

# 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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FRANTIŠEK KRETEK

BRNO 2012



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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FRANTIŠEK KRETEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** František Kretek

**ID:** 106563

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

## 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. Zaměřte se případně i na alternativní datové sítě a respektujte požadavky na zabezpečení přenosu požadovaného objemu dat, priority přenosu, obsluhu havarijních stavů na energetické síti. Proveďte 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.

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

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

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou hromadného sběru dat z energetických sítí. Je zde zahrnuto rozdělení energetických sítí. Systémy sběru dat AMM, AMR, AMI, SmartGrid a Smart Meters. Principy a funkce přenosových technologií GSM, GPRS, PLC, bezdrátové sítě a datové sítě. Pro simulace byl použit program Opnet IT Guru.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

sběr dat, energetické sítě, SmartGrid, Smart Meter, GSM, GPRS, PLC, Opnet

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with multiple data collection in power networks. Included is summary of power networks. Systems of data collection AMM, AMR, AMI, SmartGrid and Smart Meters. Principles and functions of GSM transfer technologies like GPRS, PLC and wireless network and data network. Opnet IT Guru was used for simulations of transfer.

## **KEYWORDS**

data collection, energy networks, SmartGrid, Smart Meter, GSM, GPRS, PLC, Opnet

KRETEK, František *Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2012. 51 s. Vedoucí práce byl Doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Jiřímu Mišurcovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	11
<b>1 Rozbor zadání</b>	<b>12</b>
<b>2 Distribuční síť elektrické energie</b>	<b>13</b>
2.1 Rozdělení energetických sítí . . . . .	13
<b>3 Inteligentní sítě</b>	<b>14</b>
<b>4 Úvod do problematiky chytrého měření</b>	<b>16</b>
4.1 Smart metering . . . . .	16
4.2 Smart grids . . . . .	16
4.3 Systém AMR . . . . .	17
4.4 Systém AMI . . . . .	17
4.5 Systém AMM . . . . .	18
<b>5 Princip Inteligentních sítí</b>	<b>19</b>
5.1 Odlišnosti SmartGrids od stávajících sítí . . . . .	21
5.2 Technické řešení datové komunikace . . . . .	22
5.3 Inteligentní měřicí přístroje - Smart Meter . . . . .	23
5.3.1 Indikátory zkratových proudů a zemních spojení . . . . .	23
5.3.2 PQ monitory . . . . .	23
5.3.3 Elektroměry . . . . .	24
5.3.4 Univerzální monitory distribučních sítí . . . . .	25
5.3.5 Datakoncentrátory . . . . .	26
5.3.6 Centrální systém . . . . .	27
5.4 Komunikace . . . . .	28
5.4.1 Komunikační topologie . . . . .	28
5.4.2 GSM síť . . . . .	29
5.4.3 Bezdrátové síť . . . . .	30

5.4.4	PLC - PowerLineCommunication . . . . .	32
5.4.5	Datová síť . . . . .	33
5.5	Bezpečnost . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Topologie navrhované IP sítě</b>	<b>35</b>
6.1	Situační schéma energetické sítě . . . . .	35
6.2	Rozdělení oblastí . . . . .	36
6.2.1	Rozdělení IP adres . . . . .	37
6.2.2	Objem přenášených dat . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Simulace v programu OPNET</b>	<b>38</b>
7.1	OPNET IT Guru . . . . .	38
7.2	Výsledky simulace v Opnet IT Guru . . . . .	41
<b>8</b>	<b>Závěr</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>48</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>49</b>
<b>A</b>	<b>Schéma fiktivní energetické sítě</b>	<b>50</b>
<b>B</b>	<b>Topologie datové sítě</b>	<b>51</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Schéma distribuční sítě . . . . .	13
5.1	Inteligentní síť[8] . . . . .	20
5.2	Proměna struktury energetické sítě ve Smart Grid [5] . . . . .	21
5.3	Porovnání stávajícího odečtu dat s odečtem na dálku . . . . .	24
5.4	Schéma komunikace mezi zařízeními . . . . .	26
5.5	Schéma přenosu přes GSM síť . . . . .	30
5.6	Schéma připojení přes rádiový spoj . . . . .	31
5.7	Schéma zapojení přes PLC síť . . . . .	32
5.8	Schéma zapojení přes telefonní síť . . . . .	33
6.1	Schéma fiktivní energetické sítě . . . . .	35
6.2	Topologie sítě . . . . .	36
6.3	System číslování IP adres . . . . .	37
7.1	schéma distribuční sítě v Opnetu . . . . .	40
7.2	Měřené parametry přenosu . . . . .	41

## SEZNAM TABULEK

7.1	Výsledky simulací zpoždění a odezvy aplikace . . . . .	42
7.2	Výsledky simulací zpoždění a odezvy aplikace . . . . .	43
7.3	Výsledky simulací zpoždění . . . . .	45

# ÚVOD

Elektrická energie se za posledních sto let stala jedním z nejvýznamnějších faktorů, majících vliv na technický rozvoj a životní úroveň každého z nás. Stálá dodávka této energie a její vysoká kvalita za odpovídající cenu jsou základními požadavky, na něž je kladen velký důraz. Chceme-li tyto požadavky naplnit, je nutno neustále provádět v jednotlivých bodech elektrizační soustavy měření, pomocí kterých získáme přehled o aktuálním stavu jednotlivých zařízení. Jde přitom o ekonomickou hospodárnost a maximální využití možností stávajících zařízení, sloužících pro přenos elektrické energie. Samotná měření bývají dlouhodobějšího rázu a výsledkem jsou kontinuální záznamy dat velkého objemu, které je nutno vhodným způsobem vyhodnotit. Pro tyto účely dnes existuje celá škála hardwarových a softwarových produktů, ovšem výběr nejvhodnější varianty hromadného zpracování dat může být velmi obtížný. Základními rysy při vyhodnocování velkého množství naměřených údajů by měla být časová nenáročnost, korektnost výsledků a možnost jejich dalšího využití při zvyšování spolehlivosti dodávky koncovým odběratelům elektrické energie.

# 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Po dohodě s vedoucím práce je zadání zpracováno v následujícím rozsahu:

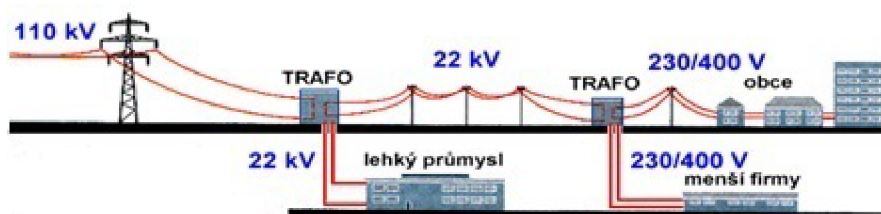
- Důvody zavádění Chytrých sítí - Inteligentních sítí.
- Rozbor základních pojmů z oblasti chytrého měření (Smart metering, Smart grids, systémy AMR, AMM, AMI). Jejich možnosti, vývoj a vliv při nasazení ve skutečných podmínkách.
- Obecná architektura systém pro sběru dat, Smart metering.
- Krátký popis přenosových technologií vhodných pro nasazení do sběrných sítí. Rozbor GSM, bezdrátových sítí, datových sítí, přenosu po elektrické síti.
- Návrh fiktivní inteligentní sítě a ověření její funkčnosti pomocí simulací.

## 2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ ELEKTRICKÉ ENERGIE

### 2.1 Rozdělení energetických sítí

Struktura distribuční sítě se v naší republice skládá ze čtyř úrovní, které využívají následující napětí v rozvodné soustavě:

- Nízké napětí - značka nn, jedná se o napětí 400V, které dodává elektrickou energii koncovým uživatelům. Délka tohoto vedení bývá zpravidla několik stovek metrů. Vedení je realizováno podzemním či nadzemním vedením.
- Vysoké napětí - značka vn, jedná se o napětí do 22kV, dodává elektrickou energii do větších oblastí (průmyslové zóny, města..). Vedení je realizováno taktéž nadzemním či podzemním vedením.
- Velmi vysoké napětí - značka vvn, odpovídá hodnotě 110kV až 220kV. Tyto linky slouží k propojení rozveden, aby bylo možné operativně řídit přenos energie v závislosti na okamžité spotřebě energie.
- Zvláště vysoké napětí - zvn 400kV až 1000kV, slouží k realizaci přenosové soustavy.



Obr. 2.1: Schéma distribuční sítě

### 3 INTELIGENTNÍ SÍTĚ

Za posledních 20 až 30 let došlo ve světě k rychlému technologickému rozvoji. Řada produktů, které denně používáme, prošla intenzivním vývojem, díky kterým můžeme používat bezpečnější automobily, rychlejší počítače nebo např. "chytřejší" domácí spotřebiče. Přesto ale existuje jeden produkt, který se i přes tak velký technologický rozvoj nezměnil a tím je elektrická energie.

Samozřejmě můžeme namítat, že ani elektrická energie se vývoji nevyhnula. Novější a výkonnější generátory jsou zajisté pokrokem, ale rozvod elektřiny a způsob výroby se za posledních 50 let téměř nezměnil. Stále se spoléháme především na velké centrální zdroje, od kterých je elektrická energie transportována dlouhým vedením ke spotřebiteli.

Díky novým informačním a komunikačním technologiím (ICT), došlo ke zvýšení produktivity, efektivnosti a kvality řady oborů lidské činnosti a ačkoliv se nástup ICT nevyhnul ani energetice, byl až dosud dopad jejich použití menší než v jiných oblastech. Vývoj v několika posledních letech ale naznačuje, že i to se změní. Smart Grids, nebo-li Inteligentní elektrické sítě, je pojem stále častěji diskutovaný jak mezi odborníky, tak i laickou veřejností a to především s nástupem nových, tak zvaných obnovitelných zdrojů elektrické energie.

Je vlastně potřeba vůbec vylepšovat stávající elektrické sítě, když po celou dobu funguje téměř bez větších problémů? Můžeme říci, že v současné době velká většina elektrických sítí vyhovuje požadavkům na ně kladených, avšak někdy nastávají situace, kdy se stávající elektrické sítě dostávají na své limity nebo i za ně. V takových případech může dojít k výpadkům části nebo i celé elektrické rozvodné sítě, nebo-li k tzv. black-outům.

V době, kdy je moderní lidská společnost na elektřině v podstatě závislá, znamená každý její výpadek nejen určité omezení komfortu, ale především způsobuje značné ekonomické ztráty.

Podle informací uvedených v časopise *Smart grid: An Introduction* [1] došlo v USA od roku 1965 k pěti obrovským výpadkům elektrické energie. Odhaduje se že při posledním, který byl v roce 2003 v zasažené oblasti způsobil black-out škodu za více než 6 miliard dolarů. Dále např. jiný black-out způsobil při hodinovém výpadku škodu za zdržení obchodů 20 miliard dolarů.

Tyto výpadky se nevyhýbají ani Evropě. Např v roce 2003 byla zasažena výpadky el. energie Itálie kdy se bez dodávky elektřiny ocitlo 55 miliónů osob. Nebo např. v listopadu 2006 Německo, Rakousko, Belgie, kdy black-out zasáhl 15 miliónů domácností[2].

Proč ale tyto výpadky vznikají? Důvodem výpadků v těchto průmyslově vyspělých zemí je především velký nárůst spotřeby elektrické energie. Vyšší spotřeba elektrické energie vede k nárůstu limitních situací ve vedení, které nedokáže přenést více než na kolik je dimenzováno. V České republice podle informací statistického úřadu vzrostla spotřeba elektrické energie v letech 2003 - 2008 o 25%.

Další důvod nestability elektrických sítí můžeme vidět v velkém rozvoji obnovitelných zdrojů el. energie a to zejména větrných a fotovoltaických elektráren. Hlavní nevýhodou těchto zdrojů je, že velikost produkce elektřiny je závislá na okamžitých povětrnostních podmínkách a jejich využití není stejné v průběhu celého dne. Stává se tak tedy, že ve velmi krátkém čase v jednotkách minut dochází k prudkému poklesu nebo nárůstu elektrické energie v síti. Tyto výkyvy se musí samozřejmě korigovat dispečerským řízením distribuční a přenosové sítě.

Z výše uvedených důvodů lze snadno odvodit, že se stávající systémy pro distribuci a přenos elektrické energie nacházejí na svém vrcholu, a tudíž další nárůst spotřeby elektrické energie bude mít za následek snížení kvality dodávky jejím spotřebitelům. Aby k tomuto nedošlo byl vyvinut koncept Inteligentních Sítí - SmartGrids, který má výše uvedené problémy řešit.

## 4 ÚVOD DO PROBLEMATIKY CHYTRÉHO MĚŘENÍ

### 4.1 Smart metering

Smart metering je systém pro dálkovou obousměrnou komunikaci mezi měřidlem a datovou centrálou. Pod pojmem měřidlo si můžeme představit domovní měřič elektrické energie (měřič spotřeby), měřič plynu, vody a třeba i měřič spotřeby tepla. Na druhé straně komunikace je datová centrála, která slouží pro sběr naměřených dat. Datová centrála sesbírání data uchovává a vytváří statistiky odběru, technických ztrát, ale hlavně podklady pro fakturaci.

### 4.2 Smart grids

Posledním pojmem pro úplnost je koncept Smart grids (chytré sítě). Jak zaznělo na konferenci Smart metering: EZ Futuremotion [3] definice této platformy zní: *Smart grids neboli "inteligentní síť" jsou spolehlivé, automatizované a efektivně řízené distribuční sítě 21. století. Principem je interaktivní obousměrná komunikace mezi výrobními zdroji a zákazníky o aktuálních možnostech výroby a spotřeby energie. Základem je technologie Smart metering, která je ovšem rozšířena o měřidla ve vlastní síti. Díky tomu je možné monitorovat a analyzovat aktuální stav sítě. To je vhodné především v energetice, kde může docházet ke kolísání napětí vlivem aktuální zátěže sítě. Díky technologii Smart grids by mělo být možné takto vzniklé zátěžové špičky detekovat a dynamicky měnit tarify přímo u spotřebitelů. Tím by docházelo k rozložení zátěže v síti a odlehčení sítě.*



## 4.3 Systém AMR

Systém AMR(zkratka odvozena z anglického Automated Meter Reading) vychází ze základní myšlenky automatického vzdáleného odečtu dat z měřicího zařízení. Tvoří ho služby umožňující PDS (provozovatel distribuční soustavy) číst data z elektroměrů na dlouhé vzdálenosti. Systém AMR je založen na jednosměrné komunikaci, kdy jsou data odesílána periodicky podle nastaveného intervalu(např. rok, měsíc, den, hodina...) z elektroměru do systému pro fakturaci a analyzování. Komunikace může probíhat přes různá rozhraní a automatický sběr dat umožňuje při užití dostatečně krátkého intervalu fakturaci založenou na reálné spotřebě. V takovém případě může být upuštěno od plateb za odběr elektrické energie zálohovým systémem, který je založen na odhadech spotřeby.

## 4.4 Systém AMI

Pokročilým stupněm AMR je systém AMI (Automated/Advanced Metering Infrastructure). Zásadním rozdílem, kterým se od AMR odlišuje, je obousměrná komunikace s elektroměrem. Může fungovat stejně jako AMR, kdy jsou naměřené data periodicky odesílána do datových center nebo si může provozovatel elektroměru neměřená data kdykoliv vzdáleně vyžádat. Systém AMI je tvořen měřicím zařízením (např. elektroměr, vodoměr, plynoměr), obslužným softwarem, komunikačním kanálem a systémem zpracování dat.

## 4.5 Systém AMM

AMM(Automatic Meter Management) je technologicky nejrozvinutější systém, který plně využívá možností obousměrné komunikace. Měřicí zařízení zapojené do tohoto systému musí být schopné zpracovávat vzdálené dotazy týkající se provozu energetické soustavy. Hlavním rysem konceptu AMM však není technologická vyspělost, ale návrh systému s cílem poskytování služeb přímo orientovaných na koncového zákazníka. Pojem AMM je více znám pod pojmem Smart Metering. Jedná se však o zcela totožný systém, který se stal základem nového konceptu tzv. chytrých sítí nebo-li Smart Grids. Smart Grids se jeví jako silný nástroj pro dispečerské řízení sítě založených na aktuálních datech získaných v reálném (nebo téměř reálném) čase přímo z místa spotřeby resp. výroby a možnosti tuto spotřebu resp. výrobu dynamicky regulovat [4]. Jelikož systémy pod názvem AMM, či Smart Metering, vyvíjí mnoho subjektů v různých částech světa zároveň, můžeme najít v jednotlivých řešeních mnoho rozdílů. Systém Smart Grids musí tedy pro své efektivní fungování podporovat následující operace:

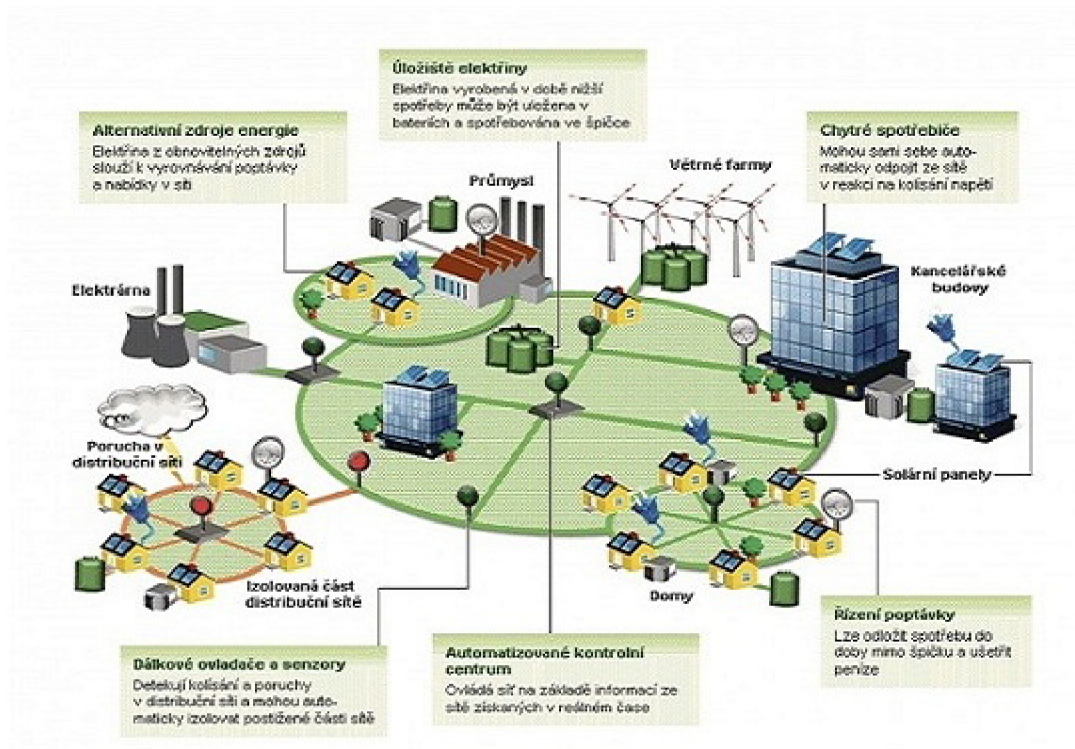
- Automatické zpracování, přenos, správa a užití dat.
- Automatická správa elektroměrů.
- Obousměrná komunikace s elektroměry.
- Včasné poskytování důležitých informací o spotřebě příslušným subjektům včetně koncového zákazníka.
- Podpora služeb pro zlepšování účinnosti energetického systému (výroba, přenos, distribuce a obzvláště konečná spotřeba).

## 5 PRINCIP INTELIGENTNÍCH SÍTÍ

Jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole, existují situace, se kterými si současné přenosové distribuční systémy nedovedou zcela poradit a výsledkem toho pak je jejich částečný nebo úplný výpadek. Inteligentní sítě jsou proto navrhovány tak, aby se riziko výpadku elektrické energie snížilo na co nejnižší míru.

Typické schéma inteligentní sítě můžeme vidět na obrázku 5.1. Z obrázku jsou patrné základní prvky inteligentní sítě. Jsou jimi:

- centrální zdroje elektřiny
- alternativní zdroje elektřiny
- elektrická vedení
- dálkové ovladače a senzory
- automatizované kontrolní centrum
- úložiště elektřiny
- Smart Meters - chytrá měřidla
- spotřebiče - koneční zákazníci



Obr. 5.1: Inteligentní síť[8]

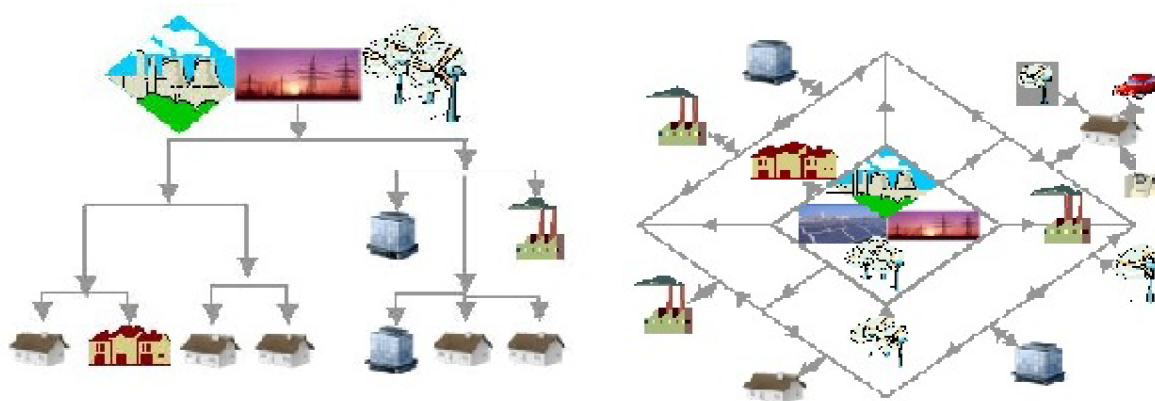
Jaké jsou tedy přínosy implementace inteligentních sítí? Zde musíme zcela určitě uvést, že cílem implementace Inteligentních sítí je realizace souboru celé řady opatření, které mají v konečném součtu přinést zkvalitnění dodávek elektrické energie. Spolehlivější a kvalitnější dodávka elektrické energie totiž znamená snížení nákladů na dodávku elektrické energie ke konečným spotřebitelům. Dále musíme uvést, že implementace Inteligentních sítí bude mít přínos na určité snížení odběru elektrické energie.

Cíle, které mají Inteligentní síť dosáhnout:

- spolehlivější dodávku elektrické energie
- ochrana elektrických sítí před živelnými pohromami a cílenými útoky na ně
- snížení negativních vlivů na životní prostředí a společnost
- snížení emise skleníkových plynů
- výchova zákazníka, který bude aktivně využívat výhod Inteligentních sítí
- zvýšení ekonomického růstu

## 5.1 Odlišnosti SmartGrids od stávajících sítí

Základní změna je tedy taková, že tyto sítě umožňují obousměrný tok elektřiny k zákazníkovi i od něj. Do sítě budou dodávat nejen dnes běžné velkokapacitní elektrárny, ale navíc budou zapojeny i menší lokální či regionální zdroje. Součástí inteligentních sítí jsou i měřidla, která umožní zákazníkovi získat přehled o své spotřebě elektrické energie. Zákazník tedy bude moci efektivněji řídit vlastní spotřebu. Na druhou stranu získají energetické společnosti přesné informace o chování zákazníků a umožní jim tvorbu cenových tarifů podle aktuální situace na síti. Na obrázku 5.2 níže můžeme vidět porovnání stávající struktury distribuční sítě, kde výroba energie je především ve velkých centrálních elektrárnách a tok energie je dán jedním směrem (výrobce - zákazník). Řízení výroby je tedy podle aktuální spotřeby. Zatímco u Smart Grids je výroba tvořena centrálními zdroji a lokálními obnovitelnými zdroji.



Obr. 5.2: Proměna struktury energetické sítě ve Smart Grid [5]

Tok výkonu dat je orientován oběma směry. Tento systém umožňuje minimální řízení velkých elektráren, neboť odstavování velkých elektráren není efektivní z pohledu provozní ekonomiky. V případě přebytku elektrické energie dochází k akumulaci energie (např. přečerpávací nádrže). V případě nedostatku se využije např. přečerpávacích stanic, vodních elektráren. To znamená, že tyto sítě jsou schopny efektivně spojit využití obnovitelných zdrojů energie s konvekčními zdroji, což zvy-

šuje čistotu energie a zároveň umožňuje soustavnější dodávku elektrické energie. Chytrá síť reaguje na přerušení dodávek energie a zajišťuje spolehlivější distribuci elektřiny, tzn. schopnost zabránit výpadku využitím lokálního zdroje výroby elektřiny.

V budoucnosti bude snaha tyto sítě rozšířit i do inteligentních domů, ve kterých budeme moci např. sledovat aktuální spotřebu vody, elektřiny, plynu, spínání spotřebičů či nabíjení elektromobilů.

## 5.2 Technické řešení datové komunikace

Z odběrného místa jsou data posílána do centrály, kde jsou zpracována a připravena pro další použití. Komunikace opačným směrem, tj. od obsluhy centrály, umožňuje posílat příkazy pro měřicí zařízení, která je zpracují a provedou. To až do teď nebylo možné a např. veškeré změny na elektroměrech bylo nutné provést přímo v místě odběrného místa prostřednictvím pověřeného pracovníka.

K přenosu se může použít telefonní linky, které mají ve vlastnictví energetické společnosti, a nebo pronajaté datové okruhy pevných linek, popřípadě využít služeb komerčních mobilních operátorů. Při nedostupnosti ani jedné z datových služeb je možné použít komunikaci přes energetickou síť. Tento způsob má výhodu v jednoduchosti implementace, protože již je vybudovaný komunikační kanál, avšak velkou nevýhodou je, že v případě poruchy na vedení dojde k přerušení komunikačního kanálu a tím ke ztrátě spojení.

## 5.3 Inteligentní měřicí přístroje - Smart Meter

Koncové měřicí přístroje jsou zařízení, které jsou připojeny do sběrné datové sítě s koncovou adresou a schopností komunikovat s nadřazeným systémem. Jedná se tedy o zařízení, které je možné propojit s měřicí soustavou, která zahrnuje:

- indikátory zkratových proudů a zemních spojení
- PQ monitory
- elektroměry
- Univerzální monitory distribučních sítí
- datakoncentrátory
- centrální systém

### 5.3.1 Indikátory zkratových proudů a zemních spojení

Indikátor zkratového proudu registruje průchod zkratového proudu fázovým vodičem, čímž usnadňuje a urychluje identifikaci porušeného úseku vedení včetně fáze. Princip spočívá ve sledování impedance mezi zemí a vodičem anebo mezi fázemi navzájem. Umožňuje tak přesnější lokalizaci místa poruchy. Používají se hlavně v kruhových a nebo radiálních distribučních sítích.

### 5.3.2 PQ monitory

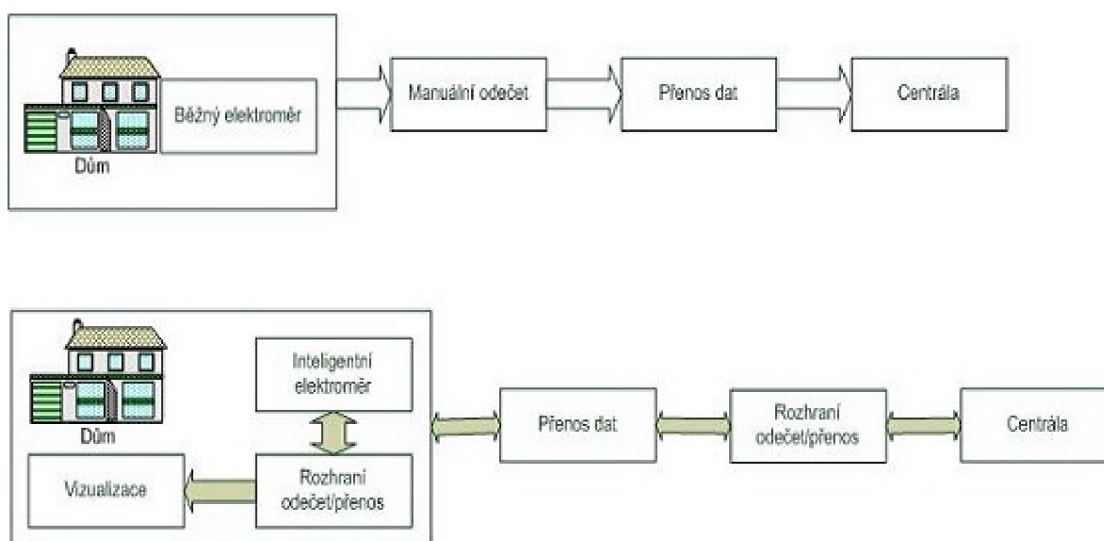
Monitor PQ je multifunkční měřicí přístroj pro měření až čtyř napětí a čtyř proudů, činných i jalových výkonů a energií v sítích nn i v sítích vn a vvn a pro dlouhodobý záznam jejich hodnot. Zaznamenává časový průběh efektivních hodnot uvedených veličin, změny napětí a proudu, přepětí, frekvence jednotlivých fází ze kterých poté určuje účinník. Pomocí těchto monitorů může dispečink plánovat údržbu, řídit kvalitu a náklady.[13]

### 5.3.3 Elektroměry

Na inteligentní elektroměry jsou kladeny požadavky na určité základní speciální funkce: dálkové odečty registrů, dálkové odečty profilů, technické a netechnické ztráty, kontrola dodávky elektrické energie, ohlašování alarmů elektroměru a dálkové odpojení nebo připojení.

- Dálkové odečty registrů - Tato funkce zajišťuje v libovolných intervalech dálkový odečet aktuálního stavu spotřeby elektrické energie. Následně pak může být prováděna fakturace reálné spotřeby elektrické energie zákazníků. Hodnoty spotřeby musí být zobrazeny na displeji elektroměru.

Funkce zajišťuje dálkové odečty zátěžových profilů, které mohou být v současné době využity pro analýzu zatížení sítě. Z těchto dat lze sestavit zátěžovou křivku, která usnadní analýzu chování zákazníka. Na obrázku 5.3 je znázorněn odečet dat stávající metodou a se zavedením chytrých elektroměrů.



Obr. 5.3: Porovnání stávajícího odečtu dat s odečtem na dálku



- Dálkové odpojení nebo připojení - Tato funkce zajišťuje, že v případě špatné platební morálky, ukončení odběru, či změny dodavatele umožňuje systém dálkové odpojit dané odběrné místo. Tuto funkci lze použít jako účinný nástroj k vymáhání pohledávek. Po vyrovnání dluhu lze zákazníkovi umožnit dálkově opětovné připojení odběrného místa.
- Technické a netechnické ztráty - Funkce poskytující možnost stanovení technických a netechnických ztrát v sítích NN. S tím bezprostředně souvisí možnost odhalování neoprávněných odběrů (krádeží elektrické energie). Kalkulace technických ztrát probíhá na základě porovnání spotřeby a zátěžových profilů jednotlivých odběrných míst a sumačního elektroměru v trafostanici, který měří celkovou distribuovanou energii v dané lokalitě. Z těchto údajů lze identifikovat možnost výskytu neoprávněných odběrů v dané lokalitě a podniknout kroky k jejich odstranění.

### **Druhy inteligentních elektroměrů**

Chytré elektroměry zaznamenávají spotřebu elektrické energie v hodinových intervalech a kratších. Naměřená data zaznamenávají a poskytují je pro následné zobrazení na displeji elektroměru. Hlavní rozdíl mezi stávajícími elektroměry je v poskytování obousměrné komunikace mezi samotným odběrným místem a centrálním systémem.[6]

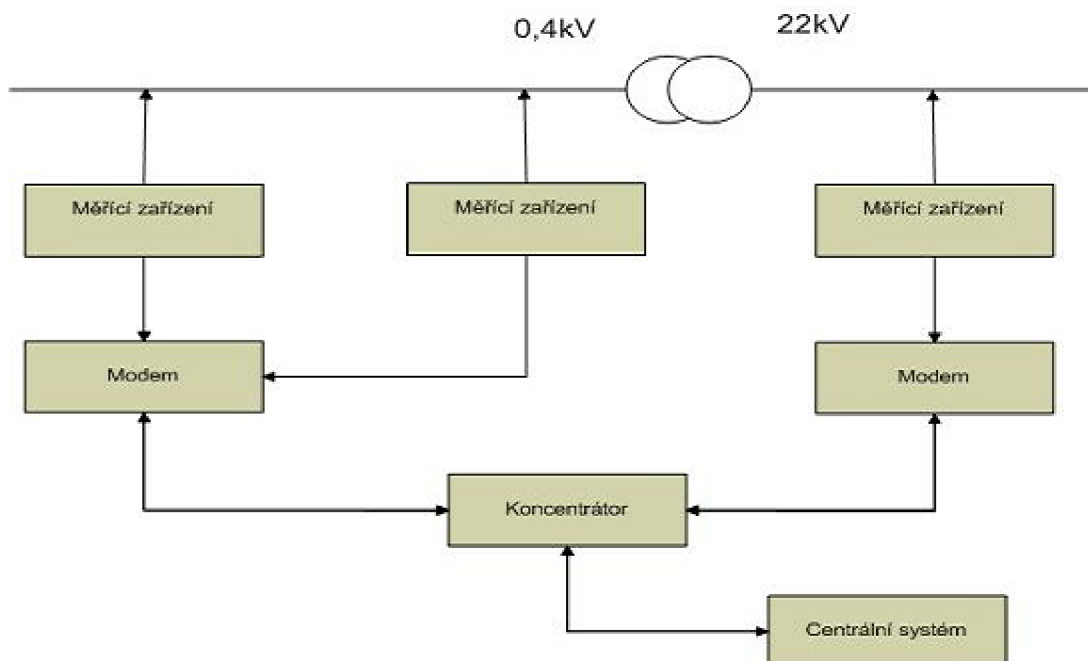
#### **5.3.4 Univerzální monitory distribučních sítí**

Univerzální měřicí přístroje pracující na všech napěťových hladinách pro měření napětí, proudů, výkonů a vyhodnocování energií. Mohou vyhodnocovat maxima fázových proudů, zaznamenávat denní diagramy ve zvolené dny, registrovat události na napětí (poklesy, zvýšení a přerušení). Naměřené veličiny a výstupy lze použít zejména pro optimalizaci a časové rozložení odběrů elektrické energie, posouzení funkce kompenzace, odhalování technických i netechnických ztrát, rozbor a minimalizaci následků událostí (poruch) na napětí.

### 5.3.5 Datakoncentrátoři

Hlavní funkcí je přenos dat z měřidel do centrálního systému přes koncentrátor. Pro splnění tohoto úkolu musí data koncentrátor dekodovat data z podřízených měřidel přijatých jedním druhem komunikace, znovu je zakódovat a odeslat do centrálního systému jiným druhem komunikace než PLC. Přenos dat je pro systém AMM obousměrný – z měřidel do centrálního systému a z centrálního systému do elektroměru. Data koncentrátor může být použit i jako směrovač, tak jak jednotlivé případy vyžadují.

Data koncentrátor dovoluje vyčítat data z podřízených jednotek periodicky. Tato data jsou zaznamenána do paměti a odeslána centrálnímu systému podle jeho požadavků. Počet jednotek připojených k datakoncentrátoru se liší v závislosti na typu komunikace a typu shromážděných dat. Všechny mimořádné události a důležité informace jsou zaznamenány. Například špatná komunikace, žádná odezva měřidel a podobně. Veškerý komunikační provoz je zaznamenán do souboru pro budoucí analýzu. Data koncentrátor registruje také poplachová hlášení, která jsou přiřazena definovaným událostem. Například otevření krytu data koncentrátoru, chyby úrovně napětí, příliš vysoká teplota atd.



Obr. 5.4: Schéma komunikace mezi zařízeními

### 5.3.6 Centrální systém

Centrální systém zajišťuje komunikace mezi jednotlivými prvky systému. Systémy doposud používají různé komunikační protokoly a různé šifrování dat. Snaha distribučních firem je standardizovat tento komunikační protokol a šifrování dat.

**Mezi hlavní požadované funkce patří:**

- Vzdálená komunikace se zařízeními
- Konfigurace a kontrola zařízení
- Automatický odečet měřicího zařízení - Kontrolní odečet - Odečet údajů o kvalitě energie - odečet údajů o momentální spotřebě - odečet údajů o stavu měřicího zařízení
- Řízení topologie sítě
- Předvídání problémů a podpora řešení
- Datová podpora a řízení vztahů mezi zákazníky

## 5.4 Komunikace

### 5.4.1 Komunikační topologie

Pro dálkovou komunikaci existují různé drátové a bezdrátové komunikační topologie a použité technologie. V zásadě se používají dvě různé topologie.

#### **P2P(Point-to-Point)**

Každý měřič přenáší data v každém případě přímo do centrálního datového systému. V současné době existuje celá řada možností komunikace. Mezi základní patří rádiová komunikace na bázi technologií GSM/GPRS nebo RF, kdy přenos přímo probíhá vzduchem. Kabelová komunikační technologie je na principu DSL, optických rozvodů nebo pomocí PLC, kdy modem je na straně zákazníka a přes modem probíhá komunikace přímo do centrálního systému.

#### **P2MP(Point-to-MultiPoint)**

V této koncepci probíhá dálková komunikace pouze nepřímou. Přenos tak probíhá z odběrného místa přes datový koncentrátor a následně do centrálního datového systému. Od odběrného místa do datového koncentrátoru jsou nejčastěji přenášena data technologií PLC, RF, ale lze použít (tam kde není výhodné použít PLC) i technologie GPRS, ADSL. V datovém koncentrátoru jsou data uložena a následně přenášena přes komunikační technologii (GPRS, ADSL,RF) do centrálního datového systému.

V současné době komunikace mezi jednotlivými měřicími komponentami se provádí pomocí sériového rozhraní, nebo standardizovaným protokolem pro energetiku IEC 60870-5-101. Komunikační jednotky můžeme následovně propojit zpravidla pomocí těchto technologií:

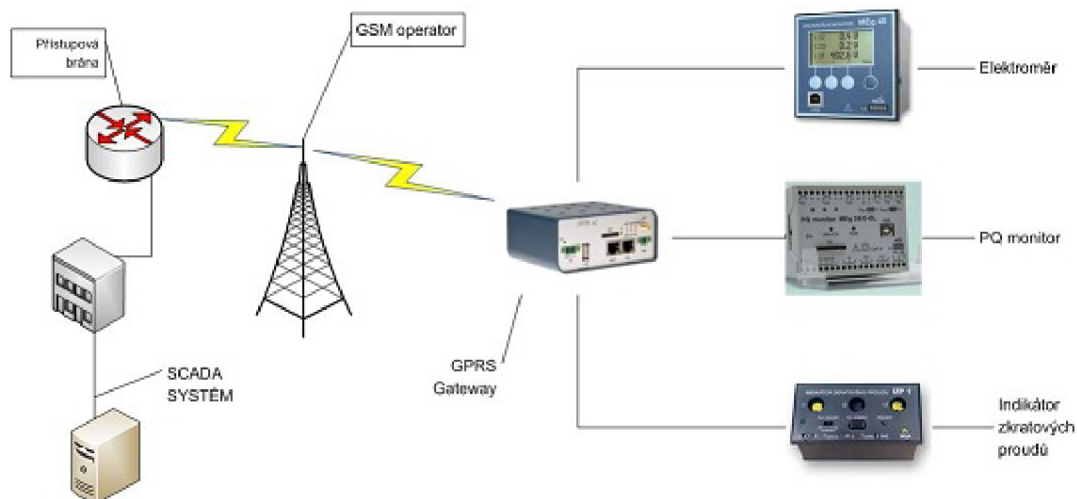
- GSM síť (GPRS,EDGE,3G...)
- bezdrátovou síť (Wifi, ZigBee, Wimax,Tetra...)
- energetickou síť (BPL/PLC)
- datová síť (ISDN,xDSL,V.92,atd.)

Tyto jednotlivé přenosové technologie provozují komerční poskytovatelé a jejich použití pro daný přenos závisí na lokální dostupnosti dané technologie.

### 5.4.2 GSM síť

Tento způsob připojení komunikačních prvků v síti pomocí technologie GSM, která pracuje ve frekvenčním pásmu 900/1800MHz je jeden z nejefektivnějších. Protože stávající síť má velké pokrytí, tudíž je snadná implementace měřicího zařízení do sběrné sítě. Hlavní podmínkou správného připojení je kvalita signálu, která ovlivňuje komunikační rychlost a dostupnost této technologie. V případě tedy, že zajistíme dostatečný signál můžeme přenášet data v základních rychlostech, které nám technologie GPRS umožňuje.

Abychom mohli tuto technologii v Inteligentních sítích využít k datovému přenosu, musíme připojit komunikační jednotku tzv.gateway, která nám umožní připojení do sběrné datové sítě. V na trhu můžeme najít různé moduly např. od společnosti Conel ER75i GPRS/EDGE gateway, která nám umožňuje připojit měřicí zařízení pomocí portu RS 232, RS485/RS422 a následně odeslat data přes GPRS. Maximální přenosové rychlosti jsou u tohoto zařízení download 236,8 kb/s, upload 85,6 kb/s. Samozřejmě přenosová rychlost je přímo závislá na momentální síle signálu a vytiženosti dané buňky. Na obrázku 5.5 vidíme schéma zapojení koncových stanic pomocí technologie GSM.[12]



Obr. 5.5: Schéma přenosu přes GSM síť

### 5.4.3 Bezdrátové sítě

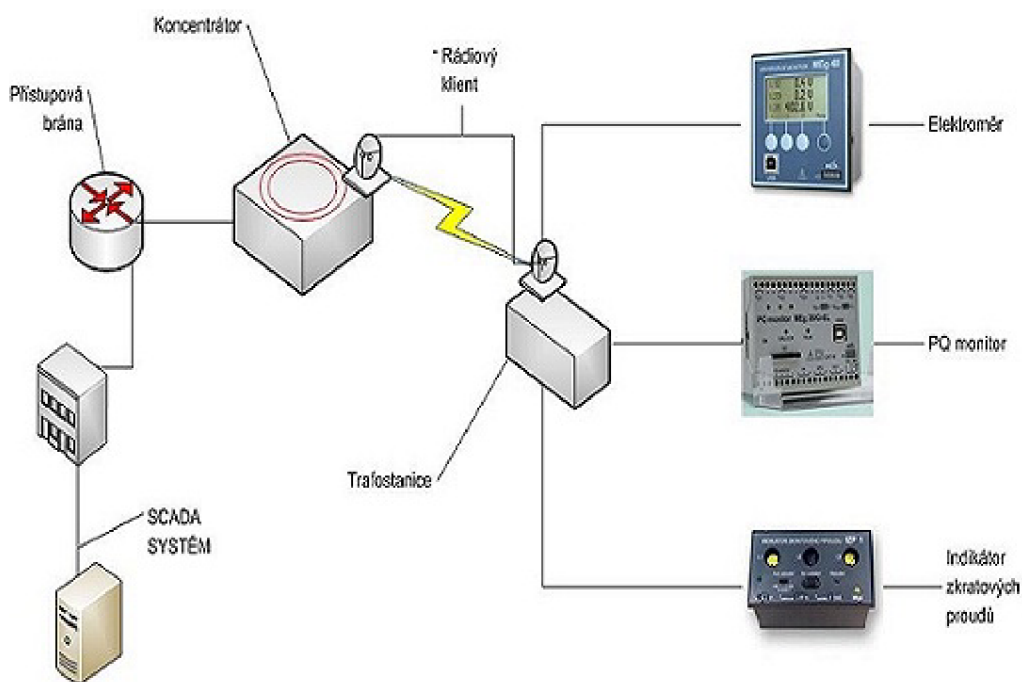
#### WIFI

Bezdrátové připojení pomocí radiových vln je alternativou připojení přes GSM. Tato technologie pracuje ve frekvenčním pásmu 2-10GHz. Tato technologie nemá zdaleka tak velké pokrytí jako GSM. Kvalita přenosu je přímo závislá na kvalitě signálu, tudíž musíme zabezpečit dostatečné pokrytí vysílači. Ve městech a oblastech husto osídlených dochází z důvodu velkého využití této technologie k vzájemnému ovlivňování signálu a proto mohou nastat situace, že nedojde k správnému přenosu. Proto se tato technologie používá ve volném prostoru, kde můžeme zajistit přímou viditelnost mezi vysílači.

Pro realizaci přenosu musíme mít k dispozici Wifi přijímač a vysílač. Jelikož chceme využívat IP komunikaci jsou tyto zařízení schopny vykonávat obousměrný přenos dat. Standardní zařízení, které jsou momentálně nabízené pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz a pracují na 13 komunikačních kanálech.

Ve wifi sítích, kde chceme propojit 2 zařízení použijeme propojení ad-hoc. Při tomto propojení musíme zajistit přímou viditelnost antén, které nesmí mít mezi sebou žádnou překážku, aby se eliminovaly chyby přenosu. Při této komunikaci většinou

používáme směrovou nebo sektorovou anténu s vyzařovacím úhlem  $<10^\circ$ . V případě, že se více zařízení připojuje na jeden přístupový bod musíme použít antény s vyšším úhlem. Můžeme volit mezi všesměrovými, které mají pokrytí  $<360^\circ$  nebo sektorovými s úhlem  $<120^\circ$ .

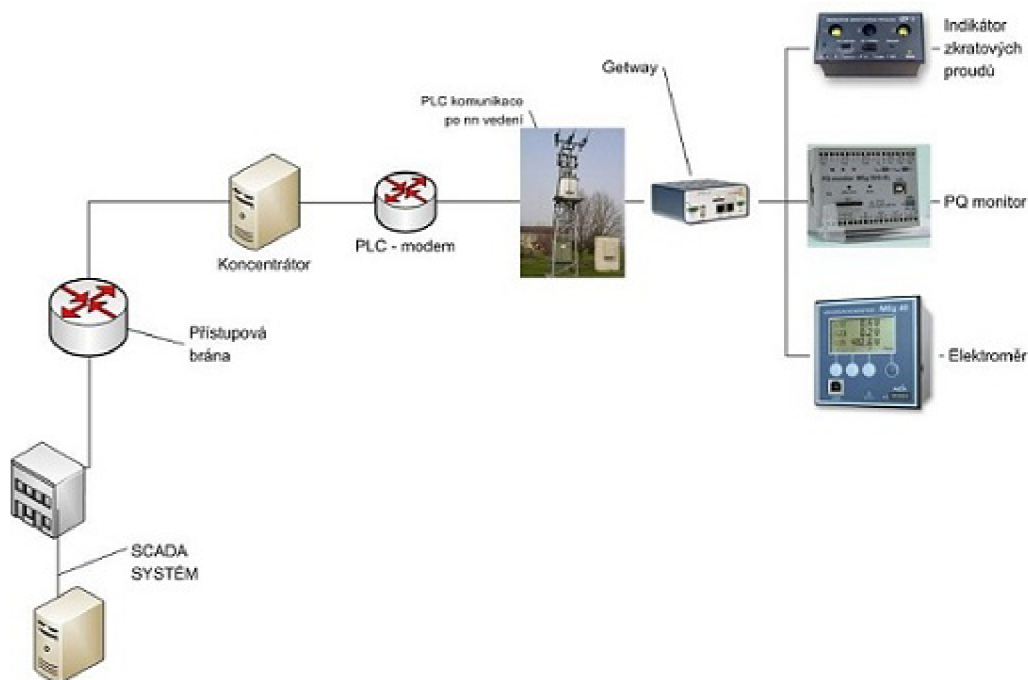


Obr. 5.6: Schéma připojení přes rádiový spoj

### WIMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Wimax pracuje v licenčním tak v bezlicenčním spektru v pásmu 2-11 GHz, v režimu bez požadované přímé viditelnosti a má maximální dosah ve venkovských oblastech do 50 km a v husté zástavbě do 3-5 kilometrů. Značný dosah signálu umožňuje jednak vyšší vysílací výkon a také použití směrových antén, nejčastěji tři sektorové antény na základnové stanici. WiMAX nabízí kapacitu do 75 Mbit/s, kterou ovšem sdílejí všichni uživatelé připojení k téže základnové stanici. Technologie 802.16 je navržena tak, aby vyhověla požadavkům na spolehlivost a dostupnost komunikačních sítí v 99% . Proto se může uplatnit jak v přístupových sítích, tak v metropolitní bezdrátové komunikaci.

#### 5.4.4 PLC - PowerLineCommunication



Obr. 5.7: Schéma zapojení přes PLC síť

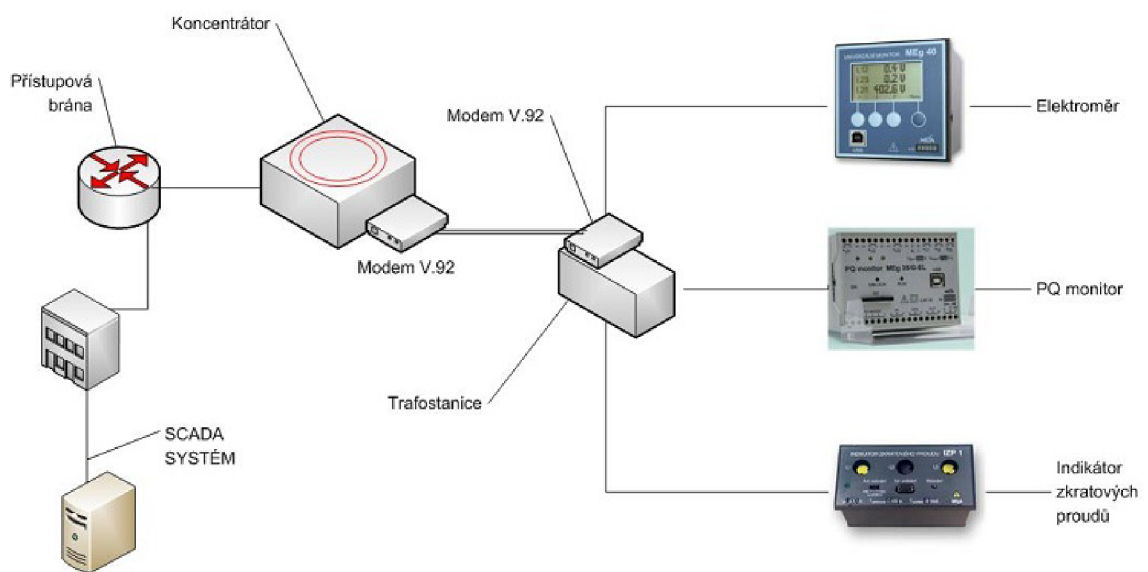
Využití silových rozvodů napětí se nám jeví jako alternativa přenosu v místech, kde nedosáhneme pokrytí technologiemi, které jsou závislé na síle signálu např. horské oblasti. Měřicí zařízení umožňuje komunikaci s PLC modemem pomocí RS232. Tento modem je připojen na silový rozvod. Tyto modemy jsou schopny komunikovat po silovém vedení rychlostí do 200MBit/s. V případě přenosu dat na delší vzdálenosti musíme brát v potaz vlivy šumu na přenos dat a musíme minimalizovat chyby přenosu. Do těchto vedeních, kde provádíme přenos dat se instalují zařízení, které nám regenerují přenášený signál. Tyto zařízení se instalují zpravidla po 1 - 1,5km délky vedení[9].

Výhodou tohoto zapojení je, že se využívají stávající rozvody a proto se sníží náklady na výstavbu sítě. Nastane-li však na vedení porucha, dojde i k přerušení komunikačního kanálu, a tím ke ztrátě spojení. Nejnovější modely modemů jsou vybaveny již záložním systémem např. GSM, WIFI nebo paměťovým médiem.



### 5.4.5 Datová síť

Jedná se o jednu z nejdostupnějších technologií pomocí kabelového vedení. Nepotřebuje žádnou další montáž, využívá pevných stávajících rozvodů. Hlavní výhodou je dobrá dostupnost a odolnost vůči rušení. Připojení zařízení je realizováno modemem přímo přes telefonní linku, nebo přes telefonní ústřednu. V případě, že bude probíhat komunikace pouze mezi koncovým měřicím zařízením a sběrným uzlem(koncentrátorem) postačí nám ke komunikaci základní rychlost 56 kbit/s.[10]



Obr. 5.8: Schéma zapojení přes telefonní síť

## 5.5 Bezpečnost

Inteligentní sítě jsou postaveny na informacích důležitých pro distributory, obchodníky i zákazníky. Množství předávaných informací v elektrizační soustavě radikálně stoupne, přičemž bude nutné zajistit jejich bezpečné a včasné doručení správnému subjektu. V mnoha případech může jít o citlivá nebo osobní data, jejichž ztráta, zpoždění či zneužití by mohlo mít fatální následky. Přenos dat bude muset být proto velmi bezpečný.

Jak bylo uvedeno dříve, mají Inteligentní měřidla schopnost zaznamenávat stavy sítě ovládání elektrospotřebičů, sledování spotřeby atp. A právě v tomto hrozí nebezpečí. Pokud by dokázala neoprávněná osoba napadnout Inteligentní měřidlo, získala by tím do domácnosti prakticky přístup. Elektroměr by totiž v takovém případě umožnil jednoduše sledovat, kdy jsou její obyvatelé doma a jaký mají denní režim. Navíc by tato neoprávněná osoba mohla změnit údaje o odběru el. energie. Samozřejmě by se mohlo jednat i o případ, kdy by si majitel domu tímto způsobem snažil snížit spotřebu elektřiny.

Mnohem vážnější by však bylo narušení dat nesoucí informace o provozu sítě. Útočníci by mohli například falšovat informace o tocích v síti, aby zmátli operátory nebo aby vyvolali kolaps sítě. Mohli by například poslat požadavky na přerušení určitých linek, zahltit řídicí systém či dokonce nad ním převzít úplnou kontrolu. Musíme tedy veškeré datové toky související s provozem sítě maximálně zabezpečit. Šifrovat budeme muset nejen vlastní data ale i samotné přenosové linky.

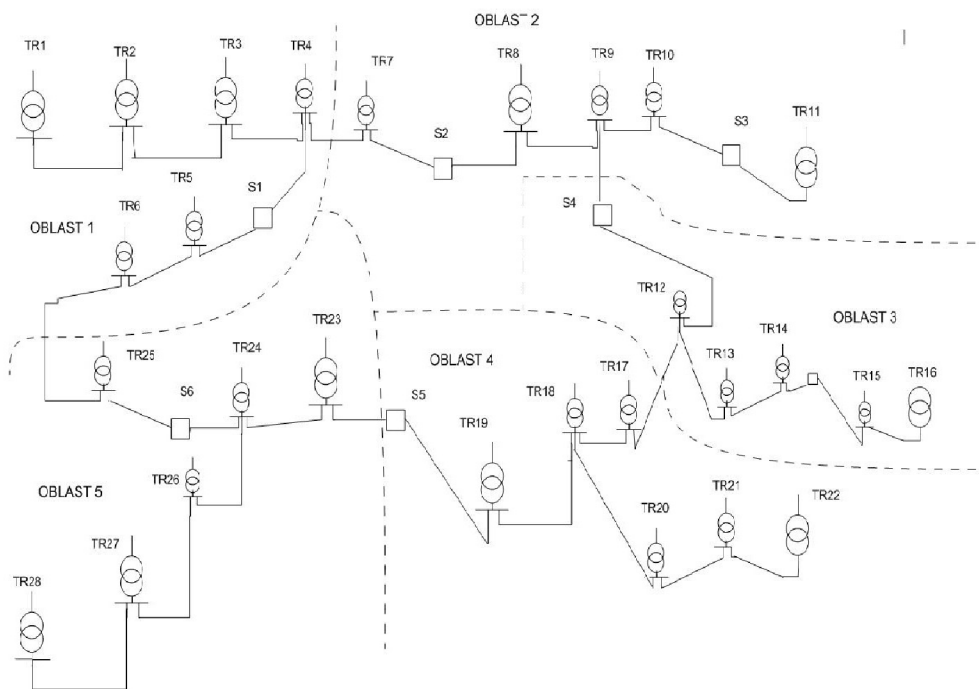
### Možná opatření na ochranu dat

- Šifrování autentizačních signálů
- Vícefaktorová autentizace
- Detekce průniku
- Bezpečnostní monitoring sítě
- Instalace firewallů
- Antivirová ochrana

## 6 TOPOLOGIE NAVRHOVANÉ IP SÍTĚ

### 6.1 Situační schéma energetické sítě

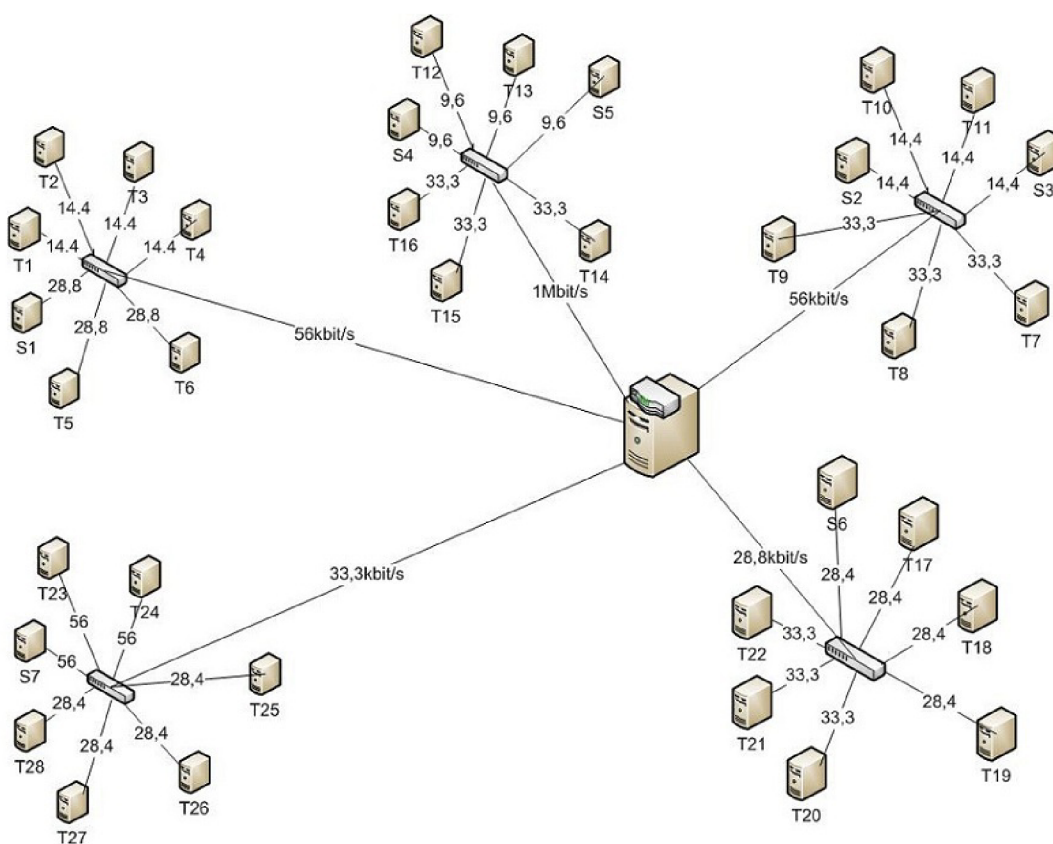
Pro účel návrhu datové IP sítě pro energetickou distribuční síť je vhodné použití stávajícího rozvodu. Jelikož tyto informace nejsou veřejně dostupné, byla vytvořena pomocí dostupných informací fiktivní distribuční síť. Schéma této zjednodušené fiktivní sítě lze vidět na obrázku 6.1. Tato síť je realizována pomocí transformátorových stanic při napětí 110/22kV. Síť je rozdělena do 5 oblastí O1 - O5. Koncová měřicí zařízení budou umístěna na každé trafostanici. Na trasách jsou nainstalovány vysokonapěťové odpínače(reclosery)[7], které slouží jako vypínače v případě poruchy způsobené klimatickými jevy (vítr, blesk, pád stromu na elektrické vedení atp.)



Obr. 6.1: Schéma fiktivní energetické sítě

## 6.2 Rozdělení oblastí

Návrh topologie na obrázku 6.2. vychází z distribuční energetické sítě která je uvedena na obrázku 6.1. Navrhnuté schéma sítě je rozděleno na 5 oblastí označené písmenem O a číslem dané oblasti. V jednotlivých oblastech jsou datakoncentrátory, ke kterým jsou připojeny koncové měřicí zařízení. Tyto koncentrátory jsou následně propojeny pomocí různých datových linek k centrálnímu uzlu.



Obr. 6.2: Topologie sítě

### 6.2.1 Rozdělení IP adres

Pro identifikaci koncových bodů sítě a pro směrování přenášených dat se používá v rámci protokolu TCP/IP, adresa IPv4. Pro jednoduchost a snadnou orientaci v síti byl zvolen formát adresy tak, aby bylo možné z této adresy identifikovat polohu zařízení.



Obr. 6.3: Systém číslování IP adres

Tato navrhovaná fiktivní síť se skládá z 35 koncových stanic, které monitorují stav sítě. Z toho je v síti připojeno 7 vysokonapěťových odpínačů. Naměřená data se shromažďují do 5 datakoncentrátorů, odkud jsou následně odesílána do centrálního bodu.

### 6.2.2 Objem přenášených dat

Koncová měřicí zařízení, která budou použita v navrhované fiktivní síti budou odesílat data v pravidelných časových intervalech 5 sekund. Velikost těchto přenášených dat je stanovena na 1000 bytů. Tato hodnota se blíží objemu dat, která se běžně ve stávajících rozvodech přenáší z koncových měřicích zařízení směrem k centrálnímu dispečinku.

## 7 SIMULACE V PROGRAMU OPNET

### 7.1 OPNET IT Guru

Program OPNET IT Guru je simulační prostředí, které bylo vyvinuto firmou OPNET Technologies Inc., a slouží pro návrh, simulaci a analýzu různých síťových technologií a mechanismů. Velice efektivně a podrobně dokáže modelovat chování rozsáhlých heterogenních sítí včetně komunikačních protokolů pracujících na různých úrovních modelu sítě. Základním kamenem OPNETu je jeho grafické prostředí, díky kterému je práce v něm efektivnější a rychlejší. Velmi důležitou vlastností OPNETu je široká možnost tvorby různých statistik z dané simulace. Tato vlastnost nabádá k použití OPNETu všude tam, kde je třeba ověřit chování reálného objektu v různých extrémních podmínkách (např. chování serveru při vysoké zátěži apod.). S tím také souvisí, že někdy nemůžeme na reálném objektu ověřit chování, které ani nemusí nastat, ale díky OPNETu si jej můžeme nasimulovat, abychom znali výsledek chování reálného objektu v určité situaci a mohli díky této znalosti předcházet nežádoucím stavům.[11] Simulace probíhá s určitým zrychlením, takže je možné třeba nasimulovat např. měsíční chování sítě v řádu hodin. Značná výhoda OPNETu je v jeho objemných knihovnách, které mají dostupný zdrojový kód, z čehož plyne, že kód můžeme dále upravovat. Další vlastností OPNETu je multiplatformovost (Windows, Linux).

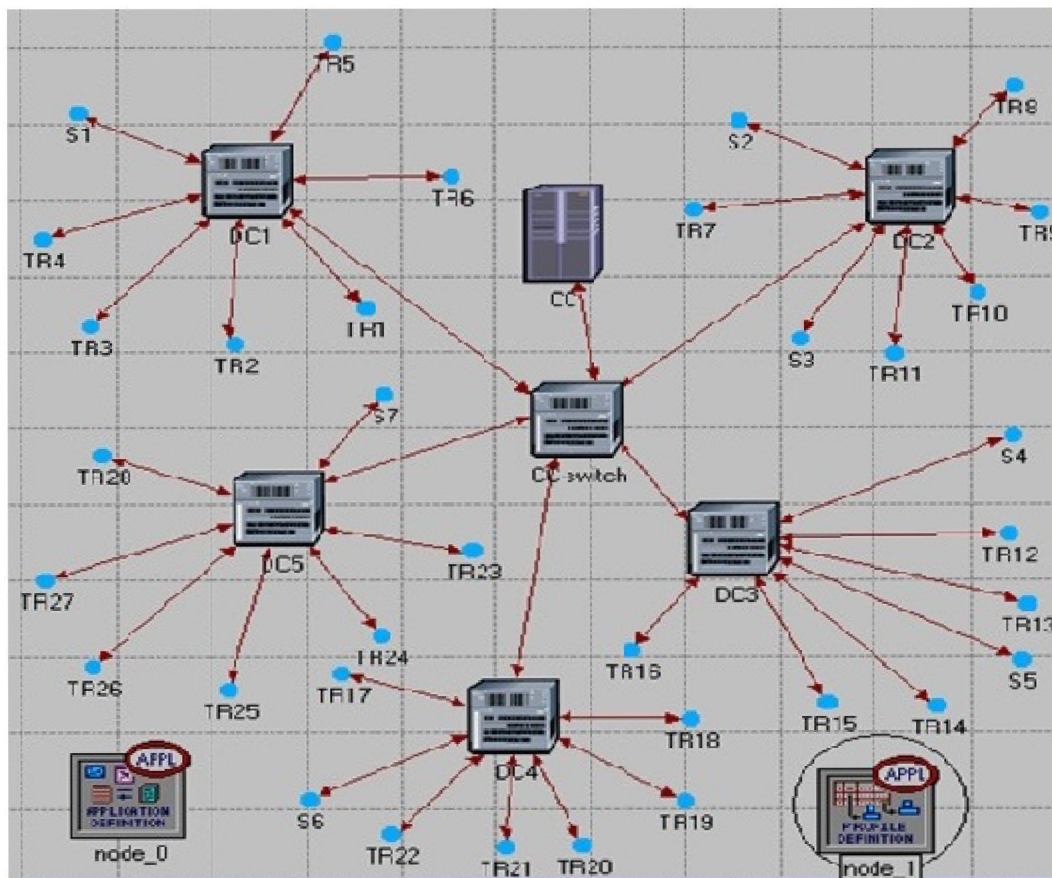
Úkolem simulace je provést ověření funkčnosti navržené inteligentní sítě. Aby byla zajištěna srozumitelnost a názornost výsledků, je volen jednoduchý model. Sběrná síť se skládá z prvků označovaných jako měřidlo, koncentrátor a datová (sběrná) centrála. Protože OPNET neobsahuje takto označené a funkčně založené prvky, byly zvoleny komponenty s podobnou funkcí z nabídky OPNETu. OPNET slouží především pro simulování datových sítí a tak lze s výhodou použít prvky, které se jinak používají v datových sítích. Náhrada sice nebude naprosto přesná, ale pro simulaci, ověření funkčnosti sítě nám postačí. Simulační model je tedy složen z měřidel, které v OPNETu reprezentují koncové

stanice. Dále z koncentrátorů, které jsou reprezentovány přepínači a sběrnou centrálou. Vzájemné propojení je realizováno linkami, které mají přenosové kapacity uvedeny v tabulce níže. Jako zdroj dat byl zvolen FTP (File Transfer Protocol), který přenáší zprávy o velikosti 1kbyte. Počet komunikujících měřidel je zvolen na 35.

Vlastní sestavování projektu začneme umístěním potřebného počtu měřidel (v OPNETu tedy uzlů/node) s označením EthernetWkstn. Následně přidáme i koncentrátory (prvek je v OPNETu označen jako Ethernet16Switch). Abychom si ulehčili práci a nemuseli přidávat jednotlivá měřidla jedno po druhém, je možné využít položku Rapid Configuration z nabídky Topology -> Rapid Configuration. Zde je možné zvolit styl topologie (v tomto případě hvězda/star). Typ spojení mezi jednotlivými linkami zvolíme EthernetAdv. Tento profil linky umožňuje nastavovat například propustnost, nebo i zpoždění charakteristické pro danou linku. Konfigurace přenosových kapacit a zpoždění se provádí v lokální nabídce (Edit Attributes) pro jednotlivé linky. Dalším prvkem sítě bude sběrná centrála. Z pohledu OPNETu se bude jednat o klasický server s označením EthernetServer.

Pro nastavení datových přenosů mezi měřidly a datovou centrálou budeme využívat další dva prvky. Jedná se o konfigurační objekt aplikací Application-Config a o objekt sloužící pro definici profilu daných aplikací ProfileConfig. V aplikačním konfiguračním souboru nastavíme aplikace, které budeme v simulaci používat. V případě naší simulace postačí nastavit položku Application-Definitons na hodnotu Default, což zajistí spuštění několika aplikací v včetně FTP přenosu, který budeme využívat. A nyní již ke konfiguraci profilu aplikací v Profile Config. Zde konfigurujeme vlastnosti jednotlivých aplikací. Například jak často a v jakém čase se budou jednotlivé aplikace spouštět, jaká bude velikost přenášeného souboru a mnoho dalšího. Nastavíme potřebné parametry. V položce Profile Configuration v konfiguračním objektu profil nastavíme položku Rows na 1 a zvolíme parametry pro náš FTP přenos představující provoz ve sběrné síti. Nastavíme parametry spouštění a v položce aplikace (Application) nastavíme aplikace, které se v daném profilu budou uplatňovat. Nastavíme

tedy opět Rows na 1, jméno (Name) na File Transfer a spouštěcí čas (Start Time) nastavíme na konstantní (constant) s hodnotou 5 vteřin. Z hlediska datových přenosů je nastavení kompletní.



Obr. 7.1: schéma distribuční sítě v Opnetu



## 7.2 Výsledky simulace v Opnet IT Guru

Před spuštěním simulačního procesu je nutné nastavit charakteristiky, které chceme sledovat. Celé nastavení se pro konkrétní prvek děje v kontextové nabídce pomocí položky Choose Individual DES Statistics -> Node Statistics. V kontextovém menu po kliknutí na pracovní plochu volbou položky Choose Individual DES Statistics -> Global Statistics volíme globální statistiky platné v celém projektu. V našem konkrétním případě jsme zvolili:

- odezva aplikace (ms)
- koncové zpoždění přenosu (ms)



Obr. 7.2: Měření parametry přenosu

Abychom docílili funkčnosti navrhované sítě musí se parametry zpoždění mezi jednotlivými koncovými stanicemi a sběrnými uzly (koncentrátory) pohybovat do max. hodnoty 5 sekund. Výsledné hodnoty provedených simulací jsou uvedeny v tabulce níže. V případě, že bychom tuto hraniční hodnotu přesáhli musely by jsme zatížené linky předimenzovat na vyšší přenosové rychlosti aby jsme tento nežádoucí parametr snížili na potřebnou mez.

Naměřené hodnoty zpoždění a odezvy  
 aplikací v programu Opnet IT Guru

Oblast	Trasa	Rychlost linky [kbit/s]	Odezva aplikace [ms]	Zpoždění [ms]
O1	T1-DC1	14,4	408	65
	T2-DC1	14,4	408	65
	T3-DC1	14,4	408	65
	T4-DC1	14,4	408	65
	S1-DC1	28,8	252	41
	T5-DC1	28,8	252	41
	T6-DC1	28,8	252	41
O2	T7-DC2	33,3	217	38
	T8-DC2	33,3	217	38
	T9-DC2	33,3	217	38
	S2-DC2	33,3	217	38
	T10-DC2	14,4	421	67
	T11-DC2	14,4	421	67
	S3-DC2	14,4	421	67
O3	S4-DC3	9,6	464	71
	S5-DC3	9,6	464	71
	T12-DC3	9,6	464	71
	T13-DC3	9,6	464	71
	T14-DC3	33,3	127	22
	T15-DC3	33,3	127	22
	T16-DC3	33,3	127	22

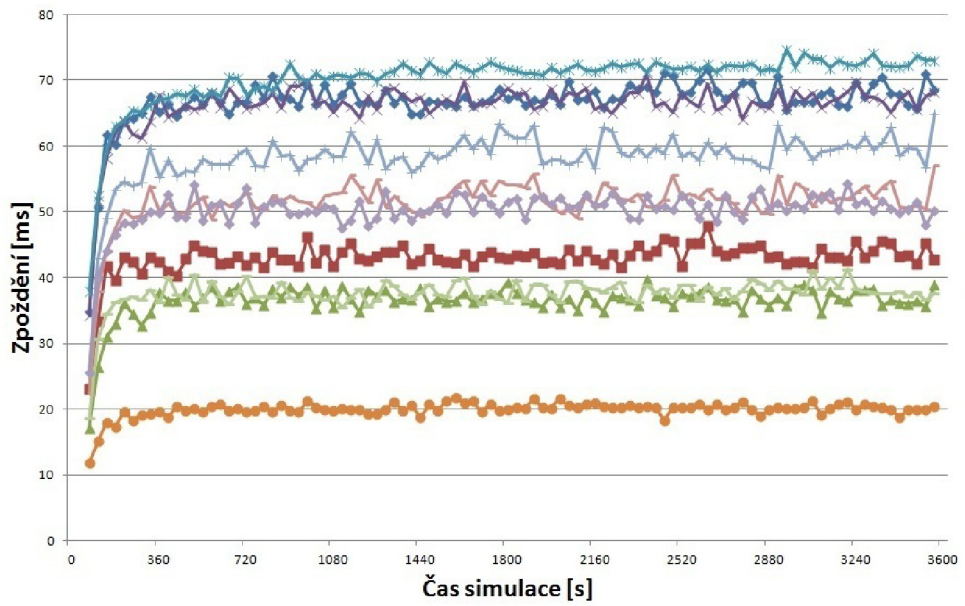
Tab. 7.1: Výsledky simulací zpoždění a odezvy aplikace

Oblast	Trasa	Rychlost linky[kbit/s]	Odezva aplikace [ms]	Zpoždění [ms]
O4	S6-DC4	28,4	348	52
	T17-DC4	28,4	348	52
	T18-DC4	28,4	348	52
	T19-DC4	28,4	348	52
	T20-DC4	33,3	307	48
	T21-DC4	33,3	307	48
	T22-DC4	33,3	307	48
O5	S7-DC5	56,6	226	39
	T23-DC5	56,6	226	39
	T24-DC5	56,6	226	39
	T25-DC5	28,4	320	51
	T26-DC5	28,4	320	51
	T27-DC5	28,4	320	51
	T28-DC5	28,4	320	51

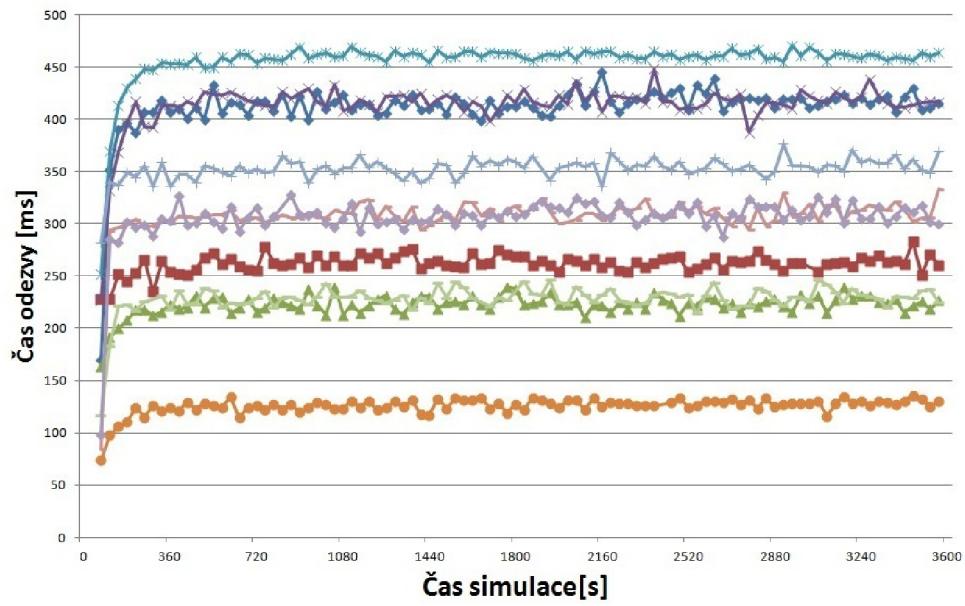
Tab. 7.2: Výsledky simulací zpoždění a odezvy aplikace

Z výše uvedených naměřených hodnot vyplývá, že nejvyšší odezva aplikace je 464 ms v oblasti O3 při rychlosti přenosové linky 9,6 kbit/s. Nejnižší odezva aplikace je 127ms v oblasti O3 při přenosové rychlosti 33,3kbit/s. Z provedených simulací nám tedy vyplývá, že daná navrhovaná fiktivní síť se dle simulací nedostává do kritických přenosových hodnot, které by vedli k velkému zpoždění přenosu dat, které by způsobili opožděnou reakci na stav sítě. Simulace proběhly v hodinovém provozu. Dále byli provedeny vytížení hlavních přenosových linek mezi koncentrátory a centrální stanicí. Jak vyplývá z výsledků zpoždění jsou navrhnuté přenosové linky plně dostačující pro přenos dat o požadovaném objemu.

### Koncové zpoždění přenosu

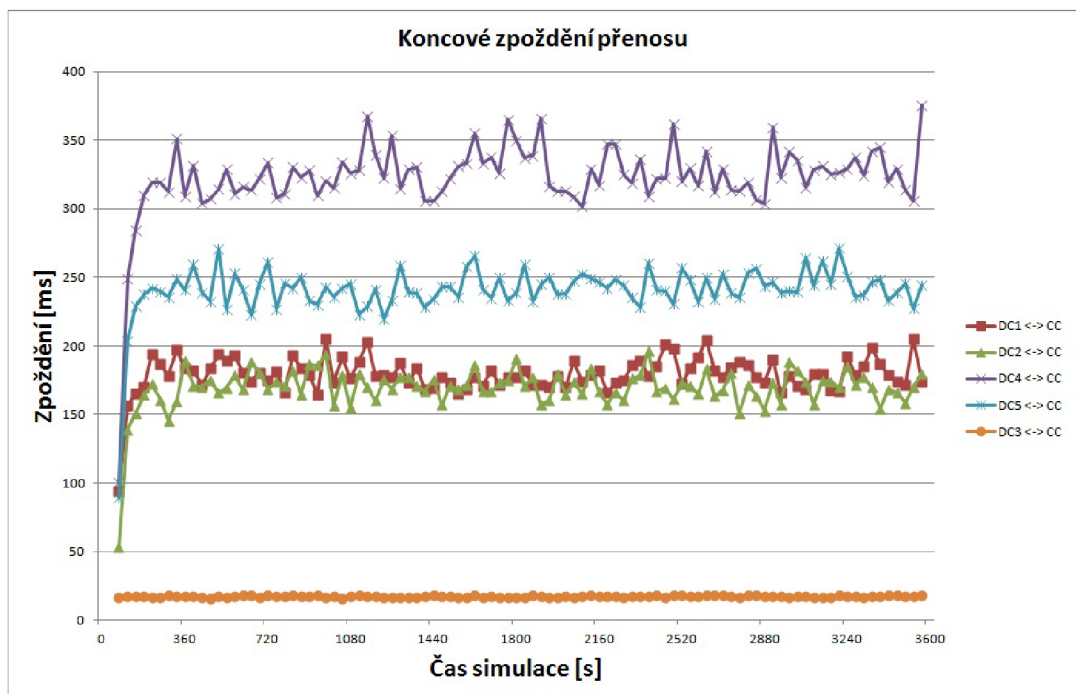


### Odezva aplikace



Oblast	Trasa	Rychlost linky [kbit/s]	Zpoždění [ms]
O1-O5	DC1-CC	56	189
	DC2-CC	56	168
	DC3-CC	1000	17
	DC4-CC	28,4	328
	DC5-CC	33,3	245

Tab. 7.3: Výsledky simulací zpoždění



## 8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku sběru dat z měřicích zařízení v energetické síti na rozsáhlém území. Jsou zde rozebrány základní pojmy "chytrého měření" jako jsou Smart metering, Smart Grids, systémy AMR, AMI, AMM.

Se sběrem dat souvisí i přenos jednotlivých informací. Pro přenos těchto informací jsou v práci uvedeny technologie, které se v oblasti chytrého měření využívají. Jedná se o technologie GSM, PLC, Bezdrátové sítě a datové sítě. V kapitole 5 jsou tyto technologie popsány a je naznačeno jak se využívají ve spojení se Smart Metery.

Pro implementaci těchto měřicích zařízení do stávajících energetických sítí byl vytvořen fiktivní model energetické sítě, aby bylo možné zjistit náročnost přenosových linek, které budou zajišťovat komunikaci mezi koncovým zařízením a centrálním uzlem. Po provedení simulací v simulačním programu Opnet byly zjištěny zpoždění přenosu dat v této navrhované síti. Z výsledků vyplývá, že daná modelová síť splňuje parametry přenosu dat, které nám monitorují stav sítě.

## LITERATURA

- [1] **SmartGrid:An introduction** [online] c.2008 Litos Strategic Communications dostupný z: <[http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_SG\\_Book\\_Single\\_Pages%281%29.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf)>.
- [2] Výstavba přenosové sítě [online]. c2010. ČEPS,a.s. dostupný z: <[http://www.ceps.cz/doc/soubory/20100909/Vystavba\\_vedeni\\_%202010\\_web.pdf](http://www.ceps.cz/doc/soubory/20100909/Vystavba_vedeni_%202010_web.pdf)>.
- [3] KONFERENCE Smart metering. říjen 2010, Praha
- [4] **M&C energy** [online, MC\_Smart\_Metering\_Systems.pdf] dostupný z: <[http://www.m-c-energy.eu/Smart\\_Metering\\_Systems.pdf](http://www.m-c-energy.eu/Smart_Metering_Systems.pdf)>
- [5] Smart Grids **Petrák**, Praha: ČEZ a.s. Divize distribuce, 2009
- [6] **Landis+gyr**, Praha 2012 dostupné z: <[http://www.landisgyr.com/en/pub/products\\_and\\_services.cfm](http://www.landisgyr.com/en/pub/products_and_services.cfm)>
- [7] <[http://www.dribo.cz/pdf/CZ\\_DOV.pdf](http://www.dribo.cz/pdf/CZ_DOV.pdf)>
- [8] <<http://futuremotion.cz/cs/futuremotion/volba-vyuziti.html>>
- [9] **ZEMAN Václav**. Power Line Communication. Přednášky. Brno: VUT, 2010
- [10] **NOVOTNÝ V**. Architektura sítí Skriptum FEKT VUT v Brně, 2002.
- [11] **MOLNÁR, Karol; ZEMAN, Otto; SKOŘEPA, Michal**. Moderní síťové technologie: Laboratorní cvičení Brno: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky, Ústav telekomunikací, 2008 <[http://www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar/mmos/MMOS\\_lab.pdf](http://www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar/mmos/MMOS_lab.pdf)>
- [12] **HANUS S**. - Bezdrátové a mobilní komunikace Skriptum FEKT VUT v Brně, RadioMobil, a.s., Brno 2003.
- [13] <[www.e-mega.cz](http://www.e-mega.cz)>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AMR Automated Meter Reading

ICT informační a komunikační technologie

AMI Automated/Advanced Metering Infrastructure

AMM Automatic Meter Management

PQ monitor Power Quality monitor

GPRS General Packet Radio Service

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

WIFI označení pro standardy IEEE 802.11

PLC PowerLine Communication

GSM Globální Systém pro Mobilní komunikaci

IP Internet Protocol

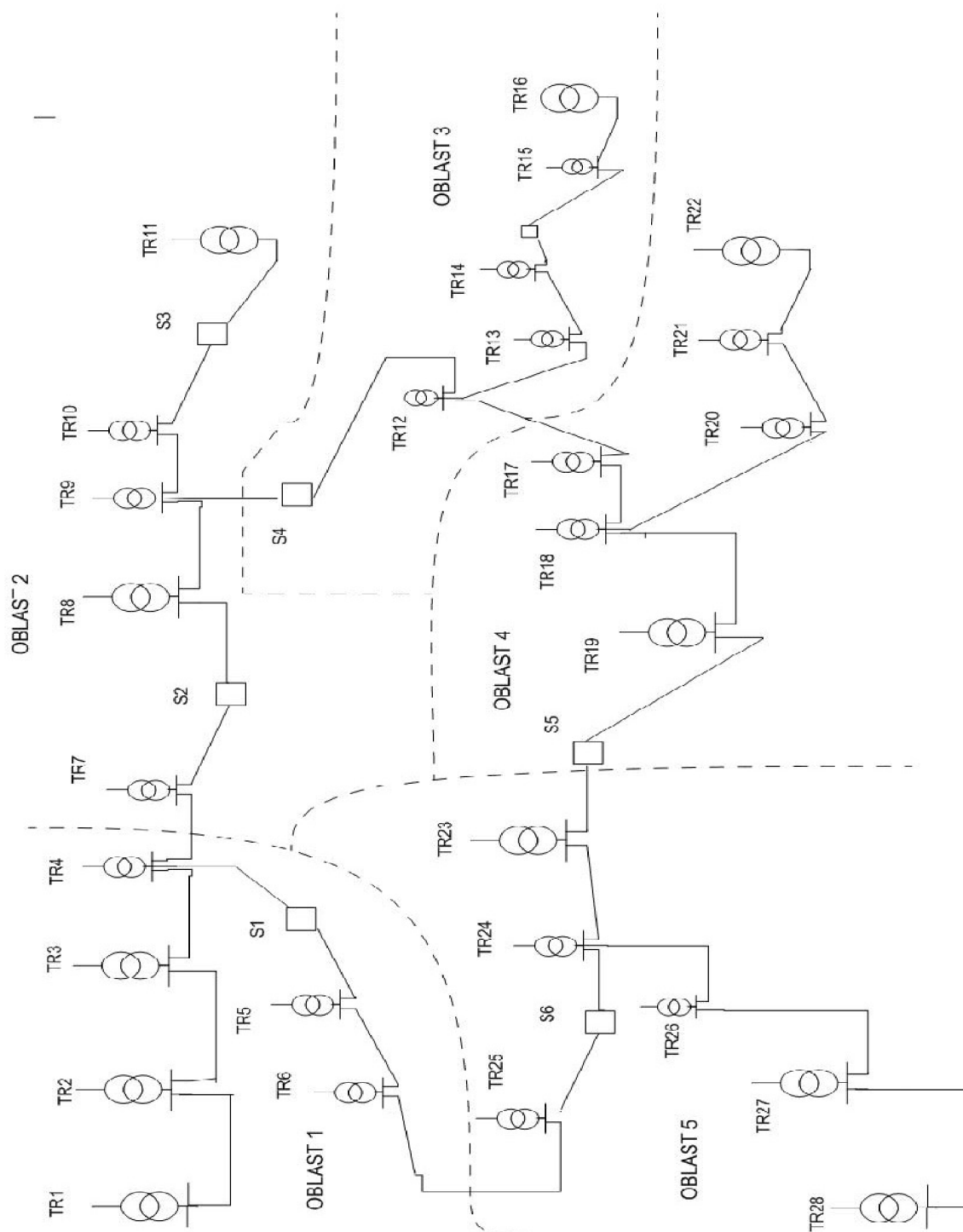
TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol



# SEZNAM PŘÍLOH

A Schéma fiktivní energetické sítě	50
B Topologie datové sítě	51

# A SCHÉMA FIKTIVNÍ ENERGETICKÉ SÍTĚ



# B TOPOLOGIE DATOVÉ SÍTĚ

