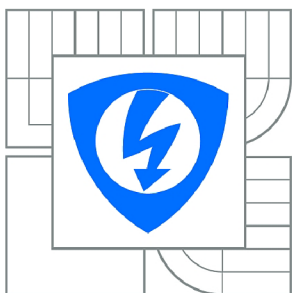




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

INTELIGENTNÍ SYSTÉMY HROMADNÉHO SBĚRU DAT V ENERGETICKÝCH SÍTÍCH

INTELLIGENT SYSTEMS OF MASS DATA ACQUISITION IN POWER GRIDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUBOŠ KREJČÍR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Ľuboš Krejčír

ID: 78535

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte problematiku sběru dat na rozsáhlém území v prostředí sítí IP. Zaměřte se na hierarchický systém sběru dat s koncovými zdroji dat, sběrnými uzly a centrálním uzlem. Navrhněte vhodné typy předzpracování dat sběrnými uzly vhodné pro sledování energetických sítí. Uvažujte případně i s alternativními datovými sítěmi a respektujte požadavky na zabezpečení přenosu požadovaného objemu dat, priority přenosu, obsluhu havarijních stavů na energetické síti. Provedte vhodné simulace demonstrující funkčnost navrženého řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] H. SCHULZRINNE, S. CASNER, R. FREDERICK, V. JACOBSON RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, Internet Draft, IETF RFC3550, 2003.

[2] FRONČEK, D. Úvod do teorie grafů. Skriptum Slezská univerzita Opava, ISBN 80-7248-044-8, ČR, 1999

[3] WHITE, R., SLICE, D., RETANA, A. Optimal Routing Design. Cisco Press, ISBN 1-58705-187-7, USA, 2005.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto práca popisuje problematiku zberu dát v energetických distribučných sieťach. Rozoberá možnosti dátovej komunikácie cez rozsiahle dátové siete, prostredníctvom komunikačného protokolu IEC 60870-5-104, používaného v energetike, pre prenos informácií cez IP siete. Práca predstavuje 4 technológie vhodné pre zber dát, s ohľadom aj na využitie súčasnej infraštruktúry energetiky. Zameriava sa na návrh vhodných dátových typov v rámci protokolu IEC 60870-5-104 a odhadom minimálnych dátových nárokov na prenos, cez navrhnutú sieť hierarchickej štruktúry, so zbernými dátovými koncentrátormi. K overeniu funkčnosti je vykonaná simulácia na základe navrhovaných dátových prenosov s následnou analýzou zaťaženia siete a oneskorenia prenosov. Následne sú výsledky analyzované a niektoré časti siete optimalizované, pre zlepšenie vybraných výsledkov, ktorých príčiny vzniku sú rozobraté v diskusii.

Abstract

This paper is describing the issues of data collection in power distribution networks. It discusses the possibilities of data communication over wide area networks using the communication protocol IEC 60870-5-104, used in power distribution systems for transmission of information over IP networks. Thesis presents 4 technologies, suitable for data collection, with respect to the use of existing infrastructure of the utility. It focuses on design of appropriate data types in correspondence with used IEC 60870-5-104 protocol, and estimates the minimum data requirements for transmission, through proposed hierarchical network, with collecting data concentrators. For verification of given design, simulations are carried out based on proposed data loads with subsequent analysis of network load and transmission delays. Consequently, the results are analyzed and selected parts of network optimized for improvement of selected results, of which causes of formation are discussed in debate.

Klíčové slová:

distribučné energetické siete, IP siete, IEC 60870-5-104

Key words:

power distribution grids, IP networks, IEC 60870-5-104

Citácia práce:

KREJČÍR, L. *Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Mišurecovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále doc. Ing. Vladimírovi Blažkovi, CSc. z ústavu elektroenergetiky a Ing. Martinovi Štefánkovi z firmy ABB s.r.o. za pomoc při získávání podkladů k práci.

V Brně 26.5.2011

.....
podpis autora

Úvod	10
Rozbor zadania	11
1 Energetické siete	12
1.1 Rozdelenie energetických sietí	12
1.1.1 Súčasný spôsob komunikácie v energetických sieťach.....	13
2 Návrh a simulácia dátovej siete	15
2.1 Situačná schéma distribučnej siete	15
2.1.1 Vedenie 110kV	15
2.1.2 Vedenie 22kV	17
2.2 Definícia koncových bodov	19
2.2.1 Indikátory skratových prúdov a zemných spojení.....	19
2.2.2 Elektromery.....	19
2.2.3 PQ monitory	19
2.3 Definícia komunikačných rozhraní	19
2.3.1 Pripojenie cez telefónnu sieť.....	20
2.3.2 Pripojenie cez GSM sieť	21
2.3.3 Pripojenie cez bezdrôtovú sieť	22
2.3.4 Pripojenie cez sieť vysokého napätia	25
2.4 Definícia zberných bodov	26
2.5 Definícia dátových prenosov	27
2.5.1 Protokol IEC 60870-5-104.....	27
2.5.2 Alokácia objemu dát koncovým staniciam	33
2.5.3 Alokácia objemu dát dátovým koncentrátorm	36
2.6 Topológia zbernej IP siete	37
2.6.1 Rozdelenie oblastí	37
2.6.2 Rozdelenie IP adries.....	38
2.6.3 Rozdelenie rýchlosti liniek.....	38
2.7 Simulácia dátovej siete	43
2.7.1 Očakávané výsledky	43
2.7.2 Simulovaná topológia	43
2.7.3 Zariadenia a aplikácie	44
2.8 Výsledky simulácie	46
2.8.1 Oblasť O1.....	47
2.8.2 Oblasť O2 a O4	49
2.8.3 Oblasť O3.....	52
2.8.4 Oblasť O5.....	54
2.8.5 Centrálny koncentrátor.....	56

3	Diskusia k výsledkom	58
4	Záver.....	61
5	Zoznam literatúry	62
6	Zoznam použitých skratiek	65
7	Zoznam príloh	67

Zoznam obrázkov

Obrázok 1.1: Principiálna schéma prenosovej a distribučnej sústavy

Obrázok 2.1: Schéma distribučnej energetickej siete 22kV

Obrázok 2.2: Vedenie 22kV s meracími členmi pre vonkajšie použitie

Obrázok 2.3: Kiosková transformačná stanica používaná hlavne v obytných častiach.

Obrázok 2.4: Vonkajší vypínač GVR Recloser

Obrázok 2.5: Principiálna schéma pripojenia cez telefónne vedenie

Obrázok 2.7: GPRS Gateway modul firmy Viola systems

Obrázok 2.8: Principiálna schéma pripojenia cez rádiový spoj.

Obrázok 2.9: Principiálna schéma pripojenia cez vedenie 22kV pomocou technológie PLC

Obrázok 2.10: Porovnanie referenčného OSI modelu s 3 vrstvovým EPA modelom

Obrázok 2.11: Porovnanie modelov medzi sebou

Obrázok 2.12: Implementácia protokolu TCP/IP do rámca IEC 101.

Obrázok 2.13: Štruktúra rámca protokolu IEC 101

Obrázok 2.14: Štruktúra ASDU

Obrázok 2.15: Princíp hierarchickej štruktúry komunikácie staníc podľa protokolu IEC 101

Obrázok 2.16: Štruktúra informačného objektu

Obrázok 2.17: Informačné polia informačného objektu koncovej stanice ITR.

Obrázok 2.18: Rozdelenie oblastí topológie siete

Obrázok 2.19: Význam číslovania IP adresy

Obrázok 2.19: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O1.

Obrázok 2.20: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O2.

Obrázok 2.21: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O3.

Obrázok 2.22: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O4.

Obrázok 2.23: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O5.

Obrázok 2.24: Principiálne zapojenie oblasti v simulovanej topológii

Obrázok 2.25: Rozloženie komponentov v simulačnom prostredí s detailom podoblasti 3 - O1.

Obrázok 2.26: Rozdiel parametru Koncové oneskorenie prenosu dát a Odozvy aplikácie

Obrázok 2.27: Odozvy aplikácie vypínača s aplikáciou SW pri rôznom smerovaní.

Obrázok 2.28: Odozvy aplikácie ITR bezdrôtových klientov podoblasti 1 pri zmene kapacity linky medzi AP-prepínač/AC4-CC.

Obrázok 2.29: Odozva aplikácií koncových staníc pri navýšení kapacity modelov liniek v podoblasti 2.

Obrázok 2.30: Odozvy aplikácií SW koncových staníc simulujúcich vypínače.

Obrázok 2.31: Oneskorenie prenosov správ poruchových stavov medzi koncovými stanicami a centrálou.

Obrázok 2.32: Odozva aplikácií vypínačov pripojených cez mobilnú sieť

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Ideálny rádiový dosah

Tabuľka 2: Zoznam informačných elementov

Tabuľka 3.: Dátový výstup koncových staníc za 1s

Tabuľka 4.: Dátové objemy prenášaných informácií z prístupových koncentrátorov

Tabuľka 5.: Dátové objemy prenášaných informácií z distribučných koncentrátorov

Tabuľka 6.: Dátové prenosy simulovaných aplikácií

Tabuľka 7.: Získané hodnoty oneskorenia prenosov

Tabuľka 8.: Hodnoty odoziev a oneskorenia pre oblasť O2

Tabuľka 9: Hodnoty odoziev a oneskorenia pre oblasť O4

Tabuľka 10.: Hodnoty odoziev a oneskorenia pre oblasť O3

Tabuľka 11.: Hodnoty odoziev a oneskorenia pre oblasť O5

Tabuľka 12.: Hodnoty odoziev staníc pripojených cez mobilnú sieť

ÚVOD

Vstavané informačné systémy elektrických distribučných sietí cez rozľahlé siete je rozšírenie tradičných energetických systémov s pridaním sledovania, kontroly a telekomunikačných schopností. V súčasnosti dochádza k prudkému rozvoju informačných systémov pre distribučné systémy ako elektrických sietí, tak aj vodovodných, plynových, dopravných a iných sietí. Potreba systému, ktorý je schopný merať a sledovať stav takéhoto distribučného systému, je opodstatnená. Preto je potrebný systém, ktorý by splnil všetky tieto úlohy naraz bez veľkého oneskorenia prenášanej informácie.

Tradičné metódy distribúcie informácií z meracích staníc do centrálnych riadiacich stredísk je sprostredkované použitím existujúcich silnoprúdových vedení k prenosu dátových tokov. Nevýhoda takéhoto systému je, že v prípade poruchy alebo výpadku nejakej trasy, zanikne aj komunikačný kanál a bez záložných systémov je náročné vzniknuté problémy riešiť bez dostatku informácií o probléme. Preto dnes väčšina energetických spoločností pristupuje k modernizácii svojich sietí formou výstavby monitorovacích sietí, ktoré plnia funkciu spoľahlivého prenosu informácií s nízkym oneskorením, nezávisle od stavu meranej siete.

V súčasnosti je najpoužívanejší systém, ktorý spája všetky kontrolné a riadiace prvky pod jeden synchronizovaný systém, s názvom SCADA. Základom každého SCADA systému je funkčná IP sieť (alebo iná sieť), schopná prenosu informácií z terminálov meraných členov. Táto práca sa bude zaoberať návrhom siete pre zber a prenos informácií zo vzdialených terminálov až do centrálného riadiaceho bodu siete. Taktiež prenosom a smerovaním informácií o chybách a poruchách na vedení.

ROZBOR ZADANIA

Znenie zadania:

„Rozeberte problematiku sběru dat na rozsáhlém území v prostředí sítí IP. Zaměřte se na hierarchický systém sběru dat s koncovými zdroji dat, sběrnými uzly a centrálním uzlem. Navrhněte vhodné typy předzpracování dat sběrnými uzly vhodné pro sledování energetických sítí. Uvažujte případně i s alternativními datovými sítěmi a respektujte požadavky na zabezpečení přenosu požadovaného objemu dat, priority přenosu, obsluhu havarijních stavů na energetické síti. Proveďte vhodné simulace demonstrující funkčnost navrženého řešení.“

Práca spracováva zadanie nasledovne podľa dohodnutého postupu. V prvej časti je rozobratá problematika spôsobu distribúcie elektrickej energie a načrtnutý súčasný stav sietí a možnosti.

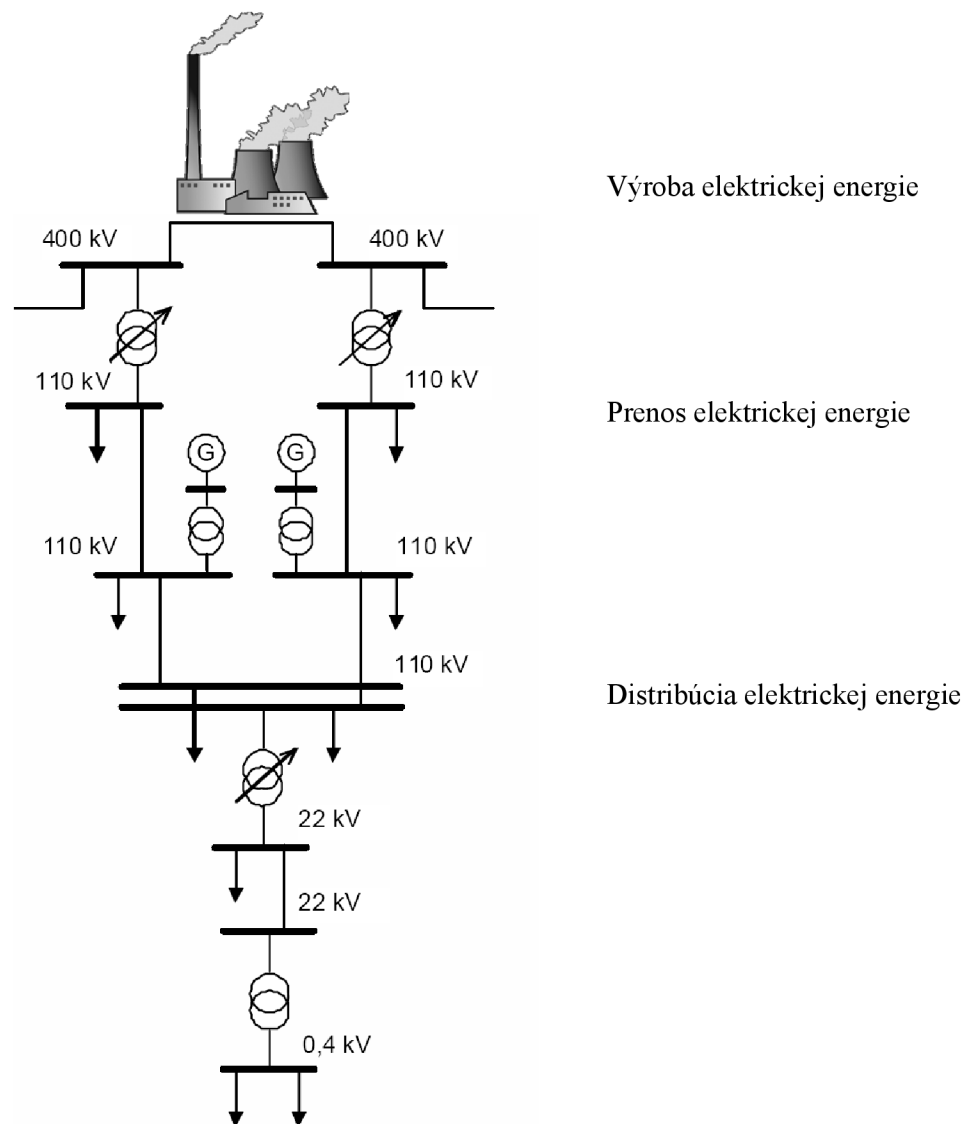
Ďalej je navrhnutá fiktívna distribučná sieť elektrickej energie, ktorá pozostáva z transformátorových staníc, vedenia a vypínačov vysokého napätia. Pre túto sieť je navrhnutá hierarchická zberná dátová sieť na základe protokolu IP, pozostávajúca z koncových komunikačných zariadení, protokolárne vybavených na komunikáciu cez IP. Koncové uzly sú pripojené na stredové body, kde sú umiestnené zberné dátové jednotky (koncentrátory), ktoré z koncových zariadení zbierajú údaje meraných veličín. Dáta sú zoskupené v rámci používaných protokolov a posielané ďalej do nadradenej zbernej dátovej jednotky v pravidelných časových intervaloch, kde sú znovu zoskupené a poslané do hlavného centrálného bodu. Následne sú definované dátové prenosy pre jednotlivé koncové body, časové intervaly vysielania a navrhnuté minimálne šírky prenosových pásiem pre modelovanie situácie. Koncové a zberné jednotky sú prepojené tromi technológiami, je však kladený dôraz na využitie súčasne dostupných prostriedkov energetiky.

Teoretický návrh je doplnený o simuláciu navrhnujetej siete v prostredí Opnet modeler s následnou diskusiou a rozobratím získaných výsledkov.

1 ENERGETICKÉ SIETE

1.1 Rozdelenie energetických sietí

Distribučná sústava je časť elektrizačnej sústavy, z ktorej sú priamo napájaní veľkí odberatelia elektrickej energie a slúži tiež na distribúciu elektrickej energie k ostatným odberateľom. Pre distribúciu elektrickej energie v Českej republike sa využívajú elektrické siete s napätím 110 a 22 kV a už dosluhujúcim napätím 6 kV. Princiálne sa celá prenosová sústava delí na 3 základné časti: výroba, prenos a distribúcia el. energie. Princiálna schéma prenosovej a distribučnej sústavy je zakreslená na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Princiálna schéma prenosovej a distribučnej sústavy

1.1.1 Súčasný spôsob komunikácie v energetických sieťach

Systemy na úrovni výroby elektrickej energie

Dátové siete na úrovni výroby elektrickej energie sú riešené v rámci jednej lokality (areálu elektrárne). Interná komunikačná sieť nie je pripojená do vonkajšej siete, zariadenia a servery dispečingu sú fyzicky oddelené od siete dohľadu nad prenosovou sústavou. Tieto opatrenia sú zavedené z dôvodu bezpečnosti a zamedzeniu neautorizovanému prístupu k informáciám a komunikácii na sieti. Siete na tejto úrovni sú riešené rýchlymi komunikačnými spojmami, umožňujúce realtime sledovanie zariadení. Dispečerské systémy musia spĺňať požiadavky na automatizované systémy dispečerského riadenia, ktorými sú napríklad: redundancia komunikačných spojov (zdvojovanie fyzických kanálov), zrkadlenie obsahov diskových polí OPC databázových systémov, záložné napájanie zariadení (UPS) atď. Vzhľadom na relatívne malý rozsah siete v rámci areálu elektrárne sa najčastejšie používajú zariadenia a systémy pre priemyselný ethernet (IEC 61850-3)[1].

Systemy na úrovni prenosu elektrickej energie

Prenosová sústava predstavuje subsystém elektrizačnej sústavy. Prenosovú sústavu Českej republiky vlastní ČEPS, a.s. a tvorí ju 37 prenosových zariadení pre prenos 400/220kV. Sledovanie týchto zariadení je zväčša realizované meracími zariadeniami poprepájanými vysokorýchlostnými optickými spojmami na väčšie vzdialenosti medzi zariadeniami a centrárou. Jednotlivé kratšie úseky prenosových sústav samostatne sledované nie sú, iba v prípade ochranného vypínača alebo rozvodne. Parametre siete sú automatizovane dopočítavané[2].

Systemy na úrovni distribúcie elektrickej energie

Distribučná sieť zabezpečuje rozvod elektrickej energie ku koncovým užívateľom a z pohľadu elektrizačnej sústavy je najkomplexnejšia a najrozsiahlejšia.

Rozdeľuje sa na primárnu a sekundárnu distribučnú sieť. Primárna je orientovaná na veľkoodberateľov (továrne, železnice atď.), sekundárna na koncových komerčných spotrebiteľov (domácnosti, komerčná sféra atď.), ktoré sú transformované na hodnoty nízkych napätí 400V. Tieto siete sú rozdelené na regionálne rozvodne, ktoré vlastní elektroenergetické spoločnosti, ktoré zabezpečujú chod a sledovanie takýchto sietí. V súčasnosti prebieha modernizácia distribučných sietí, ktoré v minulosti nemali priamo zavedený dátový systém sledovania a zberu dát.

System HDO (Hromadné diaľkové ovládanie)

Koncoví užívatelia, ktorí používajú elektrickú energiu na vykurovanie, ohrev vody atď., majú rôzne tarify za elektrickú energiu cez deň a noc. Prepínanie tarifu sa v minulosti riešilo elektromechanickými spínacími hodinami, ktoré v danej dobe prepínali medzi tarifným pásmom. Nevýhoda spočívala najmä v prípade zmeny tarifu, bolo nutné ručne meniť časy prepínania

každých hodín samostatne. V poslednej dobe sú využívané systémy HDO u koncových užívateľov a domácnostiach. Výhodou tohto systému je, že k prepínaní tarifu nie sú potrebné hodiny a spínanie je synchronizované dodávateľom.

Jedná sa o systém prenosu povelov a riadiacich impulzov cez silové vedenie (PLC) smerom k užívateľovi. Povedy sú vysielané do distribučných rozvodní 110/22kV a prenášané každou fázou až ku koncovému zákazníkovi. Signál povelu je modulovaný na nosnú vlnu 50Hz, ktorý sa šíri do celej siete[3].




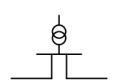
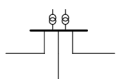
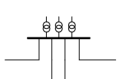
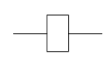
Systém HDO sa okrem tarifovania koncových spotrebiteľov používa aj na riadenie zapínania a vypínania iných spotrebičov v sieti ako napríklad verejné osvetlenie, osvetlenie reklám, dopravného značenia, elektromotorov, čerpadiel a pod.

2 NÁVRH A SIMULÁCIA DÁTOVEJ SIETE

2.1 Situačná schéma distribučnej siete

Pre účel návrhu zbernej dátovej IP siete pre energetickú distribučnú sieť 22kV je vhodné použiť za základ konkrétnu schému alebo mapu takéhoto distribučného systému. Keďže situačné schémy nie sú dostupné pre verejnosť, vytvoríme si takúto schému sami na základe poskytnutých dispečerských máp distribučného systému 22kV Brna a jeho okolia of firmy E.ON. Na základe týchto informácií úpravami a zmenami (pôvodná schéma je komplexná) navrhujeme jednoduchšiu situačnú schému distribučného systému transformátorových staníc 22kV rozdelenú na 5 oblastí, ktorá je zobrazená na obrázku 2.1.

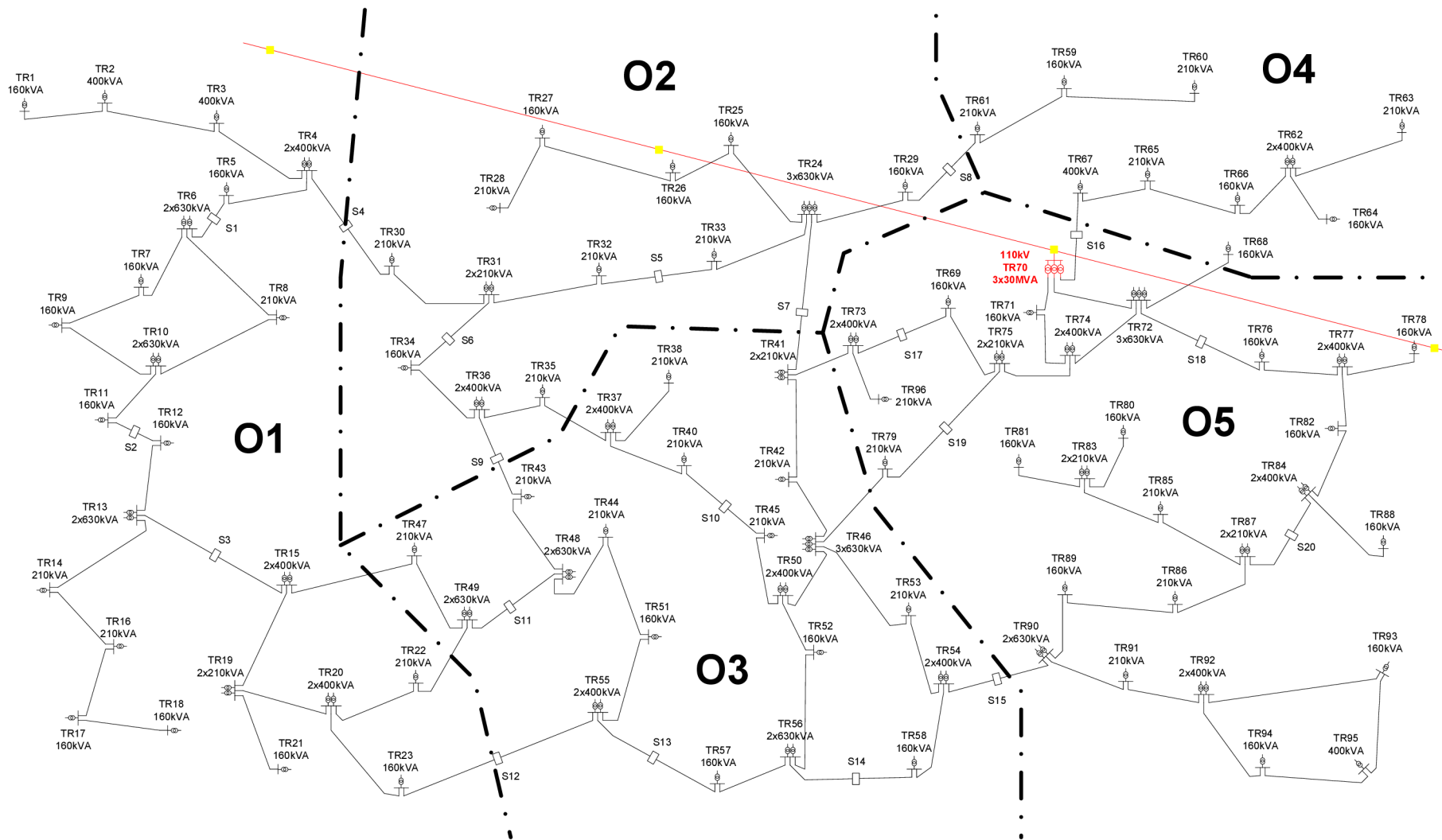
Popis jednotlivých prvkov schémy je uvedený nižšie:

	- vedenie 22kV
	- vedenie 110kV
	- koncová 1-transformátorová stanica 22kV
	- zvodová 1-transformátorová stanica 22kV
	- zvodová 2-transformátorová stanica 22kV s jednou odbočkou
	- zvodová 3-transformátorová stanica 22kV s dvomi odbočkami
	- vypínač vysokého napätia

2.1.1 Vedenie 110kV

Hlavný prívod je realizovaný zvodom z vedenia 110kV výkonovým transformátorom 110/22kV. 110kV vzdušné vedenie je merané po určitých úsekoch (určíme si 10km). Meranie môže byť realizované zvodom z vedenia prístrojovým transformátorom a pripojením na elektronickú ochranu, ktorá umožňuje pripojenie na dátovú sieť. Zariadenia môžu byť inštalované na stožiaroch 110kV do inštalčných skriní.

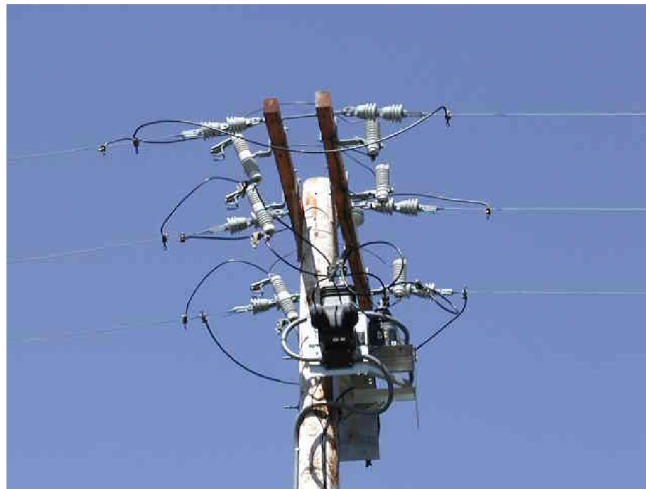
Obrázok 2.1: Schéma distribučnej energetickej siete 22kV



Meracie ochrany majú možnosť napájania priamo meranou veličinou s relatívne nízkou spotrebou. Záložné napájanie môže byť realizované pomocou záložných zdrojov, alebo dobíjateľných článkov pre prípad poruchy na vedení, alebo výpadku napájania.

2.1.2 Vedenie 22kV

Prívody distribučnej siete 22kV sú realizované vzdušným alebo podzemným prívodom. Stožiarové vedenia je možné merať priamo na stožiaroch vysokého napätia prevodom prúdov a napätí cez prístrojové transformátory a pripojenými ochranami s dátovými jednotkami[4] (Obrázok 2.2). Stožiarové transformačné stanice môžu využiť svoje polozenie nad zemou k lepšiemu príjmu bezdrôtového signálu, pri komunikácii pomocou rádiových vln.



Obr. 2.2: Vedenie 22kV s meracími členmi pre vonkajšie použitie

Podzemné vedenie má zvyčajne vývod v pozemnej transformátorovej stanici, príkladne zobrazené na obrázku 2.3. Transformátorové stanice sú obvykle vybavené:

1. Hlavné transformátory (regulovateľné alebo neregulovateľné).
2. Prístrojové transformátory.
3. Rozvodné a kompenzačné zariadenia (rozvodnice, kondenzátory, tlmivky atď.).
4. Ochrany a vypínače (bleskoistky, zvodiče, reaktory atď.).
5. Spoločné zariadenia.

Medzi spoločné zariadenia okrem iných patria aj zariadenia na ovládanie, meranie, signalizáciu a registráciu prevádzkových stavov, dispečerské komunikačné zariadenia a systém pre hromadné diaľkové ovládanie (HDO) a ostatné zariadenia s dátovými jednotkami a rozhraniami.

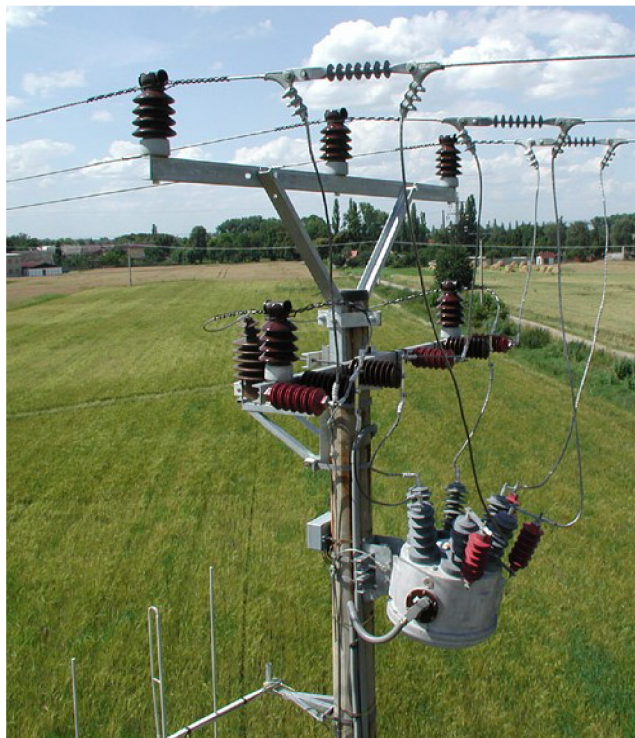
Výstupy dátových jednotiek môžu byť v rôznych formátoch – závisí od konkrétneho použitého modelu, väčšina však podporuje komunikáciu cez protokoly IEC 61850-5-101/104, DNP 3.0 atď. K prenosu sa môžu použiť telefónne linky, ktoré majú energetické spoločnosti vo vlastníctve, alebo prenajaté dátové okruhy pevných liniek, alebo rádiových služieb mobilných operátorov.

Pri nedostupnosti ani jednej z dátových služieb je možné použiť komunikáciu cez samotnú energetickú sieť. Tento spôsob má výhodu v jednoduchosti implementácie za relatívne nízke náklady, avšak jeho hlavná nevýhoda spočíva v tom, že v prípade poruchy na vedení alebo skrate, kedy dôjde k odpojeniu trasy, zaniká komunikačný kanál a spojenie zanikne.



Obr. 2.3: Kiosková transformačná stanica používaná hlavne v obytných častiach

Vysokonapäťové vypínače sa nachádzajú v každej transformátorovej stanici (pozemnej alebo stožiarovej), zapojené pred transformátorom, ktoré slúžia ako ochrana pri poruchách a skratoch na vedení. Ďalšie vypínače (tzv. recloser) sa nachádzajú na samotnej trase a slúžia ako ochranné vypínače v prípade porúch na vedení spôsobených prírodou (zásah bleskom, vietor, konáre stromov).



Obr. 2.4: Vonkajší vypínač GVR Recloser

Takéto vypínače sú zvyčajne plne automatizované a diaľkovo riaditeľné operátormi. Najčastejšie sa nachádzajú na stožiaroch, a preto je dátová komunikácia riešiteľná pomocou napr. rádiových sietí[5]. Na obrázku 2.4 je zobrazený plynový vypínač 22kV s vývodmi pre telekontrolu/monitoring.

2.2 Definícia koncových bodov

Uvažujeme, že koncové body v sieti, sú všetky zariadenia pripojené do zbernej dátovej siete s koncovou adresou a schopnosťou komunikovať s nadradeným systémom. Bude sa jednať predovšetkým o komunikačné jednotky, ktoré budú prepojené s meracou aparatúrou, ktorá zahrňuje:

- **indikátory skratových prúdov a zemných spojení,**
- **elektromery,**
- **PQ monitory.**

2.2.1 Indikátory skratových prúdov a zemných spojení

Indikátory skratových prúdov a zemných spojení slúžia na signalizáciu porúch na vedeniach vysokého napätia (napr. porušenie káblovej trasy VN). Princíp spočíva v sledovaní impedancie medzi zemou a vodičom alebo medzi fázami navzájom. Umožňuje tak presnejšie lokalizovať miesto poruchy. Používajú sa hlavne v kruhových alebo radiálnych distribučných sieťach.

2.2.2 Elektromery

Elektromery sú zariadenia, ktoré sledujú každú fázu vedenia samostatne a vyhodnocujú prenášanú energiu distribučným systémom. Hlavné merané parametre sú hodnota napätia a prúdu. Digitálne elektromery dokážu automatizovane vyhodnocovať činný výkon a ukladať namerané hodnoty na úložné médium (napríklad flash karty a pod.)

2.2.3 PQ monitory

PQ monitor sleduje napätia a prúdy každej fáze. V prípade nevyváženého zaťaženia môže merať aj neutrálny vodič. Základný merací systém sleduje zmenu hodnoty napätia a prúdu, prepätia a frekvencie (príp. harmonické zložky) každej fázy, z ktorých vyhodnocuje účinník. Takýto monitoring kvality umožňuje vykonávať lepšie plánovanie údržby, lepšie hospodárenie s energiou, riadenie kvality a nákladov.

2.3 Definícia komunikačných rozhraní

Komunikácia medzi komunikačnou jednotkou a samotným meracím zariadením je zvyčajne riešená cez sériové rozhrania (napr. RS-485), s telemetrickými proprietárnymi

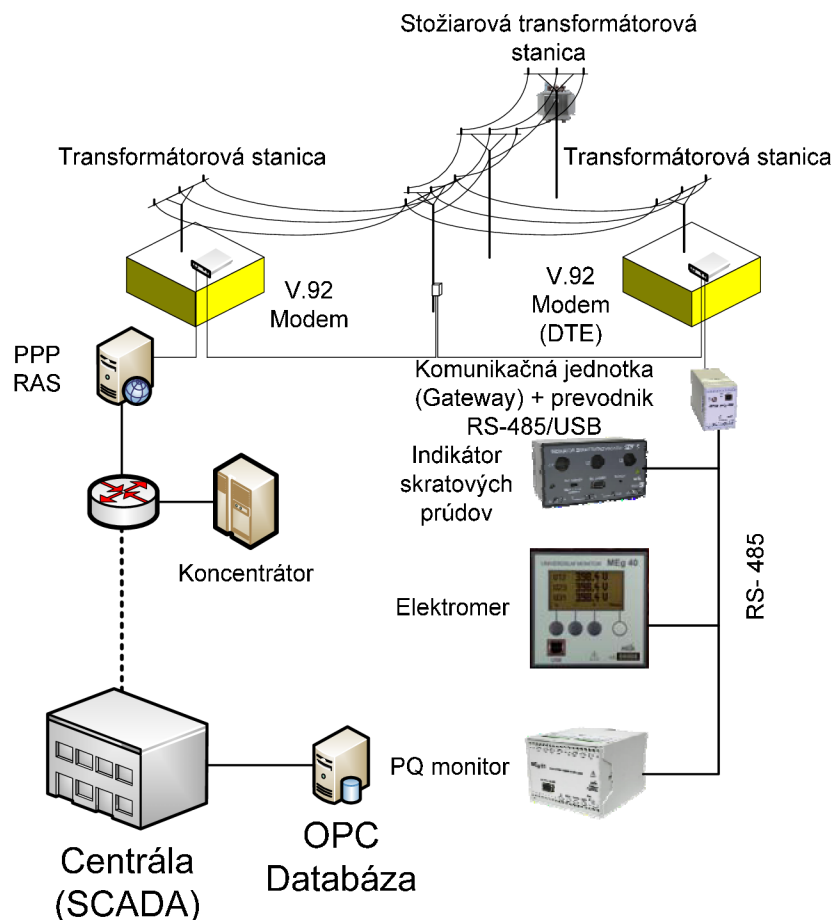
protokolmi alebo protokolom IEC 60870-5-101. Komunikačná jednotka môže byť pripojená na zbernú dátovú sieť jednou z nasledujúcich technológií:

- cez telefónnu sieť (V.92, ISDN, xDSL, atď.),
- cez GSM sieť (GPRS,EDGE/EGPRS, atď.),
- cez bezdrôtovú sieť (WiMAX, WiFi, Zigbee, TETRA, atď.),
- cez energetickú sieť vysokého napätia (BPL/PLC).

Tieto technológie sú komerčne dostupné a ich implementácia závisí na podmienkach a stave konkrétnej časti riešenej siete.

2.3.1 Pripojenie cez telefónnu sieť

Pripojenie zbernej siete cez telefónnu sieť je jedna z najdostupnejších technológií telekomunikačných služieb cez pevné káblové vedenie. V súčasnej dobe veľa transformátorových staníc má zavedené vlastné telefónne pripojenie, ktoré je využívané k poskytovaniu hlasových služieb pri servise rozvodní. Na obrázku 2.5 je zakreslená principiálna schéma telefónneho pripojenia. Pomocou takýchto telefónnych liniek je možné realizovať dátové pripojenia na vzdialenosti cca. 4km od rozváždžacej ústredne alebo modemu [6].



Obr. 2.5: Principiálna schéma pripojenia cez telefónne vedenie

Pripojenie môže byť realizované použitím modemov analógového signálu cez telefónnu linku priamo medzi sebou alebo s použitím telefónnej ústredne (ak existuje). V súčasnosti sú dostupné telefónne ústredne so zabudovaným prístupovým serverom (RAS), pomocou ktorého je koncový bod spojený s bránou spojením typu bod-bod, protokolom PPP (Point-to-Point Protocol). Za predpokladu, že komunikácia bude prebiehať len medzi koncovým zariadením (komunikačná jednotka) a nadradenou stanicou (v našom prípade zberný koncentrátor), je možné použiť zariadenia umožňujúce úzkopásmovú komunikáciu do 56Kbit/s. Modemy splňujúce štandard V.92 [7] [8][9] dovoľujú dátové prenosy s rýchlosťami 56/48kbps a taktiež kompresiu dát V.44 k šetreniu kapacity linky [10].

Pripojenie cez telefónnu sieť nevyžaduje žiadnu inú infraštruktúru okrem samotnej telefónnej siete. Výhodou je dobrá dostupnosť a odolnosť voči rušeniu. Limitujúci faktor, je útlm vedenia, ktorý je závislý na vzdialenosti od najbližšieho rozvodu ústredne, od ktorej sa odvíja aj samotná prenosová rýchlosť medzi modemami.

Tento spôsob pripojenia je vhodný pre dátovú komunikáciu s rozvodnými stanicami v predmestských oblastiach alebo dedín, kde sú stanice situované v menších počtoch a vo väčších vzdialenostiach (<5km).

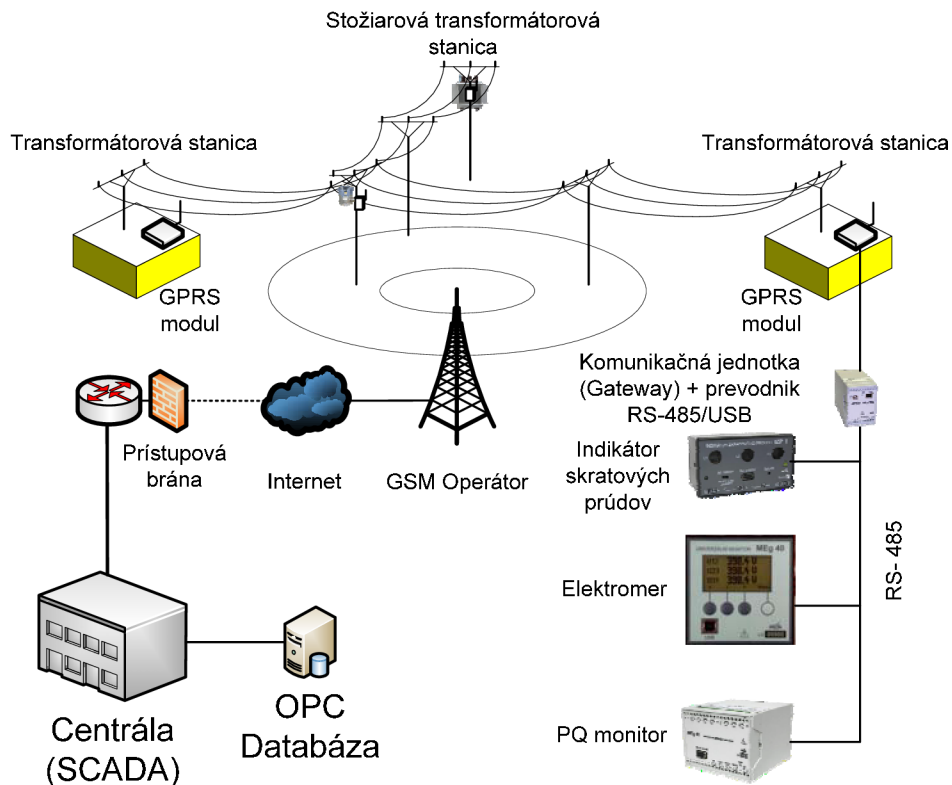
2.3.2 Pripojenie cez GSM sieť

Pripojenie pomocou siete GSM (900/1800MHz) prostredníctvom operátora je jeden z najjednoduchších, najlacnejších a najrýchlejšie implementovateľných možností, ako pripojiť merané zariadenia do zbernej siete. Dostupnosť hlasových a dátových služieb operátora je závislá na pokrytí oblasti rádiovým signálom a zaťažení siete (počtom aktívnych účastníkov). Úroveň signálu taktiež určuje kvalitu a rýchlosť prenosu pri dátových službách. Ak je možné v danej lokalite zabezpečiť pokrytie signálom, bude možné prevádzkovať dátové služby GPRS základných prenosových rýchlostí.

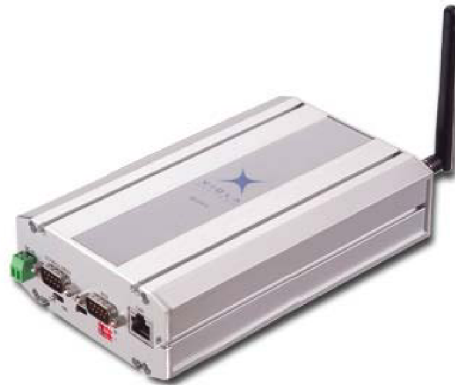
K realizácii dátového pripojenia cez sieť GSM je potrebná komunikačná jednotka (gateway) umožňujúca pripojenie so zbernou dátovou sieťou pomocou GPRS. Ako príklad uvedieme GPRS modul ARCTIC IEC 104 Gateway od firmy Viola systems (Obr. 2.7)[11], ktorá podporuje technológie GPRS, EDGE a 802.3 Ethernet. Modul je kompaktný a je možné ho inštalovať aj do elektroinštalčných skriniek stožiarových staníc. Meracie zariadenia sú pripojené cez štandardné sériové rozhranie RS-485. Prenosové rýchlosti pri GPRS dosahujú 85,6/21,4kbps (class 10), pri EDGE/EGPRS maximálne 236,8/59,2kbps (class 10). Prenosová rýchlosť je okrem úrovne signálu v konkrétnej bunke závislá na momentálnom vyťažení tranzitných zariadení operátora. Na obrázku 2.6 je zobrazená schéma pripojenia koncovej stanice do zbernej dátovej siete cez sieť GSM.

Modul je možné spravovať cez telnet/SSH alebo webové rozhranie. Taktiež je toto zariadenie schopné statického smerovania a prekladu adres (NAT), čím je možné pripojenie ako výstupná brána pre niekoľko meracích zariadení. Taktiež umožňuje vytvoriť tunelové pripojenie pomocou VPN k ochrane prenášaných dát.

Aby bolo možné sa do siete operátora prihlásiť, musí byť modul vybavený SIM toolkitom, ktorý je povinný zabezpečiť operátor s vhodným dátovým programom.



Obr. 2.6: Principiálna schéma pripojenia cez GSM operátora

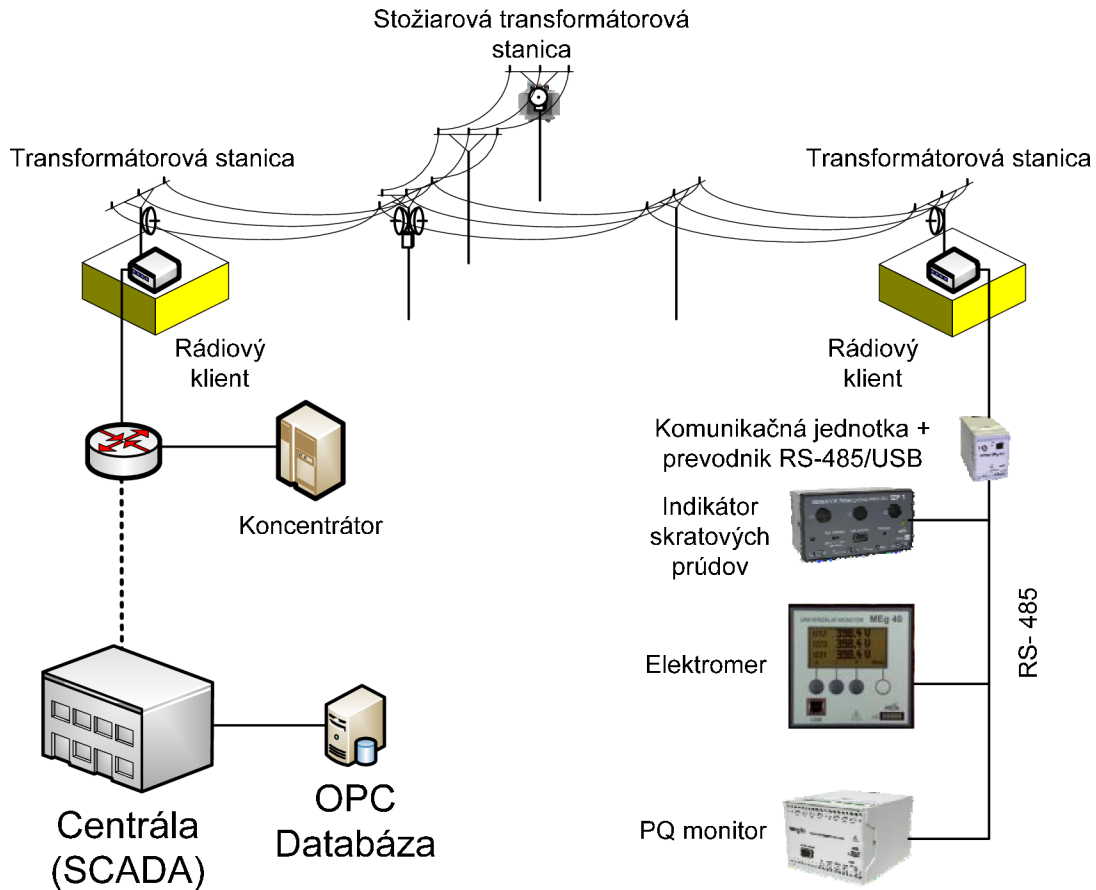


Obr. 2.7: GPRS Gateway modul firmy Viola systems

2.3.3 Pripojenie cez bezdrôtovú sieť

Bezdrôtové pripojenie siete cez rádiové vlny (2-10GHz) poskytuje alternatívu pripojenia cez GSM operátora, avšak služby zabezpečovateľov pripojenia nie sú rozšírené v takom rozsahu pre licencované pásma, ako sú napríklad mikrovlnné pripojenia pomocou technológie WiFi (802.11a/b/g/n) na frekvenciách 2,4 a 5GHz. V husto obývaných oblastiach je pásmo používané

technológiou WiFi preplnené vysielacími, čím dochádza k interferencii vln a následnej fragmentácii prenášaných dát cez komunikačný kanál. Keďže kvalita a rýchlosť prenosu, podobne ako pri GSM, je závislá na úrovni signálu, je WiFi vhodné skôr pre použitie na vysokých stožiarových vedeniach s priamou viditeľnosťou medzi sebou.



Obr. 2.8: Principiálna schéma pripojenia cez rádiový spoj

K vytvoreniu komunikačného kanála rádiového spoja je nutné mať k dispozícii prijímacie a vysielacie zariadenie. Keďže pri IP komunikácii sa jedná o dvojsmerný prenos dát, musia byť zariadenia schopné prijímať a vysielat' naraz. Zariadenia WiFi, ktoré sú voľne dostupné na trhu, fungujú v nelicencovanom pásme 2,4GHz. Metódu prístupu k médiu používajú CSMA/CA a umožňujú obojsmerný prenos dát po 13 komunikačných kanáloch. Pre väčšie vzdialenosti je nutné tieto zariadenia pripojiť na externé mikrovlnné antény, ktoré umožňujú zvýšiť príjem signálu až na niekoľko kilometrov. Na obrázku 2.8 je principiálna schéma pripojenia cez všeobecný rádiový spoj.

V prípade, že chceme prepojiť 2 body (bod-bod) medzi sebou, môžeme použiť smerové antény s malým vyžarovacím uhlom $<10^\circ$ pri horizontálnej polarizácii. Pri týchto anténach je dôležité nasmerovať žiariče priamo na seba prostredím, bez prekážok a v ideálnom prípade, bez porastu (prekážky vo Fresnelovej zóne antén zvyšujú útlm prenosového kanálu). Režim pripojenia v tomto prípade sa nazýva „ad-hoc“, teda samostatné stanice medzi sebou. V situácii, že existuje

oblasť, kde je viac zariadení pri sebe, je možné použiť sektorové antény s vyžarovacím uhlom $<120^\circ$ v horizontálnej polarizácii. V takomto prípade bude zariadenie na strane sektorovej antény fungovať ako prístupový bod, na ktorý sa budú pripájať ostatné klientské stanice. Pri použití všesmerových antén je pokrytie signálu pri horizontálnej polarizácii 360° , teda signál sa šíri do všetkých smerov od vysielača.

Prenosové rýchlosti sa odvíjajú od citlivosti zariadení, úrovne výstupného výkonu rádiových staníc a taktiež zisku antén. Generálna licencia ČTÚ 12/R/2000 so zmenami č. 1 a 2, ktoré sú platné od 1.3.2003, uvádzajú maximálny ekvivalentný izotropický vyžiarený výkon – EIRP (výkon privedený do antény) na hodnotu 100mW, teda 20dBm. Prekračovanie tejto hodnoty za účelom zvýšenia signálu je stíhateľné v rámci platnej legislatívy. Pre konkrétne vzdialenosti je možné teoretickým výpočtom stanoviť maximálnu vzdialenosť, na ktorú môžeme použiť mikrovlnné pripojenie technológie WiFi. V komunikačnom reťazci uvažujeme, že celkový výkon je súčet výkonov/získov mínus straty zvodov, antén a prostredia, plus rezerva, ktorá by mala slúžiť pre prípad vplyvu okolia (dážď, sneh) [12]. Pre výpočet strát okolia môžeme použiť vzťah:

$$L_a = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right), \quad (1)$$

kde d je vzdialenosť antén (m) a λ vlnová dĺžka (m) použitého prenosového kanálu. Ostatné parametre sú špecifické v závislosti od použitých zariadení. Ak nie je možné stanoviť dostatočne vysoký výkon, bez porušenia legislatívy na zabezpečenie minimálnej potrebnej rýchlosti, bude treba použiť iné technológie bezdrôtového prenosu.

Pre rádiovú IP komunikáciu na veľké vzdialenosti ($>10\text{km}$) je možné aplikovať technológiu WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) alebo TETRA (Terrestrial Trunked Radio). Technológia WiMAX definovaná v IEEE 802.16 špecifikuje fyzickú vrstvu od 2 – 66GHz [13] o rýchlostiach (ideálne) 128/56Mbit/s a pre ich využívanie je nutné nadobudnúť licenčné práva. WiMAX vychádza z pôvodného konceptu technológie WiFi, avšak zásadne sa líši v metóde prístupu k médiu (MIMO-SOFDMA) a využitia techník QoS [14].

Technológia TETRA bola pôvodne vyvinutá pre komunikáciu vládnych agentúr, polície, hasičov, ambulancií, armády atď. Primárne mala slúžiť na poskytovanie hlasových služieb (Trunked Radio System) na frekvenciách HF/VHF/UHF.

Sieť funguje na báze komutácie paketov cez rádiový kanál. Klientské rádiové stanice prístupujú ku kanálu pomocou TDMA. Pásmo je zaplnené efektívnejšie ako napr. pri GSM (4 kanály s odstupom len 25kHz), nadviazanie spojenia je veľmi rýchle ($\sim 0,5\text{s}$) a dosah signálu môže byť niekoľko kilometrov, v závislosti od výšky vysielača nad zemou [15] (*Tab. 1*). Prenosové rýchlosti pri základnom režime dosahujú 28,8kb/s, pri rozšírených režimoch (TETRA2) až do 691kb/s.

Tabuľka 1: Ideálny rádiový dosah

Výška antény nad zemou [m]	Dosah k horizontu [km]
15	16
30	23
45	27
60	32
75	35
90	40
105	43

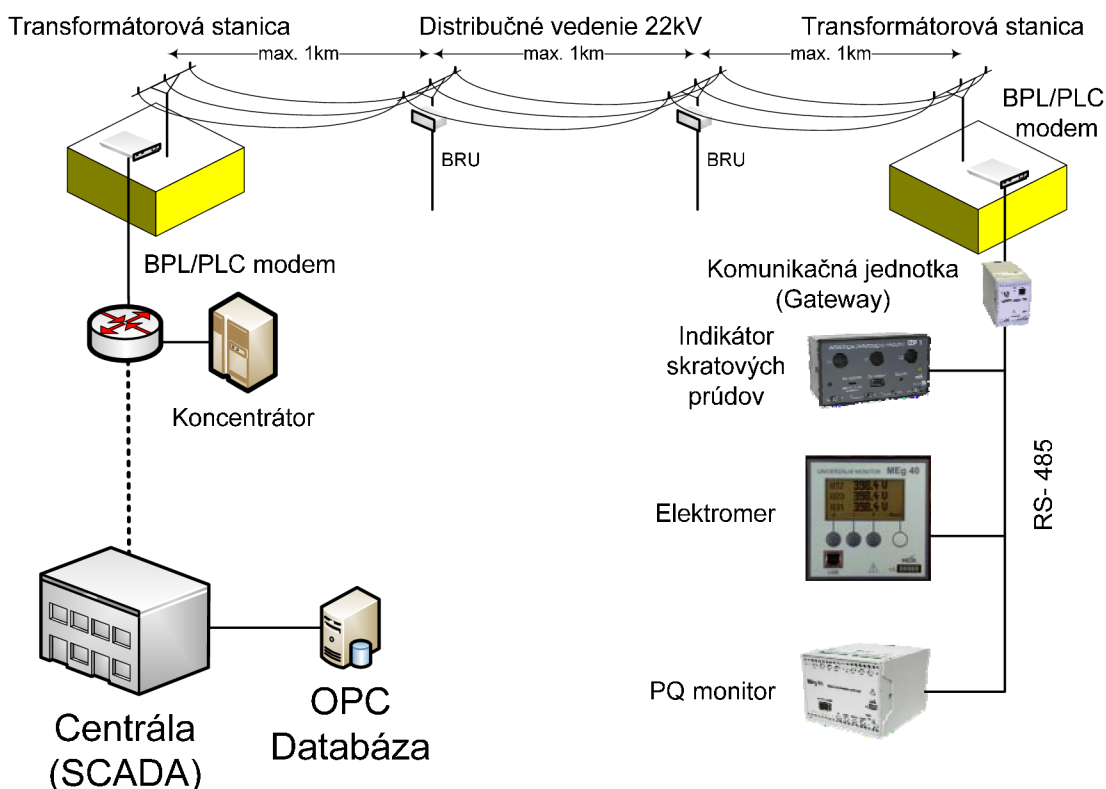
Nevýhoda tohto systému je vysoká cena ako klientských, tak aj vysielačích staníc a v porovnaní s predošlými systémami, nízka prenosová rýchlosť, ktorá je tak isto závislá od vzdialenosti od vysielačej stanice.

2.3.4 Pripojenie cez sieť vysokého napätia

Pripojenie cez silové rozvody distribučnej siete (PLC – Power Line Communication) je vhodné použiť v prípadoch, kedy nie je dostupná žiadna iná alternatíva pripojenia (členitý terén bez pokrytia GSM a dostupnosti PSTN alebo rádiových služieb). Zariadenia koncovej stanice môžu komunikovať s PLC modemom prostredníctvom sériového rozhrania. Modem je pripojený na injektor 22kV (tzv. coupler), ktorý funguje zároveň aj ako ochrana proti prepätiu na vedení [16]. Principiálna schéma pripojenia cez vedenie 22kV je na obrázku 2.9. Meracie zariadenia sú od firmy Mega.

Priemyselné PLC/BPL modemy umožňujú komunikovať cez silové vedenia rýchlosťami až do 200Mbps. Keďže na vedení sa indukujú rôzne šumové signály z okolia, šum vznikajúci teplotným namáhaním vedenia (tzv. biely šum), je prenášaný nosný signál po určitej vzdialenosti degenerovaný, čím sa zvyšuje chybovosť prenosu. K zamedzeniu tohto javu na dlhších trasách sa na vedenie musí inštalovať regenerátor signálu (BRU). Regenerátory firmy IBEC sa inštalujú po každom 1km vedenia [17].

Modemy a regenerátory majú možnosť správy cez SNMP, telnet alebo webové rozhranie. Napájanie je riešené z vedenia s možnosťou pripojenia záložných batérií [18].



Obr. 2.9: Principiálna schéma pripojenia cez vedenie 22kV pomocou technológie PLC

Výhodou takéhoto systému komunikácie je využitie existujúcich vedení ako primárny komunikačný kanál pre prenos dát, avšak v prípade poruchy na vedení komunikačný kanál zaniká a komunikácia je prerušená. Najnovšie priemyselné modemy a regenerátory bývajú vybavené záložným systémom s možnosťou prechodu na rádiový kanál pomocou technológie 802.11 (WiFi), ktorý v prípade straty spojenia dokáže obnoviť spojenie (aj keď s nižšími rýchlosťami).

Limitujúci faktor pre použitie tejto technológie pre prenos dát na veľké vzdialenosti, je nutnosť regenerovať signál po určitom úseku. Tento fakt predurčuje použitie tejto technológie skôr v mestskej zastavanej oblasti, kde sú rozvodné stanice situované vo väčšom počte a menších vzdialenostiach medzi sebou (<1km).

2.4 Definícia zberných bodov

Jeden z najdôležitejších prvkov zbernej siete je zberný bod. Ako zberný bod, resp. zbernú jednotku, môžeme považovať zariadenie, ktoré je pripojené do siete s prístupom k zbieraným dátam. Takéto zariadenie v sieti nazývame dátový koncentrátor (DCU). Hlavnou úlohou dátovej koncentračnej jednotky je zber dát z meračov prívodov rozvodní, stav vypínačov a ostatných meracích zariadení transformátorovej rozvodnej stanice bez obsluhy alebo zásahov človeka. Zozbierané data sú ďalej odosielané do nadradeného systému, ktorý môže byť ďalší koncentrátor alebo centrálny zberný server umiestnený na dispečingu distribučnej siete. DCU sú často umiestňované priamo do rozvodnej transformátorovej stanice s priamym pripojením na meracie zariadenia.

Dátové koncentráto­ry zbierajú informácie, ktoré sú organizované do hierarchickej štruktúry a je z nich možné generovať lokalizované reporty prístupné buď lokálne, alebo vzdialene cez RTU terminály. V súčasnosti sú na trhu rôzne modely koncentrátorov od rôznych výrobcov. Okrem zberu dát umožňujú obojstrannú komunikáciu s meracími zariadeniami a konverziu medzi telemetrickými protokolmi IEC 101, 103, MODBUS, SPA-Bus atď. na protokol IEC 104 [19].

Jedná sa o malý priemyselný počítač s komunikačnými rozhraniami a internou pamäťou pre dočasné ukladanie dát (napr. FLASH disk). Pripojenie na telemetrické zariadenia sú realizované cez sériové rozhrania RS-232/485, lokálna komunikácia s ostatnými zariadeniami je umožnená pomocou SESPL alebo 802.3 Ethernet. Existujú modely, ktoré umožňujú priame pripojenie do siete GSM, čím zlučujú funkciu DCU a komunikačnej brány.

Pripojená meracia aparatúra posiela do koncentrátor­a v reálnom čase alebo v pravidelných intervaloch (napr. 1-5s) dáta meraných veličín, ktoré sú v koncentrátoroch ukladané po určitý časový interval a potom ďalej odoslané do nadradenej zbernej jednotky v pravidelných intervaloch. Samotné časové intervaly sú nastaviteľné.

2.5 Definícia dátových prenosov

Všetky zapojené zariadenia do siete umožňujú komunikáciu na báze protokolu IP. Protokol IP má nespojovaný charakter, tzn. na komunikáciu nepotrebuje vytvoriť komunikačný kanál. Telemetrické protokoly energetiky, konkrétne IEC 101, nepodporujú takýto prenos, nemajú v datagramovej štruktúre definovaný IP a nie je ich teda možné použiť pre komunikáciu cez alternatívne alebo tranzitné siete poskytovateľov pripojenia.

Pôvodný koncept telemetrických protokolov bola schopnosť propagácie cez spojovo orientované spojenie telemetrických zariadení, cez dátovú sieť energetických spoločností. Takéto siete by museli byť vo vlastníctve samotnej spoločnosti alebo prenajímané telekomunikačnými poskytovateľmi. Spojovo orientované služby komerčných poskytovateľov sú aj dnes pomerne drahé na prevádzku a náročné na systémové prostriedky (každé zariadenie by potrebovalo samostatný komunikačný kanál, aby mohlo komunikovať s nadradeným systémom), navyše zariadenia od rôznych výrobcov môžu mať problémy s kompatibilitou.

Siete na báze protokolu IP sú v dnešnej dobe najjednoduchším spôsobom ako prepojiť zariadenia rôznych výrobcov cez široké spektrum technológií prenosu. Pre energetiku bol vyvinutý protokol IEC 104, ktorý umožňuje prenos telemetrických datagramov cez sieť IP[20].

2.5.1 Protokol IEC 60780-5-104

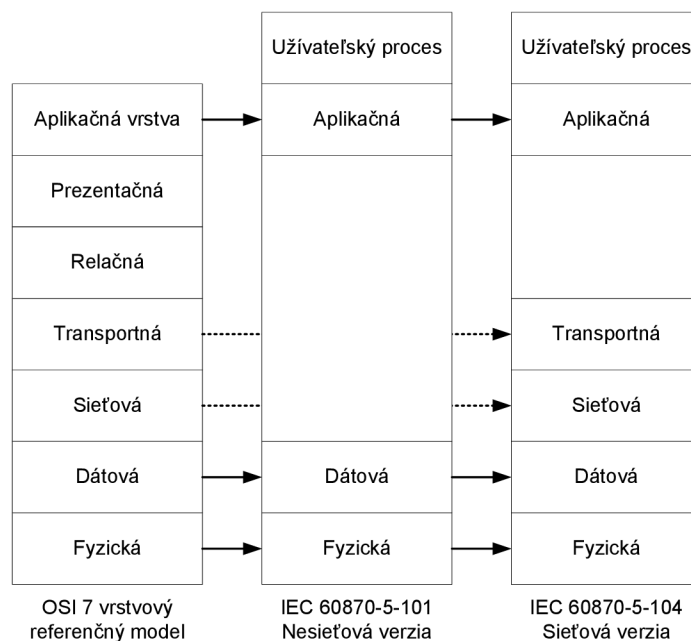
Protokolová sada IEC 60780-5 bola vyvinutá komisiou IEEE v roku 1995, definujúca komunikáciu a riadenie telemetrických systémov SCADA v energetických sieťach. Architektúra tejto protokolovej sady vychádza z OSI referenčného modelu, ktorý je redukovaný na 3 vrstvový EPA (Enhanced Performance Architecture) model. Na obrázku 2.10 je vidieť štruktúru referenčného modelu OSI s 3 vrstvovým EPA modelom. Prakticky sa jedná o OSI model bez

sieťovej, transportnej, relačnej a prezentačnej vrstvy. Na základe týchto faktov je možné tvrdiť, že celý systém je závislý na riadiacom zariadení, respektíve na operačnom systéme, ktorý riadi celú sieť[21].



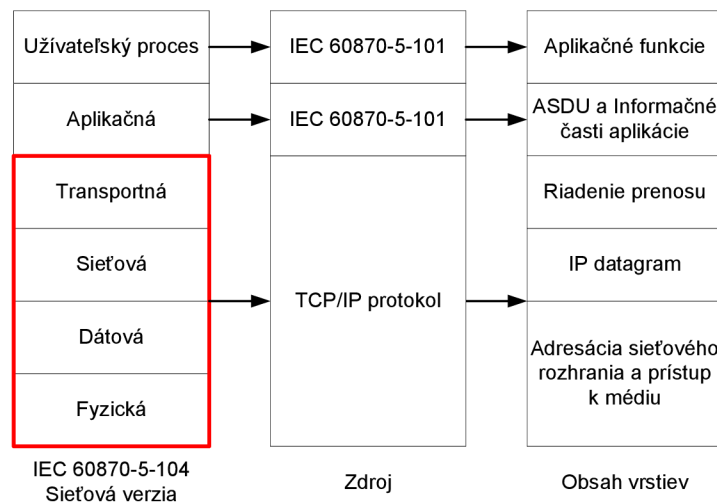
Obr. 2.10: Porovnanie referenčného OSI modelu s 3 vrstvovým EPA modelom

Protokol IEC 60870-5-101 vychádza z navrhutej architektúry EPA a rovnako sa skladá z 3 vrstiev, ako vidno na obr. 2.11. Komunikácia prebieha v režime server-klient - vyvážený (pri spojeniach point-to-point) alebo nevyvážený režim.



Obr. 2.11: Porovnanie modelov medzi sebou

Je vidno, že IEC 101 nemá definovanú sieťovú vrstvu a teda neumožňuje zapúzdrenie do IP datagramu, tým pádom zariadenia komunikujúce na báze IP by takýto prijatý rámec nemohli presmerovať a bol by zahodený. Pri rýchlej expanzii rozširovania sietí na báze IP, doplnila komisia IEEE v roku 2000 protokolovú sadu o sieťovú verziu protokolu IEC 101, ktorý je označovaný ako IEC 60870-5-104. V skutočnosti sa jedná o doplnenie predtým odstránených 2 vrstiev – sieťovej a transportnej, čím je umožnené komunikovať cez verejné dátové siete (obr. 2.12).



Obr. 2.12: Implementácia protokolu TCP/IP do rámca IEC 101

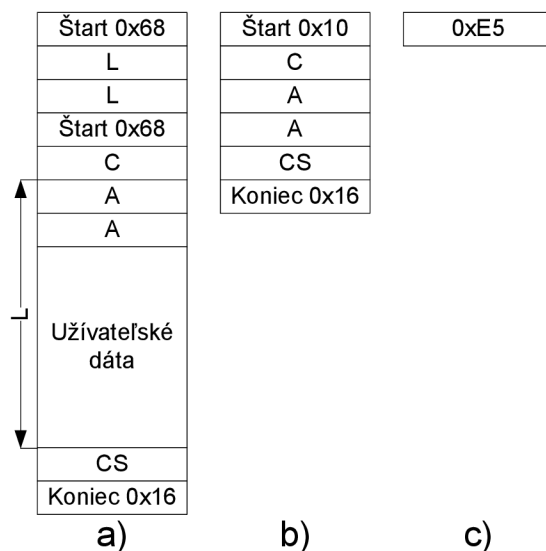
Protokol IEC 104 umožňuje plnohodnotný prenos cez IP (IPv4) siete vďaka protokolu TCP/IP, ktorý okrem kontrolovaného prenosu dovoľuje uplatnenie pravidiel a politik zaobchádzania s paketmi v sieti v rámci technológie QoS.

Štruktúra rámca a nároky na prenos

Rámcový formát, ktorý používa protokol IEC 101, je označovaný ako FT1.2. Tento formát bol definovaný v roku 1990 v sade IEC 60870-5 ako jeden zo štyroch prenosových rámcov používaných v energetike (Transmission Frame Format 1.2).

Štruktúra správy rámca IEC 101 existuje v 3. možných podobách (obr. 2.13):

- a) rámec s variabilnou dĺžkou,
- b) rámec s pevnou dĺžkou,
- c) rámec kontrolného znaku.



Obr. 2.13: Štruktúry rámca protokolu IEC 101

Rámec s variabilnou dĺžkou - môže mať maximálnu dĺžku 261 oktetov (Bajtov), z toho užívateľské dáta tvoria maximálne 253B (maximálna dĺžka rámca sa môže líšiť podľa toho, ako ju definuje výrobca). 8B je teda k dispozícii k definícii samotného rámca. Pole s dĺžkou rámca L sa opakuje dvakrát a musí byť identické, aby bol rámec vyhodnotený ako platný. Adresné pole A môže byť 1-2B dlhé. Pole C obsahuje 8 kontrolných bitov, ktoré určujú charakter rámca, napríklad jedna z nich je trieda dát, ktoré sú delené na 2 druhy – trieda 1 (class 1), dáta s vyššou prioritou a trieda 2 (class 2)[22]. Kontrolný súčet CS tvorí 8 bitov s hammingovou vzdialenosťou 4 bity.

Užívateľské dáta (ASDU) môže obsahovať len rámec variabilnej dĺžky a maximálne jeden za paket. Delí sa na 2 hlavné časti, identifikátor dátovej jednotky a samotné dáta tvorené z jedného alebo viacerých informačných objektov (Obr. 2.14)[23].

Identifikátor dátovej jednotky	Identifikátor typu
	Kvalifikácia premennej štruktúry
	Príčina prenosu
	Spoločna adresa ASDU
Informačný objekt 1	Adresa informačného objektu
	Informačné pole
	Časová značka

Obr. 2.14: Štruktúra ASDU

- Pole identifikátora typu tvorí 8 bitov, definujú typ správy, ako napríklad skupinu riadiaca správa, monitorovacia správa, dátový prenos atď.
- Kvalifikácia premennej štruktúry je pole tvorené 7 bitmi a definuje počet informačných objektov v rámci a spôsob adresácie. 1 bit definuje sekvenciu informačných objektov, ktoré môžu obsahovať každý vlastnú adresu, informačný prvok a časovú značku alebo jednu adresu s časovou značkou pre viac polí s informačnými prvkami.
- Pole s názvom príčina prenosu (Cause of transmission) tvorené 8 bitmi je využívané na smerovanie správy v rámci stanice a komunikačnej siete smerovaním ASDU k správne procesu alebo aplikácií.
- Spoločná adresa ASDU môže byť tvorená 8 alebo 16 bitmi, závislá na konkrétnej implementácii. Spoločná je preto, lebo je rovnaká pre všetky dáta obsiahnuté v ASDU. Štandardne je to adresa stanice, ale v rámci transformátorovej rozvodnej stanice môže byť rozdelená na sektory alebo viaceré logické jednotky, ktoré dáta zbierajú.
- Adresa informačného objektu je prvé pole v informačnom objekte, ktoré identifikuje konkrétne dáta v rámci definovanej stanice. Jej dĺžka je závislá na konkrétnej implementácii a použitých zariadení, pohybuje sa v rozsahu 8-24bitov.
- Informačné pole je svojou štruktúrou najzložitejšie a najväčšie. Spôsob radenia premenných v ADSU je závislý na definícii v nadradených poliach. Maximálna dĺžka ASDU (L) je definovaná na 253B, +2B s adresáciou. Pri odčítaní uvedených povinných polí (253-20B), máme 233B pre premenné v rámci jedného alebo viacerých polí s informačnými prvkami[24].

Rámec s pevnou dĺžkou - tento rámec je obmedzený pre použitie v rámci bez užívateľských dát (ASDU), určený pre kontrolu, riadenie a potvrdzovanie prenosu. Je definovaný kontrolným polom C, dvomi adresami a kontrolným súčtom, ktoré spolu môžu mať maximálne 6B.

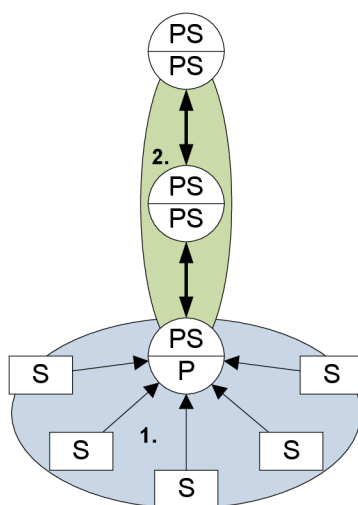
Rámec kontrolného znaku - je rámec dĺžky 1B, ktorý môže byť používaný len pre potvrdzovanie (ACK).

Komunikačná procedúra

V rámci protokolu IEC 101 rozlišujeme 2 základné spôsoby komunikácie medzi zariadeniami, a to[25]:

- **Vyvážená (ballanced) komunikácia.**
- **Nevyvážená (unballanced) komunikácia.**

Stanice v komunikačnom reťazci sú delené na primárne a sekundárne. Termín primárna a sekundárna označuje schopnosť stanice iniciovať prenos cez kanál. Jedine primárne stanice môžu začať komunikáciu, sekundárne stanice musia čakať, pokiaľ nebudú primárnou stanicou vyzvané k prenosu dát. Presnejšie, tieto termíny sú priradené samotným portom staníc, pretože v hierarchickom systéme bude dátová prenosová stanica (napr. stanica s koncentrátorom) fungovať aj ako kontrolná a zároveň ako kontrolovaná stanica. Na obrázku 2.15 je zobrazené príkladné rozloženie fungovania jednotlivých portov staníc v komunikačnej hierarchii označených P - primárne a S - sekundárne.



Obr. 2.15: Princíp hierarchickej štruktúry komunikácie staníc podľa protokolu IEC 101

Oblasť označená ako 1. je komunikácia typu point-to-multipoint. Z toho vyplýva, že stanica P pomocou servisných procedúr vyzýva stanice S k prenosu informácií. Stanice S nemôžu vysielať všetky naraz, pretože pri tomto spôsobe zapojenia by došlo ku kolízii. Preto P stanica môže každú S stanicu žiadať samostatne o dáta podľa potreby alebo v pravidelných časových intervaloch. Táto forma komunikácie sa nazýva nevyvážená. Prerušenie sledu prenosu medzi P a S môže vyvolať hlásenie porúch a kritických hodnôt meracích prístrojov. V takomto prípade stanica S pri poslednom odoslaní rámca zapíše do kontrolného poľa C príznak ACD (access demand bit) na hodnotu 1, čo pre stanicu P automaticky indikuje, že na stanici S sa udiala zmena a sú dostupné dáta triedy 1 (class 1) - s vyššou prioritou, o ktoré si ihneď po prijatí rámca žiada.

V oblasti 2. sú 3 stanice s portami pripojenými ako peer-to-peer, kde žiadna iná stanica nemá prístup k médiu a tým neexistuje možnosť vzniku kolízie signálov. Preto rozhrania môžu fungovať ako P a S zároveň a vysielať prijímať dáta podľa definovanej časovej schémy. Najčastejšie sa môže jednať o cyklickú obnovu meraných hodnôt, v prípade prenosových staníc s koncentrátormi o zber dát s následným možným spracovaním a odoslaním ďalšej stanici v ceste k centrálnemu bodu. V prípade poruchových hlásení sa v prenosových stanicach stanica hlásiaca

poruchu môže porušiť časovú schému prenosu a odoslať rámec okamžite. ACD bit sa nemení a správa je ihneď preposielaná ďalej smerom k centrálnemu bodu.

2.5.2 Alokácia objemu dát koncovým staniciam

Všetky koncové zariadenia v sieti musia byť schopné komunikácie s nadradenými systémami. Dátové prenosy a ich objem sa líši v závislosti od koncového zariadenia a jeho charakteru. Definujeme si dátové objemy pre transformátorové stanice, vypínače a koncentrátory podľa protokolu IEC 101.

Rozbor dátových blokov protokolu

Informácie meraných a stavových veličín sú prenášané v protokole IEC 101 rámcami variabilnej dĺžky v dátovej štruktúre ASDU (Obr. 2.15). Dátové identifikátory štruktúry ASDU budú mať maximálnu dĺžku 5B. Pole kvalifikátora bude nastavené pre jednu adresu celej stanice, ktorá v reáli môže byť závislá na hardvérovej implementácii výrobcu. Pre zjednodušenie ju budeme považovať za fyzickú adresu komunikačnej brány, definovanou maximálne 3B. Rozlíšenie konkrétnych zariadení bude v tomto prípade nutné riešiť softvérovo. Tento prístup umožní úsporu 3B pre adresu a 10B časovej značky, teda spolu 13B, ktoré by museli byť do ADSU vkladané pre každé meracie zariadenie samostatne.

Pole informačných elementov bude obsahovať nasledujúce polia[26]:

Tabuľka 2: Zoznam informačných elementov

Pole	Význam
NVA	Normalizovaná hodnota,
SVA	Škálovateľná hodnota
SEP	Stav ochranného zariadenia
CP16Time2a	16 bitový binárny čas
QPM	Kvalifikátor meraných hodnôt

NVA – normalizovaná hodnota, číslo v rozsahu -1,0 až 1,0, 2x1B

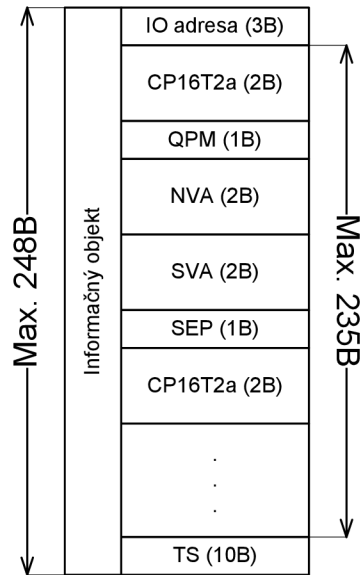
SVA – škálovateľná hodnota, číslo v rozsahu -32768 do 32767, 2x1B

SEP – stav ochranného zariadenia, definuje 4 stavy, ON, OFF a 2 neurčité, 1B

CP16Time2a – čas operácie zariadenia, rozsah hodnôt 0 - 59999ms, 2B

QPM – kvalifikátor meracích informačných objektov, 1B

V rámci ASDU môže mať informačný objekt nasledovnú štruktúru:



Obr.2.16: Štruktúra informačného objektu

Pre každú fázu vedenia budú hodnoty merané samostatne, preto sa polia budú opakovať 3x pre jednu veličinu. Pre každú transformátorovú stanicu budeme uvažovať pre simuláciu meranie napätia U , prúdu I , frekvencie f a prípadne vyhodnocovanie účinníku φ .

Polia NVA a SVA sú závislé na poli QPM, kde je definované, ako sú hodnoty reprezentované. Samotné QPM (Qualifier of parameter of measured values) určuje, že sa jedná o merané hodnoty a zároveň môže priradiť poliam napríklad presnosť. Hodnota SVA je číslo v rozsahu -32768 do 32767 s rozlíšením na 0,1 a NVA dodatočne určovať posun desatinnej čiarky. Napríklad, nameraná hodnota 115,1 je v poli SVA zapísané ako celočíselná hodnota 1151, ktoré sa násobí faktorom rozlíšenia 0,1. QPM umožňuje faktor rozlíšenia zakázať a použiť NVA ako hodnotu rozlíšenia. Toto môže byť vhodné pre nízke hodnoty prúdov alebo účinníku. Pre hodnoty vyššie alebo nižšie ako je rozsah SVA, je možné použiť iné informačné pole, napr. R32 (short floating point number), ktoré umožňuje vyjadriť vysoké alebo nízke číslo zlomkom a mocninami (4B) [27].

Rozdelenie dátových polí koncových staníc

Energetická sieť zakreslená na schéme ako obrázok 2.1, pozostáva zo 4 druhov staníc, teda 4 rôzne koncové body s inými dátovými nárokmi. Štruktúra informačného objektu bude rovnaká ako na obrázku 2.16, s príslušným počtom polí a ich dĺžkami. Ako príklad je na obrázku 2.17 uvedené možné zloženie štruktúry informačných polí pre koncovú 1-transformátorovú stanicu (1TR), kde je merané napätie, prúd, frekvencia a 1x vyhodnocovaný účinník pre všetky fázy.

3xU	3xI	3xφ	f
CP16T2a (2B)	CP16T2a (2B)	CP16T2a (2B)	CP16T2a (2B)
QPM (1B)	QPM (1B)	QPM (1B)	QPM (1B)
NVA (2B)	NVA (2B)	NVA (2B)	NVA (2B)
SVA (2B)	SVA (2B)	SVA (2B)	SVA (2B)
SEP (1B)			

Σ 73B

Obr. 2.17: Informačné polia informačného objektu koncovej stanice 1TR

Sčítaním všetkých dĺžok informačných polí v informačnom objekte ADSU získame počet bajtov potrebných k reprezentácii informácií meraných veličín na vedení v rámci definovaného protokolu. Keďže vedenie je merané dynamicky bez prerušenia, musíme vymedziť časový úsek platnosti hodnoty meranej veličiny. Pre jednoduchosť určíme periodické obnovovanie meraných hodnôt po 1s. Za tento čas je meracie zariadenie schopné zmerať a odoslať informácie cez komunikačnú bránu do nadradeného systému. *Tabuľka 3.* obsahuje súčty dĺžok informačných objektov jednotlivých typov staníc. K vytvoreniu ASDU sa pridáva k informačným objektom identifikátor dátovej jednotky s dĺžkou 8B.

Tabuľka 3.: Dátový výstup koncových staníc za 1s

Typ stanice	Informačné objekty [B]	ASDU [B]
1TR	73	91
2TR	121	139
3TR	169	187
SW	45	63

Pre simuláciu signalizácie poruchového stavu vytvoríme samostatnú aplikáciu, ktorá odosiela 25B dlhý ASDU rámec (7B hodnôt QPM,NVA,SVA,CP16T2a + 18B ASDU) každú sekundu po dobu 60s a s opakovaním po ďalších 60s.

Zber dát z koncových staníc

Nadradený systém pre koncovú stanicu je v našom prípade prístupový dátový koncentrátor (Access Concentrator). Úlohou tohto koncentrátoru je zbierať od koncových zariadení informácie o meraných veličinách, ukladať ich do pamäte, posudzovať ich prioritu a v definovanom časovom intervale posielať informácie svojmu nadradenému systému, v našom prípade ďalší, tzv. distribučný koncentrátor (Distribution Concentrator) v hierarchii. Najvyšší stupeň v hierarchii je centrálny koncentrátor, kde sa zbierajú všetky informácie z distribučných, prístupových koncentrátorov a koncových staníc. V našom prípade bude koncentrátor zariadenie, ktoré od koncových zariadení prijíma informácie, zoskupuje ich a odosiela do nadradeného systému.

2.5.3 Alokácia objemu dát dátovým koncentrátorm

Podľa počtu koncových staníc konkrétneho typu môžeme spočítať dátový objem, ktorý budú jednotlivé koncentrátory prijímať. Nasledovný výpočet uvedieme ako príklad výpočtu odchádzajúceho dátového objemu stanice 1TR do koncentrátora AC1 a ďalej z koncentrátora AC1 do distribučného koncentrátora DC1 so zmenou časového intervalu.

Uvažujeme o štruktúre ADSU (Obr. 2.15) s maximálnou veľkosťou 253B. ADSU je definované dátovým identifikátorom, ktorý má dĺžku 5B, budeme ho označovať *ADSU_headerl*. Informačný objekt po odčítaní identifikátora môže mať maximálnu dĺžku 248B. Túto hodnotu si označíme ako *InfoObj_maxl*. Informačný objekt pozostáva z vlastnej adresy (3B) – *InfoObjAddr*, informačného elementu (max. 235B) – *Info_elements* a časovej známky (10B) – *t_s*. Uvažujeme preto, že každú sekundu ($t=1s$), bude na koncovej stanici vygenerovaný ASDU rámec pozostávajúci z vyššie uvedených polí. Všeobecný výpočet dátového objemu bude nasledovný:

$$ADSU = (Info_elements + t_s + InfoObjAddr).t + nframes.ADSU_headerl, \quad (2)$$

kde *nframes* je počet rámcov potrebných k prenosu informačných elementov:

$$nframes \doteq \frac{(Info_elements + t_s + InfoObjAddr).t}{InfoObj_maxl} \quad (3)$$

Hodnota *nframes* musí byť celá číslo zaokrúhľene smerom nahor. Podľa tejto hodnoty sú informačné objekty doplnené o hlavičky ASDU.

Pre stanicu typu 1TR (TR->AC) bude výpočet nasledovný:

$$ADSU_{1TR}[B] = (73 + 10 + 3).1s + \frac{86}{248}.5$$

$$ADSU_{1TR}[B] = 91$$

Pre prístupový koncentrátor bude dátový objem preposielaný do distribučného koncentrátora jednej aplikácie 1TR za dobu zberu 5s nasledovný:

$$ADSU_{AC}[B] = (73 + 10 + 3).5s + \frac{430}{248}.5$$

$$ADSU_{AC}[B] = 440$$

Z výpočtu vyplýva, že informácie za 5s budú mať 440B a budú odoslané v 2 ADSU rámcoch. V tabuľkách 4. a 5. sú vypočítané hodnoty objemov ADSU rámcov prenášaných z koncentrátorm.

Tabuľka 4.: Dátové objemy prenášaných informácií z prístupových koncentrátorm

Koncentrátor	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
Dáta 5s [B]	3425	2740	3810	4600	2985	5480	2990	2520	4250	2990	3685

Tabuľka 5.: Dátové objemy prenášaných informácií z distribučných koncentrátorov

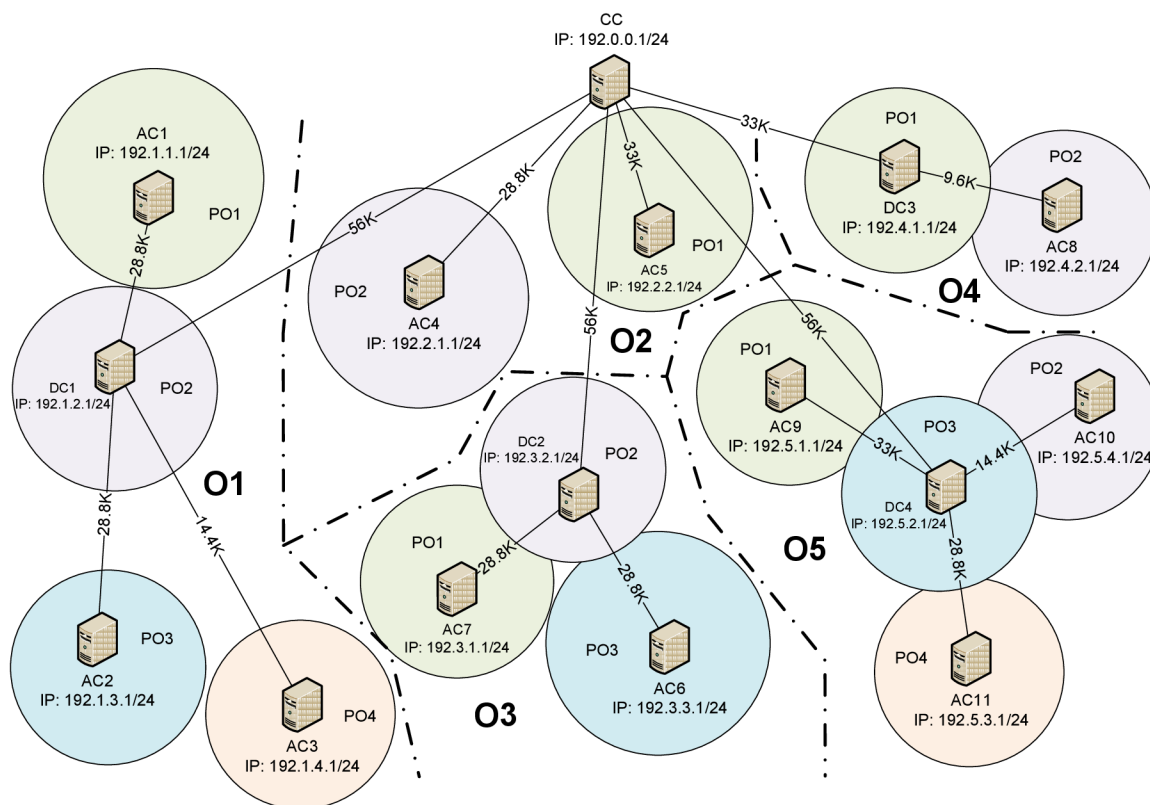
Koncentrátor	DC1	DC2	DC3	DC4
Dáta 5s [B]	12395	13440	4635	16020

Uvedené hodnoty sú dátové objemy informačných rámcov ADSU. Prenos cez zbernú sieť bude zaisťovať protokol TCP/IP, ktorý má definovanú vlastnú štruktúru. To znamená, že rámce ADSU budú zabalené do paketu TCP/IP, a teda objem dát sa zvýši.

2.6 Topológia zbernej IP siete

2.6.1 Rozdelenie oblastí

Topológia riešenej siete vychádza zo schémy distribučnej energetickej siete 22kV z obrázku 2.1. Schéma je rozdelená na 5 veľkých oblastí (Obr. 2.18), s označením O a číslom. Jednotlivé oblasti sú rozdelené na menšie podoblasti, v ktorých sa nachádzajú jednotlivé koncové stanice a koncentrátory.



Obr. 2.18: Rozdelenie oblastí topológie siete

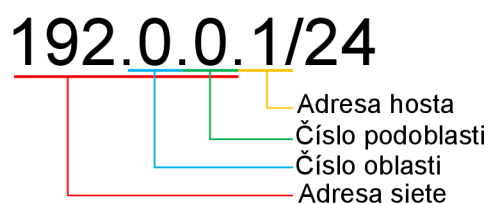
Oblasť O2 je rozdelená do 2 podoblastí, kde sú prístupové koncentrátory pripojené priamo na centrálu. Oblasť O1 pozostáva zo štyroch podoblastí PO, kde každá obsahuje dátový koncentrátor. Podoblasť 2 je prepojená s centrálnym koncentrátorom cez distribučný koncentrátor DC1, ktorý je zároveň aj prístupový (prijíma informácie aj od koncových staníc).

Oblasti O3 a O5 sú principiálne podobné ako O1, a O4 pozostáva z jedného prístupového a jedného distribučného koncentrátora.

2.6.2 Rozdelenie IP adries

K identifikácii koncových staníc, DSU a smerovaniu prenášaných správ sa používa v rámci protokolovej sady TCP/IP, adresa IP verzie 4, pomocou ktorej komunikuje IEC 104 v IP paketových sieťach.

Pre jednoduchšiu orientáciu v topológii volíme formát adresy tak, aby bolo možné identifikovať polohu zariadenia v konkrétnej oblasti siete (Obr. 2.19).



Obr. 2.19: Význam číslovania IP adresy

Prvých 8 bitov adresy definuje rozsah IP adresy, ktorý je volený z triedy C s 24 bitovou sieťovou maskou. Následných 16 bitov adresuje oblasť a podoblasť siete. Posledný oktet slúži k rozdeleniu jednotlivých adries pre zariadenia v sieti. Maximálny počet zariadení v jednej sieti je 254, s možnosťou vytvorenia cca 2 miliónov sietí s vlastnou adresou. Všetky zariadenia majú adresu pridelenú manuálne. Delenie je nasledovné:

- **adresa DCU je vždy prvá v sieti tzn. 192.x.x.1/24,**
- **adresy koncových staníc sú vždy v rozsahu 192.x.x.5 – 253/24,**
- **adresy rozsahu 192.x.x.2 – 4/24 sú určené ako rezerva,**
- **adresa 192.x.x.254/24 je adresa východzej brány (ak je použitá).**

Rezervné adresy sú určené primárne pre iné zberné zariadenia v sieti (záložné koncentrátory), RTU terminály, prístupové body (AP), prípadne úložné zariadenia.

Vo fiktívnej energetickej sieti je navrhovaných 95 koncových staníc, ktoré generujú dátovú podobu meraných veličín siete 22kV, 20 vysokonapäťových vypínačov a 4 merné body siete 110kV. K zhromažďovaniu je vytvorených 15 dátových koncentrátorov s 1 centrálnym bodom. IP adresy jednotlivých zariadení zodpovedajúcich označení sú zapísané v tabuľke v prílohe A.

2.6.3 Rozdelenie rýchlosti liniek

Koncové zariadenia sú v sieti pripojené prevažne cez telefónne linky, 14 zariadení je pripojených pomocou siete GSM, ktoré sú s centrálnym bodom pripojené priamo cez externú sieť

operátora a bezdrôtovú rádiovú sieť použitím prístupových bodov a rádiových klientov. Maximálna rýchlosť spojov koncových bodov v prípade telefónnych spojov je pevne pridelená podľa druhu zariadenia nasledovne:

- **1TR – 14,4kbit/s,**
- **2TR – 28,8kbit/s,**
- **3TR – 28,8kbit/s,**
- **SW – 9,6kbit/s.**

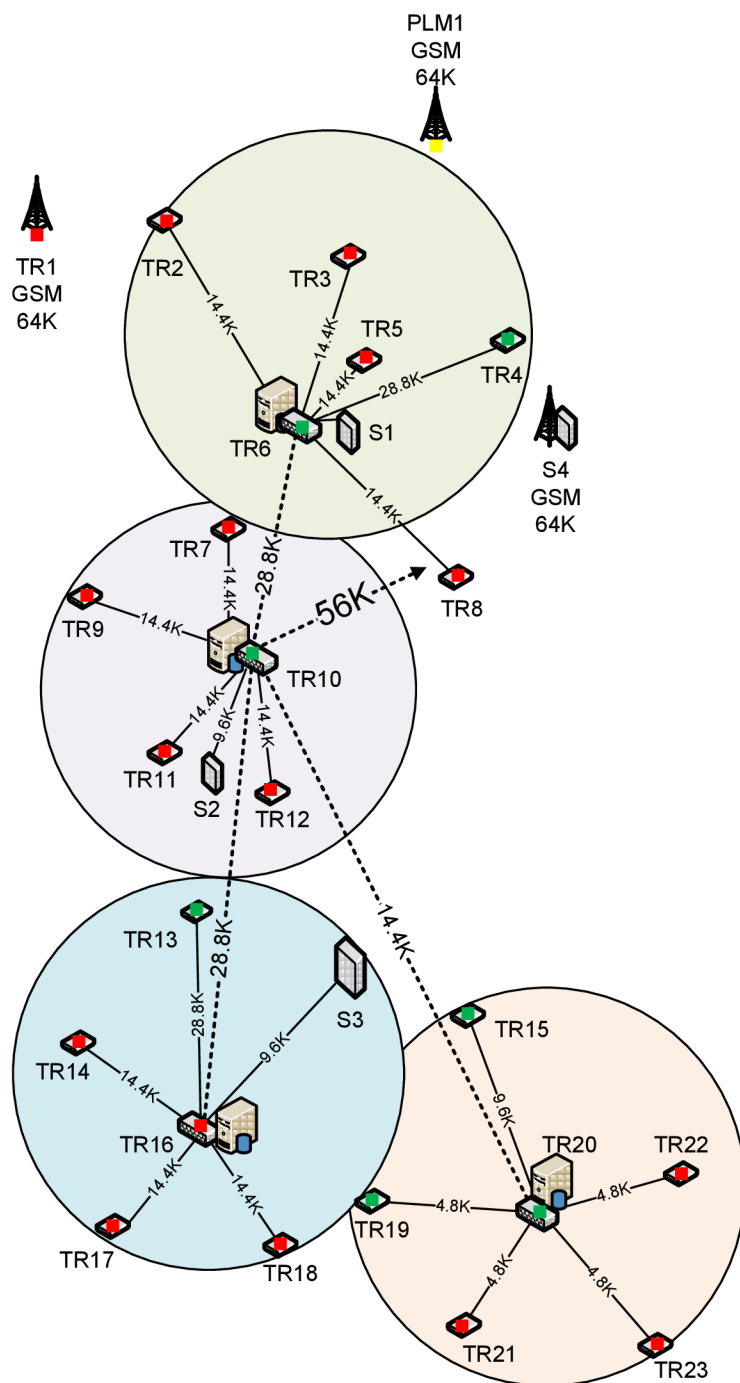
Výnimku tvorí oblasť O1-PO4 a O4-PO2, kde sú koncové stanice prepojené maximálnymi rýchlosťami 2,4 až 4,8kbit/s pre študovanie oneskorenia liniek. Tranzitné spoje medzi koncentrátormi sú obmedzené v rozsahu 28,8 – 56kbit/s (Obr. 2.18).

Situačné rozloženie všetkých zariadení a spojov v oblasti O1 je zobrazené na obrázku 2.19. Šírky pásiem zodpovedajú hodnotám v tabuľke v prílohe A. Spolu sa v O1 nachádza 15 koncových staníc 1TR (označené červenou), 7x 2TR (označené zelenou) a 4x SW (vypínač). Cez GSM komunikujú 3 zariadenia, stanica TR1, vypínač S4 a meracie zariadenie trasy 110kV – PLM1. 3 prístupové koncentrátory s označením AC1-3 posielajú dáta na distribučný koncentrátor DC1, ktorý komunikuje s centrálnym koncentrátorom linkou rýchlou max. 56kbit/s.

Oblasť O2 (Obr. 2.20) pozostáva z 2 prístupových koncentrátorov (AC4,AC5), ktoré priamo komunikujú s centrálou (AC4-28,8kbit/s a AC5-33kbit/s). Jednotlivé podoblasti tvorí 10 staníc 1TR, 2x 2TR a 1x 3TR (označené modrou). 3 stanice sú pripojené bezdrôtovým rádiovým spojom s maximálnou rýchlosťou 1Mbit/s. 5 vypínačov SW, kde S5 a S8 využívajú GSM spoj, spolu z PLM2.

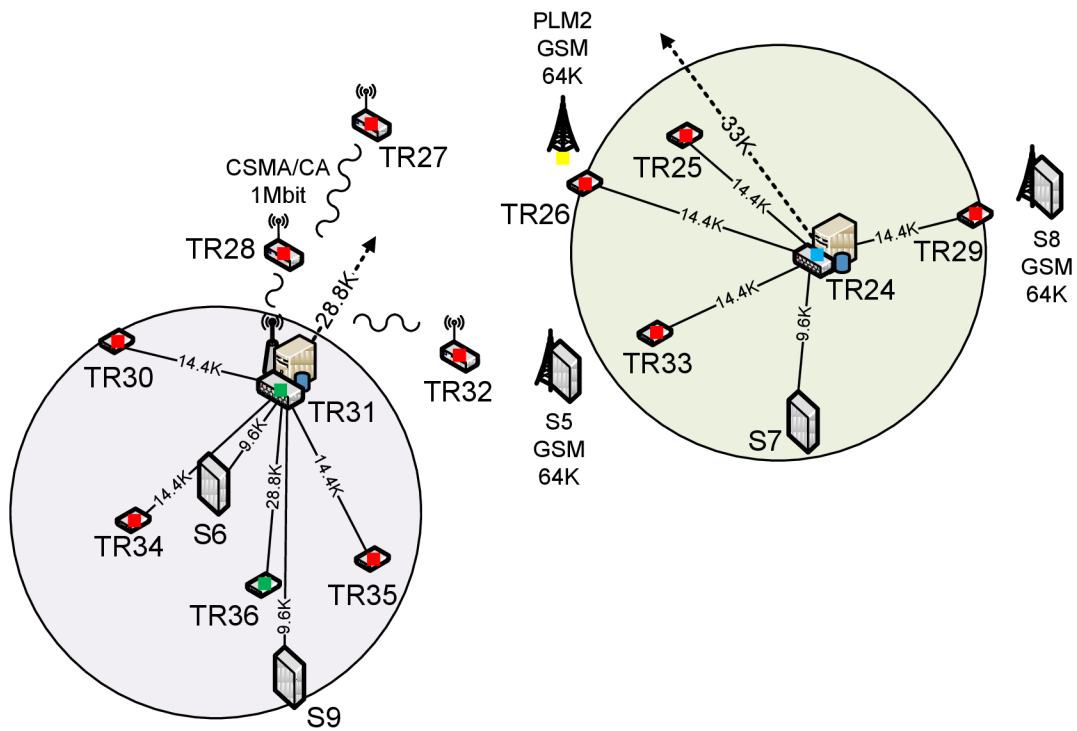
Tretia oblasť, O3, je zložená z 12x 1TR, 8x 2TR, 1x 3TR a 6x SW, z ktorých sú zbierané dáta tromi koncentrátormi (AC6-7 a DC2), následne posielané na centrálu rýchlosťou 56kbit/s (Obr. 2.21). Vypínače S-12,13,15 a TR47 odosielajú dáta cez GSM.

Oblasť O4 (Obr. 2.22) je najmenšou v topológii s 2 podoblastami každá s vlastným koncentrátorom. Spolu 9x1TR a 1x2TR komunikujú s centrálou maximálnou rýchlosťou 33kbit/s. Podoblasť 2 má stanice TR64 a TR66 pripojené úzkopásmovou linkou o maximálnej kapacite 2,4kbit/s pre zistenie vplyvu maximálnej kapacity na oneskorenie prenosu.

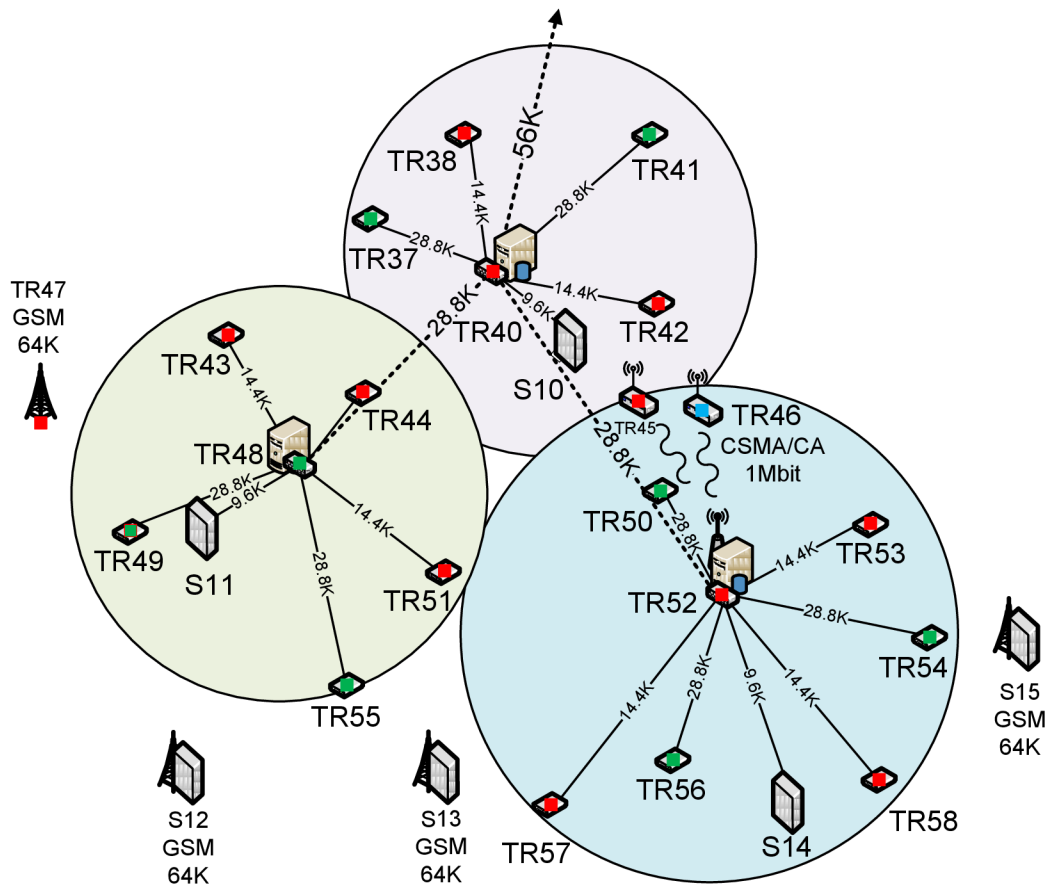


Obr. 2.19: Situačné schéma zapojenia zariadení v oblasti O1

Posledná oblasť O5 (Obr. 2.23), sa skladá z 5 koncentrátorov po jednom v podoblastiach, (AC9-11 a DC4 prepojených rýchlosťou 28.8kbit/s), kde je spolu 17 staníc 1TR, 9x 2TR, 1x 3TR a 5x SW. Pre distribučný koncentrátor DC4 je spojenie s centrálou zabezpečované linkou s rýchlosťou 56kbit/s. Oblasť obsahuje 2 merače trasy 110kV (PLM3-4) komunikujúce pomocou GSM.



Obr. 2.20: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O2



Obr. 2.21: Situačná schéma zapojenia zariadení v oblasti O3

2.7 Simulácia dátovej siete

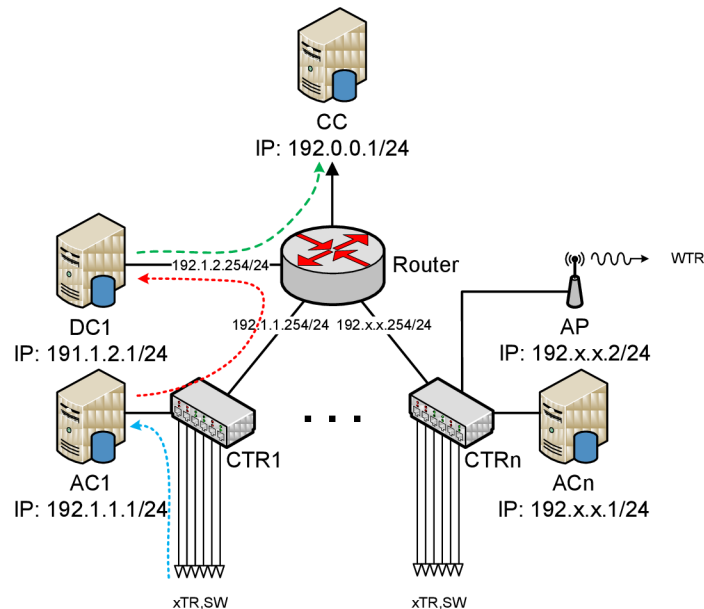
2.7.1 Očakávané výsledky

V simulácii sa zameriame predovšetkým na zistenie časových oneskorení prenosov a času nutného k prenosu informácie zo staníc do koncentrátorov a medzi koncentrátormi navzájom. Pri použití úzkopásmových spojení môžeme očakávať oneskorenie prenosu vyššie. Oneskorenie prenosu je pre nás kritický parameter, pretože od neho závisí rýchlosť akcieschopnosti nadradených systémov v prípade poruchy alebo v iných nežiaducich situáciách.

2.7.2 Simulovaná topológia

K simulácii použijeme simulačné prostredie Opnet Modeler 14.0 určené pre simuláciu chovania sieťových prvkov pri rôznych situáciách. K simulácii navrhovaného riešenia neexistuje konkrétna implementácia v tomto prostredí (ani zo žiadnych dostupných simulátorov), preto budeme dátové prenosy substituovať so štandardnými nástrojmi a aplikáciami, ktoré prostredie ponúka.

Principiálne zapojenie komponentov v simulátore je zobrazené na obrázku 2.25, kde koncové stanice sú pripojené na sériový prepínač. Tento prepínač je funkčne podobný klasickému ethernetovému hubu, čo znamená, že prenosová rýchlosť a oneskorenie bude závislé na počte pripojených staníc. Prepínač spája koncové stanice s prístupovým koncentrátorom a východnou bránou (smerovač). Smerovač má schopnosť určovať IP paketom cestu, preto je pripojený na distribučný koncentrátor a zároveň na centrálu.



Obr. 2.24: Principiálne zapojenie oblasti v simulovanej topológii

Na obrázku 2.24 je šípkami naznačený smer komunikácie v smere od koncových staníc po centrálu. Koncové stanice odosielať informácie prístupovému koncentrátoru v časovom

intervale 1s. Tento koncentrátor informácie zhromažďuje po dobu 5s, potom ich spojí a posiela do distribučného koncentrátora, kde sa proces opakuje s dátami z ostatných koncentrátorov.

2.7.3 Zariadenia a aplikácie

Zariadenia

Do simulačného prostredia vkladáme nasledovné zariadenia:

ppp_wkstn_adv – model koncovej stanice poskytujúci beh klientských aplikácií komunikujúcich pomocou protokolu TCP/IP cez sériové rozhranie.

wlan_wkstn_adv – model koncovej stanice poskytujúci beh klientských aplikácií komunikujúcich pomocou protokolu TCP/IP cez rádiové mikrovlnné rozhranie (802.11).

umts_wkstn_adv – model koncovej stanice poskytujúci beh klientských aplikácií komunikujúcich pomocou protokolu TCP/IP cez UMTS, simulujúci mobilné pripojenie stanice.

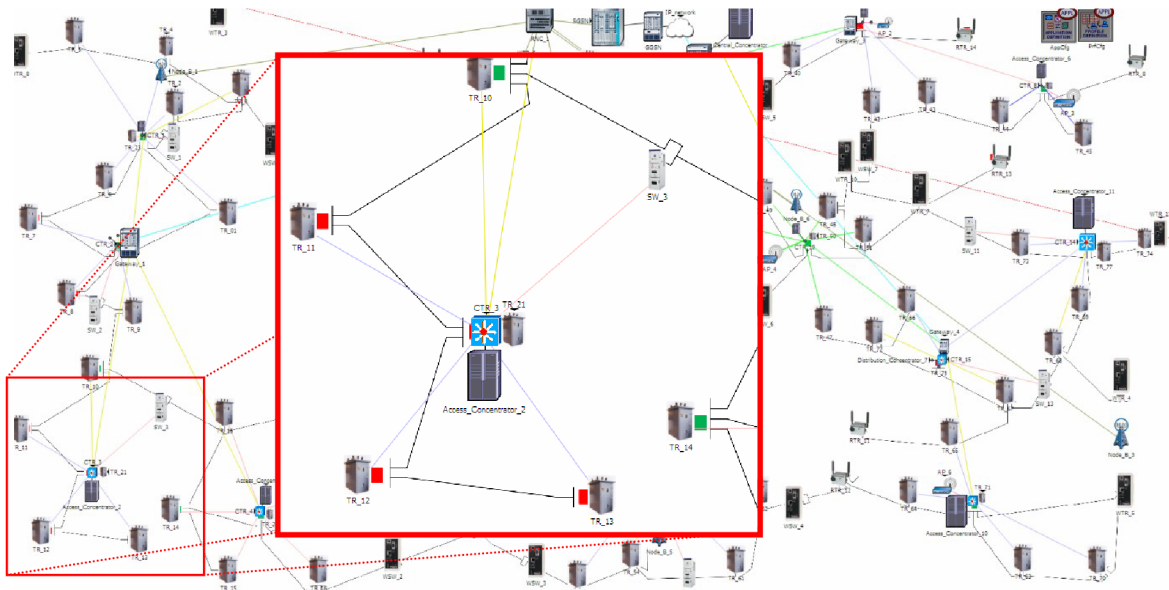
ppp_server_adv – model serverovej stanice poskytujúci beh služieb serverových aplikácií komunikujúcich pomocou protokolu TCP/IP cez sériové rozhranie.

serial16_switch – model sériového prepínača umožňujúci vzájomne prepojenie koncových serverových staníc cez sériové rozhrania. Umožňuje komunikovať maximálne jednému zariadeniu v danom čase (hub).

ethernet4_slip8_gtwy – model IP smerovača umožňujúci smerovanie dát medzi koncentrátormi pripojenými sériovými rozhraniami.

UMTS_nodeB, *UMTS_RNC*, *UMTS_SGSN* a *GGSN Router* – zariadenia simulujúce pripojenie zariadení cez mobilnú sieť.

Rozloženie jednotlivých komponentov je zobrazené na obrázku 2.25. Rýchlosti liniek sú nastavené v tabuľke v prílohe A.



Obr. 2.25: Rozloženie komponentov v simulačnom prostredí s detailom podoblasti 3 - O1

Aplikácie

K vytvoreniu dátového prenosu sa v simulačnom prostredí používajú aplikácie, ktoré sú priradené jednotlivým staniciam, od ktorých chceme, aby generovali dátové toky. Keďže prostredie neobsahuje stanice umožňujúce komunikáciu pomocou protokolu IEC 60870-5-104, budeme tento protokol substituovať vlastnou vytvorenou aplikáciou prostredia komunikujúcej cez protokol TCP/IP.

K vytvoreniu vlastnej aplikácie máme v prostredí k dispozícii model s názvom „**Custom Application**“. Tento model umožňuje definovať sled aplikácie, transportný protokol, port atď. pre úlohy. Úlohy sa skladajú z fáz, ktoré určujú postupnosť a výskyt udalostí na sieti, definujú, kedy aplikácia odosiela požiadavky a odpovede, časovanie a objemy prenesených dát.

Úlohy sa nastavujú modelom „**Task Definition**“. Pole Manual Configuration nastavíme fázu úlohy pre aplikáciu stanice ITR. Ako zdroj (Source) symbolickú adresu koncovej stanice a cieľ (Destination) adresu serveru. Ďalej musíme nastaviť samotný dátový objem, ktorý bude prenášaný medzi zdrojom a cieľom (Source->Dest Traffic). Pre aplikáciu koncovej stanice ITR vypočítame 91B ako blok dát, ktorý budeme posielat' jedenkrát za sekundu v jednom pakete. Ako odpoveď (Dest->Source Traffic) bude aplikácia 1 packet s dátovým blokom o veľkosti 1B (rámeček kontrolného znaku). REQ/RESP Pattern určuje sled požiadaviek a odpovedí, volíme sériový, s ukončením fázy (End Phase When) po prijatí odpovede v zdroji. Podobným štýlom vytvoríme úlohy pre všetky aplikácie potrebné k simulácii.

Vrátame sa späť k definícii aplikácií (**Application Definitions**), kde vytvoríme jednotlivé aplikácie a priradíme im nastavené úlohy.

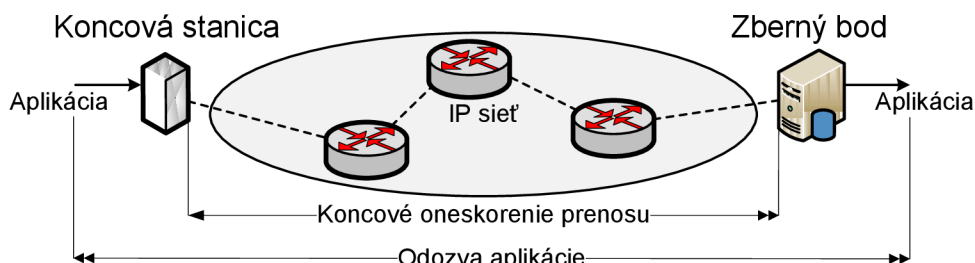
V modeli **Profile Definition** nastavujeme profily aplikácií, tzn. štart, koniec, počet a intervaly opakovaní, radenie atď. Tu nastavujeme pre vlastnú aplikáciu dobu trvania na dobu vlastného ukončenia aplikácie (nastavené v úlohe) s opakovaním po 1s (pre 1TR).

K tomu, aby mohli stanice komunikovať, musíme im vytvorené aplikácie priradiť pomocou profilu chovania. Pod atribútmi modelu zariadenia vložíme pod **Application: Supported Profiles** vhodný profil. Pole **Application: Destination Preferences**, vložíme meno používanej aplikácie a symbolické meno cieľovej stanice (koncentrátora), ktoré nastavujeme vo fáze úloh. Skutočné meno (**Actual Name**) vyberieme zo zoznamu zariadení s reálnym názvom v topológii. Posledný krok bude v nastavení **Application Source Preferences** symbolické meno zdroja (koncovkej stanice), ktoré taktiež definujeme vo fázach úloh.

Na záver je nutné pre koncentrátory nastaviť pole **Application Supported Services** hodnotu All, aby boli servery dostupné všetkým službám, ktoré sú na ne smerované.

2.8 Výsledky simulácie

Simulácia 1h prevádzky siete trvá 11 minút. Simulátor za tento čas zhromažďuje výsledky, ktoré máme zvolené pod „**Individual DES Statistics**“ (percentuálne a bitové vyťaženie liniek, koncové oneskorenie prenosu dát, odozva aplikácie). Na obrázku 2.26 je stručne zobrazený význam zvolených sledovaných parametrov. Odozva aplikácie je doba, za ktorú je jedna inštancia aplikácie schopná kontaktovať druhú.



Obr. 2.26: Rozdiel parametru Koncové oneskorenie prenosu dát a Odozvy aplikácie

Stručné zhrnutie hodnôt zaťaženia modelov liniek je uvedené v *tabuľke 6*. Každá aplikácia odosiela objem dát rovnako a ostatné parametre (oneskorenia) sú závislé na priepustnosti linky.

Tabuľka 6.: Dátové prenosy simulovaných aplikácií

Rýchlosť linky [kbit/s]	Aplikácia	Vyťaženie [Up/Down]	
		[kbit/s]	[%]
4.8	1TR	1,58 / 1,13	32,9 / 23,5
	2TR	1,95 / 1,13	40,6 / 23,5
9.6	2TR	1,95 / 1,13	20,3 / 11,8

Rýchlosť linky [kbit/s]	Aplikácia	Vyťaženie [Up/Down]	
		[kbit/s]	[%]
9.6	SW	0,91 / 0,56	9,5 / 5,8
	AC8	7,94 / 1,60	82,7 / 16,6
14.4	TR1	1,58 / 1,13	11,0 / 7,8
	AC3	10,65 / 0,30	74,0 / 2,1
	AC10	10,73 / 0,82	74,5 / 5,6
28.8	2TR	1,95 / 1,13	6,8 / 3,9
	3TR	2,34 / 1,14	8,1 / 4,0
	AC1	9,15 / 3,55	31,8 / 12,3
	AC2	8,91 / 5,07	30,9 / 17,6
	AC4	14,78 / 6,84	51,3 / 23,7
	AC7	13,10 / 4,75	45,5 / 16,5
	AC6	11,46 / 2,75	39,8 / 9,5
	AC11	9,85 / 3,95	34,2 / 13,7
	AC5	12,20 / 8,95	37,0 / 27,1
	DC3	19,50 / 9,15	59,1 / 27,7
33	AC9	11,95 / 4,15	36,2 / 12,5
	DC1	22,95 / 2,65	40,9 / 4,7
56	DC2	25,00 / 3,15	44,6 / 5,6
	DC4	26,62 / 1,77	47,5 / 3,1

Dátové prenosy sú merané na modeloch jednotlivých fyzických liniek v topológii tak, ako sú zakreslené na obrázkoch 2.18 a 2.19-2.23. Z nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že v žiadnom bode siete nedochádza k preťaženiu pásma a linky majú dostatočnú rezervu pre prípadné prenosy, vyvolané zvláštnymi okolnosťami (poruchové stavy).

Ďalej venujeme pozornosť hodnotám oneskorenia prenosov dát jednotlivých liniek, pretože samotné vyťaženie pásiem nie je dostatočný indikátor korektného stavu návrhu a správneho chodu siete. Pri neúmerne vysokom oneskorení medzi koncentrátormi (>5s) alebo medzi stanicou a koncentrátorom (>1s), bude nutné vykonať nutné úpravy k zníženiu tejto hodnoty.

2.8.1 Oblasť O1

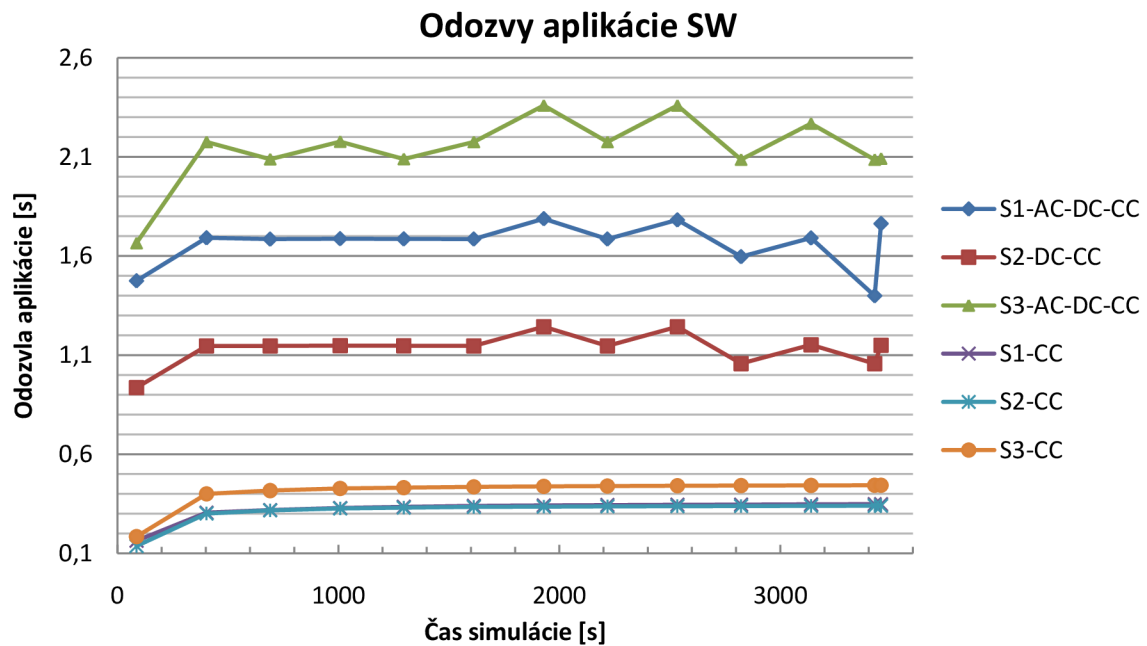
V tejto oblasti sú stanice spojené rovnakými linkami. Koncové stanice podoblasti 4 sú pripojené úzkopásmovými linkami pre otestovanie zmeny oneskorenia v závislosti na šírke pásma. Hodnoty oneskorenia zo simulácie na modeloch liniek sú zapísané v *tabuľke 7*.

Tabuľka 7.: Získané hodnoty oneskorení prenosov

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR2-AC1	14.4	92,2	26,5
	TR3-AC1	14.4	92,2	26,7
	TR4-AC1	28.8	53,0	13,4
	TR5-AC1	14.4	92,2	26,6
	TR6-AC1	28.8	53,0	13,4
	TR8-AC1	14.4	92,2	26,5
	S1-AC1	9.6	145,1	104,8
	AC1-DC1	28.8	538,8	240,9
PO2	TR7-DC1	14.4	92,2	26,7
	TR9-DC1	14.4	92,2	65,2
	TR10-DC1	28.8	53,1	39,4
	TR11-DC1	14.4	92,2	65,2
	TR12-DC1	14.4	92,2	65,2
	S2-DC1	9.6	145,1	104,8
	DC1-CC	56	986,8	654,5
PO3	TR13-AC2	28.8	52,9	39,4
	TR14-AC2	14.4	92,2	65,2
	TR16-AC2	14.4	92,2	65,2
	TR17-AC2	14.4	92,2	65,2
	TR18-AC2	14.4	92,2	65,2
	S3-AC2	9.6	145,1	104,8
	AC2-DC1	28.8	432,3	427,7
PO4	TR15-AC3	9.6	169,7	58,8
	TR19-AC3	4.8	327,1	90,0
	TR20-AC3	6.9	211,5	60,1
	TR21-AC3	4.8	338,9	98,9
	TR22-AC3	4.8	287,2	91,6
	TR23-AC3	4.8	287,5	94,2
	AC3-DC1	14.4	1180,3	1023,5

Odozvy aplikácií koncových staníc dosahujú nízkych úrovní, modely liniek s rýchlosťou 28,8K dovoľujú aplikácii odoslať rámec s potvrdením za 53ms a jednosmerné koncové oneskorenie je maximálne 39,4ms. Podoblasť 4 s úzkopásmovými linkami dosahuje vyššie hodnoty odoziev aj oneskorení. Zvlášť model spojenia medzi koncentrátorom AC3 a DC1. Príčinou tohto stavu je spomalenie prenosu ukladaním dát do fronty, čo je jav, vznikajúci na sériovom prepínači (hube), aj keď pásmo nie je plne vyťažené. Fronta vzniká na rozhraní prepínača prístupového koncentrátoru a dáta sú spomalené o 805ms. Najjednoduchší spôsob ako toto oneskorenie znížiť, je zväčšenie prenosového pásma modelu. Pri zvýšení kapacity na dvojnásobok (28,8K) dodatočnou simuláciou overíme zníženie oneskorenia fronty na hodnotu 407ms, a tým následne odozvu aplikácie z pôvodných 1180,3ms na 578,3ms.

Modely vypínačov SW odosielajú dáta v pravidelných intervaloch každé 2s do koncentrátorov. Pri odosielaní cez koncentrátory s ostatnými dátami dorazia prvé informácie o stave vypínačov najskôr po 10s (5s zber na prístupovom a 5s zber na distribučnom koncentrátore + oneskorenie prenosu celého bloku dát). Preto pripravíme scenár, kde vypínače posielajú dáta priamo do centrály. Rozdiely odoziev aplikácií je možné vidieť na obrázku 2.27. Z grafu je evidentné, že pri neodosielaní dát cez koncentrátor, ktorý informácie zoskupuje do veľkého bloku dát, je odozva niekoľko násobne nižšia.



Obr. 2.27: Odozvy aplikácie vypínača s aplikáciou SW pri rôznom smerovaní

2.8.2 Oblasť O2 a O4

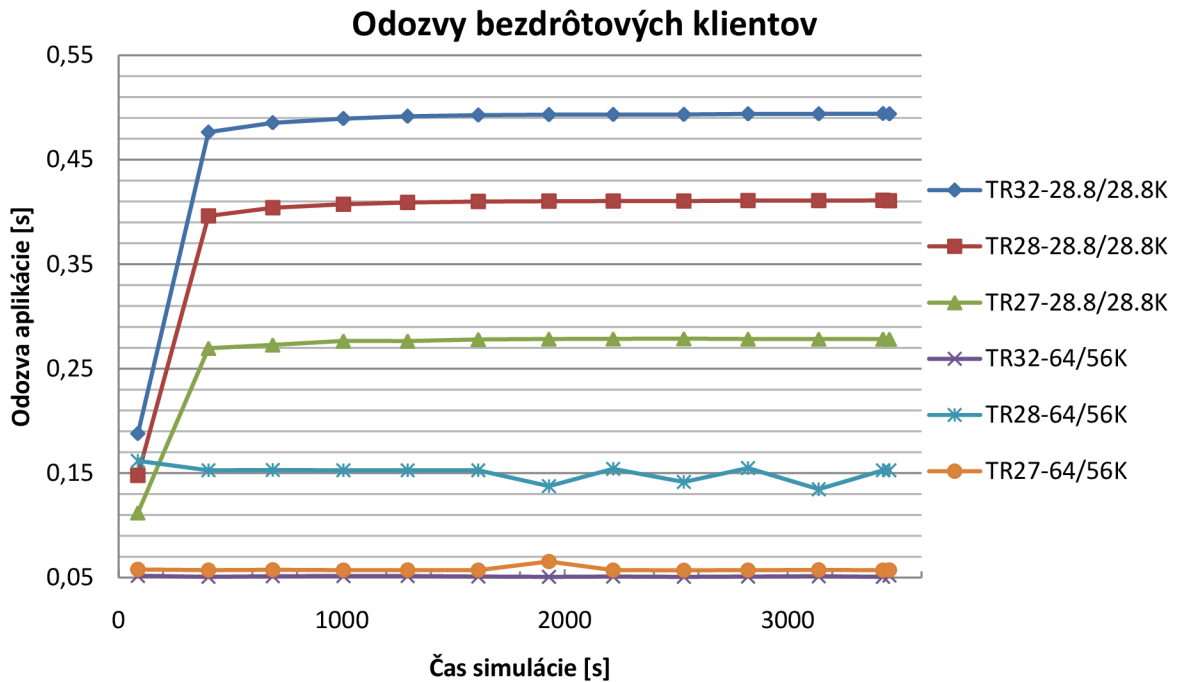
V oblasti O2 sa nachádzajú 2 prístupové koncentrátory, ktoré sú pripojené priamo na centrálny koncentrátor. To znamená, že dáta sú k dispozícii k odoslaniu na centrálu po 5s zberu z koncových staníc. Koncentrátor AC4 je pripojený s centrálou s modelom linky o rýchlosti 28,8K. Obsahuje viac staníc a má väčšie dátové nároky ako AC5, ktorý má k dispozícii pásmo 33K. Môžeme teda očakávať vyššie hodnoty oneskorení pri AC4. Ďalej sú 3 stanice pripojené pomocou modelu mikrovlnného rádiového spojenia s priepustnosťou 1Mbit/s. Prístupový bod je spojený s prepínačom sériovou linkou 28,8K. Zistené hodnoty odoziev a oneskorení sú zapísané v *tabuľke 8*.

Tabuľka 8.: Hodnoty odoziev a oneskorení pre oblasť O2

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR27-AC4	1000	291,8	277,1
	TR28-AC4	1000	415,8	401,4

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR30-AC4	14.4	92,3	65,2
	TR31-AC4	28.8	53,0	39,4
	TR32-AC4	1000	479,8	465,2
	TR34-AC4	14.4	92,6	65,4
	TR35-AC4	14.4	92,2	65,2
	TR36-AC4	28.8	53,0	39,4
	S6-AC4	9.6	145,1	104,8
	S6-CC	9.6	359,6	303,2
	S9-AC4	9.6	146,2	105,6
	S9-CC	9.6	416,0	346,3
	AC4-CC	28.8	782,7	647,3
PO2	TR24-AC5	28.8	60,5	46,9
	TR25-AC5	14.4	92,2	65,3
	TR26-AC5	14.4	92,2	65,3
	TR29-AC5	14.4	92,2	65,3
	TR33-AC5	14.4	92,2	65,3
	S7-AC5	9.6	145,0	105,0
	S7-CC	9.6	214,6	154,1
	AC5-CC	33	409,6	386,2

K zníženiu oneskorenia pri rádiovom spojení môžeme zvýšiť kapacitu modelu spoja medzi prepínačom a prístupovým bodom, poprípade znížiť počet pripájaných rádiových klientov. Pri zvýšení kapacity linky na 64K klesne odozva aplikácie o cca 100ms vo všetkých troch pripojených klientoch. Ďalšia zjavne vysoká hodnota odozvy je pri modeli spoja 28,8K. Zvýšením tejto kapacity dôjde k zmene hodnôt časov medzi AC4-CC a v scenári, kde vypínače komunikujú priamo s CC. Po úprave kapacity na rýchlosť 56K nastanú tieto zmeny odoziev (uvádzame zápisom odozva aplikácie/koncové oneskorenie): AC4-CC: 387/365ms, TR32-AC4: 51.3/44.4ms TR28-AC4: 149.8/142.8ms TR27-AC4: 58.5/51.6ms a pre vypínače komunikujúce s centrárou S6-CC: 196/149ms, S9-CC: 225/172ms. Grafické porovnanie odozvy bezdrôtových klientov pri zmene kapacity liniek prepínač-AP/AC4-CC je na obrázku 2.28.



Obr. 2.28: Odozvy aplikácie 1TR bezdrôtových klientov podoblasti 1 pri zmene kapacity linky medzi AP-prepínač/AC4-CC

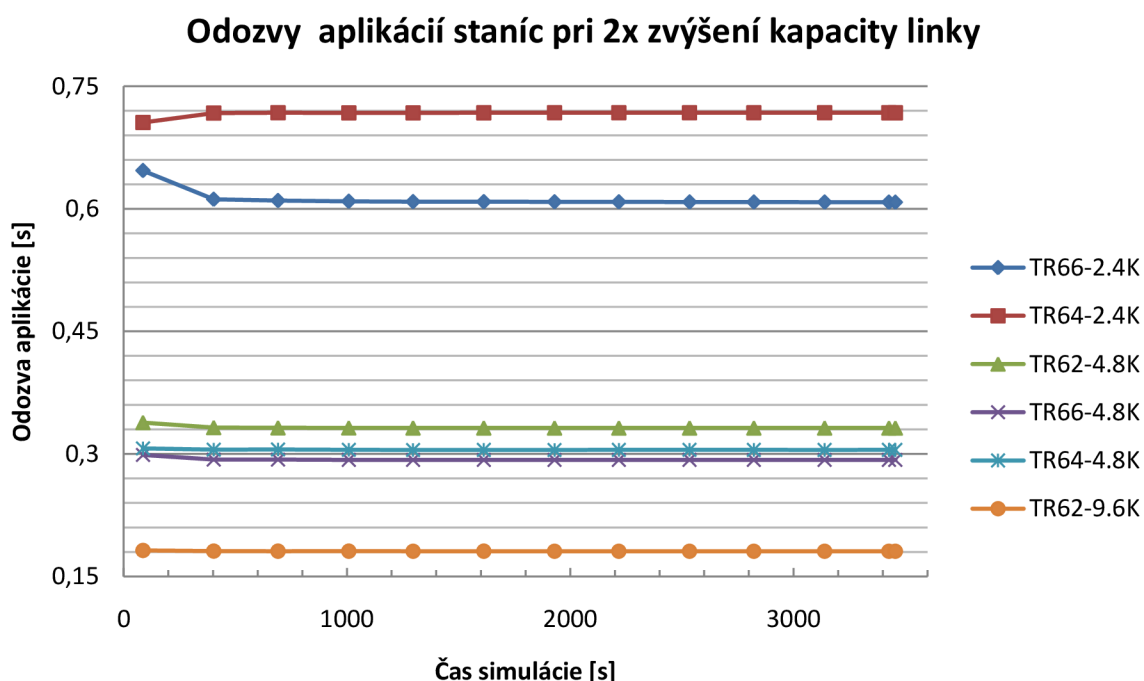
Oblasť O4 má 2 za sebou radené koncentrátory, prepojené medzi sebou úzkopásmovým modelom spoja 9,6K. Podľa predpokladu na tejto linke bude dochádzať k vyššiemu oneskoreniu prenosu a vzniku front. Simuláciou získame hodnoty oneskorení, zapísane v *tabuľke 9*.

Tabuľka 9: Hodnoty odoziev a oneskorení pre oblasť O4

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR59-DC3	14.4	92,3	65,1
	TR60-DC3	1000	25,2	17,1
	TR61-DC3	14.4	92,2	65,1
	TR65-DC3	14.4	92,2	65,4
	TR67-DC3	14.4	92,2	65,2
	DC3-CC	33	626,0	507,5
PO2	TR62-AC8	4.8	331,9	245,4
	TR63-AC8	1000	41,6	27,5
	TR64-AC8	2.4	716,8	414,8
	TR66-AC8	2.4	608,8	399,4
	TR68-AC8	1000	60,1	27,3
	AC8-DC3	9.6	1568,7	1455,7

Najdlhšie fronty sa tvoria na prepínači PO2 v smere AC8-DC3. Odozva aplikácie tu dosahuje hodnoty až 1,568s. Tranzitný spoj medzi centrárou a DC3 má maximálnu kapacitu 33K a v danej podoblasti je jediná, kde dochádza k radeniu paketov do dlhšej fronty.

K zníženiu oneskorenia paketov radením do dlhšej fronty, upravíme priepustnosť liniek v podoblasti 2 na dvojnásobok a zároveň model linky prepájajúci oblasti navzájom na maximálnu rýchlosť 19,2K. Po simulácii scenára sa zmenší fronta na prepínači trasy AC8-DC3 a odozva dosahuje zhruba polovičnej hodnoty 766,7/718,5ms. Zároveň klesajú odozvy aplikácií koncových staníc (taktiež polovičné hodnoty), grafická interpretácia je na obrázku 2.29.



Obr. 2.29: Odozva aplikácií koncových staníc pri navýšení kapacity modelov liniek v podoblasti 2

Na rozhraní pripojenia 33K na centráru taktiež vzniká fronta, ktorá spôsobuje nárast odozvy, preto vytvoríme scenár, kde tento spoj bude kapacitne zvýšený na hodnotu 56K. Koncentrátor DC3 generuje podobný dátový prenos ako AC4, ktorý je taktiež priamo pripojený na centráru. Výsledná odozva medzi DC3-CC po simulácii má priemernú hodnotu 378/315,7ms, čo je v porovnaní s AC4 rozdiel -9/-49ms.

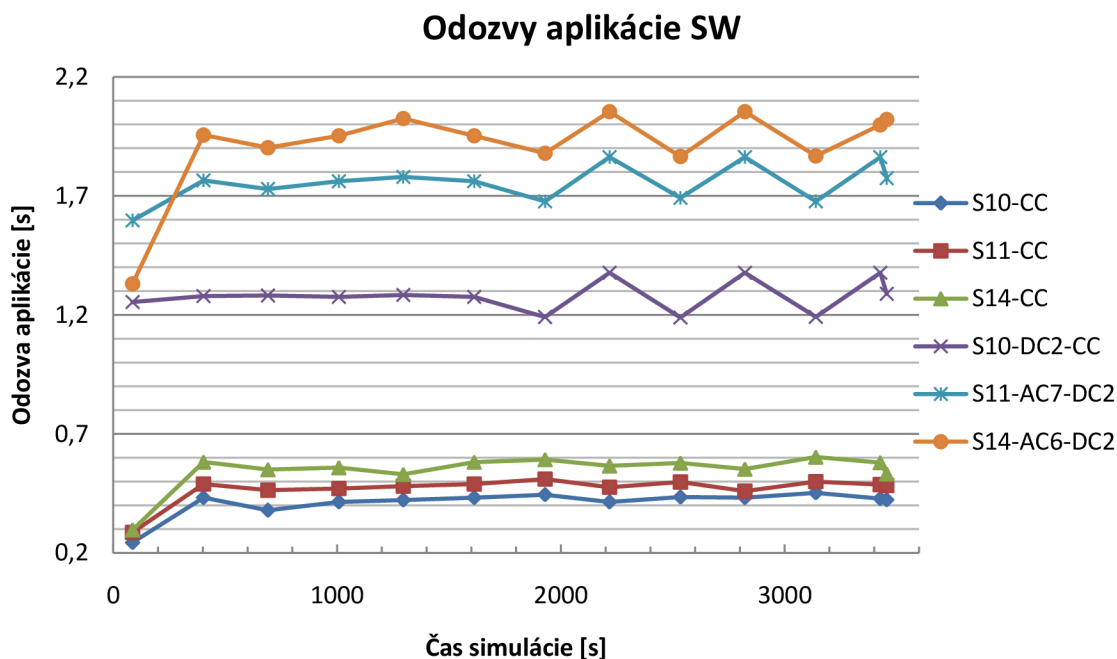
2.8.3 Oblasť O3

Táto oblasť pozostáva z 3 koncentrátorov a je druhou najväčšou, čo sa týka dátových prenosov. Vyššie odozvy a oneskorenia vznikajú len na modeloch spojov medzi koncentrátormi a centrárou. Výsledné odozvy a oneskorenia sú zapísané v *tabuľke 10*.

Tabuľka 10.: Hodnoty odoziev a oneskorení pre oblasť O3

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR43-AC7	14.4	92,2	65,2
	TR44-AC7	14.4	92,2	65,2
	TR48-AC7	28.8	53,0	39,4
	TR49-AC7	28.8	53,0	39,4
	TR51-AC7	14.4	92,2	65,5
	TR53-AC6	14.4	53,0	39,7
	TR55-AC7	28.8	53,0	39,4
	S11-AC7	9.6	145,0	105,0
	S11-CC	9.6	350,0	302,6
	AC7-DC2	28.8	479,0	469,2
PO2	TR37-DC2	28.8	53,0	39,4
	TR38-DC2	14.4	46,7	33,1
	TR40-DC2	14.4	46,7	33,1
	TR41-DC2	28.8	53,0	39,4
	TR42-DC2	14.4	46,3	32,7
	S10-DC2	9.6	145,0	105,0
	S10-CC	9.6	420,8	372,4
	DC2-CC	56	1018,6	714,1
PO3	TR45-AC6	1000	23,5	16,0
	TR46-AC6	1000	29,7	22,4
	TR50-AC6	28.8	54,0	40,5
	TR52-AC6	14.4	92,2	65,2
	TR54-AC6	28.8	53,0	39,4
	TR56-AC6	28.8	53,0	39,7
	TR57-AC6	14.4	92,2	65,4
	S14-AC6	9.6	145,0	105,0
	S14-CC	9.6	562,5	485,6
	AC6-DC2	28.8	858,6	645,7

V oblastiach sú rozmiestnené stanice s aplikáciami SW simulujúce vypínače. Simulované sú 2 scenáre, kedy v jednom komunikuje vypínač s koncentrátorom a v druhom s centrálou. Výsledky simulácie sú graficky spracované na obrázku 2.30. Pri priamej komunikácii s centrálou sú odozvy priemerne 3,4x nižšie.



Obr. 2.30: Odozvy aplikácií SW koncových staníc simulujúcich vypínače

Pre zníženie doby odozvy a oneskorenia použijeme model linky s kapacitou 128K medzi DC2-CC. Po simulácii sme dostali hodnoty 457,5/256,7ms. Rovnako sa zmenia časy pri zariadeniach vypínačov SW komunikujúcich s CC: S10-CC: 196,2/152,5ms, S11-CC: 255,0/198,3ms, S14-CC: 380,2/311,6ms, čo je pokles pri S11 a S14 o 1/3 a pri S10 o 1/2.

2.8.4 Oblasť O5

Posledná oblasť je najväčšia z celej topológie ako počtom zariadení, tak aj dátovým prenosom. 4 koncentrátory sú prepojené modelmi liniek, kde každá má inú kapacitu. Výsledné hodnoty odoziev sú zapísané v *tabuľke 10*.

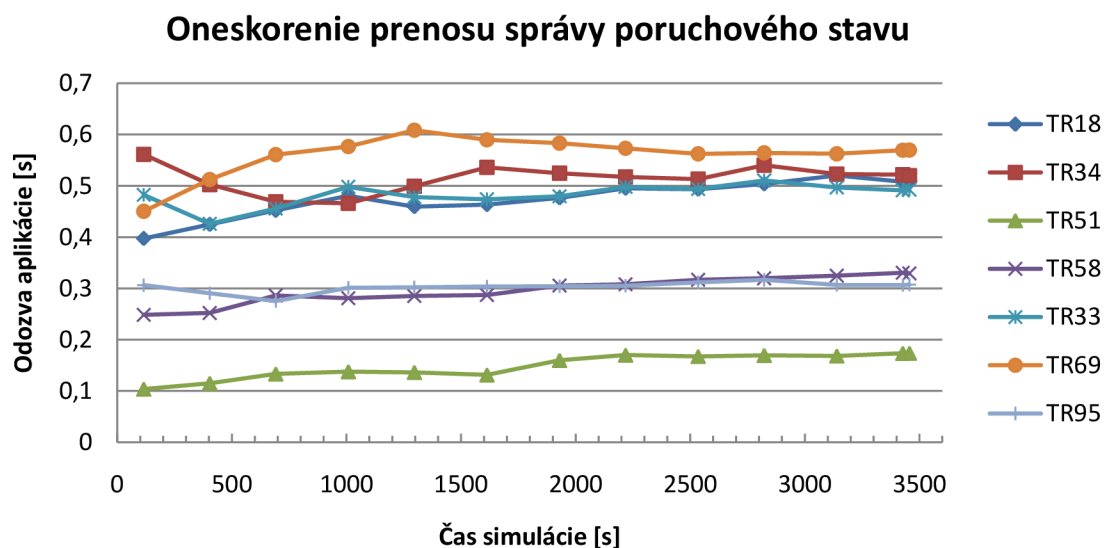
Vyššie hodnoty odozvy a oneskorenia sú v prípade modelu spoja s centrárou a medzi zariadeniami, ktoré s ňou komunikujú. Podoblasti PO1,2 a 3 majú hodnoty odoziev veľmi podobné. Podoblasť PO4 má tieto hodnoty vyššie, podobne ako to je v prípade oblasti O1 PO4, kde je rovnako použitý model linky s kapacitou 14.4K. V tejto simulácii sa tento model prejavil ako nedostačujúci.

Tabuľka 11.: Hodnoty odoziev a oneskorení pre oblasť O5

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
PO1	TR39-AC9	14.4	92,2	65,2
	TR69-AC9	14.4	93,7	65,9
	TR71-AC9	14.4	92,3	65,3
	TR73-AC9	1000	26,4	19,2
	TR74-AC9	28.8	53,0	39,2
	TR75-AC9	28.8	53,0	39,3
	TR79-AC9	1000	23,7	16,5
	TR81-AC9	14.4	92,2	65,4
	S17-AC9	9.6	145,1	104,8
	S17-CC	9.6	541,3	470,3
	AC9-DC4	33	575,6	477,0
	PO2	TR80-DC4	14.4	92,2
TR83-DC4		28.8	53,0	39,2
TR85-DC4		14.4	92,2	39,2
TR87-DC4		28.8	53,0	65,2
S20-DC4		9.6	145,1	104,8
S20-CC		9.6	485,2	380,4
DC4-CC		56	1235,0	758,1
PO3		TR86-AC11	14.4	92,3
	TR89-AC11	1000	133,0	125,8
	TR90-AC11	1000	229,4	222,2
	TR91-AC11	14.4	92,2	65,2
	TR92-AC11	28.8	53,0	39,2
	TR94-AC11	14.4	94,3	62,2
	TR95-AC11	14.4	92,3	65,5
	AC11-DC4	28.8	566,0	397,7
	PO4	TR76-AC10	14.4	103,7
TR77-AC10		28.8	73,5	53,5
TR78-AC10		14.4	103,7	70,9
TR82-AC10		14.4	108,1	71,0
TR84-AC10		28.8	83,1	50,1
S18-AC10		9.6	156,6	110,5
S18-CC		9.6	625,1	534,8
AC10-DC4		14.4	566,0	397,8

2.8.5 Centrálny koncentrátor

Centrálny koncentrátor je zariadenie, ktoré prijíma od všetkých zberných koncentrátorov dáta. V tomto bode sa zberná sieť končí. V sieti je náhodne vybraných 7 koncových staníc (z každej oblasti aspoň 1), ktoré priamo odosielajú dáta na centrálny bod, reprezentujúce chybové hlásenie. Odsimulované hodnoty odoziev sú graficky interpretované na obrázku 2.30. Žiadna z hodnôt nepresiahla dobu 1s. Najnižšiu odozvu má stanica TR51 umiestnená v oblasti O3, pripojená na AC7. Najvyššiu hodnotu dosahuje TR69 umiestnená v oblasti O5 s pripojením na AC9.



Obr.2.31: Oneskorenie prenosov správ poruchových stavov medzi koncovými stanicami a centrálnou

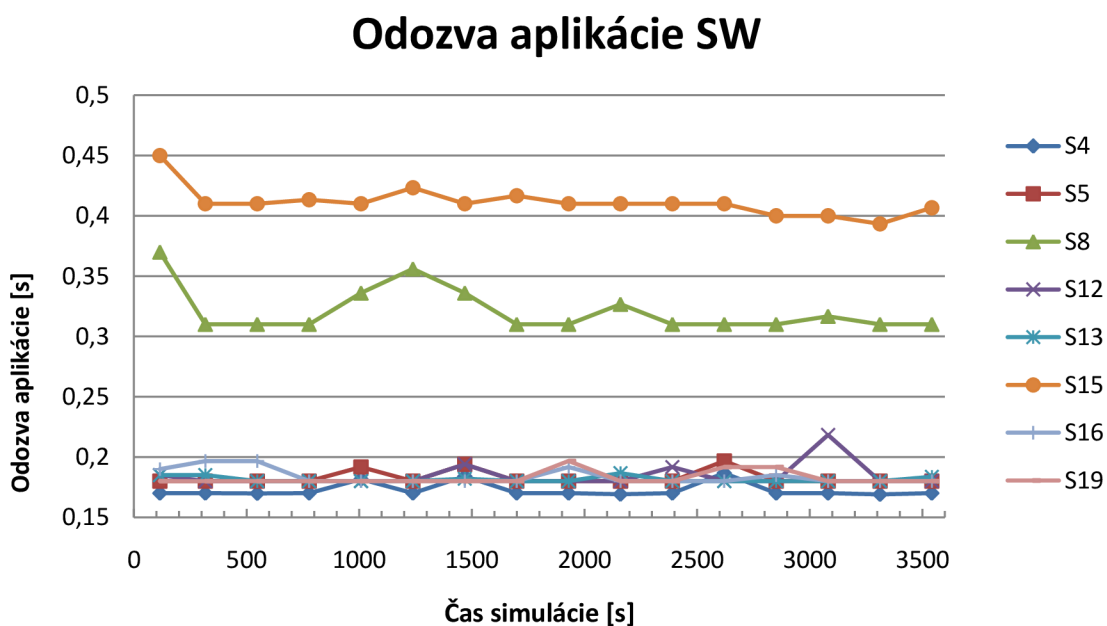
Centrálny koncentrátor je cez bránu pripojený na simulovanú GSM sieť. V sieti sa nachádzajú 4 vysielacie stanice (Node B), rozmiestnené do štvrtiny mapy, do stredu. Zariadenia sú rozložené podľa mapy a ich počet v bunke nie je rovnaký, čo znamená rôznu úroveň signálu, u od čoho sa odvíja rýchlosť prenosu a odozva. Získané hodnoty sú zapísané v *tabuľke 12*.

Tabuľka 12.: Hodnoty odoziev staníc pripojených cez mobilnú sieť

Podoblasť	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
GSM	S4-CC	64	183,2	120,5
	S5-CC	64	182,5	120,1
	S8-CC	64	321,3	255,7
	S12-CC	64	182,9	120,6
	S13-CC	64	181,3	118,6
	S15-CC	64	411,5	409,6
	S16-CC	64	181,4	118,6

Podoblast'	Trasa	Rýchlosť linky [kbit/s]	Odozva aplikácie [ms]	Koncové oneskorenie [ms]
GSM	S19-CC	64	182,5	118,5
	PLM1-CC	64	300,0	237,5
	PLM2-CC	64	269,9	207,5
	PLM3-CC	64	270,0	207,6
	PLM4-CC	64	283,3	208,5
	TR1-CC	64	482,2	428,5
	TR47-CC	64	347,0	219,4
	TR72-CC	64	346,0	310,9
	TR88-CC	64	312,0	207,9
	TR93-CC	64	299,2	224,4

Najvyššie hodnoty odozvy aplikácie SW sa ukazujú na stanicach S8 a S15, ktoré sú od vysieláčov vzdialené najviac, v porovnaní s ostatnými stanicami bližšie k stredu mapy. Pre ilustráciu sú simulované hodnoty graficky zobrazené na obrázku 2.32.



Obr. 2.32: Odozva aplikácií vypínačov pripojených cez mobilnú sieť

Koncová stanica TR1 dosahuje najvyššej odozvy a oneskorenia z dôvodu jej polohy, nachádza sa v ľavom hornom okraji oblasti O1. Celkovo odozva staníc neprekračuje 500ms.

3 DISKUSIA K VÝSLEDKOM

V tejto kapitole si rozoberieme výsledky simulácie a vysvetlíme dôvody voľby niektorých parametrov a príčiny vzniku niektorých javov.

Topológia

Sieť je navrhovaná na základe vymyslenej distribučnej siete energetiky, ktorá v skutočnosti neexistuje, je braná len ako podklad pre vytvorenie zbernej IP siete. Rozdelenie do oblastí a podoblastí je z dôvodu lepšej orientácie v topológii. Linky spojov medzi koncentrátormi sú volené podľa ich predpokladaných dátových objemov, nie však menej ako 14.4kbit/s (okrem oblasti O4, kde je rýchlosť znížená na 9,6kbit/s). Koncentrátory majú 5s interval na zber dát a potom zozbierané data odosielajú do nadradeného systému, linka má volenú kapacitu ako podiel odoslaného objemu a času 5s plus rezerva, ktorá je minimálne 50% a viac.

Prepojenie liniek

Modely liniek v simulácii sú navzájom prepojené modelom sériového prepínača (*serial16_switch*). Sériový prepínač funguje ako štandardný opakovač alebo rozbočovač, to znamená, že v danom momente môže vysielat' len jedna stanica pripojená na rozbočovač, čo má za následok vznik fronty na rozhraní a vyššie čakacie lehoty. Toto je aj dôvod, prečo modely liniek nemajú plne vyťažené pásma pri odosielaní dát koncentrátorov, ktoré sú objemom vyššie ako maximálna kapacita modelov. Dôvod, prečo je pre toto zariadenie použitý, je neexistencia iného modelu v simulátore pre prepájanie spojov typu point-to-point. Simulácia však ukazuje, že k účelu zberu dát postačuje aj takýto typ zariadenia, navrhnuté linky sú postačujúce pre spoľahlivý prenos informácie bez strát. V prípade, že by mali modely liniek veľmi nízku priepustnosť, dochádzalo by na portoch rozbočovača k preťaženiu fronty a oneskorenia by presiahli maximálne hodnoty časovačov protokolu TCP a rámce by boli odhodnené. Za simulovanú 1 hodinu k tomuto javu nedochádza a fronty si udržujú konštantnú hodnotu oneskorenia.

V prípade, používania siete na iné účely, ako je zber dát (napríklad riadenie, nastavovanie zariadení, odosielanie povelov), bude nutné rozbočovač nahradiť zariadením, ktoré umožňuje komunikáciu viacerých zariadení paralelne, kvôli oneskoreniam.

Zistenia zo simulácie

Štandardne používané systémy sériových zberných systémov komunikujúce prostredníctvom protokolov Modbus, SPA Bus alebo IEC 101, nedovoľujú podriadeným stanicám komunikovať podľa potreby a sú úplne závislé na nadradenom systéme. Tento princíp je logicky zachovaný aj pri modifikovaných verziách distribučných protokolov pre komunikáciu v sieťach TCP/IP, avšak spôsob adresovania umožňuje komunikáciu hociktorého koncového zariadenia s iným dostupným zariadením v celej sieti. Tento fakt sa dá využiť napríklad pri hlásení poruchových stavov, kedy stanica nečaká na umožnenie komunikácie nadradeným systémom, ale

pošle správu priamo centrálnemu bodu. Týmto je možné skrátiť dobu nutnú k prenosu informácie do koncentrátora, spracovanie informácie a odoslanie ďalej. K priamemu odoslaniu je nutné, aby hlásiaca stanica poznala adresu centrálného bodu a adresu svojej výstupnej brány, ktorou býva zvyčajne smerovač.

Ďalšia výhoda použitia dátových koncentrátorov pri zbere dát je možnosť použitia liniek s nižšími kapacitami k prenosu dát medzi koncentrátormi. Toto vyplýva z faktu, že dáta sú zoskupované určitú dobu a v pravidelných intervaloch odosielené do nadradeného systému. Táto doba je nastaviteľná podľa toho, nakoľko aktuálne data sú potrebné. V návrhu uvažujeme o intervale 5s. Za túto dobu je vhodné, aby koncentrátor poslal dáta ďalej. Teda koncentrátor má celý obnovovací interval k prenosu dát. Pri použití liniek s nižšou kapacitou, kde dôjde k radeniu paketov do fronty, je možné toto nastavenie využiť. Za predpokladu, že zberná sieť má statický charakter dátových prenosov (posielané rovnaké objemy dát), je tento fakt použiteľný. Takéto riešenie je obzvlášť vhodné pri použití alternatívnych dátových sieťach, kde je cena pripojenia cez pomalšie linky značne nižšia ako cez širokopásmové pripojenia. Je ale nutné pri použití takéhoto prístupu zabezpečiť prenos hlásení chybových stavov použitím metód riadenia front. V simulácii riadenie obsluhy front riešené nie je, ale rýchlejšiu propagáciu rámcov cez sieť zabezpečuje priame odosielanie na centrálny bod a veľkosť rámca (obsahuje len 25B dát).

Okrem radu výhod, ktoré takéto riešenie poskytuje, vzniká tu riziko neoprávneného prístupu na takúto sieť. Keďže celý systém je priechodný, ktorékoľvek zariadenie môže byť skompromitované a odosielené dáta pozmenené. Toto riziko sa týka predovšetkým pri použití alternatívnych dátových sietí, napríklad cez lokálnych poskytovateľov pripojenia, GSM operátora atď. V simulácii sú uvažované 2 alternatívne spôsoby pripojenia, cez mikrovlnnú bezdrôtovú sieť a cez mobilnú sieť GSM. Simulátor neposkytuje model zariadení GSM, preto používame technológiu UMTS, ktorá sa líši od GSM v modulácii a rýchlosti, ale pre dátové prenosy je vhodnejšia.

Bezpečnosť

Základným predpokladom ochrany dátovej siete je znemožnenie fyzického prístupu ku komunikačným rozhraniám siete. V prípade, že sú komunikačné jednotky umiestnené na stožiaroch vysokého napätia, musia byť uložené v uzamknutých ochranných krytoch vysoko nad zemou, aby bol znemožnený prístup k nim.

Pri reálnom použití pripojenia cez GSM alebo bezdrôtové rádiové pripojenie je kritické používať zabezpečovacie metódy, akými sú autentizácia klientov a šifrovanie dát. Pri komunikácii cez GSM šifrovanie určuje operátor, ale pri lokálnej bezdrôtovej sieti, musí byť komunikácia medzi zariadeniami šifrovaná mechanizmami, ktoré zariadenia podporujú (WPA2 atď.). Ďalšia možnosť je použiť šifrovanie cez VPN tunel, ktorý dnes väčšina komunikačných brán podporuje. Je samozrejme vhodné tieto metódy kombinovať k zvýšeniu úrovne zabezpečenia.

Kvalita služieb (QoS)

Pri štúdiu systémov, ktoré sú komerčne dostupné na trhu, zisťujeme, že žiadne zo zariadení nemá implementovaný systém riadenia front pomocou techník QoS, resp. ponúkané zariadenia neriešia prioritizáciu prenosu vôbec. Ako referenciu prikladáme zdroje produktových špecifikácii troch rozdielnych firiem[11] [28] [29].

Rozdelenie priority naberá význam pri použití ako tranzitného protokolu TCP/IP, v ktorom je priorita definovaná v poli ToS. V protokole IEC 104, ktorý je vlastne IP implementácia protokolu IEC 101, je priorita dát značená v kontrolnom poli, tzv. Access Demand Bitom, ktorý indikuje, či rámec obsahuje údaje level 1, alebo level 2, pričom level 1 majú vyššiu prioritu. Väčšina komunikačných jednotiek používa operačný systém Linux alebo proprietárne softvérové riešenie výrobcu, tzn. aktualizácia by bola možná aj na existujúcich a používaných zariadeniach, keďže riadenie obsluhy front je záležitosť softvéru.

4 ZÁVER

Navrhovaná sieť má hierarchickú štruktúru, ktorá sa logicky delí na 3 časti: vrstva koncového zberu dát (časť s prístupovými koncentrátormi), vrstva distribučného zberu dát (distribučné koncentrátoary) a vrstva hlavného zberu dát (centrálny koncentrátor).

Na úrovni koncového zberu dát sú zariadenia pripojené s centrálnym rozbočovačom hviezdovou topológiou. Za predpokladu, že prístupový koncentrátor bude v blízkosti rozbočovača, je pripojený sériovou linkou s rýchlosťou 1,544Mbit/s. Koncové zariadenia (komunikačné jednotky transformátorových staníc a vypínačov vysokého napätia) odosielaajú dáta do jednotky koncentrátoru v intervale 1s. Prístupový koncentrátor prijíma dáta od koncových staníc po interval 5s, za ktorý z prijatých dát extrahuje informácie z informačných polí protokolu IEC 60870-5-104, zoskupí ich do nových rámcov, ktoré následne odosiela do nadradeného systému, ktorým je distribučný koncentrátor.

Úloha vrstvy distribučného zberu dát je príjem dátových rámcov z niekoľkých prístupových koncentrátorov. Zber trvá po dobu 5s, kedy sú dáta preskupené do väčších celkov a následne odoslané do centrálného koncentrátoru, čo je najvyššie zariadenie v hierarchii siete.

Zoskupovanie dát je v našom prípade forma predspracovania dát, kedy dochádza k výberu informačných objektov z prijatých rámcov z niekoľkých zariadení, identifikovaných fyzickou adresou samotného odosielaajúceho zariadenia a následného vytvorenia nového rámca s vyplnenými poľami informačných objektov na maximálnu možnú veľkosť. Zoskupovanie dát vedie k úspore šírky pásma, keď nie sú prenášané zbytočné alebo duplicitné polia rámcov ASDU, ktoré by sa pri iných formátoch opakovali.

Koncové zariadenia a koncentrátoary komunikujú medzi sebou pomocou protokolu PPP, ktorý je často používaný pri komunikácii cez telefónne linky pomocou modemov. V simulácii sú ako alternatívne dátové siete uvažované 2 modely, pripojenie cez mikrovlnnú bezdrôtovú sieť (WLAN) a pripojenie cez operátora mobilných dátových služieb GSM.

Navrhnutá sieť zvláda prenášať predložené dátové objemy bez vážnejších problémov. Simulované linky nie sú preťažované a nedochádza k zahadzovaniu paketov. Oneskorenia správ hlásiacich havarijných stavov nedosahujú vyššie oneskorenie ako 600ms.

5 ZOZNAM LITERATÚRY

- [1]. **XIN, Jianbo a DUAN, Xianzhong.** *A PRIORITY-BASED TRANSFER SCHEME BASED ON INFORMATION MODELS IN SWITCHED ETHERNET.* Wuhan, 2005.
- [2]. **BLAŽEK, Vladimír.** *Distribuce elektrické energie.* Brno, 2001.
- [3]. **PODHORSKÝ, Jiří.** *HDO Hromadné dálkové ovládání.* Praha, 2002. 80-7300-054-7.
- [4]. **Braciník, Peter a Altus, Juraj.** Lokalizácia miesta poruchy v sieti 22 kV s využitím prvkov umelej inteligencie. [Online] 2008. www.kves.uniza.sk/apvv/Files/RS08.pdf.
- [5]. **Emerson Trarbach, Marcio Brumatti, Eduardo Casotto and José L. F. Vieira.** Shared Radio System for Reclosers Control. [Online] <http://www.tatukgis.com/getdoc/3da0e81f-90b0-4020-bedb-e63222b2f71a/reclosers.aspx>.
- [6]. *Vyšší techniky datových přenosů - P3.* **Zeman, Václav.** Brno, 2011.
- [7]. **GmbH, INSYS MICROELECTRONICS.** INSYS Modem 56k small EU/INT. [Online] 2010. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0ef3/0900766b80ef3904.pdf>.
- [8]. **INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION.** A digital modem and analogue modem pair for use on the Public Switched Telephone Network (PSTN) at data signalling rates of up to 56 000 bit/s downstream and up to 33 600 bit/s upstream. [Online] 09 1998. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-V.90-199809-I!!PDF-E&type=items.
- [9]. —. Enhancements to Recommendation V.90. [Online] 11 2000. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-V.92-200011-I!!PDF-E&type=items.
- [10]. —. Data compression procedures. [Online] 11 2000. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-V.44-200011-I!!PDF-E&type=items.
- [11]. **Viola Systems.** Wireless Gateways. *Arctic IEC-104 Gateway.* [Online] 2009. http://www.violasystems.com/customerfiles/marketing/Arctic_IEC-104_Gateway.pdf.
- [12]. **Kocur, Zbyněk.** W-Sin. *WiFi síte prakticky.* [Online] <http://www.w-sin.cz/docs/wifi-prakticky.pdf>.
- [13]. **Marks, Roger.** IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee. *IEEE 802.16 WirelessMAN Standard: Myths and Facts.* [Online] 02. 09 2006. http://www.ieee802.org/16/docs/06/C80216-06_007r1.pdf.
- [14]. **Forum, WiMax.** WiMax Forum. *Technology.* [Online] 2009. <http://www.wimaxforum.org/technology/>.

- [15]. **Desourdis, Robert I.** *Emerging public safety wireless communication systems*. London : Artech House Publishers, 2002. s. 269. 0-89006-575-6.
- [16]. **IBEC, Inc.** IBEC BPL Products. *SBZ-01 Coupler*. [Online] http://www.ibec.net/pdf/sbz-01_coupler_specsheet_compressed.pdf.
- [17]. —. IBEC Broadband over Power Line Network Diagram. [Online] <http://img.docstoccdn.com/thumb/orig/43300752.png>.
- [18]. —. Broadband Regenerator Unit (BRU). *IBEC BPL Products*. [Online] http://www.ibec.net/pdf/bru_specsheet_compressed.pdf.
- [19]. *Substation Automation System for 33/66 kV S/S at North Delhi Power Limited*. **Kulkarni, Chetan S. a Mannazhi, Narendran.** s.l. : IEEE, 2006. 1-4244-0288-3.
- [20]. **Clarke, Gordon, Reynders, Deon a Wright, Edwin.** *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 63-65. 07506-7995.
- [21]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 182-183. 07506 7995.
- [22]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 195-196. 07506 7995.
- [23]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 173-175. 07506 7995.
- [24]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 188-189. 07506 7995.
- [25]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 191-202. 07506 7995.
- [26]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 218. 07506 7995.
- [27]. —. *Practical Modern SCADA Protocols*:. Burlington : IDC Technologies, 2004. s. 222-223. 07506 7995.
- [28]. **MEgA – Měřicí Energetické Aparáty, a.s.** Komunikační jednotka MEG202.2. www.e-mega.cz. [Online] 11 2010. <http://e-mega.cz/doc/2010/meg202.2.pdf>.
- [29]. **GmbH, PSI Nentec.** IEC104 Gateway. [Online] 5 2010. http://www.psinentec.de/index.php?id=5326&type=0&jumpurl=uploads%2Fmedia%2FIEC104_Gateway_Datasheet_01.pdf&juSecure=1&locationData=5326%3Att_content%3A32672&juHash=6bdaec6854b9ec091652e81fbca22d4601747c77.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ACK	- Acknowledgement
ACD	- Access demand bit
ASDU	- Application layer data service unit
BPL	- Broadband over power line
BRU	- Broadband over power line regenerator unit
CS	- Checksum
CSMA/CA	- Carrier sense multiple access collision avoidance
ČTÚ	- Český telekomunikační úřad
DCU	- Data concentration unit
DSL	- Digital subscriber line
EDGE/EGPRS	- Enhanced data rates for GSM evolution
EIRP	- Equivalent isotropically radiated power
EPA	- Enhanced performance architecture
GGSN	- Gateway GPRS support node
GPRS	- General packet radio service
HDO	- Hromadné diaľkové ovládanie
HF	- High frequency
IEEE	- Institute of electrical and electronics engineers
IEC	- International Electrotechnical Commission
IP	- Internet protocol
ISDN	- Integrated services digital network
MIMO-SOFDMA	- Multiple-input and multiple-output scalable orthogonal frequency-division multiple access
NAT	- Network address translation
OPC	- Object linking and embedding for process control
OSI	- Open systems interconnection
PLC	- Power line communications
PPP	- Point to point protocol
PQ	- Power quality
RAS	- Remote access server
RNC	- Radio network controller
RTU	- Remote terminal unit
SCADA	- Supervisory control and data acquisition
SGSN	- Serving GPRS support node
SIM	- Subscriber identity module
SNMP	- Simple network management protocol
SSH	- Secure shell
TETRA	- Terrestrial trunked radio
TDMA	- Time division multiple access
UHF	- Ultrahigh frequency

UMTS	- Universal mobile telecommunications system
UPS	- Uninterruptible power supply
USB	- Universal serial bus
VHF	- Very high frequency
VPN	- Virtual private network
WIFI	- Wireless fidelity
WIMAX	- Worldwide interoperability for microwave access
WLAN	- Wireless local area network

7 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A