

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Analýza možností využití Ethernetu v průmyslu

Marek Zima

Bakalářská práce
2015

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 11. 5. 2015

Marek Zima

Poděkování

Na tomto místě bych moc rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Josefu Horálkovi, Ph. D. za cenné rady a vstřícný přístup. Dále děkuji mé rodině za trpělivost a podporu při studiu.

Anotace

Cílem práce je představit možnosti využití průmyslového Ethernetu a jeho porovnání s klasickým Ethernetem. Autor představí principy průmyslového Ethernetu a nejvyužívanějších protokolů. Autor provede srovnání s klasickým Ethernetem a poukáže na zásadní rozdíly obou pojetí technologií. Autor navrhne možnosti využití průmyslového Ethernetu a parametry pro jeho nasazení.

Klíčová slova

Průmysl, Ethernet, automatizace.

Title

Analysis of possible usage of Ethernet in industry

Annotation

The goal of thesis is to introduce a possibilities of using industrial Ethernet and its comparison with classical Ethernet. Author introduces the principles of industrial Ethernet and most used protocols. Author performs a comparison with classical Ethernet and points out on fundamental differences between both technology concepts. The author will propose a possible use of industrial Ethernet and parameters for its deployment.

Keywords

Industry, Ethernet, automation.

Obsah

Seznam zkratk.....	9
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	10
Úvod.....	11
1 Historie a vývoj.....	12
1.1 Začátky Ethernetu v průmyslu.....	12
1.2 Rozdíl mezi klasickým a průmyslovým Ethernetem.....	12
2 Principy průmyslového Ethernetu.....	13
2.1 Determinismus.....	13
2.2 Ethernet s požadavky pro průmysl.....	13
2.2.1 Přepínání.....	14
2.2.2 Vysoká rychlost Ethernetu.....	14
2.2.3 Plný duplex.....	14
2.2.4 UDP místo TCP.....	14
2.2.5 Metody přenosu.....	14
2.2.6 Prioritní sloty.....	16
2.2.7 Segmentace sítě na deterministické a ostatní části.....	16
2.2.8 Synchronizace.....	16
3 Referenční model ISO/OSI.....	17
3.1 Fyzická vrstva.....	17
3.2 Spojová vrstva.....	18
3.2.1 Podvrstvy spojové vrstvy.....	18
3.3 Síťová vrstva.....	18
3.4 Transportní vrstva.....	18
3.5 Relační vrstva.....	19
3.6 Prezentační vrstva.....	19
3.7 Aplikační vrstva.....	19
4 Topologie.....	20
4.1 Sběrnice (bus).....	20
4.2 Hvězda (star).....	21
4.3 Kruh (ring).....	21
4.4 Smíšená topologie (mesh).....	22
5 Přehled současných nepoužívanějších standardů.....	23
5.1 PROFINET.....	24
5.1.1 Varianty.....	24

5.1.2	Komunikační model	25
5.2	EtherNet/IP	26
5.2.1	CIP	26
5.2.2	Komunikace	27
5.3	EtherCAT	28
5.3.1	Princip	28
5.4	Modbus TCP/IP	28
5.4.1	Princip	29
5.5	PowerLink	30
5.5.1	Princip	30
5.6	Sercos III	31
5.7	Ostatní protokoly	32
6	Nasazení	33
6.1	Pyramidový model	33
6.2	Typy reálných systémů	34
6.2.1	Hard real-time	34
6.2.2	Soft real-time	34
6.3	Porovnání protokolů	35
7	Závěr	37
8	Literatura	38

Seznam zkratek

ADU	Application Data Unit
CIP	Common Industrial Protocol
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
FTP	File Transfer Protocol
HRT	Hard Real Time
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPC	Industrial Personal Computer
IPX	Internetwork Packet eXchange
IRT	Isochronous Real Time
ISO	International Organization for Standardization
ITP	Industrial Twisted Pair
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
MAC	Media Access Control
MES	Manufacturing Execution System
NTP	Network Time Protocol
OSI	Open Systems Interconnection
PAC	Programmable Automation Controller
PDU	Protocol Data Unit
PLC	Programmable Logic Controller
PTP	Precision Time Protocol
RT	Real Time
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNTP	Simple Network Time Protocol
SRT	Soft Real Time
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Včasnost (vlevo) a současnost (vpravo).....	13
Obrázek 2 – Publisher-subscriber	14
Obrázek 3 – Klient-server.....	15
Obrázek 4 – Příklad segmentace sítě [2]	16
Obrázek 5 – Referenční model ISO/OSI [4]	17
Obrázek 6 – Formát rámce v síti Ethernet [4]	17
Obrázek 7 – Topologie sběrnice	20
Obrázek 8 – Topologie hvězda	21
Obrázek 9 – Topologie kruh	21
Obrázek 10 – Full mesh (vlevo), hybrid mesh (vpravo).....	22
Obrázek 11 – Využití průmyslových standardů za rok 2015 podle HSM [10].....	23
Obrázek 12 – PROFINET CBA a I/O [12].....	25
Obrázek 13 – Model PROFINET	25
Obrázek 14 – Model EtherNet/IP	26
Obrázek 15 – Metoda producent-konzument [13].....	27
Obrázek 16 – Model EtherCAT	28
Obrázek 17 – Různé příklady protokolu Modbus	29
Obrázek 18 – PDU protokolu Modbus TCP/IP [17]	29
Obrázek 19 – Cyklus protokolu PowerLink [19]	30
Obrázek 20 – Struktura rámce Sercos III	31
Obrázek 21 – Pyramidový model	33

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Porovnání protokolů [21] [25].....	35
--	----

Úvod

Od představení technologie Ethernet uplynulo již přes 35 let. Během pár let se stal nejrozšířenějším standardem pro propojování počítačů. Rozšířil se natolik, že se dnes Ethernetem propojují nejen počítače, ale také tiskárny, úložiště dat, IP telefony a další elektronická zařízení.

Tato popularita vznikla především díky své jednoduchosti, výbornému poměru ceny a výkonu, a také díky svému nedeterminismu. Průmyslové organizace ale potřebovali též standard pro propojení automatizovaných zařízení, který disponuje výbornými vlastnostmi, jako má Ethernet. Jeho nedeterminismus byl ale v automatizaci velice nežádoucí, protože většina přístrojů a robotů pracuje v reálném čase. Ethernet je ale snadno modifikovatelný. Pokud se tedy zvolila správná topologie a dostatečně se upravily jednotlivé vrstvy modelu ISO/OSI, dokázal být Ethernet značně lepší technologií než původní průmyslové sběrnice.

V této bakalářské práci budou nejdříve krátce vysvětleny historické začátky Ethernetu a bude též zmíněn průběh, jak se postupně zaváděl Ethernet do automatizace.

V druhé kapitole budou objasněny základní principy průmyslového Ethernetu, na kterých bude vysvětleno, jakými způsoby může být Ethernet vhodný pro průmyslová zařízení. Podrobněji bude pohlédnuto na různé metody přenosu.

Třetí kapitola se bude zabývat o model ISO/OSI, u kterého budou popsány všechny jeho vrstvy.

Jako další budou představeny různé síťové topologie, jejichž volba je neméně důležitá při zapojování nové sítě.

V předposlední části vás tato práce seznámí s aktuálně nejpoužívanějšími protokoly pro průmyslový Ethernet, kde budou popsány principy vybraných standardů.

Nakonec bude probráno téma nasazení průmyslového Ethernetu do průmyslu, kde bude popsána tzv. automatizační pyramida, typy reálných systémů a nakonec stručné srovnání jednotlivých protokolů.

1 Historie a vývoj

Na počátku 70. let 20. století vznikla potřeba vzájemně propojit dva a více počítačů najednou. Toho se jako první ujali Robert Metcalfe a David Boggs z firmy Xerox. První varianta Ethernetu dokázala přenášet data rychlostí 3 Mb/s a dokázala propojit až sto účastníků do vzdálenosti jednoho kilometru. Od roku 1979 začala standardizace Ethernetu a o rok později již byl Ethernet známý jako tzv. „DIX-Ethernet“. Zkratka DIX byla vytvořena počátečními písmeny firem, které se podílely na standardizaci a to jsou Digital Equipment Corporation, Intel a Xerox. Roku 1983 byl Ethernet mezinárodně standardizován jako IEEE 802.3 a poté i jako ISO 8802.3.

Postupem času se přenosové rychlosti zvyšovaly. Nejdříve byl vyvinut tlustý koaxiální kabel, který dosahoval rychlosti 10 Mb/s na sběrnicové topologii. Roku 1985 byl vyzkoumán Fast Ethernet, který měl přenosovou rychlost 100 Mb/s a pro jeho přenos se používá klasická kroucená dvojlinka případně i optické kabely. O další tři roky později byl vyvinut Gigabit Ethernet, který měl rychlost již 1 Gb/s. V současné době je Ethernet velice populárním a významným fyzickým prostředkem a bude jím i v budoucnosti. [1]

1.1 Začátky Ethernetu v průmyslu

Mezi první využití Ethernetu v průmyslu patří síť Sinec H1, která byla roku 1985 představena firmou Siemens. Tato síť měla za úkol propojit programovatelné automaty řady Simatic S5. Sinec H1 využíval dobře stíněný koaxiální kabel na topologii typu sběrnice. Firma Eckard využila Ethernet obdobně ve svém systému PLS 80E v roli systémové sběrnice. Do roku 2002-2003 se používaly jako základní komunikační prostředky průmyslové sběrnice (fieldbus, Device Bus, Sensor/Actuator Bus) z důvodu bezpečnosti přenosu a práce v reálném čase, což Ethernet nespĺňoval. Ethernet se začal využívat až s příchodem konektoru RJ-45 a mnohem flexibilnější techniky 10Base-T, která využívala telefonní kabel pro přenos 10Mb/s. Tyto technologie stále zatím nahrazovali pouze strukturované kabeláže v budovách a kancelářích. Do průmyslu se Ethernet zapojil až s produkty, které byly označovány jako ITP. [1]

1.2 Rozdíl mezi klasickým a průmyslovým Ethernetem

Základní rozdíl mezi klasickým a průmyslovým Ethernetem je, že průmyslový Ethernet se zaměřuje na propojení a bezpečnou komunikaci mezi automatizačními systémy při práci v reálném čase. Klasický Ethernet s protokolem TCP/IP, který je využíván v obyčejných sítích například pro připojení k internetu, bohužel nespĺňuje deterministické požadavky pro systém pracující v reálném čase. Tyto požadavky jsou uvedeny v následující kapitole.

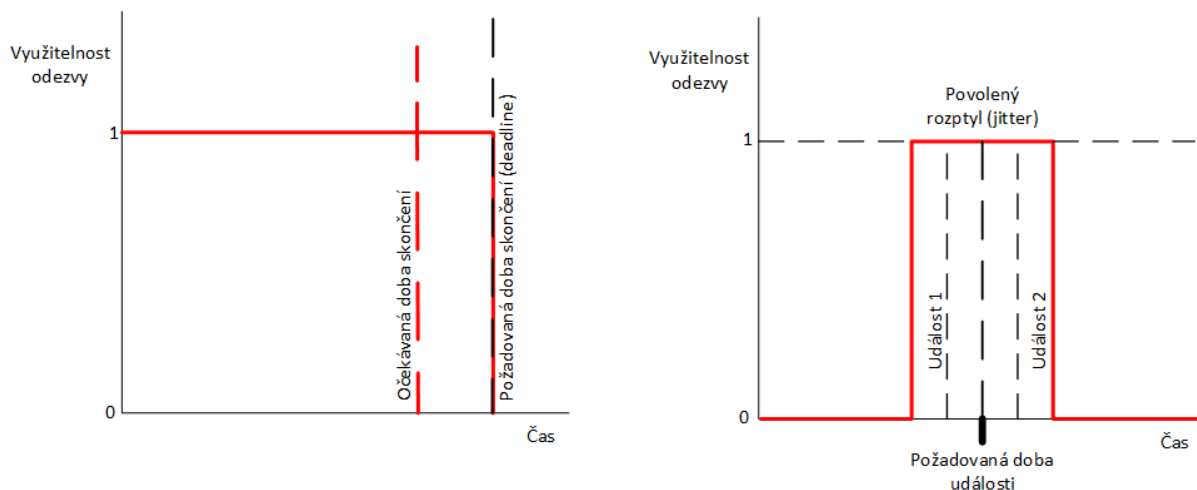
2 Principy průmyslového Ethernetu

Jak již bylo uvedeno, průmyslový Ethernet vznikl ze standardu IEEE 802.3. Tato technologie a konkrétně její přístupová metoda CSMA/CD je nedeterministická. To znamená, že přístup k přenosovému médiumu je náhodný, což je v průmyslové automatizaci značně omezující a nesplňuje se tím základní požadavek pro komunikaci v reálném čase. [2]

2.1 Determinismus

Tento pojem znamená, že přístup k médiumu bude předem předvídatelný. Determinismus v tomto odvětví má dva základní požadavky:

- **Současnost** reprezentuje současné zpracovávání dat z dvou a více vstupů ve stejném časovém úseku. Pokud by například u automatizovaného plniče nápojů nebyl řádně synchronizovaný tok nápoje s přicházejícími lahvemi, mohlo by dojít k většímu úniku nápoje mimo lahev. Výsledkem toho může být poloprázdná lahev s nápojem, louže či v horším případě poškození elektronických zařízení danou tekutinou.
- **Včasnost** je doba odezvy systému vzhledem k časovým požadavkům, které musí být splněny. Kromě rychlosti, která zde není tolik důležitým faktorem, musí systém především minimalizovat dobu odezvy pomocí pevné doby přístupu k procesoru. Dále je nutno ošetřit veškeré kritické stavy a zanalyzovat chování v nejhorsích podmínkách, které mohou nastat.



Obrázek 1 – Včasnost (vlevo) a současnost (vpravo)

Tyto dva základní požadavky na činný systém v reálném čase klasický Ethernet nesplňuje.

2.2 Ethernet s požadavky pro průmysl

Aby Ethernet mohl být nazýván průmyslovým, musíme ho přizpůsobit pro práci v reálném čase čili doplnit a modifikovat pro potřebný stupeň determinismu. [2]

2.2.1 Přepínání

V dnešní době se ve strukturované kabeláži u klasického Ethernetu převážně používají přepínače namísto rozdělovačů. Podobně je to v průmyslovém Ethernetu, protože rozdělovače nedokážou jednu kolizní doménu rozdělit do více kolizních domén, takže je u rozdělovačů větší šance, že nastane kolize. Další výhodou přepínačů je ukládání paketů před odesláním a možnost poslat paket jen vybraným zařízením (multicast) nebo jen jednomu zařízením (unicast) na rozdíl od rozdělovače, který vždy pošle paket na všechny své porty (broadcast).

2.2.2 Vysoká rychlost Ethernetu

Čím je vyšší přenosová rychlost Ethernetu, tím rychleji doputuje zpráva do cílové stanice. V dnešní době se v průmyslu setkáváme s rychlostmi Ethernetu 10 Mb/s až 10 Gb/s. Zrychlování Ethernetu logicky zlepšuje vlastnosti systémů v reálném čase.

2.2.3 Plný duplex

Plný duplex znamená, že můžeme současně vysílat i přijímat informace pomocí obousměrných kabelů. V dnešní době už je málo pravděpodobné, že se setkáme s polovičním duplexem, který může buď pouze vysílat, nebo pouze přijímat signál. Díky plnému duplexu se mohou zprávy posílat rychleji a je zde menší pravděpodobnost kolizí.

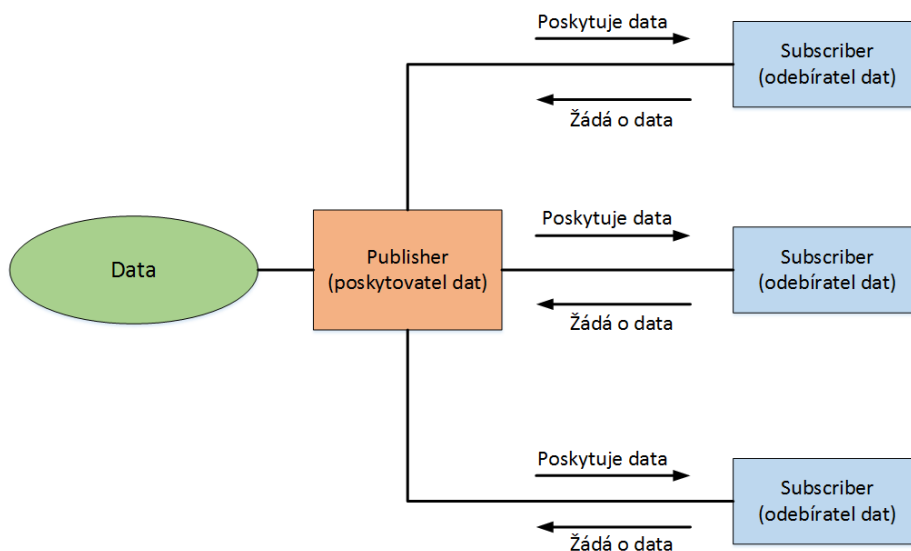
2.2.4 UDP místo TCP

Pro přenos v reálném čase se dává přednost protokolu UDP na místo protokolu TCP z důvodů vyšší rychlosti a nepotřeby navazování spojení. Protokoly TCP a UDP budou podrobněji představeny v kapitole 3.4.

2.2.5 Metody přenosu

Publisher-subscriber

Tato metoda umožňuje přenos prostřednictvím vícesměrového vysílání (multicasting), tedy odesláním zpráv více zařízením najednou. Vysílající zařízení (publisher) obsahuje tabulky zařízení, které jsou určeny pro příjem informací (subscribers). Každé zařízení, které chce odebrat informace od vysílajícího zařízení, musí jednorázově požádat o příjem těchto informací, a poté teprve může publisher zařadit požadované zařízení do svých tabulek.



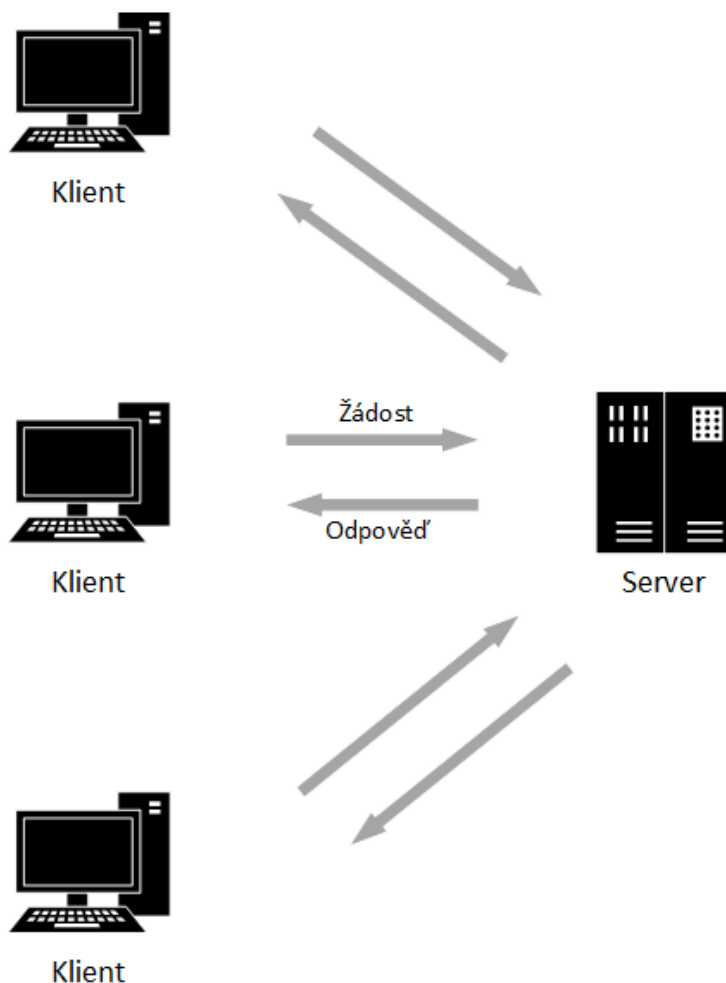
Obrázek 2 – Publisher-subscriber

Producent-konzument

Obdobně jako v předchozí metodě i tato metoda umožňuje přenos pomocí multicastového vysílání. Rozdíl je v tom, že žádné zařízení nemá tabulku vysílajících a přijímajících zařízení, ale odesílané údaje jsou označeny jednoznačným identifikátorem. Každé zařízení, které chce přijímat informace (konzument) odešle žádost producentovi o tyto informace. Vzájemně se dohodnou na multicastové adrese a identifikátoru pro tuto komunikaci a od té chvíle může komunikace probíhat. Pokud bude další konzument chtít také přijímat tyto informace, může požádat o adresu a identifikátor producenta nebo i jiného konzumenta.

Klient-server

Metoda klient-server je vhodná pro přenos informací pouze mezi dvěma zařízeními. Klient, který chce informace, vyšle požadavek na server. Následně je navázáno spojení mezi klientem a serverem a může začít přenos dat. Poté je nutné toto spojení ukončit a v případě potřeby dalších informací je nutno opět spojení navázat. Metoda klient-server je proto nevhodná pro potřeby systémů pracujících v reálném čase. Je vhodná pro přenos mezi řídicími zařízeními (například PLC nebo jiné) nebo v klasických neprůmyslových sítích, ale není vhodná pro přenos informací z průmyslových snímačů. [2]



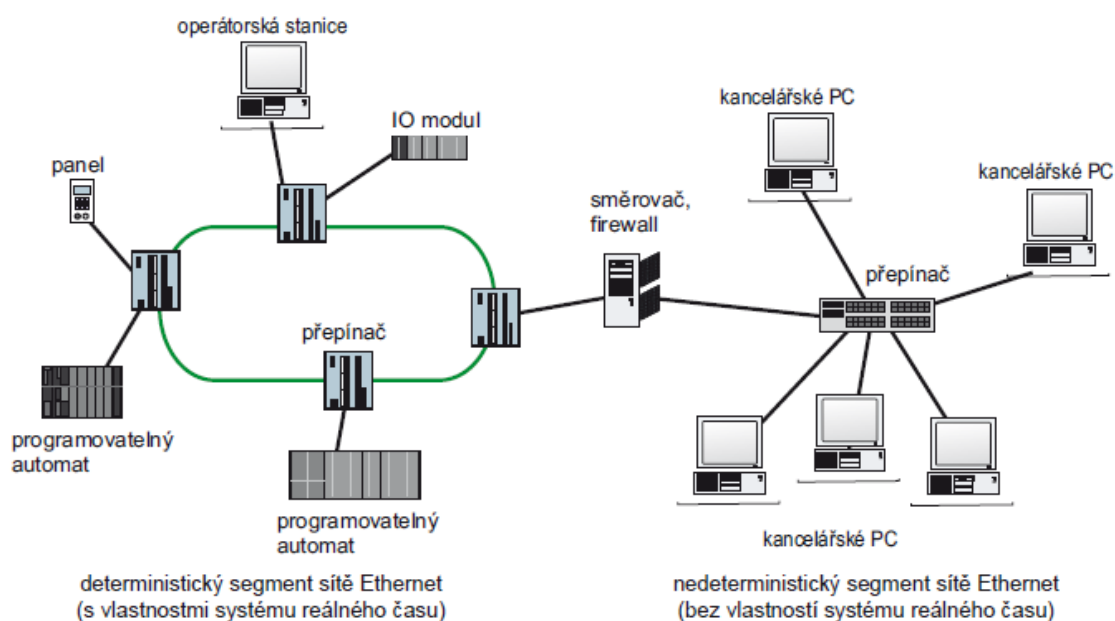
Obrázek 3 – Klient-server

2.2.6 Prioritní sloty

Prioritní sloty jsou dalším mechanismem, kterým lze dosáhnout vyššího stupně determinismu. Pokud jsou nějaké zprávy důležité a je nutné je odeslat včas, lze ve 2. vrstvě modelu ISO/OSI uvnitř rámce nastavit prioritu v poli s názvem „Tag“. Rámce s nejvyšší prioritou obsazují první prioritní sloty a následně jsou přepínači rozesílány do příslušných segmentů (kanálů) dle velikosti priority.

2.2.7 Segmentace sítě na deterministické a ostatní části

Průmyslový Ethernet se nevyužívá pouze pro přenos technologických dat, ale také pro přístup na internet, vizualizaci, elektronickou poštu a ostatní. Proto je nutné oddělit deterministické části od jiných částí, které vyšší stupeň determinismu nepožadují. Rozdělení těchto dvou částí může být řízeno přepínačem, směrovačem nebo i firewalllem.



Obrázek 4 – Příklad segmentace sítě [2]

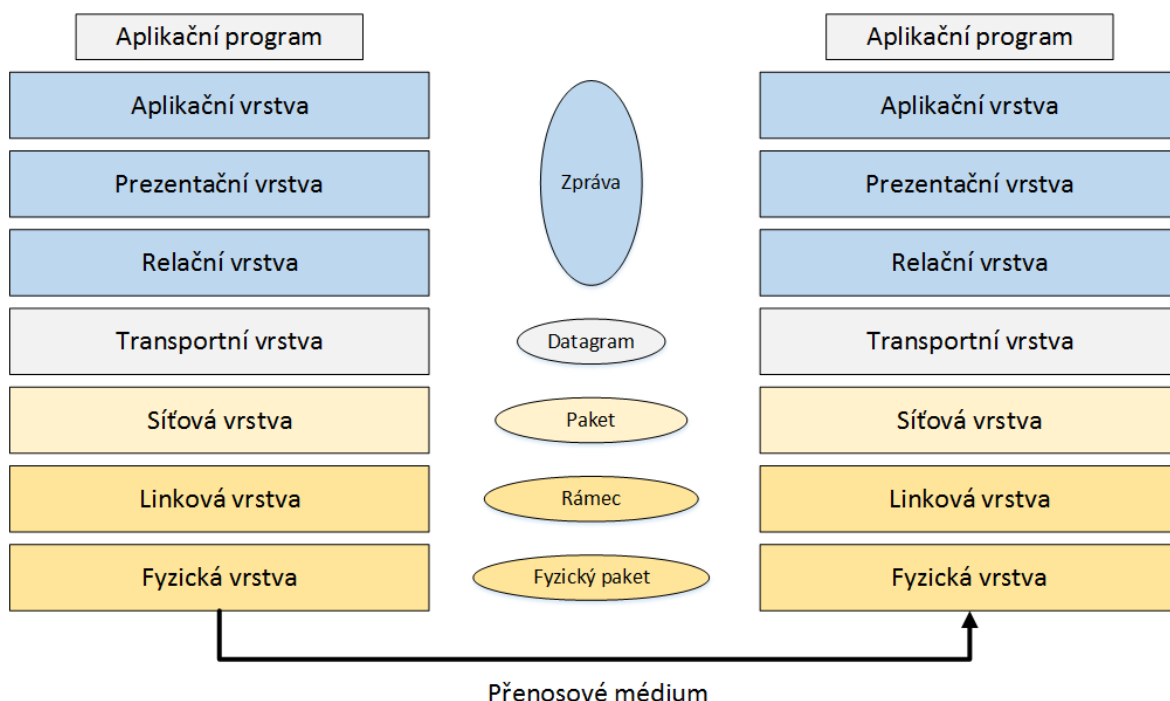
2.2.8 Synchronizace

Předchozí kapitoly nám dosud zajišťovaly správnou dobu odezvy a včasnost (deadline), ale nikoliv synchronizaci (současnost), která je nutná například pro řízení pohonů (polohy a pohybu) či realizaci bezpečných systémů. Průmyslové sběrnice tuto otázku řeší tím, že řídicí systém těchto sběrnic plánuje čas předávání zpráv mezi jednotlivými stanicemi. Díky tomuto systému lze přesně určit okamžik provedení událostí (takže je tento systém *deterministický*). V sítích LAN jsou známé synchronizační mechanismy NTP či SNTP, ale pro požadavky průmyslových systémů jsou tyto mechanismy nepoužitelné. Použitelný protokol pro průmyslový Ethernet je například PTP.

PTP je protokol pro synchronizaci času popsán v IEEE 1588, který je určený právě pro distribuované systémy v průmyslových technologiích. Dokáže synchronizovat více různých časovačů na přesnost menší než jednu mikrosekundu. [6]

3 Referenční model ISO/OSI

Tento model vznikl v roce 1984 [3] organizací ISO jako standard ISO 7498. Při dodržení podmínek tohoto referenčního modelu mohou účastníci mezi sebou spolehlivě komunikovat prostřednictvím sítě.



Obrázek 5 – Referenční model ISO/OSI [4]

3.1 Fyzická vrstva

První vrstva referenčního modelu ISO/OSI postupně všechny rámce z druhé (spojové) vrstvy přenáší bit po bitu fyzickým médiem od odesílatele k příjemci. Jsou zde určeny veškeré mechanické, funkční či elektrické atributy rozhraní, například jak je prováděn datový přenos nebo jak vypadá logická jednička a logická nula. Přenosové médium leží až pod fyzickou vrstvou. Samotný model ISO/OSI o přenosových médiích nepojednává. [5]

Bitový tok začíná nejprve preambulí, což je startovací posloupnost, která synchronizuje vysílací zařízení se všemi ostatními přijímacími zařízeními. Dále se odešle adresa cílové stanice, poté adresa zdrojové stanice a typ zprávy, díky kterému dokážeme odlišit různé protokoly pro vyšší vrstvy. Následně jsou poslána požadovaná data, které mají určitou minimální velikost. Pokud je předáváno méně dat, než je tato požadovaná minimální velikost, je doplněno datové pole tzv. výplní (padding). Nakonec je rámec ukončen kontrolním součtem CRC, který kontroluje správnost přenosu rámce. Jestliže je vypočítaná hodnota stejná jako hodnota v rámci, jsou data předána dále na linkovou (spojovou) vrstvu. Pokud je detekována chyba, je rámec zahozen bez informace o tom, že byl rámec odeslán chybně. [4]

Preamble	Cílová adresa	Zdrojová adresa	Typ	Datové pole	Kontrola chyb
8 B	6 B	6 B	2 B	16 B až 1500 B	4 B

Obrázek 6 – Formát rámce v síti Ethernet [4]

3.2 Spojová vrstva

Spojová (nebo též linková) vrstva zajišťuje přepravu dat mezi stanicemi v rámci jedné sítě a také zapouzdřuje pakety ze síťové vrstvy do rámců. Data se na této vrstvě posílají ze zdrojové MAC adresy do cílové MAC adresy. Fyzická adresa je 48bitová adresa (6 bajtů) v hexadecimálním tvaru, kde první 3 bajty znázorňují kód výrobce a zbylé 3 bajty udávají adresu daného rozhraní (často výrobní číslo síťové karty).

V kancelářských sítích se tato vrstva také stará o zabezpečení proti kolizím pomocí metody CSMA/CD. Tuto metodu ale nelze moc dobře uplatnit pro přenosy v reálném čase, protože při vzniku kolize stanice kolizi nestihne rozpoznat a bude považovat rámec za nepoškozený. Vyšší vrstvy by kolizi naleznout mohly, ale to by vedlo ke ztrátě výkonu sítě. Metoda CSMA/CD se tedy zde využívá pouze pro časově nekritické zprávy a pro časově kritické zprávy se používají jiné metody.

3.2.1 Podvrstvy spojové vrstvy

Spojová vrstva zahrnuje široké spektrum síťových funkcí. Proto je dobré ji rozdělit na více podvrstev.

LLC je vrchní podvrstva, na které probíhá zapouzdřování paketu do rámce a případná korekce chyb. Dále se zde určuje, který síťový protokol bude pro daný rámec použit (např. IP, IPX, IP verze 6, Appletalk a jiné...).

MAC je spodní podvrstva, která poskytuje fyzickou adresaci (MAC adresu). Rámec je zde zakódován, aby mohl být poslán daným médiem. Na tomto místě je vymezen začátek a konec dat.

3.3 Síťová vrstva

Pomocí této vrstvy mohou komunikovat zařízení, aniž by spolu museli přímo sousedit. Datagramy z transportní vrstvy jsou zde zapouzdřovány do paketů, které jsou odesílány od zdroje k cíli. Aby paket věděl, odkud a kam se má poslat, musí zde proběhnout síťová (logická) adresace, která je také zodpovědná za směrování (výběr vhodné cesty k cílové stanici). Nejčastěji se k adresaci používá protokol IP verze 4, který je postupně nahrazován verzí 6 kvůli nedostatku adresovacího prostoru IP verze 4. V protokolu IP verze 6 byla upravena hlavička paketu, která je jednodušší a flexibilnější. Směrovače mohou také rychleji směrovat, protože nemusejí analyzovat celou hlavičku paketu na rozdíl od IP verze 4. V protokolu IP verze 6 je navíc bezpečnostní mechanismus, díky kterému můžeme ve třetí vrstvě autentizovat vysílací i přijímací stanice a také obsah paketu. Tok dat může být identifikován pomocí nového dvacetibitového pole „flow label“. [7] [8]

3.4 Transportní vrstva

V této vrstvě vznikají spojení pro uživatelské programy a využívají se zde služby síťové vrstvy. Mezi dvěma stanicemi může být vytvořeno více spojení pro různé programy. Základními protokoly jsou zde TCP a UDP.

TCP je protokol transportní vrstvy modelu ISO/OSI. Aby se mohla přenášet data, TCP nejprve naváže spojení mezi stanicemi, a až poté začne vysílat data. Pokud odeslání dat proběhne nepřesně nebo vůbec, začnou se data automaticky odesílat znovu. Zároveň tento protokol udržuje pořadí toku dat a spojení se ukončuje stejně složitě jako při navazování

spojení. Při použití TCP je zde určitá jistota přenosu dat, ale tento protokol je velice pomalý, což je pro přenos dat v reálném čase nežádoucí.

Proto se dává přednost protokolu UDP, který je naopak nespojový a nekontroluje pořadí, ve kterém data přišla. Jelikož neukončuje spojení, mohou špatně poslaná data být ihned znovu odeslána, což je u TCP nemožné. Protokol UDP je mnohem rychlejší, a proto se mu v průmyslových sítích dává přednost.

3.5 Relační vrstva

Relační vrstva kontroluje spojení (relaci) mezi počítači. Vytváří, řídí, udržuje, ukončuje a obnovuje připojení mezi místním a vzdáleným počítačem. Relace jsou vytvářeny a ukončovány na žádost prezentační vrstvy, protože ta má data, která potřebují být přenesena na jiné místo. Poté posílá žádosti transportní vrstvě například pro vytvoření spojení. [3]

3.6 Prezentační vrstva

Prezentační vrstva nám poskytuje překlad dat při komunikaci, protože na každé komunikující straně mohou být jiné systémy, které by si bez prezentační vrstvy nerozuměly (může být na každém systému jiná syntaxe či sémantika dat). Probíhá zde také šifrování, konverze či komprimace. Z této vrstvy také odcházejí požadavky na relační vrstvu pro vytváření či ukončování spojení. [3]

3.7 Aplikační vrstva

Tato vrstva nám vytváří rozhraní pro komunikační a uživatelské procesy. Aby komunikace mezi účastníky v běžné kancelářské síti probíhala v pořádku, je nutné použít jednotné protokoly, podle kterých se budou zprávy mezi účastníky vytvářet. Například protokol DHCP pro dynamické přidělování adres, DNS pro vzájemné převody doménových jmen a IP adres, FTP pro přenos souborů, HTTP pro přenos webových stránek, SMTP pro služby elektronické pošty a spousta dalších protokolů, jejichž množství je díky internetu veliké a stále přibývají další nové protokoly.

Existují také protokoly pro automatizaci a průmysl, ale ty jsou na rozdíl od předešlých protokolů nekompatibilní. Například organizace ODVA zavedla protokol EtherNet/IP, organizace IDA Group modifikovala sběrniceový protokol Modbus a nazvala ho Modbus TCP/IP, uživatelé sítě PROFIBUS používají protokoly skupiny PROFINET atd... [4]

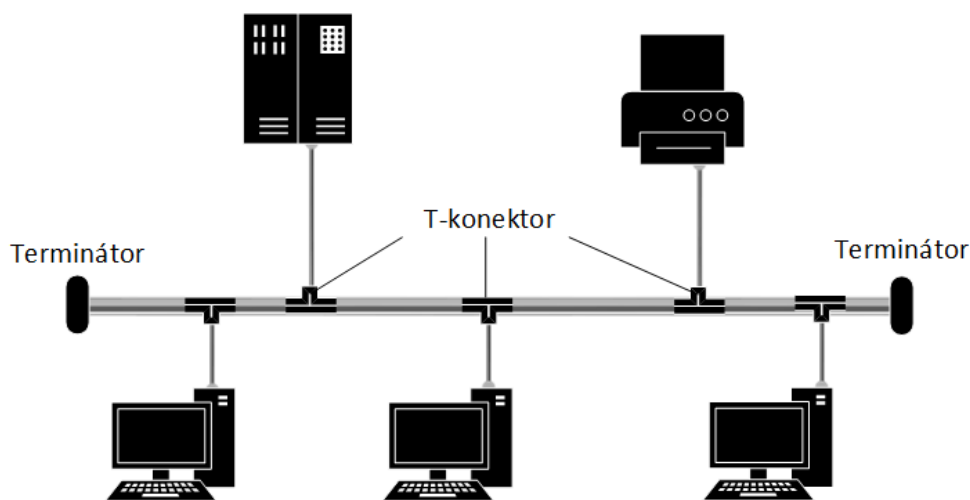
4 Topologie

Topologie je v podstatě mapa sítě, která popisuje rozvržení kabelů, jednotlivých síťových komponent a pracovních stanic. Je nutné rozlišovat mezi fyzickou topologií (jak jsou zapojena fyzická média) a logickou topologií (jakou cestou směřují pakety). Často je ale fyzická i logická topologie stejná. Tato kapitola byla celé zkonstruována ze zdroje [9].

4.1 Sběrnice (bus)

V této topologii jsou všechna zařízení připojena na jeden hlavní kabel, který je zakončen na obou koncích zařízením nebo tzv. „terminátorem“. Je to nejjednodušší fyzická topologie, kterou lze sestavit. Zařízení, která nejsou na koncích topologie, jsou připojena k hlavnímu vodiči tzv. „T-konektorem“ nebo jsou připojena do topologie dvěma porty. Při komunikaci vidí všechna zařízení data procházející hlavním kabelem, ale tyto data jsou určena pouze jednomu zařízení, které tato data zpracuje.

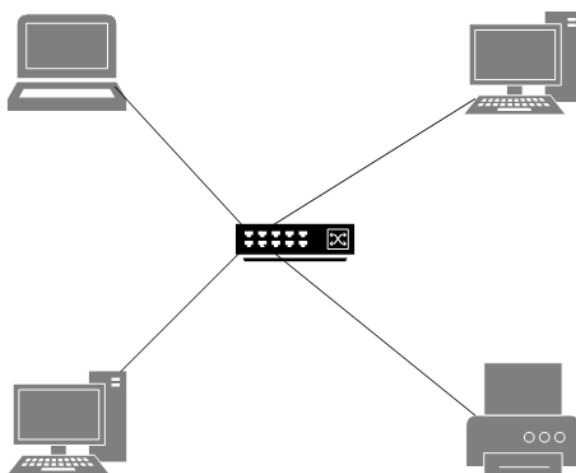
Sběrníková topologie se jednoduše instaluje, je poměrně levná a používá méně kabeláže. Obtížně se ale vyhledávají chyby, a pokud chyba nastane, může spadnout celá síť. Další nevýhodou je přidávání nebo odebrání přístrojů ze sítě. Je třeba, aby byl přerušen provoz, a teprve poté lze upravovat počet připojených zařízení. Často je tato topologie kombinována s ostatními.



Obrázek 7 – Topologie sběrnice

4.2 Hvězda (star)

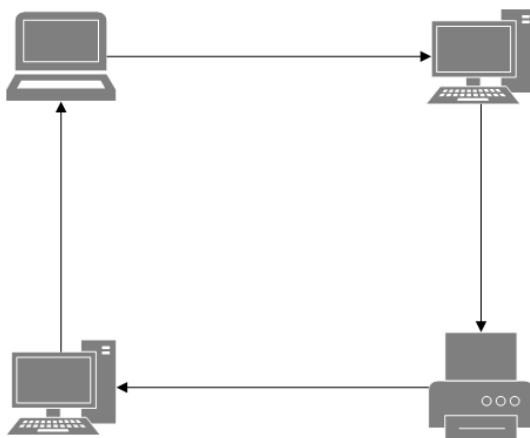
Každý počítač v této topologii je připojen drátovým nebo bezdrátovým připojením k jednomu bodu, kterým je například směrovač, přepínač, rozbočovač, přístupový bod aj. V automatizaci se používá bezdrátový přenos jen zřídka, proto je zde potřeba mnohem více kabeláže než u sběrnice topologie, ale naopak zde dochází mnohem méně ke kolizím. Pokud vzejde chyba na jednom ze zařízení nebo je například odpojen kabel na hlavním přepínači, přeruší se konektivita pouze s daným zařízením, ale komunikace v síti mezi ostatními účastníky pokračuje dále. Dle libosti lze tedy přidávat či odebírat zařízení. Tato topologie je ve světě nejčastěji využívána pro bezdrátové připojení k internetu ve firmách i v domácnostech.



Obrázek 8 – Topologie hvězda

4.3 Kruh (ring)

Kruhová topologie spočívá v tom, že každé rozhraní je přímo připojeno k dalším dvěma rozhraním a společně všechny komponenty sítě uzavírají kruh. Data putují jedním směrem od jednoho zařízení k druhému. Vlastnosti této topologie jsou podobné sběrnice. Instalace je jednoduchá, nepříliš nákladná a pro přidání či odebrání zařízení musíme opět přerušit kruh, čímž je celá síť porušena. Na rozdíl od sběrnice je zde o trochu lehčí vyhledání chyb, protože jednotlivé připojené stanice budou mezi sebou vědět, která stanice vypadla a která je v pořádku.

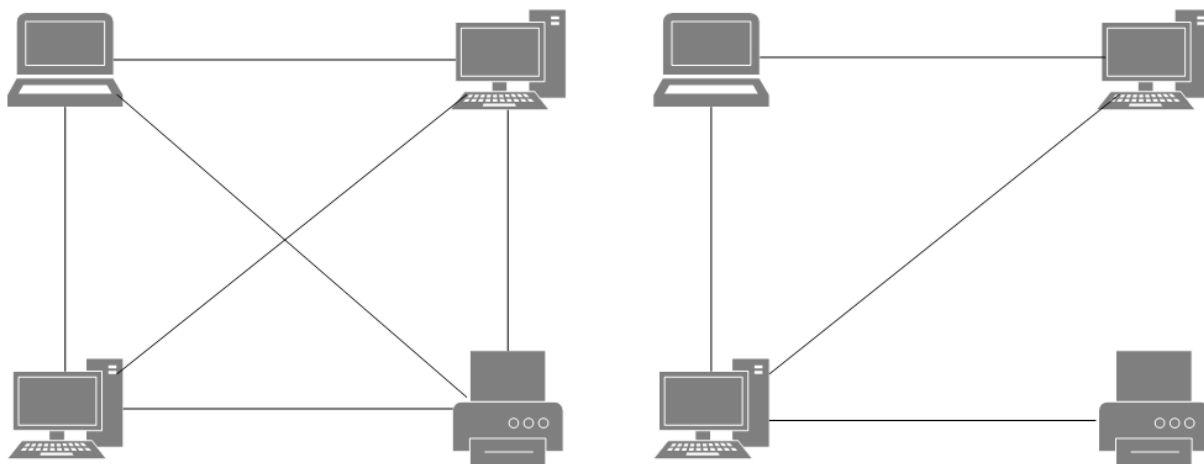


Obrázek 9 – Topologie kruh

4.4 Smíšená topologie (mesh)

Existují dvě verze této topologie:

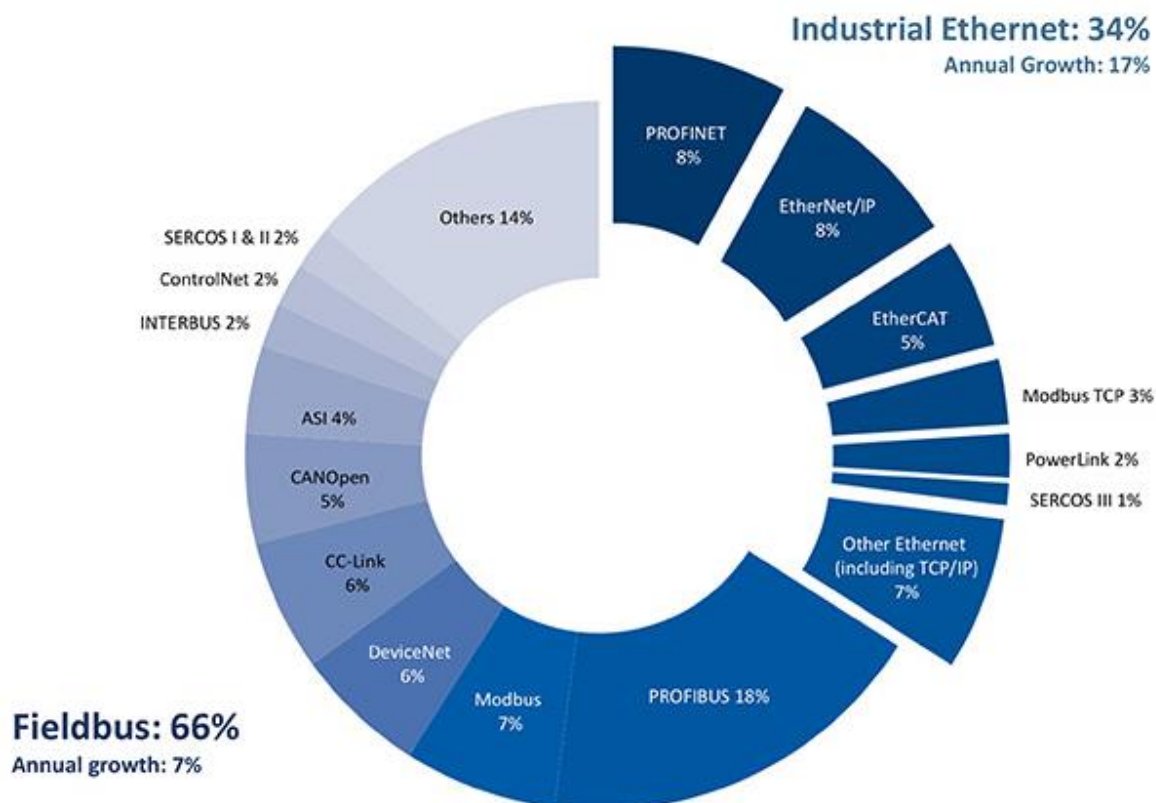
- Plně propojená – každá stanice je propojená se všemi ostatními stanicemi v síti. Tato topologie má velikou nevýhodu, že pro každé zařízení v síti musí vést kabel do každého jiného zařízení (což znamená, že pro každé zařízení n budeme mít $\frac{n(n-1)}{2}$ spojů). Tato topologie je tedy vhodná pro rychlou komunikaci v malých sítích, kde paket bude poslán vždy přímým spojem do cílového zařízení. S využitím vhodného směrování můžeme zvolit náhradní cesty od zdroje k cíli, takže komunikace v této topologii je velice bezpečná.
- Hybridní – zařízení v síti jsou propojena různě, nikoliv každý s každým. Oproti plné architektuře můžeme zvolit zařízení, u kterých není nutné, aby byla propojena mezi sebou. Tato topologie je často využívána v rozsáhlých sítích, kde můžeme sami rozhodnout mezi rychlostí, bezpečností a náklady na kabeláž.



Obrázek 10 – Full mesh (vlevo), hybrid mesh (vpravo)

5 Přehled současných nejpoužívanějších standardů

Na následujícím obrázku jsou v diagramu vyobrazeny současně nejpoužívanější protokoly pro fieldbus a pro průmyslový Ethernet dle standardu IEC 61158. Tato statistika byla zveřejněna organizací HMS Industrial Networks. Je zde vidět, že pořizování průmyslového Ethernetu roste o 10 % rychleji než pořizování starších neethernetových průmyslových sběrnic.



Obrázek 11 – Využití průmyslových standardů za rok 2015 podle HSM [10]

Nejpoužívanějším protokolem v průmyslovém Ethernetu v roce 2015 je PROFINET s 8 % použitím ve světě. Společnost PI North America, která má tento protokol na starosti, obsazuje také první příčku mezi neethernetovými sběrnicemi. Její průmyslová sběrnice PROFIBUS ovládá 18 % trhu. Největší záznam použití tohoto standardu je v Evropě a na středním východě.

Stejný počet procent ve standardech průmyslového Ethernetu, jako je u protokolu PROFINET, má průmyslový standard Ethernet/IP od společnosti ODVA. Toto uskupení má také další sběrnice jako je DeviceNet se 6 %, ControlNet s 2 % nebo méně používaný CompoNet. Nejčastěji se tyto protokoly využívají v Americe.

Třetí příčku Ethernetových průmyslových sběrnic zabírá protokol EtherCAT s 5 % použitím od firmy Beckhoff.

Hned za ním je protokol Modbus TCP/IP se 3 % od francouzské společnosti Schneider Electric. Ta má na starosti též neethernetovou verzi protokolu Modbus, která je na druhé příčce mezi sběrnicemi se sedmi procenty využití v automatizaci.

Dalším protokolem je PowerLink se 2 % použitím, řízený společností Ethernet POWERLINK Standardization Group.

Posledním jmenovaným standardem je SERCOS III, který stejně jako jeho verze I a II je z organizace Sercos International.

Jak je z obrázku vidět, zbylých nejmenovaných ethernetových standardů je dalších 7% a neethernetových dokonce 14 %. Celý průmysl se tedy v současnosti skládá z více jak 20% různých méně známých protokolů, které buď nejsou otevřené a tudíž se za ně platí nemalé licenční poplatky nebo nejsou natolik vyspělé či známé jako výše zmíněné protokoly.

Komunikační standardy pro průmyslový Ethernet budou v následujících kapitolách postupně podrobněji popisovány od nejpoužívanějších protokolů až po zbylé, méně používanější. Sběrnice typu Fieldbus zde popisovat podrobněji již nebudu, protože by to zabralo mnoho dalších stran a vybočil bych z původního tématu bakalářské práce.

5.1 PROFINET

PROFINET je modulární technologie, původně vyvinuta německou firmou Siemens a současně spravována organizací PI North America. Je zcela kompatibilní s Ethernetem podle IEEE 802.3 a je standardizován v IEC 61158 a IEC 61784. Používá plný duplex a UDP/IP pro vysokorychlostní přenos. Klíčové funkce PROFINETu jsou výkon pro automatizaci v reálném čase, bezpečná komunikace pomocí PROFIsafe, efektivní diagnostika a řešení problémů a bezproblémová integrace sběrnicových systémů.

5.1.1 Varianty

Standard PROFINET se dělí do dvou základních variant:

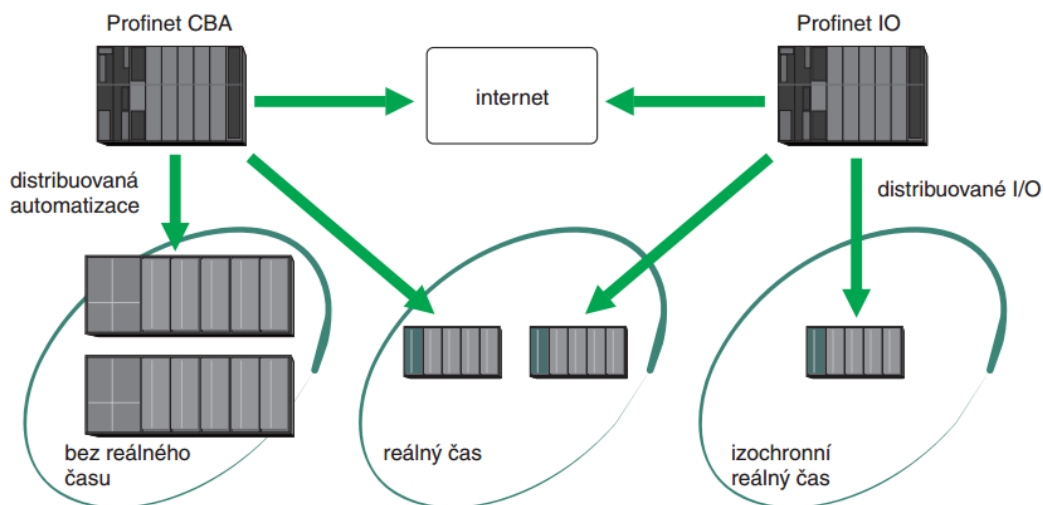
PROFINET CBA (Component based automation):

Základní myšlenkou této varianty je, že některé struktury nebo funkce řídicích systémů mohou být totožné nebo mírně upravené. Používají se zde tzv. PROFINET komponenty, které jsou obvykle řízené již připravenou sadou vstupních signálů. Řídicí program napsaný uživatelem provede požadovanou funkčnost komponenty a odešle zpracované výstupní signály do jiného zařízení (například PLC). Tato varianta je vhodná pro komunikaci mezi programovatelnými logickými automaty (PLC) pro rychlosti 50-100 ms.

PROFINET I/O (Input/Output)

Tato varianta se používá pro připojení distribuovaných I/O zařízení pro rychlý přenos dat. Zaručuje výměnu dat mezi hlavním řídicím zařízením (master) a zařízeními, které jsou řízeny hlavním zařízením (slave). Dále umožňuje také parametrizaci a možnosti pro diagnostiku. PROFINET I/O je k dispozici pro komunikaci v reálném čase (RT), které se pohybují rychlostí 1-50 ms nebo také pro komunikaci v izochronním reálném čase (IRT) pro dobu cyklu sběrnice až po 1 μ s. Pro IRT komunikaci je ale potřeba speciální hardwarová realizace ethernetových vrstev.

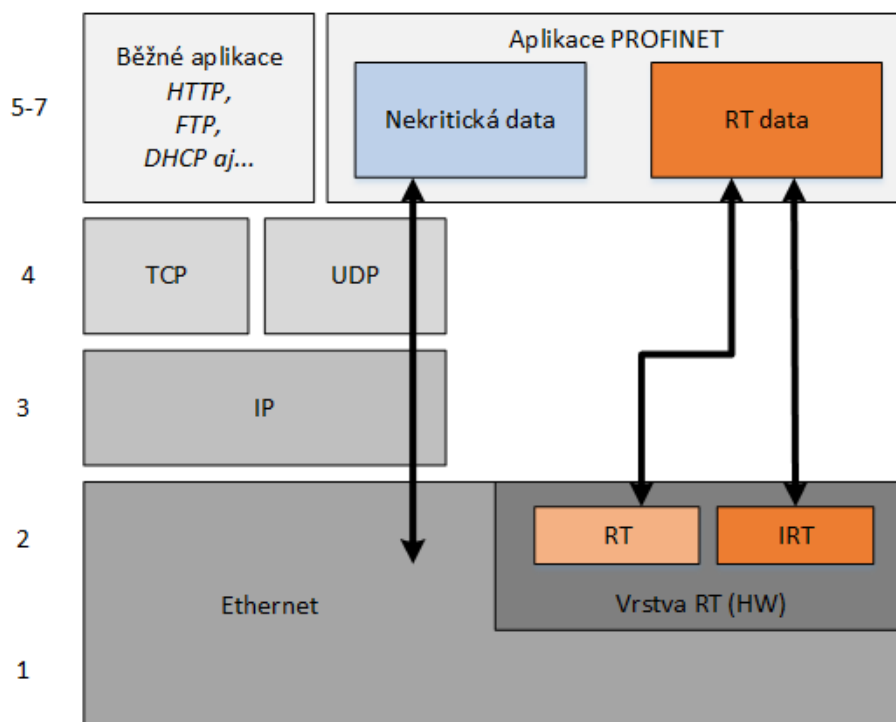
PROFINET CBA a I/O lze provozovat samostatně nebo v kombinaci. [11]



Obrázek 12 – PROFINET CBA a I/O [12]

5.1.2 Komunikační model

Z obrázku 14 je patrné, že běžné úlohy, které nevyžadují přenos v reálném čase (např. konfigurace, parametrizace atd.) využívají standardní kanál TCP/IP. Ostatní úlohy, pro které je přenos v reálném čase důležitý, jsou přenášeny paralelní cestou, která se vyhýbá protokolům TCP, UDP a IP. Segmenty pro TCP/IP a RT jsou tedy oddělené. Je také využito přímého adresování, prioritních časových oken, rychlých přepínačů a synchronizace komunikujících jednotek podle standardu pro synchronizaci lokálních hodin IEEE 1588. [12]



Obrázek 13 – Model PROFINET

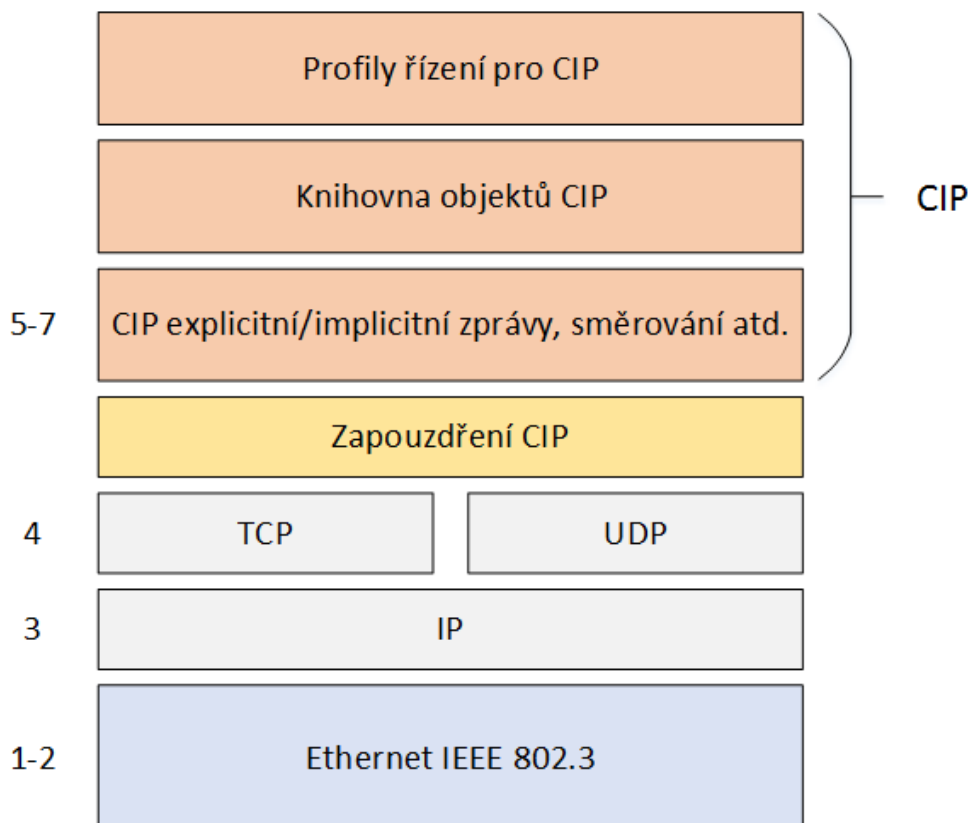
5.2 EtherNet/IP

EtherNet/IP byl představen roku 2001 společností ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) a byl standardizován roku 2005 jako IEC 62413 a IEC 61158. Stejně jako PROFINET je kompatibilní s klasickým Ethernetem a jeho hlavní výhodou je možnost použití standardních technologických i programových prostředků pro konfiguraci a ovládání zařízení, protože využívá neupravené vrstvy protokolu ISO/OSI. Pro zajištění práce v reálném čase je zde až na aplikační vrstvě protokol CIP.

5.2.1 CIP

CIP je objektově orientovaný protokol na aplikační vrstvě jak pro EtherNet/IP, tak i pro ControlNet a DeviceNet. Každé zařízení je díky CIP definováno skupinou objektů. Každý objekt obsahuje určité atributy, metody a reakce na události. [13]

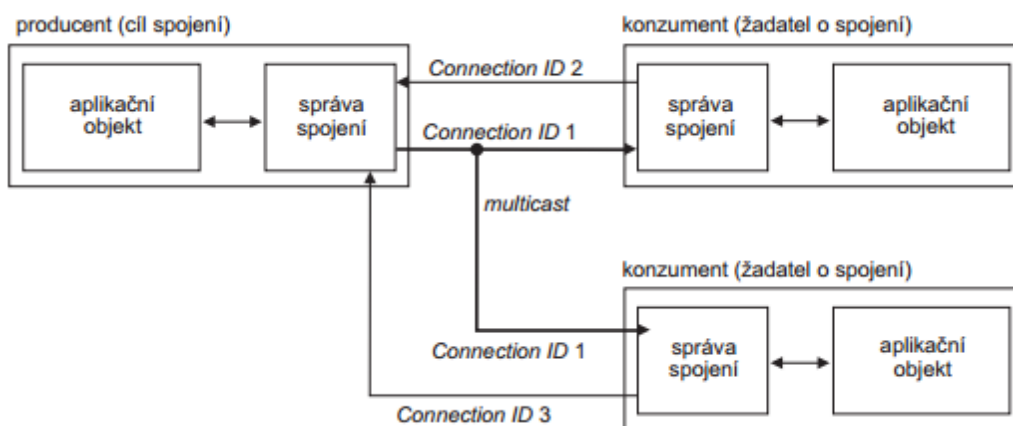
- **Povinné objekty** se používají pro identifikaci zařízení, specifikují předávání zpráv, spravují spojení pro parametrizaci a konfiguraci sítě.
- **Aplikační objekty** obsahují data pro komunikaci mezi zařízeními. Množina těchto objektů tvoří profil zařízení pro CIP.
- **Objekty vytvořené výrobcem** jsou speciální objekty od daného výrobce, které obsahují tzv. elektronické popisy zařízení potřebné pro konfiguraci zařízení.



Obrázek 14 – Model EtherNet/IP

5.2.2 Komunikace

Pro komunikaci jsou tu použity standardní protokoly TCP, UDP a IP. Dále je zde využita přenosová metoda producent-konzument, která je popsána v kapitole 2.2.5. Žadatel odešle pomocí TCP/IP žádost o vytvoření spojení. Cílové zařízení potvrdí spojení s parametry a naváže spojení. Jedním z parametrů je identifikátor tzv. Connection ID, kterým je označeno spojení pro každý směr přenosu. Přenos může být posílán i bez dat, v tomto případě pouze indikuje správnou funkci spojení (tzv. Heartbeat).



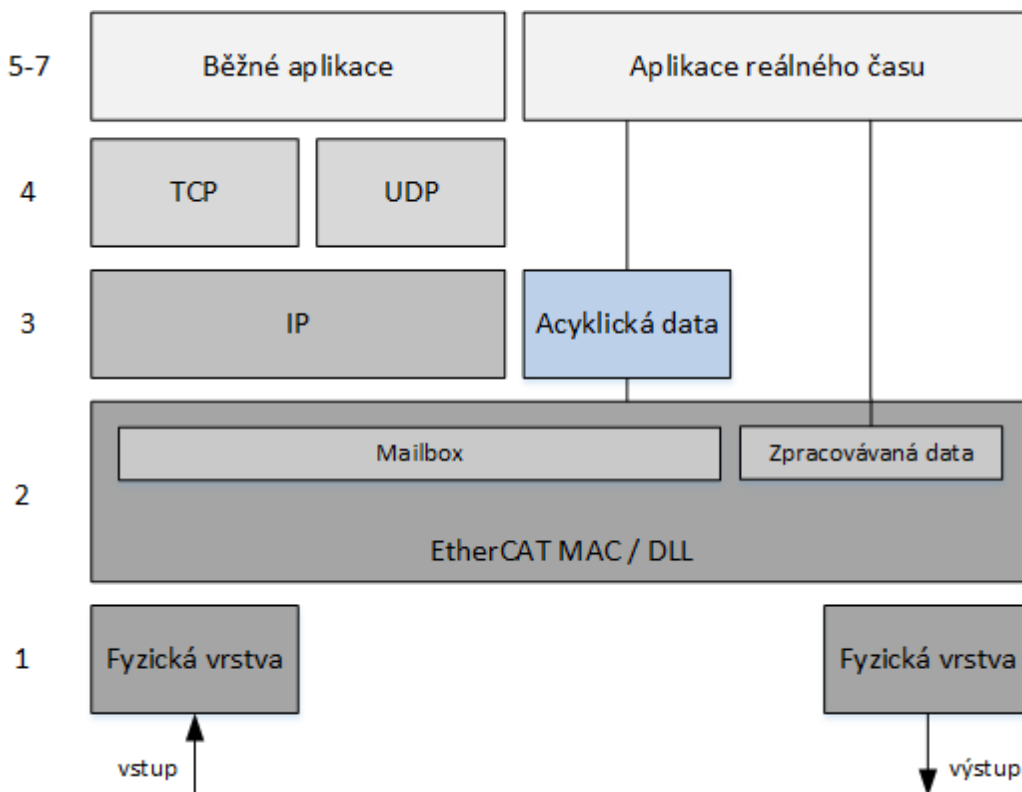
Obrázek 15 – Metoda producent-konzument [13]

5.3 EtherCAT

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) byl vyvinut společností Beckhoff Automation a je spravován skupinou EtherCAT Technology Group. Roku 2005 byl standardizován jako IEC 62407, IEC 62407-2 a též jako IEC 61158. Tento standard je zaměřen především na rychlý přenos dat v řádech mikrosekund (synchronizaci v řádech nanosekund) tím, že zcela nahrazuje přístupovou vrstvu MAC. EtherCAT se sám považuje za nejrychlejší řešení pro časově náročné aplikace mezi průmyslovým Ethernetem. [14]

5.3.1 Princip

Tento standard využívá pro komunikaci metodu master-slave, kdy řídicí zařízení (master) odešle rámec, který je poslán na všechny podřízená zařízení (slave). Tato zařízení mají speciální hardware a dokážou zpracovat data „za běhu“ s co nejmenší časovou prodlevou. Dále musí mít dva porty pro vstup a výstup, kde je využit plný duplex. Poslední zařízení slave odesílá paket zpět zařízení master, takže se jedná převážně o topologii logický kruh. Fyzické topologie mohou ovšem být různé. EtherCAT má svůj vlastní typ Ethernetového rámce, ve kterém je protokol EtherCAT přenášen.



Obrázek 16 – Model EtherCAT

Řídicí jednotka nevyžaduje speciální hardware, jako jsou vyžadovány u podřízených jednotek. Realizace je zde tedy možná i pouze softwarově. [15]

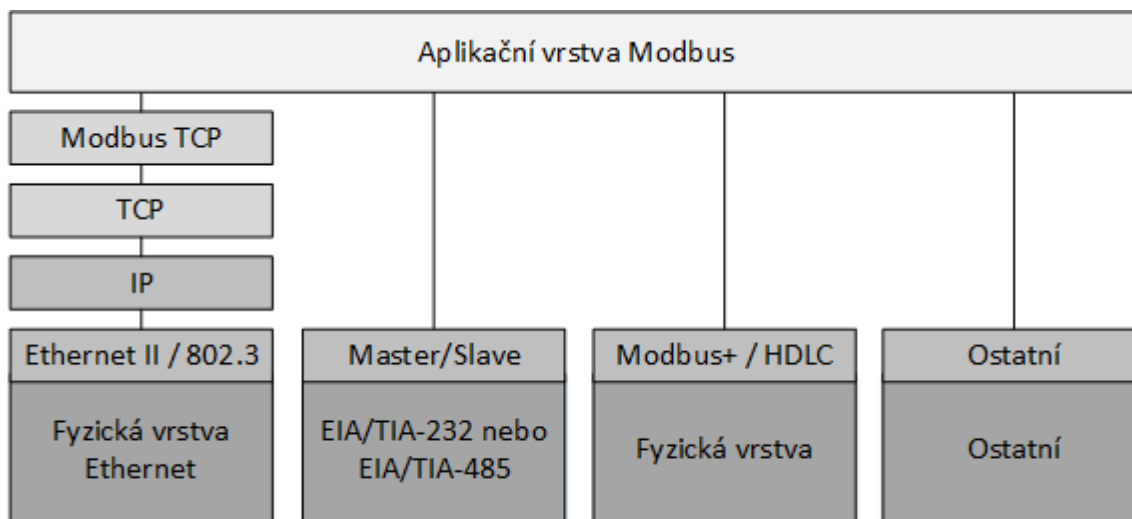
5.4 Modbus TCP/IP

Modbus byl vyvinut již roku 1979 společností Modicon (nyní Schneider Electric). Tento protokol pracuje na úrovni aplikační vrstvy modelu ISO/OSI a komunikace probíhá metodou klient-server. Funguje tedy na principu požadavek/odpověď a nabízí služby pomocí tzv. funkčních kódů. [16]

5.4.1 Princip

Metoda klient-server protokolu Modbus definuje 4 základní typy zpráv:

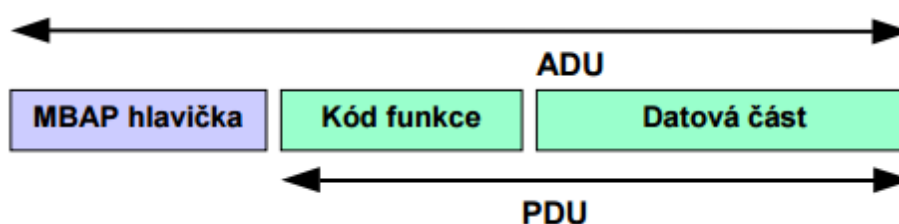
- **Žádost** (Modbus Request) – zpráva, kterou klient zahajuje komunikaci.
- **Indikace** (Modbus Indication) – indikace žádosti, kterou již dostal server.
- **Odpověď** (Modbus Response) – odpověď od serveru klientovi.
- **Potvrzení** (Modbus Confirmation) – potvrzení od klienta, že dostal odpověď.



Obrázek 17 – Různé příklady protokolu Modbus

Tyto zprávy jsou určeny pro výměnu dat v reálném čase mezi dvěma aplikacemi, mezi aplikací a jiným zařízením, mezi počítačem a programem poskytujícím on-line služby aj.

Modbus definuje svůj vlastní jednoduchý PDU, který není závislý na ostatních vrstvách. Celá zpráva je nazývána APU, která má rezervovaný port 502.



Obrázek 18 – PDU protokolu Modbus TCP/IP [17]

U standardního protokolu Modbus byl v ADU navíc kontrolní součet, který je u Modbus TCP/IP řešen v nižších vrstvách modelu ISO/OSI. Hlavička MBAP (Modbus application protocol) identifikuje, o jaké ADU se jedná. Je velká 7 bajtů a obsahuje následující:

- **Identifikátor transakce** – 2 bajty. Identifikuje žádost/odpověď dané transakce. Užívá se pro párování transakcí.
- **Identifikátor protokolu** – 2 bajty. Je-li roven nule, jedná se o protokol Modbus. Používá se pro vnitřní multiplexování systému.

- Délka – 2 bajty. Určuje délku bytů následujících polí včetně velikosti identifikátoru jednotky a dat.
- Identifikátor jednotky – 1 bajt. Poslední bajt je zaveden kvůli směrování uvnitř systému. [18]

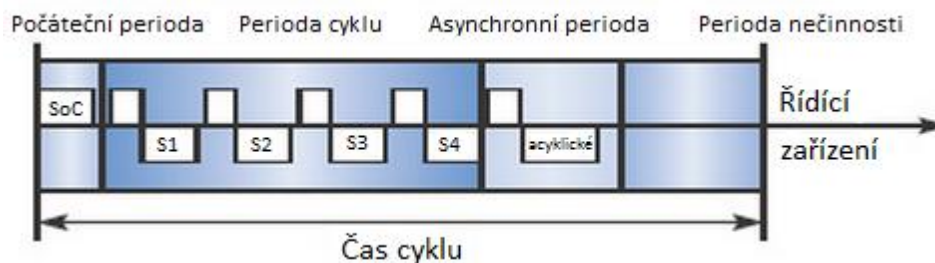
5.5 PowerLink

Ethernet Powerlink byl vytvořen roku 2001, jehož první verzi měla na starost rakouská firma Bernecker & Rainer Industrie Elektronik GmbH a druhá verze, vycházející již roku 2003 pod organizací EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group), byla rozšířena o další funkce na aplikační vrstvě. Důsledně vychází z Ethernetu podle IEEE 802.3, takže není potřeba speciální hardware. Přenos v reálném čase je tedy řešen převážně softwarově. Přenosový cyklus je rozdělen podle rychlosti na izochronní (časově kritická data) a asynchronní (časově nekritická data) přenos. [12]

5.5.1 Princip

Místo směrovačů, které jsou používány u většiny ostatních standardů, používá Ethernet Powerlink rozbočovače. Vzhledem k tomu, že v jednom čase vysílá pouze jedno zařízení, tak nedochází ke kolizím. Jedno zařízení v síti přebírá funkci tzv. „řídícího uzlu“, který řídí komunikaci, určuje takt pro synchronizaci všech uzlů a přiřazuje vysílací práva jednotlivým uzlům. Tzv. „řízené uzly“ vysílají pouze v případě, když jsou vyžadovány od řídícího uzlu. Ethernet Powerlink dělí následující 4 časové periody:

- Počáteční perioda – vysílá se zde rámec SoC (start of frame), který dá vědět všem zařízením o počátku vysílání. Všechna zařízení se podle tohoto rámce synchronizují.
- Perioda cyklu – zde probíhá výměna izochronních dat v reálném čase. Je zde využit model producent/konzument. Řídící zařízení vyšle podle předem nakonfigurovaného plánu rámec „Preq“ (poll request) všem řízeným zařízením. Řízené zařízení poté odpoví pomocí „Pres“ (poll response).
- Asynchronní perioda – tento interval slouží pro výměnu dat, která nemusejí být přenesena v reálném čase (konfigurace, parametrizace a další).
- Perioda nečinnosti – nepoužitá část čekající než začne nový cyklus.



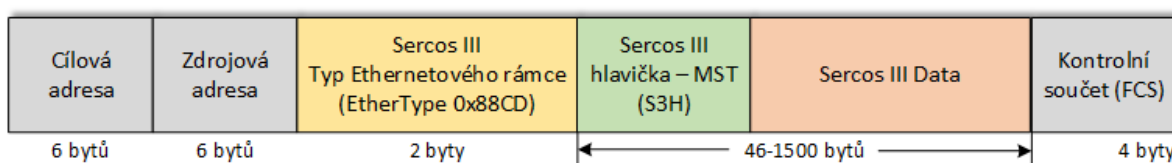
Obrázek 19 – Cyklus protokolu PowerLink [19]

Ethernet Powerlink je možno použít pro komunikaci v reálném čase s tvrdými podmínkami, kde doba cyklu je v jednotkách μ s.

5.6 Sercos III

System Sercos (Serial real time communications system) byl standardizován již roku 1995, ale z důvodů velkého množství přicházejících standardů byl roku 2007 změněn na IEC 61800-7 (profily pro řízení pohonu Sercos), IEC 61784 a IEC 61158. Tato podkapitola je celá z webu [20].

Třetí generace Sercos III byla vytvořena roku 2003. Díky tomuto Ethernetovému řešení byla doba cyklu deset krát až sto krát rychlejší než původní fieldbusové verze. Může dosáhnout 31,25 μ s s použitím 100 Mb/s FastEthernetu. Podobně jako EtherCAT definuje tento standard svůj vlastní Ethernetový typ rámce. Sercos III je kompatibilní se standardním Ethernetem podle IEEE 802.3 a dále i se standardem EtherNet/IP.



Obrázek 20 – Struktura rámce Sercos III

Formát rámce MAC je v souladu s IEEE 802.3 i ISO/IEC 8802-3.

Cílová adresa – všechny rámce tohoto standardu putují od řídicího zařízení (master) na všesměrovou adresu FF:FF:FF:FF:FF:FF. Tento rámec následně obdrží všechna řízená zařízení (slaves) v síti.

Zdrojová adresa – vždy adresa MAC řídicího zařízení.

EtherType – unikátní typ Ethernetového rámce standardu Sercos III, kterému byla udělena organizací IEEE hodnota 0x88CD.

Hlavička Sercos III – počátek dat musí vždy iniciovat hlavička, která obsahuje ovládání a informace o stavu pro Sercos III.

Řídicí zařízení vytváří 2 druhy rámců:

- **Master Data Telegram (MDT)** – rámec, který poskytuje veškerá data a příkazy pro ostatní řízená zařízení (slaves).
- **Acknowledge Telegram (AT)** – rámec, který je postupně naplňován daty od podřízených zařízení vhodnými daty pro odpověď řídicímu zařízení. Jeden AT rámec může používat více podřízených zařízení. První podřízené zařízení vyplní předem určený prostor v tomto rámci, aktualizuje kontrolní součty a následně pře pošle rámec dalšímu podřízenému zařízení (pokud nějaké další existuje). Tato metoda zrychluje dobu cyklu a snižuje zatížení sítě.

5.7 Ostatní protokoly

Ostatními standardy jsou například:

FL-net – otevřený japonský standard pro komunikaci mezi PLC, CNC a různými robotickými zařízeními. Je flexibilní při použití hvězdicové, stromové či sběrnicové topologie. Data jsou zapouzdřována do rámců, které mohou vzít pouze 1024 bytů na jeden rámeček. Fyzická vrstva je kompatibilní s IEEE 802.3. Doba cyklu dosahuje až 50 ms. [21]

CC-Link IE – otevřený standard CC-link byl původně založen japonskou automobilovou firmou Mitsubishi Electric Corporation. [21]

Z pěti druhů protokolů CC-Link existují dva Ethernetové protokoly:

- CC-link IE Field – komunikace probíhá rychlostí 1 Gb/s pomocí kabelů Cat5e nebo RJ-45. Determinismus je řešen předáváním tokenů a nejsou zde potřeba dodatečné směrovače.
- CC-link IE Control – protokol též podporuje rychlost 1 Gb/s, ale kabeláž je řešena opticky. Na rozdíl od předchozího protokolu odkáže přenášet data do větších vzdáleností, ale lze připojit méně zařízení.

TCnet – dalším japonským produktem od firmy Toshiba je Time-critical Control network (TCnet). Data pro reálný přenos jsou oddělena od nekritických dat. Determinismus je řešen na úrovni vrstvy MAC pomocí mechanismu DOMA (Deterministic Order Multiple Access), který zabraňuje kolizím a poskytuje požadovanou dobu cyklu. Na aplikační vrstvě je společná paměť pro všechny aplikace na všech zařízeních. [22]

EPA – čínský protokol Ethernet for Plant Automation využívá pro determinismus prioritní časové sloty na úrovni linkové vrstvy. Přenos dat pro reálný čas je opět oddělen od dat nekritických. Použitím synchronizačního mechanismu vycházejícího z distribuovaných hodin podle IEEE 1588 je doba cyklu řádově v milisekundách. [22]

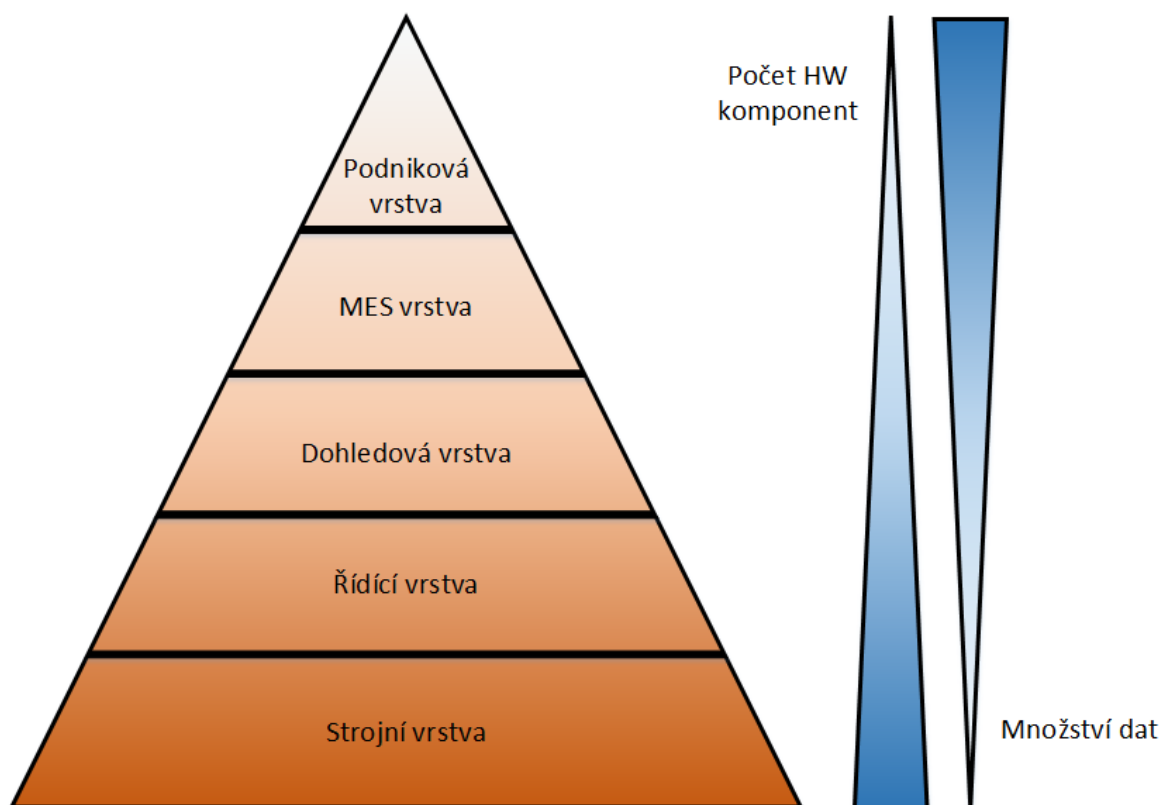
Dalšími protokoly průmyslového Ethernetu jsou například VNET/IP, P-NET, HSE, FTE, JetSync, Renet, Safeethernet, SynqNet, SynUTC, TTEthernet, Varan, SafetyNET a jiné. Tyto standardy jsou buď také otevřené, nebo pouze firemní a nemají na trhu takový význam. Jejich řešení jsou často obdobná jako u předchozích produktů.

6 Nasazení

Při implementaci průmyslového Ethernetu do instituce je nutno dbát na několik důležitých faktorů. Nejprve je důležité zanalyzovat, o jaký systém se jedná. Hledí se například na to, jestli je u daného systému důležitější bezpečnost, rychlost přenosu nebo vysoký počet zařízení, které je nutno do sítě zapojit. Dále je nutné zvážit, která topologie se pro nově vytvořený systém hodí nejvíce a z konečných informací vybrat ten nejlepší kompromis mezi existujícími standardy. Neposledním faktorem je též celková cena kompletní realizace, protože komponenty jednotlivých standardů se liší. Vybrané protokoly jsou ale otevřené, takže daná organizace alespoň ušetří na licenčních poplatcích.

6.1 Pyramidový model

Automatizace je popsána tzv. automatizační pyramidou, která rozděluje jednotlivé části sítě celého podniku na 5 vrstev. Směrem k nižším vrstvám roste závislost na přenosu dat v reálném čase, a také počet speciálních hardwarových komponent. Směrem k vyšším vrstvám roste množství přenášených dat. Celý podnik může díky Ethernetu pracovat na jedné technologii. Organizace využívající starší průmyslové sběrnice musí využívat mezi některými vrstvami speciální sběrnice převodníky například pro převod mezi sběrnici PROFIBUS a klasickým Ethernetem podle IEEE 802.3. [23]



Obrázek 21 – Pyramidový model

- Podniková vrstva – do této vrstvy patří především podnikový informační systém, na kterém jsou veškerá firemní data a díky němuž může podnik komunikovat. Tato vrstva má přístup jak k firemnímu intranetu, tak i k internetu.

- MES vrstva – ve druhé vrstvě se nacházejí výrobní informační systémy. Ty na rozdíl od podnikových informačních systémů mají za úkol spravovat výrobní zdroje a postupy, plánují a řídí výrobu, analyzují data o výrobcích a tak dále. Tato vrstva stále nepotřebuje provoz v reálném čase a je tedy propojena s podnikovou vrstvou klasickým Ethernetem.
- Dohledová vrstva – v této vrstvě nalezneme software nazývaný SCADA, sloužící pro monitoring, sběr dat a statistik. Pro tyto účely je zde často využíván například protokol Modbus TCP/IP.
- Řídicí vrstva – aby mohl průmyslový stroj pracovat, je potřeba mít nějaký řídicí systém. Těmito systémy jsou například PLC, PAC nebo IPC. Tyto přístroje řídí daný výrobní stroj. Poskytují mu konfiguraci a parametrizaci.
- Strojní vrstva – v nejspodnější vrstvě jsou veškeré senzory, pohony a další výrobní zařízení pro výrobu určitého produktu.

6.2 Typy reálných systémů

Reálné systémy je nutno rozdělovat dle včasnosti na systémy s tvrdými podmínkami pro reálný čas (HRT) a s měkkými podmínkami pro reálný čas (SRT). [24]

6.2.1 Hard real-time

Pro systémy s tvrdými podmínkami na reálný čas platí, že pokud data nejsou odeslána správně do svého cílového zařízení nebo nepřijdou včas, může mít tato událost špatné až katastrofické následky nebo může dojít k pádu celého systému.

Například pokud by se prováděly automatizované chemické operace a systém by nezareagoval včas na určitou událost, mohlo by dojít k nečekané chemické reakci, při které by mohlo dojít například k výbuchu.

Tyto systémy lze najít v již zmíněném chemickém průmyslu, v automobilových komponentech (ABS aj.), řídicí systémy letadel či vlaků, v jaderném průmyslu (reaktory aj.), ve zdravotnictví (kardiostimulátory aj.), v obranných mechanismech (protiraketové systémy aj.) a ve spoustách dalších odvětvích průmyslu.

6.2.2 Soft real-time

Systémy s měkkými podmínkami pro reálný čas mají naopak možnost „lehce chybovat“. Pokud se data ztratí nebo přijdou příliš pozdě, nestane většinou žádná katastrofická událost, ale daný systém nebo výsledný produkt může ztratit na kvalitě.

Mějme například záznamové zařízení, které by zaznamenávalo probíhající hovor mezi dvěma účastníky. Pokud by se ztratilo několik málo jednotek dat, záznam by nebyl zcela čistý, ale výsledný záznam by mohl být nakonec dostatečně uspokojivý. Systém ale svou mírou chybovosti značně ztrácí na kvalitě.

Kromě záznamových systémů (zvuk, obraz aj.), můžeme najít tyto systémy i v jiných oblastech jako je například streaming multimediálních aplikací, rezervační a transakční systémy, herní průmysl a další.

6.3 Porovnání protokolů

Tabulka 1 – Porovnání protokolů [21] [25]

Název	Typ systému	Rychlost cyklu	Počet stanic	Topologie	Příklady použití
PROFINET	SRT HRT	RT 5-10 ms, IRT 1 μ s-1 ms (dle existence spec. HW)	Omezeno délkou kabelu (max. 100 m)	Jakákoliv dle povahy systému	Tovární a procesní automatizace, bezpečnostní aplikace, pohonové technologie, časově synchronizované řízení pohybu a další.
EtherNet/IP	SRT	> 50 ms	Omezeno délkou kabelu (max. 100 m)	Hvězda, aktivní sběrnice, strom	Především výroba osobních a nákladních automobilů a další.
EtherCAT	HRT	< 50 μ s	Max. 65535 stanic (délka max. 100 m)	Sběrnice, hvězda, strom	Tvarování kovů, robotika, tiskařské stroje, výroba polovodičových zařízení, balící systémy, přístroje s protokolem CANOpen a další.
Modbus TCP/IP	SRT	> 10 ms	Doporučeno 200 stanic (délka max. 100 m)	Jakákoliv dle povahy systému	Monitoring, komunikace mezi senzory, PLC, správa distribuovaných I/O a další.
Ethernet PowerLink	HRT	< 500 μ s	240 stanic	Jakákoliv dle povahy systému	Robotika, přístroje s protokolem CANOpen, řízení strojů, těžební průmysl, energetický průmysl a další.
Sercos III	HRT	31,25 μ s	511 stanic	Sběrnice, kruh	Komunikace mezi více PLC a I/O moduly, balící průmysl, řízení strojů CNC a další.

Jak již bylo řečeno, PROFINET je velice modulární technologie, a proto je v průmyslu tolik oblíbená. Lze ji nasadit do mnoha průmyslových systémů a zvolit topologii, která se v daném systému hodí nejlépe. Počet stanic není omezen, ale je omezen délkou kabelu. Nasazení a konfigurace probíhá pomocí speciálního nástroje od firmy Siemens s názvem Step7. Konfigurace je založena na elektronických datových štítcích, které jsou potřebné pro každé zařízení PROFINET. Nevýhoda nasazení tohoto protokolu jsou jeho vyšší náklady na správu (především část IRT).

EtherNet/IP se hodí spíše pro systémy s měkčími podmínkami pro reálný čas. Je využíván nejvíce v automobilovém průmyslu především v Americe, ale používá se v mnoha dalších odvětvích. Konfigurace probíhá nástrojem RSNetWorx a stejně jako u předchozího protokolu je konfigurace založena na elektronických datových štítcích. Náklady na správu sítě jsou obdobné jako u protokolu PROFINET.

EtherCAT je systém s velice rychlou dobou cyklu. Nejflexibilnější je tento systém ve sběrnicových, hvězdicových a stromových topologiích. Teoreticky dokáže propojit až

65535 stanic do jedné sítě. Náklady na správu sítě cenově vyjdou levněji než předchozí standardy. Je zde možnost integrace s protokolem CANOpen.

Modbus TCP/IP je protokol, který je především používán pro monitoring v reálném čase. Dále se též využívá jako komunikátor mezi senzory a dalšími koncovými stanicemi. Jako jediný ze zmíněných protokolů pracuje podle metody klient-server.

Ethernet PowerLink se považuje za jednu z nejlevnějších možností. [26] V síti může být maximálně 240 zařízení (včetně řídicí stanice). Je to sice nejméně z vyjmenovaných protokolů, ale rozhodně to není malý počet. Síť může být z jakékoliv topologie, která se do daného systému momentálně hodí. Rychlosti cyklu se pohybují kolem 400 μ s, ale dokáže dosáhnout i 200 μ s. Je zde možnost integrace s protokolem CANOpen.

Poslední protokol Sercos III je jediná technologie, která je nejvíce flexibilní s kruhovou topologií. Může se ale použít i sběrníková topologie. Dosahuje výborné doby cyklu. Nejmenší hodnota byla naměřena 31,25 μ s. Tento standard je velice často nasazován do sítí s CNC přístroji.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo představit čtenářům různé možnosti, jak může být Ethernet využit v průmyslové automatizaci. Na začátku práce byla stručně představena historie samotného Ethernetu a začátky této technologie v automatizaci. Pro dobré pochopení bylo nutné představit základní principy průmyslového Ethernetu, aby si čtenář uvědomil základní rozdíly mezi klasickým a průmyslovým Ethernetem. Dále byl představen komunikační model ISO/OSI, který je popisován v dalších kapitolách na konkrétních implementacích. Jako poslední část, která se ještě netýká přímo průmyslového Ethernetu, je popis základních síťových topologií.

V dalších částech se tato práce zaměřuje na přímé představení jednotlivých protokolů. Pro popis těchto protokolů byla zvolena metoda, která popisovala protokoly dle aktuálního použití v průmyslu v roce 2015 od nejpoužívanějších po méně používané. Pro většinu protokolů byly krátce představeny informace o historii a standardizaci, následně byl vysvětlen princip a několik důležitých funkcí daného protokolu.

Často nebylo jednoduché dohledat přesné a korektní informace o jednotlivých protokolech. Jak již bylo v práci zmíněno, protokoly z větší části nejsou kompatibilní a každý ethernetový standard je spravován různými organizacemi. Mezi těmito standardy panuje zdravá konkurence a jednotlivé organizace na svých stránkách často vyvyšují svůj produkt, obalují tento produkt nerelevantními informacemi nebo dokonce zkreslují informace o konkurenčních produktech například svými vlastními statistikami.

V poslední kapitole je představeno možné nasazení Ethernetu do průmyslu, kde je nejdříve popsána tzv. automatizační pyramida, dále typy systémů reálného času, a až poté mohla být provedena závěrečná porovnání jednotlivých protokolů.

8 Literatura

- [1] ZEZULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet I: Historický úvod. *Automa* [online]. 2007, roč. 13, č. 1, s. 41-43 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A010741-I.pdf>
- [2] ZEZULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu. *Automa* [online]. 2007, roč. 13, č. 10, s. 57-60 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A100757-IV.pdf>
- [3] ANETA, Malířová. *Vrstvové modely, aneb bez pravidel to nejde* [online]. 3.6.2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: https://wiki.upce.cz/fei/studijni-materialy/vrstvove_modely_aneb_bez_pravidel_to_nejde
- [4] ZEZULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet II: Referenční model ISO/OSI. *Automa* [online]. 2007, roč. 13, č. 3, s. 86-90 Dostupné z: http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A030786_II.pdf
- [5] MESSMER, Hans-Peter a Klaus DEMBOWSKI. *Velká kniha hardware: architektura, funkce, programování*. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0416-8.
- [6] ANDREAS, Dreher a Mohl DIRK. Precision Clock Synchronization: The Standard IEEE 1588. *Belden.com* [online]. Neckartenzlingen, Germany [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: http://www.belden.com/pdfs/Techpprs/Precision_Clock_Synchronization_WP.pdf
- [7] PUŽMANOVÁ, Rita. *TCP/IP v kostce*. 2. upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009, 619 s. ISBN 978-80-7232-388-3.
- [8] PODERMAŇSKI, Tomáš a Matěj GRÉGR. *Lupa.cz: server o českém Internetu* [online]. 10. 3. 2011 [cit. 2014-10-25]. IPv6 Mýty a skutečnost, díl V. – Zjednodušené hlavičky. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/ipv6-myty-a-skutecnost-dil-v-zjednodusene-hlavicky/> ISSN 1213-0702.
- [9] GROTH, David a Toby SKANDIER. *Network study guide*. 4th ed. London: SYBEX, 2005, xxxviii, 519 p. ISBN 07-821-4406-3.
- [10] CARLSSON, Thomas. Industrial network shares according to HMS. [online]. 22. 1. 2015 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.anybus.com/readnews.asp?NID=177>
- [11] PROFIBUS NUTZERORGANISATION E. V. (PNO). *PROFINET System Description*. Haid-und-Neu-Str. 7, 76131, Karlsruhe/Germany, říjen 2014. Dostupné z: http://www.profibus.com/index.php?id=3667&no_cache=1&tx_pxdprofibus_pi2%5Bdownload%5D=68&tx_pxdprofibus_pi2%5Bmode%5D=display
- [12] ZEZULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet. *Automa*. 2008, roč. 14, č. 5, s. 62-66. Dostupné z:

- http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A05_08s62_VIII.pdf
- [13] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IX: EtherNet/IP, EtherCAT. *Automa*. 2008, roč. 14, č. 10, s. 60-64. Dostupné z: http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A10_08s60_IX.pdf
- [14] ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP. *EtherCAT – the Ethernet Fieldbus*. 2014, 40 s. Dostupné z: http://www.ethercat.org/download/documents/ETG_Brochure_EN.pdf
- [15] ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP. *EtherCAT: The Ethernet Fieldbus*. ETG Headquarters Ostendstr. 196, 90482, Nuremberg, Germany, 2009, 87 s. Dostupné z: http://www.ethercat.org/pdf/english/EtherCAT_Introduction_0905.pdf
- [16] MODBUS-IDA. *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b*. December 28, 2006, 51 s. Dostupné z: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf
- [17] RONEŠOVÁ, Andrea. Přehled protokolu MODBUS. In: *Home.zcu.cz* [online]. květen 2005 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [18] MODBUS MESSAGING ON TCP/IP IMPLEMENTATION GUIDE V1.0a. In: MODBUS-IDA. *Modbus.org* [online]. June 4, 2004 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0a.pdf
- [19] POWERLINK Introduction. IXXAT AUTOMATION GMBH. *IXXAT* [online]. 2004 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.ixxat.com/powerlink_technologie_en.html
- [20] SERCOS INTERNATIONAL E. V. AND SERCOS NORTH AMERICA. *Sercos: the automation bus* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.sercos.com/>
- [21] HMS INDUSTRIAL NETWORKS. *Anybus* [online]. © 2005-2014 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.anybus.com/technologies/technologies.shtml>
- [22] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VII: Přehled současných standardů. *Automa* [online]. 2008, roč. 14, č. 2, s. 26-29 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A02_08s26-VII.pdf
- [23] DIETRICH, Ronald. HARTING ELECTRIC GMBH & CO. KG. Industrial Ethernet: ... from the Office to the Machine - world wide - [online]. December 2004 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.harting.com/fileadmin/harting/documents/lg/hartingusa/news/hotlink/harting_industrial_ethernet_handbook.pdf

- [24] LIU, Jane W. *Real-time systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000, s. 26-33. ISBN 0-13-099651-3.
- [25] A Universal Approach for implementing Real-Time Industrial Ethernet. In: SEITZ, Bill a Michael SAMUELIAN. IXXAT AUTOMATION GMBH. *Ixxat* [online]. 2007-09-17 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.ixxat.com/download/wp210-0003_real-time_industrial_ethernet.pdf
- [26] IMPLEMENTATION. In: ETHERNET POWERLINK STANDARDIZATION GROUP. *POWERLINK: The power of connections*. [online]. © 2013 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.ethernet-powerlink.org/en/powerlink/industrial-ethernet-facts/implementation/>