

# 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

SMART GRIDS - CHYTRÉ SÍŤE V ENERGETICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VLADISLAV KAPOUN

BRNO 2013



**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

## **SMART GRIDS - CHYTRÉ SÍTĚ V ENERGETICE**

SMART GRIDS - SMART GRID FOR ENERGY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**VLADISLAV KAPOUN**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.**

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Vladislav Kapoun

**ID:** 134329

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

**Smart grids - chytré sítě v energetice**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Definujte pojem "chytré sítě" v energetice a zaměřte se především na vlastnosti těchto sítí které mají vliv na přenos dat. Navrhněte koncept datové komunikace a koncových zařízení splňující podmínky Smart grid. Rozeberte prvky chytrých sítí pro energetiku. Zaměřte se rovněž na spolehlivost a bezpečnost komunikace. V rámci práce navrhněte simulační síť, která bude obsahovat obvyklé prvky, které se vyskytují v chytrých sítích v energetice. Proveďte simulaci datových nároků v jednotlivých částech a stanovte kapacitní nároky na datovou síť.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2.

[2] Chee-Mun Ong. Dynamic simulation of electric machinery using Matlab/Simulink. Prentice Hall PTR, 1998. ISBN 0-13-723785-5

[3] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740-309.

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 5.6.2013

**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 je zaměřená na rozbor a popis Chytrých sítí v energetice. Zabývá se obecnými nároky Chytrých sítí a jejich využitím v praxi. Rovněž pojednává o bezpečnosti Chytrých sítí a popisuje jejich komponenty. Navrhuje inteligentní domácnost, vybírá a teoreticky aplikuje prvky na předem vybraný objekt. Bakalářská práce dále obsahuje simulační síť, jejíž grafy zobrazují propustnost linky mezi koncentrátory při simulování datového provozu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Chytré sítě, komunikace, inteligentní elektroměry, nároky, simulace, Opnet

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is aimed at the analysis and the description of Smart Grids within the field of power engineering. It deals with Smart Grids' general requirements and their practical application. Furthermore, it discusses Smart Grids' security measures, and describes its components. It also draws up intelligent household, selects and theoretically applies components to pre-selected object. The bachelor thesis further encompasses a network simulation whose graphs show channel transmissivity among concentrators while data are simulated.

## **KEYWORDS**

Smart grids, communications, smart meters, demand, simulation, Opnet



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Smart Grids - Chytré sítě v energetice“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Mišurci, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Také bych rád poděkoval přítelkyni za trpělivost a nejen psychickou podporu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům za jejich podporu a za to, že ve mě věřili.

Brno .....

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Purkynova 118, CZ-61200 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# OBSAH

Úvod	11
<b>1 Smart Grids</b>	<b>12</b>
1.1 Význam pro energetiku	13
1.2 Současné využití	16
1.2.1 Česká Republika, Smart region Vrchlabí (ČEZ)	16
1.2.2 Japonsko, Okinawa - Charging Management System for EV Rental Cars (HITACHI)	16
1.2.3 Nové Mexiko, Japan - US smart grid demonstration project	17
1.2.4 Japonsko, Yokohama smart city project (YSCP)	17
1.3 Smart Grids v Evropě	17
1.3.1 Projekty Evropské Unie	18
1.4 Nároky Smart Grids	19
1.4.1 Komunikace	19
1.4.2 Systém IEC 61850	20
1.4.3 Sběr dat	21
1.4.4 Transformovny	24
1.4.5 Skladování energie	25
1.5 Měřicí technologie Smart Grids	25
1.5.1 Flexible AC Transmission Systems (FACTS)	26
1.5.2 Technologie stejnosměrného vysokého napětí (HVDC)	26
1.5.3 Automatic Meter Reading (AMR)	26
1.5.4 Automatic Meter Management, Advanced Meter Management (AMM)	26
1.5.5 Advanced Metering Infrastructure (AMI)	26
1.5.6 Systém hromadného dálkového ovládání (HDO)	27
1.5.7 Smart Metering (SM)	27
1.6 Komunikační technologie Smart Grids	27
1.6.1 Přenosové technologie	28
1.7 Bezpečnost Smart Grids	29
1.7.1 Hrozby	30
1.7.2 Útoky na systém	30
<b>2 Komponenty Smart Grids</b>	<b>31</b>
2.1 Spotřebiče	31
2.2 Plynoměry, vodoměry a další	31
2.3 LCD panely, mobilní telefony, PC	32

2.4	Inteligentní elektroměry . . . . .	32
2.5	Data koncentrátory . . . . .	32
2.6	Servery . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Koncept chytrého bytu</b>	<b>34</b>
3.1	Elektroměry pro chytrý byt . . . . .	34
3.2	Inteligentní systémy . . . . .	35
3.3	Spotřebiče pro chytrý byt . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Teoretická realizace chytrého bytu</b>	<b>38</b>
4.1	Elektroměr MT5Q1D . . . . .	38
4.2	Inteligentní systém Foxtrot . . . . .	38
4.3	Spotřebiče . . . . .	39
4.4	Shrnutí . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Simulační síť</b>	<b>40</b>
5.1	Opnet IT Guru Academic Edition . . . . .	40
5.2	Vytvoření simulační sítě . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Výsledky simulace</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>55</b>
	<b>Literatura</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>60</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Smart Grids [5]. . . . .	12
1.2	Celosvětová produkce energie [4]. . . . .	14
1.3	Dnešní elektrorozvodné sítě [5]. . . . .	15
1.4	Inteligentní elektrorozvodné sítě [5]. . . . .	16
2.1	Pyramidová struktura [19]. . . . .	33
5.1	Simulační síť . . . . .	42
6.1	Propustnost na lince A pro velikost zprávy 190 kbit . . . . .	44
6.2	Propustnost na lince B pro velikost zprávy 190 kbit . . . . .	45
6.3	Zpoždění ve frontě na lince A pro velikost zprávy 190 kbit . . . . .	46
6.4	Zpoždění ve frontě na lince B pro velikost zprávy 190 kbit . . . . .	46
6.5	Propustnost na lince A pro velikost zprávy 570 kbit . . . . .	47
6.6	Propustnost na lince B pro velikost zprávy 570 kbit . . . . .	47
6.7	Zpoždění ve frontě na lince A pro velikost zprávy 570 kbit . . . . .	48
6.8	Zpoždění ve frontě na lince B pro velikost zprávy 570 kbit . . . . .	49
6.9	Propustnost na lince A pro velikost zprávy 960 kbit . . . . .	49
6.10	Propustnost na lince B pro velikost zprávy 960 kbit . . . . .	50
6.11	Zpoždění na lince A pro velikost zprávy 960 kbit . . . . .	51
6.12	Zpoždění na lince B pro velikost zprávy 960 kbit . . . . .	51
6.13	Zahazování paketů pro zprávu o velikosti 960 kbit . . . . .	52
6.14	FTP provoz při přenosu zprávy o velikosti 10 Mbit . . . . .	53
6.15	HTTP provoz při přenosu zprávy o velikosti 10 Mbit . . . . .	53

# SEZNAM TABULEK

1.1	Nejčastěji používané komunikační technologie.[17]	21
-----	---	----

# ÚVOD

Aplikací chytrých sítí na stávající rozvodné sítě dostáváme v první řadě obousměrnou možnost komunikace. Díky tomuto s námi může distributor komunikovat, nabízet různé tarify podle spotřeby a měnit je podle aktuální potřeby uživatele. Uživatel pak bude mít přehled o průběžné i aktuální spotřebě energie a podle těchto informací možnost se přizpůsobit. Další možností pro uživatele je řízení domácnosti na dálku, pomocí inteligentních elektroměrů a automatizačních systémů, které by měli být součástí chytré sítě. Pro firmy a velké korporace se pomocí obousměrné komunikace nabízí možnost řídit výrobu podle spotřeby, naplánovat směny tak aby se vyhnuli špičce atd.

Dalším přínosem chytrých sítí do energetiky je aktivnější zapojení a regulace alternativních zdrojů elektrické energie a tím snižování emisí. Jistou nevýhodou chytrých sítí je bezpečnostní riziko. Distributor se o nás dozvídá v podstatě vše, a může toho využít proti nám. Evropská unie proti tomuto zasahuje tvorbou nových norem a důrazným tlakem na zajištění bezpečnosti.

První část této bakalářské práce se zaměřuje na rozebrání problematiky chytrých sítí a zdefinování tohoto pojmu. Dále se zaměřuje na vlastnosti chytrých sítí, jejich nejen datové nároky spolu s komunikačními a měřicími technologiemi. Rozebrány jsou v neposlední řadě také komponenty Smart Grids.

V další části je navržen teoretický koncept inteligentního bytu a komunikace jeho prvků. Jedná se o koncový bod a důležitou součást chytré sítě. V tomto konceptu jde o zavedení prvků inteligentní domácnosti na stávající byt, návrh výměny zařízení a komunikace mezi nimi. Rozebrání prvků chytré domácnosti a jejich komunikace, poté výběr nejvhodnější vzhledem k vybranému objektu. Zajištění kompatibility vybraných prvků a bezproblémová komunikace mezi nimi i s uživatelem.

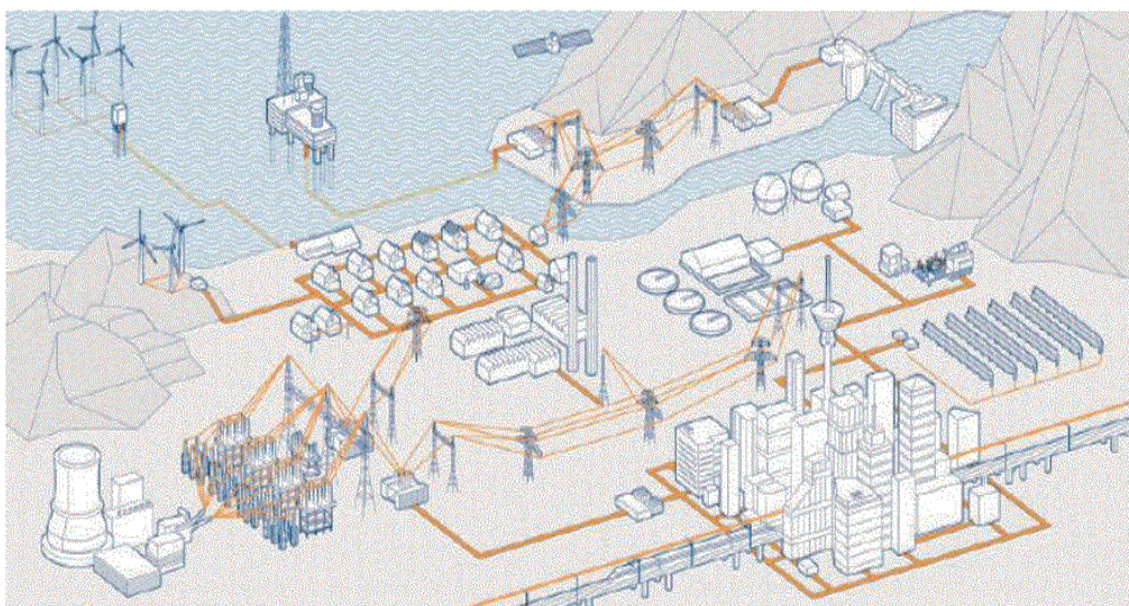
Poslední část bakalářské práce se zaměřuje na simulační síť, která byla navržena v programu Opnet IT Guru Academic Edition. Jedná se o simulaci datového provozu v modelu inteligentní elektroměr, koncentrátor a centrála. Tato simulační síť představuje možnou teoretickou přenosovou síť v konceptu Smart Grids. Měřeno je úzké místo mezi koncentrátory A,B a koncentrátorem společným. Výstupy a výsledky této simulace jsou vyobrazeny v grafech.



# 1 SMART GRIDS

Smart Grids neboli Inteligentní sítě, jsou sítě jejichž funkce spočívá v možnosti monitorovat odběr i dodávku jednotlivých energií, čímž umožňují regulaci výroby a optimální přenos energií k zákazníkům. Základní funkcí těchto sítí je přenést data o stavu sítě do řídicích center výrobců v co nejkratším čase a poté je poskytnout zpět spotřebitelům. Možné vyobrazení chytrých sítí je znázorněno na obr. 1.1.

Zapojení se spotřebitelů, spočívá v možném odložení vybraných částí spotřeby na období, kdy bude tento odběr výhodnější, tudíž levnější. Díky téměř okamžité dostupnosti dat o spotřebě odpadá nutnost platit měsíční zálohy, stejně jako nutnost fakturačního období o délce jednoho roku. Další možností je uplatnění rozličných typů a zdrojů lokální energie. Spotřebitelé tímto poskytují více příležitostí, de facto větší možnosti distributorovi ve využití jejich spotřeby, popřípadě i výroby elektrické energie. Distributor na základě tohoto vytváří možnost výběru výhodnějších tarifů, sloužících k distribuci elektrické energie, případně výhodnější nabídku silové elektřiny. Kromě tohoto může distributor nabídnout další doplňkové služby a vytvářet prostředí pro nové typy spotřeby elektrické energie. Příkladem je masové využití elektrických dopravních prostředků[1].



Obr. 1.1: Smart Grids [5].

Vývoj v rámci konceptu Smart Grids (SG) se nejvíce dotýká elektrické energie a její distribuce, důsledné následování myšlenek a principů SG nabízí příležitost nejen k udržení ale i k dalšímu rozvoji rozvodných sítí. Koncept neposkytuje jen prostředky pro splnění rámců, jenž vyplývají hlavně z legislativy ale dává možnost

tvorby technického prostředí, umožňujícího naplnění těchto rámců. Příkladem je současné splnění požadavků na distribuované zdroje. A technické řešení v síti distribuce, které zvyšuje kapacitní možnosti připojování a provoz jejich zdrojů [1].

Smart Grids přináší do oblasti přenosu řadu výhod a to zprostředkovaně za pomoci řešení uplatňujících se na straně výroby, distribuce a spotřeby. Dále tento koncept nabízí spoustu dílčích řešení. Významných převážně v sítích přenosové soustavy. Například technické prostředky na bázi výkonové elektroniky, poskytující efektivní možnosti v řízení stability přenosových soustav, možnosti realizace vysoce výkonových přenosů na velké vzdálenosti, prostřednictvím stejnosměrných vedení a v neposlední řadě prostředky rozsáhlých systémů sledování, kontroly, chránění a řízení přenosových sítí [1].

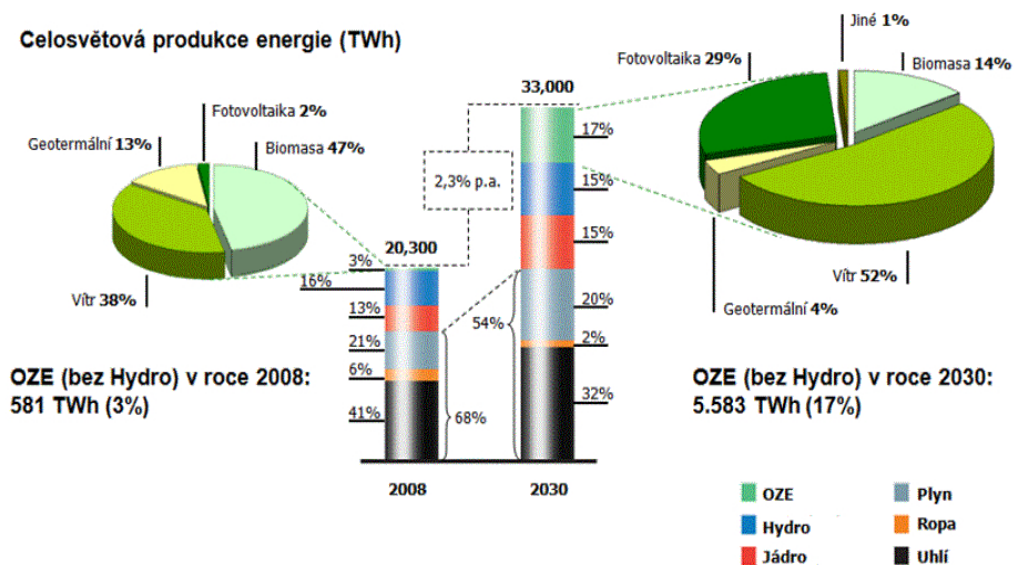
Výroba elektrické energie zprostředkované konceptem SG těží především z toho, že uplatněním jeho principů radikálně zvýší možnost využít i obnovitelné zdroje energie. Tyto zdroje se v dnešní době využívají velice málo pro problematiku začlenění do stávajících soustav a nemožnost jejich využití v řadě lokalit [1].

Koncept SG je možným řešením, které při dodržení vnějších pravidel a podmínek zakomponovaných do legislativních rámců nabízí cestu rozvoje jednotlivých technických odvětví, která v případě výroby, přenosu, distribuce a spotřeby elektrické energie můžeme najít. Toto vše však neznamená revoluci v rozvoji jednotlivých technických řešení. V rámci konceptu a ve všech jeho oblastech i směrech rozvoje i mimo něj můžeme mluvit spíše o evoluci. O evoluci týkající se nejen konceptu SG ale i odvětví nepřímo souvislých jako třeba informatika a oblast komunikací. Koncept SG by měl jako konečné řešení využívat synergii všech dílčích řešení [1].

## 1.1 Význam pro energetiku

Smart Grids začaly být aktuální po narůstajících problémech v elektrizační soustavě. Počet obyvatelstva neustále přibývá, v roce 2020 se očekává nárůst populace na hodnotu 7,5 mld., s tímto faktem jde ruku v ruce nárůst spotřeby elektrické energie a tím i zvyšování nároků na její výrobu. S tímto také úzce souvisí nárůst znečištění ovzduší činící 40% za posledních 20 let. Aby bylo možné zmírnit důsledky klimatických změn, způsobených právě výrobou elektrické energie, musí stávající energetické systémy projít významnými úpravami. Na následujícím grafu (obr. 1.2) je vidět vize nárůstu provozu elektráren z obnovitelných zdrojů energie [4].

Energetika ve smyslu služby, je v současné době ve středu rozdílných vlivů. Jejichž aspekty velmi výrazně ovlivňují její funkce.



Obr. 1.2: Celosvětová produkce energie [4].

## Vlivy působící na energetiku můžeme rozdělit do tří skupin:

### 1. Společensko-politické vlivy

- Klesající stabilní rezerva ve výrobě elektrické energie
- Otevření trhu s elektrickou energií
- Rozdělení klíčových činností v oblasti podnikání s výrobou, distribucí a prodejem
- Elektrické energie
- Snižování možnosti eliminovat mimořádné situace
- Nárůst požadavků na dálkový transport elektrické energie
- Nárůst objemu nestabilní výroby
- Nově vznikající požadavky na systémové a podpůrné služby

### 2. Spotřebitelské vlivy

- Vyšší spotřeba elektrické energie
- Nové typy spotřebičů
- Zájem o distribuovanou výrobu
- Vyšší požadavky na dodávku a kvalitu
- Vyšší zájem o doplňkové služby

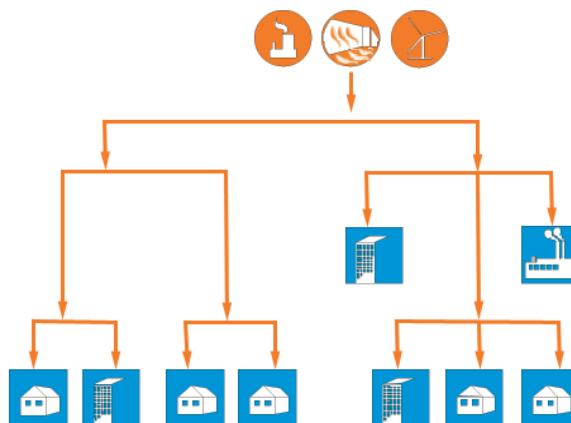
### 3. Výrobní a distributorské vlivy

- Stále vyšší orientace na finanční výsledky
- Outsourcing vybraných procesů

- Regulovaná služba distribuce
- Provozování technologií na hranici klíčových parametrů
- Ztráta historických znalostí a zkušeností
- Ubývání servisních míst
- Další požadavky na optimalizaci procesů

Nedílnou součástí pro přijetí inteligentních sítí je nutnost pokroku ve vlastních technologiích pro výrobu, přenos, distribuci, spotřebu elektrické energie, pro monitorování, řízení, chránění a automatizaci. Dále potřebná infrastruktura pro komunikaci, přenos dat a další rozvoj software u hardwaru informačních a výpočetních systémů. Pokrokem není jen nárůst funkčnosti, ale výhodnější poměr cena/výkon, ceny primární a sekundární technologie, ale také ceny za silovou elektřinu a cena za přenos a distribuci [5].

Tradiční energetické systémy jsou založené na centrálně umístěných zdrojích, zásobujících spotřebitele pomocí povětšinou paprskově uspořádaných přenosových a distribučních systémů, což je zobrazeno na obr. 1.3. Velikost výroby se zvyšuje, respektive snižuje v závislosti na poptávce, proto její řízení a plánování funguje na základě historických zkušeností a průběh má charakter střídavě rostoucí a klesající [4]. Na rozdíl od tradičních a po nejméně sto let fungujících sítí, SG by měly

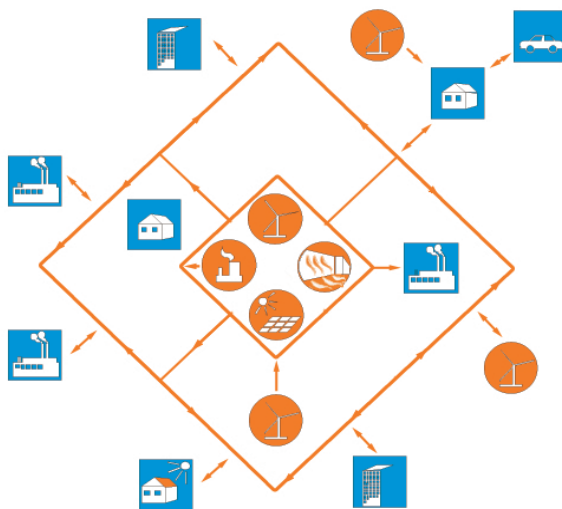


Obr. 1.3: Dnešní elektrorozvodné sítě [5].

být plně automatizované, měly by uspokojit neustále rostoucí poptávku po elektrické energii, a to i po stránce vysoké kvality bez výpadků, dostupné kdykoliv bude potřeba.

Měli by obsahovat více monitorovacích a komunikačních systémů, které by umožňovali bezproblémový přenos k různému spektru spotřebitelů. Obousměrný provoz by pak zajišťoval nejen tok energie od výrobce ke spotřebiteli, ale také od spo-

třebitele k dalšímu spotřebiteli. Tento obousměrný provoz je zobrazen na obr. 1.4. A v neposlední řadě je důležitá snaha o lokální výrobu z obnovitelných zdrojů [4].



Obr. 1.4: Inteligentní elektrorozvodné síť [5].

## 1.2 Současné využití

### 1.2.1 Česká Republika, Smart region Vrchlabí (ČEZ)

Jedná se o testování Chytrých sítí<sup>1</sup> v mikroregionu Vrchlabí. Poznatky z tohoto konceptu by měly být klíčové pro další rozvoj chytrých sítí v České republice i v Evropské unii. V tomto konceptu jde o testování automatizované a efektivně řízené distribuční sítě, jejíž principem je obousměrná komunikace mezi distributorem a zákazníkem. Region Vrchlabí byl vybrán i pro možnost zapojení alternativních zdrojů elektrické energie [2].

### 1.2.2 Japonsko, Okinawa - Charging Management System for EV Rental Cars (HITACHI)

Koncept v rámci chytré sítě pro celý ostrov. Jedná se o půjčování elektromobilů a vybudování celkem 27 elektrostanic po celém ostrově. Součástí projektu je zapůjčení 220 elektromobilů různým společnostem. Tyto společnosti se dále zaměřují na půjčování elektromobilů převážně turistům. Snahou celého projektu záchrana přírody a adaptace elektromobilů spolu s dobíjecími stanicemi do chytrých sítí [15].

<sup>1</sup>Chytré sítě - jedná se pouze o překlad Smart Grids, význam zůstává stejný

### 1.2.3 Nové Mexiko, Japan - US smart grid demonstration project

Projekt, který se již přes rok vyvíjí ve spolupráci Spojených států a Japonska. Oba státy si od toho projektu slibují významnou pomoc při řešení problémů s větším zapojením obnovitelných zdrojů do chytrých sítí. Technické a provozní problémy s tím spojené jsou také výzvou pro správce sítí. Už jen z důvodu nestabilních a na počasí závislých dodávek sluneční a větrné energie. Posledních šest měsíců se vědci soustředili na analýzu a získávání dat při zapojování sluneční energie, ukládání energie a správy sítě. Dále se tento projekt zabývá mikro sítěmi a inteligentními domy [16].

### 1.2.4 Japonsko, Yokohama smart city project (YSCP)

YSCP se snaží v jednom z největších měst Japonska tímto projektem o vybudování rozsáhlé chytré sítě, maximální snížení emisí a vytvoření nové energetické infrastruktury a společenského systému [14].

Projekt je rozdělený do tří hlavních bodů:

1. *Systém správy energií ve městě*  
rozdělení města do tří inteligentních oblastí, správa a distribuce energie v těchto oblastech a vytvoření informační sítě.
2. *Správa energie v rámci dobíjecích stanic pro elektromobily*  
nárůst využívání sluneční energie pro nabíjení elektromobilů prostřednictvím dobíjecích stanic, ukládání energie pomocí elektromobilů.
3. *Systém správy energie v domácnostech*  
podpora vzniku inteligentních domácností, využívání alternativních zdrojů elektrické energie domácnostmi, skladování energie za pomoci elektromobilů.

## 1.3 Smart Grids v Evropě

Inovace v infrastruktuře elektrické energie je nezbytná pro dosažení cílů Evropské Unie (EU) v oblasti změny klimatu a energetické politiky. Snaha o rozvoj SG narůstá každým rokem po celé Evropě. Pro sdílení poznatků s veřejností a další podporu přechodu na inteligentní napájecí systém budoucnosti vyvinula Evropská komise a společnost Eurelectric společné výzkumné středisko, jejímž cílem je sdílení poznatků pro výzkum, technologický rozvoj a demonstraci výsledků různých projektů Inteligentních Sítí existujících po celé Evropě.

### 1.3.1 Projekty Evropské Unie

#### SET Plan

Podnětem pro energetiku celoevropského měřítka je Strategic Energy Technology (SET) Plan, jehož cílem je do roku 2020 splnit závazek EU a snížit emise skleníkových plynů o 20% oproti úrovni z roku 1990, zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energií v celkové spotřebě v EU na 20% a zvýšit energetickou účinnost v Evropě o 20% cestou komerční implementace nových konkurenceschopných energetických technologií [2].

*Dílní cíle a aktivity SET Planu:*

- průmyslové BIOEnergie
- zachycování, transport a ukládání CO<sub>2</sub>
- evropská přenosová a distribuční síť elektrické energie
- vodíkové pohony a palivové články
- udržitelný rozvoj jaderné energetiky
- energetická účinnost a „chytrá“ města
- rozvoj solární a větrná energie v Evropě

Dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů Evropská rada potvrdila závazek Společenství rozvíjet energii z obnovitelných zdrojů po roce 2010 v celém Společenství [2].

#### Evropská průmyslová iniciativa pro chytré sítě

V rámci SET Planu začala v roce 2010 činnost Evropské průmyslové iniciativy pro chytré sítě (EEGI). Tato iniciativa je tvořena distributory a technologickými společnostmi, kteří dávají důraz na rozvoj konceptu SG. EEGI se zaměřuje na demonstrační projekty po celé Evropě, jejichž cílem je vyzkoušet jednotlivé funkční celky SG. Skupina ČEZ je jediným zástupcem distributorů této iniciativy v regionu střední Evropy [2].

#### GRID4EU

Lisabonská strategie přijata Evropskou radou v březnu 2000 v Lisabonu měla za cíl vytvořit z Evropské unie do roku 2010 „nejdynamičtější a nejkonkurenceschopnější ekonomiku světa založenou na znalostech, schopnou udržitelného hospodářského růstu a vytváření více kvalitních pracovních příležitostí“. Lisabonská strategie byla v roce 2010 transformována do nové strategie Evropa 2020 s pěti ambiciózními



cíli týkající se zaměstnanosti, inovací, vzdělávání, sociálního začleňování a změny klimatu a energetiky [2].

Jedním z hlavních pilířů strategie Evropa 2020 je tzv. „Inteligentní růst“ zahrnující rozvoj ekonomiky založené na znalostech a inovacích a významná podpora vědy, aplikovaného výzkumu [2].

Kromě strukturálních fondů nabízí EU pro financování aplikovaného výzkumu a inovací též komunitární programy, z nichž rozpočtově největší jsou rámcové programy EU [2].

V současnosti je na roky 2007 - 2013 vyhlášen sedmý rámcový program (7. RP). 7. RP je v současnosti největším komunitárním programem a hlavním nástrojem na podporu výzkumu a vývoje v EU. Jeho rozpočet na roky 2007-2013 se pohybuje okolo 50,5 miliard € [2].

## 1.4 Nároky Smart Grids

### 1.4.1 Komunikace

Komunikace mezi sítěmi musí být spolehlivá rychlá a co nejlevnější. Měla by být schopná získávat data a jejich vyhodnocením zajistit efektivní řízení celé sítě. Umožnit zakomponování energií z obnovitelných zdrojů a obousměrný tok energie. Dále usnadnit zapojení elektromobilů a jejich nabíjecích stanic. Pro přenos datového, obrazového, hlasového a ochaného signálu by měla využívat satelitní komunikaci. Která by zajistila co největší efektivitu správy sítí, možnost zvětšení sledované oblasti a hlavně rychlé vyhledání a následně odstranění poruchy [5].

Komunikace přes systém dodávky energie se nabízí jako nejrychleji aplikovatelná možnost, za předpokladu použití pro malé objemy dat. Tento systém se skládá ze tří úrovní, které mohou být použity jako přenosné médium při realizaci Power Line Communication (PLC) sítě [13].

- *Vysoké napětí (110-380 kV)*-sítě propojující elektrárny s velkým dodávkami do regionů nebo, se zaměřením na velké zákazníky. Obvykle pokrývají velmi dlouhé vzdálenosti, většinou v rámci kontinentů. Bývají realizovány nadzemními elektrickými kabely.
- *Střední napětí (MV) (10-30 kV)*-sítě pokrývající větší plochy, města a ve velkých průmyslových územích. Vzdálenosti jsou podstatně kratší než u vysoko-napěťových sítí. Vedení je realizováno jako u vysoko-napěťových sítí nad zemí nebo mohou být realizovány podzemním vedením.
- *Nízké napětí (230/400 V, v USA 110 V)*-sítě dodávající energii přímo koncovým uživatelům nebo distribuované většími společnostmi. Jejich délka je obvykle



kolem stovek metrů. V městských oblastech jsou sítě nízkého napětí realizovány podzemními kabely, zatímco ve venkovských oblastech, existují jako nadzemní venkovské sítě.

Elektroinstalace v domech patří do nízko-napěťové síťové úrovně. Zařízení v domech jsou ve většině případů vlastnictvím uživatele. Do napájecích sítí jsou pak připojeni přes elektroměry, zde se pro aplikaci do chytrých sítí přímo nabízí využívání inteligentních elektroměrů. Zbývající část vnější sítě patří distributorovi. Napájení sítě umožňuje přímo připojit koncové zákazníky, a to ve velmi velkém počtu domácností po celém světě. Proto se zdá že, aplikace technologie PLC v nízkonapěťové síti, má perspektivu, co do počtu připojených zákazníků. Nízko-napěťové sítě mohou zahrnovat pouze několik posledních stovek metrů mezi zákazníkem a transformátorem a právě zde se nabízí alternativní řešení pomocí PLC technologie pro realizaci tzv. „poslední míle“ v oblasti telekomunikačního přístupu[13]

## **IEC 61850**

Jedná se o soubor norem, které specifikují nové metody komunikace a komunikačních protokolů pro oblast energetiky a energetických soustav. Dřívější metody a protokoly neumožňovali vytvářet komunikační systémy, které by byly flexibilní. A stávají se nevyhovující nejen současným, ale i budoucím požadavkům energetického průmyslu. Naopak soubor norem IEC 61850 toto vše umožňuje a stává se tím mezinárodně uznávaným standardem pro řízení rozvodů elektrizačních sítí [3].

Tento soubor určuje pravidla komunikace zařízení v rozvodnách a mezi dalšími členy energetické soustavy. Dále obsahuje definice komunikačních protokolů a standardy řídicích funkcí. Umožňuje také vytváření systému pro komunikaci zařízení od různých výrobců a zajišťuje jejich vzájemnou součinnost. Jeho funkcí může každý uzel připojený jako klient řídit provoz na síti a komunikovat se všemi servery i podřízenými zařízeními. Také dovoluje sbírat provozní data od zařízení a vytvářet z nich grafy časových průběhů pro analýzu událostí [3].

Pro uživatele má přínosy v podobě zjednodušení integrace zařízení v systému, komunikace splňující požadavky automatizovaných rozvodů a možnost zjištění přenosu dat mezi klienty a službami [3].

### **1.4.2 Systém IEC 61850**

Tento systém, jehož součástí jsou výše zmíněné normy IEC 61850 je jedním z nejvýznamnějších zdokonalení technologií automatizace transformoven, usnadnění komunikace a systému jejich ochrany. V jejich případě se jedná o protokol umožňující

otevřenou komunikaci zařízení od libovolného výrobce v transformovně. Tato komunikace probíhající v reálném čase významně zvyšuje jejich efektivitu. Dále tento systém přispěl k nahrazení tisíců měděných vodičů, nutných pro funkci transformoven, několika optickými kabely [4].

### 1.4.3 Sběr dat

U běžných Automatic Meter Reading (AMR) a Automatic Meter Management/Advanced Metering Infrastructure (AMM/AMI) měřících technologií, které jsou v současné době nejčastěji využívané technologie, se obvykle odečítají následující skupiny dat: identifikační, denní (fakturační) a stavové registry. Jejich souhrnná velikost se pohybuje okolo 1-1,5 kB dat. V komplexnějších aplikacích měření se odečítají i 15-ti minutové profily napětí, tj. 3-9 kB podle počtu fází měřidla. V ČR je průměrný počet měřidel za Distribuční trafostanice (DTS) okolo 80, takže 80 kB denně zpracuje jeden koncentrátor, pakliže vezmeme v úvahu ad-hoc komunikaci, jedná se o 120 kB dat. Ovšem pro městské DTS je běžné 200 až 900 měřidel. Ročně je pak potřeba zpracovat a přenést kolem 120 MB dat z průměrné DTS (obousměrně) a z DTS velkých aglomerací až 1 GB dat. V následující tabulce 1.1 je přehled nejčastěji používaných komunikačních technologií a jejich základní parametry [17]. Tyto technologie jsou doplněny a podrobněji uvedeny v kapitole č. 1.6 Přenosové technologie.

Tab. 1.1: Nejčastěji používané komunikační technologie.[17]

Komunikační technologie	Modulace	Rf pásmo	Rychlost [kbit/s]
PLC 1.G	FSK	3-65 kHz	0,3-1,2
PLC 2.G	BPSK, S-FSK	3-65 kHz	2,4-3,6
PLC 3.G	OFDM	3-65 kHz	22-128
BPL	OFDM	1,8-18 MHz	1000-50000
RF 868 MHz	FSK	868-870 MHz	1,2-152
RF 2,4 GHz	OFDM	2,41-2,48 GHz	1000-150000
RF GPRS 2.G	GMSK	880-925 MHz	9,6
RF GPRS 3.G	OFDM	1,7-1,88 GHz	30-3686

## Malé objemy dat

Jedná se o přenos denních hodnot jedenkrát denně, asi 1-2 kB na měřidlo. Seřazení podle možností přenosu dostupnými komunikačními technologiemi je pak následující:

- Kvalitní úzkopásmové PLC technologie druhé generace poskytují poměrně stabilní výsledky i na koncentrátorech s téměř 1000 měřidly.
- Úzkopásmové PLC 3. generace jsou vývojově relativně nové a proto, jsou zkušenosti z praxe omezeného rozsahu, přesto je lze považovat za další možný směr vývoje.
- Broadband PLC technologie je pro tento účel více než dostačující. Momentální situace nasazení v oblasti chytrých měření zaručuje zrychlený vývoj vedoucí k většímu tlaku na kvalitní podporu správy a síťového managementu.
- GPRS technologie 2. i 3. generace také poskytuje dobré výsledky, a to jak v koncentrátorech, tak i v měřidlech
- Radiofrekvenční technologie v pásmu 868 MHz je striktně omezena výkonem a tedy dosahem vzdálenosti. Není tedy vhodná pro instalace s nízkou územní hustotou měřidel.
- Radiofrekvenční technologie v pásmu 2,4 GHz je v Evropě téměř nepoužitelná, protože je masivně využívána pro HAN, MAN a WAN-řešení. V ČR je ve velké míře využita i pro poskytování internetové konektivity.

## Střední objemy dat

K přenosům denních hodnot jsou jednou za den přenášeny i 15-ti minutové profily spotřeby, tedy asi 3-6 kB dat na měřidlo. Přehled komunikačních technologií je následující:

- Kvalitní úzkopásmové technologie PLC druhé generace neposkytují tak stabilní výsledky jako v případě zpracovávání malých objemů dat. Při větším objemu, a déletrvajícím komunikaci se výrazněji projevuje vliv rušení, a to i s řadou různých opravných mechanismů. Největší omezení se projevuje na koncentrátorech s 300 a více měřidly. Rychlost a další vlivy neumožňují bezchybný přenos takového objemu dat do koncentrátoru.
- Pro úzkopásmové PLC 3. generace platí totéž co pro malá data.
- Pro broadband PLC technologie platí totéž co pro malá data.
- GPRS technologie 2. i 3. generace poskytuje dobré výsledky v měřidle. V případě koncentrátoru se pak významněji projevuje vliv negarantované služby.

Pro větší datové soubory jsou na horších částech sítě GPRS problémy se stabilitou v delším časovém úseku a tedy komplikace při přenosu větších dat.

- Pro radiofrekvenční technologie v pásmu 868 MHz platí totéž co pro malá data.
- Pro radiofrekvenční technologie v pásmu 2,4 GHz platí totéž co pro malá data.

### **Velké objemy dat**

K přenosům denních hodnot jsou jednou denně přenášeny 15-ti minutové profily spotřeby i s dalšími daty, například 10ti minutové profily napětí, a tedy 10 kB a více na měřidlo. Pro tyto velikosti platí u přenosových technologií následující:

- U kvalitní úzkopásmové technologie PLC druhé generace se na velkém objemu dat již výrazně projevuje vliv rušení, což znamená značné omezení pro koncentrátory se 150 a více měřidly.
- Úzkopásmové PLC 3. generace bude mít stejné problémy jako PLC předchozí generace na středním objemu dat.
- Pro broadband PLC technologie platí totéž co pro malá data.
- GPRS technologie 2. i 3. generace má obdobné problémy jako koncentrátor na místech se špatným stavem GPRS i na měřidle, v případě koncentrátoru se může velmi citelně projevit vliv negarantované služby.
- Radiofrekvenční technologie v pásmu 868 MHz dosahuje v tomto případě hranic svých limitů, podobně jako PLC.
- Pro radiofrekvenční technologie v pásmu 2,4 GHz platí totéž co pro malá data.

Pokud budeme vycházet z předchozího přehledu, jeví se jako ideální přenosová technologie GPRS technologie 2. a 3. generace. Tato technologie by měla poskytovat dobré výsledky, jak u malých, středních, tak i velkých objemů dat. Tento fakt je simulován teoretickou sítí v simulačním programu Opnet IT Guru Academic Edition a výsledky jsou pak vyneseny do grafů.

### **Velká data a problémy se sběrem dat**

V malém měřítku nejsou objemy dat až tak závratné. V pilotních projektech SG (např. Mikroregion Vrchlabí) jsou testována chytrá měřidla v řádech tisíců kusů. Měřicí technologie AMM dává možnost získávat obrovské množství dat z různých senzorů, aktorů a elektroměrů. Tyto data je potřeba identifikovat dle významu a určení jejich příjemců a následně rozhodnout jakým způsobem je zpracovávat. A dále uchovávat jen ta data, která potřebujeme. Za předpokladu zapojení všech odběratelů do systému SG objem dat násobně vzrůstá, navíc s postupem času a zaváděním Smart Meteringu (SM) se budou zvyšovat požadavky i na celý systém fungování SG.

Při zjednodušené představě a vybavení 80% domácností i všech ostatních maloobdoběratelů a velkoobdoběratelů technologii AMM a použití dat Energetického regulačního úřadu (ERÚ) z konce roku 2010, vychází 4 834 268 odběrových míst. Za předpokladu informace o spotřebě, která má velikost 10 kB a odesílání jednou měsíčně, za rok tedy celkem 580 GB dat není mnoho. Toto je však pouze pro dálkový odečet jednou měsíčně. Pilotní projekty ukazují (např. Smart region Vrchlabí, Yokohama smart city project), že v průměru každé měřidlo generuje jednu alarmovou zprávu či upozornění za týden. Tento typ informace zabírá jen okolo 1 kB, avšak za celý rok může datové centrály zatížit až 256 GB dat. Při pouhém nahrazení systému Hromadného dálkového ovládání (HDO), kdy se dvakrát denně přepíná tarif zprávou o velikosti 1 kB, zvyšuje se objem dat až na 3,5 TB ročně. Toto jsou tři různé typy dat, které budou zatěžovat přenosové systémy ve velmi zjednodušené variantě konceptu SG. Bude-li potřeba „online“ měření a informace spotřebiteli odesílat mnohem častěji než jen dvakrát denně a přibudou-li další funkce (jako je např. dálková správa a sledování aktuální spotřeby), pak obrovsky stoupne objem dat, která se budou muset spolehlivě přenést a případně uložit[17].

Zde se pak projevují dva hlavní problémy. Prvním jsou používané komunikační linky, které v současnosti neumožňují online řízení. Hlavně pak Power line communication (PLC), jako perspektivní se jeví Broadband over Power Line (BPL) nebo Long Term Evolution (LTE) z dostupných telekomunikačních operátorů. Využití optických vedení by bylo technicky ideální, ekonomicky je však nevhodné. Druhým problémem jsou databázové systémy, které ve většině případů nejsou připraveny na rychlou práci s velkými objemy dat. Jako slibná technologie se nabízí *In memory* databáze, ty zpracovávají data ve své operační paměti a díky tomu dosahují výrazně lepších výkonnostních parametrů[17].

#### 1.4.4 Transformovny

Transformovny jsou životně důležitá zařízení pro rozvodnou síť. Jejich součástí jsou vybavení pro sledování, ochranu a ovládání přenosu a rozvodu elektřiny. Díky těmto vlastnostem jsou považovány za efektivní a spolehlivé dodavatele energie. Dále budou převádět energii z elektráren do sítě a propojovat rozvodný systém. V rámci inteligentní sítě budou transformovny koordinovat tok elektrické energie spolu se správou sítě a dalšími zařízeními. Také překlenou dodávku energie ze zdrojů do sítě a propojí rozvodnou a přenosovou síť. Schopnost komunikace transformoven s ostatními prvky sítě se velmi zvýší. Tím bude dosaženo vyšší míry soběstačnosti sítě, která umožní spolehlivější a efektivnější zásobování energií [4].

### 1.4.5 Skladování energie

Skladování neboli akumulace energie je důležitým faktorem, zvláště při výrobě energie i v době, kdy nemá žádný odběr. V tomto okamžiku přichází potřeba akumulovat energii a uchovat ji pro akutní potřeby. Ze střídavého 3f proudu energii akumulovat nemůžeme, možností je přeměna na energii stejnosměrnou, kterou akumulovat můžeme. Výjimkou, kdy není potřeba přeměna ze střídavé energie na stejnosměrnou, tvoří generátory, rotační motory a využití akumulace tepelnou energii [4].

Zásobníky energie mohou být rozděleny na přímé a nepřímé. Současné prostředky jsou schopné uchovat asi 20 MW energie a to „pouze“ po dobu desítek minut. Tato uchovaná energie vystačí zhruba pro chod deseti tisíc domácností po dobu nezbytně nutnou k opravám poruch nebo připojení náhradního zdroje energie. Víze do budoucna zvažují variantu akumulace přibližně 50 MW energie po dobu jedné hodiny. Takto naakumulovaná kapacita by se dala využít k vyrovnání kolísavé produktivity solárních a větrných elektráren a zajištění rezervy při výpadku sítě a jejímu restartování [4].

Na Aljašce ve Fairbanks pak funguje akumulátorový systém pro uchovávání energie (BESS), který dokáže zajistit po dobu šesti minut 40 MW energie nebo po dobu patnácti minut 27 MW energie [4].

V dopravním provozu jde o princip využití rekuperace, kdy energie vzniklá při brzdění je ukládána do baterií a následně využívána v dalším provozu. Příkladem je uchování energie při brzdění vlaků a následném odběru ze sítě při dalším provozu [4].

Dalšími metodami akumulace jsou:

- Elektrická (kondenzátory, superkondenzátory)
- Elektromagnetická (elektromagnetické pole kolem supravodičů)
- Elektrochemická (klasické akumulátory, palivové články)
- Tepelná
- Mechanická
  - Tlaková (akumulace stlačeného vzduchu)
  - Kinetická (setrvačníky)
  - Potenciální (přečerpávací vodní elektrárny)

## 1.5 Měřicí technologie Smart Grids

V kontextu s měřením a řízením spotřeby se vyskytují pojmy jako FACTS, HVDC, AMR, AMM, AMI, SM a HDO. Jedná se o technologie, které vytvářejí informace pro komunikaci mezi odběratelem a spotřebitelem. V následujícím přehledu jsou tyto technologie stručně přiblíženy.

### **1.5.1 Flexible AC Transmission Systems (FACTS)**

FACTS je zkratka pro obecné označení technologií, které zvyšují kapacitu, ochranu a flexibilitu elektrických vedení. Důraz je kladen na zvyšující se kapacitu vedení, maximální průchodnost energie, odstranění problémových míst s využitím solárních a hlavně větrných elektráren. Které způsobují velké kolísání toku energie v závislosti na povětrnostních podmínkách a přináší problémy do rozvodné soustavy [4].

### **1.5.2 Technologie stejnosměrného vysokého napětí (HVDC)**

Technologie HVDC umožňuje přenos elektrické energie na velké vzdálenosti s využitím méně kabelů a s menšími ztrátami, než klasickým střídavým napětím, které jsou způsobeny nekmitavým proudem. K převodu proudu ze stejnosměrného charakteru na střídavý a naopak je drahá záležitost. Tuto technologii se vyplatí používat na velmi dlouhá vedení, obvykle u klasických kabelů nad 600km, u podmořských nad 50km. Další výhodou je možnost propojení nezávislých střídavých sítí. Tato možnost zvyšuje efektivitu přenosu a dokáže vyrovnávat kolísání toku energie [4].

### **1.5.3 Automatic Meter Reading (AMR)**

Tento systém se používá k odečítání dat odebrané energie u zákazníka. Data jsou pak odesílána do datové centrály, kde jsou zpracována. V podstatě se jedná o dálkové automatické odečty. Je jistá forma vylepšení klasických odečtů, kdy zde odpadá potřeba pověřené osoby, která by manuálně provedla odečet [21].

### **1.5.4 Automatic Meter Management, Advanced Meter Management (AMM)**

Jedná se o systémy, které dokáží informace nejen odesílat, ale i přijímat, čímž rozšiřují možnosti AMR o další funkce, jako např. řízení cenových tarifů, dálkové odpojení odběrného místa (ochrana před neplatiči), dálkové nastavení maximálního vstupního příkonu (tzv. Demand Management) atd. Systém AMM by měl být schopen nahradit kombinaci AMR a HDO (hromadné dálkové ovládání).

### **1.5.5 Advanced Metering Infrastructure (AMI)**

Systém AMI by měl být rozšířením AMM o možnost řízení některých spotřebičů odběratele na základě vyhodnocení odečtených a přijatých dat. Jedná se tedy o ještě chytřejší systém než předchozí AMR a AMM. Jsou kladeny vysoké požadavky na komunikaci, především v oblasti rychlosti přenosu velkých objemů dat s co nejmenším zpožděním a téměř v reálném čase [21].

### 1.5.6 Systém hromadného dálkového ovládání (HDO)

HDO se skládá z technických prostředků (jako např. vysílače, přijímače, centrální automatika, přenosové cesty) umožňujících vysílat povely nebo signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů a přepínání tarifů.[4]

Systém využívá pro přenos informace silová vedení, kdy je impulzní kód superponován na základní kmitočet 50Hz. Signál je vysílán do každé fáze z rozvodu 110/22 kV do distribuční sítě a šíří se dále přes transformátory na nízké napětí až ke konečným spotřebitelům elektrické energie, kde dojde k povelu na stykači. Každý distributor má zvolený kmitočet, aby se navzájem neovlivňovali [4].

Systém HDO se využívá k vyrovnávání spotřeby elektrické energie v rámci dne. Dosahuje se maximálního vyrovnání mezi hospodárnou výrobou elektrické energie, ekonomickým využitím přenosové soustavy a uspokojení odběratelů. Dále je možno ovládat veřejné osvětlení, osvětlené výlohy, dopravní značky apod. V teplárenství systém reguluje výměňkové stanice, aby byl provoz teplárny umožněn i za situace, kdy zdroje nemají potřebný výkon [4].

### 1.5.7 Smart Metering (SM)

Tento systém je posledním článkem vývojového řetězce elektroměrů. Nabízí mimo jiné i možnost řízení spotřebičů odběratele na základě vyhodnocení odečtených a přijatých dat a dovoluje také plánovat spotřebu. Pokud dojde k rozšíření na větší území, byl by možný předpoklad, že realizací tohoto systému se nahradí systém HDO. Výhodou oproti AMI je možnost častějších odečtů (téměř v reálném čase). Instalací měřidel po přenosové trase je možné odhalit netechnické ztráty a v neposlední řadě je pak lepší rozložení zátěže [21].

## 1.6 Komunikační technologie Smart Grids

Podmínkou SG, co se týče komunikace prvků systému, je obousměrné předávání informací. Představa je taková, že jedním směrem proudí informace o spotřebě a požadavcích spotřebitele výrobcům, a informace o cenách elektřiny směrem ke spotřebiteli. Vše by mělo probíhat s co nejmenším zpožděním. Nutná bude snaha začlenit již fungující chytré měřiče a také budoucí do určitého systému komunikace. Dosaďují chytrá měřidla, ať už v ČR nebo EU, komunikují s nadřazeným prvkem buď kabelem (PLC,LAN), optickým vláknem, nebo bezdrátově pomocí různých komunikačních protokolů. Pro budoucí systém bude třeba tyto rozmanité typy komunikace přiměřeně sjednotit tak, aby vyhodnocovací software byl schopen komunikovat s měřidly.



### 1.6.1 Přenosové technologie

V závislosti na místě instalace měřidla (ve smyslu polohy odběrového místa) by měl být zvolen nejvýhodnější typ komunikace s nadřazeným systémem. Různé přenosové technologie používají k přenosu informace různé prostředky. V rámci této podkapitoly jsou popsány ty, které jsou vhodné pro koncept SM (zároveň jsou využívány a testovány v pilotních projektech různých energetických společností v kontextu se SM). Hlavní otázkou zůstává, zda je jednodušší a lepší pracovat jen s jednou přenosovou technologií, či se snažit o používání specifické přenosové technologie podle místa a možností odběru. Obě možnosti s sebou nesou výhody i nevýhody. Z hlediska nákladového se jeví jako lepší varianta ta, která přenos informace uskutečňuje podle specifických podmínek odběratele. Není ale vhodné stanovovat pevné priority sloužící k volbě přenosové technologie, protože každá má svá specifika a pro tyto specifika může být degradována jedna technologie před ostatními.

#### **Přehled možných technologií pro koncept Smart Meteringu:**

##### **Global System for Mobile Communication (GSM)**

Jedná se o datovou síť. Vývoj této technologie se dělí do několika fází. Každá vždy přidává nové možnosti v závislosti na vývoji standardu hlavně okolo telekomunikačních služeb, kde je GSM celosvětově využívanou technologií pro komunikaci[20].

##### **General Packet Radio System (GPRS)**

Tato technologie je rozšířením sítě GSM a umožňuje rychlejší přenos dat (teoreticky až 171,2 kbit/s). Technologie využívá pakety a pracuje na protokolu IP (Internet Protocol). Skutečná rychlost komunikace závisí na rozdělení do tzv. timeslotů v komunikačním kanále, což je dáno směrem komunikace a zvoleným komunikačním schématem[18]. Stejně jako všechny zde zmíněné přenosové technologie pak svou rychlostí plně postačuje nárokům SG, což dokazuje i simulace v programu Opnet IT Guru.

##### **Internet**

Je to celosvětová počítačová síť, kde spolu počítače komunikují pomocí protokolů TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Umožňuje i propojení jednotlivých podsítí dohromady. Každá stanice (počítač popřípadě budoucí smart meter) má svoji IP adresu, podle které je v síti identifikována. Provoz je pak směrován pomocí směrovačů (routerů). Výhodou je v tomto případě velké koncentrace a rozšiřitelnost míst s možností připojení k internetu, nevýhodou je pak bezpečnost.

## **Power Line Communication (PLC)**

Jedná se o typ přenosu využívající vedení elektrické sítě. Tato technologie byla předurčena k vytváření lokálních sítí a připojení koncových uživatelů do sítě Internet. Vzhledem k možnosti využití stávající sítě pro přenos informace se PLC jeví jako ideální pro přenos informací mezi odběratelem a dodavatelem. Problémem této komunikace je, že elektrická vedení nejsou k přenosu informací přizpůsobena. Použití PLC se vyznačuje značným rušením především spotřebiči v síti a malým dosahem způsobeným velkým útlumem na vedení. V posledních dvou letech byly zavedeny standardy této komunikace, což bylo v minulosti označováno za další z nevýhod [13]. Podle přenosové rychlosti a způsobu používání se tento typ komunikace označuje:

- Broadband over Power Lines (BPL)
- Power Line Telecom (PLT)
- Power Line Networking (PLN)
- Power Line Digital Subscriber Line (PDSL)

## **Radio Frequency (RF)**

Radiofrekvenční přenos je bezdrátovou komunikací, nejčastěji provozovanou v pásmu 433 MHz nebo 868 MHz. Vyžívá se, vzhledem k nepotřebě vodičů, u odečtu vody a plynu a, vzhledem ke krátkému dosahu (stovky metrů), především v bezdrátové komunikaci mezi měřidlem a datovým koncentrátorem.

## **Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)**

Jedná se o bezdrátovou technologii která se stále vyvíjí. Pracuje v licenční i bezlicenční pásmu. V husté zástavbě má dosah do 5km, ve venkovských oblastech pak zhruba 50 km. Tento dosah signálu je zajištěn vyšším vysílacím výkonem a použitím všesměrových antén. WiMax poskytuje kapacitu až 75 Mbit/s, která je však sdílená na jedné základnové stanici pro všechny uživatele. Využita může být v přístupových sítích a metropolitní bezdrátové komunikaci [19].

## **1.7 Bezpečnost Smart Grids**

Mezi jeden z nejdůležitějších faktorů při provozování inteligentních sítí patří bezpečnost. Mezi zranitelná místa patří hardware, software, přírodní podmínky a lidský faktor. Bezpečnost byla ověřována na 24 kontrolních systémech Národní laboratoří v Idahu a výsledky nebyly uspokojivé. Oprava chyb má dlouhodobý charakter a po opravě se objeví další odhalená chyba. Jedna z možností narušení bezpečnosti je způsobení black-outů nebo hacknutí inteligentních měřičů.

### 1.7.1 Hrozby

Nejčastěji zranitelná místa v operačních systémech jsou chybné předpoklady důvěryhodností, okamžik identifikace a autorizace, skryté sdílení, komunikace mezi procesory, přerušení a simulace komunikace útočníkem a nekontrolování počtu neúspěšných pokusů přihlášení do systému.

### 1.7.2 Útoky na systém

Mezi možnosti útoků patří snaha obcházení protokolu, prolomení zašifrovaných klíčů a jejich následné využití pro nežádoucí účely. Propojením sítě chytrými měřicími přístroji se ze soustavy stává počítačová síť, výrobci nemají zatím žádné zkušenosti se zabezpečením, proto musí být této skutečnosti věnována větší pozornost. Zatím je snaha o co nejlevnější provedení, a to na úkor bezpečnosti. Proto je nutné stanovit určité bezpečnostní limity a z nich vypracovat normy aplikace moderních šifrovacích systémů. S tím souvisí rizika jako neoprávněný odběr, fiktivní stav elektroměru, snaha o co nejmenší spotřebu, podvodné zvyšování odběru jiným stanicím, snaha o zničení celého systému za účelem sabotáže, která může mít právě díky propojení celých sítí, nejen regionální, ale i globální následky, krádeže hardwaru, neautorizované zpřístupnění informací, neoprávněné kopírování dat, znepřístupnění služeb, popírání odpovědnosti [5].

## 2 KOMPONENTY SMART GRIDS

### 2.1 Spotřebiče

Udělat z obyčejných spotřebičů součást inteligentní domácnosti a následně pak i součást chytré sítě není nijak složité. Za chytrý spotřebič můžeme považovat každý spotřebič současné domácnosti řízený regulačním a automatizačním systémem. Tyto systémy umožňují na základě dat zadaných uživatelem nebo získaných z inteligentních elektroměrů řídit spotřebiče. Můžeme také řídit domácnost na dálku a při připojení alternativních zdrojů elektrické energie do toho systému jich využít v době špičky. Rychlost komunikace v těchto systémech a v jejich jednotlivých modulech se pohybuje řádově od 100 Bd - 10 kD, komunikace je realizována pomocí CIB sběrnice, nebo pro snadnější instalaci bezdrátově.

#### **Příklady systémů:**

- Teco: *Systém Foxtrot* [12]
- ABB: *systém ABB i-bus® KNX, Ego-n®* [9]

Všechny tyto systémy lze realizovat v novostavbě, při rekonstrukci nebo i nezávisle na stavebních pracích. U všech systémů je možnost bezdrátové komunikace mezi jednotlivými moduly. Usnadňuje se tím instalace do již zařízených a hotových rodinných domů nebo bytů. Všechny systémy nabízejí přibližně stejné komunikační možnosti. Zatímco systémy firmy ABB obsahují již inteligentní elektroměry a spolupřijímají se hlavně na moduly mateřské firmy, systémy firmy Tecom jsou více otevřenější. Nabízí volbu vlastního elektroměru i dalších modulů podle ceny nebo potřeby uživatele. Tímto může dojít k situaci, kdy pod systémem Foxtrot budou pracovat vypínače a spínače firmy ABB vedle snímačů jiných firem.

### 2.2 Plynoměry, vodoměry a další

Jsou to zařízení která měří jiné druhy energie než elektrickou, popřípadě se jedná o jiná zařízení, získávající data. Mezi tyto zařízení můžeme zařadit průmyslové teplooměry, hladinoměry, kalorimetry a další. Tato zařízení komunikují s elektroměrem mimo jiné pomocí technologie ZigBee a v případě impulsních měřidel pomocí impulsů. Vždy dochází k přenosu dat směr z těchto měřidel do elektroměru. V závislosti na inteligenci těchto měřidel může docházet k jejich řízení nebo konfiguraci povely vydávanými od elektroměru[19].

## 2.3 LCD panely, mobilní telefony, PC

Pomocí těchto zařízení je spotřebitel informován o aktuální spotřebě, aktuálně zvoleném tarifu a jiných užitečných informacích. Díky těmto informacím může spotřebitel měnit spotřebu podle stávající situace, ovládat spotřebiče na dálku mimo dům a tímto výrazně přispívat k úspoře nákladů na energii. Tyto možnosti přispívají k záměrům energetických společností regulovat odběr energií, předně však energii elektrickou.

## 2.4 Inteligentní elektroměry

Inteligentní elektroměry by měly postupně nahrazovat klasické elektroměry. Na rozdíl od klasických elektroměrů, poskytujících jen údaje o spotřebě a nutné návštěvě pracovníka pro odečet stavu jednou maximálně dvakrát do roka. Inteligentní elektroměry umožňují přenos informací nejen od spotřebitele k distribuční síti ale i naopak. Tyto data jsou spotřebiteli zobrazována na LCD panelech, mobilních telefonech a dalších zařízeních. Dále inteligentní elektroměry mohou vykonávat činnosti jako změna tarifu, spínání relé v závislosti na tarifu, odpojení spotřebitele či jeho omezení. Pro distributory je s pomocí inteligentních elektroměrů snazší odečet spotřeby prováděný na dálku, změna tarifu, nebo odhalení neplatiče. Elektroměr může obsahovat modem pro PLC síť, po které jsou data přenášena na koncentrátor. Tento modem může být součástí elektroměru nebo jako modul k stávajícímu elektroměru. Další ze možností komunikace je přenos pomocí GPRS nebo radiový přenos.

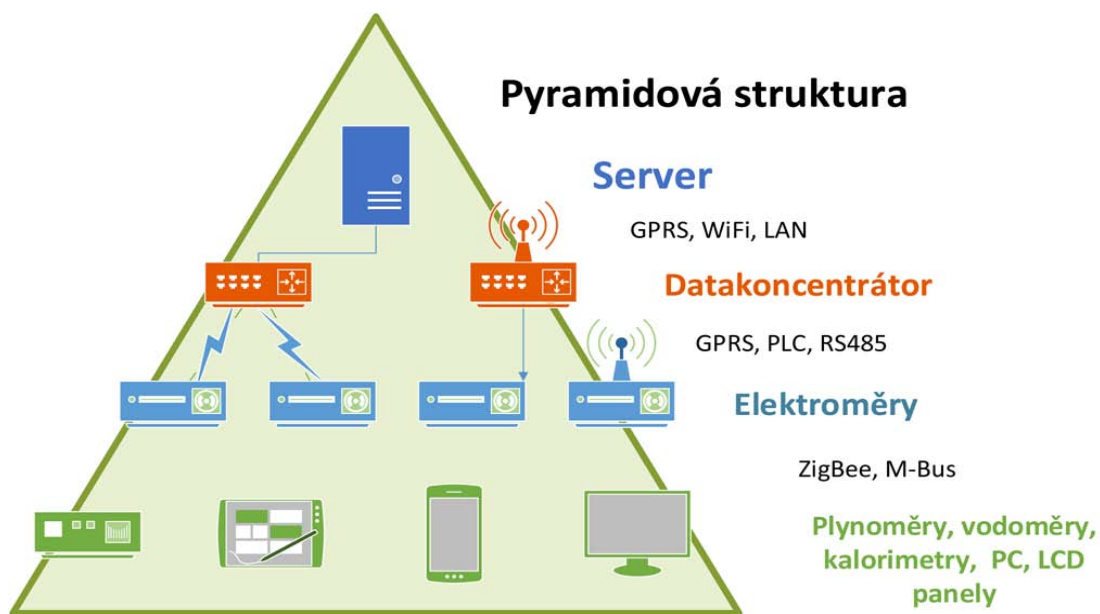
## 2.5 Data koncentrátoři

Data koncentrátor představuje rozhraní mezi přenosem dat po elektrické nebo rádiové síti a jiným přenosem, kterým nejčastěji bývá typ TCP/IP. Data koncentrátor se nachází v trafostanici, z důvodů nemožnosti přenosu PLC přes transformátor a pro energetickou společnost je velmi výhodné umístit jej do stávající instalace [19]. Data z koncentrátoru na server(y) jsou zasílána prostřednictvím LAN, WiFi a v případě nedostupnosti těchto spojení mohou být přenášena pomocí GPRS, jehož možnosti přenosu jsou simulovány kapitole č.6.

## 2.6 Servery

Poslední částí v tomto pomyslném řetězci jsou servery, které získaná data zpracovávají vhodným způsobem. Tyto data jsou rozdělena dle priorit a všechna nebo

jejich část je poskytnuta klientským stanicím. Zaměstnanci operátorského centra mohou zasílat příkazy a pomocí nich měnit stav jednotlivých zařízení. Díky tomuto je možné nastavit levnější tarif sítě při přebytku elektrické energie, nebo předejít kolapsu sítě[19].



Obr. 2.1: Pyramidová struktura [19].

## 3 KONCEPT CHYTRÉHO BYTU

Jako ukázkový model byla zvolena inteligentní domácnost. Jde o koncový bod chytrých sítí a je jednou z jejich nejdůležitějších součástí. V podstatě jde o koncept chytré sítě aplikovaný na domácnost a zaměřený na uživatele. Komunikace uvnitř inteligentních domácností může probíhat dvěma způsoby, a to bezdrátově nebo po lince. Bezdrátová komunikace je nejvhodnější pro vybudování inteligentní domácnosti v již postaveném domě, protože odpadá nutnost zásahu do zdí. Linková komunikace je naopak vhodná při rekonstrukci nebo stavbě nového domu či bytu.

### 3.1 Elektroměry pro chytrý byt

Při volbě elektroměru je rozhodující zda chceme přímo inteligentní elektroměr nebo zda nám stačí aplikovat modul na stávající elektroměr. Dalším faktorem při výběru inteligentního elektroměru nebo modulu je komunikace s centrálou.

Při zvážení výhod a nevýhod komunikačních schopností elektroměrů se přímo nabízí inteligentní elektroměr s optorozhraním, který nabízí rychlou a bezproblémovou komunikaci. Vzhledem k charakteru místa instalace, byly voleny elektroměry s možností PLC komunikace. Důvodem této volby je nenáročná instalace, zaběhnutý a funkční systém odečtu, uživatelská přístupnost těchto elektroměrů a dostatečná rychlost i bezpečnost komunikace. Při užším výběru bude voleno mezi následujícími zařízeními:

#### **Elektroměr AM x50**

Elektroměr firmy ZPA Smart energy se řadí do třídy plně programovatelných měřidel určených pro použití nejen v systémech AMM pro monitorování a kontrolu spotřeby elektrické energie. Tento elektroměr vyhovuje požadavkům pro dálkový přenos dat a vyčítání různých typů údajů. Spolu s modulem PLM x50 pak umožňuje PLC komunikaci. Tento modul využívá modulaci DCSK (Differential Code Shift Keying), která umožňuje dosahovat poměrně rychlé a stabilní komunikace [11].

#### **Elektroměr MT5Q1D**

Jedná se o inteligentní elektroměr firmy ModemTec, který umožňuje komunikaci s koncentrátorem nejen pomocí PLC ale i za pomoci GPRS, M-Bus a dalších komunikačních technologií. Využívaný například v projektu Smart region Vrchlabí. Splňuje standardizační normy Evropské unie a umožňuje dálkový upgrade modulací (D-BPSK, S-FSK, OFDM). Při instalaci není nutná kalibrace elektroměr se kalibruje sám [6].

## **Elektroměr E350**

Elektroměr firmy Landis+Gyr se řadí do třídy modulárních elektroměrů s přímým připojením. Spolu s modulem E35C umožňuje komunikaci s koncentrátorem pře PLC nebo GPRS. Obsahuje 2 až 6 měřících kanálů a splňuje standardizační normy Evropské unie. Není nutná kalibrace při instalaci, elektroměr to v pravidelných intervalech zvládá sám [22].

## **Modul MT29N**

Tento modul komunikuje pomocí sériového portu se stávajícím elektroměrem, odpadá tak výměna za nový elektroměr. K připojení přenosného PC slouží druhý sériový port RS232. Tyto porty jsou galvanicky odděleny od sítě 230 V. Tím je zvýšena bezpečnost přenosu. S koncentrátorem probíhá komunikace přes silové rozvody. Systém isar zajišťuje přístup k datům z centrály přes webové rozhraní. Nevýhodou toho modulu je komunikace přes sériové porty. Další nevýhodou může být i nedostatek místa v rozvodné skříni k instalaci modulu. Toto zařízení jsem vybral právě díky tomu, že není nutná výměna elektroměru, což je jeho jedinou výhodou [8].

## **3.2 Inteligentní systémy**

Inteligentní systémy jsou nedílnou součástí chytré domácnosti, pomáhají uživateli řídit domácnost podle aktuálních potřeb, nebo podle předem nastaveného časového harmonogramu. Slouží k automatizaci domácnosti, umožňují domácnost ovládat na dálku mobilním telefonem nebo osobním počítačem. Komunikace uvnitř systému je řešena bezdrátově a to WiFi a GPRS moduly, nebo drátově přes sériové rozhraní ethernet. Při výběru inteligentního systému jsem se zaměřil na možnosti komunikace uvnitř systému a s okolím, uživatelskou přístupnost systému a kompatibilitu jednotlivých prvků systému. Volit se bude mezi systémy **Foxtrot** od Tecomu a **i-bus/KNX** od ABB. Jsou odlišné pouze v kompatibilitě prvků, oba zajišťují jak bezdrátovou tak drátovou komunikaci a nabízí stejné možnosti automatizace i zabezpečení domácnosti.

### **Teco: systém Foxtrot**

Tento systém lze použít jak při rekonstrukci tak i nezávisle na stavebních pracích což je následující případ. Uživatel se systémem komunikuje prostřednictvím ethernetu. Lze jej tak ovládat pomocí osobního PC, mobilem, nebo dotykovým nástěnným panelem. Možná je i kombinace těchto možností. Komunikace mezi komponenty je



zajištěna prostřednictvím CIB sběrnice nebo bezdrátovým připojením[12].

### **CIB sběrnice**

Systém založený na komunikaci CIB probíhá v modelu master-slave, kdy na jednu větev může být připojeno až 32 jednotek. CIB modul lze rozšířit dále pomocí externích modulů master. Toto rozšíření umožňuje také komunikaci na delší vzdálenost při použití metalických kabelů až 300m a při použití optického kabelu až 1,7km. Odezva se touto možností nijak nezmenší. S akumulátory je tento systém zabezpečený proti výpadkům. Výrobce garantuje přenosovou rychlost 19,2 kb/s. Všechny větve toho systému jsou pod neustálou kontrolou a může tak nahlásit výpadek jednotlivých modulů nebo jednotek. Podle nastavení se pak spustí alarm nebo použije náhradní okruh [12].

### **Sběrnice RFox**

Tato sběrnice zajišťuje bezdrátovou komunikaci systému Foxtrot. Jedná se bezdrátovou rádiovou sběrnici, která je provozována ve volném bezlicenčním rádiovém pásmu 868 MHz, pro jejíž provoz není potřeba žádné další povolení. Komunikace probíhá opět v modelu master-slave, kdy na jednu jednotku master připadá 64 slave periferních modulů. Master modul můžeme mít jako součást inteligentního systému nebo externě na lištu rozvaděče. Slave moduly jsou pak řešeny v několika provedeních od modulů na zásuvky přes vypínače až po dálkové ovladače. Přenosová rychlost je opět garantována výrobcem a dosahuje 19,2 kb/s. Komunikace je obousměrná s potvrzováním paketů což zajišťuje nízkou chybovost a dosah je až 100 m při přímé viditelnosti a 25 m v zástavbě [12].

### **ABB: systém i-bus/KNX**

Systém i-bus/KNX byl vybrán jen pro uvedení jiné možnosti automatizace a řízení domácnosti. Tento systém pracuje na principu sběrnice, s kterými komunikuje přes silové rozvody. Celý systém je decentralizovaný, takže po nastavení nepotřebujeme centrální jednotku k ovládání, ale celý systém funguje na základě naprogramovaných funkcí uložených v jednotlivých přístrojích. Tyto přístroje jsou mezi sebou propojeny sběrnice kabelem. Celý systém využívá normalizovaný software ETS, který zaručuje slučitelnost s výrobky různých výrobců. Celý systém lze ovládat přes webové rozhraní nebo pomocí GSM komunikátoru mobilním telefonem [9].

### 3.3 Spotřebiče pro chytrý byt

Do inteligentní domácnosti jistě patří i spotřebiče, jejichž zapojení do inteligentní domácnosti spočívá v komunikačních možnostech s uživatelem nebo s automatizačním systémem. Zde je na výběr ze dvou možností. Lze zvolit přímo inteligentní spotřebiče, které budou s uživatelem komunikovat ať už bezdrátově nebo pomocí kabelu. Spotřebiče, které budou umožňovat časové sepnutí a vypnutí, dálkové ovládání a jiné funkce. Problémem při této volbě může být kompatibilita. Tento problém řeší přídatné zásuvkové adaptéry, které představují druhou možnost při řešení iteligentní domácnosti. V tomto případě jsou spotřebiče do sítě připojeny přes adaptéry a komunikují s uživatelem pomocí inteligentního systému. Zásuvkové adaptéry umožňují ovládání spotřebičů z jednoho místa a máme je všechny tzv. „pod jednou střeou“. Komunikace je v ideálním případě řešena bezdrátově v dalších případech pomocí PLC nebo CIB sběrnice. Ideální kombinací je chytrý spotřebič umožňující přístup ke všem funkcím pomocí zásuvkového adaptéru. A tímto se dostáváme k nevýhodě zásuvkových adaptérů, můžeme jimi totiž ovládat jen sepnutí a vypnutí zásuvky (za předpokladu použití na stávajících spotřebičů).

## 4 TEORETICKÁ REALIZACE CHYTRÉHO BYTU

Jako příklad realizace inteligentní domácnosti byl vybrán obydlý byt. Který je součástí bytové zástavby o třech patrech, jedná se o klasický byt 2+1. Všechny prvky budou voleny v souladu myšlenky chytrých sítí a reálnými komunikačními a datovými možnostmi daných prvků.

### 4.1 Elektroměr MT5Q1D

Elektroměr byl zvolen výše zmíněný model MT5Q1D od firmy ModemTec, který umožňuje komunikaci pomocí PLC i GPRS, ke které nepotřebuje žádné přídatné moduly což byl jeden z důvodů výběru. Komunikace přes silové rozvody se jeví v tomto případě jako nejjednodušší a uživatelsky nejpřístupnější v kapitole 4 jsou pak simulovány elektroměry komunikující pomocí GPRS, které nabízejí obecně lepší komunikační vlastnosti. Komunikující přes optický kabel jsou v tomto místě nevhodná z důvodu absence optiky. Další komunikace a správa je zde pak řešena přes webové rozhraní systému *isar*, který je nabízen spolu s elektroměrem a je tedy optimalizován pro komunikaci uživatel -> elektroměr.

### 4.2 Inteligentní systém Foxtrot

Komunikačním požadavkům z hlediska kompatibility vyhovuje systém *Foxtrot* od firmy Teco. Díky možnosti bezdrátové komunikace je jednoduchá instalace. V praxi jde o nahrazení vypínačů za vypínače komunikující s bezdrátovým modulem *RFox*, výměna radiátorových hlavic opět za bezdrátové, a v poslední řadě aplikace zásuvkových adaptérů. Za předpokladu, že v bytě je celkem 15 zásuvek a 10 vypínačů, máme modulem zajištěný ještě dostatek prostoru pro budoucí rozšíření. Radiová komunikace pak v zástavbě umožňuje komunikaci do 25 m což je pro tento byt také dostačující. Celý systém lze naprogramovat dle přání uživatele. Například z dat poskytnutých elektroměrem a zpracovaných distributorem lze vyhodnotit, že nejnižší tarif na elektřinu je v 19:00. Přes webové rozhraní, nebo mobilní telefon vyšleme řídicí centrále příkaz, že má v daný čas spustit spotřebič, centrála předá informaci zásuvkovému adaptéru a ten v uvedený čas spustí daný spotřebič, podobně můžeme naplánovat i vypnutí. Komunikace jednotlivých komponentů podle informací výše probíhá v reálném čase je ošetřena proti výpadkům a všechny komponenty jsou na principu chytrých sítí mezi sebou provázány a zajišťují obousměrnou komunikaci.

## 4.3 Spotřebiče

Díky zásuvkovým adaptérům jsou stávající spotřebiče zapojeny do inteligentní domácnosti. Není tedy potřeba řešit jejich výměnu a v podstatě jsme z nich byly udělány spotřebiče schopné komunikace na dálku. Za zmínku stojí výměna starých spotřebičů za úspornější modely, popřípadě za modely podávající více informací o svojí funkci.

## 4.4 Shrnutí

Navržený model je v rámci myšlenky SG schopný komunikovat s uživatelem. Elektroměr s centrálou pomocí PLC, s uživatelem pak centrála komunikuje prostřednictvím webového rozhraní, které umožňuje nejen komunikaci distributor/zákazník ale i komunikaci opačnou. Inteligentní systém pak komunikuje s ostatními prvky bezdrátově (ve volném radiovém pásmu) bez nutnosti zasahovat do objektu. S uživatelem tento systém komunikuje přes ethernet a pomocí GSM modulu. Umožňuje tak řízení na dálku a úspornější provoz. Komunikace je navzájem provázaná tak, že domácnost můžeme řídit jediným stiskem klávesy nebo tlačítka na mobilním telefonu a to od nastavení tarifu odběru energie po zapnutí jakéhokoliv spotřebiče.

## 5 SIMULAČNÍ SÍŤ

Tato kapitola se zabývá návrhem simulační sítě. Je v ní popsán a rozebrán postup pro sestavení simulace v programu Opnet IT Guru. Dále jsou zde rozebrány prvky simulační sítě a zdůvodněna jejich volba.

### 5.1 Opnet IT Guru Academic Edition

Opnet IT Guru patří do programového vybavení balíku OPNET(Optimum Network Performance) vyvinutého americkou firmou OPNET Technologies. Slouží jako vývojové prostředí pro návrh, simulaci a analýzu komunikačních sítí. Usnadňuje komplexně napodobit a flexibilně otestovat funkci všech částí a prvků sítě. Dokáže modelovat rozsáhlé sítě s detailními požadavky a specifickými vlastnostmi. Hlavní výhodou tohoto programu je jeho efektivita a výkonnost, dokáže v několikaminutové simulaci vyjádřit charakter chování sítě až po dobu 2 týdnů reálného času. Další velkou výhodou Opnetu je jeho grafické prostředí, které usnadňuje a zefektivňuje práci. Za jistou výhodu považují i objemnost knihoven Opnetu a dostupnost jejich zdrojového kódu, což znamená možnost tyto knihovny dále upravovat.

Existuje mnoho jiných simulačních programů, které jsou narušeny od Opnet IT Guru poskytovány zdarma nebo pomocí nekomerční licenční politiky. Příkladem může být simulační nástroj NS2 (Network Simulator) nebo třeba OMNeT++, který je poskytován pod licencí General Public License (GNU).

Hlavním úkolem simulace, je ověření funkčnosti navržené simulační sítě a stanovení kapacitních nároků. Navržený model sítě je v rámci konceptu SG (Smart Grids) a obsahuje všechny důležité prvky konceptu SG. Simulační síť obsahuje prvky označené jako měřidlo(elektroměr), koncentrátor a centrála. Jelikož Opnet neobsahuje výše zmíněné prvky, protože slouží k simulování především datových sítí, byly voleny prvky z jeho nabídky svou funkcí nejbližší prvkům SG. Tato náhrada sice nebude úplně přesná hlavně svými vlastnostmi, ale pro ověření funkčnosti a datových nároků bude dostatečná.

Zdrojem dat je File Transfer Protokol (FTP) o velikosti zpráv 120 kbitů, který je svou funkcí a velikostí dat nejbližší datům zasílaným z elektroměrů a v širší simulaci za použití provozu Quality of Service (QoS) je doplněn o Hyper Text Transfer Protokol (HTTP). V modelu QoS jsou pak využívány protokoly FIFO<sup>2</sup>, PQ<sup>3</sup> a WFQ<sup>4</sup>, které mají za úkol dělení paketů podle priority a kvality služeb.

<sup>2</sup>FIFO(First in first out)-data jsou obsluhována v pořadí v jakém byla přijata

<sup>3</sup>PQ(Priority queuing)-data jsou řazena a posílána dle přidělených priorit

<sup>4</sup>WFQ(Weighted fair queuing)-vážené nestranné řazení, obsluhuje každou frontu na základě daného počtu bytů

## 5.2 Vytvoření simulační sítě

Po instalaci a aktivaci licence Opnetu jsou k dispozici i hotové projekty dodávané spolu s programem. Slouží pro názornou ukázkou základních rozložení prvků a postup pro porovnávání sítí i s vyhodnocením grafů. Tato nabídka je přístupná z hlavní obrazovky pod položkou **Help -> Tutorial**.

Hotové projekty obsahují i přiložené návody **Readme**, kde najdeme podrobnější informace o konkrétním prvku (PC, Switch, Server, atd.), možnosti jeho zapojení v síti i samotnou funkci. Při zvolení pomocných, hotových projektů je možné duplikovat scénář, tuto možnost považuji za velice sofistikovanou, protože zobrazí totožný projekt se všemi prvky a zachovaným nastavením.

Postup pro vytvoření nového projektu je velice intuitivní. V panelu hlavní nabídky zvolíme **File -> New -> Project**. Po potvrzení se zobrazí okno s průvodcem pro vytvoření nového projektu. V tomto průvodci zvolíme vše potřebné pro naše nastavení a dostaneme se do nového okna prázdného scénáře. Spolu s tím to oknem se zobrazuje i **Object Palette**, který slouží pro volbu prvků, základní modely jsou pak pod položkou **internet\_toolbox**.

Z této nabídky budeme volit z těchto fyzických objektů:

- **ethernetq\_wkstn** (elektroměr)
- **ethernet4\_slip8\_gtwy** (koncentrátor)
- **ethernet\_server** (centrála)

Spojovacími prvky budou:

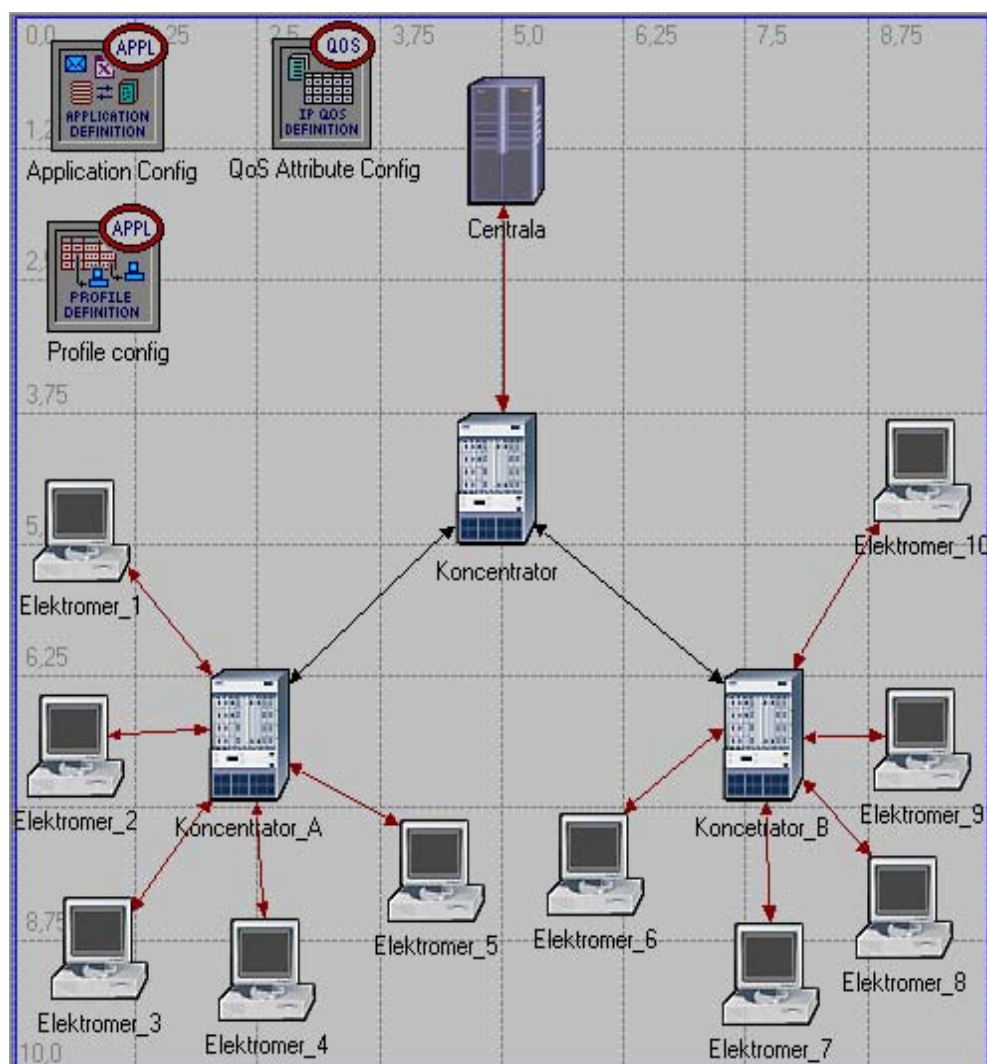
- **10baseT\_adv**-tato linka představuje kroucenou dvojlinku s maximální přenosovou rychlostí 10 Mbit/s
- **PPP\_DS0**-linka Point-to-point přenášející datový signál s označením DS0 a přenosovou rychlostí 64 kbit/s

A v neposlední řadě objekty:

- **Application\_Config**-slouží k definici jednotlivých aplikací podporovaných v simulované síti (např. spuštění a délka trvání aplikace, FTP, email, atd.)
- **Profile\_Config**- přiřadí k definovaným aplikacím jednotlivé profily (např. spuštění aplikace, délka trvání, počet opakování, atd.)
- **QoS\_Attribute\_Config**-objekt pro globální nastavení parametrů kvality služeb (např. rezervační styl, politika procesu obnovy, atd.)

Vybrané prvky vhodně rozmístíme například jak je uvedeno na obr. 5.1, a spojíme zvolenými linkami. A to následovně: elektroměry s vedlejšími koncentrátoři a hlavní

koncentrátor s datovou centrálou propojíme linkou 10BaseT\_adv. Tato linka přenáší data rychlostí 10 Mbit/s, **adv** v názvu značí možnost upravovat rychlost a nastavovat zpoždění. Dále pak propojíme hlavní a vedlejší koncentrátory, linkou PPP\_DS0, tato linka přenáší data rychlostí 64 kbit/s. Volil jsem ji, protože Opnet nepodporuje simulace GPRS přenosu a linka PPP\_DS0 je svou rychlostí nejbližší tomuto přenosu. Jak vyplývá z grafů (viz. kapitola č.6 Výsledky simulace) linka je pro přenos dostatečující, i při aplikaci QoS profilů.



Obr. 5.1: Simulační síť

Pro nastavení datových přenosů mezi měřidly a datovou centrálou budeme využívat tři výše zmíněné prvky (Application\_config, Profile\_config a QoS\_Attribute\_Config). U objektu Application\_Config nastavíme generování provozu FTP a doplňkový provoz HTTP. U provozu FTP nastavíme velikost posílané zprávy na

190 kbitů a dobu posílání na 10000 sekund (velikost zprávy bude pro relevantnost výsledků dále měněna na 570 kbitů a 960 kbitů). Dále nastavíme typ služeb na **Exelent effort**, aby byla zajištěna přednost před HTTP provozem. U HTTP nastavíme provoz na posílání velkého obrázku (Large Image) a typ služeb na **Standart**, tímto jsme zajistili přednost FTP provozu. Nastavení provedeme následovně: pravým tlačítkem myši klikneme na **Application\_Config**, z menu vybereme **Edit Atributes** -> **Application Definitions**, hodnotu **rows** nastavíme na 2. **Row 0** pojmenujeme FTP a nastavíme výše zmíněný provoz, poté **Row 1** pojmenujeme HTTP a opět nastavíme podle výše zmíněných specifikací.

V položce **Profile\_Config**, postupujeme velice podobně jako u **Application Config**, hodnotu **Rows** nastavíme na 2. **Row 0** pojmenujeme FTP profile a v menu **Aplications** vybereme FTP provoz. Následně **Row 1** pojmenujeme HTTP profile a opět v menu **Applications** vybereme HTTP provoz. Ještě u obou profilů nastavíme spouštěcí čas v položce **Start time** na **constant** a hodnotu například 5 sekund. **QoS\_Attribute Confing** necháme v původním nastavení. Pro zavedení QoS politik je potřeba označit linku spojující koncentrátory a v menu **Protocols** -> **IP** -> **QoS** vybrat **FIFO**. Po zduplikování scénáře je stejný postup pro nastavení **PQ** a **WFQ**. Z hlediska datových přenosů je nastaveno vše.

Pro zobrazení výsledků simulace je potřeba nastavit charakteristiky, které chceme sledovat. Nastavení pro jeden prvek se provádí v kontextové nabídce pomocí položky **Choose Individual Statistics** -> **Node Statistics**. V kontextovém menu po kliknutí na pracovní plochu volíme **Choose Individual Statistics** -> **Global statistic**, zde volíme globální statistiky, které platí v celém projektu.

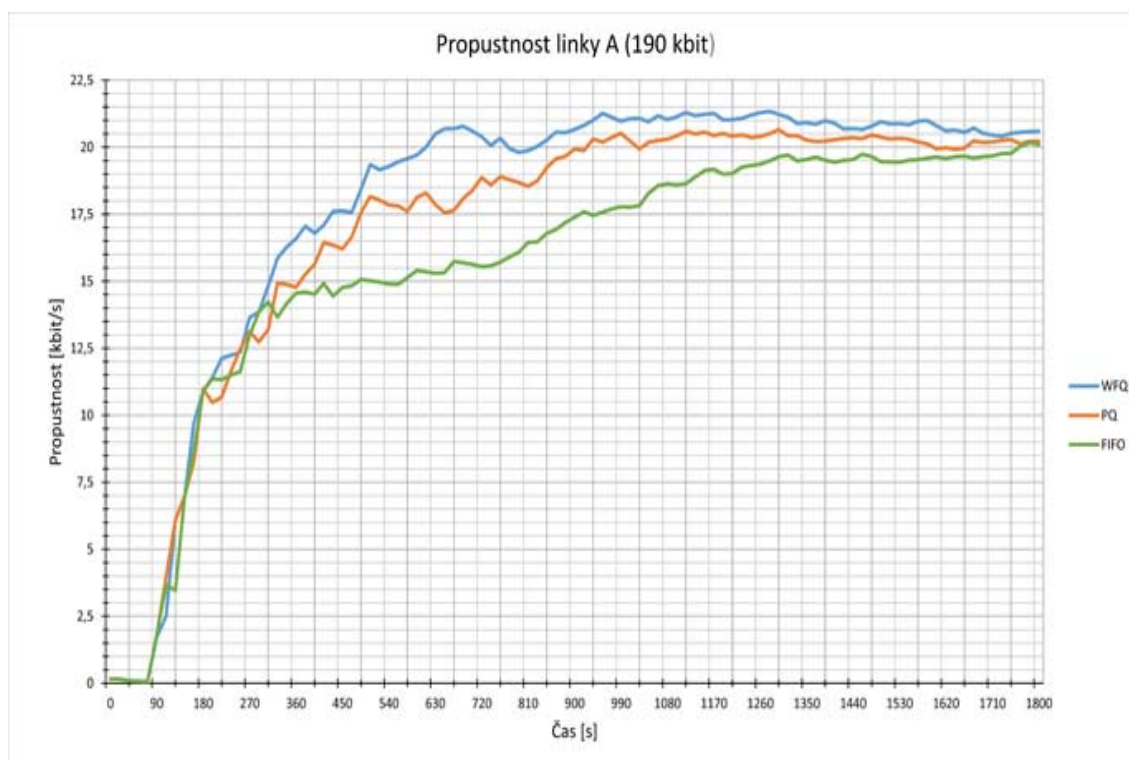
Po tomto nastavení stačí spustit simulaci z nabídky **Scenarios** -> **Manage scenarios**, v tomto menu můžeme nastavit dobu trvání simulace a po stisknutí tlačítka **OK** se již spustí samotná simulace.

Pro zobrazení výsledků simulace je potřeba kliknout do prostoru v pracovní ploše a z důvodu vícero scénářů vybrat **Compare Results**, v tomto je menu je také nastavení jednotlivých sledovaných statistik a konfigurace pro vykreslení Grafů.

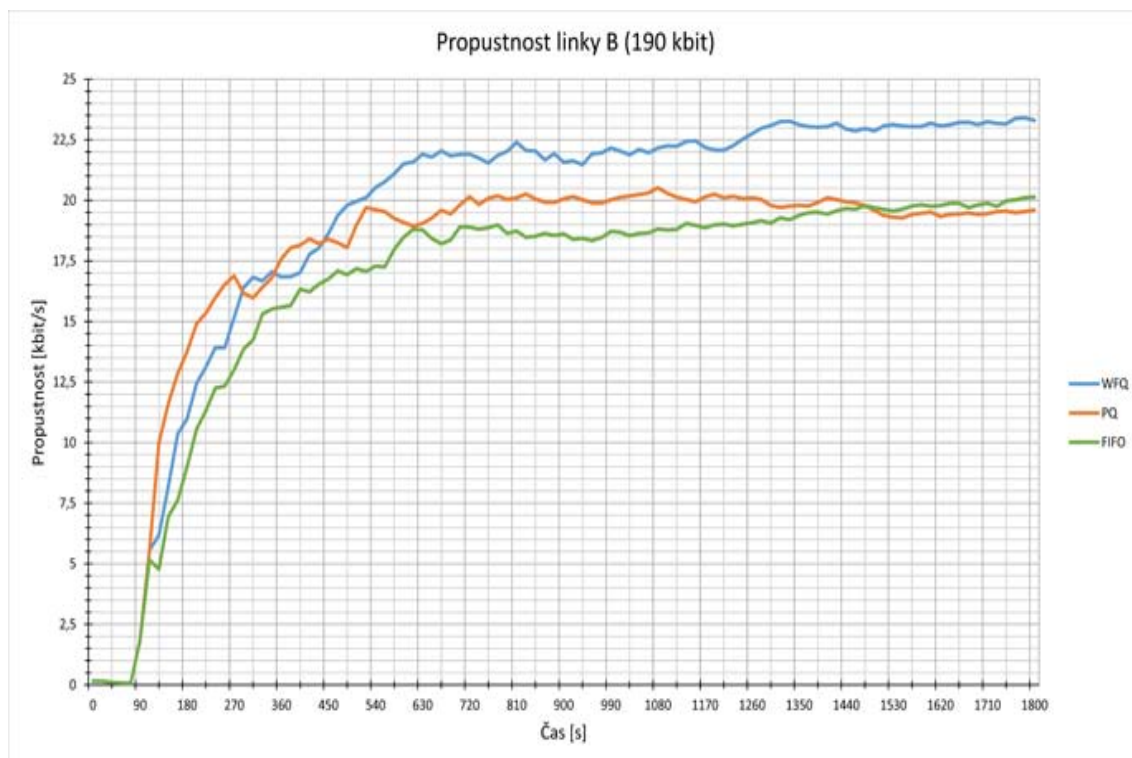


## 6 VÝSLEDKY SIMULACE

Simulované výsledky jsou zobrazeny v grafech na obr. 6.1 až obr. 6.12. Pro lepší přehlednost je linka mezi *koncentrátorem\_A* a *koncentrátorem* pojmenována jako **linka A** a linka mezi *koncentrátorem\_B* a *koncentrátorem* jako **linka B**. Jsou simulovány různé velikosti zprávy pro zajištění relevantnosti výsledků u všech objemů dat, viz. podkapitola č.1.4.3. Objemy malých dat jsou simulovány zprávou o velikosti 190 kbitů, střední data zprávou o velikosti 570 kbitů a velké objemy zprávou o velikosti 960 kbitů. Jak z výsledných grafů vyplývá pro všechny velikosti zprávy je linka PPP\_DS0 (tudíž i GPRS přenos) dostatečná. Linka je postupně testována různými velikostmi zprávy a v tomto stavu zatěžována nepřetržitým provozem po dobu 30 minut. V reálné situaci elektroměr zasílá data jednou za 10 až 15 minut. Grafy jsou uváděny pouze ve směru od elektroměrů k centrále. V opačném směru byl provoz až na drobné, na grafech nepozorovatelné odchylky stejný. Služby QoS slouží pouze pro orientační simulaci za předpokladu, že by s daty z elektroměru byla posílána i jiná data. Zavedení a funkce služeb QoS je nejvíce patrné na obr. 6.13, který zobrazuje zahazování paketů na IP vrstvě při velikosti zprávy 960 kbitů. Dále na obrázcích 6.14 a 6.15, na kterých je viditelný provoz FTP a HTTP, při posílání zprávy o velikosti 10 Mbitů.



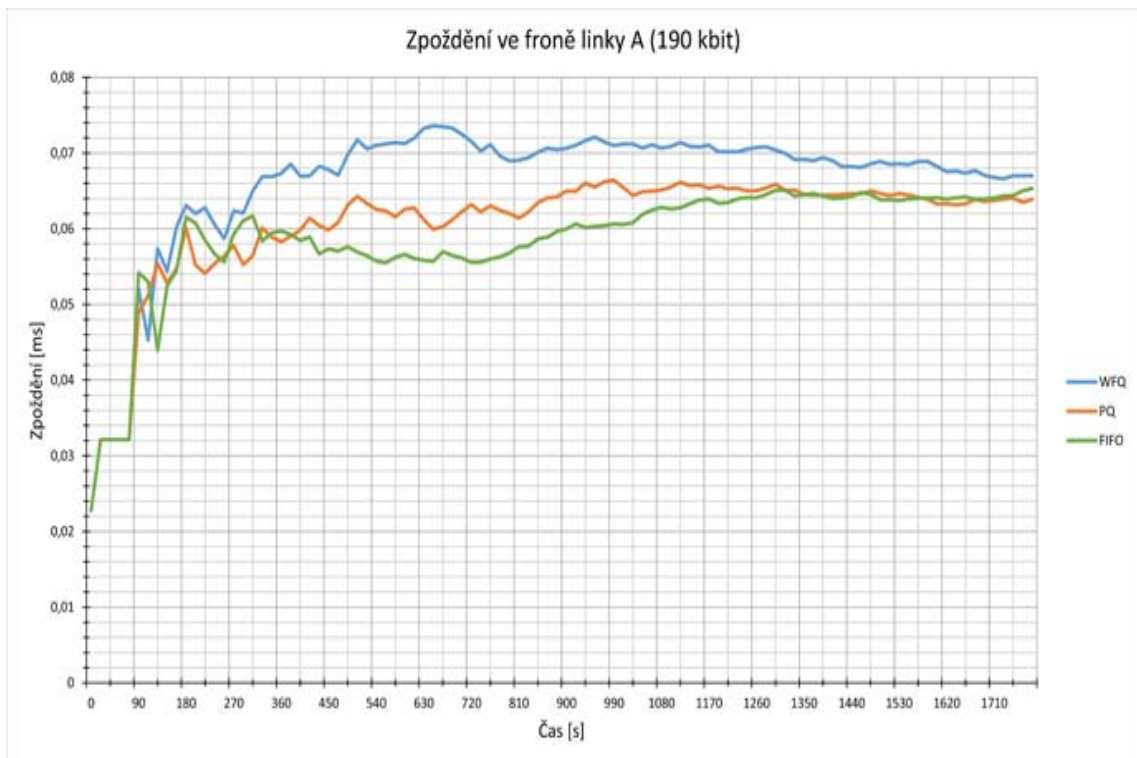
Obr. 6.1: Propustnost na lince A pro velikost zprávy 190 kbit



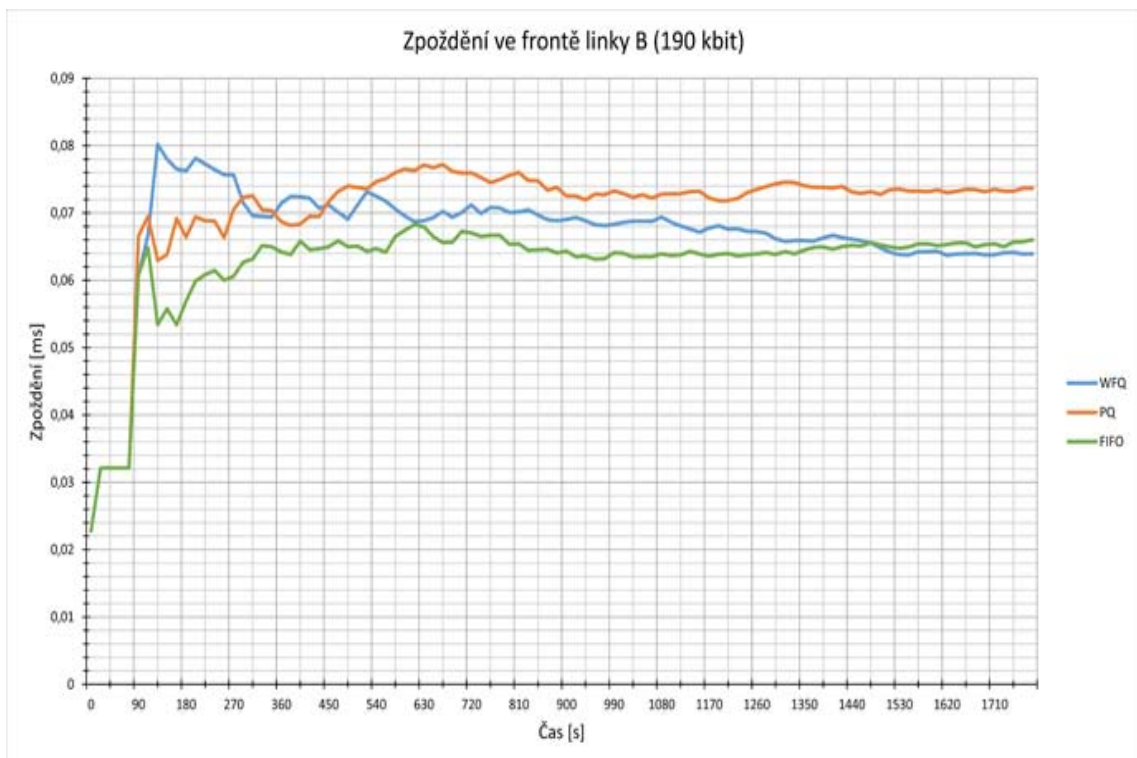
Obr. 6.2: Propustnost na lince B pro velikost zprávy 190 kbit

Grafy na obr. 6.1 a obr. 6.2 zobrazují propustnost linek A a B (PPP\_DS0) jejichž přenosová rychlost je 64 kbit/s. Linkami je posílána zpráva o velikosti 190 kbit po dobu 30 min. Z těchto grafů vyplývá, že linka není vytížena ani z poloviny své kapacity. Největší přenosové kapacity pak nabývá s aplikací služby WFQ, což je dáno její funkcí řadit a posílat data „spravedlivě“ podle počtu bytů.

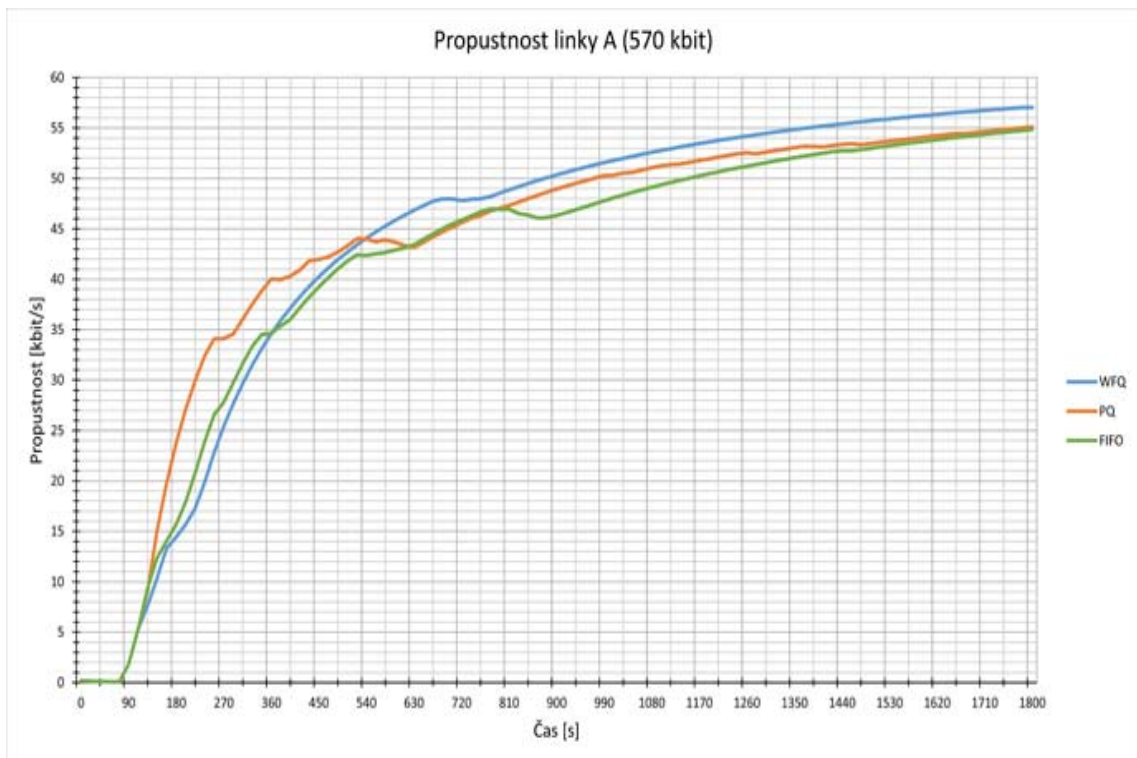
Na grafech (obr. 6.3 a obr. 6.4) je vyneseno zpoždění ve frontě. Toto zpoždění mají za vinu služby QoS a vzniká řazením bajtů do front. Průměrné zpoždění na obě linky je v rozmezí 0,06 - 0,07 ms což je v podstatě zanedbatelná hodnota. Ke konci průběhu se zpoždění všech služeb ustaluje na průměrné hodnotě 0,06 ms.



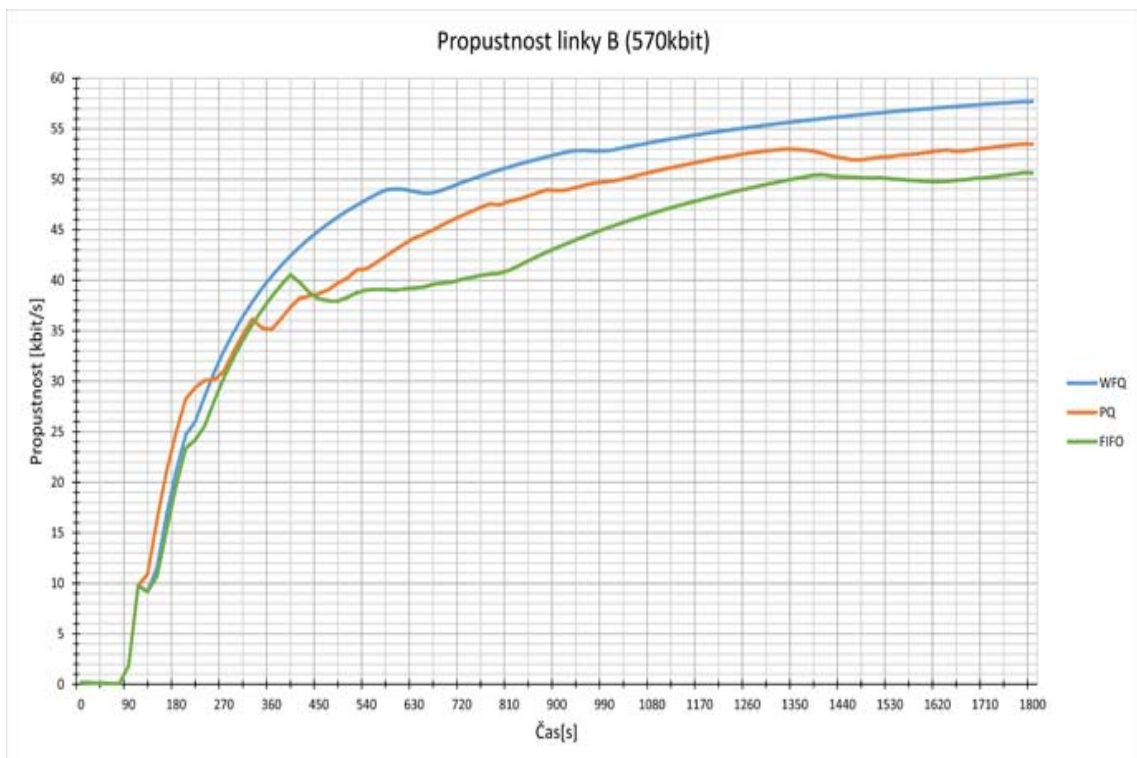
Obr. 6.3: Zpoždění ve frontě na lince A pro velikost zprávy 190 kbit



Obr. 6.4: Zpoždění ve frontě na lince B pro velikost zprávy 190 kbit



Obr. 6.5: Propustnost na lince A pro velikost zprávy 570 kbit



Obr. 6.6: Propustnost na lince B pro velikost zprávy 570 kbit

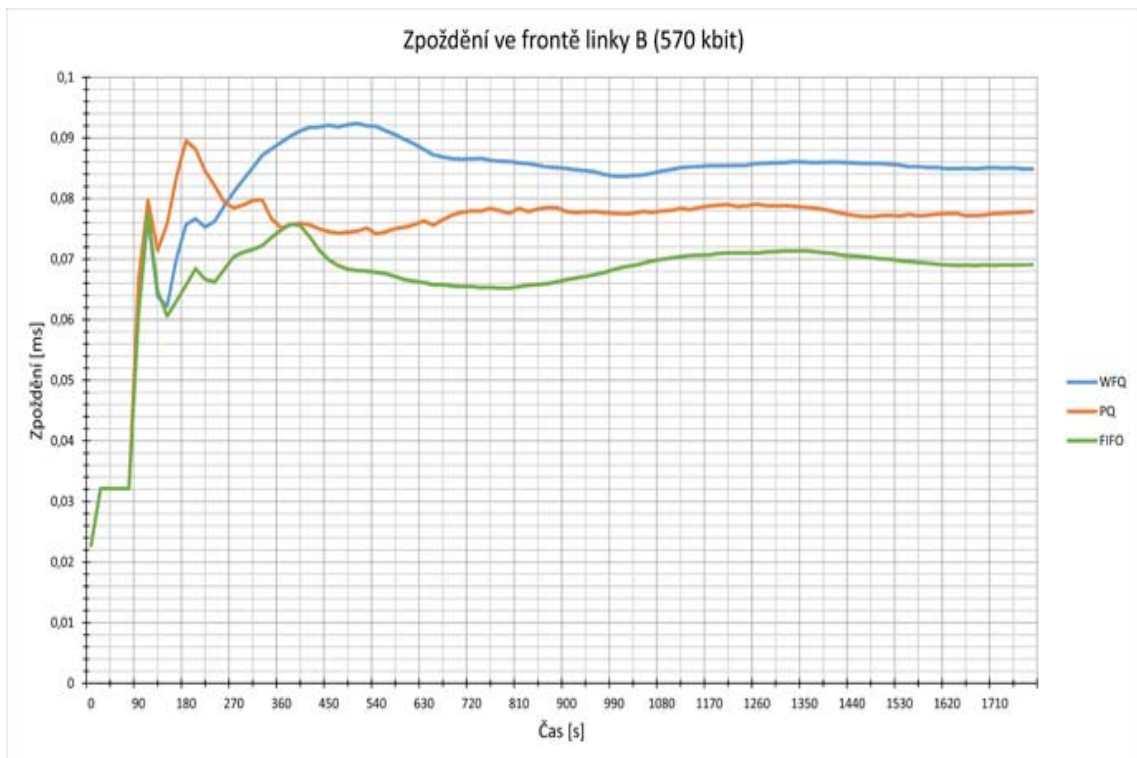
Grafy na obr. 6.5 a na obr. 6.6 zobrazují propustnost linek A a B (PPP\_DS0) jejichž přenosová rychlost je 64 kbit/s. Linkami je posílána zpráva o velikosti 570 kbit po dobu 30 min. Z těchto grafů vyplývá, že dochází k nabytí maximální přenosové kapacity linky. Největší přenosové kapacity pak nabývá s aplikací služby WFQ, což je dáno její funkcí řadit a posílat data „spravedlivě“ podle počtu bytů. Nejnižší přenosové kapacity pak linka dosahuje se službou FIFO, ovšem rozdíly mezi FIFO a PQ jsou zanedbatelné.

Na grafech (obr. 6.7 a obr. 6.8) je vyneseno zpoždění ve frontě. Toto zpoždění má za vinu zavedení služby QoS a vzniká řazením bajtů do front. Průměrné zpoždění na obě linky je v rozmezí 0,07 - 0,09 ms což je více než v případě linek zatížených zprávou o velikosti 190 kbitů ale stále je to v podstatě zanedbatelná hodnota. V závěru grafu se opět zpoždění všech služeb ustaluje na průměrné hodnotě 0,09 ms.

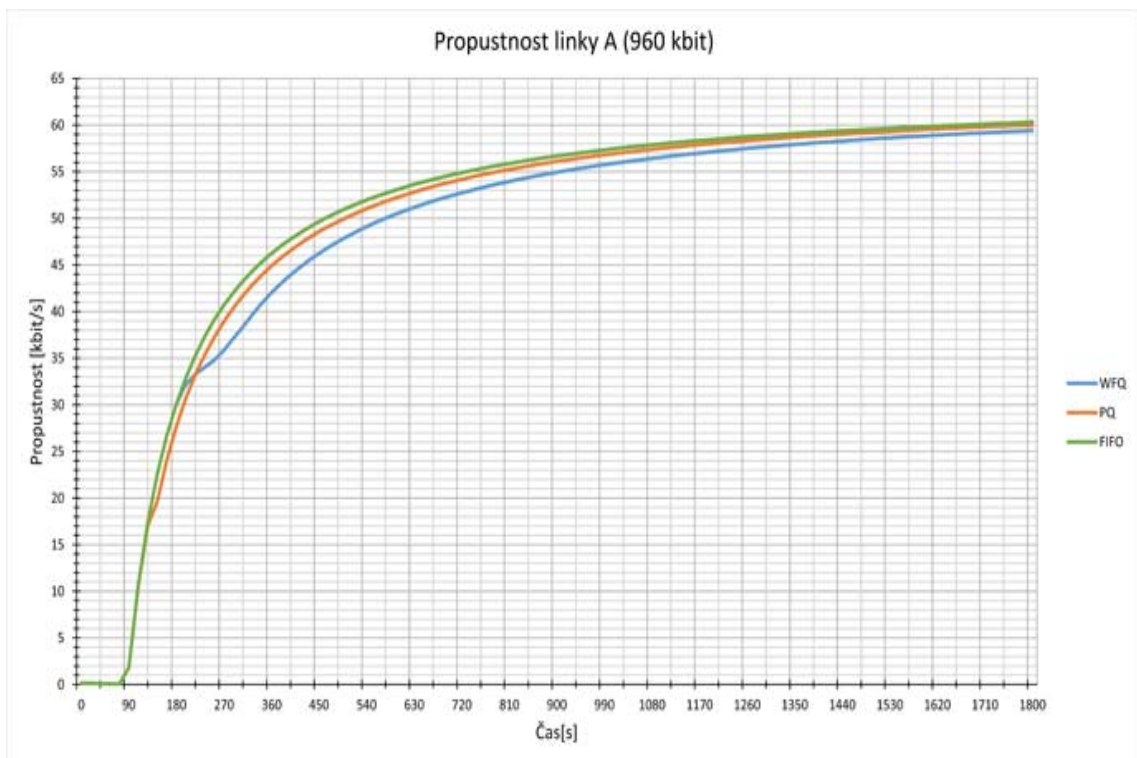


Obr. 6.7: Zpoždění ve frontě na lince A pro velikost zprávy 570 kbit

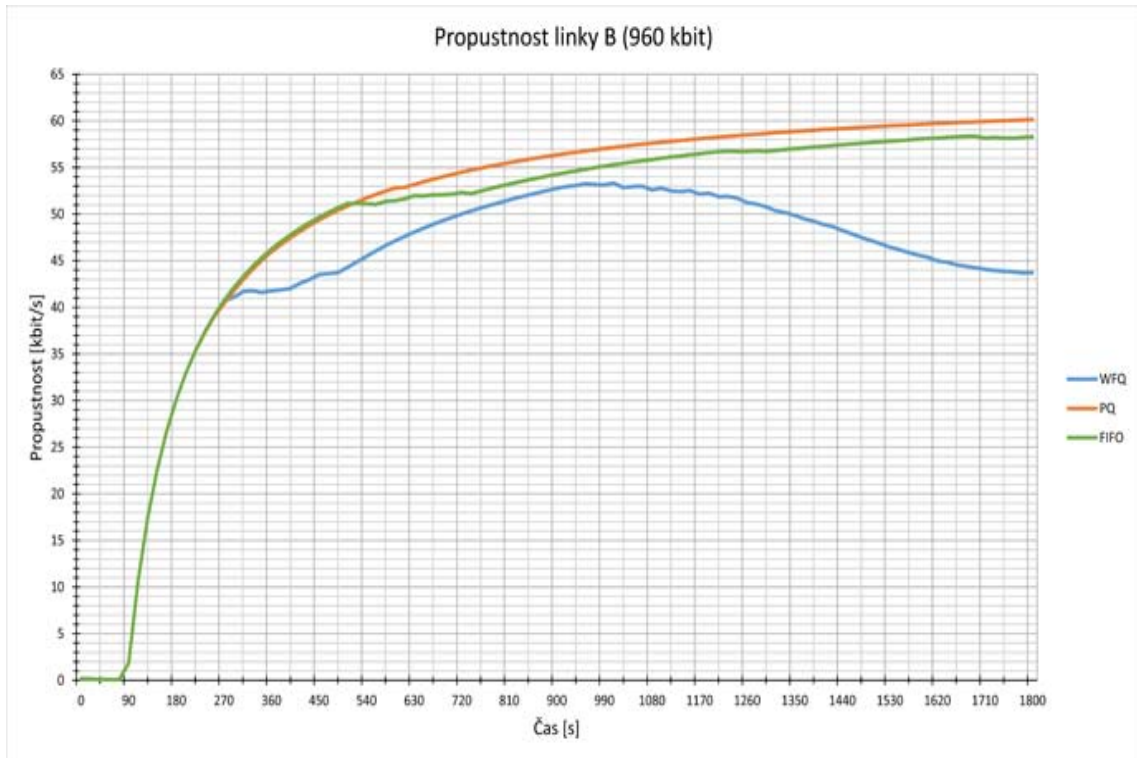




Obr. 6.8: Zpoždění ve frontě na lince B pro velikost zprávy 570 kbit



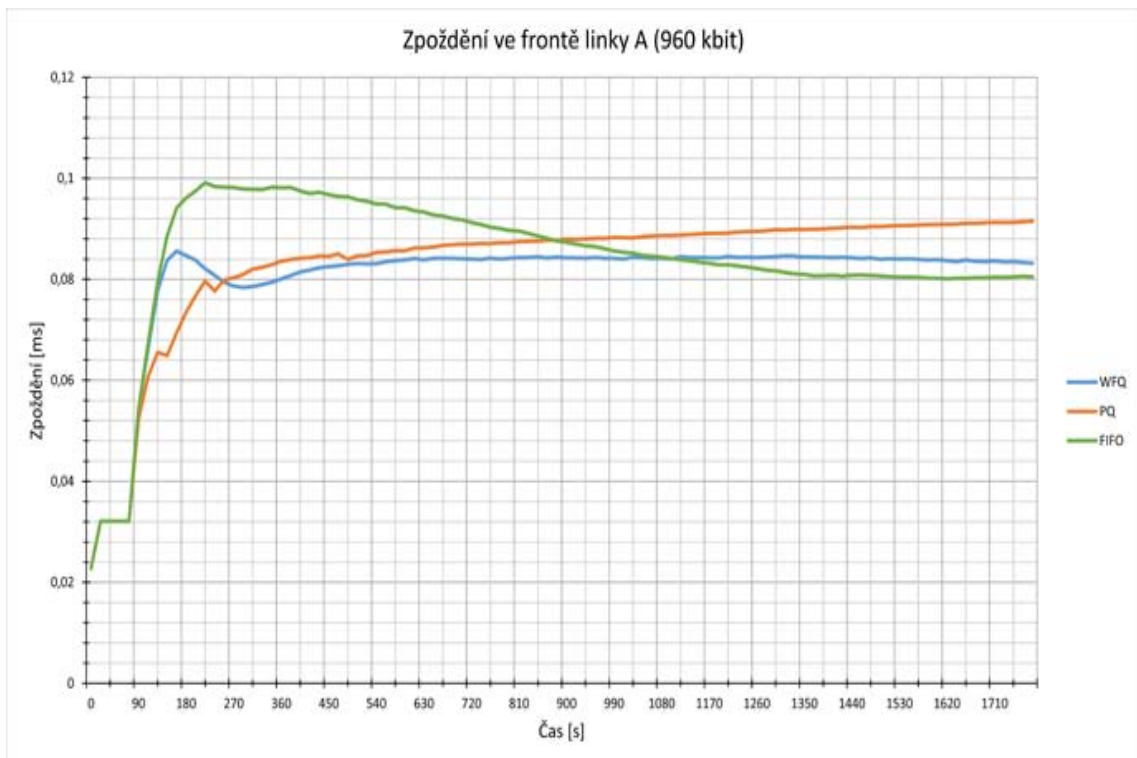
Obr. 6.9: Propustnost na lince A pro velikost zprávy 960 kbit



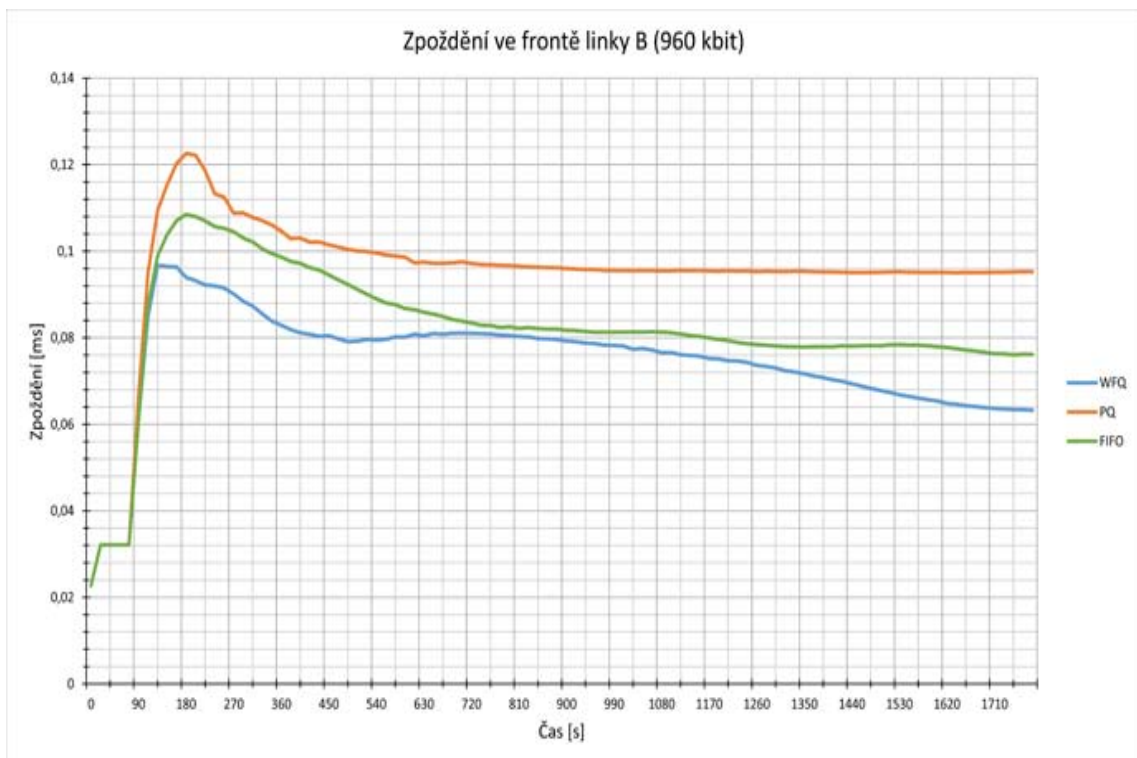
Obr. 6.10: Propustnost na lince B pro velikost zprávy 960 kbit

Grafy na obr. 6.9 a na obr. 6.10 zobrazují propustnost linek A a B (PPP\_DS0) jejichž přenosová rychlost je 64 kbit/s. Linkami je posílána zpráva o velikosti 960 kbit po dobu 30 min. Z těchto grafů vyplývá, že dochází k sjednocování propustnosti pro všechny tři služby a nabytí maximální propustnosti linky. Nejnižší přenosovou kapacitu můžeme vidět na grafu obr. 6.10, a to u služby WFQ, tato anomálie může být dána jinou délkou linky B.

Na grafech (obr. 6.7 a obr. 6.8) je vyneseno zpoždění ve frontě. Toto zpoždění má za vinu zavedení služby QoS a vzniká řazením bajtů do front. Průměrné zpoždění na obě linky je v rozmezí 0,06 - 0,12 ms, zpoždění ve frontě narůstá adekvátně k velikosti simulované zprávy. Na grafu jsou viditelné dva skoky kdy v případě linky A služba FIFO dosahuje zpoždění 0,1 ms a u linky B služba PQ dosahuje chvilkového zpoždění až 0,12 ms. I přes tyto dva skoky se zpoždění v závěru grafu ustaluje na průměrné hodnotě 0,08 což je stále zanedbatelná hodnota.



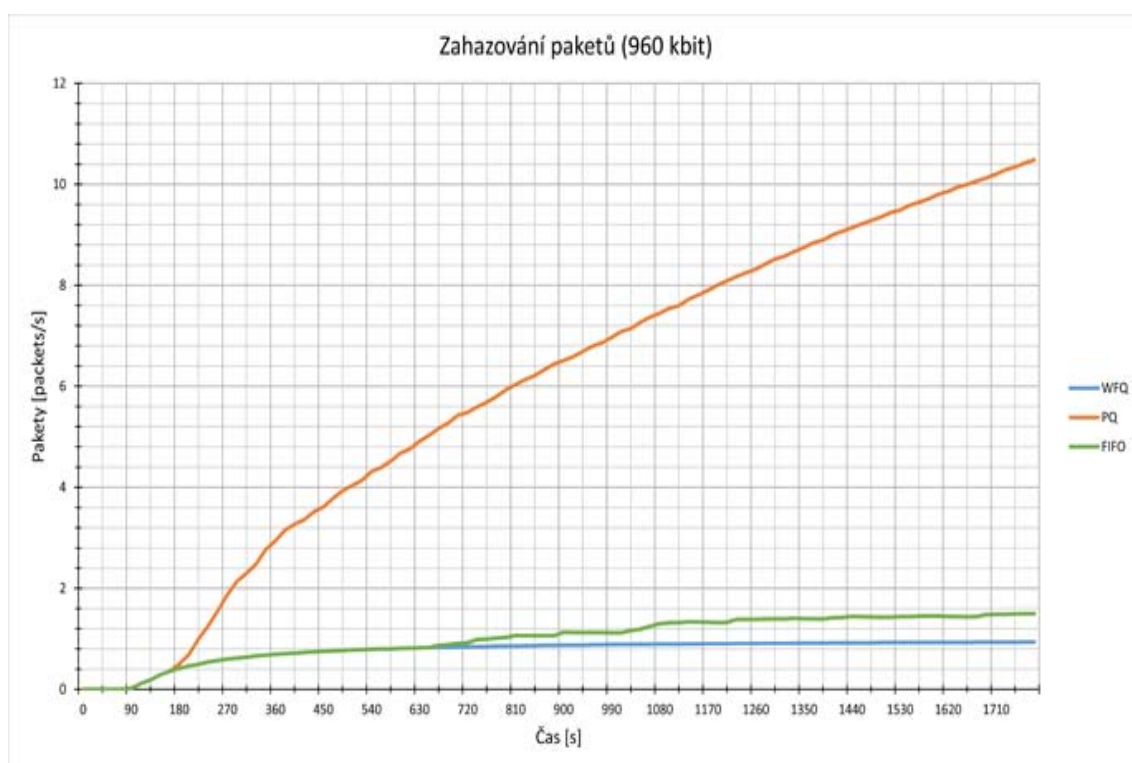
Obr. 6.11: Zpoždění na lince A pro velikost zprávy 960 kbit



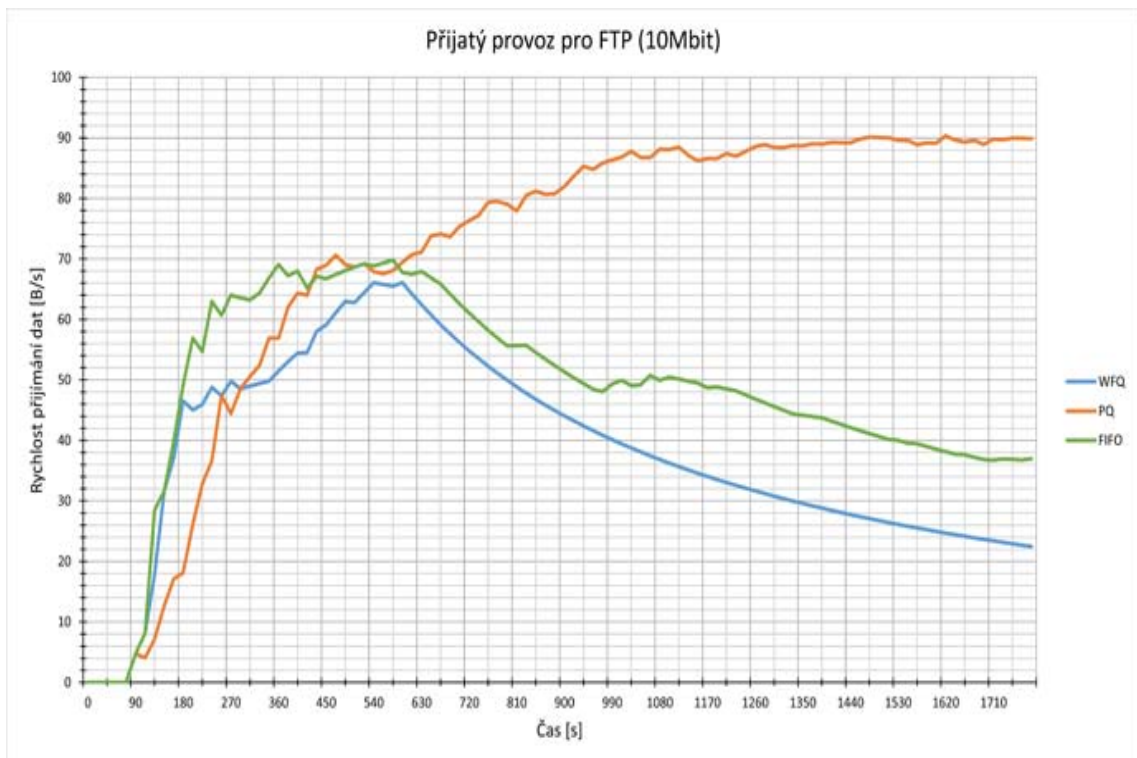
Obr. 6.12: Zpoždění na lince B pro velikost zprávy 960 kbit



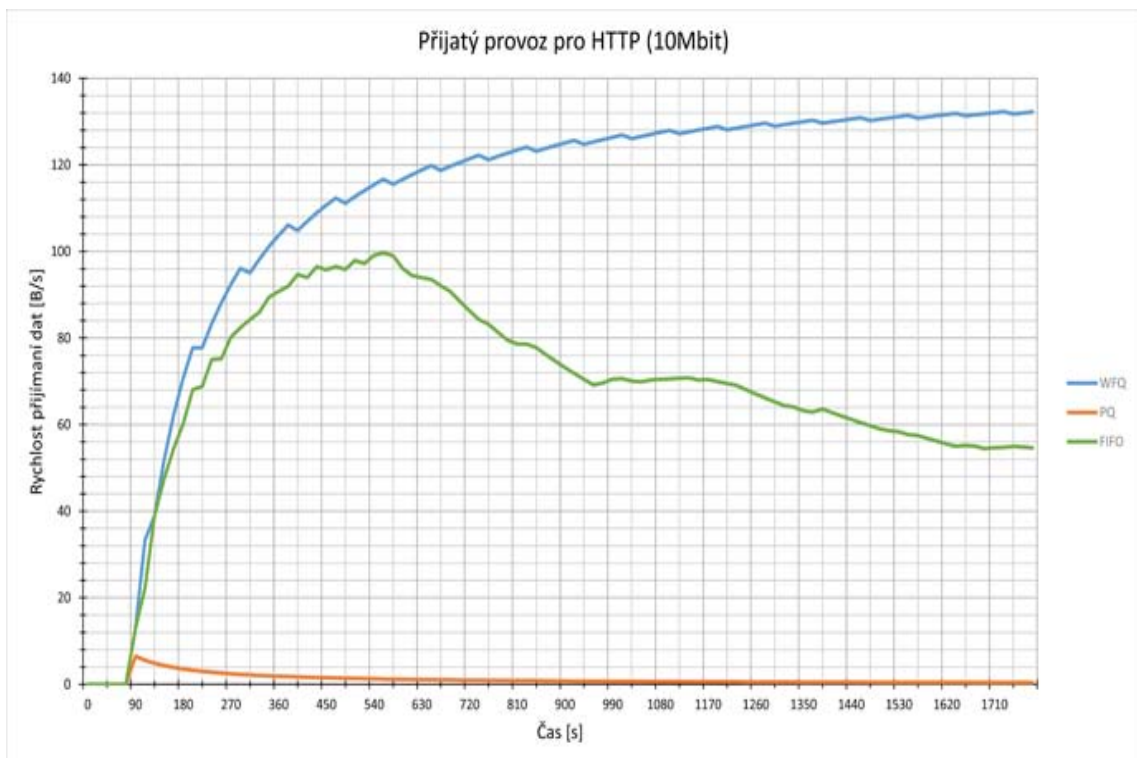
Na následujících třech grafech (obr. 6.13, obr. 6.14 a obr. 6.15) je zobrazeno zahazování paketů na vrstvě IP z kterého je patrný provoz služeb QoS. Kde služba PQ zahazuje nejvíce paketů je dáno její funkcí, kdy upřednostňuje provoz FTP a zahazuje pakety HTTP provozu. Ostatní dvě služby zahazují v průměru jeden paket za celou dobu průběhu simulace. Na následujících dvou grafech jsou pak uvedeny grafy provozu FTP (obr. 6.14) a provozu HTTP (obr. 6.15). Můžeme na nich vidět funkci jednotlivých služeb. Pro FTP provoz je nejvhodnější služba PQ a protože má nastavenou vyšší prioritu než HTTP provoz. Znamená to, že dokud bude generován FTP provoz, bude HTTP čekat ve frontě. Provoz ostatních služeb po naplnění zásobníků rovnoměrně klesá. Pro provoz HTTP je pak nejvýhodnější služba WFQ, která zajišťuje rovnoměrné obsluhování bajtů a tím pádem provoz služby HTTP. U služby FIFO po naplnění zásobníků provoz rovnoměrně klesá.



Obr. 6.13: Zahazování paketů pro zprávu o velikosti 960 kbit



Obr. 6.14: FTP provoz při přenosu zprávy o velikosti 10 Mbit



Obr. 6.15: HTTP provoz při přenosu zprávy o velikosti 10 Mbit

Ze všech uvedených grafů je viditelný fakt, že linka PPP\_DS0 a tím pádem i GPRS přenos je pro potřeby vysílání elektroměrů více než dostatečný. A to pro všechny tři různé velikosti zasílané zprávy. Zpoždění není v grafech uváděno, protože je minimální. Dále je v grafech vidět, že s rostoucí velikostí souboru dochází k ustalování rozdílů QoS služeb a k vytížení linky na její maximum. I v těchto případech nedocházelo k žádnému radikálnímu zpoždění. Nutno dodat, že v reálné situaci by elektroměr přenášel data po dobu 30-ti minut jen v extrémních případech. Čas měření je záměrně předimenzován, aby byly všechny rozdíly dobře pozorovatelné.

## 7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou chytrých sítí. Snaží se definovat jejich rozsah, využití v energetice a možnosti komunikace nejen v obecném rámci chytrých sítí, ale i jejich částech. Chytré sítě by měly v budoucnu nahradit stávající rozvodné sítě, které pomalu, ale jistě nedostačují technologickým pokrokům a potřebám distributorů a uživatelů. Chytré sítě svým konceptem představují velký krok dopředu i v rámci energetiky, pro kterou má obrovský význam možnost ucelenější komunikace a snazší integrování alternativních zdrojů energie. Díky chytrým sítím by odpadla slepá místa právě při čerpání alternativní energie.

V současnosti běží po celém světě spousta projektů, které se zabývají jednak celou problematikou chytrých sítí, ale i jejich částmi, a to na poli komunikace, kompatibility, ukládání elektrické energie i jejím šířením v rámci myšlenky chytrých sítí. Evropskou unií je tento koncept podporován financováním projektů a tvorbou důležitých směrnic a norem určujících formu komunikace, zabezpečení a distribuce právě chytrými sítěmi.

Nároky na chytré sítě jsou kladeny především na poli komunikací chytrých sítí, distribuce a s tím spojené skladování elektrické energie. Dále je nutné zajistit zvýšení kapacity, průchodnost vedení a hlavně zabezpečení při kolísání toku energie, toto zajišťuje systém FACTS. Součástí chytrých sítí jsou i další systémy řešící jejich nároky, snadnější překonávání velkých vzdáleností a správu sítí na dálku. Zavedení chytrých sítí s sebou nese i jistá bezpečnostní rizika. Stále se pracuje na dokonalejším zabezpečení, jak proti útokům zvenčí, tak i zevnitř. Za bezpečnostní rizika můžeme považovat selhání lidského faktoru stejně tak jako přírodní katastrofy.

Neméně důležitou součástí chytrých sítí jsou inteligentní elektroměry spojující uživatele s distributorem a naopak. Umožňují uživateli komunikaci s distributorem a tím možnost volby. Chytré sítě jsou určitě vítaným a potřebným krokem kupředu.

Praktický výstup této bakalářské práce je rozdělen na dvě části. První část se zabývá vytvořením teoretického modelu inteligentní domácnosti. Dále řeší možnou komunikaci celku jako takového i komunikaci mezi prvky navzájem. Tyto prvky byly vyhodnoceny na základě dostupných informací a dle kompatibility aplikovány na objekt. V této části je také vyřešena komunikace a implementace částí inteligentní domácnosti na stávající domácnost.

V druhé části je navržena simulační síť, na které je pak pomocí programu Opnet IT Guru Academic Edition provedena simulace komunikace. Simulační síť je navržena v modelu inteligentní elektroměr, koncentrátor a centrála. Stěžejním je pak úzké místo mezi koncentrátory A,B a společným koncentrátorem, reprezentováno linkami A,B. Tyto linky simulují GPRS přenos, který je nejvhodnější přenosovou službou pro komunikaci mezi elektroměrem a koncentrátorem, nebo mezi koncentrá-

tory navzájem. Výsledky simulací byly vyneseny do grafů. Z těchto grafů vyplývá, že zvolená linka je dostačující pro daný přenos, a to i když je záměrně zatěžována většími zprávami a po dobu delší, než může nastat v reálné situaci.

## LITERATURA

- [1] ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA SMART GRID. Česká technologická platforma Smart Grid [online]. [2009] [cit. 2013-6-4].  
<<http://smartgridcz.eu/index.html>>
- [2] ČEZ, a. s. *FUTUR/E/MOTION: Evropský kontext* [online]. Praha: ČEZ, a. s., Copyright 2012 [cit. 2013-6-4].  
<<http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/evropsky-kontext.html>>
- [3] Automa Elektronické periodiku *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2010 [cit. 2013-6-4].  
<[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=40771](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40771)>
- [4] ABB s.r.o. *Inteligentní sítě* Nepublikovaný dokument ABB. *Inteligentní Sítě: Úvod do problematiky Inteligentních sítí*. Praha, 2011.
- [5] ABB s.r.o. *Fenomén Smart Grids* Nepublikovaný dokument ROUBAL, Jiří. *ABB. Fenomén Smart Grids*. Praha, 9.6.2010.
- [6] ModemTec s.r.o. *MODEMTEC S.R.O. inteligentní elektroměr MT5Q1D*. Třinec, 2013.  
<<http://www.modemtec.cz/download/Trifazovy-72dpi.pdf>>
- [7] ModemTec s.r.o. *MODEMTEC S.R.O. Datakoncentrátor DK-MT100 s třífázovým modulem PLC a měřením celkové energie*. Třinec, 2011.  
<<http://www.modemtec.cz/download/Datakoncentrator-72dpi.pdf>>
- [8] ModemTec s.r.o. *MODEMTEC S.R.O. Technický popis MT29-N*. Třinec, 2011.  
<[http://www.modemtec.cz/documents/MT29N-technický\%20popis\\_1224762251.pdf](http://www.modemtec.cz/documents/MT29N-technický\%20popis_1224762251.pdf)>
- [9] ABB s.r.o. *ABB i-bus® KNX - Systém inteligentní elektroinstalace*. Informační portál o domovní elektroinstalaci - ABB [online]. [2006] [cit. 2013-6-4].  
<<http://www117.abb.com/index.asp?thema=8915>>
- [10] ABB s.r.o. *ABB S.R.O. User Manual: ABB i-bus® EIB EIB Delta-Meter Electricity Meters Intelligent Installation Systems*. [2010].

- [11] ZPA Smart Energy a.s. AM 350 / Třífázové / Elektroměry / Produkty a řešení / Úvod - ZPA. ZPA SMART ENERGY A.S. Úvod - ZPA [online]. [2006] [cit. 2013-6-4].  
<[http://www.zpa.cz/cz/produkty\\_a\\_reseni\\_\\_1](http://www.zpa.cz/cz/produkty_a_reseni__1)>
- [12] teco a.s. *TECO A.S. Tecomat, PLC for machine, process, technology, transport and building automation* [online]. Kolín, [2009] [cit. 2013-6-4].  
<<http://www.tecomat.com/index.php>>
- [13] *Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks*. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2.
- [14] *YSCP. Yokohama Smart City Project*. Yokohama, 2013.
- [15] *HITACHI. Yokohama Smart City Project: Koncept smart city od Hitachi*. HITACHI, 2013.
- [16] *Japan-U.S. smart grid project now live in New Mexico*. GIGAOM. GIGAom [online]. Sep20, 2012 [cit. 2013-6-4].
- [17] *Sdělovací technika: telekomunikace - elektronika - multimédia*. Praha: Petr Beneš v nakladatelství Sdělovací technika s.r.o, 2013. ISSN 0036-9942.
- [18] *NOVOTNÝ, Vít. Komunikační prostředky mobilních sítí*. Brno: VUT, 2006. 92 s.
- [19] *FRANEK, Lešek Data koncentrátor pro chytré sítě: diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřící techniky, 2012. 114 s. Vedoucí práce byl Ing. Pavel Kučera, Ph.D.
- [20] *HANUS S. - Bezdrátové a mobilní komunikace Skriptum FEKT VUT v Brně*, RadioMobil, a.s., Brno 2003.

- [21] HUDEC, L. Systémy dálkového měření v energetice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
- [22] Landis+gyr, Praha 2013 dostupné z:  
<[http://www.landisgyr.com/en/pub/products\\_and\\_services.cfm](http://www.landisgyr.com/en/pub/products_and_services.cfm)>



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

- AMI (Advanced Metering Infrastructure)
- AMM (Automatic Meter Management)
- AMR (Automatic Meter Reading)
- BESS (akumulátorový systém pro uchovávání energie)
- BPL (Broadband Over Power Line)
- D-BPSK (Differential Binary Phase-Shift Keying)
- DCSK (Differential Code Shift Keying)
- DTS (Distribuční trafostanice)
- EEGI (European Electricity Grid Initiative - Evropská průmyslová iniciativa pro chytré sítě)
- ERÚ (Energetický regulační úřad)
- ETS (European Telecommunications Standards)
- EU (Evropská Unie)
- FACTS (Flexible AC Transmission Systems)
- FIFO (First In First Out)
- FTP (File Transfer Protocol)
- GNU (General Public License)
- GPRS (General Packet Radio System)
- GSM (Global System for Mobile Communication)
- HAN (Home Area Network)
- HDO (Hromadné dálkové ovládání)
- HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)
- HVDC (Technologie stejnosměrného vysokého napětí - High Voltage Direct Current)
- IEC (International Electrotechnical Commission)

IP (Internet Protocol)

LAN (Local Area Network)

LCD (Liquid Crystal Display)

LTE (Long Term Evolution)

MAN (Metropolitan Area Network)

MV (Medium Voltage)

NS (Network Simulator)

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OPNET (Optimum Network Performance)

PC (Personal Computer)

PDSL (Power Line Digital Subscriber Line)

PLC (Power Line Communication)

PLN (Power Line Networking)

PLT (Power Line Telecom)

PQ (Priority Queuing)

QoS (Quality of Service)

RF (Radio Frequency)

RP (Rámcový program)

SET (Strategic Energy Technology)

S-FSK (Spread Frequency Shift Keying)

SG (Smart Grids)

SM (Smart Metering)

TCP (Transmission Control Protocol)

WAN (Wide Area Network)

WFQ (Weighted Fair Queuing)

WiFi (Wireless Fidelity)

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

YSCP (Yokohama Smart City Project)