

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ PROPUSTNOSTI OPTOVLÁKNOVÉ
PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ČIČMANSKÝ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ PROPUSTNOSTI OPTOVLÁKNOVÉ PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ

POSSIBILITIES OF INCREASING THE THROUGHPUT OF OPTICAL FIBER INDUSTRIAL
NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ČIČMANSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Tomáš Čičmanský

ID: 136509

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Možnosti zvýšení propustnosti optovláknové průmyslové sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na standardy u průmyslových optických sítí s důrazem na přenosy řídicích signálů v reálném čase. Navrhněte konkrétní redundantní průmyslovou síť s optickými prvky a zjistěte její přenosové parametry. Zaměřte se zejména na propustnost a odezvu. Navrhněte vhodné způsoby zlepšení jejích parametrů, zejm. propustnosti a ověřte matematickou simulací jejich účinnost. Výsledky vyhodnoťte jako doporučení. Během práce neustále uvažujte průmyslovou síť přenášející řídicí signály v reálném čase, přičemž ztráta nebo zpoždění by měla významný vliv na technologii, kde je uvažovaná průmyslová síť použita.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] IDC Technologie. Communications, Industrial Networking and TCP/IP, 2012, BookBoon, ISBN 978-87-403-0002-4.
- [3] Ramaswami, R., Sivarajan, K., Sasaki, G. Optical Networks, Morgan Kaufmann, 2010, ISBN: 978-0-12-374092-2.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 26.5.2015

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

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Diplomová práca sa venuje problematike priemyselných sietí s využitím optických vlákien ako hlavných prenosových liniek. Úlohou tejto diplomovej práce je naštudovať a zosumarizovať problematiku priemyselných sietí, ako aj spôsoby zvyšovania ich prenosovej kapacity. V telekomunikačných a počítačových sieťach sú štandardne používané multiplexy, vďaka ktorým sme schopní žiadanú prenosovú kapacitu dosiahnuť. Preto sa nasledovná práca zaoberá výberom vhodných riešení za pomoci popisovaných multiplexov ale aj iných prenosových metód. Diplomová práca si kladie za cieľ porovnať rôzne spôsoby renovácie staršej priemyselnej siete. Na tejto priemyselnej sieti by malo byť demonštrované použitie jednotlivých metód spolu s ich nastávajúcimi problémami a riešeniami. Vhodné riešenie je vybrané na základe ceny, výkonu a zložitosti inštalácie zariadení a prenosových médií.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Priemyselná sieť, riadenie, optické vlákna, multiplex,

ABSTRACT

Diploma thesis deals with problems of industrial networks using optical fiber as the main transmission lines. The task of the diploma work is to study and summarize the issues of industrial networks as well as the ways to increase their transmission capacity. In telecommunications and computer networks are generally used multiplexes, thanks to which we are able to achieve the desired transmission capacity. Consequently, the following work deals with the selection of the adequate solutions using described multiplexes as well as other transmission methods. The aim of the diploma work is to compare various renovation techniques of an old industrial network. Using this network as an example the work should demonstrate the individual problems and their solutions while considering different types of methods used. Based on the price, the performance and the difficulty to install other devices and transmission media we are able to select the appropriate solution for optical link.

KEYWORDS

Industrial network, management, optical fibers, multiplex

ČIČMANSKÝ, Tomáš *Možnosti zvýšení propustnosti optovláknové průmyslové sítě*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 83 s. Vedúci práce bol prof. Ing. Miloš Filka, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Možnosti zvýšení propustnosti optovláknové průmyslové sítě“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisejúcich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi prof. Ing. Miloslavovi Filkovi, CSc. a konzultantovi Ing. Martinovi Kyselákovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	12
1 Priemyselná sieť	13
1.1 História	13
2 Ethernet a priemyselné siete	14
2.1 História Ethernetu	14
2.2 Ethernet v priemyselnej sieti	15
2.3 Zariadenia používané v priemyselných sieťach	15
2.4 Prenosové médiá v priemyselných sieťach	16
2.5 Štandardy priemyselného Ethernetu	18
2.5.1 EPA	18
2.5.2 EtherCat	18
2.5.3 EtherNet/IP	19
2.5.4 SERCOS III	20
2.5.5 Ethernet Powerlink	21
2.5.6 Modbus-RTPS	22
2.5.7 Vnet/IP	23
2.5.8 P-net on IP	24
2.5.9 TCnet	25
2.5.10 Profinet	26
3 Topológia priemyselných sietí	28
3.1 Vrstvy priemyselnej siete	28
4 Zvyšovanie kapacity prenosového média	30
4.1 Typy multiplexov	30
4.1.1 WDM	30
4.1.2 CWDM	31
4.1.3 DWDM	32
4.2 Zariadenia pre multiplexovanie	32
4.2.1 Multiplexer	33
4.2.2 Demultiplexer	33
4.2.3 Transceiver	33
4.2.4 Priebežný linkový zosilňovač	33
4.2.5 Priebežný optický linkový terminál	34
4.2.6 OSC	34

5	Simulácie	35
5.1	Zapojenie a parametre	35
5.1.1	Zapojenie merania WDM	35
5.1.2	Zapojenie merania CWDM	35
5.1.3	Zapojenie merania DWDM	36
5.2	Namerané výsledky	36
6	Všeobecné zásady návrhu revitalizácie priemyselnej siete	44
6.1	Krok 1 - Analýza potrebných parametrov siete	44
6.2	Krok 2 - Analýza súčasných liniek	44
6.2.1	Fyzické vlastnosti média	44
6.2.2	Možnosti riešenia nevyhovujúcej trasy	45
6.2.3	Agregácia liniek	45
6.3	Krok 3 - Analýza aktívnych prvkov siete	45
6.3.1	Maximálna prenosová rýchlosť	45
6.3.2	Podpora priemyselných protokolov	46
6.3.3	Spôľahlivosť zariadení a liniek	46
6.4	Krok 4 - Návrh a výber vhodného riešenia	46
7	Vzorová sieť projektu	47
7.1	Umiestnenie siete	47
7.2	Schéma siete	47
7.3	Vlastnosti súčasnej siete	53
8	Požadované vlastnosti siete	54
9	Riešenie vynovenia siete	55
9.1	Porovnanie a výber riešenia centrálnej linky	55
9.1.1	Výmena a pridanie optických vlákien	55
9.1.2	CWDM	56
9.1.3	DWDM	56
9.1.4	Výmena optického vlákna za bezdrôtový spoj	57
9.1.5	Vybraný spôsob navýšenia kapacity centrálneho spoja	57
9.2	Riešenie A	58
9.3	Riešenie B	66
9.4	Riešenie C	70
9.5	Výber riešenia	73
10	Záver	76
	Literatúra	78

Zoznam symbolov, veličín a skratiek	80
A Prílohy	81
A.1 Tabulky cien riešení	81

ZOZNAM OBRÁZKOV

2.1	Komunikačný model EPA.	18
2.2	Komunikačný model EtherCAT.	19
2.3	Komunikačný model EtherNet/IP.	20
2.4	Komunikačný model SERCOS III.	21
2.5	Komunikačný model Ethernet Powerlink.	22
2.6	Komunikačný model Modbus-RTPS.	23
2.7	Komunikačný model Vnet/IP.	24
2.8	Komunikačný model P-net on IP.	25
2.9	Komunikačný model TCnet.	26
2.10	Komunikačný model Profinet IO.	27
2.11	Komunikačný model Profinet IRT.	27
3.1	Zjednodušený model priemyselnej siete.	29
4.1	Zjednodušený model WDM.	31
5.1	Schéma zapojenia prvého merania, WDM.	35
5.2	Schéma zapojenia druhého a tretieho merania, CWDM a DWDM.	36
5.3	Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 1 - 1330 nm, WDM.	37
5.4	Diagram oka prijatého signálu kanál č. 2 - 1551 nm, WDM.	38
5.5	Spektrum signálu, WDM.	39
5.6	Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 3 - 1340 nm, CWDM.	39
5.7	Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 6 - 1400 nm, CWDM.	40
5.8	Spektrum signálu, CWDM.	40
5.9	Spektrum signálu za demultiplexerom - kanál č. 3 - CWDM.	41
5.10	Spektrum signálu, DWDM.	42
5.11	Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 3 - 1521,79 nm, DWDM.	42
5.12	Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 6 - 1524,11 nm, CWDM.	43
7.1	Topológia pôvodnej zastaralej priemyselnej optickej siete.	48
7.2	Topológia centrálnej časti pôvodnej siete.	49
7.3	Topológia kancelárskej časti pôvodnej siete.	50
7.4	Topológia vonkajšej časti siete.	51
7.5	Topológia zastaralej priemyselnej optickej siete, vrstvy siete.	52
9.1	Topológia vynovenia optickej siete - riešenie A.	59
9.2	Topológia centrálnej časti siete - riešenie A.	60
9.3	Vrstvové zobrazenie siete - riešenie A.	61
9.4	Topológia vonkajšej časti siete - riešenie A.	62
9.5	Topológia kancelárskej časti siete - riešenie A.	63
9.6	Topológia vynovenia optickej siete - riešenie B.	67
9.7	Vrstvové zobrazenie siete - riešenie B.	68

9.8	Topológia kancelárskej časti siete - riešenie B.	69
9.9	Topológia vynovenia optickej siete - riešenie C.	71
9.10	Vrstvové zobrazenie siete - riešenie C.	72
A.1	Tabuľka nacenenia - riešenie A a B.	82
A.2	Tabuľka nacenenia - riešenie C.	83

ZOZNAM TABULIEK

9.1	Cena pokládky optického vlákna v dĺžke 1000 m	55
9.2	Cena použita 8-kanálového CWDM multiplexeru	56
9.3	Cena použita 48-kanálového DWDM multiplexu	57
9.4	Porovnanie riešení, bodové hodnotenie	74

ÚVOD

V dnešnej dobe sa priemyselné siete stávajú neoddeliteľnou súčasťou všetkých väčších, ale často aj menších infraštruktúr priemyselných komplexov. Príčinou je najmä zväčšujúca sa miera automatizácie výroby a potreba centrálného riadenia výrobných procesov a ich dôkladných kontrol. Keďže sa vo výrobe požaduje čoraz vyššia presnosť, je nutné prispôbovať tomu aj priemyselné siete, pretože musia prenášať stále väčšie objemy dát, pričom sa naďalej skracuje doba, za ktorú dáta musia byť prenesené do cieľa.

Rovnako ako v bežných telekomunikačných sieťach tak aj v spomínaných priemyselných sieťach sa začali využívať optické vlákna. Tento krok dramaticky zvýšil prenosovú rýchlosť, avšak ani tento pokrok dnes už často nie je dostatočný a sú vyžadované stále vyššie prenosové rýchlosti. Nie vždy je však možné sieť zväčšovať, rozširovať množstvo optických vlákien so zámerom navyšovania prenosovej kapacity spoja. Riešením sú systémy, ktoré dovoľujú navyšovať kapacitu už existujúcich uložených optických vlákien.

V nasledovnej práci je rozoberaná problematika priemyselných sietí. Zaoberá sa vznikom, určením, ale aj jednotlivými najpoužívanejšími štandardmi priemyselných sietí. Ďalej je práca doplnená o návrh a simuláciu jedného spoja s optickým vláknom, na ktorom je pomocou multiplexovania zabezpečené zvyšovanie prenosovej kapacity spoja. Získané poznatky zo simulácií a teórie budú potom využité v ďalšej časti práce, ktorou je návrh priemyselnej siete. Na zastaralej priemyselnej sieti je ukázané, ako je možné použiť vyššie popísané technológie ako metódu pre navyšovanie priepustnosti priemyselnej siete.

Jednotlivé riešenia sú navrhnuté na základe údajov o umiestnení a funkciách pôvodnej siete. Zároveň je však brané na vedomie aj financovanie týchto prípadných riešení. Na základe týchto atribútov je vykonávaný výber najvhodnejšieho riešenia vynovenia a navýšenia priepustnosti optovláknovej priemyselnej siete.

1 PRIEMYSELNÁ SIETĚ

Komunikácia ako priame prepojenie, konkrétne v priemysle medzi vysielateľom a prijímačom, je v každej sfére veľmi dôležitý aspekt celkového správneho chodu akéhokoľvek systému. Pri spravovaní rozsahom väčších tovární, rafinérií, či dokonca tak podstatných prvkov ako elektrární sú priemyselné siete neoddeliteľnou súčasťou infraštruktúry industriálnych pracovísk.

1.1 História

Kedysi znamenala priemyselná sieť iba jednoduchý telefónny okruh, prípadne jednoduchú sústavu senzorov, pomocou ktorých vedúci pracovníci dokázali riadiť svojich podriadených tak, aby výroba bežala bez akýchkoľvek problémov a zbytočných porúch. Pôvodne boli tieto systémy zavádzané len ako bezpečnostná poistka v čase poruchy, alebo v prípade telefónnych okruhov na oznamovanie problémov. Avšak čoskoro sa prišlo na to, že pomocou takýchto systémov sa dá nielen sledovať prevádzka, ale tiež ju ovládať. Prvé systémy boli veľmi obmedzené vo svojej funkcii a jednalo sa predovšetkým o jednoduché úkony, napríklad zisťovanie prekročenia požadovanej teploty, následné zapnutie alebo vypnutie pohonu ventilátora a podobne. Postupom času sa tieto jednoduché systémy začali zdokonaľovať a zväčšoval sa ich dosah a funkčnosť. Najväčší prielom v technike priemyselných sietí následne spôsobil rozvoj počítačových sietí. Keďže najrozšírenejšou platformou počítačových sietí sa stal Ethernet, je logické, že tento štandard si našiel cestu aj do priemyselných sietí [3].

2 ETHERNET A PRIEMYSELNÉ SIETE

2.1 História Ethernetu

Ethernet je štandardom z dielne spoločnosti Xerox, ktorá sa na začiatku 70-tych rokov pokúšala o prepojenie niekoľkých počítačov s tlačiarňou. Už v prvej variante bol Ethernet veľmi úspešný počín, keďže sa podarilo prepojiť až 100 účastníkov na vzdialenosť do 1000 m, pričom prenosová rýchlosť bola 3 Mb/s. Ďalší vývoj Ethernetu následne zabezpečovalo konzorcium DIX tvorené firmami DEC, Intel a Xerox [3].

Spojenie úsilia pri vývoji Ethernetu malo za následok, že už koncom 80-tych rokov došlo ku štandardizácii Ethernetu ako medzinárodného štandardu IEEE 802.3 a následne ISO 8802.3. V tomto štandarde Ethernet ponúkal prenosovú rýchlosť až 10 Mb/s. Ako prenosové médium bol zvolený koaxiálny kábel, ktorý bol označovaný ako hrubý koaxiálny kábel. Týmto štandardom ale vývoj Ethernetu neskončil, práve naopak. Koaxiálne vodiče boli postupne vymenené za krútené dvojlinky a optické vlákna. Krútená dvojlinka je dnes známa pod označením UTP (Unshielded Twisted Pair). Prenos informácií sa posunul vďaka pridaniu viacerých vodičov z polo-duplexného režimu do plného duplexu. To malo za následok zvyšovanie rýchlosti. Použité boli rozbočovače (hub) a neskôr aj prepínače (switch), ktoré priniesli zmenšovanie kolíznych domén.

Topológia zbernice s jednou kolíznou doménou sa tak postupne premenila na efektívnejšiu stromovú topológiu, prípadne na topológiu fyzického kruhu. Spolu s týmito zmenami narastala aj prenosová rýchlosť Ethernetu z pôvodných 3 Mb/s na 100 Mb/s a následne na 1 Gb/s. Pri použití optických vlákien je momentálne možná prenosová rýchlosť 10 Gb/s, 40 Gb/s a dokonca až 100 Gb/s [3].

Od prvopočiatku Ethernetu bola snaha využívať ho aj v priemyselných sieťach. Prvou spoločnosťou, ktorá uviedla v roku 1985 Ethernet do priemyselného použitia bola firma Siemens s jej systémom Sinec H1. Tento systém bol plne kompatibilný so štandardom 802.3 s tým rozdielom, že konektory boli upravené pre použitie v priemysle. Ich druhý počín Sinec H1F0 bolo v 90-tych rokoch riešenie, ktoré používalo koaxiálne káble spolu s optickými. Tieto typy priemyselných sietí boli vhodné predovšetkým pre prostredia so silným elektromagnetickým rušením alebo pre siete rozprestrené na veľkej ploche. Ethernet sa následne používal ako systémová zbernica v niektorých distribuovaných riadiacich systémoch. To však bolo na niekoľko ďalších rokov jeho posledným použitím.

Pre priemysel boli totiž v tej dobe vyvíjané systémy priemyselných zberníc ako napríklad Fieldbus, alebo nižšie komunikačné prostriedky ako Device Bus a Sen-

sor/Actuator Bus. Hlavnou príčinou bolo, že Ethernet na rozdiel od týchto štandardov nedokázal zabezpečiť komunikáciu v reálnom čase. Zmena prišla až v roku 1990, kedy lacnejšia a flexibilnejšia technika 10Base-T nahradzovala v kancelárskom prostredí variantu štandardu 802.3. Táto technológia však ešte stále nebola dostávajúca pre použitie v priemysle. Zmena nastala zavedením káblov s označením ITP (Industrial Twisted Pair) [3].

2.2 Ethernet v priemyselnej sieti

Najdôležitejším argumentom pre používanie Ethernetu v priemyselných sieťach je cena. Teda hlavne cena vývoja zariadení, ktoré sú nutné pre priemyselný Ethernet je veľmi priaznivá. To najmä kvôli tomu, že väčšina zariadení je podobná a vychádza z klasického Ethernetu, ktorý je používaný pre bežné počítačové siete. Preto je omnoho lacnejší samotný vývoj ako aj finálne zariadenie, ktoré je uvádzané do prevádzky. Druhým závažným faktorom je to, že Ethernet sa od svojej prvej podoby značne odlišuje.

Dnes už nie je pravdou, že Ethernet je rovnaký, ako tomu bolo pri jeho zavádzaní v štandarde 802.3. Po roku 2000 sa vyvinulo niekoľko jeho prevedení, ktoré vo veľkej miere veľmi dobre slúžia aj pri automatizácii v priemysle. To je možné predovšetkým vďaka posunu k lepšiemu v oblasti práce s dátami v reálnom čase a taktiež vďaka lepšiemu zabezpečeniu. Z toho vyplýva, že priemyselný Ethernet nie je tým istým ako kancelársky Ethernet. Ten sa skladal často z veľmi komplikovaného protokolu TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) a nevyhovujúcej topológie typu zbernica alebo strom. Pri priemyselnej variante sú však tieto problémy odstraňované a to napríklad za pomoci redundancie. Pri použití topológie hviezda, kde zapojíme všetky prepínače do redundantného fyzického kruhu, môžeme považovať takúto sieť za bezpečnú. Navyše pokiaľ sú použité správne techniky a softwarové riešenia, je možné zaistiť taktiež prenos dát v reálnom čase, o čo nám ide predovšetkým [5].

2.3 Zariadenia používané v priemyselných sieťach

Softvérové riešenie sieťových protokolov je dôležitou súčasťou siete, avšak ak by sme sa nemohli spoľahnúť na zariadenia, na ktorých je Ethernetová priemyselná sieť postavená, bezpečnosť takejto siete by bola minimálna. Základom je preto použitie zariadení prispôbených pre priemyselné použitie. To znamená, že zariadenia musia spĺňať určité požiadavky, ktoré sú na ne prirodzene kladené. Môžeme spomenúť napríklad redundanciu napájania. Tá je podstatná z toho dôvodu, že zariadenie

musí zostať funkčné aj pri výpadku alebo pri poruche jedného zo zdrojov. Časté je preto záložné napájanie riešené z akumulátorov. Zvláštnosťou nie je ani iné napájacie napätie než je v bežnom kancelárskom prostredí. Preto sa často stretávame s napájaním napríklad 24 V jednosmerných namiesto 230 V striedavých. V týchto prípadoch sú zvýšené požiadavky kladené najmä na chladenie zariadenia. Bežné je použitie zariadenia v miestach s teplotami pod bodom mrazu alebo nad 40 °C, pričom je často takmer nemožné použiť aktívne chladenie z dôvodu vysokej prašnosti prostredia. Z toho vyplýva, že zariadenia musia byť konštruované z vysoko kvalitných súčiastok a musia vykazovať čo najmenšie zahrievanie [5].

Spôsob chladenia je prispôsobovaný umiestneniu zariadenia. Ak je potrebné zariadenie umiestniť do rozvodnej skrine na takzvanú DIN lištu alebo do rack-ovej skrine, môžeme predpokladať, že zariadenie bude umiestnené v tomto dodatočnom obale a nie je nutné, aby malo tak veľkú odolnosť voči vode, prašnosti a podobne. Vtedy je možné použiť aj aktívne chladenie zariadenia a teda ochrany IP20, čo znamená, že zariadenie je odolné voči vniknutiu pevného predmetu väčšieho ako 12,5 mm. Akonáhle je zariadenie umiestnené voľne v prevádzke, je potrebné, aby bolo takéto zariadenie úplne uzavreté a bolo odolné voči vode, prachu a vlhkosti. To je zaručené splnením štandardov stupňa krytia IP67 a to znamená, že zariadenie je dokonale prachotesné a je odolné voči dočasnému ponoreniu do kvapaliny.

Pri takmer všetkých priemyselných zariadeniach je používané aj zvýšené elektromagnetické krytie. Takéto zariadenia sú potom odolné proti elektromagnetickému rušeniu a samozrejmosťou je aj ochrana proti elektromagnetickým pulzom ako EMP. Neodmysliteľná je tiež zvýšená ochrana proti prepätiam v napájaní alebo spôsobených bleskom.

Častou požiadavkou je, aby bolo možné zariadenia používať v prevádzke aj v nebezpečných prostrediach so zvýšeným rizikom výbuchu. Všetky tieto opatrenia predražia takéto zariadenie oproti zariadeniu určenému pre bežné kancelárske . Tieto úpravy sú však nevyhnutné a hardvér je ešte stále lacnejší v porovnaní s úplne novo vyvíjaným hardvérom samostatne. Takto je možné používať niektoré súčiastky ale často aj celé časti zariadení, ktoré sú vybavené navyše len o dodatočnú ochranu [5].

2.4 Prenosové médiá v priemyselných sieťach

Prvými médiami využívanými v priemyselných sieťach boli koaxiálne vodiče. Tie sa využívali najmä kvôli ich dobrej odolnosti voči elektromagnetickému rušeniu. Najväčšie zmeny v ich konštrukcii sú v ochrane. Podľa druhu použitia a podmienok sú tieto káble vybavované dodatočnými ochranami, ako napríklad zväčšená vrstva izolácie, tvrdá ochranná vrstva, ochranné opletenie a podobne. Dôležité je takisto

vylepšenie konektorov, v ktorých sú pridané ochranné vrstvy ako aj tesnenia, napomáhajúce udržiavať konektory suché a čisté v prašnom prostredí.

Aj klasická metalická krútená dvojlinka má v priemysle svoje miesto. V civilnom prostredí, kde nie je tak vysoké namáhanie, sú používané kabeláže UTP. V priemysle je tento typ káblu opäť upravený. Tienenie je pridávané väčšinou pre každý krútený pár a nakoniec aj pre celý krútený kábel. To spolu s vysokou presnosťou samotného skrutu zabezpečuje veľmi dobrú ochranu proti elektromagnetickému rušeniu. Ďalej sú potom opäť podľa typu prostredia, v ktorom budú káble uložené, chránené rôznymi vrstvami. Tie zahŕňajú vrstvy proti poškodeniu oderom, zalomením a preseknutím, a majú chemickú ochranu, ochranu pred ohňom a vysokými teplotami. Konektory sú používané podľa použitia. Je bežné, že konektor RJ45 je iba upravený rôznymi orezaniami alebo výstupkami, aby sa zabránilo pripojeniu nechcených zariadení do siete, ale tie nie je možné opäť použiť v náročných podmienkach. Do tých sú určené znova konektory s posilneným krytím, ktoré zabráňujú prenikaniu prachu, vlhkosti a navyše vystužujú konštrukciu konektora. Často používané sú rôzne skrutkovacie upevnenia konektorov, ktoré pomáhajú lepšiemu tesneniu, zvýšenej tuhosti a zabráňujú náhodnému vytrhnutiu z prístroja.

Optické vlákna sú v priemysle veľmi žiadané. Využívajú sa vo veľkej miere pre spoje na veľké vzdialenosti, ale už aj na krátke spoje. To je zapríčinené šírkou pásma a teda množstvom prenášaných dát, ktoré je možné takýmto vláknom posilať, ale taktiež je to z toho dôvodu, že na optické vlákna nevyplýva elektromagnetické rušenie. Používajú sa vlákna z kremičitého skla, ale aj plastové POF (Polymer Optical Fibre) vlákna. Samotné vlákno môže, ale nemusí byť chránené viac ako je tomu pri ich použití mimo priemyslu. Bežné je, že vlákna sa používajú štandardné a vylepšené bývajú trubičky, v ktorých sú samotné vlákna uložené. Tie sú často hrubšie a rovnako ako metalické káble sú vybavené dodatočnou ochranou.

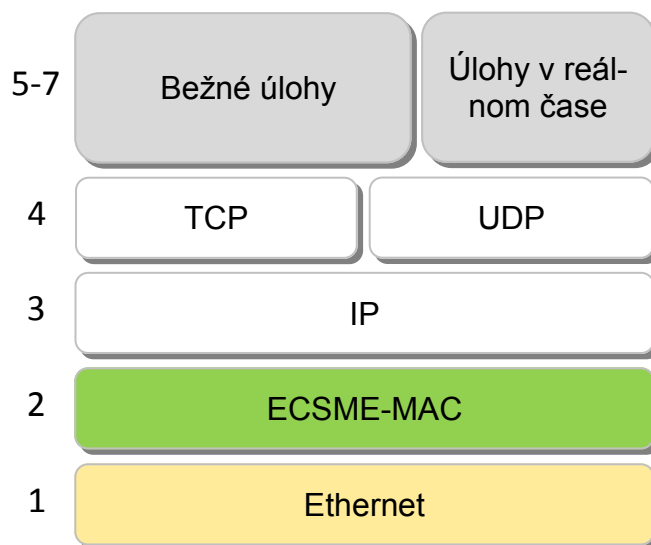
Konektory optických vlákien sú rôzne. Oproti ich štandardným vyhotoveniam sa odlišujú hlavne zvýšeným počtom tesnení a viacnásobným prekrytím konca vlákna, ak konektor nie je pripojený. To zabezpečuje zvýšenú odolnosť voči prachu či vode a to nielen v zapojenom, ale aj v rozpojenom stave. Avšak optické vlákna nemusia byť uložené iba v trubičkách alebo mikrotrubičkách. Pomerne bežné je aj vyhotovenie vo forme kábla, kde je často združených niekoľko optických vlákien. Ochrana takéhoto kábla je znova zosilnená, aby odolala a ochránila kábel pred poškodením v prostredí, v ktorom je nasadený. Dôležité ale je, aby sme nezabúdali na to, že pokiaľ chceme vytvoriť napríklad redundanciu v sieti, nie je najvhodnejšie použiť pre oba smery jeden kábel. To hlavne preto, že ak by bol takýto kábel prerušený napríklad pri výkopových prácach, je veľmi pravdepodobné, že budú poškodené viaceré vlákna a teda sieť, ktorá by mala takto riešené redundantné linky by nebola dostatočne chránená proti ich poškodeniu [5].

2.5 Štandardy priemyselného Ethernetu

Priemyselný Ethernet sa vyvíjal od roku 1985 a vzhľadom na to, že bol a stále je vyvíjaný rôznymi spoločnosťami, poznáme viaceré štandardy priemyselného Ethernetu. V tejto časti práce spomeniem iba niekoľko z nich a to hlavne tie, ktoré sú najpoužívanéjšie alebo zaujímavé riešením problémov v priemyselnej sieti.

2.5.1 EPA

EPA (Ethernet for Plant Automation) je produktom spoločnosti Sulfo. Tento systém bol vyvíjaný tak, aby podporoval deterministickú komunikáciu a na to využíva prioritné časové sloty. To je zaistené rozšírením spojenej vrstvy, tak ako zobrazené na obrázku 2.1. Proces prenášania dát v reálnom čase je možný v presne definovaných cykloch, opakujúcich sa v prenosových slotoch, pričom asynchrónny dátový prenos sa prenáša naďalej ako pri štandardnom Ethernete. Pre takéto fungovanie je potrebné, aby boli v systéme distribuované hodiny reálneho času [9].

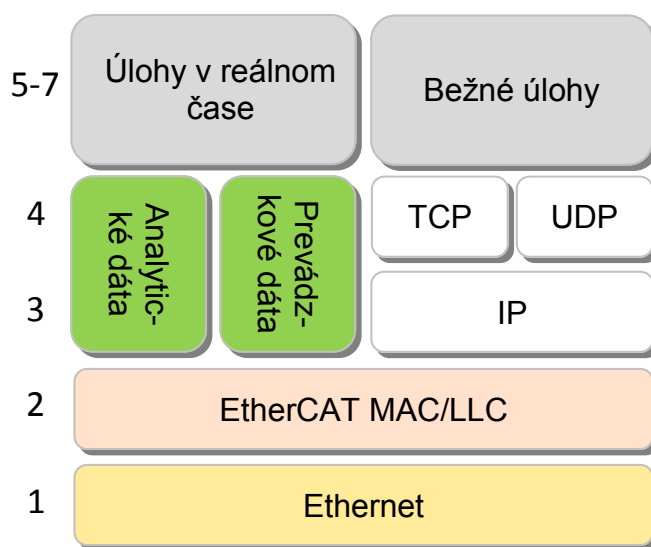


Obr. 2.1: Komunikačný model EPA.

2.5.2 EtherCat

EtherCat je zaujímavou a výkonnou zbernicou fungujúcou na báze Ethernetu. Jej rýchlosť je zaistená tým, že dáta sú v jednotlivých zariadeniach spracovávané prakticky až po tom, ako sa odošlú. Fyzicky sú všetky zariadenia v takejto sieti vybavené vždy dvojicou portov. Jeden slúži na prijímanie, pričom na druhom porte sa v tej

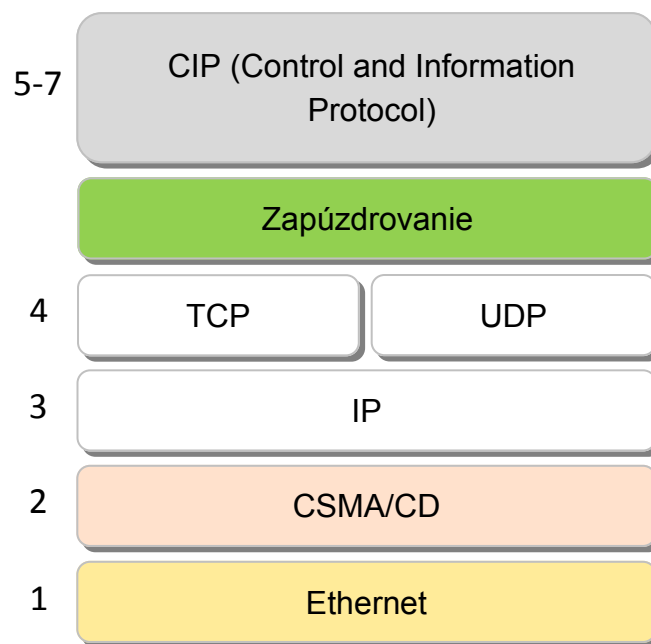
istej chvíli dané dáta odosielať. Dáta cez zariadenia iba prechádzajú. Rovnako sa vkladajú dáta do rámca. Všetky operácie sú robené pri priechode rámca. Zaisťuje sa tak, že oneskorenie na prvku je len niekoľko nanosekúnd a tak je táto sieť veľmi dobre vybavená pre prenos informácií v reálnom čase. Sieť má topológiu logického kruhu a dáta sú v nej delené a prenášané na základe priorít. Zároveň je však zachovaná plná kompatibilita s Ethernetom a protokolom IP, pričom je ale EtherCat tak výkonný, že je pomocou neho možné ovládať bezpečnostné systémy alebo pohony strojov. Model tohoto systému je na obrázku 2.2, [9] [11].



Obr. 2.2: Komunikačný model EtherCAT.

2.5.3 EtherNet/IP

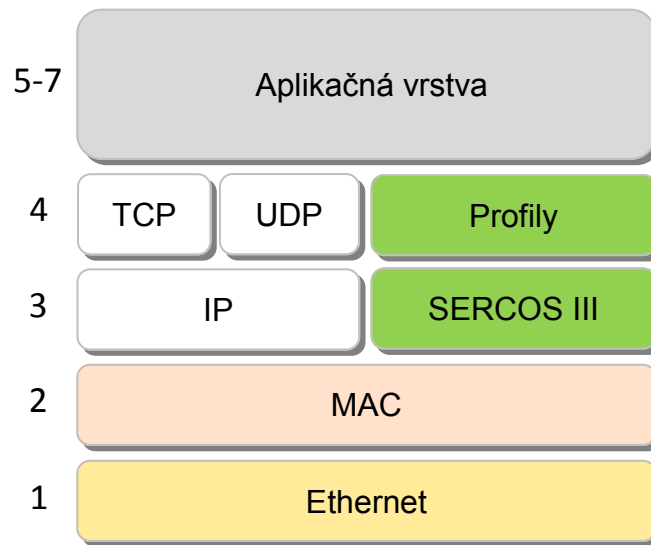
EtherNet/IP funguje na báze Ethernetu s prenosom dát prostredníctvom TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Datagram Protocol). Zmeny, ktoré v protokole nastali, sú v aplikačnej vrstve modelu. Tam nájdeme CIP (Control and Information Protocol), ktorý bol pôvodne vyvinutý pre siete DeviceNet a ControlNet. V tomto protokole sú časovo kritické dáta odosielané pomocou UDP. Ostatné dáta sú následne posielané cez TCP pomocou bežných protokolov ako HTTP (Hypertext Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol) a podobne. EtherNet/IP sa spolieha na knižnicu profilov, ktoré boli vytvorené už pre spomínanú sieť DeviceNet. Ďalej je systém rozširovaný o bezpečnostné mechanizmy a mechanizmy starajúce sa o dáta prenášané v reálnom čase. Bezpečnosťou sa zaoberá napríklad CIPsafety a rozšírenie zaisťujúce distribuovanie reálneho času CIPsync. Model EtherNet/IP môžeme vidieť na obrázku 2.3, [9] [11].



Obr. 2.3: Komunikačný model EtherNet/IP.

2.5.4 SERCOS III

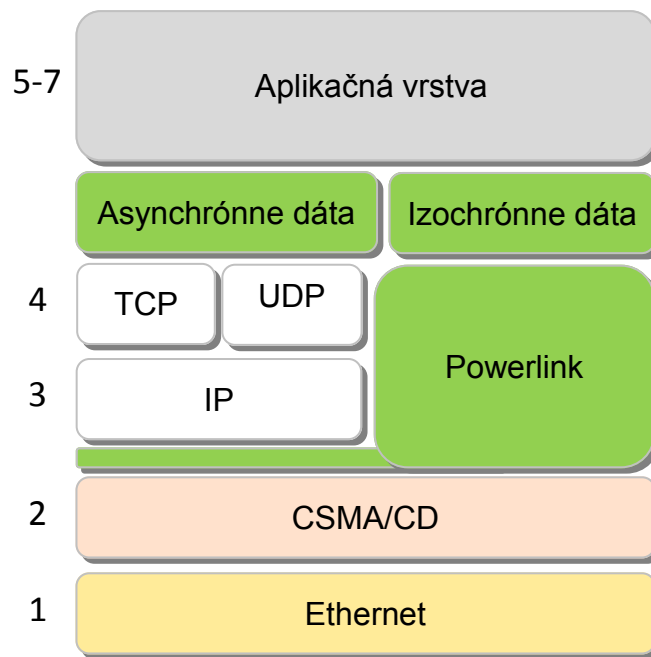
SERCOS bol vyvíjaný v priebehu 80-tych rokov konzorciom ZVEI, ku ktorému sa v roku 1990 pripojila organizácia IGS. SERCOS II je veľmi populárnou priemyselnou komunikačnou zbernicou. SERCOS III je prispôbeným priemyselným Ethernetom, ktorý vychádza zo svojho predchodcu verzie II. Rovnako ako jeho predchodca zabezpečuje aj SERCOS III dobré vlastnosti pri práci s dátami v reálnom čase. To je možné pomocou softvérového obídenia TCP/IP a UDP/IP. SERCOS III používa prioritné sloty spolu s hardvérovou synchronizáciou, ktorá pracuje na princípe distribúcie reálneho času. Softvérový bypass je zrejmý z obrázku 2.4, [9].



Obr. 2.4: Komunikačný model SERCOS III.

2.5.5 Ethernet Powerlink

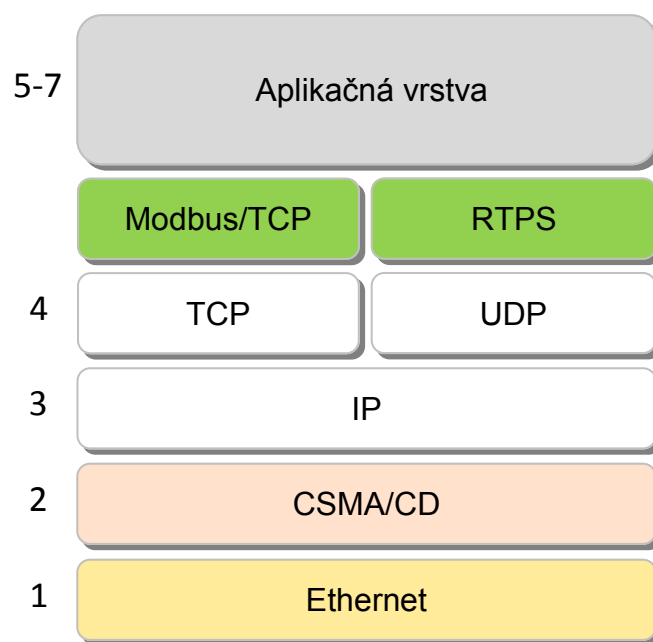
Ethernet Powerlink je dielom spoločnosti Bernecker and Rainer a je veľmi obľúbeným a podporovaným u európskych výrobcov automatizačných zariadení. Vďaka tomu ide o jeden z najrozšírenejších štandardov v priemyselnom Ethernete. Ethernet Powerlink dosahuje veľmi dobré parametre reálneho času a to aj napriek tomu, že protokol je postavený nad štandardným Ethernetom. To je dosiahnuté tak, že iba asynchrónne dáta sú prenášané pomocou TCP/IP alebo UDP/IP a všetky dáta, ktoré vyžadujú čo najnižšie oneskorenie sú prenášané pomocou protokolu Powerlink. Tento model môžeme vidieť na obrázku 2.5. Systém Powerlink je riadený pomocou metódy Slot Communication Network Management. Každá stanica môže vysielat iba v presne definovaný čas a k médiu má prístup vždy práve iba jedna stanica. To znamená, že v systéme nedochádza ku kolíziám, čo zabezpečuje veľmi nízke oneskorenie a možnosť komunikácie v reálnom čase [9] [10].



Obr. 2.5: Komunikačný model Ethernet Powerlink.

2.5.6 Modbus-RTPS

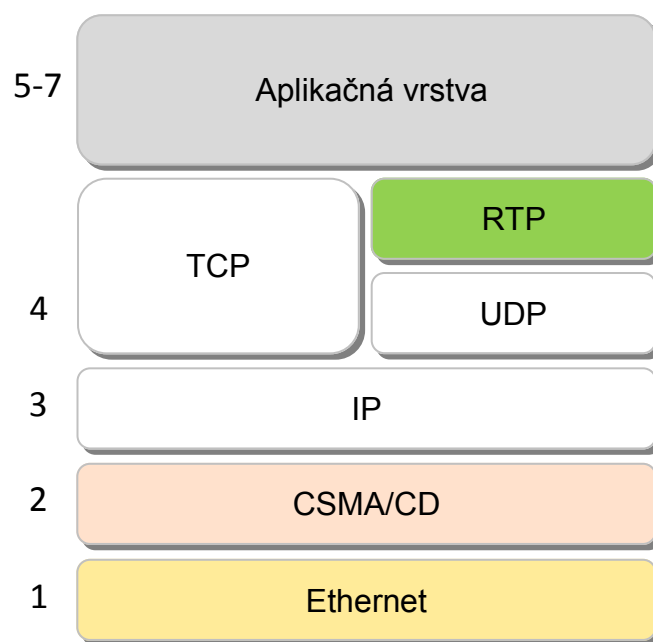
Modbus-RTPS je vylepšenou variantou protokolu Modbus/TCP. Jeho verzia RTPS (Real-Time Publish Subscribe) prináša zlepšenú podporu real-time operácií. Samotný Modbus protokol je veľmi úspešným na poli automatizácie, ako aj jeho vylepšená verzia RTPS. Datagram komunikačného systému Modbus je vo svojej podstate TCP/IP rámec, nad ktorým sa nachádza Modbus/TCP a RTPS. V Modbus rámci nájdeme adresu cieľovej stanice, kód operácie, dáta a kontrolný súčet. To sa líši pri Modbus/TCP, kde kontrolný súčet nie je nutný, lebo je zabezpečovaný v nižších vrstvách. Kód operácie je nutný na to, aby cieľové zariadenie vedelo, čo má s dátami urobiť. Kvôli potrebe prenášania týchto kódov je potrebné, aby zariadenie obsahovalo profil s týmito kódmi. Keďže je ale Modbus veľmi obľúbený, existuje veľké množstvo profilov, ktoré sú k dispozícii a nie je problém nájsť ten vhodný. Modbus-RTPS využíva to, že v Ethernete sa objavuje podpora rozšírenia IEC/PAS, ktorá dovoľuje komunikáciu spôsobom publish-subscribe. Možné je takto prenášať dáta cez UDP [9].



Obr. 2.6: Komunikačný model Modbus-RTPS.

2.5.7 Vnet/IP

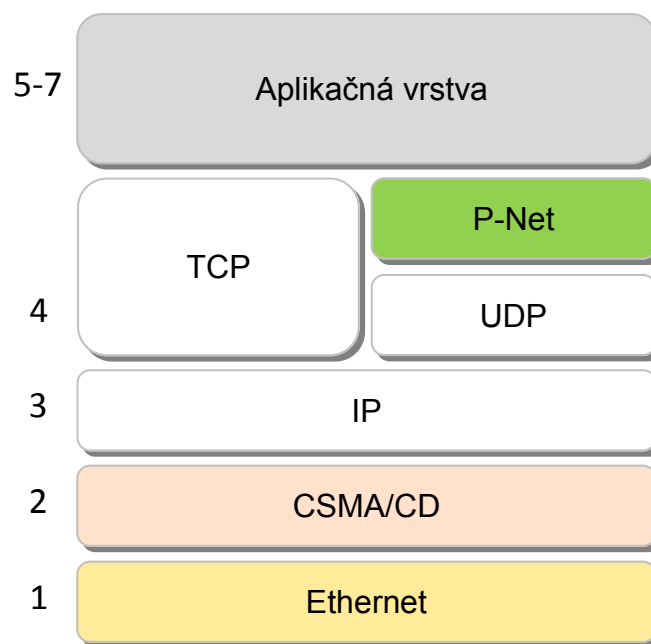
Vnet/IP je dielom firmy Yokogawa. Systém Vnet/IP používa pre dátové služby vykonávané v reálnom čase kanál UDP/IP. Okrem UDP je v systéme obsiahnutý modul RTP (Real-Time and Reliable Datagram Protocol). Tieto dve technológie použité spolu s prioritnými slotmi dokážu zaistiť odozvu v jednotkách milisekúnd. To znamená, že systém Vnet/IP je vhodný pre použitie pri riadení technologických procesov. Zároveň si však Vnet/IP zachováva možnosť prenosu štandardných dát ako napríklad HTTP, FTP, ICMP (Internet Control Message Protocol) a podobne. Tieto dáta sú prenášané štandardnou cestou cez TCP/IP. Vnet/IP si zároveň prináša jednu veľkú výhodu a to, že podporuje pripojenie iných priemyselných sietí ako napríklad Modbus/TCP alebo DeviceNet. Systém Vnet/IP je zabezpečený redundanciou siete, čo zvyšuje jeho spoľahlivosť. Komunikačný model systému Vnet/IP je na obrázku 2.7, [9].



Obr. 2.7: Komunikačný model Vnet/IP.

2.5.8 P-net on IP

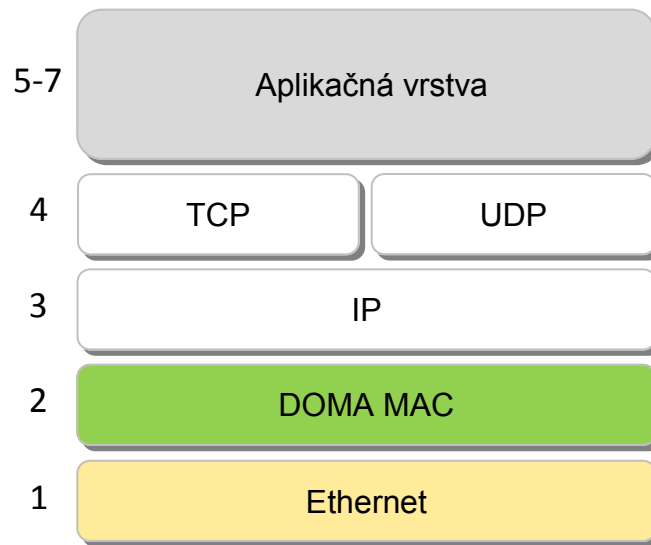
P-net je obľúbený priemyselný protokol používaný už mnoho rokov. P-net on IP bol vyvinutý pre adaptovanie P-net protokolu pri použití na IP sieti. Model protokolu P-net on IP môžeme vidieť na obrázku 2.8. Ako z neho vyplýva, pre dáta vyžadujúce nízke oneskorenie je používané P-Net zabalené v UDP/IP rámci. V tejto sieti sa spája adresovací priestor IP so systémom P-net. To znamená, že pokiaľ sú prenášané akékoľvek časovo citlivé dáta, je možné ich prenášať cez IP sieť presne rovnakým spôsobom, ako keby išlo o obyčajnú priemyselnú sieť P-net [9].



Obr. 2.8: Komunikačný model P-net on IP.

2.5.9 TCnet

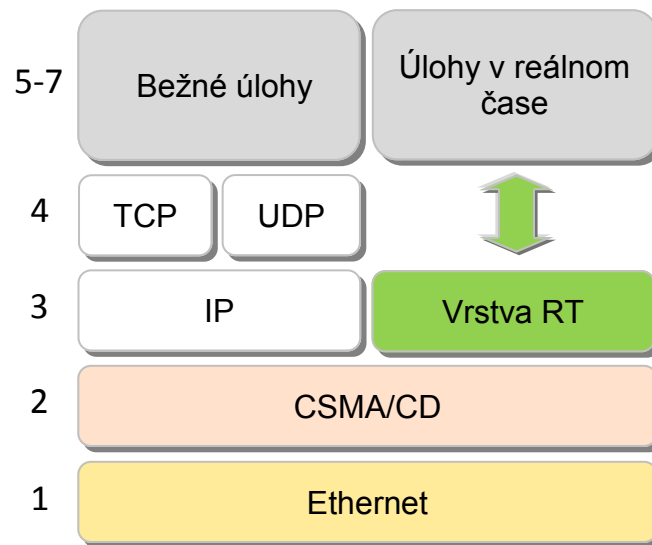
TCnet je japonský priemyselný Ethernet vyvinutý firmou Toshiba. Funguje na princípe cyklického odosielania a prijmu časovo kritických dát a potom štandardných správ. Dosiahnuté to je zmenou štandardnej druhej MAC (Media Access Control) vrstvy modelu za ich vlastnú s názvom DOMA MAC (Deterministic Ordered Multiple Access). Model systému TCnet je na obrázku 2.9 Pomocou DOMA MAC sa zabráňuje kolíziám, čo znamená, že v sieti sa toľko nemrhá prenosovým časom, čím sa zrýchľuje sieť a znižuje doba odozvy. Prispôsobenie siete je ďalej možné pomocou zmeny doby trvania cyklického odosielania dát. To je možné nastaviť v troch úrovniach od malej po vysokú rýchlosť. Navyše sú v aplikačnej vrstve do spoločnej pamäte, ktorá je distribuovaná do celej siete uložené užívateľské programy, ktoré bežia na všetkých zariadeniach v sieti. To znamená, že každé zariadenie v sieti vie o tom ďalšom a o jeho nárokoch na sieť, čo napomáha lepšej optimalizácii siete [9].



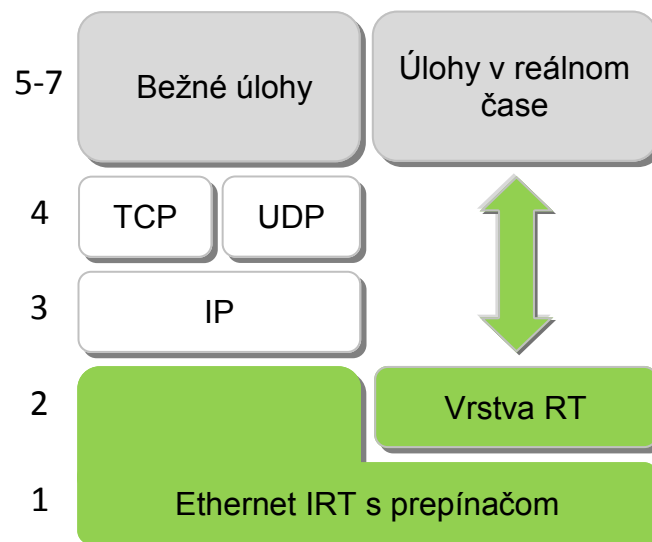
Obr. 2.9: Komunikačný model TCnet.

2.5.10 Profinet

Profinet bol vyvinutý v roku 2002 organizáciou PNO (Profibus Nutzerorganisation) a existuje v niekoľkých verziách. Na obrázku 2.10 je vo verzii 2 označovanej ako Profinet IO. V tomto štandarde sú štandardné časovo nenáročné dáta prenášané pomocou TCP/IP alebo UDP/IP. Spolu s týmito protokolmi je v modeli Profinet obsiahnutý protokol RT. Ten softvérovou cestou obchádza protokoly TCP a UDP spolu s IP protokolom a dokáže tak znížiť oneskorenie pre úlohy, ktoré musia byť obslužené v reálnom čase. Na obrázku 2.11 je vyobrazená tretia verzia tohoto Profinetu, nazývaná Profinet IRT. V tejto verzii sú vkladané ešte väčšie nároky na dodržiavanie práce v reálnom čase. Určený je hlavne pre náročné operácie ako napríklad riadenie pohonov obrábacích strojov, kde sú kladené vysoké nároky na dobu odozvy a synchronizáciu. Preto je táto verzia odlišná tým, že vrstva RT je posunutá o úroveň nižšie a Ethernet samotný je pozmenený a má pridané IRT súčasti, ktoré zabezpečujú lepšie vlastnosti pri prenosoch časovo kritických dát. Okrem toho je možné do siete Profinet pridať bezpečnostné mechanizmy ako napríklad Profisafe, ktoré zlepšujú zabezpečenie tohoto systému [9] [10].



Obr. 2.10: Komunikačný model Profinet IO.



Obr. 2.11: Komunikačný model Profinet IRT.

3 TOPOLÓGIA PRIEMYSELNÝCH SIETÍ

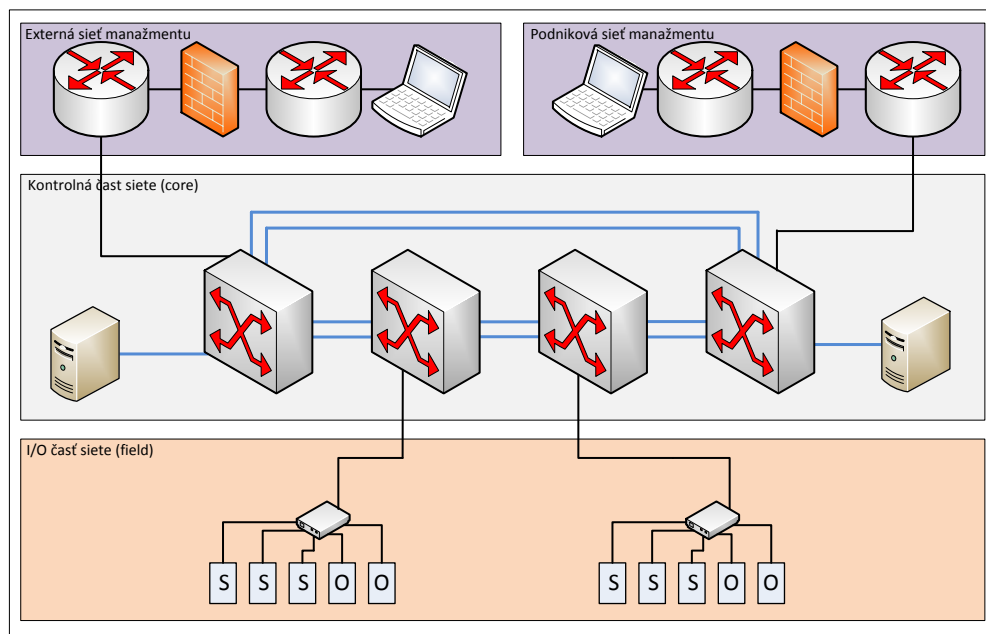
Ako som sa už zmienil, najdôležitejšie vlastnosti, ktoré sú vyžadované od priemyselných sietí, je ich bezpečnosť, rýchlosť a možnosť prenosov v reálnom čase. V tejto časti sa zameriam predovšetkým na bezpečnosť priemyselných sietí a to z pohľadu ich topológie. Modelovou situáciou, na ktorej bude vysvetlené umiestnenie jednotlivých prvkov bude jadrová elektráreň. Jadrovú elektráreň som vybral preto, že v týchto zariadeniach je bezpečnosť ovládaných prvkov a teda celej priemyselnej siete asi najpodstatnejším kritériom pri výstavbe takejto siete, ale zároveň sa nesmie zabúdať ani na dobré vlastnosti reálneho času, ktoré musí systém spĺňať, aby dokázal riadiť niekoľko reaktorov presne s čo najmenšími odchýlkami [5].

3.1 Vrstvy priemyselnej siete

Priemyselnú sieť môžeme rozdeliť niekoľkými spôsobmi. Asi najčastejšie sa stretávame s rozdelením na časť s reálnym časom a na bežnú dátovú komunikáciu. Z pohľadu fyzického rozmiestnenia zariadení a topológie je však dôležitejšie rozdelenie do vrstiev, podobne ako je tomu u poskytovateľov internetového pripojenia. Tu sa stretávame najčastejšie s delením na prístupovú (access) vrstvu, centrálnu spojovaciu vrstvu (core) a vrstvu manažmentu (management).

Podobný spôsob členenia vrstiev sa používa aj v priemyselných sieťach. Tu začíname od najnižšej prístupovej I/O vrstvy zariadení (field), kde sa nachádzajú jednotlivé ovládané zariadenia a ich rozhrania, ale aj meracie zariadenia. Pomocou týchto zariadení sme schopný ovládať prietok chladiacej kvapaliny, otvárať vráta, priepuste a podobne. Druhou vrstvou v systéme je kontrolná časť (core). Táto časť siete by sa dala prirovnať ku core vrstve v klasických sieťach. V priemyselnom merítku je však viac zabezpečovaná. Poslednou vrstvou je informačná vrstva alebo vrstva manažmentu siete (managment). Z tejto siete nám väčšinou prichádzajú povelý a zmeny v sieti, zmeny nastavení a podobne. Takéto jednoduché rozdelenie siete môžete vidieť na obrázku 3.1, [12].

Pri aplikácii tohto modelu na našu elektráreň môžeme predpokladať, že priemyselná sieť pre jej riadenie bude mať veľmi podobnú topológiu. Z obrázku taktiež vyplýva, že prepínače sú zapojené v topológii fyzického kruhu. To však neochráni sieť pred problémami, pokiaľ uložíme obe optické vlákna na rovnaké miesto alebo dokonca použijeme jeden viacvláknový kábel. Pri poruche spôsobenej fyzickým zásahom do siete kvôli výbuchu, otrasom alebo poškodení ťažkou technikou by takáto redundancia vôbec nepomohla. Preto je nutné dbať na to, aby boli jednotlivé linky od seba oddelované a bola malá šanca ich súčasných porúch. Záloha zariadení je



Obr. 3.1: Zjednodušený model priemyselnej siete.

takisto veľmi dôležitá. Je možné vytvoriť dva fyzické kruhy, čo opäť zvyšuje úroveň zabezpečenia siete. Rovnako sa však zálohujú aj koncové I/O zariadenia. To znamená, že napríklad teplota nie je meraná jedným senzorom, ale hneď niekoľkými, čo jednak uľahčuje kalibráciu a hlavne zvyšuje bezpečnosť.

4 ZVYŠOVANIE KAPACITY PRENOSOVÉHO MÉDIA

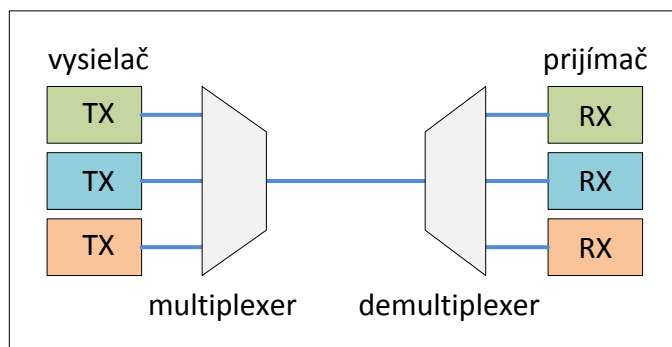
Je pomerne bežné, že pri pokladaní optických vlákien sa predpokladá, že ich počet je dostatočný. Avšak s pribúdajúcim časom a zväčšujúcou sa sieťou, prípadne zvyšovaním kvality služieb a tým aj množstva prenesených dát, stávajúce linky už nedokážu pojať tak veľké množstvá dát ako by sme potrebovali. Jednoduchým riešením býva pridanie ďalších liniek, avšak výkopové práce zväčša bývajú príliš drahé, zdĺhavé a navyše nie vždy sú možné. Dôležité však je uvedomiť si, že optické vlákno vlastne dokáže preniesť dostatočné množstvo dát, problémom je ale elektronika, ktorá tieto dáta vysiela a prijíma. Vzniká nám teda problém, pretože máme dostatočne kvalitné prenosové médium, ale nie je možné ním preniesť dostatočné množstvo informácií. Keďže tento problém bol v minulosti už niekoľko krát riešený ako pri metalických médiách tak aj pri bezdrôtovej komunikácii, nemuseli sme ísť po nápad príliš ďaleko. Približne od prvej polovice 20-teho storočia je známe a v rádiovkej komunikácii používané frekvenčné delenie kanálov, inak nazývané frekvenčný multiplex. Ten funguje na princípe, že dáta sú prenášané v rôznych frekvenčných kanáloch s definovanou šírkou pásma. Vďaka tomu môžu dve dvojice staníc pracovať na jednom prenosovom médiu bez toho, aby sa navzájom rušili a blokovali. V optike je situácia veľmi podobná, až na ten rozdiel, že zmena frekvencie je nahradená zmenou vlnovej dĺžky svetla. To znamená, že ak do jedného vlákna nasvietime dve rôzne vlnové dĺžky svetla, tak na druhom konci vlákna ich vieme opäť detekovať a oddeliť ich. Pomocou tejto techniky vieme dosiahnuť zvýšenie prenosovej rýchlosti [2].

4.1 Typy multiplexov

4.1.1 WDM

WDM (Wavelength-Division Multiplex) je technológia, ktorá používa zlučovanie svetelných lúčov s odlišnými vlnovými dĺžkami pre prenos väčšieho množstva informácií po jednom optickom vlákne tak, ako je vyobrazené na obrázku 4.1. Pre odosielanie a následne aj prijímanie sa používajú multiplexer a demultiplexer, a pokiaľ je použitý správny typ vlákna, je možné prenášať takýmto spôsobom aj obojsmerne. Prvé WDM systémy boli schopné preniesť naraz iba dva signály, avšak dnes je možné prenášať až stovky rôznych signálov súčasne. Práve to je dôvodom prečo sa multiplexery stali veľmi obľúbené v telekomunikáciách. Dovoľujú totiž navýšiť prenosovú rýchlosť iba pomocou ich výmeny. Väčšina týchto multiplexerov je aplikovaná na jednovidové vlákna, avšak je možné aj použitie na mnohovidových vláknach. Ako zdroj svetla

je najčastejšie používaný laser, ktorý má dostatočne úzke spektrum vyžarovaného svetla. Tieto laserové lúče sú následne pomocou optického multiplexeru nasvietené do jedného optického vlákna. Na konci takéhoto vlákna sa nachádza demultiplexer, ktorý signál rozdeľuje na jednotlivé lúče a posiela ich ďalej k jednotlivým prijímačom. Dôležité je, že demultiplexer musí mať dostatočnú selektivitu, aby bolo možné svetlo demultiplexovať a správne rozpoznať posielané dáta [2].



Obr. 4.1: Zjednodušený model WDM.

4.1.2 CWDM

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) je jednoduchší a lacnejší z WDM systémov. Pre CWDM sú štandardizované vlnové dĺžky od 1271 nm do 1611 nm. V tomto pásme sú potom jednotlivé signály delené s odstupom 20 nm. Pri použití tohoto typu multiplexeru sa vždy musí zvažovať vlákno, na ktorom bude nasadený. Niektoré staršie vlákna totiž nedovoľujú prenos na pásme pod 1470 nm. Tento problém sa neobjavuje pri novších vláknach, kde sa nenachádza útlmová špička spôsobená obsahom hydroxidu vody (OH) v materiáli vlákna. Vďaka tomu je možné, aby sa vysielalo vo všetkých 18-tich kanáloch CWDM multiplexu.

Typickou charakteristikou CWDM je, že v nich nie je možné použiť EDFA (Erbium Doped Fibre Amplifier) zosilňovač. To je spôsobené neštandardným odstupom jednotlivých kanálov. Toto obmedzuje použitie CWDM na siete na metropolitnej úrovni. To znamená, že štandardný dosah takýchto sietí býva okolo 60 km.

Toto obmedzenie v podobe zmenšeného dosahu siete a zmenšenej presnosti stabilizácie optickej frekvencie sa však odráža v znižovaní ceny CWDM, ktorá sa blíži cenám štandardných optických komponentov bez WDM multiplexu. Znamená to, že CWDM je vhodná pre nasadenie v oblasti káblovej televízie ako aj širokopásmového internetu. Možno je to práve kvôli tomu, že pri použití jedného vlákna na prijímanie aj odosielanie dát je možné použiť vlnové dĺžky, ktoré sú od seba navzájom

dostatočne vzdialené. Za predpokladu vhodného zvolenia vlnových dĺžok a použitia konvertorov je tak možné vylepšiť už existujúcu sieť a zvýšiť tak jej prenosovú rýchlosť. To všetko za predpokladu použitia relatívne lacných pasívnych optických multiplexerov.

CWDM je vďaka tomu implementované ako pasívna sieť za použitia komponentov ako sú optické pásmové priepuste a hranoly. S CWDM sieťami sa často môžeme stretnúť aj ako so systémom pre zavádzanie vlákien priamo do domu (FTTx - Fiber to the x) [1] [2].

4.1.3 DWDM

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) zastáva medzi WDM multiplexmi rolu zložitejšieho a výkonnejšieho z multiplexov. Pôvodne navrhovaný bol DWDM pre prenos v pásme 1525 - 1565 nm alebo 1570 - 1610 nm. Toto sú pásma, v ktorých fungujú bežné EDFA zosilňovače. To je veľkou výhodou, preto že EDFA zosilňovače tak zvyšujú dosah multiplexovanej siete a zároveň, pokiaľ takéto zosilňovače na pôvodnej trase boli, nie je ich treba vymieňať. Možné je to z toho dôvodu, že EDFA zosilňovače dokážu zosilniť akýkoľvek optický signál, pokiaľ sa nachádza v ich pracovnom pásme. Keďže DWDM musí pracovať v užšom pásme, znamená to že jednotlivé optické signály musia byť od seba vzdialené na kratšiu vzdialenosť. Dnešné DWDM systémy bežne používajú 50 GHz alebo 25 GHz rozostupy. To znamená že dva kanály od seba môžu byť vzdialené iba približne 0,2 nm. Výsledkom je však aj fakt, že DWDM systémy musia vedieť dokonale udržať presne nastavenú vlnovú dĺžku. Ak by sa tak nestalo, výsledkom by bolo miešanie jednotlivých kanálov. Zvýšené nároky na stabilitu vlnovej dĺžky zdroja sa tak premietnu do vysokej ceny takéhoto systému. Preto môžeme DWDM najčastejšie nájsť na chrbtových linkách, kde je ich cena prijateľnou vzhľadom na dobré vlastnosti DWDM. Posledné trendy v DWDM sa však menia použitím softvérovo laditeľných prijímačov a vysielačov. Pri ich použití je možné nastaviť ich vysielač a prijímaciu vlnovú dĺžku. To je veľmi vhodné, pretože nie je nutné odstavovať celý systém iba kvôli tomu, aby sa spravila zmena vo vlnovej dĺžke jedného kanálu. Túto zmenu je možné spraviť za chodu a bez fyzickej výmeny zariadenia. V konečnom dôsledku je potom takéto riešenie lacnejšie ako nákup nových vysielačov a prijímačov kariet [1].

4.2 Zariadenia pre multiplexovanie

Samozrejmosťou pri akomkoľvek multiplexovanom systéme je použitie multiplexeru a demultiplexeru. V dnešnej dobe sa však stále častejšie stretávame s obojsmerným prenosom po jednom vlákne. To znamená, že na oboch stranách vlákna potrebujeme

súčasne vysielateľ aj prijímač. Toto zariadenie sa nazýva transceiver. Názov transceiver vznikol ako spojenie dvoch anglických výrazov transmitter, čo znamená vysielateľ a receiver, čo je prijímač. Ďalšou časťou problému je, že sa nemôžeme zameriavať len na samotné multiplexovanie, ale systému musia byť prispôsobené aj všetky zariadenia na trase. To znamená jednotlivé zosilňovače a podobne [1].

4.2.1 Multiplexer

Multiplexer je zariadenie, ktoré zlučuje niekoľko signálov z rôznych liniek a vysielá ich pomocou jedného vlákna ďalej do siete. Multiplexer sa skladá z aktívnej a pasívnej časti. Ich aktívna časť zabezpečuje, že sa optický signál prijme na vstupe, premení sa na elektrický a znovu najčastejšie pomocou laseru odošle optickým vysielateľom na danej vlnovej dĺžke. Pasívna časť multiplexeru je optický multiplexer, kde sa signály s rôznymi vlnovými dĺžkami skombinujú a sú odosielané ďalej do siete [1] [2].

4.2.2 Demultiplexer

Demultiplexer zabezpečuje rozdelenie signálov na druhej strane linky. Časté je používanie čiste pasívneho demultiplexeru, čo znamená, že sa jedná iba o pasívny optický prvok, ktorý iba oddelí jednotlivé vlnové dĺžky. Zvyčajne nie je potrebné prevádzať signály na ich pôvodné vlnové dĺžky ktoré mali pred multiplexovaním, a to z toho dôvodu, že polovodičové prvky, ktoré sú používané na detekciu svetla vo vlákne majú zväčša široké spektrum citlivosti a tak vedia detekovať aj signály s odlišnými vlnovými dĺžkami. Dnes sa však často stretávame aj s demultiplexermi, kde je za optickú pasívnu časť vložený O/E/O (optický/elektrický/optický) člen, ktorý prijme optický signál, skontroluje ho, pričom môže navyše podporovať korekciu chýb. Následne ho znova odošle optickým vysielateľom [1].

4.2.3 Transceiver

Transceiver je zložením vysielateľa a prijímateľa, čo vo WDM znamená spojenie multiplexera a demultiplexera. Zaisťuje sa pomocou nich obojsmerná duplexná komunikácia, ktorá môže a nemusí prebiehať na jednom vlákne [1].

4.2.4 Priebežný linkový zosilňovač

Tieto zosilňovače sa používajú väčšinou priebežne približne každých 80 až 100 km, aby sa kompenzovala strata signálu na vlákne. Priebežné zosilňovače vo WDM sys-

témoch sú zväčša EDFA zosilňovače. Tie dokážu zosilňovať signály s viacerými vlnovými dĺžkami [1].

4.2.5 Pribežný optický linkový terminál

Priebežný optický terminál je spojením zosilňovača, multiplexera a demultiplexera. V zahraničnej literatúre je označovaný ako OADM (Optical Add Drop Multiplexer), čo v preklade znamená optický pridávajúci a odoberajúci multiplexer. Používaný je pri správe sietí a to znamená, že sú pomocou neho pridávané telemetrické dáta a podobne. Častým je však použitie na priebežné pridávanie a odoberanie signálov v telekomunikačných sieťach a zmeniť tak jednoduchý spoj bod - bod napríklad na bod - multibod [1].

4.2.6 OSC

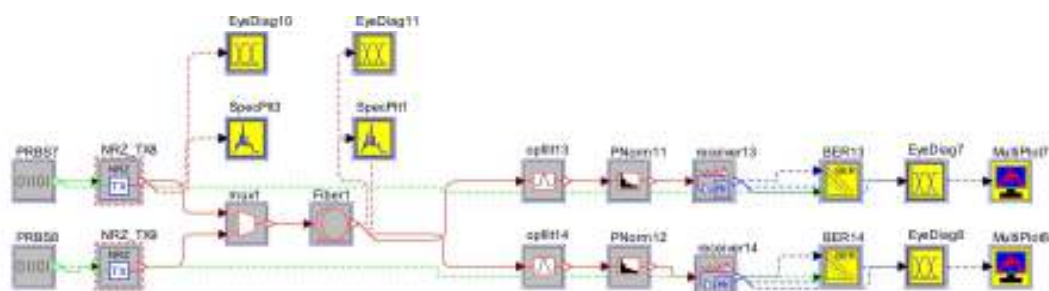
OSC (Optical Supervisory Channel) znamená optický kanál dohľadu. Tento kanál je najčastejšie prenášaný na vlnovej dĺžke 1510 nm, 1620 nm alebo 1310 nm. To znamená, že je zväčša mimo štandardných vlnových dĺžok a tak nebýva zosilňovaný pomocou napríklad EDFA zosilňovačov. Slúži pre dohľad nad sieťou a sú ním prenášané dáta manažmentu siete ako napríklad informácie o multiplexe, parametre siete a podobne. Zvyčajne je tento kanál využívaný aj na prenos informácií nutných pre vzdialenú správu zariadení a softvérové aktualizácie zariadení. Tento kanál sa používa iba vo vnútri multiplexovanej siete a nešíri sa ďalej smerom ku klientovi [1].

5 SIMULÁCIE

5.1 Zapojenie a parametre

5.1.1 Zapojenie merania WDM

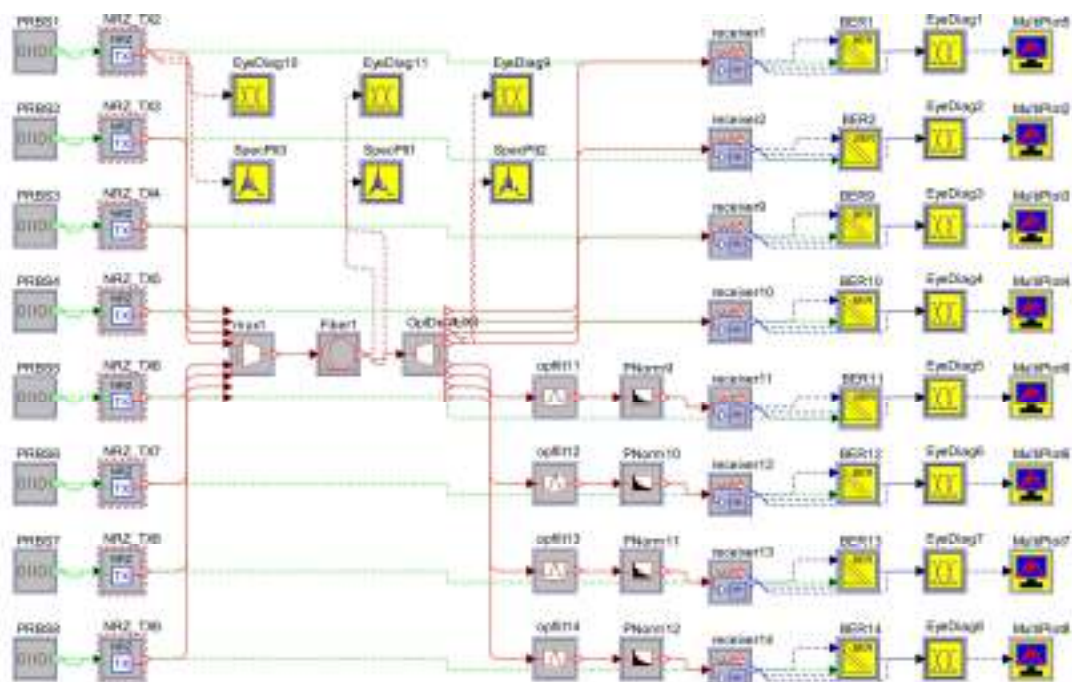
Prvé zapojenie, ktoré je na obrázku 5.1 je zapojenie jednoduchého WDM, ktoré pozostáva iba z dvoch vysielačov na vlnových dĺžkach 1330 nm a 1551 nm a dvoch prijímačov. Vysielače majú ako zdroj dát generátor NRZ (Non Return To Zero) signálu, ktorý vysiela 10 Gb/s. Tento systém nie je vybavený multiplexom, ktorý by oddelil signály. Keďže foto-detektor samotný nedokáže odlíšiť jednotlivé vlnové dĺžky, je nutné, aby bol pred ním umiestnený filter, ktorý prepúšťa danú vlnovú dĺžku. Z dôvodu poklesu úrovne signálu je za filtrom umiestnený aj zosilňovač. Pri meraní signálu nás najviac zaujíma vyobrazenie oka. Druhý meraný parameter je spektrum signálu na vlákne. V zapojení je použité štandardné vlákno zo skupiny G.654 s dĺžkou 40 km.



Obr. 5.1: Schéma zapojenia prvého merania, WDM.

5.1.2 Zapojenie merania CWDM

Pri druhom meraní som použil niekoľko zmien. Pre funkciu CWDM je potrebné pridať demultiplexer a ten spolu s multiplexerom vhodne nastaviť. Používal som 8 rôznych vlnových dĺžok, pričom prvá bola 1300 nm a rozostup medzi kanálmi je 20 nm. Prvé 4 prijímače sú pripojené priamo za demultiplexer. Ostatné sú potom vybavené predradeným filtrom a zosilňovačom, čo zabezpečuje lepšie vyhladenie signálu. Meranie je opäť zaobstarané pomocou spektrálneho analyzátoru pripojeného na vlákne a za pomoci merania oka za prijímačom. Opäť používam rovnaké vlákno s dĺžkou 40 km a rovnaký zdroj signálu. Toto zapojenie je na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Schéma zapojenia druhého a tretieho merania, CWDM a DWDM.

5.1.3 Zapojenie merania DWDM

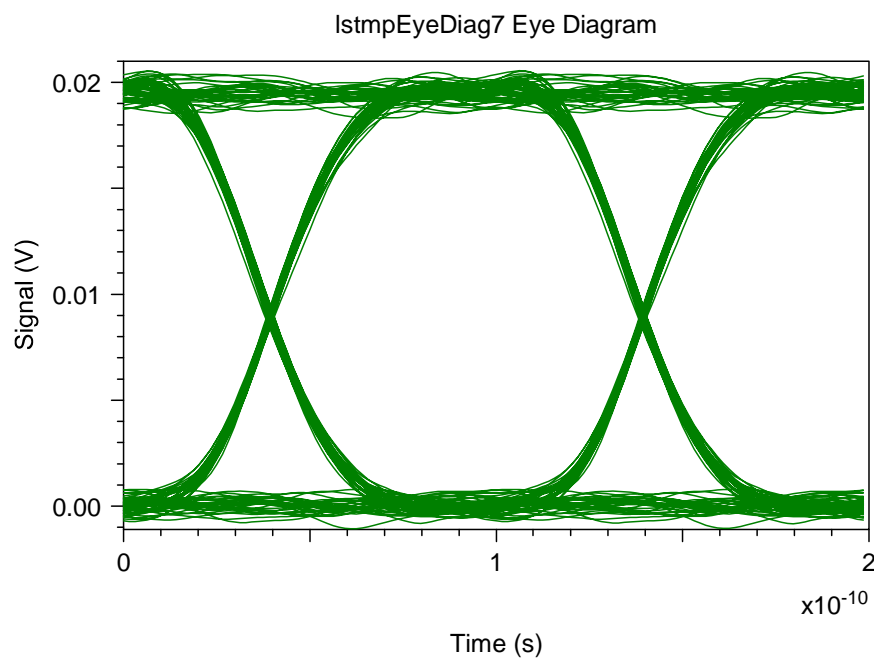
Pri simulácii DWDM som používal totožnú schému zapojenia z obrázku 5.2 ako tomu bolo pri meraní CWDM. Rovnaké bolo aj vlákno a jeho dĺžka. Zmena nastala v nastavení multiplexeru a demultiplexeru. Tie boli nastavené tak, aby boli schopné obslužiť DWDM prevádzku. Pri meraní som použil kanály C72 až C65. To znamená, že prvá vlnová dĺžka je 1520,25 nm a rozostup medzi kanálmi je 0,77 nm. Znova som ponechal zapojenie prijímačov v konfigurácii prvé 4 bez úprav signálu a 4 s úpravou, aby bol zobrazený signál bez úprav a aj s úpravami.

5.2 Namerané výsledky

Pri meraniach som snímal hlavne diagram oka a spektrum signálu v optickom vlákne. Okrem toho bolo pre kontrolu zapojené meranie BER (Bit Error Rate), avšak nastavenie jednotlivých komponentov bolo volené tak, aby sa hodnota BER blížila nule.

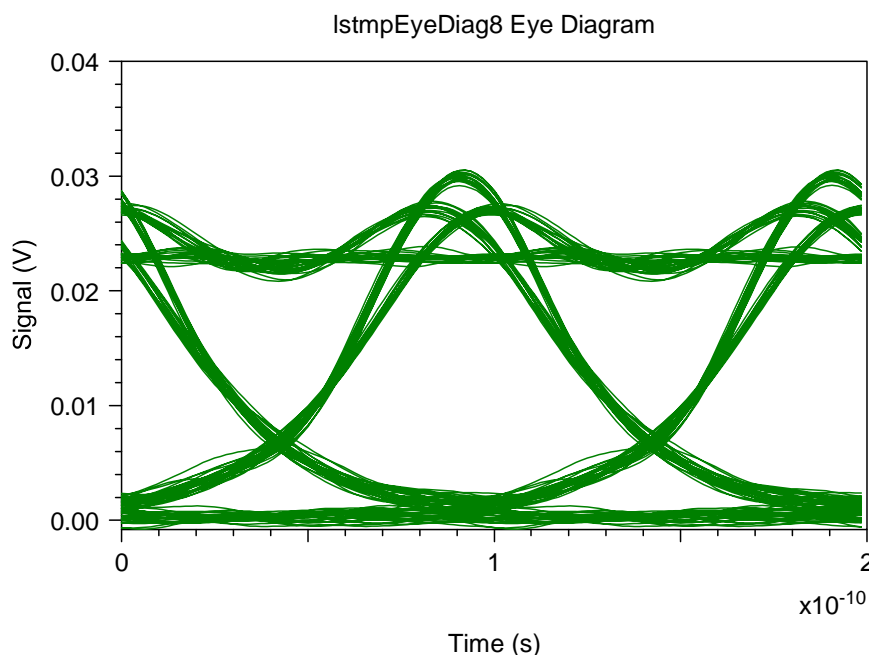
Na obrázku 5.3 je zobrazený diagram oka zosnímaný na prijímači - kanál č. 1 - na vlnovej dĺžke 1330 nm. Z grafu môžeme vidieť, že signál má veľmi malé odchýlky a prijímaný signál má dobrú kvalitu.

Na obrázku 5.4 je vyobrazený diagram oka z prijímača - kanál č. 2. Na tomto



Obr. 5.3: Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 1 - 1330 nm, WDM.

kanáli je prijímaný signál na vlnovej dĺžke 1551 nm. Na grafe môžeme pozorovať nie úplne dokonalý priebeh, čo je spôsobené najmä útlmovou krivkou použitého vlákna.



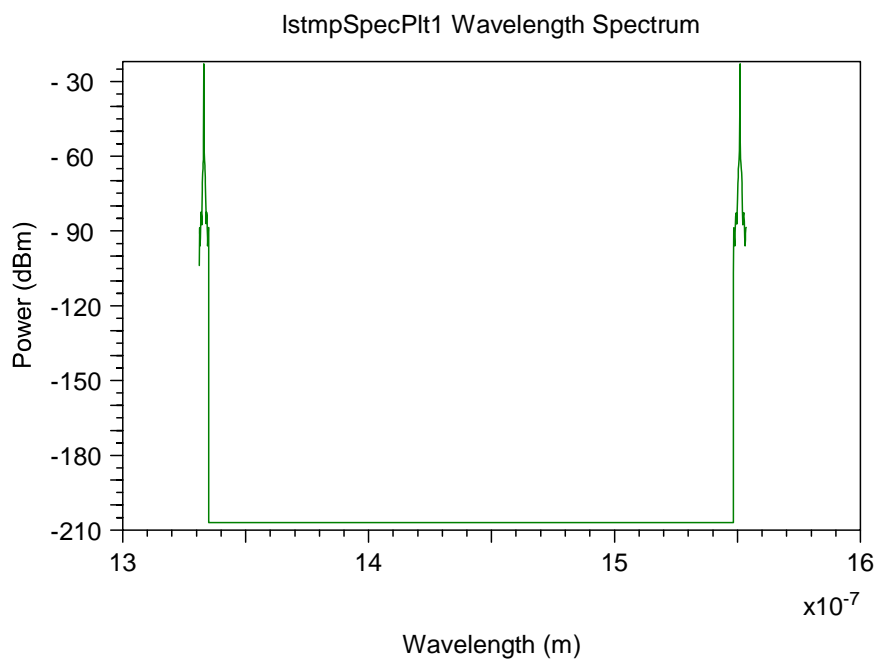
Obr. 5.4: Diagram oka prijatého signálu kanál č. 2 - 1551 nm, WDM.

Na obrázku 5.5 môžeme vidieť spektrum signálu vysielaného z multiplexu do optického vlákna. Dva nastavené kanály sú presne na ich nastavených vlnových dĺžkach s veľmi dobrým odstupom signálu a šumu. To znamená, že pri použití takéhoto multiplexu by nebol problém použiť lacnejšie zariadenia, ktoré by nemuseli byť také presné čo sa týka vysielanej vlnovej dĺžky. Takáto zmena by však pri prekročení určitých parametrov mohla mať nepriaznivý vplyv na chybovosť prijímaného signálu a následne na prenosovú rýchlosť systému.

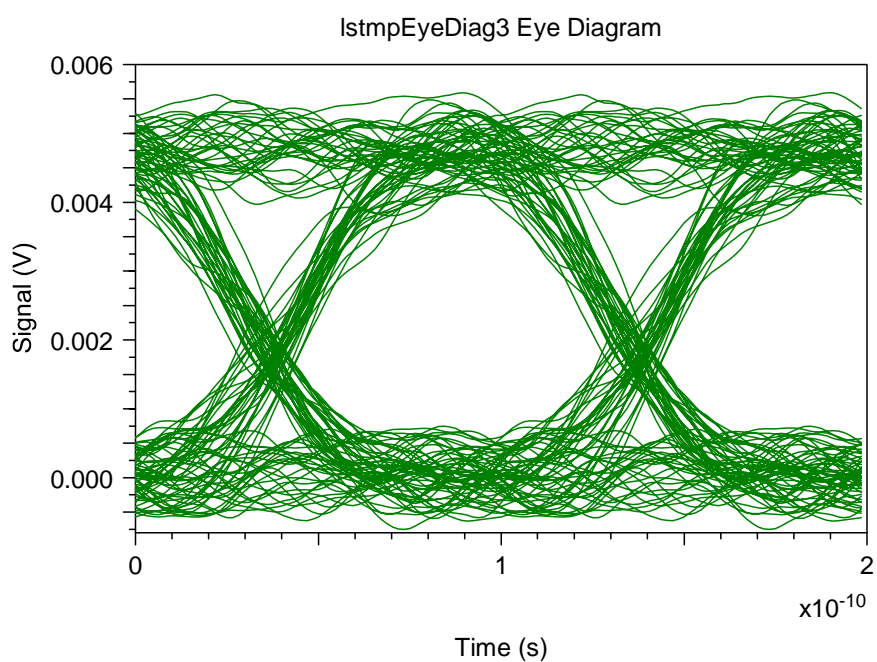
Druhé meranie je vykonávané s 8 kanálmi a simuluje použitie CWDM systému. Na obrázku 5.6 je diagram oka - kanál č.3 - CWDM systému. Tento kanál je na vlnovej dĺžke 1340 nm a zo schémy zapojenia na obrázku 5.2 môžeme vidieť, že na tomto kanáli nie sú použité filtre ani zosilňovače. Prijímač je pripojený priamo za demultiplexerom. Z diagramu oka je zrejmé, že aj napriek tomu, že signál nie je tak presne vyhladený ako v prípade použitia filtrov, je diagram veľmi čistý a hodnota BER sa blíži k nule.

Pre porovnanie diagram oka vyobrazený na obrázku 5.7 je zosnímaný na prijímači z kanálu č. 6. Z obrázku vidno, že diagram oka je opäť vyhladený a napäťové úrovne sú zosilnené.

Na obrázku 5.8 je vyobrazené spektrum signálu vysielaného multiplexerom do optického vlákna. Ako môžeme vidieť zo spektra, vysielala sa na 8 kanáloch, pričom prvý má vlnovú dĺžku 1300 nm a jednotlivé kanály majú rozostup 20 nm. Z grafu je zjavné, že odstup užitočného signálu a šumu je stále dostatočný a kanály sa pri tomto ro-



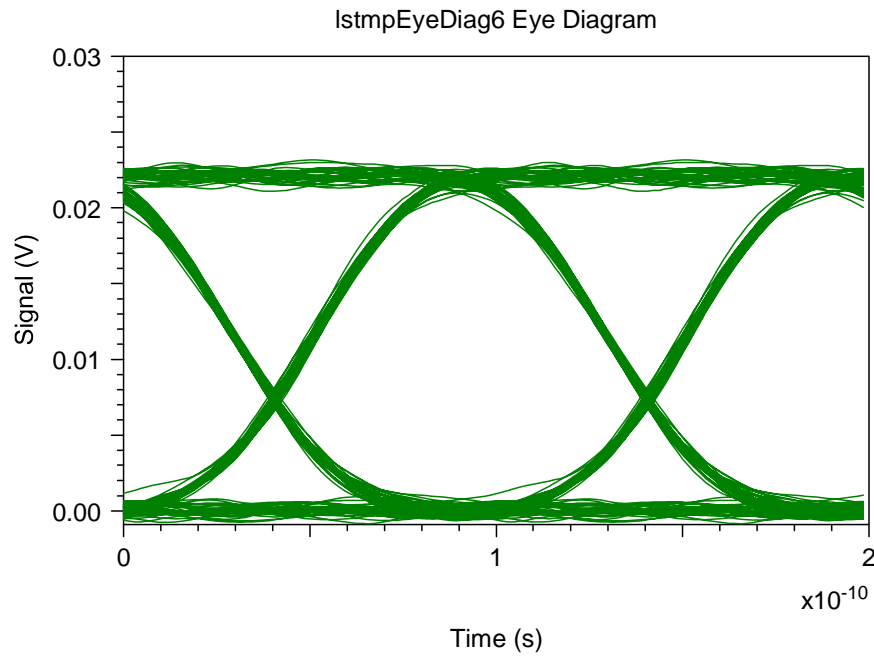
Obr. 5.5: Spektrum signálu, WDM.



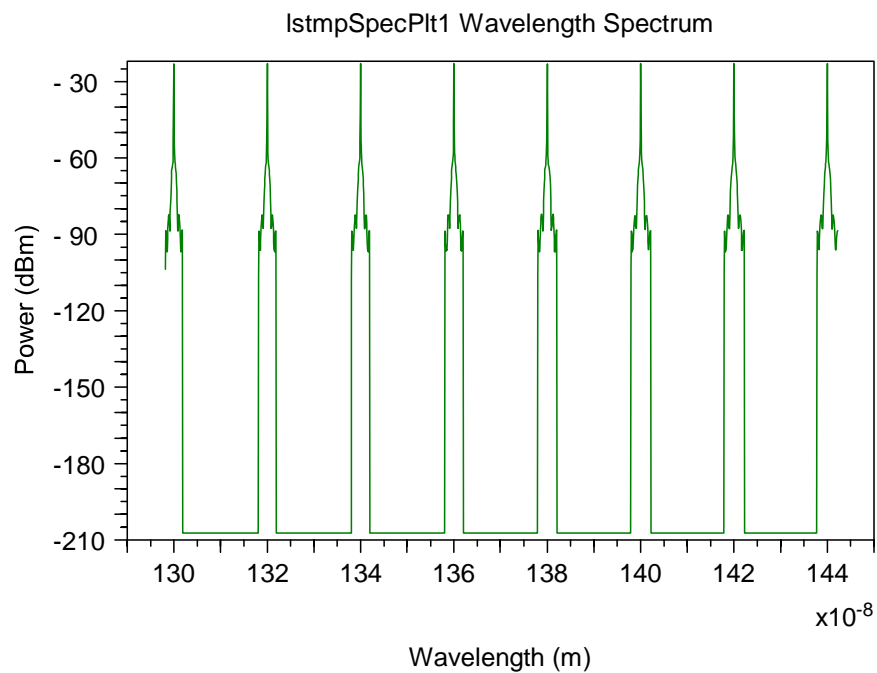
Obr. 5.6: Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 3 - 1340 nm, CWDM.

zostupe vôbec neprekrývajú.

Na obrázku 5.9 je taktiež spektrum signálu, avšak toto spektrum je snímané za demultiplexerom na kanáli č. 3. Z grafu je vidieť, že demultiplexer funguje veľmi



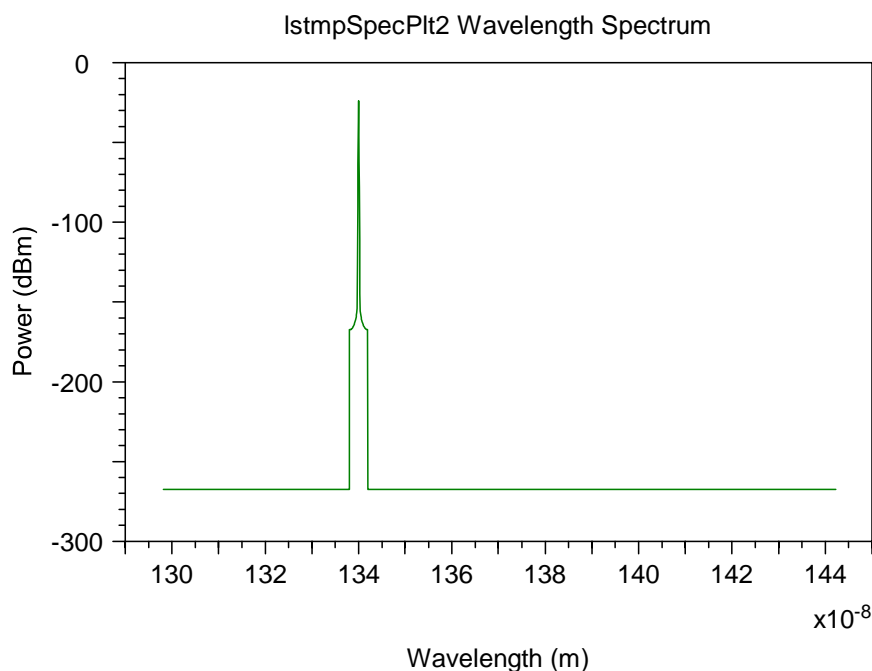
Obr. 5.7: Diagram oka prijatého signálu - kanál č.6 - 1400 nm, CWDM.



Obr. 5.8: Spektrum signálu, CWDM.

dobré a vyberá zo spektra presne tú vlnovú dĺžku, ktorú by mal.

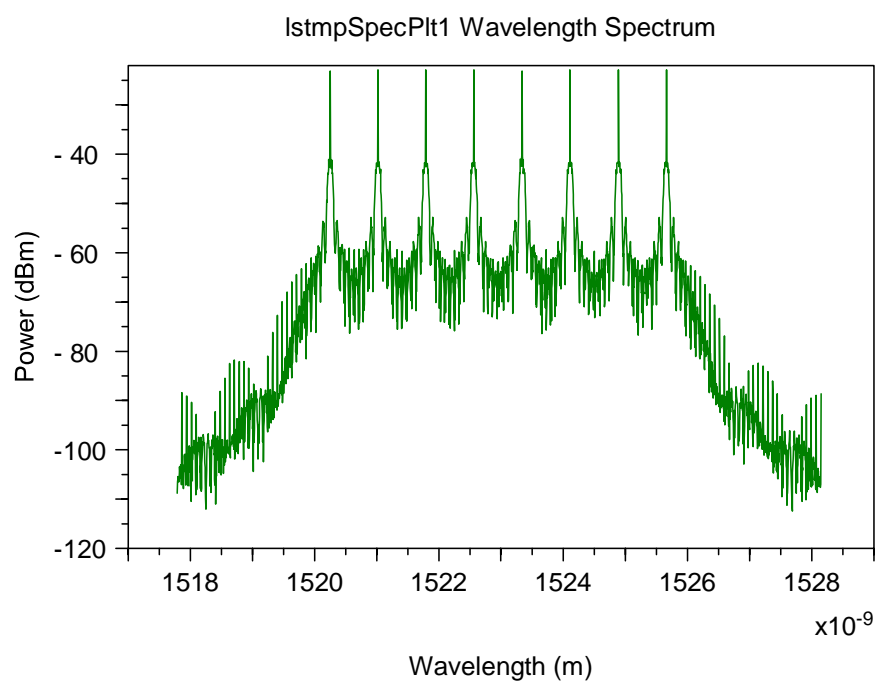
Pri meraní DWDM som znova použil 8-kanálový multiplexer pri použití rozostupu kanálov po 0,77 nm. Spektrum signálu vysielaného do vlákna je na obrázku



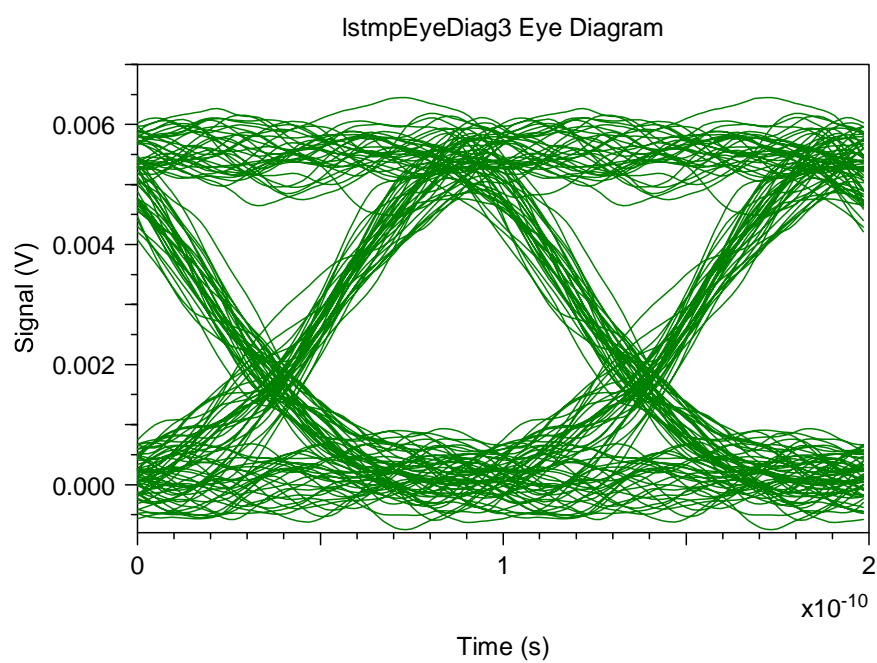
Obr. 5.9: Spektrum signálu za demultiplexerom - kanál č. 3 - CWDM.

5.10. Z tohoto grafu je vidieť, že rozostup jednotlivých kanálov sa podstatne zmenšil a zároveň sa zmenšil odstup signálu a šumu, avšak stále je dostatočný na to, aby boli signály rozlíšiteľné a spoľahlivo dekodované.

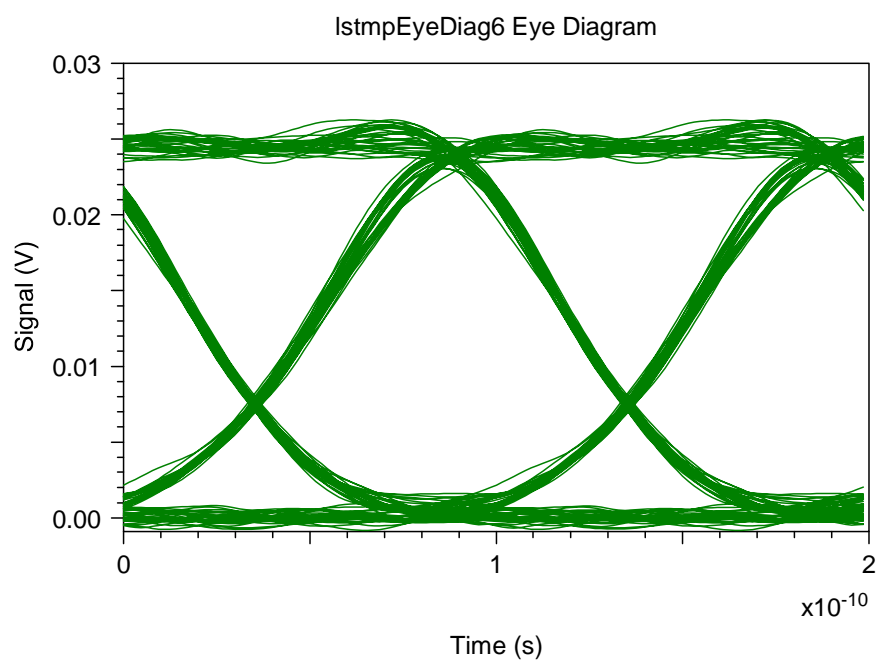
To je potvrdené diagramom oka z kanálu č. 3, ktorý môžete vidieť na obrázku 5.11 a takisto z obrázku 5.12, kde je diagram oka z prijímača na kanáli č. 6. Opäť platí, že signál, ktorý je vyhladený pomocou zosilňovača má užší a presnejší diagram oka. Avšak aj keď na prvých štyroch kanáloch tento dorovnávací zosilňovač nie je, tak signál nevykazuje veľké chyby. To je zabezpečené najmä vďaka demultiplexeru, ktorý veľmi dobre vyberá presne tú vlnovú dĺžku, ktorú konkrétny kanál potrebuje.



Obr. 5.10: Spektrum signálu, DWDM.



Obr. 5.11: Diagram oka prijatého signálu - kanál č. 3 - 1521,79 nm, DWDM.



Obr. 5.12: Diagram oka prijatého signálu - kanál č.6 - 1524,11 nm, CWDM.

6 VŠEOBECNÉ ZÁSADY NÁVRHU REVITALIZÁCIE PRIEMYSELNEJ SIETE

Pri návrhu vylepšenia akejkoľvek siete je dôležité zamyslieť sa nad požiadavkami, ktoré na sieť kladieme a nad zdrojmi, ktoré bude nutné vynaložiť na jej vylepšenie. Táto problematika je veľmi dobre známa z odvetvia IT bezpečnosti. V mnohých prípadoch je nutné sa zamyslieť, či nie sú vynaložené náklady na zabezpečenie väčšie, ako cena odcudzených alebo poškodených dát samotných. Najjednoduchším, ale zároveň najmenej častým riešením je kompletná výmena siete. Často je ale nutné hľadať iné možnosti a zvažovať ich využitie, prínosy a vynaložené náklady.

6.1 Krok 1 - Analýza potrebných parametrov siete

Prvým krokom pri návrhu vylepšenia akejkoľvek siete je zistenie množstva prenášaných dát a teda aj prenosovej rýchlosti, ktorú potrebujeme pre bezproblémový prenos dát. Maximálnu prenosovú rýchlosť, ktorú budeme využívať, dostaneme spočítaním všetkých dátových tokov ktoré v sieti nastávajú. Je dôležité, aby sme spočítali všetky dátové toky, ktoré nastávajú hlavne pri špičkách v sieti. Ak náš dátový tok dosahuje napríklad 7 Gb/s, dalo by sa povedať, že linka ktorú budeme používať môže mať rýchlosť 7 Gb/s. To by však znamenalo vyťažiť túto linku v niektorých momentoch na 100 %. Lepším prístupom je nechať na linke väčšiu rezervu, aby sa eliminovala možnosť linku preťažiť nadmerným prenosom dát. To môže byť zapríčinené akýmkoľvek náhodným zhukom dát, ktorý môže v sieti nastať. Preto je vhodnejšie použiť v tomto prípade linku 10 Gb/s, ktorá má aj pri plnom vyťažení rezervu 30 %. To však ešte stále nezahŕňa rezervu pre budúci rozvoj siete, čo väčšinou znamená navýšenie množstva prenášaných dát. Preto by podľa mňa bolo vhodnejšie použitie linky, ktorá zvládne dvojnásobok doporučenej prenosovej rýchlosti - teda 20 Gb/s alebo použitie dvoch 10 Gb/s liniek. Takto dostaneme rezervu 130 % a tým ďalšie budúce rozširovanie siete by nemalo byť problémové a sieť by mala ostať dostatočne výkonnou aj pri pridaní ďalších zariadení do siete.

6.2 Krok 2 - Analýza súčasných liniek

6.2.1 Fyzické vlastnosti média

Druhým krokom pri návrhu obnovy siete je zistenie stavu súčasných prenosových médií. U priemyselných sietí sú už dlhšie využívané aj optické vlákna. Pri týchto je nutné zohľadniť, akú vysokú prenosovú rýchlosť potrebujeme dosiahnuť a tým aj

akú prenosovú technológiu použiť. Nemožná je napríklad kombinácia WDM a multivíkových vlákien. Druhou podstatnou časťou analýzy liniek je premeranie vlastností existujúceho vlákna. Ak je osadené vlákno inštalované nesprávne alebo sa jedná o nevhodné vlákno, vplyvom útlmu, disperzií a podobne môže nastať stav, kedy je maximálna prenosová rýchlosť obmedzená aj niekoľkonásobne.

V podstate rovnaké sú problémy aj pri metalických linkách. Pokiaľ potrebujeme prenosovú rýchlosť 1 alebo až 10 Gb nie je možné použiť staré typy káblov nižších kategórií ktoré na tieto prenosové rýchlosti nie sú stavané.

6.2.2 Možnosti riešenia nevyhovujúcej trasy

Pokiaľ je vlákno nevyhovujúce, je potrebné uvažovať nad výmenou. Tá môže byť najvhodnejším riešením, ak je vlákno umiestnené na jednoducho prístupnom mieste, prípadne je zafúknuté v mikrotrubičke a podobne. Ak jeho výmena na mieste inštalácie nie je možná, je nutné uvažovať o vytvorení nového spoja. V mnohých prípadoch to bude lacnejšie, spoľahlivejšie a výkonnejšie riešenie, ako používať aktívne zariadenia, ktoré by mali navýšiť prenosovú rýchlosť spoja. To je spôsobené niekoľkými faktormi: nízka cena optického vlákna, v priemyselných areáloch často jednoduché umiestnenie vlákna na rôzne inštalčné rošty a vysoká cena aktívnych prvkov, ktoré obsahujú drahé súčiastky, lasery a podobne.

6.2.3 Agregácia liniek

Niekedy je vhodné zvážiť, či je ideálnejšie pridanie niekoľkých vlákien a ich agregácia alebo pridanie technológie vlnového multiplexu, ktorý nám rovnako navýši rýchlosť. Opäť je toto rozhodnutie zväčša najviac ovplyvnené cenou finálneho spoja.

6.3 Krok 3 - Analýza aktívnych prvkov siete

6.3.1 Maximálna prenosová rýchlosť

Je samozrejmé, že na prenos dát vysokou rýchlosťou nestačí mať iba rýchlu linku, po ktorej je dáta možné preniesť. Pre vytvorenie a prijatie dátového toku je potrebné mať pripojené také koncové zariadenie, ktorého porty podporujú čo najväčšiu prenosovú rýchlosť. Ak nám však rýchlosť jedného takéhoto portu nestačí, je možnosť použiť ďalší port a vytvoriť agregované spojenie medzi dvoma zariadeniami. To je ale možné iba vtedy, ak zariadenie takýto druhý nevyužívaný port má a ak je možné agregáciu aj nastaviť pomocou manažmentu zariadenia.

6.3.2 Podpora priemyselných protokolov

V priemyselnej sieti, tak ako je uvedené v časti 2.5 je nutné používať na časovo citlivé dáta prenos pomocou takých zariadení, ktoré podporujú vhodný priemyselný protokol. Je možné mať v jednej sieti použitých viacero protokolov zároveň, avšak pri ich nesprávnej kombinácii môže nastať problém so spomalením siete. Preto najvhodnejšie je, ak sa používa v celej sieti iba jeden protokol. Tým sa zabezpečí, že všetky zariadenia budú navzájom komunikovať bez problémov.

6.3.3 Spôľahlivosť zariadení a liniek

Posledným faktorom, ktorý je nutné zvážiť je spoľahlivosť jednotlivých zariadení. Dôležité je určiť, aká spoľahlivá celá sieť má byť, respektíve jej jednotlivé časti. Na časti je vhodné sieť rozdeliť, ak je príliš rozsiahla a snažíme sa o zlacnenie siete. V niektorých častiach siete je totiž zbytočné mať zariadenia a spoje s najvyššou mierou bezpečnosti, pričom na iných je táto vlastnosť kritická. Pre maximálnu bezpečnosť by sme mali uvažovať o možnosti využitia dvoch separátnych zariadení s priemyselným štandardom, ktoré budú umiestnené v iných miestach a o využití separátnych spojov, ktoré budú viesť čo najďalej od seba. Pre časti s požadovanou nižšou spoľahlivosťou je možné potom niektoré tieto zásady obísť a použiť iba jedno zariadenie, ktoré bude ale obsahovať minimálne zálohu napájania, a budú použité viaceré linky, ktoré však môžu byť čiastočne alebo úplne vedené tým istým priestorom.

Pokiaľ je hlavným kritériom cena a spoľahlivosť nie je kritická, je možné použiť aj lacnejšie zariadenia. Pri zaistení dostatočného krytia, chladenia a pod. je dokonca možné použiť v nekritických častiach aj kancelárske zariadenia. Musí sa však použiť zariadenie, ktoré aj v bežnej prevádzke vykazuje vysokú spoľahlivosť.

6.4 Krok 4 - Návrh a výber vhodného riešenia

Podľa parametrov, ktoré sme získali v predchádzajúcich krokoch je teraz potrebné navrhnuť novú sieť, prípadne obnovu stávajúcej. Je vhodné navrhnuť hneď niekoľko riešení a prepočítať jednak ich prínos a konečný výkon, ale aj finančnú a časovú náročnosť úpravy. Z týchto údajov môžeme potom objektívne vybrať, ktorý z návrhov bude použitý. Pokiaľ nie sme spokojný so žiadnym z konečných riešení, ale niektoré návrhy jednotlivých častí sú vyhovujúce, môžeme tieto poznatky využiť a jednotlivé čiastočné návrhy spojiť do jedného nového návrhu, ktorý bude najlepšie vyhovovať celkovým požiadavkám.

7 VZOROVÁ SIEŤ PROJEKTU

Navyšovanie prenosovej kapacity priemyselnej optickej siete je ukázané na fiktívnej sieti, ktorá by mala byť čo najpodobnejšia dnes už nevyhovujúcim sieťam, aké sa nachádzajú v priemyselných parkoch a firmách, ktoré využívajú väčšie množstvo automatizovaných strojov pri výrobe.

7.1 Umiestnenie siete

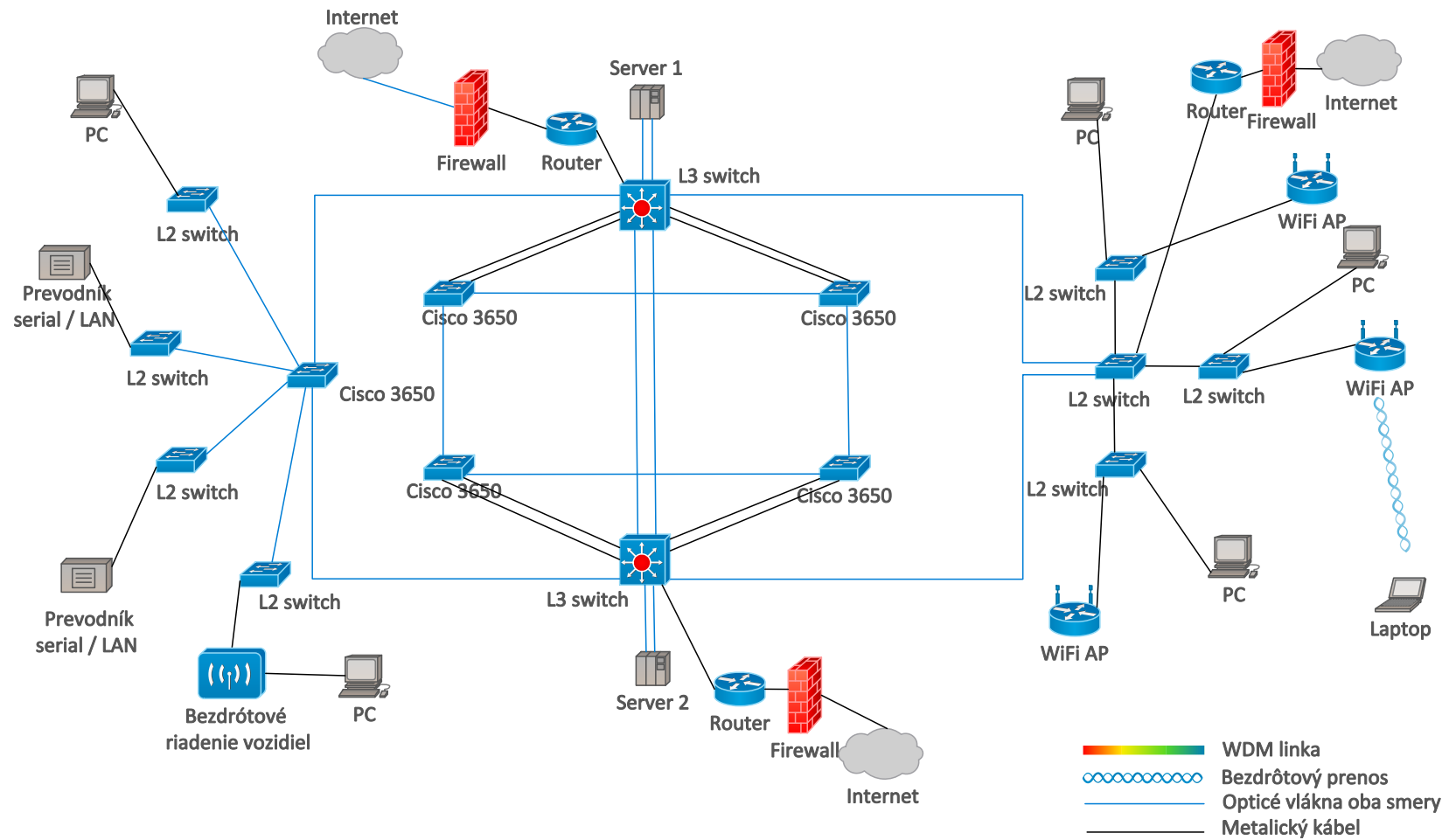
Mnou upravovaná sieť je umiestnená vo firme zaoberajúcej sa výrobou hliníkových odliatkov a ich následným opracovávaním na presných CNC strojoch. Výroba je umiestnená v priemyselnom areáli, v ktorom sa nachádza viacero firiem s podobným zameraním a nachádza sa tam aj výroba hliníkových ingotov.

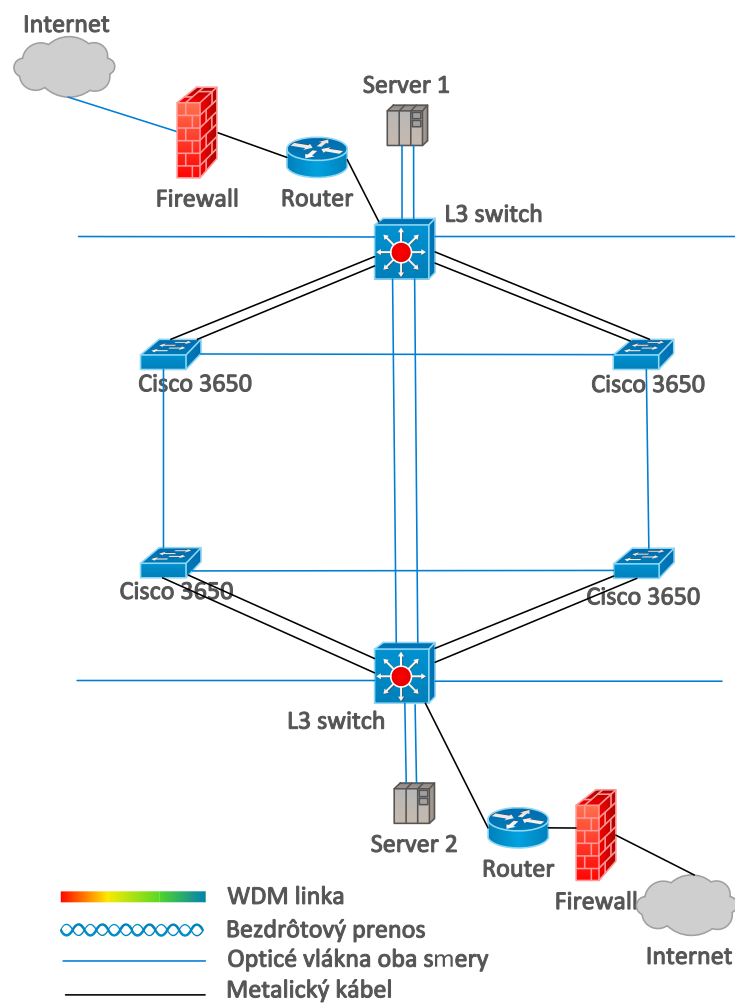
7.2 Schéma siete

Sieť znázornená na obrázku 7.1 aktuálne pozostáva z väčšej časti z metalickej kabeľáže a na chrbtových častiach je doplnená o optické linky.

Celú sieť je možné rozdeliť na 3 hlavné časti podľa využitia a umiestnenia siete. Prvá - hlavná časť vyobrazená na obrázku 7.2 sa nachádza v 4 rôznych budovách. V tomto komplexe je umiestnená väčšina zariadenia, potrebného na odlievanie a následné opracovávanie kovu. V jednej z budov je potom umiestnený server a riadenie strojov, ktoré je zálohované identickým zariadením v druhej serverovej miestnosti, ktorá je umiestnená v druhej budove. Práve tieto serverové miestnosti sú pre potreby zálohovania a zrkadlenia serverov vzájomne prepojené pomocou dvoch optických vlákien.

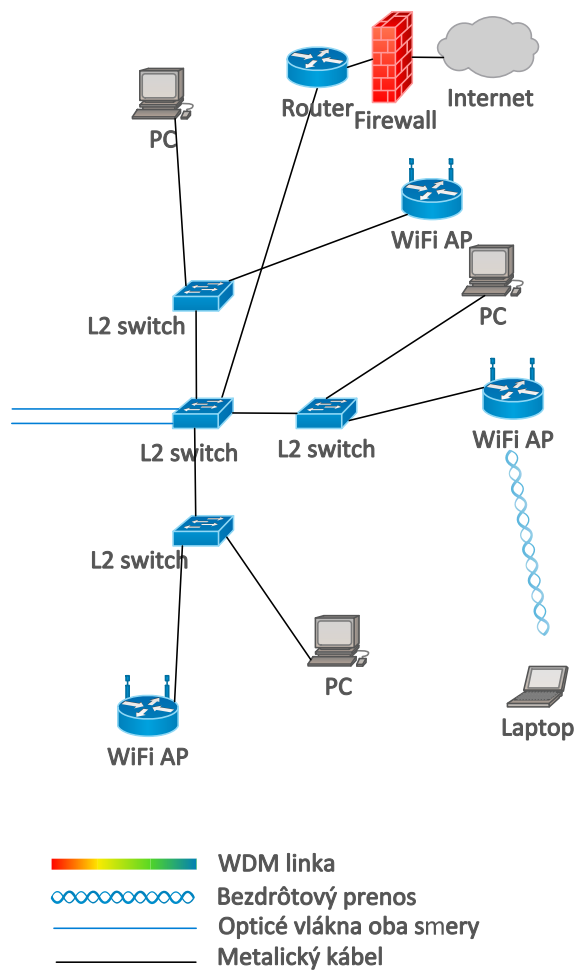
Obr. 7.1: Topológia pôvodnej zastaralej priemyselnej optickej siete.





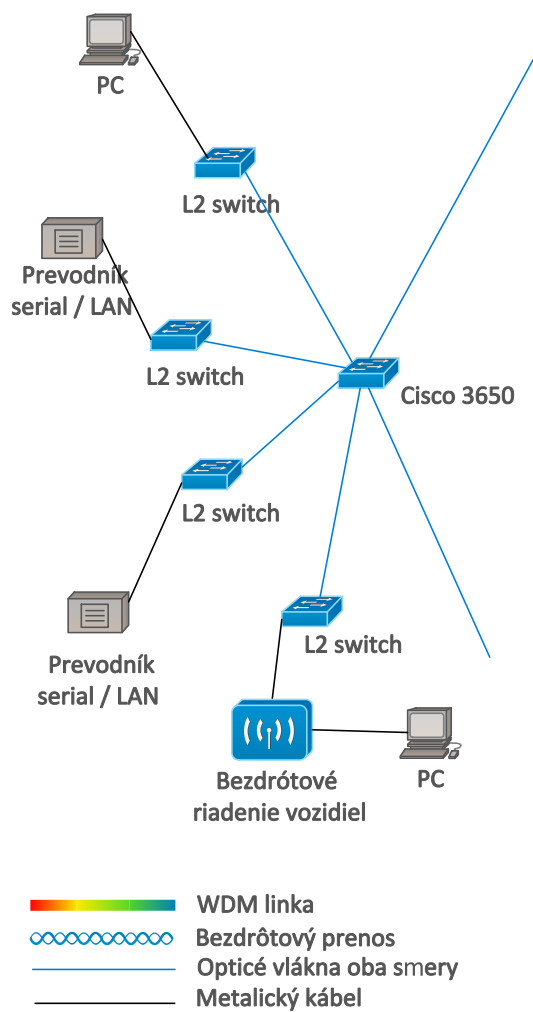
Obr. 7.2: Topológia centrálnej časti pôvodnej siete.

Druhou časťou siete je kancelárska sieť patriaca k firme. Priame prepojenie kancelárskej siete s priemyselnou sieťou je využívané na previazanie a kontrolu výroby jednotlivých objednávok. Táto časť je na obrázku 7.3.



Obr. 7.3: Topológia kancelárskej časti pôvodnej siete.

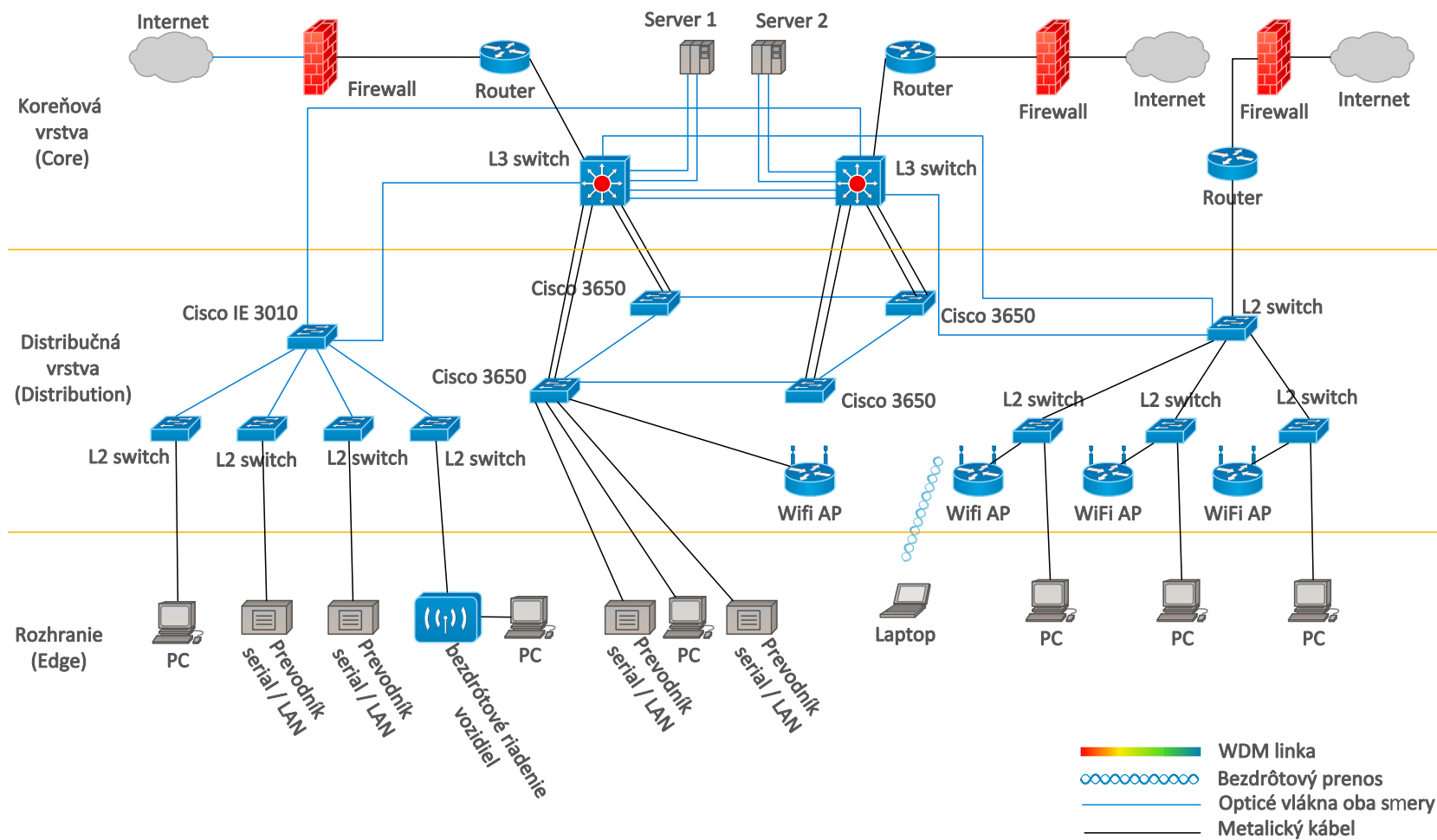
Tretia časť siete podľa obrázku 7.4 je využívaná prevažne na monitorovanie okolia firmy a na sledovanie pohybu techniky, ako napr. vysoko zdvižných vozíkov alebo automatických robotických vozíkov, ale aj na pripojenie ovládania rôznych dopravníkových pásov, ktoré zásobujú výrobu.



Obr. 7.4: Topológia vonkajšej časti siete.

Sieť je možné ale rozdeliť aj podľa sieťových vrstiev na vrstvu jadra (core), distribučnú časť (distribution) a prístupovú časť (edge), ako je to znázornené na obrázku 7.5.

Obr. 7.5: Topológia zastaranej priemyselnej optickej siete, vrstvy siete.



V jadre sa nachádzajú dva hlavné prepínače, ktoré obsluhujú väčšinu komunikácie v sieti a pripájajú do siete jednotlivé servery a riadenie. V distribučnej vrstve môžeme nájsť priemyselné prepínače, ktoré sú vzájomne prepojené optickými linkami, aby sa zaručila ich čo najrýchlejšia komunikácia. V prístupovej časti siete potom môžeme nájsť zariadenia ako PLC moduly, prevodníky sériovej komunikácie na Ethernet a podobne. V súčasnosti sa v sieti nachádza veľké množstvo zariadení od rôznych výrobcov, takže sa nedá jednoducho konštatovať, že by niektorá časť siete bola osadená výhradne jednou značkou alebo modelom zariadenia.

7.3 Vlastnosti súčasnej siete

Súčasný stav siete už nespĺňa požiadavky, ktoré sú na ňu kladené. Prenosová kapacita nie je dostatočná a má za následok nadmerné zvyšovanie oneskorenia v sieti. Značná časť siete pozostáva z metalických liniek Cat 5 ktoré majú maximálnu prenosovú rýchlosť 100 MB/s. Najviac zaťažovanou časťou je linka, ktorá prepája serverovú miestnosť 1 so serverovou miestnosťou 2. Táto linka pozostáva z dvoch vlákien G.652 a slúžia pre obojsmerný prenos dát. Linka je momentálne pripojená do siete cez SFP optický modul, ktorý podporuje maximálnu rýchlosť prenosu 1 Gb/s. Linky, ktoré prepájajú súčasné prepínače distribučnej vrstvy pozostávajú z multimódových vlákien. V aktuálnej podobe funguje táto časť siete v zapojení fyzického kruhu. Pripojenie tohoto kruhu k jadru siete je síce zabezpečené redundantným pripojením, ale opäť za pomoci nevyhovujúcich vodičov Cat 5 a tým je obmedzená maximálna použiteľná prenosová rýchlosť.

Kancelárska časť siete pozostáva z niekoľkých lacnejších prepínačov, ktoré nepodporujú žiadny manažment. Tento fakt spôsobuje, že sieť sa dá považovať za veľmi nebezpečnú, pretože každý užívateľ pripojený do siete má prístup ku každému zariadeniu. V tejto časti siete môžeme nájsť aj jeden smerovač, ktorý má integrovaný softvérový firewall. Smerovač slúži pre sprostredkovanie pripojenia do siete internet, ale aj ako lokálny DHCP server pre kancelárie.

Poslednou časťou siete je vonkajšia sieť v okolí firmy. Do tejto siete je pripojené bezdrôtové sledovanie a ovládanie automatizovaných robotických vozidiel a klasických prepravných prostriedkov, ktoré fungujú v okolí a vo firme. Tento systém je momentálne značne nespoľahlivý z toho dôvodu, že táto časť siete nie je žiadnym spôsobom zálohovaná, je zložená z aktívnych prvkov, ktoré majú časté výpadky z dôvodu preťaženia siete, a mnoho zo zariadení je už za hranicou ich životnosti.

8 POŽADOVANÉ VLASTNOSTI SIETE

Ako už bolo spomenuté, v súčasnom stave je sieť už nevyhovujúca. Pridáva sa k tomu ešte požiadavka na rozšírenie siete o ďalšie koncové zariadenia.

Najväčšiu záťaž predpokladáme po osadení IP kamier v rámci areálu, ktoré by mali monitorovať samotnú výrobu, ale aj kancelárie a okolie firmy. Ďalej majú byť do veľkej časti siete pridané bezdrôtové prístupové body, a samozrejme rozširovanie a obnova zariadení, ktoré slúžia na riadenie, meranie a kontrolu strojov samotných. Predpokladá sa zvýšenie nárokov na prenosovú kapacitu siete približne 3 až 4 krát.

Priemyselná časť siete, ktorá je umiestnená vo výrobe, bude musieť celá podporovať niektorý z priemyselných štandardov postavených na základe Ethernetu. Tým by sa malo zabezpečiť čo najmenšie oneskorenie v sieti.

Hlavnou požiadavkou na okolnú sieť je potom zvýšenie prenosovej kapacity a zvýšenie jej spoľahlivosti. Táto časť siete je však rozprestrená na väčšej ploche a to znamená, že sa vyžaduje čo najväčšie využitie existujúcich liniek a čo najmenšiu finančnú náročnosť.

Kancelárska sieť musí umožňovať väčšiu mieru nastaviteľnosti siete. Dôležitá je taktiež budúca rozšíriteľnosť siete.

Celá sieť potom musí byť lepšie zabezpečená. Hlavne je nutné zabezpečiť, aby sa do vnútornej priemyselnej siete nedalo jednoducho pristupovať priamo z kancelárskej siete, a naopak. No a samozrejme celá sieť musí byť dokonale chránená proti útokom z internetu.

9 RIEŠENIE VYNOVENIA SIETE

9.1 Porovnanie a výber riešenia centrálnej linky

9.1.1 Výmena a pridanie optických vlákien

Prvá možnosť, ktorú je vhodné zvážiť pri nedostatočnej kapacite optického spoja je jeho výmena za nové vlákno s lepšími parametrami a teda vyššou prenosovou rýchlosťou. Ak je potrebné vytvoriť linku s prenosovou rýchlosťou väčšou ako nám dovoľuje jedno vlákno, je možné linku posilniť pridaním niekoľkých ďalších optických vlákien. Toto riešenie však vyžaduje, aby boli vlákna už pri pôvodnej výstavbe ukladané do trubičiek a aby bol dopredu rezervovaný ich dostatočný počet pre ďalší rozvoj siete. Ak toto nie je zabezpečené a výmena alebo pridanie optických vlákien sa nedá vykonať jednoduchým zafúknutím, je nutné pristúpiť na stavebné úpravy a výkopové práce. Toto však značne predražuje celú obnovu.

V tabuľke 9.1 je uvedený približný výpočet ceny pokládky nového optického spoja v dĺžke 1000 m, vo výpočtoch sa počíta s cenou za výkopové práce a následným zasypaním výkopu (s hodnotou pre výkop o rozmeroch 30 x 100 cm). Pre výpočet je použité jedno vlákno, zväzok mikrotrubičiek pre možnosť ďalšieho rozširovania zafukovaním vlákna. Výsledná cena 1000 m dlhého spoja tak vychádza približne na 454 000 Kč. Táto cena však môže rapídne vzrásť, ak započítame napríklad ušlý zisk firmy, ktorej výroba môže byť úplne alebo čiastočne pozastavená kvôli výkopovým prácam v blízkosti jej prevádzky. Aj napriek veľmi vysokej cene je toto riešenie tým najvhodnejším, ak požadujeme maximálnu spoľahlivosť a odolnosť spoja [17] [18].

Materiál / Práce	Cena
Vlákno	4 000 Kč
Mikro-trubičkový zväzok	60 000 Kč
Výkopové práce	225 000 Kč
Zasypávanie výkopu	165 000 Kč
cena spolu:	454 000 Kč

Tab. 9.1: Cena pokládky optického vlákna v dĺžke 1000 m

9.1.2 CWDM

Ako bolo spomínané už v časti 4.1.2, CWDM je jednou z možností ako navýšiť prenosovú kapacitu stávajúceho optického spoja. CWDM patrí medzi vlnovými multiplexmi k lacnejším variantám a tak cena jeho zariadení nie je až tak vysoká, ako pri iných. Avšak vlákno, na ktorom bude CWDM fungovať, musí byť v dobrom stave a malo by sa jednať o jednovidové vlákno. Výpočet nákladov uvedený v tabuľke 9.2 je pre 8-násobné navýšenie prenosovej kapacity, konkrétne pri použití 8-kanálového multiplexeru Cisco CWDM-MUX8A. Pri použití SFP modulov s vlnovými dĺžkami 1470 nm, 1490 nm, 1510 nm, 1530 nm, 1550 nm, 1570 nm, 1590 nm a 1610 nm a s prenosovou rýchlosťou 1,25 Gb/s dostaneme pri použití 8-kanálového multiplexeru prenosovú rýchlosť 10 Gb/s. Ak použijeme SFP moduly s max. prenosovou rýchlosťou 10 Gb/s, prenosová rýchlosť stúpne na 80 Gb/s. Pri použití 1,25 Gb/s modulov je cena takéhoto riešenia približne 11 860 \$, čo je asi 262 000 Kč.

Použitie je zariadenie Cisco CWDM-MUX8A, ktoré má funkciu pasívneho multiplexera / demultiplexera a Cisco CWDM SFP moduly s vlnovými dĺžkami 1470 nm, 1490 nm, 1510 nm, 1530 nm, 1550 nm, 1570 nm, 1590 nm a 1610 nm [16].

Materiál / Práce	Cena
1,25 Gb/s CWDM SFP moduly	1 600 \$
Multiplexer	10 260 \$
cena spolu:	11 860 \$

Tab. 9.2: Cena použitia 8-kanálového CWDM multiplexeru

9.1.3 DWDM

DWDM je zase najvýkonnejšou možnosťou zo všetkých spomínaných multiplexov. Pomocou DWDM je možné multiplexovať veľké množstvo kanálov na jedno optické vlákno. Problematická je však jednak cena potrebných zariadení, ale aj náročnosť a náchylnosť tohoto systému. Pre veľkú hustotu kanálov a tým zároveň malým rozstupom medzi nimi, je nutné používať veľmi drahé a na údržbu náročné lasery s malou šírkou vyžarovaného spektra. Pri použití 48-kanálového multiplexu Cisco ONS 15216 je pri použití 1 Gb/s modulov možné dosahovať prenosovú rýchlosť až 48 Gb/s, a pri použití 10 Gb/s modulov je to potom až 480 Gb/s. Výsledná cena riešenia podľa výpočtu v tabuľke 9.3 je približne 32 600 \$, čo je asi 717 000 Kč. Táto cena už ale

prekračuje aj cenu kompletnej výmeny spojov a položenia nových optických vlákien [16].

Materiál / Práce	Cena
SFP moduly	9 600 \$
Multiplexer 15216-MD-48-ODD	23 000 \$
cena spolu:	32 600 \$

Tab. 9.3: Cena použita 48-kanálového DWDM multiplexu

9.1.4 Výmena optického vlákna za bezdrôtový spoj

Ďalšou z možností je využiť úplne inú technológiu ako je optika. Optické vlákno by sa dalo nahradiť bezdrôtovým spojom. Pri použití zariadenia Cisco Air 1572 je možné dosiahnuť maximálnu prenosovú rýchlosť spoja 1,3 Gb/s. Cena takéhoto bezdrôtového riešenia je približne 10 000 \$, čo je asi 220 000 Kč [16].

9.1.5 Vybraný spôsob navýšenia kapacity centrálného spoja

Pre výber vhodného riešenia je nutné zvážiť cenu, výkon ale aj spôsob prestavby optického spoja. Každé z riešení má svoje výhody a nevýhody a tie je potrebné dôkladne zvážiť.

Ako najmenej vhodný spôsob navýšenia kapacity centrálného spoja vychádza výmena optického vlákna za bezdrôtový spoj. Výsledný spoj by neposkytol vyššiu prenosovú rýchlosť, spoj by bol menej spoľahlivý a ešte by sa navýšil čas odozvy. Navyše ani cena takéhoto spoja nie je príliš výhodná.

Ako úplne najvhodnejšie riešenie z hľadiska spoľahlivosti je výmena a posilnenie spoja novými optickými vláknami. Nevýhodou je však extrémne vysoká cena a časová náročnosť inštalovania nových spojov.

Preto zvažujeme riešenie s použitím takého vlnového multiplexu, ktorý je možné použiť na existujúce optické vlákno. Do výberu prichádzajú dve technológie - CWDM a DWDM. DWDM poskytuje omnoho lepšie prenosové parametre, avšak problémom je opäť cena, pretože niekoľkonásobne prevyšuje cenu riešenia s CWDM. CWDM je menej náročné na výrobu a preto aj cena jeho zariadení je výhodnejšia. Aj napriek tomu však poskytuje dostatočné navýšenie prenosovej rýchlosti.

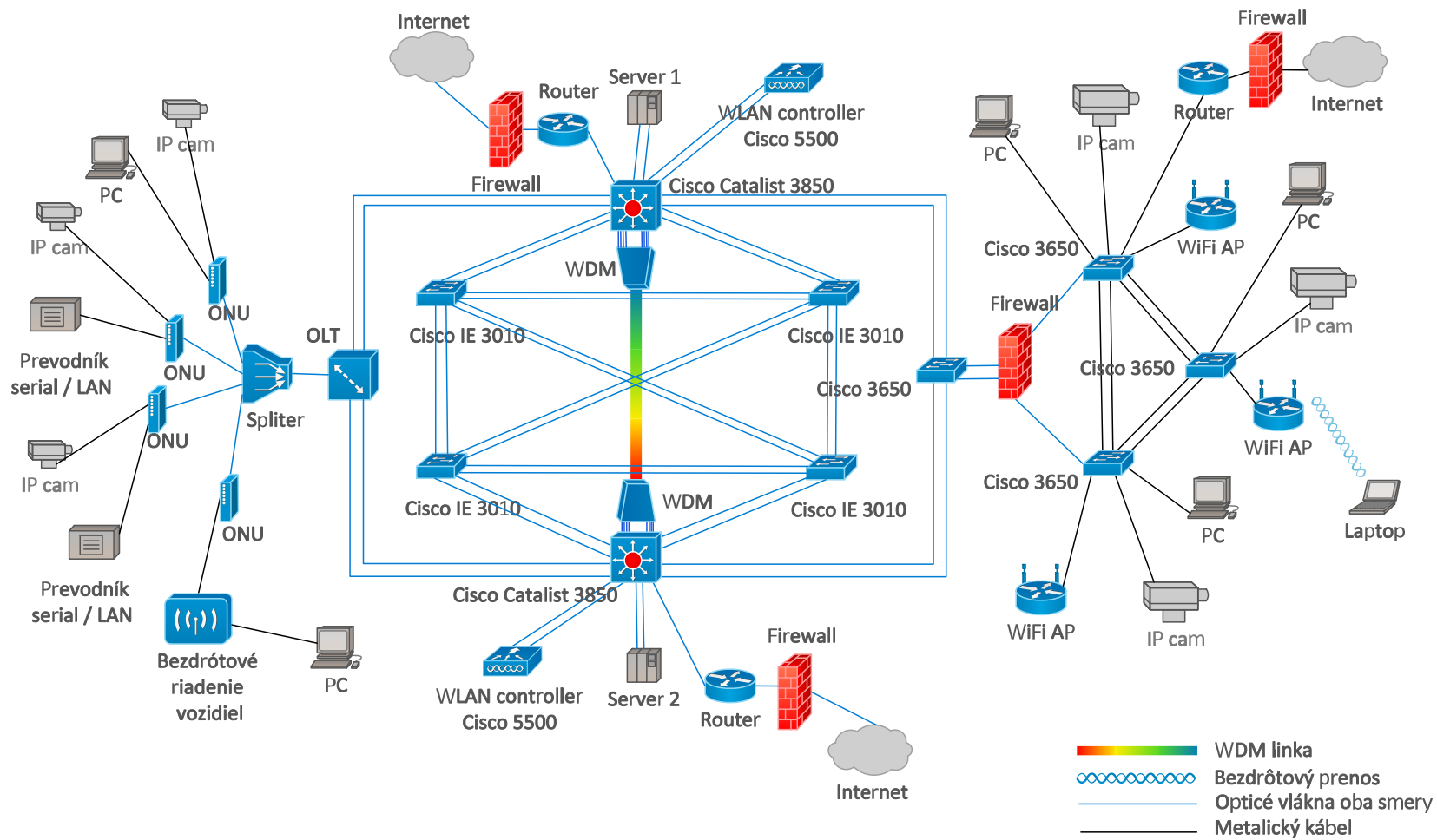
Preto budem vo všetkých ďalších riešeniach vynovenia priemyselnej siete uvažovať s výmenou centrálného spoja, ktorý prepája serverové miestnosti.

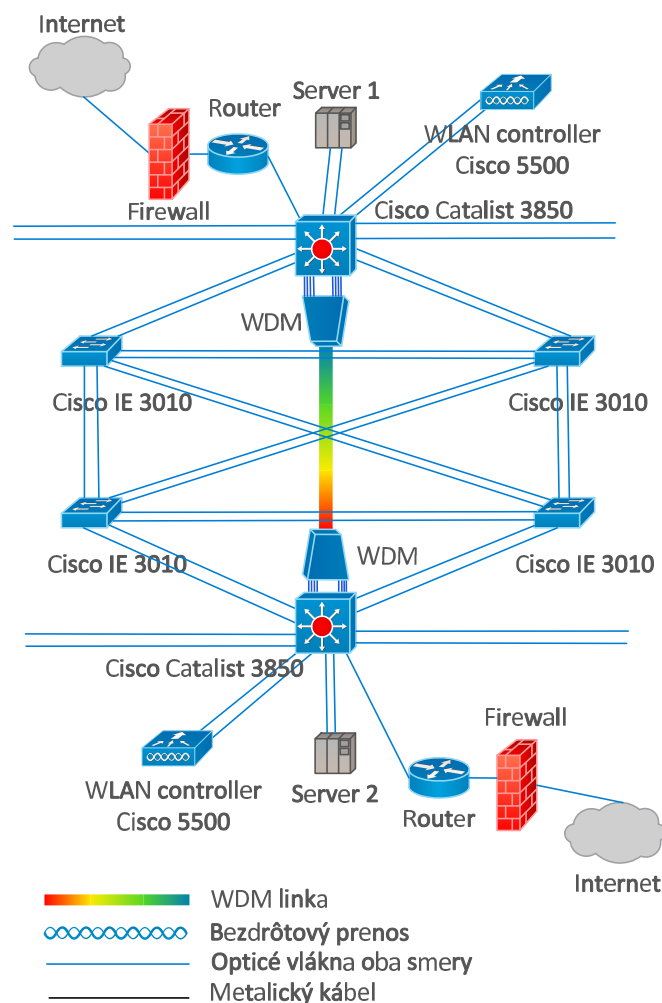
9.2 Riešenie A

Prvé riešenie je na obrázku 9.1. Samotné pozostáva z niekoľkých častí, a to z výmeny zariadení za zariadenia s vyhovujúcimi parametrami, výmeny niektorých sieťových spojov a použitia CWDM.

Pre splnenie podmienok bola nutná výmena niektorých spojov. Hlavná výmena nastala na spojoch jadra a distribučnej vrstvy, kde boli takmer všetky metalické spoje vymenené za optické, prípadne za metalické vodiče Cat 6. Pôvodná topológia kruhu v centrálnej časti siete na obrázku 9.2 je vymenená za topológiu plne prepojenej siete (full mesh). Tieto zmeny boli možné vďaka tomu, že pôvodné spoje boli umiestnené vo vnútri budov a sú prístupné v inštalačných kanáloch a na roštach. Všetky nevyhovujúce multimódové vlákna sú tak vymenené za nové jednovidové a tie by mali poskytovať vyššiu prenosovú rýchlosť

Obr. 9.1: Topológia vymoventia optickej siete - riešenie A.

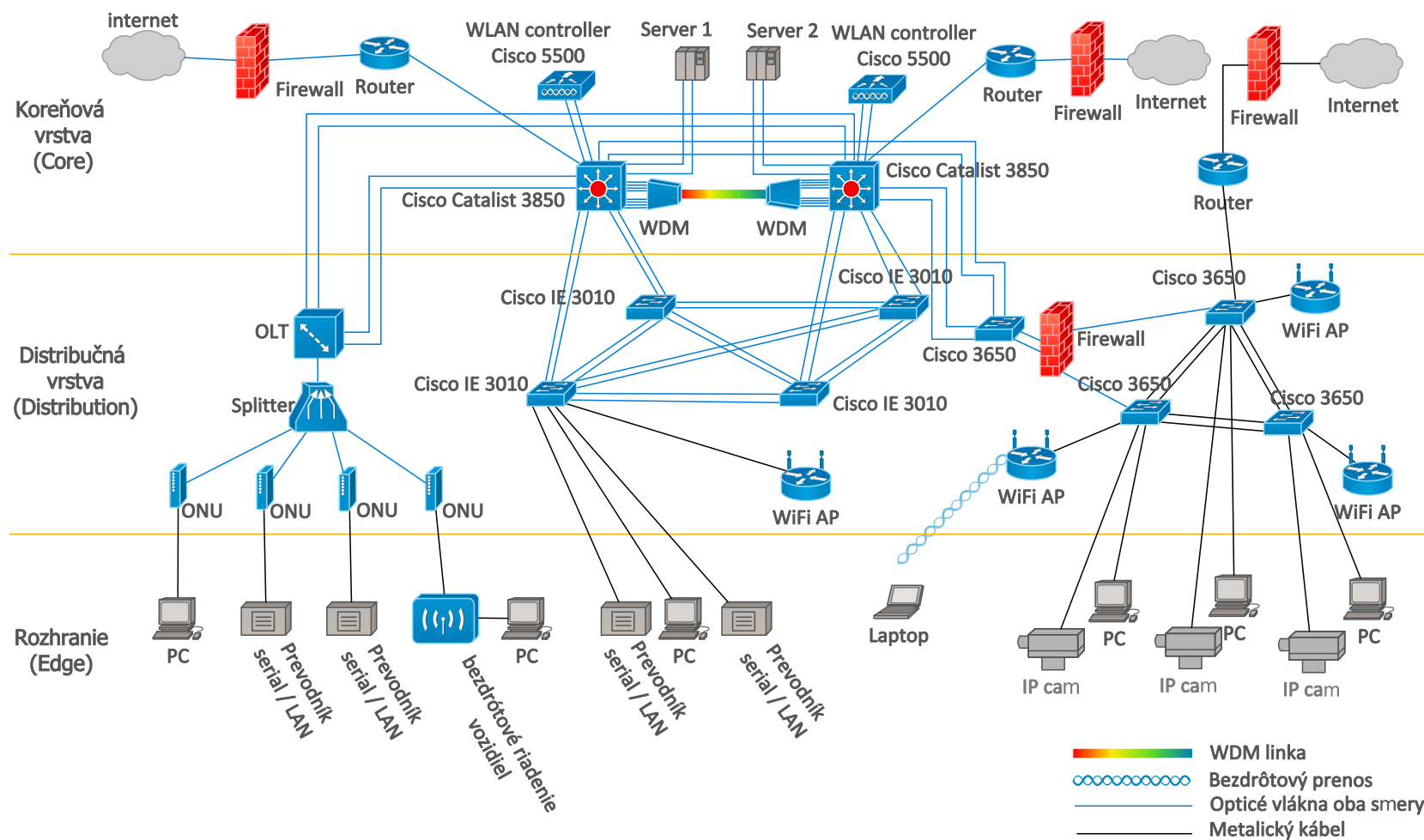


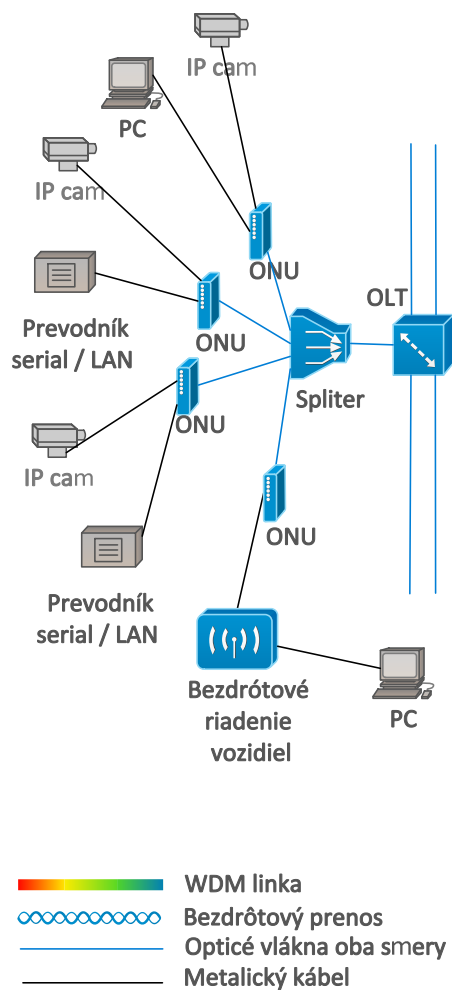


Obr. 9.2: Topológia centrálnej časti siete - riešenie A.

Výmena spojov vo vonkajšej časti siete umiestnenej v rozsiahlom areáli by bola neekonomická. Preto ako je znázornené na obrázku 9.4 sú pôvodné vlákna zachovávané. Na pokrytie veľkého počtu zariadení, ktoré pozostávajú hlavne z časovo menej náročných aplikácií ako je sledovanie a riadenie dopravníkových pásov alebo prenos dát z bezpečnostných kamier, je možné použiť prenosovú technológiu FTTx. Táto technológia využíva systém časového multiplexu, čo by pre časovo náročné aplikácie nebolo vhodné, avšak pre prenos väčšieho množstva dát z viacerých miest je táto technológia cenovo priaznivá a aj dostatočne výkonná. Zároveň je výhodou ponechanie pôvodného optického rozvodu, na ktorý je FTTx možné aplikovať iba s minimálnymi úpravami.

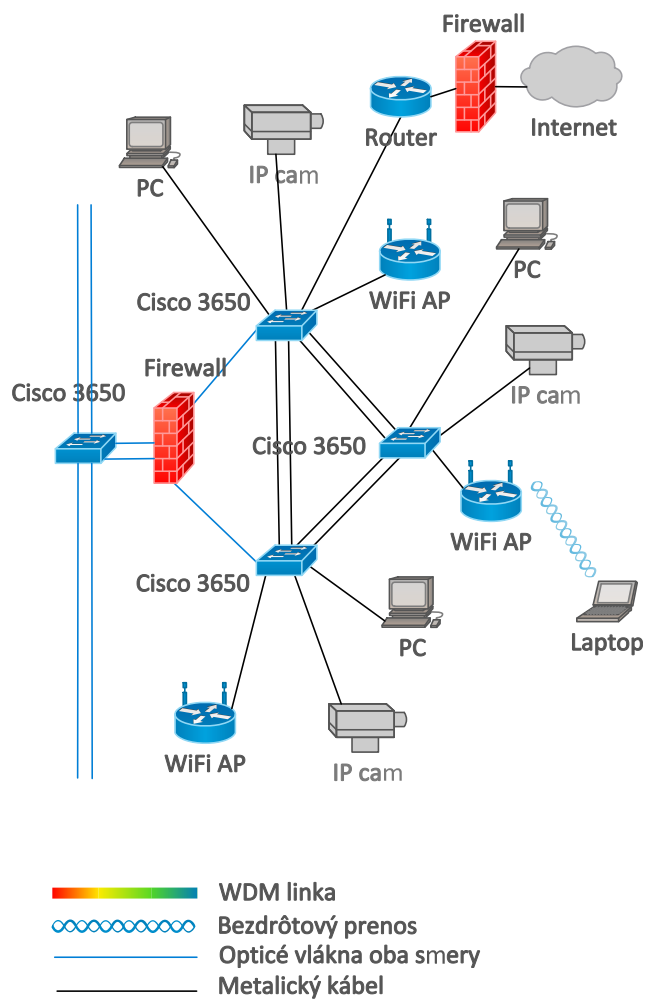
Obr. 9.3: Vrstvové zobrazenie siete - riešenie A.





Obr. 9.4: Topológia vonkajšej časti siete - riešenie A.

Výmena spojov v kancelárskej budove firmy je nutná. Zastaralé metalické spoje Cat 5 nepodporujú dostatočné prenosové rýchlosti. Preto sú v kancelárskych priestoroch, ktorých topológiu môžeme vidieť na obrázku 9.5, všetky spoje vymenené za metalické UTP káble Cat 6. Tieto podporujú prenosové rýchlosti 1 Gbit/s a v budúcnosti je možné po týchto kábloch prenášať dáta rýchlosťou až 10 Gbit/s. Metalická kabeláž ma výhodu v jednoduchšej inštalácii a bezproblémovým zmenám v sieti. Pre zvýšenie spoľahlivosti kancelárskej siete je vykonaná zmena zapojenia distribučných prepínačov do topológie fyzického kruhu.



Obr. 9.5: Topológia kancelárskej časti siete - riešenie A.

Ako bolo spomenuté v predošlej časti 9.1.5, najvhodnejším riešením navyšovania prenosovej kapacity centrálného prepoja medzi servermi je použitie CWDM.

Výmena a navyšovanie prenosovej kapacity liniek by však neposkytli dostatočný efekt pri použití pôvodných aktívnych prvkov siete. Tie je nutné z veľkej časti taktiež vymeniť. Pri návrhu všetkých riešení som používal čo najviac výrobkov od jedného výrobcu. Dôvodov je viacero. Môžem tak porovnať rôzne návrhy a vyčíslit približné náklady na použitú technológiu bez ohľadu na to, že by bolo nutné zohľadňovať rôzne ceny za podobné zariadenia od rozličných výrobcov. Zároveň je tak zaistovaná čo najlepšia kompatibilita medzi pripojeniami a protokolmi, ktoré jednotlivé zariadenia využívajú. V neposlednej rade je zjednodušená údržba siete v budúcnosti. Ak je totiž potrebná výmena jedného zariadenia (napr. prepínača), je vyššia pravdepodobnosť, že náhradné zariadenie má vlastník siete už zakúpené, pretože sa tento typ používa v celej sieti. Ak by totiž boli všetky zariadenia odlišné, bolo by finančne neúnosné

mať pre každé z nich zakúpenú náhradu.

Na koreňovej vrstve sú používané zariadenia Cisco Catalyst 3750. Tieto sa vyznačujú vysokou variabilitou, spoľahlivosťou a vysokým výkonom. Je možné ich ďalšie rozširovanie rôznymi modulmi a zásuvnými kartami podľa potrieb konkrétneho zákazníka. Nejedná sa o zariadenia priemyselného štandardu - avšak to ani nie je potrebné, pretože tieto zariadenia sú uložené v serverových miestnostiach a tie sú vybavené vlastnou klimatizáciou a filtrovaním vzduchu. Nedochádza tak ku zvýšenému namáhaniu týchto zariadení vplyvmi prostredia. Aj napriek tomu sa však jedná o zariadenia s vysokou spoľahlivosťou, bežne používané v chrbtových častiach sietí. Sú stavané na prevádzku 24 hodín denne, 365 dní v roku.

V distribučnej vrstve sú použité zariadenia Cisco IE 3010. Tieto už spĺňajú priemyselné štandardy a sú tak určené priamo do prevádzkových priestorov.

V kancelárskych priestoroch sú z dôvodov znižovania nákladov použité prepínače CISCO Catalyst 3650, ktoré boli pôvodne použité v centrálnej časti siete a z dôvodu ich nahradenia by už nemali ďalšie využitie.

Vonkajšia sieť pokrývajúca pomerne rozsiahly areál je vybavená technológiou FTTx. Tá pozostáva z Cisco ME 4601 OLT, optického splitra a ONU modemov. Podľa miesta a spôsobu uloženia ONU modemov je možné použiť zariadenia s rôznym stupňom krytia.

Vo všetkých častiach distribučnej vrstvy môžeme nájsť WiFi prístupové body Cisco Aironet 1530, Cisco Aironet 1550 a Cisco Aironet 2700. Ich použitie je závislé na tom, či sú použité v interiéri alebo exteriéri a podľa nárokov na ich prenosové rýchlosti. Napríklad zariadenia Aironet 2700 sú vhodné pre použitie v kancelárskych priestoroch, ale nevhodné pre použitie v exteriéri alebo v prevádzke, pretože tam sú už kladené vyššie nároky na stupeň krytia zariadenia. Tieto bezdrôtové prvky zaisťujú čo najlepšie pokrytie priestorov firmy Wifi signálom. Vďaka tomu je možné, aby sa inžinieri vo výrobe boli schopní bezproblémovo pripojiť k sieti a vykonať zásahy do nastavení strojov. Ďalej zabezpečuje zamestnancom a návštevníkom firmy prístup na internet, k databázam, zdieľaným serverom a iným službám poskytovaných sieťou.

Ako kontrolér týchto prístupových bodov je využívaný Cisco 5500 Series Wireless Controller. Ten riadi jednotlivé prístupové body, rieši vytváranie viacerých fyzických alebo virtuálnych WiFi sietí a zároveň rieši autorizáciu a autentifikáciu užívateľov, ktorí sa do týchto sietí chcú pripájať. Tento kontrolér je zálohovaný jeho duplicitou podobne ako server, takže je duplicitne umiestnený v oboch serverových miestnostiach.

Zabezpečenie celej siete je riešené samostatnými firewallmi, ktoré chránia všetky prechody z vnútornej siete do internetu a zároveň chránia priemyselnú časť siete od neoprávneného prístupu z kancelárskej časti siete. Zariadenia použité pre tieto účely

sú CISCO ASA 5585-X SSP-40.

Ako koncové zariadenia siete sú používané hlavne prevodníky LAN / Serial, pomocou ktorých sú ovládané staršie zariadenia, rôzne merania a ďalšie vybavenie, ktoré komunikujú pomocou sériového rozhrania. Výber týchto prevodníkov ako aj ostatných koncových zariadení je však už podriadené konkrétnemu využitiu a aplikácii.

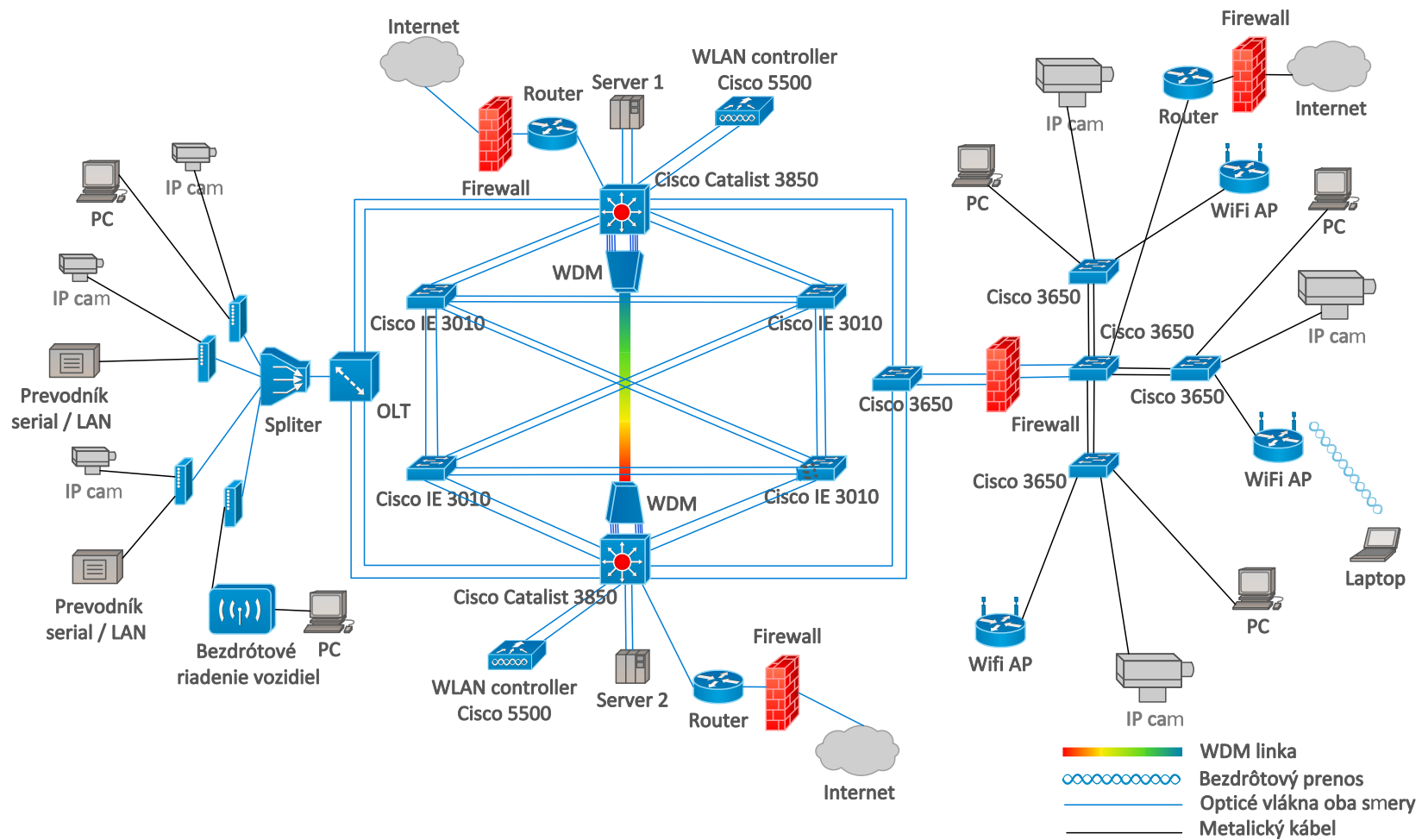
9.3 Riešenie B

Druhé riešenie je zobrazené na obrázku 9.6. Vrstvový model tohoto riešenia je na obrázku 9.7.

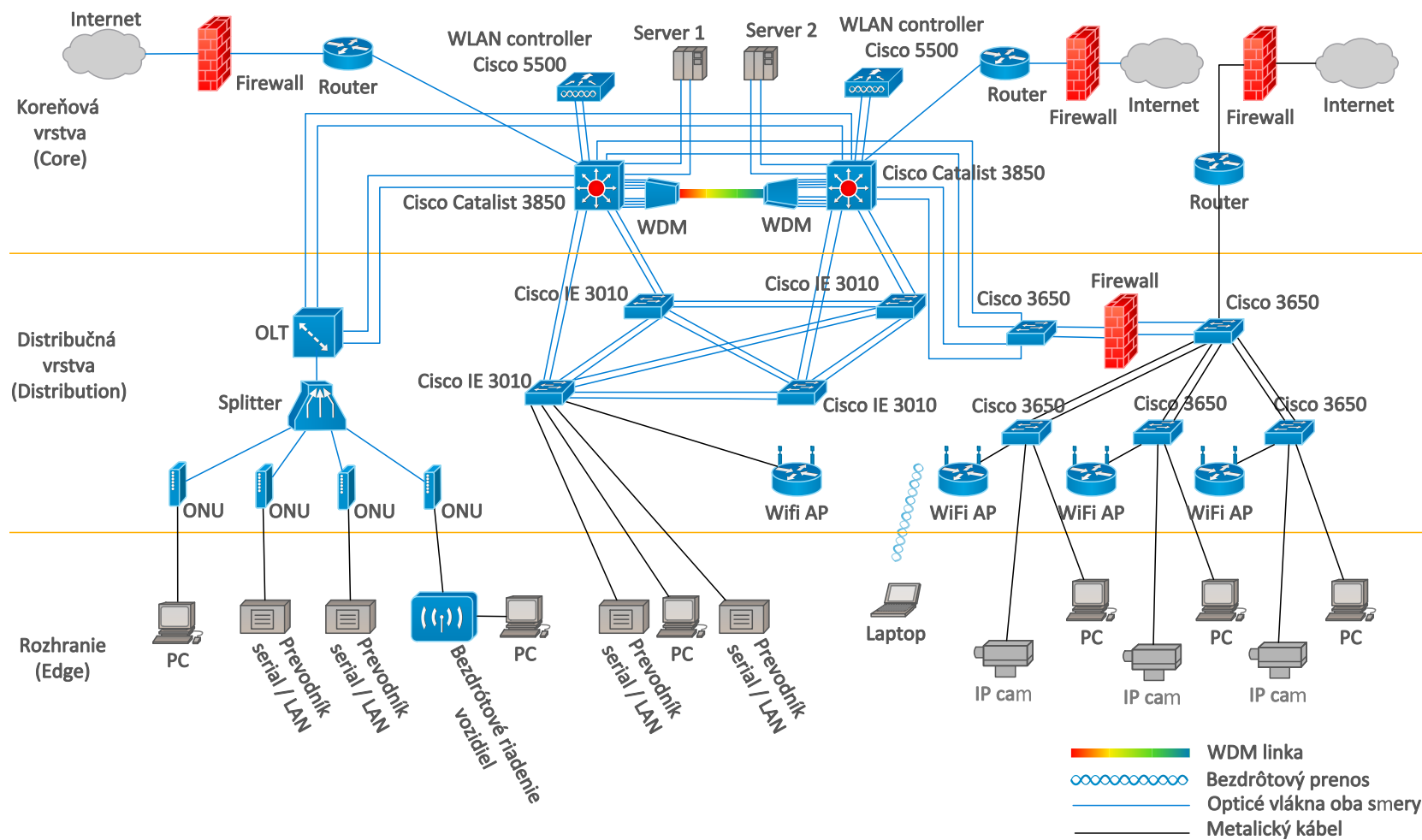
Aj v tomto prípade je nutnosť výmeny liniek rovnako ako v riešení A 9.2.

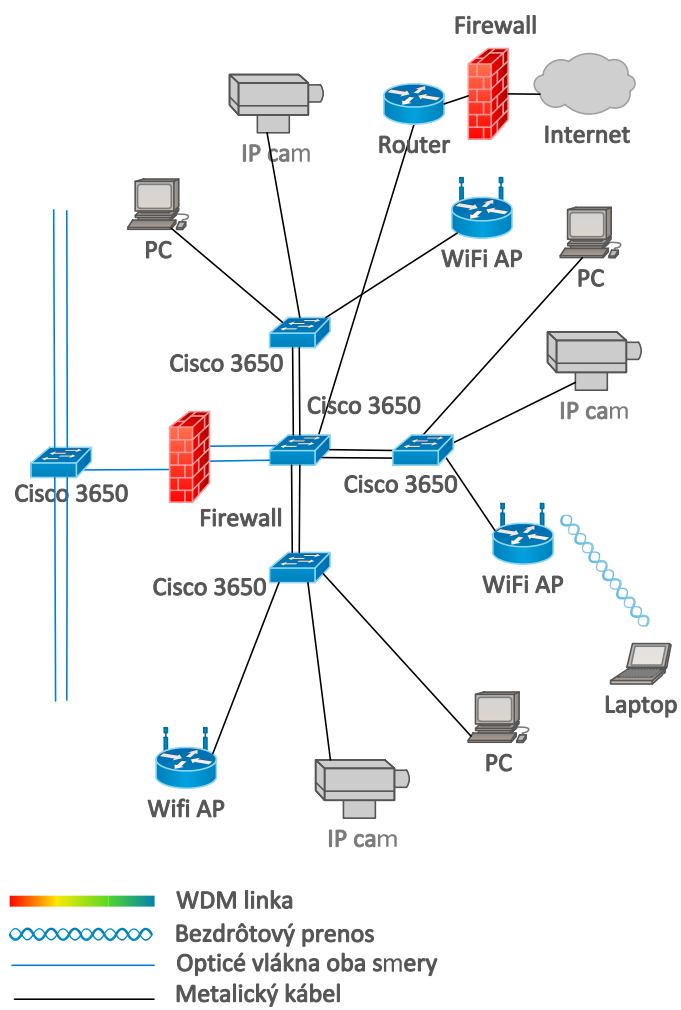
Zmena v topológii nastáva v kancelárskej sieti 9.8, kde je použité usporiadanie do hviezdy. Rovnako ako v predošlom riešení tu je použitá Cat 6 metalická kabeláž. Usporiadanie do hviezdy prináša vyššie prenosové rýchlosti pre koncové zariadenia, avšak za cenu zníženia spoľahlivosti siete. Toto riešenie sa až na túto zmenu v kancelárskej časti siete spolieha na rovnaké usporiadanie ako je tomu v riešení A 9.2, čo znamená použitie CWDM na prepojenie koreňových prepínačov, výmeny nevyhovujúcich liniek a použitím FTTx vo vonkajšej časti siete.

Obr. 9.6: Topológia vymoventia optickej siete - riešenie B.



Obr. 9.7: Vrstvové zobrazenie siete - riešenie B.



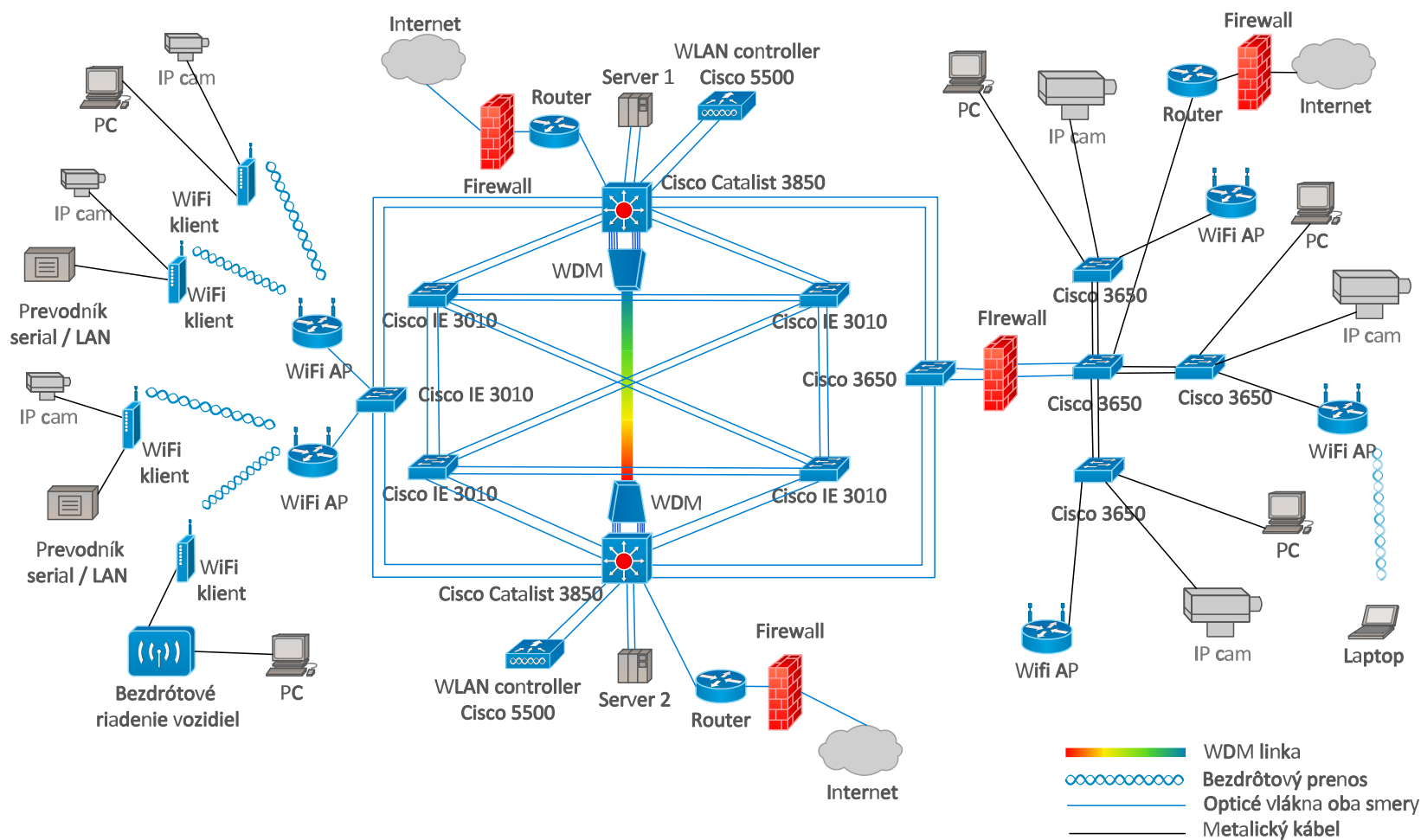


Obr. 9.8: Topológia kancelárskej časti siete - riešenie B.

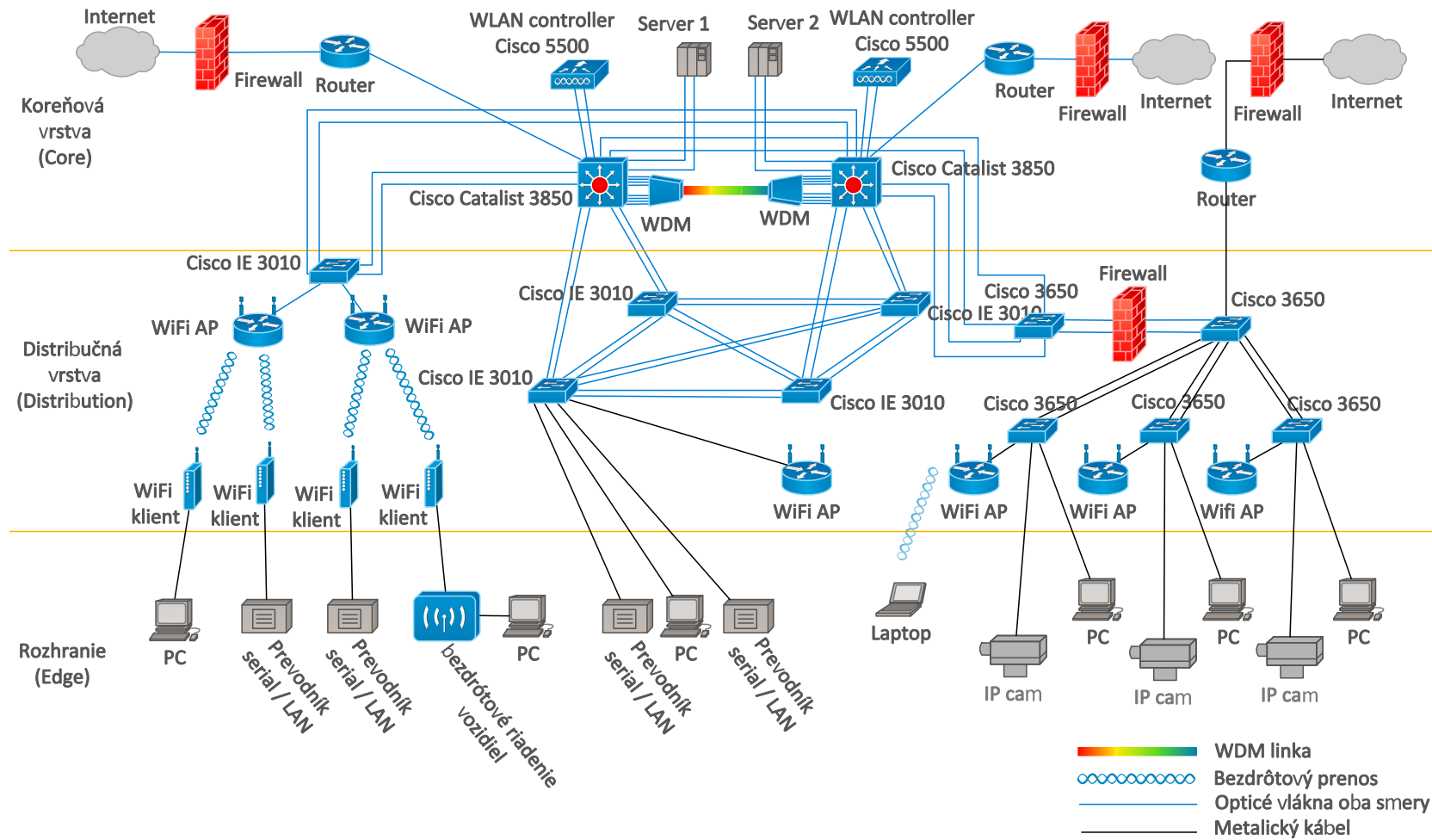
9.4 Riešenie C

Tretie riešenie je zobrazené na obrázku 9.9 a vo vrstvovom vyobrazení na obrázku 9.10. Toto riešenie je pozmeneným riešením B. Rozdiel je v topológii vonkajšej časti siete. Táto časť siete je v tomto prípade riešená bezdrôtovými spojmi. Ako bolo spomenuté v časti 9.2, vonkajšia časť siete nie je časovo náročnou a tak v tejto časti nie je potrebné používať také technológie, ktoré sú určené primárne pre časovo náročné aplikácie. Preto je v tomto riešení navrhnutá práve technológia bezdrôtových spojov. Ako prístupový bod sú používané bezdrôtové zariadenia Cisco Aironet 1550. Klientské zariadenia, ktoré môžu súčasne fungovať aj ako bezdrôtový most (bridge), sú potom rovnako zariadenia zo série Cisco Aironet 1550, prípadne Aironet 1530. Podľa vzdialenosti sú na týchto zariadeniach používané externé smerové antény alebo sa využívajú ich integrované antény.

Obr. 9.9: Topológia vymoventia optickej siete - riešenie C.



Obr. 9.10: Vrstvové zobrazenie siete - riešenie C.



9.5 Výber riešenia

Tak ako v časti 9.1.5 je nutné pristupovať veľmi podobne aj pri výbere riešenia celej siete. Teda je dôležité vyberať na základe ceny, výkonu a jednoduchosti prestavby siete. Tieto parametre môžeme vidieť v tabuľke 9.4, kde sú všetkým parametrom priradené bodové hodnotenia, ktoré odrážajú výhodnosť alebo nevýhodnosť daného riešenia oproti ostatným návrhom. Tabuľka je tvorená bodovým hodnotením. Najvyššie bodové hodnotenie sú 3 body pre najvýhodnejšie riešenie, najnižšie hodnotenie je 1 bod pre najmenej výhodné riešenie. Ak sú dva návrhy v určitej oblasti rovnaké, snažil som sa o to, aby menší rozdiel bol ohodnotený rozdielom jedného bodu. Naopak pri väčšom rozdieli je aj väčší bodový rozdiel.

Pred porovnaním jednotlivých parametrov je však nutné zdôrazniť, že centrálna časť siete, ktorá zabezpečuje jednak komunikáciu medzi servermi, ale hlavne riadenie časovo citlivých procesov pri výrobe, je vo všetkých troch návrhoch rovnaká. Výber vhodných riešení pre túto najkritickejšiu časť siete bol diskutovaný v časti 9.1.5. Výsledným riešením je použitie technológie CWDM pre hlavný spoj a výmena s doplnením všetkých ostatných vlákien, aby sa vytvorila topológia s plným vzájomným prepojením. Bez popísanej zmeny tejto časti siete by nemalo vôbec zmysel sa zaoberať ďalším riešením. Táto centrálna časť siete je potom pripojená k internetu a ostatným periférnym oblastiam. Ich jednotlivé riešenia sú ďalej porovnávané v jednotlivých parametroch.

Prvým z porovnávaných parametrov je cena. Riešenie A a riešenie B majú cenu približne rovnakú a to 141 640 \$, čo je približne 3 115 000 Kč. Táto cena je relatívne vysoká, a to pre použitie pomerne drahých optických zariadení využívaných pri FTTx systémoch. Oproti tomu bezdrôtové WiFi spoje majú nižšiu cenu než FTTx a to aj napriek tomu, že sú použité kvalitné zariadenia s vysokým stupňom krytia a s podporou viacerých štandardov, pásiem a podobne. Bezdrôtové riešenie vonkajšej časti siete v návrhu C sa potom odráža aj na cene 122 840 \$, v prepočte približne 2 700 000 Kč. Tento rozdiel v hodnote 415 000 Kč je nezanedbateľnou sumou pri zohľadňovaní najvýhodnejšieho riešenia. Vyššia cena optického riešenia FTTx by sa začala vyplácať až pri väčšom počte koncových zariadení. Pri FTTx je totiž podstatné zameriavať sa okrem celkových vstupných nákladov aj náklady na jedno koncové zariadenie resp. užívateľa. Naopak, pri rapídnom navyšovaní počtu zariadení a užívateľov v riešení C by sa začal tento systém bezdrôtových spojov predražovať.

Ďalším parametrom v porovnávacíj tabuľke sú prenosové rýchlosti. Tie sa značne odlišujú vo vonkajšej časti siete pri riešení s použitím bezdrôtových prvkov alebo FTTx. Zároveň však nastáva aj malý rozdiel v poskytovaných rýchlostiach v kancelárskej časti siete. Pri použití topológie kruhu z návrhu A je vyzdvihnutá do popredia skôr spoľahlivosť tejto časti siete, pri topológii hviezdy z návrhu B je to zase vý-

hoda poskytovanej rýchlosti komunikácie koncových zariadení medzi sebou. Kvôli použitiu rovnakých zariadení však nie sú rozdiely veľké a tak ide iba o relatívne malú odchýlku. Aj napriek tomu je však ako najrýchlejšie označené riešenie B, iba o niečo málo zaostávajúcim je riešenie A. Najpomalším riešením je potom riešenie C. V tomto návrhu sa totiž počíta s nasadením spomínanej technológie bezdrôtových spojov, ktoré nedokážu poskytnúť tak vysoké prenosové rýchlosti ako optická technológia FTTx. Aj keď dosahované rýchlosti nie sú tak vysoké, WiFi technológia je momentálne dostatočujúcou pre pokrytie požiadaviek a jej nižší výkon by sa začal prejavovať až pri pridávaní veľkého počtu nových koncových zariadení. Takýto nárast sa však v posudzovanej sieti nepredpokladá ani v budúcnosti.

Názov riešenia	Cena	max. prenosové rýchlosti	inštalácia	výsledok
A	2	2	1	5
B	2	3	1	6
C	3	1	3	7

Tab. 9.4: Porovnanie riešení, bodové hodnotenie

Posledný porovnávaný parameter v tabuľke je inštalácia, teda porovnanie náročnosti montáže nových sieťových zariadení. Tu samozrejme riešenia A a B sú znevýhodnené väčším množstvom použitých optických zariadení. Tie sú vo všeobecnosti vždy náročnejšie na inštaláciu než ich bezdrôtové alebo metalické náhrady. Je to spôsobené hlavne náročnosťou pri spojovaní vlákien, montáže, osádzaní konektorov a podobne. Naopak bezdrôtové spoje majú veľkú výhodu v jednoduchosti inštalácie. Nie je potreba budovať sieť z vlákien alebo metalických káblov, je potrebné iba vhodne umiestniť prístupové body a zaistiť im napájanie. Budovanie bezdrôtových spojov sa tak javí ako najjednoduchší spôsob pokrytia relatívne veľkých priestorov areálu, kde sú jednotlivé zariadenia rozmiestnené pomerne riedko. Preto dostávajú riešenia A a B iba po jednom bode a ako najvýhodnejšie riešenie je z pohľadu jednoduchosti inštalácie jednoznačne riešenie C.

Z tabuľky 9.4 potom vyplýva, že vďaka nižšej cene a jednoduchosti inštalácie je pre naše použitie najvýhodnejšie riešenie C. To, aj napriek poskytnutiu o niečo nižšej prenosovej rýchlosti vo vonkajšej časti siete, poskytuje stále dostatočnú prenosovú rýchlosť pre zariadenia, ktoré sa v tejto časti siete nachádzajú.

Ak by bola požadovaná vysoká prenosová rýchlosť s nižším oneskorením aj vo vonkajších častiach siete, nebolo by možné používať bezdrôtovú technológiu. V tom

prípade by aj napriek o niečo vyššej cene a zložitejšej montáži vyhral návrh B, ktorý v tabuľke vychádza ako druhé najvhodnejšie riešenie. Oproti návrhu C je rozdiel v riešení vonkajšej časti siete, kde sú využité pôvodné vlákna, na ktoré je aplikovaná technológia FTTx. Výhodou je hlavne veľká odolnosť voči zarušeniu takejto siete a aj dosiahnutá vyššia prenosová rýchlosť. Vypočítaná cena prestavby je potom takmer 3 115 000 Kč. Táto cena by sa pravdepodobne ešte navýšila aj predpokladanou vyššou cenou inštalácie a montáže optických zariadení.

Výsledné vybrané riešenie C sa skladá z centrálného prepoja hlavnej a záložnej serverovej miestnosti, tvoreného pôvodným jednovidovým optickým vláknom, na ktoré je nasadené 8-kanálové CWDM. Priemyselná časť siete sa skladá z nových jednovidových optických vlákien v konfigurácii plného vzájomného prepojenia. Ako aktívne zariadenia sú v tejto časti použité prepínače Cisco IE 3010. Na tieto prepínače sú potom priamo pripojené všetky zariadenia požívané v tejto sekcii siete (prevodníky, pracovné stanice, stroje, ale aj bezdrôtové prvky pokrývajúce vnútorné priestory výroby WiFi signálom). Vonkajšia sieť je zastúpená bezdrôtovými spojmi využívajúcimi technológiu WiFi. Sieť v budove s kanceláriami pozostáva zo starších prepínačov Cisco Catalyst 3600, ktoré boli pôvodne v sieti používané na iných miestach a ich využitím sa dosiahla značná úspora finančných prostriedkov. Tieto aktívne prvky sú vzájomne prepojené pomocou metalických káblov kategórie Cat 6, ktoré poskytujú dostatočnú rýchlosť a flexibilitu pri častých zmenách v kanceláriách. Takto konfigurovaná sieť má vypočítanú cenu prestavby približne 2 700 000 Kč čo znamená úsporu vo výške 415 000 Kč pri zachovaní všetkých požadovaných vlastností.

10 ZÁVER

Diplomovú prácu môžeme rozdeliť na dve časti, a to prvú teoretickú a druhú praktickú s návrhom riešenia obnovenia priemyselnej siete. Prvá teoretická časť práce má za úlohu sumarizovať najdôležitejšie informácie týkajúce sa priemyselných sietí. Dôraz je kladený hlavne na priemyselný Ethernet ako na najrýchlejšie sa rozvíjajúci typ priemyselnej siete, ktorá ťaží z popularity Ethernetu v kancelárskych a telekomunikačných sieťach. Podstatnou časťou teórie priemyselných sietí je ich fyzické vyhotovenie a prevedenie, ako aj umiestnenie spojov v rámci priemyselnej siete. Táto problematika je diskutovaná v časti 3 Topológia priemyselných sietí.

Ďalej sa práca zaoberá z veľkej časti rozborom štandardne používaných systémov na zvyšovanie prenosovej kapacity optických sietí. Jedná sa o systémy vlnových multiplexov, ktoré zabezpečujú možnosť prenášať informácie na viacerých vlnových dĺžkach zároveň na jednom vlákne. WDM, CWDM ako aj DWDM sú bežne používané a stále ďalej rozvíjané systémy, ktoré nájdeme dnes vo veľkej časti telekomunikačných sietí. Vďaka ich dobrým vlastnostiam sa dokonca stále častejšie využívajú aj na iné ako iba bod - bod aplikácie. Bežne sa s týmito zariadeniami stretávame pri zapojeniach typu FTTx (Fiber to the x), kde ide o komunikáciu bod - multibod. To znamená, že vlnové multiplexy si našli cestu do sietí s veľkým dosahom, ale aj do sietí implementovaných na takzvaný posledný kilometer.

Praktická časť práce sa začína simuláciami použitia vlnových multiplexov. Pri simuláciách boli použité jednoduché WDM multiplexy, ako aj CWDM a DWDM varianty. Tieto simulácie ukazujú rozdiely medzi týmito technológiami a poskytujú nám tak podklady k ich porovnávaniu. Práca ako taká by mala slúžiť hlavne ako sumarizácia dostupných technológií a ako návod, akým spôsobom je vhodné navrhovať revitalizáciu starších optovláknových priemyselných sietí. Práve preto sa v druhej časti siete nachádzajú aj všeobecné zásady návrhu obnovy priemyselných optických sietí. Je v nich popis ako by sa malo postupovať pri návrhu.

Na hlavné linky vzorovej priemyselnej siete sú aplikované riešenia založené na technológii vlnových multiplexov a bezdrôtových spojov, a sú zvážené ich výhody a nevýhody. Ako najlepší je vybraný systém CWDM, ktorý poskytuje dostatočné navýšenie prenosovej rýchlosti za prijateľnú cenu. Tento systém je aplikovaný na optickú linku, ktorá prepája hlavnú a záložnú serverovú miestnosť. Pri ostatných linkách v centrálnej časti priemyselnej siete sa javí ako najlepšia možnosť výmena vlákien. Pokiaľ je to totiž možné, je výmena jednoduchšia, lacnejšia a robustnejšia ako nasadenie komplikovaných a drahých systémov. Tým bol určený vzhlad a zloženie centrálnej priemyselnej siete.

Práca následne pokračuje návrhom troch riešení celej siete, ktoré sa už líšia iba v usporiadaní okrajových častí siete. Tie sú v poslednej časti porovnané a na základe

toho je z nich vybraný najvýhodnejší návrh.

Práca je zameraná hlavne na vytvorenie návrhov obnovenia optických priemyselných sietí a na zhodnotenie možných použitých technológií. Z tých sa v tomto prípade javí ako najvhodnejšia možnosť použitie CWDM na vnútornej linke. Toto riešenie spočíva vo výmene nevyhovujúcich spojov, ktoré je možné nahradiť a v použití kombinácie bezdrôtovej technológie s metalickými káblami v tých častiach siete, kde nie sú kladené tak veľké požiadavky na prenosovú kapacitu a oneskorenie v sieti.

LITERATÚRA

- [1] RAMASWAMI, Rajiv, Kumar N SIVARAJAN a Galen H SASAKI. *Optical networks: a practical perspective*. 3rd ed. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2009, xxxiv, 893 s. Morgan Kaufmann series in networking. ISBN 978-0-12-374092-2.
- [2] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1. Brno: Miloslav Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [3] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet I: Historický úvod. *Automa*. 2007, č. 1, 41 - 43.
- [4] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet II: Referenční model ISO/OSI. *Automa*. 2007, č. 3, 86 - 90.
- [5] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet III: Fyzické provedení sítě Ethernet. *Automa*. 2007, č. 6, 40 - 44.
- [6] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu. *Automa*. 2007, č. 10, 57 - 62.
- [7] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet V: Bezpečná komunikace po Ethernetu. *Automa*. 2007, č. 12, 58 - 61.
- [8] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VI: Informační bezpečnost. *Automa*. 2008, č. 1, 85 - 92.
- [9] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VII: Přehled současných standardů. *Automa*. 2008, č. 2, 26 - 29.
- [10] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet. *Automa*. 2008, č. 5, 62 - 66.
- [11] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IX: Ethernet/IP, EtherCAT. *Automa*. 2008, č. 10, 60 - 64.
- [12] CISCO PRESS. *Connecting networks companion guide*. 2014. Indianapolis: Cisco press, xxiii, 542 s. ISBN 978-1-58713-332-9.
- [13] BÉLAI, Igor a Marek DURFINA. SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE. *PKS Priemyselné komunikačné systémy* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2014-11-1]. Dostupné z: <<http://ap.urpi.fei.stuba.sk/pkom/html/about.html>>.

- [14] ITUT INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *Transmission media and optical systems characteristics: Optical fibre cables*. 2009, 22 s. Dostupné z: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I/en>>.
- [15] HMS INDUSTRIAL NETWORKS. *HMS* [online]. 2005 - 2014 [cit. 2014-11-4]. Dostupné z: <http://www.anybus.com/technologies/technologies.shtml>
- [16] CISCO. Cisco GPL 2015: *The Best Cisco Global Price List Checking Tool* [online]. 2002 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <<http://ciscoprize.com/>>.
- [17] TRUMF, renovace a sanace, s.r.o. *Ruční výkopové práce a zemní práce* [online]. 2012 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <<http://www.sanace-zdiva-praha.cz/vykopove-prace/>>.
- [18] MA-FIA S.R.O. *Ma-Fia.cz: Datové technologie bez kompromisu* [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <<http://www.ma-fia.cz/>>.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

UTP	Unshielded Twisted Pair - Netienený krútený pár
ITP	Industrial Twisted Pair - Priemyselný krútený pár
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
EMP	Electromagnetic pulse - Electromagnetický pulz
POF	Polymer optical fibre - Polymérové optické vlákno
IP	Internet Protocol - Internetový protokol
UDP	User Datagram Protocol - Datagramový protokol
UDP	User Datagram Protocol - Datagramový protokol
TCP	Transmission Control Protocol - Transportný Protokol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
FTP	File Transfer Protocol - Súborový prenosový protokol
RTPS	Real-Time Publish Subscribe
ICMP	Internet Control Message Protocol
MAC	Media Access Control - Protokol riadenia prístupu k médiu
WDM	Wavelength Division Multiplex - Vlnový multiplex
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex - Hrubý Vlnový multiplex
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex - Hustý Vlnový multiplex
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
OADM	Optical Add Drop Multiplexer - Optický pridaj/odober multiplexer
NRZ	Non Return To Zero - Nevracajúci sa do nuly
BER	Bit Error Rate - Bitová chybovosť
FTTx	Fiber to the x - Optické vlákno zavedené priamo do x

A PRÍLOHY

A.1 Tabuľky cien riešení

Riešenie A, B:

typ zariadenia	zariadenie	počet kusov	cena [€]	cena spolu [€]	zdroj cien
prepínač	Cisco IE-3010-16S-8PC	5	\$3 350	\$16 750	http://www.industrialnetworking.com/
WiFi AP	Cisco AIR-CAP 1532I-A-K9	4	\$1 295	\$5 180	http://ciscoprice.com/
WiFi AP	Cisco AIR-2702I	4	\$610	\$2 440	http://www.cdw.com/
prepínač	Cisco Catalyst 3850-24S-S	2	\$8 400	\$16 800	http://www.cnet.com/
WiFi kontroler	Cisco AIR-CT5508-50-K9	2	\$14 380	\$28 760	http://www.tribecaexpress.com/
OLT	Cisco ME4601-OLT	1	\$25 000	\$25 000	http://ciscoprice.com/
smerovač	Cisco ASR 1002	3	\$4 850	\$14 550	http://www.cnet.com/
multiplex	Cisco CWDM-MUX8A	2	\$5 130	\$10 260	http://www.provantage.com/
CWDM SFP modul	Cisco CWDM-SFP-module	16	\$100	\$1 600	http://www.cnet.com/
SFP modul	Cisco SFP module	90	\$50	\$4 500	http://www.amazon.com/
firewall	ASA 5525-X	4	\$3 950	\$15 800	http://www.amazon.com/
			celková cena:		\$141 640

Obr. A.1: Tabuľka nacenenia - riešenie A a B.

Riešenie C:

typ zariadenia	zariadenie	počet kusov	cena [\$]	cena spolu [\$]	zdroj cien
prepínač	Cisco IE-3010-16S-8PC	5	\$3 350	\$16 750	http://www.industrialnetworking.com/
WiFi AP	Cisco AIR-CAP 1532I-A-K9	4	\$1 295	\$5 180	http://ciscoprice.com/
WiFi AP	Cisco AIR-CAP 1552EU-A-K9	2	\$3 000	\$6 000	http://www.amazon.com/
WiFi AP	Cisco AIR-2702I	4	\$610	\$2 440	http://www.cdw.com/
prepínač	Cisco Catalyst 3850-24SS	2	\$8 400	\$16 800	http://www.cnet.com/
WiFi kontroler	Cisco AIR-CT5508-50-K9	2	\$14 380	\$28 760	http://www.tribecaexpress.com/
smerovač	Cisco ASR 1002	3	\$4 850	\$14 550	http://www.cnet.com/
multiplex	Cisco CWDM-MUX8A	2	\$5 130	\$10 260	http://www.provantage.com/
CWDM SFP modul	Cisco CWDM-SFP-moduly	16	\$100	\$1 600	http://www.cnet.com/
SFP modul	Cisco SFP moduly	94	\$50	\$4 700	http://www.amazon.com/
firewall	ASA 5525-X	4	\$3 950	\$15 800	http://www.amazon.com/
			celková cena:	\$122 840	