

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SÍTĚ PRO AUTOMATIZACI

INDUSTRIAL COMMUNICATIONS NETWORKS FOR AUTOMATIZATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DANIEL MERTLÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**DOC. ING. ZDENĚK NĚMEC, CSC.**

BRNO 2010







Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky  
Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Daniel Mertlík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Průmyslové komunikační sítě pro automatizaci**

v anglickém jazyce:

### **Industrial communications networks for automatization**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Systemy automatického řízení používají k přenosům dat komunikační sítě, které se liší od počítačových sítí. Je žádoucí analyzovat vlastnosti průmyslových sítí a sestavit přehled existujících sítí.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat analýzu specifických vlastností průmyslových sítí. Zpracovat přehled standardů sítí a sítí od významných světových firem.

Seznam odborné literatury:

[1] Časopisy Automatizace, Automa, atd.

[2] Firemní dokumentace, dostupná na Internetu.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 23.11.2009

L.S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Podstatou této práce je zpracovat analýzu specifických vlastností průmyslových sítí, které se liší od sítí počítačových. Zpracovat přehled standardů sítí od významných světových firem a některé vybrané standardy blíže specifikovat.

## **ABSTRACT**

The essence of this work is to prepare an analysis of the specific characteristics of industrial networks, which differ from computer networks. Enumerate network standards from major international companies and some selected standards to specify.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Průmyslové sítě, průmyslové sběrnice, automatizace, komunikace

## **KEYWORDS**

Industrial networks, fieldbus, automation, communication





## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Zdeňku Němcovi, Csc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.



**Obsah:**

	<b>Zadání závěrečné práce.....</b>	<b>5</b>
	<b>Abstrakt.....</b>	<b>7</b>
	<b>Poděkování.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Vlastnosti průmyslových sítí.....</b>	<b>15</b>
2.1	Komunikace v reálném čase .....	15
2.2	Systémy reálného času v automatizaci .....	15
2.2.1	Požadavky na včasnost.....	16
2.2.2	Požadavky na současnost.....	16
<b>3</b>	<b>Komunikační systémy pro účely automatizace.....</b>	<b>17</b>
3.1	Úvod do problematiky.....	17
3.1.1	Terminologie přenosu dat.....	19
3.2	Referenční model ISO/OSI a jeho vrstvy.....	19
3.2.1	Fyzická vrstva.....	20
3.2.2	Linková vrstva.....	20
3.2.3	Síťová vrstva.....	21
3.2.4	Transportní vrstva.....	21
3.2.5	Relační vrstva.....	21
3.2.6	Prezentační vrstva.....	21
3.2.7	Aplikační vrstva.....	22
3.3	Referenční model TCP/IP.....	22
<b>4</b>	<b>Průmyslové komunikační sběrnice.....</b>	<b>25</b>
4.1	Přehled průmyslových komunikačních sběrnic .....	26
4.2	Foundation Fieldbus.....	27
4.3	AS-interface.....	28
4.4	HART (Highway Addressable Remote Transducer).....	29
4.5	Profibus.....	29
4.5.1	Princip přístupu k síti.....	30
4.5.2	Profibus DP (Decentralized Periphery) .....	31
4.5.3	Profibus PA (Process Automation) .....	31
4.5.4	Profibus FMS (Fieldbus Message Specification) .....	31
4.5.5	Přehled přenosové technologie.....	31
4.6	FIP (Factory Instrumentation Protocol).....	32
4.6.1	Řízení sběrnice FIP.....	32
4.7	Sběrnice CAN.....	32
4.7.1	Vlastnosti sběrnice CAN.....	33
4.8	Protokol DeviceNet.....	34
4.8.1	Aplikační vrstva protokolu DeviceNet.....	36
4.8.2	Mechanismus komunikace v síti DeviceNet.....	36
4.8.3	Fyzická vrstva protokolu DeviceNet.....	36
4.9	Technologie LonWorks.....	37
<b>5</b>	<b>Propojovací prvky sítí.....</b>	<b>39</b>
5.1	Omezená délka segmentů sítí.....	39
5.2	Opakovač (repeater).....	39
5.3	Most a přepínač (bridge a switch).....	39
5.4	Směrovač (router).....	40
<b>6</b>	<b>Průmyslový ethernet.....</b>	<b>41</b>
6.1	Průmyslové síť a Ethernet.....	41

Komunikační protokoly průmyslového Ethernetu.....	42
6.2 ProfiNet.....	42
6.2.1 Architektura sítě Profinet.....	42
6.2.2 Komunikace v síti Profinet.....	43
Standardní komunikace (NRT).....	43
6.2.3 Komunikace v reálném čase (RT).....	43
Izochronní komunikace (IRT).....	44
6.3 Ethernet Powerlink.....	45
6.3.1 Základní vlastnosti standardu Ethernet Powerlink.....	45
6.3.2 Komunikační model Ethernet Powerlink.....	45
6.4 Sercos III.....	47
<b>7 Bezdrátové technologie v automatizaci.....</b>	<b>49</b>
7.1 Použití.....	49
7.2 Spolehlivost .....	49
7.3 Standardy bezdrátové technologie.....	49
7.3.1 WiFi (IEEE 802.11).....	49
7.3.2 Standard Bluetooth ( IEEE 802.15.1).....	51
7.3.3 Technologie ZigBee (IEEE 802.15.4).....	52
7.4 Klady a zápory bezdrátových komunikací v průmyslové automatizaci .....	54
<b>8 Závěr.....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>57</b>

## 1 ÚVOD

Systemy automatického řízení používají k přenosům dat průmyslové komunikační sítě, které se liší od počítačových sítí. Je nutné si uvědomit, že požadavky na průmyslové komunikační sítě jsou jiné než na počítačové sítě.

Průmyslové komunikační sítě musí být schopny komunikace v reálném čase, musí být schopny přenášet data formou krátkých zpráv s velkou četností a systémy řízení musí být schopny tyto zprávy přijmout, rozlišit a vyslat odpovídající reakci v dostatečně krátké době.

Rozdílem komunikačních sítí oproti počítačovým je určitě i nutná odolnost, robustnost a spolehlivost síťových prvků, vzhledem k jejich nasazení do nepříznivých průmyslových podmínek.



## 2 VLASTNOSTI PRŮMYSLOVÝCH SÍTÍ

Síťově propojená zařízení pro průmyslovou výrobu, napájení systému řízení, zdravotnických zařízení, dopravní systémy nebo podobné aplikace často vyžadují spolehlivý deterministický provoz pracující v reálném čase a v náročném prostředí [2].

Většina průmyslových síťových aplikací sdílí tyto vlastnosti [2]:

- Operace pracující v reálném čase sloužící k detekci změny stavu a schopností, případně přijmout vhodná opatření v přijatelné časové lhůtě.
- Deterministické operace, které provádějí instrukce v předem určeném pořadí a v předem stanoveném čase.
- Bezpečný provoz s cílem zajistit, aby neoprávněné osoby nemohly náhodně nebo záměrně změnit data nebo manipulovat s řídicími systémy.
- Bezpečný provoz pro zajištění systému, který neuškodí lidem ani blízkým zařízením.
- Odolné systémy pro provoz v náročných prostředích, jako jsou:
  - Extrémní teploty od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v náročnějších aplikacích od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Lokality, které jsou špinavé, zaprášené nebo které jsou obklopeny nebezpečnými chemickými látkami nebo emisemi.
  - Prostředí, která obsahují silné elektromagnetické rádiové emise napříč širokým frekvenčním spektrem.
  - Vzdálené systémy, které jsou obtížně přístupné pro údržbu a opravy. Tyto systémy vyžadují minimalizování počtu částí s vyšší poruchovostí (například ventilátory), aby se zkrátila doba detekce systémových selhání.
  - Systémy, jež jsou provozovány lidmi, kteří nejsou nutně technologickými odborníky, ani nemusí mít přístup k sofistikovaným diagnostickým zařízením a často nemají čas číst dlouhé návody nebo podstupovat školení.

### 2.1 Komunikace v reálném čase

Jedním ze zásadních požadavků na průmyslové komunikační sítě je schopnost komunikace v reálném čase. Takovéto sítě musí být schopné neustále přenášet a zpracovávat nové události, přičemž zpracování a odpovídající reakce musí nastat v předem stanoveném, dostatečně krátkém časovém limitu. Takto přenášená data mohou přicházet náhodně nebo v předem daných časových úsecích [1].

Při přenosu dat představuje reálný čas dobu odezvy a dále je důležité dodržování stejné doby mezi přenosem dvou vzorků dat.

### 2.2 Systémy reálného času v automatizaci

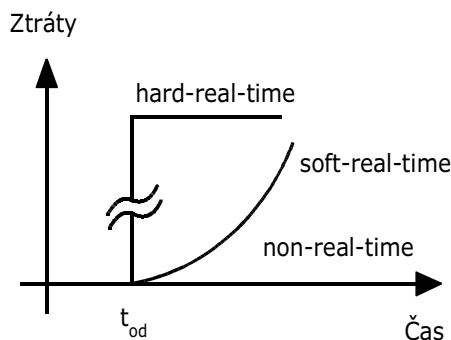
Systémy řízení reálného času jsou z principu určeny pro řízení v reálném čase. Avšak pojem reálný čas a řízení v reálném čase jsou pojmy velmi relativní vzhledem k procesu, který je řízen, monitorován a s nímž se komunikuje [1].

V řídicí technice se systémy z tohoto pohledu dělí na [1], [9] :

- Systémy bez požadavků na dodržení doby odezvy (non real-time systems)
- Systémy tvrdého reálného času (HRT - hard real-time systems)
  - ztráta při nedodržení doby odezvy vždy stoprocentní
- Systémy měkkého reálného času (SRT - soft real-time systems)
  - rostou ztráty s prodloužením doby odezvy

V případě HRT je dokončení operace po uplynutí určité lhůty nepřipustné, pozdní reakce může způsobit velké škody. Systémy měkkého reálného času (SRT) tolerují zpoždění a mohou reagovat se sníženou kvalitou služeb (např. vynechání snímku při zobrazování videa) [1].

Systém reálného času (RTS) je forma zpracování dat, ale od ostatních forem se liší svým explicitním vztahem k času. Základními požadavky uživatelů systémů reálného času jsou především včasnost a současnost. Na obr. 2.1 dle [9], vidíme graf ztrát systémů reálného času.



Obr 2.1 Graf ztrát systémů reálného času .

### 2.2.1 Požadavky na včasnost

Požadavek na včasnost (včasnou reakci) znamená, že vstupní data musejí být získána v časovém limitu, musí být proveden výpočet a výstupní data musejí být přesunuta na výstup. Takto definovaný požadavek lze posoudit dvěma různými časovými podmínkami [1]:

- absolutní časovou podmínkou např. v čase 9:45 hod. musí být vydán signál k odjezdu autobusu,
- relativní časovou podmínkou, např. Jak je uvedeno signál k přepnutí rychlosti dopravníku musí být dán do 8 sec. po dosažení mezní hodnoty v násypce apod.

Existují 4 případy časových podmínek [1]:

- Funkce se musí provést v přesných časových okamžicích.
- Funkce se musí provést v přesně daném časovém intervalu.
- Funkce se musí provést nejpozději do určitého časového okamžiku.
- Funkce se musí provést nejdříve po určitém časovém okamžiku.

### 2.2.2 Požadavky na současnost

Požadavek na současný běh výpočetních procesů je odvozen z toho, že RT systém musí reagovat na podněty z okolí a tyto podněty mohou probíhat současně. Řešení paralelního běhu výpočetních procesů je v zásadě dvojího druhu [1]:

- Skutečný paralelní běh – výpočetní procesy probíhají na jiném HW,
- Kvaziparalelní běh – více výpočetních procesů na jednom procesoru, jedná se o simultánní běh a zpracování systému.

#### Nejistota synchronizace (jitter)

S požadavkem na současnost úzce souvisí toleranční časové pásmo při současném uskutečňování akcí. Toto toleranční pásmo se nazývá časová nejistota (jitter). Je-li časová nejistota nulová, je činnost komponent v systému pracujícího v reálním čase plně synchronizována [3].

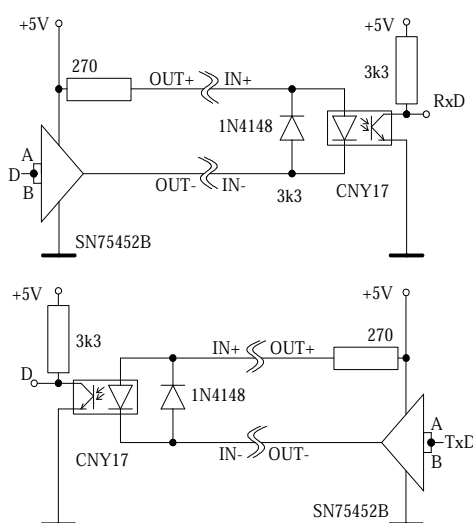


### 3 KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY PRO ÚČELY AUTOMATIZACE

#### 3.1 Úvod do problematiky

V oblastech průmyslové automatizace se v posledních letech výrazně změnila architektura řídicího systému. Vývoj se v této oblasti posunul od centralizované architektury reprezentované řídicími počítači a minipočítači k distribuovaným systémům. Pro ty je typické, že výpočetní výkon řídicích členů je dostatečně mohutný i na nejnižší úrovni řízení a také pro ně platí i to, že inteligence řídicího systému proniká až přímo do procesu [1].

Prostředkem k tomu jsou jednak inteligentní čidla a akční členy, ale i distribuované inteligentní svorkovnice a odloučené karty vstupů a výstupů. Důvodem pro tento vývoj byla především snaha zlevnit kabeláž mezi procesní instrumentací a řídicími členy, zkrátit čas a zjednodušit projekt kabeláže pro její instalaci a kontrolu. Převažujícím způsobem zapojení na úrovni procesu byla dosud proudová smyčka 0 až 20 mA schématicky zobrazená na obr. 3.1 dle.



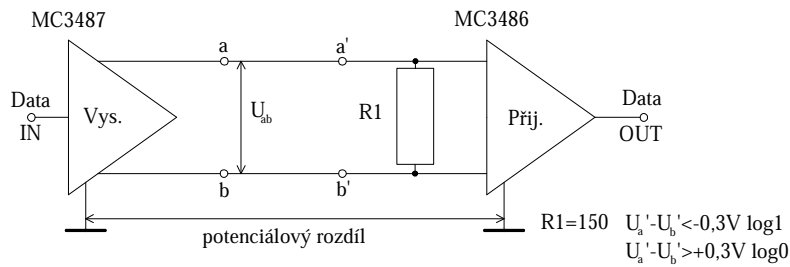
Obr 3.1 Zapojení proudové smyčky 0-20 mA [1].

Její předností byla odolnost proti rušení při malých rychlostech a vzdálenostech až stovky metrů. Nevýhodou je jen dvoubodové spojení a malá přenosová rychlost, která sice vyhovovala pro dvoubodový spoj, avšak nebyla by dostatečná pro mnohabodový spoj [1].

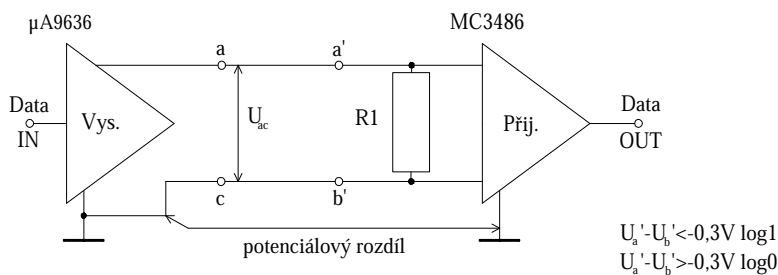
Často však byla z výše uvedených důvodů vytlačena napětovými rozhraními. Tyto rozhraní se vyznačují vyššími přenosovými rychlostmi a jednodušším zapojením při tvorbě mnohabodového spoje a i vyšší odolností proti rušení. Nejprve šlo opět o dvoubodový sériový interface RS 232C a krátce na to vycházeli mnohonásobně výkonnější alternativy jako RS 422 (symetrický spoj, plný duplex), RS 423 (asymetrický duplex) a RS 485 (dvouvodičový nebo čtyřvodičový plný duplex). Na obr. 3.2 je dle [1] uvedeno zapojení rozhraní RS 422, na obr 3.3 zapojení rohraní RS 423 také čerpané z [1].

Zatímco napětová rozhraní se používají především pro číslicový přenos (přenos dvouhodnotového napětového signálu), proudová smyčka sloužila jak pro přenos analogového, tak pro přenos digitálního signálu (dálnopisná smyčka).

Přenos dálnopisem může být příkladem nejen pro fyzický přenos signálu, ale i pro jeho kódování. V souvislosti s dálnopisným přenosem byl stanoven jak způsob kódování, tak způsob sestavení dálnopisné zprávy a její zabezpečení. To představuje vlastnosti komunikačního kanálu, který bude vystvětlen na způsobu přenosu v souvislosti s ISO/OSI modelem [1].

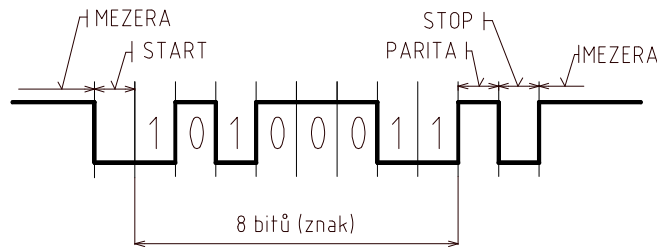


Obr. 3.2 Zapojení RS 422.



Obr. 3.3 Zapojení RS 423.

Dálnopis (obr 3.4) je tzv. znakově orientovaný asynchronní přenos, kdy je jeden rámeček tvořen 7 až 8 významovými bity. Ty mohou vyjadřovat např. hodnotu měřené veličiny vyjádřenou v bitech. Skládá se dále ze START bitu, STOP bitu a paritního zabezpečovacího bitu. Příjemací strana musí vědět, že zpráva přichází. Přijímač pak odfiltruje první bit (označující příchod zprávy) a přijme 7 nebo 8 významových bitů. Dle charakteru parity se kontroluje korektnost došlé zprávy. V některých případech je však kontrola pomocí parity nedostačující a je potřeba se s příjemací stranou dohodnout o jiné kontrole přijímané zprávy. Touto dohodou soubor podmínek pro přenos a přijetí zprávy (protokol) [1].

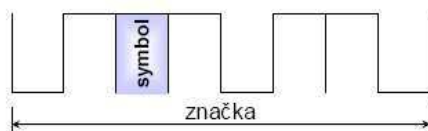


Obr. 3.4 Dálnopisný kód.

### 3.1.1 Terminologie přenosu dat

Každý prvek je vyjádřen jako kódová skupina několika symbolů tvořících značku [11].

- kód - přiřazení prvků ke značkám
- abeceda zdroje – soubor všech použitých prvků



Obr. 3.2 Značka a symbol.

Příklady abeced [11]:

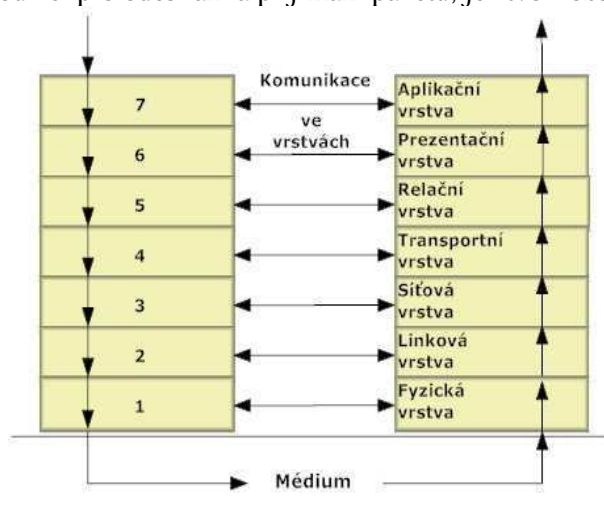
- Morseova abeceda – nerovnoměrný kód, který zohledňuje statistické vlastnosti angličtiny,
- Mezinárodní telegrafní abeceda č.2 (MTA 2) – pro dálkopisné zprávy; 5-symbolový kód; písemná a číslicová změna poskytuje celkovou kapacitu 55 alfanumerických znaků,
- Mezinárodní abeceda č.5 (IA5, též ASCII) – 7bitový kód definovaný v ITU-T V.3 a T.50 (malá písmena, didaktické číslice, speciální znaky a symboly, znaky pro řízení přenosu).

Způsoby přenosu [11]:

- přepojování okruhů nebo přepojování paketů,
- synchronní nebo asynchronní,
- znakově nebo bitově orientovaný,
- simplexní nebo duplexní,
- hromadný, účastnický nebo služební.

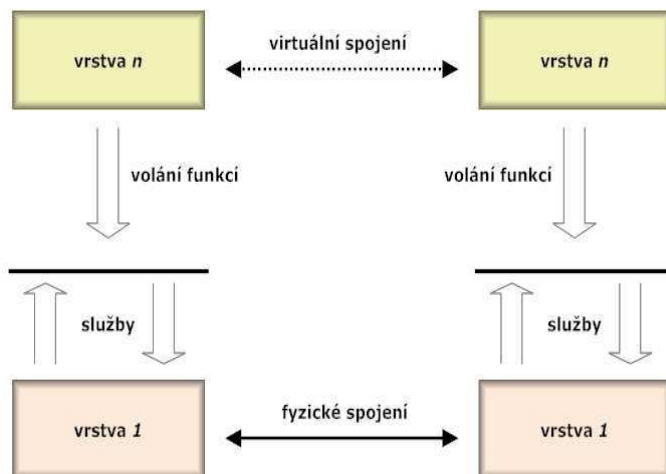
### 3.2 Referenční model ISO/OSI a jeho vrstvy

O.S.I. (Open System Interconnection) model je způsob rozdělení systému na menší části (tzv. vrstvy) z hlediska komunikace. Vrstva je sbírka koncepčně podobných funkcí, které poskytují služby vrstvě nad ní, a využívají služeb vrstvy pod ní. Například vrstva, která poskytuje bezchybnou komunikaci přes síť, zajišťuje cestu potřebnou pro aplikace nad ní. A to tak, že zavolá nejbližší nižší vrstvu sloužící pro odesílání a přijímání paketů, jež tvoří obsah této cesty [4],[7].



Obr. 3.3 ISO/OSI model.

Příkladem připomínajícím vrstvý model ISO/OSI může být dopisová komunikace mezi manažery dvou firem. Každý prvek (s výjimkou fyzické vrstvy) má přímý kontakt (pomocí určitého rozhraní) pouze s prvky v sousedních vrstvách. Rozhraním se myslí např. poštovní schránka mezi 4. a 3. vrstvou nebo přihrádka mezi 3. a 2. vrstvou. Každý prvek na straně odesílatele zpracuje zprávu do takového tvaru, dle daného protokolu, aby jí rozuměl jeho ekvivalent na straně příjemce. Protokol je soubor pravidel, kterými komunikace mezi účastníky přenosu řídí a např. udává, jak má být správně nadepsaná adresa 5. vrstvou nebo jak správně ve 2. vrstvě seskupit více dopisů jdoucích stejným směrem [5].



Obr. 3.4 Přenos zpráv mezi vrstvami OSI.

### 3.2.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva definuje elektrické a fyzikální specifikace pro zařízení. Definuje vztah mezi zařízeními a fyzickými nosiči a uskutečňuje tak vlastní přenos zprávy formou elektrického (optického, radiového) signálu, zajišťuje kódování zprávy do formy změn napětíových (nebo proudových) impulzů, dekódování, případně modulování a demodulování a synchronizace takto binárně kódované zprávy. Zahrnuje uspořádání pinů, napětí, kabelové konfigurace, hubů, repeatorů, síťových adaptérů, adaptérů hostitelské sběrnice a dalších. [1], [4], [5].

K pochopení funkce fyzické vrstvy, je třeba ji srovnat s linkovou vrstvou.

Fyzická vrstva se zaměřuje především na interakci jednoho zařízení s nosiči, zatímco linková vrstva obstarává více interakcí s více zařízeními (tj. alespoň dvěma), se sdíleným médiem.

### 3.2.2 Linková vrstva

Linková vrstva zajišťuje především tyto služby [1], [6], [7]:

- fyzické adresování,
- řízení přístupu k médiu,
- přenos ucelených rámců
- řazení přenášených rámců
- formát rámců a opatření fyzikou adresou,
- základní zabezpečení proti chybám při přenosu,
- detekci chyb,
- opakované vyslání poškozených rámců,
- potvrzování správně přijatých rámců.

Jednou z hlavních funkcí linkové vrstvy je definice přístupové metody, tedy definice pravidel vedoucích k získání oprávnění vysílat zprávu. To je velmi důležité, pokud by se vysílání neřídilo podle těchto metod by mohlo dojít k situaci, kdy se několik stanic pokouší vysílat současně

a obvykle se tak nepodaří zprávu zaslat, protože současné vysílání několika stanic způsobí neplatnost údajů na sběrnici [1], [4].

V závislosti na přístupové metodě se přenos dat provádět stylem [1]:

- Zdroj/cíl, kde je přesně znám odesílatel i příjemce.
- Producent/konzument, kde je významný pouze obsah zprávy.
- Master/Slave, kdy je Master oprávněn vyslat zprávu vždy, když to uzná za vhodné, zatímco Slave pouze pokud je k tomu vyzván.
- Peer-to-Peer, který vychází z principu, že všechna zařízení jsou si rovna. Tedy všechny stanice mohou vysílat tehdy, když to uznají za vhodné.

Přenášených zprávy linkové vrstvy lze rozdělit na zprávy typu [1]:

- unicast - zpráva jedinému příjemci (unikátní),
- anycast - zpráva určená k doručení většímu počtu přijímacích stanic (výběrová), přijímají ji jen stanice nacházející se blízko vysílací stanice,
- multicast - zpráva určená většímu počtu příjemců (skupinová),
- broadcast - zpráva určená všem stanicím na síti.

### 3.2.3 Síťová vrstva

Síťová vrstva poskytuje funkční prostředky pro přenos proměnné délky sekvence dat od zdroje k cíli a je schopna je přenášet přes jednu nebo více sítí. Pro zachování kvality služeb vyžaduje kontrolu z transportní vrstvy. Síťová vrstva pracuje s funkcemi síťového směrování, a může rovněž provádět fragmentaci a opětné sestavení dat a také upozorňovat na chyby přenosu. Směrovače fungující na této vrstvě zajišťují také odesílání dat do rozšířených sítí a umožňují tak přístup k internetu. Adresovací režim je hierarchický a obsahuje logický systém adresován.

V průmyslových sítích, kde jsou topologie sítí poměrně jednoduché, bývá tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva [1], [8].

### 3.2.4 Transportní vrstva

Tato vrstva zajišťuje přenos dat mezi koncovými uzly. Jejím účelem je poskytnout takovou kvalitu přenosu, jakou požadují vyšší vrstvy. V průmyslových aplikacích, kde jsou protokoly pro přenos a samotné přenášené zprávy poměrně jednoduché, je tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva [1].

### 3.2.5 Relační vrstva

Smyslem vrstvy je organizovat a synchronizovat dialog mezi spolupracujícími relačními vrstvami obou systémů a řídit výměnu dat mezi nimi. Umožňuje vytvoření a ukončení relačního spojení, synchronizaci a obnovení spojení, oznamování výjimečných stavů. K paketům dat přiřazuje synchronizační značky, které využije v případě vrácení paketů (např. z důvodu, že se během přenosu dat poškodí síť) k poskládání původního pořadí. V průmyslových sítích je tato vrstva opět vynechána, protože pro poměrně jednoduché přenášené zprávy postačí služby poskytnuté aplikační vrstvou [1].

### 3.2.6 Prezentační vrstva

Funkcí vrstvy je transformovat data do tvaru, který používají aplikace (šifrování, konvertování, komprimace). Formát dat (datové struktury) se může lišit na obou komunikujících systémech, navíc dochází k transformaci pro účel přenosu dat nižšími vrstvami. Mezi funkce patří např.: převod kódů a abeced, modifikace grafického uspořádání, a pod. Vrstva se zabývá jen strukturou dat, ale ne jejich významem, který je znám jen vrstvě aplikační. V průmyslových sítích bývá tato vrstva opět vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva [1].

### 3.2.7 Aplikační vrstva

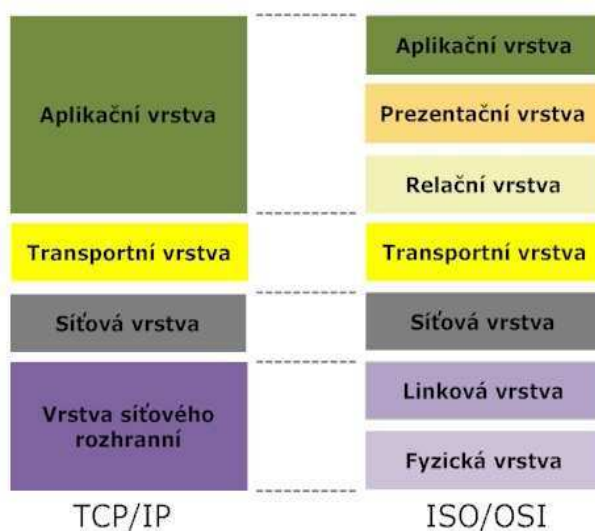
Aplikační vrstva představuje okno, prostřednictvím kterého mohou uživatelé nebo aplikace vidět výsledky služeb zajišťovaných všemi předcházejícími vrstvami. Zajišťuje přenos dat mezi stanicemi, definuje význam zpráv a přenášených dat a definuje datové typy. Jde o vrstvu nejbližší uživateli, která na rozdíl od ostatních nezajišťuje služby pro vyšší vrstvu (žádnou již nemá) [1].

### 3.3 Referenční model TCP/IP

TCP/IP, je obvykle chápáno jen jako označení dvou přenosových protokolů, používaných v počítačových sítích, konkrétně protokolů TCP (Transmission Control Protocol) resp. IP (Internet Protocol). Ve skutečnosti ale zkratka TCP/IP označuje celou soustavu protokolů, která není nutně vázaný na operační systém Unix, přičemž TCP a IP jsou sice nejznámější protokoly této soustavy, ale zdaleka ne protokoly jediné. Správnější je ale považovat TCP/IP za ucelenou soustavu názorů o tom, jak by se počítačové sítě měly budovat a jak by měly fungovat. Zahrnuje totiž i vlastní představu o tom, jak by mělo být síťové programové vybavení členěno na jednotlivé vrstvy, jaké úkoly by tyto vrstvy měly plnit, a také jakým způsobem by je měly plnit - tedy jaké konkrétní protokoly by na jednotlivých úrovních měly být používány [1], [9].

Odlišnost od referenčního modelu ISO/OSI spočívá v názoru na to, jak má komunikační síť vlastně fungovat. Zatímco model ISO/OSI počítá především se spojovaným přenosem, tedy s mechanismem virtuálních okruhů, TCP/IP naopak předpokládá nespojovaný charakter přenosu [9].

Zatímco referenční model ISO/OSI vymezuje sedm vrstev síťového programového vybavení, TCP/IP počítá jen se čtyřmi vrstvami. Protokol TCP odpovídá protokolu 4. vrstvy ISO/OSI modelu, zatímco IP odpovídá protokolu 3. vrstvy modelu ISO/OSI. Protokol TCP/IP pak nevyužívá vrstev 5 a 6 modelu ISO/OSI a ve vrstvě aplikační používá protokoly Telnet a FTP.



Obr. 3.5 Srovnání vrstev TCP/IP a ISO/OSI.

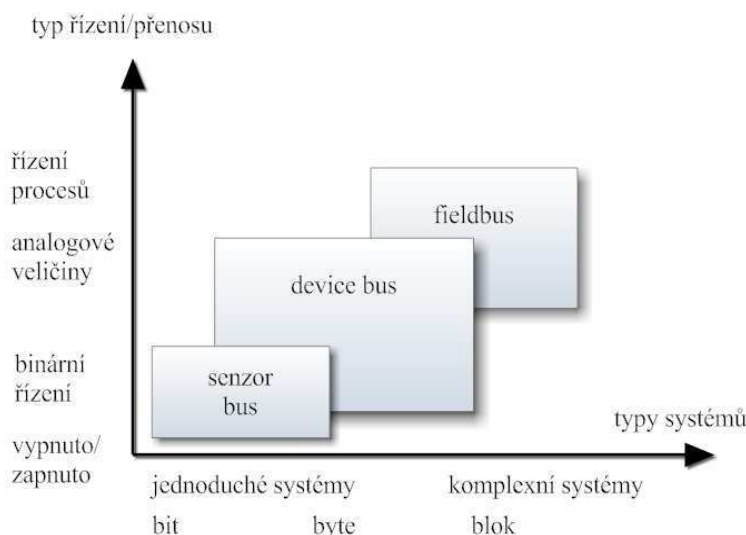






## 4 PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE

Následující kapitola je zaměřena na některé nejvýznamnější a nejvíce rozšířené sběrnice. Průmyslové sítě můžeme rozdělit podle typu řízení a podle typu řízení. Jak je patrné i dle obr. 4.1, rozdělení do jednotlivých kategorií není striktní. Jednotlivé kategorie se navzájem překrývají a daný standart je možné zařadit do obou ze sousedních skupin.



Obr. 4.1 Rozdělení průmyslových sítí.

Nejnižší úroveň řízení tvoří průmyslové sítě (sběrnice) typu Sensorbus. Jsou vhodné pro komunikaci v reálném čase se senzory a jednoduchými akčními členy. Obvykle definují pouze 1. a 2. vrstvu modelu ISO/OSI. Používají krátké rámce, a jsou velmi rychlé. Mezi tyto sítě se řadí například AS-Interface, Profibus DP [12].

Dalším typem sítí je Devicebus. Jedná se o sítě s vyšší úrovní řízení. Používají se pro komunikaci na úrovni programovatelných automatů. Definují 1., 2. a 7. vrstvu modelu ISO/OSI. Používají delší rámce umožňující konfiguraci akčních členů a senzorů. Umožňují účinně řídit komplexní procesy při zachování relativně nízké ceny. Mezi tyto sítě patří například DeviceNet a LonWorks [12].

Posledním typem sítí je Fieldbus, který stojí nejvýše v hierarchii průmyslových sítí. Tyto sítě definují všech 7 vrstev ISO/OSI modelu a navíc ještě definují 8. vrstvu (User Level). Jedná se o multimaster sítě s redundantní (zdvojené přenosové linky). Umožňují událostmi řízené služby, objektově orientované přenosy dat a proměnných, funkce pro zprávu sítě atd. Do této skupiny patří např. Profibus FMS a FIP [12].

V následující tabulce je zpracován přehled nejvýznamnějších průmyslových komunikačních sběrnic. Za tabulkou následují přesnější specifikace některých průmyslových sběrnic, členěných v podkapitolách.

#### 4.1 Přehled průmyslových komunikačních sběrnic

		Oblast použití	Rychlost [b/s]	Model komunikace	Podporovaná média	Max. poč. uzlů	Determ.
Foundarion Fieldbus	H1	I, P, T	31,25k	Single/ Multi-Master	OV, KD	240 se., 2 <sup>16</sup> sy.	ano
	HSE	P, T	100M	Single/ Multi-Master	KD	240 se., 2 <sup>16</sup> sy.	ano
Profibus	DP	P, T	1,5M a 12M	Master/Slave, Peer to Peer	KD	127 si.	ne
	FMS	P, T	500k	Master/Slave, Peer to Peer	KD	127 si.	ne
	PA	P, I	31,25k	Master/Slave, Peer to Peer	KD	256 si.	ne
BITBUS		B, I, T	62,5k;375k; 1,5M	Master/Slave	OV, KD	249 si.	ano
ControlNET		P, T	5M	Producer/ Consumer	OV, KD	99 li.	ano
Modbus		P, B, T	1,2k-115.2k	Master/Slave	KD	247 si.	ne
INTERBUS		P, T	500k	Master/Slave	OV, KD	256 st.	ano
Ethernet	10Base-5	P, D	10M	Master/Slave, Peer to Peer	KK	400 se.	ne
WorldFIP		P, I, B, T	31,25k; 1M a 2,5M	Producer/ Consumer	OV, KD, BD	256 si.	ano
LonWorks		P,B,T	300 až 1,25M	Master/Slave, Peer to Peer	OV, KD, BD, KK	32768 do.	ne
CAN		P, A, B, T	do 1M	Producer/ Consumer, Peer to Peer	OV, KD	2 <sup>11</sup>	ne
HART		I	1.2k	Master/Slave	KD	15 sm.	ne
AS-Interface		P, B, T	167k	Master/Slave	KD	31 si.	ano

#### Legenda k tabulce:

Oblast použití	Podporovaná média	Maximální počet uzlů
I.....inteligentní instrumentace	OV.....optické vlákno	se.....segment
P .....procesní automatizace	KD.....kroucená dvoulinka	sy.....systém
T .....tovární automatizace	KK .....koaxiální kabel	si .....sít'
B.....automatizace budov	BD.....bezdrátově	li.....linka
A .....automobilový průmysl		st.....stanice
		do.....doména

## 4.2 Foundation Fieldbus

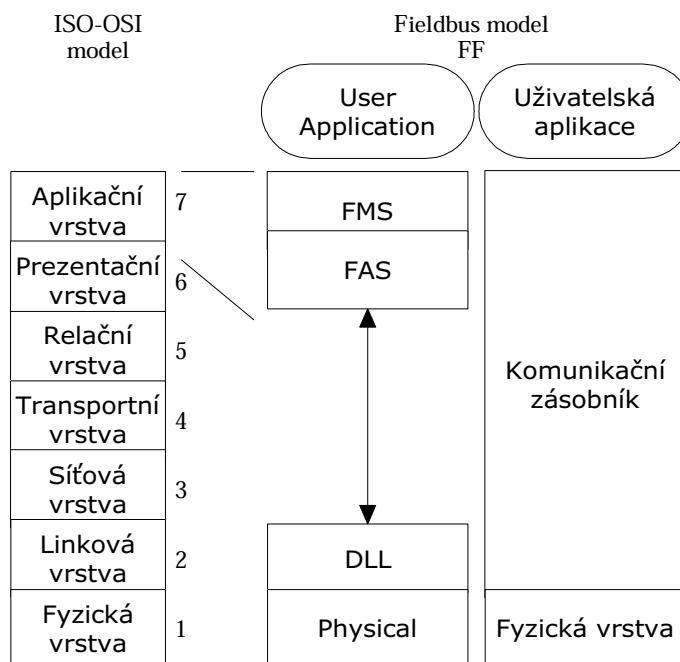
Foundation Fieldbus je plně digitální, sériový, obousměrný komunikační systém, který slouží jako základní úroveň sítě v automatizovaných výrobních prostředích. Jedná se o otevřenou architekturu, vyvinutou a spravovanou organizací Fieldbus Foundation. Vychází z doporučení ISA (Instrument Society of America) SP50, současně však vychází z projektu ISP (Interoperable Systems Project) a standartu WorldFIP [12], [17] [18].

Standart vychází ze 7vrstvého modelu ISO/OSI, využívá její 3 vrstvy, avšak definuje i „osmou vrstvu“ nazvanou „User application“ (uživatelskou aplikaci). Další změnou oproti standardnímu modelu ISO/OSI je sloučení linkové a aplikační vrstvy v tzv. komunikační zásobník [1].

Ve výsledku pak komunikační model FF obsahuje:

- fyzickou vrstvu,
- komunikační zásobník (vrstvy 2 a 7),
- uživatelskou aplikaci

Na obr. 4.2 je dle [1] znázorněn přibližný vztah mezi vrstvami protokolu FF a ISO/OSI



FMS Fieldbus Message Specification (specifikace zprávy)  
 FAS Fieldbus Access Sublayer (přístupová vrstva)  
 DLL Data link Layer (datová podvrstva)

Obr. 4.2 Komunikační model FF (Foundation Fieldbus).

Výhoda FF je mimo jiné v tom, že je přizpůsoben potřebám průmyslových aplikací s výbušným a chemicky nebezpečným prostředím.

Existují dvě základní implementace FF [17]:

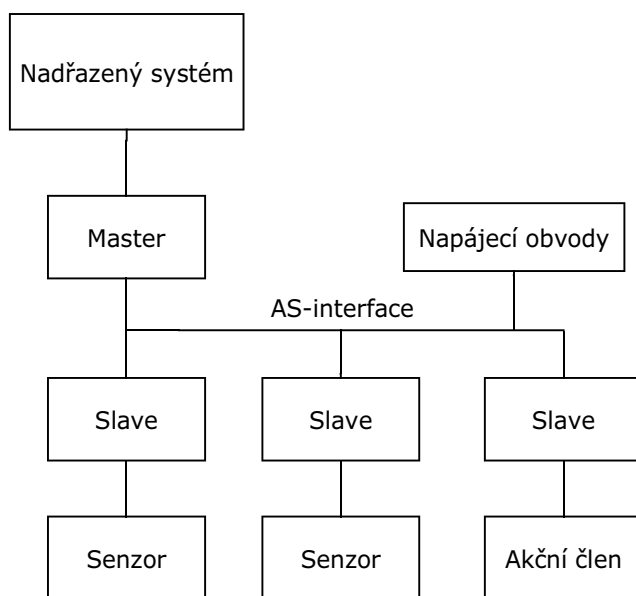
- H1 - tato verze protokolu FF pro přenos standardně využívá kroucené dvoulinky. Pracuje na proudové smyčce 4-20mA při rychlosti 31,25 kbit/s. Topologie je tomto případě sběrnice s krátkými odbočkami (do 1m). Typický počet účastníků sítě FF 32.
- HSE (High-speed Ethernet)
  - pracuje při rychlosti 100 Mbit/s, a obecně spojuje I/O subsystémy, propojení zařízení, brány zařízení atd. pomocí standardních Ethernet kabelů.

### 4.3 AS-interface

Je zástupcem průmyslových sběrnic pro sériovou komunikaci v nejnižší rovině řízení, řadí se tedy do kategorie Sensorbus. Je koncipováno jako systém Master-Slave s cyklickým přenosem binárních signálů. To znamená, že v rozsahu AS-i sítě je k řízení použit pouze jeden řídicí modul Master, který se v přesně definovaných časových úsecích dotazuje na data všech dalších účastníků, tzn. modulů Slave, příp. inteligentních senzorů s integrovaným Slave modulem [12], [13].

Přenosové médium je speciální dvoužilový kabel, který slouží jak k přenosu dat, tak k napájení. Maximální délka kabelu je 100 m, pro větší vzdálenosti je nutno použít repeater. Délka slova je 4 bity. Na jeden modul Master může být připojeno až 62 modulů Slave, které mají vždy max. 4 vstupy a 3 výstupy, tzn. celkem až 248 vstupů a 186 výstupů na jednom AS-i vedení [13].

Struktura AS-i systému je velmi jednoduchá, protože je složena paralelním napojením modulů Slave, případně inteligentních senzorů a akčních členů na nestíněný dvou vodičový kabel. Tento způsob umožňuje použití různých druhů topologie AS-i sítě. Nejčastěji používaná sběrníková struktura je zobrazena na obr. 4.3 [13].



Obr. 4.3 Sběrníková struktura AS-interface.

#### 4.4 HART (Highway Addressable Remote Transducer)

Je standardní rozšířený a průmyslem akceptovaný protokol, umožňujícím oboustrannou číslicovou komunikaci se zařízeními propojenými dvou vodičovou proudovou smyčkou s analogovým přenosem signálů proudovými úrovněmi 4 až 20 mA. Komunikuje tedy v nejnižší úrovni řízení a jedná se o typ protokolu Master/Slave [1].

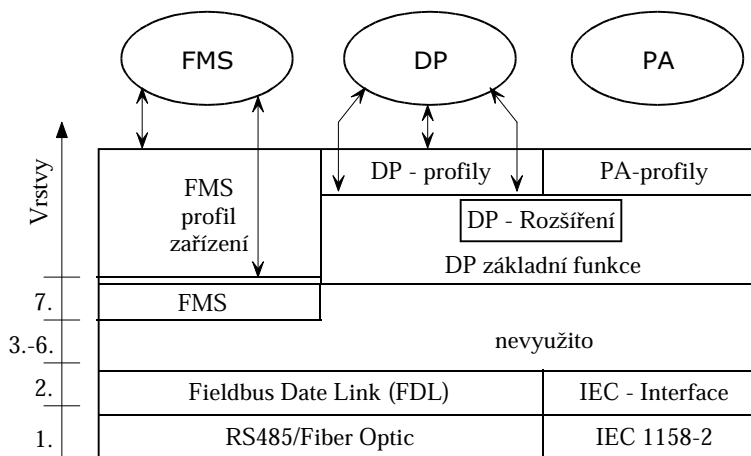
Podstatné je to, že po původním vedení je možné k řídicímu centru současně přenášet jak analogový údaj o hodnotě měřené veličiny ve formě proudu v rozmezí 4 až 20 mA, tak i číslicovou informaci např. o stávající konfiguraci zařízení, identifikační údaje o senzoru kalibrační a diagnostické údaje aj. Dále je možný přenos naměřených údajů jak v analogové, tak i číslicové formě a vyloučit tak chyby vzniklé analogovo-číslícovým a číslicově-analogovým převodem proudového signálu 4 až 20 mA. Pokud by zpoždění vzniklé číslicovým přenosem naměřených dat způsobilo problémy při automatické regulaci procesu, lze k řízení využít analogového tvaru signálu [1], [12].

Hlavní silou toho protokolu je to, že s minimálními počátečními investicemi a prakticky bez rizika (v případě problémů se lze snadno vrátit k původnímu analogovému přenosu proudovou smyčkou) dosahuje nové kvality. Protokol HART umožňuje každou sekundu provést dvě výměny zpráv (v případě použití burst modu nejméně tři). Potom parametry přenosu dat (zejména rychlost) bezpochyby nedosahují úrovní typických pro jiné protokoly, realizovatelné s podstatně vyššími náklady. Není proto vhodný pro rychlé procesy, ale komunikace senzorů a akčních členů v protokolu HART vytváří základ pro zásadní zlepšení jejich metrologických i provozních vlastností uplatněním předností inteligentních měřicích postupů [12].

#### 4.5 Profibus

Profibus (Process Fieldbus) je průmyslová sběrnice určená pro automatizaci výrobních linek, procesní automatizaci a pro řízení výroby technologií. V roce 1996 byla přijata sběrnice Profibus jako evropská norma EN50170, což zaručuje její standardizaci. Jedná se o světově nejrozšířenější a nejúspěšnější průmyslovou sběrnici. Do roku 2008 bylo nainstalováno přes 28 milionů zařízení Profibusu [14], [15].

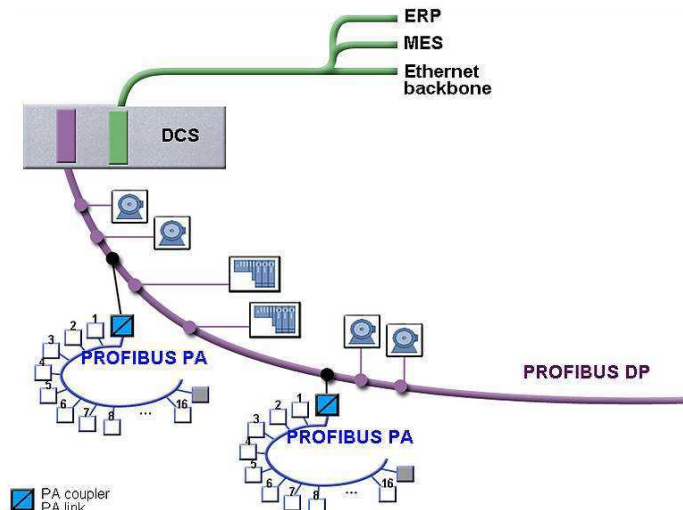
Využitím jednoduché jednokabelové sběrnice struktury, redukuje nutné množství použitých kabelů a dalších HW prvků, což značně snižuje pořizovací cenu automatizace výrobních linek. Prostřednictvím lepšího řízení a on-line diagnostiky Profibus umožňuje lepší správu majetku, zajistí nižší náklady na životní cyklus, lepší kvalitu a vyšší produktivitu. Existují tři varianty Profibusu. Profibus DP, Profibus PA a Profibus FM, porovnání architektury protokolů těchto variant je zobrazeno na obr. 4.4 [1], [14], [15].



Obr. 4.4 Architektura protokolů Profibus.

Pro potřeby sítí Profibus se implementují pouze vrstvy 1., 2. a 7. modelu OSI. Specifickou vlastností aplikační vrstvy je její dělení na dvě podvrstvy označené jako FMS (Fieldbus Message Specification) a LLI (Lower Layer Interface). Nad 7. vrstvou je definováno komunikační rozhraní ALI (Application Layer Interface), kterým jednotlivá komunikující zařízení přistupují ke komunikačnímu modelu (k 7. vrstvě) [14].

Na schématu zobrazeného v obr. 4.5 lze vidět sběrnici o jednom kabelu (modrá čára), jenž přenáší informace mezi kontrolními zařízeními (DCS – Distribuované systémy pro řízení, také PLC nebo PC) a jednotlivými I/O zařízeními. Nad touto čarou jsou typická výrobní zařízení řízená Profibusem DP. Typické rozložení procesů používající Profibus PA, je zanesené pod modrou čarou jako segmenty kontroly [14].

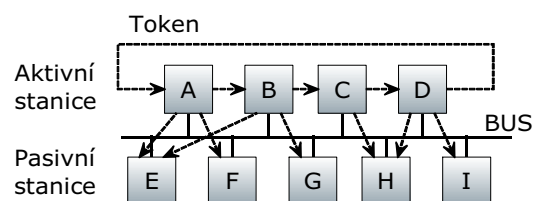


Obr. 4.5 Schéma PROFIBUS [14].

Mnoho výrobních procesů zahrnuje prostředí s nebezpečím výbuchu, takže sítě, jenž jsou součástí takovýchto procesů musí používat speciální fyzické spojení. To je to, co odlišuje Profibus DP a Profibus PA. Jelikož však procesy často zahrnují diskrétní funkce, potom podobnost protokolů Profibus DP a PA přináší silnou výhodu, že procesní i automatizační sítě mohou být připojeny ke stejnému (jedinému) kabelu. Ostatní průmyslové sběrnice se zaměřují buď na procesní, nebo diskrétní řízení, takže musí vždy použít druhou sběrnici, což znamená další náklady pro kabeláž, zařízení, údržbu a podporu [16].

#### 4.5.1 Princip přístupu k síti

Stanice připojené k Profibusu se dělí na pasivní a aktivní stanice. Aktivní stanice si předávají token (pověření) a mohou vysílat, když vlastní token. Pasivní stanice nemohou vlastnit token a musejí být adresovány některou aktivní stanicí, aby mohli předat data. To znamená, že řídicí člen sítě "Master" po ukončení komunikace s podřízeným účastníkem "Slave: nebo jiným Masterem uvolní řízení sběrnice pro další řídicí členy sítě, Tento postup předávání se opakuje, až se kruh předávání přístupu k síti uzavře. Způsob propojení je patrný z obr. 4.6 [1].



Obr. 4.6. Způsob přístupu k síti

#### 4.5.2 Profibus DP (Decentralized Periphery)

Jedná se o nejjednodušší a nejrozšířenější variantu Profibusu, určenou pro rychlou komunikaci typu master-slave. Tato varianta vhodná zejména pro rychlý přenos signálů z procesu pomocí decentralizovaných periférií a odloučených I/O jednotek. Fyzickým médiem je stíněná kroucená dvoulinka s rozhraním RS 485 a s max. délkou 1200 m (do 4800 m s opakovači) nebo optické vlákno. Přenos se uskutečňuje prostřednictvím jednoduchého souboru bloků a funkcí [15], [16].

#### 4.5.3 Profibus PA (Process Automation)

Používá rozšířenou normu Profibus DP a je určen pro řízení pomalých procesů zvláště ve výbušném prostředí, neboť odpovídá jiskrové bezpečnosti. Aby bylo možné síť využívat v tomto prostředí, je použita i speciální fyzická vrstva (proudová smyčka) podle standardu IEC 1158-2 komunikující stálou rychlostí 31,25 kbit/s. Používá se v oblasti propojování odloučných periférií programovatelných automatů, ale i k vzájemnému propojování další řídicí techniky různých výrobců [15],[16].

#### 4.5.4 Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)

Vhodný pro komunikaci v heterogenním prostředí a s velkou množinou služeb pro práci s daty, programy a alarmy. Komunikačním médiem je podobně jako u varianty Profibus DP buď kroucená dvoulinka (standard RS-485), nebo optické vlákno, avšak rychlost je už nižší. Vlastnosti sběrnice Profibus [16].

Profibus podporuje čtyři topologie:

- sběrnice
- strom
- hvězda
- kruh

Nejvíce preferovanou topologií je sběrnice. V následující tab. 4.1 je uvedena závislost přenosové rychlosti na délce použité sítě.

Přenosová rychlost v [kbit/s]	9,6	19,2	97,75	187,5	500	1500	12000
Délka v [m]	1200	1200	1200	1000	400	200	100

Tab. 4.1 Závislost přenosové rychlosti na délce sítě

Síť může být prodloužena pomocí opakovačů. Na segmentu mezi opakovači může být až 30 stanic, celkový počet stanic na síti je maximálně 127.

#### 4.5.5 Přehled přenosové technologie

Přenosové technologie lze rozdělit do tří kategorií [16]:

1. RS-485 (high speed – H2) – Profibus DP/FMS
  - asynchronní kódování, přenosová rychlost od 9,6 kb/s do 12Mb/s,
  - stíněná kroucená dvojlinka, 32 stanic v segmentu, celkem maximálně 127 stanic,
  - pomocí opakovačů lze síť prodloužit do 10 km.
2. optické vlákno - Profibus DP/FMS
  - maximální délka sběrnice závisí na typu optického vlákna (až do cca 30 km),
  - topologie segmentu – kruh nebo hvězda,
  - možnost použít převodník mezi RS-485 a optickým vláknem.

3. IEC 1158-2 (Low Speed - H1) - Profibus PA
  - synchronní kódování Manchester II s rychlostí 31,25 kb/s,
  - volitelná jiskrová bezpečnost a volitelné napájení po sběrnici,
  - stíněná nebo nestíněná kroucená dvojlinka,
  - délka segmentu maximálně 1 900 m, síť lze prodloužit pomocí čtyř opakovačů, podporuje topologie sběrnice, strom a nebo jejich kombinace,
  - 10 až 32 stanic v segmentu, maximálně 127 stanic v síti.

Volba přenosové technologie je závislá na prostředí, v němž je sběrnice provozována (rušení, nebezpečí výbuchu).

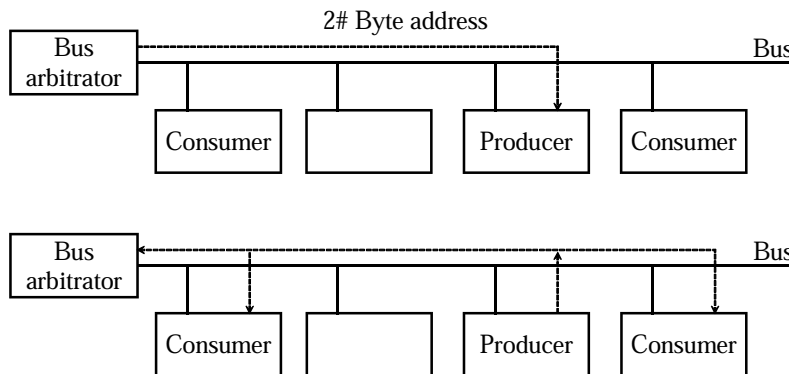
#### 4.6 FIP (Factory Instrumentation Protocol)

Jedná se o standard průmyslové sběrnice používané především ve Francii. FIP je součástí normy EN 50170. Jako přenosové médium se používá kroucená dvojlinka s přenosovou rychlostí 31,25 kb/s., 1Mb/s., a 2,5 Mb/s. Při rychlosti 1Mb/s. je maximální povolenou délkou segmentu 500 m. Síť je složena z jednotlivých segmentů propojených pomocí opakovačů, z nichž každý může mít maximálně 32 připojených zařízení, celkem lze připojit 256 zařízení. FIP používá zdrojově orientovanou pooling adresovací metodu. Přenášené zprávy obsahují data nebo adresu a identifikační kód typu dat. Rámec přenášených dat je podobný rámci formátu HDLC (High-level Data Link Control). Jelikož jsou data v reálném čase periodicky aktualizovaná, a to ve velmi krátkém čase, není třeba potvrzování zpráv[1]. [12].

##### 4.6.1 Řízení sběrnice FIP

Řízením je pověřen arbitr, který cyklicky pověřuje ostatní stanice, které chtějí data buď odesílat nebo přijímat. Arbitr vlastní seznam všech proměnných, které jsou používány ve všech připojených stanicích, a každá proměnná je identifikována vlastní 16bitovou adresou.

Když arbitr vyšle adresu na sběrnici, zařízení, které ji rozpozná, odpoví a pošle zpět obsah příslušné proměnné. V tom stejné okamžiku přijímač, který rovněž rozpozná adresu této proměnné, si zapamatuje její hodnotu, kterou si ze sběrnice vyčte [1], [12]. (viz obr. 4.7)



Obr. 4.7 FIP (Factory Instrumentation Protocol)

#### 4.7 Sběrnice CAN

Sběrnice CAN je velmi populární a rozšířený sériový komunikační prostředek vyvinutý firmou Bosh. Ačkoliv byla původně tato sběrnice určena pro potřeby automobilové průmyslu, brzy našla uplatnění v širokém spektru průmyslových aplikací [19], [20].

A to především díky svým vlastnostem:

- relativně vysoká rychlost přenosu,
- vysoká spolehlivost a odolnost při extrémních podmínkách (teplota, rušení apod.),
- nízká cena komunikačních obvodů.



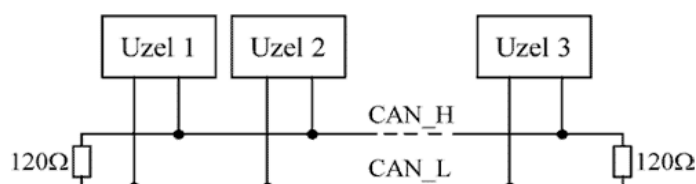
### 4.7.1 Vlastnosti sběrnice CAN

Přenosovým prostředkem je sběrnice tvořená dvou vodičovým vedením, jehož signálové vodiče jsou označeny CAN\_H a CAN\_L a zakončovacími rezistory  $120\ \Omega$ . K této sběrnici se připojují jednotlivé komunikační uzly (obr. 4.8). Počet těchto uzlů může být až 110 (dle typu budičů CAN) [19], [20].

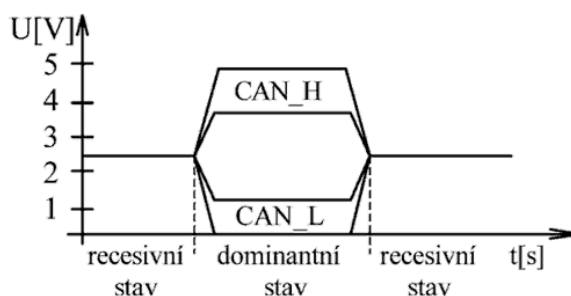
Sběrnici se přenáší dva logické stavy:

- Aktivní (dominant - dominantní) stav:
  - Představuje log.0.
  - Sběrnice je v dominantním (aktivním) stavu, je-li alespoň jeden její uzel v dominantním stavu.
  - Dominantní stav je reprezentován nenulovým rozdílem napětí.
  - Spínače signálových vodičů jsou konstruovány tak, aby v dominantním stavu na vodiči CAN\_H bylo napětí v rozsahu 3,5 až 5V, na vodiči CAN\_L napětí v rozsahu 0 až 1,5V.
- Pasivní (recessive - recesivní) stav:
  - Představuje log.1.
  - V recesním (pasivním) stavu je sběrnice tehdy, když všechny její uzly jsou v recesním stavu.
  - V recesním stavu je rozdíl napětí mezi vodiči CAN\_H a CAN\_L nulový.
  - V recesivním stavu je napětí vodičů CAN\_H a CAN\_L stejné a je zajištěno odporovou sítí na vstupu přijímače.

Na obr. 4.9 je na časové ose průběhu signálu znázorněno toleranční pásmo napěťových úrovní logických stavů na sběrnici CAN. Je též patrné, že signálové vodiče CAN\_H a CAN\_L jsou vzájemně logicky invertované [19],[20].



Obr. 4.8 Principiální schéma sběrnice CAN.

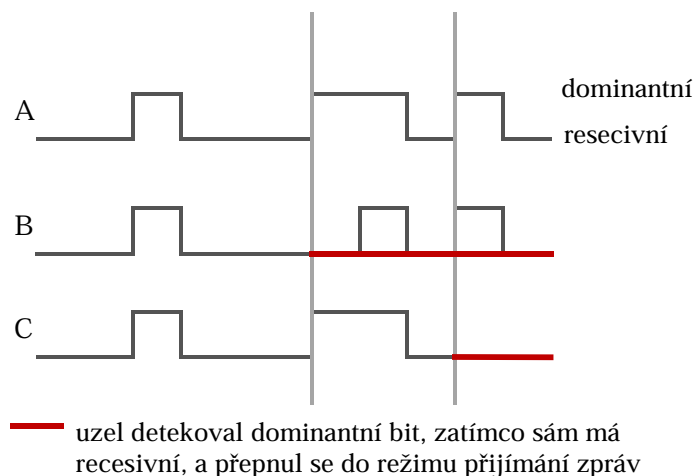


Obr. 4.9 Toleranční pásmo napěťových úrovní logických stavů na sběrnici CAN.

Od samého počátku byla sběrnice CAN navržena jako síť s líniovou topologií pracující v režimu multimaster. Znamená to, že každý účastník může být na určitou chvíli řídicím členem.

V okamžiku kdy stanice, která chce ostatním podat zprávu (začne vysílat) se stává nadřízenou jednotkou tzv. Masterem, a ostatní uzly musí počkat, až je přenos dokončen a linka uvolněna. Není určeno, který uzel má vyslanou zprávu přijmout. Zpráva má identifikátor, z nějž

ostatní uzly poznají, co zpráva obsahuje, a podle toho ji přijmou nebo ignorují. O přijetí zprávy tedy nerozhoduje adresa odesílatele ani příjemce, ale její obsah [20], [21].



Obr. 4.10 Řízení priority zpráv pomocí identifikátorů

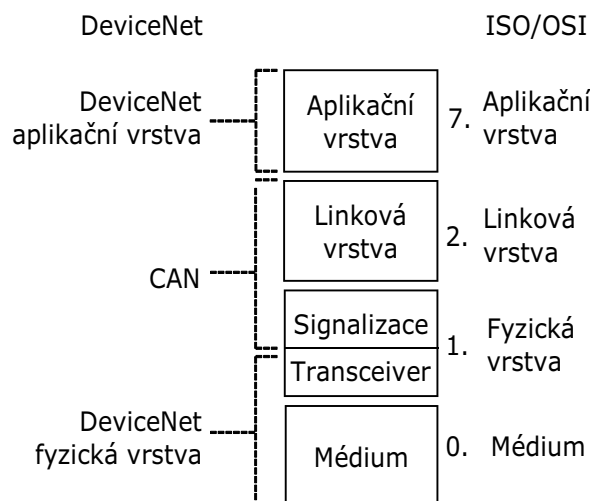
Je ovšem nutné vytvořit mechanismus, který zajistí, aby byly důležité zprávy doručeny včas a aby se o vysílání nepokoušely současně dva uzly. Stane-li se, že se dva uzly pokoušejí vysílat současně, dostane přednost ten s vyšší prioritou. Priorita je zakódována v identifikátoru. V praxi probíhá celý postup tak, že uzly, které chtějí vysílat, zjistí, zda je volná linka, a v případě, že tomu tak je, začnou vysílat svůj identifikátor. Přitom kontrolují po jednotlivých bitech shodu vysílané a přijímané zprávy (obr. 4.10). Dokud jsou identifikátory shodné, nic se neděje. Teprve v okamžiku, kdy jeden účastnický uzel zjistí, že se v identifikátoru druhého uzlu objevil dominantní bit, zatímco on má ve svém identifikátoru ve stejném okamžiku bit recesivní, usoudí, že jeho zpráva má nižší prioritu, stáhne se a uvolní sběrnici. Druhý účastník dokončí vysílání a první pokus opakuje, jakmile se linka uvolní.

Takové metodě se říká nedestruktivní řízení komunikace a její důležitou předností je to, že se vysílání nezdržuje žádným opakováním úvodní sekvence zprávy.

Součástí specifikace CAN je postup, který zabezpečuje, že žádné dva identifikátory nesmí být stejné, a také dovoluje připojovat a odpojovat jednotlivé členy i za provozu sběrnice. Ke sběrnici může být teoreticky připojen libovolný počet uzlů (účastníků), avšak s ohledem na zatížení sběrnice se uvádí kolem 64 účastníků na segment. Rovněž přenosová rychlost 1Mb/s. je dosažitelná pouze do vzdálenosti 40 m, s větší vzdáleností prudce klesá. Plyne to z původního poslání sběrnice CAN, zaměřené pro malé vzdálenosti v instalaci automobilů [19], [20].

## 4.8 Protokol DeviceNet

DeviceNet je otevřený standart průmyslové sítě využívající CAN protokol. Je jedním ze způsobů připojení frekvenčních měničů, softstartérů, elektronických motorových ochran, snímačů, vstupů/výstupů, signálních věží, akčních členů atd. Nabízí nízkou cenu za instalaci, velmi propracovaný kabelový systém, rychlou instalaci a vysokou úroveň on-line diagnostiky. Na obr. 4.11 je zobrazeno srovnání komunikačního modelu DeviceNet s model ISO/OSI. Jak je patrné z obrázku DeviceNet oproti CAN protokolu definuje aplikační vrstvu i její bližší specifikaci [1] [22].



Obr. 4.11 Srovnání modelu ISO/OSI a modelu DeviceNet.

Mezi základní vlastnosti protokolu Device Net patří [1], [23]:

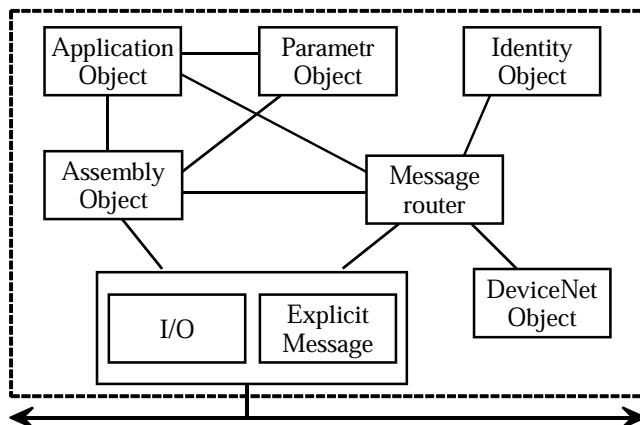
- podpora připojení až 64 zařízení k síti,
- schopnost připojit nebo odpojit zařízení bez narušení konzistence sítě,
- ochrana proti špatnému připojení k médium,
- společný rozvod datových signálů i napájení pro zařízení,
- podpora pro komunikaci typu žádost/odpověď,
- fragmentace dlouhých zpráv
- detekce duplicitních adres zařízení,
- vzájemná zaměnitelnost zařízení od různých výrobců.

Chování DeviceNetu je popisováno pomocí objektů. To znamená, že se veškerá zařízení jsou v síti popsána jako množina objektů. Z nichž každý abstraktně reprezentuje některou jeho část. Tento objektový model je zobrazen na obr. 4.12. Každá třída definuje množinu objektů stejných nebo podobných vlastností. Adresace účastníků má čtyři část [1]:

1. vlastní adresu zařízení (MAC ID),
2. identifikátor třídy,
3. číslo instance,
4. číslo atributu nebo služby.

Typická zařízení obsahují tyto objekty [1], [23], [24]:

- Identity object – obsahuje atributy (identifikace výrobce, sériové číslo zařízení, typ zařízení a další identifikační údaje), které identifikují zařízení v síti DeviceNet,
- Message router object – zajišťuje předávání zpráv mezi objekty,
- DeviceNet object – obsahuje atributy, které identifikují konkrétní porty, přenosovou rychlost adresu zařízení (MAC ID) apod.,
- Connection object – Reprezentuje vždy jeden koncový bod virtuálního komunikačního kanálu mezi dvěma zařízeními v síti. Obsahuje atributy, které řídí zpracovávání explicitních a I/O zpráv, sledují typ připojení a kontrolují jak často DeviceNet zařízení produkují data, také kontrolují cestu, kterou si tento objekt vybere pro přenos dat.,
- Parametr object – objekt používaný v zařízeních s konfigurovatelnými parametry,
- Application object – zajišťuje konkrétní aplikační činnost zařízení např. měření teploty.



Obr. 4.12 Objektový model zařízení v síti DeviceNet [1].

#### 4.8.1 Aplikační vrstva protokolu DeviceNet

Aplikační vrstva definuje komunikační model (DeviceNet Messaging), profily zařízení a knihovnu aplikačních a pomocných objektů. Komunikační model zahrnuje způsob využití CAN zpráv, význam datového pole a rozdělení CAN identifikátorů, fragmentaci zpráv delších než 8 bytů, potvrzování přijetí, atd. Profily zařízení a knihovny objektů umožňují dosažení vzájemné zaměnitelnosti (interchangeability) a propojitelnosti (interoperability) produktů různých výrobců.

DeviceNet definuje pro předávání zpráv účinnější způsob, než je adresace typu zdroj/cíl, používaný u jiných způsobů sériové komunikace. Tento způsob se nazývá poskytovatel/příjemce. Identifikační pole neobsahuje adresu přijímací stanice, ale typ dat přenášených daným datovým rámcem. Tento způsob umožňuje využít větší počet úrovní priorit při povolování přístupu k přenosovému médium, efektivní přenos I/O dat a komunikaci mezi jedním vysílacím objektem a několika objekty přijímajícími [1].

#### 4.8.2 Mechanismus komunikace v síti DeviceNet

DeviceNet definuje komunikaci pomocí komunikační linky tzv. Connection. Existují 2 typy Connection/Propojení, tzv. I/O Connection a Explicit Connection, přičemž pro každou komunikační linku je definován jiný typ zpráv (I/O zprávy, Explicitní zprávy) [23].

##### Vstupní/výstupní zprávy

Vstupní/výstupní (I/O) zprávy jsou určeny pro přenos časově kritických aplikačně orientovaných dat a mají tudíž identifikátory s vysokou prioritou. Zdroj a cíl (producent/konzument) jsou určeny při počáteční konfiguraci a při vlastním přenosu dat se již neuvádějí. Počáteční konfigurace je definována identifikátorem (Connection ID), zdrojovým, cílovým objektem a jejich atributy [23].

##### Explicitní zprávy

Přenos explicitních zpráv naopak probíhá zásadně mezi dvěma zařízeními. Proto se používá mechanismu typu žádost/odpověď. Používají se hlavně pro konfigurování zařízení. Proto má jejich datová část přesnou strukturu obsahující specifikaci úlohy, která se má provést, adresu objektu a hodnotu jeho identifikátoru [23].

#### 4.8.3 Fyzická vrstva protokolu DeviceNet

Způsob řízení je typu poskytovatel/příjemce. Skládá z tranciveru, oddělovacích obvodů a ochranných obvodů. Topologie sítě je sběrnice. Zakončovací odpory mají hodnotu 120 Ohm, 1/4W. Napájení je +24V. Napěťové úrovně jsou definovány podle ISO 11898 [1], [23].

Přenosové médium je stíněný 4-žilový kabel o různých tloušťkách:

- tenký kabel – délky 100 m, maximální proud 3A,
- tlustý kabel - délky 100/250/500 m, maximální proud 8A.

Protokol DeviceNet pro své výhodné vlastnosti (staví na oblíbené, otevřené a levné technologii CAN a přitom definuje aplikační vrstvu) proniká do výrobků celé řady výrobců průmyslové automatizace. Výhodou je plná otevřenost protokolu.

#### 4.9 Technologie LonWorks

LonWorks (LON = Local Operating Network) je průmyslová komunikační síťová platforma (nebo také komunikační sběrnice) vyvinutá na počátku 90. let americkou firmou Echelon ve spolupráci s firmami Tohsiba a Motorola. LonWorks technologie slouží k vytváření inteligentních řídicích síťových systémů, které jsou tvořeny samostatnými inteligentními zařízeními (uzly) [1], [12], [24].

Tyto uzly obsahují tzv. neuron-čipy (neuron chip), ve kterých je implementováno spodních šest vrstev protokolu LonTalk, definovaných podle ISO/OSI modelu.

Na rozdíl od ostatních (např. DeviceNet a Profibus) sběrnic, je komunikace v LonWork sítích typu peer-to-peer. Kde každé zařízení má možnost bez dalšího řídicího členu (arbiter, či master) komunikovat s jiným zařízením.

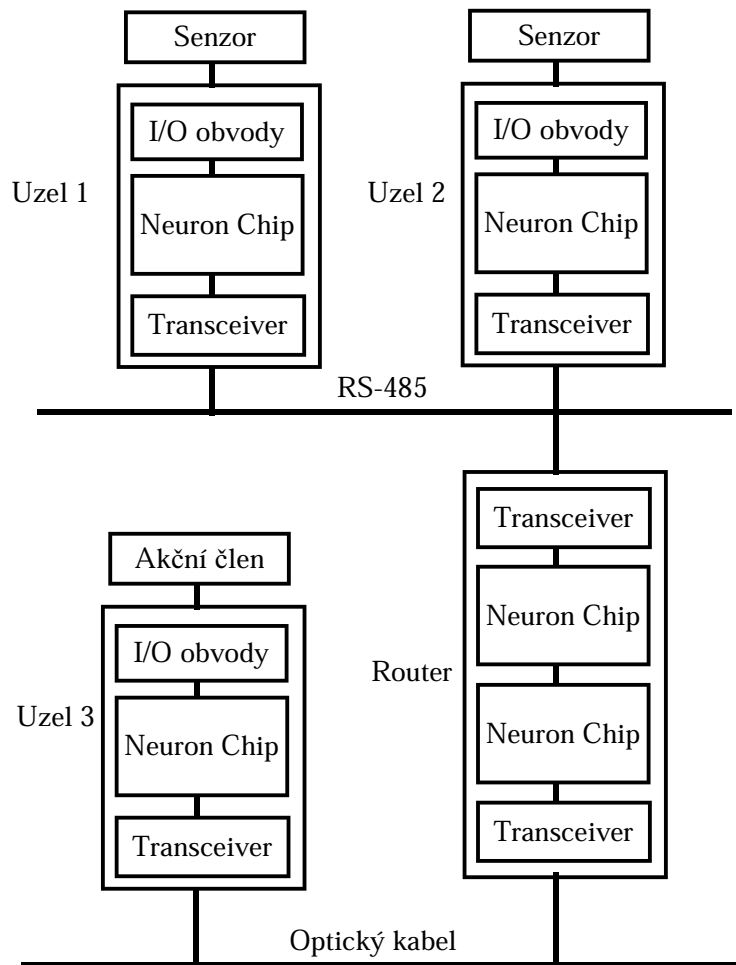
Dalšími vlastnostmi technologi LonWorks jsou [12], [24]:

- možnost použití v aplikacích se 2 až 32768 propojenými zařízeními,
- odezva řádově v jednotkách a desítkách milisekund (v závislosti na počtu propojených účastníků a dalších vlivech)
- přenosovým médiem může být kroucená dvoulinka, optický kabel, infračervený přenos, rádiový přenos, koaxiální kabel nebo elektrorozvodná síť s napětím běžně 400V,
- pro řízení přístupu k médiu se používá metoda CSMA/CD,
- signál je na médiu modulován kódem Manchester a přenášené rámce jsou zabezpečeny 16 bitovým redundantním cyklickým kódem,
- přenášené rámce mohou mít maximální velikost 255 bajtů,
- přenosová rychlost je od 0,6 kb/s až do 2500 kb/s,
- topologie sítě je většinou sběrnice, ale může být i jiné struktury např. strom, hvězda nebo volná topologie,

LonWorks se skládá z následujících komponent [12], [24]:

- Neuron Chip - podporuje LonTalk,
- LonWorks transceivery - tvoří spojení mezi Neuronem a přenosovým médiem,
- LonWorks uzly - obsahují Neuron a transceiver,
- LonWorks routery - komunikace mezi různými přenosovými médii (kanály),
- LonWorks network interface - pro připojení hostujících procesorů,
- Software pro vývoj, konfiguraci, diagnostiku a řízení sítě.

Hlavní použití této technologie je především v automatizaci budov jako zabezpečovací zařízení, požární ochrana atd. Příklad jednoduché sítě typu Lonworks je znázorněn na obr. 4.13, na další straně [12], [24].



Obr. 4.13 Příklad jednoduché LonWorks sítě [12].

## 5 PROPOJOVACÍ PRVKY SÍTÍ

### 5.1 Omezená délka segmentů sítě

V souvislosti s průmyslovými sítěmi, které jsou prostředkem pro přenos dat ve výrobních procesech, je možné se setkat se specifickými pojmy a zařízeními v síťové komunikaci. Takovéto sítě velmi často nemohou přenášet data izolovaně a dosah jednotlivých síťových segmentů není neomezený z důvodu fyzikálních vlastností přenosových médií (koaxiální kabel, optický kabel, měděná kroucená dvoulinka nebo rádiová vlny atd.) [25].

Specifikace jednotlivých typů komunikační sítě jasně určují maximální hodnoty délky jednotlivých segmentů. V případě překročení těchto hodnot dochází ke zhoršení přenosových vlastností (snížení rychlosti, zvýšení chybovosti) či dokonce k úplné nefunkčnosti sítě.

Pro překonání omezení dosahu jednotlivých segmentů sítě slouží propojovací prvky. Vlastnosti jednotlivých prvků jsou odvozeny od vrstev síťové architektury, tedy jednotlivé typy propojovacích typů pracují v určitých vrstvách této architektury [25].

### 5.2 Opakovač (repeater)

Opakovače výhradně pracují v nejnižší fyzické vrstvě síťové architektury. Pracují pouze v prostředí lokálních sítí, kde prodlužují maximální délku segmentů sítě povolenou specifikací nebo umožňují připojit větší počet stanic [25].

Jejich jediným úkolem je regenerovat signál při přechodu z jednoho segmentu do druhého, kdy signál nejenom opakují, ale i zesilují.

Jejich další vlastnosti jsou následující [25]:

- nekontrolují chyby (nemají možnost dělat kontrolní součet, protože v posloupnosti přijatých bitů nevidí rámec, kromě speciálního typu opakovače používaného u gigabitového Ethernetu)
- nepoužívají vyrovnávací paměť,
- nedělají žádná rozhodnutí na základě obdrženého signálu:
  - nerozeznávají vysílání na všeobecnou adresu (broadcast)
  - nerozeznávají, komu jsou data určena, takže přijatý signál na jednom portu replikují všemi svými ostatními porty.

### 5.3 Most a prepínač (bridge a switch)

Tyto dva typy zařízení pracují na úrovni linkové vrstvy. Prvními zařízeními, která skutečně propojovali dva segmenty lokální sítě byly mosty. Objeví se na počátku 80.let dvacátého století.

V průběhu 90. let byly vyvinuty prepínače pro lokální sítě. Ty sdílejí s mosty mnoho společných vlastností, ale jejich účel se liší. Ve skutečnosti nejde o propojovací zařízení, ale o vylepšené řešení jednotlivých lokálních sítí, kde místo tradičního sdíleného přenosového pásma pro všechny připojené sítě se vyhrazuje celé pásmo malé skupině stanic, nebo dokonce stanici jediné.

Velmi zjednodušeným pohledem si můžeme prepínač představit jako rychlý multiportový most.

Společnými rysy mostů a prepínačů [25]:

- rozhodují se na základě fyzických adres příchozích rámců a svých tabulek adres,
- prepínají rámce (předávají je mezi vstupním a výstupním portem směrem k cílové stanici) a filtrují rámce (rámce určené stanicím za vstupním portem se nepřepínají) podle rozhodovací tabulky (u mostů pro Ethernet si ji most generuje dynamicky),
- kontrolují rámce z hlediska chyb a specificky řídí jejich tok,
- vykonávají úkoly vyplývající z příslušných použitých metod přístupu,
- podporují multiprotokolové prostředí (jsou nezávislé na síťových a vyšších protokolech).

Mezi přepínači a mosty jsou tyto rozdíly [25]:

- přepínače obvykle nabízejí výběr režimu práce (store and forward, nebo rychlejší cut - through, kdy přepínání na výstupní port přepínače může probíhat již v průběhu příjmu rámce na vstupní port),
- přepínače pracují rychleji, neboť vnitřní rozhodování a přepínání se odehrává v hardwaru, nikoliv v softwaru jako u mostů,
- přepínače podporují virtuální lokální sítě (VLAN).

#### 5.4 Směrovač (router)

Směrovač pracuje o vrstvu výše než most nebo přepínač, a to síťové vrstvě. Jedná se o aktivní síťové zařízení, které zajišťuje přeposílání datových paketů k určenému adresátovi co možná nejefektivnějším způsobem.

Směrovač už nepracuje s plochými fyzickými adresami, ale s adresami, které odrážejí topologii sítě. IP směrovač zajímá jen část cílové adresy paketu označující síť. Proto směrovací tabulka obsahuje záznamy jen o dostupných sítích, a nikoliv o jednotlivých připojených stanicích. V této tabulce je pro každou dostupnou síť uveden výstupní port směrovače, adresa sousedního směrovače na cestě k cíli a metrika dané cesty (konkrétní hodnota kritéria pro hodnocení kvality cesty, např. její délka nebo šířka pásma). Směrovací tabulka je tedy založena na logickém uspořádání sítě.

Směrovač má tudíž na starosti dva základní procesy [25], [26]:

- nalezení cesty sítí: staticky nebo dynamicky podle směrovacích protokolů se naplňuje, udržuje a aktualizuje směrovací tabulka,
- posílání datagramů sousednímu směrovači na cestě: interní přeprava datagramu ze vstupního portu na výstupní (podle cesty vyhledané ve směrovací tabulce, jestliže existuje, jinak je paket zahozen) a práci s datagramy a s rámci (odpouzdření či zapouzdření, nalezení fyzické adresy odpovídající síťové adrese souseda, typicky směrovače, nebo cílového uzlu).

Směrovače tedy jsou mezi všemi propojovacími prvky velice chytrá zařízení, nezbytná pro současnou síťovou komunikaci. Doba opakovačů, rozbočovačů a mostů je dnes téměř pryč. Hlavní místo v sítích nejrůznější velikosti, složitosti i určení v současné době zaujímají přepínače a směrovače. Směrovače v sobě mohou integrovat rozbočovač anebo přepínač. Jejich cena z nich nyní činí nejen široce dostupné, ale i velmi žádané zařízení, plnící i další bezpečnostní funkce [25], [26].



## 6 PRŮMYSLOVÝ ETHERNET

U zrodu Ethernetu stála firma Xerox, která na začátku 70. let dvacátého století potřebovala propojit sériovým mnohobodovým spojem vždy několik počítačů s tiskárnou svým výrobkem.

První varianta Ethernetu umožňovala propojit až 100 účastníků komunikačního procesu na vzdálenost 1000 m při přenosové rychlosti 3 Mb/s. Následující výzkum, financovaný konsorciem známým jako DIX (firmy Digital Equipment Corporation – DEC, Intel a Xerox), vedl na konci 70. let k dokončení vývoje a začátkem 80. let ke standardizaci Ethernetu jako mezinárodního standardu IEEE 802.3 (následně ISO 8802.3) s přenosovou rychlostí 10 Mb/s na topologii typu sběrnice s použitím „tlustého“ koaxiálním kabelu. V dalších letech byl učiněn velký pokrok jak ve strukturalizaci kabeláže (sběrnice byla nahrazena stromem), ve zmenšení kolizních domén, tak zejména v nárůstu rychlosti přenosu na 100 Mb/s, dále na 1 Gb/s a nakonec na 10 Gb/s [1], [27].

Průmyslové využití Ethernetu předurčují až vyšší přenosové rychlosti (od 100 Mb/s výše).

### 6.1 Průmyslové sítě a Ethernet

Rozdíly mezi Ethernetem a průmyslovými sítěmi [27], [28], [29]:

- Ethernet není vhodný pro práci v reálném čase, kdežto pro průmyslové sítě je tento způsob komunikace podmínkou.
- Lokální síť LAN, pro které je Ethernet původně určen, nevyužívají referenční model ISO/OSI nýbrž jednodušší síťový model TCP/IP.
- Zatímco průmyslové sítě jsou navrženy především pro nasazení v průmyslovém prostředí jako sítě malého rozsahu, Ethernet je navržen pro sítě rozsáhlejší a umožňuje bezproblémové napojení na Intranet/Internet

Výhody oproti zavedeným průmyslovým sítím [3], [27]:

- kompatibilita s dalšími lokálními sítěmi (LAN) a s Intranetem a Internetem,
- snadné a levné připojení na PC, Internet/Intranet,
- velká podpora různých médií,
- nízká cena síťových komponent,
- vyšší přenosová rychlost (ve srovnání s průmyslovými sběrnicemi Profibus, DeviceNet, ...),
- zdvojnásobení přenosové rychlosti při použití přepínaného Ethernetu v duplexním režimu,
- lze použít možnost existujících služeb a aplikací (www, ftp, e-mail).

Nevýhody oproti zavedeným průmyslovým sítím [3], [27]:

- Použití přístupové metody CSMA/CD. Pokud zařízení na sběrnici zjistí kolizi, zastaví vysílání, počká náhodnou dobu a opakuje svůj pokus znovu.
- Délka datového pole není přispůsobena potřebám průmyslové komunikace.
- Další nevýhodou byl nutný vývoj průmyslových verzí konektorů, kabelů a dalších síťových prvků vhodných pro průmyslová prostředí (vyšší teploty, vyšší úrovně rušení atd.)

Zásadní problém Ethernetu je tedy v mechanismu přístupové metody CSMA/CD. Tato metoda je v případě informačních technologií postačující, avšak řídicí aplikace v průmyslových sítích mají vyšší nároky na determinismus a na odezvu systému. Tento problém lze vyřešit rozdělením sítě Ethernet na logické segmenty pomocí mostů. Zprávy se pak omezují jen na daný segment sítě, a tímto se i vznikající kolize omezí jen na daný segment. Tímto způsobem, při přepínané struktuře a velkých rychlostech, můžeme zaručit režim blízký režimu v reálném čase [1], [3], [27].

## Komunikační protokoly průmyslového Ethernetu

Jak již bylo zmíněno výše, komunikačním modelem průmyslového Ethernetu je TCP/IP. Norma definující tento model (IEEE 802.3) definuje pouze vrstvy fyzickou a linkovou, ty však nezaručují doručení zprávy. Proto je třeba definovat další vrstvy [28].

*TCP (Transmission Control Protocol)*

Protokol, který představuje transportní vrstvu modelu ISO/OSI. Vytváří spojení mezi zařízeními v síti, a zajišťuje tak cestu pro přenos dat. Stará se také o spolehlivé doručování zpráv ve správném pořadí.

*IP (Internet protokol)*

Tvoří síťovou vrstvu ISO/OSI modelu. Zajišťuje přenos dat mezi jednotlivými sítěmi.

V aplikační vrstvě lze využít služeb používaných v internetu např.: FTP, HTTP, Telnet atd.

## 6.2 ProfiNet

Podobně jako průmyslová síť Profibus, která se ve variantě Profibus-DP stala nejrozšířenější průmyslovou komunikační sítí na světě, je i koncept Profinet velmi rozšířen v oblasti průmyslové automatizace. Podobně jako Profibus, i Profinet je vyvinut a používán podle povahy úloh ve dvou až třech variantách [29].

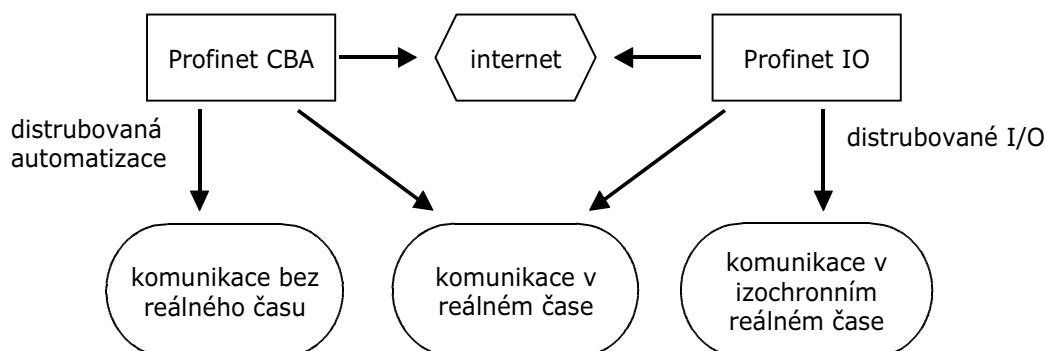
### 6.2.1 Architektura sítě Profinet

Architektura komunikačního systému Profinet je nastavena ,tak že lze do jisté míry volit funkční schopnosti podle povahy dané úlohy .

Existují dvě varianty Profinetu [29]:

- Profinet CBA (Component Based Automation) - koncept modulární výstavby komunikačního systému z předem připravených komponent,
- Profinet IO (Input/Output) - varianta určená k realizaci propojení decentralizovaných periferií především v cyklickém režimu komunikace a dělí se na tyto varianty:
  - komunikující v reálném čase (RT),
  - komunikující v izochronním reálném čase (IRT).

Na obr. 6.1 je dle [29] zobrazený vztah mezi variantami profinetu (všechna spojení mezi bloky schématu jsou obstarávána segmenty sítě Ethernet.



Obr. 6.1 Varianty sítě podle konceptu profinet.

### Varianta Profinet CBA

Koncept Profinet CBA definuje jeden pohled na funkci automatizačního zařízení. Spočívá v tom, že celý automatizovaný celek lze rozdělit na samostatně pracující komponenty a popsat jejich funkci s použitím jazyka XML jako PCD (Profinet Component Description).

V databázi PCD jsou pak uloženy všechny údaje o komunikujících přístrojích (zařízeních), které jsou důležité pro komunikaci. V síti Profinet CBA, při komunikaci bez podpory vlastností reálného času, lze využít profily automatizačních a komunikačních zařízení definované pro síť Profibus. Systém Profinet pracuje na principu producent-konzument. Producentem je vysílací a konzumentem přijímací uzel [29].

### Varianta Profinet IO

Je vlastní fyzické provedení průmyslového Ethernetu. Jejím úkolem je především zajistit rychlé a spolehlivé přenosy dat mezi moduly I/O a řídicími stanicemi po síti Ethernet. Jako takový musí systém Profinet IO zajistit tyto funkce [29]:

- cyklickou výměnu dat mezi moduly I/O a řídicími stanicemi (programovatelnými automaty apod.),
- přenos s velkou prioritou a kvitování výstražných hlášení (dat) nesoucích informací o stavu (výsledcích diagnostiky) zařízení a mezních stavech technologických veličin,
- přenos acyklických dat (čtení a zápis hodnot parametrů zařízení apod.) v režimu bez reálného času (NRT),
- rychlou výměnu dat přímo mezi koncovými stanicemi bez zásahu řídicích stanic,
- synchronizaci stanic pracujících v režimu reálného času,
- automatické přidělení adres zařízením.

V síti Profinet IO se vyskytují tři druhy uzlů:

- řídicí stanice (IO-Controller),
- koncová stanice (IO-Device),
- inženýrská stanice (IO-Supervisor).

Systémy Profinet IO a Profinet CBA mohou ve stejném čase pracovat na stejné síti Profinet a mohou být i zavedeny v téže komunikující stanici. V praxi má však toto význam jen u stanic typu IO-Controller [29].

#### 6.2.2 Komunikace v síti Profinet

##### Standardní komunikace (NRT)

Jedná se o komunikaci využívající mechanismu s protokoly standardního ethernetu (TCP/IP, UDP/IP) pro přenos dat, které nejsou časově kritické. Podmínkou je to, že jsou v jednotlivých komunikujících zařízeních zavedeny odpovídající komunikační služby (např.: File Transfer) [29].

##### 6.2.3 Komunikace v reálném čase (RT)

Komunikace v sítích s dobou odezvy asi 1 ms. Tato RT komunikace může probíhat několika způsoby [29]:

- komunikace RT uvnitř lokální sítě - metoda s dobou odezvy řádu jednotek milisekund, která nevyžaduje adresu IP pro cílovou síť a zbytečné jsou i informace o TCP nebo UDP, neboť se využívá výhradně ethernetová vrstva;
- komunikace RT mezi sítěmi - ta se uskutečňuje kanálem UDP/IP, přičemž je třeba přenášet adresu IP; pro tento způsob bude v krátké době k dispozici profil RT over UDP,
- multicasting RT - což znamená cyklický přenos dat do většího počtu uzlů jednou zprávou a cyklickou výměnu dat mezi uzly.

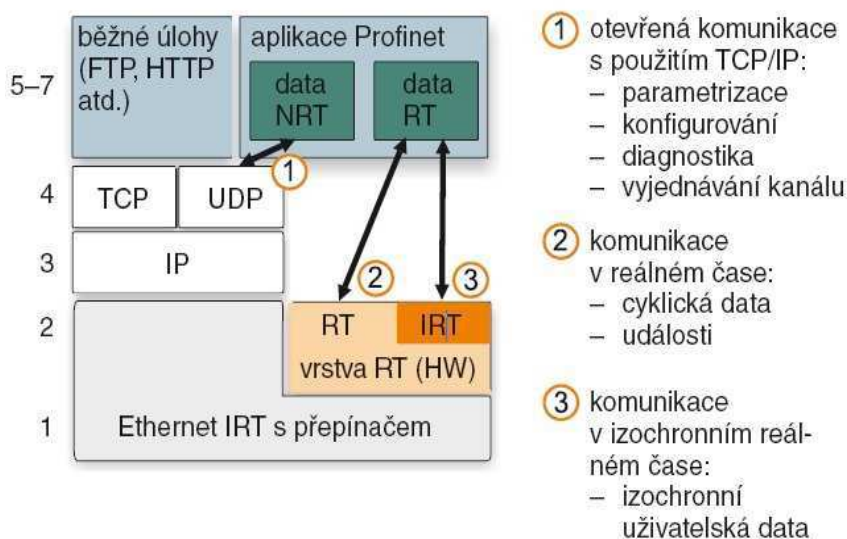
### Izochronní komunikace (IRT)

Ta se využívá pro úlohy s extrémně tvrdými požadavky na reálný čas a krátkou dobu odezvy, jako je třeba řízení pohonů ve strojírenství. Pro tyto úlohy se používá standart Profinet s těmito vlastnostmi [29]:

- komunikace probíhá pouze mezi uzly v jednom segmentu sítě čítajícím jen několik málo účastníků (typicky dva až čtyři),
- komunikační cyklus je rozdělen na fázi IRT a na fázi bez požadavku na striktně deterministický izochronní přenos,
- režim IRT si nárokuje určitý časový úsek z celkového komunikačního cyklu, ve kterém přizpůsobený přepínač přepíná pouze data IRT na principu point-to-point (bod-bod),
- ve fázi IRT přepínač nepřepíná na základě adresy uložené ve zprávě, ale na základě aktuálního času, takže musí být podporována časová synchronizace jednotlivých komunikujících entit podle standardu IEEE 1588,
- nejistota synchronizace (jitter) je obecně menší než 1  $\mu$ s.

Přechody mezi fázemi cyklu, s IRT a bez IRT, jsou zajišťovány obvodově. V krátké době na přechodu mezi fázemi rozhoduje hardware v podobě zákaznického obvodu (ASIC), kterým musí být vybavena příslušná speciální ethernetová karta, zda může být přenášen rámeček TCP/IP, popř. UDP/IP, aniž by se zdržel následující přenos typu IRT.

V režimu IRT dosahuje síť Profinet doby cyklu 250  $\mu$ s a to za cenu použití hardwarové realizace ethernetových vrstev (zákaznický obvod s integrovaným přepínačem a funkcemi synchronizace cyklu, speciální přepínače). Komunikační model s vlastní hardwarovou realizací ethernetových vrstev je znázorněn na obr. 6.2 [29].



Obr. 6.2 Komunikační model Profinet s vlastním hardwarovým řešením ethernetových vrstev.

### 6.3 Ethernet Powerlink

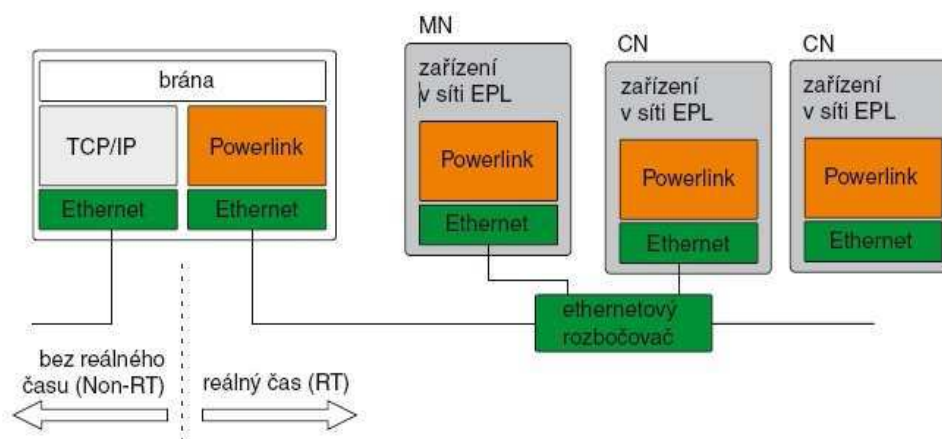
Standard Ethernet Powerlink je dalším zástupcem systémů průmyslového Ethernetu. (Standardizovaný v normách IEC 61158 a IEC 6248). Důsledně vychází ze standardu Ethernet, takže nevyžaduje žádný speciální hardware a využívá veškeré standardy pro síť Ethernet hlavním zdroj pro tuto kapitolu byl [29].

#### Vývoj standardu Ethernet Powerlink v bodech:

- Rok 2001 - byla uvedena na trh, první verze standardu Ethernet Powerlink V1,
- Rok 2002 - ustanovena organizace EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group),
- Rok 2003 - byla uvedena druhá verze standardu, nazvaná Ethernet Powerlink V2, která rozšiřuje verzi V1 o aplikační vrstvu založenou na komunikačním protokolu CANopen.

#### 6.3.1 Základní vlastnosti standardu Ethernet Powerlink

- dosahuje výborných vlastností reálného času čistě softwarovým řešením,
- využívá především důsledné časové rozdělení přenosového cyklu na části:
  - izochronní (cyklický přenos časově kritických dat v reálném čase),
  - asynchronní (přenos časově nekritických dat protokolem IP).
- namísto přepínačů (switchů), které by zanášeli do izochronní rychlé části cyklu, zpoždění, používá rozbočovačů, tedy tzv. bezkolizních domén,
- odděluje segmenty sítě pracující v reálném čase od těch, které prací v reálném čase nepodporují viz obr. 6.3,
- využívá komunikační model producent/konzument,
- pro deterministickou synchronizaci izochronních přenosů zavádí mechanismy synchronizace prostřednictvím distribuovaných hodin reálného času podle standardu IEEE 1588
- umožňuje vytvořit síť s jakoukoliv topologií



Obr 6.3 Základní architektura sítě Ethernet Powerlink

#### 6.3.2 Komunikační model Ethernet Powerlink

Podrobný komunikační model standardu EPL je na obr. 6.4. Časově kritické zprávy (cyklická technologická data) jdou softwarovým obchvatem protokolů TCP/IP, zatímco standardní ethernetová komunikace probíhá prostřednictvím protokolů TCP/UDP/IP [29].

### Fyzická a linková vrstva

Pro potřeby linkové vrstvy, která musí přenášet časově kritická data, existují dvě rozhraní:

- Powerlink Driver (PLD)
- Lower Layer Driver (LLD)

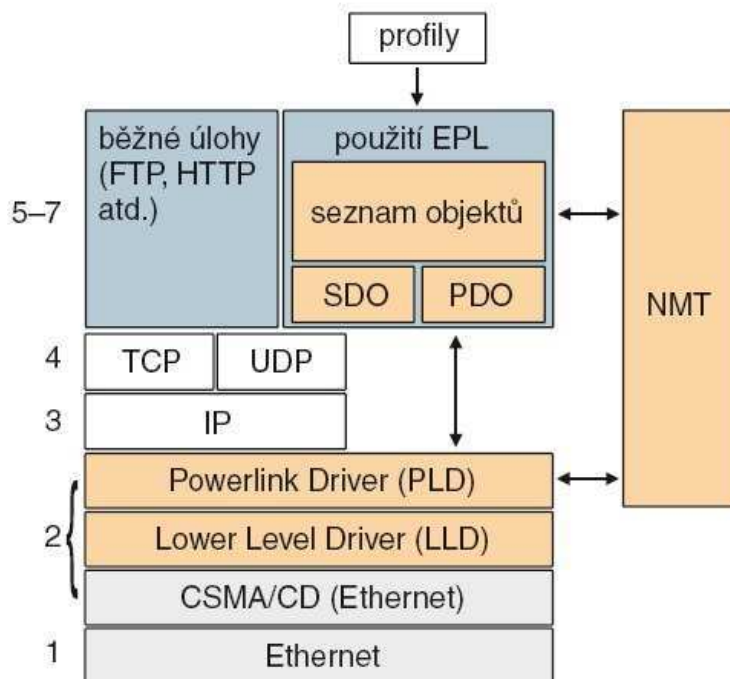
kteřé zapouzdřují funkce fyzické a linkové vrstvy Ethernetu do přenosového rámce Ethernet Powerlink.

První i druhou vrstvu komunikačního modelu Ethernet Powerlink charakterizují tyto vlastnosti a parametry [29]:

- až 240 uzlů sítě v jedné doméně reálného času;
- zaručený deterministický přenos dat v reálném čase:
  - nejkratší doba cyklu 200  $\mu$ s,
  - nejistota synchronizace (jitter) menší než 1  $\mu$ s.
- přímá (peer-to-peer) komunikace všech uzlů navzájem, tj. data vyslaná z jednoho uzlu, mohou být okamžitě přijata kterýmkoliv dalším uzlem v síti,
- možnost připojovat i odpojovat zařízení v síti za chodu (hot-plugging) bez negativního ovlivnění vlastností funkce reálného času při správě konfigurací a bez nutnosti vypnout systém,
- snadné začlenění do internetu.

Na Linkové vrstvě každé zařízení v síti Ethernet Powerlink podporuje dva operační módy:

- mód Ethernet TCP/IP
  - umožňuje zavést do sítě základní software a konfigurační data,
  - umožňuje změnu základního módu na mód reálného času.
- mód Powerlink
  - umožňuje stanici v síti pracovat v reálném čase,
  - eliminuje metodu náhodného přístupu CSMA/CD a zpoždění přepínaného Ethernetu tak, že jednomu uzlu v segmentu určí roli arbitra přenosu, který synchronizuje další účastníky v reálním čase. Jde tedy o metodu řízení přenosu master/slave.



Obr 6.4 Komunikační model Ethernet Powerlink.

### Síťová a transportní vrstva

Tyto vrstvy jsou využívány jen kanálem pro přenos časově nekritických dat. Protokoly aplikační vrstvy jsou tvořeny standardními internetovými protokoly a dále protokoly umožňujícími realizovat mód Powerlink.

### Aplikační vrstva

Aplikační vrstva komunikačního modelu Ethernet Powerlink využívá standardizovaných mechanismů aplikačního protokol CANopen, o kterém je podrobněji pojednáno ve čtvrté kapitole.

Pro své vynikající vlastnosti z hlediska reálného času je Ethernet Powerlink velmi často používán zejména v oblasti řízení strojů.

## 6.4 Sercos III

Tato varianta průmyslového Ethernetu umožňuje přenášet po stejné komunikační síti běžná i bezpečnostní data. Takto navržená komunikační infrastruktura je vhodně upravena aby byla odolná proti přerušení kabelu nebo selhání přenosu dat. Zvláště oproti jiným komunikačním sítím je skutečnost, že si v komunikační síti Sercos vystačíme s jedním standardem a jedním kabelem. Prvně byla tato varianta (ve verzi III) prezentována v roce 2005 a roku 2007 se stala součástí mezinárodního standardu IEC 61158/61784 [30], [31], [32].

Jedná se o spolehlivý, vospělý a účinný systém pracující v reálném čase, v ethernetové komunikační síti, u kterého máme možnost připojení k jakémukoliv uzlu sítě běžným ethernetovým kabelem bez potřeby speciálního hardwarového nebo softwarového rozhraní.

Je charakterizován následujícími vlastnostmi [30], [31]:

- rychlost přenosu dat je 100 Mb/s,
- doba cyklu 31,25  $\mu$ s,
- metoda komunikace Master/Slave,
- podpora připojení až 511 zařízení typu slave k síti,
- nejistota synchronizace (jitter) menší než 1  $\mu$ s,
- spolehlivý přenos dat zaručuje protokol Sercos Safety, který vychází z protokolu CIP safety podle ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), ten je podporován komunikačními standardy DeviceNet, ControlNet a Ethernet/IP a dovoluje uživatelům využít stejný bezpečnostní mechanismus na různých platformách,
- topologií sítě je sběrnice nebo kruh,
- umožňuje tzv. „hot-plugging“, což je možnost přidat zařízení k aktivní síti a pomocí funkce rozeznávající nadbytečnost může detekovat, kdy je dojde k připojení nového zařízení,
- díky vysoce standardizovaným profilům je zaručena vysoká míra kompatibility zařízení (dohled na technický rozvoj a kompatibilitou drží nezávislá asociace uživatelů a výrobců automatizační techniky Servos International).

Díky běžně dostupným, integrovaným komunikačním čipům, získávají komunikační rozhraní SercosIII inteligenci potřebnou pro práci v rozsáhlých sítích a komunikační síť je pak nezávislá na centrálním řídicím modulu. Možnost použít Servos III jako jednotný, universální komunikační systém pro všechny úlohy, snižuje náklady zavedení a údržbu [30], [31].





## 7 BEZDRÁTOVÉ TECHNOLOGIE V AUTOMATIZACI

Bezdrátová komunikace je v dnešní době velmi rozšířená ve všech oblastech lidské činnosti, včetně oblasti automatizace a v oblasti automatizaci strojní výroby je chápána jako další vlna technického pokroku. V současnosti existuje množství standardů bezdrátové technologie používaných v průmyslové automatizaci.

Přestože bezdrátové komunikační technologie a systémy přinášejí do světa průmyslové automatizace mnohé výhody, jako flexibilita, redukce nákladů na hardware atd. Masovému rozšíření v automatizaci těchto technologií brání nedůvěra uživatelů především ve spolehlivost, odolnost a zabezpečení informací. Navíc u převážné většiny protokolů běžných bezdrátových datových sítí je kladen větší důraz na rychlost než na přizpůsobivost a spolehlivost spojení, což je pro sledování a řízení dějů v průmyslu nevhodné.

Nedůvěra v bezdrátovou komunikaci v automatizaci se však pomalu vytrácí spolu s potřebou dosáhnout připojitelnosti a fyzické mobility, s rozvojem nových technologií a v mnoha případech je dokonce bezdrátová technologie spolehlivější než komunikace prostřednictvím kabelových sítí [33], [34], [35].

### 7.1 Použití

Oproti standardnímu spojení kabely, slibuje bezdrátový přenos možnost práce v dynamických úlohách, kde se data i signály přenášejí k rotujícím nebo dočasně vestavěným dílům.

Použití bezdrátového přenosu dat může být velmi výhodné pro zařízení, u kterých je důležitá provozní pružnost, mobilita anebo nutnost připojení kabelem těžko dosažitelných přístrojů [33].

### 7.2 Spolehlivost

Nasazení bezdrátových technologií do průmyslové praxe sebou nese pochybnosti o spolehlivosti, a to zejména z hlediska elektromagnetické kompatibility, protože je často třeba čelit rušivým jevům v podobě elektromagnetických emisí od obloukových svárek, měničů frekvence apod.

Použitím metod rozprostřeného spektra sequence Spread Spectrum (DSSS) pro standardy IEEE 802.11b/g nebo Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) pro standard Bluetooth, je přenos stabilní i při téměř jakémkoliv rušení a jelikož se rušivé signály v průmyslu nacházející v řádu kilohertzů a megahertzů, nemají na činnost podle těchto standardů, pracujících v pásmu 2,4 GHz (volné pásmo, ISM), podstatný vliv Spolehlivost bezdrátového spojení je potom srovnatelná se spolehlivostí kabelového spojení [37]..

### 7.3 Standardy bezdrátové technologie

#### 7.3.1 WiFi (IEEE 802.11)

IEEE 802.11 je množina standardů. Jedná se o Wi-Fi standard s dalšími doplňky pro lokální bezdrátové sítě (Wireless LAN, WLAN). Tento standard pro byl zveřejněn roku 1997 institucí IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a specifikoval bezdrátovou síť ve frekvenčním pásmu 2,4 Ghz s rozprostřeným spektrem a podporoval přenosové rychlosti 1 a 2 Mb/s. [38], [39].

Při použití sítě podle tohoto standardu bylo možné zvolit, zda se má používat metoda modulace s přeskoky kmitočtu (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum), nebo metoda přímé sekvence (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum).

Existuje mnoho verzí standardu IEEE 802.11. Bšechny tyto verze využívají stejný protokol, jsou založeny na principech původního standardu, ale v mnohém původní standard rozšiřují nebo upravují. Přehled verzí standardů je uveden v tab 7.1 a přehled parametrů v tabulce 7.2

**Tab. 7.1 Přehled standardů IEEE 802.11 [38], [40]**

Standard	Definice
IEEE 802.11a	Standard definuje fyzickou vrstvu, která pracuje v pásmu 5 GHz, používá metodu modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a podporuje přenosové rychlosti od 6 do 54 Mb/s.
IEEE 802.11b	Standard definuje fyzickou vrstvu, která v pásmu 2,4 GHz pracuje s metodami modulace FHSS a DSSS. Podporuje přenosové rychlosti 1 Mb/s, 2 Mb/s, 5,5 Mb/s a 11 Mb/s.
IEEE 802.11c	Standard definuje vlastnosti a funkce nutné pro správnou funkci bezdrátových mostů (bridge). Tento standard využívají přístupové body (access points).
IEEE 802.11d	Standard definuje vlastnosti a funkce nutné pro správnou funkci bezdrátových mostů (bridge). Tento standard využívají přístupové body (access points).
IEEE 802.11e	Standard definuje vlastnosti a funkce nutné pro správnou funkci bezdrátových mostů (bridge). Tento standard využívají přístupové body (access points). Přípravovaný standard upravuje přístupovou vrstvu (MAC) tak, aby bylo možné vnést do WLAN prvky QoS (Quality of Services), což zlepší možnosti přenosu zvuku a obrazu. První výrobky podporující tento standard by se na trh měly dostat koncem roku 2003.
IEEE 802.11f	Standard umožňující uživatelům přecházet mezi jednotlivými přístupovými uzly (roaming), podobně jako to umožňuje síť pro mobilní telefony. Původní standard IEEE 802.11 nezajišťuje bezproblémový přechod od jednoho přístupového uzlu k jinému bez ztráty spojení.
IEEE 802.11g	Standard zavádí do pásma 2,4 GHz modulační metodu OFDM, která svými parametry překonává FHSS i DSSS a umožňuje dosáhnout přenosové rychlosti až 54 Mb/s. Standard 802.11g umožňuje připojit zařízení pracující podle IEEE 802.11b, avšak výskyt těchto zařízení v síti značně snižuje její propustnost, neboť tato zařízení je nutné ovládat signály RTS a CTS, aby v síti nedocházelo ke kolizím mezi zařízeními používajícími FHSS nebo DSSS a zařízeními používajícími OFDM. Zařízení podporující IEEE 802.11g se již dostávají na trh.
IEEE 802.11h	Standard si klade za cíl vyhovět evropským požadavkům tak, aby bylo možné v Evropě používat WLAN i v pásmu 5 GHz. Pásmo 5 GHz je v Evropě využíváno pro spojení se satelity a pro síť HIPERLAN. Standard si také klade za cíl zabránit možným interferencím dynamickou volbou kanálu a řízením vysílacího výkonu.
IEEE 802.11i	Standard si klade za cíl definovat rozšíření vrstvy MAC o důkladné zabezpečení. Původní IEEE 802.11 definuje pouze relativně slabé šifrování založené na statických klíčích (Wired Equivalent Privacy, WEP). IEEE 802.11i by měl výrazně zvýšit bezpečnost dat přenášených prostřednictvím WLAN.
IEEE 802.11n	Standard si klade za cíl upravit fyzickou vrstvu a podčást linkové vrstvy, takzvanou MAC podvrstvu tak, aby se docílilo reálných rychlostí přes 100 Mbit/s. Maximální fyzická (L1) rychlost může být až 600 Mbit/s při MAC (L2) rychlosti až 400Mbit/s, to v konfiguraci 4X4 MIMO (Multiple-input multiple-output). Reálná přenosová rychlost (L4) zatím do 200 Mbit/s.

Bezdrátové sítě standardů 802.11x, přes své přednosti, kterými je poměrně velký dosah a velký objem přenášených dat, nejsou primárně orientovány na provoz v reálném čase (což je požadavek automatizace) [38].

Tab. 7.2 Přehled parametrů standardů IEEE 802.11 [38].

Standard	Rok vydání	Frekvenční pásmo [GHz]	Šířka pásma [MHz]	Přenosové rychlosti [Mb/s]	Modulace	Průměrný dosah [m]	
						V budovách	Na volném prostranství
802.11a	1999	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	OFDM	35	120
802.11b	1999	2,4	20	1, 2, 5.5, 11	DSSS	38	140
802.11g	2003	2,4	20	1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	OFDM, DSSS	38	140
802.11n	2009	2,4/5	0	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	OFDM	70	250
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150			

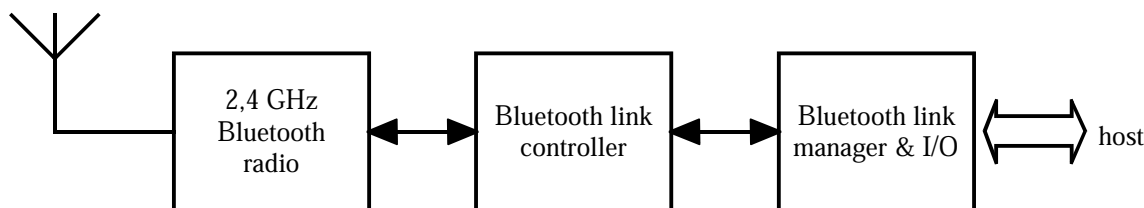
### 7.3.2 Standard Bluetooth ( IEEE 802.15.1)

Navržen skupinou Bluetooth SIG (Special Interest Group), jako bezdrátový komunikační standard původně určený pro přenos dat mezi mobilními telefony a dalšími zařízeními (PDA, PC, tiskárna apod.), který využívá volné komunikační frekvenční pásmo ISM (Industrial, Scientific, Medical). Technologie Bluetooth je definována standardem IEEE 802.15.1 [1], [41], [42], [43].

Pásmo ISM je globálně volně k použití při dodržení podmínek pro vyzářený výkon a technické řešení vysílače a přijímače. Volné použití znamená, že není potřeba žádat o přidělení frekvenčního pásma ani platit jakékoliv poplatky. Pracuje v pásmu 2,4 GHz a zaručuje tak kompatibilitu zařízení Bluetooth po celém světě.

Sítě pracující řídicí se standardem Bluetooth mají tyto vlastnosti [41], [42], [43].:

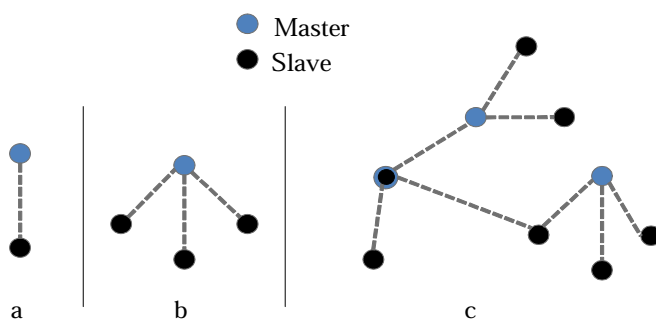
- nízká pořizovací cena hardwaru,
- malá spotřeba energie zařízení,
- velká interoperabilita (tzn. že zařízení jednoho výrobce jsou schopna využívat služby jiných zařízení jiných výrobců),
- podpora přenosu typu point-to-point i point-to-multi-point,
- dosah standardního řešení od 10 do 100 m,
- zabezpečení přenosu na několika úrovních:
  - každé zařízení má unikátní 48bitovou adresu zařízení (BD\_ADDR),
  - využívá 128bitový autentifikační klíč,
  - využívá 8 až 128bitový šifrovací klíč.
- Přenosové rychlosti
  - 1 Mb/s pro verzi Bluetooth v1.2
  - 3 Mb/s pro verzi Bluetooth v2.0 + EDR
  - 24 Mb/ pro verzi Bluetooth v3.0 + HS
- topologie sítě je vytvářena propojením ad-hoc (propojení typu peer-to-peer, kde je nutném aby všechna zařízení, která spolu mají komunikovat, musí být ve vzájemném dosahu signálu) a jednotlivá zařízení mohou být podle potřeby kdykoliv připojována i odpojována.,
- komunikační modul obsahuje (viz obr 7.1 [1])
  - rádiový vysílač (2,4 Ghz Bluetooth) – zajišťuje samotný rádiový přenos,
  - linkový ovladač (link controller & I/O) – zajišťuje komunikace mezi I/O obvody spoje a poskytuje terminálový interface uživateli.



Obr 7.1 Základní koncepce Bluetooth modulu.

### Sít' piconet

Jak již bylo zmíněno, topologie standardu Bluetooth je vytvářena ad-hoc propojením a zařízení mohou být kdykoliv odpojována a připojována a proto musí existovat nějaké rozlišení zařízení. Základem pro to jsou tzv. sítě piconet, kde jedno zařízení v této síti má vždy funkci nadřazené jednotky a všechna ostatní se potom chovají jako jednotky podřazené. Existuje zavedení i komplikovanější transparentní komunikace mezi uzly v síti scatternet viz obr. 7.



Obr 7.2 a) síť typu piconet s jedním slave, b) síť typu piconet s více slave, c) síť typu scatternet.

### Průmyslové aplikace standardu Bluetooth

Systém Bluetooth je především určen pro realizaci komunikace na krátké vzdálenosti mezi různými typy zařízení, jedná se tedy o síť zvané WPAN (Wireless Personal Area Networks). Vzhledem ke svým funkčním vlastnostem se tento standard prosazuje i průmyslové oblasti. Příkladem mohou být převodníky standardu Bluetooth na komunikační kanály sériových sběrnic RS 422, RS 232 a RS 485. Také může sloužit jako most komunikace mezi dvěma průmyslovými Ethernety.

#### 7.3.3 Technologie ZigBee (IEEE 802.15.4)

ZigBee je bezdrátová technologie komunikující na krátké vzdálenosti (WPAN), která dosáhla v roce 2003 certifikace v rámci IEEE jako norma 802.15.4. Výhodou oproti ostatním bezdrátovým přenosovým technologiím jako je Bluetooth, WiFi a dalších je, že síť ZigBee jsou od počátku vývoje určeny pro všeobecné použití v úlohách s velkým důrazem na nízkou cenu, jako jsou sběr dat ze senzorů, lékařská měření, detektory kouře nebo vniknutí do objektu, automatizace zařízení budov apod [1], [44], [45].

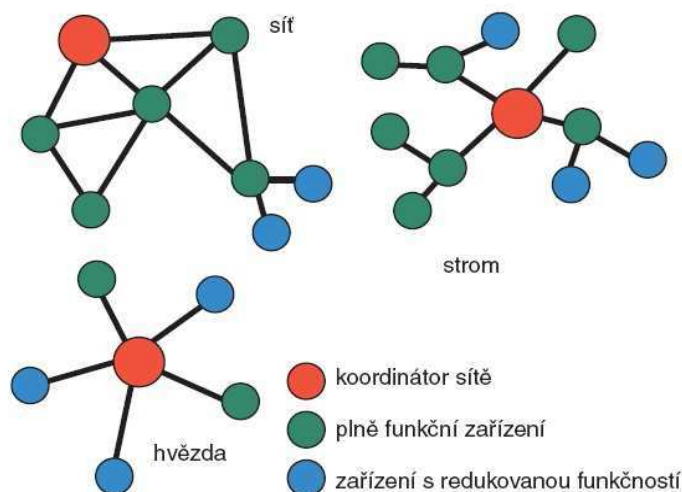
### Vlastnosti sítí ZigBee

Různé typy zařízení v síti ZigBee [1], [44], [45]:

- koordinátor sítě - zařízení tohoto typu je v síti jen jedno a jeho funkcí je uchovávat informace o síti a stanovovat optimální přenosové cesty mezi libovolnými body,
- plně funkční zařízení - tato zařízení implementují kompletní protokolový rámec a zajišťují veškeré služby, které specifikace ZigBee stanovuje, včetně předávání dat z jiných zařízení,
- zařízení s redukovanou funkčností - tato zařízení mají implementováno minimum funkcí, aby mohla komunikovat s příslušným plně funkčním zařízením nebo koordinátorem, ale nemohou předávat data z jiných zařízení.

Topologie sítí ZigBee definované dle IEEE 802.15.4 a zobrazené na obr. 7.3 jsou:

- hvězdicová
- stromová
- síťová



Obr 7.3 Různé topologie sítě ZigBee

Nejvýznamnější je topologie síťová, protože pomáhá překonávat nepříznivé vlivy prostředí (kinematické vlivy, různé překážky), které jsou pro průmyslové prostředí typické. Výhodami síťové topologie tedy jsou [44]:

- rozpozná-li síť nový uzel, automaticky ho začlení do své struktury,
- vznikne-li závada na některém uzlu, síť automaticky vytvoří alternativní, komunikační trasu přes jiné dostupné uzly,
- přidáním uzlu s plnou funkčností vznikají ostatním uzlům další alternativní cesty, pro komunikaci, a velmi jednoduše tak vzniká síťová redundance.

### Standard IEEE 802.15.4 také definuje:

3 režimu přenosu dat

- periodicky se opakující přenosy (přenos dat z čidel),
- nepravdělné přenosy (externí události, např. stisknutí tlačítka uživatelem),
- opakující se přenosy s požadavkem na malé zpoždění (bezdrátové počítačové periferie např.: klávesnice a myši).

práci v následujících bezlicenčních pásmech [1]:

- pásmo 2,4 Ghz
  - používáno globálně, definováno 10 kanálů, přenosová rychlost do 115 kb/s,
- pásmo 915 Mhz
  - používáno v USA, definováno 6 kanálů, přenosová rychlost do 40 kb/s,
- pásmo 868 Mhz
  - používáno v Evropě, definován jeden kanál, přenosová rychlost do 20kb/s.

### **Průmyslové aplikace ZigBee**

Pro aplikaci do průmyslových sítí je ZigBee vhodné, neboť používá konfiguraci Master/Slave, vhodnou pro sítě složené ze zařízení, která nejsou často používána a komunikují prostřednictvím malých datových rámců. Umožňuje připojit dostatečný počet zařízení v jednom segmentu sítě (až 254 zařízení). Příkladem mohou být převodníky ze sítě ZigBee na rozhraní RS-232/485 nebo Ethernet označované jako ZB-2570 a ZB-2571 od firmy ICP DAS.

Běžný dosah převodníků je kolem 100 m, pokud je však potřeba komunikace na delší vzdálenost nebo je potřeba obejít překážku mezi dvěma bezdrátovými zařízeními, je nutné použít opakovače (např. ZB-2510 firmy ICP DAS) [44].

## **7.4 Klady a zápory bezdrátových komunikací v průmyslové automatizaci**

**Důvody, které vedou k používání bezdrátových přenosů dat v průmyslové automatizaci [34], [35], [36]:**

- rychlá, snadná a méně nákladná instalace a uvedení do provozu,
- snižuje se investice do hardwaru,
- značná pružnost díky možnosti snadné modifikace instalací,
- jsou eliminovány výpadky způsobené opravováním kabeláže.

**Specifické překážky, které brání masivnějšímu zavádění bezdrátových přenosů dat v průmyslovém prostředí:**

Především nedůvera k samotnému bezdrátovému přenosu a jeho stabilitě a dalšími typickými překážkami dle [34], [35], [36] jsou:

- nižší přenosové rychlosti,
- vyšší zpoždění oproti kabelovému přenosu,
- protože je sdíleno jediné médium (vzduch) pro přenos všech typů protokolů, pro všechny typy sítí na všechny vzdálenosti a ve všech typech prostředí, mohou se bezdrátové sítě vzájemně rušit,
- nutné zlepšení filtrování pro oddělení data od šumu,
- data přenášená vzduchem mohou být snadno zcizena, zneužita nebo změněna, a proto musí být před přenosem důkladně zašifrována.

## 8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit čtenáře se specifickými vlastnostmi průmyslových sítí, a různými standardy komunikačních systémů pro průmyslové aplikace.

Různé typy průmyslového Ethernetu se díky svým vlastnostem v průmyslových sítích prosazuje dobře. Zejména standard ProfiNet. Technologie v průmyslové automatizaci se vyvíjejí velmi rychle a v současnosti existují standardy bezdrátové technologie vyhovující průmyslovým aplikacím. V oblasti bezdrátových technologií lze očekávat růst zájmu, protože počáteční nedůvěra k této technologii se vytrácí a technologie se také stala velmi zajímavá i z ekonomického hlediska.





## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEŽULKA, František. *Prostředky průmyslové automatizace*. Vyd. 1. Brno : VUTIUM, 2004. 176 s. ISBN 80-214-26-1.
- [2] *Freescale* [online]. 2009-10-20 [cit. 2010-03-21]. Industrial Network and Field Bus Protocols. Dostupné z WWW: <<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?code=INDUSTRIALNETHOME>>.
- [3] ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet . *Automa* [online]. 2005, č. 04, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=30417](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30417)>.
- [4] OSI model. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2003-11-04, 2010-05-25 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/OSI\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model)>.
- [5] Referenční model ISO/OSI. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005-08-20, 2010-04-20 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Referen%C4%8Dn%C3%AD\\_model\\_ISO/OSI](http://cs.wikipedia.org/wiki/Referen%C4%8Dn%C3%AD_model_ISO/OSI)>
- [6] Linkova vrstva. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2009-09-17, 2010-05-07 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Linkova\\_vrstva](http://cs.wikipedia.org/wiki/Linkova_vrstva)>.
- [7] ODVÁRKA, Petr. *Svět sítí* [online]. 2000-03-13 [cit. 2010-04-22]. Fyzická a linková vrstva ISO OSI. Dostupné z WWW: <<http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&clanekID=19>>.
- [8] ODVÁRKA, Petr. *Svět sítí* [online]. 2000-09-17 [cit. 2010-04-22]. Síťová a vyšší vrstvy referenčního modelu ISO OSI. Dostupné z WWW: <<http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&clanekID=18>>.
- [9] PETERKA, Jiří. *EArchiv* [online]. e1992 [cit. 2010-04-22]. TCP/IP a vzájemné propojování sítí. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a92/a232c110.php3>>.
- [10] HYNČICA, Ondřej; ZEŽULKA, František. Požadavky distribuovaných systémů řízení na průmyslovou síť Ethernet. *Automatizace* [online]. 2006, roč. 49, číslově 2, [cit. 2010-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1069>>.
- [11] HRAD, Jaromír. *Comtel* [online]. 2009-12-18 [cit. 2010-04-24]. Telekomunikační a datové sítě. Dostupné z WWW: <[www.comtel.cz/files/download.php?id=5019](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=5019)>.
- [12] DŘÍNEK, Milan. *HW* [online]. 2004-03-03 [cit. 2010-04-25]. Přehled a stručná charakteristika vybraných průmyslových sběrnic. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1545-Prehled-a-strucna-charakteristika-vybranych-prumyslovych-sbernic..html>>.
- [13] KLOS, Oldřich. Co je systém AS-INTERFACE. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007-03-14, č. 3, [cit. 2010-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/co-je-system-as-interface>>.
- [14] *Profibus* [online]. c1998 [cit. 2010-05-01]. ONE FIELDBUS: TOTAL COVERAGE. Dostupné z WWW: <<http://www.profibus.com/technology/profibus/overview/>>.
- [15] Profibus. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2004-05-07, last modified on 2010-05-13 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Profibus>>
- [16] ANZÁLEK, Zdeněk; BURGET, Pavel. *HW* [online]. 2004-01-17 [cit. 2010-05-15]. Průmyslová sběrnice Profibus. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1028-Prumyslova-sbernice-Profibus.html>>.
- [17] FOUNDATION fieldbus. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005-08-24, last modified on 2009-12-19 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/FOUNDATION\\_fieldbus](http://en.wikipedia.org/wiki/FOUNDATION_fieldbus)>.
- [18] *Fieldbus Foundation* [online]. c2006 [cit. 2010-05-15]. History . Dostupné z WWW: <[http://www.fieldbus.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=136&Itemid=307](http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=136&Itemid=307)>.

- [19] TABARA, Radek. *HW* [online]. 2004-11-09 [cit. 2010-05-16]. Aplikování sběrnice CAN. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1173-Aplikovani-sberrnice-CAN.html>>.
- [20] ROMÁNEK, David. *HW* [online]. 2005-10-11 [cit. 2010-05-16]. Přehled CAN sběrnice. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Produkty/Obecne-produkty/ART1406-Prehled-CAN-sberrnice.html>>.
- [21] BARTOŠÍK, Petr. Patnáct let sběrnice CAN . *Automa* [online]. 2001, č. 11, [cit. 2010-05-16]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=33717](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33717)>.
- [22] *CiA* [online]. c2001 [cit. 2010-05-19]. CAN protocol. Dostupné z WWW: <<http://www.can-cia.org/index.php?id=518>>.
- [23] *Real Time Automation* [online]. c2009 [cit. 2010-05-19]. DEVICENET SYNOPSIS. Dostupné z WWW: <<http://www.rtaautomation.com/devicenet/>>.
- [24] *Real Time Automation : A Plan for Product Enhancement* [online]. c2009 [cit. 2010-05-19]. LONWORKS OVERVIEW. Dostupné z WWW: <<http://www.rtaautomation.com/lonworks/>>.
- [25] PUŽMANOVÁ, Rita. Propojovací prvky sítí . *Automa* [online]. 2005, č. 07, [cit. 2010-05-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=30592](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30592)>.
- [26] Router. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2006-09-01, last modified on 2010-04-19 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Router>>.
- [27] ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet I: Historický úvod . *Automa* [online]. 2007, č. 01, [cit. 2010-05-21]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34298](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34298)>.
- [28] ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet II: Referenční model ISO/OSI . *Automa* [online]. 2007, č. 03, [cit. 2010-05-21]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34209](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34209)>.
- [29] ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet . *Automa* [online]. 2008, č. 05, [cit. 2010-05-21]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=37288](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37288)>.
- [30] *Sercos* [online]. c2007 [cit. 2010-05-25]. SERCOS III interface. Dostupné z WWW: <[http://www.secos.com/literature/pdf/secos3\\_en.pdf](http://www.secos.com/literature/pdf/secos3_en.pdf)>.
- [31] GRIMM, Daniel. Sercos III: vše, co potřebujete, je jeden kabel . *Automa* [online]. 2010, č. 02, [cit. 2010-05-28]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=40540](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40540)>.
- [32] SERCOS III#Overview. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2008-11-09, last modified on 2010-05-01 [cit. 2010-05-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/SERCOS\\_III#Overview](http://en.wikipedia.org/wiki/SERCOS_III#Overview)>.
- [33] WECZEREK, Jürgen ; CHYTIL, Václav. Bezdrátová komunikace v průmyslové automatizaci – pro a proti . *Automa* [online]. 2007, č. 03, [cit. 2010-05-25]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34318](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34318)>.
- [34] FERRIS, Mike. Bez datových vodičů v závodě: proč ne? . *Automa* [online]. 2008, č. 04, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=36974](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36974)>.
- [35] SHANBAGARAMAN, Khadambari. Zařízení s bezdrátovou komunikací v automatizaci strojní výroby . *Automa* [online]. 2009, č. 01, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=38454](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38454)>.
- [36] Klady a zápory bezdrátových komunikací v průmyslové automatizaci . *Automa* [online]. 2009, č. 10, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=39715](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39715)>.
- [37] ZAMZOW, Kevin; FORGUE, Bruno. Spolehlivá bezdrátová komunikace už není oxymorón. *Automa* [online]. 2009, č. 08, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=39562](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39562)>.

- [38] IEEE 802.11. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2001-05-15, last modified on 2010-05-26 [cit. 2010-05-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)>.
- [39] BRADÁČ, Zdeněk; FIEDLER, Petr. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi III: standard IEEE 802.11 (část 1) . *Automa* [online]. 2003, č. 10, [cit. 2010-05-28]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28963](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28963)>.
- [40] BRADÁČ, Zdeněk; FIEDLER, Petr; KÁČMAR, Milan. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi III: standard IEEE 802.11 (část 2) . *Automa* [online]. 2003, č. 12, [cit. 2010-05-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=29029](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=29029)>.
- [41] BRADÁČ, Zdeněk; FIEDLER, Petr; KÁČMAR, Milan. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth. *Automa* [online]. 2003, č. 07, [cit. 2010-05-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28874](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28874)>.
- [42] BARTOŠÍK, Petr. Standard pro bezdrátovou komunikaci Bluetooth. *Automa* [online]. 2001, č. 05, [cit. 2010-05-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=33560](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33560)>.
- [43] Bluetooth. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2001-05-15, last modified on 2010-5-24 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>>.
- [44] KAHÁNEK, Michal. Průmyslové bezdrátové sítě ZigBee . *Automa* [online]. 2009, č. 08, [cit. 2010-05-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=39560](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39560)>.
- [45] ZigBee specification. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2007-09-01, last modified on 2010-03-25 [cit. 2010-05-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee\\_specification](http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee_specification)>