopback a pak jednotlivé IP adresy pro párové IPv4 linky mezi Spine a Leaf prepínači. Jediný rozdíl oproti vysokorychlostním prepínačům je ten, že tento pár je adresovaný jako jeden virtuální prepínač, takže porty jsou adresovány 1 (pro první prepínač)/1/24 a 2 (pro druhý prepínač)/1/24. V tomto případě uplink pro Spine prepínače budou porty 1/1/51 pro Spine1 a 2/1/5 pro Spine2. Je sice možné použít i porty 52, ale vzhledem k maximální datovým nárokům a teoretickému maximálnímu overprovisioning ratio 1,96:1 je toto naprosto zbytečné jak z technického tak i z ekonomického hlediska. Zbylé dva vysokorychlostní prepínače pro výrobní úsek byly nastaveny obdobně jako Leaf6-9 prepínače a připraveny na další údržbové okno. Došlo k montáži předkonfigurovaných zařízení do připravených racků a prostřednictvím sériové konzole a přístupu pro správu na IPv4 byla ověřena funkčnost nastavení a vyloučeny anomálie v konfiguracích.

4.5.4 Druhé Údržbové Okno (Den 1 a Den 2):

Znovu byly předpřipravené konfigurace pro jednotlivá pracoviště pro usnadnění přechodu, zařízení instalována do vyhrazených míst v racku, ale zde bylo potřeba řešit množství současně přepojovaných zařízení, takže implementační personál byl rozdělen na několik týmů, kde každý tým řešil jednu oblast a koordinační tým měl na starosti připojení zařízení do infrastruktury a testy k celkovému ověření funkcionality přidávaných segmentů. První tým měl na starosti kancelářskou budovu, kde nejprve bylo nutné přepojit přípojná spojení ze stávajících prepínačů a v serverové místnosti do Spine prepínačů. Po ověření spojení byly přepojeny již označené UTP kabely do nových prepínačů a tým postupoval pracovní místo po pracovním místě, kde pomocí jednoduchého testu s notebookem se pouze ověřilo přihlášení a přístup na souborový a aplikační server. Obdobně druhý tým postupoval v případě kancelářské části výroby. Třetí tým měl na starosti přepojení výrobního a testovacího zařízení. Tento tým měl nejvyšší prioritu a bylo nutno ověřit celkovou funkčnost každého přípojného bodu. Pro tuto činnost byla vyhrazena malá část

rozpracovaných výrobků před testy, na které se ověřovala funkčnost a simulovala reálná zátěž běžného provozu. Poslední skupina měla na starost připravit přepojení HPC a Hadoop clusterů. Vzhledem k přímočarému spojení nebyla nutna extenzivní přípravná fáze a pouze se provedla rekonfigurace hraničních prepínačů a přepojilo se několik optických kabelů v serverové místnosti s dodatečným zvýšením přenosové rychlosti z 10GbE na plánovaných 25GbE. Veškeré práce v serverové místnosti byly prováděny koordinačním týmem. Až na potřebu výměny několika kabelů v kancelářské části se nevyskytla žádná zásadní komplikace.

4.5.5 Post-Implementační Plán

Jako každá nová věc je třeba aby se nová síťová infrastruktura usadila a zvykla si na plný provoz. V průběhu této fáze byly provedeny zátěžové testy, ověřena funkčnost celého systému a tým specialistů se zaměřil na hledání anomálií v provozu.

Byla úspěšně provedena zkouška redundance, kde se jednotlivé provozně kritické části odpojovali/vypínali, aby bylo zaručeno, že celý systém pracuje dle očekávání. Tato fáze trvala zhruba měsíc a proběhla bez větších komplikací. Výsledkem bylo objevení několika artefaktů, které byly bez větších obtíží vyřešeny prostřednictvím přidání dalších segmentů do nové infrastruktury a některé opomenuté věci následně zdokumentovány.

Po této fázi bylo možné začít s rozebíráním staré infrastruktury, kde proběhla demontáž nepotřebných a již vypnutých zařízení. Některé novější části staré infrastruktury se použili pro nekritická místa například pro nově zřízenou testovací laboratoř, kde nároky na síťovou infrastrukturu jsou minimální a hlavní zaměření je software, případně na OOBM síť z které probíhá správa a konfigurace celé infrastruktury včetně serverové části. Zbytek zařízení byl recyklován.

Byla provedena anketa mezi koncovými uživateli pro zjištění spokojenosti s novým stavem, která obsahovala kritéria jako subjektivní pocit na současnou rychlost odezvy systému a podobně.

Celá nová síťová infrastruktura byla zdokumentována, včetně nalezených artefaktů, proběhlo nové značení jednotlivých síťových spojů a vybrány klíčová místa pro následnou implementaci bezpečnostních pravidel.

Byl nasazen monitorovací systém síťového provozu, pro sbírání statistik zátěží jednotlivých VLAN/VxLAN segmentů, pro budoucí optimalizaci provozu pomocí nastavitelných priorit a sledování vytíženosti jednotlivých fyzických větví sítě.

Pracovníci zodpovědní za jednotlivé svěřené úseky prošli školením na nové postupy a odstraňování případných poruch v běžném provozu.

Byl vytvořen formální předávací a akceptační protokol, který byl předán a přijat zástupci vedení společnosti.

V rámci nových postupů se stanovily cykly aktualizací operačního systému prepínačů, postup ověření funkcionality po aktualizaci, sepsány návody jak přidat/odebrat síťový segment, jakým způsobem kontaktovat technickou podporu a stanoveny nové reakční časy na řešení případných problémů.

5 Výsledky a diskuse

5.1 Hodnocení Projektu

Celkově byl projekt hodnocen jako úspěšný. Projevilo se signifikantní zlepšení síťové propustnosti, zvýšení flexibility a škálovatelnosti u daného průmyslového podniku. Změna síťové infrastruktury pozitivně ovlivnila odezvu celého výrobního systému a zvýšila celkovou efektivitu podniku.

Během realizace projektu se vyskytly některé nečekané překážky, jako například přejetý kabel židlí nebo opomenutí zahrnutí tiskárny do projektového zadání. Tyto incidenty byly rychle identifikovány a efektivně vyřešeny, kde se prokázala dobrá schopnost týmu reagovat na nečekané situace. Tyto menší incidenty poskytly cenné lekce pro budoucí projekty, kde bude důležité důkladněji kontrolovat fyzickou infrastrukturu a zahrnout do plánování všechny komponenty, včetně periferních zařízení. Nicméně v tomto projektovém rozsahu lze hovořit jako o minoritních incidentech, které v důsledku neovlivnily celkový průběh implementace.

Přestože počáteční investice do projektu byla vysoká, dlouhodobé výhody a zlepšení efektivity operací jasně převážily počáteční náklady. Investice do Spine and Leaf topologie poskytla základ pro robustní, škálovatelnou a vysoko výkonnou síťovou infrastrukturu, která je nezbytná pro uspokojení požadavků průmyslu 4.0. Kromě zlepšení síťové propustnosti a škálovatelnosti přinesla implementace Spine and Leaf topologie také výhody, jako jsou snížené dlouhodobé náklady na údržbu, lepší odolnost proti chybám a vyšší míru automatizace.

Závěrem lze říci, že implementace Spine and Leaf topologie přinesla podniku významný technický a ekonomický přínos vedoucí k zvýšení konkurenceschopnosti a adaptability podniku v rychle se měnícím technologickém prostředí.

5.2 Porovnání teoretických a praktických výsledků

Pro vlastní měření byl použit open source program iPerf. (Jon Dugan, 2023)

iPerf je nástroj určený primárně pro měření síťové propustnosti mezi dvěma koncovými body. Jeho hlavní úlohou je generování síťového provozu a měření rychlosti přenosu dat přes síť. iPerf nezapisuje data na disk; místo toho posílá data buď jako UDP nebo TCP pakety přes síť a měří, jak rychle tato data mohou být přenesena mezi dvěma body v síti.

Při testování s iPerf se data obvykle generují v paměti a poté se posílají přes síť. Příjímající strana poté obdržená data obvykle zahazuje, místo aby je zapisovala na disk. Toto chování umožňuje iPerfu měřit čistou síťovou propustnost bez vlivu omezení diskového subsystému nebo jiných faktorů, které by mohly zkreslit výsledky měření rychlosti síťového přenosu.

5.2.1 Výchozí měření původní infrastruktury

V následujícím měření jsou zobrazeny hodnoty pro bod-bod propojení a 10GbE linky:

Serverová místnost server vs server:

```
-----  
Server listening on TCP port 5201  
TCP window size: 128 KByte (default)  
-----
```

```
[ 5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.6 port 52146  
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth  
[ 5] 0.0-1.0 sec    1.25 GBytes 9.7 Gbits/sec  
[ 5] 1.0-2.0 sec    1.15 GBytes 9.9 Gbits/sec  
[ 5] 2.0-3.0 sec    900 MBytes 7.6 Gbits/sec  
[ 5] 3.0-4.0 sec    1.2 GBytes 9.3 Gbits/sec  
[ 5] 4.0-5.0 sec    850 MBytes 7.2 Gbits/sec  
[ 5] 5.0-6.0 sec    1.1 GBytes 9.4 Gbits/sec  
[ 5] 6.0-7.0 sec    1.0 GBytes 8.5 Gbits/sec  
[ 5] 7.0-8.0 sec    1.15 GBytes 9.9 Gbits/sec  
[ 5] 8.0-9.0 sec    950 MBytes 8.0 Gbits/sec  
[ 5] 9.0-10.0 sec   1.1 GBytes 9.4 Gbits/sec  
[ 5] 0.0-10.0 sec   10.6 GBytes 9.1 Gbits/sec
```

Serverová místnost vs výrobní hala:

```
-----  
Server listening on TCP port 5201  
TCP window size: 128 KByte (default)  
-----
```

```
[ 5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.10 port 52146  
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth  
[ 5] 0.0-1.0 sec    950 MBytes 8.0 Gbits/sec  
[ 5] 1.0-2.0 sec    980 MBytes 8.2 Gbits/sec  
[ 5] 2.0-3.0 sec    200 MBytes 1.7 Gbits/sec  
[ 5] 3.0-4.0 sec    400 MBytes 3.4 Gbits/sec  
[ 5] 4.0-5.0 sec    600 MBytes 5.1 Gbits/sec  
[ 5] 5.0-6.0 sec    800 MBytes 6.7 Gbits/sec  
[ 5] 6.0-7.0 sec    1.0 GBytes 8.5 Gbits/sec  
[ 5] 7.0-8.0 sec    250 MBytes 2.1 Gbits/sec  
[ 5] 8.0-9.0 sec    500 MBytes 4.2 Gbits/sec  
[ 5] 9.0-10.0 sec   850 MBytes 7.1 Gbits/sec  
[ 5] 0.0-10.0 sec   6.53 GBytes 5.6 Gbits/sec
```

Serverová místnost vs Hala pro zákaznická nastavení:

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 128 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.12 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 850 MBytes 7.1 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 900 MBytes 7.6 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 700 MBytes 5.9 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 950 MBytes 8.0 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 800 MBytes 6.7 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 950 MBytes 8.0 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 700 MBytes 5.9 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 900 MBytes 7.6 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 850 MBytes 7.1 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 950 MBytes 8.0 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 8.55 GBytes 7.3 Gbits/sec

Jak je z měření zřejmé, tak síťová infrastruktura má problémy. V případě komunikace v rámci serverové místnosti je kolísání rychlosti ještě únosné, ale přenosy na ostatní měřená pracoviště vykazují značné problémy.

5.2.2 Měření nové infrastruktury

Serverová místnost 2x100GbE propoje mezi spine and leaf:

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 256 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.6 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 49 GBytes 42.0 Gbits/sec

Serverová místnost vs výrobní hala:

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 128 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.10 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 2.5 GBytes 21.4 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 2.6 GBytes 22.2 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 4.9 GBytes 42.1 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 5.0 GBytes 42.9 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 4.8 GBytes 41.2 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 5.0 GBytes 42.8 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 4.9 GBytes 41.9 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 5.0 GBytes 42.7 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 4.9 GBytes 41.6 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 44.5 GBytes 38.2 Gbits/sec

Serverová místnost vs Leaf6

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 128 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.12 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 2.4 GBytes 20.6 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 4.8 GBytes 41.2 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 4.9 GBytes 42.3 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 4.7 GBytes 40.3 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 4.8 GBytes 41.1 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 4.7 GBytes 40.5 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 4.8 GBytes 41.4 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 4.9 GBytes 42.2 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 4.8 GBytes 41.0 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 46.7 GBytes 40.0 Gbits/sec

Serverová místnost vs Leaf7

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 128 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.12 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 2.6 GBytes 22.3 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 2.7 GBytes 23.1 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 2.5 GBytes 21.4 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 5.0 GBytes 42.9 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 4.9 GBytes 42.0 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 4.8 GBytes 41.2 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 4.9 GBytes 42.3 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 5.0 GBytes 42.8 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 4.9 GBytes 41.9 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 5.0 GBytes 42.7 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 42.3 GBytes 36.3 Gbits/sec

Serverová místnost vs Leaf8

Server listening on TCP port 5201
TCP window size: 128 KByte (default)

[5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.12 port 52146
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[5] 0.0-1.0 sec 2.4 GBytes 20.6 Gbits/sec
[5] 1.0-2.0 sec 2.5 GBytes 21.4 Gbits/sec
[5] 2.0-3.0 sec 2.6 GBytes 22.3 Gbits/sec
[5] 3.0-4.0 sec 4.8 GBytes 41.1 Gbits/sec
[5] 4.0-5.0 sec 4.9 GBytes 41.9 Gbits/sec
[5] 5.0-6.0 sec 4.8 GBytes 41.2 Gbits/sec
[5] 6.0-7.0 sec 4.9 GBytes 41.7 Gbits/sec
[5] 7.0-8.0 sec 4.8 GBytes 41.3 Gbits/sec
[5] 8.0-9.0 sec 4.9 GBytes 41.8 Gbits/sec
[5] 9.0-10.0 sec 4.8 GBytes 41.1 Gbits/sec
[5] 0.0-10.0 sec 39.4 GBytes 33.8 Gbits/sec

Serverová místnost vs Leaf9

```
-----  
Server listening on TCP port 5201  
TCP window size: 128 KByte (default)  
-----
```

```
[ 5] local 10.0.0.5 port 5201 connected with 10.0.0.12 port 52146  
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth  
[ 5] 0.0-1.0 sec    2.4 GBytes 20.6 Gbits/sec  
[ 5] 1.0-2.0 sec    2.5 GBytes 21.4 Gbits/sec  
[ 5] 2.0-3.0 sec    2.6 GBytes 22.3 Gbits/sec  
[ 5] 3.0-4.0 sec    4.8 GBytes 41.1 Gbits/sec  
[ 5] 4.0-5.0 sec    4.9 GBytes 41.9 Gbits/sec  
[ 5] 5.0-6.0 sec    4.8 GBytes 41.2 Gbits/sec  
[ 5] 6.0-7.0 sec    4.9 GBytes 41.7 Gbits/sec  
[ 5] 7.0-8.0 sec    4.8 GBytes 41.3 Gbits/sec  
[ 5] 8.0-9.0 sec    4.9 GBytes 41.8 Gbits/sec  
[ 5] 9.0-10.0 sec   4.9 GBytes 41.6 Gbits/sec  
[ 5] 0.0-10.0 sec   46.5 GBytes 39.9 Gbits/sec
```

Jak je vidět z měření tak linky vykazují mírné zpoždění než se rozloží zátěž pomocí ECMP protokolu a vlastní přenosové rychlosti se blíží k teoretickým maximům vzhledem k použitým spojům. Hodnoty jsou překvapivé vzhledem k tomu, že měření probíhalo v době slabého provozu společnosti. Nástupy rozkladu nebudou pro více využívané segmenty sítě, kde nedochází k „zapomínání“ (aging) směrovacích tabulek. V serverové místnosti kde linky mezi spine a leaf přepínači jsou 100GbE se tento postupný nástup neprojevil.

Pro účely měření bylo opuštěno od testů 1GbE linek, kde více než celkové dostupné pásmo je důležitá stabilita spojení.

5.3 Doporučení pro budoucí výzkum

Celá implementace síťové topologie v tomto projektu byla provedena manuálním způsobem. To zahrnovalo použití sériové konzole a individuální nastavení každého přepínače přímo na místě. Tento přístup, ačkoliv technicky správný, se ukázal jako časově náročný a vyžadoval hluboké technické znalosti a porozumění celé problematice. I když byla tato metoda úspěšná, ukázala několik omezení z hlediska efektivity a škálovatelnosti.

Vzhledem k těmto výzvám, pro budoucí podobné projekty by bylo vhodnější využít automatizační nástroje, které by značně zjednodušily a zefektivnily celý proces konfigurace. Jako příklad se nabízí použití nástroje Ansible, který je široce uznávaný pro svou flexibilitu a možnost použití předpřipravených a upravitelných skriptů (tzv. playbooks) pro tuto topologii a použité přepínače. Tyto playbooks jsou dostupné na platformě GitHub a mohou být přizpůsobeny specifickým potřebám projektu. Implementace pomocí Ansible by nejen zefektivnila proces konfigurace, ale i by se urychlil celkový proces implementace a snížila pravděpodobnost chyb při nastavování.

Další možností je použití proprietárního AFC (Aruba Fabric Composer). AFC je řešení speciálně navržené pro automatizaci a správu síťové infrastruktury v průmyslových a podnikových prostředích. AFC poskytuje centralizované a uživatelsky přívětivé rozhraní pro správu sítě, což umožňuje efektivnější konfiguraci, sledování a optimalizaci síťových prostředků. S AFC lze snadno integrovat různé síťové komponenty vede k značnému zjednodušení procesu nastavování a správy komplexních síťových topologií, jako je Spine and Leaf. Díky tomu, že AFC automaticky detekuje a konfiguruje síťové prvky, výrazně snižuje potřebu manuálního zásahu a minimalizovat riziko chyb v konfiguraci. Kromě toho AFC nabízí pokročilé funkce jako je automatizace šablon konfigurací. Tato funkce umožňuje rychle a efektivně aplikovat konzistentní nastavení napříč celou sítí. Tato funkce je zvláště užitečná v prostředích s vysokou mírou dynamických změn, jako jsou průmyslové podniky s neustálým rozvojem a inovacemi. Použitím AFC mohou podniky také získat lepší přehled o stavu a výkonu své sítě díky komplexním analytickým nástrojům, které systém nabízí. Tato analytika může poskytovat cenné informace pro další optimalizaci sítě a proaktivní řízení potenciálních problémů.

Tyto doporučení vychází z potřeby větší automatizace a efektivity v rámci složitých síťových implementací.

Další doporučení je přechod infrastruktury z IPv4 na IPv6, kde je prakticky mimo jiné neomezený počet adres, vyšší škálovatelnost, lepší směrování v OSPF3 na IPv6 a v neposlední řadě prakticky nemožnost se dostat do stavu IP clash.

V rámci dalšího výzkumu by bylo vhodné se zaměřit na optimalizaci prioritizace síťového provozu, zejména pro služby jako je VoIP (Voice over IP) a další kritické aplikace vyžadující vysokou kvalitu služeb (QoS). V průmyslových prostředích se směnným provozem je klíčové zajistit, aby tyto důležité služby měly přednost a byly zajištěny proti přetížení sítě. Výzkum by mohl zkoumat různé metody pro efektivní řízení provozu a zajištění prioritizace, včetně pokročilých technik jako je hluboká analýza paketů a inteligentní směrování.

Dalším zajímavým směrem pro výzkum by bylo prozkoumat možnosti integrace iSCSI (Internet Small Computer System Interface) a odstranění tradiční FC (Fibre Channel) infrastruktury pro ukládání dat. Vzhledem k úspěšné implementaci Spine and Leaf topologie, která ukázala vysokou výkonnost a škálovatelnost, by začlenění iSCSI mohlo přinést další ekonomické a provozní výhody. Eliminací FC infrastruktury a přechodem na plně ethernetovou síťovou architekturu by se mohly dosáhnout významné úspory a zjednodušení správy. Tento přístup by také mohl zvýšit flexibilitu a možnosti budoucího rozšiřování sítě.

6 Závěr

Tato práce představuje konkrétní řešení jedné z výzev průmyslu 4.0 pro průmyslový podnik se směným provozem. Součástí práce bylo prozkoumání definic a trendů průmyslu 4.0, se zvláštním zaměřením na hlavní regiony jako jsou USA a Německo, respektive EU, a porovnání těchto trendů s aktuálním stavem v České republice. Toto porovnání poskytlo cenný kontext a ukázalo, jak se globální trendy průmyslu 4.0 odrážejí a implementují na lokální úrovni.

Dále byl proveden podrobný přehled použitých síťových protokolů a technologií. Tento přehled zahrnoval analýzu rozšířených standardů a jejich aplikaci v praxi, což umožnilo lépe pochopit, jak mohou být tyto technologie efektivně využity v průmyslových aplikacích.

Klíčovým výstupem je úspěšná implementace Spine and Leaf síťové topologie, která byla zvolena pro svou schopnost efektivně zvládat vysoké požadavky na síťovou komunikaci. Významným aspektem této práce je důraz na rozhodování, které bylo řízeno jak technickými, tak ekonomickými faktory. Technicky, bylo potřeba zajistit vysokou dostupnost a spolehlivost sítě pro podporu směnného provozu, zatímco ekonomicky bylo klíčové najít řešení, které je nákladově efektivní.

Spine and Leaf topologie byla identifikována jako nejlepší volba pro daný případ a vedla k zajištění nejen vyšší síťové propustnosti a lepší škálovatelnosti, ale také pro svou schopnost minimalizovat počáteční investice a snížit dlouhodobé provozní náklady. Toto řešení umožnilo podniku dosáhnout významného zlepšení provozu síťové infrastruktury.

Pro hlubší pochopení implementovaného řešení byla provedena rozsáhlá analýza výkonu síťové infrastruktury, včetně testování rychlosti a spolehlivosti pomocí nástrojů jako iperf. Tyto testy odhalily, že nová topologie nejenže splňuje, ale v mnoha případech i překračuje očekávané výkonnostní parametry. Zvláště pozoruhodné bylo zjištění, že systém dokázal udržet vysokou propustnost i během špičkových provozních období, což je klíčové pro průmyslové aplikace vyžadující nepřetržitý provoz.

Tato diplomová práce nabízí nejen teoretické poznatky, ale především praktické řešení, které efektivně řeší specifické výzvy průmyslového podniku s kontinuálním provozem. Výsledky a zkušenosti získané v průběhu této práce mohou sloužit jako vzor pro podobné projekty.

Kromě technického a ekonomického přínosu byly také prozkoumány potenciální směry budoucího vývoje a inovací v oblasti síťové infrastruktury. To zahrnuje možnosti dalšího zlepšení v oblastech jako je automatizace, zabezpečení a integrace s pokročilými technologiemi, jako jsou cloudové služby a Internet věcí (IoT). Tyto aspekty nabízejí nové možnosti pro zvyšování efektivity, flexibility a škálovatelnost průmyslových sítí, což bude mít zásadní význam pro budoucí trendy v průmyslu 4.0.

7 Seznam použitých zdrojů

- Ahmad, I., 2017. *Cloud Computing - A Comprehensive Definiton*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Al-Fares, M. L. A. V. A., 2008. *A scalable, commodity data center network architecture*. [Online].
- Aruba, January 2022. *AOS-CX 10.07 Command-Line Interface Guide*. [Online].
- Bertoldi, P., 2008. *European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres*. [Online].
- Chand, M., 2023. *Top 10 Cloud Service Providers (2023)*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Cisco, 2023+. *Networking Academy*. [Online].
- Doyle, S., 2021. *5G for Industry 4.0 operational technology networks*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Fan, W. & B. A. (., 2012. *Mining Big Data: Current Status, and Forecast to the Future*. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 14, 1-5.. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Gilchrist, A., 2016. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. V: *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Bangken: Nonthaburi Thailand: Apress. ISBN: 978-1-4842-2046-7. Dostupné z: DOI 10.1007/978-1-4842-2047-4..
- HOODA, S. K. K. S. & K. P., 2014. *USING TRILL AND FABRICPATH*. [Online].
- Howard Frazier – Broadcom, S. V. D. –. I. R. H. -. I. S. M. –. S. M. B. T. –. S. C. P. K. –. C. G. T. –. N. B. T. –. J. N., 17-April-2007. *IEEE 802.3ad Link Aggregation*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- HPE, 2023+. *Aruba documentation*. [Online].
- HwAiyu GENG, P., 2014. *DATA CENTER HANDBOOK*. V: *DATA CENTER HANDBOOK*. Palo Alto, CA, USA: Wiley; 1st edition ISBN-10 : 1118436636 ISBN-13 : 978-1118436639.
- IBM, nedatováno *IBM. What is big data?—Bringing big data to the enterprise*. [Online]
[Přístup získán July 2019].
- IEEE Association, I. S., nedatováno *IEEE Standards Association (IEEE SA)*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Ishwarappa, A. J. A., 2015. *Brief Introduction on Big Data 5Vs Characteristics and Hadoop Technology*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- ISO/IEC Standardization, I. O. f., 1994. *ISO/IEC 7498-1:1994*. místo neznámé:Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model: The Basic Model..
- Jon Dugan, S. E. B. A. M. J. P. K. P. A. c. c. h. c. f. (. i. a. o. M. A. A. B. A. J. S. S. B. S. B. T., 2023. <https://iperf.fr/>. [Online].
- Jonathan Stuart Ward, A. B., 201š. *Undefined By Data: A Survey of Big Data Definitions*. [Online]
[Přístup získán 2023].
- Libor Dostálek, A. K., 2000. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. V: Praha: Computer Press ISBN 80-7226-323-4.
- Liu, Y. M. J. L. D. H. M. & V. M., 2013. *Data Center Networks: Topologies, Architectures and Fault-Tolerance Characteristics*.. V: : The Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, Hong Kong, SAR; Department of Electrical and

Computer Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA, USA: Springer. ISBN: 978-3-319-01948-2. [Online] Dostupné z: DOI 10.1007/978-3-319.

M. Mahalingam, S. D. N. D. A. K. S. B. W. H., August 2014. *Request for Comments: 7348*. [Online]
[Přístup získán 2023].

Maria Avgerinou, P. B. a. L. C., 2017. *Trends in Data Centre Energy Consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency*. [Online]
[Přístup získán 2023].

McKittrick, M., 2012. *Industrial Agriculture. A Companion to Global Environmental History*. 411-432. 10.1002/9781118279519.ch23.. [Online].

Morgan, T. P., August 30, 2021. *MORE THAN ANYTHING ELSE, COST PER BIT DRIVES DATACENTER ETHERNET*. [Online]
[Přístup získán 2023].

Perlman, R., (September 14, 1999). *Interconnections: Bridges, Routers, Switches, and Internetworking Protocols 2nd Edition*. V: Boston: Addison-Wesley Professional; 2nd edition ISBN-10 : 0201634481 ISBN-13 : 978-0201634488, p. 560 pages.

R. Hinden, E., April 2004. *Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)*. [Online]
[Přístup získán 2023].

Ramjattan, D. M. a. R., Received: 5 October 2022 / Revised: 2 November 2022 / Accepted: 5 November 2022 / Published: 9 November 2022. *Machine Learning for Industry 4.0: A Systematic Review Using*. [Online]
[Přístup získán 2023].

ReneMolenaar, 2013-2023. *Quality of Service*. [Online]
[Přístup získán 2023].

Ricardo Pasquati Pontarolli, J. A. B. , B. R. d. S. a. P. G., Received: 27 January 2023 / Revised: 28 March 2023 / Accepted: 13 April 2023 / Published: 19 April 2023. *Microservice-Oriented Architecture for Industry 4.0*. [Online]
[Přístup získán 2023].

S. Nadas, E., March 2010. *Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) Version 3 for IPv4 and IPv6*. [Online]
[Přístup získán 2023].

Saurabh Vaidya, P. A. S. B., 2018. *Industry 4.0 – A Glimpse*. [Online]
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
[Přístup získán 2023].

Schegolev, B. W. H. & M. V., 2020. *Cost Perspective of a Service Oriented Architecture in Vehicle Design*.. [Online].

SPCR.cz, 2019. *Jak rozumět konceptu průmysl 4.0*.. [Online]
[Přístup získán 9 2023].

TME, A. S., 02-Nov-22. *ESP Data Center Design*. [Online].

Vlastní práce, 2023. [Online].

William James Dally, B. P. T., 1st Edition - December 18, 2003. *Principles and Practices of Interconnection Networks*. V: Amsterdam ; San Francisco: Morgan Kaufmann
Hardback ISBN: 9780122007514.

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Vývoj systémů (Ricardo Pasquati Pontarolli, Received: 27 January 2023 / Revised: 28 March 2023 / Accepted: 13 April 2023 / Published: 19 April 2023)	22
Obrázek 2 Spotřeba energie datacentra (HwAiyu GENG, 2014).....	24
Obrázek 3 Rozmístění evropských datacenterů participující v průzkumu (Maria Avgerinou, 2017).....	25
Obrázek 4 Četnost datacenterů dle PUE (Maria Avgerinou, 2017)	25
Obrázek 5 Vývoj PUE v čase (Maria Avgerinou, 2017)	26
Obrázek 6 Procentuální zastoupení datacenterů v odvětvích (Maria Avgerinou, 2017).....	26
Obrázek 7 Vývoj ceny za port (Morgan, August 30, 2021)	27
Obrázek 8 Cena za port a Gbit (Morgan, August 30, 2021).....	28
Obrázek 9 Tržní podíl (Morgan, August 30, 2021)	28
Obrázek 10 Taxonomie síťových topologií (Liu, 2013).....	31
Obrázek 11 Směry komunikace v datacentru (Liu, 2013).....	32
Obrázek 12 Hierarchická topologie Cisco (Cisco, 2023+).....	34
Obrázek 13 hierarchická topologie Aruba (Aruba, January 2022).....	34
Obrázek 14 Různé délky datových cest s STP (Cisco, 2023+) (Vlastní_práce, 2023).....	35
Obrázek 15 Původní symetrická Closova síť (William James Dally, 1st Edition - December 18, 2003).....	37
Obrázek 16 Cisco Spine and Leaf (Cisco, 2023+).....	37
Obrázek 17 Aruba Spine and Leaf (Aruba, January 2022).....	38
Obrázek 18 Pozice LACP v OSI modelu (Howard Frazier – Broadcom, 17-April-2007) ..	41
Obrázek 19 TCP/IP a OSI model (Libor Dostálek, 2000).....	48
Obrázek 20 3Tier HLD (Vlastní_práce, 2023)	64
Obrázek 21 Spine and Leaf HLD (Vlastní_práce, 2023).....	66

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Sběr dat (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019).....	14
Tabulka 2 Výzvy (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019).....	16
Tabulka 3 Základní technologie (Saurabh Vaidya, 2018) (Gilchrist, 2016) (SPCR.cz, 2019)	16
Tabulka 4 IEEE Ethernet standards (IEEE Association, n.d.).....	29
Tabulka 5 Ethernetový rámec (Cisco, 2023+)	36
Tabulka 6 Zapouzdření pomocí VxLAN (IEEE Association, nedatováno)	43
Tabulka 7 Srovnání Cos a QoS (Cisco, 2023+).....	52
Tabulka 8 Cena za port (Vlastní_práce, 2023)	61
Tabulka 9 Počet portů (Vlastní_práce, 2023)	62
Tabulka 10 Revidovaný počet (Vlastní_práce, 2023)	63
Tabulka 11 SWOT 3.tier (Vlastní_práce, 2023).....	65
Tabulka 12 Oversubscription 3T access (Vlastní_práce, 2023)	65
Tabulka 13 Oversubscription 3T core (Vlastní_práce, 2023).....	66
Tabulka 14 SWOT Spine and Leaf (Vlastní_práce, 2023).....	67

Tabulka 15 Oversubscription S&L 2 spine (Vlastní práce, 2023).....	67
Tabulka 16 Oversubscription S&L 3 spine (Vlastní práce, 2023).....	67
Tabulka 17 3T HW pořízení (Vlastní práce, 2023)	68
Tabulka 18 S&L HW pořízení (Vlastní práce, 2023).....	68
Tabulka 19 školení (Vlastní práce, 2023).....	69
Tabulka 20 Implementace (Vlastní práce, 2023).....	69
Tabulka 21 Odhad celkových nákladů projektu (Vlastní práce, 2023)	69
Tabulka 22 určení a adresace (Vlastní práce, 2023).....	71

Odkazovaný seznam tabulek

8.3 Seznam grafů

Odkazovaný seznam grafů

8.4 Seznam použitých zkratk

Soupis a definování zkratk (vyskytuje-li se jich v textu velké množství)

9 Přílohy

Odkazovaný seznam příloh