

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Porovnání implementací technologií Mikrotik a Cisco
ve firemních sítích
Bakalářská práce

Autor: Tomáš Němeček
Studijní obor: aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Pavel Blažek, Ph.D.

Hradec Králové

srpen 2022

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 5.8.2022

Tomáš Němeček

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Blažkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, jeho poskytnuté rady a konzultace, vždy správné nasměrování v nastalých nesnázích a jeho ochotu a vstřícnost při jeho jednání se mnou.

Děkuji i Mgr. Dagmar Kolingerové za pomoc s kontrolou českého pravopisu a úpravy textu do srozumitelnější podoby.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá porovnáním nabízených řešení pro počítačové sítě dvou společností, MikroTik a Cisco, kdy obě firmy v tomto odvětví hrají významné role. Z nastíněné historie moderních počítačových sítí práce přechází k seznámení se s firmami a s jejich filozofiemi, spolu s nastíněním používaných architektur zařízení a operačních systémů, podporovaných protokolů a jiných funkcí a standardů. Práce také uvádí konkrétní možnosti a způsoby konfigurací směrovačů a přepínačů a operačních systémů obou firem, a to se současným rozbohem aktuálně nabízených zařízení pro menší a střední sítě a s možnostmi certifikací, týkajících se nejen práce s jejich zařízeními, ale počítačových sítí obecně. Po krátkém srovnání nabízených řešení pak práce obsahuje postup a výsledky krátkého praktického otestování zařízení a výkonnostních testů. To vše je doplněno dalšími poznatky nabytými při testování.

Annotation

Title: Comparison of implementations of Mikrotik and Cisco technologies in corporate networks

The bachelor thesis deals with the comparison of computer networking solutions offered by two companies, MikroTik and Cisco, where both companies play important roles in this industry. From outlining the history of modern computer networking, the thesis moves on to an introduction to the companies and their philosophies, along with an outline of the device architectures and operating systems used, protocols supported, and other features and standards. The thesis also outlines specific options and configurations for routers and switches and operating systems from both companies, with a simultaneous discussion of the devices currently offered for smaller and medium-sized networks, and certification options related not only to working with their devices, but computer networks in general. After a brief comparison of the solutions offered, the thesis then includes the procedure and results of a short practical test of the devices and performance tests. All this is complemented by additional insights gained from the testing.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Historie počítačových sítí.....	3
3.1	Počátky sítí.....	3
3.2	ARPANET.....	4
3.3	TCP/IP a Internet.....	5
4	Standardy počítačových sítí.....	6
4.1	ISO / OSI.....	6
4.1.1	Aplikační vrstva.....	6
4.1.2	Prezentační vrstva.....	7
4.1.3	Relační vrstva.....	7
4.1.4	Transportní vrstva.....	7
4.1.5	Síťová vrstva.....	8
4.1.6	Linková vrstva.....	8
4.1.7	Fyzická vrstva.....	9
4.2	Aktivní prvky datových sítí.....	9
4.2.1	Opakovač.....	9
4.2.2	Rozbočovač (hub).....	10
4.2.3	Přepínač (switch).....	10
4.2.4	Směrovač (router).....	10
4.2.5	Přední výrobci aktivních síťových prvků.....	11
5	MikroTik.....	12
5.1	MikroTik RouterOS.....	12
5.1.1	Licence RouterOS.....	12
5.2	Základní funkce RouterOS.....	14

5.2.1	Směrování a přepínání	14
5.2.2	Virtual Local Area Network	14
5.2.3	RouterOS MAC bridges	15
5.2.4	Bridge Hardware Offloading	15
5.3	RouterOS Command-line interface.....	15
5.3.1	Item names a item numbers.....	16
5.3.2	Safe mode a vestavěná nápověda.....	17
5.4	Grafické rozhraní RouterOS	18
5.4.1	Winbox.....	18
5.4.2	Webfig.....	20
5.5	MikroTik RouterBOARD	20
5.5.1	Značení RouterBOARD	21
5.6	Zařízení společnosti MikroTik.....	22
5.6.1	Bezdrátová zařízení.....	22
5.6.2	Směrovače	23
5.6.3	Přepínače	24
5.6.4	Gigabit Passive Ethernet Network.....	25
5.6.5	MikroTik RouterBOARD.....	27
5.7	Certifikace MikroTik	28
5.7.1	Školící akce a instituce.....	28
5.7.2	Akademie MikroTik	28
5.7.3	Certifikované školicí programy MikroTik.....	28
6	Cisco Systems.....	30
6.1	Cisco IOS.....	30
6.1.1	Licence	30
6.2	Architektura IOS	31

6.2.1	Procesy.....	31
6.2.2	Paměti	32
6.2.3	IOS Kernel.....	32
6.2.4	Cisco IOS XE	33
6.3	Cisco IOS Command-line interface	34
6.3.1	User EXEC mode.....	34
6.3.2	Privileged EXEC mode	34
6.3.3	Global configuration mode.....	35
6.3.4	ROM monitor mode	35
6.3.5	Vestavěná nápověda.....	35
6.4	Cisco Web Browser User Interface	36
6.4.1	Server Side Includes	38
6.5	Základní funkce Cisco IOS	38
6.5.1	Fast Switching.....	38
6.5.2	Cisco Express Forwarding.....	39
6.6	Cisco proprietární protokoly	40
6.6.1	Cisco Discovery Protocol	40
6.6.2	Gateway Load Balancing Protocol.....	41
6.7	Zařízení Cisco	42
6.7.1	Bezdrátová řešení.....	43
6.7.2	Směrovače	44
6.7.3	Přepínače	45
6.7.4	Bezpečnostní aktivní prvky	46
6.7.5	Ostatní nabízená Cisco zařízení	47
6.8	Cisco Networking Academy.....	47
7	Porovnání řešení MikroTik a Cisco	49

7.1	Architektury a operační systémy	49
7.2	Funkce a používání operačních systémů	50
7.3	Zařízení a jejich zaměření	51
7.4	Certifikace	53
8	Praktické testování	54
8.1	Testovaná topologie	54
8.2	Testování MikroTik RB493G.....	55
8.2.1	Výsledky zařízení MikroTik.....	57
8.3	Testování zařízení Cisco	60
8.3.1	Výsledky směrovače Cisco	61
8.4	Vzájemná kompatibilita MikroTik a Cisco	62
9	Shrnutí výsledků.....	64
10	Závěry a doporučení.....	65
11	Seznam použité literatury	66

Seznam obrázků

Obr. 1 Referenční model ISO/OSI.....	6
Obr. 2 Uživatelské rozhraní Winbox	19
Obr. 3 Koncept GPEN.....	26
Obr. 4 Certifikované školicí programy MikroTik.....	29
Obr. 5 Licenční balíčky Cisco IOS	31
Obr. 6 Cisco Web browser UI	37
Obr. 7 Požadovaná topologie praktického testování	55
Obr. 8 Testovaná topologie se zařízením MikroTik.....	57
Obr. 9 Grafy vytížení po ukončení testování zařízení MikroTik.....	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 Úrovně licencí RouterOS.....	13
Tabulka 2 Značení RouterBOARD	22

1 Úvod

Na českých středních a vysokých školách se zaměřením na počítače jsou často vyučovány i počítačové sítě. Mnohdy se zájemcům o studium předkládá fakt, že výukové materiály jsou čerpány z akademií Cisco nebo MikroTik a že absolventi díky tomu mají možnost získat od těchto společností i dané certifikáty. V důsledku toho připadá v úvahu otázka: Jaký je mezi tak často skloňovanými zařízeními MikroTik a Cisco rozdíl? Ve výčtu nejčastějších odpovědí lze na prvním místě zaznamenat například rozdíly cen, kdy Cisco zařízení jsou výrazně dražší, dále pak různé osobní preference nebo fakta naznačující menší využívanost Cisco zařízení v běžných podnicích, případně i různá jiná zajímavá fakta. To vše však bez detailů, které by vypovídaly o hlubším pochopení rozdílů a vhodnosti použití konkrétních zařízení.

Z této otázky pak vznikl i hlavní cíl této bakalářské práce. Jejím záměrem je osvětlit základní rozdíly v postojích a přístupech obou firem k řešení různých technických výzev týkajících se počítačových sítí, což má vést k porozumění nejen cenovým politikám společností MikroTik a Cisco, ale i k hlubšímu pochopení firem samotných a výhod jejich řešení.

2 Cíl práce

Cílem práce je na základě odborné literatury, informací dostupných z oficiálních zdrojů a vlastního testování porovnat nabízená zařízení, operační systémy a jiné služby a technologie či celá řešení společností MikroTik a Cisco. Získané informace by pak mohly osvětlit rozdíly mezi jejich řešeními, cenovky konkrétních zařízení, co poskytuje jedna firma a čím naopak druhá nedisponuje, nebo případně na co se samy firmy zaměřují atp.

V teoretické části půjde především o popsání nabízených produktů a služeb jednotlivých firem včetně porovnání jejich nabízených řešení. Cílem nebude vyřčení verdiktu, která firma poskytuje lepší řešení či která by měla být upřednostňována, ale nastínění, kdy – případně z jakého důvodu – je vhodné nad konkrétními řešeními uvažovat.

V praktické části práce bude provedeno otestování zařízení obou firem, s důrazem na výkon, vzájemnou kompatibilitu a možnosti jejich konfigurace.

3 Historie počítačových sítí

Pod pojmem počítačová síť rozumíme propojení různých zařízení za účelem jejich vzájemné komunikace. Může se jednat právě o propojení počítače s jiným počítačem za účelem výměny dat či vzájemného propůjčení výkonu, avšak v dnešní době se k počítačovým sítím, hlavně pak k internetu, připojují i jiná koncová zařízení uživatelů. Na takové síti pak mohou být připojeny mobilní telefony, televize, chytré hodinky, ale čím dál tím častěji už i ledničky a jiné chytré spotřebiče.

3.1 Počátky sítí

Historie počítačových sítí sahá až do roku 1949, kdy Sovětský svaz úspěšně detonoval jejich první nukleární zbraň. V souvislosti s tím vláda Spojených států amerických pod narůstající hrozbou jaderného útoku z východu začala hledat řešení na modernizaci svého zastaralého radarového systému, který je měl v případě započetí takové války varovat.

V období 50. a 60. let minulého století padlo hned několik návrhů, jak by takový systém bylo možné modernizovat, avšak žádný z těchto návrhů se nedočkal přílišného úspěchu. Velkou obavou u většiny takových prací byla nespolehlivost systému a příliš velké nároky na výkon zařízení.

Z dnešního hlediska nejdůležitějším návrhem v tomto období byla práce Paula Barana z roku 1964, tehdy pracujícího pro RAND Corporation, ve které vytvořil návrh spolehlivé komunikace využívající distribuovaný systém, založený na takzvaných „message blocks“. Jednalo se o první vynalezenou („packet-switched“) přepínanou síť, která se však v té době také nedočkala velkého úspěchu. Systém v tomto návrhu vypadal obdobně jako o pár let později ARPANET, avšak měl spoustu bezpečnostních mezer.

3.2 ARPANET

V roce 1967 nastal důležitý milník oblasti počítačových sítí, kdy byl za pomoci univerzit a výzkumných center napříč celými Spojenými státy naplánován a následně zrozen výzkum ARPANET. Hlavním cílem tohoto výzkumu se stalo propojení počítačů výzkumných center a vytvoření počítačové sítě. Systém měl umožňovat sdílení dat a programů, posílání zpráv a vzdálený přístup k připojeným zařízením. Jako první se však musel vyvinout nový protokol počítačového rozhraní, přijatelný všemi 16 výzkumnými skupinami, a vytvořit návrh nové technologie sít'ové komunikace.

Díky postupnému vývoji ARPANETu se výzkumné týmy dostaly ke starším, veřejnosti utajovaným výzkumným pracím. Jednou takovou byla také již zmíněná práce Paula Barana, která se poté stala základem pro návrh směrování ARPANETu. S postupem vývoje se také objevilo do dnešní doby používané označení pro bloky dat představující základní komunikační prvky systému – pakety.

V roce 1968 ARPA zveřejnila žádost o návrh vybavení IMP (Interface Message Block), představující zařízení určené pro přepínání paketů ARPANETu, a návrh na provoz paketové sítě. Vývoje se zhostila firma Bolt, Beranek and Newman, Inc., která následně vyvinula důležité aspekty vnitřního provozu sítě, a to zejména směrování, řízení toku dat a potřebný komunikační software.

V prosinci roku 1969 proběhlo první praktické testování sítě ARPANET, kdy byly instalovány 4 uzly sítě, které byly následně plně uvedeny do efektivního provozu.

Roku 1970 byl zveřejněn první soubor podrobných dokumentů o ARPANETu, ve kterém tvůrci informovali o detailním návrhu sítě, analýze zpoždění dat, výsledcích topologického návrhu, programech a vlastních zkušenostech se sítí. Vyjádřeno jednodušeji, poskytli popis toho, jak byla síť navržena a jak funguje. Těmito dokumenty se světu ukázalo, že přepínané sítě fungují, jsou spolehlivé,

ekonomické a prakticky bezchybné. Staly se také základem pro různé síťové experimenty po celém světě.

3.3 TCP/IP a Internet

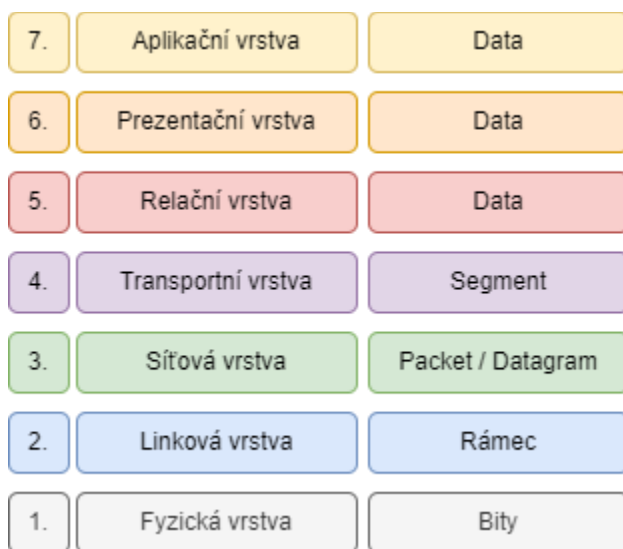
Na konci 70. let 20. století vývoj počítačových sítí dostal nový rozměr, a to v podobě nové rodiny protokolů TCP/IP. Protokol IP byl vyvinut tak, aby obstaral přenos samotný bez nutnosti dbát na konkrétní specifika přenosových cest, na rozdíl od toho protokol TCP má primárně zajistit kontrolu správnosti dat po přenosu, případně zajistit jejich opravu. Jako alternativa k pomalejšímu, avšak spolehlivému protokolu byl vyvinut UDP protokol, který žádné zajištění spolehlivosti neposkytuje.

Na začátku let 80. se od ARPANETu oddělila vojenská část MILNET a spolu s touto změnou přišla hned další, kterou byl kompletní přechod ARPANETu na protokolovou sadu TCP/IP spolu s financováním dalšího rozvoje těchto protokolů. Vzhledem k veřejné dostupnosti a kvalitám TCP/IP, spolu s možností připojit se k ARPANETu, začaly tyto protokoly využívat i různé jiné světové sítě. Postupně, jak se začaly takové sítě propojovat, se pro ně vžil i příznačný termín, Internet.

4 Standardy počítačových sítí

4.1 ISO / OSI

Referenční model ISO/OSI, jenž nese standardní označení ISO 7498, vyvinula firma ISO na začátku 80. let minulého století. Jedná se o otevřený sedmivrstvý síťový model, který není závislý na konkrétní implementaci a představuje spíše soubor pravidel nutný ke spolehlivému navázání komunikace mezi jejími účastníky. Každá vrstva v modelu má svou vlastní funkci a význam, kde spodní 3 vrstvy modelu jsou primárně využívány standardními síťovými prvky při přenosu dat, a to hlavně směrovači a prepínači. V dnešní době je OSI model nejčastěji využívaným standardem nejen při budování počítačových sítí, ale i při tvorbě samotných síťových zařízení.



Obr. 1 Referenční model ISO/OSI

Zdroj: vlastní zpracování

4.1.1 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva představuje rozhraní mezi uživatelem a počítačovou sítí. Data na této vrstvě jsou často prezentována uživateli jako internetové stránky či různé programy, například na přehrávání hudby nebo komunikaci mezi uživateli. Nejprve je však nutné přenesená data rozpoznat a určit, kam patří. K tomu slouží

čísla portů v rozsahu od 0 do 65535, která představují právě identifikátor aplikačního protokolu či aplikace. Jak již bylo zmíněno, tak na této vrstvě pracuje řada protokolů, a to například DNS, FTP, HTTP a jeho šifrovaná verze HTTPS, POP3, SMTP, SSH a jiné. Tyto protokoly jsou řízeny koncovými aplikacemi.

4.1.2 Prezentační vrstva

Na této vrstvě dochází k převádění dat z formy srozumitelné pro aplikační vrstvu na formu dat posílaných po síti a naopak. Kromě hlavní činnosti zde mohou být zajišťovány i další služby, jako například komprese dat, šifrování atp. Požadavky na využití služeb určují koncové aplikace a aplikační vrstva.

4.1.3 Relační vrstva

Zde je hlavním cílem navázat komunikační spojení mezi dvěma entitami a následně spojení organizovat. K dalším službám této vrstvy patří správa tokenů při poloduplexním spojení, sloužící k jednoznačnému označení té entity, která zrovna může přenášet data, a vytváření checkpointů, pomocí nichž lze po pádu spojení a jeho opětovném navázání začít znovu přenášet pouze data od posledního checkpointu atp.

4.1.4 Transportní vrstva

Jedním z hlavních úkolů transportní vrstvy je segmentace dat z vyšší vrstvy. Jedná se o rozdělování dat do menších částí, takzvaných segmentů, se kterými pracují nižší vrstvy OSI modelu. Dále tato vrstva dále pracuje s parametry priority QoS (Quality of Service).

Mezi dva nejvyužívanější přenosové protokoly transportní vrstvy patří TCP a UDP. Na základě používaného protokolu jsou poté poskytovány poněkud rozdílné funkce této vrstvy.

Protokol TCP je protokol komunikace orientovaný na spojení. Tento protokol se stará o navazování a uvolňování transportních spojení mezi komunikujícími subjekty. Mezi hlavní výhody jeho použití patří detekce chyb po přenosu a jejich následná obnova do bezchybného stavu a přeuspořádání přenesených segmentů a jejich zrekonstruování do podoby původních dat.

UDP je protokolem, který není orientován na komunikaci se spojením. Jedná se o takzvaný „connectionless“ protokol. UDP jednoduše posílá segmenty do cílového bodu bez toho, že by nejprve navazoval spojení nebo že by se staral o jejich správnost či doručení ve správném pořadí. Tento protokol sice detekuje výsledné chyby vzniklé při přenosu, ale nestará se o jejich opravu.

4.1.5 Síťová vrstva

Síťová vrstva má za úkol směřovat data mezi různými sítěmi a podsítěmi, k čemuž sama podle daných kritérií vybírá nejlepší cesty. Dalším velkým úkolem této vrstvy je pak tvorba paketů či datagramů a jejich logická adresace, zajišťující unikátní IP adresy pro každého uživatele v síti. Pokud by mělo dojít k tomu, že je výsledný paket příliš veliký, jinak řečeno překračuje maximální povolenou velikost paketu s ohledem na používaný linkový standard, může i zde dojít k segmentaci a paket se rozdělí na více samostatných paketů.

4.1.6 Linková vrstva

Hlavní datovou jednotkou linkové vrstvy je rámec. Ten se tvoří z paketu připojením hlavičky rámce, obsahující především MAC adresy a informace o typu paketu, a patičky rámce, která slouží pro ověření správnosti.

Linková vrstva zajišťuje přenos dat mezi zařízeními na společném médiu, přesněji zajišťuje přístup k médiu a řízení toku dat. Při inicializaci přenosu se stará o navázání spojení se zařízením na druhém konci média a domlouvá s ním

parametry komunikace, například rychlost přenosu dat a typ duplexního spojení. Po samotném přenosu dat zajišťuje přeuspořádání rámců do správného pořadí.

Při přenosu dat skrze média se mohou vlivem negativních faktorů, jako jsou elektromagnetické interference (EMI) a radiofrekvenční interference (RFI), v přenesených datech vyskytnout chyby. Důležitou funkcí linkové vrstvy je i detekce těchto chyb a jejich případná oprava či opětovné přenesení rámců.

4.1.7 Fyzická vrstva

Hlavním úkolem této vrstvy je zajišťovat přenos rámců mezi dvěma linkovými vrstvami různých zařízení. Jelikož se jedná o sériovou komunikaci, rámce se přenáší bit po bitu. Pro úspěšnou komunikaci je proto důležitým předpokladem doručení bitů ve správném pořadí. Fyzická vrstva je úzce spjatá s přenosovými médii, kdy určuje typ přenosového média, konkrétně metalický kabel, optické vlákno či vzduch, kódování signálu, propustnost, šířku pásma a další. Též se stará o eliminaci nežádoucích efektů při přenosu dat, jako jsou elektromagnetické interference nebo radiofrekvenční interference.

4.2 Aktivní prvky datových sítí

Aktivní prvky počítačových sítí jsou taková zařízení v sítích, která se aktivně podílejí na komunikaci od regenerace signálu až po jeho opravu či modifikaci. Jedná se o velice podstatné části počítačových sítí, bez nichž by sítě nebyly schopny fungovat.

4.2.1 Opakovač

Jedná se o nejjednodušší aktivní prvek v datových sítích, jenž pracuje pouze na fyzické vrstvě ISO/OSI referenčního modelu. Jeho hlavní podstatou je regenerace přijatého signálu nebo jeho zesílení do všech portů zařízení. Je to natolik jednoduchý prvek, že sám nerozeznává jednotlivé bity a nezná jejich význam. Jelikož opakovač

rozšiřuje kolizní doménu, platí nepsané pravidlo, že mezi dvěma uzly mohou být jen dva opakovače.

4.2.2 Rozbočovač (hub)

Rozbočovač, obdobně jako opakovač, má za cíl zregenerovat příchozí signál a poslat ho na všechny jeho ostatní porty. V podstatě se jedná právě o opakovač s více porty a trochu odlišným záměrem využití. Vzhledem k jejich tendenci přetěžovat sítě a k problémům s bezpečností, kdy je zpráva konkrétnímu zařízení směrována i všem ostatním, se již dnes prakticky nevyužívají.

4.2.3 Přepínač (switch)

Přepínače pracují na druhé vrstvě ISO/OSI modelu a fungují v podstatě jako chytré rozbočovače, kdy přeposílají zprávy pouze do portů, kam opravdu patří. Toto přepínání může fungovat jedním z několika způsobů. Metoda uložit a poslat (store and forward) nejprve přijme rámec, který uloží do vyrovnávací paměti a po následném prozkoumání hlaviček ho pošle. Druhá metoda cut-through čte hlavičky rámců ihned při přijetí a nečeká na přijetí celého rámce, čímž snižuje latenci. Adaptivní přepínání je pak kombinací obou předchozích metod, kdy vybírá vhodnější způsob podle aktuální potřeby sítě. Mezi další výhody přepínačů řadíme i jejich další rozšiřující funkce, jako například AutoMDIX, PoE (Power over Ethernet) či funkce STP protokolu, který eliminuje smyčky v sítích a je schopen z nevyužitých cest tvořit cesty záložní.

4.2.4 Směrovač (router)

Tato zařízení pracují na 3. vrstvě modelu ISO/OSI s hlavním záměrem propojovat mezi sebou různé existující sítě, nejčastěji LAN, za použití sítí typu WAN. Mezi hlavní funkce směrovačů řadíme takzvané směrování, tedy proces, při němž probíhá určování co nejefektivnější cesty pro datagramy či pakety do jejich cílů. K tomu využívá směrovací tabulky, ve kterých jsou uchovávány cesty do různých sítí

a takzvaná výchozí statická cesta, sloužící pro směrování paketů určených do sítě, kterou dané zařízení nezná. Směrování se rozděluje na takzvané statické směrování, kdy správce sítě sám zadá statické cesty do určitých sítí, čímž tak zařízení neumí reagovat na změny topologie, a dynamické směrování, při kterém se o nacházení cest stará dynamický směrovací protokol, jako například RIP nebo OSPF.

4.2.5 Přední výrobci aktivních síťových prvků

Na poli počítačových sítí existuje velké množství různých výrobců síťových prvků. A to od výrobců malých řešení pro domácnosti a SOHO řešení (small office, home office), například firma Asus, přes společnosti rozšiřující svůj katalog o SMB řešení (small business, medium business), kterými jsou třeba TP-Link, či D-Link, až po velikány, kteří poskytují řešení i pro velké průmyslové společnosti. Těmi jsou například firmy Tenda, ZyXEL, Ubiquiti, MikroTik nebo Cisco.

Poslední dvě zmiňované společnosti, tedy MikroTik a Cisco, jsou v dnešním světě počítačových sítí nejčastěji skloňovanými konkurenty. Firmy však zauímají rozdílný přístup k vývoji a tvorbě aktivních prvků a mají i lehce odlišné hlavní zaměření na poli působnosti. Právě tyto odlišnosti se stali hlavním námětem této práce.

5 MikroTik

Společnost MikroTik byla založena v Litvě roku 1996. Hlavním cílem této nové firmy bylo vyvíjet routery a bezdrátové systémy pro poskytovatele internetových služeb. V roce 1997 zde vyvinuli operační systém MikroTik RouterOS, ke kterému později začali vyrábět i vlastní hardware pod značkou MikroTik RouterBOARD. Dnes má firma přes 280 zaměstnanců a jejich produkty se staly významným a žádaným zbožím po celém světě, a to především díky jejich přívětivé ceně za poměrně výkonná zařízení s rozsáhlou funkcí.

5.1 MikroTik RouterOS

RouterOS je operační systém společnosti MikroTik založený na Linuxovém jádru verze 2.6, což mu umožňuje široké spektrum použitelnosti napříč hardwarem. Lze tak pro funkci routeru pořídit RouterBOARD od společnosti MikroTik, který je navržen speciálně pro funkci síťového prvku s architekturou obdobnou osobnímu počítači, stejně tak jako obyčejný kancelářský počítač s požadovaným počtem síťových portů dostatečné rychlosti, kdy výsledná funkčnost obou zařízení bude shodná.

RouterOS lze použít na nejnovějších vícejádrových procesorech i víceprocesorových systémech a je kompatibilní se všemi systémy x86. Podporuje IDE, SATA a USB uložení, například HDD, SSD, SD karty, USB flash disky a další. Operační systém vyžaduje pro instalaci alespoň 64 MB volného místa v uložení, které zformátuje, udělá z něj vlastní oddíl a nainstaluje se na něj.

5.1.1 Licence RouterOS

Licence operačního systému RouterOS se rozděluje do 6 úrovní, či levelů. Každá úroveň rozšiřuje možnosti předchozí, kdy si zákazník vybírá takovou, která je pro jeho použití postačující. Pokud potřebuje zákazník vyšší úroveň licence, než má k dispozici, nelze ji nijak povýšit a je zapotřebí zakoupit novou licenci dostatečného levelu za plnou cenu. Všechny licence RouterOS jsou časově neomezené (nikdy neexpirují) a jsou určeny k instalaci pouze na jedno zařízení,

přesněji řečeno na jedno uložení. Nepřenositelnost licence zajišťuje Software ID spjaté s každou instalací RouterOS, které se generuje z hardwarových informací systému a uložení. V praxi to znamená, že můžeme RouterOS Level 4 nainstalovat na USB flash disk a přenášet ho mezi různými zařízeními, avšak licenci již nepřeneseme na jiné paměťové médium. Jediná možnost, jak přenést licenci jinam, je požádat MikroTik o zaslání klíče pro přenesení licence.

K produktům se běžně dodává licence Level 3. Tato úroveň je určena pro použití na straně klienta či koncového uživatele a nedá se pořídit samostatně.

Tabulka 1 Úrovně licencí RouterOS

Level Number	Level 3 (WISP CPE)	Level 4 (WISP)	Level 5 (WISP)	Level 6 (Controller)
Price	-	\$45	\$95	\$250
Wireless AP	-	yes	yes	yes
Wireless Client and Bridge	yes	yes	yes	yes
RIP, OSPF, BGP protocols	yes	yes	yes	yes
EoIP tunnels	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
PPPoE tunnels	200	200	500	unlimited
PPTP tunnels	200	200	500	unlimited
L2TP tunnels	200	200	500	unlimited
OVPN tunnels	200	200	unlimited	unlimited
VLAN interfaces	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
HotSpot active users	1	200	500	unlimited
RADIUS client	yes	yes	yes	yes
Queues	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Web proxy	yes	yes	yes	yes
User manager active sessions	10	20	50	unlimited
Number of KVM guests	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited

Zdroj: Manual:License. MikroTik Wiki [online]. [cit. 31.07.2022]. Dostupné z: <https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:License>

V tabulce 1 chybí dvě úrovně. Level 0 je takzvaný trial mode, který je spuštěn hned po nové instalaci RouterOS na zařízení a ve kterém čeká na aktivaci licence vyšší úrovně, na niž máme 24 hodin. Level 1 se nazývá Free Demo. Zde je funkčnost vysoce omezena a je dostupná pouze po registraci na oficiálních stránkách MikroTik.

5.2 Základní funkce RouterOS

5.2.1 Směrování a přepínání

Jedna ze základních funkcí RouterOS je přepínání paketů mezi porty zařízení, takzvaný switching. Zařízení společnosti MikroTik dnes již běžně obsahují takzvaný switching chip, který umožňuje přepínat pakety mezi porty nebo mezi můstky bez použití jejich procesoru. Pakety určené pro přepnutí jsou tedy zpracovány příslušným čipem a pro RouterOS se stávají v podstatě neviditelné. Systém sice ve statistikách zaznamená, že paket prošel, ale sám o něm nic neví, jelikož se nedostal na procesor.

V některých případech je však žádáno, aby paket zpracován procesorem byl. V takovém případě může dojít k možnosti směrování paketů do jiných sítí, takzvanému routingu. Předání paketů na procesor je žádáno například u nastavení filtrování VLAN (Virtual Local Area Network).

5.2.2 Virtual Local Area Network

Mezi další základní funkci operačního systému společnosti MikroTik patří i možnost vytvářet virtuální lokální sítě, takzvané VLAN. Jedná se o metodu na 2. vrstvě referenčního modelu ISO/OSI, umožňující efektivní oddělení různých sítí LAN na jednom zařízení. Jednotlivé sítě VLAN jsou pak považovány za samostatné podsítě, tudíž ke komunikaci mezi nimi je zapotřebí směrovač.

RouterOS podporuje nejčastěji využívaný protokol pro sítě VLAN, a to IEEE 802.1Q. Jedná se o zapouzdřovací protokol, který definuje způsob vložení

čtyřbajtového identifikátoru VLAN do hlavičky běžných ethernetových rámců. Operační systém RouterOS podporuje až 4095 rozhraní VLAN.

5.2.3 RouterOS MAC bridges

Systém RouterOS je jednou z nejsilnějších stránek společnosti MikroTik hlavně díky funkci MAC můstků. Tato funkce umožňuje spojit několik podobných sítí typu Ethernet do jedné sítě LAN právě pomocí můstku MAC. Přemostění je plně transparentní, díky tomu se přemostění nezobrazuje v seznamu trasování a hostitel v jedné síti nedokáže rozeznat, zda je druhý hostitel ve stejné síti Ethernet, či ne.

Ve složitějších topologiích můžou mosty MAC způsobit vznik smyček (ať záměrně, či nezáměrně). K odstranění smyček přispívá již dříve zmíněný protokol STP, kdy každý most spustí algoritmus, který počítá, jak smyčkám zabránit a STP pak mostům pomáhá v jejich vzájemné komunikaci za účelem dohodnutí topologie bez smyček. Všechna neaktivní spojení jsou pak uvedena do režimu pohotovosti, kdy v případě ztráty hlavního spojení přebírají jeho úlohu. Pro udržení aktuálních informací o topologii sítě v můstcích jsou pravidelně posílány konfigurační zprávy BPDU. Za rekonstrukci sítě je zodpovědný kořenový most, který je ve výchozím stavu most s nejnižším bridge ID.

5.2.4 Bridge Hardware Offloading

MAC můstky jsou softwarová záležitost, která používá prostředky procesoru. Hardwarové odlehčení můstku umožňuje přepínat pakety v můstku za využití přepínacího čipu zařízení. To má za následek snížení nákladů na procesor a při správném nastavení i lepší propustnost.

5.3 RouterOS Command-line interface

Režim příkazové řádky (CLI) slouží ke konfiguraci a managementu funkcí systému RouterOS pomocí textového terminálu, a to hlavně ke vzdálenému přístupu

pomocí telnetu, SSH, sériového portu či konzolového okna přímo v oficiálním konfiguračním software Winbox. Další výhodou použití CLI oproti grafickému režimu je možnost psaní skriptů.

Příkazy v RouterOS jsou uspořádány do několika uspořádaných skupin v různých hierarchických úrovních, kde jednotlivé úrovně odrážejí konkrétní konfigurační informace přístupné v dané sekci. Příkladem pak může být příkaz */ip route print*, který slouží k zobrazení výpisu směrovací tabulky. První část příkazu, konkrétně */ip route*, odkazuje na konkrétní větev hierarchie. V tomto případě jde o routovací tabulky. Druhá část *print* je poté samotný příkaz výpisu použitelný v dané hierarchii.

Je-li potřeba v konkrétní hierarchické větvi provést rozsáhlejší konfiguraci, například právě ve větvi směrovacích tabulek, je pak vhodné využít možnost přepnout se do dané hierarchické úrovně a dále již používat pouze konkrétní příkazy pracující s touto větví. V příkladu z předchozího odstavce by tedy bylo nutné nejprve specifikovat danou úroveň pomocí příkazu */ip route*, a poté již samostatně napsat samotný příkaz *print*. Z dané hierarchické větve se lze přepnout zpět do kořene napsáním znaku lomítka (/).

5.3.1 Item names a item numbers

V mnoha hierarchických větvích je možné pracovat s celou řadou konkrétních položek. Může se jednat o všechny uživatele, jednotlivá rozhraní zařízení nebo i uskupení těchto rozhraní do větších skupin, takzvaných MAC bridges, která dovolují uživatelům pracovat s celou takovouto skupinou, jako by byla připojená do stejné sítě LAN. Všechny dostupné položky ve větvích se uskupují do polí, ve kterých je však potřeba konkrétní partie od sebe jednoznačně odlišit. K tomu slouží názvy a čísla položek.

Čísla položek jsou konkrétním partiím přiřazována příkazem *print*. Vzniká u nich však nevýhoda v ohledu jejich seřazení, kdy pokaždé, kdy se tento příkaz spustí, může systém vyhodnotit pořadí všech položek jinak. Aby systém tuto

různorodost alespoň částečně kompenzoval, vždy si do paměti ukládá pořadí položek z posledního příkazu *print*.

U některých položek lze tuto skutečnost kompenzovat i jinak, a to použitím jejich jména. Jména položek jsou konstantní, tudíž neměnná, a lze je použít všude tam, kde samotná čísla partií. To vše je ovšem možné pouze za podmínky, že dané jméno položky existuje.

5.3.2 Safe mode a vestavěná nápověda

Užitečnou pomůckou při konfiguraci zařízení běžícího na systému RouterOS je funkce safe mode. Konfigurované zařízení je kdykoliv možné přepnout klávesovou zkratkou *CTRL + X* do režimu safe mode, který od toho okamžiku začne veškeré nové změny tagovat speciálním příznakem F. Pokud se tak spojení se zařízením ukončí abnormálně, to znamená, že dojde k nějaké chybě, všechny změny označené tímto příznakem jsou anulovány a zařízení se obnoví do předchozího stavu, tj. stavu před zapnutím režimu safe mode. Sám uživatel může tento režim vypnout dvěma způsoby, buďto zopakováním klávesové zkratky *CTRL + X*, kdy dojde k uložení veškerých změn, nebo klávesovou zkratkou *CTRL + D*, která vede naopak k anulování veškerých změn a obnovení stavu před zapnutím režimu.

Další uživatelsky přívětivou funkcí je dostupná nápověda po napsání znaku otazníku (?). Ten lze napsat na jakékoliv pozici v příkazu, kde zobrazí vše, co lze do dané pozice příkazu doplnit. Napsáním znaku do nového řádku dojde k zobrazení všech momentálně dostupných příkazů.

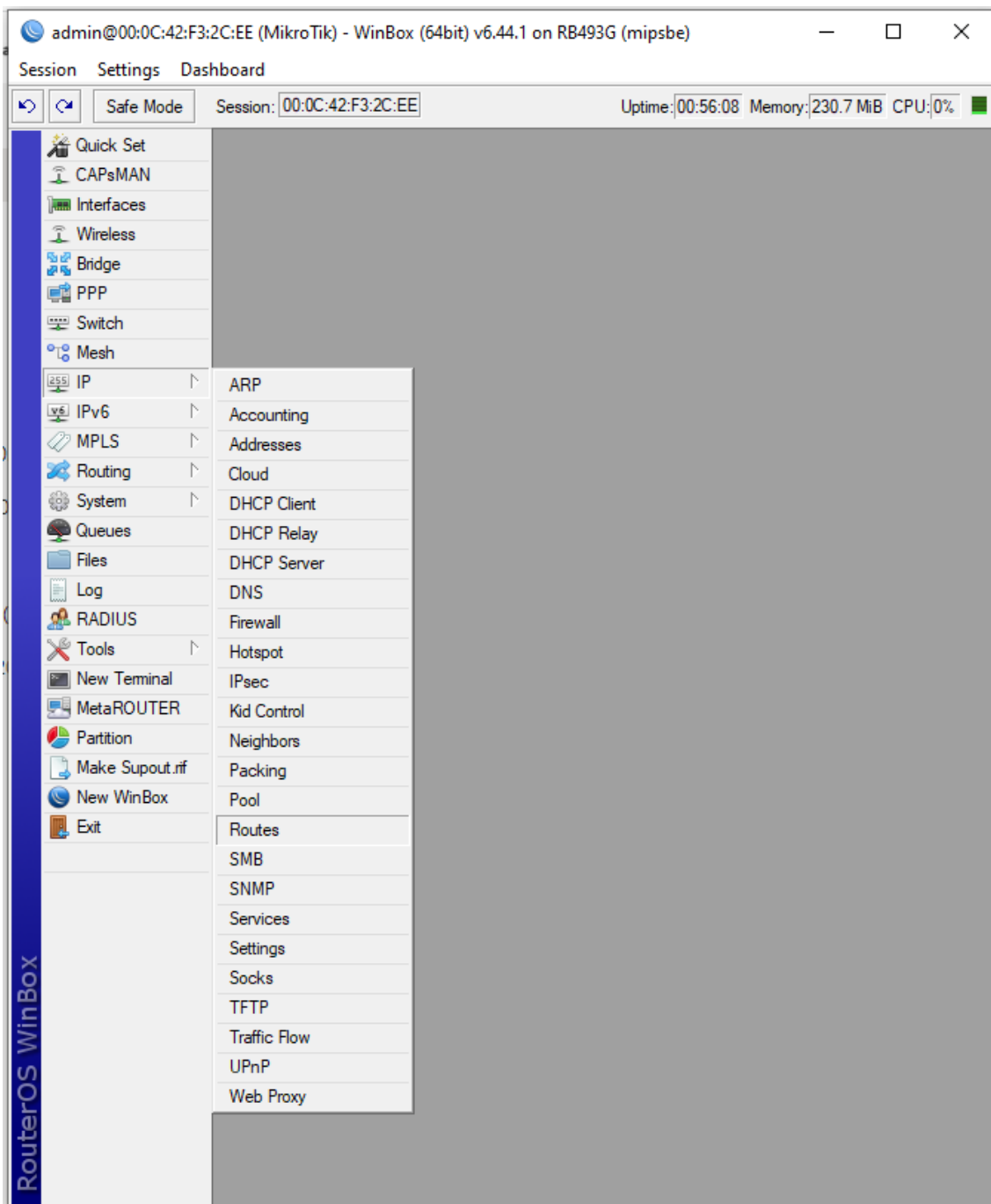
5.4 Grafické rozhraní RouterOS

5.4.1 Winbox

Winbox je malý nástroj, distribuovaný jako nativní binární soubor Win32 spustitelný na systémech Microsoft Windows a pomocí dalších nástrojů i na Linuxu a MacOS. Je určen pro správu zařízení s operačním systémem RouterOS a založen na jednoduchém grafickém rozhraní, které bylo navrženo tak, aby bylo intuitivní pro co nejširší okruh uživatelů.

Nástroj co nejvěrněji kopíruje funkce konzole (CLI) a přenáší možnost konfigurace do již zmíněného grafického rozhraní, avšak některé pokročilé a kritické funkce systému RouterOS ve Winboxu přítomny nejsou. Tento prostředek lze využít k zobrazování, vytváření a úpravám konfigurací systému RouterOS, monitorování statistik jednotlivých protokolů, rozhraní či komponent zařízení a odstraňování nebo zjišťování problémů v síti, a to díky škále debugovacích funkcí, jako jsou ping, traceroute, packet sniffer nebo generátor provozu.

Mezi užitečnou funkčností této metody konfigurace, která stojí za zmínku, jednoznačně patří možnost jednoduše ukládat, exportovat či importovat vytvořené konfigurace. Ty lze poté jednoduchým způsobem přetáhnout do jiných zařízení, například přetažením konfiguračního souboru z Winboxu na plochu počítače, ve kterém je program spuštěný. Pomocí toho lze tedy jednoduše a rychle přenášet konfigurace mezi síťovými prvky, nebo je jen zálohovat.



Obr. 2 Uživatelské rozhraní Winbox

Zdroj: vlastní pořizení

Na obrázku 2 lze vidět uživatelské rozhraní Winboxu. Zobrazené okno aplikace se dělí na 3 hlavní části s různými významy.

Na horním šedém panelu se nachází tlačítka undo a redo, vedle tlačítka zapínající safe mode, vysvětlený v bodě 5.3.2. Do pravé horní části panelu si může uživatel přidávat informační pole dle vlastního uvážení, například využití procesoru a paměti RAM či zelený ukazatel provozu na zařízení, jak je vidět na obrázku.

V levé části okna aplikace se nachází menu se seznamem všech dostupných nabídek funkcí ve Winboxu. Zobrazená tlačítka a nabídky funkcí jsou závislé na verzi a licenci RouterOS, stejně tak jako na povolených funkcích operačního systému.

Poslední část okna reprezentuje pracovní plochu, na kterou se otevírají konfigurační okna funkcí obdobně jako aplikace v operačním systému Microsoft Windows, a lze s nimi i obdobně pracovat, přesouvat je atp.

5.4.2 Webfig

Jedná se o nástroj navržený jako alternativa k Winboxu, umožňující konfiguraci a monitorování zařízení s operačním systémem RouterOS. Stejně jako Winbox má i tento nástroj podobně navržené uživatelské rozhraní a přístup k téměř všem funkcím operačního systému, avšak je platformě nezávislý, a to především díky použití protokolu HTTP či HTTPS. K jeho použití tedy není nutný žádný speciální počítačový program, stačí jen obyčejný webový prohlížeč.

Pro přístup k Webfigu je nutné znát IP adresu zařízení, která se zadá do adresního řádku webového prohlížeče, a přístupové údaje k zařízení. Ve výchozím nastavení bývá IP adresa zařízení MikroTik 192.168.88.1 a výchozí účet bez hesla nese uživatelské jméno *admin*.

5.5 MikroTik RouterBOARD

RouterBOARD představuje zařízení určené výhradně pro operační systém MikroTik RouterOS, s jehož pomocí ho lze nasadit do počítačové sítě ve funkci konkrétního síťového prvku. Taková zařízení se prodávají v mnoha variantách, ze

kterých si zákazník může vybrat ideální zařízení pro konkrétní použití s parametry a funkcemi, jež mu postačují – tak zároveň výrazně ušetří na pořizovací ceně.

Mezi veřejností a uživateli zařízení od společnosti MikroTik se pod pojmem RouterBOARD však vžilo označení zejména pro sérii samostatných PCB desek, prodávaných bez ochranných krabic a zdrojů napájení. Tato zařízení pak představují levné modulární zařízení pro nejrůznější situace a potřeby, kdy lze k deskám dokoupit právě různé ochranné kryty, třeba i s krytím IP, činící zařízení použitelné jak ve vnitřních prostředích, tak někdy i venkovních, nebo rozšiřující moduly, nejčastěji zapojitelné do sběrnic mini PCI Express, pomocí kterých lze zapojit například LTE modem či Wifi kartu. Mnoho těchto zařízení podporuje též napájení přes PoE (Power over Ethernet), díky němuž jsou ještě univerzálnější a vhodnější pro nasazení na hůře dostupná místa.

5.5.1 Značení RouterBOARD

Značení RouterBOARDů dodržuje standard, který si určil sám MikroTik. Nejprve je každé zařízení označeno znaky RB, což určuje jeho příslušnost právě k sérii RouterBOARDů. Dále se obvykle vyskytuje sada tří číslic, kde první číslice označuje sérii (řadu), pod kterou zařízení spadá, druhá číslice určuje počet ethernetových rozhraní a poslední třetí číslice udává počet mPCI-e slotů pro případná rozšíření desky. V poslední řadě následuje sekvence znaků určující bližší specifikaci a výbavu zařízení. Krátké vysvětlení významů některých kombinací si lze prohlédnout v tabulce 2 přiložené níže.

Tabulka 2 Značení RouterBOARD

Značení v názvu	Význam
A	Obsahuje licenci RouterOS Level 4
AH	Obsahuje procesor s vyšším taktem
U	Obsahuje USB porty
R	Obsahuje integrovaný Wi-Fi přijímač
G	Obsahuje gigabitové rozhraní

Zdroj: [16, s. 19]

5.6 Zařízení společnosti MikroTik

Společnost MikroTik nabízí celou širokou škálu síťových zařízení, od různých bezdrátových antén a jejich příslušenství přes vlastní optické řešení, až po již zmíněné RouterBOARDy a podobná zařízení, která se prodávají v několika různých řadách od samostatných PCB desek s vysokou modularitou a jejich příslušenstvím, až po kompletní hotová rackmount řešení. Následující výčet zařízení je vybrán především z produktového katalogu společnosti MikroTik pro rok 2021.

5.6.1 Bezdrátová zařízení

Jednou z prvních nabízených kategorií zařízení v katalogu MikroTik jsou bezdrátové prvky. Mezi ty patří různé typy antén, především tedy směrové a sektorové, využívající 2,4 GHz, 5 GHz nebo 60 GHz frekvenční pásmo, které mají zabudované základní desky využívající RouterOS, ale i různá jiná bezdrátová zařízení.

Mezi taková zařízení patří přístupové body jak pro domácnosti, tak výkonnější zařízení pro kanceláře a firmy, jež obvykle poskytují i další funkce jako například přepínání nebo někdy i směrování. Příkladem je přístupový bod OmniTik 5 ac připravený k venkovnímu použití, umožňující pokrytí Wifi na 5 GHz pásmu se standardy 802.11a/n/ac za využití svých dvou integrovaných antén, obsahující 5 portů o rychlosti 1000 Mbps. Toto zařízení se pohybuje okolo 2 450 Kč s DPH.

Dalšími bezdrátovými zařízeními s více funkcemi a s větší univerzálností jsou routery právě s podporou bezdrátových technologií, nejčastěji Wifi, a zabudovaným přepínačem. Mezi ty se řadí například zařízení ze série hAP, kde konkrétně hAP ac² obsahuje čtyřjádrový procesor s frekvencí 716 MHz a 128 MB paměti RAM, poskytuje Wifi pokrytí pro 2,4 GHz pásmo s přenosovou rychlostí až 300 Mbps a 5 GHz pásmo s rychlostí až 867 Mbps ve stejném okamžiku se standardy 802.11a/b/g/n/ac, pět gigabitových ethernetových portů pro propojení různých zařízení a USB pro napojení externího úložiště nebo 4G/LTE modemu. Cena tohoto modelu je okolo 1 700 Kč.

LTE/5G produkty jsou přístupové body či routery s integrovaným přepínačem, napojující se na 5G, nebo LTE síť kdekoliv a kdykoliv, obsahující až 5 gigabitových portů a čtyřjádrový procesor s 256 MB paměti RAM.

5.6.2 Směrovače

Zůstaneme-li u malých domácích a SOHO řešení, nabízí MikroTik zařízení ze série hEX, kdy se jedná o malé ethernetové routery v plastové krabičce s pěti porty, u kterých lze pomocí RouterOS dosáhnout i funkce přepínače. Tahoun řady hEX S obsahuje pět gigabitových ethernetových portů a port SFP s konektivitou 1.25 Gbps, jenž umožňuje připojení různých rozšiřujících modulů, nejčastěji další ethernetový port, nebo optický port. Zařízení obsahuje dvoujádrový procesor s frekvencí 880 MHz a 256 MB RAM, podporující hardwarové šifrování IPsec s propustností 470 Mbps, za přívětivé ceny okolo 1 500 Kč.

Směrovače ze sérií RB2011, RB3011 a RB4011 jsou zástupci větších a výkonnějších zařízení s 10 ethernetovými porty, odlišující se od sebe především výkonem procesoru a vybavením. Řada RB2011 začíná s jednojádrovým procesorem o frekvenci 600 MHz a 64 MB paměti RAM, 5 gigabitovými ethernetovými porty a 5 porty o rychlosti 100 Mbps, naopak řada RB4011 má již čtyřjádrový procesor o frekvenci 1,4 GHz, 1 GB paměti RAM, 10 gigabitových

ethernetových portů a jeden port SFP+. Cena zařízení řady RB2011 začíná na 2 200 Kč.

Nejlepšími nabízenými běžnými routery jsou zařízení z řady RB1100AHx4 s 13 gigabitovými ethernetovými porty, čtyřjádrovými procesory s frekvencí 1,4 GHz, 1 GB RAM a maximální propustností 7.5 Gbps s cenou začínající na 6 803 Kč včetně DPH.

Mezi úplně nejvýkonnější směrovače však patří série Cloud Core Router s jejich nejvýkonnějšími procesory na architektuře Tilera, u nichž MikroTik sám udává, že jejich procesory jsou tak výkonné, že pro veškeré směrování a ostatní činnosti nepotřebují přepínací čipy. Mezi zástupce této série patří řady CCR1009, CCR1016 a CCR 1036, kdy poslední dvojčíslí udává počet jader procesoru. Hlavním prezentovaným zařízením z této série je CCR1036-8G-2S+ s 8 gigabitovými porty, dvěma porty SFP+ s 10 Gbps konektivitou, 36 jádrovým procesorem s frekvencí 1,2 GHz a 4 GB paměti RAM. Maximální propustnost tohoto zařízení je 28 Gbps s konfigurací firewall. Cena tohoto modelu se pohybuje okolo 26 700 Kč.

5.6.3 Přepínače

Mezi přepínače SOHO patří produkty z řad RB260, CRS106 a CRS305, které disponují dostatečným výkonem pro svůj účel a přichází s operačními systémy RouterOS, nebo SwOS, což je odlehčená verze právě operačního systému RouterOS, poskytující všechny důležité funkce pro přepínače. CRS305-1G-4S+IN je příkladem takového malého výkonného přepínače s maximální propustností 41 Gbps, disponujícího jedním gigabitovým ethernetovým portem a čtyřmi porty SFP+ s konektivitou 10 Gbps. Zařízení s cenovkou okolo 3 300 Kč disponuje funkcí Dual boot, umožňující vybrat z operačních systémů RouterOS a SwOS.

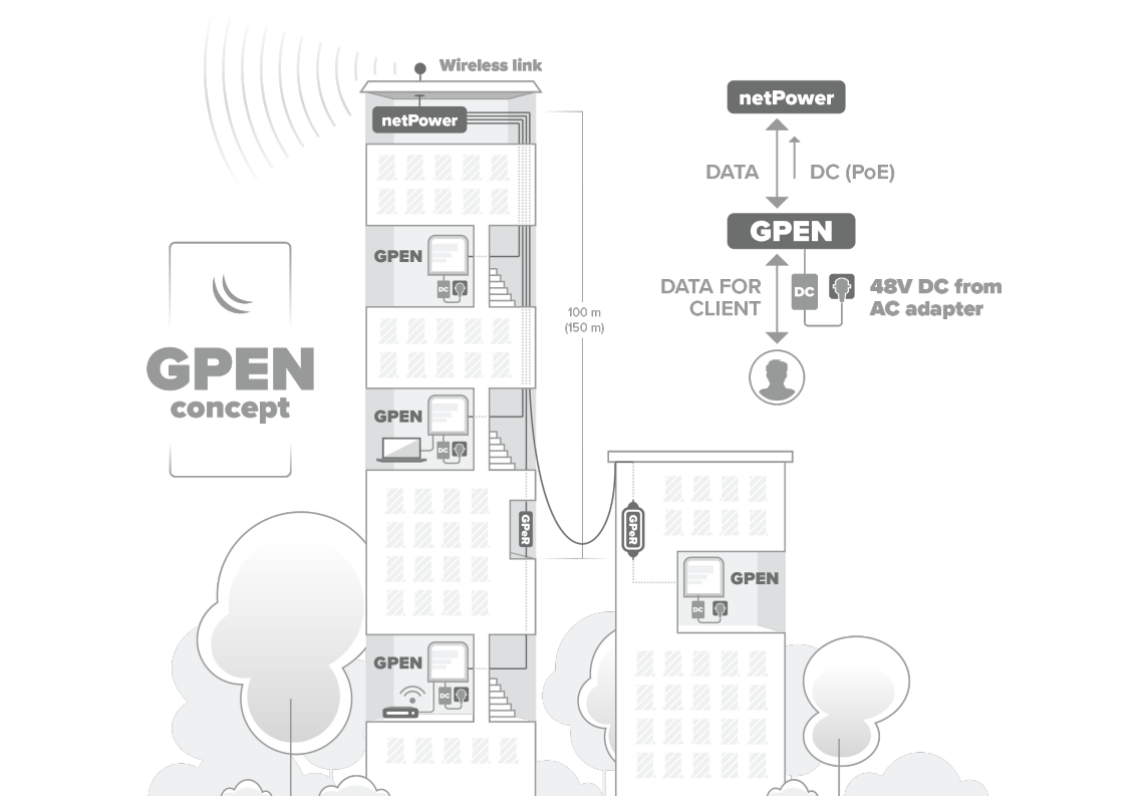
Další v nabídce jsou přepínače pro střední podniky, které disponují větším výkonem s více porty. Jedná se o řady CRS109, CRS112, CRS212, CRS309 a ještě větší zařízení CRS328, CRS326 a CSS326, která už umožňují umístění do racku.

CRS328-24P-4S+RM je přepínač s 24 gigabitovými porty a 4 porty SFP+. Zařízení disponuje procesorem s frekvencí 800 MHz a 512 MB RAM, maximální propustností 64 Gbps a funkcí Dual boot. Prodejní cena je okolo 12 100 Kč s DPH.

Poslední kategorii přepínačů v nabídce MikroTik představují takzvané Enterprise switches. Jedná se o vysoce výkonné rackmount přepínače určené pro velké zatížení. Jde o řady CRS125, CRS312, CRS326 a CRS354. Konkrétně CRS354-48P-4S+2Q+RM je přepínač s 48 gigabitovými Ethernet porty, 4 porty SFP+ s konektivitou 10 Gbps a dvěma 40 Gbps porty QSFP+. Maximální propustnost tohoto zařízení je 168 Gbps a obsahuje jednojádrový procesor s frekvencí 650 MHz a 64 MB RAM s možností Dual boot. Zařízení disponuje cenou okolo 22 300 Kč.

5.6.4 Gigabit Passive Ethernet Network

MikroTik nabízí celé vlastní GPEN řešení, které má být alternativou k optickému řešení GPON. Jedná se v podstatě o přenesení konceptu GPON do prostředí Ethernetu a UTP nebo STP kabelů. Jeho výhoda spočívá ve využití jednoduchých, osvědčených a levných ethernetových řešení, kdy eliminuje drahé prvky GPON sítí, především pak zařízení GPON OLT, jež je nahrazeno běžným přepínačem.



Obr. 3 Koncept GPEN

Zdroj: [24]

Pointa konceptu je taková, že u zákazníka je nasazeno zařízení GPEN11 nebo GPEN21, které je na jedné straně napojeno na síť zákazníka a na druhé straně do speciálního přepínače netPower, který se nachází u poskytovatele. Cílem zařízení GPEN je poté pomocí PoE napájet právě tento přepínač, jenž nahrazuje již zmiňované GPON OLT a zajišťuje propojení sítí a připojení k internetu. Jelikož se jedná o přenos dat a napájení na vysoké vzdálenosti, koncept přináší i malý pasivní opakovač GPeR, pomocí něhož lze obnovit signál až o dalších 210 metrů na maximální vzdálenost 1500 metrů.

5.6.5 MikroTik RouterBOARD

Mezi zástupce řady samostatných RouterBOARD PCB desek patří deska RBM11G s cenou okolo 900 Kč, vybavená dvoujádrovým procesorem s frekvencí 880 MHz a 256 MB paměti RAM. Deska je osazena jedním gigabitovým Ethernet portem, miniPCI-e slotem a slotem pro kartu SIM.

RBM33G obsahuje dvoujádrový procesor s frekvencí 880 MHz a 256 MB RAM paměti typu DDR3. Je osazen 3 gigabitovými ethernetovými porty, 2 miniPCI-e sloty a 2 SIM sloty. Tato deska stojící přibližně 1 150 Kč se standardně dodává s RouterOS level 4.

O výkon desky RB450Gx4 se stará čtyřjádrový procesor s frekvencí 716 MHz a 1 GB RAM paměti. Deska podporuje hardwarové IPsec šifrování, napájení přes PoE a je osazena dvěma napájecími konektory, sériovým portem RS232 a 5 gigabitovými ethernetovými porty. Zařízení s cenou okolo 2 250 Kč se v základu dodává s RouterOS level 5 licencí.

Desky typu RB911 a RB912 se prodávají v různých koncových specifikacích. Desky obsahují v závislosti na konkrétní verzi procesory s frekvencí od 600 MHz po 720 MHz a 32 MB až 128 MB paměti RAM. Různé desky těchto typů podporují různé verze WiFi standardu IEEE 802.11 a jsou osazeny jedním nebo dvěma ethernetovými porty s různou rychlostí. Konkrétním příkladem takové desky může být RB911G-5HPnD podporující standard 802.11a/n na frekvenci 5 GHz s 600 MHz procesorem, 32 MB RAM a gigabitovým Ethernet portem. Desky se podle verze dodávají s RouterOS úrovně 3 a 4 s cenovkou začínající na 1 000 Kč.

Poslední zástupcem volně prodejných PCB desek je aktuálně RB922UAGS-5HPacD s procesorem o frekvenci 720 MHz a se 128 MB RAM. Je osazen jedním miniPCI-e slotem, SIM slotem, gigabitovým Ethernet portem a rozšiřujícím SFP portem s konektivitou 1,25 Gbps. Deska podporuje standardy 802.11a/n/ac na

frekvenci 5 GHz s možností osazení 2 bezdrátových antén současně. Cena této desky je okolo 2 200 Kč.

Tyto PCB desky jsou u společnosti MikroTik velice oblíbené a vyhledávané. Nejvíce tomu napomáhá již zmíněný fakt, že desky lze jednoduše rozšířit připojením kompatibilních modulů do miniPCI-e slotů. K deskám sám MikroTik nabízí i celou řadu příslušenství jako různá pouzdra, napájecí zdroje nebo antény.

5.7 Certifikace MikroTik

5.7.1 Školící akce a instituce

Školící střediska MikroTik jsou samostatné subjekty, to znamená firmy nebo jednotlivci, rozmístěné po celém světě. Provádějí intenzivní veřejná či soukromá školení a certifikační testy podle oficiální osnovy školení. K výuce využívají vlastní školící materiály a za nabízená školení nesou zodpovědnost.

5.7.2 Akademie MikroTik

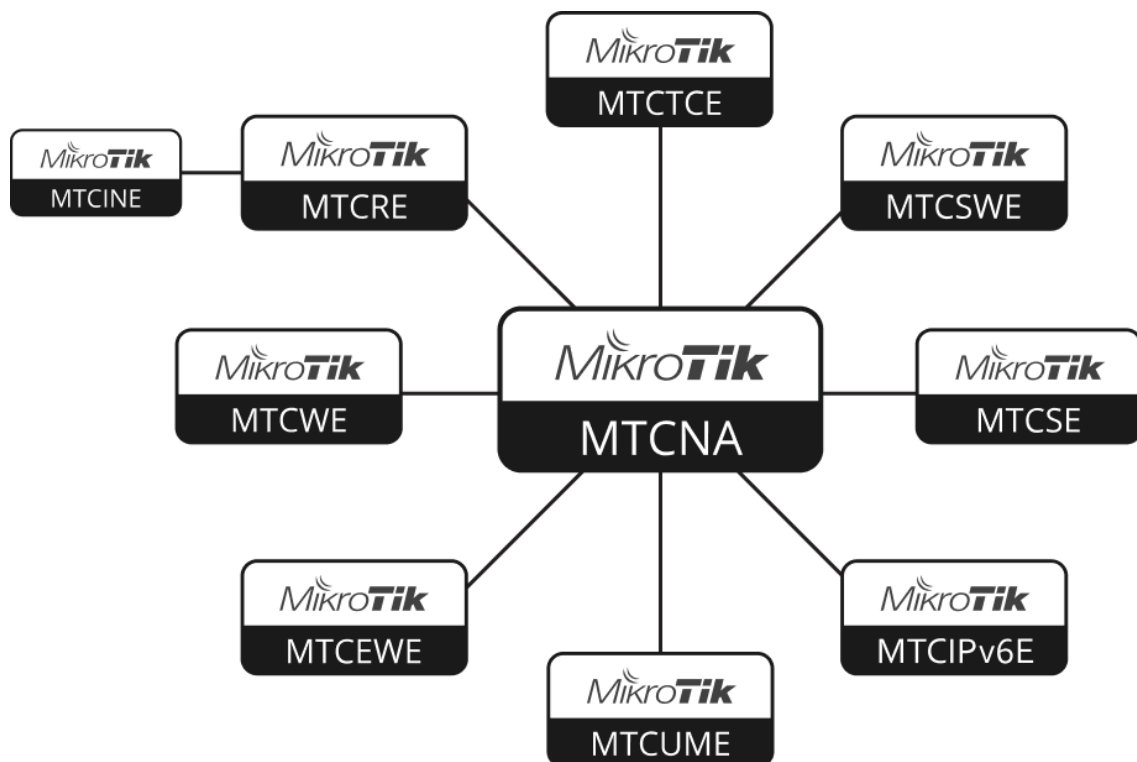
Jedná se o vzdělávací instituce – technické střední školy, odborné školy, vysoké školy a jiné, které poskytují svým studentům semestrální kurzy internetových sítí s využitím RouterOS jako výukového nástroje.

Školení a kurzy organizují a poskytují školící střediska a instituce samy, kde vyučují směrování a správu drátových a bezdrátových sítí, využívajících systém MikroTik RouterOS.

5.7.3 Certifikované školící programy MikroTik

Společnost MikroTik nyní disponuje následujícími certifikovanými školícími programy:

- MTCNA – MikroTik Certified Network Associate
- MTCRE – MikroTik Certified Routing Engineer
- MTCWE – MikroTik Certified Wireless Engineer
- MTCTCE – MikroTik Certified Traffic Control Engineer
- MTCUME – MikroTik Certified User Management Engineer
- MTCINE – MikroTik Certified Inter-Networking Engineer
- MTCIPv6E – MikroTik Certified IPv6 Engineer
- MTCSE – MikroTik Certified Security Engineer
- MTCsWE – MikroTik Certified Switching Engineer
- MTCEWE – MikroTik Certified Enterprise Wireless Engineer



Obr. 4 Certifikované školicí programy MikroTik

Zdroj: MikroTik Routers and Wireless – Training. MikroTik Routers and Wireless [online]. [cit. 26.07.2022]. Dostupné z: <https://mikrotik.com/training/about>

6 Cisco Systems

Cisco Systems, Inc. bylo založeno roku 1984 počítačovými vědci Lenem Bosackem a Sandym Lernerem. Firma je jedním z předních výrobců a velice významným inovátorem v oblasti síťových prvků. Ekosystém prvků Cisco se vyznačuje unikátní architekturou prvků a svými proprietárními řešeními hlavně v oblasti protokolů, avšak podporuje i univerzální ISO řešení. Cisco je vlastníkem řady patentů na různé technologie, například bezdrátové sítě, VoIP atd.

6.1 Cisco IOS

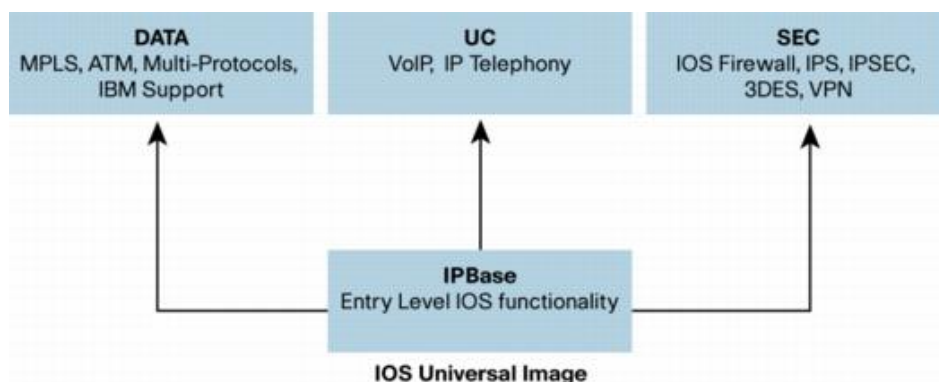
Cisco Systems má svůj operační systém založen kompletně na vlastní logice a architektuře. IOS, někdy nazývaný „Internetwork Operating System“, zpočátku označován „the OS“, byl původně navržen jako jednoduchý malý operační systém pro první Cisco routery. S rostoucí popularitou směrovačů společnosti Cisco se postupem času rozrůstal i jejich operační systém. Na nezměněné jednoduché architektuře tak začínal podporovat stále více funkcionalit a protokolů, dokud se nerozrostl do dnešní podoby.

6.1.1 Licence

Ve starých verzích operačního systému IOS bylo 12 různých druhů licenčních balíčků a obrazů systému, obsahujících určité přednastavené funkcionality. S postupným vývojem systému se počet balíčků omezil nejprve na 8 různých balíčků obrazů, dnes již má Cisco IOS od verze 15 pouze 4 balíčky funkcionalit, kde obraz systému je pro všechny licence stejný, univerzální. Délka platnosti licence se odvíjí od jejího druhu. Může se jednat o dočasnou Evaluation Licence, kde je dostupná veškerá funkcionalita po zkušební dobu 60 dní, nebo Permanent Licence bez omezení délky platnosti.

Vstupní verzí licence je balíček IP Base obsahující pouze základní funkcionalitu systému IOS. Tato verze je dodávána s každým novým routerem řady 1900, 2900 a 3900. K tomuto základu lze dokoupit licence na rozšiřující balíček

DATA, který přináší multiprotokolovou podporu MPLS a ATM, balíček Unified Communications, přinášející podporu VoIP a IP telefonování, a rozšíření Security, jež podporuje Cisco IOS Firewall, IPS, IPsec, 3DES a VPN. Zjednodušený přehled lze nalézt v obrázku 5.



Obr. 5 Licenční balíčky Cisco IOS

Zdroj: [33]

6.2 Architektura IOS

6.2.1 Procesy

Procesy v operačním systému IOS jsou jednovláknové a zpracovávají se pomocí nepreemptivního neboli kooperativního multitaskingu. To znamená, že při změně zpracovávajícího se procesu se musí všechny právě běžící úlohy ukončit a teprve poté se může začít zpracovávat proces nový. Každému procesu systému IOS je přiřazeno pouze jedno vlákno spolu s vlastní pamětí zásobníku a kontextem procesoru. Při vykonávání poté mohou procesy používat různé zdroje, například operační paměť a přístup ke konzoli. O pořadí zpracovávání procesů se stará plánovač.

6.2.2 Paměti

Operační systém IOS používá při své práci 4 druhy pamětí pro různé činnosti.

Paměť typu ROM (Read Only Memory) je nezávislá na napájení a lze z ní pouze číst. Je zde uložen test POST (Power-on Self Test), jenž se provádí po zapnutí zařízení jako kontrola jeho základních částí. Běžně se jedná o procesor, paměti a rozhraní. Dále se zde nachází ROM monitor, který pomáhá inicializovat procesor a zavádět operační systém, zároveň se však jedná i o jednoduché diagnostikační a konfigurační rozhraní, ve kterém lze například obnovit ztracené heslo či nahrát vlastní verzi operačního systému. V ROM paměti dále bývá uložen zavaděč operačního systému a záložní zjednodušená verze systému IOS – pro případ, že by se při bootování zařízení nenalezl hlavní obraz v paměti Flash.

Nevolatilní paměť typu Flash EEPROM je primárně určená pro úchovu primárního obrazu operačního systému IOS, který se při spouštění zařízení načte do operační paměti RAM.

Volatilní paměť RAM má hned několik funkcí. Je zde uchováván právě běžící operační systém spolu s jeho běžící konfigurací, dále se tu udržuje aktuální routovací tabulka a ARP tabulka. V poslední řadě je RAM paměť používána při směrování, kdy se sem ukládají příchozí rámce, které se následně analyzují a směrují.

Poslední používanou pamětí je nevolatilní paměť typu NVRAM, do níž se ukládá startovací konfigurace zařízení, jež se při bootování systému kopíruje do konfigurace běžící.

6.2.3 IOS Kernel

Jádro operačního systému v IOS je odlišné oproti běžnému, jako například u Microsoft Windows či Linuxu, kde se jedná o jeden určitý nadřazený celek běžící ve speciálním bezpečném módu procesoru ve funkci supervizoru. Kernel u IOS je

výsledná část operačního systému složená z několika komponent a funkcí, spojených s operačním systémem paralelně v běžném uživatelském módu. Díky tomuto má procesor plný přístup k funkcím operačního systému.

6.2.4 Cisco IOS XE

Cisco IOS XE představuje evoluci standardního operačního systému IOS, kdy proběhlo jeho přizpůsobení moderním technologiím při zvýšení jeho výkonu, spolehlivosti a bezpečnosti.

Hlavní spustitelný obraz je nyní linuxový operační systém, obsahující tradiční Cisco IOS, rozdělený na části, spouštěné v podobě samostatných procesů, či správněji démonů. Právě díky tomu je zde dostupná i podpora programování v jazycích Python, Ruby a Go, pomocí kterých lze dosáhnout jisté míry automatizace či jiných činností. Další nezměrnou výhodou je nyní i podpora víceprocesorových systémů, díky níž lze používat výkonnější vícejádrové procesory.

Jak zde již bylo naznačeno, Cisco IOS XE obsahuje individuální dílčí balíčky, se kterými lze pracovat i jednotlivě, vylepšovat je, nebo dokonce individuálně spouštět a ukončovat, čímž lze prostým vypnutím nepoužívaných funkcí dosáhnout šetření místa v paměti. Jednotlivé balíčky pak mají své specifické funkce. Například RPBase poskytuje funkce pro směrovací procesor, RPIOS poskytuje jádro operačního systému Cisco IOS nebo RPAccess obsahuje funkce připojení k zařízení na dálku a jeho zabezpečení přes protokoly jako SSH a SSL.

Tato evoluční verze systému pak vypadá pro uživatele stejně jako běžné Cisco IOS, kdy i základní funkčnost CLI zůstala stejná, tudíž by neměl být pro zblhlého administrátora žádný problém v jeho používání.

6.3 Cisco IOS Command-line interface

Konfigurace přes příkazovou řádku je primární upřednostňovaná možnost pro plnohodnotnou konfiguraci, monitoring a údržbu zařízení Cisco. CLI nám umožňuje používat příkazy operačního systému IOS pomocí konzole, terminálu směrovače nebo pomocí metod vzdáleného přístupu.

CLI je rozdělen do několika různých příkazových módů, kde každý mód má vlastní balík příkazů pro konfiguraci, údržbu či monitoring síťových zařízení a síťových operací. Tyto módy jsou seřazeny následovně: user EXEC mode, privileged EXEC mode a global configuration mode, ze kterého se lze dále přepínat do specifických konfiguračních módů a submódů jednotlivých protokolů, interfaců apod.

6.3.1 User EXEC mode

Prvním konfiguračním módem, k němuž se administrátor připojí hned po navázání spojení se zařízením, je user EXEC mode. Z bezpečnostních důvodů je tento mód omezen pouze na velice omezený výčet příkazů, které neovlivňují konfiguraci serveru. Jde tedy výhradně o příkazy sloužící ke zjištění stavu zařízení.

6.3.2 Privileged EXEC mode

Privileged EXEC mode je druhou úrovní EXEC módu, většinou chráněnou přístupovým heslem. Je dostupný z předchozího módu pomocí příkazu *enable*. Privileged EXEC mód je používán především na zobrazení aktuální konfigurace zařízení a na vynulování počítačů, interfaců apod. V tomto módu lze také uložit právě běžící konfiguraci jako startovací konfiguraci, která se při bootu systému načte do RAM paměti opět jako konfigurace běžící.

6.3.3 Global configuration mode

Jedná se o poslední ze základních konfiguračních módů dostupný příkazem *configure terminal*, který již slouží především ke konfiguraci obecných systémových charakteristik. Z tohoto módu se však lze dostat i ke speciálním konfiguračním módům a submódům, konkrétně k protocol-specific či feature-specific, díky nimž poté mohou administrátoři konfigurovat například jednotlivá rozhraní zařízení či protokoly jako NAT, OSPF a jiné. Jako konkrétní příklad konfigurace submódů lze pak použít konfiguraci subrozhraní při použití metody VLAN směrování Router-on-a-stick.

6.3.4 ROM monitor mode

ROM monitor mode je speciální mód oddělený od všech ostatních. Do tohoto uživatelského módu se lze dostat dvěma způsoby. Uživatel může přístup do takzvaného ROMMONu uskutečnit sám přerušением bootovací sekvence při startu zařízení. Druhý způsob je spíše vynucený, a to v případě, kdy zařízení nemůže správně nabootovat standardní obraz systému IOS. K tomuto může dojít například při nenalezení validního systémového obrazu. V tomto módu lze pak spouštět různé debugovací příkazy nebo upravovat hodnoty registrů, díky čemuž lze dosáhnout například obejít a obnovy přístupových hesel.

6.3.5 Vestavěná nápověda

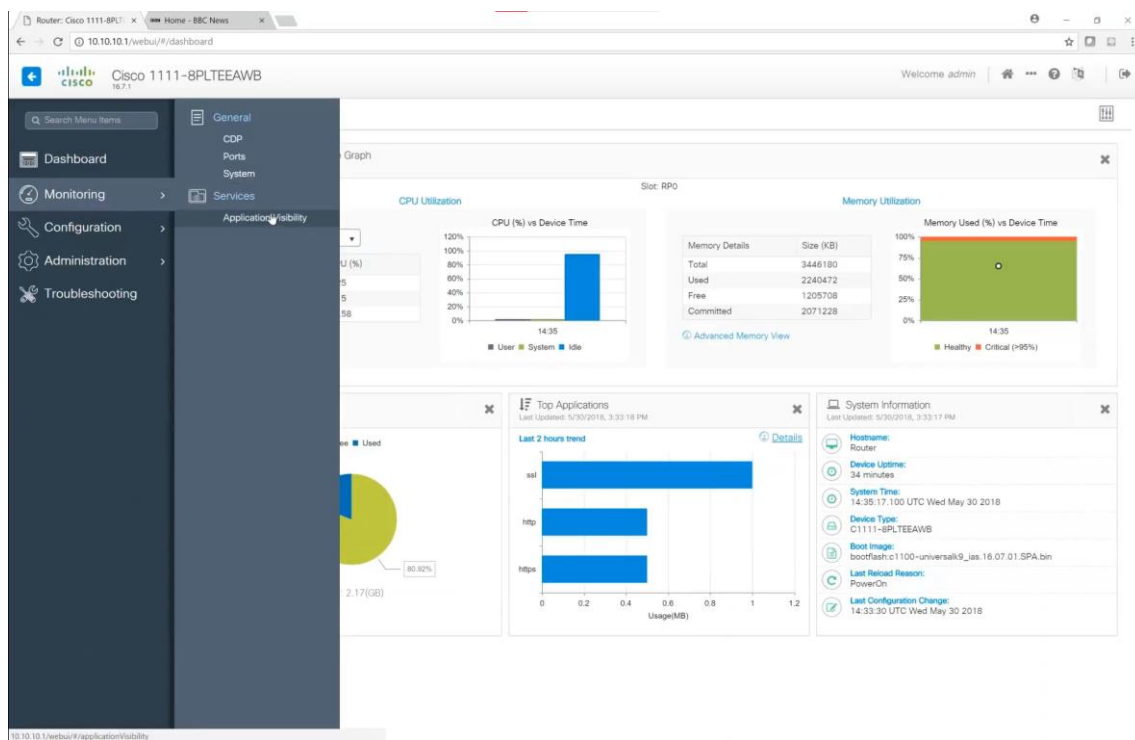
Důležitou užitečnou funkcí při konfiguraci systému IOS v režimu CLI je bezpochyby funkce znaku otazník (?). Otazník zde slouží podle kontextu jeho použití jako rychlá nápověda všech příkazů, které lze v daném uživatelském módu využít, nebo jako nápověda všech možných argumentů a klíčových slov, jež lze na danou pozici v již rozepsaném příkazu dosadit.

6.4 Cisco Web Browser User Interface

Jedná se o konfigurační nástroj s grafickým rozhraním operačního systému Cisco IOS, kde k němu může uživatel přistoupit pomocí většiny webových prohlížečů, podporujících Javascript a práci s formuláři. Nástroj lze pak využít ke konfiguraci zařízení, kdy lze zadat většinu příkazů systému IOS pomocí webového rozhraní, nebo k monitorování provozu na zařízení či zařízení samotného. Webovéuživatelské rozhraní obsahuje i pomocné nástroje při odstraňování problémů nebo také možnosti administrace. Zde lze nalézt například položku s licencemi systému a jiné.

Zařízení Cisco 1003, Cisco 1004 a Cisco 1005 mají Web browser UI v základu povolené a k jejich prvotnímu nastavení je možno využít jednoduchého konfiguračního průvodce ClickStart. U ostatních zařízení Cisco je však nutné nejprve Web browser UI povolit. Proto je nutné mít otevřené rozhraní CLI dotyčného zařízení a v globálním konfiguračním módu zadat příkaz *ip http server*. Uživatelské rozhraní a jeho webový server lze dále konfigurovat, například pro změnu používaného portu je možné v globálním konfiguračním módu zadat příkaz *ip http port <číslo>*, nebo pomocí příkazu *ip http authentication {aaa | enable | local / tacacs}* ve stejném módu lze změnit možnosti autentizace. Pro základní ověření přístupu do webového rozhraní slouží heslo do privilegovaného konfiguračního módu.

Pro přístup k Web browser UI je nutné mít zařízení ve stejné síti jako konfigurované zařízení a již zmíněný internetový prohlížeč, kde se do řádku pro URI adresu zadává IP adresa zařízení nebo jeho doménové jméno. Po načtení této adresy by se měla zobrazit automaticky generovaná, heslem chráněná úvodní stránka.



Obr. 6 Cisco Web browser UI
 Zdroj: Snímek pořizen ze zdroje [40]

Na obrázku 6 je domovská obrazovka webového rozhraní systému Cisco IOS, ze kterého lze vyčíst základní rozpořizen celého uživatelského rozhraní.

Horní lišta obsahuje základní navigační či jinak funkční tlačítka, jako například odhlášení nebo odkaz na nápovědu.

V levé části se nachází menu, pomocí kterého se lze přepnout na jednotlivé podstránky, obsahující možnosti konfigurace, monitorování, administrace zařízení nebo pomocné nástroje při odstraňování problémů.

V poslední a největší části se zobrazují potřebné texty, tlačítka, tabulky, grafy, formuláře a jiné nástroje, důležité pro sdělení informací uživateli a jeho interakci s uživatelským rozhraním. Při samotné konfiguraci jsou využívána i modální okna, používaná zpravidla pro podrobnější konfiguraci daných funkcí a služeb.

6.4.1 Server Side Includes

Takzvané SSI jsou HTML formátované příkazy nebo proměnné, které lze vložit právě do HTML stránek pro vlastní přizpůsobení zobrazovaných informací. Všechny takové příkazy jsou pak po načtení dané stránky nahrazeny jejich výstupem či hodnotami proměnných specifických pro platformu Cisco IOS.

SSI obsahují 2 typy příkazů. První slouží pro příkazy, které mají být provedeny v samotném systému Cisco IOS. Zapisuje se ve tvaru `<!--#execcmd="příkaz"-->`. Druhý příkaz slouží k vypisování platformě specifických proměnných. Ten se zapisuje `<!--#echovar="proměnná"-->`.

Vlastní přizpůsobené stránky je poté nutno uložit do Flash paměti zařízení. Ukládají jako soubory s koncovkou *.shtml*. Výsledné stránky lze poté navštívit na URI adrese `http://<adresa-routeru>/flash/<název-souboru>`, na které se po následném načtení zobrazí daná přizpůsobená stránka s výstupy z SSI příkazů.

6.5 Základní funkce Cisco IOS

Cisco IOS podporuje celou řadu různých funkcí pro různé síťové prvky, jako jsou směrování a přepínání, nebo na ně navazující funkce jako použití VLAN či nastavení přístupových seznamů pro různé IP adresy.

Vzhledem ke specifické architektuře Cisco IOS je základním nástrojem celého systému procesor zařízení. Výkon směrování a přepínání paketů je pak závislý na jeho aktuálním vytížení. Pro zlepšení výkonu při přepínání, nebo směrování paketů a ulehčení zátěže procesoru je v operačním systému implementováno několik funkcí.

6.5.1 Fast Switching

Jedná se o metodu, která zařízením zvyšuje výkon při přenosu paketů za použití vysokorychlostní fast-switching cache mezipaměti na rozhraní zařízení.

Základní princip spočívá v tom, že se z prvního paketu poslaného do určitého cíle uloží adresa tohoto cíle do paměti cache, kdy následující pakety neprocházejí jejich zpracováním na procesoru jako první paket, ale svůj cíl získávají právě z cache paměti.

Rychlé přepínání je ve výchozím stavu povoleno na všech rozhraních zařízení, jež ho podporují. I přes nárůst výkonu je však někdy vhodné či nutné funkci rychlého přepínání vypnout. Funkci lze vypnout například v případě, kdy chceme uvolnit paměť karty rozhraní, naopak vyžadované vypnutí nastává pro určité diagnostické nástroje, například pro trasování na úrovni paketů, kdy je pro správné výsledky nutné procesní přepínání paketů.

6.5.2 Cisco Express Forwarding

CEF je proprietární patentované řešení škálovatelného přepínání, jež má řešit problémy spojené s ukládáním do mezipaměti na vyžádání. Informace, které jsou obvykle uloženy v mezipaměti tras (route cache), jsou v CEF rozděleny do několika udržovaných struktur, které zajišťují optimalizované vyhledávání pro efektivní předávání paketů.

Tabulka Forwarding Information Base (zkráceně FIB) je podobná a úzce spjatá s IP směrovací tabulkou a slouží k rozhodování o přepínání na základě prefixu IP adresy. FIB udržuje aktuální zrcadlový obraz směrovacích informací v routovací tabulce. Když tak dojde ke změně cesty nebo topologie, projeví se tyto informace jak ve směrovací tabulce, tak v tabulce FIB.

Adjacenční tabulka čili tabulka příležitosti pak pro všechny položky v FIB udržuje informace o všech sítích, které od nich můžou být dosaženy jedním skokem.

Výsledné CEF lze pak spustit v jednom ze dvou režimů. V centrálním režimu jsou adjacenční tabulka a tabulka FIB uloženy v hlavním směrovacím procesoru, který pak provádí expresní předávání. Tento režim se používá tehdy, je-li potřeba

použít funkce nekompatibilní s druhým distribuovaným režimem CEF nebo pokud nejsou k dispozici linkové karty, představující velké rozšiřující moduly umístitelné do speciálních slotů.

V distribuovaném režimu CEF pak udržují všechny karty a také směrovací procesor identické kopie adyacenčních a FIB tabulek, takže pak mohou samy linkové karty provádět expresní předávání, čímž zbaví hlavní procesor účasti na předávání.

6.6 Cisco proprietární protokoly

Jak již bylo v této části naznačeno několikrát, společnost Cisco vymýšlí a implementuje do svých produktů vlastní řešení, zaměřující se především na výkon a bezpečnost. Mnoho takových řešení se týká nejen principů vnitřního fungování operačního systému Cisco IOS a zařízení od společnosti Cisco, ale i vlastních alternativ k obecným standardům a protokolům, které se v počítačových sítích používají. Mezi obecně známé Cisco proprietární protokoly patří například v následujících bodech rozebrané CDP a GLBP, ale i protokoly HSRP, PVST a jeho další verze, nebo směrovací protokol EIGRP.

6.6.1 Cisco Discovery Protocol

CDP je proprietární protokol společnosti Cisco, pracující na linkové vrstvě ISO/OSI referenčního modelu, jež slouží k zjišťování přímo připojených sousedních zařízení obdobně jako obecný standart LLDP.

Hlavní podstatou je, že Cisco zařízení posílá na speciální multicastovou MAC adresu 01:00:0C:CC:CC:CC každých 60 vteřin CDP paket, který obsahuje informace o systému, zařízení a případně i o jeho konfiguraci. Tyto informace tak obdrží všechna přímo připojená Cisco zařízení, podporující právě CDP protokol, která si jej uloží do své mezipaměti, ve které jsou informace udržovány po dobu stanovenou takzvaným „hold-down“ časovačem. Ten je v základním nastavení stanoven na dobu 180 sekund, po jejichž uplynutí je záznam o zařízení z paměti vymazán. Zařízení tak

mají ve své paměti uloženou tabulku s informacemi o svých přímo připojených sousedních Cisco aparátech, kterou lze zobrazit zadáním příkazu *show cdp neighbors* v privilegovaném konfiguračním módu.

CDP protokol má aktuálně dvě dostupné verze, z nichž novější verze CDPv2 poskytuje inteligentnější funkce pro sledování zařízení. Pomocí toho lze například odhalit nesouhlasící nativní VLAN ID na připojených portech nebo rozeznat neshodné stavy duplexu portů mezi připojenými zařízeními.

I přes užitečné vlastnosti protokolu nabízené správcům sítí však může CDP protokol posloužit i jako nebezpečný nástroj pro útočníky. Například při útoku zvaném CDP spoofing dochází k tomu, že útočník začne na Cisco zařízení odesílat CDP pakety s podvrženými zdrojovými MAC adresami, při jejichž vysokém počtu může dojít k přehlcení zařízení a to se může poté i zhroutit. V jiném případě nemusí protokol nutně sloužit přímo k útoku, avšak lze pomocí něho získat i důležité a citlivé informace, například o verzi operačního systému Cisco IOS. Pokud tak útočník zjistí přítomnost starší verze systému, může využít jejích známých trhlin a onoho zařízení se zmocnit. Z hlediska bezpečnosti se tak doporučuje CDP protokol úplně vypnout, nebo ho zakázat na rozhraních, která spojují jiná než Cisco zařízení.

6.6.2 Gateway Load Balancing Protocol

GLBP protokol je funkčně podobný protokolům HSRP (Hot Standby Router Protocol) nebo VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol), kdy chrání datový provoz před selháním směrovače nebo okruhu, avšak oproti obecným protokolům poskytuje i další funkce.

Hlavní princip je právě podobný standartním protokolům HSRP nebo VRRP, kdy se více směrovačům v jedné LAN síti nastaví jedna virtuální IP adresa, sloužící jako výchozí brána pro všechna zařízení v této síti. Poté se zařízení právě pomocí těchto protokolů domluví na jednom konkrétním zařízení, které zastane funkci aktivní virtuální brány (Active Virtual Gateway, zkráceně AVG), tedy toho

směrovače, jenž bude aktivně zastávat funkci výchozí brány pro všechna zařízení v síti, zatímco se ostatní směrovače přepnou do režimu standby a vyčkávají, dokud AVG neseleže, aby ho mohly nahradit.

V tomto okamžiku však přichází na řadu i hlavní výhoda GLBP protokolu, kdy lze této skupině až 1024 směrovačů nastavit i čtyři virtuální MAC adresy. Ty přiřazuje AVG jiným směrovačům, jež tak přebírají odpovědnost za předávání paketů odeslaných na danou virtuální MAC adresu. Takovým zařízením se říká aktivní virtuální předavač, či správněji anglicky Active Virtual Forwarder (zkráceně AVF). Koncovým zařízením je tak pro jednu IP adresu jedné výchozí brány předáváno až ze čtyřech různých MAC adres. Tento princip poté zajišťuje vyrovnávání zátěže mezi více směrovačů a zvyšuje tak i potenciál maximální propustnosti výchozí brány.

Zařízení GLBP skupiny mezi sebou komunikují pomocí hello zpráv zasílaných za použití protokolu UDP každé 3 sekundy na multicastovou IP adresu 224.0.0.102 na port 3222.

6.7 Zařízení Cisco

Společnost Cisco nabízí velkou škálu zařízení od různých bezdrátových řešení pro malé, ale i velké podniky, přes tradiční vysoce výkonné přepínače a směrovače, či dokonce firewall zařízení, až po velice výkonná řešení určená pro datacentra, či jiné velké poskytovatele služeb. V následujících bodech jsou popsána především zařízení určená pro malé a střední podniky nebo průmyslová řešení z nabízeného katalogu Cisco Start, což umožňuje dosáhnout objektivnějšího porovnání se zařízeními MikroTik.

6.7.1 Bezdrátová řešení

U nabízených bezdrátových Cisco řešení se jedná především o různé přístupové body, kde jednotlivé modely pokrývají celé spektrum velikosti sítí od malých až po ty největší a nejvytíženější.

Zařízení řady Cisco Wireless Access Points (WAP) jsou přístupové body určené k jednoduchému a rychlému nastavení Wifi sítě pro malé a střední podniky. Například zařízení WAP150 obsahují jeden gigabitový port a podporují Wifi standardy IEEE 802.11n/ac, kdy za využití 2,4 GHz pásma poskytují přenosovou rychlost až 300 Mbps a při použití 5 GHz pásma disponují rychlostí až 867 Mbps. Tato zařízení se cenově pohybují kolem 5 400 Kč s DPH a jsou nejvýkonnější zařízení ze série WAP 100. Cisco nabízí ještě výkonnější série WAP 300 a 500.

Řada Cisco Aironet je určena pro malé a střední sítě. Jedná se především o výkonnější modely než u řady WAP. Všechny modely této řady se pyšní podporou novější a výkonnější varianty standardu IEEE 802.11ac, tedy Wave 2, která již plně podporuje gigabitové připojení pomocí Wifi. Nejvýkonnější zařízení ze série Aironet 1800, jímž je AIR-AP1852E, disponuje rychlostí až 600 Mbps u 2,4 GHz pásma a až 1733 Mbps u pásma 5 GHz. Tato zařízení jsou k dispozici od ceny okolo 22 000 Kč.

Série Meraki MR nabízí přístupové body nejvyšší třídy spravované centralizovaně pomocí cloudu. Jsou určeny do náročných podmínek a obsahují velkou škálu podporovaných funkcí tak, že eliminují nutnost nákupu dalších zařízení nebo softwaru. Zařízení MR42-HW nabízí standardy 802.11n/ac za podpory 2,4 GHz i 5 GHz frekvenčního pásma s rychlostmi 600 a 1300 Mbps. Cena tohoto zařízení je okolo 28 700 Kč včetně DPH.

Posledními zde zmíněnými zástupci přístupových bodů jsou zařízení ze série Catalyst 9100, pokrývající celé výkonnostní spektrum. Jsou zde k nalezení modely pro malé sítě, ale i pro sítě s vysokým vytížením.

V nabídce Cisco bezdrátových řešení hrají svou roli i zařízení zvaná Cisco Wireless Controllers, která umožňují centralizovanou správu, nastavování a odstraňování chyb výše popsaných přístupových bodů, a to i skrze síť WAN. Mezi taková zařízení patří přímo bezdrátové kontroléry ze sérií 3504, 3520 a 8540, ale například i switche ze sérií Catalyst 3650 a 3850. Kontrolér AIR-CT3504-K9 obsahuje ve svém rackmount pouzdře 4 gigabitové porty s maximální propustností 4 Gbps a s podporou až 150 spravovaných přístupových bodů. Cena se pohybuje okolo 168 000 Kč včetně DPH.

6.7.2 Směrovače

Série routerů Cisco RV jsou dostupné, vysoce bezpečné směrovače navržené pro malé podniky, jež mají zabudované přepínače s několika LAN porty a některé modely i zdvojené gigabitové WAN porty s možností vyrovnávání zátěže. Směrovače Cisco RV260 VPN obsahují jeden gigabitový ethernetový port v kombinaci s SFP portem, kdy aktivní může být pouze jeden z nich, zároveň s 8 gigabitovými ethernetovými porty pro síť LAN. Jak již název napovídá, zařízení podporují funkci VPN pro zvýšení bezpečnosti. Udávaná propustnost s nastavením NAT je 800 Mbps a více. Cena těchto zařízení začíná na 4 000 Kč.

Směrovače série ISR 800 s bezdrátovými možnostmi jsou navrženy pro vysokou bezpečnost při vysokém vytížení s možností připojení ke cloudu. Tyto směrovače také disponují zabudovaným přepínačem a vybrané modely podporují i 4G LTE WAN připojení nebo funkci VPN (Virtual Private Network). C867VAE-K9 je vybaven konkrétně jedním gigabitovým ethernetovým portem a xDSL portem pro WAN a třemi sto megabitovými a dvěma gigabitovými ethernetovými porty pro LAN. Jeho cena se pohybuje okolo 13 900 Kč včetně licence operačního systému Cisco IOS s balíčkem rozšiřujícím bezpečnost.

Směrovače ze série ISR 900 se pyšní 2,2 GHz procesorem ze série Intel x86 a 1 GB paměti DRAM; obsahují především Cisco IOS se standardní licencí IP Base. Tyto zařízení jsou designována, aby poskytla malým a středním firmám bezpečnost

a konektivitu z třídy pro velké podniky. Cisco C926-4P s cenou okolo 17 300 Kč poskytuje propustnost s funkcí NAT více než 800 Mbps a propustnost šifrované komunikace až 150 Mbps, obsahující dva WAN porty, jeden gigabitový ethernetový, druhý xDSL a čtyři gigabitové porty LAN.

Routery ISR 1100 jsou určeny pro malé a střední podniky a malá odvětví velkých podniků. Obsahují obraz systému Cisco IOS XE a vysoce výkonný vícejádrový procesor pro velice rychlé WAN připojení a další služby. Model C1111-8P, obsahující 4 GB paměti DRAM, zvládne 50 Mbps propustnosti šifrované komunikace s možností vylepšení až na 350 Mbps zakoupením licencí Cisco IOS IPsec Performance License a Cisco IOS HSEC License. Zařízení pak obsahuje 8 gigabitových LAN portů, jeden gigabitový ethernetový WAN port a jeden gigabitový WAN port kombinovaný s portem SFP, a to za cenu okolo 20 500 Kč.

Posledními nabízenými směrovači v katalogu Cisco Start je série ISR 4000, která slučuje mnoho často vyžadovaných funkcí, jako jsou různé síťové funkce, ale i funkce bezpečnostní, výpočetní, nebo úložní. Jednotlivé modely jsou modulární a vylepšitelné, takže lze přidat několik vyžadovaných funkcí bez potřeby měnit zařízení nebo kupovat další. Konkrétní model ISR4431/K9, disponující možností redundance zdrojů, obsahuje 4 kombinované gigabitové ethernetové porty s porty SFP a 4 rozšiřující sloty, kdy tři jsou typu NIM a jeden PVDM. Zařízení umožňuje maximální propustnost 500 Mbps s možností vylepšení až na 4 Gbps zakoupením licence Cisco IOS Booster Performance License. Cena takového zařízení se pohybuje okolo 125 000 Kč včetně DPH.

6.7.3 Přepínače

Přepínače Cisco SF, SG a SX poskytují výkonné neblokující přepínání pro malé a střední sítě s konektivitou až 1 Gbps. Jinak řečeno, mají takovou propustnost, že zvládnou plnou rychlostí obsloužit všechny porty zařízení při maximálním vytížení. Série těchto přepínačů Cisco 95 a 110 patří mezi nespravované přepínače, kdy není třeba jejich žádné nastavení pro plnou funkčnost. Série 220, 250, 350, 350X a 550X

jsou pak již spravované přepínače s čím dál vyšším výkonem, lepším vybavením a s více funkcemi. Některé modely jsou i stohovatelné. To znamená, že lze propojit několik zařízení dohromady tak, aby se poté jevila jako zařízení jedno. Pomocí toho lze dosáhnout zvýšení počtu portů v síti za minimální ztráty propustnosti. Cisco SF350-24-K9 je příklad takového stohovatelného zařízení. Obsahuje 24 portů s konektivitou 100 Mbps, dva porty SFP a dva kombinované gigabitové ethernetové porty s SFP. Cena tohoto zařízení je okolo 5 950 Kč.

Mezi nejznámější přepínače společnosti Cisco však patří zařízení pod názvem Cisco Catalyst, poskytující výkon a funkce pro nasazení do téměř každé sítě od malých podnikových až po velká datacentra. Základní série těchto zařízení Catalyst 2600-L poskytuje přepínače 2. vrstvy ISO/OSI modelu, poskytující vysokou bezpečnost, spolehlivost a efektivnost. V sériích 2960-X, 3650 a 3850 lze nalézt stohovatelné přepínače 2. vrstvy, ale i 3. vrstvy síťového modelu ISO/OSI, jež poskytují omezené funkce síťové vrstvy a práce s pakety. Série Catalyst 9200 pak reprezentuje vstupní úroveň do takzvaných enterprise řešení. Stohovatelný Cisco WS-C2960X-24PS-L obsahuje 24 gigabitových ethernetových portů s funkcí PoE a čtyři port SFP za cenu okolo 60 000 Kč včetně DPH.

Cisco Meraki MS poté nabízí cloudově spravovatelné přepínače s možností kompletní konfigurace pomocí webového prohlížeče s cílem zrychlit a usnadnit uživatelům práci. Dostupná jsou zařízení ze sérií MS120, MS210 a MS225, kdy například stohovatelný MS210-24-HW obsahuje 24 gigabitových portů se 4 porty SFP a přepínací kapacitou 56 Gbps. Cena je asi 54 000 Kč.

6.7.4 Bezpečnostní aktivní prvky

Společnost Cisco je známa svým důrazem na bezpečnost, tudíž není překvapující, že nabízí i celou řadu bezpečnostních prvků, mezi něž se řadí zařízení poskytující firewall či služby VPN, ale i bezpečnostní kamery a jiné prvky.

Cisco Meraki Z Cloud Managed Teleworker Gateway například představuje kompaktní zařízení s pěti gigabitovými porty. Poskytuje funkce firewallu, VPN brány a routeru, navíc i monitoruje síťový provoz, rozšiřující rodinu cloudových zařízení Meraki.

Naopak zařízení ze série ASA 5500-X představují jedny ze světově nejnásazovanějších firewall zařízení enterprise třídy, poskytující možnost adaptace se zaměřením se na hrozby díky technologii Next-Generation Firewall.

6.7.5 Ostatní nabízená Cisco zařízení

Mezi další nabízená Cisco zařízení patří IP telefony s jejich příslušenstvím nebo celkem nové řešení pro online konference Webex, obsahující různá all-in-one zobrazovací zařízení s webkamerami a mikrofony s vysokou kvalitou video i audio přenosu. Poslední zde zmíněné Cisco zařízení zaslouží být povětšinou rackmount servery, vyznačuje se vysokou modularitou s vysokým výkonem, někdy nabývající výšky několika rackmount jednotek.

6.8 Cisco Networking Academy

Společnost Cisco provozuje na adrese netacad.com známý internetový portál Cisco Networking Academy, který je určený pro školení a certifikace v oboru počítačových technologií, především pak sítí a podnikání. Jejich snaha o předávání znalostí však není spjatá pouze s tímto portálem, ale i s podporou různých vzdělávacích institucí, hlavně pak středních a vysokých škol, kdy je obvykle možné v rámci studií získat Cisco certifikáty bezplatně.

Aktuálně jsou nabízeny různé kurzy z prostředí podnikání, programování a operačních systémů, kdy však nejznámější žádané kurzy jsou z oboru počítačových sítí, internetu věcí a kybernetické bezpečnosti. Většina školení a certifikací probíhá pod vedením odborných instruktorů na příslušných

vzdělávacích institucích, kde se studenti zároveň osobně seznamují s Cisco řešeními, avšak některé z nabízených kurzů lze absolvovat čistě samovolně online.

Mezi nejznámější a nejrozšířenější kurzy v oboru počítačových sítí se bezpochyby řadí v aktuální sedmé verzi třídílná série kurzů CCNA. První kurz je zaměřený na seznámení se s počítačovými sítěmi a operačním systémem Cisco IOS, druhý kurz pojednává o přepínání a směrování se základy bezdrátových řešení a poslední ze série je zaměřený na podnikové sítě a jejich bezpečnost. Na tyto kurzy pak navazují dva další označené CCNP, jež jsou zaměřené na profesionálnější a odbornější role v oboru počítačových sítí.

7 Porovnání řešení MikroTik a Cisco

Každá ze zde porovnávaných společností disponuje odlišnou filozofií pro svá řešení. Zatímco MikroTik spoléhá na obecné ověřené standardy počítačových sítí, sázejíc hlavně na svůj operační systém RouterOS a jeho variantu SwOS, společnost Cisco jde částečně vlastní cestou, kdy svým uživatelům a zákazníkům nabízí vlastní alternativy k těmto obecným standardům za účelem zvýšení výkonu a bezpečnosti v síti, avšak stále za jejich plné podpory.

7.1 Architektury a operační systémy

Tak jako se odlišuje filozofie výrobců, odlišují se i architektury jejich zařízení a operačních systémů.

MikroTik spoléhá na osvědčenou, léta používanou architekturu osobních počítačů, vycházející z Harvardského schématu, kdy jejich RouterOS je vystavěn na linuxovém jádru. Hlavní výhody tohoto systému pak spočívají v jeho univerzálnosti. Lze ho nainstalovat i na osobní počítače, které pokud mají velký počet portů, mohou sloužit jako směrovače nebo i přepínače, a to především díky jeho funkci vytváření MAC můstků. Té vlastnosti lze využít i pro instalaci RouterOS do virtuálních zařízení, kdy při správném nastavení jejich virtuálních portů a propojení lze docílit několika souběžně běžících propojených síťových prvků na jednom zařízení.

Společnost Cisco využívá kompletně vlastní jednoduchou jednovláknovou architekturu, využívající 4 druhy paměti pro různé účely, která může na dnešní poměry působit zastarale a nespolehlivě. Když u jednovláknového systému selže zpracovávání aktuálního procesu, často pak následuje pád celého operačního systému. U Cisco zařízení je to však jinak, jelikož s přehledem zvládají přepínání s propustností v řádech stovek gigabitů za sekundu a i jejich směrovače a jiná zařízení se stejnou architekturou se řadí k výkonnostnímu, ale i bezpečnostnímu vrcholu ve svém oboru. I spolehlivost zařízení Cisco je pověstná,

kdy jsou schopny nepřetržitě pracovat několik let bez jediného problému a nutnosti restartu systému.

I přes osvědčenost jejich řešení však Cisco představilo nový operační systém Cisco IOS XE, jenž běží na linuxovém jádru a díky tomu podporuje výkonnější vícejádrové procesory. Zařízení s tímto systémem tak musí být pozměněná, přiblížená běžné architektuře osobních počítačů. Uživatelé či administrátoři Cisco zařízení při jejich používání nejspíš rozdíl od klasického Cisco IOS nepoznají, ale to ani není cílem nového operačního systému. Hlavním tahákem tak je jeho potenciál využití plného výkonu vícejádrových procesorů.

7.2 Funkce a používání operačních systémů

Společnost Cisco uvádí jako primární možnost pro konfiguraci svého operačního systému Cisco IOS použití konzolového rozhraní (CLI), které je velice intuitivní a rychle pochopitelné, tudíž i úplní začátečníci během chvíle pochopí, jak se v systému pohybovat. Jak je již zmíněno, systém je rozdělen do 3 uživatelských módů, kdy nejčastěji využívané módy jsou Privileged EXEC mode, a to hlavně pro zobrazování nejrůznějších informací pomocí příkazu *show*, a Global configuration mode, v němž dochází ke konfiguraci jednotlivých rozhraní a služeb zařízení. Webové uživatelské rozhraní u zařízení Cisco pak nedisponuje všemi možnostmi jako CLI, avšak je stále plně dostačující pro většinu standardních konfigurací. Web browser UI je také více upozaděné – většina uživatelů ho nikdy ani nespustí, jelikož například samotné Cisco ve svých kurzech využívá výhradně příkazové řádky a navíc je potřeba ho u drtivé většiny modelů nejprve povolit.

Oproti tomu u společnosti MikroTik je mezi uživateli velice populární možnost konfigurace právě přes nástroj s uživatelským rozhraním Winbox, v němž je potřeba se nejprve zorientovat, ale poté již nabízí jednoduchou rychlou konfiguraci, kdy lze mít více spuštěných oken pro jednotlivé služby a funkce uvnitř pracovní plochy a využívat je například jako nápovědu k nastavované topologii. Tento nástroj, obdobně jako jeho varianta pro konfiguraci z webového prohlížeče Webfig, dále

nabízí i možnost zobrazovat nejen grafy využití procesoru a paměti RAM, ale i provozu na zařízení a další. Konfigurace přes konzoli hraje pro RouterOS stejně důležitou roli jako možnost konfigurace přes Winbox, kdy i zde je potřeba pro vysoce pokročilou konfiguraci zejména nastavení samotných zařízení. Oproti Cisco IOS není konzolové rozhraní u RouterOS rozdělené do uživatelských módů, ale do různých konfiguračních skupin, určených pro nastavování daných služeb a protokolů. Jak je již zmíněno dříve v této práci, z příkazu */ip route print* lze vyčíst, že se má provést příkaz *print* ve skupině */ip route*. Ke konzolovému rozhraní se lze přepnout přímo v nástroji Winbox.

Konzolové rozhraní obou operačních systémů sdílí obdobné pomocné funkce ve formě znaku otazníku, jenž lze napsat kdykoliv na kterémkoliv místě v příkazu nebo na začátek prázdné řádky, díky čemuž se vypíše aktuální výčet možných příkazů nebo jeho pokračování. RouterOS má však oproti Cisco IOS jinou pomocnou funkci, kdy se lze přepnout do takzvaného safe mode, v němž jsou veškeré změny konfigurace označeny a v případě pádu zařízení nebo úmyslným vyvoláním jsou pak veškeré změny v nastavení anulovány. Tato funkce však souvisí s rozdílnými filozofiemi při ukládání, kdy se konfigurace Cisco zařízení musí uložit manuálně příkazem *copy running-configuration startup-configuration*, avšak zařízení MikroTik konfiguraci ukládá automaticky každou její změnou.

Zařízení společnosti Cisco pak oproti zařízením MikroTik disponují i podporou a možnostmi konfigurace celé řady vlastních proprietárních protokolů a služeb, jako jsou protokoly CDP, EIGRP, nebo GLBP či možnosti přepínání využívající fast switching nebo Cisco Express Forwarding.

7.3 Zařízení a jejich zaměření

Porovnávat různá zařízení na odlišných architekturách podle údajů procesorů a jiných komponent je silně neobjektivní a mnohdy nesmyslné, tudíž zde toto porovnání roli hrát nebude.

Už při procházení webových stránek a nabídky zařízení obou firem je zřejmé, že každá firma se zaměřuje na lehce odlišné typy zákazníků, jimž se pak snaží nabídnout právě svá zařízení a nejlépe i celá řešení.

Společnost MikroTik je zaměřená více na segmenty domácích produktů, kanceláří, malých a středních podniků a případně i internetových poskytovatelů. Odpovídá tomu jejich oblíbená řada PCB desek a různých malých zařízení, ale i rackmount prepínače a směrovače s vícejádrovými procesory, za které by se nestyděl ani uživatel osobních počítačů, a také celé GPEN řešení právě pro poskytovatele internetových služeb, spoléhající přitom na obecné standardy počítačových sítí. Správně vybraná zařízení vždy plně postačují svým účelům a vzhledem k jejich příznivým cenám za jejich vysoký výkon se těší velké oblibě – v menších podnicích jsou preferována před mnohdy dražšími zařízeními konkurenčních značek. Cena jejich zařízení je přitom velice příznivá, jeden z jejich nejvýkonnějších routerů CCR1072-1G-8S+ se 72 jádrovým procesorem a osmi deseti gigabitovými porty SFP+ lze pořídit s cenou okolo 61 350 Kč. Při pořizování standardnějších zařízení se však stále zákazníci pohybují v jednotkách tisíců, nebo v menších řádech deseti tisíců korun. Například 24 portové prepínače se cenově pohybují okolo 3 000 – 4 000 Kč.

Společnost Cisco oproti tomu cílí obecně na náročnější uživatele, více zaměřené na bezpečnost a naprostou spolehlivost, kteří se nebojí za tyto služby připlatit. Jejich portfolio poskytuje řešení již pro menší, mnohdy kancelářské podniky, avšak ty pravá pověstná Cisco zařízení míří spíše k větším podnikům, ba až k technologickým a jiným gigantům, či do datacenter. Vzhledem k celé řadě v této práci mnohokrát zmiňovaných proprietárních protokolů a služeb jsou Cisco zařízení určená především pro tvorbu celých vlastních ekosystémů v sítích zákazníků, kde teprve ony výsledné systémy přináší ten pravý užitek a sílu řešení Cisco. To vše však i za plné podpory obecných standardů. Vzhledem k těmto faktům a k prémiovosti značky Cisco si za jejich zařízení zákazníci musí připlatit. Jejich směrovače a prepínače tak již začínají v řádech jednotek tisíců korun, avšak při koupi výkonnějších zařízení není problém utratit desetitisíce až statisíce korun za zařízení.

Častá řada přepínačů v Cisco akademiích a zároveň konkurence vybraných přepínačů v předchozím odstavci o zařízeních konkurenční společnosti Catalyst 2960 začíná na částce okolo 20 000 Kč.

7.4 Certifikace

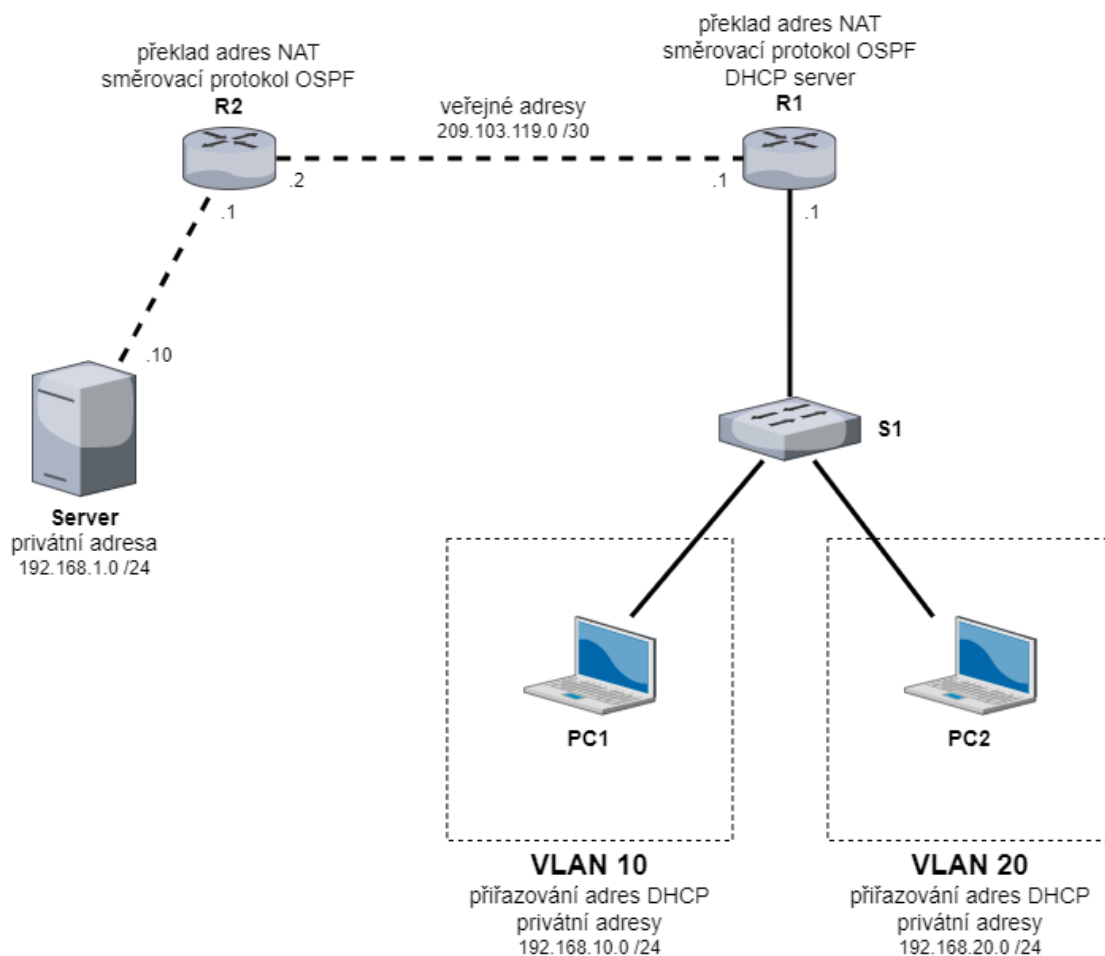
Obě společnosti podporují vzdělávání v oboru počítačových sítí svými certifikacemi a školeními, kde mj. seznamují své studenty s vlastními zařízeními, případně i celými řešeními. Cisco akademie je však oproti vzdělávacím programům společnosti MikroTik daleko rozšířenější a známější. V České republice je podle vyhledávání na stránkách Cisco Networking Academy dostupných 105 jejích vzdělávacích institucí oproti 19 institucím vyučujícím podle MikroTiku.

8 Praktické testování

Praktické testování bylo rozděleno na několik částí. Nejprve byly otestovány samostatné prvky MikroTik a Cisco v navzájem podobných situacích. Následně byly spojeny do jedné topologie, využívající jejich vzájemné propojení za uplatnění pokročilejších protokolů kvůli otestování jejich vzájemné kompatibility. K vytváření provozu na síti a UDP serverů bylo využito nástroje Packet Sender a jeho funkce Intense Traffic Generator, která však je v použité verzi v7.2.3 experimentální a je udáváno, že zobrazované hodnoty nemusí být přesné. Hlavní výhodou tohoto nástroje je však jeho dostupnost, jedná se totiž o otevřený software a je tak plně zdarma. Packet Sender je dostupný na adrese <https://packetsender.com/>.

8.1 Testovaná topologie

Následující obrázek 7 zobrazuje výslednou požadovanou topologii pro testování zařízení, jež byla vytvořena s myšlenkou, že by takto mohla vypadat požadovaná topologie nějaké malé firmy. Výsledná síť využívá jak koncepty a protokoly sítí WAN (Wide Area Network), tak i LAN (Local Area Network). Obsahuje 2 směrovače, mezi nimiž se nachází síť WAN s použitím směrovacího protokolu OSPF, a jeden přepínač připojený k směrovači R1, nacházející se v síti LAN, rozdělené na 2 virtuální podsítě, takzvané VLAN. Směrování mezi sítěmi VLAN je pak zajištěno konceptem Router-on-a-stick, kdy je veškerý provoz mimo dané síť posílán přes kmenový spoj (tzv. trunk) na router, který pak pomocí nastavených subrozhraní komunikaci směřuje jak do standartních sítí WAN a LAN, tak i do jednotlivých VLAN. Požadovaná topologie také využívá protokol DHCP pro automatické přidělování IP adres ve VLAN sítích a funkci NAT, zajišťující překlad privátních IP adres ze sítí LAN na veřejné IP adresy sítí WAN a naopak.



Obr. 7 Požadovaná topologie praktického testování
Zdroj: vlastní zpracování

8.2 Testování MikroTik RB493G

Pro praktické testování zařízení MikroTik bylo využíváno jednoho routeru MikroTik RB493G z řady samostatných PCB desek v kompatibilním pouzdře, přičemž nebyly zapojeny žádné další rozšiřující moduly. Toto zařízení, které již není ve výrobě, disponuje jednojádrovým procesorem o frekvenci 680 MHz a 256 MB paměti RAM, kdy při dodání obsahoval RouterOS licenci 5. úrovně. Model dále obsahuje 9 gigabitových ethernetových portů a 3 miniPCI sloty pro rozšíření; podle oficiálních testů dosahuje propustnosti až 725 Mbps v režimu směrování a až 710,4 Mbps s použitím MAC mostů. Na oficiálních stránkách MikroTik byla jeho doporučená cena 199 amerických dolarů, to znamená okolo 4 800 Kč.

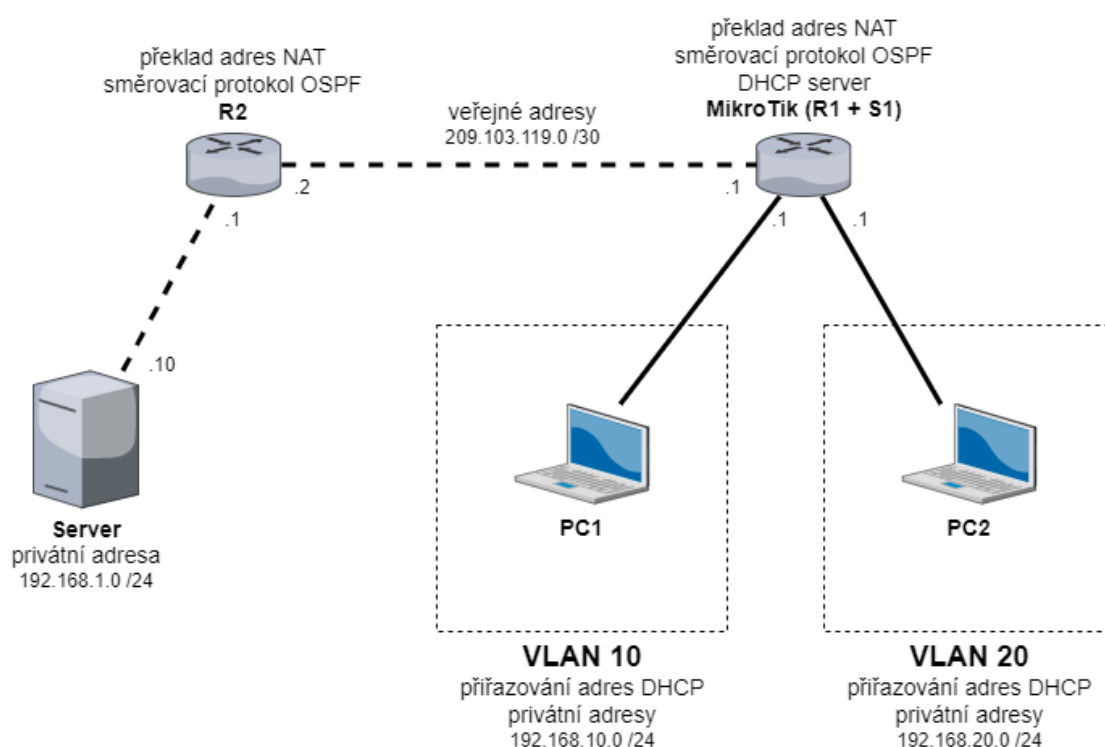
Jako první proběhl test zařízení v domácích podmínkách a nezbytné seznámení se způsobem jeho konfigurace. Pro výsledné nastavování byl vybrán konfigurační nástroj Winbox. Jedná se o velice často využívaný nástroj pro konfiguraci mezi uživateli zařízení MikroTik a pěkný kontrast způsobu nastavování se zařízeními Cisco, kdy je ve valné většině u větších zařízení využívána konfigurace přes CLI. Pro tento způsob konfigurace je zapotřebí počítač připojený k nastavovanému zařízení a s programem Winbox, staženým z oficiálních stránek MikroTik. Po zapnutí aplikace se pak lze snadno připojit přes MAC adresu nebo IP adresu směrovače či přepínače, samotný Winbox pak sám hledá a nabízí dostupná kompatibilní zařízení, která lze konfigurovat.

Rozhraní Winbox je oproti grafickým webovým rozhraním běžných domácích zařízení více odborné a na první pohled chaotické, pro uživatele orientující se v oboru počítačových sítí se však brzy projeví jako přívětivé, přehledné a díky možnosti mít více otevřených pracovních oken i praktické a nápomocné při konfiguracích. Je pak až překvapivě jednoduché nastavit například MAC můstky, proto bylo také rozhodnuto tuto funkci využít ve výsledné topologii a nahradit tak dvě potřebná zařízení, konkrétně směrovač R1 a přepínač S1, jedním zařízením, které pojme potřebné funkce obou.

Při tomto prvním testu byly na směrovači nastaveny pomocí MAC můstků dvě odlišné sítě LAN, spolu s jedním odděleným portem zapojeným přímo do počítače, představujíc tak zapojení serveru přímo do směrovače. Následně proběhlo malé otestování výkonu tak, že bylo využito vbudovaného nástroje RouterOS ke tvorbě provozu na síti, kdy pomocí něj byl vytvářen provoz na přímo připojený počítač s nastaveným testovacím UDP serverem. V testu s vytížením okolo 100 Mbps procesor zařízení přesáhl využití 40 %. Už z tohoto testu tak vyplynulo, že výkon porovnávaného MikroTik směrovače je výrazně nižší než u jeho testovaných Cisco protějšků, jejichž otestování proběhlo již dříve. Z tohoto důvodu lze usoudit, že praktické nasazení toho zařízení nepočítá s příliš vysokou zátěží sítě.

8.2.1 Výsledky zařzení MikroTik

Jak již bylo nastíněno dříve, při výsledném testování bylo zařzení MikroTik uvedeno do rolí zařzení R1 a S1, to především díky funkci MAC můstků. Zařzení zajišťovalo směrování paketů i jejich případné přepínání v sítích VLAN, stejně tak jako funkce DHCP serveru, překladu adres NAT a směrovacího protokolu OSPF. Testována byla propustnost a vytížení zařzení při nastaveném UDP provozu v nástroji Packet Sender z počítačů v sítích VLAN na počítač reprezentující server. Topologii se zařzením MikroTik zobrazuje následující obrázek 8.



Obr. 8 Testovaná topologie se zařzením MikroTik

Zdroj: vlastní zpracování

V klidovém stavu bylo vytížení zařzení prakticky nulové, kdy procesor pracoval maximálně na 1 % a obsazenost paměti RAM byla zhruba 20,4 MB. Provoz na zařzení pak chvílemi dosahoval hodnoty okolo 128 bps, kdy se jednalo především o hello pakety protokolu OSPF a pakety DHCP.

Při zprávě „This is network test.“ dlouhé 21 znaků, tudíž krátké zprávě, byla s generovaným provozem o nastavené rychlosti 100 Mbps průměrná propustnost zařízení pouhých 15,92 Mbps se 100 % využitím procesoru a s průměrným využitím 26,35 MB paměti RAM. Vzhledem k vybavení směrovače devíti gigabitovými porty není tento výsledek nijak uspokojivý.

V důsledku toho byl provoz zvýšen na rychlost 200 Mbps, kdy průměrná propustnost dosáhla na 33,5 Mbps, opět se 100 % využitím procesoru a lehce zvýšeným 26,48 MB využitím paměti RAM. Při dalším postupném zvyšování provozu až na 1 Gbps však propustnost a využití prostředků zařízení zůstalo prakticky beze změny.

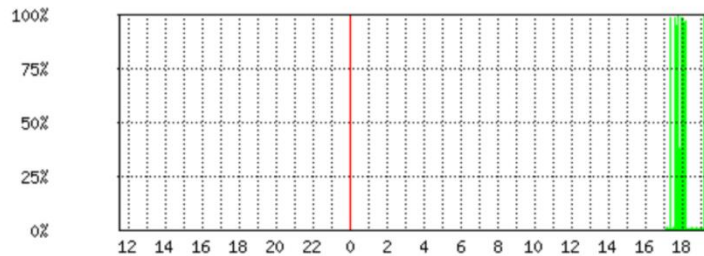
S domněním, že jsou tak nevyhovující výsledky dány velikostí zprávy, pak proběhlo další testování s postupně narůstajícím počtem znaků až na 1024. Takové výsledky byly o dost příznivější. Průměrná propustnost dosáhla až na 434 Mbps, opět se 100 % zátěží procesoru a průměrným využitím 26.75 MB paměti RAM.

Všechny tyto výsledky testů byly vyzorovány z nastaveného analytického nástroje Graphing systému RouterOS, který zaznamenává grafy vytížení daných portů, MAC mostů nebo komponent zařízení. Grafy zaznamenané po ukončení testování jsou dostupné na následujícím obrázku.

CPU Usage

• Last update: Mon Jan 31 19:30:18 2022

"Daily" Graph (5 Minute Average)

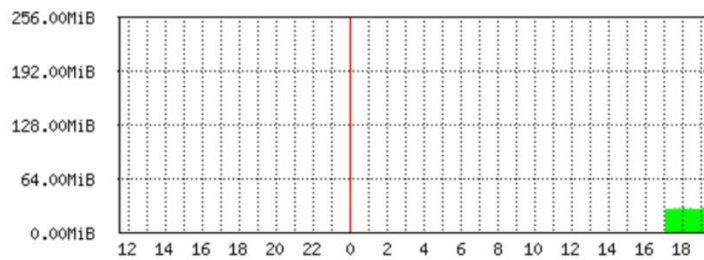


Max: 100%; Average: 36%; Current: 0%;

Memory Usage Graphing

• Memory Size: 256.00MiB
• Last update: Mon Jan 31 19:30:18 2022

"Daily" Graph (5 Minute Average)

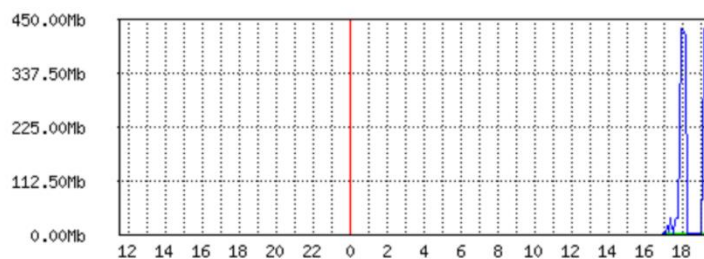


Max: 27.14MiB (10.6%); Average: 26.75MiB (10.4%); Current: 26.88MiB (10.5%);

Interface <BRout> Statistics

• Last update: Mon Jan 31 19:32:11 2022

"Daily" Graph (5 Minute Average)



Max In: 1.08Kb; Average In: 140b; Current In: 40b;
Max Out: 434.46Mb; Average Out: 89.39Mb; Current Out: 64b;

Obr. 9 Grafy vytížení po ukončení testování zařízení MikroTik
Zdroj: vlastní pořízení

8.3 Testování zařízení Cisco

Při testování řešení Cisco byl použit přepínač Catalyst 2960 s čtyřadvaceti sto megabitovými ethernetovými porty a dvěma porty gigabitovými v roli přepínače S1, určený pro malé a střední sítě, a směrovač ISR 4321 s dvěma gigabitovými ethernetovými porty v roli R1, určeného pro malé pobočky podniků. Základní propustnost tohoto směrovače pak závisí na dostupných rozšiřujících balíčcích licence Cisco IOS, dosahujíc hodnot 50 Mbps nebo 100 Mbps.

Pro jejich konfiguraci pak bylo využito metody nastavení přes CLI, kdy je zapotřebí počítač připojený do konzolového portu konfigurovaného zařízení (nejčastěji kabel s koncovkou RJ-45 na straně konfigurovaného zařízení a s konektorem standardu RS-232 nebo USB na straně počítače). Ke konfiguraci lze pak využít různé programy umožňující připojení k zařízení pomocí sériového portu jako například PuTTY nebo Tera Term, použitý zde pro psaní testovacích konfigurací, a to především díky jeho možnosti logování, kdy veškeré výpisy na terminálu zapisuje do vybraného souboru v počítači.

Na konfiguraci přes CLI si zde lze rychle zvyknout. Většina samotné konfigurace probíhá v globálním konfiguračním módu a konkrétních specifických módech a ověřování konfigurace (především příkaz *show*), ukládání konfigurace a mazání obsahů některých tabulek v módu privilegovaném.

Výrazně konfiguraci ulehčující funkcí, hojně využívanou při konfiguracích zařízení pro testování, je pak dříve zmiňovaná funkce otazníku, napovídající všechny možnosti, co lze dosadit na danou pozici příkazu. Další užitečnou funkcí je příkaz *do*, který v globálním konfiguračním módu a ve speciálních módech zpřístupní funkce nižších EXEC módů. Lze tak docílit například výpisu běžící konfigurace zadáním *do show running-config* bez nutnosti měnit aktuální konfigurační mód. Poslední práci ulehčující funkcí, kterou je vhodné zmínit, je možnost zkracování příkazů. Například pro výpis výše zmíněné běžící konfigurace pak stačí napsat *show run*, pro přepnutí se do globálního konfiguračního módu lze

zadat místo celého *configure terminal* jen *conf t* atp. V principu je nutné napsat dostatečný počet znaků aktuální části příkazu tak, aby mohl Cisco IOS jednoznačně určit, co se po něm žádá. Této funkce lze využít například i pro identifikaci rozhraní zařízení, kde lze místo *gigabitethernet 0/1* zadat *gi0/1*, avšak je potřeba také zmínit, že třeba MAC adresy je nutné z principu napsat celé.

I zde pak došlo k rychlému otestování výkonu zařízení, konkrétně přepínače S1, kdy z příkazu *show processes cpu* s provozem nastaveným na rychlost 100 Mbps bylo znát pouze minimální, či žádné zvýšení využití procesoru s očekávanou plnou propustností. Z tohoto lze nabýt dojmu, že výkon testovaných Cisco zařízení je na daleko vyšší úrovni než testovaný MikroTik protějšek.

8.3.1 Výsledky směrovače Cisco

Výsledné otestování výkonu zařízení pak proběhlo na směrovači R1, na němž by z principu mělo být znát vyšší vytížení než na přepínači S1. To je dáno především z principu menší propustností zařízení a využitím hned několika funkcí a protokolů, kdy směrovač zajišťoval překlad adres pomocí NAT, funkce protokolů OSPF a DHCP či směrování, a to i mezi nastavenými VLAN pomocí metody Router-on-a-stick, kdy jsou na rozhraní trunkového (kmenového) spoje nastavena virtuální subrozhraní spjatá právě s konkrétními virtuálními sítěmi VLAN.

V klidovém stavu bylo aktuální průměrné vytížení procesoru směrovače R1 okolo 0 až 1 % s pětiminutovým průměrem 0 %. Z celkové uváděné hodnoty paměti RAM 1753,91 MB ve výpisu dostupném pomocí příkazu *show processes memory* bylo využito zhruba 266,5 MB.

Při testu 21 znakové zprávy se 100 Mbps provozem na síti nebyl znát znatelný nárůst vytížení zařízení. Hned vzápětí pak byl provoz zvýšen na 200 Mbps. Tehdy již bylo znát lehké zvýšení zátěže procesoru, kdy se aktuální vytížení blíže blížilo 1 % a pětiminutový průměr pak střídavě dosahoval 0 a 1 %. Dopad na paměť RAM byl oproti nulovému provozu jen místy zvýšen až o 23,176 kB.

S překvapivými výsledky dosavadní minimální vytíženosti zařízení tak byl provoz zvýšen na 1 Gbps při dosavadní krátké 21 znakové zprávě. Průměr měření aktuální zátěže procesoru se prakticky nezměnil, jen průměr pětiminutový se ustálil na jednom procentu. Vytížení paměti RAM se pak občasně zvyšovalo maximálně o 448 B oproti 200 Mbps provozu.

Při zvětšení zprávy na 1024 znaků pak na stejném gigabitovém provozu zátěž zařízení nijak znatelně neopadla. S cílem zvětšit vytížení směrovače tak byl na serveru nastaven zpětný gigabitový provoz na počítač PC1. Ani poté však nebylo znát žádné citelné navýšení zátěže zařízení.

8.4 Vzájemná kompatibilita MikroTik a Cisco

Vzhledem k předem nastaveným zařízením Cisco byl směrovač MikroTik testován v síti, kdy byl router R2 již nastavený stejný Cisco směrovač, jako v případě testovaného R1. Pro možnost takového otestování byla nutná plná vzájemná kompatibilita používaných standardů u MikroTik i Cisco zařízení.

Po základním nastavení směrovacího protokolu OSPF, kdy byla použita jedna páteřní oblast s identifikátorem 0 a správně nastavené pahýlové oblasti, byla zjištěna předpokládaná plná vzájemná kompatibilita – směrovací tabulky obou zařízení obsahovaly všechny sítě a nebyl ani žádný problém s jejich vzájemnou konektivitou ověřenou pomocí pingů. Po následné konfiguraci překladu IP adres pomocí standardu NAT opět nebyl s konektivitou mezi sítěmi žádný problém.

Poslední test vzájemné kompatibility zahrnoval nastavení zařízení MikroTik čistě do pozice směrovače R1, kde hlavním problémem bylo vyřešit směrování mezi sítěmi VLAN. Tam musely být vytvořeny a nastaveny právě VLAN sítě se správnými identifikátory a přiřazenými IP adresami, které pak bylo potřeba přidělit portu zařízení, jenž měl představovat trunk. Po následném nastavení NAT, OSPF a DHCP

pak zařízení plnohodnotně zastávalo danou funkci směrovače R1 a byla dostupná plná konektivita do všech sítí.

9 Shrnutí výsledků

Z výsledků výkonnostních testů zařízení MikroTik RB943G lze odvodit, že jeho optimální místo určení by nejspíše bylo v menší, méně vytížené síti, kdy se neočekává reálný provoz v řádech gigabitů. Propustnost tohoto zařízení je pak úzce spjata s velikostí zprávy. To je pravděpodobně zapříčiněno dlouhým zpracováním hlaviček a patiček příchozích paketů s cílem jejich směrování do správné sítě. Při směrování paketů s delším obsahem jsou pak metadata paketů zpracovávána méně často a více záleží na samotném přenosu paketu. Na nedosažení udávané maximální propustnosti přes 700 Mbps pak mohou mít vliv nejen jiné podmínky a nástroje použité při testování, ale také i výsledná konfigurace zařízení, kdy bylo spuštěno hned několik funkcí najednou. Konkrétně jde o MAC mosty, NAT a protokoly DHCP a OSPF.

Směrovač Cisco má oproti testovanému zařízení MikroTik zdánlivý výkonnostní nárůst, kdy při jeho testování s jednoduchou konfigurací nebylo dosaženo ani 2 % zatížení procesoru. Hlavními důvody nízkého vytížení jsou zřejmě omezená propustnost zařízení kvůli licenci Cisco IOS a funkce fast switching, díky které procesor u více paketů do jednoho cíle zpracuje pouze první z nich a další pakety pak získávají svůj cíl z paměti cache. Díky této funkci je znát výrazně nižší zatížení procesoru – v testovaných případech byla jeho činnost zcela minimální.

Z porovnání výsledků testů, ale i technických specifikací je pak patrné, že obě porovnávaná MikroTik a Cisco zařízení jsou natolik výkonnostně a výbavově odlišná, že prakticky nemá smysl je reálně porovnávat. Pokud by pak skutečná firma vybírala dvě rozdílná alternativní řešení od těchto firem, s nejvyšší pravděpodobností by se tato dvě zařízení nestala konkurenty ve finálním rozhodování.

10 Závěry a doporučení

Při provádění praktických testů zařízení byl již z předpokladu zjištěn výrazný nepoměr výkonů obou zařízení, proto hlubší testování za účelem porovnání výkonů zařízení nemělo výrazný smysl – žádoucí by bylo testovat podobná zařízení se stejným účelem nasazení. Pro lepší otestování výkonu směrovače Cisco ISR 4321 by také bylo nutné aktivovat licenci Boost Performance, která odstraňuje omezení maximální propustnosti. Další významnější testování by bylo vhodné ve vhodnějších prostředích, kdy pro začátek by plně dostačovalo změnit testovací nástroj, tedy zde použitý Packet Sender, za přesnější a obecně pokročilejší. Většina takových programů je však placená.

Hlavním výsledkem testování tak zůstává fakt, že jsou zařízení MikroTik a Cisco kompatibilní, a to do té doby, dokud obě zařízení používají obecné standardy. I přes vysoký výkon samotných Cisco zařízení se tím však eliminují výhody jejich řešení, kdy pro využití jejich plného potenciálu je nutné síť, nebo alespoň její souslednou část, stavět právě se zařízeními Cisco, a to i s využitím jejich proprietárních protokolů a jiných řešení. S ohledem na velkou míru vlastních řešení, která dbají na bezpečnost a vysoký výkon, je tak cena zařízení Cisco vyšší než u konkurence. Společnost MikroTik pak obecně staví více na univerzálnosti operačního systému a obecných standardech, díky čemuž je cena jejich zařízení o něco nižší.

K obecnému shrnutí tak lze dodat, že zařízení MikroTik se hodí do každé situace, v níž je zapotřebí funkčnost a není vyžadováno nic navíc. Nabízeny jsou pak modely jak pro domácnosti a kanceláře, tak pro průmyslové podniky a internetové poskytovatele. Nad obecně dražšími zařízeními Cisco je vhodné uvažovat při potřebě dlouhodobého zajištění maximální bezpečnosti a funkčnosti, kdy se nejvíce vyplatí teprve v kombinaci s dalšími Cisco zařízeními. Společnost poskytuje modely a řešení především pro kanceláře a podniky všech velikostí a pro datacentra.

11 Seznam použité literatury

- [1] VAVREČKOVÁ, Šárka. Počítačová síť a internet. Slezská univerzita v Opavě: Filozoficko-přírodovědecká fakulta v Opavě, 2017. ISBN 978-80-7510-245-4.
- [2] LUKASIK, Stephen. Why the Arpanet Was Built. IEEE Annals of the History of Computing [online]. 2011, 33(3), 4-21 [cit. 06.03.2022]. ISSN 1058-6180. Dostupné z: doi:10.1109/MAHC.2010.11
- [3] ROBERTS, Larry. The Arpanet and Computer Networks. GOLDBERG, Adele. A History of Personal Workstations. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1988, s. 141-172. ISBN 0201112590.
- [4] ALANI, Mohammed M. Guide to OSI and TCP/IP Models. Cham: Springer International Publishing, 2014, s. 5-17. SpringerBriefs in Computer Science. ISBN 978-3-319-05152-9.
- [5] THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS. International Journal of Computer Science and Information Technology Research. Research Publish Journals, July – September 2014, 461-466. ISSN 2348-120X.
- [6] Co je to síťový port? – Správa.sítě.eu. Správa sítě – slovník pojmů: správa sítě, zabezpečení sítě, outsourcing IT [online]. [cit. 26.07.2022]. Dostupné z: <https://www.sprava-site.eu/port/>
- [7] Aktivní síťové prvky. Internet a jeho služby [online]. Dostupné z: http://ijs2.8u.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=123
- [8] Způsob přeposílání rámce v přepínači. Střední odborná škola a Střední odborné učiliště Kuřim | Web střední školy, na které jsou studenti vždy na prvním místě. [online]. [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: https://www.zamekkurim.cz/security/Dum%20-%20Digitalni%20ucebni%20materialy/06_Sada_Pocitacove_site_2/VY_32_INOVACE_06_14_CINNOST%20PREPINACE%20PRI%20ZPRACOVANI%20RAMCE.pdf
- [9] Switche | CZC.cz. CZC.cz – rozumíme vám i elektronice [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/switche/produkty>
- [10] ASUS Česká republika [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.asus.com/cz/>
- [11] KDO JSME | TP-Link Česká republika. TP-Link Česká republika – síťová Wi-Fi zařízení pro domácnost a podnikání [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.tp-link.com/cz/about-us/corporate-profile/>

- [12] Smart Home, SMB and Enterprise solutions | D-Link [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://eu.dlink.com/cz/cs>
- [13] Tenda | Vše pro vaši bezdrátovou síť... [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.tenda.cz/>
- [14] Zyxel shop – Switch, WiFi, firewall, zyxwall, router, ADSL, VDSL [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://shop.zyxel.cz/>
- [15] Ubiquiti – Simplifying IT [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.ui.com/>
- [16] BURGESS, Dennis. Learn RouterOS. Second Edition. House Springs: Link Technologies, 2011. ISBN 978-1-105-06959-8.
- [17] MikroTik Routers and Wireless [online]. [cit. 06.07.2021]. Dostupné z: <https://mikrotik.com/>
- [18] RouterOS – RouterOS – MikroTik Documentation [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://help.mikrotik.com/docs/>
- [19] MikroTik Wiki [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://wiki.mikrotik.com/wiki/Main_Page
- [20] MikroTik – Forum index [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://forum.mikrotik.com/>
- [21] PRODUCT CATALOG 2021. MikroTik Routers and Wireless [online]. [cit. 28.01.2022]. Dostupné z: https://mikrotik.com/download/pdf/katalogs_2021_web3.pdf
- [22] MikroTik Routers and Wireless – Products. MikroTik Routers and Wireless [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://mikrotik.com/products/>
- [23] Klient s integrovaným routerem – WISP. Digitální střípky – Tipy a triky [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://it.cestuji.info/wisp.php>
- [24] GPEN (Gigabit Passive Ethernet Network) Concept. MikroTik Routers and Wireless [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://i.mt.lv/cdn/product_files/GPEN_concept_200204.pdf
- [25] PAULOVI, Ivan. Routing in a Virtualised Environment with RouterOS. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 2015. Dostupné z: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101581/Paulov_Ivan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [26] Mironet.cz – internetový obchod [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.mironet.cz/>
- [27] I4wifi.cz [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/>

- [28] Kategorie Síťové prvky | CZC.cz. CZC.cz – rozumíme vám i elektronice [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/sitove-prvky/kategorie>
- [29] Elektronika, IT, spotřební materiál a hračky | AB-COM.cz. Elektronika, IT, spotřební materiál a hračky | AB-COM.cz [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.ab-com.cz/>
- [30] Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/>
- [31] Cisco – Česká republika. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/cs_cz/index.html
- [32] BOLLAPRAGADA, Vijay, Curtis MURPHY a Russ WHITE. Inside Cisco IOS Software Architecture. Indianapolis: Cisco Press, 2000. ISBN 1-58705-816-2.
- [33] AUDA, Yasser. Understanding Cisco IOS v15 Licenses. Cisco Learning Network [online]. [cit. 02.06.2022]. Dostupné z: <https://learningnetwork.cisco.com/s/article/understating-cisco-ios-v15-licenses>
- [34] Introduction to Cisco IOS XE. NetworkLessons.com – Networking in Plain English [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://networklessons.com/cisco/ccie-routing-switching-written/introduction-cisco-ios-xe>
- [35] Cisco IOS 15.5M&T – Support – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/ios-nx-os-software/ios-15-5m-t/series.html>
- [36] Configuration Fundamentals Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T - Using the Cisco IOS Command-Line Interface [Cisco IOS 15.5M&T] - Cisco. Cisco - Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 05.08.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/fundamentals/configuration/15mt/fundamentals-15-mt-book/cf-cli-basics.html>
- [37] ROM Monitor [Support] – Cisco Systems. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/en/US/docs/routers/access/800/850/software/configuration/guide/rommon.html>

- [38] Configuration Fundamentals Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T - Using the Cisco IOS Web Browser User Interface [Cisco IOS 15.5M&T] - Cisco. Cisco - Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. Copyright © [cit. 05.08.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/fundamentals/configuration/15mt/fundamentals-15-mt-book/cf-web-based-cfg.html>
- [39] Using the Cisco IOS Web Browser User Interface. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/fundamentals/configuration/xe-16/fundamentals-xe-16-book/fundamentals-xe-16-book_chapter_01000.pdf
- [40] CSCORouting. Cisco WebUI User Interface on IOS-XE Routers. YouTube [online]. 2018 [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://youtu.be/PLuOk3BogAo>
- [41] CISCO ADMIN. Cisco Discovery Protocol (CDP). Cisco Learning Network [online]. Feb 13, 2020 [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://learningnetwork.cisco.com/s/article/cisco-discovery-protocol-cdp-x>
- [42] GLBP – Gateway Load Balancing Protocol – Cisco Systems. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_2t/12_2t15/feature/guide/ft_glbp.html
- [43] IP Switching: Configuring Fast Switching Configuration Guide, Cisco IOS Release 15S – Configuring Fast Switching [Cisco IOS 15.5S] – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipswitch_fswtch/configuration/15-s/isw-fswtch-15-s-book/isw-fast-swtnhg-cnfg.html
- [44] Understanding Cisco Express Forwarding (CEF) - Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/12000-series-routers/47321-ciscoef.html>
- [45] Solutions – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/en_in/solutions/index.html#~by-technology
- [46] Cisco Start Catalog for APJC: May – July, 2019 [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_sg/cisco-start/assets/pdfs/cisco-start-catalog-1704ap-ldsl-0416.pdf
- [47] Cisco Community. [online]. [cit. 21.07.2022]. Dostupné z: <https://community.cisco.com/>

- [48] Routers – Support and Downloads – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 21.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/routers/index.html#eolanchor>
- [49] Networking Tutorials. Setup a trunk between a Mikrotik and a Cisco. YouTube [online]. 2020 [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://youtu.be/Y8jK3f0qcI4>
- [50] Technical Technology Help. VLAN on Mikrotik Router and CISCO Switch Setup (Eng). YouTube [online]. 2022 [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://youtu.be/kAiPyITLWxY>
- [51] Cisco 4321 Integrated Services Router – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 27.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/routers/4321-integrated-services-router/model.html>
- [52] Implement the Performance License for the Integrated Service Router 4000 – Cisco. Cisco – Networking, Cloud, and Cybersecurity Solutions [online]. [cit. 27.07.2022]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/4000-series-integrated-services-routers/217135-performance-license-on-cisco-isr4000.html#anc39>
- [53] Propustnost, možnosti použití – Cisco ISR 4321 – | CZC.cz. CZC.cz – rozumíme vám i elektronice [online]. [cit. 27.07.2022]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/cisco-isr-4321/208109/produkt/eg6b284b2ajhubj07ms4kv19v1/diskuse>
- [54] Technologie GPON – COM PLUS CZ a.s. [online]. [cit. 04.07.2022]. Dostupné z: <https://complus.cz/blog-page/item/technologie-gpon>
- [55] CCNA R&S: Introduction to Networks. Cisco Networking Academy Builds IT Skills & Education For Future Careers [online]. [cit. 24.07.2022]. Dostupné z: <https://www.netacad.com/>
- [56] CCNA R&S: Routing and Switching Essentials. Cisco Networking Academy Builds IT Skills & Education For Future Careers [online]. [cit. 24.07.2022]. Dostupné z: <https://www.netacad.com/>
- [57] CCNAv7: Enterprise Networking, Security, and Automation. Cisco Networking Academy Builds IT Skills & Education For Future Careers [online]. [cit. 24.07.2022]. Dostupné z: <https://www.netacad.com/>
- [58] TechRepublic: News, Tips & Advice for Technology Professionals [online]. [cit. 24.07.2022]. Dostupné z: <https://www.techrepublic.com/article/6-things-you-need-to-know-about-802-11ac-wave-2/>

- [59] router – What is 1 Gbps RJ45/SFP Combination WAN Ports? - Super User. Super User [online]. [cit. 24.07.2022]. Dostupné z: <https://superuser.com/questions/1325819/what-is-1-gbps-rj45-sfp-combination-wan-ports>
- [60] What is the meaning of Blocking and non-blocking switch. Cisco Community [online]. [cit. 31.07.2022]. Dostupné z: <https://community.cisco.com/t5/network-management/what-is-the-meaning-of-blocking-and-non-blocking-switch/td-p/4453968>

Zadání bakalářské práce

Autor:	Tomáš Němeček
Studium:	I1900232
Studijní program:	B1802 Aplikovaná informatika
Studijní obor:	Aplikovaná informatika
Název bakalářské práce:	Porovnání implementací technologií Mikrotik a Cisco ve firemních sítích
Název bakalářské práce AJ:	Comparison of implementations of Mikrotik and Cisco technologies in corporate networks

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Práce má za úkol popsat portfolio Mikrotik a Cisco řešení, porovnat jejich výkon, implementaci, správu v různých síťových modelech, bezpečnost a ekonomickou náročnost.

- 1, úvod
- 2, topologie sítí a dostupné technologie
- 3, parametry aktivních prvků
- 4, zátěžový test aktivních prvků
- 5, Shrnutí poznatků z testů
- 6, Závěr

1, Barrie A. Sosinsky; Mistrovství - počítačové sítě
Brno: Computer Press ; 2010

2, Bob Vachon, Rick Graziani; Accessing the WAN: CCNA exploration companion guide,
Indianapolis : Cisco Press, (2008) ISBN 1-58713-205-2

3, PETROVIČ, Michal a Martin ŠIMEK. CISCO NETWORKING ACADEMY PROGRAM. Bezdrátové sítě.
V Plzni: Západočeská univerzita, 2013, . ISBN 978-80-261-0225-0

4, Jiří Balej; Pokročilé bezdrátové technologie MikroTik, Mendel. Univerzita, 2018, 978-80-7509-578-7 (online)

Zadávací pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Pavel Blažek, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 21.1.2020