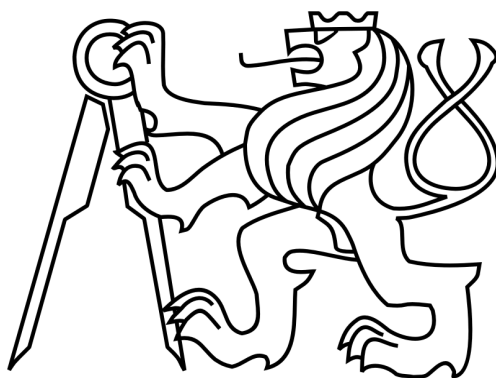


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vyhodnocení využitelnosti protokolu  
PROFINET v oblasti medicínské techniky

Autor: Bc. Barbora B ezinová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Zatloukal, Ph.D.

Praha 2015



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Student:** Bc. Barbora Březinová

**Studijní program:** Biomedicínské inženýrství a informatika (magisterský)

**Obor:** Biomedicínské inženýrství

**Název tématu:** Vyhodnocení využitelnosti protokolu PROFINET v oblasti medicínské techniky

### Pokyny pro vypracování:

1. Analyzujte požadavky jednotlivých aplikací medicínské techniky ve vztahu k parametrům komunikace (např. datový tok, vzorkovací frekvence, přesnost synchronizace, spolehlivost a bezpečnost přenosu).
2. Zhodnoťte aplikovatelnost a přínos protokolu PROFINET ve zvolených aplikacích medicínské techniky.
3. Sestavte systém bezdrátové komunikace PROFINET a proveďte měření ve stavu bez vnějšího rušení a s rušením, porovnejte s protokolem Ethernet&IP.
4. Vyhodnoťte výkonnost metalického PROFINETu na základě předložených odborných materiálů a porovnejte se stávajícími řešeními používanými v medicíně.

### Seznam odborné literatury:

- [1] M. Popp: Industrielle Kommunikation mit PROFINET, PROFIBUS Nutzerorganisation, Ausgabe 2007, Bezugsquelle: für die Schweiz: PROFIBUS Schweiz.
- [2] H. Osterloh: TCP/IP - Kompletní průvodce, SoftPress, 2003.
- [3] J. Rozman: Elektronické přístroje v lékařství, Academia. Praha: Academia, 2006.

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Michal Zatloukal, Ph.D.

**Platnost zadání:** do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

doc. Dr. Ing. Jan Kybic  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 12. 1. 2015



## **Prohlášení autora práce**

Prohlazuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
.

Podpis autora práce

## **Podkování**

Děkuji především vedoucímu mé práce Michalovi Zatloukalovi za odborné vedení práce, velkou trpělivost a užitečné rady a připomínky. Dále bych ráda poděkovala Katedře elektromagnetického pole za umožnění měření v EMC komoře, kterého by se tato práce neobešla. V neposlední řadě mé podkování patří rodině, přátelům a kolegům, kteří mě při psaní této práce podporovali.

**Vyhodnocení využitelnosti protokolu  
PROFINET v oblasti medicínské techniky**

**Evaluating of usability of PROFINET  
protocol in medical technology**





# Anotace

Cílem diplomové práce je seznámení s komunikačním standardem PROFINET, který se v současnosti používá především v oblasti automatizace, jeho současným využitím v lékařské technice a návrhem jeho dalšího možného použití v této oblasti. Dva z návrhů možného použití jsou v této práci porovnány se stávajícími řešeními. Poslední částí této práce je měření, pomocí kterého se porovnájí komunikační standardy, PROFINET, UDP/IP a TCP/IP, na základě parametrů komunikace (jitter zpoždění, deterministická zpoždění, vzorkovací frekvence, přenosová rychlost, spolehlivost a bezpečnost přenosu). Měření bylo provedeno v EMC komoře za stavu bez rušení a při rušení při nízkých a vysokých frekvencích rušení.

## Klíčová slova

PROFINET, Lékařská technika, Ethernet & IP, UDP, TCP, IRT, OSI model, Průmyslová komunikace

# Abstract

The aim of this thesis is to introduce the PROFINET communication standard, which is currently used mainly in the field of automation, its current utilisation in medical technology and suggestions for possible further utilization in this field. Two of the suggestions of possible utilization are compared to current solutions in this thesis. The last part of this thesis is the measurement by which the three communication standards PROFINET, UDP/IP and TCP/IP, are compared. This comparison is based on the communications parameters (jitter delay, determinism delay, sampling frequency, bit rate, reliability and security of transmission). Measurement was carried out in the EMC chamber under the state without interference and receiver interference for different interference frequencies.

## Key words:

PROFINET, Medical devices, Ethernet & IP, UDP, TCP, IRT, OSI model, Industrial communication

# Obsah

Anotace .....	v
Klíčová slova .....	v
Abstract .....	vi
Key words: .....	vi
Obsah .....	vii
Obsah obrázků .....	xi
Obsah tabulek.....	xiii
Kapitola 1.....	1
Kapitola 2.....	3
2.1    OSI model – základní informace .....	3
2.2    Jednotlivé vrstvy OSI modelu .....	5
2.2.1    Aplikační vrstva .....	5
2.2.2    Prezentační vrstva .....	5
2.2.3    Relační vrstva .....	5
2.2.4    Transportní vrstva .....	6
2.2.5    Síťová vrstva.....	6
2.2.6    Linková vrstva.....	7
2.2.7    Fyzická vrstva .....	7
2.3    PROFINET v ISO/OSI modelu.....	8
Kapitola 3.....	9
3.1    Další průmyslové Ethernety.....	10
3.2    Popis protokolu PROFINET[5] .....	11
3.3    Charakteristika protokolu PROFINET[4, 5] .....	12
3.4    Komunikace v reálném čase (real – time (RT)) .....	14
3.5    Komunikace v izochronním módu (Isochronous – Real – Time (IRT)).....	15
3.5.1    Požadavky na řízení IRT .....	15
3.6    Cyklický datový přenos.....	17
3.7    Acyklický datový přenos .....	18
3.8    Multicast Communication Relation – MCR .....	18
3.9    Datový přenos orientovaný na události (Event-oriented data traffic).....	18
3.10   Kontrolér I/O (IO - Controller) .....	19

3.11	Supervizor I/O (IO - Supervisor) .....	19
3.12	Zařízení I/O (IO - Device).....	19
3.13	Adresace ve standardu PROFINET .....	20
3.14	AR .....	21
3.15	Provozní režim PROFINETu I/O .....	22
3.15.1	Systémové inženýrství a GSD .....	22
3.15.2	Identifikace zařízení pomocí zadání jména .....	22
3.15.3	Stažení provozních informací .....	22
3.15.4	Rozlišení adres.....	23
3.15.5	Zapnutí systému .....	23
3.15.6	Výměna dat .....	23
3.16	Start-up fáze.....	24
3.16.1	Start-up fáze pro IRT komunikaci .....	26
3.16.2	Detekce souseda (Neighborhood detection) .....	26
3.17	Koncept automatické konfigurace, kterou využívá PROFINET I/O.....	26
3.17.1	Automatická konfigurace zařízení I/O podporující PnP .....	28
3.17.2	Automatická konfigurace standardního zařízení I/O.....	30
3.18	Diagnostika v PROFINETu .....	32
3.19	Funkce I&M (Identification & Maintenance) .....	32
3.20	Redundance (Redundancy).....	33
3.21	Webová integrace (Web integration) [4].....	33
3.21.1	Zabezpečení .....	34
3.21.2	Segmentace.....	34
3.21.3	Správa sítě .....	35
3.21.4	Management IP .....	35
3.21.5	Správa diagnostik.....	35
3.22	Operace v MES .....	35
3.23	Síťová instalace .....	36
3.23.1	Přístup PN komponent.....	36
3.23.2	Třídy prostředí.....	36
3.23.3	PN kabely .....	36
3.23.4	Konektory.....	37
3.23.5	Síťové komponenty.....	38
3.23.6	Bezdrátový přenos.....	38

3.24	Komponenty [6] .....	39
3.25	Výhody standardu PROFINET[6] .....	39
Kapitola 4.....		41
4.1	PROFIdrive .....	41
4.1.1	Základní model PROFIdrive.....	41
4.1.2	Módy a telegramy .....	42
4.1.3	Stavový diagram (state machine).....	42
4.1.4	Praktické využití PROFIdrive .....	43
4.1.5	Výhody PROFIdrive [11].....	44
4.2	PROFInergy [11] .....	44
4.2.1	Výhody PROFInergy.....	45
4.3	PROFIsafe [11] .....	45
4.3.1	Výhody PROFIsafe .....	46
Kapitola 5.....		49
5.1	Automatizace v letadlech – Boeing.....	49
5.2	Monitorovací systém v lodích – Plachetnice .....	50
5.3	Automobilový průmysl .....	50
5.4	Otáčení kabiny v zábavním parku [10] .....	50
5.5	Otáčející se hlava Franze Kavky [16, 17].....	51
Kapitola 6.....		53
6.1	Přístroj na testování kolenních endoprotéz [7] .....	53
6.2	Hyperbarická kyslíková terapie [14].....	54
Kapitola 7.....		57
7.1	Aplikační oblasti .....	59
7.2	Automatizační úlohy .....	60
7.3	Technologie .....	61
7.4	Konkrétní aplikace využití protokolu PROFINET .....	64
7.4.1	Rehabilitační přístroje .....	64
7.4.2	Robot operující infikované pacienty.....	64
7.4.3	Převoz pacientů.....	65
7.4.4	Přenos biologických signálů k ovládní aplikací.....	66
7.4.5	Mini roboti pro operace .....	66
7.4.6	Zpětná vazba (odpor tkáně) při operaci/rehabilitaci.....	66
7.4.7	Diagnostické přístroje.....	67

7.5	Možné problémy zmíněných návrhů.....	67
Kapitola 8.....		69
8.1	Současné řešení rehabilitačního ramene .....	69
	Porovnání řešení.....	73
8.2	Řešení chirurgického robota podle článku [20] .....	73
	Porovnání stávajícího řešení s PN.....	77
8.3	Parametry komunikace.....	77
Kapitola 9.....		79
9.1	Komunikace pomocí protokolu PROFINET.....	81
9.1.1	Návrh hardwarové konfigurace.....	81
9.1.2	Program pro komunikaci.....	82
9.1.3	Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění .....	83
9.2	Komunikace pomocí protokolu UDP/IP.....	83
9.2.1	Návrh hardwarové konfigurace.....	84
9.2.2	Program pro komunikaci.....	85
9.2.3	Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění .....	86
9.3	Komunikace pomocí protokolu TCP/IP.....	86
9.3.1	Návrh hardwarové konfigurace.....	87
9.3.2	Program pro komunikaci.....	87
9.3.3	Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění .....	87
9.4	Rušení přenosu dat.....	88
9.5	Výsledky měření.....	89
9.5.1	Výsledky získané pomocí zachycení rámců programem Wireshark.....	90
9.5.2	Výsledky získané aplikací IO monitoring.....	93
9.6	Porovnání výsledků .....	98
Použitá literatura.....		103
Příloha A.....		A
Příloha B.....		G

# Obsah obrázk

Obrázek 1 Vrstvy OSI modelu .....	3
Obrázek 2 Pořadí PN za řízení (převzatý z [10]) .....	9
Obrázek 3 PROFINET (obrázek převzatý z [4]).....	12
Obrázek 4 Sloty a subsloty.....	13
Obrázek 5 Kontrolér I/O, supervizor I/O a za řízení I/O .....	14
Obrázek 6 Rozdělení sbírného cyklu do IRT kanálu a otevřeného kanálu (převzatý z [4]).....	16
Obrázek 7 Intervaly (obrázek převzatý z [4]) .....	16
Obrázek 8 Příklad zapojení (převzatý z [5]).....	20
Obrázek 9 Síť za řízení PN I/O může být rozdělena do několika podsítí (převzatý z [4])	21
Obrázek 10 AR.....	22
Obrázek 11 Vztah mezi definicemi GSD, konfigurací a zobrazením reálného provozu (převzatý z [4]) .....	23
Obrázek 12 Navázání AR.....	24
Obrázek 13 PN za řízení znají své sousedy (obrázek převzatý z [4]) .....	26
Obrázek 14 Automatická konfigurace (převzatý z [5]) .....	27
Obrázek 15 Automatická konfigurace za řízení I/O podporující PnP (převzatý z [5]) .....	30
Obrázek 16 Automatická konfigurace standardního za řízení I/O (převzatý z [5]).....	32
Obrázek 17 PROFINET nabízí řešení pro průmyslové konektory .....	37
Obrázek 18 Komunikace mezi jednotlivými PN za řízení .....	42
Obrázek 19 Všeobecný stavový stroj pro PROFIdrive .....	43
Obrázek 20 Znak PROFIenergy (převzatý z [11]).....	44
Obrázek 21 Znak pro PROFI-safe (převzatý z [11]).....	45
Obrázek 22 Hlava Franze Kavky (převzatý z [16]).....	52
Obrázek 23 Automatizovaná vícemístná komora - schéma (převzatý z [14]).....	55
Obrázek 24 Možné využití protokolu PROFINET.....	58
Obrázek 25 Příklad roboticky asistované rehabilitace a manipulátorem, sledovacími kamerami a snímáním EMG. Snímek po řízení v průběhu experimentální tréninky na Robotics Lab CNR-Italia / Villa Beretta rehabilitační centrum, Costa Masnaga (LC), Itálie. [19].....	69
Obrázek 26 Robotický distribuovaný systém zahrnující bezpečné a nebezpečné uzly/zařízení.....	70
Obrázek 27 Metodický rámec pro SafeNet .....	71

Obrázek 28 Architektura .....	71
Obrázek 29 Araknes - chirurgická konzole (p evzato z [20]).....	74
Obrázek 30 Araknes . HMI s pneumatickými brzdami a kontaktními idly integrovanými do rukojeti (p evzato z [20]).....	74
Obrázek 31 Araknes Dionis a slave roboti SPRINT (p evzato z [20]) .....	75
Obrázek 32 Soustava pro testování komunikace .....	80
Obrázek 33 Sestava pro komunikaci mezi za ízeními pomocí PROFINETu.....	81
Obrázek 34 Hardwarová konfigurace kontroléru .....	82
Obrázek 35 Odeslaná data, p ijatá data a aktuální zpo0d ní pro PROFINET.....	83
Obrázek 36 Soustava pro m ení komunikace pomocí UDP/IP .....	84
Obrázek 37 Hardwarová konfigurace pro Simotion .....	85
Obrázek 38 Odeslaná data, p ijatá data a aktuální zpo0d ní pro UDP/IP.....	86
Obrázek 39 Odeslaná data, p ijatá data a aktuální zpo0d ní pro TCP/IP .....	87
Obrázek 40 Frekven ní spektrum ruzení.....	88
Obrázek 41 Pr b h ruzeného signálu pro výkony -4 dBm, -3 dBm a 0,5 dBm .....	89
Obrázek 42 Soustava pro porovnávání protokol v EMC komo e .....	89
Obrázek 43 Ruzení anténou .....	90
Obrázek 44 Jitter zpo0d ní pro PROFINET .....	94
Obrázek 45 Jitter zpo0d ní pro UDP/IP.....	95
Obrázek 46 Jitter zpo0d ní pro TCP/IP .....	96
Obrázek 47 Jitter zpo0d ní pro PN, UDP/IP a TCP/IP p i ruzení - 4 dBm .....	96
Obrázek 48 Jitter zpo0d ní pro PN, UDP/IP a TCP/IP p i ruzení - 3,5 dBm .....	97
Obrázek 49 Jitter zpo0d ní pro PN, UDP/IP a TCP/IP p i ruzení - 3 dBm .....	97



# Obsah tabulek

Tabulka 1 Integrace PROFINETu do OSI modelu (p evzata z [13]).....	8
Tabulka 2 Pr myslové Ethernety (p evzata z [21]) .....	10
Tabulka 3 Aplika ní oblast - automatiza ní úloha.....	62
Tabulka 4 P ístroje - technologie.....	63
Tabulka 5 Nastavení charakteristiky (p evzata z lánku [19]) .....	72
Tabulka 6 Pohotovostní reakce robota .....	72
Tabulka 7 Hlavní specifikace kontroléru robota Araknes .....	76
Tabulka 8 Porovnání parametr komunikace .....	77
Tabulka 9 Data získaná programem Wireshark pro PROFINET .....	91
Tabulka 10 Data získaná programem Wireshark pro UDP/IP .....	92
Tabulka 11 Data získaná programem Wireshark pro TCP/IP .....	93
Tabulka 12 Porovnání výsledk m ení.....	98
Tabulka 13 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro PROFINET .....	A
Tabulka 14 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro UDP/IP (první ást).....	B
Tabulka 15 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro UDP/IP (druhá ást).....	C
Tabulka 16 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro TCP/IP (první ást) .....	D
Tabulka 17 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro TCP/IP (druhá ást).....	E
Tabulka 18 Hodnoty jitteru zpo0d ní pro TCP/IP (první ást) .....	F



# Kapitola 1

## Úvod

Cílem diplomová práce je zhodnotit možnost využití komunikačního protokolu PROFINET v oblasti lékařské techniky.

PROFINET je jedním z hlavních komunikačních standardů založených na principu Ethernetu s velkou budoucností na celosvětovém trhu. Tento protokol je podporován řadou výrobců a využíván především v automatizaci výroby, automatizaci procesů řízení. Zejména se jedná o oblast automobilového průmyslu, strojírenství, potravinářského a balicího průmyslu, tiskáren, logistiky a v dnešní době se začíná využívat i v lékařské technice a dalších oblastech.

Hlavními vlastnostmi tohoto standardu jsou:

- Vztah kontrolér I/O . řízení I/O
- Komunikace mezi PLC v distribuovaných systémech (distribuovaná inteligence)
- Komunikace mezi distribuovanou přístrojovou technikou, jako jsou vzdálené I/O, pohony atd.
- Komunikace v reálném čase a synchronizovaná komunikace (IRT) pro například aplikace s řízením pohybu
- Jednoduchá a jasná pravidla pro návrh a instalaci se standardizovanými průmyslovými konektory a průmyslovými síťovými komponentami
- Vzdálená údržba a diagnostika po síti prostřednictvím zavedených standardů IT (například SNMP)
- Ochrana proti neoprávněné manipulaci, nepovolenému přístupu a celkové zabezpečení technologie pomocí průmyslových bezpečnostních komponent
- Průmyslová bezpečnost (PROFIsafe) pro ochranu strojů, personálu a okolního prostředí
- Kontinuální vývoj v mezinárodních pracovních skupinách sdružených mezinárodní organizací PROFIBUS International
- Kompatibilní s IT standardy: HTTP, FTP, e-mail
- Bezdrátová komunikace
- Vysoký komunikační výkon, rychlost přenosu až v řádech 0,25 ms

## Úvod

- Nadstavby
  - PROFlenergy . úspora energie
  - PROFIdrive . řízení motor
  - PROFIsafe . zajištění bezpečnosti přenosu

Pokud se jedná o lékařskou techniku, v současné době se PROFINET využívá například v hyperbarické kyslíkové terapii pro řízení komory. Pomocí PROFINETu komunikuje PLC s řídicím počítačem a HMI (Human Machine Interface). Dalším stávajícím využitím protokolu PROFINET je řízení motorů například při testování kolenních endoprotéz, kdy se simulují pohyby jako stání, sezení, atd.

V zůstávající kapitole práce budou rozebrány další oblasti, ve kterých by se dal využít protokol PROFINET. Jedná se například o přenos signálů u chirurgického robota mezi ovládací konzolí a operátorem ramenním, pro řízení vozíků, které by samostatně jezdily po nemocnici, v diagnostických přístrojích, v asistivních technologiích, atd.

Další část práce bude zaměřena na měření, na jehož základ bude možné porovnání protokolu PROFINET s protokoly Ethernetem & IP (konkrétně se jedná o protokoly UDP/IP a TCP/IP) na základě parametrů komunikace (jitter zpoždění, deterministická zpoždění, vzorkovací frekvence, přenosová rychlost, spolehlivost a bezpečnost přenosu). Samotné měření bude probíhat v prostředí bez rušení a v prostředí rušeném na konkrétní frekvenci.

Jednotlivé body zadání budou podrobněji rozebrány v následujících částech:

- Analýza požadavků jednotlivých aplikací lékařské techniky ve vztahu k parametrům komunikace - datový tok, vzorkovací frekvence, přesnost synchronizace, spolehlivost a bezpečnost přenosu je zpracována v kapitole 8.
- Zhodnocení aplikovatelnosti a přenosu protokolu PROFINET ve zvolených aplikacích lékařské techniky bude podrobněji rozepsáno v kapitole 7.
- Popis systému bezdrátové komunikace PROFINET v etn. postupu návrhu je shrnut v kapitole 8, výsledky měření ve stavu bez vnějšího rušení a s rušením a následné porovnání s protokolem Ethernet & IP je uvedeno v kapitole 9.
- Vyhodnocení výkonnosti metalického PROFINETu na základě předložených odborných materiálů a následné porovnání se stávajícími řešeními používanými v medicíně je rozebráno v kapitole 8.

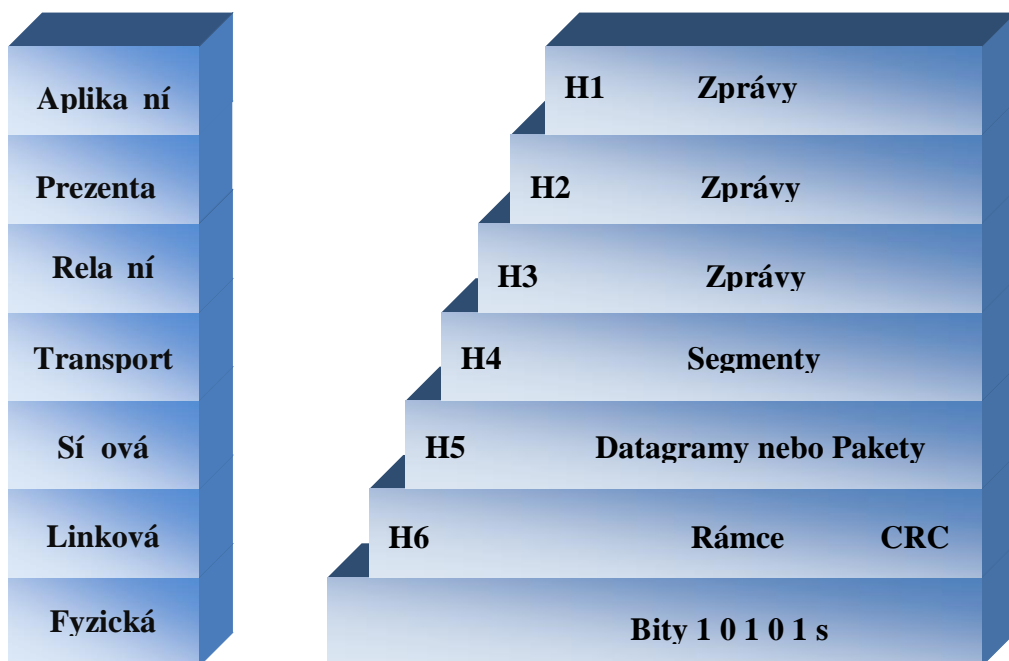
# Kapitola 2

## Obecný popis vrstev OSI

Tato kapitola je věnována základním informacím o OSI modelu, což je standard, který se využívá ke komunikaci mezi počítačovými systémy a dále nabízí používání různých protokolů a různých síťových architektur.

### 2.1 OSI model – základní informace

Referenční model OSI (Open Systems Interconnection – propojování otevřených systémů) umožňuje plynulou komunikaci podobných i nepodobných systémů, a to díky jednotné architektuře, kterou se řídí výrobci hardwaru, návrháři protokolů i tvůrci operačních systémů. Tento standard se využívá při komunikaci mezi různými počítačovými a distribuovanými systémy a dále nabízí používání různých protokolů a různých síťových architektur.



Obrázek 1 Vrstvy OSI modelu

## Obecný popis vrstev OSI

Model OSI je konceptuální kostrou. Je tvořen sérií standardů, které definují pravidla pro propojování systémů. Co se p i nich děje, jak se to děje, jak je nutné opravit data, aby mohla být přenesena na vzdálený počítač. Logika modelu ne říká, co přesně se má v jednotlivých vrstvách odehrávat; určuje však, jaká funkce je každou vrstvou vyjádřena. Konkrétní implementace funkcí každé vrstvy závisí na výrobci nebo dodavateli, který vyrábí daný hardware i protokol. Z toho vyplývá, že jednotlivá zařízení nemusí být stoprocentně kompatibilní, přesto však celý model OSI zajistí nejvyšší možnou míru této sloužitelnosti.

Referenční model OSI se skládá ze sedmi vrstev (uspořádaných shora dolů od uživatele směrem k fyzickému médiumu):

- Aplikativní
- Prezentační
- Relační
- Transportní
- Síťová
- Linková
- Fyzická

Každá má svoji přesně vymezenou funkci, která je nutná k tomu, aby data byla správně připravena a přenesena na vzdálený počítač, na kterém běží stejný nebo odlišný systém, a který může, ale nemusí pracovat se stejnými protokoly.

Při přípravě dat, která mají být po síti odeslána, musí být vázán požadavek zpracován a přesně rován. Každá vrstva OSI modelu doplní do zprávy svoji hlavičku a řídicí informace. Tyto údaje odstraní odpovídající vrstva na vzdáleném (cílovém) počítači. Jakmile data dorazí do linkové vrstvy, spustí se algoritmus CRC (cyclical redundancy check) nebo FCR (frame check sequence), který vypočítá kontrolní součet. Tento kontrolní součet (CRC) je přidán na konec balíku a slouží pro kontrolu neporužitelnosti (zda odeslané bity odpovídají bitům došlým na vzdálený počítač). Pojem rámec (frame) vyjadřuje logické seskupení informací, kterým data projdou v linkové vrstvě. Po rozdělení do rámců jsou data odesílána po drátu jako elektrické nebo optické signály, složené z bitů 1 a 0. Data přijme vzdálený počítač.

Na druhé straně probíhá opačný proces. Každá vrstva odstraní své údaje a oříznutý výsledek předá vyšší vrstvě. Takto je zpracován každý došlý rámec.

## 2.2 Jednotlivé vrstvy OSI modelu

Jak již bylo zmíněno v předchozí části, OSI model se skládá ze sedmi vrstev, které zde budou podrobněji rozebrány.

### 2.2.1 Aplikační vrstva

Hlavní úlohou aplikační vrstvy je zajistit rozhraní v rámci zásobníku protokolů. Na rozdíl od ostatních vrstev nezajišťuje službu pro žádnou jinou vrstvu.

Mezi službami zajišťovanými aplikační vrstvou patří:

- Aplikace se síťovými službami a službami pro propojené sítě
- Souborové a tiskové služby
- E-mail
- Přístup k webu (HTTP)
- Přístup ke vzdálenému počítači (Telnet)
- Protokol FTP

### 2.2.2 Prezentace vrstva

Prezentace vrstva zajišťuje obecný datový formát mezi různými platformami.

Je zodpovědná za následující služby:

- Převod a překlad dat
- Komprese a dekomprese dat
- Šifrování a dešifrování dat

Příkladem protokolu prezentace služby je XDR (eXternal Data Representation).

### 2.2.3 Relace vrstva

Relace vrstva řídí a nastavuje datové přenosy mezi uzly v síti v podobě tzv. relací. Relace tvoří dialog mezi prezentacími vrstvami na dvou či více systémech. Tato vrstva dále vyřizuje mezisystémové požadavky na různé služby a odpovídá na tyto požadavky. Řídí komunikaci mezi dvěma aplikacemi na různých počítačích a datové proudy.

Účinnost řízení komunikace mezi počítači v relace vrstvě závisí na tom, zda komunikace probíhá v režimu half-duplex nebo full-duplex.

Mezi protokoly relace vrstvy patří například protokol NetBIOS (Network Basic Input Output System), který nastavuje relaci mezi dvěma systémy.

Obecný popis vrstev OSI

## 2.2.4 Transportní vrstva

Tato vrstva je obecně chápána jako nástroj pro zajištění spolehlivého a kvalitního přenosu dat mezi dvěma komunikujícími procesy nebo programy spuštěnými na vzdálených počítačích (pouze při použití protokolu TCP místo UDP).

Transportní vrstva zajišťuje:

- Řídí komunikaci na úrovni koncových zařízení mezi dvěma procesy nebo cími na vzdálených počítačích.
- Poskytuje vyšším vrstvám spojov orientované i spojov neorientované služby.
- Používá adresy port klienta i serveru pro identifikaci procesů spuštěných na hostitelských počítačích.
- Segmentuje data pro aplikace ve vyšších vrstvách.

Úkolem transportní vrstvy je identifikovat procesy, které spolu komunikují, a zajistit pro ně spojov orientované služby a spolehlivý přenos nebo co nejrychlejší doručení. Na této vrstvě pracují protokoly TCP a UDP. Adresování dat je zeno pomocí portů (označovaných též jako sokety), které identifikují program i proces, který komunikuje na určitém zařízení.

## 2.2.5 Síťová vrstva

Síťová vrstva zajišťuje adresaci. Při adí logické adresy zdroje a cíle komunikace a určuje nejlepší cestu pro směrování dat v prostředí s více fyzickými segmenty.

Síťová vrstva pokrývá tyto činnosti:

- Komunikaci mezi dvěma hostitelskými počítači
- Logické adresování
- Doručování paketů
- Směrování

Protokoly síťové vrstvy pracují s logickým adresováním, které je nutné odlišit od MAC (Media Access Control) adres fyzické vrstvy, které jsou přiřazeny přímo síťovými kartám.

Kvůli dosažení co nejlepšího směrování dat využívají zařízení síťové vrstvy (například směrovače) přepínání paketů. Během tohoto procesu směrovač převede z paketu dozlého na jednom rozhraní logickou adresu síťové vrstvy a předá paket na jiném rozhraní směrem k jeho cíli.



Na úrovni síťové vrstvy existují sledující protokoly:

- RARP, ARP, BOOTP, DHCP . příklad adres nebo konfigurace
- ICMP . diagnostický a řídicí protokol (příkaz PING)
- RIP, IGRP, EIGRP, OSPF, BGP . směrovací protokoly

## 2.2.6 Linková vrstva

Linková vrstva je zodpovědná za přenos a příjem jednotlivých rámců, a také za jejich fyzické adresování. Do každé síťové karty je vypálena její MAC adresa (adresa linkové vrstvy). Linková vrstva přidává na začátek rámce hlavičku a na konec čtyř bajtový kontrolní součet (kontrolní součet přidává pouze tato vrstva), takže z paketu je vytvořen rámec.

Povinnosti a charakteristiky linkové vrstvy:

- Linková vrstva řídí přístup k vlastnímu přenosovému médiumu
- Přidává k rámcům hardwarové adresy výchozího a cílového počítače
- Převádění pakety na rámce, a také upravuje pakety k přenosu
- Přebírá odesílání a příjem dat po drátech
- Pořídá kontrolní součet (CRC . *Cyclic Redundancy Check* nebo FCS . *Frame Check Sequence*)
- Na této úrovni pracují mosty (bridge) a přepínače (switch)

## 2.2.7 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva se zabývá přenosem jednotlivých bitů (nul a jedniček), ze kterých je tvořen rámec. Bity jsou přenášeny jako elektrické nebo světelné pulsy. Tato vrstva se také zabývá elektrickými a mechanickými charakteristikami vedení, kódováním signálu, specifikacemi konektorů a přenosovým napětím.

Tato vrstva zahrnuje například:

- Elektrické a mechanické charakteristiky
- Kódování signálu
- Jedničky a nuly (1, 0)
- Fyzické specifikace konektorů

## 2.3 PROFINET v ISO/OSI modelu

Rozdělení komunikačního protokolu PROFINET do vrstev OSI modelu je vidět v tabulce číslo 1. Na fyzické vrstvě přenos zajišťuje 100 BASE-TX a 100 BASE-FX. Linková vrstva podporuje jak Half Duplex komunikaci tak Full Duplex. Protokolem na síťové vrstvě je protokol IP (IP adresy jednotlivých zařízení). V transportní vrstvě je uplatněn UDP protokol (pro nepotvrzovaný přenos) a TCP (potvrzovaný přenos). Aplikativní vrstva je kompatibilní s protokoly Telnet, http, [13]

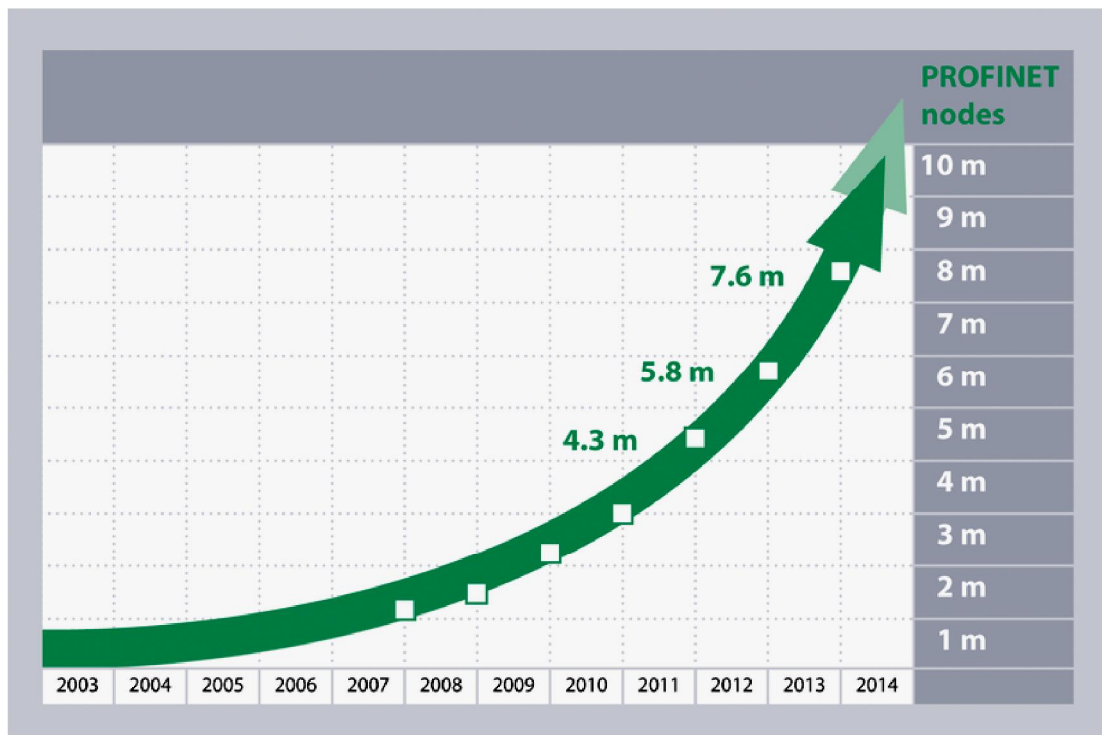
ISO		
<b>Aplikační B</b>	PROFINET I/O Services PROFINET I/O Protokol	PROFINET CBA (dnes se již nepoužívá)
<b>Aplikační A</b>	RPC	DCOM Spojení orientované RPC
<b>Prezentační</b>	Nepopsaný	Nepopsaný
<b>Relační</b>		
<b>Transportní</b>	UDP	TCP
<b>Síťová</b>	IP	
<b>Linková</b>	IEEE 802.3 Full Duplex, IEEE 802.1 Q Priority Tagging	
<b>Fyzická</b>	IEEE 802.3 100 BASE-TX, 100 BASE-FX	

Tabulka 1 Integrace PROFINETu do OSI modelu (převzata z [13])

# Kapitola 3

## Komunikační standard PROFINET

PROFINET je jedním z hlavních komunikačních standardů založených na přímém Ethernetu na celosvětovém trhu s velkou budoucností. Tento protokol je podporován řadou výrobců a využíván především v automatizaci výroby, automatizaci procesů a řízení. Zejména se jedná o oblast automobilového průmyslu, strojírenství, potravinářského a balicího průmyslu, tiskáren, logistiky a v dnešní době se začíná využívat i v medicínské technice a dalších oblastech. Počet zařízení, podporujících PROFINET, používaných na trhu v posledních letech značně vzrostl: 7600000 zařízení bylo instalováno do konce roku 2013, a jejich počet i nadále roste (viz obrázek 2). [10]



Obrázek 2 Počet PN za řízení (převzatý z [10])

PROFINET se dělí na dva standardy PROFINET CBA, který sloužil pro komunikaci mezi dvěma kontroléry a dnes není již používán, a PROFINET I/O (často se o něm mluví jen jako o PROFINETu), který poskytuje komunikaci mezi kontrolérem a zařízením.

Ethernet byl sám o sobě navržen jako komunikační standard pro datovou výměnu na úrovni kancelářských aplikací. Požadavky na přímou komunikaci jsou ale

Komunikační standard PROFINET

daleko vyžít, například schopnost práce v reálném čase, integrace distribuované počítačové techniky, rychlé instalační metody atd. Právě tyto požadavky vyhovuje nový na výrobci nezávislý komunikační standard PROFINET definovaný mezinárodní organizací PROFIBUS International.

PROFINET propojuje zařízení, řídicí systémy i celé části technologie, aby umožnil rychlejší, bezpečnější, levnější a kvalitnější výrobu.

tyto klíčové funkce PROFINETu jsou:

- Výkonnost: automatizace v reálném čase
- Bezpečnost: komunikace, která se týká bezpečnosti, zajišťuje PROFIsafe
- Diagnostika: vysoká dostupnost při opravě v důsledku rychlého uvedení do provozu a efektivního řešení problémů
- Ochrana investic: Bezproblémová integrace sbírných systémů

### 3.1 Další průmyslové Ethernety

Průmyslový Ethernet je výkonný sbírný systém pro datové přenosy od úrovně řízení procesů až po nadřazené lokální nebo rozlehlé sítě. Systém je speciálně vytvořen pro náročné průmyslové podmínky a disponuje výkonnou datovou komunikací. [6]

Průmyslových Ethernetů v dnešní době existuje celá řada. Příklady několika hlavních variant, mezi kterými je i PROFINET, jsou vidět v tabulce číslo 2.

Označení	Architektura	Požadavky na hardware	Časové parametry	Standard
EtherCAT	segment RT	standardní	100 μs/cyklus <sup>1)</sup>	IEC 62407
EtherNet/IP	otevřená architektura	standardní	300 μs/cyklus <sup>2)</sup> , jitter 0,5 μs	IEC 62413
Ethernet Powerlink	segment RT	standardní/ASIC	<400 μs/cyklus, jitter <1 μs	IEC 62408
TCnet	otevřená	standardní	<5 ms/cyklus, jitter <10 μs	IEC 62406
Modus-RTPS	otevřená	standardní	asi 5 až 10 ms/cyklus	IEC 62030
ProfiNet	segment RT	standardní/ASIC	5 až 20 ms (1 ms)/cyklus <sup>3)</sup> , jitter 1 μs	IEC 62411
SERCOS III	segment RT	standardní/FPGA ASIC	31,25 μs (250 μs)/cyklus <sup>4)</sup> , jitter <1 μs	IEC 62410
P-Net on IP	otevřená	standardní	-	IEC 62412
EPA	otevřená	modifikovaný MAC	několik milisekund	IEC 62409
Vnet/IP	otevřená	standardní	10 ms	IEC 62405

<sup>1)</sup> pro 100 synchronizovaných pohonů

<sup>2)</sup> pro 30 synchronizovaných pohonů

<sup>3)</sup> pro variantu IO (V2) nebo IRT (V3)

<sup>4)</sup> pro 10 a pro 100 synchronizovaných pohonů

Tabulka 2 Průmyslové Ethernety (převzato z [21])

### 3.2 Popis protokolu PROFINET[5]

PROFINET I/O (PN) je prmyslový Ethernet probíhající v reálném čase (RT - real-time) založený na IEEE 802.3 (Fast Ethernet) a navržený pro komunikaci v reálném čase mezi kontrolérem (typicky PLC) a zařízením I/O (např. Sinamics), což umožňuje využití standardu TCP/IP a souběh RT výměny dat po stejné síti. RT rámce jsou uloženy přímo v ethernetích rámcích bez využití protokolů vyšší vrstvy jako je například UDP nebo TCP, to znamená, že se vyhnou TCP/IP zásobníku a mohou být odesílány přímo v PN zásobníku za řízení.

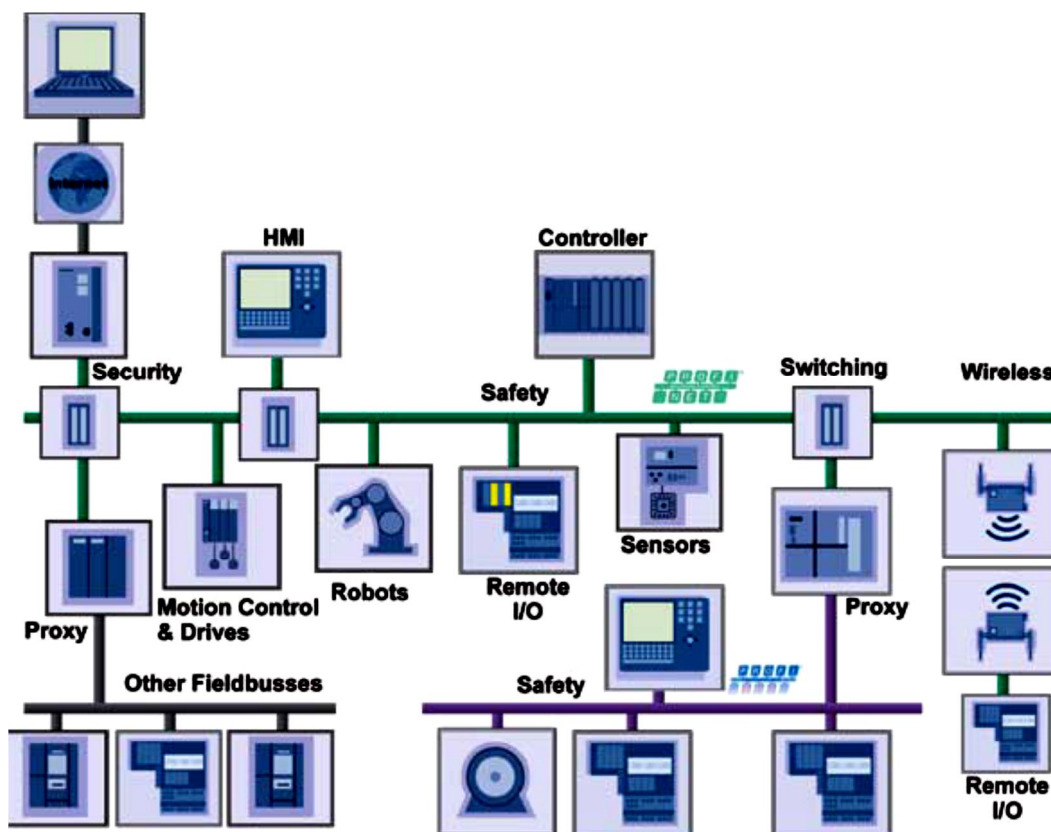
Standardní kanál se využívá pro řídicí koncept, který spravuje konfiguraci a diagnostiku PN za řízení. Cyklická procesní data, události a alarmy jsou posílány přes RT kanál. PROFINET definuje různé třídy pro RT komunikaci, které zahrnují nesynchronizovanou a synchronizovanou komunikaci.

- RT třída 1, která probíhá v reálném čase. RT data jsou v rámci podsítě posílány přes asynchronní RT kanál. Pro tuto komunikaci nejsou potřebné žádné speciální informace o adresaci. Cílový uzel je identifikován pouze podle cílové adresy (destination address). Nesynchronizovaná komunikace RT v podsíti je obvyklou metodou pro přenos dat. Pokud byl datový přenos RT omezen na jednu podsít (stejně ID sítě), je tato varianta nejjednodušší. Tato komunikační cesta je standardizována paralelně ke komunikaci UDP/IP a implementována v každém zařízením PROFINET IO. Odesílací doba cyklu může být nižší než 10 ms.
- RT třída 2. Rámce mohou být přenášeny v synchronizované nebo nesynchronizované komunikaci. V tomto případě může nesynchronizovaná komunikace vypadat stejně jako komunikace ve třídě 1. V případě synchronní komunikace je začátek sběrného cyklu definován pro všechny uzly. Tento typ přenosu dat, který byl navržen pro výkonnost, s sebou přináší specifické požadavky na hardware (ethernetový kontrolér/přepínač s podporou isochronním přenosu).
- RT třída 3 (IRT přenos) - Synchronizované komunikaci vedené v rámci podsítě. Během synchronizované komunikace této třídy jsou přenášena procesní data s maximální přesností v přeneseném období uvedeném v systémovém inženýrství (maximální přípustná odchylka od začátku sběrného cyklu je 1 μs). Pomocí přenosu dat optimální topologie je tato funkce též označována jako izochronní RT (IRT) mód. Všechna PN zařízením a přepínače jsou synchronizovány do jedné hodiny a IRT data jsou odeslána v předem nakonfigurovaných a plánovaných

## Komunikační standard PROFINET

asových slotech. Odesílací doba cyklu dosažená v tomto režimu může být nižší než 31,25  $\mu$ s. Během komunikace v této fázi nejsou žádné čekací doby. Aby bylo možné využít přenos dat určený pro maximální výkon, jsou potřebné zavést zvláštní požadavky na hardware (Ethernetový adaptér s podporou izochronní provozu).

- RT říká UDP. Synchronizování komunikace mezi různými podsíťmi (cross-subnet) mezi různými podsíťmi vyžaduje adresovací informace přes cílové síť (IP adresy). V této fázi RT mohou být použity standardní protokoly. U RT rámce jsou dostatečné datové cykly s periodou 5 ms při 100 Mbps ve Full Duplex módu s VLAN tagem.



Obrázek 3 PROFINET (obrázek převzat z [4])

### 3.3 Charakteristika protokolu PROFINET[4, 5]

PN zařízení jsou spojena pomocí protokolu do topologie hvězdy nebo sbírnice.

Tato zařízení užívají model slot/subslot v aplikační vrstvě. Slot reprezentuje fyzický nebo logický modul zařízení. Je rozdělen do subslot (viz obrázek 4), ke kterým jsou zadány I/O data, alarmy a diagnostická data. Subsloty jsou rozhraní k procesoru a

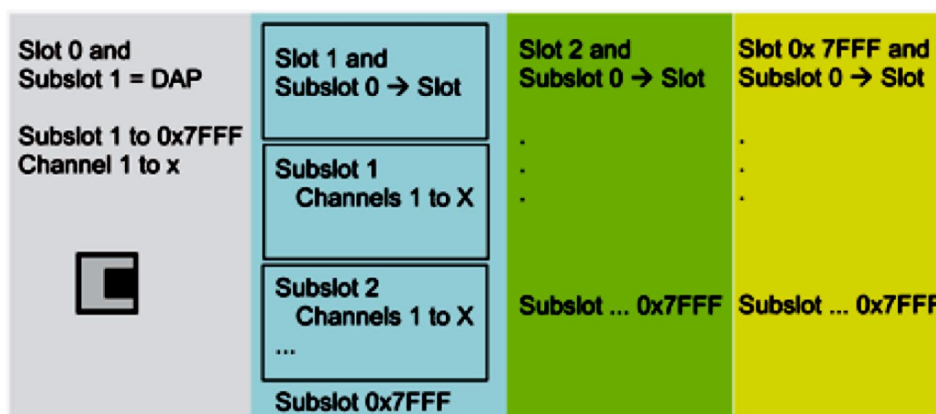
navíc definují formát dat. Odlišné moduly za řízení a jejich segmentace jsou popsány pomocí GSDML (Generic Station Description Markup Language) ve specifikaci pro za řízení GSD (Generic Station Description).

Každý uživatelský profil je adresován pomocí API (Application Process Instance), které definuje sloty a subsloty využívané tímto profilem. API umožňuje různé aplikace, které probíhají tak, aby se zabránilo překrývání datových oblastí (slot a subslot).

Index definuje funkci, která má být zahájena prostřednictvím kombinace slot/subslot (např. tení vstupních dat z subslot, tení z funkcí I&M, tení skutečné nebo požadované konfigurace, atd.). Data lze acyklicky číst nebo zapisovat pomocí slušby tení/zápis.

Cyklická data I/O jsou adresována zadáním kombinace slotu a subslotu, které mohou být volně definovány výrobcem.

Pro acyklický datový přenos pomocí slušeb tení/zápis může aplikace určit přesná data, která budou adresována pomocí slot/subslot.



Obrázek 4 Sloty a subsloty

PROFINET I/O je založen na modelu pro výměnu dat producent/konzument. Producent (obvykle provozní za řízení na úrovni procesu) poskytuje konzumentovi (normální PLC s programem pro zpracování) procesní data. PN za řízení může obsahovat libovolné uspořádání funkcí (producent/konzument).

PROFINET I/O definuje tři role za řízení:

- Kontrolér I/O
- Supervizor I/O
- Za řízení I/O,

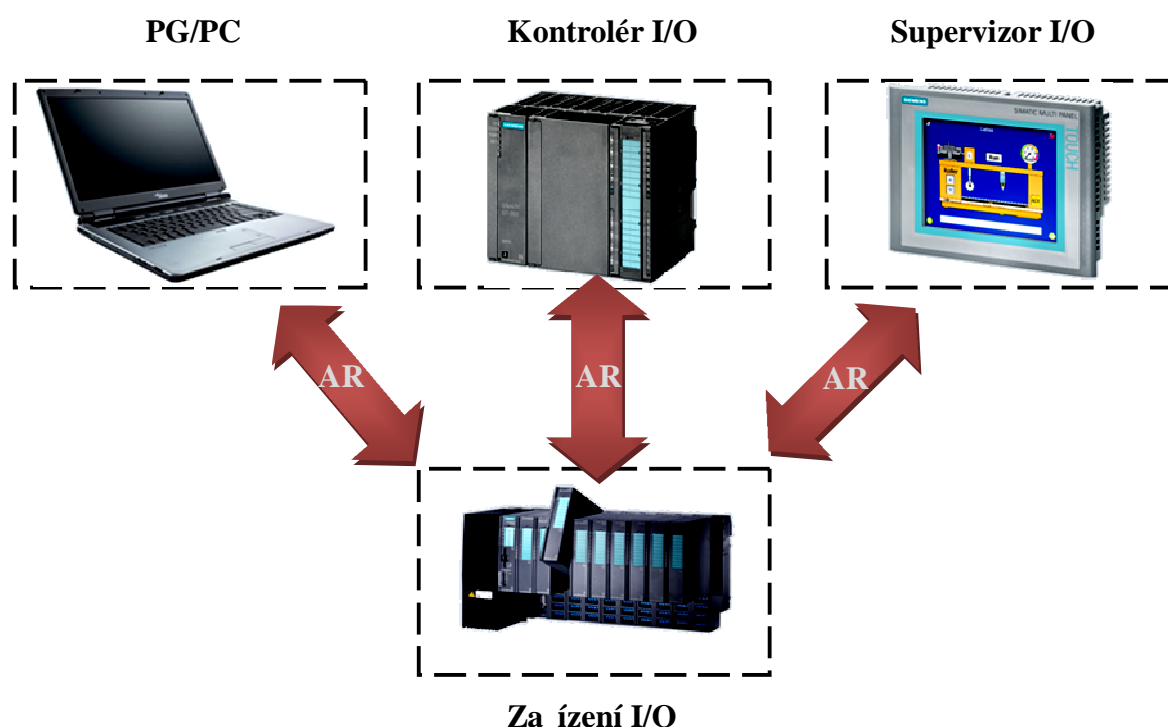
kteé budou podrobněji rozebrány v dalších částech této kapitoly.

Komunikace standard PROFINET

PROFINET IO poskytuje definice protokolů pro následující služby:

- Rozlišení adres periférií
- Cyklický přenos dat I/O (RT a IRT)
- Acyklický přenos alarmů
- Acyklický přenos dat (parametry, detailní diagnostika, I&M data, informační funkce, atd) dle potřeby
- Režim redundance pro RT rámce

Kombinace těchto komunikačních služeb v nadřazeném kontroléru umožňuje mimo jiné realizovat pohodlný systém diagnostiky, detekce topologie a výměnu zařízením.



Obrázek 5 Kontrolér I/O, supervizor I/O a zařízení I/O

### 3.4 Komunikace v reálném čase (real time (RT))

Mnoho komunikačních služeb ve standardu PROFINET se vyskytuje v reálném čase. V RT jsou vždy přenášena procesní data a alarmy. Tato komunikace tvoří základ pro výměnu dat. RT data jsou zpracována s vyšší prioritou ve srovnání s údaji TCP(UDP)/IP. Tato metoda výměny dat umožňuje dosažení doby cyklu na sběrnici v rozsahu několika set milisekund.

Koncept komunikace v reálném čase může být realizován pomocí standardních síťových komponent, jako jsou například standardní ethernetí kontroléry. RT



komunikace probíhá bez TCP/IP informací. Přenos RT dat je založen na cyklickém výměn dat pomocí modelu producent a konzument. [4]

### 3.5 Komunikace v izochronním módu (Isochronous Real Time (IRT))

Izochronní výměna dat pomocí standardu PROFINET je definována v pojetí izochronního reálného času (Isochronous Real Time (IRT)). Doby cykly výměny dat se obvykle pohybují v rozmezí od několika set mikrosekund do 1 milisekundy. IRT komunikace se od RT komunikace liší v jejím izochronním chování, což znamená, že obě sbírací cykly začínají s maximální přesností. Začátek sbíracího cyklu se může lišit maximálně o 1 μs. Pouze tímto způsobem mohou být časové intervaly vysílaných I/O dat zajištěny s nejvyšší přesností. Z tohoto důvodu byla synchronizovaná PN komunikace, také nazývaná IRT komunikace (izochronní komunikace v reálném čase) nebo izochronní komunikace, zavedena. IRT se využívá například v aplikacích pro řízení pohybu (polohování). [4]

Z technického pohledu má IRT komunikace podobu RT třídy 2 a RT třídy 3, které se liší pouze v datové propustnosti. Přenos dat určený pro maximální výkon vyžaduje hardwarovou podporu pro použité prostředí. Komunikace se dělí na vyhrazený interval a otevřený interval.

Ve vyhrazeném intervalu jsou přenesena pouze časově kritická I/O data, zatímco všechna ostatní data jsou zasílána v otevřené fázi. Žádné další protokoly níže úroveň nejsou potřeba. Definovaný "Clock master", který je obecně integrován do kontroléru I/O, provede synchronizaci uzlů.

#### 3.5.1 Požadavky na řízení IRT

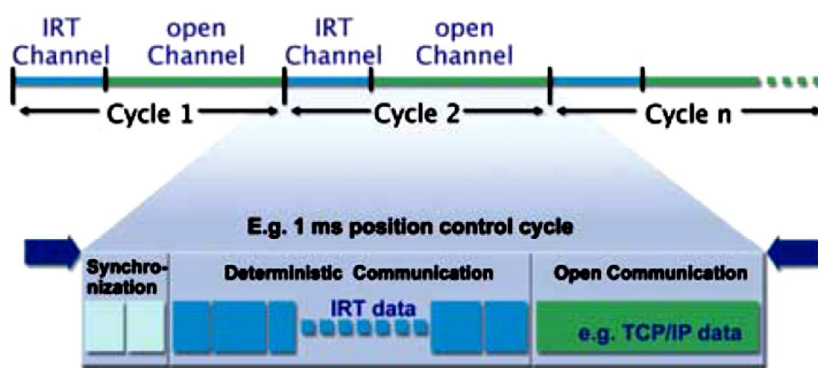
Všechna řízení, která se účastní IRT komunikace, jsou synchronizována pomocí stejného "Clock master". IRT komunikace je založena na následujících podmínkách:

- a) S ohledem na schopnosti v reálném čase komunikace probíhá pouze v rámci jedné podsítě, jelikož nejsou žádné možnosti adresace přes TCP/IP. Existující adresování mechanismus bylo sníženo (i pro nesynchronizovanou komunikaci) tak, že je v rámci podsítě dostatečné adresování řízení pouze na základě MAC adresy.

## Komunikační standard PROFINET

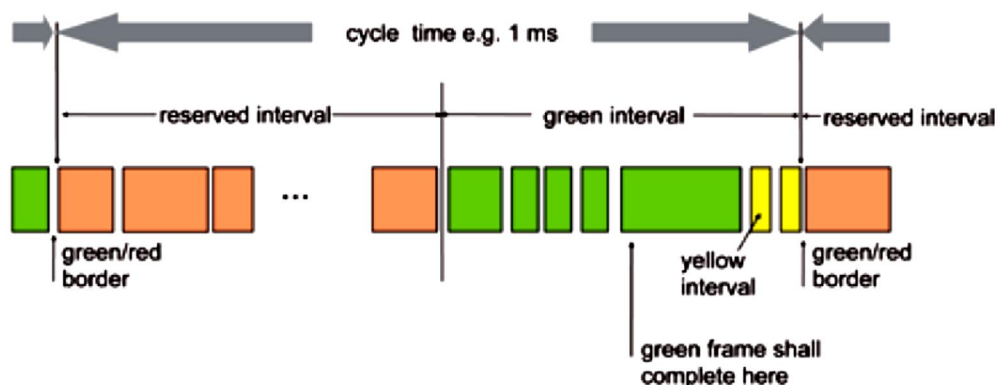
b) Sběrný cyklus je rozdělen do vyhrazené IRT fáze a otevřené fáze, které jsou definovány takto:

- Ve vyhrazené fázi (IRT fázi) mohou být IRT úlohy pouze zpracovány
- V otevřeném intervalu je zpracování práce (job processing) řízeno na základě priorit



Obrázek 6 Rozdělení sběrného cyklu do IRT kanálu a otevřeného kanálu (převzatý z [4])

c) Přesná pořadovost na přesnost říkají, že všechna zřízení v rámci IRT domény musí podporovat izochronní provoz. Rozdělení jednotlivých fází se může lišit. Přechod ze "zeleného intervalu" (green interval) na "rezervovaný interval" (reserved interval) jde přes "žlutý interval" (yellow interval), ve kterém se provádí vhodná IRT komunikace přijímá pouze práce, které mohou být zcela přepracovány před začátkem dalšího "rezervovaného intervalu". Pokud není zajištěno přesné rování těchto prací před začátkem rezervovaného intervalu, tyto rámce jsou dočasné uloženy a odeslány v dalším zeleném intervalu".



Obrázek 7 Intervaly (obrázek převzatý z [4])

**zelený interval** . v tomto intervalu mohou být předány prostřednictvím se provádí pouze rámce třídy RT 3. Pokud se jedná o UDP/IP rámce nebo jsou generovány (protože aplikace neumožňuje IRT) během "zeleného intervalu", pak jsou dočasné uloženy

v případě jejich podporující IRT a jsou odesílány teprve po dokončení rezervovaného intervalu". Příjem cyklického dat je časově přesný tak, že synchronní aplikace lze spustit přímo bez zpoždění.

**Oranžový interval** - v tomto intervalu mohou být předány prostřednictvím příjemce pouze rámce třídy RT 2. Oranžový interval se spustí (pokud je k dispozici) hned na začátku Send clocku nebo po skončení intervalu. Rámce RT třídy 2 nevyžadují předchozí plánování, v důsledku čehož není ztráta pásma, která je k dispozici, optimálně využita. Příjem cyklických dat není přesná časová synchronizace, proto musí být součástí bezpečnostní rezerva.

**Zelený interval** - slouží pro předávání datových rámců v případě. Pokud přijdou IRT rámce během zeleného intervalu, tak budou zničené a vytvoří se alarmová zpráva. Zelený interval nemusí v rámci fáze vůbec existovat.

**Plutý interval** - pro odesílání datových rámců v případě. Pokud má být zajistěn začátek další rezervované fáze, může být tento interval úplně zakázán.

### 3.6 Cyklický datový přenos

Cyklická I/O data jsou přenášena jako RT data mezi producentem a konzumentem v parametrizovatelném rozlišení. Jsou organizována do jednotlivých I/O prvků (subslots). Spojení je sledováno pomocí watchdogu (mechanismus sledování času). Při přenosu dat v rámci jsou data v subslotu následována stavem producenta. Tato informace o stavu je hodnocena příslušným konzumentem I/O dat. Je možné použít tyto informace k vyhodnocení platnosti dat ze samotné cyklické výměny dat. Kromě toho jsou přenášeny stavy konzumenta pro celou směru. Pro tento účel není přímo nutná diagnostika. U každého rámce zprávy `$$$Data Unit%%(trailer)` následují doprovodné informace týkající se celkové platnosti dat, zálohování a diagnostiky stavu (stav dat, stav přenosu). Informace o cyklu (počet cyklů) poskytovatele je uveden tak, aby jeho rychlost aktualizace mohla být snadno stanovena. Selhání cyklických dat na vstupu je monitorováno v komunikačním vztahu příslušným konzumentem. Jestliže nakonfigurovaná data na vstupu v době sledování spadnou, konzument odešle aplikaci chybovou zprávu.

### 3.7 Acyklický datový přenos

Acyklický výměna dat lze použít k parametrizaci a konfiguraci zařízení I/O nebo k přenosu informací o stavu. Toho se dosahuje pomocí rámce pro přenos/zápis přes standardní IT služby pomocí protokolu UDP/IP. Kromě datových záznamů jsou k dispozici pro použití výrobce zařízení. Tyto systémy datových záznamů jsou speciálně definovány:

- Diagnostické informace - lze kdykoliv přepsat uživatele z libovolného zařízení.
- Položky záznamu Error (alarmy a chybová hlášení) - mohou být použity k určení podrobných nasazovaných informací o dání v rámci v zařízení I/O.
- Identifikační údaje - jsou uvedeny v PNO směnících a v I&M funkcích.
- Informační funkce týkající se skutečného a logického modulu strukturování.
- Přenos I/O dat

Index se používá pro odlizení služeb přenosu/zápisu.

### 3.8 Multicast Communication Relation (MCR)

MCR byl definován pro výměnu dat s více parametry. To umožňuje přímý přenos dat z producenta do více uzlů (do všech uzlů) jako přímá výměna dat. MCR jsou uvnitř segmentu vyměňovány za RT rámce. MCE datové kódy segmentace sledují výměnu dat tímto RT UDP. Data, která jsou vyměňována prostřednictvím MCR, podléhají modelu zařízení I/O a jsou přiznačena k subslotům. Subslot M . producent ze zařízení I/O může publikovat vstupní data jak k přidělenému kontroléru I/O přes vstupní CR tak i přes vztah multicast komunikaci (M-CR). Pro dva CRL mohou být použity různé způsoby vysílání (RT, IRT).

### 3.9 Datový přenos orientovaný na události (Event-oriented data traffic)

Přenos událostí je v PROFINETu modelován v rámci konceptu alarmů. Patří mezi n systémově definované události (například odstranění a vkládání modulů) ale i uživatelem definované události zjistitelné v systému kontroly (například vadná zátěž nebo tlak) nebo události, které se objeví v řízení procesu (například příliš vysoká teplota). Když dojde k události, musí být k dispozici dostatek paměti pro komunikační přenos dat s cílem zabránit ztrátě dat a umožnit alarmům, aby byly rychle předány kontroléru I/O ze zařízení I/O. Jakákoliv fatální chyba je vždy signalizována jako alarm. Každý alarm

spustí záznam v diagnostickém vyrovnávací paměti. Alarmy jsou zahrnuty v acyklických RT datech.

### 3.10 Kontrolér I/O (IO - Controller)

Kontrolér I/O je obvykle součástí PLC a řídí proces automatizace. Procesní data mezi zařízeními I/O a kontrolérem I/O jsou vyměňována v reálném čase a v předem definovaných cyklických časových intervalech.[5]

Kontrolér I/O pořadí procesní data (vstupy z nastavených zařízení I/O při zapnutí), zpracovává svůj řídicí program, procesy svého řídicího programu, a přenáší procesní data, tak aby odcházela k poskytlému zařízení I/O.

Kontrolér I/O může vytvořit jedno AR s více zařízeními I/O. V rámci jednoho AR může několik IOCR a API používat pro výměnu dat, což může být užitečné například, jestliže se více než jeden uživatelský profil (PROFIdrive, Encoder, atd.) podílí na komunikaci, při které jsou najednou vyžadovány různé subsloty.

Kontrolér I/O musí podporovat následující funkce:

- Ovládání alarm
- Výměna procesních dat (zařízení I/O v prostoru hosta I/O)
- Acyklické slouby
- Parametrizace
- Diagnostika nakonfigurovaného zařízení I/O
- Iniciátor pro založení kontextu pro zařízení I/O
- Přijetí adresy přes DCP (včetně automatické detekce poruch zařízení a přijetí nahrazení provozního zařízení v režimu uživatelských dat)
- API (Application process instance) [4]

### 3.11 Supervizor I/O (IO - Supervisor)

Supervizor I/O je kontrolér, který je schopen převzít řízení nad zařízením místo stávajícího kontroléru.

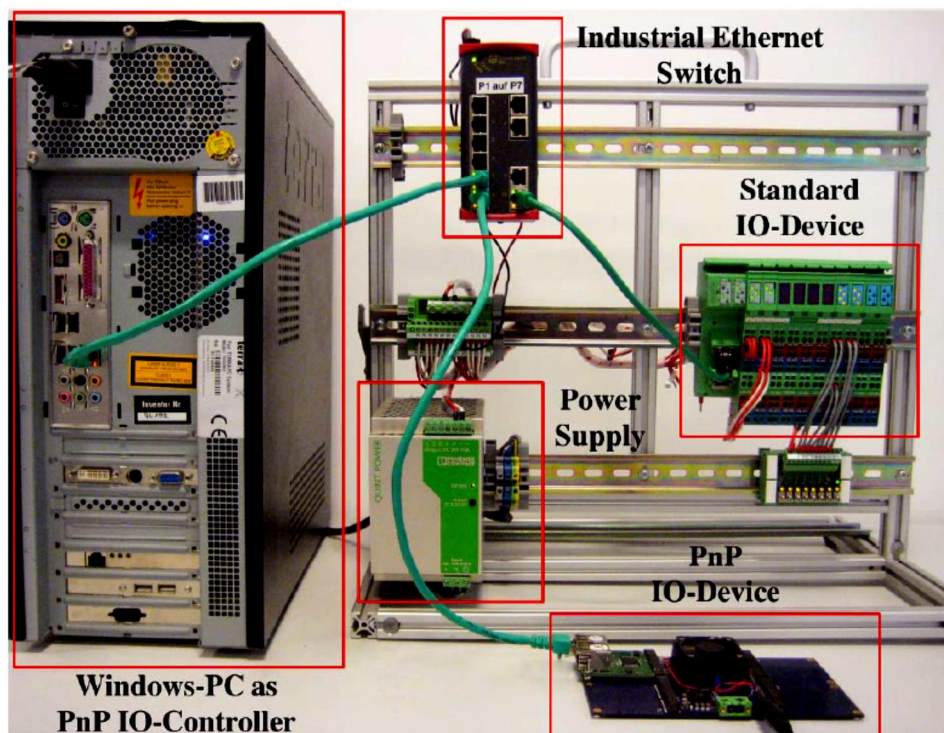
### 3.12 Zařízení I/O (IO - Device)

Zařízení I/O je periferním provozním zařízením, které tvoří rozhraní k automatizačnímu procesu. I/O-zařízení lze rozdělit na dvě části. Blokované zařízení I/O má pevnou modulovou konfiguraci popsanou v souboru GSD, zatímco modulární

Komunikace standard PROFINET

zařízení I/O umožňuje přidávat a odebírat moduly v závislosti na požadavcích. Soubor GSD obsahuje všechny možné moduly. Přesná konfigurace zařízení I/O musí být definována v inženýrském nástroji (engineering tool, příkladem inženýrského nástroje může být Simotion Scout, který se používá pro komunikace s kontrolérem ze strany Simotion). Toto řešení se stará pouze o automatickou konfiguraci blokového zařízení I/O. Aktuální modulová konfigurace modulárního zařízení I/O může být vytvořena pomocí SNMP (Simple Network Management Protocol) protokolu.

PN systém obsahuje alespoň jeden kontrolér I/O a jeden nebo více zařízení I/O. Zařízení I/O může vyměňovat data s více kontroléry I/O.

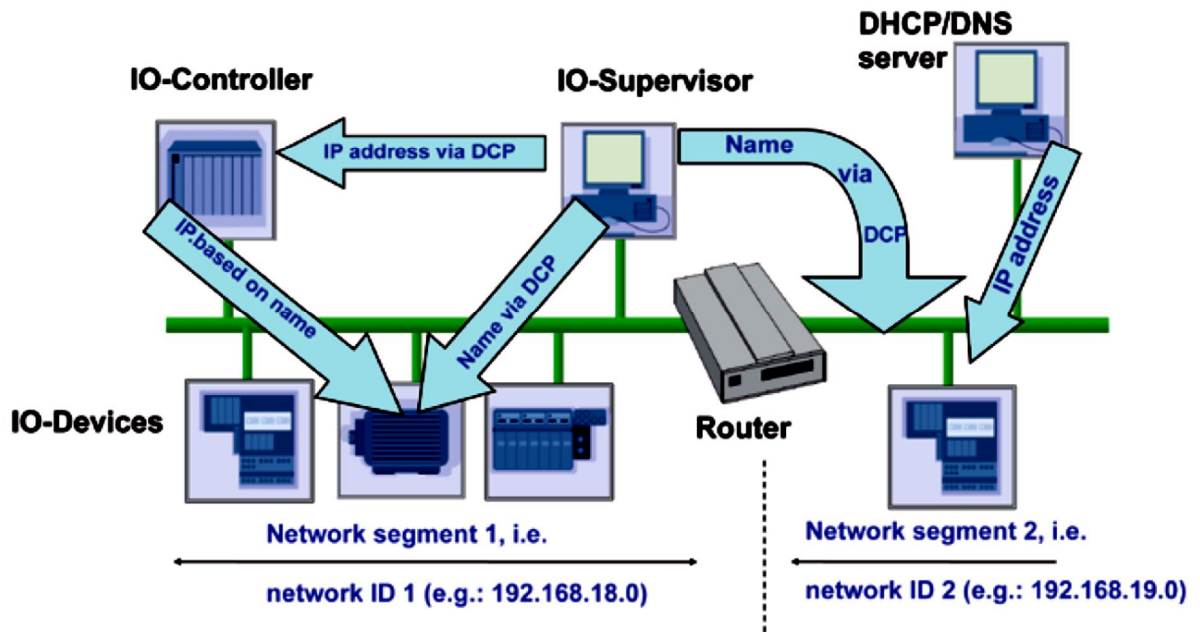


Obrázek 8 Příklad zapojení (převzato z [5])

### 3.13 Adresace ve standardu PROFINET

Zařízení podporující PN I/O jsou adresovány pomocí MAC adres a IP adres. Na obrázku číslo 10 je vidět síť, která se skládá ze dvou podsítí, které jsou reprezentovány různými ID sítě (masky podsítí). Rozlišení adres u této sítě zařízením je založeno na symbolickém názvu zařízení, ke kterému je přiřazena unikátní MAC adresa. Poté je systém nakonfigurován. Inženýrský nástroj (engineering tool) na to vezkeré

požadované informace pro výměnu dat na kontroléru I/O včetně IP adresy proipojených zařízení I/O. Kontrolér I/O může na základě jmen zařízení I/O rozpoznat nakonfigurované periferie a přidat jim zadané IP adresy pomocí protokolu DCP (Discovery and Configuration Protocol), který je integrovaný ve standardu PROFINET. Po přidání adres se systém zapne a do zařízení I/O jsou posílány parametry. Systém je poté k dispozici pro produktivní datové procesy.



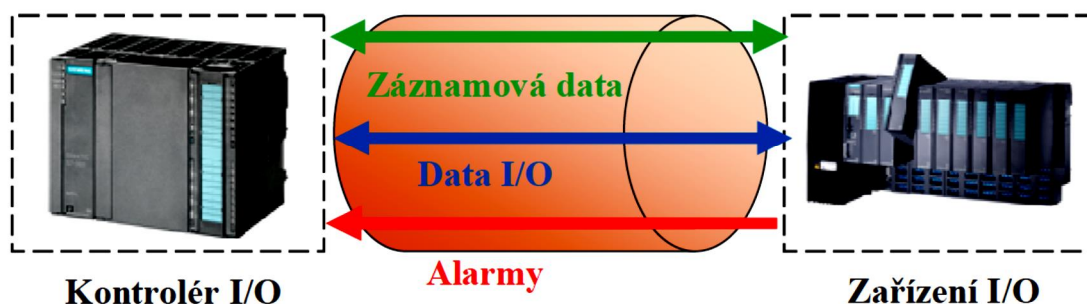
Obrázek 9 Síť zařízení PN I/O může být rozdělena do několika podsítí (převzato z [4])

### 3.14 AR

Mezi kontrolérem I/O a každým zařízením I/O je založen vztah AR (Application Relation). V rámci vztahu AR jsou data, která mají být vyměněna, definována v různých komunikačních vztazích (CR - Communication Relations). Cyklická procesní data užívají CR data I/O. Konfigurace a další acyklická data se předávají do CR datového záznamu a alarmy se předávají v reálném čase do CR alarm.

Po navázání vztahu AR mezi kontrolérem I/O a zařízením I/O prochází vytvořeným kanálem:

- Záznamová data (Record data) CR
- Data I/O CR
- Alarmy CR



Obrázek 10 AR

## 3.15 Provozní režim PROFINETu I/O

### 3.15.1 Systémové inženýrství a GSD

Při povolání systémového inženýrství jsou vyžadovány soubory GSD (General Station popis) zařízení, která mají být nakonfigurována. Během systémového inženýrství jsou propojeny moduly/submoduly definované v souboru GSD tak, aby se namapovaly do reálného systému a byly přiřazeny k slotům/subslotům.

### 3.15.2 Identifikace zařízení pomocí zadání jména

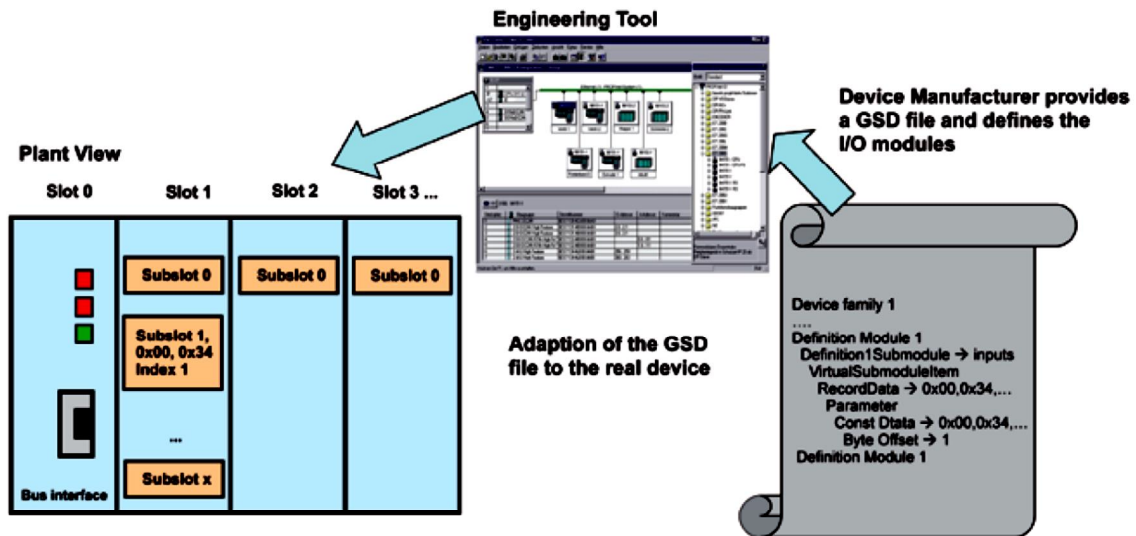
Jméno lze zadat vždy pomocí protokolu DCP (Discovery a Configuration Protocol) defaultně integrovaného nastavení v každé PN zařízení, na základě jména dojde k přidělení IP adresy a zároveň adresy.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) našel široké využití na celém světě, například nastavení adresy přes DCP. PROFINET poskytuje možnost pro nastavení adresy přes DHCP i jiné mechanismy specifikované výrobcem. Volby adresování podporované prostřednictvím PN zařízení jsou pro příslušné zařízení definovány v souboru GSD. Každý výrobce kontroléru I/O také poskytuje inženýrské nástroje pro konfiguraci provozu. Na obrázku číslo 12 je vidět vztah mezi definicemi GSD, konfigurací a zobrazením reálného provozu.

### 3.15.3 Stažení provozních informací

Po skončení inženýrského provozu jsou kontrolérem I/O stažena provozní data, která mimo jiné obsahují specifickou provozní informaci. V důsledku toho má kontrolér I/O všechny informace potřebné pro adresaci zařízení I/O a pro výměnu dat.





Obrázek 11 Vztah mezi definicemi GSD, konfigurací a zobrazením reálného provozu (převzato z [4])

### 3.15.4 Rozlišení adres

Před tím než ovládací kontrolér vyměňuje data se zařízením I/O, musí být přiřazena zařazení I/O IP adresa na základě názvu zařazení, což musí proběhnout před zapnutím systému, které se vztahuje k uvedení do provozu/restartu automatizovaného systému po Zapnutí nebo Resetu. IP adresa je přidělena v rámci stejné podsítě pomocí protokolu DCP integrovaného ve výchozím nastavení v kódovém PN zařazení I/O.

### 3.15.5 Zapnutí systému

Kontrolér I/O vždy iniciuje zapnutí systému po spuštění/restartu na základě konfiguračních dat bez jakéhokoli zásahu uživatele. Při zapnutí systému do provozu kontrolér I/O zavádí explicitně zadaný komunikační vztah (CR) a aplikační vztah (AR) se zařízením I/O.

### 3.15.6 Výměna dat

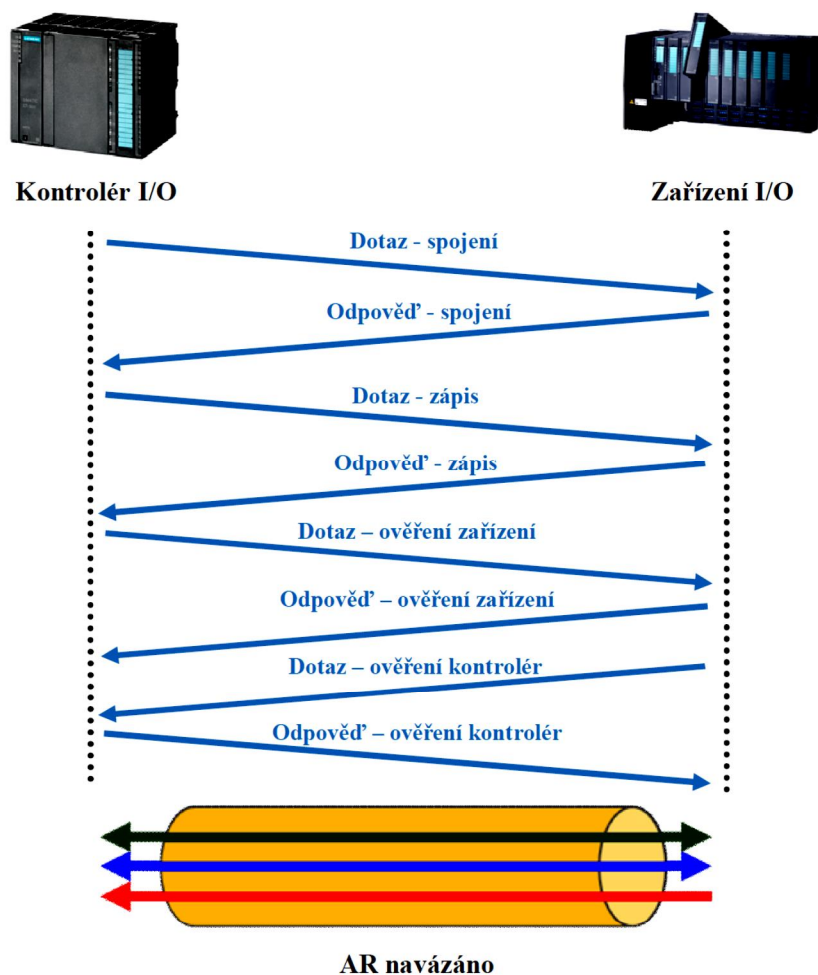
Po úspěšném dokončení zapnutí systému si kontrolér I/O a zařazení I/O vyměňují procesní data, alarmy a acyklická data.

### 3.16 Start-up fáze

Po zapnutí systému PN I/O je ihned zahájena Start-up fáze, při které musí kontrolér I/O nakonfigurovat všechna zařízení. Po úspěšném skončení této fáze začne probíhat cyklická výměna dat. Kontrolér I/O přijímá nezbytnou datovou konfiguraci z inženýrského nástroje.

Před spuštěním operace PN systémem potřebuje znát každé PN zařízení své jméno (device name), které je zadáno v inženýrském nástroji a které zároveň zná kontrolér I/O.

V prvním kroku přidá kontrolér I/O každému zařízení I/O IP adresu použitím DCP protokolu (Discovery and Configuration Protocol). Po kompletním přidání IP adres pokračuje zahajovací fáze posíláním zpráv, které jsou vidět na obrázku číslo 13.



Obrázek 12 Navázání AR

Kontrolér I/O založí AR a odpovídající CR ke každému zařízení I/O s odpovídající na spojení (Connect Request), která zahrnuje několik bloků, jejich popisy a další informace jsou uvedeny níže:

- AR blok . obsahuje jedinečný identifikátor (ARUID) pro AR
- Vstup CR bloku . definuje CR pro cyklická data ze zařízení I/O do kontroléru I/O. Parametry jsou mimo jiné používány v reálném čase pro třídy, ID rámce a nařazování dat. Navíc tento blok obsahuje definici API - popisuje, které sloty a subsloty jsou přeneseny do kontroléru I/O.
- Výstupní CR blok . stejně jako pro výše uvedená data z kontroléru I/O do zařízení I/O.
- Odkávaný submodul blok: Tento blok spojuje sloty/subsloty ze vstupu a výstupu CR bloku s moduly/submoduly tohoto zařízení, jak je uvedeno v souboru GSD.
- Blok vztahu multicastové komunikace (MCR): obsahuje data o vytvoření datové komunikace mezi několika zařízeními I/O.
- Blok CR alarm . specifikuje priority alarmu a maximální délku alarmu .

Zařízení I/O potvrdí dotaz na spojení (Connect request) odesláním odpovídající na spojení (Connect response). V případě, že se nevyskytne žádná chyba, odpovídá zrcadlí konfiguraci dat z dotazu na spojení. Pokud nejsou přítomny všechny odkávané moduly v zařízení I/O, tak zařízením odpoví blokem Module Diff. Submoduly by mohly poskytovat dodatečně parametrizovaná data, která jsou přítomná v GSD modulu. Kontrolér I/O odešle dotaz na zápis (Write-Request) každému zařízením I/O, které obsahuje tato data. Zařízením I/O potvrzuje přijetí pomocí odpovídající na zápis (Write-Response). Zařízením I/O potvrzuje přijetí pomocí odpovídající na zápis (Write Response). Konec parametrizačního procesu je signalizován pomocí dotazu na ovládnutí (DControl-Request), který vysílá kontrolér I/O a očekává odpovídající reakci. Když zařízením I/O již zpracovalo přijatá data, signalizuje svoji operativní připravenost pomocí dotazu na ovládnutí (CControl-Request). Start-up fáze končí potvrzením kontroléru I/O pomocí odpovídající na ovládnutí. Poté je navázán vztah AR, kterým mohou procházet potřebná data.

Komunikační standard PROFINET

### 3.16.1 Start-up fáze pro IRT komunikaci

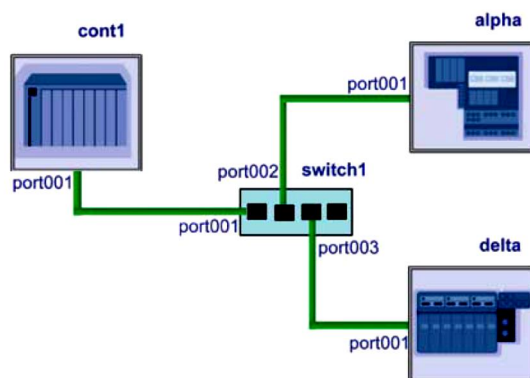
Pro IRT komunikaci navíc platí, že kontrolér I/O vysílá následující:

- Načítání synchronizačních dat pro červené a oranžové intervaly
- Předávání informací pro červený interval
- V případě nutnosti načítání informací pro existující isochronní aplikace

Na začátku zahajovací fáze jsou všechny periferie v zvoleném intervalu

### 3.16.2 Detekce souseda (Neighborhood detection)

Pro detekci souseda se využívá protokol LLDP (Link Layer Discovery Protocol). PN zařízení si vymění stávající adresovací informace s propojenými sousedními zařízeními přes všechny porty zařízení. Sousední zařízení jsou tak jednoznačně identifikována a je získáno jejich fyzické umístění. Protokol LLDP je implementován přímo v softwaru, a proto nevyžaduje žádnou speciální hardwarovou podporu. LLDP je nezávislý na struktuře sítě (linie, hvězda, atd).

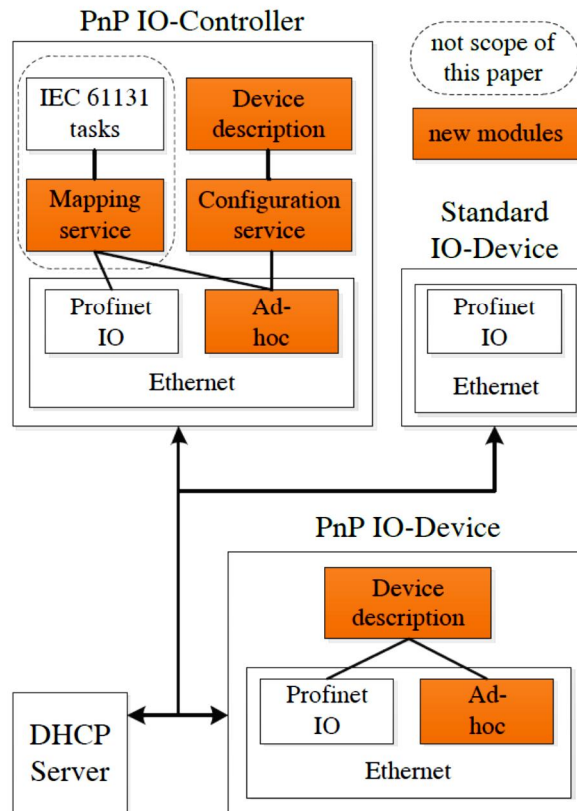


Obrázek 13 PN zařízení znají své sousedy (obrázek převzatý z [4])

## 3.17 Koncept automatické konfigurace, kterou využívá PROFINET I/O

Přiblížených operacích získává kontrolér I/O konfigurační data z inženýrského nástroje. Rozšíření PN zařízení o komunikační kanál Ad-hoc a komunikační službu implementovanou v kontroléru I/O nebo jiným PnP (Plug-n-Play) serverem (PnP server je centrální server, který kóduje logiku správy a rozšířených informací o rozmístění (obrázky, konfigurace, soubory a licence) pro rozmístěné prvky. Server komunikuje s agentem na zařízení, které podporuje zjednodušený proces implementace pomocí určitého protokolu pro rozmístění (deployment protocol).) [8]. Ad-hoc kanál lze použít se

vzemi RTE, které umožní standardní TCP/IP komunikaci bez manuální konfigurace. Využitím tohoto kanálu jsou vyměněny parametry potřebné pro PN konfiguraci. Na obrázku číslo 15 je vidět tento postup s nezbytnými operacemi tak, aby funkce PnP fungoval.



Obrázek 14 Automatická konfigurace (převzato z [5])

Pro kompletní řízení pomocí PnP musí být proměnné aplikace mapovány na procesní data ze zařízení I/O. Zde je kladen důraz na automatickou konfiguraci PN zásobníku. To znamená, že zařízení I/O musí být připojena k síti a výměny dat mezi zařízením I/O a kontrolérem I/O se spustí bez manuálního zásahu a prekonfigurování kontroléru I/O. Zařízení I/O může být přidáno kdykoli během provozní doby sítě.

Proces automatické konfigurace je rozdělen do pěti kroků:

1. Založení fyzického spojení: Zařízení musí být připojeno k síti, což znamená, že stávající síťové infrastruktury (například přepínače, které podporují VLAN tagging a prioritizaci paketů) musí být k dispozici. Není nutné brát v úvahu topologii sítě, protože podporuje různé PN topologie - hvězda, strom, šňůrka, prstence a různé jejich kombinace.

## Komunikační standard PROFINET

2. Zjištění: Nově připojená zařízení musí informovat kontrolér I/O o své přítomnosti nebo kontrolér I/O musí skenovat síť, aby zjistil, jestli existují nějaká nová zařízení.
3. Základní komunikace: Kontrolér I/O potěbuje informace o novém zařízení. Pro tento účel se používá komunikační kanál ad-hoc pro stažení souboru GSD. Další možností je stažení souboru GSD z centrálního úložného souboru.
4. Zhodnocení schopnosti: Ze staženého souboru popisujícího zařízení konfiguraci služby kontrolér I/O musí zjistit všechny potřebné parametry pro PN zásobník.
5. Konfigurace: PN zásobník musí být konfigurován podle výsledků získaných v kroku 4. Poté mohou být cyklické výměny procesních dat mezi kontrolérem I/O a novým zařízením.

V následující části jsou popsány výše uvedené kroky pro navrhovaný přístup pro dva různé případy - pro PnP povolené zařízením I/O a pro standardní zařízení I/O.

### 3.17.1 Automatická konfigurace zařízení I/O podporující PnP

Pro druhý a třetí krok automatického konfiguračního procesu slouží komunikační kanál ad-hoc. Pokud se uvažují jen požadavky pro objevování a přenos GSD souboru, stačí použít standardy pocházející z rodiny TCP/IP.

Automatická konfigurace lze popsat následujícími způsoby.

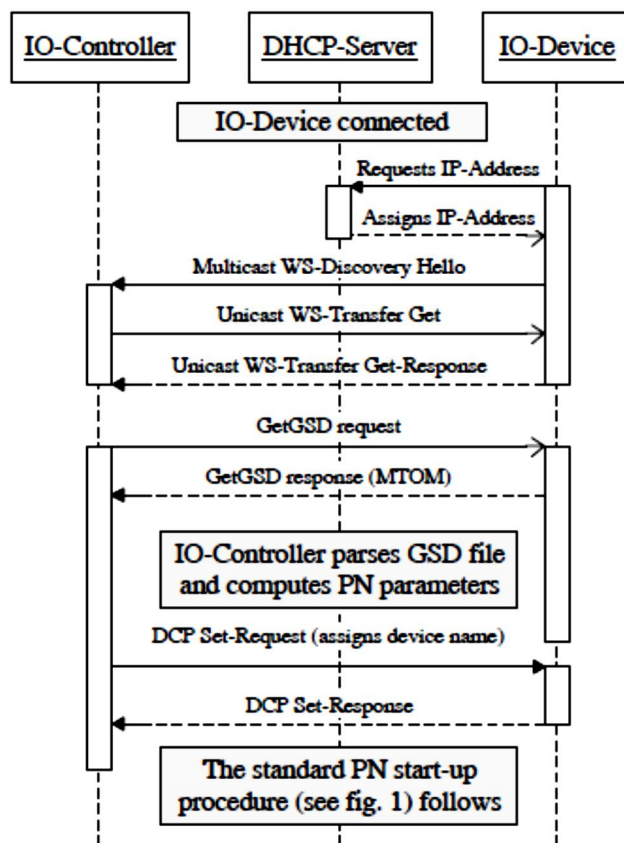
1. Fyzické spojení: Nové zařízení může být připojeno k síti pomocí volného portu ethernetového počítače bez předchozích speciálních opatření, což se v souladu s kompletní definicí PnP (Plug-and-Play).
2. Zjištění: Nové zařízení musí být schopno přijímat IP adresu z existujícího DHCP serveru v rámci svého segmentu sítě a DHCP server je přidán k zařízením I/O (obvykle není k dispozici na standardní IO-zařízení). Zjišťovací proces používá protokoly WSDiscovery a WS-Přenos poskytované DPWS zásobníkem. Oba protokoly umožní zařízením objevovat specifické služby v síti a mít metadata zařízení. Kdykoli je nové zařízení I/O připojeno k síti, odešle WS-Discovery pomocí multicast zprávu (hello message) IP adrese, která je definována v DPWS standardu. Kontrolér I/O rozpozná nové zařízení a na jeho metadata (například výrobce a název zařízení, firmware) pomocí protokolu WS-Transfer.
3. Základní Komunikace: IO-Device hostí svůj vlastní soubor GSD. Konfiguraci služby na kontroléru I/O mohou na místě souboru zavoláním služby GET-GSD na

za ízení I/O. Tato slu0ba p enází GSD soubor prost ednictvím mechanismu SOAP Message Transmission Optimization (MTOM - mechanismus pro p enos velkých binárních p íloh pomocí zpráv SOAP jako hrubé bajty, co0 umo0 uje menzí zprávou[9]).

4. Zhodnocení schopnosti: Konfigura ní slu0by analyzují p íjatý GSD soubor. Na základ jeho údaj se musí definovat parametry pot ebné k zalo0ení cyklické vým ny dat. První konfigura ní slu0ba musí definovat název PN za ízení, který je zalo0en na identifikátoru za ízení v obsa0eném GSD souboru. Pokud za ízení se stejným identifikátorem v síti ji0 existuje, tak je k názvu za ízení p ídáno po adové íslo. Potom je tento název za ízení odeslán na IO-Device prost ednictvím DCP Set-Request. Ostatní parametry jsou pou0ity v Connect-Request k vytvo ení AR na za ízení I/O. Tyto parametry jsou:
  - AR-Blok: ARUUID m 0e být definován náhodn , ale musí být jedine ý.
  - Vstup CR bloku: Pro cyklickou vým nu dat ze za ízení I/O do kontroléru I/O je definován jeden CR. RT t ída 1 je definována jako standardní hodnota. T ídy 2 a 3 jsou vyu0ívány PN IRT. ID rámce je vybráno z p edem definovaného rozsahu, který PROFINET specifikuje pro tídu 1. Základ pro výpo et parametr asování je MinDeviceInterval uva0ovaný v souboru GSD, který uvádí minimální as mezi dv ma odesílajícími cykly za ízení I/O. Je-li hodnota MinDeviceInterval v tzí ne0 výchozí hodnota (tj. 8 ms), vyslaný cyklus je nastaven na MinDeviceInterval místo výchozí hodnoty. API je nakonfigurováno. Obsahuje všechny vstupní signály za ízení I/O. Vstupy jsou extrahovány ze GSD souboru.
  - Výstup CR bloku: Pro cyklickou vým nu dat z kontroléru I/O do za ízení I/O je definován jeden CR blok, který krom údaj pro výstupy za ízení I/O obsahuje potvrzení pro vstupní data CR.
  - O ekávaný submodulový blok: Zde jsou nainstalovány všechny submoduly z GSD souboru. MCR a blok alarm CR nemusí spustit cyklický proces vým ny dat. N které submoduly by pot ebovaly dalzí parametriza ní data z GSD souboru. V tomto p ípad je slo0en rámec Write-Request obsahující tyto data.
5. Konfigurace: Konfigurace slu0by nastaví všechny pot ebné parametry PN zásobníku na kontroléru I/O.

## Komunikace standardu PROFINET

Schéma automatické konfigurace zařízení I/O podporující PnP je vidět na obrázku číslo 16.



Obrázek 15 Automatická konfigurace zařízení I/O podporující PnP (převzato z [5])

### 3.17.2 Automatická konfigurace standardního zařízení I/O

Hlavním omezením v procesu automatické konfigurace standardního zařízení I/O je fakt, že zařízení I/O nemůže odeslat svůj GSD soubor na kontrolér I/O. To by vyžadovalo manuální adaptaci firmwaru, která není ve většině případů možná, proto musí být soubory starších zařízení I/O uloženy v centrálním úložišti dosažitelném v rámci sítě. Tím může být kontrolér I/O sám nebo vyhrazený FTP-server. Automatická konfigurace standardních zařízení I/O se liší od autokonfigurace zařízení I/O podporující PnP v následujících bodech:

- **Zjištění:** Pro standardní IO-Device nemůže být DPWS zásobník použit pro zjištění, protože firmware nemůže být upravený dalšími funkcemi. Kromě toho běžná zařízení I/O neobsahují DHCP klienta. Místo toho může kontrolér I/O

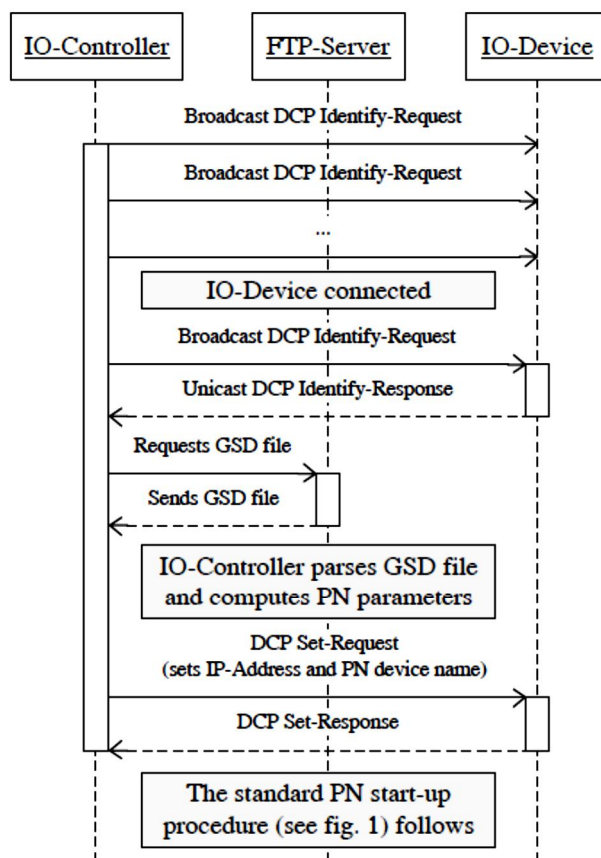


pomocí protokolu DCP objevovat nová zařízení I/O, proto kontrolér I/O pravidelně posílá dotaz na identifikaci (Identify-Requests) na PN multicast MAC adresu. Všechna zařízení I/O odpovídají pomocí odpovědi na identifikaci (Identify-Responses) obsahující jejich jména (device name) . pokud jsou k dispozici MAC adresu a identifikátor zařízení. Na základě těchto odpovědí kontrolér I/O umí rozpoznat nová zařízení. Zařízení I/O ještě nepřijme IP adresu.

- Základní komunikace: Kontrolér I/O může komunikovat se zařízením I/O pomocí identifikátoru tohoto zařízení, který byl předložený v rámci odpovědi na identifikaci (Identify-Response frame). Na základě tohoto identifikátoru může kontrolér I/O načíst z FTP serveru příslušný GSD soubor. IP adresa FTP serveru je nakonfigurována a GSD soubory všech možných zařízení I/O musí být dostupné na serveru před připojením k síti.
- Zhodnocení schopnosti: Tento krok je podobný bodu 5 z minulého případu. Jediný rozdíl je, že zařízení I/O neobdrží IP adresu, protože v tomto případě chybí DHCP klient. Proto je funkce podporující DHCP implementována v kontroléru I/O. Tato funkce vybere IP adresu a přidá ji (spolu s názvem zařízení PN) zařízení I/O v DCP Set-Request.

Průběh automatické konfigurace pro standardní zařízení I/O je znázorněn na obrázku číslo 17.

## Komunikační standard PROFINET



Obrázek 16 Automatická konfigurace standardního zařízení I/O (převzato z [5])

### 3.18 Diagnostika v PROFINETu

Diagnostika sítě je součástí diagnostického řízení a významně přispívá ke spolehlivosti provozu sítě. Pro účely údržby a pro monitorování síťových komponent byl založen mezinárodní standard SNMP (Simple Network Management Protocol), který umožňuje přístup pro četění a zápis (pro administraci) síťových prvků a načítání statistických údajů vztahujících se k síti - údaje o konkrétním portu a informace týkající se detekce okolností. Dalšími diagnostickými prostředky pro síť reprezentující integrace monitorovacích funkcí přímo do síťových komponent jsou například péřní. Péřní péřní jsou navrženy jako zařízení I/O a mají vyšší úroveň integrované inteligence.

### 3.19 Funkce I&M (Identification & Maintenance)

Schopnost příst základní informace ze zařízení je velmi užitečná v mnoha případech. Tyto informační funkce jsou uvedeny v datových strukturách I&M0 a I&M4

(definován je i I&M5, který se zatím nepoužívá). Data I&M se nařítají pomocí služeb tení. Každé zařízení I/O musí dodat alespoň tyto údaje:

- ID typu (order ID)
- MAC adresa
- Revize hardwaru
- Revize softwaru
- Typ zařízení
- ID výrobce
- Všechna data I&M0 (každé zařízení musí podporovat I&M0)

Tato data jsou nezbytná pro adresaci zařízení i pro tení funkcí I&M.

### 3.20 Redundance (Redundancy)

Topologie hvězda, která je hodně využívána v Ethernetu, kde je kombinována s line strukturou, umožňuje tení víceportových periferií.

Záložní komunikační cesty jsou v systému automatizace nezbytné pro výrazné zvýšení dostupnosti systému. Redundance manažer a několik klientů přispívají ke správnému fungování automatizovaného systému.

### 3.21 Webová integrace (Web integration) [4]

Koncepty založené na webových službách mohou být použity v oblasti provozu a diagnostiky. Webové služby lze popsat mechanismy pro integraci PN zařízení do sv. ta internetu a intranetu. Standardní protokoly (například http) se používají pro přístup k PN zařízení z internetu nebo intranetu. Data jsou přenášena ve standardních formátech HTML nebo XML. Velkou výhodou je, že vzhledem k celosvětové dostupnosti, mohou výrobce aplikace snadno podporovat uživatele přivádění do provozu. Data jsou přístupná prostřednictvím standardních webových stránek.

Možné aplikace pro webovou integraci zahrnují:

- ~ Testování a uvedení do provozu
- ~ Přehled dat zařízení (PROFINET I/O)
- ~ Diagnostiky zařízení a systémové dokumentace / dokumentace o zařízení

Poskytnuté informace by měly být poskytnuty ve formátu, který je schopný být loven k (například pomocí prohlížeče) a ve strojově čitelné formě (například soubor XML). Pokud

Komunikace standard PROFINET

se používají PN webová integrace, jsou obě varianty trvale k dispozici. Pro určitější informace PN webová integrace poskytuje standardizovaná XML schémata.

### **3.21.1 Zabezpečení**

PN webová integrace je specifikována tak, aby byl přístup k PN zařízením shodný pro přístup z internetu i intranetu, což dovoluje, aby mohou být použity všechny výhody webové integrace, i pokud není PN zařízení připojeno k internetu. U těchto lokálních přístupů je riziko neoprávněného přístupu velmi nízké a srovnatelné s moderními systémy HMI.

PN webová integrace se, pro síť v rámci výrobního zařízení nebo přes internet, opírá o fázi konceptu bezpečnosti, který doporučuje bezpečnostní koncepci optimalizovanou pro specifický případ aplikace s jednou nebo více upstream bezpečnostními zónami. Tím nejsou žádné konstrukční omezení umístěna na konceptu webové integrace, protože bezpečnostní opatření jsou vždy umístěna mimo PN zařízení. Na jedné straně jsou tato nezajištěná PN zařízení a na druhé straně umožňuje bezpečnostní koncepce být optimalizována namísto se bezpečnostní požadavky v konzistentní automatizaci technického řešení. V současné době je vyvinut bezpečnostní koncept umožňující jednotlivým zařízením i celým sítím být chráněným před neoprávněným přístupem.

Bezpečnostní mechanismy mohou být například použity v transportních protokolech (TCP/UDP a HTTP). Kromě toho šifrování, autentizace a administrátorský přístup jsou zkálovatelné na používané webové servery. Další bezpečnostní prvky, jako jsou například aplikační brány, mohou být přidány podle potřeby pro webové služby.

### **3.21.2 Segmentace**

Jádro bezpečnostního konceptu je v bezpečnostně motivované segmentaci automatizace sítě. Uzly sítě v rámci buďky jsou chráněny zvláštními bezpečnostními síťovými komponenty (například peřina nebo bezpečnostní zařízení), které řídí datový přenos z a do buďky a zkontroluje přístupová práva. Je povolen pouze autorizovaným datový přenos. Speciální bezpečnostní klientský software lze použít pro přístup z klientských osobních počítačů k automatizaci zařízením. Terminály nevyžadují žádné vlastní bezpečnostní funkce.

### 3.21.3 Správa sít

Správa sít zahrnuje všechny funkce pro správu sít, jako je například konfigurace (přidávání IP adres), sledování chyb (diagnostika) a optimalizaci výkonu.

### 3.21.4 Management IP

Použití TCP/UDP a IP na PROFINETu vyžaduje, aby PN zařízení, jako jsou síťové uzly, byla přidána IP adresa. Přidání adresy pomocí výrobcem specifikovaným konfiguračním systémem: Tato alternativa je nutná, protože systém pro správu sít není vždy k dispozici. V PROFINETu je specifikovaný protokol DCP (Discovery a Configuration Protocol), který umožňuje, aby byly IP parametry přidány pomocí nástroje, který je výrobcem specifikovaným konfiguračním systémem, nebo během mimo systémového inženýrství.

Automatické přidání adresy přes DHCP: DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) byl zaveden v sítích se systémy pro správu sít. PROFINET poskytuje použití tohoto standardu a popisuje vhodné způsoby, jak použít DHCP v PN prostředí. Implementace DHCP v PN zařízení je volitelná.

### 3.21.5 Správa diagnostik

Spolehlivost síťových operací má velmi vysokou prioritu v oblasti správy sít. SNMP (Simple Network Management Protocol) byl zaveden ve stávajících sítích pro údržbu a monitorování síťových komponent a jejich funkcí. Za účelem sledování PN zařízení pomocí založených systémů řízení je vhodné použít protokol SNMP, který umožňuje přístup pro řízení (monitorování, diagnostiku) i zápis (správa) do zařízení.

## 3.22 Operace v MES

Systém MES (Manufacturing Execution Systems) se dělí do následujících typů operací:

- “ Údržba
- “ Výrobní operace
- “ Operace kvality
- “ Operace zásob

Vzhledem k tomu, že téma údržby má velký význam ve výrobě i v procesní automatizaci. Operace údržby jsou PROFINETem podporovány. Výsledkem je

Komunikační standard PROFINET

odpovídající dokument, ve kterém je mimo jiné definován i informační obsah dleOitý pro rozhraní MES.

### 3.23 Síťová instalace

Mezinárodní norma ISO/IEC 11801 a její evropský ekvivalent EN 50173 definuje standard informačních technologií pro aplikaci neutrální sítě pro vybudovaný komplex. Tato norma týkající se kabeláOe tvoří páteř požadavků na ethernetové kabeláOe v prmyslové automatizaci.

PROFINETí kabeláO je charakterizována:

- “ Vysoký výkon s významnými systémovými rezervami
- “ Jednoduché plánování a instalace
- “ Optimální přizpůsobení se prmyslovým aplikacím

#### 3.23.1 Přístup PN komponent

PROFINET vyuOívá definovaný komponentní přístup pro kabeláO s jednoduchými pravidly výbuvy. Faktory, které je třeba zvažOit, jsou celková délka kabeláOe a počet přechodů mezi kabelem a konektorem.

Tento výsledný přístup v prmyslovém vedení se setkává spolehlivým způsobem s požadavky na PN kabely tj, s významnými systémovými rezervami. V tomto případě se nevyžaduje časově náročné plánování, výpočty ani měření. Přístupová komponenta vyžaduje harmonizované PN konektory a kabely

#### 3.23.2 Třídy prostředí

PROFINET rozduje podmínky prostředí do dvou tříd, čímO eliminuje zbytečné složitosti a umožnuje specifické požadavky automatizace. Třídy prostředí PN definující automatizační aplikace jsou rozduleny na vnitřní třídu krytí v chráněném prostředí, jako například v rozvaděči, a vnější třídu krytí vně rozvaděče pro aplikace přímo v terénu.

#### 3.23.3 PN kabely

Pevné prmyslové kabely mohou být vystaveny extrémnímu mechanickému namáhání. Vyžadují speciální konstrukci. Prvodce instalací definuje různé druhy kabelů, které byly optimálně přizpůsobeny příslušným prmyslovým okrajovým

podmínkám. Dostatečné rezervní systémy umožní pro myšlenou a pevnostní instalaci bez omezení pro nosovou vzdálenost.








Optické kabely nejsou citlivé na elektromagnetické vlivy a umožní v nich, kterých pro případech delší síťové rozptěnění je u symetrického modálního kabelu.

### Datové kabely

PROFINET kabely odpovídají typům kabelů používaných v průmyslu:

- “ PROFINET Typ A: Standardní trvale-smontovaný kabel, žádný pohyb po instalaci
- “ PROFINET Typ B: Standardní ohebný kabel, obecný pohyb nebo vibrace
- “ PROFINET Typ C: Speciální aplikace: například vysoká flexibilita, neustálý pohyb

Kabely jsou navrženy tak, aby byly vhodné pro použití v průmyslovém prostředí ve vnitřních i venkovních prostorech. U typů A a B je komponentní přístup PROFINET platný bez omezení. Pro typ C je třeba vzít v úvahu omezení poskytnutého produktu.

	Copper	Fiber Optic
IP 20 Inside	<p>RJ 45</p> 	<p>SC-RJ</p> 
IP 67 Outside	<p>RJ 45</p>  <p>Variant 14 Pas 61076-3-117 AIDA</p> <p>M12</p>  <p>Variant 5 IEC 61076-3-106 Hybrid 24 Volt and Data</p> <p>M12</p>  <p>D-coded IEC 61076-3-101</p>	<p>SC-RJ</p>  <p>Variant 14 Pas 61076-3-117 AIDA</p> <p>M12</p>  <p>Draft IEC 61076-3-101</p>

Obrázek 17 PROFINET nabízí řešení pro průmyslové konektory

Vzhledem k elektrické izolaci je použití optických kabelů vhodné pro přenos dat zejména v případě, kdy je obtížné stanovit vyrovnání potenciálů mezi jednotlivými oblastmi zařízení. Optická vlákna nabízejí výhody oproti modulu v případě extrémních EMC požadavků.

### 3.23.4 Konektory

V závislosti na topologii byly definovány 24 V konektory rozdělené do dvou výkonových tříd.

Komunikační standard PROFINET

### **Prímá topologie (Line topology): push-pull konektor**

Push-pull konektor byl vyroben tak, aby uspokojili poptávku pro napájení v souladu s normou meckými požadavky pro automobilovou výrobu. Tento push-pull konektor obsahuje čtyři pinovou vložku a navíc funkci země.

### **7/8 "konektor**

Konektor 7/8 "konektor může být také použit jako alternativa k push-pull konektoru.

### **Hybridní konektor**

Tímto ampérový hybridní konektor RJ45 umožňuje hybridní nabíjení zařízení. Za tímto účelem obsahuje kromě RJ45 vložky čtyři 16 A další napájecí kontakty. Tyto kontakty se používají pro dva oddělené okruhy.

### **Hvězdicová topologie: Konektor M12**

Podle specifikace PI, může být kódovaný konektor M12 použit pro napájení jednotlivých zařízení, která jsou zapojena do hvězdicové sítě. To je omezeno na jeden obvod a proud 4 A.

## **3.23.5 Síťové komponenty**

PN zařízení jsou připojena přes aktivní síťové komponenty - například, který je integrován do periferního přístroje. Specifikace síťových prvků zajišťuje snadnou instalaci. Protože síťové komponenty PN podporují protokolování a autonegotiation, přenosové kabely jsou prefabrikované na obou koncích se stejnými vývody.

Pokud jsou data přenášena pomocí měděných kabelů, maximální délka segmentu mezi dvěma uzly (polní zařízení nebo spínač) je 100 m. Kabely z optických vláken mohou mít délku až 14 km.

## **3.23.6 Bezdrátový přenos**

Výhody bezdrátového datového přenosu se stále více uplatňují v průmyslové oblasti. Flexibilita a mobilita bezdrátové síťové infrastruktury také umožní zcela nové řešení v oblastech, kde nelze použít elektrická vedení, nebo mohou být použita pouze s omezením, kvůli mechanickému omezení, požadavkům na bezpečnost, i jiným důvodům ochrany prostředí. Aplikace zahrnují integraci pohyblivých částí systému do komunikační infrastruktury nebo připojení tisíců přístupných senzorů, ale i mobilní obsluhu a sledování i dopravní systémy fungující bez lidské.



PROFINET umožňuje komunikaci například touto bezdrátovou komunikační sítí. Dále je schopen zvládnout různé rádiové technologie pro širokou škálu aplikací v různých oblastech, z nichž každá má specifické parametry, pokud jde o přenosovou rychlost, rozsah, počet uzlů a podobně.

Pokud jde o přímé bezdrátové profily, PROFINET používá WLAN a Bluetooth podle standardů z oblasti IEEE 802.11 a 802.15.4.

### 3.24 Komponenty [6]

- Pasivní síťové komponenty
- Přímé síťové připojení (switches) SCALANCE X
- PLC s integrovaným rozhraním
- Moduly rozhraní pro produkty SIMATIC S7
- Rozhraní pro PG/PC/Software
- Inženýrské nástroje
- Distribuované periferie
- Senzorika, měření a vyhodnocování
- Propojení různých sítí (gateways)
- Přímé síťové mobilní komunikace
- Moduly pro zabezpečení komunikace SCALANCE S

### 3.25 Výhody standardu PROFINET[6]

- Komunikace mezi PLC v distribuovaných systémech (distribuovaná inteligence)
- Komunikace mezi distribuovanou přístrojovou technikou, jako jsou vzdálené I/O, pohony atd.
- Komunikace v reálném čase a synchronizovaná komunikace (IRT) pro například aplikace s řízením pohybu
- Jednoduchá a jasná pravidla pro návrh a instalaci se standardizovanými přímými konektory a přímými síťovými komponentami
- Vzdálená údržba a diagnostika pomocí sítí prostřednictvím zavedených standardních informačních technik (například SNMP)
- Ochrana proti neoprávněným manipulacím, nepovolenému přístupu a celkové zabezpečení technologie pomocí přímých bezpečnostních komponent

## Komunikační standard PROFINET

- Průmyslová bezpečnost (Safety technologie) pro ochranu strojů, personálu a okolního prostředí
- Kontinuální vývoj v mezinárodních pracovních skupinách sdružených mezinárodní organizací PROFIBUS International
- Kompatibilita s IT standardy: HTTP, FTP, e-mail
- Bezdrátová komunikace - komponenty SCALANCE W
- Vysoký komunikační výkon

# Kapitola 4

## Profily PROFINETu

Komunikační standard PROFINET obsahuje tři profily, na které bude zaměřena tato kapitola. Jedná se o:

- PROFIdrive
- PROFInergy
- PROFIsafe

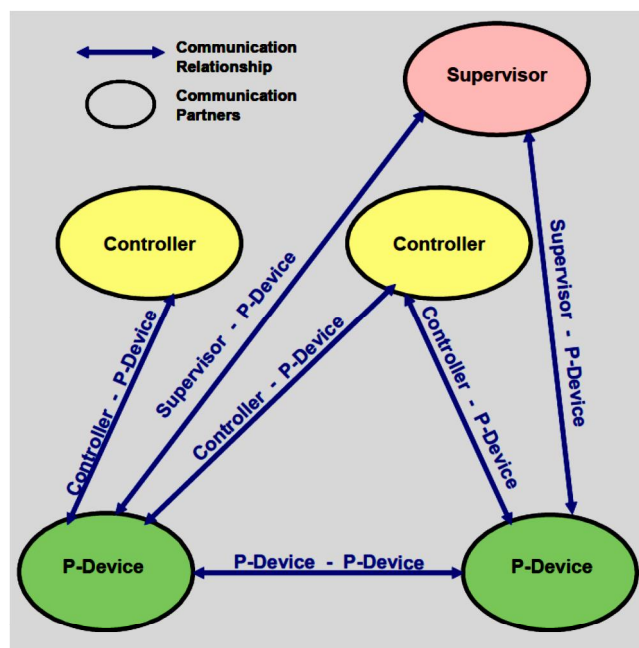
### 4.1 PROFIdrive

Technologie pohon (Drive technology) je základním požadavkem výroby i procesní automatizace. Případy užití jsou v rozsahu od pohonů s pevnou a variabilní rychlostí, jako jsou čerpadla, ventilátory a kompresory atd. Jednoosé regulátory polohy se využívají pro aplikace jako je pohyb, nastavení a umístění. Víceosé interpolace jsou použity pro balení, tisk, nebo frézování.

Jednou z nejrychleji rozvíjejících se oblastí automatizace je víceosé polohové řízení, které je využíváno v automatizovaných procesích - například tiskové stroje, obráběcí nebo textilní stroje apod. mohou pracovat rychleji, přesněji a spolehlivěji než dříve v případě konvenčních systémů založených na mechanických převodkách. PROFIdrive umožňuje takové systémy realizovat nad technologiemi PROFIBUS a PROFINET. [11]

#### 4.1.1 Základní model PROFIdrive

Základní model PROFIdrive definuje automatizační systém pro řízení pohybu - počet a řízení a vztah mezi nimi (aplikační rozhraní, přístup k parametrům, atd.) bez ohledu na použitý komunikační systém. Rozlišuje se mezi třemi typy (obrázek 19):



Obrázek 18 Komunikace mezi jednotlivými PN za ízeními

PROFIdrive podporuje cyklickou i acyklickou výměnu dat.

#### 4.1.2 Módy a telegramy

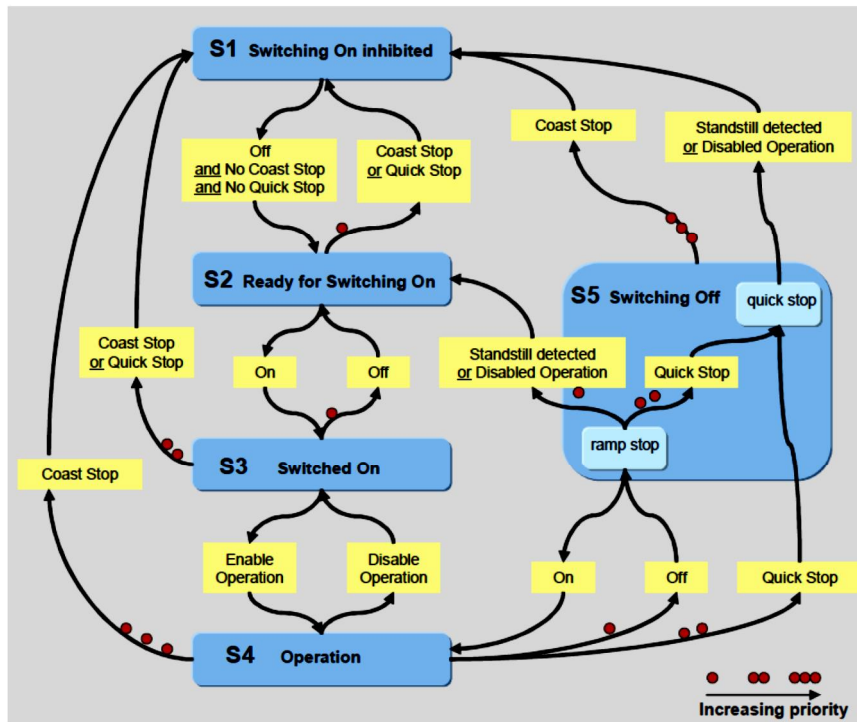
PROFIdrive definuje obecné základy stavového stroje (state machine) pro všechny jednotky, což se používá k pohonu do určitého provozního stavu nebo k jeho vypnutí kontrolovaným způsobem. Dodatečně stavové stroje jsou definovány pro řízení otáček (speed control) a pro režimy pozice drive. Řídící a stavová slova tvoří v cyklické výměně datových zpráv rozhraní mezi ovládacím a pohonem.

Jednotlivé bity jsou přidělovány na základě specifického režimu. Procesní data (PZD) jsou přenášena přes cyklické rozhraní. "Ísla signálu" jsou definována pro nejčastěji používaná procesní data a tím usnadňují psaní na rozhraní procesních dat a konfiguraci. Standardní telegramy byly definovány na základě těchto standardních signálů pro nejčastěji používané aplikace. Stejně telegramy se používají v PROFIBUSu i PROFINETu.

#### 4.1.3 Stavový diagram (state machine)

Stavový diagram je detailní model chování systému skládající se ze stavů, stavových přechodů a akce. Definuje, které konkrétní stavy by měly být uvedeny pro konkrétní příkaz a za jakých podmínek by měly být přechody z jednoho stavu do druhého. Požadovaná časová omezení jsou určena řízenými sekvencími řídicím systémem.

Obrázek 20 ukazuje vzeobecný stavový stroj pro PROFIdríví drive, který se vztahuje na všechny módy v etn režim rychlosti a polohy.



Obrázek 19 Všeobecný stavový stroj pro PROFIdríví drive

Modré bloky představují stavy systému S1 až S5 a zipky označují přechody, které jsou mezi nimi možné. Priority různých přechodů jsou označeny počtem červených teček.

#### 4.1.4 Praktické využití PROFIdrive

PROFIdrive technologie se používá v různých aplikacích.

- Větrání se používá v mnoha průmyslových odvětvích - od chemických a farmaceutických průmyslů po průmysl zpracovávající ropu a zemní plyn, potravinářský, hornictví a v odvětví týkající se odpadních vod.
- Ventilátory se používají v systémech budov i oblasti odpadní vody, papírenském průmyslu, hornictví a chemickém průmyslu atd. Důležitými kritérii jsou spotřeba energie a bezhlukový provoz.
- Kompresory se nacházejí v mnoha aplikacích, jako je klimatizace a chladicí zařízení, chemický průmysl, oblastí ropy a zemního plynu nebo odtahování odpadních plynů atd. Dopravují a stlačují plyny na určitý tlak.

#### 4.1.5 Výhody PROFIdrive [11]

- **Energeticky efektivní hospodaření s energií**

Bylo prokázáno, že používáním samotných konvenčních drive podporujících PROFINET a PROFIBUS se mohou snížit náklady na energii až o 60%. Dodatečné použití PROFlenergy optimalizuje spotřebu energie ještě více.

- **Bezdrátové aplikace**

Stejně jako u jiných PROFIBUS nebo PROFINET produktů mohou být drive také použity bez problémů v bezdrátových aplikacích prostřednictvím integrace přes průmyslové brány WLAN.

- **Vzdálený přístup, uvedení do provozu, diagnostika a sledování stavu**

Pomocí síťových drive s PROFIBUSEM a PROFINETEM lze snadno systém uvést do provozu a diagnostikovat jehoinnost pomocí vzdáleného přístupu. Pro tento účel PROFIdrive poskytuje monitorovací funkce standardizovaných mechanismů.

#### 4.2 PROFlenergy [11]

Uživatelé automatizace na celém světě se snaží minimalizovat spotřebu energie, snížit náklady v souladu se zpřísněnými "zelenou" povinnostmi. Metody se pohybují od vypnutí zařízení i ruční instalací poloautomatických systémů vypínáním, což je v tuzemsku surové, drahé nebo těžko zvládnutelné.



Obrázek 20 Znak PROFlenergy (převzato z [11])

Koncept profilu PROFlenergy umožňuje ovládacímu zařízení (např. PLC) odeslat příkazy do jednotek spotřebujících energii (ECU - Energy Consuming Units) k signalizaci pauz jako polední přestávka, dovolená či náhodné přerušení linek nebo přetížení.

### 4.2.1 Výhody PROFlenergy

- **Úspora nákladů za energii**

Koncept PROFlenergy umožňuje aktivní a efektivní hospodaření s energií za řízení prostřednictvím automatizace na sítích PROFINET například inteligentním vypnutím nepotřebných spotřebičů na síti, a tím výrazně snížit náklady za energii.

- **Zaručená řízení a neutrální výrobci**

Koncept PROFlenergy využívá existující PROFINET mechanismy, které zajišťují rychlou a jednoduchou implementaci. Příkazy mohou být přeneseny v rámci celé sítě pomocí protokolu PROFINET.

- **Snadné použití**

Integrovaná funkce spínacího napájení v provozních zařízeních umožňuje úspory energie nejen během dlouhých přestávek, ale i během krátkých a velmi krátkých přestávek. Zařízení jsou vzdáleně řízena pomocí příkazů PROFlenergy. PROFlenergy umožňuje absolutní spolehlivost dostupných zařízení, protože jsou na konci pauzy plně připravena k provozu.

## 4.3 PROFIsafe [11]

Funkční bezpečnost ve výrobních podnicích je nedílnou součástí automatizace. Bezpečnostní systémy jsou nutné pro ochranu zařízení, zdraví, život i okolního prostředí. Na rozdíl od minulosti, kdy byly bezpečnostní systémy implementovány nezávisle na hlavním řídicím systému, jsou dnes jeho nedílnou součástí. Technologie jako PROFIBUS nebo PROFINET poskytují dostatečné možnosti k vytváření distribuovaného řídicího systému s integrovanými bezpečnostními funkcemi.



Obrázek 21 Znak pro PROFIsafe (převzato z [11])

PROFIsafe je integrovaná bezpečnostní technologie vhodná pro použití ve všech oblastech diskrétní výroby a automatizaci procesů. Je nezávislý na způsobu komunikace a poskytuje nákladově efektivní a flexibilní funkční bezpečnost. PROFIsafe technologie

Profily PROFINETu

se drží na trhu ve vedoucí pozici v prmyslových sbírnících založených pro bezpečné komunikační systémy.

### 4.3.1 Výhody PROFI-safe

- **Efektivní využití technologií a produkt**  
Široká škála produktů od různých výrobců umožňuje snadnou a cenově efektivní konfiguraci systému.
- **Jednoduchá technika a instalace**  
Standard a aplikace související s bezpečností lze naprogramovat pro PROFI-safe pomocí jediného nástroje a certifikovaných funkcí bloků. Dále tato technologie umožňuje vysokou flexibilitu při výměně stávajících relé technologií a při modernizaci stávajících zařízení. Použití certifikovaných zařízení zjednodušuje projektování systému.
- **Úspora náklad**  
Úspora nákladů je docílena pomocí redukované kabeláže, flexibilní konfigurace, parametrizací a diagnostiky. Snadný a nákladově efektivní návrh systému se širokým spektrem produktů od všech typů výrobců.
- **Snadná implementace PROFI-safe řešení**  
PROFI-safe řešení lze snadno implementovat a levně replikovat prostřednictvím TÜV certifikovaného softwaru.
- **Flexibilita na základě různých architektur**  
Různé architektury řídicích systémů souvisejících s bezpečností se mohou bez problémů integrovat s PROFI-safe komunikací. PROFI-safe tak otevírá dveře k novým a inovativním funkcím v stroje.
- **Jednokanálový přístup (Single-Channel approach)**  
Protokol PROFI-safe je vhodný pro síť PROFIBUS a PROFINET bez dopadu na tyto stávající standardy sítí. Je možné přenášet bezpečnostní zprávy na stávajících standardních sbírnících kabelech v koexistenci se standardními zprávami.



- **Black-channel přístup**

PROFIsafe nemá žádný dopad na standardní sbírné protokoly a je nezávislý na základních přenosových kanálech.

- **Bezpečnostní prostředí**

Úkolem bezpečnostní komunikace mezi dvěma partnery je dodávat správná data na správné místo just-in-time. Říznější chyby přenosu se mohou vyskytnout, pokud jsou zprávy převedeny v komplexní síťové topologii v důsledku selhání hardwaru, mimo jakéhokoli elektromagnetického rušení nebo jiných vlivů.



# Kapitola 5

## Současné využití protokolu PROFINET v automatizaci

Jak již bylo zmíněno výše, protokol PROFINET se využívá především v oblasti automatizace. Ve většině případů se jedná o technologické oblasti, kde převládají diskrétní vstupní a výstupní signály a jsou převážně používány výrobní technologické komponenty. Mezi typické příklady takových systémových oblastí patří: řízení pro zásobování a skladování materiálu; balící, plnicí nebo paletizační procesy pro konečné produkty; dále i dopravní prostředky a jejich pohony a ovládací prvky. Technické inovace a další vývoj těchto složek bude stále obsahovat rozhraní Ethernet (např. PROFINET). V těchto systémech je automatizace označována jako "hybridní" automatizace.

Příklady aplikací jsou:

- “ Ve farmaceutickém průmyslu - výroba léků je technologicky řízená procedura, ale balení (například tablet) je diskrétní výrobní postup pomocí komplexních balicích strojů.
- “ V pivovaru - řízení diskrétních výrobních úkolů - izotermní a plnění lahví, stohování beden a úkoly, na které se používají roboty.
- “ V automobilovém průmyslu - lakovna s jejími procesními systémovými požadavky je součástí typického výrobního systému sériové výroby. [4]

Pro popisování využití protokolu PROFINET je níže uvedeno několik konkrétních příkladů jeho použití.

### 5.1 Automatizace v letadlech ě Boeing

Společnost AIT, zabývající se výrobou letadel, navrhla celkové uspořádání řídicí architektury, naprogramovaný systém kontroly pohybu pomocí PLC, distribuované I/O a integrovanou bezpečnost a poskytla podporu týkající se požadavků na vnitřní strukturu Boeingu a podpory životního cyklu.

Základní schéma systému řízení pohybu zahrnuje: řízení pohybu, HMI pracující na systému Windows, Safety PLC, moduly zabezpečení proti selhání a standardní I/O moduly (spojené přes PROFI-safe). Vše běží na síti PROFINET.

Současně využití protokolu PROFINET v automatizaci

Jednotlivé elementy spolu tvoří v této konfiguraci, bezpečnostní zařízení pracují souvisle, poskytují odpovídající úroveň odpovědí na všechny situace nouzových zastavení. [10]

## 5.2 Monitorovací systém v lodích Ě Plachetnice

Společnost eL-Tec používá protokol PROFINET pro výměnu dat mezi zařízeními (například pro řízení motoru a požární signalizace). PROFINET je certifikován pro přepravu a zpracování dat přenášených mezi PLC a moduly I/O a pomocí ethernetími daty, která jsou přenášena v reálném čase. Systém má požadované rychlosti reakce a podporuje velmi rychlou vizualizaci.

Monitorovací systém řídí všechny důležité funkce lodi - motory, ventily v drenážních nádobách, pohonné hmoty a zatěžovací tanky, nádrže na čerstvou vodu, vytápění a chlazení zařízení, požární hlásiče, bateriový systém, navigační systémy a palubní systémy.

Vše je řízeno s cílem na úspory energie. Loď je rozdělena do zesti částí a každá z nich má vlastní řídicí PN síť, který se připojí na zařízení I/O kolem lodi. Důležitým důvodem pro volbu PROFINETu byly úspory realizované v kabeláži. Celý systém komunikuje prostřednictvím PN sítě z optických vláken, která přinášejí velkou obchodní výhodu spolu s významnými úsporami hmotnosti - důležité v designu lodi. [10]

## 5.3 Automobilový průmysl

V továrně automobilky Volkswagen v městě Puebla v Mexiku, která je druhou největší továrnou koncernu Volkswagen na světě, je ve 150 stanicích instalováno 10 000 zařízení s komunikací PROFINET. Komunikace zde současně přenáší jak provozní data, tedy komunikaci v reálném čase, tak i data pro řízení výroby vyšší úrovně. Kromě toho je v této síti kombinován protokol PROFI-safe pro zajištění funkční bezpečnosti. Za zmínku stojí také skutečnost, že zde kladen velký důraz na použití certifikovaných zařízení PROFINET. [15]

## 5.4 Otáčivé kabiny v zábavním parku [10]

Zábavní park ve Švédsku používá bezdrátovou komunikaci pomocí protokolů PROFINET a PROFIBUS k ovládnutí kabiny přepravující 80 osob na vrcholu 116 m vysoké s výhledem Gothenberg. Kabina se otáčí kolem své vlastní osy, aby osoby mohly vidět

Současně využití protokolu PROFINET v automatizaci

umožňuje výzkum. Starý systém řízení používající relé musel ustoupit a pro bezpečnou a účinnou kontrolu se přezkoušela komunikace přes PROFINET.

Umožněním bylo využití bezdrátového PROFINETu. Jeden bezdrátový přístupový bod (WAP) je umístěn ve výtahové kleci, kolem kterého je umístěn kabel k anténě. Další anténa je umístěna vertikálně na vnější straně vódu, takže zde vódu navázáno datové spojení s výtahovou kabinou. Zabezpečovací signály oznamující poruchy jsou přenášeny též přes PROFINET. Vzhledem k tomu, že všechny jednotky a HMI za řízení jsou integrovány do jednoho systému, lze ke vzem uzlů systému přistupovat z libovolného místa. Řídící systém zná přesnou cílovou pozici výtahu a také spouští rychlosti. PLC provádí zpomalení rampy a zároveň pevné senzory ujisují postoj k výtahu. Monitorovací systémy jsou dva - jeden systém sleduje řízení polohy a druhý polohu.

## 5.5 Otáčející se hlava Franze Kafky [16, 17]

Jedenáctimetrová socha hlavy Franze Kafky (viz obrázek 23) z umělecké dílny Davida Černého o hmotnosti 39 tun zdobí od 31. října náměstí před pražským obchodním centrem Quadrio. Monument je složený ze 42 blyztlivých vrstev, které se otáčejí podle scénáře řízeného počítačem a divák tak může být přítomen nekonečné Kafkově proměně.

Pohyb sochy zajišťuje 42 synchronních motorů napájených 21 motorovými moduly. Vlastní pohyb sochy zajišťuje systém řízení pohybu Simotion P320 značky Siemens, který prostřednictvím rychlé komunikace sbírnice PROFINET řídí motorové frekvence Sinamics S120. Výjimečnost sochy a vysoké nároky na její instalaci dokládá například velký počet nezávisle řízených os. Do konstrukčního řešení byly zakomponovány napájecí jednotky s rekuperací, která v činu brzděné energie vrací zpět do sítě, což přináší úsporu energie v řádu desítek procent. Jedním ze základních požadavků byla možnost kdykoliv v budoucnu rekonfigurovat veškeré pohyby objektu, což předpokládá instalaci otevřeného řídicího systému. Chování sochy je tedy možné kdykoliv nastavit dle požadání autorizované osoby.

Současná využití protokolu PROFINET v automatizaci



Obrázek 22 Hlava Franze Kavky (převzato z [16])

# Kapitola 6

## Současné využití protokolu PROFINET v oblasti medicínské techniky

Předchozí část byla zaměřena na použití protokolu PROFINET především v prmyslu a automatizace, kde je možné nalézt obrovské množství příkladů aplikací. PROFINET se v současné době začíná pomalu objevovat i v oblasti zdravotnické techniky. Bohužel jeho využití je zde zatím minimální oproti dalším oblastem.

### 6.1 Přístroj na testování kolenních endoprotéz [7]

Simulátor, který vyvinuli v rámci Laboratoře experimentální biotribologie při VUT, dokáže simulovat proměnlivé zatížení kolenní náhrady, a to v celém rozsahu posuvného a rotačního pohybu a při odpovídajících rychlostech. Přístroj provádí in vitro simulace opotřebení kloubních náhrad za podmínek, které se podobají podmínkám in vivo. Simulátor realisticky navazuje všechny reálné změny frekvence kroku a simuluje rychlý běh, sed a vstyk. Zohledňuje přitom mechanické vlastnosti materiálů, z nichž jsou endoprotézy vyrobeny, ale i vlastnosti a funkce lidského organismu, jemuž má být kloub implantován.

K vyzkoušení kloubní náhrady je potřeba provést řádově okolo pěti milionů cyklů, což odpovídá podobně dlouhému normálnímu chůzi. Díky tomu lze posoudit rizika, která vznikají během používání u implantovaných kloubních náhrad.

Pohyby simulátoru se uskutečňují pomocí elektromotorů. Posuv vpřed a vzad (anterior/posterior) se dělá pomocí lineárních elektromotorů. Ohýbání kolene (flexe/extenze) a rotaci okolo svislé osy (interior/exterior) zajišťují dva torzní -rotační elektromotory. Řízení celého soustrojí obstarává systém Simotion D435 od společnosti Siemens, který je součástí řídicího systému řady Simotion D. Tento systém je určen především pro náročné aplikace s více osami, obyčejně s osmi až zestnácti, maximálně s třiceti dvěma. Simotion D díky svému rovnoměrnému odstupování pokrývají svým výkonem velmi široké spektrum aplikací - od jednoduchých polohovacích úloh s jednou osou až po náročné úlohy s krátkými cykly a mnoha osami.

Současně využití protokolu PROFINET v oblasti medicínské techniky

## 6.2 Hyperbarická kyslíková terapie [14]

Hyperbarická kyslíková terapie (HBO . Hyperbaric oxygen therapy) je metoda využívaná pro podávání čistého kyslíku pacientovi při tlaku vyšším než atmosférický za účelem zvýšení koncentrace O<sub>2</sub> v tkáních, krvi a buňkách. Terapie se používá při vzduchové (plynové) embole, otravě oxidem uhelnatým, otravě kyanidem, při klostridiové myonekróze, nemoci z dekomprese, těžké anemii, intrakraniálním abscesu, akutních popáleninách atd.

Pro hyperbarickou kyslíkovou terapii se využívá speciální vícemístná komora (Automated multiplace chambers, schéma komory na obrázku 24). Díky automatizaci a technologii založené na počítačích je možné téměř dokonalé sledování profilu, bezbolestné ošetření, opakovatelnost, výzkum a léčba pacient se speciálními požadavky (například s neurologickými onemocněními). Podle autorů [14] bylo v automatizované komoře za dobu 9 měsíců aplikováno cca 540 standardních procedur a 180 ošetření pro lidi se zvláštními podmínkami

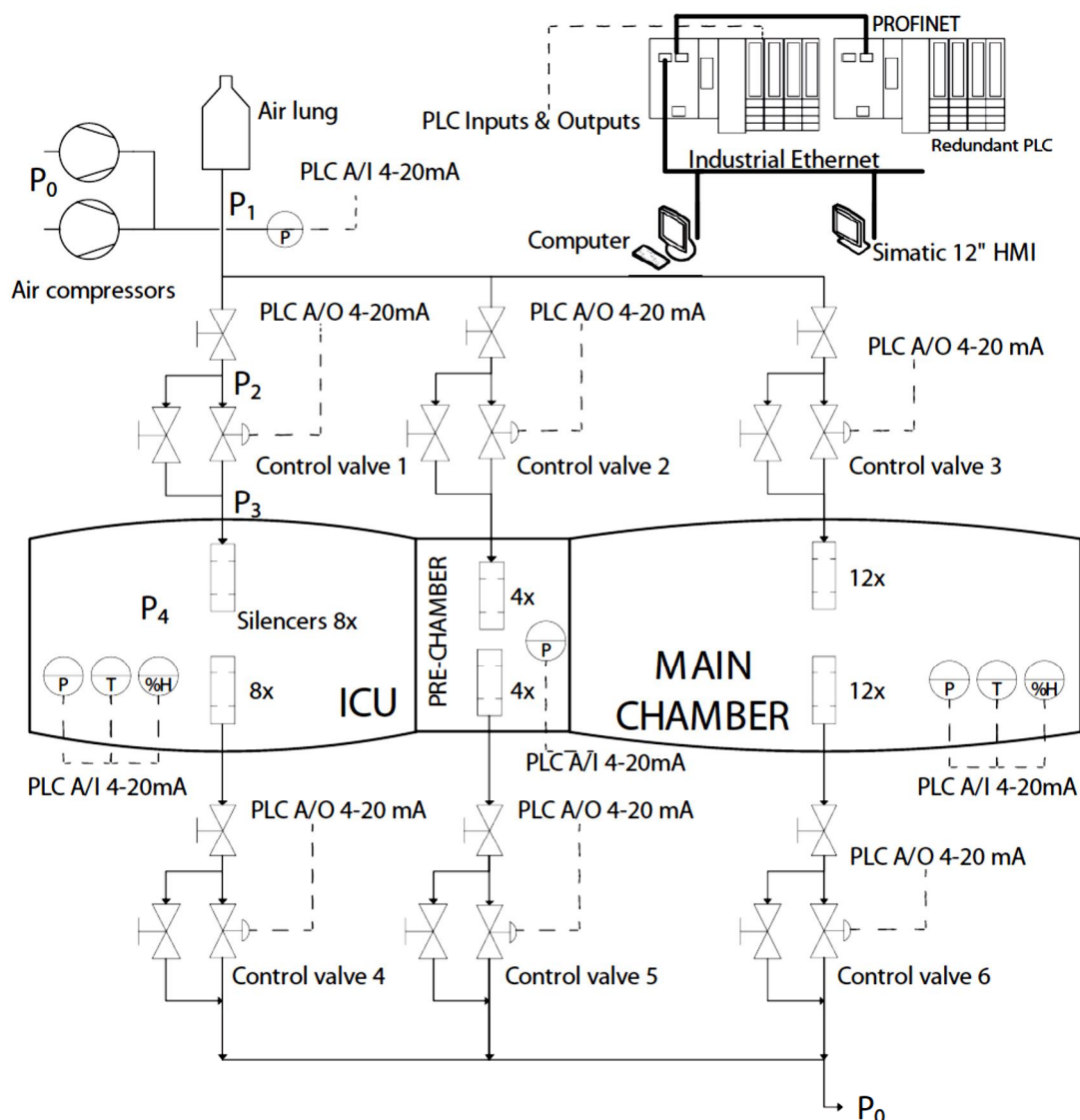
Léčba pomocí hyperbarické kyslíkové terapie se skládá ze tří kroků: komprese, léčby při daném tlaku a dekomprese.

Každá z těchto komor má svůj regulační ventil a dva bezpečnostní ventily. Vzduch vstupuje do komory přes pneumatické tlumiče. Dekompresní obvod je ekvivalentní tlakovému obvodu. PLC (Programmable logic controller) řeší analogové signály a řídí analogové a digitální pohony. PLC komunikuje pomocí protokolu PROFINET s počítačem a panelem HMI (Human Machine Interface).

Na obrázku 24 je vidět elektromechanické schéma automatizované vícemístné komory, který je rozdělen do těchto oddělení: hlavní komora, předkomora a JIP. Cílem předkomory je umožnit pohyb pacienta a zdravotnickému personálu mezi odděleními s různými tlaky, například pro uvedení lékaře do komory k léčbě pacienta i v akutním případě odvezení pacienta. V hlavní komoře probíhá samotná hyperbarická kyslíková terapie.



Sou asné vyu0ití protokolu PROFINET v oblasti medicínské techniky



**Obrázek 23** Automatizovaná vícemístná komora - schéma (p evzato z [14])

PLC řídí hlavní prvky za řízení (komunikace, senzory, ventily, bezpečnostní prvky, kompresní tlaky, tlak v kyslíkovém okruhu, atd.). Pokud PLC zjistí anomálii, nemůže terapie začít a porucha musí být opravena. V případě, že se nejedná o poruchu nebo již byla opravena, vybere se tlakový profil a na to se s kombinací objemu prostoru (například předkomora + hlavní komora). Jakmile jsou pacienti připraveni uvnitř komory a dveře jsou bezpečně zavazeny, začíná léčba. Při terapii celou dobu kontrolér hlídá tlakový profil.

Celý proces je řízen pomocí PLC, v případě popsané komory se jedná o IM 151-8 PN/DP od společnosti Siemens. Ovládací program Step 7 byl též vyvinut společností Siemens. Jazykem programu je AWL (seznam instrukcí jazyka).

Sou asné využití protokolu PROFINET v oblasti medicínské techniky

Celý proces pracuje automaticky. Léka ský a technický personál jen dohlíí na lé bu navr0enou programem SCADA a m 0e proces ovládat dotykov p es HMI.

Lé ba je v sou asné dob provád na automaticky a bezpe n . Profily jsou dodr0ovány mnohem hladzím zp sobem ne0 d íve.

# Kapitola 7

## Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

Podobně jako v předchozích částech byly zaměřeny na současné využití protokolu PROFINET, jak v oblasti průmyslu a automatizace, kde je využíván v hojném množství, tak v oblasti lékařské techniky, kde se teprve pomalu začíná objevovat. Jelikož mnoho přístrojů vzniklo na základě strojů a principů používaných dříve v průmyslu, dalo by se na tuto tradici navázat a využít PROFINETu zařízeních v dalších oblastech lékařské techniky. Popis dalšího možného uplatnění PROFINETu bude cílem této kapitoly.

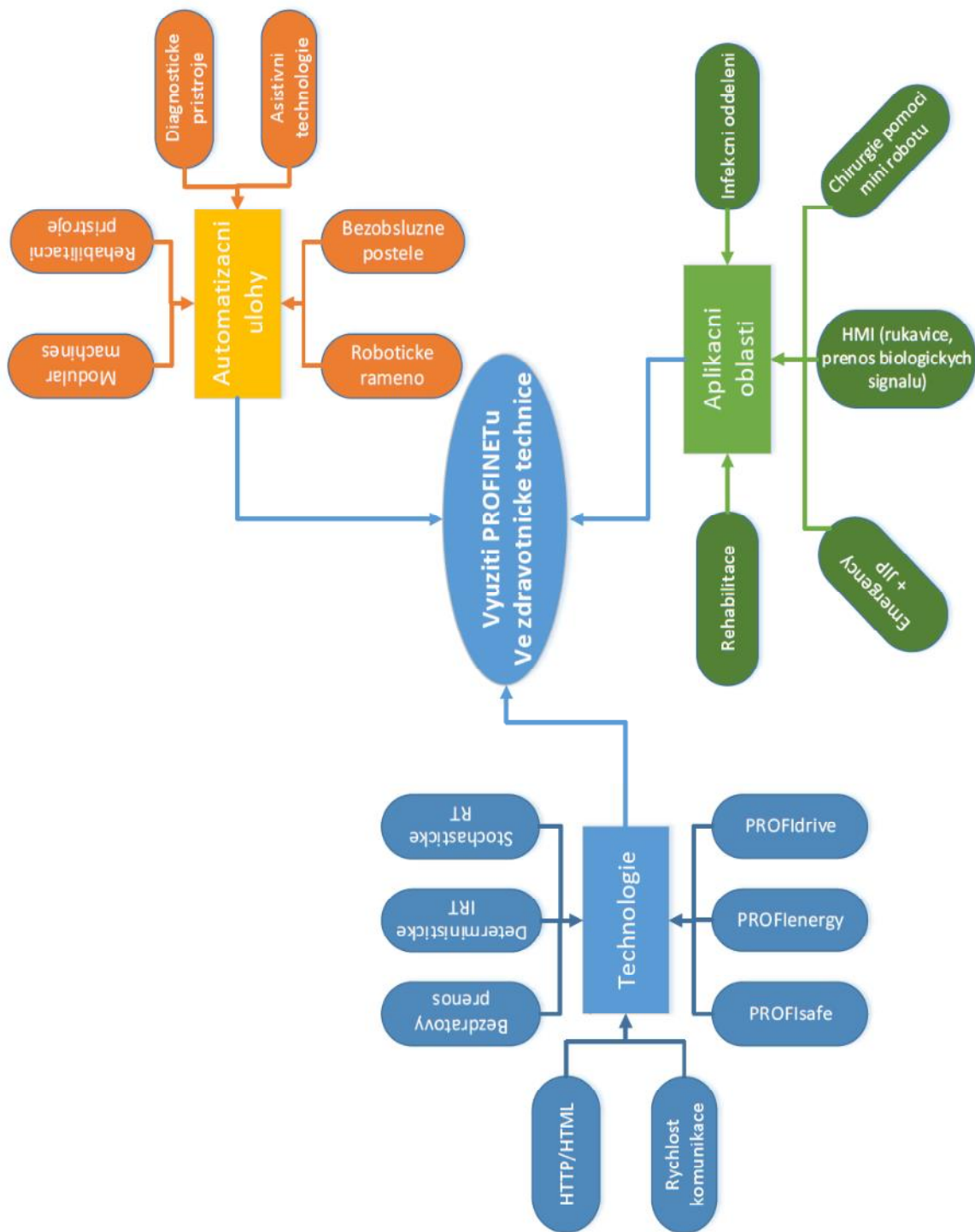
Na obrázku číslo 25 je rozkresleno možné využití. Mapa je rozdělena do tří sekcí:

- Aplikativní oblasti . možné oblasti (oddělení) ve zdravotnických zařízeních, kde se dají přístroje využívající PROFINET použít
- Automatizační úlohy . konkrétní přístroje, na které by se dal PROFINET aplikovat
- Technologie . vlastnosti PROFINETu s možnostmi využití pro lékařskou techniku

Jednotlivým sekcím jsou v nově samostatné podkapitoly 7.1 až 7.3.

V tabulce číslo 3 byly na jednu osu dány Aplikativní oblasti a na druhou Automatizační úlohy. Průnikem těchto dvou sekcí jsou konkrétní přístroje, které by se mohly ve zdravotnických zařízeních používat (podrobněji popsány v části 7.4). Pro tyto přístroje je vytvořena tabulka číslo 4, do které jsou na druhou osu přidány PN vlastnosti. Výsledkem průniku těchto os jsou získány konkrétní aplikace použití (podrobněji v části 7.5).

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky



Obrázek 24 Možné využití protokolu PROFINET

## 7.1 Aplikační oblasti

Standard PROFINET by se mohl uplatnit v následujících oblastech:

- **Infekční oddělení** . uplatnění je možné i na jiných odděleních i místech, kde hrozí nákaza personálu pacienty trpícími infekčními chorobami. Pokud by došlo na těchto odděleních k částečné automatizaci (například péče o pacient pomocí bezobsluhových postelí, rehabilitace pomocí robotického ramene, operace prováděné chirurgickým robotem, kdy lékař může být v jiné místnosti než je pacient, ) došlo by k minimalizování pravděpodobnosti nákazy.
- **Chirurgické operace pomocí mini robot** . během operací by se uplatnili mini roboti, kteří by se pohybovali uvnitř pacienta (například v dutině břišní) a operovali ho. Jejich uplatnění by bylo zejména v hodných nepřístupných místech.
- **HMI (ZV, přenos biologických signálů)** . tato oblast by se týkala především dvou aplikací. První by byla zpevněná vazba především u robotické chirurgie a rehabilitace. Při operaci by operujícímu lékaři mohlo pomoci HMI, kterým by se přenášela zpevněná vazba . odpor. Takže pokud by operující nástroj narazil na překážku, chirurg by cítil tento odpor odporem na joystick, který je instalován v operační konzoli a přes který se přenáší pohyby z jeho rukou na nástroje na operačním rameni. V tomto případě by se lékař nemusel spolehnout jen na kameru upevněnou na rameni, ale i na tuto zpevněnou vazbu. Při rehabilitaci by se postupovalo podobným způsobem. Pacient by cítil odpor, který by vytvářelo rameno rehabilitačního přístroje.  
Přenos biologických signálů by se mohl využívat například v asistivních technologiích, kdy by měl pacient nasazené brýle, které by snímaly oční pohyby pacienta. Tyto pohyby by byly přeneseny pomocí PROFINETu do PC (výhodou této aplikace by bylo minimální zpoždění, kdy by pacient nemusel čekat než se kurzor posune).
- **Emergency a JIP** . pro potřeby těchto oddělení se PROFINET může využít pro převoz pacientů pomocí postelí, které jezdí bez obsluhy (například na operační sál, CT, MR atd.).
- **Rehabilitace** . PROFINET by se v rehabilitaci využívat především kvůli odporu, který by byl vyvíjen rehabilitačním ramenem na pacienta.
- **Diagnostické oddělení** - v diagnostické oblasti by se mohl využívat protokol PROFINET (hlavně PROFIdrive) pro řízení rotace rentgenky a detektor .

## 7.2 Automatiza ní úlohy

V minulé ásti byly zmín ní oblasti, ve kterých se dá PROFINET využít. Tato ást bude spíše zam ěna na konkrétní úlohy, které se dají použít ve více oblastech lékařské techniky.

- **Modular machines** . roboti, kteří by se pohybovali uvnitř pacienta a komunikovali mezi sebou.
- **Rehabilita ní p ístroje** . jedná se především o robotické rameno sloužící pro rehabilita ní ú ěly například pro rehabilitaci rukou.
- **Diagnostické p ístroje** - v diagnostických p ístrojích by se mohl využívat protokol PROFINET (hlavně PROFIdrive) pro řízení rotace rentgenky u počítačové tomografie.
- **Asistivní technologie** - protokol PROFINET by se dal využít především pro přenos biologických signálů například z oka. Využití by bylo v aplikacích, kde je možný pohyb kurzoru o ními pohyby, dále by se mohl signál z o ních pohybů používat například pro nastavování postelí v nemocnicích, kdy by si pacienti i po těchto operacích i po úrazech byli schopni sami polohovat postel, jak by potřebovali.
- **Bezobslužné postele** . postele, které se pohybují po odděleních například po celém areálu zdravotnického zařízení bez obsluhy. Je možné pacienta, například jaký materiál, naložit na postel nebo vozík a ten ho dopraví na cílové místo. Pohybovat se může tato postel pomocí čerpané vody nebo navigačního systému. Pro naplánování cesty na cílové místo by mohlo být použito prohledávání stavového prostoru (součástí by byla mapa zdravotnického zařízení), které by našlo optimální cestu z výchozí polohy do cílové.
- **Robotické rameno** . Robotické rameno slouží k robotické chirurgii. Rameno komunikuje s operační konzolí, ve které sedí lékař, který operuje pomocí joysticku a pedálu. Pohyby rukou se přenášejí na operační nástroje, které jsou nasazeny na robotickém rameni.

## 7.3 Technologie

Ve druhé kapitole došlo k seznámení s komunikačním protokolem PROFINET. Některé jeho vlastnosti by se daly i využít v oblasti lékařské techniky. Jedná se především o:

- **Stochastické RT** . přenosy v rámci reálného času.
- **Deterministické IRT** . izochronní přenosy v rámci IRT je založeno na tom, že rámce přicházejí vždy s přesnou periodou, díky tomu se dosahuje rychlosti přenosu až 0,25 ms.
- **Bezdrátový přenos** . k bezdrátovému přenosu se využívají zařízení Scalance W, které mezi sebou komunikují pomocí kanálu wifi.
- **HTTP / HTML** . protokol PROFINET je kompatibilní s mnoha protokoly, mezi které patří též protokoly webové služby. To umožňuje tomuto standardu nastavování parametrů a dokonce i obsluhu pomocí webového rozhraní.
- **Send clock** . PROFINET umožňuje mezi svými uzly velmi rychlou komunikaci, jejíž hodnoty dosahují až 0,25 ms.
- **PROFIsafe** . jedná se o nastavení PROFINETu, která slouží především k bezpečnosti. PROFIsafe zajišťuje kontrolu, že ethernetí rámce dorazili v pořádku . Každý se neztratil ani za řízení nepřijal žádný rámec dvakrát.
- **PROFenergy** . další používanou nastavením je PROFenergy, která slouží především k úspoře energie, což je v dnešní době velmi diskutované téma. Zařízení podporující protokol PROFenergy se mohou přepnout na jakou dobu do sleep modu a po jeho ukončení jsou připravena hned k použití, díky čemuž se přístroj nepřijde o data, která jsou na něm uložena. PROFenergy zeti spotřebu energie a tím přispívá ke snížení nákladů zdravotnického zařízení a zároveň je zřejmé k životnímu prostředí.
- **PROFdrive** . poslední používanou nastavením je standard PROFdrive, který slouží především k řízení pohybu (nastavování otáček ale i sledování polohy).

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

	Modular machines	Rehabilitační přístroje	Robotické rameno	Bezobslužné postele	Asistivní technologie	Diagnostické přístroje
Infekční oddělení		Rehabilit. přístroje	Robot operující infikované pacienty	Převoz pacient	Přenos biologických signál k ovládání aplikací	
Operace pomocí mini robot	Mini roboti pro operace					
HMI (ZV, přenos biologických signál )		Zpětná vazba při operaci/rehabilitaci	Zpětná vazba při operaci/rehabilitaci		Přenos biologických signál k ovládání aplikací	
Akutní péče, JIP, RES				Převoz pacient		Diagnost. přístroje
Rehabilitace		Rehabilit. přístroje		Převoz pacient		
Diagnostické oddělení						Diagnost. přístroje

Tabulka 3 Aplikativní oblast - automatizační úloha



## Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

	Deterministické IRT	Stochastické RT	Wireless (RT)	HTTP/HTML	PROFIsafe	PROFInergy	PROFIdrive	Send clock
Rehabilit. pístroje	Zpětná vazba, odpor	Přenos pokyn	Komunikace mezi pístrojem a řídicí jednotkou	Komunikace přes internet, nastavování parametr (HMI)				
Robot operující infikované pacienty	Zpětná vazba, odpor	Přenos pokyn	(Komunik. mezi konzolí a robotickým ramenem)		Ochrana před ztrátou zpráv, chybami i zpětným poádím zpráv			Rychlý přenos píkaz i alarm (minimální zpoždění)
Převoz pacient		Monitorovací polohy	Komunikace mezi vozíkem a centrálním uzlem, pípádně mezi vozíky	Komunikace přes internet (HMI)	Udržení bezpečnosti provozu	Sleep mode pístání vozíku po delší dobu (např. pro pěkkládání nákladu)		
Přenos biologických signál k ovládání aplikací	Snímání signálu	Přenos pokyn	Přenos signálu mezi snímacím senzorem a PC					Minimální zpoždění, rychlá reakce na snímaný signál
Operační mini roboti		Přenos komunikace mezi roboty, monitorovací polohy	Komunikace mezi roboty	Nastavení parametr , polohy	Ochrana před ztrátou zpráv, chybami i zpětným poádím zpráv			
Zpětná vazba pístoperaci/rehabilitaci	Zpětná vazba, odpor	Přenos pokyn	Komunikace mezi konzolí a robotickým ramenem		Ochrana před ztrátou zpráv, chybami i zpětným poádím zpráv			Rychlý přenos píkaz i alarm (minimální zpoždění)
Diagnostic. Pístroje	Otáčení (např. rentgenky)	Přenos nasnímaných dat	Komunikace mezi řídicí jednotkou a ovládacím panelem, přenos nasnímaných dat	Ovládání, nastavování parametr		Sleep mode mezi jednotlivými vyzetěními	řízení otáček	

Tabulka 4 Pístroje - technologie

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

## 7.4 Konkrétní aplikace využití protokolu PROFINET

Na obrázku číslo 25 bylo popsáno využití protokolu PROFINET pomocí brain mapy, která byla rozdělena do těchto částí: aplikační oblasti, automatizační úlohy a technologie. Na základě těchto částí vznikly tabulky číslo 3 a 4.

V tabulce číslo 3 vyznačeny aplikacemi oblastmi a automatizačními úlohami následující přístroje, které by mohly mít uplatnění ve zdravotnických zařízeních:

- Rehabilitační stroje
- Robot operující nejen infikované pacienty
- Převoz pacient
- Přenos biologických signálů k ovládní aplikací
- Mini roboti pro operace
- Zpětná vazba (odpor) při operaci/rehabilitaci
- Diagnostické přístroje

### 7.4.1 Rehabilitační přístroje

Rehabilitační přístroj, například rehabilitační rameno, by mohl komunikovat bezdrátově s řídicím uzlem (pořídíčem, který mu posílá data). Pro přenos pokynů mezi řídicím uzlem a ramenem (například nastavení parametrů) by se používal RT přenos, který je možný i při bezdrátové komunikaci. U těchto přístrojů by bylo možné využít zpětné vazby, která značí odpor, který by musel pacient v rámci rehabilitace překonávat (lze pouze po kabelu). Bohužel v současné době není možné využít bezdrátový přenos IRT komunikace. V případě, že by byl vyvinut přístroj, který by IRT přenos umožňoval, byla by možná i bezdrátová komunikace. PROFINET umožňuje i komunikaci přes internet, která lze využít pro nastavování parametrů i ovládní ramene. Start a konec rehabilitace, nastavení jiného rehabilitačního programu.

### 7.4.2 Robot operující infikované pacienty

Chirurgický robot operující infikované pacienty by se nijak nelíšil od klasického chirurgického robota. Využití by našel především na infekčním oddělení, kde je potřeba snížit pravděpodobnost přenosu infekce z pacienta na obsluhu. Operační konzole by se, z důvodu bezpečnosti, nacházela mimo operační sál. U tohoto robota je vztah kladný na bezdrátové řízení, která by umožňovala přenos signálu mezi konzolou a operačním ramenem pomocí PROFINETu přes wifi kanál, což by bylo možné pouze za

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky  
předpokladu, že jde o RT komunikaci. Bezdrátové řízení by bylo zapláceno tím, že systém by šel o zprávnou vazbu, kdy operátor vnímá odpor tkáně na joystickích a nemusí pouze spoléhat na kameru. Dále by bylo možné pro operaci využít i webové rozhraní, ale musela by se zajistit bezpečná komunikace, aby nebylo možné ztratit data při pádu posílat data jiná.

Pro bezpečnou operaci je třeba využít standard PROFI-safe, který zajistí správné doručení ethernetích rámců (zařízení nedostane žádný rámec dvakrát ani není možné jejich ztráta). Takové například není možné, že pokud operátor přestane dávat pokyn přestane jezdit do tkáně, tak operativní nástroj bude jezdit dál, protože rámec nesoucí tuto důležité informaci nedošel na místo určení.

Dále je u chirurgického robota důležitá rychlost přenosu dat. PROFINET umožňuje přenášet data až za 0,25 ms. U robota by to bylo výhodné pro přenos pokynů z konzole do ramene a pro posílání alarmů, které oznamují nějakou událost, která v zařízení I/O nastala.

### 7.4.3 Převoz pacient

Převoz pacientů by probíhal na stejném principu jako fungují bezobslužné vozíky, které se využívají v různých skladech (příkladem takových vozíků jsou vozíky BT Autopilot od společnosti TOYOTA [18], které se využívají pro přepravu a zakládání zboží).

Pro návrh postelí pro převoz pacientů najde své uplatnění i PROFINET. Každý vozík by měl v sobě zabudovaný přijímač PROFINETí komunikace, přes který by centrální uzel řídil motory a tím určoval, kam má postel jet. Celá komunikace probíhá bezdrátově, takže není třeba mít například v podlaze umístěné kabely. Není třeba žádná dráha, kterou postel sleduje. Další výhodou této komunikace je fakt, že centrální uzel přenesí údaje, díky informacím přenášejících se v RT z postele do uzlu, kde se postele právě nachází.

Pro nastavení cílového bodu je možné využít i internetové rozhraní, takže je možné posílat postel z jednoho bodu do druhého prostřednictvím jakéhokoliv zařízení – mobilu, tabletu či počítače. Pro plánování optimální cesty z bodu A do bodu B by se uplatnily algoritmy pro prohledávání stavového prostoru, díky kterým by byla nalezena nejlepší trasa.

Pomocí standardu PROFI-safe je zajištěna bezpečnost provozu. PROFI-safe zajistí správné přijetí rámců (žádný nebude ztracen ani přijat dvakrát). Tím se dá zabránit pádu srážce postelí nebo nárazem do pékáky.

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

Výhodou tohoto systému by bylo i snížení vlivu lidského faktoru při opravách osob, kdy například personál s postelí narazí do péřeky. Pokud lze pominout škodu na majetku zdravotnického zařízení, tak v tomto problému může být zraněn pacient. Při automatizaci provozu by se tyto problémy minimalizovaly.

Další standard, PROFInergy, zajistí úsporu energie. Po dovození na konkrétní místo je možné vozík přepnout do sleep modu - například je-li pacient delší dobu vyšetřován nebo není postel k provozu zrovna potřeba.

#### **7.4.4 Přenos biologických signálů k ovládní aplikací**

Ovládní aplikací jen pomocí očních pohybů může pomoci spoustě lidí, kteří prodělali těžkou nemoc nebo úraz a nemohou dobře pohybovat rukama. Pro snímání očních pohybů se používá speciální senzor, který může být připevněn na brýlích. Senzor snímá data, které je možné pomocí protokolu PROFINET přenést do počítače a tím ovládat různé aplikace - polohování postele, psaní vzkazů, atd.

Pro přenos snímání signálů z oka PROFINET nabízí IRT přenos, pro přenos konkrétního pokynu se použije RT přenos, který lze využít bezdrátově.

#### **7.4.5 Mini roboti pro operace**

Mini roboti založení na principu modular machines by se mohli pohybovat uvnitř pacienta a operovat ho. Komunikace mezi nimi a centrálním uzlem by musela probíhat bezdrátově a probíhala by v reálném čase stejně jako monitorování polohy jednotlivých elementů. Pro nastavení parametrů a polohy jednotlivých robotů by se dal využívat internet. Takto by nebyl problém vést operaci z jiné místnosti zdravotnického zařízení.

Standard PROFIsafe by zajistil správný průběh komunikace stejně jako v případě chirurgického robota.

#### **7.4.6 Zpětná vazba (odpor tkáně) při operaci/rehabilitaci**

Zpětná vazba (odpor tkáně) by při operaci pomáhala lékaři, který by díky ní získal větší cit a nemusel by se jen spoléhat na kameru připevněnou na rameni robotického ramene. Na operačních nástrojích by byly umístěny senzory, které by snímaly sílu působící na nástroj. Tato síla je podle zákona akce a reakce stejná jako síla působící na tkáň. Na základě těchto sil by se přenášel signál z nástroje, který je vložen na robotickém rameni, do operační konzole, kde lékař operuje pomocí joysticků, na kterých by cítil odpor tkáně. Pro přenos zpětné vazby je nutná IRT komunikace, tudíž

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky není možný bezdrátový přenos mezi operační konzolí a robotickým ramenem. Pro přenos pokynů (například posunutí nástroje) stačí komunikace v reálném čase. Pro bezpečnou komunikaci je třeba PROFIsafe, který zaručí správný přenos dat (nemůže se stát, že nástroj bude do pacienta ezat, přestože lékař tuto činnost již ukončil).

Odpor při rehabilitaci by fungoval na podobném principu.

#### **7.4.7 Diagnostické přístroje**

Mezi diagnostické přístroje, ve kterých by se mohl uplatnit PROFINET, patří počítačové tomografie a magnetická rezonance. V počítačové tomografii by se jednalo o řízení rotace rentgenky okolo pacienta, u magnetické rezonance o otáčení magnetu. Pro tyto činnosti je ideální standard PROFIdrive, který řídí otáčky i polohu. Zároveň je vhodné využít IRT komunikaci. Pro přenos dat, kde není kladen důraz na takovou přesnost jako u otáčení, stačí použít RT komunikaci, která je možná i bezdrátově. Bezdrátová komunikace je ideální jelikož nedojde k zamotání kabelů uvnitř diagnostického přístroje. Jelikož protokol PROFINET je kompatibilní s protokoly webových služeb, je možné ovládat přístroj i přes internet.

PROFIenergy by se uplatnila u CT, kdy by po skončení vyšetření bylo možné přepnout některé části do sleep modu a v případě potřeby (například během nočního směny) je možné přístroj hned použít.

### **7.5 Možné problémy zmíněných návrhů**

- Velikost Access pointů. velikosti Access pointů v současné době se pohybují v řádech desítek centimetrů. Pro některá využití, například pro přenos o nízké rychlosti, by bylo třeba daleko zmenšit jejich velikost (ideálně v řádech centimetrů).
- Přenos IRT pouze pomocí kabelů. v současné době je možný bezdrátový přenos PN komunikace pouze v reálném čase. Jelikož vývoj nových technologií jde stále kupedu, je možné, že za několik let budou prostředky pro zajištění bezdrátové IRT komunikace, což by vedlo k většímu využití PROFINETu nejen v lékařské technice.

Možné využití protokolu PROFINET v dalších oblastech zdravotnické techniky

# Kapitola 8

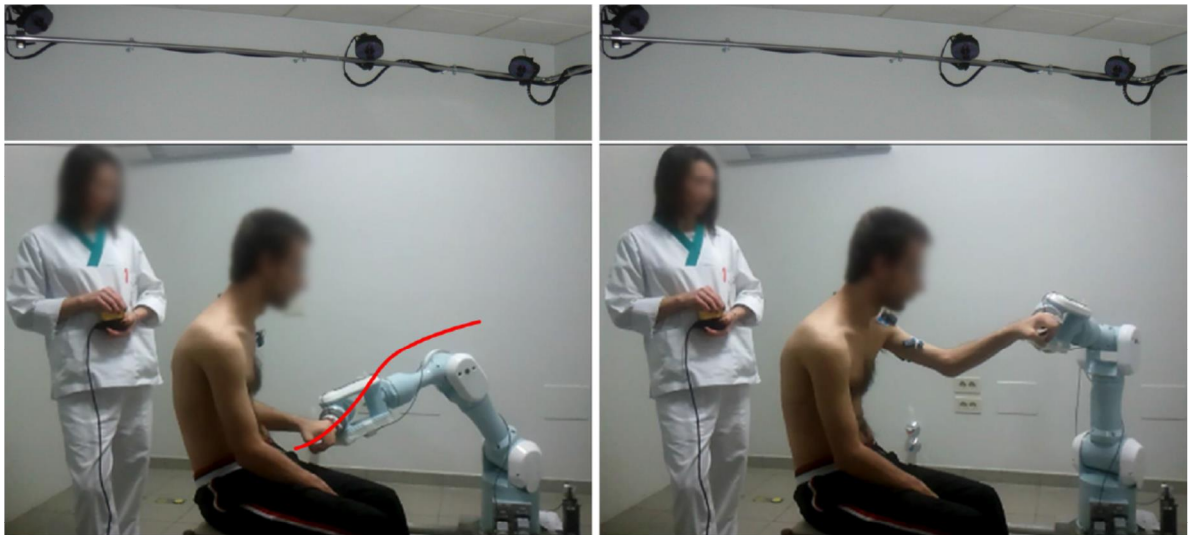
## Současné přístroje ve zdravotnické technice

V minulé kapitole bylo zmíněno několik návrhů, ve kterých by se dal využít protokol PROFINET. Cílem této části práce bude porovnání návrhů z minulé kapitoly s řešeními, které jsou v současné době k dispozici.

### 8.1 Současné řešení rehabilitačního ramene

Jedno z možných řešení robotického ramene pro rehabilitaci je popsáno v článku [19], ze kterého se v této části vychází.

Rehabilitační přístroje obsahují v dnešní době více snímacích zdrojů, které umožní pokročilé snímání. V těchto implementacích se vyskytují některé nebezpečné složky – například nerovnoměrné datové toky. K monitorování datového toku slouží SafeNet, který se zaměřuje na zapouzdření nerovnoměrného toku do deterministického. Tyto strukturované datové toky mohou být v procedurách považovány za úroveň pro hodnocení a ověření bezpečnosti při posuzování rizik a certifikaci.



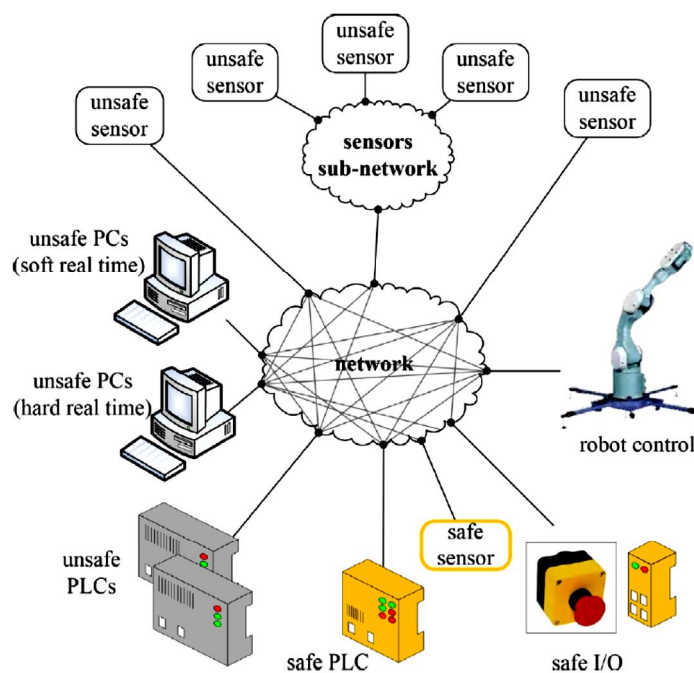
Obrázek 25 Příklad roboticky asistované rehabilitace a manipulátorem, sledovacími kamerami a snímáním EMG. Snímek pořízený v průběhu experimentální tréninky na Robotics Lab CNR-Italia / Villa Beretta rehabilitačního centra, Costa Masnaga (LC), Itálie. [19]

Některé rehabilitační experimenty v sobě zahrnují provozní bezpečnostní opatření. Například se jedná o nouzové zastavení robota, které je založeno na

Sou asné p ístroje ve zdravotnické technice

známém stavu prom nné bezpe nosti robota a dokonce i na fyzickém stavu pacientových kon etin. Bezpe nostní software zahrnuje vrstvení kódu pro toleranci chyb pro senzory a aktuátory, mechanické omezení energie a kontroly zajiz ující, 0e nezanedbatelné chyby v kódu nem 0ou vést k nebezpe ným výkon m robota. Rehabilita ní za ízení jsou vybavena redundantním senzorem polohy, softwarové sledování b 0ného provozu a procesy navr0enými pro analýzu rizik a závad.

Výsledná vzorová sí ová architektura je síť univerzálních p ístroj v etn nebezpe ných uzl (obrázek íslo 27).

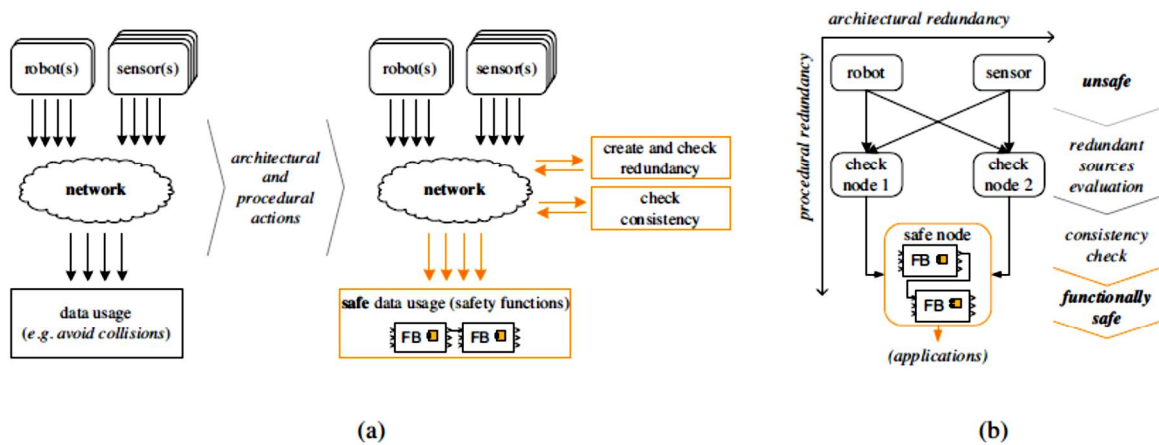


**Obrázek 26 Robotický distribuovaný systém zahrnující bezpečné a nebezpečné uzly/zařízení**

Na obrázku íslo 28 je zobrazen metodický rámec pro SafeNet: (a) obecná sí slo0ená z bezpečných a nebezpečných zařízení se prom ní v bezpečnou sí prost ednictvím ady architektonických a procesních úkon zahrnujících redundanci a kontrolu konzistence v síti, co0 tvo í následující vyu0ití dat funk n bezpečnými. Tyto akce jsou podrobn uvedeny v (b), kde r zné zdroje (roboti a senzory) jsou procesn vyhodnoceny ve dvou (architektonicky redundantních) kontrolních uzlech. Po procesním vyhodnocením dat jsou konzistentní data mezi dv ma uzly ov ena pomocí bezpečného uzlu / vrstvy pes bezpečnostní funkce (FB).



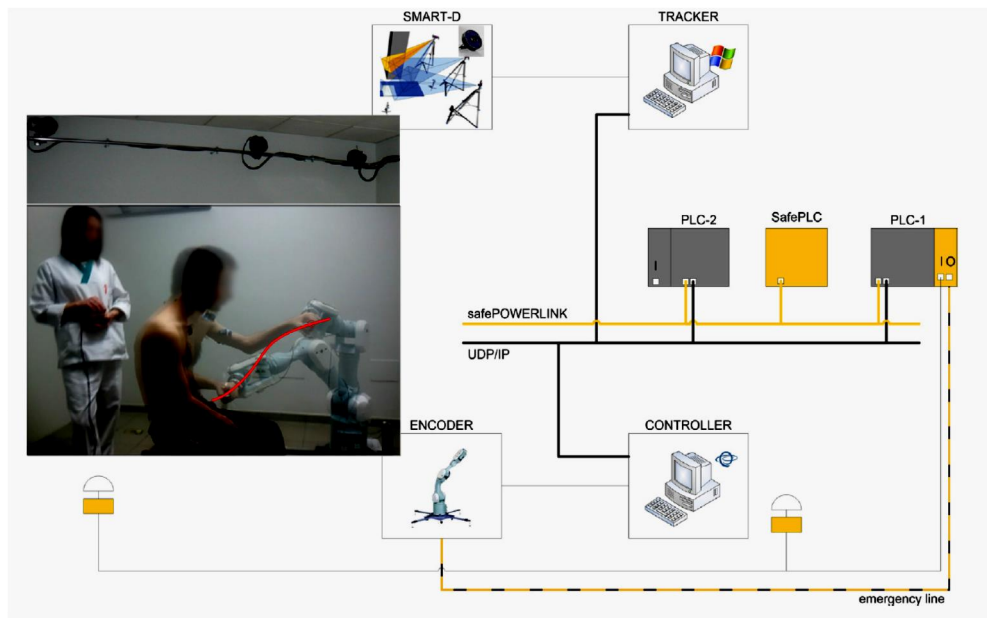
Sou asné p ístroje ve zdravotnické technice



Obrázek 27 Metodický rámec pro SafeNet

V navr0ené sí ové konfiguraci vznikají asové a prostorové rozdíly, které se nejvíce projevují u senzoru sledujícího pacientovy pohyby. Kontrolní uzly potvrzují data z robota i senzor , u kterých se p edpokládá, 0e mohou být nep esné nebo zpo0d né.

Na obrázku íslo 29 je zakreslena architektura prvkd le0itých pro bezpe nost v multisenzoriální pokoj pro rehabilitaci horních kon etin: data slou0ící k ovládání robota a dat z 6 kamer sledujících pohyb pacienta jsou odeslána na SafeNet SRP/CS (pravá strana). Sb rnice pou0ité v této realizaci SafeNet jsou zvýrazn ny tu nými arami. Data sledování pohyb jsou pravideln u0ívána pro kinematické hodnocení.



Obrázek 28 Architektura

Současně pístroje ve zdravotnické technice

V tabulce 5 je rozepsáno nastavení parametrů rehabilitačního robota z odkazu [19]:

Nastavení	
Aktuální frekvence smyčky	1 kHz
Rychlost frekvenční smyčky	500 Hz
Pozice frekvenční smyčky	500 Hz
Maximální rychlost	1 m/s
<b><u>Komunikace</u></b>	
řízení Ě bezpečné PLC	400 Hz
řízení Ě virtuální realita	70 Hz
řízení Ě kamerový systém	70 Hz
Kamerový systém Ě bezpečné PLC	70 Hz
Pokrytí rozlišení v VR	0.5 mm

Tabulka 5 Nastavení charakteristiky (převzato z odkazu [19])

V tabulce 6 je popsáno pohotovostní reakce rehabilitačního robota z odkazu [19]:

Pohotovostní reakce robota	
čas ukončení (breaking time)	50 ms
Vnitřní cyklus driveru	1 ms
Komunikační cyklus	2 ms
Komunikační watchdog	5 ms
<b><u>Reakční doba pro různé mimořádné události</u></b>	
Vnitřní problém driveru	51 ms (vnitřní cyklus driveru + čas ukončení)
Externí vzdálené zastavení PC	52 ms (komunikační cyklus + čas ukončení)
Komunikační chyba	55 ms (komunikační watchdog + čas ukončení)
<b><u>řízené zastavení posunutí (robot ve střední pracovní plochy)</u></b>	
Maximální zpomalení	40 m/s <sup>2</sup>

Tabulka 6 Pohotovostní reakce robota

## Porovnání řešení

Jak je vidět v článku [19], jednou z nejdůležitějších věcí na návrhu rehabilitačních přístrojů je zajištění bezpečného toku dat. V tomto článku je zajištění provedeno pomocí protokolu SafeNet. Možným řešením tohoto problému by bylo též použití protokolu PROFINET s jeho nastavbou PROFI-safe, který by bezpečnost zajistil také.

Při použití PROFINETu by došlo ke zrychlení komunikace. V tabulce číslo 5 jsou uvedeny hodnoty pro frekvence komunikace apod. Pro frekvenci komunikace řízení PLC, která dosahuje hodnoty 400 Hz, je možné získat periodu komunikace 2,5 ms. Při použití PROFINETu se nám perioda změní 1 ms a při použití IRT komunikace může dosahovat i nižších hodnot.

Další výhodou pro použití PROFINETu je kompatibilita s jinými protokoly. Pro nastavování parametrů rehabilitace by šlo jednoduše přes webové rozhraní.

## 8.2 řešení chirurgického robota podle článku [20]

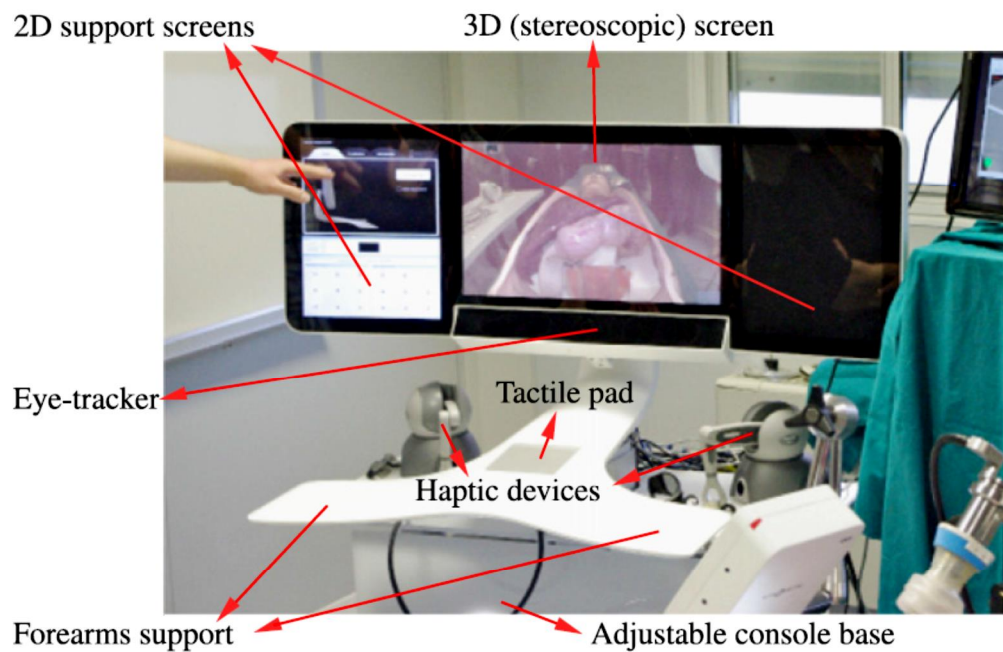
V článku [20] se diskutuje návrh rámce pro chirurgické roboty. Pro demonstraci funkcí byl autory článku navržen chirurgický robot Araknes.

Podobné byly návrhy lékařských robotů inspirovány úspěšnými průmyslovými řešeními. Ověřte specifika lékařské aplikace vedle k rozvoji lepší kinematiky, ovládacích mechanismů a vývoji vhodných materiálů, ze kterých je robot sestaven.

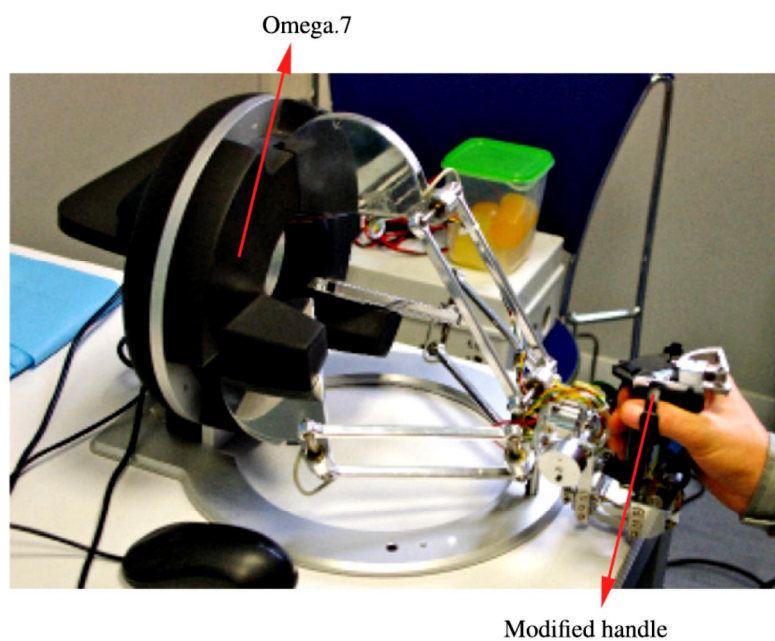
Chirurgický robot je systém skládající se z:

- Kloubové a motorizované mechanické konstrukce (včetně případů inspirovaných klasickými chirurgickými nástroji)
- Elektronické součástky
- Softwarové kontroléry
- HMI (human machine interface)

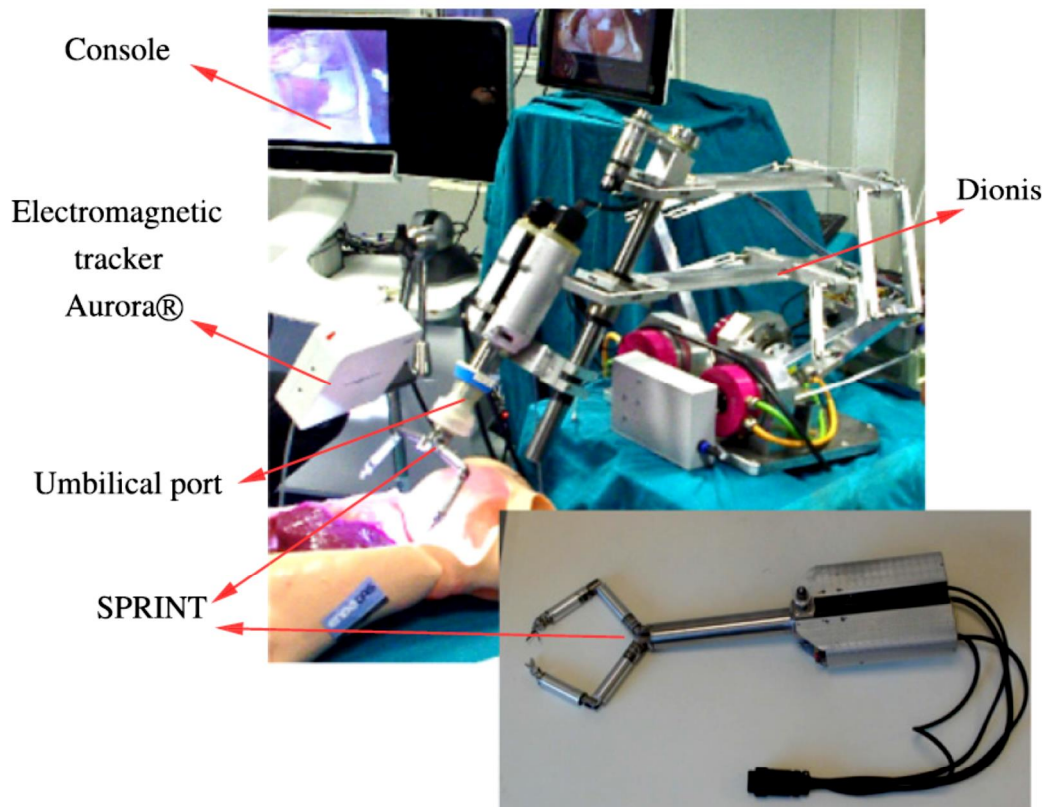
Současně používané přístroje ve zdravotnické technice



Obrázek 29 Araknes - chirurgická konzole (převzato z [20])



Obrázek 30 Araknes Ě HMI s pneumatickými brzdami a kontaktními idly integrovanými do rukojeti (převzato z [20])



Obrázek 31 Araknes Dionis a slave roboti SPRINT (převzato z [20])

Tyto nástroje jsou používány k provádění zásahů v omezených nestrukturovaných prostorech vně i uvnitř těla pacienta. Sebemenší porucha jakékoliv části robota může být pro pacienta kritická. Proto je cílem všech výrobců i organizací zabývajících se touto problematikou chybám co nejvíce zabránit.

K zajištění bezpečnosti ze strany elektrické části se mimo jiné používají:

- Dostupný switch mrtvý muž (Dead man's switch) - kontaktní senzor, nožní pedál
- Dostupné tlačítko k okamžitému zastavení
- Hardwarový watchdog

Současné přístroje ve zdravotnické technice

Hlavní specifikace kontroléru robota Araknes	
RTOS	Linux RTAI (komunikace mezi procesy)
Vysokofrekvenční řídicí frekvence	1 kHz
Nízkofrekvenční řídicí frekvence	10 kHz
Hmatové rozhraní	1 kHz
Komunikace s nízkofrekvenčním kontrolérem	Ethernet MTAP
Komunikace s operační konzolí	Ethernet UDP
Pracovní cyklus	Maximálně 600 s

Tabulka 7 Hlavní specifikace kontroléru robota Araknes

Operační systém pracující v reálném čase (RTOS) je nutný k zajištění, že systém pracuje deterministickým způsobem. Všechny monitorovací úkoly, tj. komponenty grafického uživatelského prostředí (GUI - Graphical User Interface) jsou provozovány s nízkou prioritou v prostředí, které neprobíhá v reálném čase, aby bylo zajištěno deterministické chování systému.

V robotu Araknes se používají diferenciální pozice a referenční síly získané pomocí haptického zařízení, aby se vytvořil odpovídající diferenciální pohyb chirurgického robota. Dva různé režimy teleoperace u chirurgického robota:

1. Zvětšení pracovního prostoru: zda pracovní prostor haptického zařízení je menší než prostor robotické ruky, například při zmenšování velikosti pozice/orientace při provádění mikrochirurgických úkolů. Je možné posouvat malými chirurgickými nástroji, které odpovídá velkému posunutí haptického rozhraní.
2. Absolutní pozice: haptické rozhraní Araknes je vybaveno motory, pneumatickými brzdami a kontaktními senzory; zablokování polohy/orientace koncového efektoru systému je možné zastavením teleoperace chirurgem. Z tohoto důvodu budou integrace diferenciálních pohybů odpovídat absolutní poloze/orientaci koncového efektoru.

V současné době nebyly zavedeny techniky k detekci kolizí z několika důvodů. Za prvé chirurgická vstupní dynamika byla z bezpečnostních důvodů omezena v pásmu 0-10 Hz. Za druhé setrvačnost přístroje je považována za nízkou. Zatím kolize jsou dovoleny, jelikož robot využívá režim teleoperace, ve kterém se chyba polohy robota projevuje jako tlak ze strany rukou operátora; umožňuje tak chirurgovi cítit nejen interakce s okolním prostředím, ale také jakýkoliv kontakt mezi těmito dvěma robotickými elementy.

## Porovnání stávajícího řešení s PN

Pro zaručení bezpečnosti přenosu komunikace, která je pro lékařské přístroje na jedním místě (jako celková bezpečnost a spolehlivost systému), lze využít již zmíněný PROFIsafe.

Pro komunikaci se ve stávajícím řešení používá protokol UDP, při použití PROFINETu by bylo možné dosáhnout vyšších rychlostí přenosu a zároveň využít jeho velkou přednost, což je IRT komunikace, která má velké využití při řízení pohybu.

## 8.3 Parametry komunikace

Pro lepší porovnání PROFINETu se současnými řešeními v případě chirurgického robota a rehabilitačního ramene vznikla tabulka číslo 8. Některé hodnoty jsou již známy z předchozích tabulek, další bylo třeba z těchto hodnot doplnit.

	PROFINET	Rehabilitační robot	Chirurgický robot
Send clock	1 ms	2,5 ms	1 ms
Přenos obrázku (pro kompresi 1:10)	30,7 Mbit/s	2,15 Mbit/s	30,7 Mbit/s
Potřebná vzorkovací frekvence pro řízení	>2 kHz	>2 kHz	>2 kHz
Přesnost synchronizace	IRT - 1 μs		
Bezpečnost a spolehlivost přenosu	PROFIsafe	SafeNet	

Tabulka 8 Porovnání parametrů komunikace

Pro výpočet přenosu obrázku z kamery bylo použito její nejhorší rozlišení 640 x 480 pixel. Přenos obrázku se počítal pomocí vzorce (1):

$$v = 640 \cdot 480 \cdot \text{frekvence} \quad (1)$$

Sou asné p ístroje ve zdravotnické technice

Kdy hodnoty pro frekvence byly pou0ity z výze uvedených tabulek.

- frekvence pro PN . 1 kHz
- frekvence pro rehabilita ního robota . 70 Hz (viz tabulka . 5)
- frekvence pro chirurgického robota - Vysokoúrov ová ídicí frekvence . 1 kHz (viz tabulka . 7)

Pro p enos je t eba brát v úvahu i jejich kompresy, která je v této práci nastavena na hodnotu 1:10.

Vzorkovací frekvence je získána na základ vzorkovacího teorému . vzorkovací frekvence musí být vyzzí ne0 dvojnásobek maximální frekvence. Hodnoty maximální frekvence, které byly získány op t z tabulek 5 a 7, jsou pro vzechny t i p ípady 1 kHz. Vzorkovací frekvence musí být tedy vyzzí ne0 2 kHz.

O p esnosti synchronizace se dá mluvit pouze u protokolu PROFINET, který je schopný izochronní komunikace . IRT, kdy jsou data doru eny na za ízení v pevn daných okam0icích. Mo0ná odchylka od t chto okam0ik je maximáln 1  $\mu$ s (pokud je vyzzí, dojde k ukon ení komunikace). Pro komunikaci v reálném ase synchronizace neexistuje.

Bezpe nost p enosu je v p ípad PROFINETu zajizt na pomoci nstavby PROFIsafe, pro rehabilita ní rameno ji zajizuje SafeNet. V p ípad chirurgického robota nebylo ezení této problematiky v lánku [20] zmín no.



# Kapitola 9

## Porovnání komunikace pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

Tato kapitola bude zaměřena na měření komunikace pomocí protokolu PROFINET a protokolů Ethernet & IP. Ethernet je protokol fyzické a linkové vrstvy a IP je protokol síťové vrstvy (viz OSI model - kapitola 2). K přenosu dat mezi dvěma zařízeními je třeba použít protokoly transportní vrstvy. V této práci budou použity protokoly UDP, pomocí kterého jsou data přenášena bez potvrzování přijetí, a TCP, kdy po přenosu dat z jednoho zařízení na druhé je se odezle potvrzení o správném přijetí.

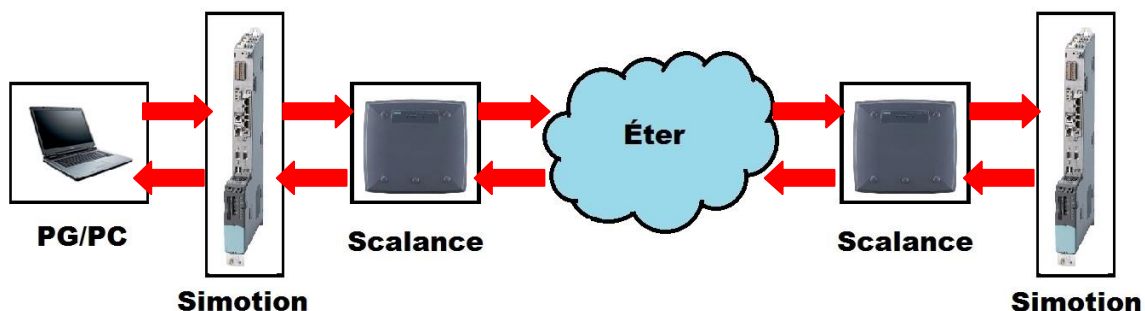
Cílem měření je sledovat a vyhodnotit chování bezdrátové komunikace, která je záměrně zatížena chybou - rušením přijímače o velikosti frekvence přenosu, mezi zařízeními. Komunikace mezi zařízeními probíhá v reálném čase. Při měření se testuje odolnost komunikace a vypořádání se s touto chybou. Kvalitativními ukazateli komunikace jsou:

- Jitter zpoždění
- Deterministická zpoždění
- Send clock
- Spolehlivost přenosu
- Délka výpadku jednotlivých rámců

Soustava (viz obrázek 32), na které bylo uskutečнено měření pro testování komunikace, se skládá z následujících částí:

- Notebook s příslušným softwarem
- Simotion D455-2 DP/PN - Simotion je zařízení, které se využívá k řízení motorů.
- Scalance W786-2RR - umožňuje bezdrátový přenos dat, pro komunikaci vždy musí být jeden z nich nastaven jako Access point (AP) a druhý jako klient
- ProfiTab - pro zachycení rámců pomocí programu Wireshark

Měření komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP



Obrázek 32 Soustava pro testování komunikace

Pro měření byl potřebný následující software:

- Simotion Scout
- Wireshark

Komunikace probíhá následovně: Nejprve se spustí program Simotion Scout s příslušným programem pro komunikaci. Data odchází z notebooku do prvního Simotionu. Odtud jsou data odesílána do prvního Scalance, který je nastaven jako Access point (AP). AP vysílá klientovi data na frekvenci 5 GHz (tato frekvence byla zvolena z důvodu menšího množství rušení) přes prostor, který je nejprve bez rušení, poté jsou simulována rušení o frekvenci 5 GHz a určeném výkonu (viz část 9.5). Klient data přijme a předá je dále druhému Simotionu, který je po přijetí pozle přes soustavu nazpět. Tato smyčka vznikla z důvodu, že pokud pro správné řízení je nutné nejen data správně odeslat a přijmout, ale i poslat odpověď, která bude v pořádku doručena. Doba od odeslání rámce z prvního zařízení a přijetí tamtého určuje jitter zpoždění. Tato hodnota je dvojnásobkem celkového času průchodu přes měřicí soustavu.

Mezi prvním Simotion a AP a mezi klientem a druhým Simotion byl vložen ProfiTap, který je přiveden do počítače a je mu přiřazena IP adresa. Wireshark zachycuje rámce, které prochází ProfiTapem. Pomocí těchto rámců bude možné vyhodnotit kvalitu komunikace.

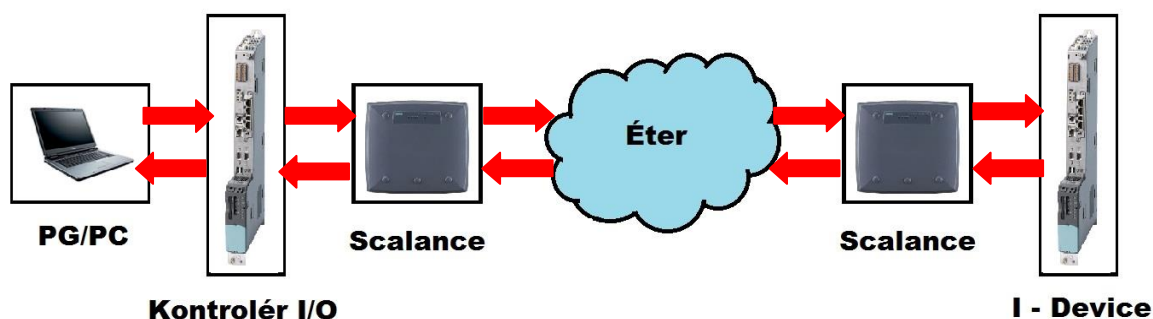
Měření bylo provedeno v bezodrazové komoře na katedře Elektromagnetického pole, kde bylo možné zajistit nezarušené prostředí i prostředí zarušené na konkrétní frekvenci (viz kapitoly 9.1, 9.2 a 9.3).

V prostředí Simotion Scout byly vytvořeny tři projekty (konkrétní postup v kapitolách 9.1, 9.2 a 9.3) každý pro jeden komunikační protokol: PROFINET, UDP/IP

Mění komunikace mezi zařízenými pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP a TCP/IP. Každý z projektů má svoji hardwarovou konfiguraci a program napsaný v jazyce ST (Structured text).

## 9.1 Komunikace pomocí protokolu PROFINET

Simotion je kontrolér využívající se k řízení motorů. PROFINET umožňuje pouze komunikaci mezi kontrolérem I/O a zařízením I/O, kdy je navázán aplikační vztah (AR). Pokud je vyžadována komunikace mezi dvěma kontroléry, musí být jeden z nich nastaven jako iDevice. Soustava pro testování komunikace je vidět na obrázku číslo 33.



Obrázek 33 Sestava pro komunikaci mezi zařízenými pomocí PROFINETu

### 9.1.1 Návrh hardwarové konfigurace

Prvním krokem v tvorbě projektu je vytvoření hardwarové konfigurace. Vytvoří se kontrolér, kterému se přidají potřebné vlastnosti: typ zařízení, PN karta CBE30, které se přidají PN komunikace a IP adresa.

Toto nastavíme u druhého Simotion, ale navíc je potřeba nakonfigurovat iDevice, kdy se Simotion přidají vstupy a výstupy (v této práci zařízení bude mít čtyři vstupy a čtyři výstupy (lze si zvolit jiné počty), přičemž jejich maximální délka může mít 254 Byt). Dalším krokem je vytvoření GSD file pro tento iDevice, který se přidá do hardwarové konfigurace kontroléru. Do této konfigurace se přidají oba Scalance, kterým je potřeba přidat IP adresa.

## Měření komunikace mezi zařízenými pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I address	Q address	Comment
2	D455_controller	6AU1 455-2AD00-0AA0	V4.4				
X126	DP				16383*		
X136	DP/MPI				16382*		
PCI	DP Integrated			16381*			
X130	PNx/E-NET				16380*		
X130 P1	Port 1				16379*		
X150	PNx/I/O				16378*		
X150 P1 R	Port 1				16377*		
X150 P2 R	Port 2				16376*		
X150 P3	Port 3				16375*		
X1400	CBE 30x2x10	6FC5 312-0FA00-2AA0			16366*		
X1400 P1 R	Port 1				16370*		
X1400 P2 R	Port 2				16369*		
X1400 P3	Port 3				16368*		
X1400 P4	Port 4				16367*		
X127	PNx/E				16374*		
X127 P1	Port 1				16373*		
X142	I/O				66..105	66..105	

Obrázek 34 Hardwarová konfigurace kontroléru

Následuje konfigurace Hostu, kdy se pí adí vstupy a výstupy nastavené na iDevice kontroléru. Toto nastavení probíhá v Address list kontroléru. Po nastavení konfigurace je třeba naprogramovat komunikaci (viz následující část).

### 9.1.2 Program pro komunikaci

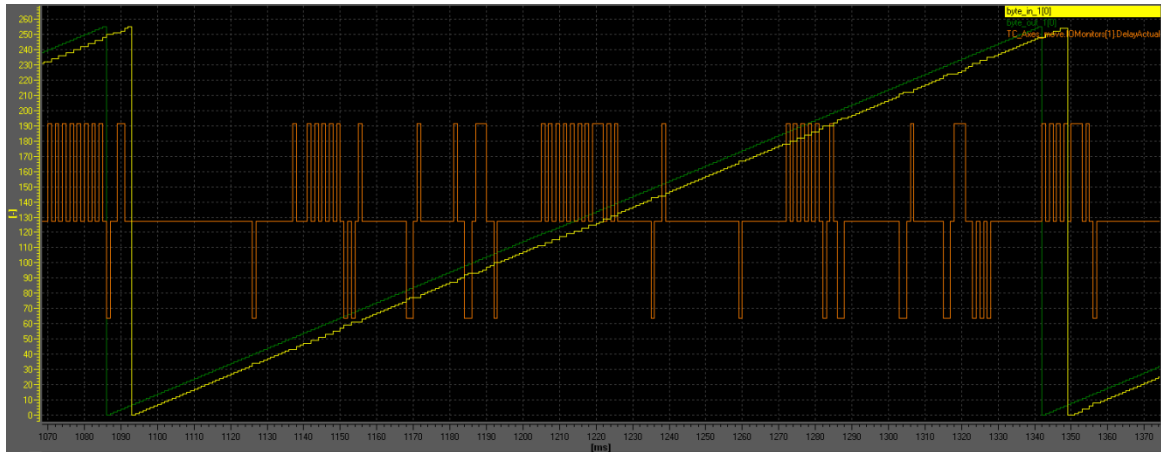
Komunikace mezi zařízenými, která bude v této práci porovnávána s komunikací pomocí dalších protokolů, probíhá v reálném čase. Program pro řízení komunikace je napsán v jazyce ST, který byl navržen pro programování komunikace mezi PLC.

Kontrolér I/O odečte za řízení I/O (v případě tohoto měření iDevice) data. Tato data přijme za řízení I/O a odečte znovu kontroléru. Data se generují a posílají až do doby ukončení přes HMI nebo spadnutí AR. Výsledky měření jsou popsány v části 9.5.

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

### 9.1.3 Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění

Hodnoty odesílaných dat se pro účel testů v každém cyklu inkrementují, aby bylo možné na základě hodnot určit aktuální zpoždění (na jeho základě jitter zpoždění). Pro odesílání dat byla nastavena hodnota vnitřního cyklu na 1 ms (platí pro všechna měření).



Obrázek 35 Odeslaná data, přijatá data a aktuální zpoždění pro PROFINET

Na základě dat odeslaných a přijatých rámců se určuje aktuální zpoždění, které je získáno jako absolutní hodnota rozdílu hodnot v odeslaném a přijatém rámci. Na základě absolutních hodnot vznikla tabulka jitter zpoždění, do které se tato zpoždění zapisují. Zachycení odeslaných dat, přijatých dat a hodnot aktuálního zpoždění je vidět na obrázku 35.

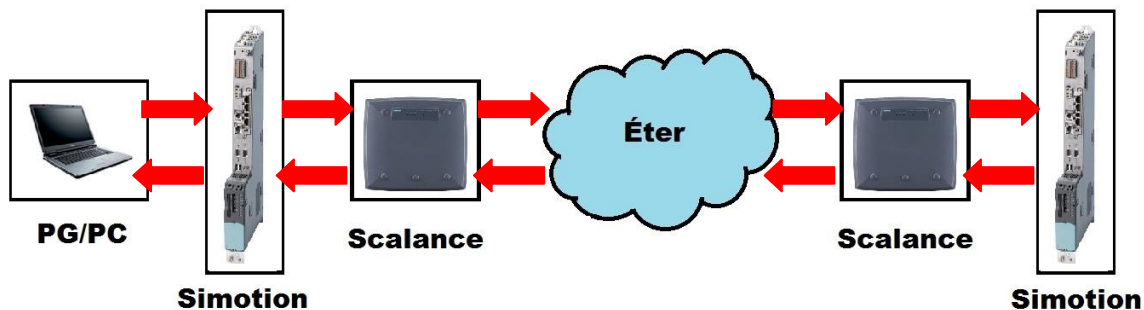
Pro přenos dat mezi zařízeními musí být navázáno AR, které spadne v případě, že dojde k chybě v jednom z rámců. Pro další přenos je nutné znovu tento vztah navázat.

## 9.2 Komunikace pomocí protokolu UDP/IP

Dalším protokolem, který se využívá v komunikaci je UDP/IP. Jeho předností je rychlost komunikace na úkor toho, že nezaručuje správný přenos dat mezi prvky sítě. Může například dojít ke ztrátě rámců, přijetí jednoho rámce dvakrát, prohození přijatých rámců anebo poškození. Správné přijetí rámců může být například zajištěno protokoly vyšší vrstvy.

Komunikace pomocí protokolu UDP/IP je jednodušší v tom, že není nutný vztah kontrolér - zařízení, ale komunikace může probíhat mezi dvěma zařízeními Simotion (viz obrázek 36). To se odrazí v jednodušším návrhu hardwarové konfigurace.

Mění komunikace mezi zařízenými pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP



Obrázek 36 Soustava pro měnící komunikace pomocí UDP/IP

### 9.2.1 Návrh hardwarové konfigurace

Návrh hardwarové konfigurace je daleko jednodušší než pro přenos dat přes PROFINET. Vytvořená konfigurace bude úplně stejná pro oba kontroléry Simotion.

Každému kontroléru se nastaví příslušné vlastnosti: typ zařízení, karta CBE30, která je připojena k Access pointu (připojen ke klientovi) - viz obrázek číslo 37.

## Mění komunikace mezi zařízenými pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

The screenshot shows the SIMOTION D hardware configuration interface. On the left, a tree view lists the modules of a SIMOTION D455-2 controller. The 'DP Integrated' module is highlighted in pink. On the right, a network diagram shows the controller connected to a 'PROFIBUS Integrated: DP master system (1)' and an 'Ethernet(1): PROFINET-IO-System (100)'. A SINAMII drive is connected to the PROFIBUS system, and an SC device is connected to the PROFINET system.

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I address	Q address	Comment
2	D455_controller	6AU1 455-2AD00-0AAB	V4.4				
X126	DP				16363*		
X136	DP/MPI				16362*		
FCI	DP Integrated				16361*		
X130	PNxIE-NET				16360*		
X130 P1	Port 1				16359*		
X150	PNxIQ				16378*		
X150 P1 R	Port 1				16377*		
X150 P2 R	Port 2				16376*		
X150 P3	Port 3				16375*		
X1400	CBE30x2x10	6FC5 312-0FA00-2AA0			16366*		
X1400 P1 R	Port 1				16370*		
X1400 P2 R	Port 2				16369*		
X1400 P3	Port 3				16368*		
X1400 P4	Port 4				16367*		
X127	PNxIE				16374*		
X127 P1	Port 1				16373*		
X142	I/O				66..105	66..105	

Obrázek 37 Hardwarová konfigurace pro Simotion

### 9.2.2 Program pro komunikaci

Komunikace mezi zařízenými probíhá následovně. První Simotion vyzve data přes AP a klient druhému kontroléru Simotion, který data přijme a později zpět prvnímu kontroléru. Tato směrovka je dle 0101a pro zpětnou vazbu, kde vysílaná data se správně přijmou jiným prvkem a ten o jejich přijetí informuje prvek, který je vyslal. Komunikace mezi těmito dvěma kontroléry je zachycena pomocí programu Wireshark ve dvou místech. Mezi prvním Simotionem a AP a mezi klientem druhým Simotionem. Zachycené rámce slouží k porovnání komunikace. Další měřené parametry komunikace a jejich získání jsou uvedeny v části 9.5.

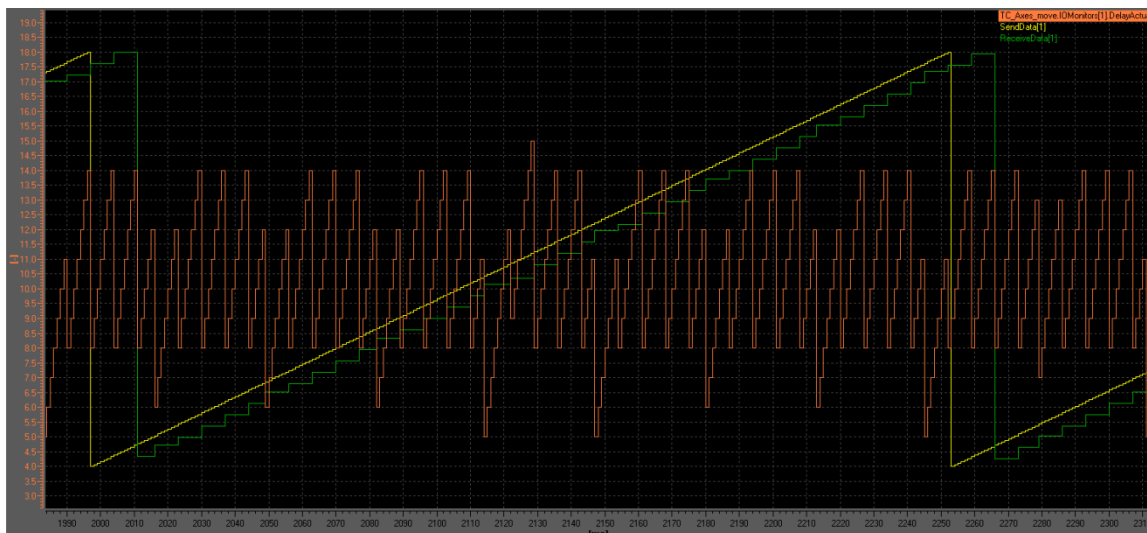
Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

Pro komunikaci pomocí UDP existují již v knihovně jazyka ST připravené funkce, které zajišťují přenos dat. Konkrétně se jedná o `_sendUDP` a `_receiveUDP`.

Program pro komunikaci u prvního Simotion se skládá ze dvou částí, kdy první program slouží jen k odeslání dat a druhý k jejich přijímání. U druhé Simotion je celý proces zahrnut v jednom programu, kde se data nejprve přijmou a hned odezlou nazpět. Takto jsou odesílána vygenerovaná data cyklickou komunikací do přerušení komunikace z HMI. Chybějící rámce nejsou nijak detekovány.

### 9.2.3 Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění

Princip odesílání a přijímání dat přes protokol UDP/IP je stejný jako u PROFINET stejně jako měření jitteru zpoždění, které je u tohoto protokolu vyžadováno u PROFINETu (viz obrázek 38). Jediným rozdílem je, že tento UDP/IP nekontroluje správné doručení rámců a nijak neupozoruje na chybějící.



Obrázek 38 Odeslaná data, přijatá data a aktuální zpoždění pro UDP/IP

## 9.3 Komunikace pomocí protokolu TCP/IP

Posledním protokolem, o kterém se bude v této práci hovořit je komunikací protokol TCP/IP. Tento standard nedosahuje takových rychlostí jako předchozí protokoly, ale jeho velkou výhodou je, že zajišťuje spolehlivý přenos. nedojde ke ztrátě rámců, vícenásobnému přijetí jednoho rámcu, atd. Rámce se odesílají jedním síťovým elementem a jsou přijímány druhým. Po přijetí rámcu je poslána prvnímu elementu potvrzující zpráva o přijetí. Pokud není rámec doručen, druhý element si vyžádá



Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP opožděné odeslání tohoto rámce. Soustava pro měření přenosu dat je stejná jako u přenosu přes UDP/IP (viz obrázek 37)

### 9.3.1 Návrh hardwarové konfigurace

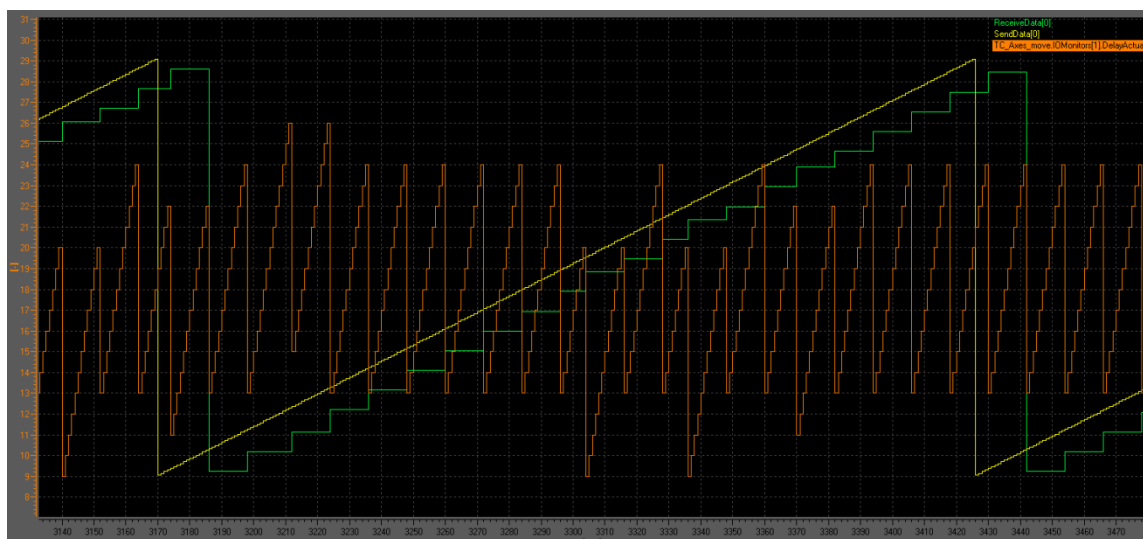
Hardwarová konfigurace pro protokol TCP/IP je stejná jako u protokolu UDP (viz kapitola 9.2.1)

### 9.3.2 Program pro komunikaci

Pro komunikaci pomocí protokolu TCP jsou též v knihovně jazyka ST připraveny funkce. Jedná se o funkce `_tcpSend` a `_tcpReceive`. Komunikace probíhá na základě modelu Klient - server, takže je nutné před odesláním dat otevřít klienta pomocí připravené funkce `_openClient` a server pomocí `_openServer`. K těmto metodám existují funkce na zavření klienta a serveru - `_closeClient` a `_closeServer`.

### 9.3.3 Odesílání a přijímání dat, měření jitteru zpoždění

Odesílání a přijímání dat, stejně jako výpočet jitteru zpoždění probíhá stejným způsobem jako u předchozích dvou protokolů. Naměřená data jsou vidět na obrázku číslo 39, kde je možné pozorovat jevy vyvolané zpožděním u předchozích protokolů.

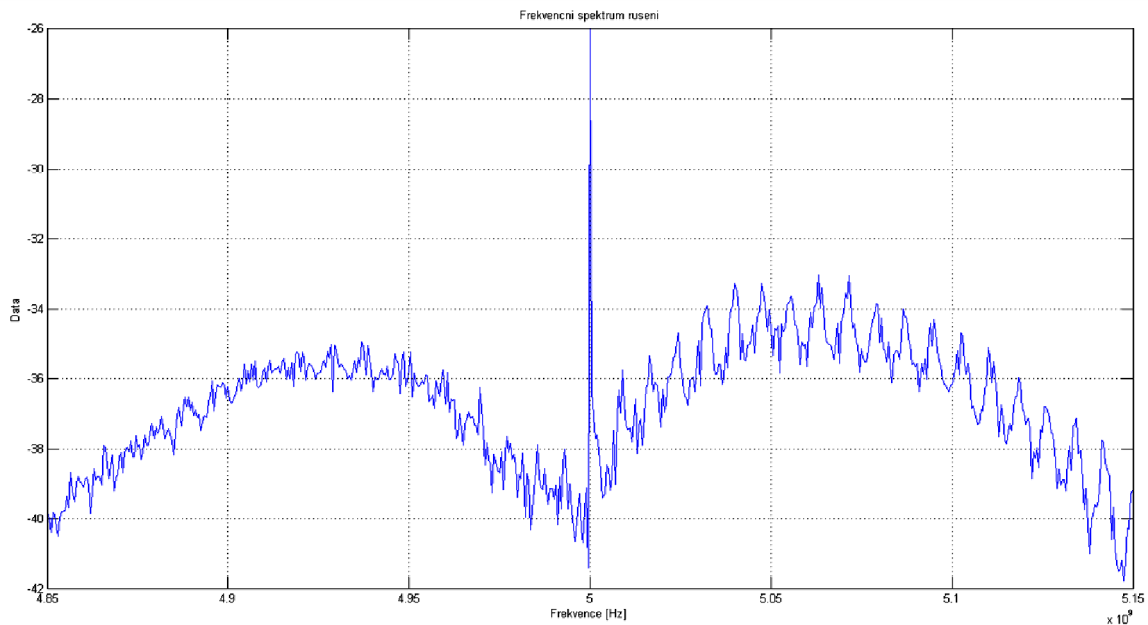


Obrázek 39 Odeslaná data, přijatá data a aktuální zpoždění pro TCP/IP

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

## 9.4 Rušení přenosu dat

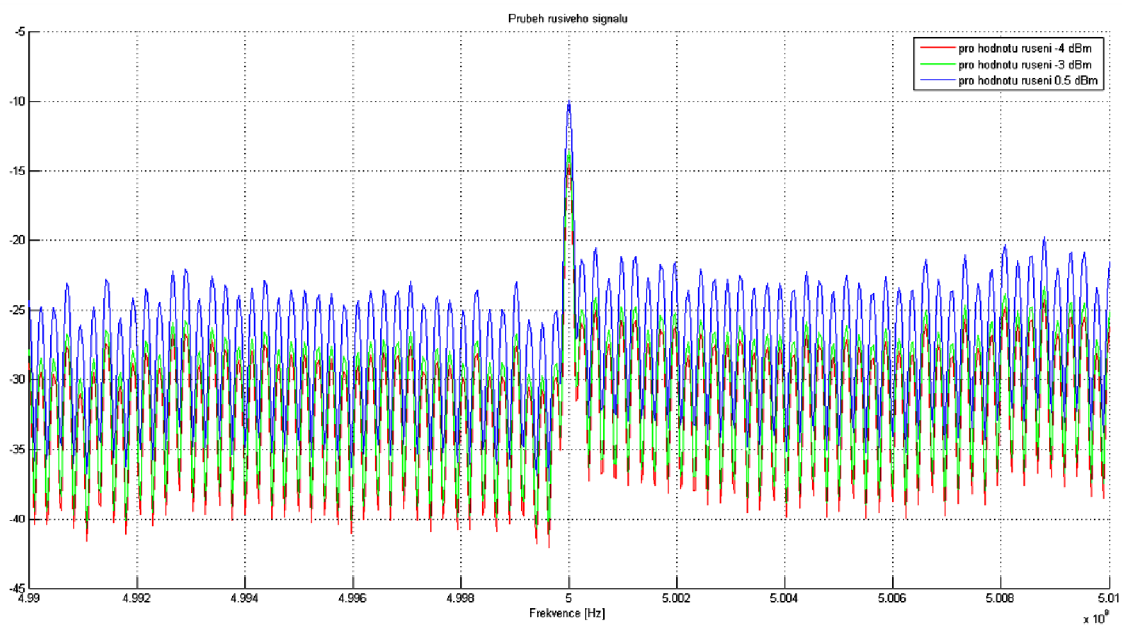
Pro porovnání chování protokolů, byl přijat přenos dat zaručen na frekvenci 5 GHz (stejná jako vysílání) s proměnným výkonem. Frekvenční spektrum rušení je vidět na obrázku číslo 40, kdy nosnou frekvencí je právě hodnota 5 GHz.



Obrázek 40 Frekvenční spektrum rušení

Cílem tohoto měření je sledovat chování komunikace při rušení na 5 GHz při různých výkonech. Příklady rušení pro hodnoty -4 dBm, -3dBm a 0.5 dBm jsou zobrazeny na obrázku 41.

## Měření komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP



Obrázek 41 Průběh rušivého signálu pro výkonů -4 dBm, -3 dBm a 0,5 dBm

### 9.5 Výsledky měření

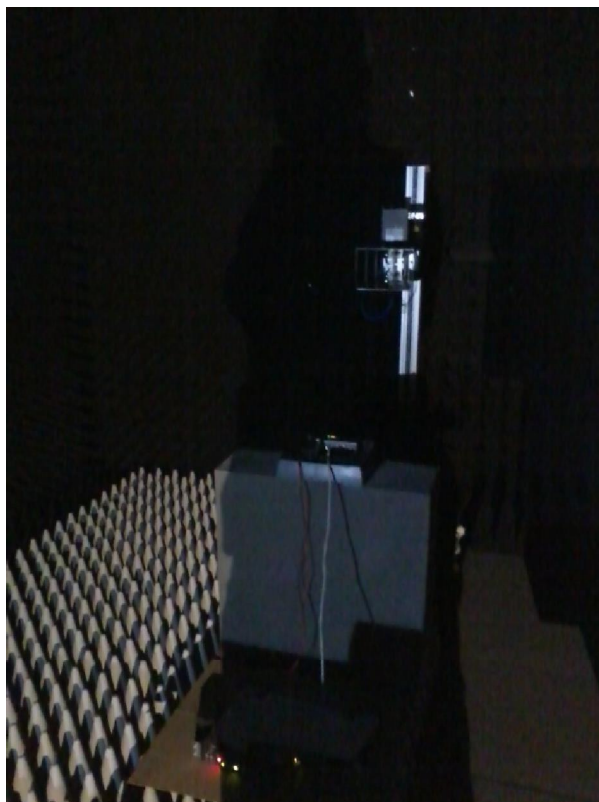
Samotné měření parametrů komunikace za stavu bez rušení a rušením probíhalo v EMC komoře (viz obrázek 42).



Obrázek 42 Soustava pro porovnávání protokolů v EMC komoře

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

Anténa pro rušení přijímače je vidět na obrázku 43.



Obrázek 43 Rušení anténou

Parametry komunikace byly získávány dvěma způsoby:

- Chytáním rámců pomocí programem Wireshark na ProfiTapech, které jsou umístěny mezi access pointem a kontrolérem.
- Aplikací IO monitoring.

Výsledky obou těchto metod jsou uvedeny v částech 9.5.1 a 9.5.2.

### 9.5.1 Výsledky získané pomocí zachycení rámců programem Wireshark

Prvním způsobem získávání parametrů bylo využitím programu Wireshark. Výsledkem této metody je zobrazení rámců, které prošly jednotlivými ProfiTapy. Výsledky jsou uloženy na příloženém CD. Kdy v názvu je zakódován komunikační protokol, číslo ProfiTap (PT1 . data z ProfiTapu mezi prvním kontrolérem a AP; PT2 . data z ProfiTapu mezi druhým AP a druhým kontrolérem; oba . rámce zachycené z obou ProfiTapů zároveň) a výkon rušení, při kterém byly rámce získány. (např. název PN\_PT1\_bezRuseni značí data přenášaná přes protokol PROFINET, získaná z prvního ProfiTapu za stavu bez rušení).

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP.

Na základě dat získaných programem Wireshark vznikly následující tabulky. V prvním sloupci jsou uvedeny výkony, při kterých byla data pořízena. Ve druhém sloupci jsou vidět počet chybějících rámců (v případě PROFINETu se jedná o počet spadlých aplikačních vztahů), ve třetím sloupci délka, po kterou výpadek probíhal (když z té samé adresy byla odeslána další data) a v posledním sloupci je uveden časový rozestup mezi rámci odeslanými ze stejné zdrojové adresy na stejnou cílovou adresu (pozn. Vnitřní časový cyklus pro kontroléry byl u všech komunikací nastaven na 1 ms). Vyhodnocení dat vzniklo z 20 s záznamu.

PROFINET			
[dBm]	počet výpadků AR [rámce]	délka výpadku [s]	odeslání rámců [ms]
bez rušení	0	0	1
-7	0	0	1
-6,9	0	0	1
-4,1	0	0	1
-4	0	0	1
-3,9	0	0	1
-3,8	1	7,2	1
-3,7	1	7,2	1
-3,5	1	7,2	1
-3,2	2	7,2	1
-3,1	1	7,2	1
-3	2	7,2	1

Tabulka 9 Data získaná programem Wireshark pro PROFINET

V tabulce číslo 9 jsou zobrazeny výsledky této metody pro standard PROFINET. Z těchto dat je vidět, že tento protokol si poradil s rušením až do hodnot -3,9 dBm. Při rušení od -3,8 dBm začalo docházet k výpadkům aplikačního vztahu, tudíž nebylo možné posílat ani přijímat data. Doba jednotlivých výpadků (mezi odesláním rámců ze stejné zdrojové adresy před ukončením AR a odesláním rámců po novém navázání AR) se pohybuje okolo 7,2 s (doba potřebná pro navázání nového aplikačního vztahu, který zajišťuje spolehlivý přenos dat). Při pádu AR vždy v aplikaci vyskočí alarm, pomocí kterého se uživatel aplikace detekuje problém v komunikaci). Při hodnotě výkonu -3 dBm spadlo dvakrát AR a již se znovu nezvládlo navázat. Doba mezi odesláním rámců ze stejné adresy se konstantně pohybovala okolo 1 ms při jakémkoliv rušení.

UDP/IP			
[dBm]	počet výpadků	délka výpadku [ms]	odesílání rámců [ms]
bez rušení	65	4 - 7	4 - 7
-7	66	4 - 7	4 - 7
-6,1	63	4 - 7	4 - 7
-4	64	4 - 7	4 - 7
-3,5	62	4 - 7	4 - 7
-3	65	4 - 7	4 - 7
-0,5	66	4 - 7	4 - 7
-0,3	61	4 - 7	4 - 7
-0,25	64	4 - 7	4 - 7
-0,23	66	4 - 7	4 - 7
-0,2	65	4 - 7	4 - 7
-0,1	66	4 - 7	4 - 7

Tabulka 10 Data získaná programem Wireshark pro UDP/IP

V tabulce číslo 10 jsou uloženy hodnoty výkonu pro protokol UDP/IP. Hned na první pohled je vidět, že výkon dat odolával v režimu rušení nezávisle na výkonu protokolu a data se přenesla až do výkonu -0,1 dBm. Dále je v tabulce vidět poměrně vysoký počet výpadků rámců i pro měření v nezaručeném prostoru. Pro ověření těchto chyb bylo provedeno ještě dodatečné měření, ve kterém byly vynechány AP, aby se ověřilo, zda tyto chyby vznikají na access pointech nebo se data ztrácejí v prostoru. Toto měření spočívalo v propojení obou kontrolérů pomocí kabelu. Velikost chyb rámců však zůstala stejná. Z toho lze usoudit, že za tyto chyby nejsou způsobeny bezdrátovým přenosem, ale nejspíše chybou v aplikaci.

Rámce při komunikaci přes protokol UDP/IP byly přeneseny v nepravidelných intervalech, které se pohybovaly v rozmezí přibližně 4 až 7 ms pro všechna měření. Výpadky se neprojevovaly mezerou v komunikaci, ale přeskočením identifikačního čísla rámce na číslo o jedno vyšší.

TCP/IP			
[dBm]	počet výpadků	délka výpadku [ms]	odesílání rámce [ms]
bez rušení	0	0	10
-4	0	0	10
-3,5	0	0	10
-3	0	0	10
-2,5	0	0	10
-2	0	0	10
-1	0	0	10
-0,5	0	0	10
0	2	2 - 20	12
0,1	2	2 - 20	10 - 20
0,2	3	2 - 20	11 - 20
0,4	3	2 - 20	10 - 20
0,5	6	2 - 20	15 - 20

Tabulka 11 Data získaná programem Wireshark pro TCP/IP

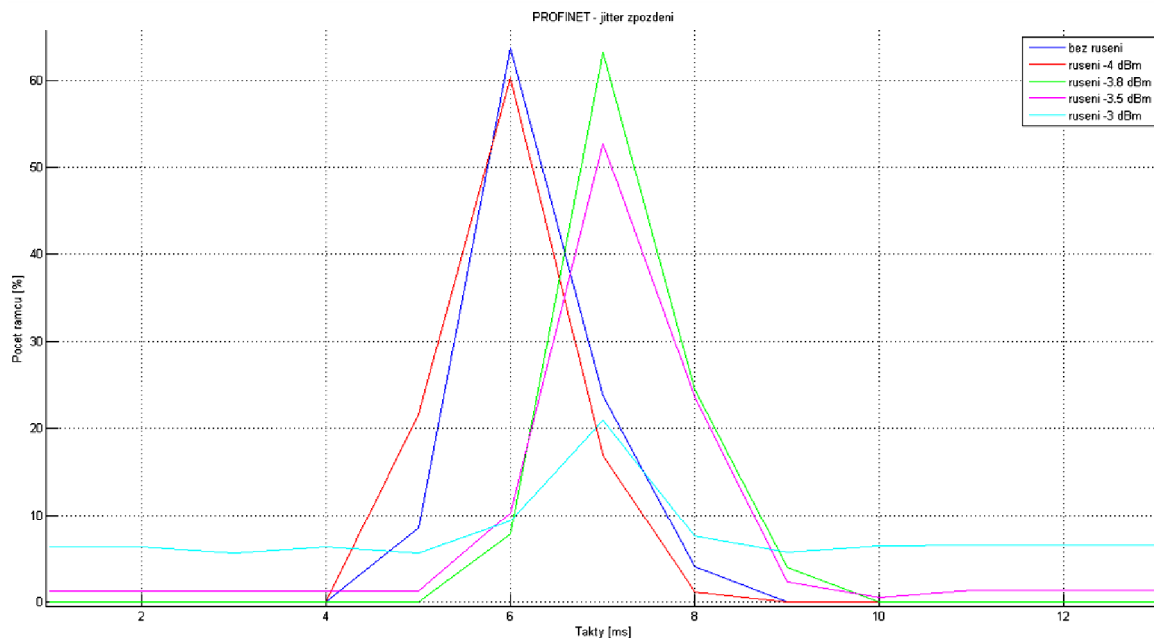
V poslední tabulce tohoto zprávy získávání dat je komunikace pomocí protokolu TCP/IP. Tento standard odolával jezt výzvěmu rušení ne0 p edchozí dva protokoly. Kdy hodnoty p enos dat se ukon il a0 p i rušení o výkonu +0,5 dBm. Výpadky rámce se začaly objevovat a0 p i výkonu rušení 0 dBm a jejich počet se se zvyšujícím se rušením zvyšoval. Délka výpadku rámce k optovnému p enosu se nepravidelně pohybovala v rozmezí od 2 do 20 ms. časová prodleva mezi vysílanými rámci byla pro stav bez výpadků konstantní a pohybovala se okolo 10 ms. Při zvyšujícím se rušení se i tato doba postupně zvyšuje. Výzvě časové prodlevy mezi odesíláním rámci jsou zprávy čekáním na potvrzení o správném doručení rámci.

## 9.5.2 Výsledky získané aplikací IO monitoring

Další parametr komunikace byl získán pomocí aplikace IO monitoring, která na základě odeslaných a přijatých dat dopočítává aktuální zpoždění, které poté zaznamenává do tabulky jitter zpoždění. Zpoždění je vypočítáno jako absolutní hodnota rozdílu dat přijatých a odeslaných v jednom časovém okamžiku (jelikož data se inkrementují v každém cyklu o jedničku). Vypočtená hodnota je celkový čas, za který rámec odejde z prvního kontroléru přes soustavu do druhého a odtud se vrátí zpět. Tato směška je dleřitá pro zprávnou vazbu, která se používá v řízení.

## Měření komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

Tabulky s naměřenými hodnotami jitter zpoždění jsou uvedeny v příloze A. Data jsou uvedena v procentech z důvodu rozdílných počtů odeslaných a přijatých rámců. V této části budou pro lepší představivost uvedeny jen grafy pro běžný jitter zpoždění.



Obrázek 44 Jitter zpoždění pro PROFINET

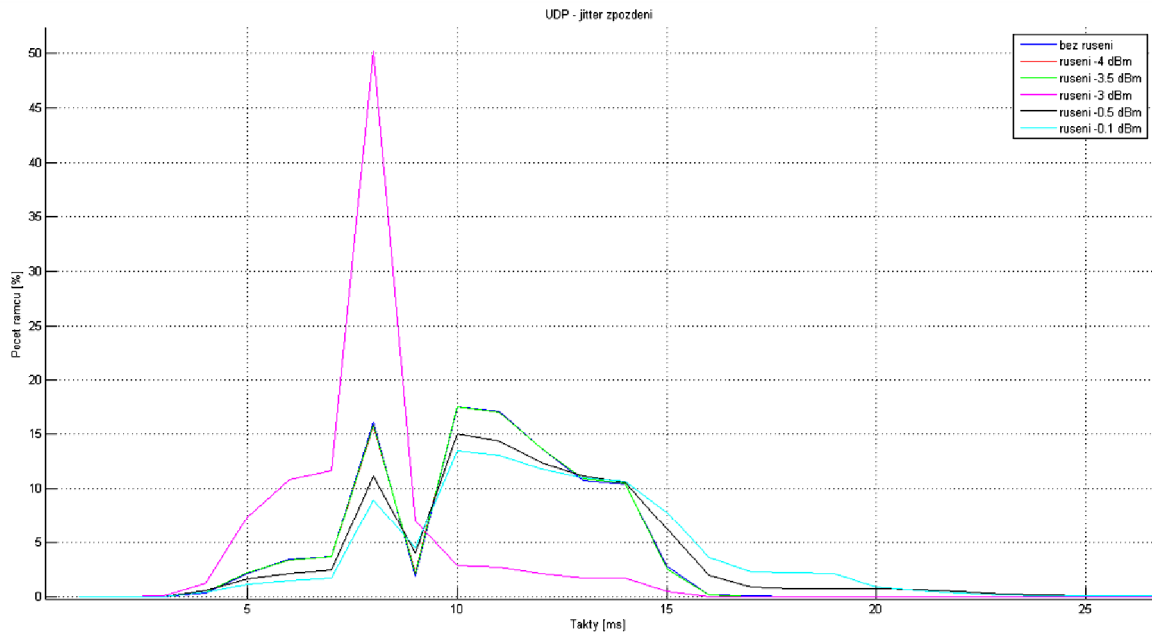
Výsledky prvního provedení měření jsou vidět na obrázku 44. Když se jedná o měření jitteru zpoždění pro PROFINET. Jak je z tohoto obrázku patrné (i z tabulky v příloze A), pro hodnoty výkonu rušení -4 dBm nedochází k žádným výpadkům AR (hodnoty začínají v nule, pak dojde k navýšení a poklesu opět do nuly). Pro hodnoty -3,8 dBm a -3 dBm dochází k postupnému zvedání hodnot na počátku i ke konci, což značí pád AR. Při ztrátě rámce IO monitoring stále čeká na jeho příchod, tím se zvyšuje i zpoždění, které se například vzem hodnotám jitter zpoždění. Proto se v datech zobrazí nereálná nulová hodnota zpoždění. Čím více výpadků nastane, tím větší jsou hodnoty jitteru na začátku zprávy i na konci. Jak je vidět z obrázku 44, jitter zpoždění pro PROFINET se pohybuje mezi hodnotami 4 - 10 ms. Přibližně tyto hodnoty si tento standard drží i pro prostředí s rušením.

Dalším protokolem, na který byla aplikována funkce IO monitoring je UDP/IP. Hodnoty jitteru zpoždění, které byly pro stav bez rušení po stavu s rušením -3 dBm, se stále zlepšovaly (snižovaly se jeho hodnoty). Při zvýšení rušení docházelo k zhoršení těchto hodnot. Jitter zpoždění se hodně prodlužovat a na hodnoty 70 ms, když čekal na chybné rámce, která nepřicházely nebo přišly a v dalším cyklu přenosu dat. Na obrázku číslo 45 je zobrazena jen část průběhu do hodnoty jitteru zpoždění 25 ms. Ostatní hodnoty jitteru zpoždění byly tak malé, že na obrázku zanikaly.



Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

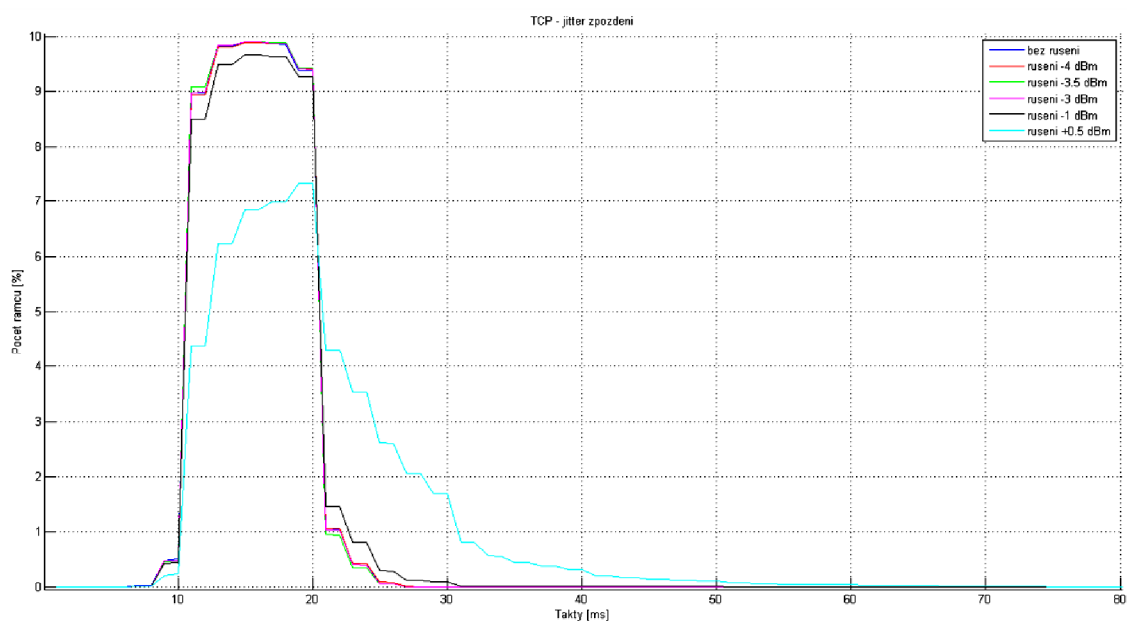
Zvládnutím na tomto grafu je fakt, že okolo hodnoty jitteru zpoždění dojde k prudkému poklesu dat při nárůstu se s tímto zpožděním, kdy se vytvoří dva vrcholy. Tento jev nastává při rušení i v prostředí bez rušení, kromě jitteru pro rušení o výkonu 3 dBm. Pro tento pokles vzniká se bohužel nepodařilo objasnit.



Obrázek 45 Jitter zpoždění pro UDP/IP

Posledním grafem znázornující hodnoty jitteru zpoždění je na obrázku číslo 46 a jedná se o protokol TCP/IP. Z obrázku je patrné, že hodnoty jitteru zpoždění kromě posledního měření, kdy docházelo k takovému rušení, že nebyl možný přenos dat, mají podobný průběh jitteru zpoždění. Hodnoty vrcholu se pohybují v rozmezí 8 až 30 ms. Pro zvyšující se rušení dochází opět k prodloužení zpoždění, kdy rámec nemusí přijít včas. Z předložených tabulek je vidět, že hodnoty jitteru zpoždění mohou nabývat i 100 ms.

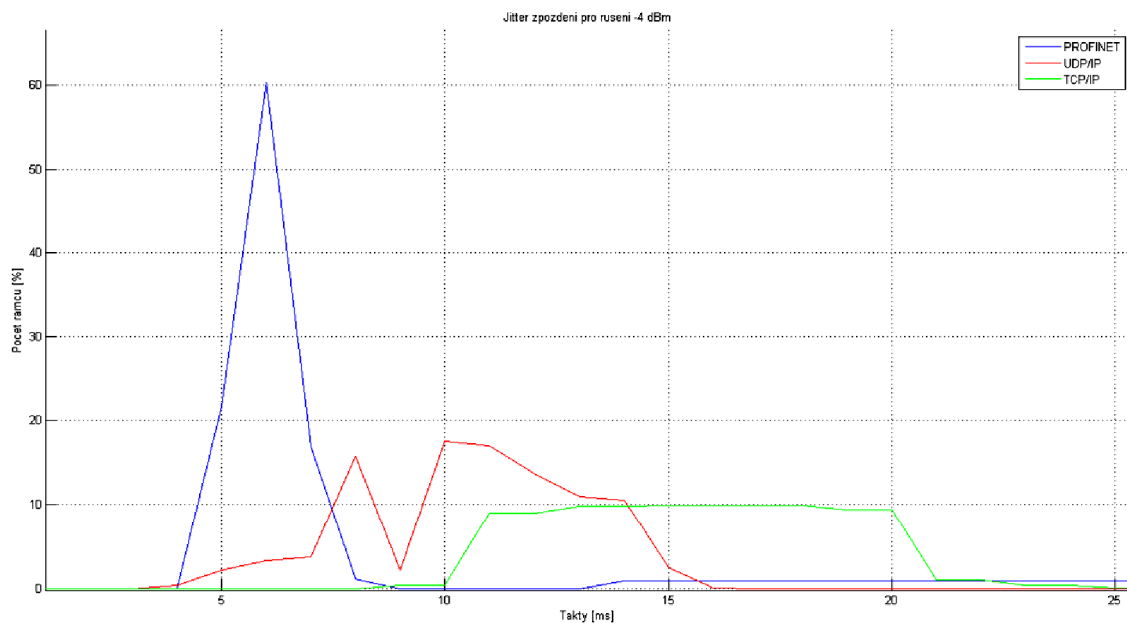
## Měření komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP



Obrázek 46 Jitter zpoždění pro TCP/IP

Pro lepší porovnání naměřených dat jsou na obrázcích 47, 48 a 49 zachyceny průběhy jitter zpoždění všech těchto protokolů pro různé rušení.

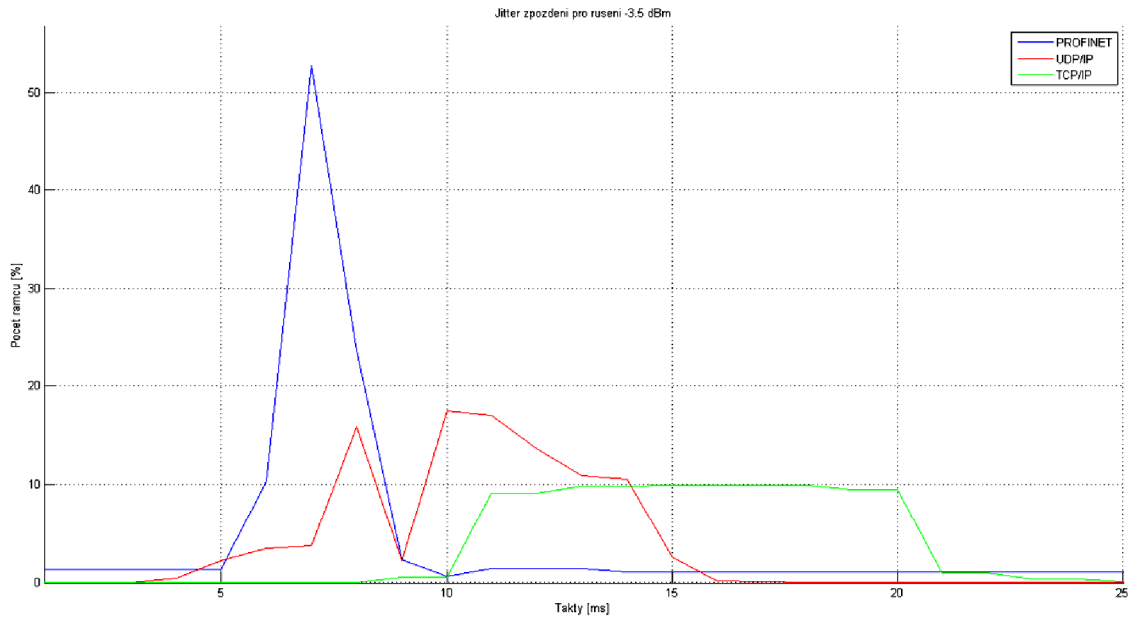
Na obrázku číslo 47 jsou zaznamenány průběhy jitter zpoždění pro PROFINET, UDP/IP a TCP/IP pro hodnotu rušení -4 dBm.



Obrázek 47 Jitter zpoždění pro PN, UDP/IP a TCP/IP při rušení -4 dBm

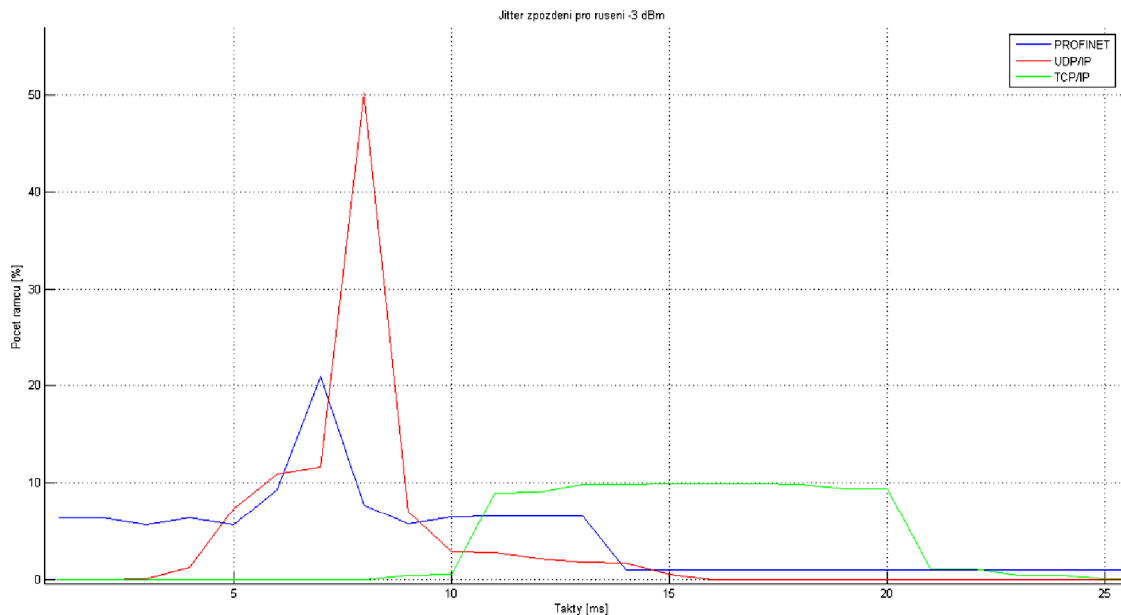
Jak je z tohoto obrázku patrné, nejmenší jitter zpoždění je u protokolu PROFINET, kde dosahuje hodnot od 4 do 9 ms. U protokolu UDP/IP je opět k vidění již zmínovaný prudký pokles tentokrát v hodnotě 9 ms.

## Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP



Obrázek 48 Jitter zpoždění pro PN, UDP/IP a TCP/IP při rušení - 3,5 dBm

Obrázek 48 porovnává jitter zpoždění pro výkon rušení -3,5 dBm. Protokoly UDP/IP a TCP/IP mají téměř stejné procento jako při rušení -4 dBm. V PROFINETu už se začínají projevovat výpadky aplikačního vztahu a dochází k zvýšení nereálných dat.



Obrázek 49 Jitter zpoždění pro PN, UDP/IP a TCP/IP při rušení - 3 dBm

Na posledním obrázku, který slouží k porovnání již několikrát zmíněných protokolů, je zaznamenán jitter zpoždění pro výkon rušení o hodnotě -3 dBm. Protokol

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

TCP/IP nabývá stále stejných hodnot, zatímco u UDP/IP došlo k narovnání poklesu do vrcholu. PROFINET při tomto rušení již nezvládl znovu navázat AR, které již, podle aplikace IO monitoring, několikrát spadlo, jak je vidět na přílohu.

## 9.6 Porovnání výsledků

Předchozí část byla zaměřena na výsledky měření pomocí jednotlivých metod. V prvním případě byl k získávání parametrů použit program Wireshark a ve druhé aplikaci IO monitoring. Cílem této podkapitoly bude porovnat naměřená data.

	Send clock [ms]	Mezidoba mezi odesíláním rámc [ms]	Konečný výkon rušení [dBm]	Délka výpadku [ms]	Spolehlivost přenosu
PROFINET	1	1	-3	7200	Ano
UDP/IP	1	4 - 7	-0,1	4 - 7	Ne
TCP/IP	1	10 - 20	0,5	2 - 20	Ano

Tabulka 12 Porovnání výsledků měření

Tabulka číslo 12 slouží pro lepší porovnání výsledků. V prvním sloupci jsou uvedeny hodnoty send clock, které jsou nastaveny v hardwarové konfiguraci pro každou komunikaci standardně na hodnotu 1 ms. Přiblížte tuto hodnotu pro odesílání rámců z kontroléru dodržuje PROFINET. Jak je vidět z tabulky číslo 9, čas mezi odesílanými rámci není závislý na výkonu rušení. U protokolu UDP/IP se data odesílají v nepravidelných cyklech, které mají periodu v rozmezí 4 až 7 ms a jsou nezávislé na velikosti výkonu rušení. Delší prodleva je u standardu TCP/IP, kdy se tyto hodnoty pohybují v rozptí od 10 do 20 ms v závislosti na rušení. Při rušení nižším než 0 dBm jsou data odesílány přibližně s konstantní časovou vzdáleností 10 ms. Při vyšších hodnotách rušení již dochází k výpadkům rámců a tím i k delšímu rozestupu. Vyšší hodnoty mezi časem odeslání jsou způsobeny čekáním na doručení potvrzení o přijetí rámců.

Výkon rušení, při kterém už nedochází k přenosu dat, je uveden ve zbylých sloupcích tabulky. PROFINET padá již při hodnotě výkonu -3 dBm, při kterém se mu již nepodaří navázat AR. Důvodem pádu AR je nedoručení těchto rámců. Pro UDP/IP došlo k nedoručení dat a při hodnotě výkonu -0,1 dBm. U této komunikace docházelo k výpadkům rámců, které systém nijak nezaznamenal a nereagoval na ně. U TCP/IP

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP dochází k detekci výpadků, jelikož každý přenesený rámec musí být potvrzen, odevzán v požadku došel na cílovou adresu. K výpadkům rámců docházelo u tohoto protokolu až při rušení 0 dBm.

Délka jednotlivých výpadků se pro PROFINET pohybovala okolo 7,2 s, během kterých bylo třeba znovu navázat AR. Při každém pádu aplikace vztahu byl odeslán příslušný alarm. U UDP/IP výpadky nebyly vůbec detekovány a rámce byly přijímány v příbližném rozestupu 4 až 7 ms. Pro TCP/IP se doba výpadku rámců (čas, mezi posledním odesláním rámců ze zdrojové adresy na cílovou před výpadkem a prvním odesláním na stejnou cílovou adresu) se pohybovala v rozmezí 2 až 20 ms.

Spolehlivost přenosu je založena na tom, zda systém ví o nedoručení potrubného rámců. U PROFINETu a TCP/IP záznamy o nedoručení rámců byly patrné. U protokolu UDP/IP k informacím o nedoručení nedocházelo.

Porovnání dat naměřených pomocí aplikace IO monitoring, je již dříve zmíněno v části 9.5, kdy jsou porovnávány hodnoty jitteru způsobené výkonem rušení -3 dBm, -3,5 dBm a -4 dBm. Jak je z obrázků patrné, nejmenší jitter způsobený nastává u protokolu PROFINET. Pád AR u PROFINETu se v naměřených datech projeví nesmyslnými hodnotami v nízkých taktách a hodnotách ve vysokých taktách, kde kontrolér čeká na data, která se zpět nevrátí, a tím se zvyšují jittery způsobené pro všechny takty.

U UDP/IP a TCP/IP dochází při rušení těchto k vyšším hodnotám jitteru způsobené, které se postupně zvyšuje až do řádů desítek ms.

Mění komunikace mezi zařízeními pomocí protokolů PROFINET a Ethernet & IP

# Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámení s komunikačním standardem PROFINET a vyhodnocení jeho využitelnosti v oblasti lékařské techniky.

PROFINET je standard, který se v hojně míře využívá v oblasti automatizace, a v nkolika případech již i v lékařské technice. Jelikož spousta aplikací, které se osvědily v praxi, se začalo používat pro medicínské účely, kde došlo k jejich dalšímu rozvoji, lze předpokládat, že podobný osud by mohl mít i protokol PROFINET. Jednou z jeho hlavních výhod je možnost IRT komunikace, kdy jsou data přijímána vždy ve stejných časových okamžicích a tím je dosaženo vysoké rychlosti přenosu, což je využíváno především v řízení. Další velké výhody přináší jeho nastavby PROFIdrive, PROFIsafe a PROFInergy.

V této práci bylo nalezeno několik aplikací z oblasti medicíny, kde by se dal protokol PROFINET implementovat. Jedná se například o komunikaci mezi operační konzolí a ramenem u chirurgického robota, dalšími příklady jsou přenos dat u rehabilitačního ramene, řízení vozíků pévážících pacienty, v oblasti diagnostiky, atd.

Hlavním důvodem jeho využití je spolehlivost a bezpečnost komunikace, která je právě v této oblasti diskutována. V současné době se pro komunikaci mezi zařízenými používá protokol UDP, který může být doplněn o další protokoly (například SafeNet), které zajistí spolehlivý přenos. PROFINET sám o sobě zajistí relativně bezpečný přenos, kdy při neobdržení očekávaných rámců spadne AR a odezve se alarm. Pro správné doručení rámců a zvýšení spolehlivosti lze využít jeho profil PROFIdrive.

Na základě porovnání protokolů PROFINET, UDP/IP a TCP/IP, které bylo v této práci provedeno lze říci, že data se pomocí protokolu PROFINET odesílala v reálném čase podobně ve stejných časových okamžicích a s malým rozptylem jitteru způsobením (v porovnání s dalšími dvěma protokoly). Dále byl zajištěn relativně bezpečný přenos dat.

Z údajů o PROFINETu a provedených měřeních lze usoudit, že protokol PROFINET je vhodný k dalšímu využití v lékařské technice.





# Použitá literatura

- [1] M. Popp, Industrielle Kommunikation mit PROFINET, PROFIBUS Nutzerorganisation, Ausgabe 2007, Bezugsquelle: für die Schweiz: PROFIBUS Schweiz
- [2] H. Osterloh: TCP/IP . Kompletní pr vodce, SoftPress, 2003
- [3] J. Rozman: Elektronické p ístroje v léka ství, Academia. Praha: Academia, 2006
- [4] PNO. 2009. PROFINET Technology and Application. System Description. Version April 2009. Karlsruhe: PROFIBUS Nutzerorganisation. 2009.
- [5] L. Duerkop, H. Trsek, J. Jasperneite, L. Wisniewski: Towards Autoconfiguration of Industrial Automation Systems: A Case Study Using Profinet IO
- [6] PROFINET . otev ený standard pro Pr myslový Ethernet (online na [www.siemens.com](http://www.siemens.com)) [vid 1. 4. 2015]
- [7] Visions zima 2014, Siemens s.r.o.
- [8] Cisco Open Plug-n-Play Agent Configuration Guide, Cisco IOS XE Release 3E (dostupné online na [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/pnp/configuration/15-mt/pnp-15-mt-book.html#concept\\_B7054CB30DCE41D88604861CAE34A326](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/pnp/configuration/15-mt/pnp-15-mt-book.html#concept_B7054CB30DCE41D88604861CAE34A326)) [vid 4. 3. 2015]
- [9] MTOM Encoding (dostupné online na [https://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/aa395209\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/aa395209(v=vs.110).aspx)) [vid 3. 4. 2015]
- [10] PROFINET . Pr myslový Ethernetový standard (dostupný online na <http://www.profibus.com/technology/profinet/overview/>) [vid 10. 3. 2014]
- [11] Technologické studie o PROFINETu ( dostupné online na <http://www.profibus.cz/>) [vid 10. 3. 2014]
- [12] PROFIdrive 4 technology and application, August 2007
- [13] M. Popp, K. Weber: The Rapid Way to PROFINET,
- [14] J. M. de Paco, C. Pérez-Vidal, A. Salinas, M. D. Gutiérrez, J. M. Sabater, E. Fernández: Advanced Hyperbaric Oxygen Therapies in Automated Multiplace Chambers, The Fourth IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics Roma, Italy. June 24-27, 2012
- [15] P. Burget: Profibus & Profinet v roce 2015, Automa 1/2015
- [16] <http://www.technickytydenik.cz> (datum 4. 4. 2015)
- [17] DEIMOS s.r.o.: Rozto ení tvá Franze Kavky, Automa 1/2015

## Použitá literatura

- [18] Automatické systémy BT Radioshutter a BT Autopilot (dostupné online na [www.toyota-forklifts.cz/cs/products/semi-automatic-trucks/pages/default.aspx](http://www.toyota-forklifts.cz/cs/products/semi-automatic-trucks/pages/default.aspx)) [vid 15. 3. 2014]
- [19] F. Vicentini, N. Pedrocchi, M. Malosio, L. Molinari Tosatti: SafeNet: A methodology for integrating general-purpose unsafe devices in safe-robot rehabilitation systems; National Research Council of Italy (CNR), Institute of Industrial Technologies and Automation (ITIA), via Bassini 15, 20133 Milan, Italy
- [20] A. Sánchez, P. Pognet, E. Dombre, A. Menciassi, P. Dario: A design framework for surgical robots: Example of the Araknes robot controller, *Robotics and Autonomous Systems* 62 (2014) 1342. 1352
- [21] F. Zezulka, O. Hynčica: Průmyslový Ethernet VII: Pohled současných standardů, *Automa*, 2008, č. 2, s. 26 - 29

# P íloha A

## Výsledky měření jitteru zpoždění v procentech

Výsledky z měření jitteru zpoždění, které bylo provedeno v EMC komoře, jsou zaznamenány v následujících tabulkách. Jelikož v každém měření byl přenesen jiný počet rámců, jsou naměřené hodnoty uvedeny v procentech.

V tabulce jsou uvedeny hodnoty jitteru zpoždění protokolu PROFINET pro jednotlivé výkony rušení (viz kapitola 9).

PROFINET (v procentech)												
jitter zpoždění [ms]	bez rušení	-7 dBm	-6,9 dBm	-4,1 dBm	-4 dBm	-3,9 dBm	-3,8 dBm	-3,7 dBm	-3,5 dBm	-3,2 dBm	-3,1 dBm	-3 dBm
1	0	0	0	0	0	0	0,07	0,28	1,31	0,63	3,53	6,38
2	0	0	0	0	0	0	0,07	0,28	1,31	0,63	3,51	6,38
3	0	0	0	0	0	0	0,06	0,24	1,26	0,54	3,05	5,59
4	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,07	0,28	1,32	0,63	3,51	6,38
5	8,51	28,28	22,73	6,57	21,65	14,91	0,10	0,26	1,31	4,87	3,07	5,59
6	63,72	54,91	51,17	64,05	60,31	57,47	7,75	23,38	10,26	58,85	3,53	9,33
7	23,72	15,61	24,61	28,42	16,84	23,66	63,15	48,05	52,72	29,52	48,55	20,91
8	4,04	1,20	1,48	0,93	1,21	3,96	24,47	24,47	23,58	1,69	13,77	7,64
9	0	0	0	0	0	0	3,98	1,63	2,30	0,62	3,19	5,75
10	0	0	0	0	0	0	0,07	0,28	0,57	0,62	3,49	6,41
11	0	0	0	0	0	0	0,07	0,29	1,36	0,47	3,61	6,54
12	0	0	0	0	0	0	0,07	0,29	1,36	0,47	3,60	6,55
13	0	0	0	0	0	0	0,07	0,29	1,36	0,47	3,60	6,55

Tabulka 13 Hodnoty jitteru zpoždění pro PROFINET

V tabulkách jsou zaznamenány hodnoty jitteru zpoždění pro UDP/IP a v tabulkách hodnoty jitteru zpoždění pro TCP/IP.

## UDP/IP (procenta)

jitter zpoOd ní [ms]	bez ruzení	-7 dBm	-6,1 dBm	-4 dBm	-3,5 dBm	-3 dBm	-0,5 dBm	-0,3 dBm	-0,25 dBm	-0,23 dBm	-0,2 dBm	-0,1 dBm
3	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00
4	0,29	0,36	1,50	0,41	0,37	1,26	0,59	0,48	0,27	0,42	0,52	0,44
5	2,16	2,28	2,20	2,20	2,23	7,36	1,63	1,77	0,69	1,01	1,26	1,12
6	3,44	3,43	3,30	3,38	3,40	10,87	2,15	2,54	0,88	1,31	1,68	1,48
7	3,72	3,71	3,54	3,72	3,66	11,63	2,49	2,82	1,00	1,49	1,92	1,70
8	16,11	15,92	15,66	15,77	15,85	50,22	11,18	12,67	4,75	7,26	9,58	8,97
9	1,87	2,12	2,11	2,23	2,16	6,97	4,03	3,18	1,99	2,26	4,37	4,53
10	17,47	17,54	17,29	17,49	17,50	2,83	15,04	15,56	6,69	7,36	13,89	13,49
11	17,07	17,02	16,85	16,97	16,98	2,73	14,36	15,00	6,40	7,06	13,36	13,03
12	13,68	13,61	13,53	13,68	13,68	2,15	12,42	12,64	5,65	6,30	11,96	11,86
13	10,74	10,81	10,82	10,91	10,88	1,73	11,14	10,86	4,34	3,25	11,03	11,03
14	10,46	10,52	10,45	10,50	10,53	1,69	10,57	10,50	34,35	37,04	10,55	10,66
15	2,75	2,48	2,49	2,56	2,54	0,48	6,21	4,85	16,65	12,47	7,20	7,78
16	0,17	0,14	0,18	0,15	0,18	0,01	1,95	1,53	5,26	3,94	3,01	3,63
17	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,89	0,87	2,95	2,21	1,75	2,31
18	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,76	0,80	2,69	2,01	1,61	2,17
19	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,74	0,76	2,58	1,93	1,60	2,13
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,70	0,50	0,38	1,28	0,93
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,63	0,44	0,35	0,80	0,58
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,46	0,26	0,16	0,47	0,30
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,27	0,15	0,14	0,35	0,17
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,18	0,09	0,09	0,20	0,09
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,13	0,07	0,06	0,11	0,06
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,11	0,06	0,05	0,08	0,05
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	0,04	0,03	0,07	0,04
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,04	0,03	0,07	0,04
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07	0,04	0,02	0,06	0,04
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05	0,03
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,05	0,10	0,06
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02	0,05	0,09	0,06
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,02	0,05	0,10	0,06
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,02	0,05	0,10	0,06
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,02	0,05	0,10	0,06
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,01	0,05	0,06	0,10

Tabulka 14 Hodnoty jitteru zpojd ní pro UDP/IP (první ást)

## UDP/IP (procenta) - pokračování

jitter zpoždění [ms]	bez rušení	-7 dBm	-6,1 dBm	-4 dBm	-3,5 dBm	-3 dBm	-0,5 dBm	-0,3 dBm	-0,25 dBm	-0,23 dBm	-0,2 dBm	-0,1 dBm
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,01	0,05	0,06	0,10
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,01	0,05	0,06	0,10
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,01	0,04	0,05	0,10
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,01	0,03	0,04	0,09
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,13	0,11	0,03	0,05
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,10	0,09	0,02	0,05
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,09	0,09	0,01	0,05
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,09	0,08	0,01	0,04
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,09	0,08	0,01	0,04
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,08	0,07	0,01	0,04
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,07	0,06	0,01	0,03
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06	0,05	0,01	0,03
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,04	0,01	0,03
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01	0,02
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabulka 15 Hodnoty jitteru zpoždění pro UDP/IP (druhá část)

## TCP/IP (procenta)

jitter zpoč. [ms]	bez ruzení	-4 dBm	-3,5 dBm	-3 dBm	-2,5 dBm	-2 dBm	-1 dBm	-0,5 dBm	0 dBm	0,1 dBm	0,2 dBm	0,4 dBm	0,5 dBm
7	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
8	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
9	0,47	0,46	0,46	0,47	0,46	0,48	0,42	0,09	0,21	0,16	0,19	0,21	0,09
10	0,50	0,48	0,47	0,48	0,48	0,51	0,45	0,10	0,23	0,17	0,21	0,23	0,09
11	8,98	8,95	9,08	8,98	9,00	8,93	8,50	2,44	4,27	3,28	4,38	4,39	2,32
12	8,98	8,95	9,08	8,99	9,00	8,93	8,50	2,44	4,27	3,28	4,38	4,39	2,32
13	9,82	9,81	9,85	9,84	9,83	9,82	9,50	2,97	6,21	5,04	6,05	6,23	3,86
14	9,82	9,81	9,85	9,85	9,83	9,82	9,50	2,97	6,22	5,04	6,05	6,23	3,86
15	9,90	9,89	9,91	9,90	9,90	9,89	9,67	3,12	6,81	5,63	6,60	6,84	4,54
16	9,90	9,89	9,91	9,90	9,90	9,89	9,67	3,12	6,81	5,63	6,60	6,84	4,54
17	9,87	9,87	9,89	9,88	9,88	9,86	9,64	3,14	7,01	5,87	6,75	6,98	4,88
18	9,86	9,87	9,89	9,87	9,87	9,86	9,63	3,14	7,01	5,87	6,75	6,98	4,87
19	9,38	9,42	9,44	9,41	9,40	9,38	9,27	3,17	7,48	6,41	7,11	7,32	5,57
20	9,38	9,41	9,43	9,40	9,40	9,38	9,27	3,16	7,48	6,41	7,11	7,32	5,57
21	1,05	1,05	0,94	1,03	1,03	1,08	1,47	1,14	4,60	4,60	4,09	4,31	4,71
22	1,04	1,05	0,93	1,03	1,03	1,07	1,46	1,13	4,60	4,60	4,08	4,31	4,70
23	0,41	0,43	0,35	0,41	0,40	0,44	0,81	0,81	3,80	3,93	3,30	3,53	4,30
24	0,40	0,43	0,34	0,40	0,39	0,43	0,80	0,81	3,50	3,92	3,30	3,53	4,30
25	0,09	0,09	0,07	0,06	0,08	0,09	0,30	0,50	2,70	3,22	2,50	2,62	3,80
26	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,29	0,50	2,69	3,22	2,49	2,61	3,80
27	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,35	2,16	2,74	2,01	2,07	3,42
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,35	2,16	2,73	2,01	2,07	3,42
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,24	1,78	2,30	1,63	1,70	3,70
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,24	1,78	2,29	1,63	1,70	3,70
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,92	1,33	0,82	0,80	1,25
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,92	1,33	1,29	0,80	1,25
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,06	1,01	0,97	0,57	0,88
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,06	0,96	0,74	0,56	0,88
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,78	0,60	0,45	0,70
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,78	0,60	0,45	0,70
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,64	0,49	0,38	0,58
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,64	0,49	0,38	0,58
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,52	0,40	0,31	0,49
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,52	0,40	0,31	0,48

Tabulka 16 Hodnoty jitteru spojd ní pro TCP/IP (první ást)

## TCP/IP (procenta) - pokračování

jitter zpo0. [ms]	bez ruzení	-4 dBm	-3,5 dBm	-3 dBm	-2,5 dBm	-2 dBm	-1 dBm	-0,5 dBm	0 dBm	0,1 dBm	0,2 dBm	0,4 dBm	0,5 dBm
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,40	0,31	0,21	0,33
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,40	0,31	0,21	0,33
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,26	0,35	0,27	0,18	0,28
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,26	0,35	0,27	0,18	0,28
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,24	0,30	0,23	0,15	0,24
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,24	0,30	0,23	0,15	0,24
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,22	0,28	0,21	0,13	0,20
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,22	0,28	0,21	0,13	0,20
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,19	0,25	0,19	0,11	0,17
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,19	0,25	0,19	0,11	0,17
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,20	0,16	0,08	0,12
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,20	0,15	0,08	0,42
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,18	0,14	0,06	0,39
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,18	0,14	0,06	0,38
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,16	0,12	0,05	0,36
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,16	0,12	0,05	0,36
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,09	0,07	0,05	0,32
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,09	0,07	0,05	0,32
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,07	0,06	0,05	0,31
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,07	0,06	0,05	0,31
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,05	0,04	0,04	0,25
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,05	0,04	0,04	0,25
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,03	0,03	0,23
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,03	0,03	0,24
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,21
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,21
67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,02	0,19
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,02	0,19
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,01	0,17
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,01	0,17
71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,13
72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,13
73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,12
74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,12

Tabulka 17 Hodnoty jitteru spojení pro TCP/IP (druhá část)

## TCP/IP (procenta) . pokračování 2

jitter zpo0. [ms]	bez ruzení	-4 dBm	-3,5 dBm	-3 dBm	-2,5 dBm	-2 dBm	-1 dBm	-0,5 dBm	0 dBm	0,1 dBm	0,2 dBm	0,4 dBm	0,5 dBm
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,12
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,11
77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01
78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01
79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08
81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08
82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08
83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07
84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07
86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07
87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07
88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07
89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06
91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03

Tabulka 18 Hodnoty jitteru zpoždění pro TCP/IP (první část)



# **Příloha B**

## **Obsah příloženého CD**

1. Diplomová práce ve formátu .pdf
2. Projekty v programu Simotion Scout
3. Algoritmy v jazyku ST (v textovém souboru) pro komunikace pomocí zmíněných protokolů
4. Zachycená data pomocí programu Wireshark