



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

NÁVRH TOPOLOGIE POČÍTAČOVÉ SÍTĚ S VÍCENÁSOBNOU REDUNDANCÍ

MULTIPLE REDUNDANCY COMPUTER NETWORK TOPOLOGY DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Šimončíčová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vilém Jordán

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav informatiky
Studentka:	Bc. Lenka Šimončíčová
Studijní program:	Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor:	Informační management
Vedoucí práce:	Ing. Vilém Jordán
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

Návrh topologie počítačové sítě s vícenásobnou redundancí

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce
Analýza současného stavu
Teoretická východiska práce
Vlastní návrhy řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Vypracování a ověření návrhu topologie sítě s vícenásobnou redundancí dle zadání investora.

Základní literární prameny:

JORDÁN V. a V. ONDRÁK. Infrastruktura komunikačních systémů I., Univerzální kabelážní systémy, 2. rozšířené vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-214-5115-5.

JORDÁN V. a V. ONDRÁK. Infrastruktura komunikačních systémů II., Kritické aplikace. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-214-5240-4.

JORDÁN V. a V. ONDRÁK. Infrastruktura komunikačních systémů III., Integrovaná podniková infrastruktura. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-214-5241-1.

Zákon č.205/2017 Sb. - zákon o kybernetické bezpečnosti.

Nařízení vlády č. 315/2014 Sb. o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury.

Vyhláška č. 82/2018 Sb. - vyhláška o kybernetické bezpečnosti.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně dne 28.2.2019

L. S.

doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá návrhom topológie siete s viacej redundantnými linkami pre lokálnu sieť investora. Cieľom práce je navrhnúť viacero topológií siete vzhľadom k požiadavkám investora a používaným technológiám. Návrh vychádza z analýzy súčasného stavu, ktorá popisuje súčasné zapojenie siete. Hlavná časť práce navrhuje riešenia, ktoré vychádzajú z dostupných protokolov pre riadenie redundancie. Funkčnosť navrhnutých riešení je overená prakticky v laboratórnych podmienkach. Na záver sú jednotlivé varianty porovnané a je vyhodnotený ich prínos pre investora.

Kľúčové slová

Komunikačná infraštruktúra, počítačová sieť, redundancia, sieťové protokoly, topológia siete

Abstract

Master thesis deals with the design of network topologies with multiple redundant links for investor's local area network. The objective of the thesis is to design more topology proposals according to investor's requirements and applied technologies. Design is based on an analysis of the current state, which describes current topology of investor's network. The main part of the thesis proposes a solution based on currently available network redundancy protocols. The functionality of the proposed solutions is tested in laboratory conditions. Finally, the individual variants are compared and their individual benefits evaluated.

Key words

Communication infrastructure, computer network, redundancy, network protocols, network topology

Bibliografická citácia

ŠIMONČIČOVÁ, Lenka. *Návrh topologie počítačové sítě s vícenásobnou redundancí* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117986>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Vilém Jordán.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácie použitých prameňov sú úplné, že som vo svojej práci neporušila autorské práva (v zmysle Zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

V Brne dňa 9. mája 2019

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Týmto spôsobom by som chcela poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce pánovi Ing. Vilémovi Jordánovi a oponentovi Ing. Petrovi Sedlákovi a taktiež všetkým, ktorí mi pomohli za ich odborné vedenie, užitočné rady a pripomienky pri riešení danej problematiky. Taktiež by som rada poďakovala investorovi za poskytnutie podkladov a informácií.

OBSAH

ÚVOD.....	10
CIEĽ A METODIKA PRÁCE	11
1. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU.....	12
1.1 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O INVESTOROVI	12
1.2 SÚČASNÝ STAV	12
1.2.1 Používaná technológia	13
1.2.2 Súčasný stav v lokalitách pred rekonštrukciou	16
1.2.3 Súčasný stav v lokalitách po rekonštrukcii.....	17
1.3 POŽIADAVKY INVESTORA	19
1.4 ZHRNUTIE ANALÝZY	20
2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRÁCE.....	21
2.1 SIEŤOVÁ ARCHITEKTÚRA	21
2.2 REFERENČNÝ MODEL ISO/OSI.....	21
2.2.1 Fyzická vrstva.....	24
2.2.2 Linková vrstva	24
2.2.3 Sieťová vrstva	25
2.2.4 Transportná vrstva	26
2.2.5 Relačná vrstva	26
2.2.6 Prezentačná vrstva	26
2.2.7 Aplikačná vrstva	26
2.2.8 Význam referenčného modelu ISO/OSI.....	27
2.3 ARCHITEKTÚRA TCP/IP	27
2.3.1 Vrstva sieťového rozhrania	28
2.3.2 Sieťová vrstva	29
2.3.3 Transportná vrstva	31
2.3.4 Aplikačná vrstva	32
2.3.5 Význam TCP/IP	32
2.4 LOKÁLNE SIETE.....	32
2.4.1 Technologické štandardy lokálnych sietí.....	34

2.4.2	<i>Topológie lokálnych sietí</i>	39
2.5	KOMUNIKAČNÁ INFRAŠTRUKTÚRA.....	42
2.5.1	<i>Prenosový systém</i>	42
2.5.2	<i>Aktívne prvky</i>	44
2.6	RIADENIE REDUNDANCIE.....	48
2.6.1	<i>Univerzálne protokoly</i>	48
2.6.2	<i>Protokoly pre riadenie kruhových sietí</i>	53
	<i>Porovnanie riešenia Sub-Ring a Ring Coupling</i>	60
2.6.3	<i>Riešenia s nulovým časom rekonfigurácie</i>	61
2.6.4	<i>Doplňkové protokoly</i>	62
2.7	DOSTUPNOSŤ.....	63
2.7.1	<i>Dostupnosť v priemyselnom prostredí</i>	64
2.8	PRIESTOR	65
3	NÁVRH RIEŠENIA	67
3.1	MATEMATICKÉ VYJADRENIE SIEŤOVÝCH TOPOLOGÍÍ.....	67
3.2	SIEŤOVÉ TOPOLOGIE S VIACNÁSOBNOU REDUNDANCIOU.....	71
3.2.1	<i>Topológia polynóm</i>	71
3.3	NÁVRH ZLOŽENEJ SIEŤOVEJ TOPOLOGIE.....	72
3.3.1	<i>Topológia loukoťové koleso (Felloe wheel topology)</i>	73
3.3.2	<i>Topológia ihlan (Pyramid topology)</i>	75
3.3.3	<i>Topológia kváder (Cuboid topology)</i>	76
3.3.4	<i>Topológia valec (Roller topology)</i>	79
3.3.5	<i>Topológia veža (Tower topology)</i>	79
3.3.6	<i>Topológia transputer (Transputer topology)</i>	82
3.4	OVERENIE NAVRHNUTÝCH TOPOLOGÍÍ	84
3.4.1	<i>Príprava prostredia</i>	84
3.4.2	<i>Metodika porovnania navrhnutých topológií</i>	87
3.4.3	<i>Testovanie a porovnanie</i>	88
3.5	ZHODNOTENIE NÁVRHOV	111
	ZÁVER	116
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	117

ZOZNAM OBRÁZKOV	121
ZOZNAM TABULIEK	124
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	126
ZOZNAM PRÍLOH.....	129

ÚVOD

Informačné komunikačné technológie (ICT) prenikli do všetkých oblastí spoločnosti aj každodenného života. Rozvoj a rozšírenie informačných technológií podstatne prispieva k zlepšovaniu životnej úrovne. Na druhej strane s neustálym pribúdaním ICT prvkov sa zvyšuje počet kybernetických útokov na tieto zariadenia.

Koncept informačných technológií (IT) bol už v minulosti doplnený o komunikačnú časť, pretože jednotlivé prvky začali medzi sebou komunikovať v rámci počítačovej siete. Počítačovú sieť tvorí množstvo komponentov spájajúcich sa do jedného systému, pomocou ktorého je možné koncové zariadenia vzájomne prepojiť za účelom ich komunikácie. Spoľahlivosť, rýchlosť, životnosť, bezpečnosť a ďalšie vlastnosti siete závisia od použitých komponentov, ktoré ju tvoria, ale aj od správneho návrhu topológie siete a jej riadenia.

Počítačová sieť je jeden zo základných prvkov každej firmy. Môžeme ju pokladať za jeden z kľúčových systémov v každej firme vzhľadom na rozšírenosť informačných komunikačných technológií. Technológie sa začínajú využívať vo veľkej miere nielen v každodennom živote a v bežných komerčných spoločnostiach, ale začali sa aj využívať v spoločnostiach pôsobiacich v priemysle. V priemyselnom prostredí už nehovoríme o informačných komunikačných technológiách ale o priemyselných riadiacich systémoch (ICS). Priemyselné prostredie sa líši v mnohých veciach od komerčného prostredia. Pre komerčné prostredie sú najdôležitejšie dáta a ich dôvernosť a pre priemyselné prostredie je najdôležitejšia dostupnosť procesu.

Základom zaručenia dostupnosti procesu v spoločnosti pôsobiacej v priemysle a jeho bezpečnosti je odpovedajúca počítačová sieť navrhnutá a implementovaná tak, aby spĺňala všetky požiadavky pre daný proces.

CIEĽ A METODIKA PRÁCE

Diplomová práca sa zameriava na problematiku návrhu topológie komunikačného systému a jeho riadenia pomocou sieťových protokolov do rôznych lokalít vlastnených investorom.

Hlavným cieľom práce je návrh viacerých sieťových topológií a spôsobov ich riadenia a posúdenie ich prínosov a vhodnosti použitia v jednotlivých objektoch.

V prvej časti bude predstavený investor a súčasný stav komunikačného systému v lokalitách. Predstavené budú taktiež požiadavky, ktoré investor požaduje po návrhu. Je dôležité taktiež uviesť požiadavky plynúce z už vlastnenej a používanej technológie.

Teoretické východiská objasnia pojmy a prístupy súvisiace s návrhom siete a zároveň uvedú základné informácie o vývoji a fungovaní informačných technológií.

Výstupom práce bude návrh rôznych typov sieťových topológií s viacnásobnou redundanciou. V prípade viacnásobnej redundancie je potrebné využívať vhodné prostriedky pre riadenie tejto siete tak, aby nevznikali nežiaduce slučky. Preto súčasťou poslednej časti bude návrh spôsobu riadenia topológií pomocou sieťových protokolov. Pre overenie funkčnosti bude navrhnutá metodika testovania a jednotlivé topológie budú nasimulované v laboratórnych podmienkach a otestované. Navrhnuté spôsoby riadenia topológií budú nakoniec zhodnotené z hľadiska ich prínosov ale aj negatívnych stránok a taktiež s odporúčaním pre investora, ktorý navrhnutý spôsob je vhodný nasadiť v kombinácii s danými technológiami.

1. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

V tejto kapitole bude prestavený investor, popísaný súčasný stav infraštruktúry u investora a taktiež jeho požiadavky. Z informácií uvedených v tejto kapitole budem vychádzať v návrhovej časti

1.1 Základné informácie o investorovi

Investorom, pre ktorého budú zmeny navrhované, je nadnárodná spoločnosť pôsobiaca hlavne v Európe. Na území Českej republiky pôsobí jej dcérina spoločnosť už viac ako dvadsať rokov. Spoločnosť je priemyselne zameraná.

Spoločnosť podľa definície Nariadenia vlády 315/2014 Zb. je prvok kritickej infraštruktúry. Vzťahuje sa na ňu zákon o Kybernetickej bezpečnosti číslo 181/2014 Zb. v súčasnom znení a o zmene súvisiacich zákonov, v znení zákona číslo 104/2017 Zb. a zákona číslo 205/2017 Zb., a taktiež Vyhláška číslo 82/2018 Zb. (34,35,36).

Z dôvodu interných smerníc investora nie je možné uviesť jeho názov. Práca sa bude venovať topológii siete v lokalitách, kde pôsobí. A keďže ide tiež o prvok kritickej infraštruktúry, mohli by byť zverejnené informácie citlivejšieho charakteru. Preto budú tieto dáta anonymizované.

1.2 Súčasný stav

Investor vlastní mnoho objektov v rôznych regiónoch Česka. Tieto objekty sú navzájom poprepájané optickými trasami. Správu tejto časti siete WAN (Wide Area Network) vykonáva externá spoločnosť formou outsourcingu. V SLA (Service Level Agreement) zmluvách uzatvorených s týmto dodávateľom investor špecifikuje parametre, ktoré požaduje od tejto služby. Dôležitým parametrom je dostupnosť. Keďže dostupnosť je špecifikovaná v zmluvách a správu vykonáva iná spoločnosť, nie je možné do tejto časti siete zasahovať a navrhovať zmeny v jej fungovaní.

Investor má pod svojou správou len siete v danej lokalite. Sieť WAN spájajúca jednotlivé lokality je na každej lokalite zakončená switchom, ktorý je ešte taktiež v sieti WAN a v správe spoločnosti, s ktorou má investor uzatvorené SLA.

Sieť v lokalitách je pre investora veľmi dôležitá z hľadiska dostupnosti a neporušenosti primárneho procesu a z hľadiska dohľadu nad týmto procesom. Investor sa preto snaží vo svojich objektoch investovať do opráv a modernizácie sietí a taktiež sa snaží obmieňať staré a nepodporované zariadenia za tie najnovšie, ktoré spĺňajú náročné požiadavky investora na funkcionality, bezpečnosť a spoľahlivosť po stanovenú dobu. Vplyvom veľkého množstva objektov ale nie je schopný rekonštruovať všetky naraz a preto sa siete v rôznych lokalitách od seba odlišujú. Novo-zrekonštruované lokality sa vplyvom viacerých dodávateľov taktiež od seba odlišujú v použitých technológiách. Predmetom návrhu teda bude navrhnutie možnosti zvýšenia dostupnosti siete pomocou návrhu topológie s viacnásobnou redundanciou pre objekty, ktoré už boli rekonštruované a taktiež pre tie, ktoré sa ešte len rekonštruovať budú. Z tohto návrhu vznikne štandard, podľa ktorého bude investor vybavovať svoje lokality navrhnutou technológiou. Navrhnutý štandard musí priniesť vyššiu spoľahlivosť a dostupnosť siete na danej lokalite. Ak budú všetky lokality vybavené tou istou technológiou, znížia sa taktiež náklady na obsluhu a jej školenia, náklady spojené s monitoringom týchto sietí a zvýši sa hlavne jej bezpečnosť a dostupnosť.

1.2.1 Používaná technológia

Činnosť investora je priemyselne zameraná. To znamená, že zariadenia a ich software, teda zariadenia ktoré používa investor, budú hromadne označované ako priemyselné zariadenia. V tejto sieti sa môžu okrem priemyselných prvkov objavovať aj komerčné zariadenia, ktorých podiel bude ale minimálny. Prvky z komerčného prostredia sú v prostredí investora neželané a investor sa ich snaží obmieňať za priemyselne zamerané.

Pre riadenie svojej priemyselnej činnosti využíva investor priemyselné zariadenia typu RTU (Remote Terminal Unit), IED (Intelligent Electronic Device), HMI (Human Machine Interface), switche, priemyselné komunikačné modemy, NTP servery a ďalšie zariadenia.

RTU sú zariadenia, ktoré zberajú a prenášajú telemetrické údaje do riadiaceho systému (RS, Riadiaci Systém). Telemetrické údaje zberajú zo senzorov k nim pripojených alebo z IED. Pomocou nich sa taktiež riadiace príkazy prenášajú z riadiaceho systému do pripojených zariadení. Poskytujú taktiež funkciu konverzie komunikačných protokolov.



Obrázok č. 1: Zariadenia RTU
(Zdroj: 37)

Zariadenia IED sú elektronické zariadenia na báze mikroprocesora, ktoré sa skladajú z dvoch častí, z komunikačnej časti a z funkčnej časti. Komunikačná časť je zodpovedná za komunikáciu s ostatnými pripojenými IED v danej lokalite. Funkčná časť je zodpovedná za zber dát zo senzorov, riadenie základných funkcií a poskytuje ochrannú funkciu.



Obrázok č. 2: Zariadenie IED
(Zdroj: 37)

HMI predstavuje rozhranie medzi človekom a zariadením. HMI zobrazuje informácie o stave zariadenia a poskytuje možnosť ovládania tohto zariadenia.



Obrázok č. 3: Zariadenie HMI
(Zdroj: 37)

Switche a komunikačné modemy umožňujú komunikáciu medzi prvkami v lokalite alebo medzi danou lokalitou a riadiacim systémom. Sú to zariadenia funkciou podobné komerčným prvkom, ktoré sa používajú v bežných kancelárskych sieťach.



Obrázok č. 4: Priemyselné switche
(Zdroj: 37, 38)

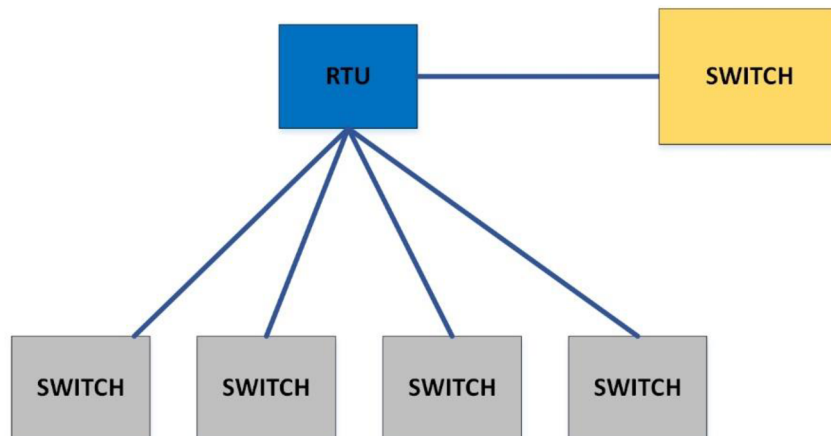
Všetky tieto zariadenia sa odlišujú od bežných komerčných zariadení v tom, že sú na nich kladené väčšie požiadavky na spoľahlivosť, teda dostupnosť.

Pre aplikácie v priemyselnom prostredí je veľmi dôležitý presný čas. Zariadenia musia byť schopné vyhodnocovať situácie v reálnom čase, musia komunikovať medzi sebou v reálnom čase a musia taktiež komunikovať v reálnom čase s riadiacim systémom. Pre komunikáciu medzi zariadeniami v daných lokalitách a riadiacim systémom je teda veľmi dôležitá dostupnosť siete.

1.2.2 Súčasný stav v lokalitách pred rekonštrukciou

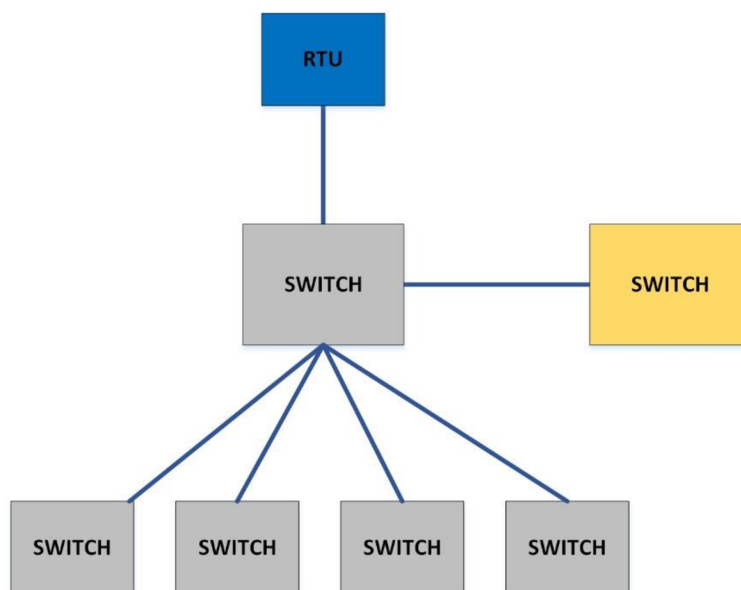
Vo všetkých lokalitách, v ktorých ešte neprebehla rekonštrukcia aj s rekonštrukciou siete, sa používa pre prepojenie zariadení topológia hviezda. Tento typ zapojenia pochádza z pred desiatich až dvadsiatich rokov, kedy prebiehalo prvé nasadenie týchto prvkov do prevádzky. V týchto lokalitách môžeme nájsť viacero typov zapojenia.

Prvý typ zapojenia predstavuje topológiu hviezdy, keď do RTU boli tieto zariadenia pripojené každé samostatne jednou linkou. K RTU je taktiež pripojený WAN switch (žltý), ktorý spája lokalitu pomocou WAN siete s centrálnym systémom. K jednotlivým switchom (šedé) sú pripojené IED, ktoré ale nie sú zakreslené na obrázku z dôvodu prehľadnosti.



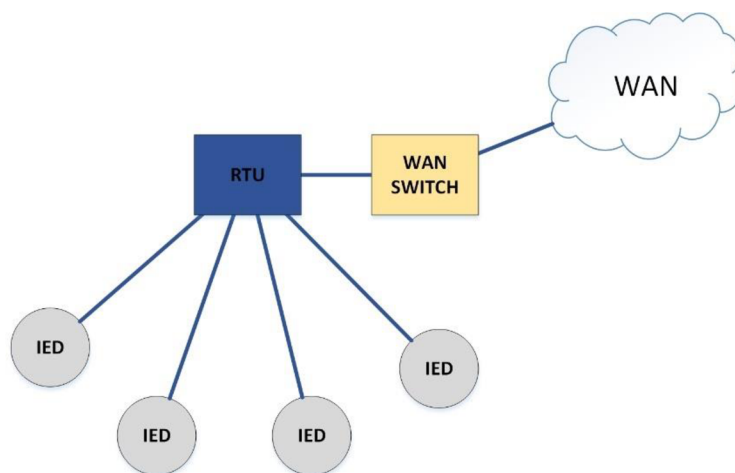
Obrázok č. 5: Súčasný stav v lokalitách pred rekonštrukciou, prvý typ
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Druhý typ zapojenia je podobný ako prvý. Rozdiel v nich je, že do cesty medzi switchami bol pridaný ešte jeden hlavný switch.



Obrázok č. 6: Súčasný stav v lokalitách pred rekonštrukciou, druhý typ
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Posledný typ zapojenia je taktiež podobný ako prvý. Rozdielom je, že všetky IED sú pripojené priamo na RTU pomocou sériovej linky.



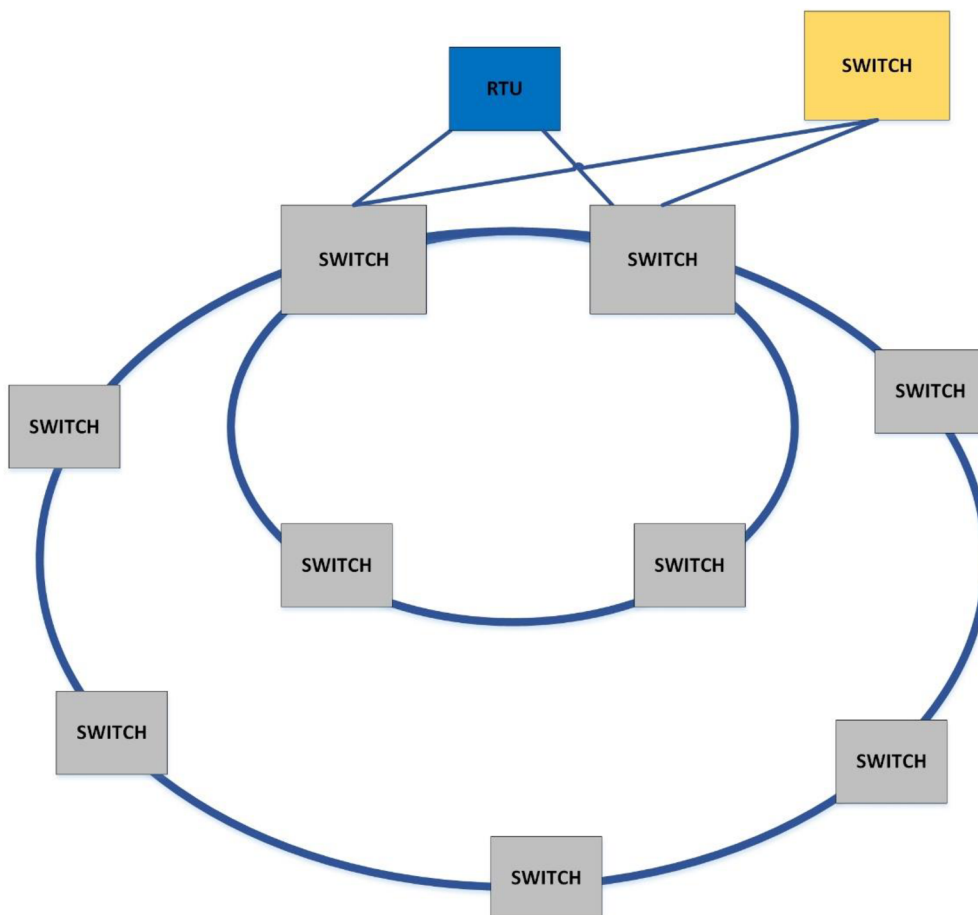
Obrázok č. 7: Súčasný stav v lokalitách pred rekonštrukciou, tretí typ
(Zdroj: vlastné spracovanie)

1.2.3 Súčasný stav v lokalitách po rekonštrukcii

Investor sa snaží v novo-zrekonštruovaných lokalitách sieť unifikovať. Vo väčšine novo-zrekonštruovaných budovách je použitá podobná topológia, aj keď technológia pochádza od rôznych výrobcov a dodávateľov. Investor tieto siete budoval s ohľadom na

požiadavky a odporúčania výrobcov. Snaží sa implementovať túto štandardnú topológiu do všetkých svojich lokalít.

Pre zvýšenie dostupnosti je v tejto topológii použitá topológia kruhu. Schéma siete je znázornená na obrázku. Switche sú prepojené, v závislosti na ich počte, do jedného kruhu alebo do viacerých kruhov. Ku každému switchu sú pripojené IED. Tie nie sú nakreslené na schéme z dôvodu prehľadnosti. Najväčšie switche, ku ktorým je pripojené RTU a WAN switch, sú hlavné switche ringov, pretože k nim sú pripájané kruhy. Sú dva z dôvodu redundancie. Kruhy sú riadené pomocou proprietárneho kruhového sieťového protokolu eRSTP založeného na RSTP. Tento protokol je upravený tak, aby sa znížila doba rekonfigurácie siete a aby bolo možné tento protokol používať aj vo veľkých sieťach.



Obrázok č. 8: Súčasný stav v lokalitách po rekonštrukciách
(Zdroj: vlastné spracovanie)

1.3 Požiadavky investora

Investor požaduje vypracovanie rôznych návrhov topológií. Každý uzol v tejto topológii musí byť pripojený k tejto sieti minimálne tromi alebo viacerými redundantnými linkami. Investor sa v záujme dosiahnutia vysokej dostupnosti nebráni viacnásobnej redundancii, pretože ak by nebolo možné ovládať technológiu, pomocou ktorej je umožnené ovládanie a monitorovanie, mohlo by prísť k porušeniu primárneho procesu investora a tým by investorovi vznikli vysoké finančné straty. Investor taktiež požaduje navrhnuť rôzne spôsoby riadenia navrhnutých topológií. Investor nechce už ďalej využívať protokol RSTP ani protokol na ňom založený.

Investor plánuje obmenu switchov za priemyselné switche od spoločnosti Hirschmann a plánuje prejsť na jednotnú platformu od tejto spoločnosti. Je teda potrebné toto rozhodnutie brať do úvahy a počítať s týmto rozhodnutím pri návrhu topológií a protokolov. Aktívne prvky od spoločnosti Hirschmann dokážu pracovať so štandardnými sieťovými protokolmi, ale majú v sebe aj implementované proprietárne riešenia. Tieto proprietárne protokoly sú vyvinuté Hirschmann tak, aby doba rekonfigurácie pri výpadku bola čo najkratšia. Proprietárne protokoly sa od seba odlišujú funkcionalitou a aj potrebami. Tieto protokoly je výhodné kombinovať medzi sebou v rámci ich funkcionalít, ale je veľmi dôležité dodržiavať pravidlá, podľa ktorých fungujú.

Keďže sa jedná o priemyselnú sieť, hlavným parametrom tejto siete musí byť teda jej dostupnosť, spoľahlivosť a bezpečnosť. Zvýšenie dostupnosti siete znamená nepretržitý a spoľahlivý chod tejto siete aj pri výpadku alebo poruche viacerých častí. Pretože investor vlastní a má v správe asi stodvadsať lokalít, tieto lokality sa môžu od seba líšiť počtami pripojených zariadení, rozdielnymi aplikáciami a hlavne rozdielnou odlišnou úrovňou kritickosti systému, je potrebné navrhnuť viacero odlišných topológií. Priemerný počet switchov na jednej lokalite sa pohybuje okolo desať až pätnásť zariadení. Investor odhaduje, že v asi 70 lokalitách neprebehla ešte rekonštrukcia a v 50 už prebehla aj s rekonštrukciou siete.

Investor požaduje jednotlivé navrhnuté topológie detailne popísať a vysvetliť ich prínosy ale aj negatívne stránky.

1.4 Zhrnutie analýzy

Investor požaduje navrhnuť a otestovať viacero viac redundantných topológií a navrhnuť k nim aj spôsob ich riadenia pomocou protokolov pre riadenie redundancie. Vzhľadom k tomu, že investor pôsobí v priemyselnom prostredí a od jeho činnosti závisí veľké množstvo firiem a ľudí, nové návrhy musia priniesť investorovi vyššiu spoľahlivosť a dostupnosť siete. Vplyvom nasadenia jednotnej platformy od jediného dodávateľa sa zvýši aj bezpečnosť, prehľadnosť siete ale sa ja znížia náklady na personál a zvýši sa celková bezpečnosť komunikačnej infraštruktúry. Implementáciou jedného z nových návrhov sa teda zvýši nielen spoľahlivosť, ale aj bezpečnosť. Tieto dva hlavné parametre prinesú investorovi do budúcnosti menej porúch a nepredvídaných stavov, čím sa investorovi zníži počet nepredvídaných alebo kritických stavov a zníži sa teda vplyv výpadkov na zákazníkov.

2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRÁCE

Táto časť sa bude venovať vysvetleniu základných pojmov a princípov návrhu lokálnej siete. Tieto znalosti ďalej využijem pri návrhu viac redundantnej siete a pri následnom overení jej funkcionality.

2.1 Sieťová architektúra

Sieťová architektúra predstavuje štruktúru riadenia komunikácie v systémoch (3). Komunikácia je zložitý proces a preto sa pristúpilo k rozdeleniu tohto problému na menšie celky, vrstvy. Rozdelenie problematiky na vrstvy umožňuje na každej z nich vykonať kontrolu správ a zrealizovať úlohy, za ktoré je vrstva zodpovedná (3).

Komunikácia medzi vrstvami môžeme prebiehať **vertikálne** alebo **horizontálne** (3).

Vertikálna komunikácia prebieha v rámci jedného systému. Komunikáciu vo vertikálnom smere označujeme ako **službu** (3). Horizontálna komunikácia prebieha medzi rovnako položenými vrstvami dvoch systémov. Pravidlá horizontálnej komunikácie medzi dvoma systémami špecifikuje **protokol** (3).

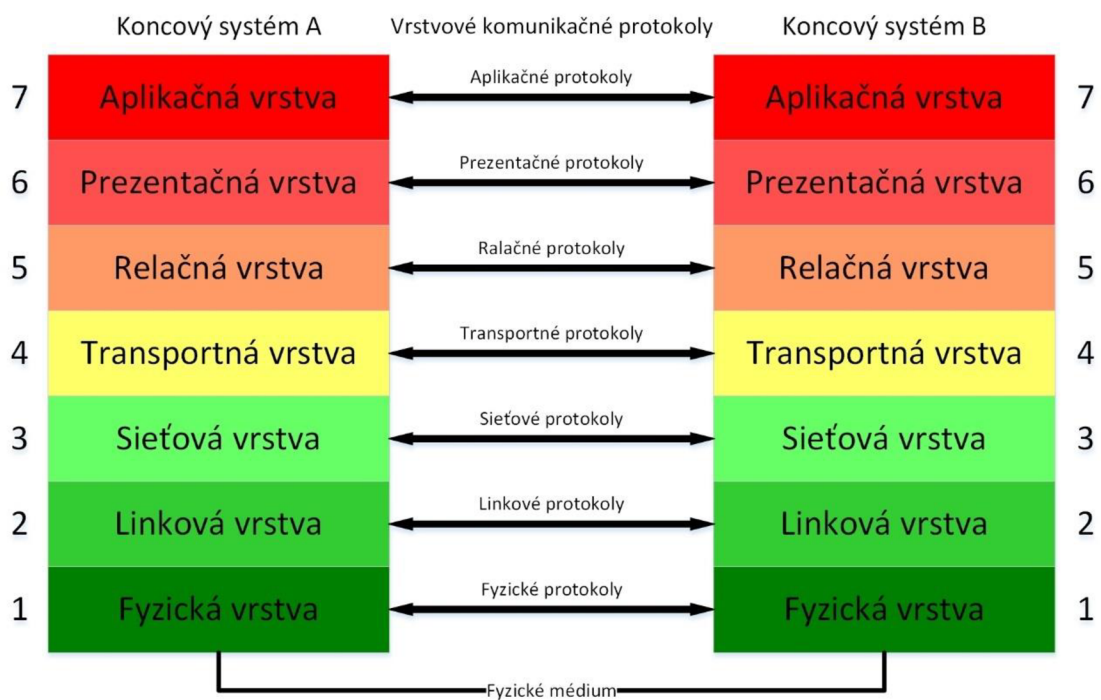
2.2 Referenčný model ISO/OSI

Na začiatku rozvoja sietí vznikali uzavreté sieťové architektúry, ktoré neumožňovali vzájomné prepojenie. Neskôr, v sedemdesiatych rokoch minulého storočia, sa začala vyvíjať architektúra otvorených systémov s dôrazom na otvorenosť kvôli vzájomnej kompatibilite zariadení a systémov od rôznych výrobcov (3). Na túto problematiku zareagovala Medzinárodná normalizačná organizácia (ISO, International Organization for Standardization), ktorá vytvorila model prepojenia otvorených systémov (OSI, Open Systems Interconnection), známy aj ako referenčný model OSI a prijala ho v roku 1984 ako normu IS7498. OSI model taktiež prijala aj Medzinárodná telekomunikačná únia

(ITU-T, International Telecommunications Union – Telecommunications sector) ako svoje odporúčenie X.200 (1,2,3).

Úlohou referenčného modelu OSI je vytvorenie pravidiel a noriem a tým poskytnutie základne pre komunikáciu medzi systémami. Model nešpecifikuje implementáciu, len uvádza všeobecné princípy: účel vrstiev, ich funkcie, služby poskytované vyššej vrstve a služby požadované od nižšej vrstvy (3,8).

V modeli OSI je sieťová práca rozdelená do sedem vrstiev, na fyzickú, linkovú, sieťovú, transportnú, relačnú, prezentačnú a aplikačnú vrstvu. Každá vrstva vykonáva jasne definované funkcie potrebné pre komunikáciu (3,8).



Obrázok č. 9: Referenčný model OSI
(Zdroj: 3, s. 43)

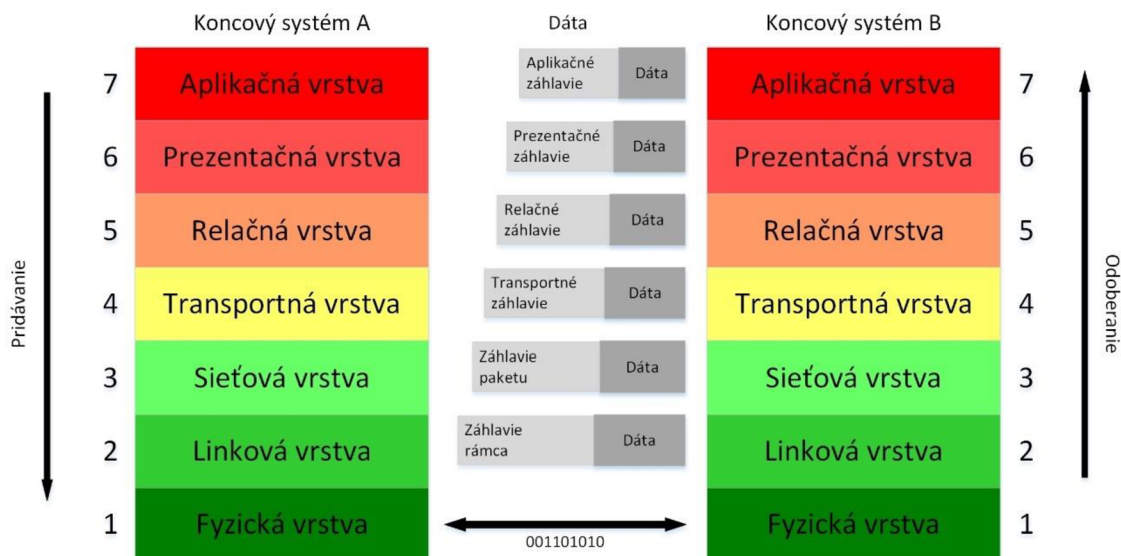
Princípy oddelenia vrstiev:

- menšie množstvo vrstiev vykonávajúce jasne odlišnú funkciu,
- vrstva vykonáva podobné funkcie,
- hranice medzi vrstvami sú tam, kde je sú interakcie čo najmenšie,
- rovnako vyt'ažené vrstvy (3).

Keďže je tento model vrstevnatý, komunikácia prebieha **vertikálne a horizontálne** (3,8).

Vertikálna komunikácia prebieha v rámci jedného systému. Vrstvy v modely sú usporiadané hierarchicky a nižšia vrstva poskytuje služby vyššej. Vždy komunikujú susediace vrstvy medzi sebou a nie je možné ani jednu vrstvu preskočiť alebo vynechať. Spolupráca jednotlivých vrstiev sa riadi medzi-vrstvovými protokolmi prostredníctvom definovaných prístupových bodov (SAP, Services Access Point) (3,4,8).

Horizontálna komunikácia prebieha medzi rovnako položenými vrstvami dvoch systémov, kde pravidlá špecifikuje protokol. Protokol je množina syntaktických a sémantických pravidiel. Tieto pravidlá určujú správanie jednotiek. Len presným definovaním protokolu a dodržovaním pravidiel môžeme zaistiť kompatibilitu systémov. Pre každú vrstvu je definovaný minimálne jeden komunikačný protokol. Protokol potom definuje komunikáciu medzi systémami na základe výmeny protokolových dátových jednotiek (PDU, Protocol Data Unit). Protokolové dátové jednotky obsahujú protokolovú riadiacu jednotku (PCI, Protocol Control Information) a dáta. Počas komunikácie každá vrstva pridáva alebo odoberá z PDU svoje záhlavie, v ktorom sa nachádza riadiaca informácia pre danú vrstvu (3,8). Najnižšia vrstva systémov medzi sebou komunikuje fyzicky, ďalšie vrstvy už na základe protokolov logicky, teda virtuálne (3,4,5,8).



Obrázok č. 10: Princíp komunikácie OSI modelu
(Zdroj: 3, s. 48)

Vrstvy referenčného modelu môžeme rozdeliť do dvoch skupín, na poskytovateľov transportnej služby, teda vrstvy v sieti (fyzická, linková, sieťová a transportná vrstva) a na užívateľov transportnej vrstvy, vrstvy systému (relačná, prezentačná a aplikačná vrstva) (1,3).

2.2.1 Fyzická vrstva

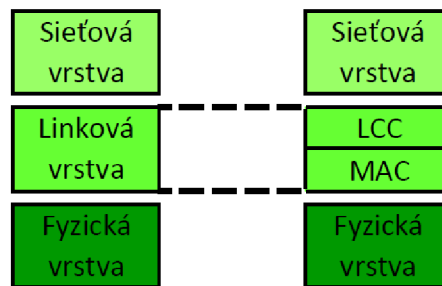
Fyzická vrstva je jedinou vrstvou, ktorá sprostredkováva fyzickú výmenu dát medzi systémami. Jej hlavnou funkciou je aktivácia a deaktivácia fyzického spojenia, teda je určená pre prenos bitov komunikačným kanálom. Ide hlavne o elektrické, optické, rádiové alebo iné signály reprezentujúce 0 a 1. Vrstva definuje mechanické, elektrické a funkčné požiadavky na rozhranie medzi fyzickou vrstvou a fyzickými prostriedkami. Do fyzickej vrstvy ale už nepatrí prenosové prostredie (1,2,3,5,6,8).

2.2.2 Linková vrstva

Linková vrstva umožňuje zahajovanie, udržiavanie a ukončovanie vytvoreného spojenia. Poskytuje jedno alebo viacero spojení so susednými systémami. Jednotkou linkovej vrstvy je rámec, ktorý je prenášaný v jednej broadcastovej doméne. Táto vrstva realizuje

funkcie zahajovania a uzatvorenia prenosu, detekcie a opravy chýb dát v priebehu komunikácie medzi fyzickou vrstvou a vyššími vrstvami, zaisťuje a opravuje chyby, riadi poradie dodávaných rámcov, riadi tok a spravuje prenosovú rýchlosť (2,3,4,7,8).

U lokálnych sietí môžeme linkovú vrstvu rozdeliť na dve podvrstvy, na podvrstvu riadenia logického spoja (LLC, Logical Link Control) a na podvrstvu riadenia prístupu k prenosovému prostriedku (MAC, Media Access Control) (3,8).



Obrázok č. 11: Rozdelenie sieťovej vrstvy
(Zdroj: 14)

Podvrstva LLC poskytuje užívateľom rozhranie medzi prenosovým prostriedkom a vyššími vrstvami, najčastejšie nepotvrdzovanú službu bez spojenia. Pre podporu protokolov vyšších vrstiev sa používa protokol prístupu k podsieti (SNAP, SubNetwork Access Protocol) (3,8).

Podvrstva MAC priamo susedí s fyzickou vrstvou a tým poskytuje služby pre daný prenosový prostriedok(3,8).

2.2.3 Sieťová vrstva

Sieťová vrstva poskytuje sieťové spojenie medzi jednotlivými sieťami. Jej úlohou na základe sieťovej adresy je zaistenie vlastnej komunikácie v komplexnej sieti, smerovanie a prenos dátových jednotiek označovaných ako pakety. Pre smerovanie paketov od zdroja k cieľu využíva sieťové logické adresovanie. Jej funkciou je zaistenie prenosu dát medzi transportnými vrstvami, dohodnutie kvality služieb, zahájenie adresovania udržiavanie a ukončovanie sieťového spojenia, oznamovanie vzniknutých chýb a riadenie toku (3,8,9).

2.2.4 Transportná vrstva

Transportná vrstva sprostredkováva komunikáciu medzi systémami, optimalizuje sieťové služby a doručuje dáta konkrétnemu procesu. Úlohou vrstvy je rozčleniť dáta z relačnej vrstvy a predať ich v správnom formáte a veľkosti sieťovej vrstve a taktiež prichádzajúce pakety zo sieťovej vrstvy zoradiť, rekonštruovať informácie a potvrdiť prijatie (3,8,9). Transportná vrstva poskytuje relačnej vrstve buď transportnú službu bez spojenia (prenos blokov) alebo transportnú vrstvu so spojením (naviazanie, udržovanie a ukončenie spojenia) (1,3,8). Prenáša datagramy medzi procesmi dvoch uzlov. K adresácií procesov v rámci uzlu využíva čísla portov. (3,10).

2.2.5 Relačná vrstva

Relačná vrstva riadi dialógy medzi aplikáciami systémov a taktiež výmenu dát medzi nimi. Prezentačná vrstva môže byť pripojená súčasne k viacerým relačným spojením. Môže vytvárať a zatvárať relačné spojenie, riadi interakcie, synchronizuje spojenie a oznamuje výnimočné stavy. Vytvára a uzatvára spojenie relačných spojení, riadi prenos správ, riadi interakciu a synchronizuje relačné spojenie (1,3,8,9). Tieto funkcie sa zobrazujú do transportného spojenia (3,8).

2.2.6 Prezentačná vrstva

Prezentačná vrstva transformuje dáta do tvaru vhodného pre aplikácie. Zaoberá sa len štruktúrou správ, nie ich významom. Pomocou transformácie syntaxe prezentuje aplikáciám prenášané správy jednotným spôsobom (1,3,8,9). Funkcie vrstvy sú žiadosť pre vytvorenie a zrušenie relácie, prenos dát, dohoda o syntaxi a formátovanie, kompresia a šifrovanie (3,8).

2.2.7 Aplikačná vrstva

Aplikačná vrstva poskytuje aplikácií prístup ku komunikačnému systému. Prenáša správy, identifikuje komunikačné parametre, určuje dostupnosť potrebných zdrojov a

synchronizuje komunikáciu. Interaguje priamo s aplikáciou, ktorá požaduje po nej komunikačné služby (1,2,8,9,10).

2.2.8 Význam referenčného modelu ISO/OSI

Referenčný model ISO/OSI sa i dnes najčastejšie využíva k popisu sieťových technológií a zariadení. Má pozitívny vplyv na pochopenie sieťovej komunikácie. Na druhú stranu model definuje výmenu informácií medzi otvorenými systémami, ktoré nie sú špecifikované implementáciou alebo technológiou. Preto tento model nazývame abstraktným modelom reálneho otvoreného systému. Model sa v praxi nevyužíva, umožňuje ale pochopiť princípy fungovania systémov (1,3,4).

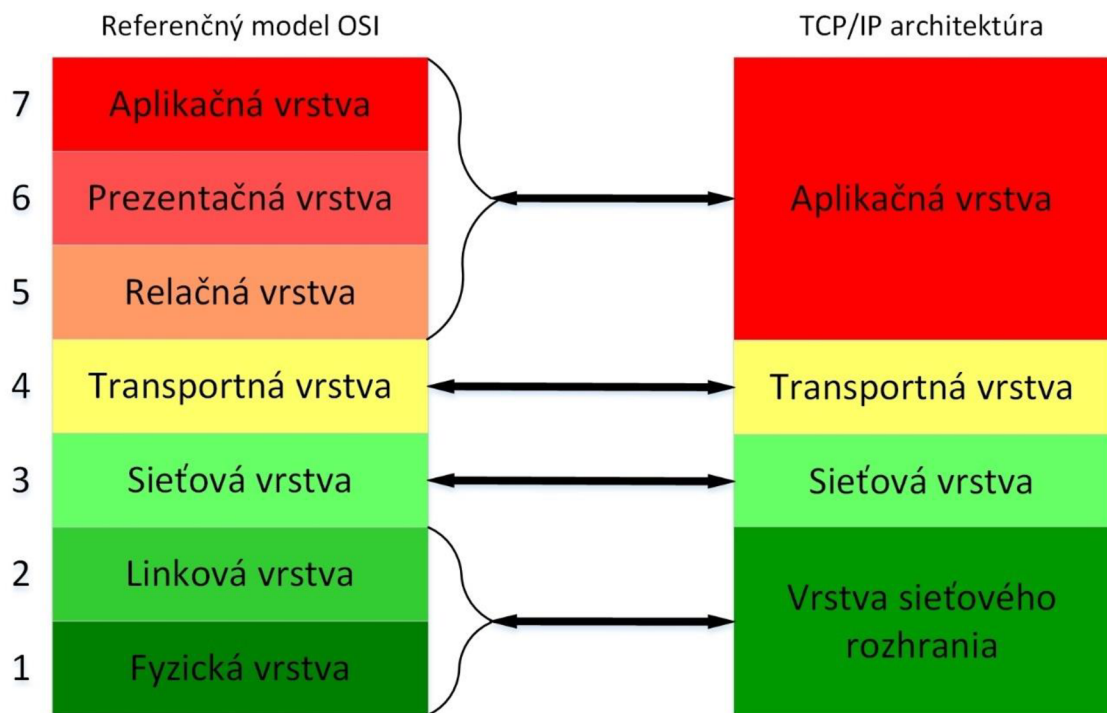
2.3 Architektúra TCP/IP

Architektúra TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) sa začala vyvíjať v šesťdesiatych rokoch minulého storočia. Dovtedy prevládajúcu koncepciu prepojenie okruhov začala nahrádzať koncepcia prepojenia paketov. Namiesto vytvárania virtuálnych spojení pre prenos dát sa začali podľa koncepcie prepojenia paketov dáta v blokoch predávať sieti, ktorá sa podľa adresy cieľa postarala o doručenie. To malo za následok zvýšenie odolnosti voči výpadkom jednotlivých častí siete (11). Architektúra TCP/IP bola od začiatku založená na otvorenosti a umožňuje vnímať infraštruktúru ako jednu veľkú sieť (3,8).

TCP/IP architektúra bola vytvorená:

- „zdola nahor“ a s dôrazom na prax (najskôr boli vytvorené funkčné protokoly a až neskôr sa začleňovali do architektúry),
- vytvárali sa len tie riešenia, ktoré chýbali,
- eliminovala sa potreba centrálného prvku,
- bola tvorená na základe predpokladaných výpadkov častí siete a jej nespoľahlivosti (11).

Kvôli týmto princípom, podľa ktorých sa vytvárala architektúra TCP/IP, je odlišná od referenčného modelu ISO/OSI. V TCP/IP je ponechaná väčšia možnosť voľby a prednosť má nespojovaná a nespoľahlivá komunikácia. Na rozdiel od ISO/OSI referenčného modelu má architektúra TCP/IP len štyri vrstvy, vrstvu sieťového rozhrania, sieťovú, transportnú a aplikačnú vrstvu (11).



Obrázok č. 12: Porovnanie referenčného modelu ISO/OSI s architektúrou TCP/IP
(Zdroj: 3, s. 84)

2.3.1 Vrstva sieťového rozhrania

Vrstva sieťového rozhrania je najnižšia vrstva. Umožňuje prístup k prenosovému médiu a definuje, ako využiť sieť pre prenos rámcov. Musí poznať detaily sieťovej infraštruktúry, ako napríklad adresáciu, formáty dátových jednotiek. Mapuje IP adresy na fyzické adresy používané v danej sieti. Zodpovedá svojou funkciou fyzickej a linkovej vrstve z ISO/OSI referenčného modelu (3,5,8).

2.3.2 Sieťová vrstva

Sieťová vrstva je zodpovedná hlavne za sieťovú adresáciu, smerovanie a predávanie paketov a smerovanie. Jej funkciou je taktiež zostavovanie paketov z rámcov alebo do nich (3).

Protokoly pracujúce na v tejto vrstve: Internet protokol, ARP, ICMP, IGMP.

Internet protokol (IP, Internet Protocol) je protokolom sieťovej vrstvy. Vysiela pakety na základe sieťovej adresy, ktorá sa nachádza v záhlaví paketu. Poskytuje sieťovú službu bez spojenia. Každý paket musí obsahovať všetky informácie o odosielateľovi, prijímateľovi, poradí správy a ďalšie informácie, pretože každý paket sa posiela nezávisle. Protokol IP nezaručuje doručenie paketu. Spolieha na vyššie vrstvy, ktoré v prípade straty paketu zaistia ich opätovný prenos (3,8).

Existujú dve verzie Internet protokolu - IPv4 (Internet Protocol version 4), ktorá je definovaná v RFC791, a IPv6 (Internet Protocol version 6) definovaná v RFC460 (12).

IPv4 vznikol v osemdesiatych rokoch dvadsiateho storočia. Adresy protokolu IPv4 sú 32 bitové čísla. Zapisujeme ju ako štyri čísla v desiatkovej sústave, ktoré sú oddelené bodkou. Každé z čísel reprezentuje 8 bitov. Adresu môžeme rozdeliť na adresu siete (ľubovoľný počet bitov zľava) a adresu uzla (zbytok adresy) (3,13). Tieto dve časti môžeme oddeliť dvomi spôsobmi, použitím CIDR prefixu alebo použitím masky siete.

Binárny zápis	10010011	11001011	10111100	00110100
Dekadický zápis	147	203	188	52
IP Adresa	147.203.188.52			
IP adresa	10010011	11001011	10111100	00110100
Maska siete	11111111	11111111	11111110	00000000
IP/CIDR	147.203.188.52/23			
IP/Maska	147.203.188.52/255.255.254.0			

Obrázok č. 13: Vysvetlenie zápisu IP adresy
(Zdroj: 14)

Hranica medzi adresou siete a adresou uzla môže byť v ľubovoľnej časti, existujú tri základné definované triedy adres: Trieda A, Trieda B a Trieda C. Adresy triedy A majú sieťovú časť dlhú 8 bitov a uzlovú 24 bitov. Sú určené pre najväčšie siete. Adresy triedy B majú sieťovú aj uzlovú časť dlhú 16 bitov a adresy triedy C majú sieťovú časť dlhú 24 bitov a uzlovú 8 bitov. Sú určené pre malé siete (11).

V prípade IPv4 je počet adres 2^{32} , čo je približne štyri miliardy adres. Adresy je ale aj napriek veľkému počtu nedostatok a preto sa vyčlenili adresné priestory pre privátne adresy. Jedna verejná adresa teda môže zastupovať celú sieť uzlov s privátnou adresou v prístupe k Internetu (11,14).

Tabuľka č. 1: Vyčlenené privátne adresné priestory
(Zdroj: 14)

Trieda	Počet sietí	Vyčlenené adresné priestory
Trieda A	1 sieť	10.x.x.x
Trieda B	16 sietí	172.16.x.x
Trieda C	254 sietí	192.168.0.x - 192.168.254.x

Nová verzia protokolu IPv6 rieši problém s nedostatkom adres náhradou za 128 bitové adresy. Adresa sa skladá z ôsmich častí vzájomne oddelených dvojbodkou. Každá časť

obsahuje štyri hexadecimálne čísla. IPv6 teda poskytuje 2^{128} adries, ktoré môžu byť pridelované uzlom v sieti (13,15).

Protokol **ARP** (Address Resolution Protocol) je protokol slúžiaci na mapovanie adries. Sieťová vrstva využíva služby nižšej vrstvy, ktorej predá paket s cieľovou IP adresou uzlu. Pomocou tohto mechanizmu zisťuje MAC adresu uzlu s príslušnou cieľovou IP adresou (3,14).

Protokol **ICMP** (Internet Control Message Protocol) slúži k prenosu správ týkajúcich sa chýb a zvláštnych stavov pri prenose paketov (3).

2.3.3 Transportná vrstva

Transportná vrstva odpovedá transportnej vrstve ISO/OSI referenčného modelu. Slúži pre koncový prenos dát medzi dvoma stanicami, doručuje dáta konkrétnemu procesu (3,14). Procesy nie sú adresované na priamo ale pomocou čísiel portov. Porty sú 16 bitové čísla, ktoré sú zapisované v desiatkovej sústave ako celé kladné číslo. Komunikácia s procesom je fyzicky zabezpečená pomocou socketu (14).

Transportná vrstva poskytuje:

- **Transportnú službu so spojením (TCP, Transmission Control Protocol)** vrátane riadenia koncového zabezpečenia a dátového toku. Dáta sú dodávané transportnej vrstve ako prúd bytov, preto je prenos spoľahlivý a spojovaný. Transportná vrstva rozdelí dáta na bloky a predá k prenosu sieťovej vrstve (14).
- **Transportnú službu bez spojenia (UDP, User Datagram Protocol)** (3,14). Dáta transportná vrstva dostane už členené na bloky, z pohľadu procesu je prenos nespoľahlivý a nespojovaný. Tieto dáta predá sieťovej vrstve v nezmenenej podobe (14).

2.3.4 Aplikačná vrstva

Aplikačná vrstva architektúry TCP/IP je najvyššou vrstvou a obsahuje všetky protokoly poskytujúce aplikácie. Plní funkciu troch najvyšších vrstiev ISO/OSI modelu (3).

2.3.5 Význam TCP/IP

Aj architektúra, podobne ako referenčný model ISO/OSI má svoje obmedzenia. TCP/IP je založený na skupine dominantných štandardov a tak sa prejavuje v skutočných produktoch a technológiách (3,9). Táto architektúra bola ale viackrát kritizovaná za nedostatočnú všeobecnosť (9).

2.4 Lokálne siete

Lokálna sieť (LAN, Local Network Area) je komunikačná infraštruktúra prepojujúca koncové uzly (3). Koncovými uzlami môže byť počítač, server, terminál, periférne zariadenie (tlačiareň) a ďalšie špeciálne zariadenia. Uzol je pripojený k sieti pomocou sieťovej karty (NIC, Network Interface Card), ktorá slúži pre vysielanie a prijímanie rámcov (3). Každá sieťová karta má svoju jedinečnú MAC adresu. Má dĺžku 48 bitov. Vyjadruje sa v hexadecimálnom tvare, prvých 24 bitov označuje výrobcu (OUI, Organization Interface Card) a ďalších 24 bitov definuje fyzické rozhranie. Adresy MAC sú jedinečné, kódy výrobcov prideluje IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a zvyšok prideluje výrobca sám (3,8).

Lokálne siete sú obmedzené svojim rozsahom. Pracujú v režime bez spojenia, teda zdrojová stanica vysiela dáta aj bez aktuálnej znalosti dostupnosti či existencie cieľovej stanice (3). Umožňujú zdieľanie prenosového média. Prístup k médiu môže byť deterministický (jedna stanica má právo vysielat') alebo stochastický (stanice bojujú o právo vysielat') (3).

Lokálne siete sa od rozľahlých sietí odlišujú v tom, že každý uzol v lokálnej sieti sa môže priamo spojiť s ostatnými uzlami bez nutnosti smerovania (3). Vzhľadom k rýchlemu prenosu dát lokálne siete využívajú pre komunikáciu hlavne dve najnižšie vrstvy, vrstvu fyzickú a linkovú (3).

Linková vrstva je podľa noriem IEEE rozdelená na dve podvrstvy LLC a MAC (5). Podvrstva MAC tvorí spodnú časť linkovej vrstvy a preto zabezpečuje funkcie závislé na topológii siete a použitej prístupovej metóde. MAC vrstva riadi prístup k médiu, kontroluje správnosť prenášaných rámcov, inicializuje vysielanie a príjem dát. Podvrstva LLC tvorí vrchnú časť linkovej vrstvy a preto jej funkciou je komunikácia so sieťovou vrstvou. Jej úlohou je riadenie spoja, rozpoznáva chyby prijatých dát a riadi ich výmenu medzi uzlami siete. LLC vrstva teda riadi bezpečný prenos dát medzi uzlami siete bez ich priameho fyzického prepojenia a je nezávislá na použitej prístupovej metóde (3,5).

Existuje veľké množstvo lokálnych sietí normalizovaných podľa IEEE (International Electrical and Electronics Engineering) alebo ANSI (American National Standards Institute). Môžeme ich rozlišovať podľa metódy prístupu k zdieľanému médiu, topológie, prenosovej rýchlosti, technologických štandardov alebo média (3,9).

Tabuľka č. 2: Normy IEEE 802.XX

(Zdroj: 3, s. 110)

Označenie	Normy IEEE 802.XX
802.1	Bridge and Network Management
802.2	Logical Link Layer
802.3	Ethernet (CSMA/CD)
802.4	Token Bus
802.5	Token Ring
802.6	Metropolitan Area Networks
802.7	Broadband LAN using coaxial cable
802.8	Fiber Optic TAG
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Interoperable LAN Security
802.11	Wireless LAN and mesh
802.12	Demand Priority
802.14	Cable Modems
802.15	Wireless Personal Area Networks (Bluetooth, Mesh Network,...)
802.16	Wireless Metropolitan Area Networks
802.17	Resilient Packet Ring
802.18	Radio Regulatory TAG
802.19	Wireless Coexistence TAG
802.20	Mobile Broadband Wireless Access
802.21	Media Independent Handoff
802.22	Wireless Regional Area Network

2.4.1 Technologické štandardy lokálnych sietí

Významné štandardy pre budovanie lokálnych sietí:

- Ethernet / IEEE 802.3,
- Token Ring / IEEE 802.5,
- Bezdrôtové lokálne siete, WLAN / IEEE 802.11 (3,5,9).

Ethernet

Na konci sedemdesiatych rokov bola vytvorená prvá lokálna sieť typu Ethernet v spoločnosti Xerox. Firmy Digital, Intel a Xerox navrhli medzi-firmový štandard

označený ako DIX Ethernet (3,5). Sieťou Ethernet rozumieme lokálnu sieť spájajúcu jednotlivé uzly prostredníctvom spoločného komunikačného média (5).

V sieti Ethernet neexistuje centrálny prvok a každý uzol pracuje samostatne a nezávisle na ostatných (5). Signály od vysielajúceho uzlu sú prenášané pomocou média k ostatným uzlom. V danom okamžiku môže vysielateľ len jeden uzol a ďalší môže začať vysielateľ až po uvoľnení média (3,5). U lokálnych sietí typu Ethernet sa používa metóda mnohonásobného prístupu k médiu prostredníctvom počúvania nosnej a s detekciou kolízií (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) (3,5).

Stanica, ktorá bude vysielateľ sleduje, čo sa deje na prenosovom médiu. Ak nikto nevysielateľ, začne vysielateľ. Keď nastane situácia, že niekoľko staníc začne vysielateľ naraz, vznikne kolízia na médiu, pretože ani jeden signál nebude prenesený bezchybne. Kolízie sú spôsobené hlavne prenosovým oneskorením. Stanice detekujú kolízie tak, že aj pri vysielaní počúvajú médium. Ak stanica detekuje kolíziu, dokončí vysielateľ preambule rámca a následne vyšle jam signál oznamujúci kolíziu. Po prenose jam signálu je médium voľné a je možné znova vysielateľ (3,5). Aby neprišlo zase ku kolíziám, stanice nevysielajú ihneď, ale po náhodnej dobe čakania (3).

Metóda CSMA/CD je stochastická a nedeterministická metóda. Je veľmi efektívna v sieťach s menším počtom uzlov. Ethernet je možné použiť pre rôzne topológie a prenosové médiá. Pri stavbe siete typu Ethernet je potreba dodržiavať stanovené pravidlá, hlavne dodržiavať dĺžku segmentu a siete (4). Je nutné brať v úvahu prenosové oneskorenie a preto je sú stanovené maximálne vzdialenosti pre sieť označované aj ako kolízna doména (4).

Značenie Ethernetu:

- prvé číslice označujú rýchlosť,
 - slovo BASE označuje signalizačnú metódu (väčšinou sa používa BASE),
 - písmeno na konci popisuje médium (F-optický kábel, T-netienený krútený pár)
- (4).

V CSMA/CD je pomer minimálna dĺžka rámca/prenosová rýchlosť priamo úmerný pomeru veľkosť kolíznej domény/rýchlosť šírenia signálu. Ethernet je sieť pracujúca rýchlosťou 10 Mbit/s. Z celkového maximálneho povoleného oneskorenia medzi dvoma stanicami tak môžeme odvodiť maximálny rozsah siete. Obmedzenie platí aj pre prípad pripojenia segmentov opakovačmi, ktoré signál reprodukovujú ďalej (3).

Norma taktiež obsahuje rôzne varianty Ethernetu, ktoré dokážu pracovať pri väčšej rýchlosti. Norma definuje Fast Ethernet pre rýchlosť 100Mbit/s, Gigabitový Ethernet pre rýchlosť 1000Mbit/s a 10 Gigabitový Ethernet pracujúci na 10Gbit/s a poznáme taktiež aj rýchlejšie varianty (3,4,8) Každá z týchto variant prichádza s obmedzeniami pre počet segmentov a maximálneho rozsahu siete (3).

Tabuľka č. 3: Ethernetový rámec

(Zdroj: 19, s. 23)

Preambula	SFD	MAC D	MAC S	LT	Payload	FCS	IG
7 oktetov	1 oktet	6 oktetov	6 oktetov	2 oktety	46-1500 oktetov	4 oktetov	12 oktetov

Tabuľka č. 4: Vysvetlenie častí Ethernetového rámca

(Zdroj: 19, s. 23)

Názov	Popis
Preambula	Slúži k synchronizácii hodín príjemca
SFD	Start of frame delimiter, označenie začiatku rámca (10101011)
MAC D	MAC adresa sieťového rozhrania cieľa
MAC S	MAC adresa zdrojového sieťového rozhrania
LT	Length / Type, dĺžka / typ
Payload	Data field, dátové pole
FCS	Frame check sequence, kontrolný súčet
IG	Interpacket gap, medzera medzi rámcami

Token Ring

Token ring / IEEE 802.5 bol v minulosti druhým najrozšírenejším typom lokálnej siete. Je založený na kruhovej topológii a prístupovej metóde Token Ring, ktorá pochádza od IBM (3,10). Jednotlivé stanice sú pripojené priamo na riadiacu jednotku MAU (Multistation Attachment Unit alebo aj MSAU). Riadiace jednotky pracujú ako opakovače a môžu byť vzájomne prepojené do kruhu (3,8,10).

Na rozdiel od Ethernetu, Token Ring využíva deterministické pridelenie práva na vysielanie staniciam v kruhu pomocou predávania tokenu (3). Token je špeciálny rámec, ktorý ak stanica dostane, má právo vysielat' dáta (10). Každá stanica má stanovenú maximálnu dobu, po ktorú môže token držať a ak nemá dáta na vysielanie, predá token ďalšej stanici (10). Za zistenie a nápravu chybových stavov je zodpovedná jedna zo staníc nazývaná aktívny monitor, ktorá je nahraditeľná v prípade výpadku ktoroukoľvek stanicou (3). Aktívny monitor generuje nový rámec, odoberá rámce, ktoré obiehajú v kruhu, reaguje na poruchy.

Aj keď v sieti typu Token Ring nie je nebezpečenstvo kolízií, pri zvyšovaní počtu staníc sa zvyšuje doba čakania na token, zvyšuje sa pravdepodobnosť straty tokenu, narastajúceho počtu obiehajúcich rámcov, výpadok aktívnej monitorovacej stanice a výpadok stanice v sieti (3,10).

Bezdrôtová lokálna sieť

Bezdrôtovou sieťou rozumieme prenos elektromagnetických frekvencií v pásmach 2,4 GHz alebo 5 GHz (3,9). Medzi hlavné výhody bezdrôtových sietí patrí mobilita užívateľa (užívateľ nie je viazaný na zásuvku a kábel), vyššia rýchlosť a jednoduchosť uvedenia do prevádzky, nižšie cenové náklady na vybudovanie siete a rozšíriteľnosť (3,16). Vďaka tomu, že signály sú prenášané v priestore, je toto vysielanie náchylné na rušenie (3). IEEE sa začala zaoberať bezdrôtovými sieťami až na konci deväťdesiatych rokov (3).

Tabuľka č. 5: Normy bezdrôtových sietí

(Zdroj: 3, s. 132)

Označenie	Normy bezdrôtových sietí
IEEE 802.11	Bezdrôtové lokálne siete (WLAN, Wirelwss Local Area Network)
IEEE 802.15	Bezdrôtové osobné siete (WPAN, Wirelwss Personal Area Network)
IEEE 802.16	Širokopásmový bezdrôtový prístup (MBWA, Mobil BWA)
IEEE 802.20	Širokopásmové mobilné bezdrôtové siete (BWA, Broadband Wireless Access)

Bezdrôtové siete môžeme klasifikovať podľa šírky pásma, podpory mobility užívateľov, podľa typu signálu, podľa použitia a podľa ďalších vlastností (3).

Tabuľka č. 6: Klasifikácia bezdrôtových sietí
(Zdroj: 3, s. 132-133)

Klasifikácia bezdrôtových sietí	
Podľa šírky pásma	Úzkopásmové siete
	Širokopásmové siete
Podľa podpory mobility užívateľov	Mobilná bezdrôtová sieť
	Fixná bezdrôtová sieť
Podľa typu signálu	Rádiové siete
	Infračervené siete
	Optické bezdrôtové siete
Podľa použitia	Bezdrôtové lokálne siete
	Osobné siete

Najrozšírenejší štandard je IEEE 802.11, WLAN (Wireless Local Area Network). Bezdrôtové lokálne siete WLAN môžu pracovať v ad hoc konfigurácií (alebo peer-to-peer), kde stanice komunikujú medzi sebou na priamo a nie je potreba ďalších komponent alebo je potreba použiť prístupový bod (AP, Access Point). AP funguje ako základná rádiová stanica a dátový most. Je nepohyblivý, je centrom každej WLAN a je pripojený k LAN (3).

U lokálnych sietí IEEE 802.11 sa využíva metóda mnohonásobného prístupu s počúvaním nosnej a vyvarovanie sa kolíziám (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) (3).

Pôvodná norma IEEE 802.11 poskytovala nízku prenosovú rýchlosť, preto ju nahradila norma IEEE 802.11b prezývaná aj Wi-Fi (Wireless Fidelity). Wi-Fi poskytuje v pásme 2,4 GHz rýchlosť až 11 Mbit/s.

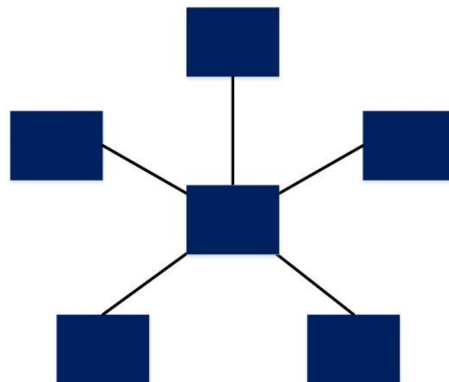
V priebehu rokov bolo schválených veľké množstvo noriem IEEE 802.11, ktoré boli postupne modifikované pre vyššiu rýchlosť a spoľahlivosť (3).

2.4.2 Topológie lokálnych sietí

Sieťová topológia je kvalitatívna geometria popisujúca vzájomné usporiadanie prvkov (18). Topológiu sietí musíme rozlišovať fyzickú a logickú topológiu. Fyzická topológia predstavuje reálne fyzické zapojenie. Logická topológia popisuje spôsob toku signálov (3,8,18).

Hviezda (Star)

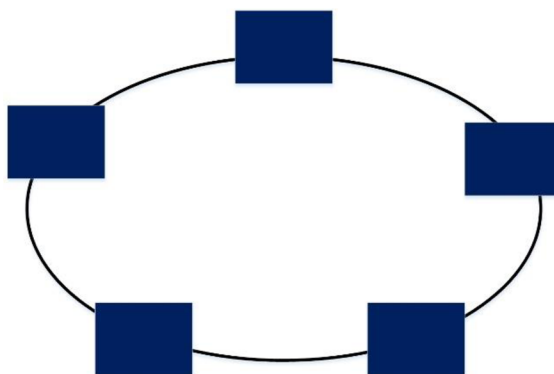
Topológia hviezda je najrozšírenejšou topológiou lokálnych sietí. Topológia predpokladá existenciu centrálného uzla ku ktorému je stanica pripojená vlastnou linkou. Centrálnym uzlom môže byť napríklad hub alebo switch. Porucha centrálného uzla spôsobí výpadok celej siete, porušenie kábla vedúceho k stanici vyradí z prevádzky len konkrétnu stanicu (3,8,20).



Obrázok č. 14: Topológia hviezda
(Zdroj: 4)

Kruh (Ring)

Topológia kruh nemá centrálny uzol, každý uzol je prepojený len s predchádzajúcim a nasledujúcim zariadením v sieti. Komunikácia medzi uzlami v sieti prebieha nepriamo, cez ostatné uzly siete (3,8,20).



Obrázok č. 15: Topológia kruh
(Zdroj: 4)

Zbernica (Bus)

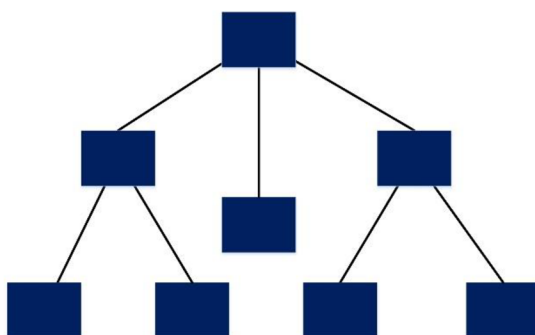
Topológia zbernica taktiež nemá centrálny uzol. Všetky uzly sú pripojené k zdieľanému prenosovému prostriedku, ktorý umožňuje vzájomnú komunikáciu. Táto topológia vyžaduje zložitejšie riadenie prístupu k zdieľanému prostriedku a komplikovanejšie protokoly pre riadenie prenosu dát. Výhodou zbernicovej topológie je jednoduché pripojenie alebo odpojenie uzlov zo siete. Vysoký počet pripojených staníc ale môže obmedziť využitie zbernice (3,8,20).



Obrázok č. 16: Topológia zbernica
(Zdroj: 4)

Strom (Tree)

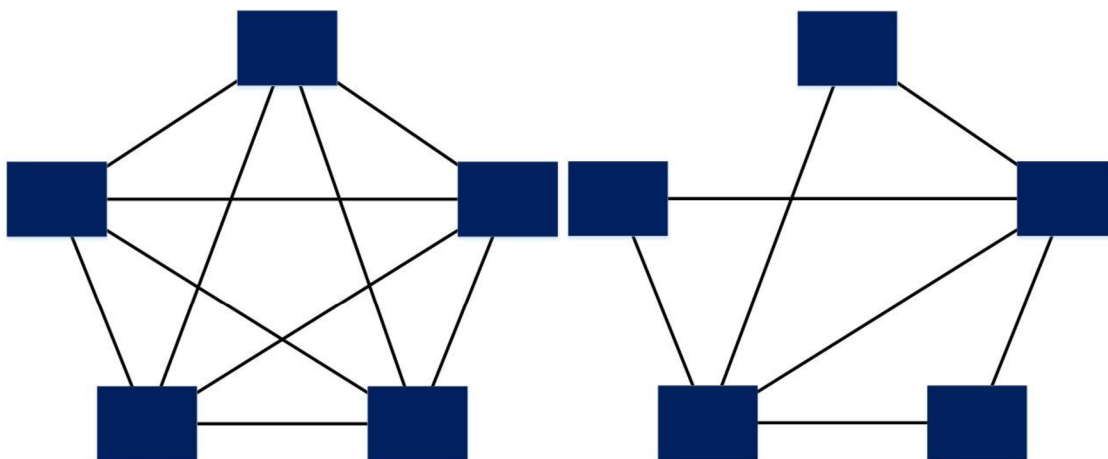
Topológia strom vznikla spojením viacerých hviezdových štruktúr. Topológia hierarchicky zoskupuje uzly a dá sa veľmi dobre rozširovať. Prerušenie kábla vyradí príslušnú vetvu siete (3,8,20).



Obrázok č. 17: Topológia strom
(Zdroj: 4)

Polynóm (Mesh)

Topológiu polynóm môžeme nazvať a nájsť v odbornej literatúre ako MESH topológia. V topológii polynóm je možné prepojiť každý uzol s každým. Ak sú všetky uzly prepojené navzájom, môžeme hovoriť o úplnom polynóme. Ak niektorý uzol nie je prepojený s iným v sieti, hovoríme o neúplnom polynóme. V tejto topológii neexistuje centrálny uzol, všetky stanice sú rovnocenné. Pri prerušení priameho spojenia existuje množstvo redundantných spojení (3,8,20).



Obrázok č. 18: Topológia úplný a neúplný polynóm
(Zdroj: 4)

2.5 Komunikačná infraštruktúra

Komunikačná infraštruktúra je množina technických prostriedkov, ktoré zaisťujú komunikáciu medzi komunikačnými systémami. Pod pojmom technické prostriedky rozumieme **prenosový systém** slúžiacu pre prenos dát a **aktívne prvky** (18).

2.5.1 Prenosový systém

Prenosový systém sa využíva pre prenos signálov medzi koncovými uzlami alebo aktívnymi prvkami. Komunikácia môže prebiehať drôtovo alebo bezdrôtovo (3). Prenosový systém sa označuje aj ako kabelážny systém, pretože ich existencia je veľmi často závislá na kabeláži (18).

Kabelážne systémy môžeme rozdeliť na jednoučelové a univerzálne kabelážne systémy. Jednoučelové kabelážne systémy sú aplikačne zamerané, určené pre jeden typ prenosu. Univerzálne kabelážne systémy podporujú viac typov prenosu. Nazývame ich aj štruktúrované multimediálne kabelážne systémy, ktoré podporujú dátové prenosy, analógové a digitálne aplikácie a telefóniu (18). Cieľom tohto univerzálneho riešenia je prepojenie koncových uzlov pomocou jednej infraštruktúry nezávisle na type prenosu (18).

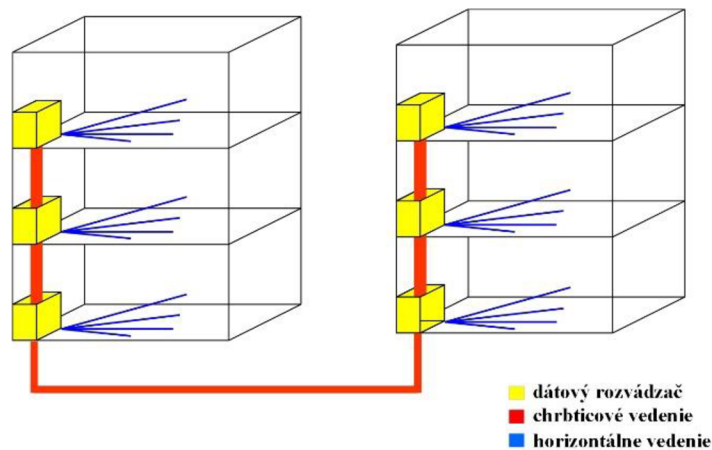
Základným prvkom komunikačnej infraštruktúry sú káble. Neoddeliteľnou súčasťou sú taktiež konektory, prepojovacie panely, spojky a mnoho ďalších prvkov, ktoré sa využívajú pri výstavbe sietí (18).

Tabuľka č. 7: Triedy sietí a kategórie komponent kabeláže
(Zdroj: 18, s. 15)

Trieda	Kategória	Frekvenčný rozsah	Použitie
A	1	do 100 KHz	analógový telefón
B	2	do 1 MHz	ISDN
C	3	do 16 MHz	Ethernet 10Mbit/s
-	4	do 20 MHz	Token Ring 16Mbit/s
D	5	do 100 MHz	FE, ATM155, GE
E	6	do 250MHz	ATM1200
EA	6A	do 500 MHz	10GE
F	7	do 600 MHz	10GE
FA	7A	do 1000 MHz	10GE

Kabelážny systém môžeme rozdeliť na (podľa ČSN EN 50173):

- **Dátový rozvádzač** je štandardizovaný úložný systém, ktorý je určený k prehľadnému prepájaniu liniek a teda k umiestneniu prepojovacích panelov, organizérov kabeláže, aktívnych prvkov a ďalších zariadení (18).
- **Chrbticová časť** je tá časť kabeláže, ktorá prepája dátové rozvádzače. Podľa ČSN EN 50173 by chrbticová časť mala byť vždy topológie hviezda a možnosťou doplnenia záložných trás (18).
- **Horizontálna časť** je vedenie prepojujúce dátový rozvádzač a zásuvku na pracovisku. Podľa ČSN EN 50173 by tiež táto časť mala byť topológie hviezda (18).
- **Pracovná časť** sa nachádza na pracoviskách alebo v dátovom rozvádzači. Prepojuje prepojovacími káblami dátovú zásuvku s koncovým uzlom alebo prepojovací panel a aktívny prvok (18).



Obrázok č. 19: Sekcie kabelážneho systému
(Zdroj: 18, s. 19)

Podľa normy ČSN EN 50173 rozlišujeme horizontálnu linku a kanál. Dĺžka linky je daná konektorom v prepojovacom paneli a dátovou zásuvkou. Kanál je tvorený linkou a prepojovacím vedením (18).



Obrázok č. 20: Linka a kanál
(Zdroj: 18, s. 27)

2.5.2 Aktívne prvky

Aktívne prvky obecné slúžia k vzájomnému prepojeniu sieťových segmentov. Segmentom nazývame prenosové prostredie, v ktorom sa samostatne šíri prenášaný signál bez iných súčastí. Činnosť aktívnych prvkov závisí na tom, aké protokoly používajú (14).

Zariadenia pre prepájanie sietí pracujúce na vrstve referenčného ISO/OSI modelu:

- fyzická vrstva: opakovateľ (repeater) a rozbočovače (hub),
- linková vrstva: mosty (bridge) a prepínače (switch),

- sieťová vrstva: smerovače (router),
- transportná až aplikačná vrstva: brány (gateway) (3,9,14).

Aktívne prvky na úrovni **fyzickej vrstvy** ISO/OSI modelu používajú prenosové protokoly fyzickej vrstvy. Sú zodpovedné za kódovanie, moduláciu, synchronizáciu a za prenos bitov. Nestarajú sa o obsah prenášaných bitov (14).

Rozbočovač (Hub)

Hlavnou funkciou rozbočovača je predĺženie segmentu siete prepojením dvoch káblov s možnosťou rozvetvenia. Každý prichádzajúci paket je poslaný na všetky zapojené segmenty, ktoré patria do jednej kolíznej domény. Pri zvyšujúcom sa počte zariadení počet kolízií rastie exponenciálne (9). V dnešnej dobe sa už nevyužívajú, nahradili ich prepínače (9).

Opakovač (Repeater)

Hlavnou úlohou opakovača je prijatý signál preniesť do ostatných pripojených segmentov. Upravuje tvar signálu do podoby danej protokolmi (9,14). Pracuje v reálnom čase, na úrovni bitov, nemá vnútornú pamäť, je nezávislý na protokoloch vyšších vrstiev a môže prepájať segmenty s rovnakými protokolmi (14). Pri prechode signálu opakovačom nastane mierne zdržanie, preto je množstvo opakovačov použité v segmente obmedzené. Opakovače rozširujú kolíziu domény a môžeme ich nájsť aj pod označením aktívne rozbočovače. V prípade lokálnych sietí sa nevyskytujú príliš často, ale v prípade bezdrôtových sietí založených na protokole 802.11x, ktoré majú obmedzený dosah, ich môžeme nájsť vo forme bezdrôtových prístupových bodov v opakovačom režime (9).

Most (Bridge)

Aktívne prvky na úrovni linkovej vrstvy sa všeobecne nazývajú mosty (bridge). Využívajú protokoly fyzickej a linkovej vrstvy. Ich hlavnou funkciou je prenos rámcov linkovej vrstvy medzi segmentami na základe MAC adres a taktiež kontrolujú správnosť (štruktúru) prenášaných rámcov, ale nestarajú sa o obsah dátovej časti (3,9,14). Mosty

oddeľujú kolízne domény a rozširujú broadcastovú doménu (14). Každý most musí poznať broadcastovú doménu a tak vedieť, v ktorom segmente sa nachádza daný uzol s MAC adresou. Tieto informácie získa buď staticky, konfiguráciou, alebo dynamicky. Informáciu o uzle s MAC adresou získa tak, že pošle rámec do všetkých segmentov a vyčká na odpoveď (3,14). Pred rozhodnutím, kam odoslať prijatý rámec, musí minimálne prečítať časť s MAC adresou. Rámec načíta do vyrovnávacej pamäte, bufferu, čo spôsobuje oneskorenie (14). Veľkou výhodou je, že mostami je možné prepájať segmenty s rôznymi protokolmi (3,9,14). Komunikácia fyzicky prebieha cez most, alebo logicky prebieha len medzi uzlami. Na úrovni linkovej vrstvy sú mosty pre komunikujúce uzly neviditeľné (14).

Prepínač (Switch)

Prepínače majú veľmi podobné vlastnosti ako mosty. Prepínače môžeme definovať ako mosty s väčším počtom portov. Podobne ako mosty sa učia MAC adresy pripojených uzlov, prepájajú lokálne siete, pri spracovaní nemenia rámce a vytvárajú jednu lokálnu doménu (3,14). Prepínače segmentujú lokálnu sieť do kolíznych domén, kolíznu doménu tvorí vždy dané rozhranie portu a daný uzol (ak je k portu pripojený len jeden uzol). Podporujú virtuálne lokálne siete. Prepínače môžeme nájsť v lokálnych sieťach odlišujúcich sa len v rýchlostiach na jednotlivých portoch (3,14).

V jednej lokálnej sieti niekedy vznikne potreba oddeliť od seba rôzne časti siete z dôvodu záťaže alebo bezpečnosti. Pomocou **virtuálnych lokálnych sietí (VLAN, Virtual Local Area Network)** sme schopný zoskupiť stanice do oddelených broadcastových domén bez ohľadu na fyzické zapojenie. Túto funkcionálnu poskytujú switche na úrovni linkovej vrstvy, ktoré ju majú v sebe implementovanú.

Switch rozpoznáva členstvo rámca vo virtuálnej sieti:

- podľa priradenia členstva VLAN fyzickému portu na switchy,
- alebo podľa fyzických adries, ktorým bolo na úvode priradené členstvo vo VLAN
- alebo podľa značky (tagu) v rámci podľa normy IEEE 802.1Q, ktorý do rámca vkladá uzol alebo switch (3,14).

Tabuľka č. 8: Ethernetový rámec s VLAN tagom

(Zdroj: 19, s. 23)

Preambula	SFD	MAC D	MAC S	TF		LT	Payload	FCS	IG
7 oktetov	1 oktet	6 oktetov	6 oktetov	ETPID 2 oktety	PCP/CFI/VID 2 oktety	2 oktety	46-1500 oktetov	4 oktetov	12 oktetov

Tabuľka č. 9: Vysvetlenie častí Ethernetového rámca s VLAN tagom

(Zdroj: 19, s. 23)

Názov	Popis
Preambula	Slúži k synchronizácii hodín príjemca
SFD	Start of frame delimiter, označenie začiatka rámca (10101011)
MAC D	MAC adresa sieťového rozhrania cieľa
MAC S	MAC adresa zdrojového sieťového rozhrania
TF	Tag field,
	ETPID Ethernet protokol ID, identifikátor typu rámca
	PCP Priority code point, určuje prioritu rámca
	CFI Canonical format indicator, identifikátor formy
	VID VLAN ID, číslo udávajúce číslo VLAN
LT	Length / Type, dĺžka / typ
Payload	Data field, dátové pole
FCS	Frame check sequence, kontrolný súčet
IG	Interpacket gap, medzeramedzi rámcami

Smerovač (Router)

Smerovač je aktívny prvok, ktorý pracuje na úrovni sieťovej vrstvy a teda pracuje s paketmi. Prepojuje 2 alebo viaceré siete. Port smerovača, ktorým je sieť pripojená, patrí do tejto siete. Zaisťuje správne nasmerovanie paketu (routing) a odoslanie paketu do zvoleného smeru (forwarding) (9,14). Smerovanie sa riadi podľa smerovacej tabuľky, ktorá obsahuje informácie o cieľovej sieti, o cene danej trasy a o smere odosielania. Smerovanie prebieha tak, že smerovač vyhľadá IP adresu, ktorú obsahuje paket, v smerovacej tabuľke a odošle paket daným smerom (14). Smerovacie tabuľky môžu byť statické alebo dynamické. Dynamické sa menia v závislosti na danej situácii. K zisteniu najlepšej cesty k cieľovej adrese slúžia smerovacie protokoly (3,9,14). Smerovač dokáže segmentovať siete do viacerých broadcastových domén (3,9).

Brána (Gateway)

Sieťová brána je zariadenie alebo program, ktorý slúži k prepojeniu rôznych typov sietí. Brány prekladajú adresy, sieťové protokoly a aj dáta. Brány pracujú na transportnej alebo aplikačnej vrstve, teda sa zaoberajú protokolmi najvyšších vrstiev (9).

2.6 Riadenie redundancie

Hlavnými požiadavkami pri budovaní sietí je ich dostupnosť, čo znamená minimálne výpadky. Zvýšiť dostupnosť siete môžeme pomocou pridávania náhradných častí siete, pomocou redundancie (21).

Prepojovanie prepínačov viacerými redundantnými trasami tak zvýši dostupnosť. Týmto prepojením by ale vznikali slučky. Slučky vznikajú v sieťach typu Ethernet, čo vychádza z princípu jeho fungovania. Ak tento redundantný spoj nebude ošetrený, nastane nestabilita tabuľky MAC adres a problémy s konektivitou, niekoľkonásobné doručenie správ alebo broadcastová smršť. Pri broadcastovej smršti sa v sieti šíri viac broadcastov, než sú switche schopné spracovať a tak nastane zahltenie siete (19). Pretože najrozšírenejšími sieťami sú siete typu Ethernet, je nutné týmto problémom predchádzať a je nutné zamedzovať topológií so slučkami. Z tohto dôvodu vznikol Spanning Tree Protocol (STP) a jeho nástupca Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), ktorých cieľom je odstránenie slučiek zo siete. Tieto protokoly môžeme použiť pre akúkoľvek topológiu (3,24).

2.6.1 Univerzálne protokoly

Univerzálne protokoly STP a RSTP sa používajú na riadenie redundantných trás. Používame ich väčšinou pre riadenie komerčných sietí.

Spanning Tree Protocol – STP

Spanning Tree Protocol je sieťový protokol špecifikovaný v štandarde IEEE 802.1D. Pracuje na druhej, linkovej vrstve a je implementovaný hlavne do switchov a bridžov (9). Dôvodmi pre použitie protokolu STP je blokovanie nežiaducich slučiek a riadenie redundantných spojov (19,22).

STP pracuje na princípe teórie grafov. Pomocou Spanning Tree Algoritmu (STA, Spanning Tree Algorithm) hľadá v sieti, ktorá predstavuje ohodnotený graf, kostru grafu (9,19,24). Kostra grafu je topológia stromom, ktorý neobsahuje žiadnu slučku. STP vytvára nad fyzickou topológiou so slučkami virtuálnu topológiu, ktorá už slučky neobsahuje. Vzniku slučiek zabraňuje vypnutím potrebného portu a pri výpadku linky hľadá alternatívnu trasu a prekonfiguruje sieť. STP teda umožňuje blokovanie slučiek prostredníctvom deaktivácie nadbytočných spojov a zaisťuje redundanciu reaktiváciou spojov podľa potreby siete (19). Ak nastane výpadok, doba rekonfigurácie pomocou STP je maximálne 30 – 50 sekúnd (19,23).

Pre riadenie siete využíva STP služobné správy, ktoré si prvky vzájomne posielajú. Tieto služobné správy sa nazývajú BPDU (Bridge Protocol Data Unit) a sú prijímané všetkými portami, aj blokovanými (19,23). Sú definované tri typy BPDU: konfiguračné BPDU, BPDU o zmene topológie (TCN, Topology Change Notification) a BPDU o potvrdení prijatia správy TCN (TCA, Topology Change Acknowledgment) (24).

Tabuľka č. 10: Skladba služobných rámcov BPDU
(Zdroj: 24)

Pole	Velkosť (B)
Protocol ID	2
Protocol version	1
BPDU type	1
Flags	1
Root BID	8
Root path cost	4
Sender BID	8
Sender port ID	2
Message age	2
Max age	2
Hello time	2
Forward delay	2

Princíp fungovania STP (pre vysvetlenie princípu fungovania STP budem používať pojem Bridž):

- **výber root bridžu:** Jeden z bridžov grafu musí byť koreňom stromu, teda root bridž. Pomocou algoritmu STA sa posielajú BPDU, ktoré obsahujú BID (Bridge Identifier). Identifikátor bridž obsahuje v dvoch najvyšších bytoch priority, ktorú môže správca konfigurovať a v ďalších šiestich bytoch MAC adresu. Bridž s najnižšou hodnotou priority a je určený ako root bridž. V prípade, že majú prepínače rovnakú priority, je zvolený ten s nižšou hodnotou MAC adresy (19,23, 24).
- **zist'ovanie kostry grafu a voľba portov root a designed:** Protokol STP vytvára graf najkratších ciest v topológii stromu. Najkratšia cesta je definovaná cenou linky, teda šírkou pásma linky (19). Po zvolení root bridžu si každý bridž zistí cenu všetkých ciest k root bridž a vyberie si tú s najnižšou cestou. Port prepojujúci bridge s touto cestou je označovaný ako root port. Port prepojujúci bridge k sieťovému segmentu je označovaný ako designed port. Algoritmus teda vytvorí virtuálnu topológiu, kostru grafu s najnižšími nákladmi ciest (19,24).
- **blokácia ostatných ciest k root bridž:** Každý port, ktorý nie je v stave root port alebo designed port musí byť zablokovaný, ktorý nazývame blocked port (19,24).

Tabuľka č. 11: Cena liniek podľa šírky pásma.
(Zdroj: 24)

Šírka pásma	Cena linky
10 Mbit/s	2 000 000
100 Mbit/s	200 000
1 Gbit/s	20 000
10 Gbit/s	2 000
100 Gbit/s	200
1 Tbit/s	20
10 Tbit/s	2

Nie vždy je možné rozhodnúť o stave portov na základe uvedených pravidiel. V prípade, keď existuje viacero ciest s najnižšou cenou je zvolená tá, ktorej susedný prepínač má nižšie BID. V prípade, keď nie je možné rozhodnúť o tom, ktorý port bude v roli napríklad designed port, použijeme identifikátor portov. Porty, podobne ako bridž, majú vlastný identifikátor PID (Port Identifier). Horný byte udáva prioritu portu a spodný byte udáva číslo fyzického portu. Port s najnižšou hodnotou má najvyššiu prioritu (19,24).

Tabuľka č. 12: Stavy portov a ich vlastnosti
(Zdroj: 24)

Stav portov	Popis
Blocking	Port je blokový preto, aby nevytváral slučku v sieti. Neposielajú sa cez neho dáta, len prijíma BPDU.
Listening	Port prijíma a vysiela BPDU a čaká na informácie, ktoré by spôsobili návrat portu do blokujúceho stavu. Nenapĺňa sa tabuľka MAC a ani sa neposielajú dátové rámce.
Learning	Port nepreosiela rámce, zatiaľ len naplňuje tabuľku MAC podľa prijatých rámcov
Forwarding	Port prijíma a odosiela dáta, stále sa monitorujú BPDU pre prípad vzniku slučky
Disabled	Port je vypnutý

Rapid Spanning Tree Protocol

Hlavnou nevýhodou protokolu STP je dlhá doba rekonfigurácie. Vylepšený RSTP znižuje dobu rekonfigurácie až na maximálne 2 sekundy (19,24).

RSTP priradzuje každému portu bridžu jednu z rolí:

- **root port** je port prepojujúci bridge pomocou cesty s najnižšími nákladmi k root bridžu. Ak existuje viacero bridžov s rovnako nízkymi nákladmi, do koreňovej cesty je uprednostnený ten s najnižším BID. Pokiaľ existuje viac portov s rovnako nízkymi nákladmi cesty, o root porte sa rozhoduje podľa PID. Root bridge je jediný, ktorý nemá žiadny root port (19,24).
- **edge port** je port slúžiaci pre pripojenie ďalšieho segmentu siete. Je hraničný port a nie sú na neho vysielané žiadne služobné správy BPDU (19,24).
- **alternative port** je blokovaný port, ktorý v prípade výpadku root portu preberá jeho funkciu. Slúžia ako alternatívna cesta k root bridžu (19,24).
- **backup port** je blokovaný port, ktorý slúži ako záložná cesta k pripojenému segmentu. Jedná sa o zálohu edge portu. (19,24).
- **disabled port** je vypnutý port (19).

Tabuľka č. 13: Porovnanie stavov portov
(Zdroj: 24)

Stav portu STP	Stav portu RSTP	Port je súčasťou aktívnej topológie	Port sa učí MAC adresy
Disabled	Discarding	Nie	Nie
Blocking	Discarding	Nie	Nie
Listening	Discarding	Áno	Nie
Learning	Learning	Áno	Áno
Forwarding	Forwarding	Áno	Áno

Taktiež sa zmenil aj formát služobných správ BPDU. STP využíva len 0. a 7. flag. RSTP využíva aj vnútorné 1-6 bity. Zariadenia v sieti podľa toho rozoznávajú, či sa jedná o STP alebo RSTP (24).

Rozdiely RSPT oproti STP, vďaka ktorým je doba rekonfigurácie kratšia:

- zavedenie **edge portov**, ktoré sa pri rekonfigurácii siete prepnú do režimu prenosu po troch sekundách a čakajú, aby zistil pomocou odosielením správy BPDU, že nie je k nemu pripojený žiadny RSTP bridge (19,24).
- zavedenie **alternate portov** na ktoré je prevedená komunikácia v prípade výpadku root portu (19,24).

- **komunikácia s okolím bridge** (point-to-point pripojenie) umožňuje reakciu bez čakania ak nastane zmena stavu v pripojenej topológii (19,24).
- v **tabuľkách adres** (FDB, Filtering Database) pri RSTP sa okamžite odstraňujú položky ovplyvnené rekonfiguráciou na rozdiel od STP, kde aktuálnosť určuje vek položky (19,24).
- RSTP **ihneď reaguje** na udalosti (19,24).
- V RSTP sú **rámce BPDU vysielané každé 2 sekundy** (hello-time interval) a ak nebude BPDU doporučený na akýkoľvek port trikrát za sebou, spojenie sa preruší. V STP rozosielať bridge BPDU až vtedy, keď BPDU prijali svojim root portom (19,24).
- Ak nastane výpadok linky na root porte, bridge sa správa ako root bridge a túto informáciu rozošle na všetky ostatné porty. Ostatné bridge túto informáciu overia. Ak je ale root bridge stále dostupný, bridge, ktorého linka zlyhala, prestane vysielat' informáciu, že je root a prispôsobí sa topológii (19,24).

Pre riadenie redundantných trás môžeme využiť aj ďalšie protokoly, ktoré vychádzajú z STP alebo RSTP. Jedným z takýchto protokolov je protokol MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol), ktorý umožňuje zoskupovať VLAN do spanning-tree inštancií. Jeho použitím môžeme rozdeliť záťaž siete prípadne využívať viacerých komunikačných ciest. Ďalším protokolom vychádzajúcim z RSTP je ORSTP (Optimized RSTP). Doba rekonfigurácie pri použití ORSTP je menej ako jedna sekunda, norma IEC 62349-1 udáva čas 5-20 ms na skok (19).

2.6.2 Protokoly pre riadenie kruhových sietí

Siete typu Ethernet sa vďaka svojej jednoduchosti a nákladovej efektívnosti stali najviac rozšírené. Ethernet sa začal využívať nielen v lokálnych sieťach, ale aj v rozľahlejších sieťach (MAN, Metropolitan Area Network) a taktiež v priemyselných sieťach (IAN, Industrial Area Network). V priemyselných sieťach použitie Ethernetu prinieslo ťažkosti vplyvom jeho nedeterministického správania. Navyše RSTP používaný v komerčných sieťach Ethernet nezaručuje adekvátnu dobu rekonfigurácie vhodnú pre potreby priemyslu (25).

Od osemdesiatych rokov minulého storočia sa v priemyselných prostrediach využívali protokoly rodiny Fieldbus a niektoré z nich sa využívajú dodnes. Avšak v porovnaní so sieťami Ethernet, Fieldbus technológie priemyselných zberníc sú zastaralé (25).

Vývoj Ethernetu prináša so sebou zlepšenie výkonu siete pomocou niekoľkých prístupov: potlačenie kolízií, zníženie pravdepodobnosti kolízií a deterministické riešenie kolízií. Na rozdiel od komerčných sietí s RSTP sa v priemyselných prostrediach používajú protokoly pre automatické riadenie porúch, ktoré predpokladajú sieť topológie kruh (25).

Media Redundancy Protocol – MRP

MRP je otvorený štandard pre riadenie priemyselných sietí s kruhovou topológiou. Je definovaný v norme IEC 62439-2. MRP zaručuje plne deterministické správanie pri rekonfigurácii kruhu na záložnú trasu. Časový limit pre rekonfiguráciu je možné nastaviť na 500ms alebo 200ms pre kruhy pozostávajúce až z 50 zariadení. Preto je vhodný pre širokú škálu priemyselných aplikácií v rätane časovo kritických aplikácií (19,25,27).

MRP je protokol linkovej vrstvy a musí ho podporovať každé zariadenie v kruhu. Používa podobné mechanizmy ako RSTP, napríklad maže záznamy z FDB, nastavuje portom stavy (19,25).

MRP môže byť využívaný v kombinácii so štandardnými Ethernetovými klientami alebo s riešeniami Priemyselného Ethernetu (Industrial Ethernet). Pri použití protokolov riadenia redundancie v kruhových topológiách jeden switch musí mať rolu ring manažéra a ostatné zariadenia sú ring klienti. V MRP ringu sa ring manažér nazýva MRM (Media Redundancy Manager) a klienti MRC (Media Redundancy Client) (19,25, 26).

Každý switch je pripojený k ringu dvoma svojimi portami, ring portami. Tieto porty môžu byť v stave disabled, blocked alebo forwarding. Disabled port neprijíma žiadne rámce, port v stave blocked prijíma len MRP kontrolné rámce a port v stave blocked prijíma všetky rámce (19,25).

Počas bežného fungovania kruhu, MRM monitoruje sieť, ring je v takzvanom Ring-Closed stave. MRM posiela testovacie rámce MRP DU cez jeden ring port a na druhom kontroluje jeho prijatie. Jeden z MRM portov je v stave blocked a druhý v stave forwarding. Tento proces opakuje aj v opačnom smere. Fyzická topológia kruhu sa teda redukuje na logickú topológiu, v ktorej slučka nevzniká. MRC preposiela v tomto stave testovacie rámce, reaguje na akékoľvek prijaté rámce oznamujúce rekonfiguráciu. V prípade poruchy siete, keď MRM neobdrží vysielaný rámec vplyvom zlyhania prvku alebo porušením trasy, sieť bude fungovať v stave Ring-Open. MRM otvorí port, ktorý bol dovtedy blokovaný a tým budú všetky zariadenia dostupné cez druhú sekundárnu cestu. Ak MRC detekuje poruchu ešte pred detekciou poruchy testovacím rámcom, oznámi to MRM. MRM vyšle testovací rámec na preverenie tejto situácie a tým je zaistený prechod na sekundárnu trasu v čo najkratšom čase (19,25,26).

MRP používa tri typy kontrolných rámcov, Prvým typom je Testovací rámec. Tento rámec je bežne posielať MRM oboma portami pre monitorovanie ringu. Rámec TopoChange sú vysielané MRM oboma portami keď je detekovaná porucha. Alebo pri znovuoobnovení linky Posledný typ rámca, LinkChange (LinkDown alebo LinkUp) je posielať od MRC ku MRM, keď MRC detekuje poruchu alebo znovuoobnovenie na portoch (19,25).

Výhodou MRP protokolu je to, že môže pracovať v režime kompatibility s RSTP. Nie vždy je vhodné využiť topológiu kruhu a preto je výhodou skombinovať oba tieto sieťové protokoly. Je dôležité pri tomto použití zachovať princípy fungovania každého z nich (19).

HiPer Ring - HR (High Performance Ring)

HiPer Ring je proprietárny sieťový protokol pochádzajúci od spoločnosti Hirschmann (19,31).

Hirschmann je nemecká spoločnosť, ktorá sa zameriava na vývoj a výrobu priemyselných sieťových riešení. Ponúka priemyselné riešenia pre siete typu MCA (Mission Critical

Application). Patrí pod značku Belden, ktorá je popredným celosvetovým dodávateľom riešení pre prenos signálov (28).

Protokol HiPer Ring je sieťový protokol, ktorý umožňuje riadenie kruhových topológií, kde jeden kruh môže obsahovať najviac sto zariadení. Kruh môže byť dlhý až 3 000 kilometrov a zariadenia nesmú byť viac ako 100 km od seba vzdialené. Všetky tieto zariadenia musia poznať tento protokol, čo pri použití proprietárneho riešenia znamená použitie switchov od jedného výrobcu. HiPer Ring zaručuje plne deterministické správanie pri rekonfigurácii topológie na záložnú trasu. Maximálna doba rekonfigurácie na záložnú trasu pre sto switchov je maximálne 500ms. Obvyklá doba rekonfigurácie je ale kratšia, pohybuje sa okolo 250ms (19).

HiPer Ring pracuje na podobnom princípe ako MRP. V kruhu musí byť taktiež, ako u MRP, jedno zariadenie nastavené ako Ring Manažér, ktorý vysiela jedným portom len v jednom smere každých 20ms testovací rámec nazývaný „watchdog“. Druhý port sa aktivuje až v prípade porušenia siete, ak Ring Manažér neobdrží prednastavené množstvo testovacích rámcov (19,29). Ring manažér po zistení porušenia siete rozošle rámce, ktoré zaisťujú prepísanie všetkých tabuliek MAC adres vo všetkých switchoch naraz. Na rozdiel od MRP, po oprave poškodenej linky sa obnoví komunikácia po pôvodnej trase (19,31).

HiPer Ring, na rozdiel od MRP, nie je kompatibilný s RSTP vzhľadom na rýchlejšie časovanie (19). Aj keď nie sú kompatibilné, v lokálnej sieti použitie STP alebo RSTP neovplyvňuje switche s HiPer Ring protokolom a „watchdog“ rámec nie je viditeľný bežnými zariadeniami (19,31). Veľkou výhodou HiPer Ringu je možnosť agregácie liniek. Agregáciu môžeme nastaviť len na tých zariadeniach, ktoré majú v sebe implementovanú túto funkcionality. Pomocou agregácie liniek môžeme zvýšiť dostupnosť prídávaním redundantných trás alebo zväčšiť šírku pásma spojov (19).

Pre aplikácie citlivé na čas vyvinula spoločnosť Hirschmann sieťový protokol **Fast HiPer Ring** pre rýchlejšie riadenie kruhovej topológie. Pracuje na podobnom princípe ako HiPer Ring, je schopný riadiť kruh až s dvesto zariadeniami a doba rekonfigurácie siete sa skrátila na maximálne 50ms. Tento proprietárny protokol je nutné aby poznalo každé zariadenie, čo predstavuje len časť z produktového portfólia výrobcu (19,30).

Multiple Rings – Multiple HiPer Ring

V prípade zložitejšej siete je topológia jedného kruhu pre sieť nedostatočná. Z tohto dôvodu vznikajú rôzne kombinácie protokolov ale aj proprietárnych riešení, ktoré sa tento problém snažia vyriešiť (19,32).

Pre nastavenie topológie s mnohonásobnými kruhmi môžeme použiť viacero metód:

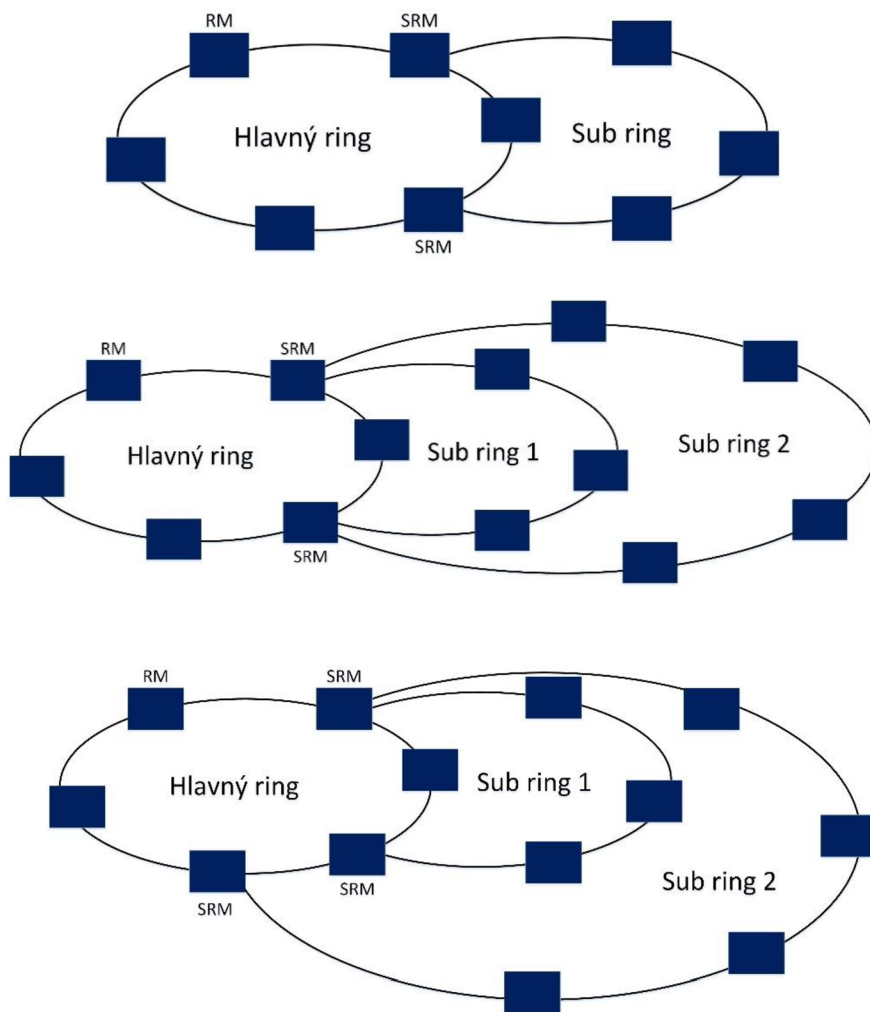
- Použitie MRP ringu s RSTP,
- Využitie proprietárneho riešenia, napríklad Sub-Ring alebo ring Coupling (19,32).

Sub-Ring

Proprietárne riešenie Sub-Ring od spoločnosti Hirschmann umožňuje jednoduché rozširovanie siete. Pomocou neho môžeme pridávať k základnému ringu nové redundantné segmenty siete za stálej prevádzky (19,32).

Pre pripojenie nového segmentu, Sub-Ringu, k základnému kruhu musia switche, pomocou ktorých prebehne napojenie, poznať túto funkcionálnosť. Tieto switche sú nazývané Sub-Ring Manažéri, SRM (Sub-Ring Manager). Segment je pripojený k základnému kruhu pomocou týchto SRM. Jeden so SRM má funkciu manažér a druhý je redundancy manažér. Ak Sub-Ring pracuje správne, je port, ktorý pripája segment u SRM redundancy manažéra, blokovaný. V prípade poruchy Sub-Ringu (napríklad výpadok linky) sa blokovaný port aktivuje a bude cez neho prebiehať komunikácia. Pri porušení hlavného ringu Sub-Ring neslúži ako záložná trasa. Preto je dôležitá vlastná redundancia základného kruhu (19,33).

Každý Sub-Ring môže obsahovať až 200 zariadení, medzi nich sa nerátajú SRM ani switche v základnom ringu (19,32,33). V Sub-Ringu je dôležité, aby zariadenia poznali MRP protokol, aj keď základný kruh riadený pomocou MRP, HiPer Ring alebo Fast HiPer Ring (19,33).



Obrázok č. 21: Príklady možného použitia Sub-ring riešenia
(Zdroj: 19, s. 61-63)

Medzi hlavné výhody použitia Sub-Ringov patrí jednoduché rozširovanie siete, jednoduchá integrácia nových zariadení a sietí do už existujúcej siete a jednoduché rozčlenenie siete do častí (19,33). Čas rekonfigurácie Sub-Ringu na redundantnú trasu je menej ako 100ms (19,33).

Topológia s využitím Sub-Ringov je veľmi flexibilná topológia. Je vhodná pre investora z viacerých dôvodov. Túto topológiu je možné rozširovať v reálnom čase. Ak zariadenia, ktoré investor používa, poznajú MRP protokol, nie je nutné ihneď vymeniť všetky tieto zariadenia. Nevýhodou tejto topológie môže byť jej redundancia. Ak nastane porucha v hlavnom kruhu na dvoch miestach, Sub-Ring neslúži ako redundantná trasa. Ak nastane porucha na dvoch miestach v jednom Sub-Ringu, časť medzi vypadnutými uzlami alebo

linkami nebude taktiež fungovať. Keďže investor požaduje trojnásobnú redundanciu, je nutné nájsť iné riešenie.

Ring Coupling

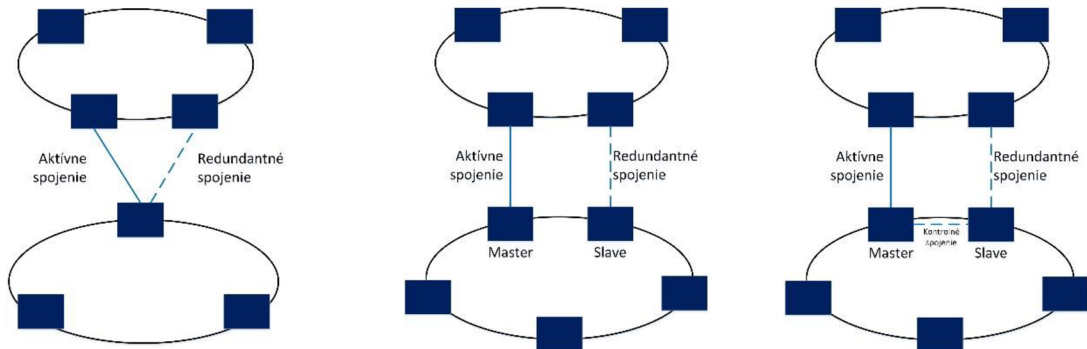
Ring Coupling je ďalším spôsobom riešenia, ktorým môžeme prepájať viacero kruhov. Pomocou tohto riešenia je možné redundantne prepájať ringy s ďalšou sieťou. Ring Coupling umožňuje spojenie dvoch ringov alebo sieťových segmentov pomocou dvoch separátnych trás (19,33).

Ring Coupling umožňuje prepojenie kruhu (MRP, HiPer Ring alebo Fast HiPer Ring) s druhým kruhom (MRP, HiPer Ring alebo Fast HiPer Ring) alebo so segmentom siete, kde sú všetky zariadenia v sieti od spoločnosti Hirschmann (33).

Spojenie pomocou Ring Couplingu môže byť riešené troma spôsobmi:

- **Prvým spôsobom** je prepojenie segmentov pomocou jedného coupling switchu pomocou jeho dvoch portov. Každý z portov switchu je prepojený na jedno zariadenie z druhého segmentu. Jedno zo spojení je primárne a to druhé sekundárne. Sekundárne je blokové pre komunikáciu. V prípade nefunkčnosti primárneho spojenia, switch otvorí druhú redundantnú linku okamžite. Ak bude zase primárna linka opravená, komunikácia bude prebiehať po nej a redundantné spojenie bude zase zablokované. Pomocou Ring Couplingu v prípade výpadku prebehne rekonfigurácia do 500ms, typicky do 150ms. Nevýhodou tohto riešenia je, že ak vypadne coupling switch, spojenie medzi kruhmi sa preruší (19,33).
- **Druhým spôsobom** je prepojenie segmentov jedného kruhu pomocou dvoch zariadení s dvoma zariadeniami druhého kruhu. V tomto prípade sa v prvom segmente nachádzajú dva coupling switche, jeden z nich je Master a druhý je Slave. Tieto zariadenia si vymieňajú medzi sebou služobné správy o ich stavoch. Keď sa preruší spojenie Mastra s druhým kruhom, Slave otvorí redundantné spojenie ihneď. Ak Master zistí, že spojenie bolo obnovené, informuje Slave, Slave zablokuje spojenie a znova sa využíva primárne spojenie. V prípade výpadku rekonfigurácia trvá taktiež do 500ms, typicky 150ms (19,33).

- **Tretí spôsob** je veľmi podobný druhému s tým rozdielom, že coupling switche Master a Slave sú navyše ešte prepojené ďalšou linkou. Vďaka pridanej linke nie je vlastná dátová linka v kruhu zaťažovaná služobnými správami, ktoré si vymieňajú Master a Slave(19,33).



Obrázok č. 22: Tri spôsoby spájania kruhov pomocou Ring Coupling – zľava: prvý, druhý a tretí spôsob
(Zdroj: 19, s. 67-72)

Ak spojíme dva kruhy pomocou Ring Coupling, pri použití nastavenia Redundant Ring / Network Coupling nie sú nikdy obe linky prepojujúce kruhy aktívne súčasne. V prípade nastavenia Extended Redundancy je hlavná aj redundantná linka prepojujúca kruhy aktívna súčasne len v prípade nefunkčnej komunikácie medzi pripojenými zariadeniami.

Porovnanie riešenia Sub-Ring a Ring Coupling

Riešenie pomocou Ring Coupling je podobné ako riešenie Sub-Ring. Pri oboch riešeniach je dôležitý hlavný kruh, ktorý je riadený niektorým z protokolov pre riadenie kruhu. V prípade Ring Couplingu hlavný kruh môžeme nazvať ten, v ktorom sa budú nachádzať zariadenia s funkcionalitou Ring Coupling. V prípade Sub-Ringov je k hlavnému ringu pripojený ďalší segment, Sub-Ring. Toto riešenie je veľmi flexibilné. Pri použití Ring Coupling je nutné z ďalších zariadení vytvoriť druhý kruh a ten pomocou jedného alebo dvoch zariadení s funkcionalitou Ring Coupling prepojiť. Pri navrhovaní riadenia zložitejších topológií musíme dodržať zásadu, že na jednom zariadení môže byť nastavený len jeden Ring Coupling.

Nemôžeme povedať, že jedno riešenie je lepšie ako druhé. Výber jedného z nich musí byť na základe potrieb konkrétneho prostredia a aplikácie. Obe tieto riešenia poskytujú vysokú dostupnosť. Investor ale požaduje návrh topológie s trojnásobnou a viacnásobnou redundanciou a tým aj zvýšenie dostupnosti aj v prípade výpadku viacerých liniek či zariadení. Je nutné vymyslieť nové topológie kombinovaním a úpravou základných topológií. Pre riadenie týchto topológií bude následne nutné vymyslieť ich spôsob riadenia, kde bude nevyhnutné využiť kombináciu viacerých protokolov a riešení.

2.6.3 Riešenia s nulovým časom rekonfigurácie

Pre niektoré aplikácie je čas rekonfigurácie siete pomocou predchádzajúcich riešení príliš dlhý. Preto boli vyvinuté dve riešenia s nulovým časom rekonfigurácie (19).

HSR – High Availability Seamless Redundancy

Riešenie HSR je založené na kruhovej topológii, v ktorom sú všetky rámce posielané súčasne oboma smermi. Každý z uzlov v kruhu má dva porty, ktoré majú zhodnú MAC adresu aj IP adresu. Túto funkcionality nemajú implementované všetky zariadenia, preto tieto uzly pripájame ku kruhu pomocou RedBox zariadení, ktorý funguje ako proxy server (19, 41).

Každý uzol zasiela dva rovnaké rámce na oba smery. Cieľ prijme rámec, ktorý prišiel skôr a duplikát zahodí. Ak sa jedná o multicast, tie vyraduje z prevádzky zdrojový uzol, aby neprišlo k zahlteniu siete. Ak sa jedná o unicast, oba rámce vyraduje cieľový uzol. Porucha kruhu je detekovaná tým, že neprichádzajú duplikáty rámcov. Každý rámec obsahuje HRS tag, ktorý je vložený do Ethernetového rámca podobne ako VLAN tag. Toto riešenie poskytuje rýchle prenos rámcov medzi uzlami, nulovú dobu rekonfigurácie, možnosť viacnásobnej redundancie a real-time režim. Nevýhodou tohto riešenia je potreba špeciálneho a drahého hardware a dvojnásobné zaťaženie siete (19, 41).

PRP – Parallel Redundancy Protocol

Druhým riešením s nulovou časovou rekonfiguráciou je PRP protokol. Toto riešenie nie je závislé na topológii. Každý uzol musí mať taktiež dva porty s rovnakou MAC adresou a IP adresou (19, 41).

Každý port je napojený do dvoch fyzicky oddelených sietí. Zdrojový uzol s dvoma zhodnými portami je pripojený k oboj sietiam. Odošle rámec do oboch sietí a uzol pripojený taktiež dvoma zhodnými portami k oboj sietiam príme prvý a duplikát zahodí. Je možné taktiež k jednej zo sietí pripojiť zariadenie len jedným portom, ale nie je zaručená redundancia. Ak chceme pripájať obyčajné zariadenia bez tejto funkcionality, musíme znova použiť RedBox. Do každého Ethernet rámca sa pridáva informácie o PRP, ktoré sa vkladajú až do dátovej časti. Tým je zaistené to, že obyčajný switch pracujúci na L2 v sieti sa nezaujíma o obsah a tieto rámce nezahodí. Ak je to ale zariadenie, ktoré ma implementovanú funkciu PRP, z Ethernet rámca si prečíta PRP sufix. Riešenie PRP taktiež poskytuje nulovú dobu rekonfigurácie, je nezávislý na topológii a nie je potreba špeciálneho hardware. Nevýhodou je ale zdvojenie siete a obmedzenie na L2 broadcastovú doménu (19, 41).

2.6.4 Doplnkové protokoly

LA – Link Aggregation

LACP (Link Aggregation Control Protocol) je sieťový protokol, pomocou ktorého môžeme zvýšiť šírku pásma komunikačného kanálu alebo riadiť redundantné spoje (19, 41).

Zvýšiť šírku pásma môžeme pomocou zlúčenia aspoň dvoch liniek do jedného agregovaného kanálu, trunku. Celková šírka pásma agregovaného kanálu je potom rovná súčtu širok pásma všetkých liniek, ktoré sme agregovali. Okrem zvýšenia šírky pásma kanála LA poskytuje riadenie redundantných spojov tak, aby neprišlo vplyvom viacnásobného prepojenia prvkov k broadcastovej smršti (19, 41).

Trunk môže pracovať dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom je režim redundancie, kde je pre komunikáciu využitá len jedna linka a v prípade poruchy aktívnej je aktivovaná záložná linka. Druhým spôsobom je load-balancing. Pri tomto režime sú všetky linky aktívne a podľa nastaveného pravidla je automaticky rozdeľovaná záťaž medzi jednotlivými linkami (19,41).

LB - Link Backup

LB poskytuje riadenie redundantného prepojenia z jedného zariadenia dvoma linkami do dvoch uzlov. Ak sa vyskytne chyba na aktívnom spojení k jednému z uzlov, aktivuje sa záložná linka k druhému uzlu. Obe linky musíme nastaviť tak, že tvoria pár, jedna linka z nich je aktívna a druhá záložná. Je možné nastaviť aj viacej párov na jednom zariadení, limitujúci je počet fyzických portov na zariadení (41).

2.7 Dostupnosť

Pojem dostupnosť sa používa predovšetkým v oblasti komunikačných systémov. Dostupnosť vyjadruje úroveň, do ktorej je prvok funkčný a k dispozícii so všetkými funkcionalitami (21, 42).

Hodnotu dostupnosti udáva pomer medzi hodnotou MTBF (Mean Time Between Failures, Stredná Doba Medzi Poruchami) a MTTR (Mean Time To Repair/ Restore/ Recovery, Stredná Doba Do Opravy/ Obnovenia/ Zotavenia) (21, 42).

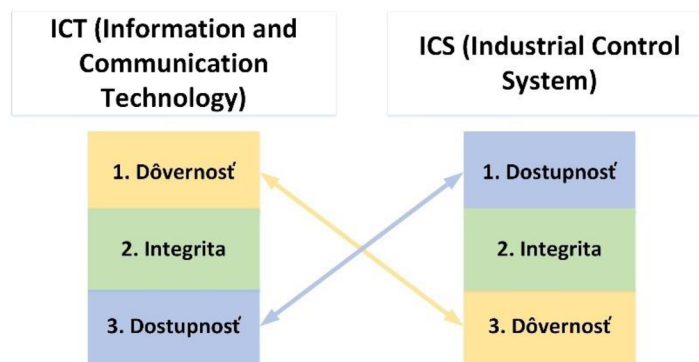
$$DOSTUPNOSŤ = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Je veľmi dôležité, aby hodnota MTBF bola čo najväčšia. Používa sa pre výrobky, ktoré je možné opraviť. Ak ich nie je možné opraviť, používa sa MTTF (Mean Time To Failure, Stredná Doba Do Poruchy). Oba sú to časové údaje ktoré udávajú, ako je výrobok spoľahlivý (42).

MTTR je taktiež časový údaj, ktorý udáva očakávanú hodnotu času do obnovenia činnosti zariadenia, teda hodnotu, po ktorú je zariadenie mimo prevádzku. Je žiaduce, aby táto hodnota bola čo najkratšia (42).

2.7.1 Dostupnosť v priemyselnom prostredí

Medzi hlavné požiadavky investora na návrh sieťovej topológie pre jeho lokality patrí dostupnosť. Zariadenia, ktoré investor už vlastní (RTU, IED, HMI, atď.) sú priemyselné zariadenia, ktoré sú navrhnuté do priemyselného prostredia tak, aby plnili svoju činnosť dlhú dobu a s čo najmenej výpadkami. Výrobcovia týchto zariadení ich preto navrhujú tak, aby dokázali odolať otrasom, vibráciám, nepriaznivým okolitým podmienkam, teplote a ďalším nepriaznivým vplyvom daných prostredím. Tieto zariadenia sa taktiež vyrábajú z kvalitných materiálov a na zariadeniach z nich vybratých prebiehajú náročné testy odolnosti. Priemyselné zariadenie musia byť taktiež bezpečné, aj keď pre priemyselné prostredie platia odlišné pravidlá ako v komerčnom prostredí (42).



Obrázok č. 23: Rozdiel ICT a ICS
(Zdroj: 21)

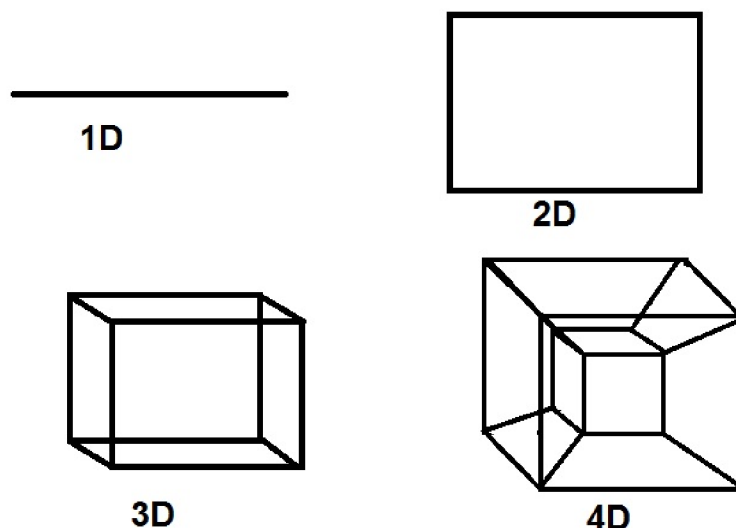
Dostupnosť je v priemyselnom prostredí najdôležitejšie bezpečnostné kritérium. Priemyselné prostredie sa líši od komerčného prostredia aj tým, že v komerčnom prostredí sa snažíme chrániť aktíva a dáta a v priemyselnom prostredí kladieme dôraz na bezpečnosť procesov (21, 42).

2.8 Priestor

Sieťové topológie zakresľujeme do priestoru. Priestor môžeme deliť podľa toho, z koľkých dimenzií sa skladá. Dimenzia je atribút alebo charakteristika, ku ktorej je možné priradiť hodnoty (39).

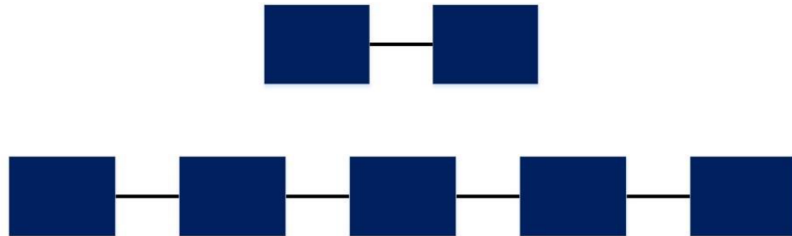
Delenie priestoru podľa dimenzií:

- 1D je jednorozmerný priestor a je označený ako čiara. Môžeme ho znázorniť na jednej ose x . Jej charakteristika môže byť vyjadrovaná v metroch, palcoch, a tak ďalej (39, 40).
- 2D je dvojrozmerný priestor, tvoria ho objekty, ktoré majú len dva rozmery. 2D tvary sú ploché a popisujeme ich pomocou osí x a y a ich charakteristiky vyjadrujeme v štvorcových jednotkách alebo ako akre (39, 40).
- 3D je trojrozmerný priestor, kde tvary môžeme vyjadriť matematicky pomocou osí x , y a z . Väčšinou tieto rozmery nazývame dĺžka, výška a hĺbka (39, 40).
- 4D pridáva ďalšiu dimenziu k 3D, ktorú zvyčajne nazývame čas. Túto myšlienku vyslovil Albert Einstein v Teórii všeobecnej relativity z roku 1905. 4D priestor je prezentovaný tesseractom (39, 40).



Obrázok č. 24: Priestor znázornený pomocou matematických obrazcov
(Zdroj: 39)

V 1D priestore môžeme vyjadriť len jednu topológiu. Jedná sa o topológiu, ktorá je základom pre všetky topológie. Touto topológiu je spojenie uzol – uzol. Táto topológia sa nemusí skladať len z dvoch uzlov, je možné ju rozšíriť aj o ďalšie uzly. Nazýva sa linka. Topológia linka môže vzniknúť z topológie kruh, ak odstránime spoj medzi ľubovoľnými dvoma uzlami.



Obrázok č. 25: Príklady topológie v 1D priestore
(Vlastné spracovanie)

V 2D priestore môžeme vyjadriť všetky topológie z kapitoly 3.4.2 Topológie lokálnych sietí. Každú z týchto základných topológií, hviezda, kruh, zbernica, strom, a polynóm, je možné vyjadriť v súradniciach x a y .

Ich kombináciou alebo pridávaním ďalších spojov môže vzniknúť dvojdimenzionálna alebo viacdimeznionálna topológia. Ak vyjadrujeme topológiu siete v 2D priestore alebo viac dimenzionálnom priestore, môžeme hovoriť o multidimenzionálnej topológii siete.

Multidimenzionálna topológia siete je kvalitatívna geometria popisujúca vzájomne usporiadanie jednotlivých uzlov, ktoré sú medzi sebou prepojené mnohonásobnými spojeniami.

3 NÁVRH RIEŠENIA

Táto časť bude venovaná návrhu riešenia. Návrh bude vychádzať z požiadavkou investora a bude zohľadňovať prostredie, v ktorom investor pôsobí a taktiež množstvo, funkcionality a potreby priemyselných zariadení, ktoré investor už vlastní.

3.1 Matematické vyjadrenie sieťových topológií

Pri použití viacnásobnej redundancie v sieťovej topológii môže vzniknúť problém neprehľadnosti. Ak vytvárame topológie s menším počtom prvkov, bude na jej popísanie a zobrazenie stačiť 2D priestor. Pri vytváraní zložitejších topológií s mnoho prvkami je zložitejšie popísať alebo zakresliť topológiu. 2D priestor sa stáva neprehľadným. Je možné ale využiť softwarový nástroj, pomocou ktorého sme schopný zakresliť topológiu v 3D priestore. Nie vždy máme ale takýto software k dispozícii, takže je potrebné zapísať tieto zložitejšie topológie aj iným spôsobom.

Najjednoduchším spôsobom, pomocou ktorého by sme mohli popísať topológiu siete, je využitie matematických metód. Matematika poskytuje viacero aparátov, najvhodnejší pre tieto potreby je vyjadrenie topológie pomocou matic.

Pri popisovaní topológie siete budeme teda využívať hornú trojuholníkovú maticu. Horná trojuholníková matica je tá časť matice, ktorá sa nachádza nad hlavnou diagonálou. Matica bude štvorcová matica, bude mať rovnaký počet stĺpcov a riadkov. Stĺpce a riadky budú predstavovať jednotlivé prvky v sieti a hodnoty v hornej trojuholníkovej matici budú predstavovať počet spojov s iným prvkom (tmavo vyznačené). Na diagonále budú samé nuly, pretože žiadny prvok nebude pripojený sám na seba.

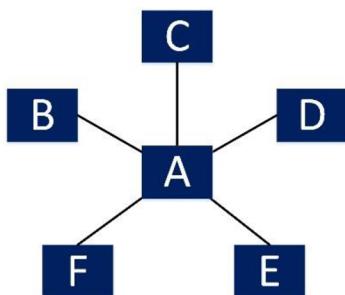
Tabuľka č. 14: Návrh matematického zápisu siete.
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	A	B	C	D	E
A	0	1	0	1	1
B	-	0	2	1	1
C	-	-	0	0	2
D	-	-	-	0	1
E	-	-	-	-	0

Hodnoty uvedené v matici predstavujú počet spojení dvoch prvkov medzi sebou. V tomto vyjadrení nevyužívame celú maticu ale len hornú trojuholníkovú maticu, pretože ak by sme použili celú maticu pre zaznamenanie počtu spojení, mali by sme v nej duplicitné hodnoty. Duplicity by nám vznikli, pretože spojenia nie sú orientované. Linka vedúca z A do B je tá istá ako linka vedúca z B do A. Matematicky pomocou hornej trojuholníkovej matice je možné vyjadriť aj jednoduchšie topológie.

V topológií hviezda vidíme, že uzol A je spojený s uzlami B, C, D, E a F. Z obrázka môžeme teda vidieť 5 liniek, ktoré uzol A spájajú s ostatnými linkami. Z matice môžeme zistiť, že linka A je spojená jednou linkou s ostatnými uzlami. Grafické znázornenie a matica popisujú inými spôsobmi tú istú topológiu.

Tabuľka č. 15: Matematický zápis topológie hviezda.
(Zdroj: vlastné spracovanie)

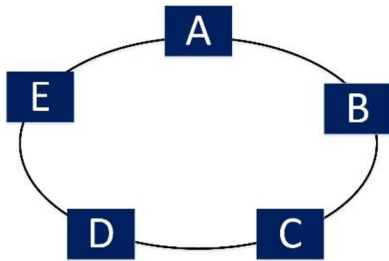


	A	B	C	D	E	F
A	0	1	1	1	1	1
B	-	0	0	0	0	0
C	-	-	0	0	0	0
D	-	-	-	0	0	0
E	-	-	-	-	0	0
F	-	-	-	-	-	0

Obrázok č. 26: Topológia hviezda
(Zdroj: 4)

Z grafického znázornenia topológie kruh je možné vidieť, že všetky uzly sú prepojené s dvoma ďalšími uzlami. Z matice môžeme taktiež vidieť, že každý uzol je prepojený s dvoma ďalšími.

Tabuľka č. 16: Matematický zápis topológie kruh.
(Zdroj: vlastné spracovanie)

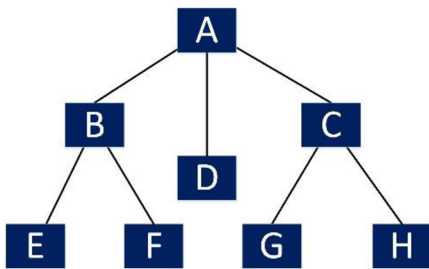


	A	B	C	D	E
A	0	1	0	0	1
B	-	0	1	0	0
C	-	-	0	1	0
D	-	-	-	0	1
E	-	-	-	-	0

Obrázok č. 27: Topológia kruh
(Zdroj: 4)

Z grafického znázornenia topológie strom môžeme vidieť sedem liniek spájajúcich uzly. Pri pribúdajúcom počte prvkov v sieti sa matica zväčšuje o toľko stĺpcov a riadkov, o koľko uzlov pribudlo.

Tabuľka č. 17: Matematický zápis topológie strom
(Zdroj: vlastné spracovanie)

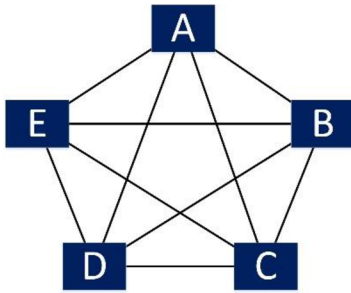


	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	1	1	1	0	0	0	0
B	-	0	0	0	1	1	0	0
C	-	-	0	0	0	0	1	1
D	-	-	-	0	0	0	0	0
E	-	-	-	-	0	0	0	0
F	-	-	-	-	-	0	0	0
G	-	-	-	-	-	-	0	0
H	-	-	-	-	-	-	-	0

Obrázok č. 28: Topológia strom
(Zdroj: 4)

V topológii úplného polynómu je každý uzol prepojený s každým. Toto prepojenie každého uzla s každým môžeme vidieť aj z matice, keď na hlavnej diagonále sú nuly a ostatné hodnoty sú jednotky.

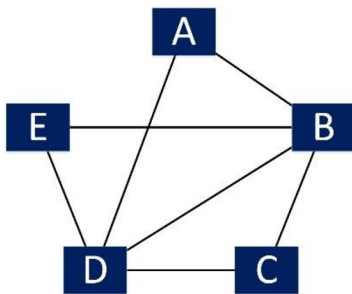
Tabuľka č. 18: Matematický zápis topológie úplný polygón
(Zdroj: vlastné spracovanie)



	A	B	C	D	E
A	0	1	1	1	1
B	-	0	1	1	1
C	-	-	0	1	1
D	-	-	-	0	1
E	-	-	-	-	0

Obrázok č. 29: Topológia úplný polygón
(Zdroj: 4)

Tabuľka č. 19: Matematický zápis topológie neúplný polygón.
(Zdroj: vlastné spracovanie)

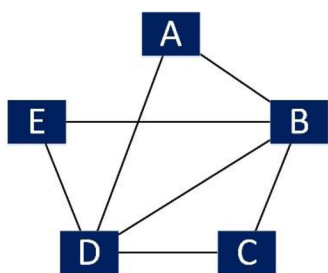


	A	B	C	D	E
A	0	1	0	1	0
B	-	0	1	1	1
C	-	-	0	1	0
D	-	-	-	0	1
E	-	-	-	-	0

Obrázok č. 30: Topológia neúplný polygón
(Zdroj: 4)

Maticový tvar nemusí udávať len počet spojení uzlov. Pomocou maticového tvaru môžeme zaznamenávať aj iné údaje, napríklad šírku pásma medzi uzlami. Ak by uzol A bol prepojený jedným kanálom GE pracujúcim v režime FD (Full Duplex) k uzlu B, v obojsmernej komunikácii poskytuje šírku pásma 2000Mbit/s.

Tabuľka č. 20: Matematický zápis topológie neúplný polygón s uvedením šírky pásma
(Zdroj: vlastné spracovanie)



	A	B	C	D	E
A	0	2000	0	1000	0
B	-	0	100	2000	200
C	-	-	0	100	0
D	-	-	-	0	1000
E	-	-	-	-	0

Obrázok č. 31: Topológia neúplný polygón
(Zdroj: 4)

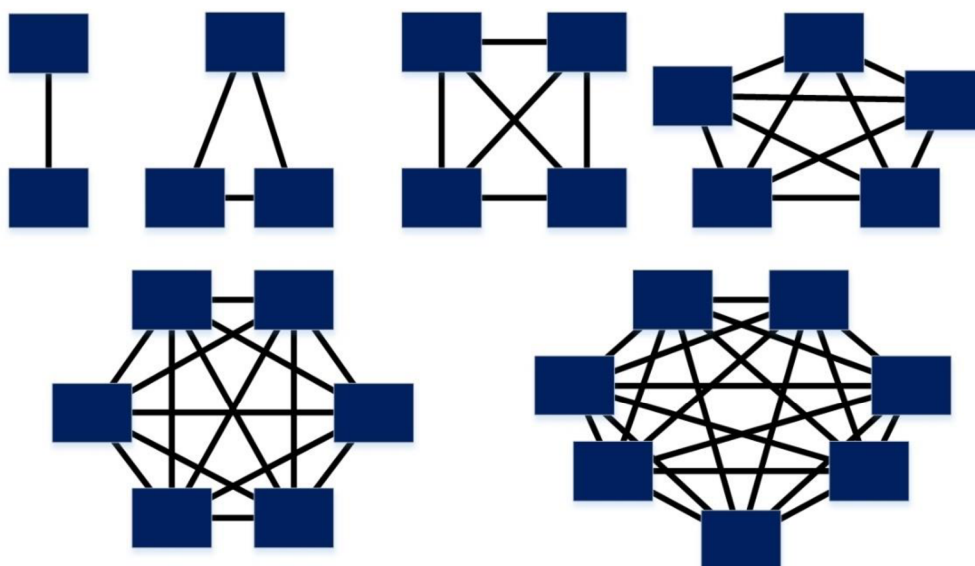
Pri rastúcom počte prvkov a rastúcom počte spojení a redundantných spojení prestáva byť prehľadné grafické znázornenie topológie siete. Preto je vhodné, u zložitejších sietí tieto popisy kombinovať. Nie je ani vhodné použiť len maticový zápis, pretože mnohým ľuďom grafické znázornenie pomôže pochopiť problematiku a maticový zápis len špecifikuje nezrovnalosti v grafickom zápise.

3.2 Siet'ové topológie s viacnásobnou redundanciou

Siet'ová topológia je schematický popis sieťového usporiadania. Skladá sa z uzlov, ktoré sú prepojené linkami. Definuje spôsob, akým sú jednotlivé uzly navzájom prepojené v priestore.

3.2.1 Topológia polynóm

Topológia polynóm je jedna zo základných topológií sietí. Topológia polynóm predstavuje vzájomné prepojenie uzlov. Pomocou pridávania uzlov a pridávania spojení dostupnosť siete stúpa. Nie je nutné prepojiť vzájomne všetky uzly. Ak by niektorá linka bola zaťažená alebo významná, je možné ju zdvojiť, pridať redundantnú trasu.



Obrázok č. 32: Topológia úplného polynómu s rastúcim počtom uzlov
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Z obrázka je možné vidieť, že po pridaní ďalšieho uzla počet možných spojení rastie. Počet spojení pri n prvkoch sa dá vyrátať vzorcom: počet spojení = $n - 1 + n - 2 + \dots + 2 + 1$.

Táto topológia siete nie je vhodná pre lokality investora. Investor v jednotlivých lokalitách má nasadených mnoho zariadení a to by spôsobovalo mnoho spojení. Pri použití topológie neúplného polynómu by zase jednotlivé topológie boli neprehľadné. Vznikol by taktiež problém riadenia tejto topológie sieťovými protokolmi. Aj keď každú sieť je možné riadiť protokolom RSTP, RSTP nemá taký čas rekonfigurácie siete, ktorý požaduje investor.

3.3 Návrh zloženej sieťovej topológie

Nasledujúce návrhy topológie siete budú vychádzať zo základných topológií. Tieto základné topológie budem kombinovať a prispôbovať tak, aby bola splnená požiadavka investora na redundanciu, aby bola topológia čo najviac prehľadná a jednoduchá a aby bola vhodná do prostredia investora.

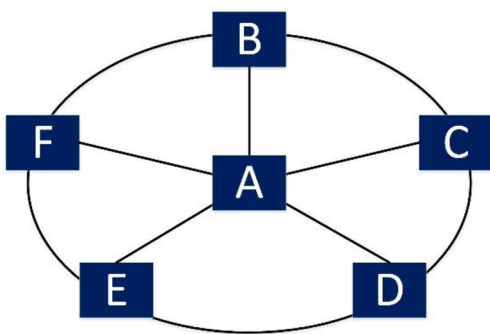
3.3.1 Topológia loukoťové koleso (Felloe wheel topology)

Prvou navrhovanou sieťovou topológiou s vysokou hodnotou dostupnosti je topológia loukoťového kolesa. Je to topológia, v ktorej sa spája topológia hviezdy a topológia kruhu. Jeden uzol je centrálny uzol, ktorý je prepojený s ostatnými uzlami a tieto okrajové uzly sú vzájomne prepojené do kruhu. Takže okrajové uzly sú vždy prepojené s tromi ďalšími uzlami. Toto zapojenie zaručuje vysokú dostupnosť aj v prípade výpadku niektorého uzla alebo linky.

Množstvo okrajových zariadení je obmedzené len protokolom, ktorý riadi sieť a až počet preskokov udáva oneskorenie.

Tabuľka č. 21: Matematický zápis topológie loukoťové koleso.

(Zdroj: vlastné spracovanie)



	A	B	C	D	E	F
A	0	1	1	1	1	1
B	-	0	1	0	0	1
C	-	-	0	1	0	0
D	-	-	-	0	1	0
E	-	-	-	-	0	1
F	-	-	-	-	-	0

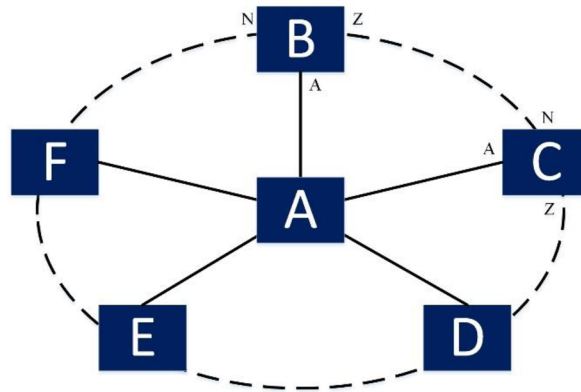
Obrázok č. 33: Topológia loukoťové koleso

(Zdroj: vlastné spracovanie)

Je dôležité brať do úvahy komunikáciu, ktorá prebieha v rámci lokality. Ak by boli vyťažované linky smerujúce k centrálnemu prvku, je dôležité, aby tieto linky zostali aktívne. Ak by ale prebiehala zväčša komunikácia v rámci kruhu, je dôležité použiť protokoly a nastaviť prvky tak, aby linky v kruhu boli aktívne a aby linky smerujúce k centrálnemu prvku slúžili ako záloha. K riadeniu tejto topológie je teda možné využiť viacero kombinácií protokolov:

1. Komunikácia s centrálnym prvkom

V tomto prístupe je dôležité to, aby linky smerujúce z okrajových uzlov k centrálnemu uzlu boli aktívne a linky v kruhu by slúžili ako záloha.

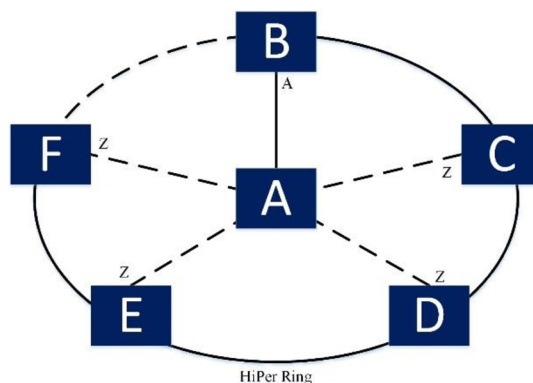


Obrázok č. 34: Topológia lúčové koleso. Zapojenie: komunikácia s centrálnym prvkom
(Zdroj: vlastné spracovanie)

K riadeniu siete tak, ako je to graficky znázornené na obrázku (plná čiara predstavuje aktívnu linku a prerušovaná linka označuje záložnú linku), je možné využiť protokol Ring Coupling pomocou prvého spôsobu. Na každom z okrajových uzlov by bol port, ktorý smeruje k centrálnemu prvku, nastavený na aktívny (A) a z toho istého zariadenia by jeden z portov bol nastavený ako záložný (Z). Tretí z portov bude nenastavený (N). Vždy jedna linka z kruhu musí z jednej strany začínať portom, ktorý je nastavený ako záložný a na druhej strane musí byť port, ktorý je nenastavený. Centrálny prvok nebude nijako nastavený.

2. Komunikácia v rámci kruhu

V druhom prípade, ak prebieha komunikácia zväčša v rámci okrajových uzlov, je dôležité, aby linky v kruhu boli aktívne a linky prepojujúce uzly s centrálnym uzlom záložné.

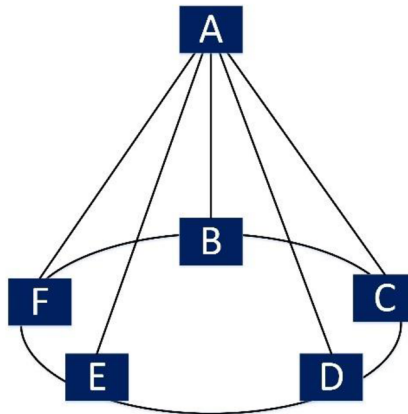


Obrázok č. 35: Topológia loukoťové koleso. Zapojenie: komunikácia v rámci kruhu
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre riadenie kruhu je možné využiť niektorý z protokolov pre riadenie kruhov. Ak investor bude vlastniť všetky prvky od výrobcu Hirschmann, je výhodnejšie, vzhľadom na kratší čas rekonfigurácie, použiť protokol HiPer Ring. Keby všetky linky kruhu boli aktívne, vznikla by slučka. Na všetkých okrajových switchoch bude spojenie s centrálnym prvkom riešené pomocou Ring Coupling podľa druhého spôsobu. Jeden z nich bude mať toto spojenie nastavené ako aktívne (A) a ostatné okrajové switche budú mať spojenie k centrálnemu prvku nastavené ako záložné (Z). Na centrálnom prvku opäť nič nenastavujeme.

3.3.2 Topológia ihlan (Pyramid topology)

Topológia ihlan je podobná topológií loukoťového kolesa. Ak sa na ihlan pozrieme zhora alebo jeho vrchol preniesieme do dvojrozmerného priestoru, do jeho podstavy, vznikne topológia loukoťového kolesa.

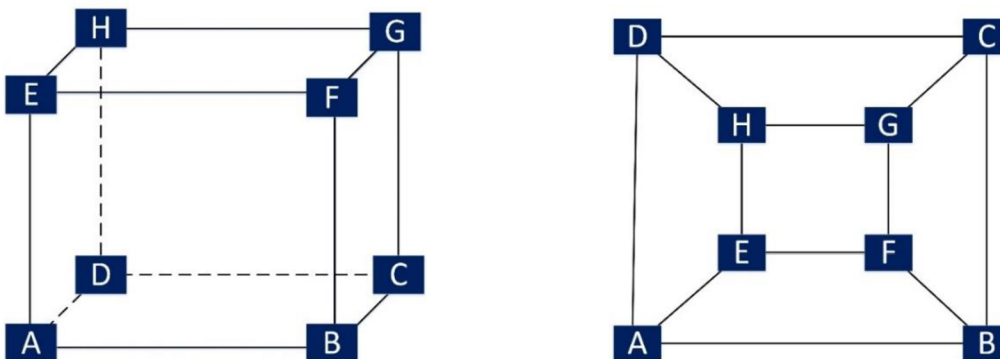


Obrázok č. 36: Topológia ihlan
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre topológiu ihlan platia rovnaké pravidlá ako pre loukoťové koleso. Je ho možné riadiť kombináciou protokolov podľa dvoch princípov.

3.3.3 Topológia kváder (Cuboid topology)

Ďalšou topológiou, ktorá by sa dala použiť v prostredí investora, je topológia kváder alebo kocka. Túto topológiu je možné nakresliť v 3D aj 2D priestore. Do 2D priestoru ju preniesieme tak, že sa na kváder pozrieme zhora, vrchnú stenu zmenšíme a presunieme do roviny so spodnou stenou. V 2D priestore je to topológia, ktorá je zložená z dvoch kruhov, pričom vždy uzol z jedného kruhu je prepojený s jedným uzlom z druhého kruhu. Každý uzol je teda pripojený dvoma linkami ku kruhu a jednou linkou k uzlu z druhého kruhu. Aby sme dokázali vytvoriť topológiu kvádra, je veľmi dôležité použiť len osem zariadení. Toto zapojenie zaručuje vysokú dostupnosť aj v prípade výpadku niektorého uzla alebo linky.



Obrázok č. 37: Topológia kváder znázornená v 3D a 2D priestore
(Zdroj: vlastné spracovanie)

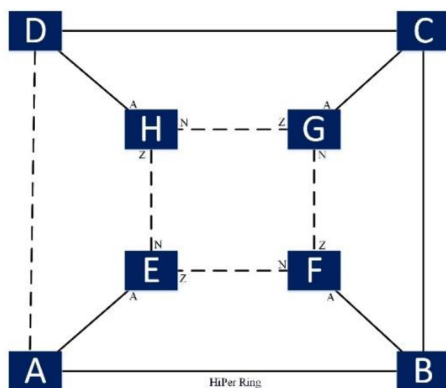
Tabuľka č. 22: Matematický zápis topológie kváder
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	1	0	1	1	0	0	0
B	-	0	1	0	0	1	0	0
C	-	-	0	1	0	0	1	0
D	-	-	-	0	0	0	0	1
E	-	-	-	-	0	1	0	1
F	-	-	-	-	-	0	1	0
G	-	-	-	-	-	-	0	1
H	-	-	-	-	-	-	-	0

Topológiu kvádra je možné riadiť, podobne ako loukoťové koleso a ihlan, kombináciou protokolov. Tak isto ako u týchto topológií je najskôr nutné určenie najčastejšieho toku komunikácie. Topológiu kváder je možné riadiť viacerými spôsobmi.

1. Jeden centrálny kruh

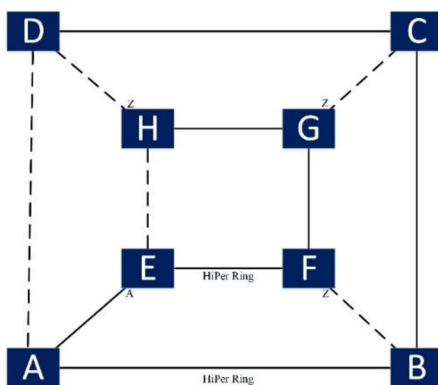
Pre riadenie jedného kruhu môžeme využiť niektorý z protokolov pre riadenie kruhov. Kvôli rýchlejšej rekonfigurácii a ďalším vlastnostiam je vhodnejšie uprednostniť HiPer Ring pred MRP. Ako hlavný kruh bol zvolený kruh ABCD. Pre riadenie druhého kruhu a prepojení s prvým kruhom využijeme Ring Coupling. Pre každý uzol je potrebné nastaviť Ring Coupling prvú variantu a zvoliť linku smerujúcu k prvému kruhu za aktívnu (A), druhú na záložnú (Z) a tretiu nenastavovať (N). Znova platí podobné pravidlo ako u loukoťového kolesa, že je dôležité, aby linky prepájajúce druhý kruh EFGH začínali na jednej strane záložným portom a na druhej strane musí byť nenastavený port.



Obrázok č. 38: Topológia kváder. Zapojenie: jeden centrálny kruh
(Zdroj: vlastné spracovanie)

2. Dva kruhy

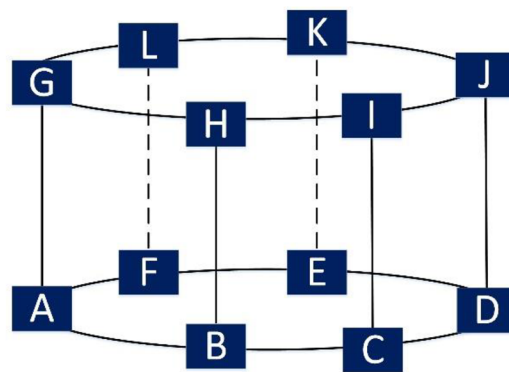
Druhý spôsob riadenia topológie kváder je založený na použití dvoch kruhov. Pre každý z kruhov môžeme využiť ktorýkoľvek protokol pre riadenie kruhov, pre investora je najvhodnejší HiPer Ring. HiPer Ring nastavíme medzi prvkami v jednotlivých kruhoch ABCD a EFGH. Na to, aby sme tieto dva kruhy prepojili navzájom, využijeme Ring Capling. Na jednom z kruhov na každom prvku je potrebné nastaviť tento Ring Coupling na ten port, ktorý pripája druhý kruh. Na jednom z týchto zariadení bude jeden port nastavený ako aktívny (A) a ostatné zariadenia budú mať tento port prepojujúci dva kruhy nastavený ako záložný (Z).



Obrázok č. 39: Topológia kváder. Zapojenie: dva kruhy
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.3.4 Topológia valec (Roller topology)

Valec je topológia, ktorá sa podobá na topológiu kvádra. Ak chceme vytvoriť sieť v tvare kvádra, musíme použiť presne osem zariadení. V prípade valca nie je dôležité, koľko zariadení použijeme, je potrebné dodržať len párny počet zariadení. V jednom kruhu je možné použiť tri a viac zariadení. Prenosová rýchlosť a rýchlosť rekonfigurácie je ale závislá na počte preskokov, teda počte zariadení a tento počet nemôže narastať do nekonečna.

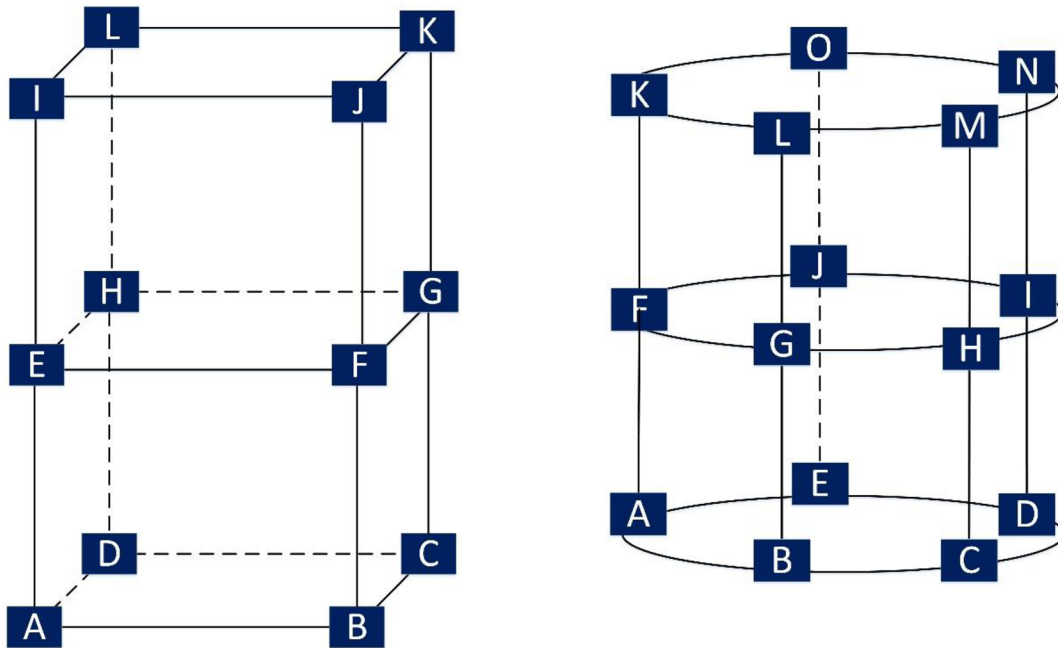


Obrázok č. 40: Topológia valec
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Topológiu valca môžeme riadiť podobne ako topológiu kvádra s tým rozdielom, že bude použité odlišné množstvo uzlov v kruhoch.

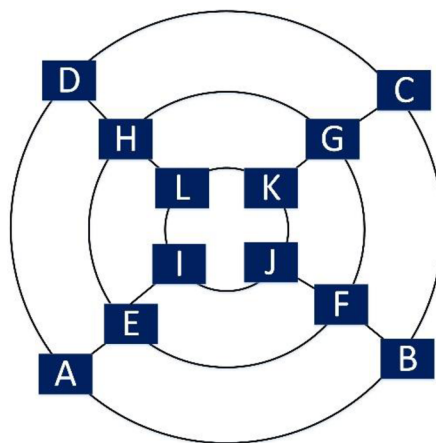
3.3.5 Topológia veža (Tower topology)

Ďalšou topológiou, ktorá vychádza z topologie kváder je topológia veža. Veža môže byť zložená z dvoch kvádrov, ktoré majú spoločnú jednu stenu.



Obrázok č. 41: Topológia veža
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Ak toto zapojenie veže so štyrmi prvkami v každej úrovni zakreslíme do roviny, vzniknú tri kruhy, ktoré sú vzájomne prepojené. Vždy jeden uzol z jedného kruhu je prepojený s druhým uzlom z druhého kruhu.

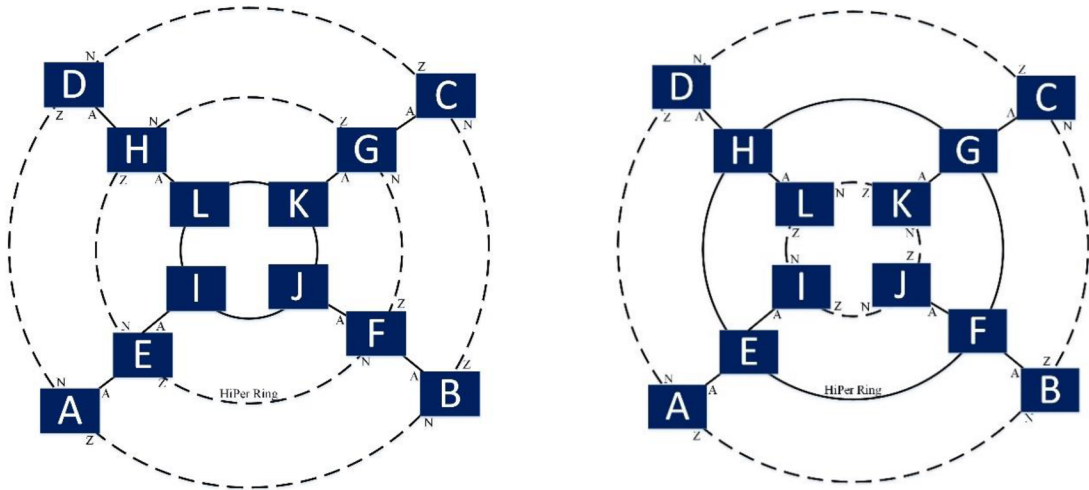


Obrázok č. 42: Topológia veža znázornená v 2D priestore
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Topológiu veže je možné taktiež riadiť pomocou kombinácie protokolov viacerými spôsobmi.

1. Jeden centrálny kruh

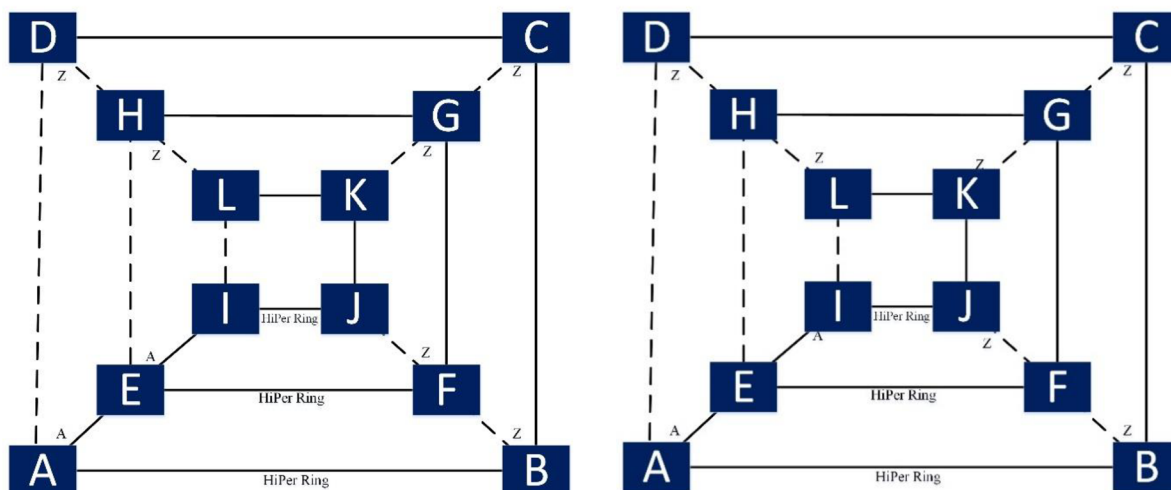
Riadenie tejto topológie bude podobné ako u topológie kváder, jeden centrálny kruh. Rozdielom ale bude, že nebudeme k hlavnému kruhu pripájať jeden kruh ale dva alebo k pripojenému kruhu pripojíme ďalší pomocou rovnakého princípu použitia Ring Couplingu.



Obrázok č. 43: Topológia veža. Zapojenie: jeden centrálny kruh.
(Zdroj: vlastné spracovanie)

2. Tri prepojené kruhy

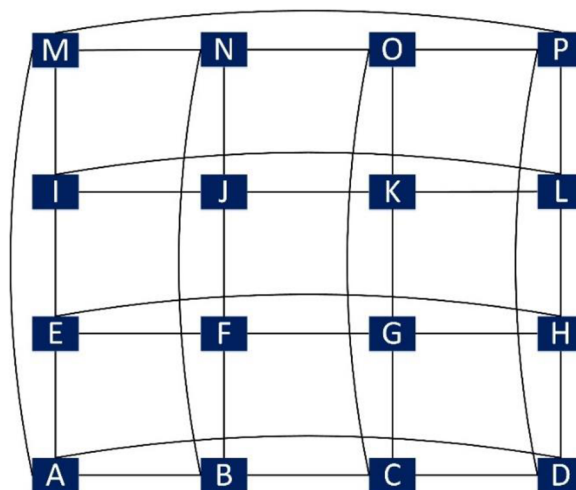
Podobne ako kváder je možné topológiu veža riadiť aj odlišným spôsobom. Aj v tomto prípade môžeme použiť ako príklad topológiu kváder, dva centrálny kruhy. Nastavovanie bude prebiehať rovnako ako v prípade kvádra. Zariadenia budú rozdelené do troch kruhov a kruhy budú vzájomne prepojené pomocou Ring Coupling druhý spôsob. Aj tu musí platiť rovnaká logika, že len jedno zariadenie v kruhu môže mať linku smerujúcu k pripojenému kruhu nastavenú na aktívnu, ostatné zariadenia ju musia mať nastavenú na záložnú. Je dôležité pripomenúť, že na jednom prvku je možné nastaviť len jeden Ring Coupling a preto na začiatku potrebné si rozmyslieť, ako budú kruhy vzájomne pripojené.



Obrázok č. 44: Topológia veža. Zapojenie: tri kruhy
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.3.6 Topológia transputer (Transputer topology)

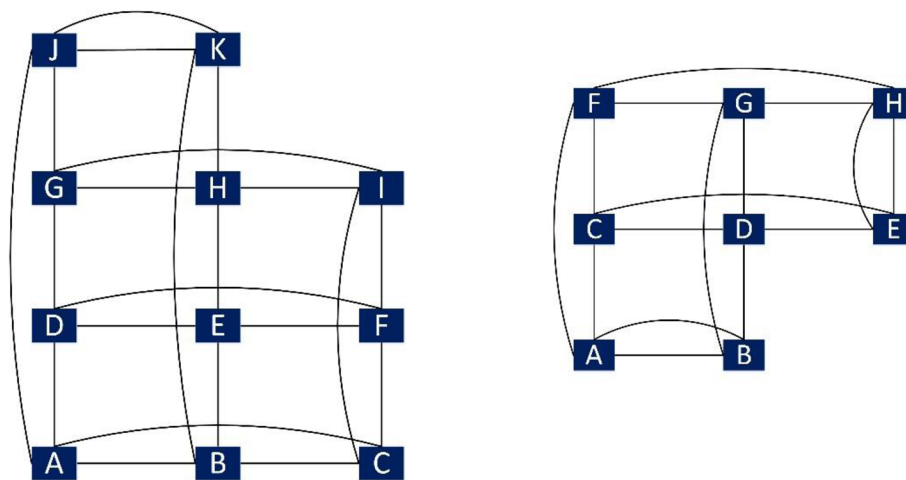
Topológia transputer zaisťuje veľmi vysokú úroveň redundancie v sieti. Každý uzol je prepojený so štyrmi ďalšími uzlami. Pre túto topológiu je ale nutné, aby do siete bolo zapojených viacero uzlov. Transputer topológia predstavuje také usporiadanie uzlov v sieti, že každý z nich je súčasťou dvoch kruhov. Túto topológiu je možné riadiť viacerými spôsobmi vzhľadom na počet prvkov, ale v ďalšej časti bude navrhnutý obecný prístup platný pre akékoľvek množstvo prvkov.



Obrázok č. 45: Topológia transputer
(Zdroj: 19, s. 79)

Topológiu transputer môžeme rozdeliť, kvôli jednoduchšiemu vysvetleniu, do horizontálnych kruhov a vertikálnych kruhov. Horizontálny kruh predstavuje napríklad uzly A, B, C a D a vertikálny kruh reprezentujú uzly A, E, I a M. Keďže túto topológiu tvoria kruhy, je možné využiť pre jej riadenie protokoly pre riadenie kruhov. Podľa častej komunikácie medzi pripojenými prvkami investor určí, ktoré kruhy budú aktívne, či horizontálne alebo vertikálne. Tieto kruhy, napríklad horizontálne, potom budú riadené HiPer Ringom. Vertikálne kruhy môžeme riadiť pomocou Ring Couplingu pomocou druhého spôsobu.

Sieť v topológií transputer sa nemusí skladať len z prvkov, ktorých počet je mocnina dvojky. Je možné túto topológiu vytvoriť aj z rôznych počtov. Pri počte dvoch prvkov v horizontálnom alebo vertikálnom kruhu nemusí byť tento kruh riadený protokolom pre riadenie kruhov ani Ring Coupling, je možné využiť Link Aggregation a spojiť tieto dve linky do trunku. Tieto dve linky spojené do trunku je možné nastaviť tak, aby boli buď obe aktívne alebo aby bola jedna aktívna a jedna záložná, teda do režimu load-balancing alebo do režimu redundancie.



Obrázok č. 46: Topológia transputer – použitie rôzneho počtu prvkov
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.4 Overenie navrhnutých topológií

Podľa požiadavkou investora bolo navrhnutých viacero topológií, ktoré by mohol investor implementovať do svojej lokality a integrovať do celého systému komunikačnej infraštruktúry.

V tejto časti je veľmi dôležité návrhy topológií otestovať z hľadiska ich funkčnosti. Je dôležité si najskôr pripraviť vhodné prostredie pre testovanie a až po vhodnej príprave sme schopný začať testovať funkčnosť jednotlivých návrhov.

Návrhy bude nutné medzi sebou na koniec aj porovnať z hľadiska ich prínosov a aj negatívnych stránok. Takže bude nutné navrhnúť spôsob, ktorým budeme medzi sebou jednotlivé topológie porovnávať.

3.4.1 Príprava prostredia

V prípravnej fáze testovania je nutné zistiť, koľko prvkov a s akými funkcionalitami máme k dispozícii na testovanie. Pretože sa môže stať, že pri testovaní nastane situácia, kedy nám bude chýbať jeden alebo viacero prvkov na to, aby sme mohli vytvoriť kompletnú navrhovanú topológiu. Ak na začiatku budeme vedieť, že nemáme toľko vhodných prvkov s potrebnou funkcionalitou, môžeme topológiu upraviť tak, aby sme dokázali nasimulovať navrhnutú topológiu.

Tabuľka č. 23: Zoznam používaných prvkov s funkcionalitou
(Zdroje: vlastné spracovanie)

Typ zariadenia	Počet kusov	Funkcionalita										
		RSTP	MRP	HiPer Ring	Fast HiPer Ring	Link Backup	Link Aggregation	Link Aggregation over MRP	Link Aggregation over Hiper Ring	Sub Ring	Ring Coupling	Redundant Coupling Protocol
MACH 102	3	X	X	X			X				X	
MACH104	1	X	X	X			X				X	
MACH1030	1	X	X	X	X		X			X	X	
RS20	4	X	X	X			X				X	
RS30	2	X	X	X			X				X	
OCTOPUS	3	X	X	X			X		X	X	X	X

V prvom stĺpci tabuľky je možné vidieť počet aktívnych prvkov, ktoré máme k dispozícii pre testovanie. V ďalších stĺpcoch je uvedená funkcionálnosť, ktorá sa líši v závislosti od typu zariadenia.

Tabuľka č. 24: Zoznam zariadení s priradenou IP adresou
(Zdroje: vlastné spracovanie)

Typ zariadenia	IP adresa
MACH1030	192.168.13.22
RSR30	192.168.13.23
RSR30	192.168.13.24
MACH104-20TX-F	192.168.13.25
RS20	192.168.13.27
RS20	192.168.13.28
RS20	192.168.13.29
RS20	192.168.13.30
OCTOPUS 8M	192.168.13.34
OCTOPUS 8M-Train-BP	192.168.13.35
OCTOPUS 8M-8PoE	192.168.13.36
MACH102-24TP-F	192.168.13.40
MACH102-24TP-F	192.168.13.41
MACH102-24TP-F	192.168.13.42

Pretože všetky prvky vyrába rovnaká spoločnosť Hirschmann, je možné použiť pre všetky prvky ten istý software určený pre konfiguráciu. Switche je možné konfigurovať nielen cez príkazovú riadku, ale je možné použiť taktiež grafické užívateľské rozhranie.

Prvým softwarom, ktorý je možné použiť pre konfiguráciu switchov je **HiView**. HiView umožňuje prístup ku grafickému užívateľskému rozhraniu switchov bez akéhokoľvek webového prehliadača alebo knižnice Java. Výhody HiView sú v tom, že nie je potrebné ho inštalovať a ani nemiňa žiadnu položku v registri. Tento nástroj je možné použiť v kombinácii s Windows alebo Linux operačným systémom. Pre zvýšenie bezpečnosti konfigurácie slúži jednoduché zobrazenie certifikátov produktov. HiView použije automaticky najbezpečnejší spôsob komunikácie, ktorý je možné realizovať. Tento produkt je zadarmo a pre zákazníkov je voľne stiahnuteľný (30, 43).



Obrázok č. 47: Software HiView
(Zdroj: 30)

Druhým softwarom, ktorý je možné použiť pri konfigurácii switchov je **HiVision**. HiVision je software, ktorý umožňuje nielen bezpečnú a jednoduchú konfiguráciu prvkov ale aj monitorovanie komponentov priemyselnej siete v reálnom čase. HiVision môže taktiež pracovať nad operačným systémom Windows alebo Linux. Pomocou HiVision je možné vykonať to isté nastavenie ako cez HiView. Na rozdiel od HiView, kde je možná konfigurácie len jedného zariadenia, HiVision umožňuje spravovať viaceré zariadenia naraz. Navyše má implementovanú funkciu monitorovania prvkov a dokáže importovať moduly aj pre iné prvky, než od spoločnosti Hirschmann. Pomocou neho je možné sledovať zdravie prvkov a sledovať upozornenia a posielanie SMS správ alebo emailov v prípade alarmov. Jeho veľkou výhodou je možnosť integrácie do SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Je to software, ktorý vyžaduje zakúpenie licencie, ale pre malú sieť do 16 uzlov a pre testovacie účely do 16 uzlov je určená free verzia. HiVision je riešenie, ktoré šetrí čas, znižuje chyby, poskytuje prehľad o stave siete a zvyšuje bezpečnosť (30, 43).



Obrázok č. 48: Software HiVision.
(Zdroj: 30)

Obidva tieto nástroje sú základom pre konfiguráciu a monitorovanie prvkov od spoločnosti Hirschmann. Oba tieto softwary sú nainštalované na počítači, ktorý je pripojený k prvému prvku 192.168.13.25. Tento prvok bude vždy súčasťou testovanej topológie, pretože nie je možné z technických dôvodov toto prepojenie meniť.

3.4.2 Metodika porovnania navrhnutých topológií

Hlavnou požiadavkou investora je zvýšenie dostupnosti siete v lokalitách pomocou nového návrhu siete s vyššou dostupnosťou.

Kvôli zvýšeniu dostupnosti investor plánuje vymeniť všetky prvky za priemyselné prvky od spoločnosti Hirschmann, ktoré majú vysokú hodnotu MTBF a nízku MTTR. Je potreba vybrať také prvky, ktoré majú väčší rozsah pracovnej teploty a musia byť určené do priemyselného prostredia, teda budú odolné voči vibráciám, budú využívať pasívne chladenie a musia mať ďalšie vlastnosti, aby boli vhodné do špecifického prostredia investora.

Pre zvýšenie dostupnosti je taktiež dôležitý návrh lokálnej siete a jej riadenie pomocou sieťových protokolov. V návrhovej časti je navrhnutých viacero typov topológií, ktoré by mohol investor využiť a implementovať do svojho prostredia. Jednou z požiadaviek investora je tieto návrhy medzi sebou porovnať tak, aby tomuto porovnaniu rozumel aj človek, ktorý má základné znalosti o počítačových sieťach.

Prvky, ktoré budeme používať, budú prvky vhodné do prostredia investora. Tieto prvky hodnotiť a porovnávať nebudeme. Predmetom porovnávania bude návrh siete a meradlom bude počet možných vypadnutí liniek tak, aby prevádzka a komunikácia medzi jednotlivými linkami nebola obmedzená.

Počet možných vypadnutých liniek bol vybraný ako parameter slúžiaci pre porovnanie pre to, lebo najčastejšou poruchou siete sú linky medzi uzlami. Pretože ako uzly sme vybrali priemyselné zariadenie s dlhou životnosťou a MTBF, nepredpokladáme poruchu v prvku. Keď vychádzame z praxe môžeme tvrdiť, že ak vznikne porucha na prvku alebo prvok prestane vykonávať svoju funkciu, najčastejšie sa to deje po reštarte. Ak by nastala porucha po reštarte alebo aj v priebehu prevádzky a investor má jedno nepoužívané zariadenie na sklade, jednoducho ho vymení za to nefunkčné. Ale ak by vypadla linka a jednotlivé zariadenia, aj keď sa nachádzajú v jednej lokalite, by boli od seba vzdialené desiatkami až stovkami metrov a boli by k sieti pripojené len jedným spojením, táto chyba by sa nedala opraviť tak rýchlo ako výmena nového zariadenia. Opravenie tejto

chyby by znamenalo, ak by tam nebola náhradná linka, natiiahnutie nového vedenia medzi uzlami. Pre inštaláciu nového vedenia musí mať investor na sklade materiál, káble, pracovníka, ktorý vymyslí najkratšiu a hlavne čo najrýchlejšie realizovateľnú metódu polozenia vedenia a taktiež bude potrebovať čas na túto realizáciu. Tento proces môže byť ešte zložitejší, ak sa jednotlivé prvky nachádzajú v iných budovách, čo sa občas v prostredí investora stáva.

Z toho vyplýva, že parametrom pre porovnanie bude počet možných vypadnutí alebo porušení liniek, ktoré prepájajú jednotlivé uzly. Je dôležité brať ohľad aj na počet zariadení použitých v topológii. Pretože ak bude použitých viac zariadení, je potrebné aby sa zvýšil aj počet liniek, pomocou ktorých sú prepojené a tým sa zvýši aj počet liniek, ktoré môžu vypadnúť a neohrozia funkčnosť celej siete.

3.4.3 Testovanie a porovnanie

V tejto časti je dôležité overiť funkčnosť jednotlivých topológií a podľa navrhutej metodiky porovnávajú ich medzi sebou porovnať. Pre overenie funkčnosti máme pripravené testovacie prostredie a metodiku porovnávajú navrhnutých topológií. Ak je k jednej topológii navrhnutých viacero spôsobov riadenia, je dôležité overiť oba spôsoby. Pretože investor si môže vybrať, ktorý spôsob sa mu viac hodí do prostredia.

Testovať budeme len tie topológie, ktoré sa nachádzajú v časti zložené topológie. Súčasná topológia v novších lokalitách je zapojená do kruhu, teda každý uzol je prepojený na dva ďalšie. Investor toto riešenie nepokladá za vhodné pre jeho prostredie a požaduje zvýšenie dostupnosti siete a zvýšenie odolnosti voči výpadkom liniek prepájajúcich uzly. Pre tento dôvod boli navrhnuté zložené topológie a tie budú aj testované z hľadiska funkčnosti.

Pri nastavovaní zariadení platí dôležité pravidlo, že je najskôr treba nastaviť zariadenie a až potom môžeme pripájať ďalšie. Je výhodné na začiatku konfigurácie vymazať všetky nastavenia v zariadeniach, pretože neskôr môžu zabudnuté nastavenia spôsobiť viacero problémov. Taktiež je potreba všetky predchádzajúce nastavenia na switchoch zmazať a vypnúť RSTP protokol, aby nevznikali nežiaduce situácie pri testovaní.

Ak chceme porovnávať v rámci seba jednotlivé topológie, bude potreba realizovať tieto topológie s rovnakým počtom switchov. Z tohto dôvodu budú všetky topológie tvorené z dvanástich prvkov. Číslo dvanásť bolo vybraté z toho dôvodu, že investor má na jeho lokalitách vždy okolo desať až pätnásť prvkov.

Topológia loukoťové koleso a ihlan

Keďže jediný rozdiel medzi topológiami loukoťové koleso a ihlan je ten, že topológiu ihlan zobrazujeme v trojdimenzionálnom priestore a topológiu loukoťové koleso v dvojdimenzionálnom priestore, môžeme považovať tieto dve topológie za zhodné. Preto ich môžeme overiť v jednom kroku. Pre obe topológie ale boli navrhnuté dva spôsoby riadenia a preto budeme v prípade týchto topológií testovať oba tieto spôsoby. Z dôvodu, že sa jednoduchšie zobrazuje na dvojrozmernú plochu dvojrozmerná topológia, budeme používať pri zobrazení a testovaní loukoťové koleso.

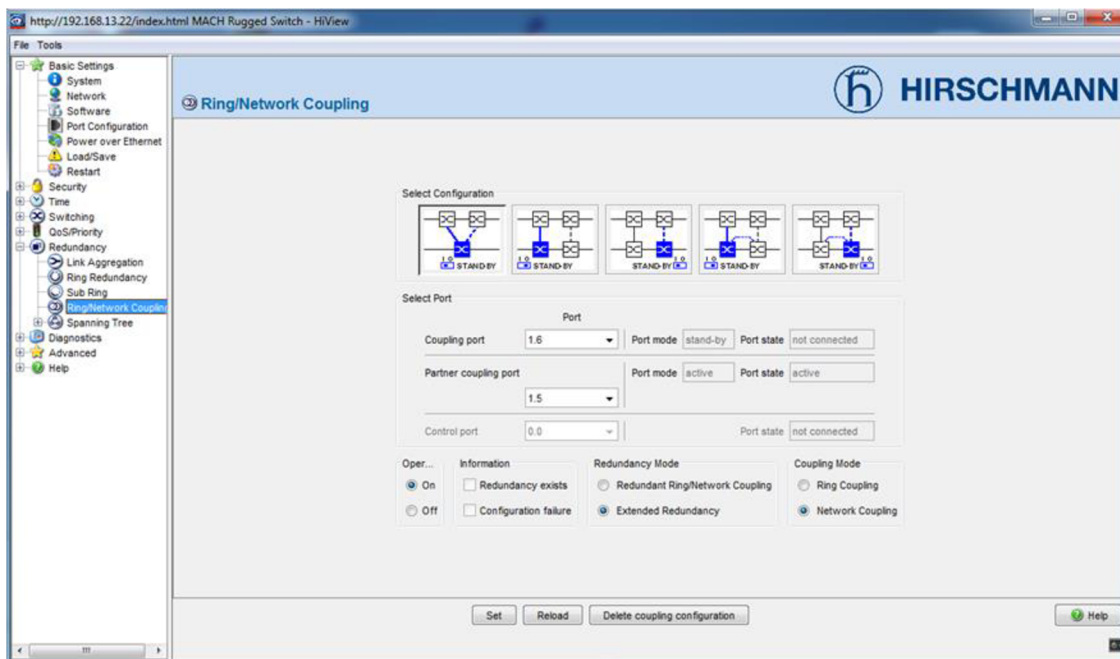
1. Komunikácia s centrálnym prvkom

Prvý spôsob riadenia tejto topológie uprednostňuje komunikáciu prvkov s jedným centrálnym prvkom. Všetky okrajové prvky budú prepojené aktívnymi trasami k centrálnemu prvku, čo bude pripomínať hviezdu. Okrajové prvky budú pospájané do kruhu a linky medzi nimi budú záložné, teda redundantné. V prípade poruchy aktívnej linky sa jedna zo záložných liniek pomocou pravidiel aktivuje a zaisťuje tak komunikáciu prvku, ktorému sa linka porušila.

Postup nastavenia switchov:

- Ku switch s IP adresou 192.168.13.25 je pripojený parametrizačný počítač. Na tomto zariadení nebudeme nastavovať nič, bude to centrálny prvok. Pomocou prepojovacieho kábla pripojíme ďalší, ktorý bude patriť k okrajovým uzlom a až na ňom začneme nastavovať.
- Prihlásime sa do webového rozhrania prvku pomocou HiView. Vo webovom rozhraní prejdeme na záložku Ring/Network Coupling. Vyberieme konfiguráciu podľa prvého spôsobu, to znamená, že z jedného zariadenia budú viesť oba Ring

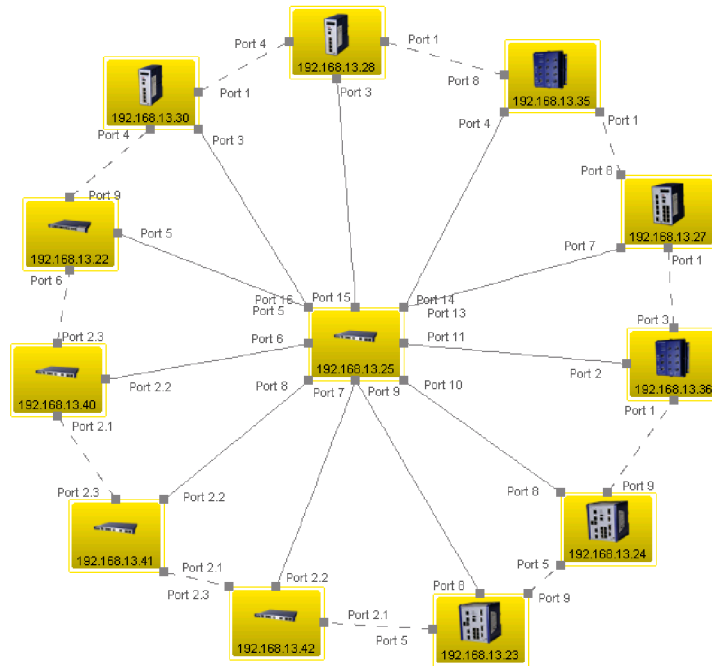
Coupling porty. Port, ktorý smeruje k centrálnemu uzlu, sa bude nazývať Partner Coupling port, ten bude aktívny. Záložný port, ktorý bude smerovať k ďalšiemu okrajovému uzlu bude nastavený ako Coupling port. Coupling Mode nastavíme na Network Coupling a Redundancy Mode na Redundant Ring/Network Coupling. Uložíme nastavenie do zariadenia.



Obrázok č. 49: Ukážka nastavenia Ring Coupling jedného z okrajových prvkov
(Zdroj: vlastné spracovanie)

- Podľa pravidla ktoré hovorí, že najskôr musíme nastaviť jeden prvok a až potom môžeme pripojiť ďalší, až teraz môžeme pripojiť ďalšie zariadenie. Prepojovací kábel pripojíme do portu switchu, ktorý sme označili ako Coupling port a druhý koniec pripojíme k novému zariadeniu, ktoré má implementovanú funkciu Network Coupling. Druhý prepojovací kábel po nastavení pripojíme k centrálnemu switchu pomocou portu Partner Coupling. Týmto spôsobom pokračujeme ďalej, až dosiahneme želaný počet prvkov v kruhu.
- Je taktiež možné začínať z okrajového prvku, ktorý bude pripojený k počítaču.

Toto zapojenie naskenujeme pomocou HiVision. Na obrázku môžeme vidieť všetky zariadenia, ktoré sme použili pre stavbu siete a linky, ktoré ich prepojujú. Plné čiary znázorňujú aktívne linky a prerušované čiary znázorňujú záložné trasy.



Obrázok č. 50: Výsledok skenu zapojenej topológie loukot'ového kola (zapojenie: komunikácia s centrálnym prvkom)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

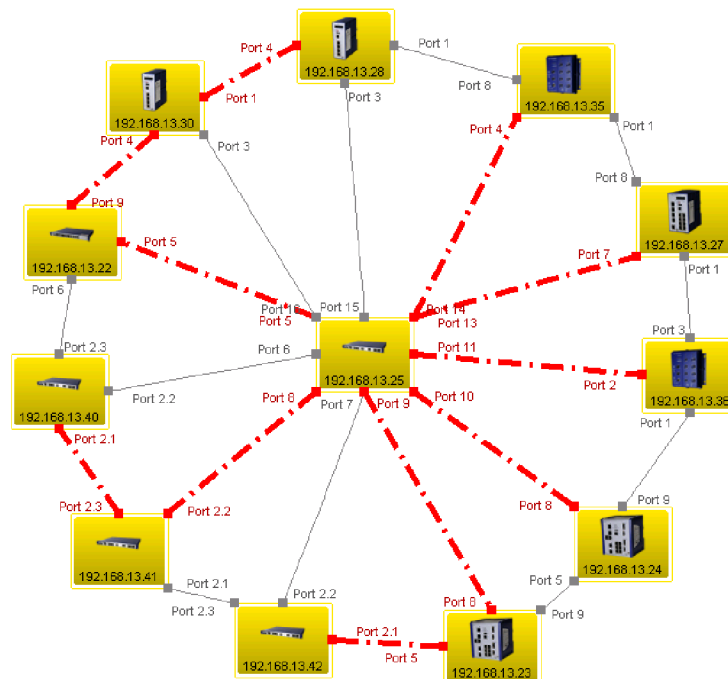
Maticový zápis tejto topológie vyzerá nasledovne.

Tabuľka č. 25: Matematické vyjadrenie testovanej topológie loukot'ové koleso (zapojenie: komunikácia s centrálnym prvkom)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	27	28	30	35	36	40	41	42
22	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
23	-	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24	-	-	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
25	-	-	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1
27	-	-	-	-	0	0	0	1	1	0	0	0
28	-	-	-	-	-	0	1	1	0	0	0	0
30	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Všetkých dvanásť prvkov je pomocou dvadsaťdva prepojovacích káblov spojených do jednej siete. Každý okrajový prvok je pripojený pomocou troch liniek a centrálny prvok je pripojený ku každému okrajovému. V simulácii budeme postupne odpájať linky tak,

aby sieť zostala funkčná a aby sme odpojili čo najväčší počet liniek. Z toho vyplýva, že aktívne linky musia tvoriť kostru grafu. Na nasledujúcom obrázku je znázornená možná kostra grafu. Červenou farbou sú znázornené odpojené linky. Sieť je tvorená dvanástimi prvkami, ktoré spája jedenásť aktívnych liniek. V tejto topológii nie je možné už vypojiť žiadnu linku tak, aby zostala zachovaná funkčnosť siete. Najväčší možný počet odpojených liniek pre túto topológiu je teda jedenásť.



Obrázok č. 51: Topológia po odpojení čo najväčšieho počtu liniek
(Zdroj: vlastné spracovanie)

V Prílohe č. 1 je možné vidieť jeden z mnohých spôsobov odpájania liniek. Pre vytvorenie a overenie tejto topológie sme použili 12 prvkov a 22 liniek, 22 prepojovacích káblov. Z matematického hľadiska pri 12 prvkoch bude vždy potreba aspoň 11 prepojení medzi nimi, aby celá sieť bola funkčná.

Tabuľka č. 26: Výsledky testovania topológie loukot'ové koleso (zapojenie: komunikácia s centrálnym prvkom)

(Zdroj: vlastné spracovanie)

Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	22	11	11

Komunikácia v rámci kruhu

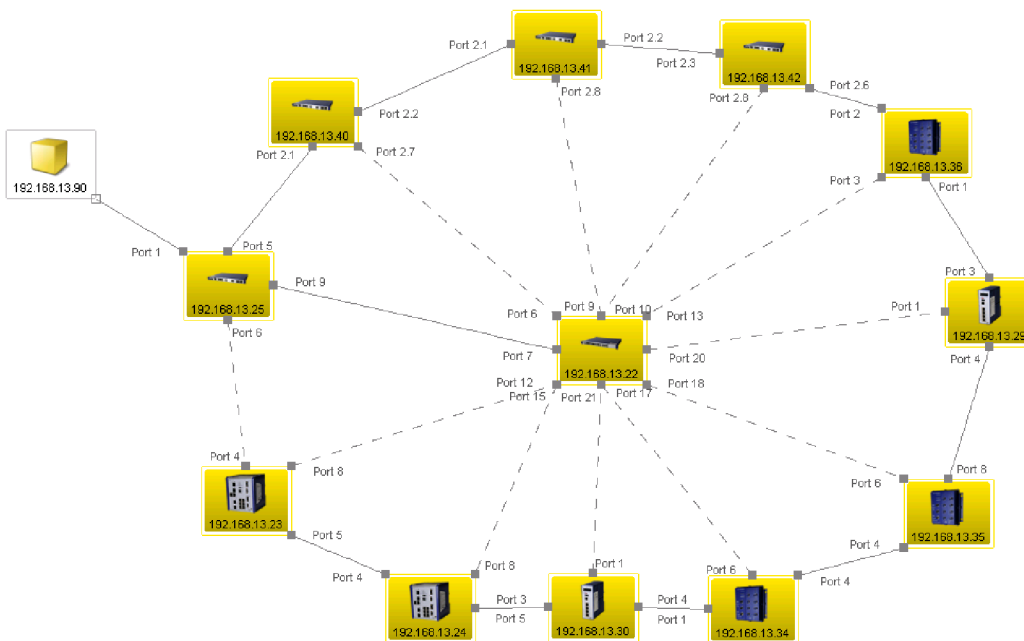
Druhý spôsob riadenia tejto topológie kladie dôraz na komunikáciu v rámci okrajových zariadení. Kruh, ktorý bude prepájať okrajové zariadenia bude riadený protokolom HiPer Ring a linky smerujúce k centrálnemu uzlu budú riadené pomocou Ring Couplingu. Jeden z okrajových switchov musí byť Ring Manažér. Aktívne linky budú teda všetky v kruhu až na jednu, pretože inak by vznikla slučka. Z liniek, ktoré budú smerovať k centrálnemu uzlu môže byť len jedna linka aktívna a ostatné musia byť záložné, taktiež preto, aby nevznikla slučka.

Postup nastavenia switchov:

- Podobne ako v postupe vyššie, znova začíname switchom s IP adresou 192.168.13.25, ku ktorému sa prihlásime pomocou HiView. Toto zariadenie bude jedno z okrajových zariadení.
- Vo webovom rozhraní v záložke Ring Redundancy nastavíme, že sa jedná o Ring Manažéra, nastavíme protokol HiPer Ring a špecifikujeme porty, ktoré sa budú v dnom kruhu nachádzať.
- V záložke Ring/Network Coupling nastavíme konfiguráciu Ring Coupling na druhý spôsob, teda že z tohto zariadenia bude viesť jedna aktívna linka. Nastavíme port, z ktorého bude prepojovací kábel viesť do centrálného uzlu, Coupling Mode prepneme na Network Coupling a Redundancy Mode na Redundant Ring/Network Coupling a uložíme konfiguráciu.
- Pomocou prepojovacieho kábla môžeme pripojiť centrálny uzol, na ktorom nič nenastavujeme a taktiež ďalšie okrajové zariadenie.
- Podľa postupu vyššie budeme podobne nastavovať aj ďalšie zariadenia v kruhu. Tieto zariadenia už ale nebudú nastavené ako Ring Manažér, pretože v jednom ringu môže byť manažér len jedno zariadenie. Pri konfigurácii Ring Coupling nastavíme taktiež druhý spôsob s tým, že tento port a linka, ktorá bude z neho viesť, bude záložná. Takto postupujeme až kým nedosiahneme požadovaný počet zariadení.

- Je možné taktiež začať nastavovať z centrálného prvku. V tomto prípade postupujeme podobne, len začíname z iného prvku. Je taktiež možné nastaviť rolu Ring Manažéra inému zariadeniu. Stále ale musíme dodržať zásadu jedného ring manažéra v kruhu.

Toto zapojenie opäť naskenujeme pomocou HiVision. Oproti prvému spôsobu riadenia sa tento spôsob líši v umiestnení aktívnych a záložných liniek.



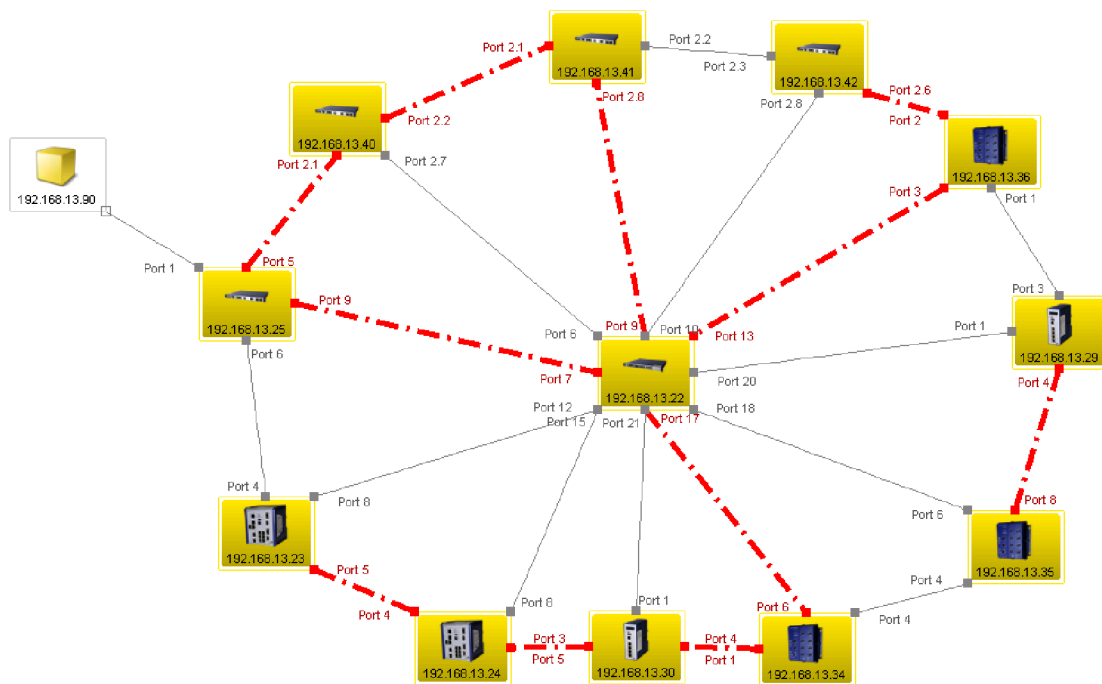
Obrázok č. 52: Výsledok skenu zapojenej topológie loukoťového kola (zapojenie: komunikácia v rámci kruhu)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Maticový zápis tejto topológie vyzerá nasledujúco. Z tohto zápisu vyplýva, že týchto 12 uzlov medzi sebou prepája 22 liniek.

Tabuľka č. 27: Matematické vyjadrenie testovanej topológie loukoťové koleso (zapojenie: komunikácia v rámci kruhu)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	29	30	34	35	36	40	41	42
22	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	-	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
25	-	-	-	0	0	0	0	0	0	1	0	0
29	-	-	-	-	0	0	0	1	1	0	0	0
30	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0	0	0
34	-	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Každý prvok je pripojený k sieti pomocou 3 liniek. Pre zistenie, koľko liniek je možné aby sa odpojilo alebo vypadlo musíme dodržať zásadu, aby vždy každé zariadenie zostalo k sieti pripojené aspoň jednou linkou. V nasimulovanej sieti sme postupne začali odpájať linky medzi zariadeniami. Výsledná schéma je zobrazená na obrázku nižšie.



Obrázok č. 53: Topológia po odpojení čo najväčšieho počtu liniek
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre vytvorenie a overenie tejto topológie sme použili 12 prvkov a 22 liniek, 22 prepojovacích káblov. Tento výsledok je zhodný s prvým spôsobom komunikácie.

Tabuľka č. 28: Výsledky testovania topológie loukoťové koleso (zapojenie: komunikácia v rámci kruhu)

(Zdroj: vlastné spracovanie)

Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	22	11	11

Tieto dva spôsoby riadenia topológií loukoťové koleso a ihlan sa od seba neodlišujú dostupnosťou ale len spôsobom komunikácie s ohľadom na najviac vyťažené linky. Investor môže použiť ktorýkoľvek spôsob s ohľadom na komunikáciu v rámci siete.

Topológia kváder a valec

Topológiu valec a kváder môžeme tak isto testovať naraz, pretože kváder sa musí skladať len zo štyroch uzlov a pri použití topológie valec je možné použiť šesť a viac uzlov, pričom tento počet musí byť v súlade s použitým protokolom a množstvo týchto zariadení musí byť párne. Obe tieto topológie môžu byť riadené viacerými spôsobmi, dva z nich boli uvedené v návrhovej časti. Zobrazenie tejto topológie bude do dvojdimenzionálneho priestoru z dôvodu prehľadnosti.

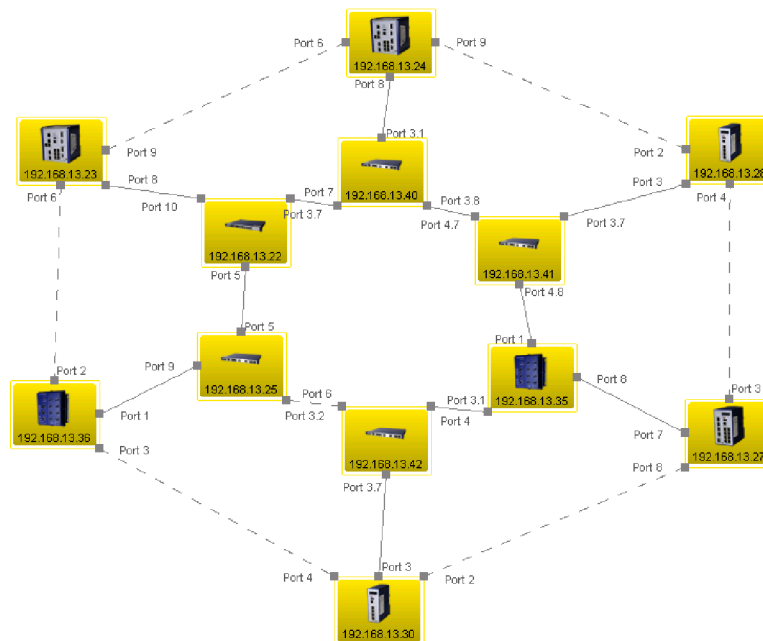
1. Jeden centrálny kruh

Prvým spôsobom riadenia týchto topológií je vytvorenie jedného kruhu z polovice zariadení, ktoré máme k dispozícii. Druhú polovicu zariadení môžeme pripojiť ku kruhu pomocou Ring Coupling. Toto zapojenie kladie dôraz na komunikáciu v rámci kruhu a na komunikáciu kruhu s druhou polovicou zariadení. Zapojenie je vhodné použiť, ak bude každé zariadenie komunikovať s každým pretože linky budú zaťažované rovnomerne oproti druhému spôsobu.

Postup nastavenia switchov:

- Ako prvé začneme s konfiguráciou kruhu. Na začiatku v prvom zariadení v záložke Ring Redundancy nastavíme protokol, ktorý bude riadiť kruh, teda HiPer Ring. Nastavíme taktiež porty, ktoré budú patriť do kruhu a taktiež že sa jedná o Ring manažéra.
- Ďalšie switche nastavujeme podobne až dovtedy, pokiaľ nezapojíme presnú polovicu zariadení do kruhu, ktoré máme k dispozícii. Je dôležité dodržať zásadu, že len jedno zariadenie v kruhu môže byť Ring manažér.
- V ďalšom kroku začneme pripájať druhú polovicu zariadení. Funkcionalitu Ring Coupling budeme nastavovať v zariadeniach, ktoré chceme pripojiť ku kruhu. V konfiguračnom centre a v záložke Ring/Network Coupling nastavíme prvý typ konfigurácie. Partner Ring Coupling port bude ten, ktorý smeruje k hlavnému kruhu a Partner Coupling port je port, ktorý bude smerovať k ďalšiemu switchu. Coupling mode nastavíme na network coupling, Redundancy Mode na Redundant Ring/Network Coupling a uložíme konfiguráciu.

Vytvorenú topológiu naskenujeme pomocou HiVision.



Obrázok č. 54: Výsledok skenu zapojenej topológie kváder a valec (zapojenie: jeden centrálny kruh)

(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre overenie a testovanie sme využili taktiež 12 prvkov. Tentoraz ich prepojuje už len 18 liniek. Pre správnu funkciu siete je potrebné zachovanie aspoň 11 liniek. Takže je možné, aby vypadlo najviac 7 liniek.

Tabuľka č. 30: Výsledky testovania topológie kváder a vale (zapojenie: jeden centrálny kruh)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

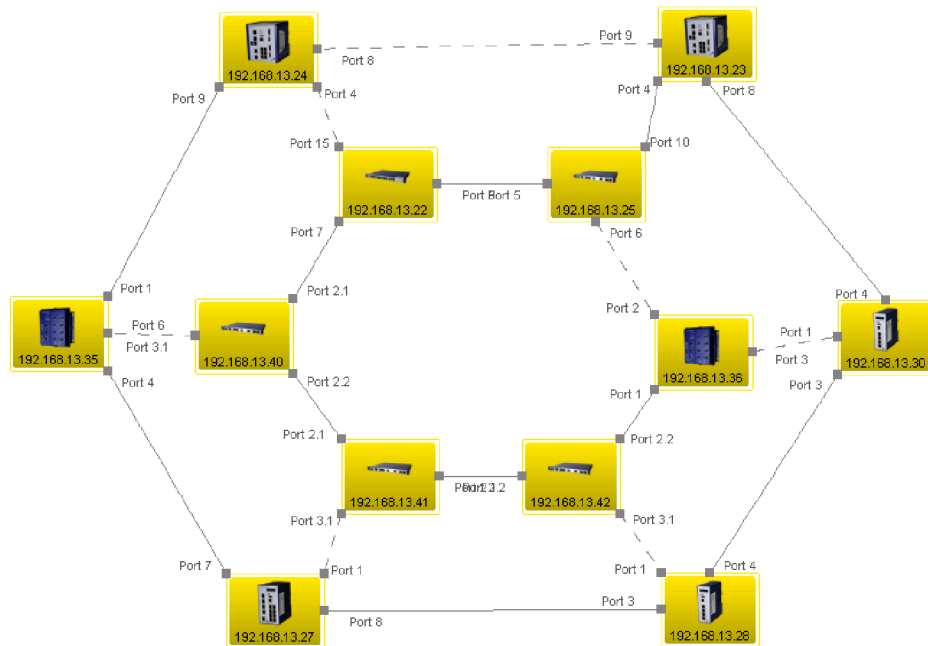
Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	18	7	11

2. Dva kruhy

Základom druhého spôsobu riadenia topológií valec a kváder sú dva kruhy. Každý z týchto kruhov môže byť riadený iným protokolom. Z dôvodu vytvárania návrhu pre investora budeme testovať oba kruhy riadené pomocou HiPer Ring, pretože tento protokol najviac vyhovuje svojimi vlastnosťami investorovi. Táto topológia je vhodná, ak vieme určiť, ktoré koncové uzly budú najčastejšie komunikovať s ktorými uzlami. Táto častá komunikácia by prebiehala v rámci kruhov a menej častá komunikácia medzi kruhmi. Ak by ale komunikácia prebiehala práve medzi kruhmi, nie je vhodné tento spôsob použiť vzhľadom na možné zaťaženie linky prepojujúcej tieto kruhy.

Postup nastavenia switchov:

- Prvým krokom je rozdelenie switchov na dve polovice. Z prvej polovice vytvoríme prvý kruh a z druhej druhý kruh.
- Prvý kruh nastavíme presne tak, ako v predchádzajúcom spôsobe. V nastavenom kruhu musí byť práve jedno zariadenie nastavené ako ring manažér.
- Prepojenie kruhov môžeme realizovať v už vytvorenom kruhu alebo v kruhu, ktorý budeme vytvárať. Na každom zariadení, pomocou ktorých budeme kruhy prepájať, nastavíme port na Coupling port podľa druhého spôsobu. Na jednom zariadení nastavíme aktívny. Na ostatných zariadeniach nastavíme tento port taktiež na druhý spôsob ale port bude záložný. Coupling mode nastavíme na network coupling, Redundancy Mode na Redundant Ring/Network Coupling a uložíme konfiguráciu.



Obrázok č. 56: Výsledok skenu zapojenej topológie valec a kváder (zapojenie: dva kruhy)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Použitých 12 zariadení taktiež spája 18 liniek.

Tabuľka č. 31: Matematické vyjadrenie testovanej topológie kváder a valec (zapojenie: dva kruhy)
(Vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	27	28	30	35	36	40	41	42
22	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
23	-	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
24	-	-	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
25	-	-	-	0	0	0	0	0	1	0	0	0
27	-	-	-	-	0	1	0	1	0	0	1	0
28	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0	0	1
30	-	-	-	-	-	-	0	0	1	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1	0	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1	0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

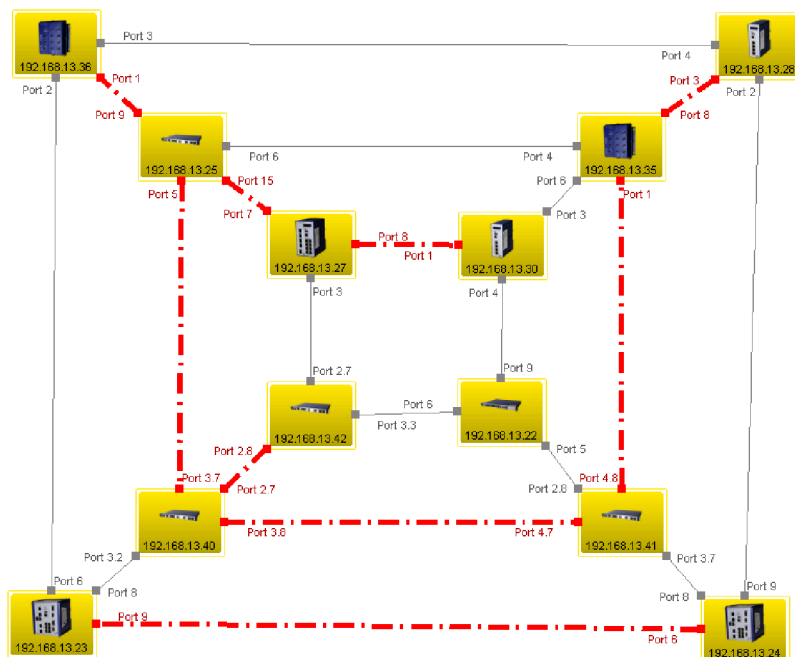
Tento spôsob taktiež nasimulujeme. Postupne budeme odpájať linky prepojujúce zariadenia do takej miery, aby sieť bola funkčná a aby sme odpojili najviac liniek ako sa dá.

Pre riadenie tejto siete sme zvolili napojenie k centrálnemu kruhu druhý kruh a tretí sme napojili na druhý. Taktiež sme použili 12 zariadení, ktoré prepojujú 20 liniek.

Tabuľka č. 33: Matematické vyjadrenie testovanej topológie veža (zapojenie: jeden centrálny kruh)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	27	28	30	35	36	40	41	42
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
23	-	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
24	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
25	-	-	-	0	1	0	0	1	1	1	0	0
27	-	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	1
28	-	-	-	-	-	0	0	1	1	0	0	0
30	-	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Pre overenie funkčnosti liniek pri najväčšom možnom vypadnutí liniek budeme taktiež odpájať jednotlivé spoje medzi zariadeniami tak, aby sieť zostala funkčná.



Obrázok č. 59: Topológia po odpojení čo najväčšieho počtu liniek
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pri použití 12 zariadení je stále nutné, aby pre zachovanie funkčnosti siete zostalo funkčných a aktívnych aspoň 11 liniek s tým, že ku každému zariadeniu zostane aspoň

jedna linka aktívna. Pri použití tejto topológie je teda možné, aby vypadlo najviac 9 liniek a sieť by zostala stále funkčná po dodržaní pravidiel.

Tabuľka č. 34: Výsledky testovania topológie veža, zapojenie (jeden centrálny kruh)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

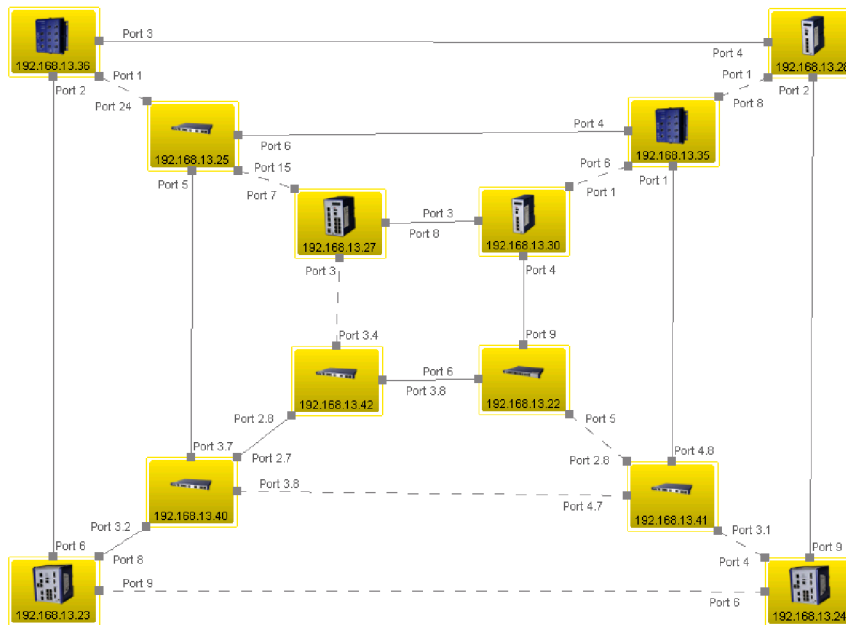
Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	20	9	11

2. Tri prepojené kruhy

Druhým spôsobom riadenia je vytvorenie troch kruhov a ich vzájomné prepojenie pomocou Ring coupling. Toto zapojenie vychádza z druhého typu zapojenia kvádra. Tieto kruhy je dôležité navrhnuť tak, aby najčastejšia komunikácia prebiehala medzi uzlami v rámci kruhov. Pretože ak by bola komunikácia hlavne medzi kruhmi, linky spájajúce kruhy by mohli byť preťažené.

Postup nastavenia switchov:

- Konfigurácia bude prebiehať presne ako u kvádra, dva kruhy. Dôležité je rozdeliť zariadenia taktiež do toľko kruhov, koľko ich plánujeme vytvárať. Na rozdiel od topológie kváder budeme vytvárať tri kruhy. V tomto prípade je ale nutné si rozmyslieť, ktorý kruh budeme pripájať ku ktorému. Je dôležité si pripomenúť, že nie je možné nastavovať viac Ring Coupling z jedného zariadenia. Taktiež stále platí pravidlo jedného Ring Manažéra v kruhu.



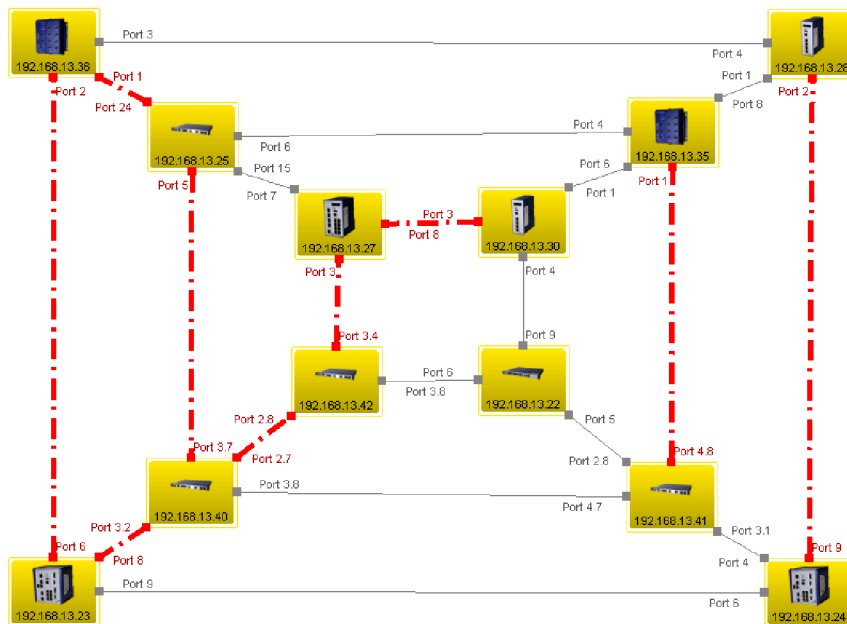
Obrázok č. 60: Výsledok skenu zapojenej topológie veža (zapojenie: tri kruhy)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre otestovanie funkčnosti tejto topológie sme taktiež použili 12 switchov a 20 prepajovacích káblov.

Tabuľka č. 35: Matematické vyjadrenie testovanej topológie veža (zapojenie: tri kruhy)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	27	28	30	35	36	40	41	42
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
23	-	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
24	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
25	-	-	-	0	1	0	0	1	1	1	0	0
27	-	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	1
28	-	-	-	-	-	0	0	1	1	0	0	0
30	-	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Pre overenie najväčšieho možného počtu vypadnutých liniek budeme taktiež odpájať jednotlivé spoje. Musíme ale dodržiavať pravidlo 11 liniek, ktoré musia zostať aktívne a pravidlo, ktoré hovorí že každý uzol musí byť pripojený aspoň jednou linkou.



Obrázok č. 61: Topológia po odpojení čo najväčšieho počtu liniek
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Tabuľka č. 36: Výsledky testovania topológie veža (zapojenie: tri kruhy)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Počet použitých prvkov	Počet prepojuvácich liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	20	9	11

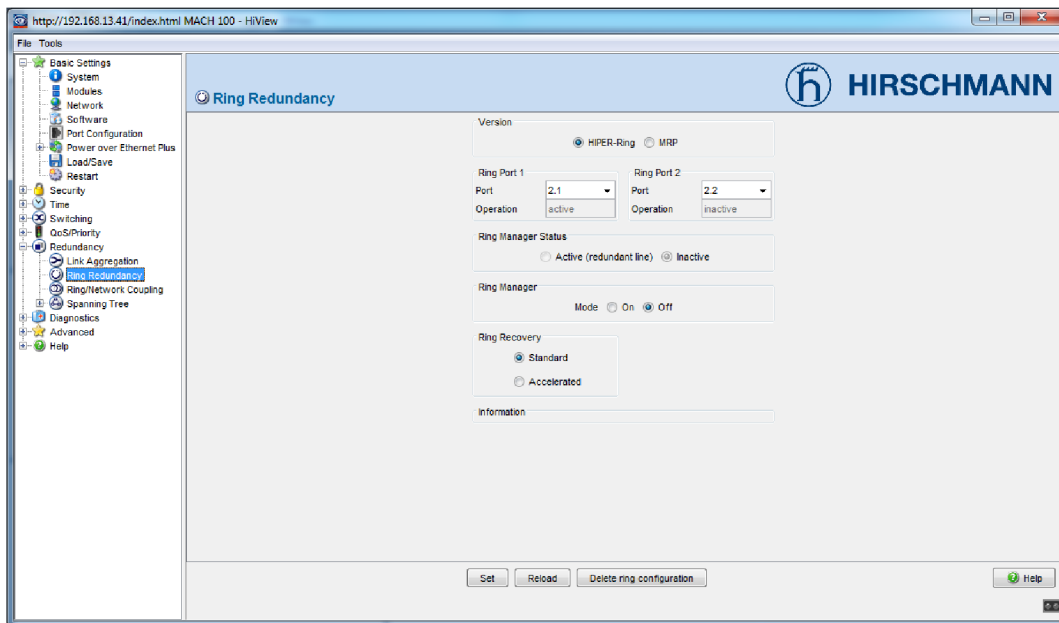
Vytvorením topológie veža a jej riadením oboma spôsobmi sme dokázali, že nie je dôležité riadenie topológie ale počet prvkov a ich zapojenie vzhľadom na počet možných vypadnutí liniek. Spôsob riadenia len určuje, ktoré linky budú aktívne a budú využívané ku komunikácii. Investor si môže vybrať pre každú lokalitu ten spôsob, ktorý sa mu hodí vzhľadom na komunikáciu v rámci lokality tak, aby neboli preťažované linky.

Transputer topológia

Transputer topológia predstavuje zapojenie prvkov do vertikálnych a horizontálnych kruhov. Každý switch sa bude nachádzať v jednom horizontálnom a aj v jednom vertikálnom kruhu a bude teda prepojený pomocou štyroch liniek na štyri ďalšie zariadenia. Pre riadenie tejto topológie je navrhnutý v návrhovej časti len jeden spôsob riadenia.

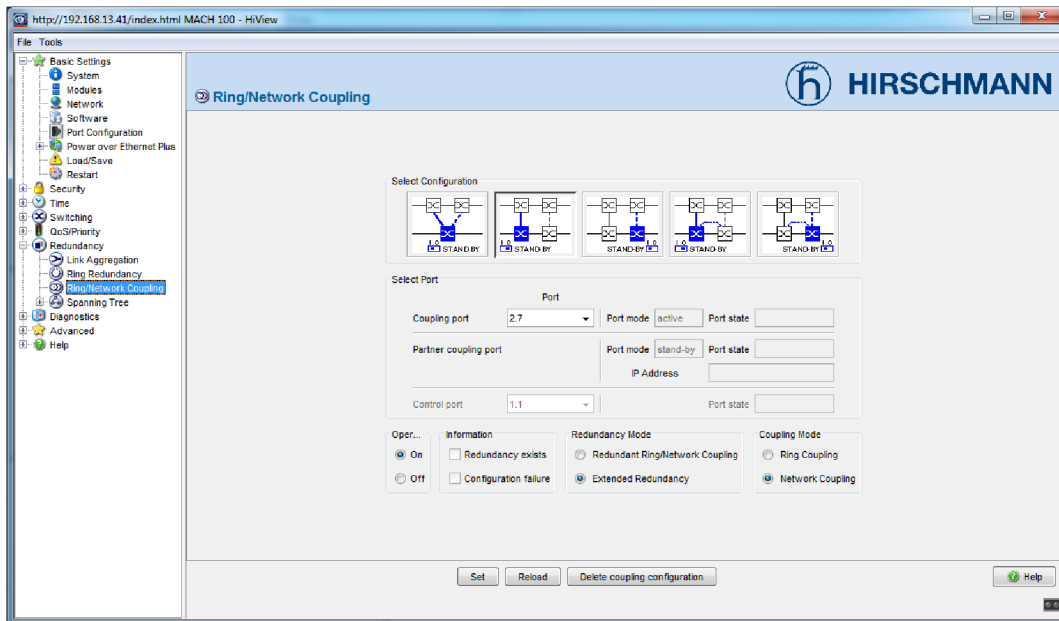
Postup nastavenia switchov:

- Na začiatku je dôležité si určiť, ktoré kruhy budú riadené HiPer Ringom a budú aktívne a ktoré kruhy budú riadené Ring Couplingom a budú záložné. Tie budú slúžiť na komunikáciu medzi kruhmi a budú poskytovať zálohu.
- Ako ringy s HiPer Ring zvolíme horizontálne kruhy. Na každom prvku nastavíme HiPer Ring a špecifikujeme porty, ktoré budú v tomto kruhu zapojené. Jedno zo zariadení v každom kruhu musí byť Ring Manažér.

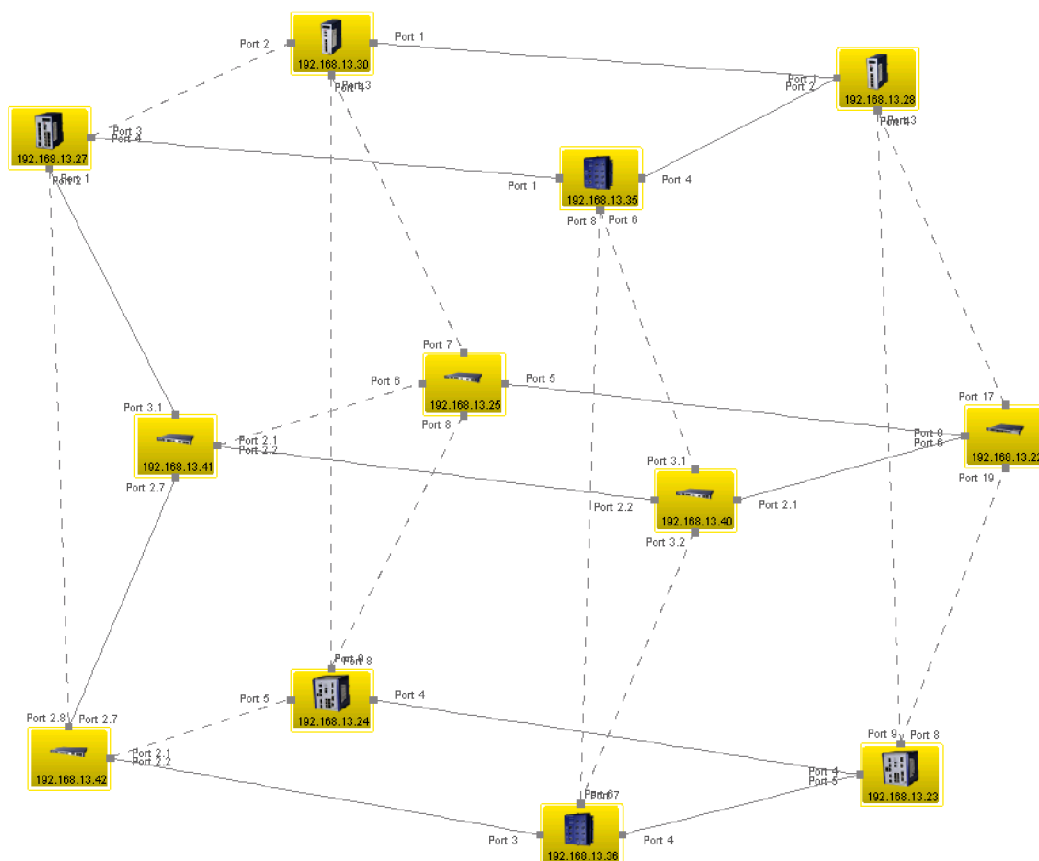


Obrázok č. 62: Ukážka nastavenia HiPer ringu na jednom zo zariadení (toto zariadenie nie je ring manažér)
(Zdroj: vlastné spracovanie)

- Na každom zo zariadení taktiež nastavíme Ring Coupling, druhý spôsob. Dve zariadenia z jedného kruhu budú mať nastavené aktívne prepojenie na druhý ring pomocou Ring Coupling druhý spôsob a všetky ostatné vo vertikálnych kruhoch budú mať nastavenú záložnú linku pomocou Ring Coupling druhý spôsob. Coupling mode nastavíme na network coupling, Redundancy Mode na Redundant Ring/Network Coupling.



Obrázok č. 63: Ukážka nastavenia Ring Coupling na jednom zo zariadení (z tohto zariadenia vedie aktívna linka - prepojenie na druhý horizontálny kruh)
(Zdroj: vlastné spracovanie)



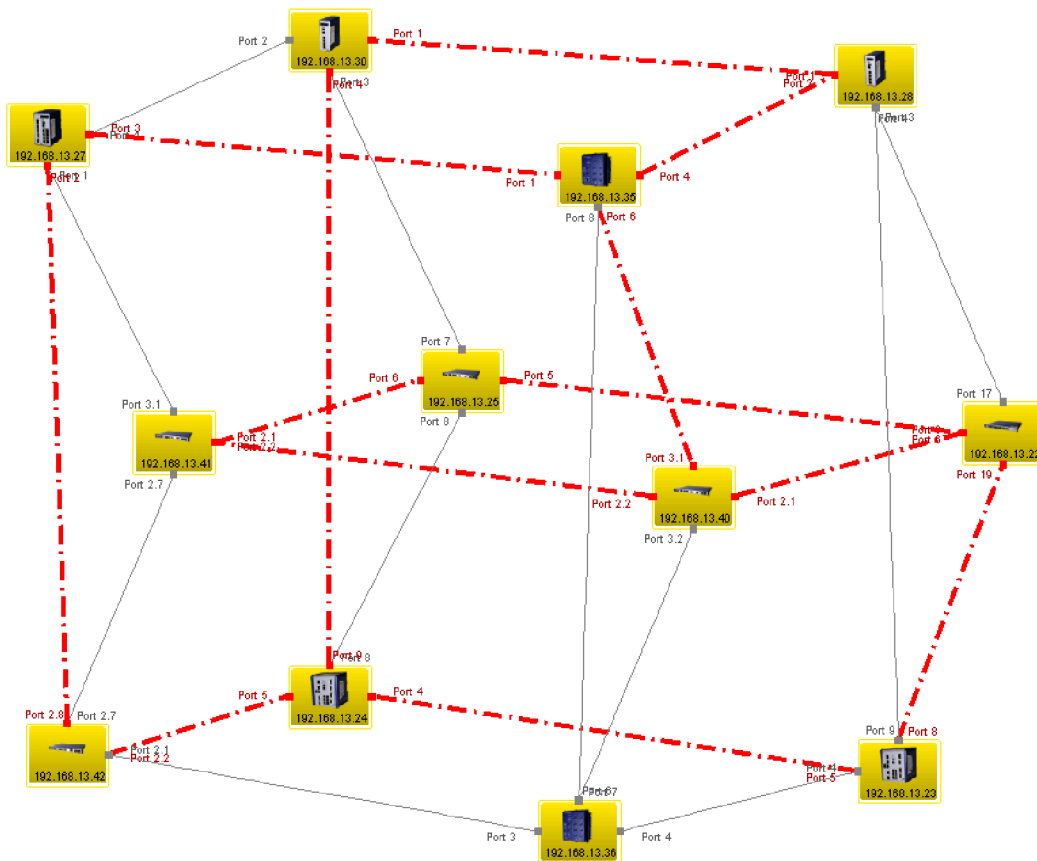
Obrázok č. 64: Výsledok skenu zapojenej transputer topológie
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Pre testovanie sme využili taktiež 12 prvkov a tentoraz sme použili 24 prepojovacích káblov.

Tabuľka č. 37: Matematické vyjadrenie testovanej topológie veža, zapojenie: tri kruhy
(Zdroj: vlastné spracovanie)

	22	23	24	25	27	28	30	35	36	40	41	42
22	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
23	-	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
24	-	-	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
25	-	-	-	0	0	0	1	0	0	0	1	0
27	-	-	-	-	0	0	1	1	0	0	1	1
28	-	-	-	-	-	0	1	1	0	0	0	0
30	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
35	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1	0	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0	1
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Každý switch je pripojený pomocou 4 liniek k 4 susedným zariadeniam. Pri testovaní najväčšieho množstva vypadnutých liniek je taktiež dôležité dodržiavať stanovené pravidlá, aspoň 11 liniek a každý prvok musí byť pripojený aspoň jednou linkou.



Obrázok č. 65: Topológia po odpojení čo najväčšieho počtu liniek
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Keďže každý uzol je pripojený do siete 4 linkami, celkový počet liniek potrebných k vybudovaniu tejto topológie pre 12 prvkov je 24 liniek. Táto topológia poskytuje väčšiu redundanciu a tým aj vyššiu dostupnosť. Nevýhodou topológie môže byť použitie väčšieho množstva prepojovacích káblov a tým aj väčšia pravdepodobnosť zlyhania týchto liniek.

Tabuľka č. 38: Výsledky testovania topológie transputer
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu
12	24	13	11

3.5 Zhodnotenie návrhov

V návrhovej časti boli navrhnuté štyri topológie vhodné pre investora. K týmto topológiám boli navrhnuté aj rôzne prístupy ich riadenia s ohľadom na komunikáciu. K prvým trom topológiám boli navrhnuté vždy dva spôsoby riadenia a k poslednej topológii len jeden univerzálny spôsob riadenia. Topológia a viacero spôsobov riadenia topológií bolo navrhnutých, aby investor mohol vybrať vhodnú topológiu a spôsob riadenia pre konkrétnu lokalitu a používanú technológiu na danej lokalite.

Pre dané topológie existuje viacero možných metód riadenia. Pre účel tejto práce boli navrhnuté niektoré z nich. Tieto spôsoby boli vybraté z dôvodu rozdielnosti prístupov. Investor podľa informácií uvedených v tomto dokumente môže navrhovať nové alebo upravovať navrhnuté topológie podľa jeho potrieb.

V testovacej časti boli všetky spôsoby riadenia navrhnutých topológií overené. Pre testovanie bolo použitých vždy dvanásť prvkov. Tento počet bol vybraný preto, lebo je to priemerná hodnota prvkov v jednej lokalite investora. Zhodný počet prvkov bol použitý z dôvodu jednoduchšieho porovnania výsledkov.

Ak môžeme jednu topológiu riadiť viacerými spôsobmi znamená to, že použijeme iné sieťové protokoly pre jej riadenie. Odlišný spôsob riadenia ovplyvňuje len to, ktoré linky budú aktívne a ktoré záložné. Rovnaké topológie s odlišným spôsobom riadenia sa teda od seba nijako neodlišujú v počte prepojovacích liniek ani v počte maximálneho počtu vypadnutých liniek. Môžeme teda medzi sebou porovnávať topológie a nechať na investorovi zváženie, ktorý spôsob riadenia sa mu hodí do konkrétnej lokality.

V topológii loukoťové koleso a ihlan pri použití dvanásť zariadení je nutné použiť dvadsaťdva prepojovacích káblov aby sme zaistili prepojenie každého prvku pomocou minimálne troch prepojení k sieti. Táto topológia počítá s centrálny prvkom, ktorý je prepojený na všetky okrajové zariadenia. Takže v prípade použitia dvanásť zariadení sa jedná o jedenásť spojení na centrálny prvok.

V prípade topológie kvádra a valca pri použití dvanásť switchov je potrebných osemnásť prepojovacích káblov slúžiacich pre prepojenie prvkov k sieti. Každé zariadenia je prepojené presne troma linkami k sieti.

V prípade topológie veža pri použití dvanásť switchov sme potrebovali dvadsať prepojovacích káblov, pričom osem zo switchov bolo pripojených k sieti troma linkami a štyri štyrmi linkami.

Každé z dvanástich zariadení v topológii transputer je pripojené k sieti pomocou štyroch liniek, preto v tejto topológii sme spotrebovali až dvadsaťštyri prepojovacích káblov. Tieto údaje sú podrobnejšie uvedené v tabuľke.

Tabuľka č. 39: Súhrnné informácie o testovaných topológiách

(Zdroj: vlastné spracovanie)

Názov topológie	Spôsob riadenia	Počet použitých prvkov	Počet prepojovacích liniek	Počet možných vypadnutí liniek	Počet liniek nutných pre správnu funkciu	Počet zariadení prepojených 3 linkami k sieti	Počet zariadení prepojených 4 linkami k sieti	Počet zariadení prepojených 11 linkami k sieti
Loukoťové koleso a ihlan	Centrálny prvok	12	22	11	11	11	0	1
	Kruh							
Kváder a valec	Jeden centrálny kruh		18	7		12	0	0
	Dva kruhy							
Veža	Jeden centrálny kruh		20	9		8	4	0
	Viacero kruhov							
Transputer topológia	Transputer - obecný prístup	24	13	0	12	0		

Z týchto výsledkov testovania vyplýva, že najspoľahlivejším návrhom s najväčšou dostupnosťou je topológia transputer. Najväčšiu spoľahlivosť dosahuje preto, lebo každý switch je pripojený štyrmi linkami k sieti. Ak sa stane porucha aktívnej linky vedúcej do zariadenia, k zariadeniu vedú ešte ďalšie tri. Jedna z nich preberie jej funkciu a ďalšie dve slúžia ako redundancia v prípade výpadku ďalšej linky. Pri použití tejto topológie sme ale použili najväčšie množstvo prepojovacích káblov. Tým sa zvýšila ale aj pravdepodobnosť vzniku poruchy na linke.

Druhým najlepším riešením z pohľadu spoľahlivosti, dostupnosti a redundancie je topológia kváder alebo valec a veža. Obe sú to topológie, ktoré majú svoje výhody aj nevýhody. V prípade kvádra alebo valca sú všetky zariadenia prepojené troma linkami

k sieti a v prípade veže s použitím dvanástich zariadení je osem pripojených trocha a štyri štyrmi linkami. V topológii veža ale je potreba viacej liniek pre prepojenie zariadení. Z môjho pohľadu sú obe tieto riešenia na rovnakej úrovni spoľahlivosti.

Na poslednom mieste z nášho pohľadu je topológia loukoťové koleso. Z dvanásť zariadení je jedenásť pripojených pomocou troch liniek k sieti a posledné zariadenie je prepojené na všetkých jedenásť zariadení. Na toto riešenie je potreba druhý najväčší počet prepájacích káblov. Tento počet zvyšuje hlavne pravdepodobnosť výskytu poruchy a podľa môjho názoru toto riešenie neposkytuje takú vysokú spoľahlivosť ako predchádzajúce dve topológie.

Pre investora predstavuje porucha linky v lokalitách pred rekonštrukciou úplnú alebo čiastočnú stratu konektivity k určitým zariadeniam. V lokalitách po rekonštrukcii predstavuje porucha linky stratu redundancie a pretože nie je nasadený žiadny monitoring pre tieto lokálne siete, ďalšia porucha znamená taktiež úplnú alebo čiastočnú stratu konektivity k určitým zariadeniam. Keďže investor pôsobí v priemyselnom prostredí, nemôže si dovoliť úplnú alebo čiastočnú stratu konektivity z dôvodu rôznych pokút určených v zmluvách s významnými zákazníkmi. Strata konektivity by mohla znamenať finančné straty, ale mohla by ohroziť aj ľudské životy. Tieto finančné straty ani ohrozenie ľudí sa nedá vyjadriť v číslach, lebo záleží, v ktorej lokalite by investor stratil konektivitu.

Investor uvádza, že priemerne na jednu lokalitu pred rekonštrukciou sa vyskytne porucha na linke raz za dva roky. Tieto údaje vychádzajú zo štatistiky investora. Pretože v nezrekonštruovaných lokalitách sa nevyužíva redundancia, výpadok jednej linky znamená výpadok jedného alebo viacerých koncových staníc a preto vznikne strata niektorých funkcií nutných pre dohľad nad procesom a ovládanie procesu. V lokalitách po rekonštrukcii sa porucha liniek vyskytuje menej často, raz za päť rokov. Pretože v týchto lokalitách sa využíva redundancia, výpadok jednej linky ešte neznamená výpadok jedného alebo viacerých koncových staníc. Z dôvodu absencie monitorovacieho systému ale investor nevie, že linka sa medzi dvoma uzlami porušila, neopravuje túto chybu. Pri uvedenej pravdepodobnosti môžeme predpokladať, že za desať rokov nastane aj druhá porucha. Ak by nastala aj druhá porucha a prvá by nebola opravená, mohlo by to spôsobiť vypadnutie jedného prvku alebo dokonca aj časti siete.

Keďže v závislosti na tom, o akú linku ide, trvá aj oprava. Oprava linky môže trvať od niekoľko minút až po niekoľko dní. Ak ide o poruchu linky v jednom objekte, chyba sa dá napraviť za pár minút až hodín. Ak príde k porušeniu linky v prípade linky vedúcej z jedného objektu k druhému, oprava môže trvať niekoľko týždňov. Logickú redundanciu sme vyriešili návrhom topológie.

Investor podľa štatistík stratí počas jedného nedostupnosti jedného alebo viacerých zariadení potrebných o ovládaniu procesu okolo 42 000Kč. Táto suma nie je vysoká, pretože investor uvádza, že tieto udalosti ale nemusia zapríčiniť finančnú stratu. Odhadovanú stratu za desať rokov za všetky lokality môžeme vypočítať ako súčet odhadovanej straty pre zrekonštruované alebo nezrekonštruované lokality. Tieto straty pre určité lokality vyrátame súčinom, ktorý sa skladá z počtu lokalít, pravdepodobnosti výpadku na jednej lokalite za desať rokov a priemernou stratou za jeden výpadok.

Tabuľka č. 40: Odhadovaná strata – súčasná situácia

(Zdroj: vlastné spracovanie)

	Počet lokalít	Pravdepodobnosť výpadku všetkých liniek vedúcich k jednému zariadeniu	Priemerná strata na jeden výpadok	Odhadovaná strata za 10 rokov
Nezrekonštruované lokality	70	raz za dva roky	42 000	14 700 000
Zrekonštruované lokality	50	raz za desať rokov		2 100 000
Spolu				16 800 000

Po nasadení novej topológie siete sa bude výpadok jedného zariadenia alebo časti vyskytovať v prípade nasadenia transputer topológie okolo dvadsať rokov.

Tabuľka č. 41: Odhadovaná strata – porovnanie súčasnej situácie a situácie po nasadení návrhu

(Zdroj: vlastné spracovanie)

		Počet lokalít	Pravdepodobnosť výpadku všetkých liniek vedúcich k jednému zariadeniu	Priemerná strata na jeden výpadok	Odhadovaná strata za 10 rokov
Súčasný stav	Nezrekonštruované lokality	70	raz za dva roky	42 000	14 700 000
	Zrekonštruované lokality	50	raz za desať rokov		2 100 000
	Spolu				
Navrhovaný stav	Zrekonštruované lokality podľa návrhu	120	raz za dvadsať rokov	42 000	2 520 000

Súčasný stav generuje podľa uvedených informácií od investora straty skoro sedemnást' miliónov Kč za desať rokov. Uvedená suma je len odhadom podľa štatistík investora. Reálna strata môže byť nižšia alebo môže byť aj mnohonásobne vyššia, ak sa zmenia podmienky pre investora. Ak ale investor zrekonštruje všetky svoje lokality, táto suma sa zníži podľa štatistiky na dva a pol milióna Kč. Investor by mal zvážiť a určiť vysokú prioritu pre rekonštrukciu siete v ešte nezrekonštruovaných lokalitách, pretože tieto lokality generujú omnoho vyššie straty než lokality po rekonštrukcii.

Nepočítame s nákladmi na rekonštrukciu, pretože investor musí tak či tak zrekonštruovať dané siete v lokalitách. Taktiež daný návrh rešpektuje jeho rozhodnutie nasadzovať len switche od spoločnosti Hirschmann. Tieto náklady na výmenu taktiež nie sú uvedené v zhodnotení z toho dôvodu, že spoločnosť ich plánuje aj ta obmieňať. Investor má na obe akcie už vytvorený investičný plán. Do konečného zhodnotenia nie je započítaná cena za tento návrh a overenie. Táto suma by sa pohybovala okolo 200 000 Kč.

Odporúčania pre investora:

- Implementácia a používanie monitorovacieho systému pre tieto časti siete. Trojnásobná alebo viacnásobná redundancia investorovi zabezpečí skoro nulové stratené náklady, pretože vždy odhalí poruchu a môže ju napravnovať. Počas opráv má k dispozícii ešte ďalšie redundantné trasy.
- Dodržiavanie fyzickej redundancie pri návrhu a realizácii. Fyzická redundancia predstavuje fyzicky oddelené trasy a vedenia v rámci lokality. Spoľahlivosť siete sa dá zvýšiť aj použitím druhej fyzicky redundantnej trasy medzi dvoma prvkami a protokolom LACP.

Ak by si investor vybral jednu z navrhnutých variant, spoľahlivosť a dostupnosť by sa zvýšila vďaka ďalším redundantným trasám. Tieto parametre sa zvýšia aj výmenou stávajúcich switchov za priemyselné switche od spoločnosti Hirschmann.

ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala návrhom možných spôsobov topológie a riadenia komunikačnej infraštruktúry pre rôzne lokality investora. Implementáciou vhodného návrhu je možné dosiahnuť vyššiu spoľahlivosť siete a toto zvýšenie vplýva na zvýšenie dostupnosti podporných procesov pre primárny proces investora.

Analýza problému a súčasnej situácie sa zameriava na predstavenie spoločnosti a charakteristiku odvetvia, v ktorom investor pôsobí a legislatívy, ktorá sa ho dotýka. Táto časť taktiež popisuje súčasný stav komunikačnej infraštruktúry a predstavuje technológiu, ktorú investor používa pre svoju činnosť. Analytická časť taktiež vysvetľuje, prečo je nutné používané technológie vzájomne prepájať. Na záver boli zosumarizované zistené požiadavky investora na návrh lokálnej siete. Medzi požiadavky boli zahrnuté aj investorove požiadavky nielen na dostupnosť, redundanciu, bezpečnosť, ale aj rozhodnutia investora a ďalšia stratégia investora.

Kapitola vlastného návrhu riešenia sa zaoberala návrhom, pomocou ktorého je možné matematicky vyjadriť sieťovú topológiu vo forme matic a taktiež priestorom, v ktorom budeme jednotlivé navrhnuté topológie zobrazovať. V tejto časti boli taktiež navrhnuté topológie s viacnásobnou redundanciou a taktiež zložené topológie. Zložené topológie sa líšia tým, že uzly sú pripojené k sieti pomocou viacnásobných pripojení, sieť má zložitejší tvar zložený z viacerých základných topológií a taktiež pre ich riadenie je potrebné kombinovať viacero sieťových protokolov. V návrhovej časti neboli navrhnuté len topológie siete, ale aj spôsob ich riadenia podľa požiadavkou stanovených investorom. Funkčnosť jednotlivých návrhov bola otestovaná v laboratórnych podmienkach podľa navrhnutého modelu. Keďže investor požadoval navrhnuť spoľahlivú sieť odolnú voči výpadkom liniek, porovnávanie navrhnutých topológií a spôsobov riadenia prebehlo na základe tohto zvoleného parametru, čiže podľa počtu možných vypadnutí liniek spájajúcich jednotlivé switche. Na záver boli tieto návrhy porovnané medzi sebou a boli vysvetlené ich pozitívne aj negatívne stránky. Jednotlivé návrhy boli popísané z hľadiska použitia a taktiež pre investora bolo uvedené ich možné použitie a odporúčanie pre implementáciu.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- (1) PAVLOVSKÝ, Radomír. *Informační a komunikační sítě*. Praha: Oeconomica, 2010. ISBN 978-80-245-1729-2.
- (2) PUŽMANOVÁ, Rita a Pavel ŠMRHA. *Propojování sítí s TCP/IP*. České Budějovice: Kopp, 1999. ISBN 80-7232-080-7.
- (3) PUŽMANOVÁ, Rita. *TCP/IP v kostce*. 2., upr. A rozš. Vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-388-3.
- (4) HORÁK, Jaroslav a Milan KERŠLÁGER. *Počítačové sítě pro začínající správce*. 5., aktualiz. Vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3176-3.
- (5) KÁLLAY, Fedor a Peter PENIAK. *Počítačové sítě a jejich aplikace*. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-407-X.
- (6) DOSTÁLEK, Libor. *Velký průvodce protokoly TCP/IP: bezpečnost*. 2. aktualiz. Vyd. Praha: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-849-X.
- (7) THOMAS, Robert M. *Lokální počítačové sítě*. Praha: Computer Press, 1996. ISBN 80-85896-45-1.
- (8) PUŽMANOVÁ, Rita. *Moderní komunikační sítě od A do Z: [technologie pro datovou, hlasovou i multimediální komunikaci]*. 2., aktualiz. Vyd. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 80-251-1278-0.
- (9) SOSINSKY, Barrie A. *Mistrovství – počítačové sítě: [vše, co potřebujete vědět o správě sítí]*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-3363-7.
- (10) JIROVSKÝ, Václav. *Vademecum správce sítě*. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-7169-745-1.
- (11) SOCHOR, Tomáš. *Komunikační protokoly počítačových sítí*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2003. Systém celoživotního vzdělávání Moravskoslezka. ISBN 80-7042-868-6.
- (12) What is the difference between IPv4 a IPv6? *Juniper networks* [online]. © 1999-2019 Juniper Networks. Dostuné z: <https://www.juniper.net/us/en/products-services/what-is/ipv4-vs-ipv6/>
- (13) ODOM, Wendell, Rus HEALY a Naren MEHTA. *Směrování a přepínání sítí: autorizovaný výukový průvodce*. Brno: Computer Press, 2009. Samostudium. ISBN 978-80-251-2520-5.

- (14) ONDRÁK, Viktor. *Počítačové sítě (přednáška)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta podnikatelská, 2015.
- (15) ALBRIGHT, Dann. *IPv4 vs. IPv6*. Thebestvpn.com [online]. 2017. Dostupné z: <https://thebestvpn.com/ipv4-vs-ipv6/>
- (16) KABELOVÁ, Alena a Libor DOSTÁLEK. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. 3. aktualiz. A rozš. Vyd. Praha: Computer Press, 2002. ISBN 80-7226-675-6.
- (17) JORDÁN, Vilém a Viktor ONDRÁK. *Infrastruktura komunikačních systémů III: integrovaná podniková infrastruktura*. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5241-1.
- (18) JORDÁN, Vilém a Viktor ONDRÁK. *Infrastruktura komunikačních systémů I: iniverzální kabelážní systémy*. Druhé, rozšířené vydání. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5115-5.
- (19) JORDÁN, Vilém a Viktor ONDRÁK. *Infrastruktura komunikačních systémů II: kritické aplikace*. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5240-4.
- (20) VORČÁK, Anton. *Základy informačních technologií [online]*. Dostupné z: http://www.kis.fri.uniza.sk/~ludo/ekurzy/e-book/ZIT/ZIT%201_4_1b.htm
- (21) SEDLÁK, Petr. *Management informační bezpečnosti (přednáška)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta podnikatelská, 2017.
- (22) Understanding and configuring spanning tree protocol (STP) on catalyst switches. *Cisco* [online]. 2006. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/spanning-tree-protocol/5234-5.html>
- (23) Spanning-Tree protocol. *Cisco network academy* [online]. © 2008. Dostupné z: <http://cisco-academy.aspone.cz/spanning-tree-protocol.html>
- (24) BOHÁČ, Daniel a Jakub PRÁŠIL. *Rapid Spanning Tree Protocol*. Wikihosting, wh.cs.vsb.cz [online]. 2015. Dostupné z: <http://wh.cs.vsb.cz/sps/images/archive/7/72/20150519133813!Rstpm.pdf>
- (25) GIORGETTI, A., F. CUGINI a F.PAOLUCCI a kol. *Performance Analysis of Media Redundancy Protocol (MRP)*. IEEE Xplore Digital library [online]. 2013. Dostupné z: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6145654>

- (26) MRP – Media Redundancy Protocol (IEC 62439-2). *Perle* [online]. © 1996 – 2018 Perle. Dostupné z: <https://www.perle.com/supportfiles/mrp.shtml>
- (27) White Paper: Network redundancy for mission critical applications HSR and PRP protocols. *Nexans* [online]. 2018. Dostupné z: http://www.nexans.be/eservice/Belgium-en/fileLibrary/Download_540386344/UK/files/Nexans_LANactive_Industry_HSR_PRP_white_paper_LR_1.pdf
- (28) One great company – Multiple Leading Brands. *Belden* [online]. © 2019 Belden. Dostupné z: http://www.beldensolutions.com/en/Company/About_Us/belden_brands/index.phtml
- (29) Industrial Networking > Fault tolerant, Plug-n-play – Hiper Ring. *Theta controls* [online]. © 2009 Theta Controls. Dostupné z: <http://www.thetacontrols.com/hiperring.html>
- (30) Hirschmann – The technology and market leader in industrial networking. *Hirschmann* [online]. © 2019 Belden. Dostupné z: <http://www.hirschmann.com/>
- (31) White Paper: Hirschmann networking interoperability to industrial/ process and Ethernet/IP enviroments. *L-com* [online]. © L-com. Dostupné z: https://www.l-com.com/multimedia/whitepapers/wp_Hirschmann-Ethernet-IP-Integration.pdf
- (32) User manual: Redundancy configuration industrial Ethernet switch RS20, RSB20. *Hirschmann* [online]. © 2010 Hirschmann automation and control gmbh. Dostupné z: [file:///C:/Users/PC/Downloads/Redundancy%20Configuration%20Hirschmann%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/Redundancy%20Configuration%20Hirschmann%20(1).pdf)
- (33) User manual: Redundancy configuration industrial Ethernet (gigabit) switch RS20/RS30/RS40,MS20/MS30, OCTOPUS, PowerMICE, RSR20/RSR30, MACH100, MACH1000, MACH4000. *Hirschmann* [online]. © 2011 Hirschmann automation and control gmbh. Dostupné z: [file:///C:/Users/PC/Downloads/UM_RedundConfig_L2P_Rel71_en%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/UM_RedundConfig_L2P_Rel71_en%20(3).pdf)
- (34) Nařízení vlády č. 315/2014 Sb. o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury.

- (35) Zákon o Kybernetickéj bezpečnosti číslo 181/2014 Sb. v súčasnom znení a o zmene súvisiacich zákonov (v znení zákona číslo 104/2017 Sb. a zákona číslo 205/2017 Zb.). z dňa 29.8.2014
- (36) Vyhláška číslo 82/2018 Sb., o kybernetické bezpečnosti
- (37) Energetika. *Siemens* [online]. © 1996 – 2019 Siemens. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/energy.html>
- (38) Powering a Smarter Future. *Moxa* [online]. © 2019 Moxa. Dostupné z: <https://www.moxa.com/en/solutions/industry-focus/power>
- (39) What is 1D, 2D, 3D and 4D? *Orosk* [online]. Dostupné z: <https://www.orosk.com/what-is-1d-2d-3d-and-4d/>
- (40) HOWARD, Kyle. *What is 1D, 2D, 3D and 4D? How is it easily understood by beginner?*. Quora.com [online]. 2015. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-1D-2D-3D-and-4D-How-is-it-easily-understood-by-a-beginner>
- (41) User manual: Redundancy configuration HiOS-2S RSP (Rail Switch PoPower). *Hirschmann* [online]. © Hirschmann. Dostupné z: https://www.e-catalog.beldensolutions.com/download/managed/pim/cf0243fc-fcd9-49e8-ae84-c1452281e9de/UM_RedundConfig_RSP_HiOS-2S-05000_en.pdf;jsessionid=6B02FFEBBBE8AE12F0B791DBE0DEB06E?type=attachment
- (42) Kritická komunikační infrastruktura – Centrum technické pomoci. *Kki-ctp*[online]. KKI-CTP [cit 2019-02-18]. Dostupné z: <http://www.kki-ctp.cz/21000-dostupnost/>
- (43) Katalog switche. *Kassex.cz* [online]. Kassex [cit 2019-03-08] Dostupné z: <https://www.kassex.cz/katalog/din-rail-managed-switche/132>

ZOZNAM OBRÁZKOV

OBRÁZOK Č. 1: ZARIADENIA RTU	14
OBRÁZOK Č. 2: ZARIADENIE IED	14
OBRÁZOK Č. 3: ZARIADENIE HMI.....	15
OBRÁZOK Č. 4: PRIEMYSELNÉ SWITCHE.....	15
OBRÁZOK Č. 5: SÚČASNÝ STAV V LOKALITÁCH PRED REKONŠTRUKCIOU, PRVÝ TYP	16
OBRÁZOK Č. 6: SÚČASNÝ STAV V LOKALITÁCH PRED REKONŠTRUKCIOU, DRUHÝ TYP.....	17
OBRÁZOK Č. 7: SÚČASNÝ STAV V LOKALITÁCH PRED REKONŠTRUKCIOU, TRETÍ TYP	17
OBRÁZOK Č. 8: SÚČASNÝ STAV V LOKALITÁCH PO REKONŠTRUKCÍI	18
OBRÁZOK Č. 9: REFERENČNÝ MODEL OSI	22
OBRÁZOK Č. 10: PRINCÍP KOMUNIKÁCIE OSI MODELU	24
OBRÁZOK Č. 11: ROZDELENIE SIEŤOVEJ VRSTVY	25
OBRÁZOK Č. 12: POROVNANIE REFERENČNÉHO MODELU ISO/OSI S ARCHITEKTÚROU TCP/IP	28
OBRÁZOK Č. 13: VYSVETLENIE ZÁPISU IP ADRIES	30
OBRÁZOK Č. 14: TOPOLOGIA HVIEZDA	39
OBRÁZOK Č. 15: TOPOLOGIA KRUII.....	40
OBRÁZOK Č. 16: TOPOLOGIA ZBERNICA.....	40
OBRÁZOK Č. 17: TOPOLOGIA STROM.....	41
OBRÁZOK Č. 18: TOPOLOGIA ÚPLNÝ A NEÚPLNÝ POLYNÓM.....	41
OBRÁZOK Č. 19: SEKcie KABELÁŽNEHO SYSTÉMU	44
OBRÁZOK Č. 20: LINKA A KANÁL	44
OBRÁZOK Č. 21: PRÍKLADY MOŽNÉHO POUŽITIA SUB-RING RIEŠENIA.....	58
OBRÁZOK Č. 22: TRI SPÔSOBY SPÁJANIA KRUIIOV POMOCOUI RING COUPLING – ZLAVA: PRVÝ, DRUHÝ A TRETÍ SPÔSOB.....	60
OBRÁZOK Č. 23: ROZDIEL ICT A ICS	64
OBRÁZOK Č. 24: PRIESTOR ZNÁZORNENÝ POMOCOUI MATEMATICKÝCH OBRÁZCOV	65
OBRÁZOK Č. 25: PRÍKLADY TOPOLOGIE V 1D PRIESTORE	66
OBRÁZOK Č. 26: TOPOLOGIA HVIEZDA	68
OBRÁZOK Č. 27: TOPOLOGIA KRUII.....	69
OBRÁZOK Č. 28: TOPOLOGIA STROM.....	69
OBRÁZOK Č. 29: TOPOLOGIA ÚPLNÝ POLYGOŇ	70

OBRÁZOK Č. 30: TOPOLOGIA NEÚPLNÝ POLYGÓN	70
OBRÁZOK Č. 31: TOPOLOGIA NEÚPLNÝ POLYGÓN	71
OBRÁZOK Č. 32: TOPOLOGIA ÚPLNÉHO POLYNÓMU S RASTÚCIM POČTOM UZLOV	72
OBRÁZOK Č. 33: TOPOLOGIA LOUKOŤOVÉ KOLESO	73
OBRÁZOK Č. 34: TOPOLOGIA LOUKOŤOVÉ KOLESO. ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA S CENTRÁLNYM PRVKOM	74
OBRÁZOK Č. 35: TOPOLOGIA LOUKOŤOVÉ KOLESO. ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA V RÁMCI KRUHU	75
OBRÁZOK Č. 36: TOPOLOGIA IHLAN	76
OBRÁZOK Č. 37: TOPOLOGIA KVÁDER ZNÁZORNENÁ V 3D A 2D PRIESTORE	76
OBRÁZOK Č. 38: TOPOLOGIA KVÁDER. ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH	78
OBRÁZOK Č. 39: TOPOLOGIA KVÁDER. ZAPOJENIE: DVA KRUHY	78
OBRÁZOK Č. 40: TOPOLOGIA VALEC	79
OBRÁZOK Č. 41: TOPOLOGIA VEŽA	80
OBRÁZOK Č. 42: TOPOLOGIA VEŽA ZNÁZORNENÁ V 2D PRIESTORE	80
OBRÁZOK Č. 43: TOPOLOGIA VEŽA. ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH	81
OBRÁZOK Č. 44: TOPOLOGIA VEŽA. ZAPOJENIE: TRI KRUHY	82
OBRÁZOK Č. 45: TOPOLOGIA TRANSPUTER	82
OBRÁZOK Č. 46: TOPOLOGIA TRANSPUTER – POUŽITIE RÔZNEHO POČTU PRVKOV	83
OBRÁZOK Č. 47: SOFTWARE HiVIEW	86
OBRÁZOK Č. 48: SOFTWARE HiVISION.	86
OBRÁZOK Č. 49: UKÁŽKA NASTAVENIA RING COUPLING JEDNÉHO Z OKRAJOVÝCH PRVKOV	90
OBRÁZOK Č. 50: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLOGIE LOUKOŤOVÉHO KOLESÁ (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA S CENTRÁLNYM PRVKOM)	91
OBRÁZOK Č. 51: TOPOLOGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	92
OBRÁZOK Č. 52: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLOGIE LOUKOŤOVÉHO KOLESÁ (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA V RÁMCI KRUHU)	94
OBRÁZOK Č. 53: TOPOLOGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	95
OBRÁZOK Č. 54: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLOGIE KVÁDER A VALEC (ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH)	97
OBRÁZOK Č. 55: TOPOLOGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	98

OBRÁZOK Č. 56: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLÓGIE VALEC A KVÁDER (ZAPOJENIE: DVA KRUHY)	100
OBRÁZOK Č. 57: TOPOLÓGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	101
OBRÁZOK Č. 58: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLÓGIE VEŽA (ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH)	102
OBRÁZOK Č. 59: TOPOLÓGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	103
OBRÁZOK Č. 60: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TOPOLÓGIE VEŽA (ZAPOJENIE: TRI KRUHY)	105
OBRÁZOK Č. 61: TOPOLÓGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	106
OBRÁZOK Č. 62: UKÁŽKA NASTAVENIA HiPER RINGU NA JEDNOM ZO ZARIADENÍ (TOTO ZARIADENIE NIE JE RING MANAŽÉR).....	107
OBRÁZOK Č. 63: UKÁŽKA NASTAVENIA RING COUPLING NA JEDNOM ZO ZARIADENÍ (Z TOHTO ZARIADENIA VEDIE AKTÍVNA LINKA - PREPOJENIE NA DRUHÝ HORIZONTÁLNY KRUH)	108
OBRÁZOK Č. 64: VÝSLEDOK SKENU ZAPOJENEJ TRANSPUTER TOPOLÓGIE	108
OBRÁZOK Č. 65: TOPOLÓGIA PO ODPOJENÍ ČO NAJVÄČŠIEHO POČTU LINIEK	110

ZOZNAM TABULIEK

TABUĽKA Č. 1: VYČLELENÉ PRIVÁTNE ADRESNÉ PRIESTORY	30
TABUĽKA Č. 2: NORMY IEEE 802.XX	34
TABUĽKA Č. 3: ETHERNETOVÝ RÁMEC	36
TABUĽKA Č. 4: VYSVETLENIE ČASTÍ ETHERNETOVÉHO RÁMCA.....	36
TABUĽKA Č. 5: NORMY BEZDRÔTOVÝCH SIETÍ.....	37
TABUĽKA Č. 6: KLASIFIKÁCIA BEZDRÔTOVÝCH SIETÍ	38
TABUĽKA Č. 7: TRIEDY SIETÍ A KATEGÓRIE KOMPONENT KABELÁŽE	43
TABUĽKA Č. 8: ETHERNETOVÝ RÁMEC S VLAN TAGOM	47
TABUĽKA Č. 9: VYSVETLENIE ČASTÍ ETHERNETOVÉHO RÁMCA S VLAN TAGOM.....	47
TABUĽKA Č. 10: SKLADBA SLUŽOBNÝCH RÁMCOV BPDU.....	50
TABUĽKA Č. 11: CENA LINIEK PODĽA ŠÍRKY PÁSMU.	51
TABUĽKA Č. 12: STAVY PORTOV A ICH VLASTNOSTI	51
TABUĽKA Č. 13: POROVNANIE STAVOV PORTOV	52
TABUĽKA Č. 14: NÁVRH MATEMATICKÉHO ZÁPISU SIETE.	68
TABUĽKA Č. 15: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE HVIEZDA.....	68
TABUĽKA Č. 16: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE KRUII.....	69
TABUĽKA Č. 17: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE STROM.....	69
TABUĽKA Č. 18: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE ÚPLNÝ POLYGOŇ	70
TABUĽKA Č. 19: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE NEÚPLNÝ POLYGOŇ	70
TABUĽKA Č. 20: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE NEÚPLNÝ POLYGOŇ S UVEDENÍM ŠÍRKY PÁSMU	71
TABUĽKA Č. 21: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE LOUKOŇOVÉ KOLESU.....	73
TABUĽKA Č. 22: MATEMATICKÝ ZÁPIS TOPOLOGIE KVÁDER.....	77
TABUĽKA Č. 23: ZOZNAM POUŽÍVANÝCH PRVKOV S FUNKCIONALITOU	84
TABUĽKA Č. 24: ZOZNAM ZARIADENÍ S PRIRADENOU IP ADRESOU	85
TABUĽKA Č. 25: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE LOUKOŇOVÉ KOLESU (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA S CENTRÁLNÝM PRVKOM).....	91
TABUĽKA Č. 26: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE LOUKOŇOVÉ KOLESU (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA S CENTRÁLNÝM PRVKOM).....	92
TABUĽKA Č. 27: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE LOUKOŇOVÉ KOLESU (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA V RÁMCI KRUII).....	95

TABUĽKA Č. 28: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE LOUKOŤOVÉ KOLESO (ZAPOJENIE: KOMUNIKÁCIA V RÁMCI KRUHU)	96
TABUĽKA Č. 29: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE KVÁDER A VALEC (ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH)	98
TABUĽKA Č. 30: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE KVÁDER A VALE (ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH).....	99
TABUĽKA Č. 31: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE KVÁDER A VALEC (ZAPOJENIE: DVA KRUHY)	100
TABUĽKA Č. 32: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE KVÁDER A VALEC (ZAPOJENIE: DVA KRUHY)	101
TABUĽKA Č. 33: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE VEŽA (ZAPOJENIE: JEDEN CENTRÁLNY KRUH)	103
TABUĽKA Č. 34: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE VEŽA, ZAPOJENIE (JEDEN CENTRÁLNY KRUH)	104
TABUĽKA Č. 35: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE VEŽA (ZAPOJENIE: TRI KRUHY).....	105
TABUĽKA Č. 36: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE VEŽA (ZAPOJENIE: TRI KRUHY)...	106
TABUĽKA Č. 37: MATEMATICKÉ VYJADRENIE TESTOVANEJ TOPOLOGIE VEŽA, ZAPOJENIE: TRI KRUHY	109
TABUĽKA Č. 38: VÝSLEDKY TESTOVANIA TOPOLOGIE TRANSPUTER	110
TABUĽKA Č. 39: SÚHRNNÉ INFORMÁCIE O TESTOVANÝCH TOPOLOGIÁCH.....	112
TABUĽKA Č. 40: ODHADOVANÁ STRATA – SÚČASNÁ SITUÁCIA.....	114
TABUĽKA Č. 41: ODHADOVANÁ STRATA – POROVNANIE SÚČASNEJ SITUÁCIE A SITUÁCIE PO NASADENÍ NÁVRHU.....	114

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

ICT	Informačné komunikačné technológie
IT	Informačné technológie
WAN	Rozľahlá sieť spájajúca lokality (Wide Area Network)
SLA	Dohoda o úrovni poskytovaných služieb (Service Level Agreement)
RTU	Vzdialené koncové zariadenia (Remote Terminal Unit)
IED	Inteligentné elektronické zariadenia (Intelligent Electronic Device)
HMI	Rozhranie medzi človekom a strojom (Human Machine Interface)
NTP	Protokol slúžiaci pre synchronizáciu času (Network Time Protocol)
RS	Riadiaci systém
ISO	Medzinárodná normalizačná organizácia (International Organization for Standardization)
OSI	Model prepojenia otvorených systémov (Open System Interconnection)
ITU-T	Medzinárodná telekomunikačná únia (International Telecommunications Union – Telecommunications sector)
SAP	Prístupové body (Services Access Point)
PDU	Protokolová dátová jednotka (Protocol Data Unit)
PCI	Protokolová riadiaca jednotka (Protocol Control Information)
LLC	Podvrstva riadenia logického spoja (Logical Link Control)
MAC	Podvrstva riadenia prístupu k prenosovému prostriedku (Media Access Control)
SNAP	Protokol prístupu k podsieti (SubNetwork Access Protocol)
TCP/IP	Architektúra TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol)
IP	Internet protokol (Internet Protocol)
IPv4/IPv6	Internet Protocol verzia 4 / Internet Protocol verzia 6

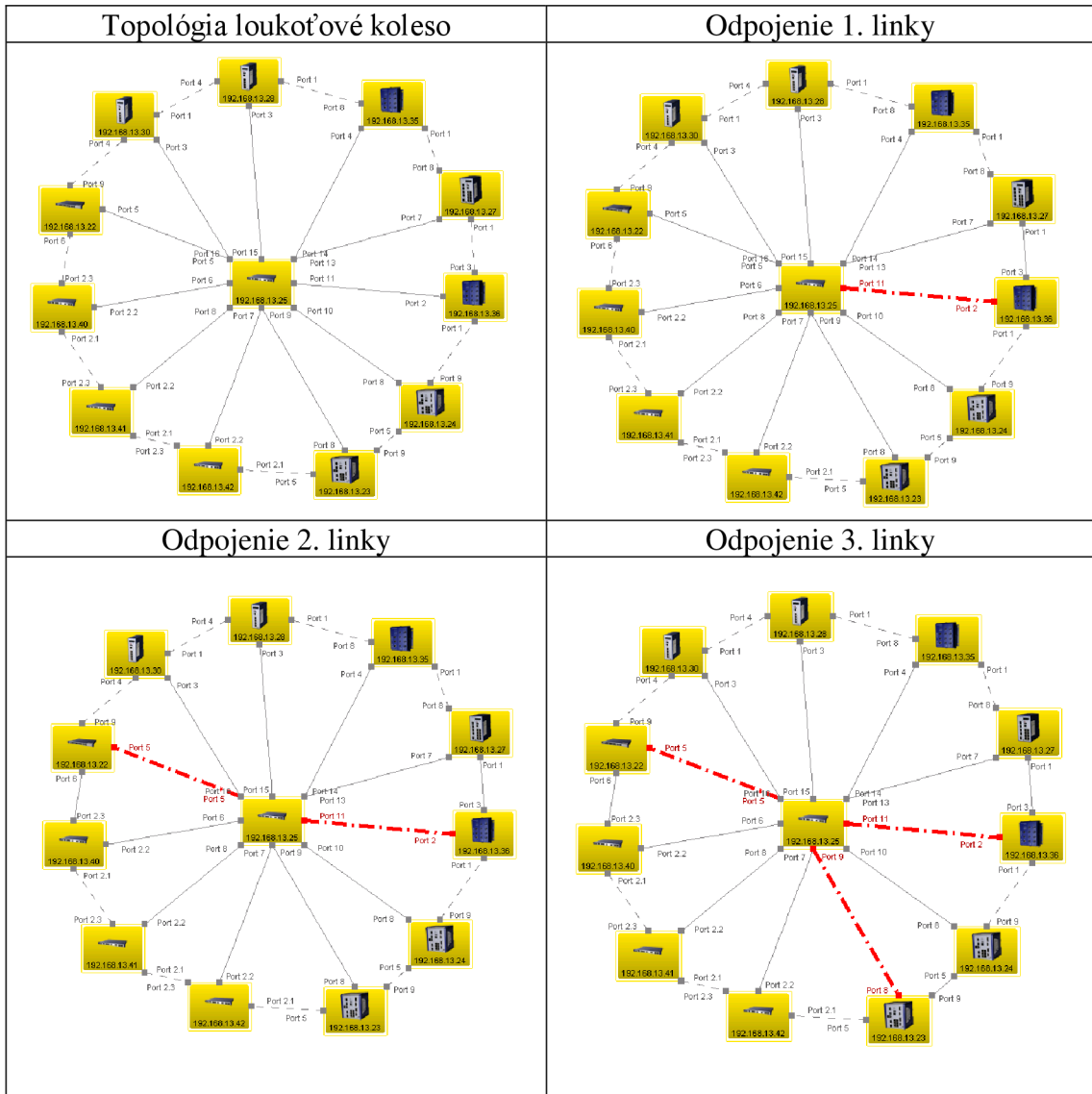
ARP	Protokol ARP (Address Resolution Protocol)
ICMP	Protokol ICMP (Internet Control Message Protocol)
TCP	Transportná služba so spojením (Transmission Control Protocol)
UDP	Transportnú službu bez spojenia (User Datagram Protocol)
LAN	Lokálna sieť (Local Network Area)
NIC	Sieťová karta (Network Interface Card)
OUI	prvých 24 bit MAC adresy označujúcich výrobcu (Organization Interface Card)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ANSI	American National Standards Institute
CSMA/CD	Metóda prístupu k médiu prostredníctvom počúvania nosnej s detekciou kolízií (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)
MAU/MSAU	Riadiaca jednotka (Multistation Attachment Unit)
WLAN	Štandard bezdrôtovej siete (Wireless Local Area Network)
AP	Prístupový bod (Access Point)
CSMA/CA	Metóda mnohonásobného prístupu s počúvaním nosnej a vyvarovanie sa kolíziám (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
VLAN	Virtuálna lokálna sieť (Virtual Local Area Network)
STP	Spanning Tree Protokol (Spanning Tree Protocol)
STA	Spanning Tree Algoritmus (Spanning Tree Algorithm)
BPDU	Služobné správy STP (Bridge Protocol Data Unit)
TCN	BPDU oznamujúce zmenu topológie (Topology Change Notification)
TCA	BPDU oznamujúce prijatie správy TCN (Topology Change Acknowledgment)
BID	Identifikátor Bridge (Bridge Identifier)

PID	Identifikátor portu (Port Identifier)
RSTP	Rapid Spanning Tree Protokol
FDB	Tabuľky adres (Filtering Database)
MSTP	Multiple Spanning Tree Protokol
ORSTP	Optimalizovaný RSTP (Optimized RSTP)
MAN	Rozľahlá sieť (Metropolitan Area Network)
IAN	Priemyselná sieť (Industrial Area Network)
MRP	Media Redundancy Protokol
MRM	Ring manažér (Media Redundancy Manager)
MRC	Ring klienti (Media Redundancy Client)
HR	HiPer Ring / High Performance Ring protokol
MCA	Kritické aplikácie (Mission Critical Application)
SRM	Sub-Ring Manažérov (Sub-Ring Manager)
HSR	High Availability Seamless Redundancy
PRP	Parallel Redundancy Protocol
LA	Link Aggregation
LACP	Link Aggregation Control Protokol
LB	Link Backup
MTBF	Stredná Doba Medzi Poruchami (Mean Time Between Failures)
MTTR	Stredná Doba Do Opravy/ Obnovenia/ Zotavenia (Mean Time To Repair/ Restore/ Recovery)
MTTF	Stredná Doba Do Poruchy (Mean Time To Failure)

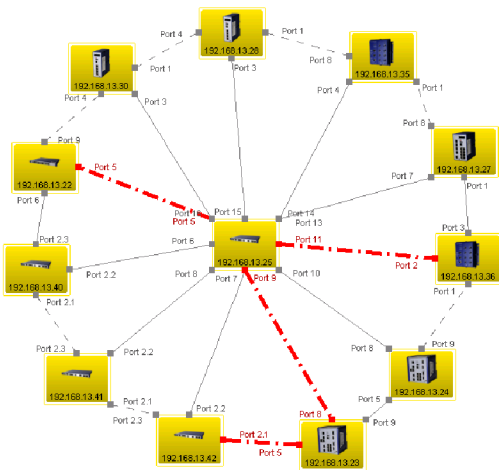
ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA Č. 1: JEDEN Z MOŽNÝCH POSTUPOV ODPÁJANIA LINIEK TOPOLÓGIE LOUKOŤOVÉ KOLESO, KOMUNIKÁCIA S CENTRÁLNYM PRVKOM.....	I
PRÍLOHA Č. 2: JEDEN Z MOŽNÝCH POSTUPOV ODPÁJANIA LINIEK TOPOLÓGIE TRANSPUTER	IV

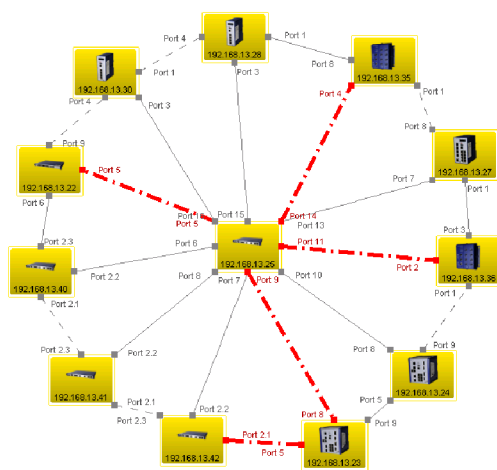
Príloha č. 1: Jeden z možných postupov odpájania liniek topológie loukoťové koleso, komunikácia s centrálnym prvkom



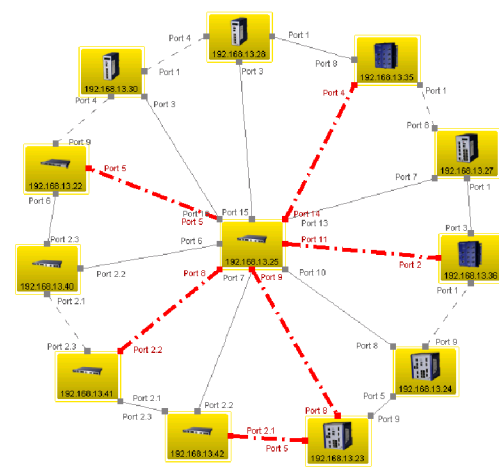
Odpojenie 4. linky



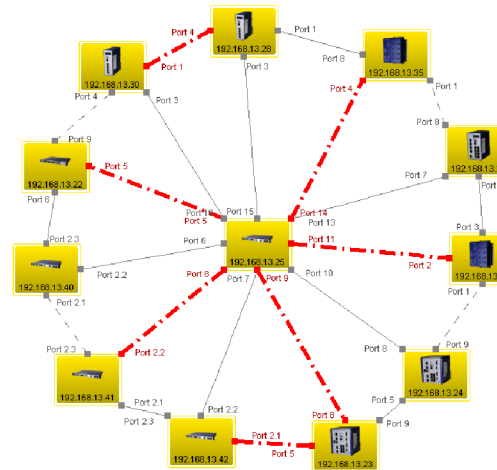
Odpojenie 5. linky



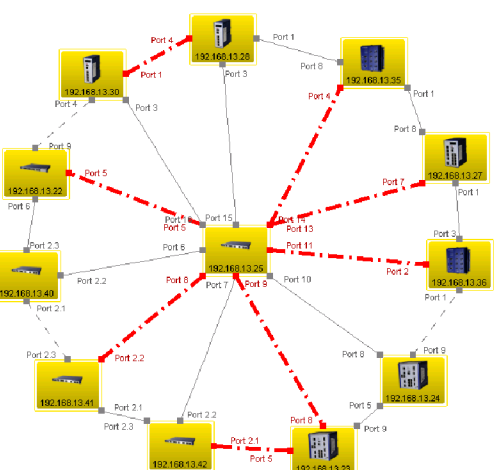
Odpojenie 6. linky



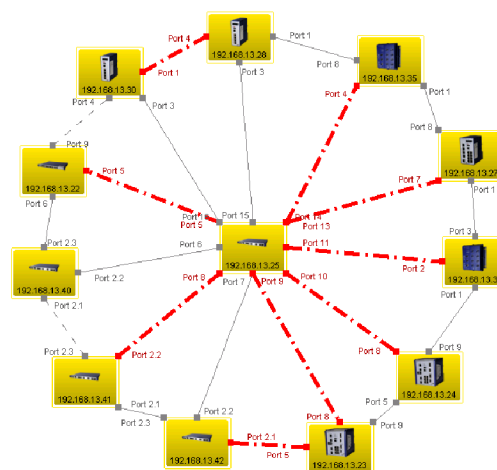
Odpojenie 7. linky



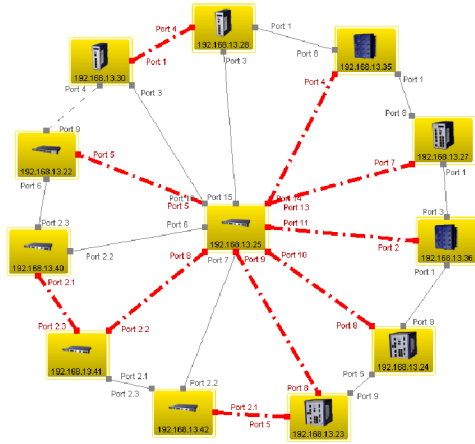
Odpojenie 8. linky



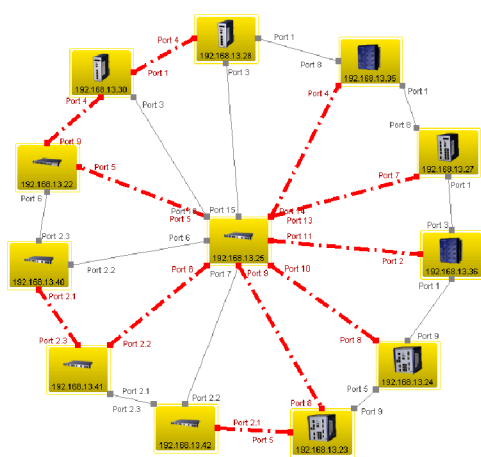
Odpojenie 9. linky



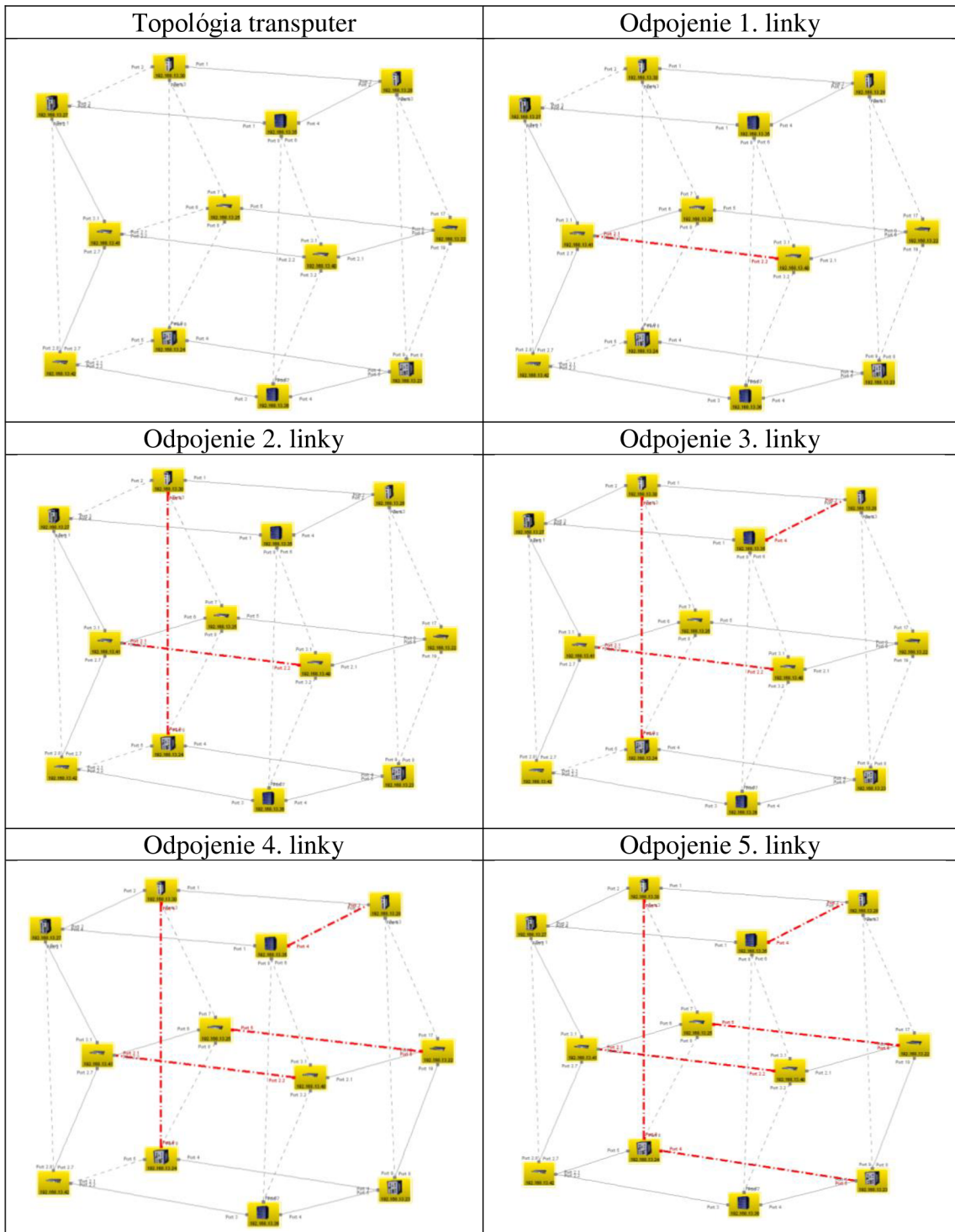
Odpojenie 10. linky



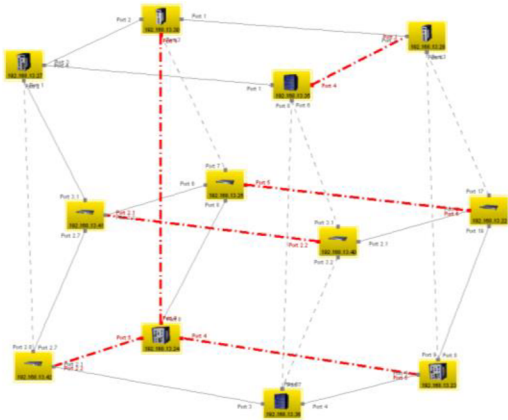
Odpojenie 11. linky



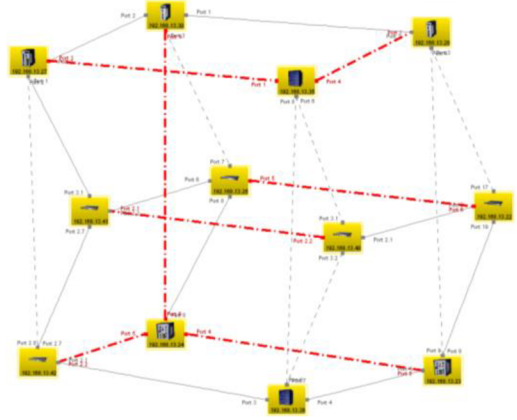
Príloha č. 2: Jeden z možných postupov odpájania liniek topológie transputer



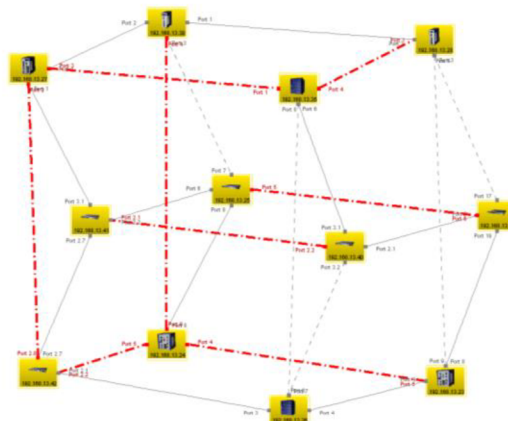
Odpojenie 6. linky



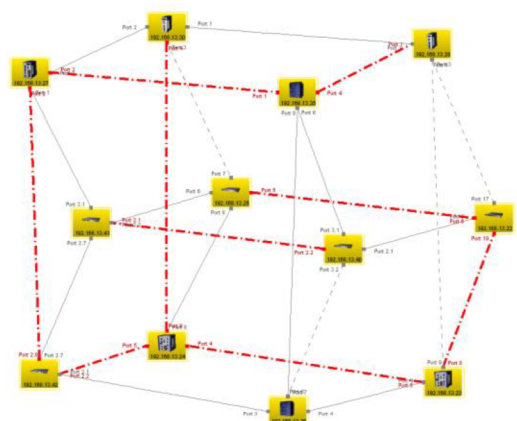
Odpojenie 7. linky



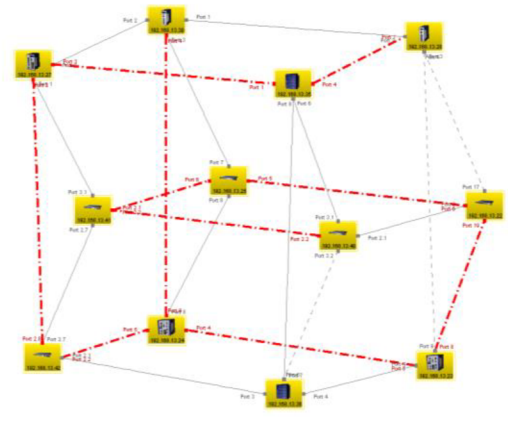
Odpojenie 8. linky



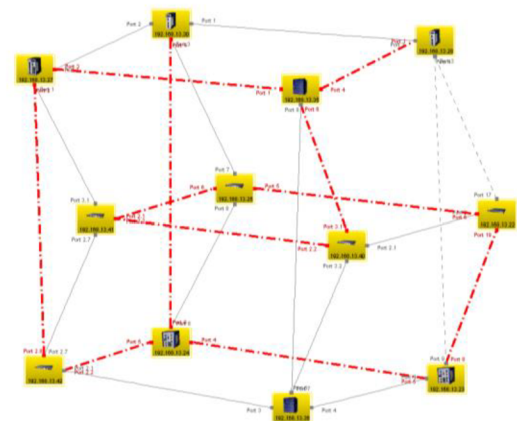
Odpojenie 9. linky



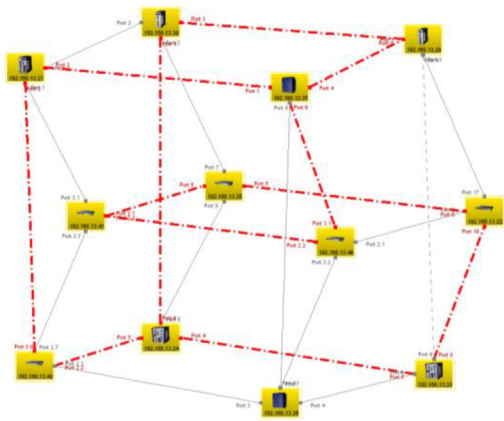
Odpojenie 10. linky



Odpojenie 11. linky



Odpojenie 12. linky



Odpojenie 13. linky

