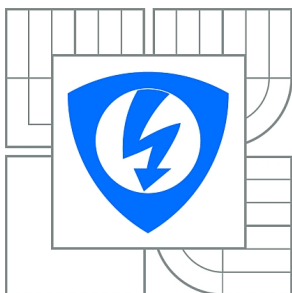




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

INTEGRACE SLUŽEB V PRŮMYSLOVÉ SÍTI ETHERNET

INTEGRATION OF SERVICES IN INDUSTRIAL ETHERNET NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

KAMIL MYTYSKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Kamil Mytyska

ID: 155203

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Integrace služeb v průmyslové síti Ethernet

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na integrace různých služeb v síti Ethernet. Uvažujte oddělené adresní prostory, odlišné požadavky na šířku pásma i různé požadavky na parametry sítě, zejména citlivost a na zpoždění. Jako příklad použijte konkrétní průmyslovou síť a pro ni navrhnete konkrétní řešení integrace více nesourodých služeb v rámci jedné průmyslové sítě Ethernet pomocí VLAN. Zaměřte se na konkrétní produkty výrobců aktivních prvků a v závěru práce vyhodnoťte jejich použitelnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] TRULOVE, J. Síť LAN. Mc.Graw - Hill, N.Y. 2006. (Český překlad – Grada Publ.)
- [2] Kabelová, A., Dostálek, L. Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS, EAN: 9788025122365, Computer Press, 2008.
- [3] Decisys. The Virtual LAN, Technology Report, 1996, 200374-001.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 2.6.2015

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá aplikací technologie průmyslového Ethernetu. Průmyslový Ethernet odkazuje na použití standardních Ethernetových protokolů s použitím robustních konektorů a odolných přepínačů v průmyslovém prostředí pro automatizaci a řízení procesů. Komponenty používané v průmyslovém prostředí musí být odolné proti vysokým teplotám, prachu, vlhkosti a vibracím. Použití optických vláken v průmyslovém prostředí snižuje problémy s elektrickým šumem a poskytuje elektrickou izolaci zabraňující poškození zařízení. První část práce popisuje fyzické provedení průmyslové sítě Ethernet, fyzické provedení ostatních komponent, Ethernet s vlastnostmi systému reálného času, přehled standardů a využití virtuálních sítí. V práci je zpracováno řešení integrace více nesourodých služeb v rámci jedné průmyslové sítě Ethernet s využitím VLAN. Toto je zpracováno pomocí simulačního programu Packet Tracer a následně je toto řešení zpracováno v reálném zapojení sítě se 3 zapůjčenými průmyslovými přepínači Moxa, B&B Electronics a Ruggedcom. Dále je zpracováno sledování provozu při komunikaci mezi zařízeními pomocí programu Wireshark, kde je popsáno navázání spojení TCP, odeslání HTTP paketu a samostatný přenos dat. Jako poslední je uvedeno zhodnocení pěti průmyslových přepínačů od společností B&B Electronics, Cisco, Moxa, N-Tron a Ruggedcom.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmyslový Ethernet, průmyslový standard Ethernet, VLAN, integrace služeb, průmyslový přepínač.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with industrial Ethernet. Industrial Ethernet refers to the usage of standard Ethernet protocols using rugged connectors and heat-resistant switches in industrial automation and process control. Components used in industrial environments must be resistant to high temperatures, dust, humidity and vibration. The usage of optical fibers in industrial environment reduces the problems of electrical noise and provides electrical isolation to prevent equipment damage. The first part describes the physical implementation of Industrial Ethernet, the physical implementation of other components, Ethernet system features real-time, overview of standards and usage of virtual networks. The work is processed with solutions integrating multiple disparate services in one industrial Ethernet network using VLAN. This is processed by using of simulation program Packet Tracer and then the solution is processed in real network connection with three borrowed industrial switches Moxa, B&B Electronics and Ruggedcom. Further there is processed operation during the communication between devices using Wireshark which describes the TCP connection, sending an HTTP packet and a separate data transfer. As the last part there is mentioned evaluation of five industrial switches from companies B&B Electronics, Cisco, Moxa, N-Tron and Ruggedcom.

KEYWORDS

Industrial Ethernet, industry standard Ethernet, VLAN, integration services, industrial switch.

MYTYSKA, K. *Integrace služeb v průmyslové síti Ethernet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 51 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Integrace služeb v průmyslové síti Ethernet jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	x
Seznam tabulek	xii
Úvod	1
1 Fyzické provedení sítě Ethernet	2
1.1 Návrh počítačové sítě.....	2
1.2 Architektura sítě.....	2
1.3 Přepínač (switch)	3
1.3.1 Plný duplex, poloviční duplex	4
1.3.2 Autonegotiaton, autosensing.....	4
1.3.3 Autocrossing	4
2 Fyzické provedení ostatních komponent Ethernetu	5
2.1 Konektory	5
2.2 Kabely	5
2.2.1 Třídy odolnosti.....	5
2.2.2 Metalické kabely	6
2.2.3 Světlovodné (optické) kabely	7
3 Ethernet s vlastnostmi systému reálného času	8
3.1 Přepínání (switching).....	8
3.2 Vysokorychlostní Ethernet	8
3.3 Plný duplex	8
4 Přehled standardů	9
4.1 Standard IEC 61 158.....	9
4.2 EPA	9
4.3 EtherCAT.....	10
4.4 EtherNet/IP	11
4.5 Ethernet Powerlink	12
4.6 Modbus-RTPS	12
4.7 P-net on IP	13

4.8	Profinet.....	14
4.9	SERCOS III	15
4.10	TCnet	15
4.11	Vnet/IP	16
4.12	Další systémy průmyslového Ethernetu	17
5	VLAN	18
5.1	Proč vznikl VLAN	18
5.2	Jaké jsou praktické výhody VLAN.....	19
5.3	Jak se zařazuje komunikace do VLAN.....	19
5.3.1	Podle portu	19
5.3.2	Podle MAC adresy.....	19
5.3.3	Podle protokolu = podle informace z 3. vrstvy.....	20
5.3.4	Podle autentizace	20
5.4	Jak funguje komunikace v rámci VLAN	20
5.4.1	VLAN na jednom přepínači.....	20
5.4.2	VLAN mezi více přepínači	20
5.4.3	IEEE 802.1q tagging.....	20
6	Návrh průmyslové sítě	22
6.1	Zapojení pomocí simulačního programu	22
6.2	Zapojení s reálnými přístroji.....	25
6.2.1	Zapojení s přepínačem Moxa EDS-408A.....	26
6.2.2	Zapojení s přepínačem B&B Electronics ESW508	29
6.2.3	Zapojení s přepínačem Ruggedcom i801.....	32
6.2.4	Sledování komunikace mezi zařízeními	34
7	Zhodnocení průmyslových přepínačů	37
7.1	B&B Electronics ESW508-2MC	37
7.1.1	Specifikace.....	37
7.2	Cisco IE-2000-8TC-L	38
7.2.1	Specifikace.....	38
7.3	Moxa EDS-408A-MM-SC.....	40
7.3.1	Specifikace.....	40
7.4	N-Tron 708FX2	41
7.4.1	Specifikace.....	41

7.5	Ruggedcom i801	42
7.5.1	Specifikace.....	42
8	Závěr	44
	Literatura	46
	Seznam zkratk	47
	Seznam příloh	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Liniová topologie (sběrnice, bus, daisy-chain).....	3
Obr. 1.2: Topologie hvězda	3
Obr. 5.1: Vysvětlení pro VLAN	18
Obr. 6.1: Konfigurace IP adresy a masky sítě	22
Obr. 6.2: Vytvoření VLAN 10 a VLAN 20	23
Obr. 6.3: Zařazení do VLAN podle portů.....	23
Obr. 6.4 Přiřazené porty k VLAN.....	23
Obr. 6.5: Konfigurace trunk mode.....	24
Obr. 6.6: Nastavené trunky	24
Obr. 6.7: Komunikace mezi řídicím centrem a koncovými zařízeními.....	25
Obr. 6.8: Návrh zapojení průmyslové sítě	26
Obr. 6.9: Konfigurační menu webového rozhraní Moxa.....	27
Obr. 6.10: Nastavení IP adresy a masky sítě	27
Obr. 6.11: Nastavení VLAN	28
Obr. 6.12: Konfigurační menu konzolového rozhraní	28
Obr. 6.13: Zapojený přepínač Moxa	29
Obr. 6.14: Konfigurační menu webového rozhraní B&B Electronics.....	29
Obr. 6.15: Nastavení IP adresy a masky sítě	30
Obr. 6.16: Nastavení VLAN	30
Obr. 6.17: Konfigurační menu konzolového rozhraní.....	31
Obr. 6.18: Zapojený přepínač Moxa	31
Obr. 6.19: Konfigurační menu webového rozhraní Ruggedcom.....	32
Obr. 6.20: Nastavení VLAN	32
Obr. 6.21: Konfigurační menu konzolového rozhraní	33
Obr. 6.22: Zapojený přepínač Moxa	33
Obr. 6.23: Počáteční paket SYN	34
Obr. 6.24: Odpověď SYN/ACK	35
Obr. 6.25: Závěrečný paket ACK	35
Obr. 6.26: Počáteční paket požadavku GET protokolu HTTP	36

Obr. 6.27: Přenos dat pomocí protokolu TCP mezi řídicím počítačem a kamerou	36
Obr. 7.1: B&B Electronics ESW508-2MC	38
Obr. 7.2: Cisco IE-2000-8TC-L	39
Obr. 7.3: Moxa EDS-408A-MM-SC	40
Obr. 7.4: N-Tron 708FX2	42
Obr. 7.5: Ruggedcom i801	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Ethernetové konektory do průmyslového prostředí	5
Tab. 2.2: Třídy kabelů do průmyslového prostředí a jejich vybrané charakteristiky	6
Tab. 2.3: Metalické kabely podle specifikace IAONA.....	6
Tab. 2.4: Porovnání vlastností světlovodných a metalických kabelů.....	7
Tab. 4.1: Standardy IEC/PAS průmyslového Ethernetu.....	9
Tab. 4.2: Komunikační model EPA.....	10
Tab. 4.3: Komunikační model EtherCAT.....	11
Tab. 4.4: Komunikační model EtherNet/IP	11
Tab. 4.5: Komunikační model Ethernet Powerlink	12
Tab. 4.6: Komunikační model Modbus	13
Tab. 4.7: Komunikační model P-Net on IP	14
Tab. 4.8: Komunikační modely Profinet	15
Tab. 4.9: Komunikační model SERCOS III	15
Tab. 4.10: Komunikační model TCnet	16
Tab. 4.11: Komunikační model Vnet/IP	16
Tab. 5.1: Originální rámec	21
Tab. 5.2: Upravený rámec pomocí 802.1q.....	21
Tab. 5.3: Tvar 802.1q tagu.....	21
Tab. 6.1: IP adresy a masky sítě přidělené zařízením.....	25

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo prostudovat možnosti integrace různých služeb v síti Ethernet, vytvořit konkrétní průmyslovou síť a pro ni navrhnout konkrétní řešení integrace více nesourodých služeb v rámci jedné průmyslové sítě Ethernet pomocí VLAN, zaměřit se na konkrétní produkty výrobců aktivních prvků a vyhodnotit jejich použitelnost.

Práce je členěna do 7 základních kapitol. V první kapitole práce je popsáno fyzické provedení sítě Ethernet. Fyzické provedení ostatních komponent Ethernetu jako jsou konektory a kabely je uvedeno ve druhé kapitole. Ethernet s vlastnostmi systému reálného času, který popisuje přepínání, vysokorychlostní Ethernet a plný duplex je popsán v kapitole 3. Přehled standardů používaných u Ethernetu je popsán ve 4. kapitole. V páté kapitole jsou popsány virtuální sítě, pomocí kterých jsem provedl integraci více nesourodých služeb do jedné průmyslové sítě Ethernet.

Návrh průmyslové sítě je uveden v 6. kapitole. Kapitola je rozdělena na 2 části a to je zapojení pomocí simulačního programu a zapojení s reálnými přístroji. K návrhu sítě jsem použil simulační program Cisco Packet Tracer. Je to výkonný síťový simulační program, který umožňuje experimentovat s chováním sítě, nahrazuje fyzická zařízení a umožňuje vytvářet sítě s téměř neomezeným počtem zařízení. Veškerou komunikaci mezi zařízeními lze testovat. V této části je uvedeno, jak jsem provedl zapojení sítě, konfiguraci zařízení, vytvoření VLAN na přepínačích, přiřazení do VLAN pomocí portů, konfiguraci trunků a výsledný test odezvy mezi zařízeními. Grafický návrh této sítě je v příloze B. V případě zapojení s reálnými přístroji jsem použil k zapojení sítě zapůjčené průmyslové přepínače Moxa, Ruggedcom a B&B Electronics. Je zde popsána konfigurace jednotlivých zařízení ve webovém prostředí a příkazovém řádku. Dále je uvedeno sledování komunikace mezi zařízeními pomocí programu Wireshark, kde je popsán průběh navázání spojení a přenos data mezi klientem a serverem.

V poslední části práce je zhodnocení průmyslových přepínačů od různých firem. Vybral jsem si přepínače určené pro průmyslový Ethernet od výrobců B&B Electronics, Cisco, Moxa, N-Tron a Ruggedcom. Celkové zhodnocení je uvedeno v závěru práce a tabulka s porovnáním hodnot je v příloze A.

1 FYZICKÉ PROVEDENÍ SÍTĚ ETHERNET

1.1 Návrh počítačové sítě

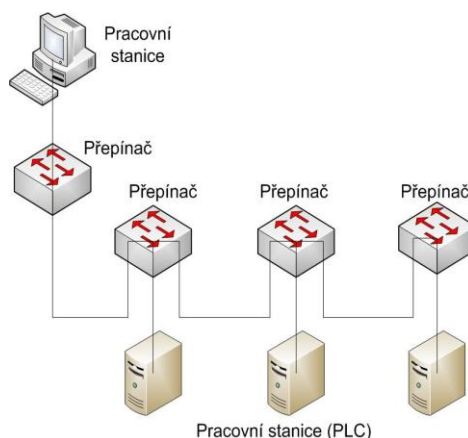
Vytváření sítě Ethernet je rozděleno do několika etap a to přípravná, vyhodnocovací, realizační a provozní. Úkolem přípravné etapy jsou úvahy a vyhodnocování prováděné s cílem vybrat metodu a prostředky k její realizaci vyhovující danému účelu. V průmyslu se Ethernet používal ve vyšších úrovních, než je úroveň bezprostředního řízení. V současnosti se Ethernet začal používat i v nižších úrovních a ve sběru dat důsledkem velkého výkonu a klesající ceny.

Komponenty sítě Ethernet jsou k dispozici v široké škále provedení i cen. Jedná se hlavně o rozbočovače (hub) a přepínače (switch) pro průmyslové ethernetové sítě v provedení určeném k použití v těžkých provozních podmínkách průmyslu. Tyto produkty jsou svým provedením a cenou velmi odlišné od produktů určených k použití v kancelářských sítích. Jedná se především o odlišné napájení tj. 24 V DC pro průmyslové provedení a 230 V AC pro kancelářské sítě. Koncová zařízení v průmyslovém prostředí nemají ventilátor, pracují v nepřetržitém režimu při vyšších teplotách a musí je být možné namontovat na nosnou lištu. Dále musí vykazovat velmi krátkou přístupovou dobu, malou časovou nejistotu (jitter) a některé další parametry, které jsou v kancelářských sítích nedůležité.

1.2 Architektura sítě

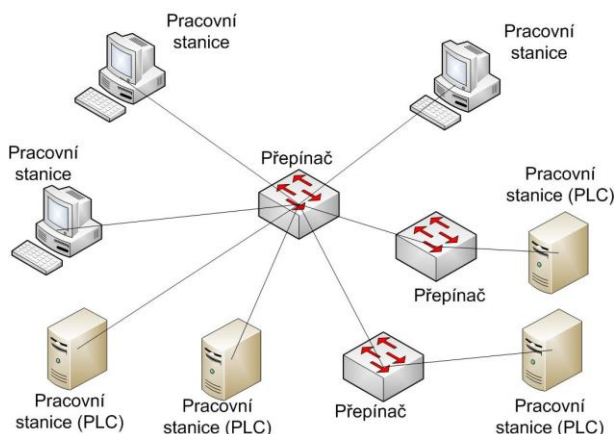
V dnešní době se komunikační sítě Ethernet vytvářejí s použitím různých topologií. Jsou to liniová topologie, hvězda, redundantní hvězda a kombinovaná topologie (např. hvězda, linie a kruh). Z nich jsou základní liniová topologie a hvězda.

Liniová topologie (sběrnice, bus, daisy-chain) zobrazená na obr. 1.1 již není vhodná, protože výpadek jakéhokoliv jednotlivého spoje vede k výpadku celé sítě. Část sběrnice se rozpadne na 2 úseky, mezi kterými není žádné spojení. Výsledkem je výpadek komunikačního systému, což může být důsledkem velkých ekonomických ztrát.



Obr. 1.1: Liniová topologie (sběrnice, bus, daisy-chain) [12]

Topologie hvězda zobrazená na obr. 1.2 je využívána mnohem častěji, i když chyba v centrálním prvku tj. přepínač může způsobit rozpad na 2 části a tím neexistující spojení. Tomu lze zabránit jedině nadbytečností na úrovni centrálního prvku.



Obr. 1.2: Topologie hvězda [12]

Někteří výrobci si vyvinuli vlastní řešení. Jedním takovým řešením je nadbytečná síť Hiper-Ring firmy Hirschmann, která zaručuje reakce sítě do 500 ms i při velkých vzdálenostech mezi až 50 přepínači [12].

1.3 Přepínač (switch)

Přepínače pracují ve 2. vrstvě na principu store-and-forward, uloží tedy každý přijatý rámec ve své paměti. Dále se ověří správnost přijatého paketu podle kontrolního součtu (CRC) a podle adresy příjemce rámce (MAC address) směřují rámce jen do toho segmentu, v němž se adresát zprávy nachází. Prostřednictvím tabulky adres každého výstupního portu, kde jsou adresy zařízení dosažitelných přes tento port, jsou na odpovídající výstupní porty cíleně zasílány rámce. Přepínač funguje jako rozbočovač, jestliže dostane rámec bez známé adresy. Když zařízení přijme zasláný rámec, tak odešle zpětnou zprávu. Přepínač si uloží takto získanou adresu do tabulky

adres příslušného výstupního portu. Adresa se vymaže z tabulky, pokud na ni nebyl delší dobu poslán žádný rámeček. Tímto si přepínač udržuje informace o dostupných adresách. Rychlost přenosu vzrůstá tím, že přepínače odstraňují poškozené rámce. Přepínač je schopen propojovat segmenty sítí s různou rychlostí přenosu tím, že ukládá přicházející rámce. Jedním přepínačem lze propojit např. stanici na jednom segmentu s přenosovou rychlostí 100 Mb/s v režimu plného duplexu se stanicemi na segmentu s rychlostí 10 Mb/s a polovičním duplexem. Porty přepínače musí být schopny se automaticky přepínat do různých režimů, aby bylo možné přepínači propojovat segmenty sítí s různými pracovními režimy. Aby toto bylo možné, tak přepínače využívají mechanismy označované jako plný duplex/poloviční duplex, autonegotiation, autosensing a autocrossing.

1.3.1 Plný duplex, poloviční duplex

V polovičním duplexu se data v daném okamžiku předávají jednosměrně a v plném duplexu je provoz v síti v daném okamžiku obousměrný. Plný duplex nemusí být vytvořen v celé síti jednotně. Rozdílné režimy v jedné síti jsou možné a často záměrné. Například mezi serverem a přepínačem je určen plný duplex stejně jako mezi přepínačem a některými koncovými stanicemi, zatímco mezi přepínačem a rozbočovačem je určen poloviční duplex.

1.3.2 Autonegotiation, autosensing

Automatické přepínání mezi plným a polovičním duplexem na portech přepínače s připojením kroucené dvoulinkou standardu Fast Ethernet (100 Mb/s) se označuje protokolem autonegotiation. Tento protokol umožňuje automaticky konstituovat ještě před příchodem prvního rámce pracovní režim přepínače pro danou konfiguraci sítě tak, aby zařízení byla kompatibilní. Tímto protokolem je také nastaven optimální režim přenosu, když 2 účastníci začnou komunikovat. Je-li potřeba zajistit jiné propojení uzlů, lze tento mechanismus vypnout. Rozpoznáním přenosové rychlosti koncových zařízení na portech s připojenou kroucenou dvojlinkou a podporou mechanismu autonegotiation se zabývá autosensing. Autonegotiation a autosensing zajišťují bezproblémovou kompatibilitu s ethernetovými zařízeními, která ještě autonegotiation nepodporují a to je velká výhoda těchto mechanismů.

1.3.3 Autocrossing

Pomocí kroucené dvojlinky je komunikace zajištěna tak, že signály jdou od vysílacího portu ethernetového přístroje do přijímacího portu jiného přístroje. Propojení kroucenými páry a propojení konektorů 1 : 1 je specifikováno pro rozhraní koncových zařízení. Pro spojení dvou přepínačů se musí použít propojení překříženým kabelem, protože oba vysílací a oba přijímací porty jednoho přepínače jsou navzájem propojeny. Automatické funkce poznají jaký způsob propojení je pro daná zařízení potřeba použít a sami je nakonfigurují. Změna propojení nebo instalace sítě je tímto mechanismem usnadněna. V nově vznikajících instalacích se výhradně používají přepínače, protože mají lepší funkční schopnosti potřebné pro zavádění i provoz sítí LAN, včetně průmyslových Ethernetů [12].

2 FYZICKÉ PROVEDENÍ OSTATNÍCH KOMPONENT ETHERNETU

K použití Ethernetu v průmyslovém prostředí je nutné použít nejen přepínače, ale také další komponenty ethernetových sítí, jmenovitě konektory, kabely a kabelové trasy. Specifikace Ethernetu deklaruje elektrické a mechanické parametry. Tím jsou myšleny fyzické vlastnosti konektorů, kontaktů, zásuvek a zástrček. Elektrické parametry potom specifikují elektrické vlastnosti signálů, jako jsou zpoždění, signálování, impedance, kódování, frekvence atd.

2.1 Konektory

Používané průmyslové konektory vhodné pro Ethernet jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1: Ethernetové konektory do průmyslového prostředí [12]

Typ	Standard	Podporováno
M12-4	IEC 61076-2-101-A1	ODVA, PNO
RJ45-IP67	IEC 61076-3-106 (varianta 01)	ODVA, PNO
RRJ45-IP67	IEC 61076-3-106 (varianta 06)	IDA, Interbus-Club

2.2 Kabely

2.2.1 Třídy odolnosti

Evropská organizace IAONA (Industrial Automation Open Networking Alliance) specifikuje dvě třídy kabelů pro průmyslový Ethernet.

Třída Light Duty (IP20) obsahuje součástky, které se musí instalovat do rozváděčové skříně. Tato třída odpovídá požadavkům stupně krytí IP20, tj. zaručuje ochranu před vniknutím pevných předmětů s rozměrem 12,5 mm a větším a neposkytuje žádnou ochranu před vlhkostí.

Třída Heavy Duty (IP67) odpovídá požadavkům na stupeň krytí IP67 a umožňuje použít jí odpovídající součástky i v nejtěžších podmínkách průmyslových provozů. Krytí IP67 znamená, že jsou součástky dokonale odolné proti vniknutí vlhkosti. Kabeláž provedená ve třídě Heavy Duty je odolná proti vlhkosti, elektromagnetickému rušení, jiskrové bezpečnosti a zvýšené provozní teplotě v blízkosti strojů a dalších zařízení. Také tyto kabely musí být velmi odolné proti účinkům vibrací strojů a jejich částí, na nichž jsou upevněny, a tudíž dimenzovány na extrémně velký počet ohybů i na působení krutu. Pláště kabelů musí odolávat kyselinám, zásadám i ropným látkám. Montáž kabelů musí být snadná a nesmí zatěžovat uživatele. Důležité vlastnosti kabelů jsou uvedeny v tab. 2.2.

Tab. 2.2: Třídy kabelů do průmyslového prostředí a jejich vybrané charakteristiky [12]

Třída	Light Duty	Heavy Duty
Krytí	IP20 podle IEC 60529, EN 60529	IP67 podle IEC 60529, EN 60529
Prov. teplota	0 až +55 °C	-20 až +65 °C
Rázy	15 g/11 ms (IEC 60068-2-27, EN 60068-2-27)	
Vibrace	5 g při 10 až 150 Hz (IEC 60068-2-27, EN 60068-2-27, krit. A)	

Rozhodující je provedení pláště kabelu z hlediska dlouhodobého použití. Plášť musí zabránit ztrátě požadovaných vlastností jádra. Volba materiálu pláště se volí podle prostředí, ve kterém bude kabel pracovat. V tabulkách zpracovaných organizací IAONA jsou hodnoceny vybrané materiály (FRNC, polyetylen, polyuretan a polyvinylchlorid) podle parametrů jako rozsah teplot, odolnost proti ultrafialovému záření, hořlavost, tvorba solí při hoření, odolnost proti olejům, chemická odolnost, odolnost proti opotřebení otěrem, navlhavost, ohebnost apod. Pláště z těchto materiálů jsou vhodné jak pro metalické, tak i pro optické kabely.

2.2.2 Metalické kabely

Doporučené vlastnosti metalických kabelů pro průmyslový Ethernet jsou uvedeny v tab. 2.3. Jedná se o kabely určené pro pevné instalace a o pohyblivé kabely určené k připojení koncových zařízení v průmyslových provozech. Kabely splňují požadavky na kabeláž kategorie 5, třída D, s mezní frekvencí 100 MHz. Tohoto lze dosáhnout stíněným nebo nestíněným krouceným párem vodičů (kabel typu SUTP, popř. UTP).

Tab. 2.3: Metalické kabely podle specifikace IAONA [12]

Určení	Kabely pro instalace	Spojovací kabely
Průřez jádra	AWG 24/1 až AWG 22/1	AWG 26/7 až AWG 24/7
Norma	EN 50288-2-1	EN 50288-2-2
Počet párů	2 nebo 4	
Frekvenční rozsah	kategorie 5 (100 MHz)	
Průměr kabelu (čtyři páry)	6 až 8,5 mm (Light Duty), 7 až 9,5 mm (Heavy Duty)	5 až 6 mm (Light Duty), 6 až 7 mm (Heavy Duty)
Materiál pláště	Nespecifikován	
Stínění	společné měděné stínění nebo fólie plus měděné stínění	
Maximální délka kabelu	100 m	60 m, popř. 50 m pro spolehlivý přenos
Hořlavost	IEC 60332-1 (jednoduchá zkouška hořlavosti)	
Tvorba solí	podle normy IEC 60754-2	

V průmyslovém prostředí zatím stačí uvedená nižší rychlost Ethernetu. V kancelářském prostředí se používá rychlost až o 2 řády vyšší a to téměř výlučně po kabelu typu SSTP, který je po párech stíněný. Kabel SSTP bude v budoucnu používán i v průmyslu pro gigabitové přenosy.

Hlavní vlastnosti kabelu typu SSTP:

- dvakrát lepší vlastnosti z hlediska EMC,
- cenová výhodnost,
- délka segmentu sítě až 125 m.

2.2.3 Světlovodné (optické) kabely

K optickým kabelům, které se používají v kancelářském prostředí je potřeba přidat 2 varianty, aby je bylo možné použít pro účely průmyslového Ethernetu:

- kabely s umělým světlovodným vláknem SI-POF 980/1000 (plastové světlovodné vlákno s jádrem z polymethylmethakrylátu a polyethylenovým obalem),
- vlákno typu HCS (Hard Clad Silica) v provedení S200/230 (silnovrstvý silikon s jednou plastovou vrstvou a jednou teflonovou vrstvou).

Obě varianty jsou vhodné k použití do průmyslového prostředí. Mají velkou odolnost proti mechanickému namáhání i zvýšené teplotě při relativně bezproblémové manipulaci. Vlastnosti metalických a optických kabelů vhodných pro průmyslovou kabeláž jsou porovnány v tab. 2.4.

Tab. 2.4: Porovnání vlastností světlovodných a metalických kabelů pro průmysl. Ethernet [12]

Typ kabelu	POF/HCS	Skleněný světlovodič	Metalický vodič
EMC		velmi dobrá	špatná
Galvanické oddělení		ano	ne
Riziko iniciace výbuchu		ne	ano
Malá hmotnost		ano	ne
Malý rádius ohybu	ano	ne	ano
Snadná montáž	nejlepší	ne	ano
Velká šířka pásma	ne	nejlepší	ano
Útlum signálu	malý	největší	velký
Ekonomika	dobrá	špatná	nejlepší

Optické kabely z plastu (Polymer Optical Fiber – POF) a typ HCS se prosadily v nepříznivém průmyslovém prostředí na strojích a výrobních linkách při použití se sběrnici Interbus a Profibus. Jádro těchto kabelů má sice větší průměr, ale dochází tam k pravidelnému malému pohybu kabelů vůči připojeným součástkám. Mají menší dosah a větší měrný útlum po délce.

Pro sběrnice Interbus a Profibus se POF používá do vzdálenosti 70 m. Pro průmyslový Ethernet jsou uváděna omezení délky segmentu z optických kabelů na 50 m při rychlosti 10 Mb/s a 35 m při 100 Mb/s. Jako prodloužení POF se používají kabely s vlákny typu HCS až do vzdálenosti 300 m. Na návrhu konektorů pro propojení optických kabelů pro průmyslový Ethernet se dosud usilovně pracuje [12].

3 ETHERNET S VLASTNOSTMI SYSTÉMU REÁLNÉHO ČASU

3.1 Přepínání (switching)

Použití rozbočovačů neboli hubů má za následek, že původní doména zahrnující v topologii sběrnice jeden celý segment sítě Ethernet, je rozbita, a tím zmenšena na mnohem menší segmenty. Tím pádem je fyzicky přítomen jenom rozbočovač a cílová stanice. Rozbočovač nezmenší pravděpodobnost vzniku kolize v přístupu k síti metodou CSMA/CD a neposune CSMA/CD směrem k charakteristikám systémů reálného času. Použijeme-li přepínač (switch), který pracuje na principu „ulož a pošli“ (store and forward), tak dojde k vytvoření velmi malého segmentu, který je vybaven mechanismy ukládání rámců a jejich směrování jen jednomu cílovému účastníkovi. Tím je zlepšena vlastnost Ethernetu jako systému reálného času směrem k vyššímu stupni determinismu.

3.2 Vysokorychlostní Ethernet

Většina Ethernetových sítí pracuje v dnešní době s rychlostí 10 nebo 100 Mb/s. Avšak se rozmáhá použití Ethernetu s rychlostmi 1 Gb/s, 10 Gb/s a 100Gb/s. Se zvyšující se rychlostí klesá doba potřebná pro přenos jednoho paketu. Příkladem může být přenos ethernetového paketu délky 1 522 bajtů s přenosové rychlosti 10 Mb/s, kdy přenos trvá 1,2ms a při použití přenosové rychlosti 1 Gb/s se doba přenosu zkrátí na 120 μ s.

3.3 Plný duplex

Úplný duplexní přenos lze použít, pokud je součástí strukturované kabeláže několikažilový kabel místo koaxiálního kabelu. Rychlost obousměrné komunikace vzroste dvakrát, protože stanice mohou současně vysílat i přijímat zprávy a tím se snižuje pravděpodobnost kolize. V dnešní době je už nejméně pravděpodobné, že bychom se setkali s polovičním duplexem, protože se používají nestíněné kabely s kroucenými páry vodičů (UTP) s plným duplexem [13].

4 PŘEHLED STANDARDŮ

4.1 Standard IEC 61 158

V součátnosti připravila rozšíření a obměnu standardu sériové průmyslové sběrnice IEC 61158 World fieldbus mezinárodní elektrotechnická komise (International Electrotechnical Commission – IEC) a to hlavně směrem ke standardizaci průmyslového Ethernetu. Při standardizaci průmyslových sběrnic (fieldbus) byla IEC vývojem a nárůstem počtu variant průmyslového Ethernetu donucena ke standardizování téměř všech jeho varianty, které mají národní podporu a jsou používány v praxi. V tab. 4.1 je uvedeno 10 variant průmyslového Ethernetu.

Tab. 4.1: Standardy IEC/PAS průmyslového Ethernetu (RT – Real-Time, reálný čas) [14]

Označení	Architektura	Požadavky na hardware	Časové parametry	Standard
EtherCAT	segment RT	standardní	100 μ s/cyklus	IEC62407
EtherNet/IP	otevřená architektura	standardní	300 μ s/cyklus, jitter <0,5 μ s	IEC62413
Ethernet Powerlink	segment RT	standardní/ASIC	<400 μ s/cyklus, jitter <1 μ s	IEC62408
TCnet	otevřená	standardní	<5 ms/cyklus, jitter <10 ps	IEC62406
Modus-RTPS	otevřená	standardní	asi 5 až 10 ms/cyklus	IEC62030
ProfiNet	segment RT	standardní/ASIC	5 až 20 ms (1 ms)/cyklus, jitter <1 μ s	IEC62411
SERCOS III	segment RT	standardní/FPGA ASIC	31,25 μ s (250 μ s)/cyklus, jitter <1 μ s	IEC62410
P-Net on IP	otevřená	standardní	-	IEC62412
EPA	otevřená	modifikovaný MAC	několik milisekund	IEC62409
Vnet/IP	otevřená	standardní	10 ms	IEC62405

4.2 EPA

Varianta Ethernet for Plant Automation (EPA) byla vyvinuta čínskou společností Sulfo jako nový systém podporující deterministickou komunikaci na bázi protokolů Ethernet TCP/IP nebo UDP/IP. Prioritní sloty využívá pro dosažení determinismu. Použitím ECSME je zajištěn mechanismus prioritních časových slotů

tj. rozšíření spojové. V tab. 4.2 je zobrazen komunikační model. Komunikační makrocyklus se dělí na fázi přenosu cyklicky se opakujících zpráv a na fázi přenosu necyklických (asynchronních) zpráv. S použitím funkce EPA Function Block Application Process je přenos dat v reálném čase mapován. Data jsou přenášena standardní cestou prostřednictvím TCP/IP nebo UDP/IP, nevyžadují přenášení v reálném čase. Při použití synchronizačního mechanismu podle IEEE 1588 lze dosáhnout předpokládané periody makrocyklu v délce několika milisekund.

Tab. 4.2: Komunikační model EPA [14]

5-7	Běžné úlohy	Úlohy v reálném čase
4	TCP	UDP
3	IP	
2	ECSME-MAC	
1	Ethernet	

4.3 EtherCAT

Tento standart vyvinula firma Beckhoff pro účely řízení v reálném čase. Tato výkonná sběrnice, která pomocí organizace ETG (EtherCAT Technology Group) sdružuje výrobce a uživatele má více než 180 členů. Paket rámce Ethernetu není přijímán každým účastníkem děle, než jsou vysvětlena a kopírována přenášená data. Během příjmu je rámec Ethernetu zpracován. Zařízení určené pro síť EtherCAT má 2 porty a rámec, tak prochází napříč zařízením. Zatímco zařízení v síti EtherCAT čte data, tak rámec už jde k dalšímu zařízení. Při průchodu rozhraním ukládá modul data do rámce, tudíž zdržení je pouze několik nanosekund. V porovnání s jinými systémy na bázi Ethernetu má tento větší rychlost přenosu dat. Síť má topologii logického kruhu, protože poslední zařízení v síti posílá rámec zpět na začátek. Přenášená data obsahují slučitelné ethernetové rámce změněné uvnitř segmentu sítě na vnitřní sběrnici (E-Bus), kterou je vybaven každý účastník.

Přednost před ostatními daty mají rámce s pevnými požadavky na dodržení doby odezvy realizovanou prostřednictvím vnitřního systému priorit. Pokud je k dispozici dostatečně dlouhý časový interval, jsou konfigurační data přenášena v časových přestávkách s použitím speciálního servisního kanálu. Kompatibilitu vrstev Ethernetu s protokolem IP umožňuje zachovaná funkční schopnost Ethernetu pomocí operačního systému. EtherCAT dosahuje výkonu, který umožňuje vytvořit řízení pohonů i bezpečnostních systémů kategorie až SIL 3. Tento komunikační model je zobrazen v tab. 4.3 [14].

Tab. 4.3: Komunikační model EtherCAT [14]

5-7	Běžné úlohy		Úlohy v reálném čase	
4	TCP	UDP	Acyklická data	Provozní data
3	IP			
2	EtherCAT MAC/LLC			
1	Ethernet			

4.4 EtherNet/IP

Základem této sběrnice je Ethernet TCP/IP s přenosem dat prostřednictvím protokolu TCP nebo UDP. Zkratka IP znamená, že se jedná o průmyslový protokol (Industrial Protocol). V tab. 4.4 je zobrazen model rozšíření komunikačního zásobníku pro průmyslovou komunikaci. V 7. vrstvě modelu je protokol aplikační vrstvy CIP (Control and Information Protocol), který vznikl pro průmyslové sítě DeviceNet a ControlNet a v systému Ethernet/IP je používán nad protokoly TCP/IP. Od sdružení ODVA, které zajišťuje vývoj standardu Ethernet/IP jsou volně k dispozici příslušné specifikace.

Tab. 4.4: Komunikační model EtherNet/IP [14]

5-7	Control and Information Protocol (CIP)	
4	zapouzdření	
	TCP	UDP
3	IP	
2	CSMA/CD (Ethernet)	
1	Ethernet	

Ethernet/IP používá pro přenos časově kritických zpráv mezi řídicími prvky a moduly I/O metodu producer-consumer. Ostatní data jsou přenášena pomocí standardních protokolů. Protokolem TCP jsou spojovou službou přenášena zabezpečeným způsobem necyklická data. Nespojovou službou protokolem UDP jsou přenášena časově kritická data. Je používána knihovna profilů automatizačních zařízení vytvořená již v systému DeviceNet.

Ethernet/IP se dále rozvíjí o bezpečnostní mechanismy a práci v reálném čase. Příkladem může být CIPsync, který rozšiřuje v distribuovaném systému časovou synchronizaci. Bezpečnou komunikaci zajišťuje v systému Ethernet/IP rozšíření CIPsafety, které splňuje požadavky normy IEC 61508 až do kategorie SIL 3 [14].

4.5 Ethernet Powerlink

Tento systém vyvinula rakouská automatizační firma Bernecker and Rainer (B&R) a je podporován mnoha výrobci organizovanými ve sdružení EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group). Jedná se o nejrozšířenější standard průmyslového Ethernetu. V tab. 4.5 je model tohoto systému, kde můžeme vidět, že přenosy časově nekritických dat probíhají pomocí protokolů TCP/UDP/IP a přenosy časově kritických dat se uskutečňují mezi 2. vrstvou a aplikační vrstvou speciálním protokolem s použitím principů standardu IEEE 1588. Přenos dat v síti řídí komunikační zásobník. Řídicí metoda zabezpečující komunikaci v reálném čase se nazývá Slot Communication Network Management (SCNM). Data může stanice posílat libovolné stanici na síti, ale má pevně stanovená komunikační práva. K přenosovému médiumu má v určitém čase přístup jenom jedna stanice. Tím pádem nedochází ke kolizím a probíhá jenom deterministický přenos. SCNM mimo jiné také zabezpečuje časové sloty pro standardní časově nekritické zprávy v asynchronním datovém provozu. V rozšíření EPL safety jsou uvedeny vlastnosti bezpečného přenosu na úrovni SIL 3 podle IEC 61508. Profily automatizačních přístrojů a profily komunikačních podsystémů jsou ve variantě EPL version 2.

Tab. 4.5: Komunikační model Ethernet Powerlink [14]

5-7	Aplikační vrstva		
	Asynchronní data	Izochronní data	
4	TCP	UDP	Powerlink
3	IP		
2	CSMA/CD (Ethernet)		
1	Ethernet		

4.6 Modbus-RTPS

Jedná se o americký protokol vycházející z varianty Modbus/TCP, který je podporovaný organizací IDA. Tento protokol zajišťuje zlepšení vlastností reálného času u Modbus/TCP. Modbus-TCP vychází z úspěšného protokolu Modbus, který vyvinula firma Modicon v roce 1989 a následně se stal komunikačním standardem v automatizaci. K tomuto protokolu je specifikace volně dostupná a od počátku v ní nedošlo ke změně, a proto mají systémy Modbus/TCP a Modbus-RTPS dobré předpoklady pro úspěch na trhu. Činnost systému Modbus-RTPS je zobrazena v tab. 4.6.

Tab. 4.6: Komunikační model Modbus [14]

5-7	Aplikační vrstva	
4	Modbus/TCP	RTPS
	TCP	UDP
3	IP	
2	CSMA/CD (Ethernet)	
1	Ethernet	

V protokolu Modbus dojde k zabalení datagramu do ethernetového rámce s protokoly TCP/IP a následně je standardní přístupovou metodou přenášen fyzickou vrstvou. Rámec Modbusu je složen z adresy řízené stanice (slave), kódu operace podle specifikace Modbus, bloku přenášených dat a kontrolního součtu. Chyby přenosu jsou kontrolovány v 1. až 4. vrstvě a tak není u Modbus/TCP kontrolní součet přenášen. Řízená stanice rozhoduje co má s daty udělat podle kódu funkce. Jednoduchou množinou funkcí protokolu Modbus mohou být řízeny v systému Modbus/TCP nejjednodušší stanice. Pro protokol Modbus je volně k dispozici mnoho profilů pro automaizační zařízení.

V současnosti v Ethernetu/TCP existuje rozšíření podle IEC/PAS, které umožňuje komunikovat způsobem publish-subscribe při využití standardní cesty UDP/IP. Základem protokolu Modbus-RTPS je toto rozšíření [14].

4.7 P-net on IP

Tento standard vychází z dánského standardu P-Net. Protokol P-Net je podporován sdružením uživatelů P-Net (International P-Net User Organization – IPUO). Standard P-Net on IP byl vyvinut k používání v prostředí IP. Protokol P-Net je možné použít v úlohách, které vyžadují přenos v reálném čase, kde časově kritická data jsou zabalena do rámce UDP/IP. Nezabezpečená komunikace má vyhrazený port 34378 a zabezpečená má port 34789, ale je potřeba znát heslo.

V tab 4.7 můžeme vidět, že se pro zprávy v protokolu P-Net využívá cesta UDP/IP, ale je nutné rozšířit adresovací mód protokolu P-Net IP včetně vložení příslušných směrovacích definic. Pakety s protokolem IP mohou být sítí směrovány stejným způsobem jako v síti P-Net, když použijeme systém P-Net on IP pro Ethernet s vlastnostmi reálného času.

Tab. 4.7: Komunikační model P-Net on IP [14]

5-7	Aplikační vrstva	
4	TCP	P-Net
		UDP
3	IP	
2	CSMA/CD (Ethernet)	
1	Ethernet	

4.8 Profinet

Tento systém vytvořila organizace PNO (Profibus Nutzerorganisation) s význačným přispěním firmy Siemens a je k dispozici od roku 2002. Komunikační model Profinet Verse 2 (V2) označovaný jako Profinet IO je zobrazen v tab. 4.8 vlevo. Jeho úkolem je přenášet standardní zprávy v reálném čase cestou TCP/UDP/IP. Druhý paralelní kanál programově překlene (SW by-pass) 3. a 4. vrstvu komunikačního zásobníku a tím dosahuje lepších vlastností reálného času. Je také redukována délka přenášeného bloku dat a jsou zavedeny prioritní sloty podle standardu IEEE 802.1p.

Systém Profinet verze V3, nazývaný též jako Profinet IRT (Isochronous Real Time) je určen pro úlohy s pevnými požadavky na dodržení doby odezvy a synchronizace v reálném čase. V Ethernetu se používá hardware, který hardwarově překlene vrstvy TCP/IP (HW bypass). Tento způsob je zobrazen v tab. 4.8 vpravo. Profinet V3 s přepínanou sítí Ethernet dosahuje izochronnosti a je vhodný k řízení pohonů. Paralelní cestou TCP/UDP/IP je zajištěn přenos standardních zpráv bez požadavků na přenos v reálném čase, včetně přístupu k internetu.

Komunikace v systému Profinet probíhá ve 2 režimech. První je Profinet IO, který se používá k obsluze distribuovaných jednotek I/O (přenos v reálném čase a izochronní přenos). Druhý se označuje jako Profinet CBA (Component Based Automation), který prostřednictvím protokolů TCP/IP bez požadavku na doručení zaručuje přenos v reálném čase. Varianta označovaná jako Profisafe rozšiřuje zavedením bezpečných mechanismů Profinet [14].

Tab. 4.8: Komunikační modely Profinet: a) Profinet IO, b) Profinet IRT (RT – Real-Time, SW – software, HW – hardware) [14]

5-7	Běžné úlohy		Úlohy v reálném čase (IO)
4	TCP	UDP	↕
3	IP		Vrstva RT (SW)
2	CSMA/CD (Ethernet)		
1	Ethernet		

a)

5-7	Běžné úlohy		Izochronní úlohy (IRT)
4	TCP	UDP	↕
3	IP		↕
2	Ethernet IRT s přepínačem		
1	Ethernet IRT s přepínačem		Vrstva RT (SW)

b)

4.9 SERCOS III

Systém SERCOS (Serial Real Time Communications System) byl v průběhu 80. let 20. století vyvinut v Německu společně firmami a organizací ZVEI. Od roku 1990 byl systém rozvíjen a využíván organizací IGS (Interest Group SERCOS interface). Systém byl používán v technice pohonů k řízení os a spolupracujících strojů ve strojírenství. Úspěšná sběrnice s vlastnostmi reálného času je SERCOS II. V pravé části modelu v tab. 4.9 je systém SERCOS III, který je průmyslovým Ethernet vycházejícím ze systému SERCOS a používá princip softwarového překlenutí (software bypass), aby dosáhl vlastností reálného času včetně izochronnosti.

Prioritní sloty a hardwarová synchronizace na principu distribuovaných hodin reálného času posilují vlastnosti reálného času systému SERCOS směrem k determinismu [14].

Tab. 4.9: Komunikační model SERCOS III [14]

5-7	Aplikační vrstva		
4	TCP	UDP	Profily
3	IP		SERCOS III
2	CSMA/CD (Ethernet)		
1	Ethernet		

4.10 TCnet

TCnet (Time-Critical Control Network) je produkt japonské firmy Toshiba. Pro přenos technologických dat je používán cyklický režim a necyklické zprávy se přenášejí standardní cestou TCP/IP. Mechanismus brání kolizím a zajišťující definovanou dobu

odezvy se označuje DOMA (Deterministic Ordered Multiple Access) a nachází se v MAC vrstvě. Rychlost přenosu cyklické výměny dat lze upravit podle požadované periody cyklu obnovy dat. Společná paměť používaná ve službách aplikační vrstvy je rozmístěna po celé síti a využívá uživatelské programy, které běží na stanicích připojených k síti TCnet. Tento model je zobrazen v tab. 4.10.

Tab. 4.10: Komunikační model TCnet [14]

5-7	Aplikační vrstva	
4	TCP	UDP
3	IP	
2	DOMA MAC	
1	Ethernet	

4.11 Vnet/IP

Tento systém vyvinula firma Yokogawa a slouží v systémech určených k řízení kontinuálních a vsádkových technologických procesů. Kanálem UDP/IP jsou přenášena časově kritická data a časově nekritická data jsou přenášena standardní cestou TCP/IP. V systému je aplikován speciální modul RTP (Real-Time and Reliable Datagram Protocol), který je určen pro přenosy dat v reálném čase. Systém společně s prioritními sloty je vhodný pro řízení technologických procesů, protože dosahuje doby odezvy v řádu milisekund. Kanál TCP/IP se používá pro standardní protokoly FTP a HTTP. Síť je vytvořena jako redundantní, aby se zvýšila spolehlivost komunikačního kanálu. Jedna ze systémových sběrnic, použitých v distribuovaných řídicích systémech Centum je síť Vnet/IP. K systému Vnet/IP je možné připojit podřízené průmyslové sítě. V tab. 4.11 je zobrazen komunikační model tohoto systému [14].

Tab. 4.11: Komunikační model Vnet/IP [14]

5-7	Aplikační vrstva	
4	TCP	RTP
		UDP
3	IP	
2	CSMA/CD (Ethernet)	
1	Ethernet	

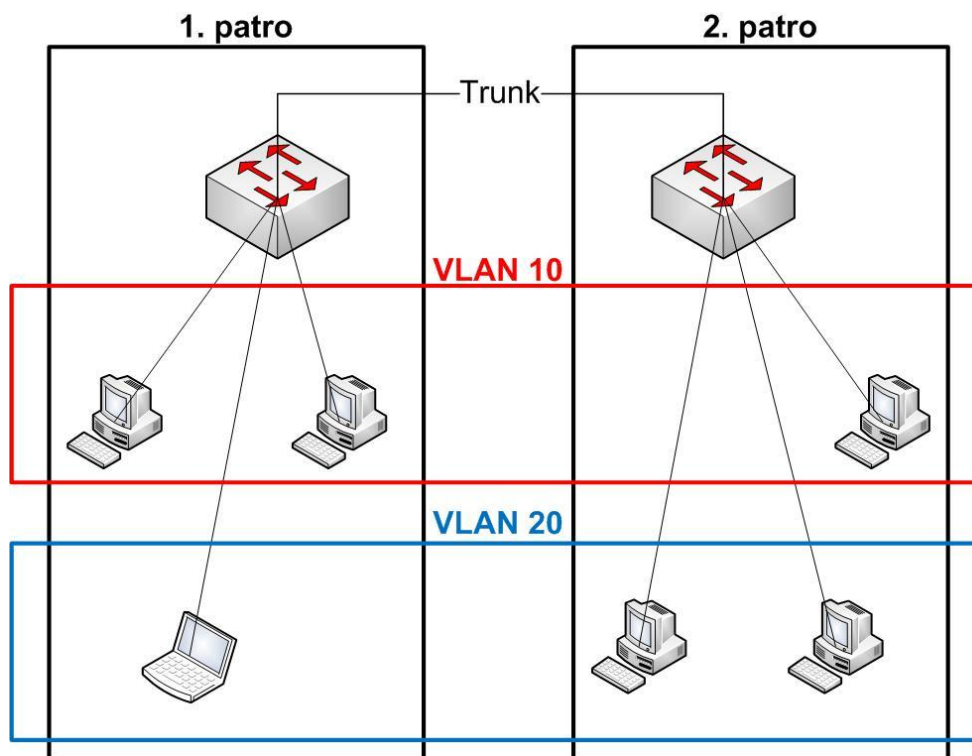
4.12 Další systémy průmyslového Ethernetu

Existuje mnoho dalších standardů na bázi systému Ethernet IP, které vyvinuly další firmy a jsou zajímavě řešeny a pravděpodobně budou i komerčně úspěšné. Jedná se např. o protokoly FTE, HSE, JetSync, Renet, Safeethernet, SynqNet, SynUTC atd., které zlepšují některou ze slabých stránek Etherentu TCP/IP a nemají zapotřebí mít vlastní průmyslovou sběrnici. Tato řešení jsou nazývána proprietární.

5 VLAN

VLAN neboli virtuální síť umožňuje logicky rozdělit síť, aniž by se musela fyzicky přeskupit. Síť můžeme rozdělit na menší sítě uvnitř fyzické struktury sítě. Dalším důležitým pojmem je trunk, který označuje port zařazený do více VLAN. Pomocí virtuálních sítí můžeme dosáhnout toho, že skupinu zařízení připojených do jednoho přepínače rozdělíme např. na dvě skupiny, které budou fungovat, jak kdyby byla každá skupina připojena k jinému přepínači.

Mezi virtuálními sítěmi můžeme použít jakýkoliv způsob routování a můžeme s nimi pracovat jako s normálními sítěmi. Na obr. 5.1 je zobrazeno, jak virtuální síť funguje. V prvním a druhém patře se nachází přepínače, které jsou propojeny páteří trunk. V případě propojení zařízení do dvou nezávislých skupin (VLAN 10 a VLAN 20) je toto zapojení pomocí VLAN jednoduché [1].



Obr. 5.1: Vysvětlení pro VLAN [1]

5.1 Proč vznikl VLAN

Tato technologie začala vznikat kolem roku 1995, ale ze začátku se jednalo jenom o různá lokální řešení. Až před několika lety se VLAN rozšířil v praxi a to hlavně ve středních a velkých firmách.

Hlavní důvody proč vznikly VLAN:

- seskupování uživatelů,
- snížení broadcastů,
- zmenšení kolizních domén.

5.2 Jaké jsou praktické výhody VLAN

- **snížení broadcastů** - vytvoření více menších broadcastových domén a tedy zlepšení výkonu sítě snížením provozu,
- **zjednodušená správa** - k přesunu zařízení do jiné sítě stačí nastavit zařazení do VLAN,
- **zvýšení zabezpečení** – oddělení komunikace do speciálních VLAN, kam není jiný přístup,
- **oddělení speciálního provozu** - například pro IP telefonii, kde je použití VLAN naprosto běžné, nám stačí jediná zásuvka, kam přivedeme VLAN pro telefonii i VLAN s přístupem do sítě a v telefonu se komunikace rozdělí,
- **snížení HW** - samozřejmě se nesnižuje potřebný počet portů, ale tím, že mohou být různé podsítě na stejném přepínači, jej můžeme lépe využít.

5.3 Jak se zařazuje komunikace do VLAN

Přiřazení do VLAN se nastavuje na přepínači. Na přepínačích podporující VLAN existuje vždy defaultní VLAN 1, kterou není možno smazat či vypnout. Pokud nenastavíme přiřazení do jiné VLAN, tak jsou všechny porty zařazeny do VLAN 1.

Pro zařazení komunikace do VLAN existují čtyři základní metody, ale nejvíce se používá metoda zařazení podle portu [1].

5.3.1 Podle portu

Port přepínače je ručně a napevno zařazen do určité virtuální sítě. Veškerá komunikace, která přichází přes tento port je určena zadané VLAN. Tato metoda je nejrychlejší, nejpoužívanější, jednoduše se spravuje a je přehledná.

5.3.2 Podle MAC adresy

Rámce se zařadí do VLAN podle zdrojové MAC adresy. Pro každé zařízení spolu s VLAN se musí spravovat tabulka se seznamem MAC adres. V případě, že přepojíme zařízení do jiného portu, tak se automaticky zařadí do správné VLAN, protože se jedná o dynamické zařazení.

5.3.3 Podle protokolu = podle informace z 3. vrstvy

Tato metoda určuje zařazení podle protokolu přenášeného paketu. Zařízení musí mít napevno definovanou IP adresu a přepínač se musí dívat do třetí vrstvy a to znamená zpomalení, protože přepínač pracuje ve 2. vrstvě. Tato metoda se používá pro multicast.

5.3.4 Podle autentizace

Uživatel nebo zařízení se ověří pomocí protokolu IEEE 802.1x a podle informací se automaticky umístí do VLAN. Tato metoda je velmi univerzální, protože nezáleží ani na fyzickém zařízení ani na místě zapojení. RADIUS server ověřuje identitu uživatele a mapuje uživatele na VLAN a tuto informaci zasílá po úspěšné autentizaci. V případě, kdy není uživatel autentizován, tak je zařazen do speciální hostovské VLAN.

5.4 Jak funguje komunikace v rámci VLAN

Mohou nastat dvě situace, kdy se rozhoduje o náležitosti k VLAN. První situace je v případě komunikace na jednom přepínači a druhá v případě komunikace mezi více přepínači.

5.4.1 VLAN na jednom přepínači

V případě, že komunikace ve VLAN probíhá v rámci jednoho přepínače, tak si přepínač v operační paměti zachovává informace do které VLAN patří jaký port a tím povoluje správné směrování. Porty jsou zařazeny do určité VLAN staticky nebo dynamicky.

5.4.2 VLAN mezi více přepínači

Když chceme, aby se informace o zařazení do VLAN v případě přechodu na jiný přepínač neztratila a bylo možné zařízení zapojit do jakéhokoliv přepínače s využitím stejné VLAN je tato situace složitější. Aby tato metoda fungovala i mezi přepínači různých výrobců byl to ze začátku problém. Naštěstí vznikl standard IEEE 802.1q, který využívá značkování rámců. Komunikace se označuje jenom v okamžiku, kdy je to potřeba. Když komunikace probíhá v rámci jednoho přepínače a připojených zařízení, tak se nic nepřidává. Komunikace je označena až v případě, že ji chceme odeslat dalšímu přepínači. Na portu se taguje odchozí komunikace a říká se mu trunk port. Přes tento port se přenáší více VLAN a aby je bylo možné odlišit, tak se označují. Spoje trunků se nazývají trunk nebo trunk link.

5.4.3 IEEE 802.1q tagging

Protokol IEEE 802.1q se také nazývá trunking protokol nebo dot1q tagging. Všechny moderní přepínače s podporou VLAN tuto standardizovanou metodu podporují. Jedná se o princip tzv. tagování, kdy se vezme originální rámec a jeho hlavička se rozšíří o 4B informací. První z nich je značka protokolu 802.1q

(hodnota 0x8100), další je priorita dle protokolu 802.1p, příznak, zda je MAC adresa v kanonickém tvaru a poslední je číslo VLAN. Tím, že se změnila data, se musí přepočítat kontrolní součet na konci rámce. Úprava těchto rámců je zobrazena v tab. 5.1, 5.2 a 5.3 [1].

Tab. 5.1: Originální rámec [1]

6B	6B	2B	64 AŽ 1500B	4B
CÍLOVÁ ADRESA (DA)	ZDROJOVÁ ADRESA (SA)	TYP NEBO DÉLKA	DATA	KONTROLNÍ SOUČET (FCS)

Tab. 5.2: Upravený rámec pomocí 802.1q [1]

6B	6B	4B	2B	64 AŽ 1500B	4B
CÍLOVÁ ADRESA (DA)	ZDROJOVÁ ADRESA (SA)	802.1Q TAG	TYP NEBO DÉLKA	DATA	KONTROLNÍ SOUČET (FCS)

Tab. 5.3: Tvar 802.1q tagu [1]

2B	3B	1B	12B
0X8100	PRIORITA (802.1P)	CANONICAL FORMAT INDICATOR (CFI)	VLAN ID
TAG PROTOCOL ID (TPID) 2B	TAG CONTROL INFORMATION (TCI) 2B		

6 NÁVRH PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ

6.1 Zapojení pomocí simulačního programu

K návrhu průmyslové sítě a k integraci více nesourodých služeb v rámci jedné průmyslové sítě Ethernet pomocí VLAN jsem si vybral program od firmy Cisco, který se nazývá Cisco Packet Tracer.

Cisco Packet Tracer je výkonný síťový simulační program, který umožňuje experimentovat s chováním sítě. Tento program nahrazuje fyzická zařízení a umožňuje vytvářet sítě s téměř neomezeným počtem zařízení. Veškerou komunikaci mezi zařízeními lze věrohodně testovat.

Vybral jsem si průmyslovou síť spravující ropné potrubí v rafinérii. Nejdříve jsem vytvořil topologii s přepínači SW1, SW2, SW3, SW4, SW5 a SW6 a u přepínačů jsem použil Spanning Tree protokol, aby nedocházelo k broadcasting floatu. Topologii s přepínači SW1, SW2, SW3 a SW6 jsem propojil pomocí optiky. Přepínače SW4, SW5 a SW7 jsou připojeny k této topologii pomocí křížené kroucené dvojlinky. K přepínači SW1 jsem připojil počítač, který simuluje řídicí centrum. Ostatní koncová zařízení jsou připojena k přepínačům SW4, SW5 a SW7 pomocí kroucené dvojlinky. Koncové počítače PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7 a PC8 simulují v této síti teploměry, tlakoměry, průtokoměry a ventily.

Všem koncovým zařízením jsem přiřadil IP adresy a masky sítě. Tato konfigurace je zobrazena na obr. 6.1. Pomocí příkazu „ping“ jsem si v příkazovém řádku ověřil komunikování sítě mezi koncovými zařízeními. Dále jsem na přepínačích vytvořil VLAN 10 až VLAN 60, které jsem pojmenoval „Office_10“ až „Office_60“. Ve VLAN 10, 30 a 50 simulují počítače teploměry, tlakoměry, průtokoměry a ventily. Zatímco ve VLAN 20, 40 a 60 se nacházejí integrované nesourodé prvky, kterými jsou tiskárny, IP telefony a laptopy. Na Obr. 6.2 je zobrazeno vytvoření VLAN 10 a 20 na přepínači SW4. Přiřazení do VLAN jsem provedl na přepínačích napevno podle portů. Toto nastavení je zobrazeno na obr. 6.3.



Obr. 6.1: Konfigurace IP adresy a masky sítě

```

Physical Config CLI
IOS Command Line Interface
Switch>ena
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#hostname SW4
SW4(config)#VLAN 10
SW4(config-vlan)#name Office_10
SW4(config-vlan)#VLAN 20
SW4(config-vlan)#name Office_20
SW4(config-vlan)#end
SW4#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

```

Obr. 6.2: Vytvoření VLAN 10 a VLAN 20

```

Physical Config CLI
IOS Command Line Interface
Switch>ena
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#hostname SW4
SW4(config)#interface Fa6/1
SW4(config-if)#switchport mode access
SW4(config-if)#switchport access VLAN 20
SW4(config-if)#exit
SW4(config)#interface Fa7/1
SW4(config-if)#switchport mode access
SW4(config-if)#switchport access VLAN 20
SW4(config-if)#exit
SW4(config)#interface Fa1/1
SW4(config-if)#switchport mode access
SW4(config-if)#switchport access VLAN 10
SW4(config-if)#exit
SW4(config)#interface Fa2/1
SW4(config-if)#switchport mode access
SW4(config-if)#switchport access VLAN 10
SW4(config-if)#exit
SW4(config)#interface Fa3/1
SW4(config-if)#switchport mode access
SW4(config-if)#switchport access VLAN 10
SW4(config-if)#exit
SW4(config)#end
SW4#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

```

Obr. 6.3: Zařazení do VLAN podle portů

Toto nastavení jsem provedl na všech přepínačích, ke kterým jsou připojena koncová zařízení. Zadáním příkazu „show vlan“ v příkazovém řádku na přepínači SW4 jsem si ověřil konfiguraci VLAN a zobrazil si seznam všech VLAN, jejich stavy a porty, které do nich patří (viz obr. 6.4).

```

Physical Config CLI
IOS Command Line Interface
SW4#sh VLAN

```

VLAN Name	Status	Ports
1 default	active	Fs0/1, Fa4/1, Fa5/1
10 Office_10	active	Fa1/1, Fa2/1, Fa3/1
20 Office_20	active	Fa6/1, Fa7/1
1002 fddi-default	act/unsup	
1003 token-ring-default	act/unsup	
1004 fddinet-default	act/unsup	
1005 trnet-default	act/unsup	

```

VLAN Type SAID MTU Parent RingNo BridgeNo Stp BrdgMode Trans1 Trans2
-----
1 enet 100001 1500 - - - - - 0 0
10 enet 100010 1500 - - - - - 0 0
20 enet 100020 1500 - - - - - 0 0
1002 fddi 101002 1500 - - - - - 0 0
1003 tr 101003 1500 - - - - - 0 0
1004 fdnet 101004 1500 - - - ieee - 0 0
1005 trnet 101005 1500 - - - ibm - 0 0

Remote SPAN VLANs
-----
Primary Secondary Type Ports
-----
SW4#

```

Obr. 6.4 Přiřazené porty k VLAN

Jako další jsem nastavil na všech přepínačích trunk mode, aby zůstala komunikace ve správné VLAN. Konfigurace je na obr. 6.5. Pomocí příkazu „show interface trunk“ jsem si vypsal, mezi kterými porty je nastaven trunking (viz obr. 6.6). Po kompletním nakonfigurování všech síťových prvků jsem VLAN barevně oddělil, aby bylo možné rozpoznat, který prvek do které VLAN patří. Jako poslední jsem otestoval pomocí příkazu „ping“ v příkazovém řádku v řídicím centru, jestli funguje odezva mezi tímto centrem a některým z prvků, který simuluje tlakoměr a integrovaný prvek, který zastupuje tiskárna. Test proběhl bez problému s velmi dobrou časovou odezvou a tento průběh je zobrazen na obr. 6.7. Navrhnutá průmyslová síť v Cisco Packet Traceru je zobrazena v příloze B.

```

IOS Command Line Interface

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet5/1, changed state to down
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet5/1, changed state to up

Sw0>en
Sw0#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTRL/Z.
Sw0 (config)#int fa0/1
Sw0 (config-if)#switchport mode trunk

Sw0 (config-if)#
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to down
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up

Sw0 (config-if)#switchport trunk allowed vlan 1-99
Sw0 (config-if)#end
Sw0#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
  
```

Obr. 6.5: Konfigurace trunk mode

```

IOS Command Line Interface

down
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet4/1, changed state to up
Sw0 (config-if)#switchport trunk allowed vlan 1-99
Sw0 (config-if)#end
Sw0#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Sw0#show interface trunk
Port      Mode      Encapsulation  Status      Native vlan
Fa0/1     on        802.1q         trunking    1
Fa4/1     on        802.1q         trunking    1
Fa5/1     on        802.1q         trunking    1

Port      Vlans allowed on trunk
Fa0/1     1-99
Fa4/1     1-99
Fa5/1     1-99

Port      Vlans allowed and active in management domain
Fa0/1     1,10,20
Fa4/1     1,10,20
Fa5/1     1,10,20

Port      Vlans in spanning tree forwarding state and not pruned
Fa0/1     1,10,20
Fa4/1     none
Fa5/1     1,10,20
Sw0#
  
```

Obr. 6.6: Nastavené trunky

```

Command Prompt
PC>ping 192.168.2.101

Pinging 192.168.2.101 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.2.101: bytes=32 time=21ms TTL=128
Reply from 192.168.2.101: bytes=32 time=0ms TTL=128
Reply from 192.168.2.101: bytes=32 time=0ms TTL=128
Reply from 192.168.2.101: bytes=32 time=0ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.101:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 21ms, Average = 5ms

PC>ping 192.168.2.102

Pinging 192.168.2.102 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.2.102: bytes=32 time=12ms TTL=128
Reply from 192.168.2.102: bytes=32 time=0ms TTL=128
Reply from 192.168.2.102: bytes=32 time=0ms TTL=128
Reply from 192.168.2.102: bytes=32 time=0ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.102:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 12ms, Average = 3ms

PC>

```

Obr. 6.7: Komunikace mezi řídicím centrem a koncovými zařízeními

6.2 Zapojení s reálnými přístroji

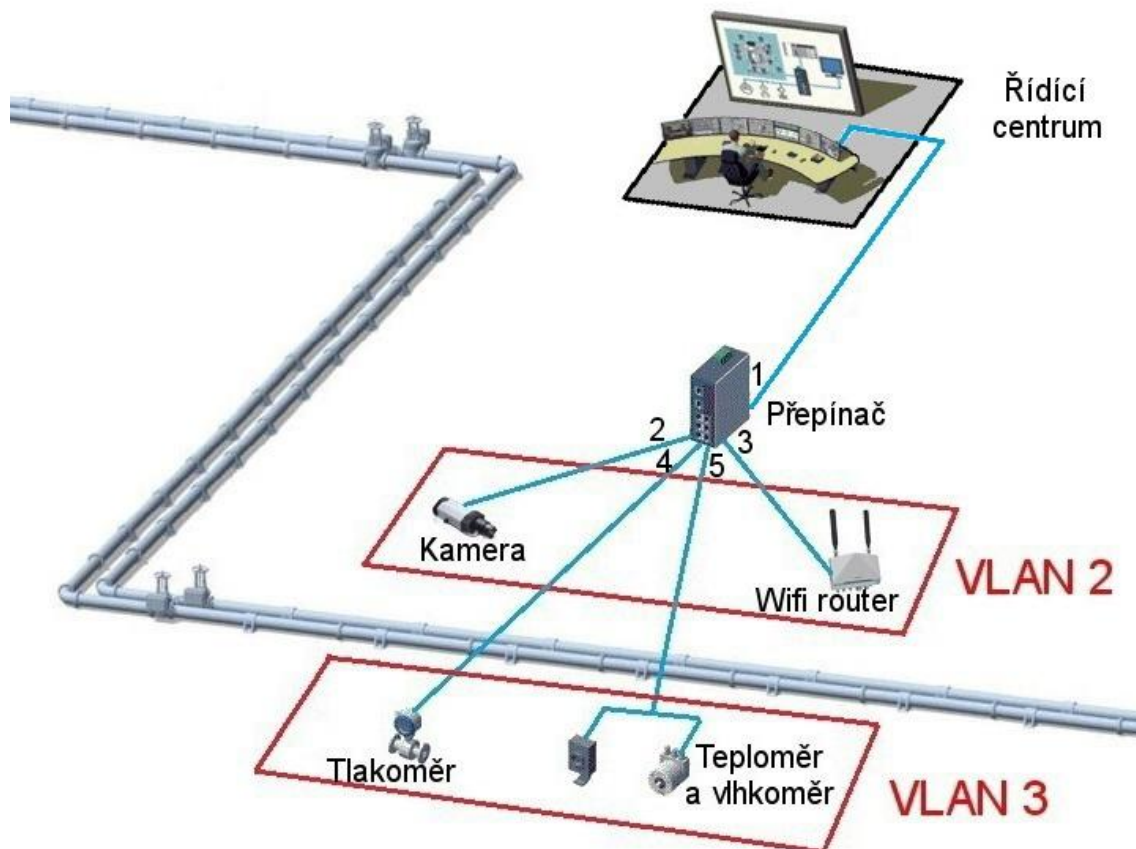
Nejdříve jsem kontaktoval české zastoupení prodejců průmyslových komponentů s dotazem na zapůjčení některého z jejich výrobků. Společnost Siemens s.r.o. mi zapůjčila průmyslový přepínač Ruggedcom i801, společnost ELVAC a.s. přepínač Moxa EDS-408A a firma Papouch s.r.o. přepínač B&B Electronics ESW508 a Ethernetový teploměr s vlhkoměrem TH2E.

K sestavení sítě jsem použil zapůjčené přepínače, notebook, stolní počítač, kameru, Wifi router a Ethernetový teploměr s vlhkoměrem TH2E. Stolní počítač simuluje v tomto zapojení tlakoměr. Kameru, Wifi router a přepínač jsem uvedl do továrního nastavení a přidělil jim statickou IP adresu a masku sítě. Ostatním zařízením jsem taktéž přidělil statickou IP adresu, tak aby se všechny zařízení nacházeli v jedné síti. Nastavení IP adres a masek sítě je uvedeno v tab. 6.1.

Tab. 6.1: IP adresy a masky sítě přidělené zařízením

	IP adresa	Maska sítě
Notebook	192.168.127.100	255.255.255.0
Přepínač Moxa	192.168.127.253	255.255.255.0
Kamera	192.168.127.138	255.255.255.0
Wifi router	192.168.127.115	255.255.255.0
PC	192.168.127.200	255.255.255.0
Teploměr a tlakoměr	192.168.127.150	255.255.255.0

K propojení všech zařízení jsem použil UTP kabely. Řídicí centrum jsem připojil do portu 1, kameru do portu 2, Wifi router do portu 3, počítač simulující tlakoměr do portu 4 a teploměr s vlhkoměrem do portu 5. Kompletní zapojení sítě včetně rozdělení do virtuálních sítí je zobrazeno na obr. 6.8.

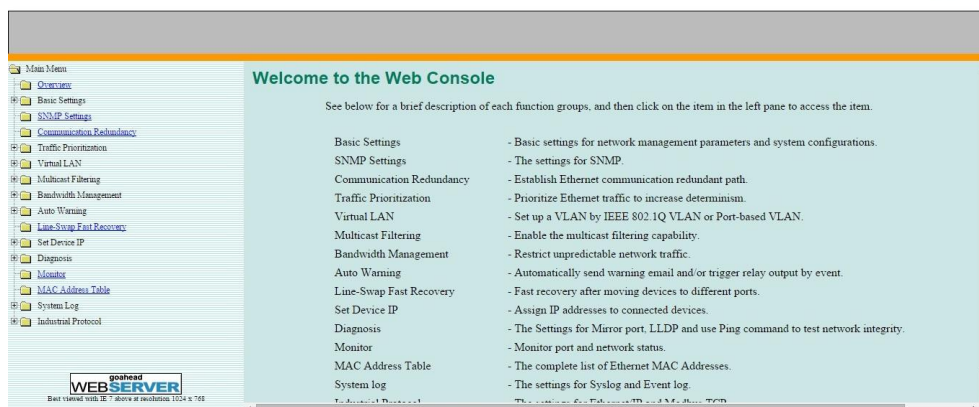


Obr. 6.8: Návrh zapojení průmyslové sítě

V reálných podmínkách se průmyslové přepínače umísťují na DIN lištu do rozvaděče (RACK), kde je napájení vyřešeno pomocí zdroje umístěného na liště a propojení pomocí násuvných svorkovnic. V mém případě jsem žádný rozvaděč ani takový zdroj neměl, a tak jsem k napájení přepínačů využil starý zdroj ze stolního počítače, který jsem pomocí drátů propojil se svorkovnicemi na přepínačích.

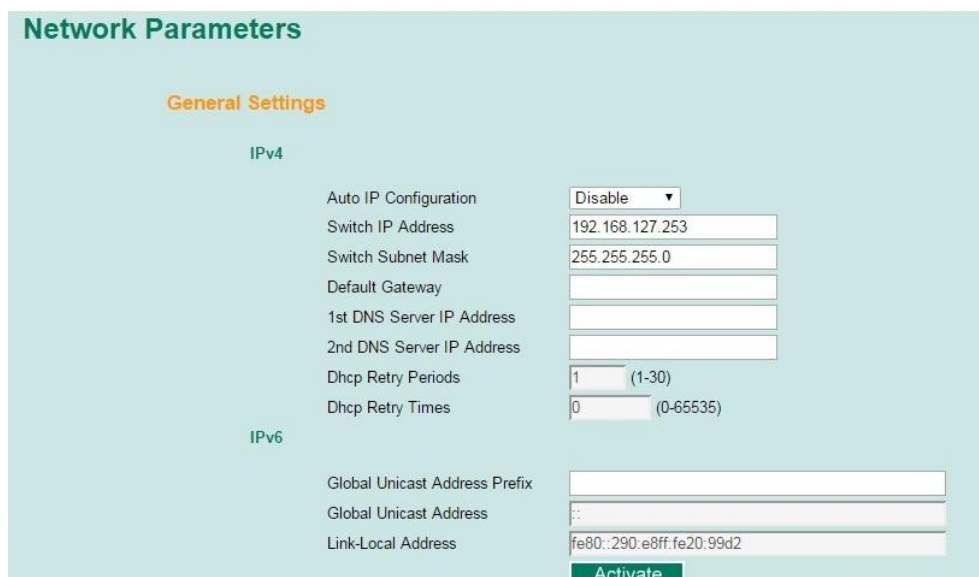
6.2.1 Zapojení s přepínačem Moxa EDS-408A

Konfiguraci přepínače bylo možné provést pomocí webového rozhraní nebo použitím příkazového řádku. Nastavení jsem provedl nejdříve ve webovém rozhraní. Přepínač komunikoval na defaultní IP adrese 192.168.127.253. Přihlašovací jméno bylo admin a heslo se nevyplňovalo. Hlavní konfigurační menu je zobrazeno na obr. 6.9.



Obr. 6.9: Konfigurační menu webového rozhraní Moxa

V záložce „Basic Settings“ bylo možné v „Network Parameters“ nastavit IP adresu tohoto zařízení (viz obr. 6.10). V mém případě jsem nemusel měnit nastavenou defaultní IP adresu, protože ostatní zařízení jsem měl nakonfigurované ve stejné síti.



Obr. 6.10: Nastavení IP adresy a masky sítě

Dále jsem provedl v záložce „Virtual LAN“ nastavení VLAN. Přiřazení zařízení do VLAN jsem zvolil metodou podle portů. V záložce „Port-based VLAN Settings“ jsem připojená zařízení přiřadil do VLAN 2 a 3. Kameru a Wifi router připojený do portů 2 a 3 jsem přiřadil do VLAN 2. Tlakoměr a teploměr s vlhkoměrem připojený do portů 4 a 5 jsem přiřadil do VLAN 3. Přiřazení do VLAN jsem mohl provést například pomocí zdrojové MAC adresy, ale metoda podle portů je nejrychlejší, nejpoužívanější, jednoduše se spravuje a je přehledná. Nakonfigurované VLAN jsem si zkontroloval v záložce „VLAN Table“, toto je zobrazena na obr. 6.11.

VLAN Table		
VLAN Mode		
	VLAN Mode	Port-based VLAN
Current Port-based VLAN List		
Index	VLAN	Joined Port
1	1	6, 7, 8,
2	2	1, 2, 3,
3	3	1, 4, 5,

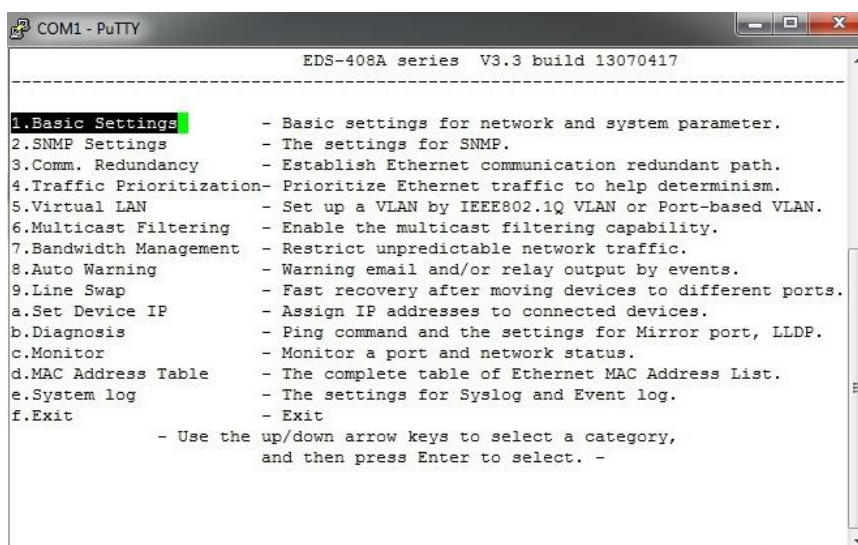
Obr. 6.11: Nastavení VLAN

Jako další jsem v záložce „Port Settings“ vypnul porty 6-8, které jsou určeny pro připojení optiky a pojmenoval jsem zařízení, která jsou připojena do portů 1-5, aby nastavení bylo přehlednější. Dále jsem nastavil v záložce „Accessible IP List“ IP adresy s maskami sítě které mohou přistupovat k tomuto přepínači. Funkčnost spojení celé sítě jsem si ověřil v příkazovém řádku na počítači v řídicím centru pomocí příkazu „ping“ na všechny zařízení nacházející se v této síti.

Konfiguraci jsem si také vyzkoušel pomocí příkazového řádku (Command Line Interface-CLI). Nejdříve jsem se připojil sériovým kabelem zakončeným na jedné straně konektorem RS232 a na druhé konektorem RJ45 do konzolového portu přepínače. Ke spojení s přepínačem jsem použil program Putty. Přepínač komunikoval na výrobcem daných komunikačních parametrech:

- Baud Rate: 115200,
- Data Bits: 8,
- Parity: None,
- Stop Bits: 1,
- Terminal Type: VT100.

Přihlašovací jméno bylo admin a heslo se nevyplňovalo. Po přihlášení bylo možné přepínač konfigurovat podobně jako ve webovém prostředí. Hlavní menu tohoto konzolového nastavení je zobrazeno na obr. 6.12.



Obr. 6.12: Konfigurační menu konzolového rozhraní

Nebylo potřeba znát žádné příkazy, jako tomu bylo u nastavování přepínačů v Packet Tracer. Nastavení bylo velice intuitivní a menu se ovládalo pomocí šipek na klávesnici. Konfiguraci jsem provedl stejně jako u nastavení ve webovém prostředí. Zapojený přepínač Moxa je zobrazen na obr. 6.13.



Obr. 6.13: Zapojený přepínač Moxa

6.2.2 Zapojení s přepínačem B&B Electronics ESW508

Konfiguraci jsem provedl téměř stejně jako u přepínače Moxa. K přepínači jsem se přihlásil pomocí webového rozhraní na defaultní IP adrese 192.168.118.100. Přihlašovací jméno a heslo bylo stejné v tomto případě admin. Hlavní konfigurační menu je zobrazeno na obr. 6.14.



Obr. 6.14: Konfigurační menu webového rozhraní B&B Electronics

Nejprve jsem v záložce „IP Settings“ změnil výchozí IP adresu na 192.168.127.253, aby se zařízení nacházelo ve stejné síti jako ostatní zařízení (viz obr. 6.15).

Home > Basic Settings > IP Help

IP Settings

Obtain an IP Address Automatically (DHCP)
 Use the following IP Address (Fixed IP)

IP Address:	192.168.127.253
Subnet Mask:	255.255.255.0
Default Gateway:	192.168.118.1
Primary DNS:	

Obr. 6.15: Nastavení IP adresy a masky sítě

Jako další jsem v záložce „VLAN Settings“ provedl přiřazení zařízení podle portů do VLAN 2 a 3 (viz obr. 6.16). Přiřazení jsem provedl stejným způsobem jako u přepínače Moxa. V záložce „Port Settings“ jsem vypnul porty 6-8, které nebyly v tomto zapojení potřeba. Dále jsem nastavil v záložce „Accessible IP“ IP adresy, které mohou přistupovat k tomuto přepínači. Funkčnost spojení celé sítě jsem si ověřil v příkazovém řádku na počítači v řídicím centru pomocí příkazu „ping“ na všechny zařízení nacházející se v této síti.

Home > Advanced Settings > VLAN Help

VLAN Settings

VLAN: Port VLAN 802.1q VLAN

Port VLAN settings

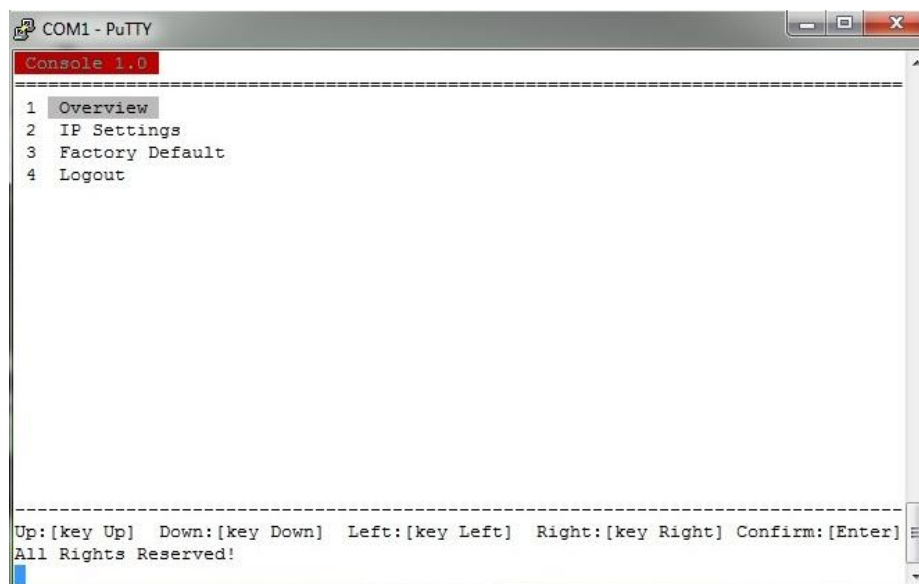
VLAN	Port	Enable
1	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input checked="" type="checkbox"/> P7 <input checked="" type="checkbox"/> P8 <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	P1 <input checked="" type="checkbox"/> P2 <input checked="" type="checkbox"/> P3 <input checked="" type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	P1 <input checked="" type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input checked="" type="checkbox"/> P5 <input checked="" type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/> P4 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> P6 <input type="checkbox"/> P7 <input type="checkbox"/> P8 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr. 6.16: Nastavení VLAN

Konfiguraci jsem si vyzkoušel pomocí příkazového řádku (Command Line Interface-CLI). Připojení bylo realizováno pomocí sériového kabelu zakončeného na obou stranách konektorem RS232. Ke spojení jsem použil program Putty. Přepínač komunikoval na stejných komunikačních parametrech jako přepínač Moxa:

- Baud Rate: 115200,
- Data Bits: 8,
- Parity: None,
- Stop Bits: 1,
- Terminal Type: VT100.

Přihlašovací jméno a heslo bylo admin. Konfigurační menu obsahovalo pouze 4 záložky (viz obr. 6.17).



Obr. 6.17: Konfigurační menu konzolového rozhraní

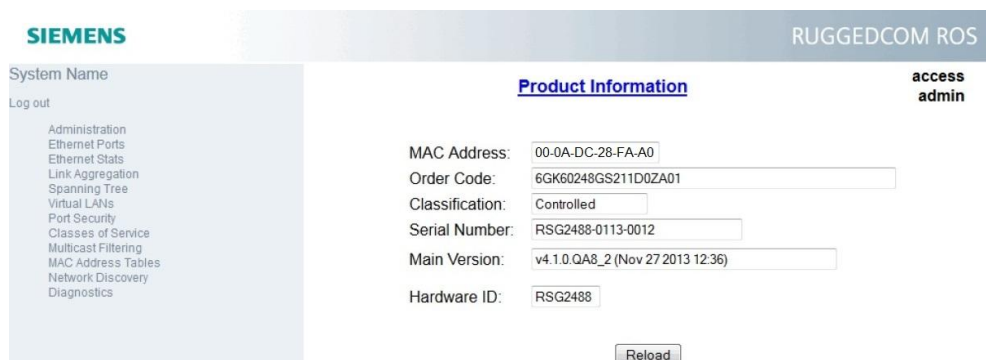
Jedná se o „Overview (Přehled)“, „IP Settings (IP nastavení)“, „Factory default (Tovární nastavení)“ a „Logout (Odhlášení)“. Tím pádem bylo možné konfigurovat pouze v záložce „IP Setting“ IP adresu a masku sítě. Tento přepínač je tedy odkázán výhradně na nastavování ve webovém prostředí. Zapojený přepínač B&B Electronics je zobrazen na obr. 6.18.



Obr. 6.18: Zapojený přepínač Moxa

6.2.3 Zapojení s přepínačem Ruggedcom i801

Nejdříve jsem přepínač konfiguroval pomocí webového rozhraní na defaultní IP adrese 192.168.0.1. Přihlašovací jméno a heslo bylo admin. Toto je zobrazeno na obr. 6.19.



Obr. 6.19: Konfigurační menu webového rozhraní Ruggedcom

V záložce „Administration“ jsem vybral „IP Interfaces“ a změnil jsem výchozí IP adresu na 192.168.127.253, tak abych dostal zařízení do stejné sítě jako ostatní zařízení. Dále jsem v záložce „Virtual LANs“ zvolil „Static VLANs“ a provedl jsem přiřazení zařízení podle portů do VLAN 2 a 3. Přiřazení jsem provedl stejným způsobem jako u předcházejících přepínačů (viz obr. 6.20).

<u>Static VLANs</u>					access admin
<u>InsertRecord</u>					
VID	VLAN Name	Forbidden Ports	IGMP	MSTI	
1	1	None	Off	0	
2	2	1-3	Off	0	
3	3	1, 4-5	Off	0	

Obr. 6.20: Nastavení VLAN

Stejným způsobem jako u předchozích zapojení jsem si funkčnost spojení celé sítě ověřil v příkazovém řádku na počítači v řídicím centru pomocí příkazu „ping“ na všechny zařízení nacházející se v této síti.

Nakonfigurovat přepínač jsem si vyzkoušel také pomocí příkazového řádku (Command Line Interface-CLI). Připojení bylo realizováno pomocí sériového kabelu zakončeného na jedné straně konektorem RS232 a na druhé konektorem RJ45. Ke spojení jsem použil program Putty. Přepínač komunikoval na výrobcem daných komunikačních parametrech:

- Baud Rate: 57600,
- Data Bits: 8,
- Parity: None,
- Stop Bits: 1,
- Terminal Type: VT100.

Přihlašovací jméno a heslo bylo stejné jako u webového rozhraní: admin. Konfigurační menu bylo shodné s webovým rozhraním (viz obr. 6.21).



Obr. 6.21: Konfigurační menu konzolového rozhraní

Stejně jako u přepínače značky Moxa bylo nastavení intuitivní, menu se ovládalo taktéž pomocí šipek na klávesnici. Konfiguraci jsem si vyzkoušel stejně jako u nastavení ve webovém rozhraní. Zapojený přepínač Ruggedcom je zobrazen na obr. 6.22.



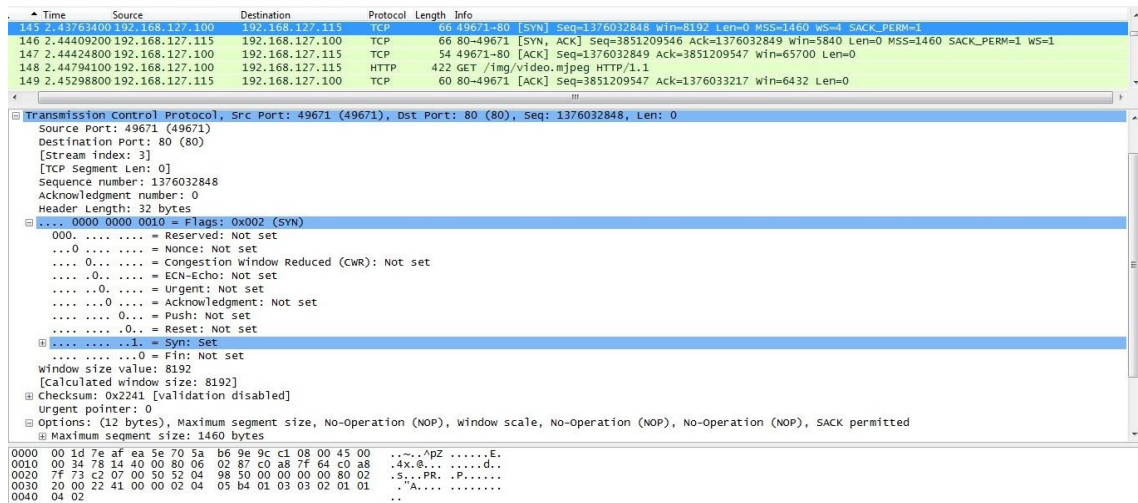
Obr. 6.22: Zapojený přepínač Moxa

6.2.4 Sledování komunikace mezi zařízeními

K monitorování komunikace mezi zařízeními jsem použil bezplatně dostupný program na sledování paketů Wireshark. Wireshark je přední světový síťový protokolový analyzátor navržený k tomu, aby prováděl zachytávání komunikace procházející skrze síťová rozhraní počítače. Ve Wiresharku jsem si nastavil různé filtry podle IP adres zařízení v síti, aby bylo možné komunikaci odfiltrout od ostatní. K naznačení průběhu komunikace jsem si zvolil zapojení s přepínačem Moxa. Dále jsem si ve Wiresharku vybral síťové rozhraní, které budu monitorovat a zapnul jsem zachytávání paketů. K monitorování jsem si vybral přenos videa mezi řídicím centrem a kamerou s IP adresou 192.168.127.115, která se nacházela ve VLAN 2. Pomocí webového prohlížeče jsem se přihlásil k této kameře a spustil jsem zobrazení videa. Po chvíli jsem spojení ukončil a vypnul jsem zachytávání paketů ve Wiresharku.

Po odfiltrování ostatní komunikace je vidět klasické trojcestné ověřování TCP typu handshake. Každá komunikace založená na protokolu TCP sestavuje spojení ve třech krocích (three-way handshake).

V prvním kroku odeslal počítač paket TCP cílovému zařízení (kameře). Tento paket obsahoval hlavičky nižších vrstev a v hlavičce TCP byl nastaven příznak SYN (viz obr. 6.23). Tento paket byl odeslán z adresy 192.168.127.100 a portu 49671 na adresu 192.168.127.115 a port 80. V hlavičce se také nacházelo počáteční pořadové číslo (Sequence number: 1376032848) a hodnota maximální velikosti segmentu (MSS), která se použije v další komunikaci.



Obr. 6.23: Počáteční paket SYN

Kamera na tento paket reagovala odesláním podobného paketu s příznaky SYN/ACK společně se svým počátečním pořadovým číslem (Sequence number: 3851209546) a číslem potvrzení (Acknowledgment number: 1376032849). Číslo potvrzení je o jednotku větší než pořadové číslo předchozího paketu. Toto je zobrazeno na obr. 6.24.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
145.2.43763400	192.168.127.100	192.168.127.115	TCP	66	80->49671 [SYN] Seq=1376032848 win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=4 SACK_PERM=1
146.2.44409200	192.168.127.115	192.168.127.100	TCP	66	80->49671 [SYN, ACK] Seq=3851209546 Ack=1376032849 win=5840 MSS=1460 SACK_PERM=1 WS=1
147.2.44424800	192.168.127.100	192.168.127.115	TCP	54	49671->80 [ACK] Seq=1376032849 Ack=3851209547 win=65700 Len=0
148.2.44794100	192.168.127.100	192.168.127.115	HTTP	422	GET /img/video.mjpeg HTTP/1.1
149.2.45298800	192.168.127.115	192.168.127.100	TCP	60	80->49671 [ACK] Seq=3851209547 Ack=1376033217 win=6432 Len=0

```

Transmission Control Protocol, Src Port: 80 (80), Dst Port: 49671 (49671), Seq: 3851209546, Ack: 1376032849, Len: 0
Source Port: 80 (80)
Destination Port: 49671 (49671)
[Stream Index: 3]
[TCP Segment Len: 0]
Sequence number: 3851209546
Acknowledgment number: 1376032849
Header Length: 32 bytes
... 0000 0001 0010 = Flags: 0x012 (SYN, ACK)
000. .... = Reserved: Not set
...0 .... = Nonce: Not set
... 0... = Congestion window Reduced (CWR): Not set
... .0. = ECN-Echo: Not set
... ..0. = Urgent: Not set
... ..1. = Acknowledgment: Set
... ..0. = Push: Not set
... ..0. = Reset: Not set
... ..1. = SYN: Set
... ..0. = FIN: Not set
window size value: 5840
[calculated window size: 5840]
Checksum: 0x7a8a [validation disabled]
urgent pointer: 0
Options: (12 bytes), Maximum segment size, No-operation (NOP), No-operation (NOP), No-operation (NOP), window scale
Maximum segment size: 1460 bytes
0000 70 5a b6 9e 9c c1 00 1d 7e af ea 5e 08 00 45 00  .PZ.....A.E.
0010 00 34 00 00 40 00 40 06 ba 9b c0 a8 7f 73 c0 a8  .4..@.....S.
0020 7f 64 00 50 c2 07 e5 8c cb 4a 52 04 98 51 80 12  .dP....JR..Q..
0030 16 d0 00 7a 8a 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02 01 03  .Z.....
0040 03 00
  
```

Obr. 6.24: Odpověď SYN/ACK

Počítač nakonec odeslal kameře poslední paket, kde byl nastaven příznak ACK (viz obr. 6.25). Tento paket obsahoval pořadové číslo (Sequence number: 1376032849), které bylo definováno v poli Acknowledgment number (Číslo potvrzení) předchozího paketu. Dokončením tohoto procesu jsou obě zařízení schopna zahájit správnou komunikaci.

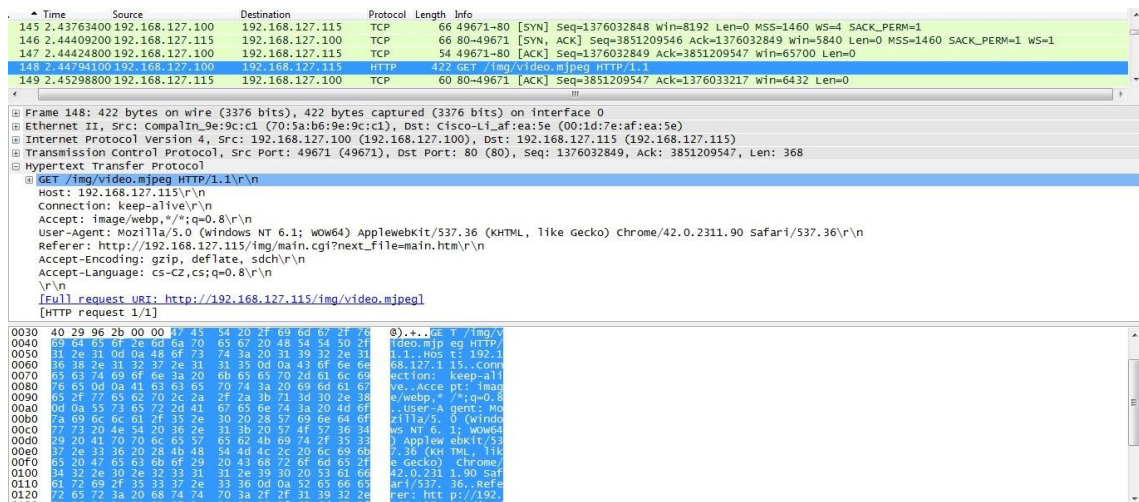
Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
145.2.43763400	192.168.127.100	192.168.127.115	TCP	66	80->49671 [SYN] Seq=1376032848 win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=4 SACK_PERM=1
146.2.44409200	192.168.127.115	192.168.127.100	TCP	66	80->49671 [SYN, ACK] Seq=3851209546 Ack=1376032849 win=5840 MSS=1460 SACK_PERM=1 WS=1
147.2.44424800	192.168.127.100	192.168.127.115	TCP	54	49671->80 [ACK] Seq=1376032849 Ack=3851209547 win=65700 Len=0
148.2.44794100	192.168.127.100	192.168.127.115	HTTP	422	GET /img/video.mjpeg HTTP/1.1
149.2.45298800	192.168.127.115	192.168.127.100	TCP	60	80->49671 [ACK] Seq=3851209547 Ack=1376033217 win=6432 Len=0

```

Transmission Control Protocol, Src Port: 49671 (49671), Dst Port: 80 (80), Seq: 1376032849, Ack: 3851209547, Len: 0
Source Port: 49671 (49671)
Destination Port: 80 (80)
[Stream Index: 3]
[TCP Segment Len: 0]
Sequence number: 1376032849
Acknowledgment number: 3851209547
Header Length: 20 bytes
... 0000 0001 0000 = Flags: 0x010 (ACK)
000. .... = Reserved: Not set
...0 .... = Nonce: Not set
... 0... = Congestion window Reduced (CWR): Not set
... .0. = ECN-Echo: Not set
... ..0. = Urgent: Not set
... ..1. = Acknowledgment: Set
... ..0. = Push: Not set
... ..0. = Reset: Not set
... ..0. = SYN: Not set
... ..0. = FIN: Not set
window size value: 16425
[calculated window size: 65700]
[window size scaling factor: 4]
checksum: 0x91fc [validation disabled]
urgent pointer: 0
[SEQ/ACK analysis]
0000 00 1d 7e af ea 5e 70 5a b6 9e 9c c1 08 00 45 00  .PZ.....A.E.
0010 00 28 78 15 40 00 80 06 02 92 c0 a8 7f 64 c0 a8  .(x@.....d.
0020 7f 73 c2 07 00 52 04 98 51 e5 8c cb 4b 50 10  .S...PR..Q...KP.
0030 40 29 91 fc 00 00
  
```

Obr. 6.25: Závěrečný paket ACK

První paket po navázání komunikace je odeslán klientem na server a je označen jako HTTP paket. Paket HTTP je doručen protokolem TCP na standardní port 80 serveru. Na obr. 6.26 můžeme vidět, že paket určuje svou metodu: GET, identifikátor URI: /img/video.mjpeg a verzi požadavku: HTTP/1.1. To znamená, že klient odesílá požadavek na stažení (GET) kořenového adresáře (/img/video.mjpeg) webového serveru pomocí verze 1.1 protokolu HTTP.



Obr. 6.26: Počáteční paket požadavku GET protokolu HTTP

Dále odešle klient webovému serveru informace o sobě. V těchto informacích se nachází například použitý prohlížeč, jazyky prohlížeče a údaje o souborech cookie. Server následně podle těchto informací zvolí, která data vrátí klientovi, aby byla zaručena kompatibilita.

Když server přijme požadavek GET protokolu HTTP, tak odpoví potvrzovacím paketem TCP ACK. V následujících paketech začne server odesílat požadovaná data. Data jsou odesílána ze serveru po dvou po sobě následujících paketech a další paket je potvrzení od klienta. Následující 2 pakety obsahují další data a následný paket funguje jako potvrzovací (viz obr. 6.27).

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
150	2.73566100	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
151	2.73597400	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
152	2.73604700	192.168.127.115	TCP	54	49671-80 [ACK] Seq=1376033217 Ack=3851212467 win=65700 Len=0
153	2.73701500	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
154	2.73718700	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
155	2.73725100	192.168.127.115	TCP	54	49671-80 [ACK] Seq=1376033217 Ack=3851215387 win=65700 Len=0
156	2.73743700	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
157	2.74224600	192.168.127.115	TCP	1514	[TCP segment of a reassembled PDU]
158	2.74239200	192.168.127.115	TCP	54	49671-80 [ACK] Seq=1376033217 Ack=3851218307 win=65700 Len=0

Obr. 6.27: Přenos dat pomocí protokolu TCP mezi řídicím počítačem a kamerou

Monitorování sítě jsem provedl u zapojení s přepínačem Moxa, B&B Electronics a Ruggedcom pro všechny zařízení, kde probíhal přenos dat. Tyto záznamy z Wiresharku jsou uloženy na příloženém CD.

7 ZHODNOCENÍ PRŮMYSLOVÝCH PŘEPÍNAČŮ

K zhodnocení přístrojů od různých společností jsem si vybral přepínače určené pro průmyslový Ethernet od výrobců B&B Electronics, Cisco, Moxa, N-Tron a Ruggedcom. Tyto výrobci jsou jedni z předních výrobců průmyslových komponentů. Kontaktoval jsem české zastoupení těchto výrobců s dotazem na zapůjčení některého z jejich výrobků. Společnost Siemens s.r.o. mi zapůjčila průmyslový přepínač Ruggedcom i801, společnost ELVAC a.s. přepínač Moxa EDS-408A a firma Papouch s.r.o. přepínač B&B Electronics ESW508. Zapojení s těmito průmyslovými přepínači je popsáno v podkapitole 6.2.

7.1 B&B Electronics ESW508-2MC

Jedná se o 8 portový Ethernetový přepínač s WEB managementem. Podporuje 802.3 10Base-T a 802.3u 100Base-TX. Poskytuje výkonné funkce v IP30 provedení s možností montáže na DIN lištu nebo na panel. Jsou navrženy pro průmyslové aplikace a jsou konstruovány s funkcemi jako je IGMP Snooping, Port Based VLAN, 802.1Q Tag VLAN, STP, RSTP, Web Based Management, Ingress Packet Filtering a Egress Rate Control. Tento přepínač zajišťuje spolehlivou komunikaci v průmyslovém prostředí. Systém poskytuje záložní systém pro komunikaci, který se nazývá Rapid Rescue and Recovery. Komunikace může být obnovena do 15 ms, pokud dojde k přerušení na fyzické vrstvě [5][6].

7.1.1 Specifikace

- Splňuje průmyslový design 61000-6-1 specifications
- Testy na otřesy a vibrace
- Provozní teplota -10 až 60 ° C
- SC multimode porty
- Rapid Spanning Tree Protocol pro obnovení systému
- IGMP with Query mode pro multimediální aplikace
- Port based VLAN / 802.1 Q Tag VLAN
- Relé alarm výstup pro systémové události
- Port zrcadlení pro diagnostiku
- Napájecí vstupy 12V - 36VDC
- 100% test na hoření
- Redundant ring technologie pro ultra-rychlé zotavení

- Poplachové výstupy pomohou detekovat a hlásit chyby na síti dříve než nastanou vážné problémy
- Dvojité napájení zajistí kontinuální napájení a aplikace běží non-stop
- IP30 provedení určené na DIN lištu nebo na panel je ideální pro průmyslové aplikace a nebezpečná prostředí



Obr. 7.1: B&B Electronics ESW508-2MC [5]

7.2 Cisco IE-2000-8TC-L

Tento přepínač poskytuje snadné použití, bezpečný přístup a špičkovou konvergenci pomocí Cisco Resilient Ethernet Protocol (REP). Řada odvětví jako je automobilový průmysl, olejové a plynářské společnosti, důlní průmysl, doprava a energetické společnosti vyžadují IP sítě vytvořené přímo v jejich produkčních oblastech. Tato řada produktů je určena k připojení k přístupové vrstvě a pro uspokojení rostoucí potřeby v zabezpečení, hlasovém a video provozu přes průmyslové sítě [2].

7.2.1 Specifikace

- 8x10/100Base-T Ethernet porty s pevnou konfigurací a s kompaktním provedením,
- 2x Gigabit Combo porty, SFP (100 MB a 1G) nebo RJ45 uplink,
- Dual-input DC napájení, alarm relé, montáž na DIN lištu,
- Vyměnitelná SD flash karta (pro ukládání konfigurace), konektor mini-USB a port RS-232,
- Průmyslové dodržování ochrany životního prostředí a certifikace,
- Průmyslové aplikace: Ethernet / IP a PROFINET.

Primární aplikace a funkce

- **Snadné zavedení:** Zero-touch objeveno pomocí DHCP, expresní nastavení, rychlý čas startu (<60 sec) pomáhající přechodu na Ethernetové prostředí bez odporu,
- **Zabezpečení:** Dot1x, bezpečnostní port, DHCP umožňuje dynamické port-base ověřování, Secure Shell (SSHv2), SNMP v3 poskytuje šifrování správce provozu během Telnet a SNMP zasedání, TACACS + a RADIUS autentizace usnadňuje centralizované řízení a omezení přístupu neoprávněných uživatelů,
- **Odolnost:** Flex odkazy pro rychlou obnovu, Cisco REP protokol pro rychlé konvergence,
- **Správa:** Auto SmartPort, Web správce zařízení, Telnet, HTTPS přístup, SNMP, CNA a CiscoWorks LAN Management Solution (LMS),
- **Průmyslové automatizační protokoly:** Podpora pro Common Industrial Protocol (CIP) a PROFINET v2 umožňující integraci se stávající platformou pro správu od společnosti Rockwell a Siemens.

Výkon a škálovatelnost přepínače

- Rychlost linky / neblokované porty,
- Rychlost předávání: 6.5 Mbps s 64 bajty paketů,
- Egress vyrovnávací paměť: 2MB,
- Unicast MAC adresy: 8000,
- Multicast skupiny IGMP: 255,
- Max VLAN: 255,
- IPv4 Mac bezpečnostní ACEs: 384.



Obr. 7.2: Cisco IE-2000-8TC-L [2]

7.3 Moxa EDS-408A-MM-SC

Jedná se o 8 portový konfigurovatelný Ethernet přepínač určený především pro průmyslové aplikace. Přepínač podporuje celou řadu užitečných funkcí pro správu jako je Turbo Ring, Turbo Chain, ring coupling, IGMP Snooping, IEEE 802.1Q VLAN, Port-based VLAN, QoS, RMON, řízení šířky pásma, zrcadlení portů a upozornění e-mailem nebo relém. Použití Turbo Ring lze nastavit jednoduše pomocí webového rozhraní nebo pomocí DIP přepínače umístěného na horním panelu přepínače [4].

7.3.1 Specifikace

- Command Line Interface (CLI) pro rychlou konfiguraci hlavních funkcí,
- DHCP Option 82 pro přiřazení IP adres s různými politikami,
- Podpora EtherNet/IP, Modbus/TCP a PROFINET – protokoly pro řízení a monitorování zařízení,
- Ethernet/IP EDS (Electronic Data Sheet) soubor, vlastní AOI (Add-On Instructions) a FactoryTalk k dispozici na čelní straně panelu,
- Turbo Ring a Turbo Chain (doba zotavení <20 ms) a RSTP/STP pro síťovou redundanci,
- IGMP Snooping a GMRP pro filtrování multicastového provozu,
- Port-based VLAN, IEEE 802.1Q VLAN a GVRP usnadňující plánování sítě,
- QoS (IEEE 802.1p a TOS / DiffServ) ke zvýšení determinismu,
- RMON pro efektivní monitorování sítě a proaktivní schopnosti,
- SNMP v1/v2c/v3 pro různé úrovně zabezpečení,
- Řízení šířky pásma, aby se zabránilo nepředvídatelné stavu sítě,
- Port zrcadlení pro on-line ladění.



Obr. 7.3: Moxa EDS-408A-MM-SC [4]

7.4 N-Tron 708FX2

N-TRON 708FX2 je průmyslový Ethernetový přepínač, který kombinuje vynikající výkon a snadné použití. Plně řízený přepínač je ideální pro připojení Ethernetového rozhraní k průmyslovému zařízení [7].

7.4.1 Specifikace

- 6x10/100BaseTX porty RJ-45,
- 2x100BaseFX pro připojení optiky,
- Provozní teplota -40 °C až 85 °C,
- ESD a ochrana proti přepětí diody na všech portech,
- Auto Sensing 10/100BaseTX, Duplex a MDIX,
- Store-and-Forward Technology,
- Možnost umístění na DIN lištu,
- Redundantní napájecí vstupy (10-30 VDC),
- Konfigurovatelný Alarm kontakt,
- Konfigurovatelný status chyby Bi-Color LED.

Řízené funkce:

- Plné SNMP a řízení Web prohlížečem,
- Podrobná mapa Ring a mapování místa chyb,
- N-Ring™ technologie s ~ 30ms zotavení,
- N-View™ OPC monitorování,
- Plug-and-Play IGMP podpora,
- 802.1Q VLAN tag a Port VLAN,
- 802.1p QoS a Port QoS,
- EtherNet / IP™ CIP zprávy,
- LLDP (Link Layer Discovery Protocol),
- Trunking,
- Zrcadlení,
- 802.1D, 802.1w, 802.1D RSTP,
- DHCP Server Option 82 relay, Option 61, IP Fallback,
- Port Security-MAC Address Based.



Obr. 7.4: N-Tron 708FX2 [7]

7.5 Ruggedcom i801

Tento Ethernetový přepínač je kompaktní a plně řízený. Je navržen tak, aby mohl spolehlivě fungovat v náročném průmyslovém prostředí. S devíti Ethernetovými porty je ideální volbou pro širokou škálu náročných prostředí, jako je řízení procesů aplikací (ropy, zemního plynu, kovů, těžby a větrných elektráren). Obal přepínače je kompaktní hliníkový odlitek s možností montáže na DIN lištu nebo na panel. Duální 24VDC napájení zvyšuje spolehlivost v případě primárních poruch napájení. Tento přepínač poskytuje vysokou úroveň odolnosti proti rušení a elektrickému přepětí typickému v průmyslových prostředích. Rozsah provozních teplot je -20 až $+60$ °C a tak je možné přepínač umístit téměř v libovolném místě [9].

7.5.1 Specifikace

- 8x10/100TX + 1x1000LX,
- Průmyslový standard LC fiber - optický konektor,
- Víceúrovňová uživatelská hesla,
- Autentizace SNMPv3 a 56-bitové šifrování,
- Duální nízko napěťové DC vstupy: 24 VDC (10-36 VDC),
- Provozní teplota -20 až $+60$ °C,
- VLAN (802.1Q) s dvojitým značkováním a podporou GVRP agregace,
- RSTP (802.1w) a Enhanced Rapid Spanning Tree (eRSTP) s dobou zotavení (<5 ms),
- Kvalita služeb (802.1p) pro real-time provoz,
- IGMP snooping pro filtrování multicastu,
- Jednoduché plug and play operace - automatické učení, vyjednávání a detekce křížení,
- Port konfigurace, statusu, statistiky, zrcadlení a bezpečnosti,
- MSTP (802.1Q-2005, dříve 802.1s),

- Port omezující rychlost a broadcast storm omezení,
- Webové rozhraní, Telnet, CLI řízení,
- SNMP v1/v2/v3 (56-bitové šifrování),
- Vzdálený monitoring (RMON).



Obr. 7.5: Ruggedcom i801 [9]

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo prostudovat možnosti integrace různých služeb v síti Ethernet, navrhnout konkrétní průmyslovou síť včetně řešení integrace více nesourodých služeb pomocí VLAN a zhodnotit konkrétní produkty výrobců aktivních prvků.

V první kapitole této práce jsem uvedl, jak se navrhuje počítačová síť, jaká je architektura sítě a jak funguje přepínač. V následující kapitole je popsáno fyzické provedení ostatních komponent Ethernetu, jako jsou konektory a kabely u kterých je uvedena třída odolnosti, metalické kabely a optické kabely. Jako další kapitola je Ethernet s vlastnostmi systému reálného času, kde je uvedeno, jak funguje přepínání, co to je vysokorychlostní Ethernet a jak je použit plný duplex. V kapitole 4 jsou popsány standardy používané v průmyslovém Ethernetu. Jedná se o 10 variant, které se používají v průmyslovém Ethernetu. Jsou to standardy EPA, EtherCAT, EtherNet/IP, Ethernet Powerlink, Modbus-RTS, P-net on IP, Profinet, SERCOS III, TCnet, Vnet/IP a další standardy na bázi systému Ethernet IP, které vyvinuly další společnosti a tato řešení jsou nazývána proprietární. VLAN neboli virtuální síť je popsána v kapitole 5. Je zde uvedeno proč VLAN vznikla, jaké jsou praktické výhody použití, jak se zařazuje komunikace do VLAN – nejpoužívanější zařazení je podle portu, jak funguje komunikace v rámci VLAN na jednom a více přepínačích a jak probíhá značkování rámců.

Jako další je popsán návrh průmyslové sítě. K návrhu této sítě jsem zvolil program od společnosti Cisco, který se nazývá Cisco Packet Tracer. Jedná se o výkonný síťový simulační program, který umožňuje experimentovat s chováním sítě, nahrazuje fyzická zařízení, umožňuje vytvářet síť s téměř neomezeným počtem zařízení a komunikaci mezi zařízeními lze testovat. Jako průmyslovou síť jsem si vybral ropné potrubí v rafinérii. Nejdříve jsem sestavil topologii se 4 přepínači, které jsem propojil pomocí optického kabelu. K přepínači SW1 jsem připojil počítač simulující řídicí centrum a k ostatním přepínačům jsou připojeny pomocí křížené kroucené dvojlinky další přepínače, ke kterým jsou připojena koncová zařízení simulující teploměry, tlakoměry a ventily. Do těchto přepínačů jsem ještě zapojil tiskárny, IP telefony a laptopy a tím jsem do sítě integroval nesourodé prvky. Všech zařízení jsem nakonfiguroval IP adresy, masky sítě a na přepínačích jsem vytvořil VLAN 10 až VLAN 60. Podle portu jsem přiřadil tyto zařízení do příslušných VLAN. Dále jsem nastavil na všech přepínačích trunk mode, aby zůstala komunikace ve správné VLAN. Jako poslední jsem otestoval pomocí příkazu „ping“ v příkazovém řádku v řídicím centru, jestli funguje odezva mezi tímto centrem a některým z prvků, který simuluje tlakoměr a integrovaný prvek, který zastupuje tiskárna. Test proběhl bez problému s velmi dobrou časovou odezvou. Navrhnutá průmyslová síť v Cisco Packet Traceru je zobrazena v příloze B.

Dále jsem popsal zapojení s reálnými přístroji. Společnost Siemens s.r.o. mi zapůjčila průmyslový přepínač Ruggedcom i801, společnost ELVAC a.s. přepínač Moxa EDS-408A a firma Papouch s.r.o. přepínač B&B Electronics ESW508. Je zde popsáno sestavení průmyslové sítě, přidělené IP adresy, masky sítě a rozdělení do virtuálních sítí. Následně jsem konfiguroval jednotlivé přepínače pomocí webového rozhraní a příkazového řádku. Po kompletní konfiguraci sítě jsem provedl sledování

komunikace mezi zařízeními. K monitorování sítě jsem použil bezplatně dostupný program na sledování paketů Wireshark. Ke sledování paketů jsem si vybral komunikaci mezi počítačem a kamerou. Po odfiltrování ostatní komunikace bylo vidět typické sestavení komunikace TCP pomocí SYN, SYN/ACK a ACK. Jako první paket po navázání komunikace TCP byl odeslán HTTP paket s metodou GET. Po přijmutí požadavku GET odpověděl server potvrzovacím paketem ACK. V následujících paketech probíhalo odesílání dat, kdy data jsou odesílána ze serveru po dvou po sobě následujících paketech a další paket je potvrzení od klienta. Následující 2 pakety obsahují další data a následný paket funguje jako potvrzovací. Toto monitorování sítě jsem provedl u zapojení s přepínačem Moxa, B&B Electronics a Ruggedcom pro všechny zařízení, kde probíhal přenos dat. Tyto záznamy z Wiresharku jsou uloženy na příloženém CD.

K zhodnocení průmyslových prvků jsem si vybral přepínače od výrobců B&B Electronics, Cisco, Moxa, N-Tron a Ruggedcom. U každého přepínače jsem uvedl jeho hlavní vlastnosti a parametry. Po prostudování všech technických materiálů k přepínačům jsem vytvořil tabulku s hlavními parametry. Uvedl jsem kolik a jaké typy portů přepínač obsahuje, jaké verze SNMP protokolu podporuje, jestli podporuje VLAN, Spanning Tree protokol, jaký je čas zotavení, počet míst pro MAC adresy, velikost vyrovnávací paměti, pracovní teplotu, rozměry, hmotnost a cenu.

Cenově nejlépe vychází přepínač Ruggedcom i801, ale obsahuje pouze jeden port pro připojení optiky a tudíž pro některá zapojení nemusí být vhodný. Přepínače B&B Electronics typ ESW508-2MC obsahuje celkově 8 portů, ale všechny jsou určeny pro připojení metalického kabelu, tudíž není možné k tomuto přepínači připojit optický kabel. Přepínač Cisco má jako jediný 10 portů (8 portů RJ45 a 2 porty pro optiku) a má velice dobré parametry avšak jeho cena je ze všech nejvyšší. Přepínač N-Tron je na tom podobně jako přepínač Cisco. V mém případě, kdy jsem měl zapůjčené přepínače Moxa, Ruggedcom a B&B Electronics se mi nejlépe pracovalo s přepínačem Moxa, který měl velice intuitivní nastavení jak ve webovém rozhraní, tak i v příkazovém řádku. Obsahuje celkově 8 portů (6 portů RJ45 a 2 porty pro optiku), podporuje všechny verze protokolu SNMP, nastavení VLAN, čas zotavení je <20ms a cenově vychází ve srovnání s ostatními průměrně.

V případě zapojení, tak jak jsem sestavil síť v kapitole 6 je tento přepínač vhodný, protože má funkci Spanning Tree protokolu, který zabraňuje broadcasting floatu a podporuje VLAN. Nakonec jsem sestavil tabulku s parametry přepínačů, která je v příloze A.

Tato práce má potenciál v otestování zapojení sítě pomocí optického kabelu s více aktivními prvky, které se používají v technologických procesech průmyslových podniků. Případně možnost monitorování sítě přímo v nějaké průmyslové společnosti. Dále také zapojení sítě s možností bezdrátového přenosu obrazu z kamery mezi přepínačem a kamerou, kde není možné použít spojení kabelem.

LITERATURA

- [1] BOUŠKA, Petr. SAMURAJ-CZ: VLAN - Virtual Local Area Network. [online]. [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/vlan-virtual-local-area-network/>
- [2] Cisco. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/industrial-ethernet-2000-series-switches/datasheet-c78-730729.html>
- [3] DOSTÁLEK, Libor a Alena KABELOVÁ. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 426 s. ISBN 80-722-6323-4.
- [4] Elvac Group. [online]. [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: http://www.elvac.eu/files/shop/moxa/datasheet/EDS-408A_405A_2007.pdf
- [5] Papouch. [online]. [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <http://www.papouch.com/cz/shop/product/esw508-prumyslovy-managed-switch-8p/>
- [6] Průmyslové switche. [online]. [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://prumysloveswitche.cz/produkty/pdf/switche-elinx-esw500-serie-ds.pdf>
- [7] Redlion: Connect. Monitor. Control. [online]. [cit. 2014-10-25]. Dostupné z: http://files.redlion.net/filedepot_download/138/3442
- [8] SANDERS, Chris. *Analýza sítí a řešení problémů v programu Wireshark*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2012, 288 s. ISBN 978-80-251-3718-5.
- [9] Siemens. [online]. [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/rugged-communication/products/Documents/Datasheets/i801-datasheet.pdf>
- [10] SOSINSKY, Barrie A. *Mistrovství – počítačové sítě*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010, 840 s. Mistrovství (Computer Press). ISBN 978-80-251-3363-7.
- [11] TRULOVE, James. *Sítě LAN: hardware, instalace a zapojení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.
- [12] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet III: Fyzické provedení sítě Ethernet. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2007, roč. 13, č. 6, s. 40-44.
- [13] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2007, roč. 13, č. 10, s. 57-60.
- [14] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VII: Přehled současných standardů. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2008, roč. 14, č. 2, s. 26-29.

SEZNAM ZKRATEK

CIP	Control and Information Protocol
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DOMA	Deterministic Ordered Multiple Access
EPA	Ethernet for Plant Automation
ETG	EtherCAT Technology Group
FRNC	Flame Retardant, Non Corrosive
HCS	Hard Clad Silica
IEC	International Electrotechnical Commission
IGMP	Internet Group Management Protokol
ODVA	Open DeviceNet Vendors Association
POF	Polymer Optical Fiber
QoS	Quality of Service
RMON	Remote Monitoring
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
SI-POF	Step-Index Polymer Optical Fiber
SCNM	Slot Communication Network Management
STP	Spanning Tree Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UTP	Unshielded Twisted Pair
UDP	User Datagram Protocol

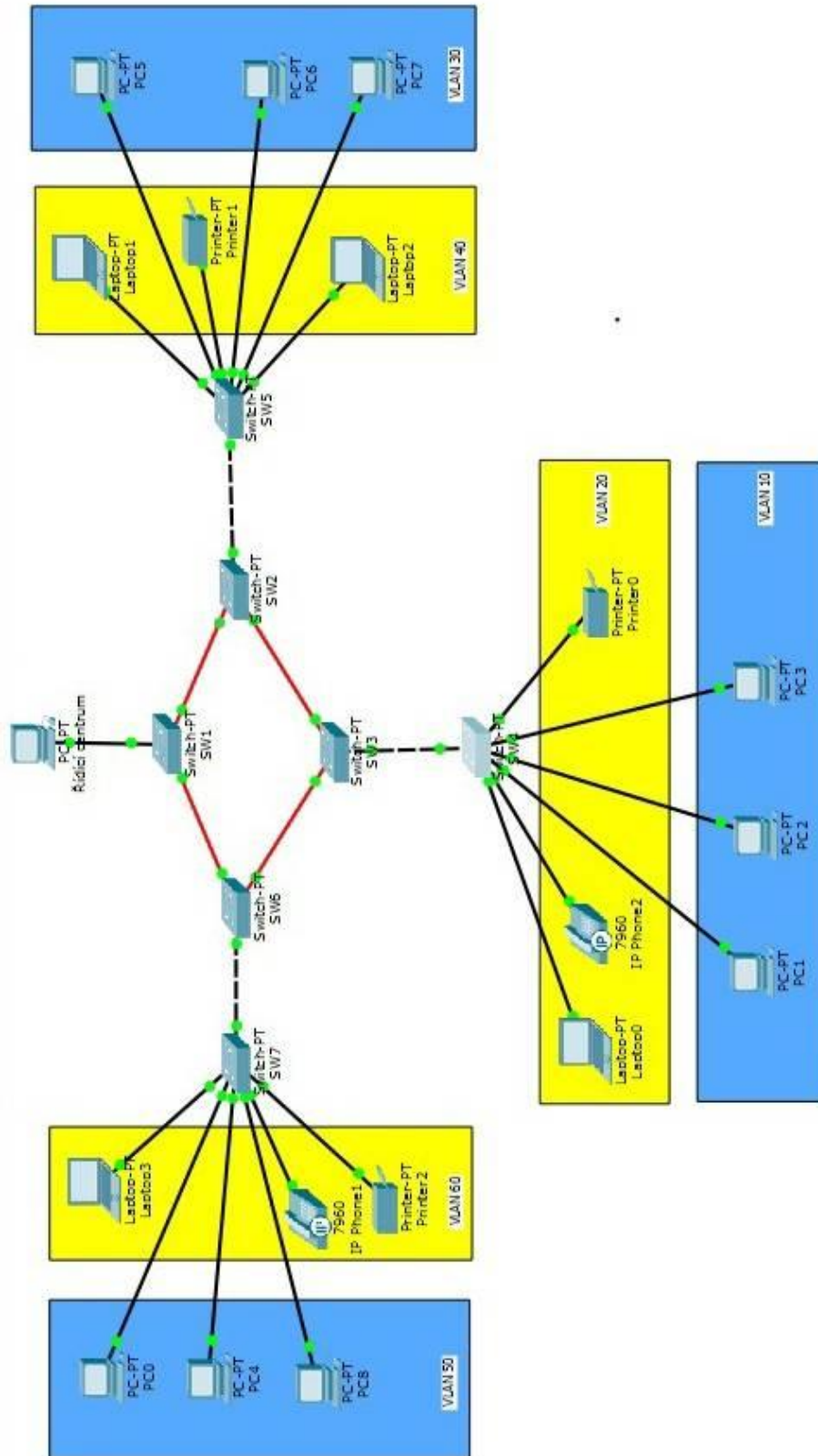
SEZNAM PŘÍLOH

A	TABULKA ZHODNOCENÍ PŘEPÍNAČŮ	49
B	ZAPOJENÍ POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU	50
C	PŘILOŽENÉ CD	51

A TABULKA ZHODNOCENÍ PŘEPÍNAČŮ

	Počet portů	Počet portů (10/100Base)	Počet portů pro optiku	SNMP	Port based VLAN	Podpora RSTP	Čas zotavení	Počet míst pro MAC adresy	Vyrovnávací paměť	Pracovní teplota	Rozměry (mm)	Hmotnost (kg)	Cena
B&B ESW508- 2MC	8	8x(10/100 BaseT)	-	v1/v2/v3	Ano	Ano	15ms	8000	2 Mbit	-10 až 60°C	138,8x49,5 x112	1,0	12 221,-
Cisco IE-2000- 8TC-L	10	8x(10/100 BaseT)	2x(100 BaseFX)	v3	Ano	Ano	11ms	8000	2 Mbit	-40 až 70°C	127x88,9 x114,6	1,25	22 097,- (984,7\$)
Moxa EDS-408A- MM-SC	8	6x(10/100 BaseT)	2x(100 BaseFX)	v1/v2/v3	Ano	Ano	<20ms	8000	1Mbit	0 až 60°C	135x53,6 x105	0,65	17 290,-
N-Tron 708FX2	8	6x(10/100 BaseTX)	2x(100 BaseFX)	-	Ano	Ano	~30ms	8000	-	-40 až 85°C	153x58x96	0,75	19 074,- (850\$)
Ruggedcom i801	9	8x(10/100 BaseTX)	1x(1000 BaseLX)	v1/v2c/v3	Ano	Ano	<5ms	-	8 Mbit	-20 až 60°C	114x51x89	1,0	11 932,- (432EUR)

B ZAPOJENÍ POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU



C PŘILOŽENÉ CD

Přiložené CD obsahuje elektronickou verzi práce, soubory se záznamy komunikace mezi zařízeními z programu Wireshark a instalační program Wireshark 1.12.4 pro Windows. Záznamy jsou rozděleny do souborů podle použitého přepínače.