

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Jan Hrabák

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Řízení smart grid sítí

Květen 2013

Diplomant: Jan Hrabák

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze dne 10. května 2013

.....

Jan Hrabák

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce, panu Ing. Zdeňku Brabcovi, CSc., za připomínky a cenné rady poskytnuté během zpracování této diplomové práce.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Hrabák Jan**

Studijní program:
Obor: Sítě elektronických komunikací

Název tématu: **Řízení sítí Smart Grids**

Pokyny pro vypracování:

Smart Grids jsou energetické sítě, u nichž je možné díky informačním a komunikačním technologiím řídit výrobu a spotřebu elektrické energie v reálném čase. Telekomunikace jsou oborem, ve kterém je řízení sítí velmi dobře zvládnuto.

Základním cílem práce je zmapování možností využití existujících postupů pro řízení telekomunikačních sítí v oblasti Smart Grids. Za tímto účelem proveďte komplexní analýzu procesního rámce Framework, který byl vytvořen sdružením TM Forum, a je určen a využíván pro procesní řízení telekomunikačních sítí. Analýzu proveďte s ohledem možného využití tohoto procesního rámce pro řízení Smart Grids. Zohledněte přítom aktivitu sdružení TM Forum v této oblasti.

V praktické části práce budete řešit problematiku modelování skutečných energetických sítí tak, aby bylo možno Vámi vytvořené modely využít pro zkoumání možností využití procesního rámce Framework pro řízení energetických sítí. Zadání praktické části práce dále upřesní vedoucí práce.

Seznam odborné literatury:

- [1] Wang, L.: Modeling and Control of Sustainable Power Systems: Towards Smarter and Greener Electric Grids. 380 p. Springer Verlag, 2011. ISBN: 978-3642229039
- [2] Reilly, J.P.: Framework Distilled. 150 p. Huawei
<http://www.osel.cz/index.php?clanek=6569> / TM Forum 2012. ISBN: 978-0979428180
- [3] Webové stránky sdružení TM Forum. Dostupné z: <http://www.tmforum.org>
- [4] Webové stránky sdružení CIGRE. Dostupné z: <http://www.cigre.org>

Vedoucí: Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2013/2014


prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 22. 11. 2012

Anotace

Práce se zabývá implementací moderních elektronických prvků s rozhraním technologie TCP/IP do přenosové soustavy elektrické energie. Generační obměnou rozvodných bodů a elektroměrů vznikne inteligentní síť (Smart Grid Network) a výrazným způsobem se zvýší efektivita transportu elektrické energie, poklesne nutnost její výroby a v konečném důsledku se sníží i emise oxidu uhličitého. První část analyzuje technologické možnosti uplatnění v energetické soustavě a technologie přenosu informací. Druhá část navrhuje procesy k optimálnímu řízení. Pomocí simulací porovnává efektivnost s doposud používanou sítí a snaží se ověřit možnosti aplikace řídicích procesů z telekomunikačních rámců do této oblasti.

Klíčová slova

Smart Grids, Smart Metering, Datakoncentrátor, Automatic Meter Reading, Advanced Metering Management, Advanced Metering Infrastruktura

Summary:

This thesis outlines the benefits of integrating new smart electronic devices with TCP/IP interface into the Smart Grid Networks, an electrical transport network. The generation change of these distribution elements and electricity meters would rapidly increase efficiency of electrical energy transport, while decreasing the demand for energy production. Consequently, there would be a reduction in total reduce emissions. The first part provides an overview of various technological possibilities in the energy distribution system and the second part proposes how to manage the implementation of the Smart Grids Network between Smart Meters and data concentrators. Lastly, efficiency is analysed through simulation and a cost analysis on the introduction of Smart Grid Network in the Czech's energy transport network is presented.

Index terms:

Smart Grids, Smart Metering, Datakoncentrator, Automatic Meter Reading, Advanced Metering Management, Advanced Metering Infrastruktura

Obsah

ÚVOD.....	9
2. Elektrická síť	11
2.1 Spotřeba elektrické energie	11
2.2 Regulace přenosové soustavy	13
2.3 Systém hromadného dálkového ovládání (HDO)	14
2.4 Koncepce řízení bilance soustavy	14
2.5 Chytré měření	15
2.6 Smart Grid	16
2.7 Procesy řízení SGMS	17
2.8 Pilotní projekt ve Vrchlabí	19
3. Použité technologie přenosu dat v architektuře Smart Grid	20
3.1 GSM	20
3.2 GPRS.....	22
3.3 DSL (Digital Subscriber line)	22
3.4 PLC	23
4 Komponenty v inteligentních energetických sítích	25
4.1 Elektroměry	25
4.2 Data koncentrátoři (DC)	26
4.3 Datové centrum.....	27
4.4 Měření ostatních služeb.....	27
4.5 Zdroje elektrické energie	27
4.6 Akumulace elektrické energie	30
4.7 Využití PHEV	31
4.8 OSGP.....	33
4.9 Architektura technologie Smart Grid	34
4.10 Společenské dopady implementace Smart Grids	35
5. Řízení telekomunikačních sítí	36
5.1 Úvod.....	36
5.2 Telekomunikační rámce	37
5.3 NGOSS	38
5.3.1 Elementy NGOSS	41

5.3.2 E-TOM Procesní mapa	42
5.3.3 Principy procesní mapy	43
5.4 SID	44
5.5 TNA.....	45
5.6 NGOSS soulad	45
6. Standardy smart grid.....	46
6.1 IEC 60870.....	47
6.2 IEC 60850.....	47
6.3 IEC 61968.....	48
6.4 IEC 61970.....	48
6.5 MODBUS	49
6.6 Shrnutí	50
7. Simulace.....	51
8.1 Matlab.....	51
8.2 Multi-agent-systém	51
8.3 GridIQ	52
8.4 Gridlab-D.....	53
8.5 Praktická simulace v programu Grid-LAB-D.....	54
Shrnutí.....	70
Závěr	72
Použité zkratky.....	73
Seznam použité literatury a zdrojů	76
Seznam obrázků, tabulek a grafů	78

ÚVOD

Dnešní svět překypuje moderními technologiemi, se kterými každý rok výrobci vstupují na trh v rámci svých inovací se snahou zaujmout spotřebitele a zvýšit svůj podíl na trhu. Každoroční obměna portfolia změnila spotřebitelské chování a naše společnost se změnila na ryze konzumní. Rozvoj lidské populace byl vždy závislý na technologické schopnosti získávat energii. Základním kamenem dnešní doby je elektrická energie. Uspokojit požadavek zákazníka na elektřinu úzce souvisí s energetickou bezpečností každého státu. Problematiku produkce elektrické energie, jako strategické suroviny státu, nastiňuje Státní energetická koncepce a Nezávislá energetická komise. Rozebírají samotné fungování tržních principů a výpočtu ceny elektřiny včetně aktérů, které se ho zúčastňují. Analyzují také problematiku „unbundlingu“ neboli oddělení distribuce elektrické energie od její samotné výroby. Globální poptávka po energiích se neustále zvyšuje. Přímo úměrně však také roste závislost na dodávkách samotných. Proto je nutné mít za přiměřené ceny spolehlivou a dostupnou dodávku elektrické energie, tj. energetických surovin, ze kterých je vyráběna. V energetickém mixu naší republiky převažuje výroba z uhlí a jaderné energie, následována výrobou z vody, větru a slunečního záření.

V současné době je Česká republika plně soběstačná při výrobě elektrické energie a navíc je jedna třetina elektrické energie exportována do zahraničí. Vzhledem k podané žádosti vlivu na životní prostředí (EIA) na rozšíření jaderné elektrárny Temelín lze předpokládat, že tento poměr v budoucnu ještě vzroste. Zároveň je export energie, po automobilech a strojírenství, náš nejvýznamnější vývozní artikl. Naše energetická síť byla tvořena poměrně malým počtem zdrojů, velkým počtem odběrových míst a odpovídající rozvodnou sítí. Při regulaci se kalkuluje s kontrolovatelnou výrobou a nepředvídatelnou spotřebou. S nástupem solární a větrné energetiky se rozvodná soustava stala zastaralou a neefektivní. Moderní elektronika pronikla i do prvků rozvodných soustav. Dochází ke stále většímu počtu instalací inteligentních elektroměrů a dalších prvků do rozvodných soustav.

Hlavním cílem práce je navrhnout proces k optimálnímu řízení chytrých sítí (Smart Grid Networks) pomocí již aplikovaných modelů v telekomunikační oblasti pro energetickou soustavu s přihlédnutím k vyšší efektivitě přenosu a lepší energetické bezpečnosti celé soustavy. Navržený proces bude namodelován a následně nasimulován ve vhodném prostředí pomocí nejvhodnějšího softwaru k ověření funkčnosti navržené varianty řízení chytré energetické sítě. Inteligentní sítě jsou spolehlivé, automatizované a efektivně řízené distribuční sítě 21. století. Principem je interaktivní obousměrná komunikace mezi výrobními zdroji a zákazníky o aktuálních možnostech výroby a spotřeby elektrické energie, neboť jsou schopny monitorovat odběr a dodávku elektrické energie až k domovnímu elektroměru každého spotřebitele. Umožňují regulaci v každém bodu rozvodné sítě, až na úroveň výroby elektrické energie v elektrárnách. Regulace počítá s částí nepředvídatelné výroby (solární, větrná) a s částí kontrolovatelné spotřeby. Inteligentní sítě umožňují měření v reálném čase (Smart Metering) pomocí datové sítě realizované po elektrických vodičích (PLC). Velmi detailní a přesné informace o spotřebě a stavu sítě umožní energetické společnosti výrazně lépe zajistit stabilitu své sítě a podstatně zpřehlední hledání netechnických ztrát (černých odběrů). „Smart grid“ sítě

zároveň poskytnou prostor pro vytvoření sociálních tarifů, které budou poskytovat elektrickou energii pouze pro nejnужnější spotřebiče. Podobné omezení odběru se bude využívat při hrozbě výpadku, kdy preventivním omezením spotřeby předejdeme výpadku velkého energetického uzlu (městské čtvrti). Data mohou energetické společnosti také poskytnout zákazníkům ke sledování aktuální spotřeby a hledání cest k možným úsporám.

Primární impulz pro zahájení výstavby inteligentních energetických sítí byl „Plán strategie rozvoje energetické technologie (SETP)“ Evropské unie ustanovený již v roce 2007 Evropskou směrnicí 2009/28/ES. Strategie původně předpokládala snížení emisí skleníkových plynů o 20%, zvýšení podílů obnovitelných zdrojů o 20% do roku 2020. a zvýšení celkové efektivity energetické sítě také o 20% pomocí implementace nových energetických technologií. Bohužel ale svého cíle nedosáhla. Proto zahájila v rámci SETP činnost Evropská iniciativa pro chytré sítě EEGI v roce 2010, která je tvořena distributory a technologickými společnostmi s cílem vyzkoušet větší technologické celky Smart Grid v praxi a jejich větší propagace napříč členskými státy.

V české republice společnost ČEZ nainstalovala do českých domácností přes 30tisíc chytrých elektroměrů. Předpokládané ukončení pilotního provozu se očekává v horizontu několika příštích let a pak se přistoupí k jejich masovému nasazení, čímž se zlepší především stabilita celé energetické soustavy a otevřou se dveře do budoucna všem zákazníkům. Všichni koncoví spotřebitelé se budou moci stát dodavateli elektrické energie, otevře se prostor pro plánování spotřeby, výběr cenových tarifů a dalších možností (např. PHEV-využití elektromobilů jako akumulátoru elektrické energie, které byly poprvé v praxi využity v Japonsku při kolapsu energetické sítě po havárii jaderné elektrárny Fukušima).

Projekty k demonstraci výhod inteligentních sítí se rozvíjejí i v ostatních státech Evropské Unie. Ve Španělsku plánuje firma „Iberdrola, S.A.“ letos spustit mikroregion se 100 tisíci domácnostmi. Vládní nařízení španělské vlády požaduje výměnu všech elektroměrů do roku 2018. Průkopníkem se stala Itálie, kde došlo v roce 2003 k totálnímu výpadku elektrické energie u 56milionů lidí po dobu 29hodin. Z toho důvodu se od roku 2006 povinně instalují pouze chytré elektroměry. Aktuálně je v italské energetické síti nainstalováno přes 30 miliónů chytrých měřidel.

2. Elektrická síť

Na počátku 21. Století na celém světě začalo docházet k masivním výpadkům celých energetických sítí, či jejich částí. Představa několika miliónů zákazníků bez dodávky elektrické energie přestala být nereálná. Hrozba hromadného výpadku se stala více pravděpodobnou v každé energetické soustavě. Rozvojem obtížně regulovatelných zdrojů, jako solární a větrná energie, se pravděpodobnost kaskádového výpadku začala zvyšovat. Z toho důvodu se posledních 10let zkoumají způsoby změny architektury rozvodné sítě ke zlepšení energetické bezpečnosti, která bude finančně velmi náročná. Minimalizuje však nejen hrozbu hromadného výpadku, ale přinese i benefit v podobě vyšší energetické efektivity přenosu elektrické energie a lepších služeb pro zákazníky.

Dnešní elektrická rozvodná síť v České republice je výsledkem historického vývoje. Při jejím návrhu v šedesátých letech minulého století se kalkulovalo pouze s několika velkými zdroji a celá soustava byla navržena s dominantními centrálními prvky. V dnešní době se s rozvojem solární a větrné energie může výrobcem elektrické energie stát skoro každý odběratel. Počet zdrojů elektřiny neustále roste. Důsledkem jsou nevyhovující parametry pro tuto novodobou síť původně centralizované soustavy, neboť nebyla navržena na integraci většího počtu malých zdrojů energie. V odborné literatuře je současná rozvodná síť definována jako němá, neboť koncoví uživatelé nemají možnost komunikovat se svými dodavateli elektrické energie, neboť jediná komunikace je hromadné dálkové ovládání (HDO) mezi elektroměrem a dodavatelem energie. Bohužel se zvyšujícím se počtem zdrojů se tento způsob regulace stává čím dál více neefektivním. Příčinou je nepravidelnost výroby energie obnovitelnými zdroji, kterou lze navíc obtížně předikovat, neboť systém není schopen elasticky reagovat na změnu ve výrobě nebo spotřebě elektrické energie.

2.1 Spotřeba elektrické energie

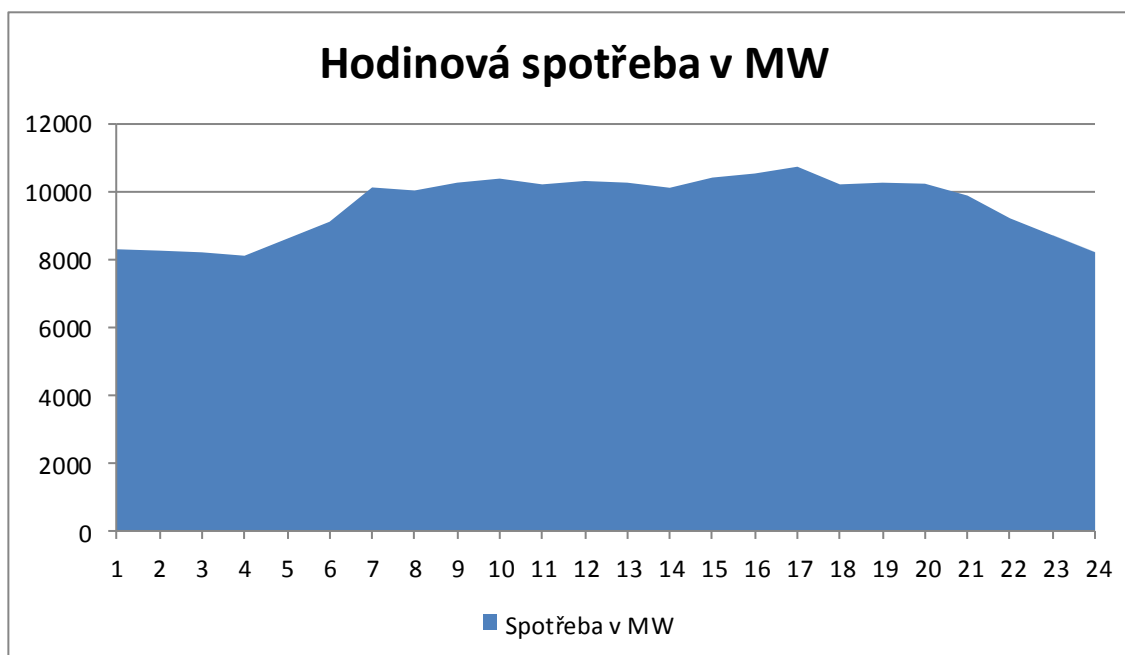
Energetická síť je přímo úměrná lidské aktivitě. V noci, kdy většina populace spí, je minimální. Přes den v pracovních hodinách je maximální. Časová nelinearita spotřeby musí být zohledňována při uvádění elektráren do provozu. Za tímto účelem se vytvářejí odběrové diagramy, které svůj význam ještě zvyšují ve smart grid sítích. Zatímco uhelná elektrárna svého plného výkonu dosáhne za několik hodin od svého spuštění, v případě jaderných elektráren je to již několik týdnů. Solární a větrné elektrárny jsou přímo závislé na počasí a vodní elektrárny složí k vyrovnávání energetických špiček (akumulace nebo výroby). Vyrovnáním (zploštěním vrcholů) diagramu denní spotřeby náklady na výrobu elektřiny poklesnou. Pomocí vodních elektráren jsme schopni rychle regulovat nárazovou výrobu elektřiny a vykrývat výkonové špičky. K regulaci může být také využita mezinárodní výměna elektřiny. Zatímco v jednom státě může přebývat, v dalším může chybět.

Zahájení výroby zdrojem elektrické energie a následné připojení k energetické síti lze rozdělit do následujících pásem:

- Základní – dodávají energii nepřetržitě 24hodin (jaderné a moderní tepelné elektrárny). Obtížně se regulují, avšak mají vysokou účinnost.

- Polo-špičkové – klasické tepelné elektrárny a akumulční vodní elektrárny s dostatečně rychlou změnou výkonu
- Špičkové – přečerpávací vodní elektrárny, akumulční vodní a elektrárny s plynovými turbínami

Graf 1: Spotřeba elektrické energie dle hodiny v MW¹ [Graf autora]



Největší zdroje elektrické energie:

- Dukovany – Jaderná elektrárna, 4x 500MW (Výroba za rok 2011 14369 GWh)
- Temelín – Jaderná elektrárna, 2x 1000MW (Výroba za rok 2011 13914 GWh)
- Dětmarovice – Uhelná elektrárna, 800MW
- Chvaletice – Uhelná elektrárna, 800 MW
- Ledvice – Uhelná elektrárna, 330 MW
- Mělník – Uhelná elektrárna, 352/440/500 MW
- Počerady – Uhelná elektrárna, 5x 200 MW
- Prunéřov – Uhelná elektrárna, 4x 110 MW + 5x 210MW

¹ http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Dispecerske_rizeni/Priprava_provozu/Documents/RPP2012.pdf

- Tisová – Uhelná elektrárna, 183,8 + 112 MW
- Tušimice – Uhelná elektrárna, 4x 200 MW

2.2 Regulace přenosové soustavy

Poruchy v energetické soustavě jsou většinou příčinou masivních výpadků. Nejčastěji jde o poškození venkovního nadzemního vedení působením přírodních živlů (bouře, vítr, námraza), ale v poslední době také přetížení částí či celé energetické sítě. Soustava sice obsahuje pojistné prvky pro okamžité odpojení vybraných uživatelů při hrozbě hromadných výpadků, ale ne vždy je automatická ochrana dostatečně rychlá. Může dojít ke kaskádovému šíření poruchy, neboť při selhání přetíženého vedení neúměrně roste přetížení ve zbytku sítě, dochází k postupnému odpojování dalších a další rozvodných prvků, který by mohl dospět až k totálnímu výpadku celé rozvodné sítě.

Přenosovou síť v České republice provozuje má na starosti společnost Česká přenosová soustava, a.s. (ČEPS). Je tvořena 30 transformačními stanicemi, vedením 110kV, vedením 220kV a vedením 400kV. Do zahraničí je propojena 16 vedeními s ostatními členy Evropské sítě provozovatelů přenosových soustav elektřiny (ENTSO-E). Regulace probíhá snížením snadno regulovatelných zdrojů, především vodních, a zavedením regulačních stupňů 0 až 7. Například regulační stupeň č.2 představuje snížení odebíraného výkonu u odběratelů ze zařízení přenosové soustavy nebo ze zařízení distribučních soustav s napětím vyšším než 52kV s účinností do 30 minut po vyhlášení a regulační stupeň č.6 představuje snížení odebíraného výkonu u všech odběratelů na hodnotu bezpečnostního minima s možností snížení do jedné hodiny po vyhlášení.

S možností regulace odběratelů úzce souvisí i vypínací plán, který umožňuje přerušování dodávky elektřiny odběratelům. Vypnutím přesně definovaných vývodů v rozvodnách vysokého napětí a velmi vysokého napětí většinou na dobu 2hodin. Jednotlivým vypínacím stupňům jsou přiřazeny procentní velikosti vypínaného výkonu ve vztahu k hodnotě ročního maxima zatížení příslušného držitele autorizace na rozvod v minulém roce. K regulaci rozvodné soustavy se také využívá frekvenční plán, který včasnými většinou automatickými zásahy do soustavy omezuje vznik velkých systémových poruch a vrátit a udržet kmitočet po vzniku poruchy na hodnotách, kdy není ohroženo technické zařízení elektráren a odběratelů elektřiny. Vytvoří tak podmínky pro udržení kmitočtu v bezpečném rozmezí 49,8 až 50,2 Hz. V tomto pásmu je kmitočet udržován nejen zásahy sekundární regulace české přenosové soustavy, ale především primární regulace turbín elektrárenských bloků.

2.3 Systém hromadného dálkového ovládání (HDO)

V dnešní době je v České přenosové soustavě využívána technologie jednosměrné komunikace od dodavatele směrem k uživateli, běžně známou jako systém hromadného dálkového ovládání (HDO) nebo lidově „noční proud“. Princip spočívá v dálkové změně tarifu, kdy dojde k připojení nebo odpojení větších spotřebičů (nejčastěji topení a ohřev teplé užitkové vody). V energetické soustavě dochází k regulaci a posunu výkonové špičky pro nastolení rovnováhy mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií. Hlavním úkolem je zrovnoměnění zatížení sítě připojením výkonových spotřebičů k síti v době, kdy je elektriny přebytek, a odpojením, kdy je jí nedostatek. Pomocí této regulace sítě není nutné zvyšovat přenosovou kapacitu sítě a naopak v noci při minimální spotřebě domácností zastavovat provozy elektráren.

Hromadné dálkové ovládání pracuje po běžných silových vedeních přenášením informací (tarifikačních pulzů) od dodavatele k odběrateli. Dispečink elektrické sítě má možnost dynamické regulace připojováním nebo odpojováním zařízení v určitých domácnostech, kdy vyše tarifikační pulz a elektroměr změni svůj tarif, čímž připojí či odpojí výkonová zařízení k síti. Pro jednotlivé distributory jsou přiřazeny různé frekvence tarifikačního pulzu kvůli možnosti jejich vzájemného rušení. V České republice se využívá frekvence 216,66 Hz, která se superponuje do každé fáze vysokého napětí přenosové soustavy na kmitočet 50 Hz a přes transformátory se dostává do sítí nízkého napětí až do elektroměru.

2.4 Koncepce řízení bilance soustavy

Základní zatížení energetické soustavy je pod úrovní minima časového profilu spotřeby. V České republice je pokryto mixem s nadpolovičním podílem z uhelných elektráren. Předpokládá se, že podíl jaderné energie v energetickém mixu bude dlouhodobě růst (Rozšíření jaderné elektrárny Temelín). Přechnodná a špičková spotřeba, převyšující základní, je kryta konvenčními zdroji s dobrou regulační schopností (uhlí, plyn, voda). Konvenční zdroje zároveň kompenzují náhodnou a obtížně predikovatelnou výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Zajištění spolehlivé dodávky elektrické energie je definována úrovní instalovaného výkonu nad špičkovou spotřebu. (DSM IC)². V odborné literatuře je doporučena DCM IC 40% nad maximální spotřebu. S rozvojem elektromobilů tvořící proměnlivou část spotřeby se však předpokládá klesající tendence, která bude muset být kompenzována výstavbou dalších energetických zdrojů.

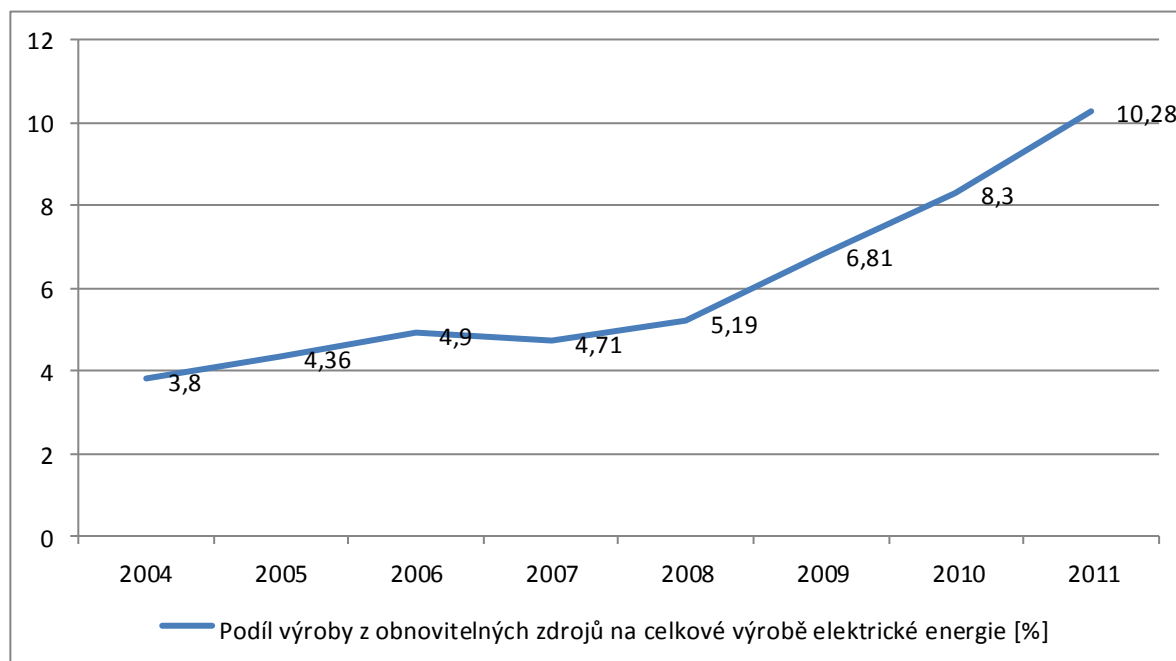
Nová koncepce regulace řízení poptávkové strany (DSM)³ je navržena s podstatně výše umístěným základním zatížením. Potřeba snadno regulovatelných špičkových zdrojů bude oproti současné koncepci podstatně nižší. Umístění základního zatížení v diagramu spotřeby je přímo závislé na ekonomické výhodnosti. Předpokládá se dominance jaderné energie s regulační schopností, která by mohla být v abnormálních situacích využita k zajištění rovnováhy celého systému. Přebytky

² DSM IC = Demandable Safety Margin of Installed Capacity

³ DSM = Demand Side Management

elektrické energie bude možné akumulovat systémem DSM, který aktivně zapojuje do řízení energetické soustavy nejen velké spotřebiče, ale i menší spotřebiče se sofistikovaným softwarem. Převážná většina energie se bude vyrábět ve vysoce stabilních zdrojích (uhelné a jaderné elektrárny). Podporu výroby elektrické energie budou představovat regionální a místní teplárny zapojené do rozvodů 110kV, které budou pro případ výkyvů vybaveny možností vyrábět také elektrickou energii. (Kogenerační výroba elektřiny a tepla). K řízení bilance energetické soustavy bude využíváno uložené energie v akumulátorech elektromobilů.

Graf 2: Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů v [%] na celkové ⁴ [Graf autora]



2.5 Chytré měření

Dálková obousměrná komunikace mezi elektroměrem a datovou centrálou se nazývá chytré měření. Datová centrála je dispečink energetické sítě. Slouží nejen ke sběru dat, jejich uchování a analýze, ale také i pro měření technických i netechnických ztrát a pro fakturaci zákazníkům. Dispečink je připojen k několika sběrným datovým koncentrátorům (routerům), které dokážou komunikovat s více než s 1000 inteligentními elektroměry.

K odečtu dat o spotřebě energie u zákazníka slouží systém automatického odečtu stavu elektroměrů (AMR)⁵. Jde především o dálkové odečty dat o spotřebě z inteligentních elektroměrů. Největší výhodou je především zajištění automatických odečtů, kdy není nutná fyzická osoba k provedení samotného odečtu, neboť se provede automaticky. Rozšířením systému AMR na obousměrnou komunikaci se vytváří prostor pro další funkce elektroměru jako dálkové odpojení odběrného místa

⁴ Energetický RU

⁵ AMR=Automatic meter reading

pro ochranu před neplatiči, dálkové nastavení maximálního vstupního příkonu a řízení tarifu. Nově vzniklý systém je v odborné literatuře pojmenován jako řízení pokročilého měření (AMM⁶) a bývá hojně označován za nástupce doposud využívaného systému hromadného dálkového ovládání (HDO). V budoucnu bude poté nahrazen další generací vybudováním infrastruktury k pokročilému měření (AMI⁷), která vznikne rozšířením AMM o funkce pro ovládání konkrétních spotřebičů u zákazníka. Umožní zavedení sociálních tarifů částečným odpojením pouze některých spotřebičů, avšak podstatným způsobem zvýší objem přenášených dat v reálném čase.

Všechny fáze vývoje chytrému měření odebírané energie umožňují vyhodnocování odečtených dat a následné řízení celé energetické sítě. Po rozšíření systému na celou energetickou síť dojde k nahrazení systému hromadného dálkového ovládání. Zavedením také dojde k velmi výraznému zvýšení odečítacích cyklů elektroměrů, což umožní téměř dokonalou mapu zatížení energetické sítě. Benefitem skoro reálného přehledu o síti bude i lepší možnost odhalování netechnických ztrát (černých odběrů). Jednoduchým porovnáním zatížení data koncentrátoru a jednotlivých elektroměrů bude nepoctivý uživatel velmi rychle odhalen.

V další generaci se předpokládá, že nasazením chytrých elektroměrů bude mít zákazník nejen informace o vlastní spotřebě, kterou má i nyní, ale i o aktuálním tarifu a ceně za jednotku energie. Dodavatel energie bude schopen plynule dálkově měnit tarif a zákazníci si dle ceny nastaví svůj inteligentní elektroměr, který zapne spotřebiče až ve chvíli, kdy cena poklesne pod zákaznickem nastavenou mez. Pomocí technologie WIFI si bude moci zobrazit veškeré informace na svém televizoru či notebooku a interaktivně měnit parametry svého spotřebitelského účtu. Dojde tak k aktivní účasti spotřebitele na regulaci celé soustavy, neboť bude finančně motivován k používání levné elektrické energie při přebytčích v energetické soustavě a zátěž celé energetické sítě bude rovnoměrněji rozložena. Úplná implementace je plánována až po roce 2030.

2.6 Smart Grid

Rozšířením systému inteligentní sítě o měřidla ve vlastní síti umožňuje monitorovat a analyzovat aktuální stav energetické sítě. Nová technologie, označovaná jako Smart Grid Network, je vhodná především v energetice, kde může eliminovat kolísání napětí vlivem aktuální zátěže sítě. Pomocí dynamických změn tarifů u všech odběratelů bude zajištěno symetrické rozložení zátěže a celkové odlehčení sítě. Výhody zavedení technologie jsou:

- Úspora nákladů distributora a prodloužení distribuční sítě
- Lepší vytíženost distribuční sítě
- Snadná lokalizace poruch a ztrát

⁶ AMM=Advanced Metering Management
⁷ AMI= Advanced Metering Infrastructure

- Zvýšení kvality dodávky elektrické energie omezením výpadků
- Informovanost zákazníků o aktuální ceně, tj. motivace k úsporám
- Pozitivní vliv na životní prostředí

Inteligentní elektroměr v dlouhodobém horizontu (cca 2050) nebude plnit pouze zmíněné funkce, ale propojením s plynoměry, vodoměry a měřiči tepla vytvoří ICT rozhraní pro všechny zmíněné měřiče spotřeby v domácnosti. Datová síť energetické sítě dopraví všechny data do datového centra, kde se rozdělí k jednotlivým správcům síťových odvětví. Inteligentní nebude tedy pouze energetická soustava, ale i vodárenská, vodovodní a teplárenská. Univerzálnost architektury poslední fáze inteligentní sítě podstatným způsobem zredukuje náklady na samotný provoz a údržbu. Smart Grid Network proto bude mít nákladovou motivaci k implementaci finální fáze.

Zavedení systému Smart Grid s inteligentními elektroměry se ve střednědobém horizontu předpokládá v každé členské zemi Evropské Unie, neboť musí vypracovat národní studii implementace inteligentních elektroměrů do konce roku 2012. Předpokládá se výměna 80% všech současných měřičů elektrické energie za inteligentní nástupce do roku 2020.

2.7 Procesy řízení SGMS⁸

Procesy k autonomnímu řízení poptávkové strany se primárně zaměřují na interakci koncového spotřebitele s nastavenou cenou poskytovatele elektrické energie. Pro simulaci předběžného vývoje se využívá ekonomická teorie her, která slouží jako základ vlastní kry časové spotřeby elektrické energie. Předpokladem je racionální denní plánování časového připojení domácích spotřebičů a zavedení dynamických cenových tarifů dle aktuálního zatížení sítě a objemu odebírané energie. Při přebytku v rozvodné síti bude nabízena levnější elektrická energie. Globálního výkonového optima za předpokladu snižujících se spotřebitelských nákladů za elektrickou energii bude dosaženo v „Nashově rovnovážném bodě“ časové spotřební hry. Teoretické předpoklady naznačují, že navržená koncepce inteligentních sítí umožní snížit výkonové špičky poptávky po elektrické energii a celkové náklady za energii. V konečném důsledku dojde k časovému vyhlazení denní poptávky.

Při plánování systémového modelu chování spotřebitelů ve smart grid sítích se původně předpokládal jeden zdroj elektrické energie s rozmanitým zatížením mnoha rozdílných uživatelů. Každý spotřebitel byl vybaven chytrým elektroměrem s funkcí ECS⁹ pro plánování spotřeby domácností dle dynamického tarifu. Výměny dat o spotřebě se zúčastňuje také zdroj elektrické energie. Úkolem ECS je volba energetické spotřeby (kdy připojit a odpojit) pro každý spotřebič k plynulejšímu zformování časového odběru spotřebitele. Následně se identifikuje přijatelné řešení

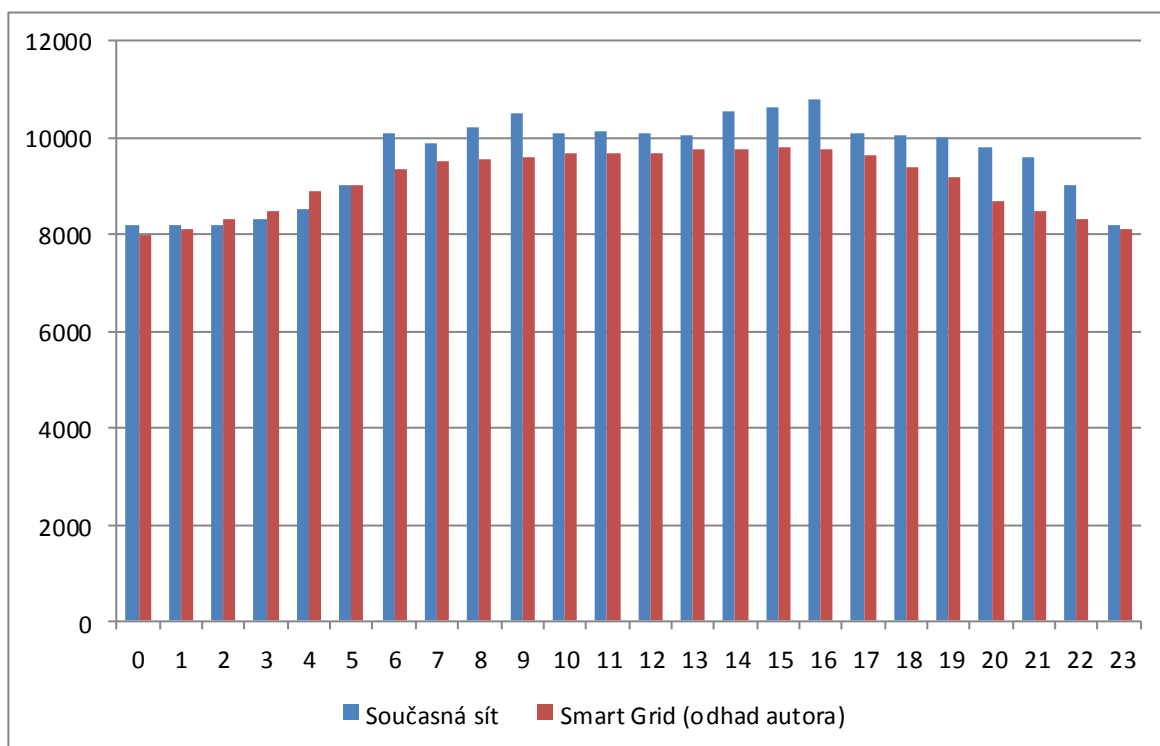
⁸ SGMS=Smart Grid Management System

⁹ ECS=Energy Control System

uživatele z hlediska nákladů. Bohužel provoz některých spotřebičů nelze náhodně zapínat a vypínat v čase dle zatížení sítě (ceny elektřiny), neboť z důvodu své funkce musí být v pravidelném provozu. Například chladnička musí být v nepřetržitém provozu bez ohledu na aktuální dynamický tarif. Funkce ECS dokáže uspořit náklady na energii pouze ve spolupráci se spotřebiči, které ji podporují a logika řízení může mít více optimálních řešení a záleží pouze na přesném uživatelském nastavení. Problematika volby optimálního tarifu může být řešena na centrální úrovni, které se jeví daleko výhodnější. Primárně jde o totožné rozhodovací procesy v celé energetické soustavě s možností jejich pravidelné dálkové hromadné aktualizace z energetické soustavy.

Platby jednotlivého uživatele se v současné energetické soustavě při stejném množství spotřebované energie rovnají přibližně platbě druhého. V inteligentních sítích s logikou ECS bude platba spotřebitele záležet i na ostatních uživateli. Při přetížení energetické sítě bude elektřina velmi drahá a při přebytecích naopak velmi levná. Spotřebitelé ve snaze snížit náklady se budou snažit nastavit své inteligentní elektroměry k odběru energie při minimálních cenách pro minimalizaci svých nákladů. Dojde k jemnějšímu rozvrstvení zátěže energetické soustavy, zvýšení efektivity a snížení nutnosti vyrábět velké množství energie při současných výkonových špičkách v soustavě.

Graf 3: Porovnání hodinové spotřeby v energetických soustavách v [MW] [Graf autora]



Poslední fází generační změny energetické sítě bude zavedení systému řízení na straně poptávky (DSM¹⁰). Aktivně zapojí do řízení celkové energetické bilance každý chytrý spotřebič v domácnosti, který bude spotřebovávat elektrickou energii s požadavkem na minimální cenu provozu až v okamžiku, kdy to bude vhodné pro řízení energetické sítě. Kromě výroby elektrické energie bude

¹⁰ DSM=Demand Side Management=Řízení poptávky v síti

řešit i řízení výroby tepla, neboť se kogenerační současná výroba elektřiny a tepla je efektivnější než samostatná výroba obou druhů energie. Strategie předpokládá především zapojení následujících prvků:

- Regionální a místní teplárny (umožňují přesně regulovatelnou výrobu elektřiny)
- Nabíjecí stanice elektromobilů (přebytky v síti budou akumulovány v nabíjecích stanicích)
- Elektromobily samotné (akumulace v elektromobilu samotném)
- Dopravní infrastruktura (každá akumulární stanice nemá odpovídající infrastrukturu)
- Systémy výroby vodíku (alternativní médium pro pohon vozů a akumulace energie)
- Konvenční systémy akumulace energie (přečerpávací elektrárny)

2.8 Pilotní projekt ve Vrchlabí

Ve Vrchlabí byla v roce 2010 zahájena výstavba společnosti ČEZ, a.s. technologie tzv. chytrého mikroregionu (Smart Region), jako součásti celoevropského projektu Grid4EU, který konsorcium distributorů elektrické energie vytvořila (Enel, ERDF, Iberdrola, RWE, Vattenfall a ČEZ). Smyslem budovaných ostrovních systémů je otestovat technologii chytrého měření na území středně velkého města s předpokladem využití obnovitelných zdrojů energie jako vítr a slunce, a jejich plná integrace do testovaného regionu. Projekt zahrnuje cca 4900 chytrých elektroměrů, 66km nízkonapěťového vedení a 12km vysokonapěťového vedení. Testuje se komunikace mezi jednotlivými prvky a jejich kooperace v soustavě zapojení s lokálními výrobními zdroji (kogenerační jednotky). Nově se do sítě plánuje začlenit i elektro mobilita. Dokončení projektu se předpokládá do roku 2015. Plánovaná infrastruktura zahrnuje:

- Výstavbu dobíjecích stanic a provoz elektromobilů
- Automatickou regulaci a monitoring komponent vysokého a nízkého napětí
- Lokální řídicí systém distribuční soustavy
- Testování bezdrátových IT technologií přenosu dat

Finalizace a vyhodnocení projektu se předpokládá v roce 2015. Nová přenosová soustava přinese trendy odpovídající aktuálním požadavkům zákazníků a výrobců, obousměrnou komunikaci mezi distribuční sítí a zákazníky a dobíjecí stanice pro elektromobily. Zákazníkům umožní sledování aktuální spotřeby elektrické energie a optimalizaci spotřeby domácností. Ve druhé fázi projektu se předpokládá propojení inteligentních elektroměrů s měřiči vody, plynu, ovládací jednotkou elektromobilu i řídicí jednotkou topení. Celkově bude umožněn vznik chytrých komplexních domácích řešení celé bytové jednotky (Chytré domácnosti).

3. Použité technologie přenosu dat v architektuře

Při návrhu technologie Smart Grid se nejčastěji používají v dnešní době běžně dostupné systémy pro přenos dat. Primárně jsou preferovány služby přenosu dat s co nejmenšími měsíčními poplatky s neomezeným přenosem dat, neboť s rostoucí sofistikovaností navržené technologie exponenciálně roste přenášený objem dat, které se rozdělují do následujících druhů:

- Data o spotřebě každého elektroměru
- Neočekávané události v síti (chybová hlášení)
- Ovládací signály k regulaci celého systému

Tabulka 1: Výpočet přenesených dat [Tabulka autora]

Typ zprávy	Spotřeba	Chybová hlášení	Ovládací zprávy
Délka zprávy	10kB	1kB	1kB
Perioda odeslání	12x ročně	60x ročně	365000x ročně
Přenesená data	420 GB ročně	183 GB ročně	6343 GB ročně

Každý inteligentní elektroměr je navržen k odeslání spotřebované energie každý první den v měsíci. Celkem v České republice je registrováno u společnosti ČEZ 3, 5 miliónu odběrných míst. Při instalaci nových měřidel a měsíční frekvenci odeslání se odešle 420 GB dat o délce 10kB jedné zprávy. K analýze počtu dat byl proveden kvalitativní odhad v počtu 5 ti poruch (chybových hlášení) na jedno odběrné místo. Při délce zprávy 1kB, periodě jejich odeslání 60x za rok, se v síti pošle 183,75 GB chybových hlášení. Poslední druhem jsou zprávy k ovládání. Jestliže dnes systém HDO mění tarif 4x denně, předpokládám sofistikovanější řízení, které si vyžádá změnu tarifu alespoň 10x denně. Při délce zprávy 1kB se přenesou 6343 GB ovládacích zpráv.

3.1 GSM

Firma Motorola v čele s Dr. Copper v roce 1973 představila nový druh telefonování pomocí rádiového signálu. Bohužel v té době neexistovala přenosová infrastruktura k dálkovému přenosu dat. Standard pro GSM¹¹ byl ustanoven později v roce 1982 s tím, že první spuštěná síť byla až v roce 1991 ve Finsku. Od svých předchůdců (NMT¹²) se odlišoval plně digitálními hovory i signalizačními kanály a možností roamingových hovorů s ostatními operátory. Jde o buňkovou síť, kde se každý mobilní telefon zaregistruje do své nejbližší buňky neboli k nejbližší základnové stanici (BTS). Několik základnových stanic je řízeno pomocí jednoho controleru základnových stanic (BSC). Hovorový kanál je následně přeměrován do mobilního přepojovacího centra (MSC¹³).

¹¹ GSM=„Global System for Mobile Communications“

¹² NMT=Nordic Mobile Telephone

¹³ MSC=Mobile switching center

Všude přítomný rádiový mobilní signál je dnes rozšířen v každé zemi a mezinárodní volání díky univerzálnosti gsm standardu není díky roamingovým smlouvám mezi operátory žádný problém.

Vývoj systému GSM:

- GSM Phase 1(1989-1992): Základní hlasové/faxové/datové služby
 - Mezinárodní roaming
 - Předávání a blokování hovorů
 - Služby SMS
 - Sim karta a šifrování

- GSM Phase 2(1991-1994): Identifikace volaného a volajícího
 - Přidržení a zaparkování hovoru
 - Konferenční hovory
 - Uzavřené skupiny uživatelů
 - Rozšířené datové služby

- GSM Phase 2+(1994-1997): Vícenásobné číslo
 - Více profilů služeb
 - Privátní číslovací plány
 - Propojitelnost s jinými standarty mobilních sítí
 - HSCSD¹⁴
 - GPRS¹⁵
 - EDGE¹⁶

¹⁴ HSCSD= High Speed Circuit Switched Data

¹⁵ GPRS= General Packet Radio System

¹⁶ EDGE= Enhanced Data Rates for GSM Evolution

3.2 GPRS

Řešení dedikované pro prostředí digitálních mobilních sítí s efektivnějším využitím přenosových schopností při přenosu dat se nazývá GPRS. Zatímco samotné mobilní sítě pracují na principu přepojování okruhů, nabízí technologie GPRS alternativu tzv. přepojováním paketů, neboť pracuje na protokolu IP. Virtuálně si ji lze představit jako zcela novou síť pro existující GSM architekturu, kde využívá pouze základnové stanice (BTS). Stanice komunikují prostřednictvím frekvenčních kanálů rozdělených pomocí časových multiplexů do jednotlivých slotů. Primární se sloty obsazují hlasovými hovory a poté teprve datovým tokem GPRS, což optimalizuje využití celé sítě. Negativem je negarantovaná konektivita, neboť pokud v daném okamžiku není v dané buňce k dispozici žádný slot, rychlost GPRS přenosu je nulová. Teoretická rychlost GPRS přenosu je 171,2 kbit/s, v praxi hodnota reálné rychlosti osciluje kolem 45kbit/s.

Tabulka 2: Kódovací schéma a přenosové rychlosti [Tabulka autora]

Kbit/s	Počet timeslotů							
Kódovací schéma	1	2	3	4	5	6	7	8
CS1	9,20	18,40	27,60	36,80	46,00	55,22	64,40	73,60
CS2	13,55	27,10	40,65	54,20	67,75	81,30	94,85	108,40
CS3	15,75	31,50	47,25	63,00	78,75	94,50	110,25	126,00
CS4	21,55	43,10	64,65	86,20	107,75	129,30	150,85	172,40

Rozvojem GPRS architektury se standardizovala vysílací schémata, která způsobem enkripce přímo ovlivňují výslednou rychlost komunikace. Schéma je telekomunikační sítí vybíráno automaticky dle kvality přenosového prostředí. Ve špatném prostředí se zvolí schéma CS1 s minimální rychlostí, avšak s maximálním zabezpečením pomocí redundance. V kvalitním prostředí bude zvoleno schéma CS4 pro maximální možný přenos.

V pozdější fázi došlo k implementaci QoS¹⁷ standardů ve třech úrovních. Vypovídají o spolehlivosti, zpoždění a rychlosti daného přenosového kanálu. Největším přínosem technologie bylo zpoplatnění skutečně přenesených dat a nikoliv připojeného času účastníka. K nevýhodám patří negarantovaná rychlost připojení, která je silně závislá na aktuálním zatížení sítě a vynucené restarty GPRS modemů v průmyslových aplikacích, které se musí řešit externími obvody.

3.3 DSL¹⁸

V devadesátých letech minulého století se začalo intenzivně zkoumat, jakým způsobem využít stávající metalickou přístupovou síť k vysokorychlostnímu přenosu dat. Nejvhodnější cesta z hlediska nákladů se ukázala technologie DSL. Principem bylo rozšíření používaného frekvenčního

¹⁷ QoS=Quality of Service

¹⁸ DSL=Digital Subscriber Line

pásma, respektive jeho rozdělení na hovorové a nad hovorové pásmo. K přenosu telefonního hovoru se využívá pásmo 3-3400 kHz a vyšší frekvence jsou použity k přenosu dat. Bohužel se zvyšující se vzdáleností extrémně klesá rychlost přenosu dat. Odborná literatura definuje teoretickou maximální přenosovou vzdálenost na 5 kilometrů. V praktickém využití v komerční sféře služby ADSL jsou svoji rychlostí schopny konkurovat do vzdálenosti 1,7km při rychlosti 8Mbit. Přenos dat může být asymetrický nebo symetrický, kdy se rychlost uploadu rovná / rychlosti downloadu. Technologie DSL má následující druhy:

Tabulka 3: DSL Technologie [Tabulka autora]

Běžný název	Název standardu	Downstream [Mbit/s]	Upload [Mbit/s]
ADSL	ITU G.992.1	8	1
ADSL Lite	ITU G.992.2	1,5	0,5
ADSL2	ITU G.992.3/4	12	1
RE-ADSL2	ITU G.992.3/4	5	0,8
ADSL2+	ITU G.992.5	24	1
ADSL2+	ITU G.992.5	28	3,5
VDSL	ITU G.993.1	40	40
VDSL2	ITU G.993.2	100	100

V současné době je maximální přenosová rychlost u technologie VDSL2 40Mbit/s v uploadu a 2Mbit/s v uploadu, která je plně dostačující pro použití ve Smart Grid sítích. V budoucnu se předpokládá rozšiřování přenosového pásma pro zvýšení přenosové rychlosti až na rychlost 100Mbit v obou směrech komunikace.

3.4 PLC¹⁹

První požití přenosu dat po silnoproudých vedeních bylo realizováno v šedesátých letech minulého století. V České republice se této technologii využívá pro hromadné dálkové ovládání (HDO). Ovšem teprve v posledních deseti letech zaznamenala obrovský rozsah možností přenosu dat a použitím technologie TCP/IP. Možnosti přenášet datové zprávy s využitím stávajících energetických rozvodů otevřelo velký prostor v průmyslové automatizaci. Technologie PLC razantně snížila náklady odbouráním potřeby výstavby souběžné datové infrastruktury. Do napájecího napětí je modulován vysokofrekvenční signál a je superponován na stávající napájecí napětí. Oba elektrické signály se spolu šíří až k přijímacímu modulu PLC, kde jsou odděleny. Vzhledem k silnému rušení jsou data po přenosu ověřena CRC kontrolním součtem a při negativním výsledku jsou pomocí FEC korektorů opravena (s daty jsou odeslány informace pro jejich případnou opravu). Každý modem je vybaven analýzou přenosové trasy. Bohužel se zvyšující se frekvencí signálu se sice zvyšuje objem dat, ale klesá možná přenosová vzdálenost. V poslední době je technologie PLC projektována jako

¹⁹ PLC= Powerline Communication

efektivní v oblasti chytrého měření elektrické energie, neboť využitím stávajících energetických rozvodů odpadá nutnost výstavby další datové sítě.

Elektrické vedení není primárně určeno k přenosu dat, neboť je plně elektromagnetického rušení především od domácích spotřebičů. Na vedení vzniká velký útlum, který nedovoluje bez použití opakovačů přenášet signál na větší vzdálenosti než 1,5km. Oblast chytrého měření odebírané elektřiny využívá úzkopásmové PLC, které plnohodnotně dostačuje pro přenos dat z měření. Je standardizované normou CENELEC EN 50065 a rozděluje se na následující pásma:

Tabulka 4: Rozdělení úzkopásmového PLC dle frekvencí [Tabulka autora]

Pásmo	Frekvenční rozsah	Informace
	3-95kHz	Pouze pro dodavatele el. energie
A	9-95kHz	Pouze pro dodavatele el. Energie se souhlasem spotřebitele
B	95-125kHz	Pro odběratele
C	125-140kHz	Pro odběratele dle ČSN EN 50065
D	140-148,5kHz	

Použitím technologie PLC odpadá nutnost natahování dalších kabelů či instalace antén, čímž přináší rychlou a relativně levnou implementaci technologie. Uživatelům nabízí vysoké přenosové rychlosti, jednoduchou instalaci a vysokou míru dostupnosti služby (elektřina je v každém bytovém objektu). Negativem použití je neustálý vývoj a změny standardů, neexistence plošné dostupnosti po celé České republice. Je vhodná spíše pro vytvoření domácí sítě, než pro připojení k internetu. Omezením využití je také rušení technologie přenosu komunikačního kanálu dle připojených spotřebičů a topologie sítě navzdory použití mnohastupňového opravného kódování. Největší zdroje rušení představují transformátory, které neumožňují plošného vytvoření jedné sítě. Některé domácí spotřebiče (vysavače, klimatizace, a fény) také přináší velkou chybovost, která brání provozu za každého okamžiku.

4 Komponenty v inteligentních energetických sítích

4.1 Elektroměry

Sir „Hiram Stevens Maxim“ je odborné literatuře označován za vynálezce prvního přístroje k měření odebrané elektrické energie ze sítě. Dříve se spotřeba elektrické energie měřila mechanickými indukčními elektroměry na „Ferrarisově“ principu posuvného magnetického pole. S rozvojem elektroniky se pomocí moderních elektronických součástek elektroměr oprostil od mechanických součástí a dosáhl kýžené životnosti při snížené spotřebě.

Obrázek 1: Chytrý elektroměr společnosti ČEZ



Inteligentní přístroje pro spotřebitele nabízejí řadu výhod. Měří nejen spotřebovanou energii, ale i napětí v odběrném místě, maxima výkonu, log provozních událostí a další užitečná data. Spotřebiteli umožňují nejen nastavit přesnější zúčtovací zálohy a interaktivní změnu tarifu, ale optimalizují také jejich spotřebu energie. Jeho součástí jsou spínací relé k limitování odběru při aktivaci sociálního tarifu, odpojení zákazníka, či běžné provozní změně tarifu. Obsahuje také komunikační moduly (moduly) pro různé formy přenosu dat. Nejčastěji jde o PLC modem k přenosu dat z elektroměrů na data koncentrátor nebo záložní GPRS modem k záložnímu použití či přímému odeslání dat do centrálního datového skladu. K propojení elektroměrů velkých průmyslových podniků s data koncentrátorem (rozvodnou) se předpokládá metalický trakt „Ethernet“, který je ovšem limitován maximální délkou 180m a náchylností k elektromagnetickému rušení. Elektroměr umožňuje bezdrátové posílání dat na běžné komunikační přístroje v domácnosti pomocí technologie Wifi. Zákazník tak bude moci na svém televizoru či notebooku sledovat informace o aktuálním stavu

spotřeby, aktuálním tarifu a dalších provozních informacích. Umožní tak nastavit jemnější zúčtovací zálohy a přinesou uživateli podstatně větší portfolio tarifů. Uživatel tak bude pomocí těchto rozhraní moci měnit nastavení svého tarifu a komunikovat s provozovatelem energetické sítě. Interaktivně bude vtažen do regulace svých nákladů, a v konečném důsledku i k regulaci celé soustavy. Do dnešního dne se v rozvodné síti společnosti ČEZ nainstalovalo přes 30 tisíc chytrých elektroměrů, především v oblasti Vrchlabí a Jeřmanic. Dle Evropské směrnice 2009/72/EC se předpokládá, že v roce 2020 bude 80% odběratelů (domácností) vybaveno chytrými měřidly. V delším časovém horizontu se plánuje řízení přímo jednotlivých spotřebičů. Přínosem bude další zefektivnění sítě. Propojením s řídicím systémem inteligentních budov přispěje k další optimalizaci nákladů. Předpokládá se, že v budoucnu se elektroměr přemění na ICT gateway, ke které budou připojeni všechny měřiče v domácnosti.

Výhody chytrých elektroměrů:

- Digitální měření více veličin (proud, napětí, účiník, frekvence,...)
- Vyhodnocení nestandardních stavů v síti (podpětí, přepětí, změny frekvence,...)
- Archivace naměřených hodnot každých 15min
- Dálkový odečet naměřených dat
- Vestavěná relé pro ovládání zátěže (náhrada HDO)
- Proudový limiter (možnost snížení/ omezení odběrného místa)
- Vyhodnocování technické bilance dodávky

4.2 Data koncentrátoři (DC)

V dnešních rozvodnách bude umístěno zařízení podobné routeru, které bude obsluhovat až 1000 elektroměrů pomocí elektrické či bezdrátové sítě. Vzhledem k faktu, že takové zařízení bude mít plno dalších funkcí než router samotný, nazývá se data koncentrátor. Je složen z průmyslového počítače, třířázového PLC modemu, třířázového elektroměru nebo třířázového analyzátoru. Pravidelně kontroluje spojení s jednotlivými měřicími místy (elektroměry) a stahuje z nich potřebná data, která třídí a ukládá ve své paměti. Při pravidelné kontrole dostupnosti od centrálního serveru mu poskytne rozříděná data. Server následně potvrdí data koncentrátoru přijetí dat a celý cyklus se může opakovat.

Logicky se jeví umístění v těsné blízkosti trafostanice, neboť nejvíce používaná technologie PLC neprojde skrz elektromagnetické rušení na transformátoru a je tedy obzvláště výhodné umístění do těchto lokalit. Shromážděná data dále odesílána pomocí technologie TCP/IP do datového centra správce rozvodné sítě. Data budou odesílána dále do datového centra nejčastěji pomocí technologií

DSL, LAN, WIFI a vzhledem k minimální datové infrastruktuře v těchto lokalitách i GPRS. Na této úrovni datové struktury energetické sítě budou okruhy zálohovány druhým nezávislým okruhem. Zařízení bude také propojeno s provozním a s elektronickým zabezpečovacím systémem každé rozvodny k detekci nestandardních událostí.

4.3 Datové centrum

Na vrcholu datové pyramidy v energetické síti budou servery v datovém centru, které budou zpracovávat a analyzovat příchozí data z data koncentrátorů. Datové centrum bude odolné proti požáru, záplavám a bude zajišťovat konstantní teplotu pro maximální životnost serverů. Předpokládá se pronájem komplexního řešení od hostingového poskytovatele služeb s obslužnou linkou do dispečinku poskytovatele síťové služby. Operátoři řídicího centra energetické sítě budou dostávat výsledky analýz z datového centra, na základě kterých budou posílat příkazy ke změně stavu jednotlivých komponent v soustavě. Datové centrum bude zajišťovat i odesílání faktur za energie i běžnou korespondenční hromadnou agendu směrem k zákazníkům.

4.4 Měření ostatních služeb

Vybudovaná datová infrastruktura energetické soustavy poskytne ve střednědobém horizontu prostor k měření či regulaci dalších síťových odvětví. Vodoměry, plynoměry, měřiče tepla, nabíjení elektromobilu a ovládací jednotka topení budou propojeny s elektroměry pomocí drátových či bezdrátových technologií. Nejčastěji se hovoří o průmyslové datové sběrnici M-BUS, či její bezdrátové formě. Jde o sériový asynchronní přenos dat po dvou vodičové sběrnici s možností přímého napájení účastnických stanic. Propojením všech domovních měřičů energií se otevře prostor k integraci provozní údržby všech síťových odvětví jednomu subjektu. Předpokládá se, že v budoucnu vznikne pro domácnosti ICT rozhraní, ke které budou připojeni všechny měřiče v domácnosti. Umožní vznik komplexních řešení bytových jednotek s optimalizovanou spotřebou (inteligentních domů)

4.5 Zdroje elektrické energie

Ročního maxima za rok 2011 v energetické soustavě bylo dosaženo 1.února ve 12:00 odběrem 10900 MW a ročního minima 4709MW 24.července stejného roku. Suroviny pro výrobu elektrické energie se rozdělují na obnovitelné a fosilní, které výrobě dominují. Mezi největší fosilní suroviny patří parní elektrárny se spalováním uhlí. Představují přeměnu tepelné energie na mechanickou energii určenou pro pohon generátoru využívající vodní páru, která je získávána různými způsoby přeměny primární chemické či jaderné energie vázané v palivu. Parní elektrárna je také synonymum pro tepelnou elektrárnu. Jaderná elektrárna vyrábí elektřinu přeměnou vazebné energie jader těžkých prvků v jaderném reaktoru na teplo, které vyrobenou párou pohání parogenerátor, který pomocí parní turbíny spojené s alternátory vyrábí elektřinu. Vodní elektrárny produkují elektřinu přeměnou potenciální energie vody na elektrickou energii. Nejčastěji se využívají k doplňkové či špičkové výrobě při nenadálém nedostatku elektřiny. V poslední době je stále rostoucí trend výroby elektrické

energie z obnovitelných zdrojů. Dle Evropské legislativy se Česká republika zavázala spotřebovávat 20% elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Tabulka 5: Vyrobená elektrická energie v roce 2011²⁰ [Tabulka autora]

Druh elektrárny	Výkon v [GWh]	Podíl v %
Uhelné elektrárny	49 973	57,1
Jaderné elektrárny	28 282	32,3
Paroplynové a plynové	3 995	4,5
Vodní	2 835	3,2
Fotovoltaika	2 118	2,4
Větrná	397	0,5
Celkem	87 560	100

Obnovitelné zdroje umožňují výrobu elektřiny po velmi dlouhou dobu (tisíce let). Původním účelem jejich zavádění bylo omezení produkce elektrické energie z fosilních paliv. „Mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Obnovitelné nefosilní zdroje jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.“²¹ V roce 2011 v Německu vyrobily nefosilní elektrárny přes 20% energie. V České republice podíl přesahuje pouze 10%, ale bude mít rostoucí trend. Jsou podporovány různými dotacemi nebo lepšími výkupními cenami energie. Druhy obnovitelných zdrojů energie jsou:

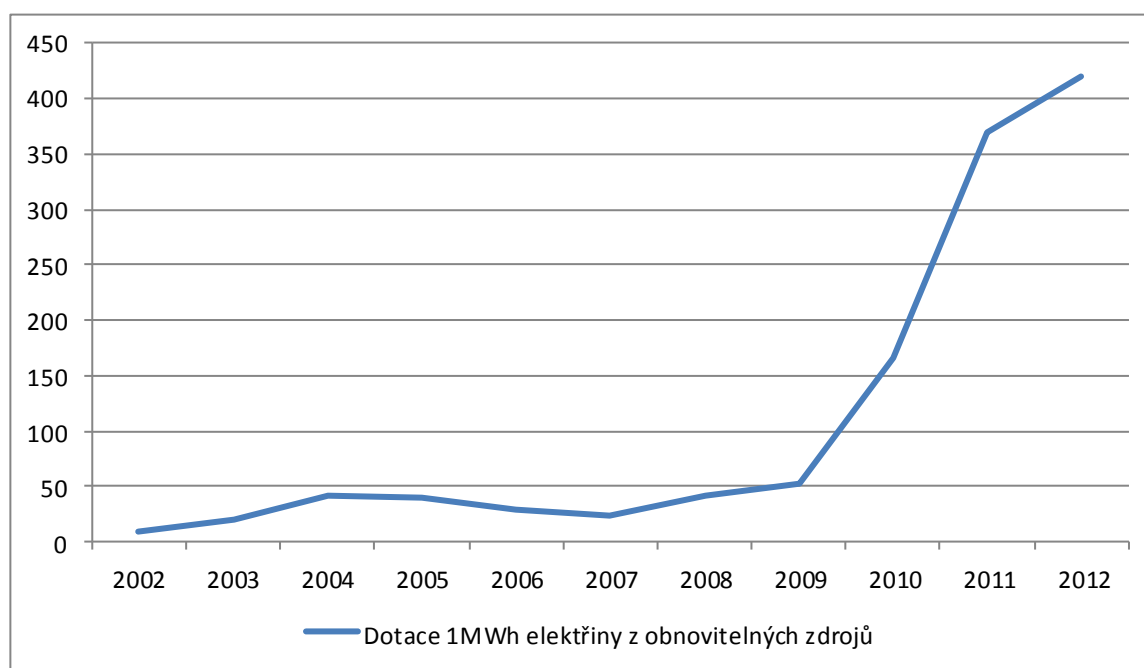
- Sluneční: Jde o jediný systém, který převádí jinou energii přímo na energii elektrickou s možností instalace v konečném místě spotřeby. Nevýhodou je závislost na množství slunečního záření.
- Voda: Nejrozšířenějším druhem jsou průtočné vodní elektrárny, které pouze průtokem vody vyrábějí elektrickou energii a pracují nepřetržitě. Druhým v pořadí jsou akumulární, které jsou schopny akumulovat energii v polo-špičkovém či špičkovém režimu. Poslední druh jsou přečerpávací elektrárny pracující ve špičkovém režimu. Vodní elektrárny mají také funkce regulace vodních toků, částečné ochrany proti povodním, zavlažování, rekreaci a zásobárny pitné vody. Největší vodní dílo v ČR je kompletní Vltavská kaskáda s výkonem 756,5 MW.
- Biomasa: Nejčastěji se jedná o spalování dřevní štěpky a slámy z rychle rostoucích plodin. V roce 2011 vyrobily elektrárny spálením biomasy 428 GWh elektřiny s tím, že přes polovinu vyrobila elektrárna Hodonín se spotřebou 20tun biomasy za hodinu.

²⁰ Výroční zpráva roku 2011 Energetický Regulační úřad

²¹ Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

- Bioplyn a skládkový plyn: Bioplyn vzniká mikrobiálním rozkladem organické hmoty bez přístupu vzduchu a je dále upraven pro spalování v moderních reaktorech.
- Vítr: Dle velikosti vrtule a výrobní kapacity se rozdělují na malé (do 60KW), střední a velké. V poslední době se montují i vertikální větrné turbíny díky nezávislosti na směru větru.
- Geotermální: Využívá zbytkové teplo z doby formování planety a rozpadu radio izotopních prvků na principu obrácené chladničky (pomocí geotermálního čerpadla).
- Biologicky rozložitelný odpad (BRKO): Jde o odpad podléhající aerobnímu či anaerobnímu rozkladu, který vzniká především v zemědělství.

Graf 4: Dotace zákazníků v Kč na 1MWh elektřiny z obnovitelných zdrojů²² [Graf autora]



Vývoj kapacity vyráběné elektřiny z obnovitelných zdrojů byl značně akcelarován zákonem č.180/2005, který třem největším energetickým společnostem (ČEZ, EON, RWE) ukládal povinnost přednostního výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Současně garantoval výkupní cenu s 10 letou fixací, která mohla poklesnout pouze o max. 5% ročně. Technologický pokrok umožnil snížení výrobní ceny solárních panelů, které se začaly v hojném počtu instalovat do energetické sítě. K částečnému omezení solárního boomeru se politická reprezentace odhodlala v roce 2010 přijetím

²² Data z ERÚ

vyhlášky 349/2010 Sb. k zákonu. Povoluje připojení pouze takových solárních elektráren, jejichž účinnost přesahuje 16% u polykrystalického článku a 18% u monokrystalického článku. Tržní cena 1MWh čisté elektrické energie je přibližně 625Kč za MWh.

4.6 Akumulace elektrické energie

Trendem moderní doby je energie z obnovitelných zdrojů. S rostoucím podílem výroby elektrické energie využívající obnovitelné zdroje neúměrně vzrůstají technologické komplikace. Především se jedná o nestabilitu dodávek a nemožnost její přesné predikce u solárních a větrných elektráren. V rozvodné síti nestabilita dodávek způsobí podpětí a zvýší poptávku po výrobě ze špičkových zdrojů. Nestabilitu by měli odstranit sítě Smart Grids se sofistikovanou regulací. Klíčovým prvkem k potlačení fluktuací je využití velkokapacitních akumulátorů energie. Firma Siemens vyvinula modulární akumulční lithium-ion bateriový systém „Siestorage“ s kapacitou 500kWh, která přibližně odpovídá průměrné hodinové spotřebě 1250domácností. Primárně není určen jako náhradní zdroj elektrické energie, ale k okamžitému vyrovnávání výkyvů energetické sítě. Okamžitě reaguje (5ms) a vyrovnává nedostatečnou nebo nadbytečnou produkci. Rozměry akumulátoru odpovídají lodnímu kontejneru a lze je modulárně spojovat do větších celků (12m x 2,4m x 2,5m). Pilotní nasazení systému proběhlo v Itálii ve společnosti ENEL. Úkolem je minimalizovat výkyvy integrace solární elektrárny do rozvodné sítě společně s nabíjecí stanicí pro elektromobily a zajišťovat napěťovou stabilizaci a regulaci zátěže²³.

Obrázek 2: Velkokapacitní Lithium-Ion akumulátor Siemens Siestorage



²³

<http://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/press/releases/new/Main/62900.jet>

4.7 Využití PHEV²⁴

V současné rozvodné síti musí aktuálně vyráběná elektrická energie odpovídat spotřebovávané, neboť neexistuje možnost její efektivní akumulace. Smart Grid Network předpokládá velký počet velký počet dobíjených elektromobilů. Společnost ČEZ predikuje jeden milión vozů na území České republiky do patnácti let. Při průměrné kapacitě baterie 30kWh je maximální teoretická možnost akumulace energie 3TWh, což představuje hodinovou spotřebu 83 tisíc domácností. Výrobci při plánování elektro mobility implementovali do nabíjecí logiky technologii k jejich využití k vykrývání špiček v energetické síti. Uživatel při každém připojení vozu k nabíjecímu systému definuje, kdy plánuje příští jízdu. Elektromobil se začne nabíjet dvě hodiny před plánovaným odjezdem. Do té doby bude jeho baterie používána pro potřeby energetické sítě, nejčastěji však jako její zdroj. Spotřebiteli bude za tuto službu umožněno nabíjení podstatně výhodnějším tarifem.

Nevýhodou zavedení elektromobilů jako běžného dopravního prostředků může být vznik nových či zvýšení stávajících špiček spotřeby během společného dobíjení několika vozů. Předpokládá se také problém s dobíjecí infrastrukturou na sídlištích s velkou koncentrací vozů, která v konečném důsledku může brzdit rozvoj celé elektro mobility.

První použití elektromobilů jako zdroje elektrické energie bylo v praxi využito po havárii jaderné elektrárny „Fukušima“ v Japonsku. Přenosová soustava byla paralyzována a jediná možnost elektrické energie byla připojení několika elektromobilů k domácím rozvodům. Pokud se napětí na baterii přiblížilo ke kritické hranici, auta se odpojily a odjely do nejbližšího města s funkční elektrickou sítí se nabít. Byl to jediný masový způsob, jak zajistit alespoň částečnou funkčnost infrastruktury.

Technické zařízení na opakované uchovávání elektrické energie se nazývá akumulátor. Nejběžnější typy jsou založeny na elektrochemickém principu. Jejich životnost se pohybuje ve stovkách nabíjecích cyklů a je citelně ovlivněna způsobem nabíjení nebo vybíjení. Technologický pokrok přináší nové možnosti v oblasti akumulátorů, jako např. akumulátory na bázi Zinek-vzduch. Druhy elektrických akumulátorů:

- Olověné akumulátory

Nízká cena a vysoký výkon předurčují olověné akumulátory jako nejvíce používané. Sami se bohužel vybíjejí a při poklesu napětí pod určitou mez, jsou nenávratně zničeny.

- Niklové akumulátory

Nejpopulárnější typ baterií ve spotřební elektronice, o 30% více kapacity než olověné, výborná cena. Baterie trpí paměťovým efektem-pamatují si svůj stav před nabíjením a při následném užití dochází

²⁴ PHEV=Plug-in hybrid electric vehicle

k rychlému poklesu napětí. Nákladná recyklace, zátěž pro životní prostředí. Rozdělují se na druhy Nikl-Kadmiové a Nikl-Metal Hybrid.

- Lithiové akumulátory

Předpokládá se naprostá dominance lithiových akumulátorů v 21. století. Spotřebitelům nabízí 3 krát větší kapacitu, vyšší životnost při vyšší ceně a nulový paměťový efekt. Počet nabíjecích cyklů může dosáhnout až 2000. Převažují v přenosných zařízeních (mobilní telefony, notebooky). Rozděluje se na Lithium-iontové, Lithium-polymerové a Lithium-manganové.

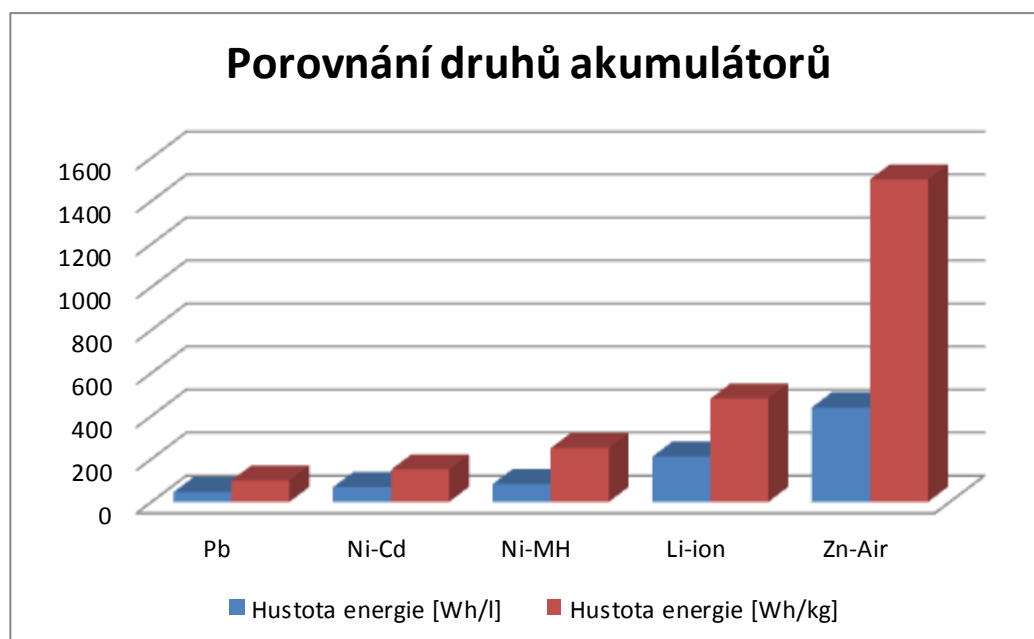
- Zinek-vzduchové akumulátorů

Nový druh akumulátorů využívá již přes sto let starého principu, kdy elektrická energie se produkuje řízenou oxidací zinku za působení vzduchu v místnosti. Nabízí až 4 krát vyšší kapacitu než lithiové akumulátory při nižší hmotnosti, avšak nesrovnatelně nižší počet nabíjecích cyklů (400). Negativem jejich masovému použití je nutnost přístupu ke stálému přísunu vzduchu.

- Lithium-vzduchové baterie (2013)

Firma IBM představila nový typ akumulátoru nazvaný BATTERY 500²⁵, který má řádově vyšší výkonovou hustotu (10-20x) oproti svým lithiovým konkurentům. Funkční prototyp bude představen v roce 2013. V katodě se místo oxidu kovů používá uhlík, který je podstatně lehčí a reaguje s okolním vzduchem a produkuje elektřinu. Předpokládá se jejich nasazení v elektromobilech, neboť pomůže zvýšit jejich dojezd až k 800 km.

Graf 5: Porovnání akumulátorů [Graf autora]



²⁵ http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smart_grid/article/battery500.html

4.8 OSGP²⁶

Komunikační protokol mezi prvky inteligentních sítí se nazývá „open smart grid protocol (OSGP)²⁷“. Pro univerzálnost napříč celou Evropskou Unií je definován evropskou směrnicí EN 14908. Byl vytvořen k podpoře a správě komunikace rozsáhlého množství požadavků mezi mnoha prvky inteligentní sítě, především však mezi komunikačními proxy servery a ostatními prvky sítě (elektroměry). Bude využíván spotřebiteli a poskytovateli elektrické energie ke sběru dat. Především půjde o fakturační data zákazníkům. Bude také poskytovat zákaznickovy informace o využití sítě a umožňovat řízení jednotlivých služeb v bytovém objektu v případě nedostatečných plateb či výpadků v síti. Předpokládá se masové rozšíření do celé energetické soustavy do roku 2020, kdy bude protokol OSGP zahrnovat:

- Data koncentrátoři (servery) k akumulaci dat a posílání kontrolních zpráv ostatním prvkům
- Komunikační proxy servery-chytré routery k podpoře komunikace data koncentrátorů
- OSGP Smart Grid zařízení-komunikují s proxy servery

Komunikace je povolena pouze v režimu master/slave a může probíhat na jakémkoliv přiděleném kanálu z data koncentrátoru. Elektroměr může zahájit přenos transakce pouze za předpokladu předchozí korektní instalace a žádné chybové hlášky protokolu k tomuto zařízení na datakoncentrátoru. Komunikace nejčastěji probíhá ne náhodných kanálech, které jsou většinou prázdné. Architektura OSGP nepodporuje síť bod-bod. Velikost datového OSGP packetu je neomezena, před datovou část se přidávají 2 bajtová hlavička určující destinaci příjemce a typ packetu. Bezpečnost není implementována na aplikační vrstvě, ale bude zajišťována pomocí sdílených klíčů (OMAK) mezi data koncentrátorem a OSGP zařízeními se základními komunikačními klíči.

Pomocí kontrolních zpráv umožňuje OSGP síť automatické řízení topologie (ATM), které bez zásahu jakékoliv obsluhy samočinně reaguje na nenadálé poruchové události v energetické síti a předchází tak podstatně větším dopadům lokálních výpadků, které v konečném důsledku mohou vézt až ke kaskádovitému výpadku celé elektrické sítě bez možnosti okamžitého restartu sítě. Zajišťuje především následující automatické činnosti:

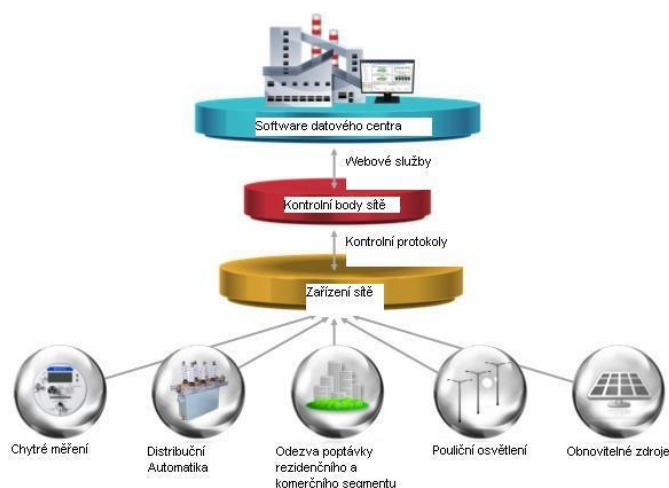
- sdružování zařízení na data koncentrátoru při instalaci
- automatické přeroutování na jiný data koncentrátor při výpadku původního (Mesh síť)
- automatickou identifikaci testovacích bodů sítě
- automatickou identifikaci přenášeného kanálu

²⁶ OSGP= Open Smart Grid Protocol

²⁷ http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/OSG/001_099/001/01.01.01_60/gs_osg001v010101p.pdf

Nejpoužívanější zákaznickou funkcionalitou bude odečet spotřebované energie ve všech čtyřech tarifech (T1, T2, T3, T4), které budou v pravidelných intervalech ukládat hodnoty do paměti. Dle nastavených parametrů budou v pravidelných intervalech odesílány data koncentrátoru (denně, týdně, měsíčně). Při výpadku elektrického proudu před odesláním odečtu, bude hodnota opatřena časovou značkou a připravena k odeslání při opravě výpadku. Pokud výpadek bude delší než 63dní nebude uložená hodnota spotřeby elektrické energie opatřena časovou značkou.

Obrázek 3: Architektura sítě Smart Grid²⁸ [Obrázek autora]



4.9 Architektura technologie Smart Grid

Obecně se možnosti architektury rozdělují na jednostupňovou, dvoustupňovou a třístupňovou. Jednokroková architektura je nejvíce výhodná pro případy ostrovního systému osamělého domu, který je od ostatních inteligentních elektroměrů vzdálen více než jednotky km. Komunikace se příslušným Smart metrem probíhá napřímo, bez využití data koncentrátorů prostřednictvím technologie GSM, GSM, DSL a GPRS, které jsou vhodné pro dálkový přenos dat přímo do dispečinku energetické sítě. Od uživatele jsou odesílána změřená data a směrem od centrály jsou odesílány ovládací povely.

Dvoukroková architektura se nasazuje do středně velkých oblastí. Je charakteristická použitím koncentrátorů (routerů), která shromažďují změřená a odeslaná data. Komunikují také s měřidly u zákazníků a následně do řídicí centrály pomocí technologie přenosu dat po elektrické síti (PLC), Radiofrequency (RF), GSM, DSL, GPRS. Nejvíce sofistikované řešení představuje tříkroková architektura, která se vyznačuje použitím několika koncentrátorů. Data jsou přenášena ve třech krocích. Od elektroměru ke koncentrátoru a odsud k dalšímu koncentrátoru a poté do datové centrály. Při přenosu měřených a řídicích dat vznikají další náklady. Proto se využívají koncentrátorů, které akumulují data a poté je následně odesílají ve velkých objemech. Z toho důvodu jsou na provoz nejlevnější jednokrokové architektury a nejdražší tříkrokové.

²⁸ <http://www.esna.org/>

4.10 Společenské dopady implementace Smart Grids

Zavedením technologie Smart Grid se zefektivní přenos elektrické energie. Při menší spotřebě energie dojde ke snížení emisí CO₂, které nejvíce způsobují globální oteplování. Globální emise překročily 34Gt za rok 2011²⁹. Zatímco meziročně došlo k mírnému poklesu emisí CO₂ v Evropské Unii (3%), v Číně pokračovaly v rostoucím trendu růstem o 9%. V České republice rok od roku emise klesají. V roce 2011 se snížili o 3%. Problém neustále rostoucích globálních emisí se řeší i na politické sféře. V roce 1997 byla schválena rámcová změna o klimatických změnách slibujících snížení všech šesti skleníkových plynů (oxid uhličitý, metan, oxid dusný, hydro genových fluorovodíků, poly fluorovodíků a fluoridu sírového) o 5,2%. Běžně je známá pod názvem Kjótský protokol. Vzhledem k ukončení platnosti v roce 2012 se již vedou debaty o jeho druhé fázi a vyjednávají se podmínky k jeho úspěšné ratifikaci napříč celým světem.

Liberalizace na trhu s elektřinou nabízí možnost vstupu na trh novým společnostem. Má za úkol omezení vlivu monopolu a zvýšení konkurence. Poskytuje lidem nesrovnatelně vyšší škálu zákaznických tarifů. Elektřinu není možné efektivně s nulovými ztrátami skladovat. Je považována za nositele civilizace a přináší velký nároky na spolehlivost dodávek elektrického proudu. Poskytovatel elektřiny se snaží na energetické burze o nákup za nejvýhodnější cenu pro maximalizaci zisku. Státní regulace pomocí garantovaných výkupních cen se po dobu 10let zaváže k stejné výkupní ceně z obnovitelných zdrojů. To přináší protiklad pro hráče na trhu, neboť budou radši vykupovat levnější neekologickou elektřinu vedoucí k vyšším ziskům. Na kompenzace výkupní nerovnováhy se vynakládají nemalé finanční prostředky z národních zdrojů, bohužel s rostoucím výhledem v budoucnosti. V České republice nejsou zatím plně zakalkulovány do konečných cen elektrické energie a jsou skrytě dotovány ze státního rozpočtu. V poslední době se vzrůstajícím politickým tlakem na snížení cen elektřiny se naše politická reprezentace dostává do přímého rozporu mezi nízkou cenou na jedné straně a bezpečnou dodávkou s vysokým podílem výroby z obnovitelných zdrojů na straně druhé.

Tabulka 6: Procentní podíly složek ceny dodávky elektrické energie³⁰ [Tabulka autora]

Složka elektřiny	Rok		
	2009	2010	2011
Distribuce	33,3 %	35,1 %	34,7 %
Elektřina	57,5 %	51,2 %	46,4 %
Přenos	3,1 %	3,5 %	3,2 %
Decentrální výroba	0,3 %	0,2 %	0,3 %
Obnovitelné zdroje	1,5 %	5,1 %	10,8 %
Služby ČEPS	4,2 %	4,8 %	4,5 %
Operátor trhu	0,1 %	0,1 %	0,1 %

²⁹ <http://www.pbl.nl/en/publications/2012/trends-in-global-co2-emissions-2012-report>
³⁰ Výroční zpráva z ERÚ

5. Řízení telekomunikačních sítí

Kapitola se snaží nastínit možnosti při modelování inteligentních sítí implementací principů procesního řízení telekomunikačních sítí. Užším propojením výroby a spotřeby elektrické energie pomocí technologie TCP/IP se rapidně zlepšil podíl automatických procesů při monitoringu a při následných nápravných procesech, ale především dojde ke zvýšení efektivity přenosu a snížení celkových nákladů přenosu elektrické energie. Důležitou podmínkou zavedení nové technologie je však unifikace procesů mezi poskytovateli. Významná se ukazuje inspirace procesním řízením telekomunikačních sítí včetně mezinárodní interoperability, neboť pro zajištění volného obchodu na poli s elektrickou energií a zároveň pro zabezpečení bezpečnosti dodávek jsou nutné přeshraniční transfery elektřiny.

5.1 Úvod

Většina odborné literatury se shoduje na tezi, že management smart grid sítí bude analogický s procesním řízením telekomunikačních sítí. Poslední dobou se v této oblasti prosazuje druh univerzální MPLS³¹ síť, kdy absolutně nezáleží na přenášeném protokolu. Jde o velmi složitý systém vybudovaný pro poskytování služeb (telefonie, video telefonie, audio a video distribuce, poskytování konektivity k internetu a další datové služby). Obecně se rozděluje na přístupovou část (zajištění pružného přizpůsobení služeb uživatelům) a transportní (neboli páteřní) část pro zajištění vysoké spolehlivosti). V důsledku velkého portfolia služeb jsou telekomunikační sítě vystaveny velkým nárokům na řízení provozu. Primární požadavky dle odborné literatury jsou:

- velká spolehlivost přenosu
- okamžité přizpůsobování požadavkům na služby
- efektivní využívání síťových rezerv
- řízení provozu

Části telekomunikační sítě:

- fyzická část (přenosová a spojovací)
- logická struktura (zákaznické okruhy)
- služební systém (interní signalizace)
- řídicí systém (efektivně přiřazuje kapacitu službám)

³¹ MPLS= Multiprotocol label switching

Oblasti řízení sítě:

- řízení poruch – diagnostika a údržba
- řízení konfigurace – instalace a řízení síťového prvku
- řízení účtovacích dat – sběr dat a generování vyúčtování
- řízení výkonnosti – monitoring síťových objektů
- řízení zabezpečení – přístupová práva k prvkům sítě

Řídící vrstvy sítě:

- Vrstva řízení obchodních aktivit – efektivní využití síťových prvků
- Vrstva řízení služeb – objednávky, stížnosti, platby a sledování kvality služeb
- Vrstva řízení sítě – řízení všech síťových prvků
- Vrstva řízení síťových prvků – dohled jednotlivých prvků (network elementů)

5.2 Telekomunikační rámce

Významným prvkem k unifikaci pro podnikovou architekturu jsou telekomunikační rámce, které z hlediska business procesů, informačních kanálů, aplikací a technologické infrastruktury popisují aktuální a předpokládaný stav podniku. Primárně se jedná o specifikace organizování a fyzické lokace podnikové architektury. Vzhledem k rozsáhlosti deskripce se nejčastěji v praxi implementuje architektura pomocí komplexních modelů k řízení dílčích modelových kategorií se specifickým účelem:

- Obchodní
- Technické
- Informační

Každý podnik před implementací stojí před rozhodnutím, zda vytvořit vlastní telekomunikační rámec nebo přijmout některý z mnoha, které již byly dříve vyvinuty. V praxi se převážně preferuje druhá možnost s dílčími úpravami, neboť integrovat a identifikovat vzájemné vazby všech účastníků podnikových procesů není vůbec jednoduché a snaha o vytvoření vlastního rámce vždy přinesla podniku obrovské problémy při implementaci samotné.

Potřeba referenčních modelů vyvstala již v daleké minulosti. Plánování informačních systémů bylo poprvé popsáno panem Walkerem (IBM), který vydal v roce 1968 příručku plánování obchodních procesů. Později jeho žák pan Zachman vydal v roce 1987 první architektonický rámec informačních procesů (Zachmanův rámec). Dalším důležitým milníkem byla výstavba podnikové architektury amerického ministerstva obrany dle nového architektonického rámce TAFIM³² pro řízení stále většího počtu informačních systémů. Následně byl Framework předán sdružení Open Group, která následně pokračovala v jeho dalším vývoji. V roce 1996 vešel v USA v platnost zákon nařizující povinnost vybudovat systémy pro kontrolu rizik informačních systémů a začít měření výkonnosti jednotlivých úřadů. V oblasti telekomunikací se později objevilo mnoho dalších rámců, avšak vykrytalizoval z nich jeden hlavní, bez kterého se v telekomunikačním odvětví v dnešní době není možné obejít-rámec NGOSS (Next Generation Operational Support System). Jde o rámec obchodního řešení pro tvorbu OSS³³/BSS³⁴, úložiště podnikové dokumentace, modely a metodické pokyny pro jejich další vývoj.

5.3 NGOSS³⁵

Mezinárodní konsorcium „TeleManagement“ bylo založeno v roce 1988 s cílem vytvoření rámce pro interoperabilitu sítí jednotlivých operátorů. Konsorcium poskytovalo konzultace s cílem sjednocení a standardizace na poli telekomunikací. Primárně se jednalo o druhy rozhraní, datových modelů a testovacích specifikací s cílem optimalizace nákladů na vývoj a implementaci. Poskytovalo také informace ostatním členům a organizovalo školení a analyzovalo postup napříč operátory. Postupně vyvinulo souhrnnou standardizaci nazývanou architektonický rámec NGOSS. Tento komplexní rámec určený pro podniky a operátory v telekomunikačním prostředí standardizuje vývoj, nákup a nasazení systémů OSS/BSS. Byl historickým vývojem navržen jako procesně provázaná sada dokumentů obsahující specifikace a směrnice všech telekomunikačních odvětví k zajištění klíčových obchodních a technologických procesů. Pomáhá operátorům navrhovat řešení dle specifikace NGOSS, díky níž mohou být použitím standardizovaných komponent snadno implementována do jakéhokoliv NGOSS telekomunikačního řešení. Framework sjednocuje také vývoj OSS k zajištění snadno spojitelných technologických systémů a BSS ke standardnímu rozhraní zákazník a operátor (CRM, platební portály). Oba druhy systémů musí být dostatečně modulární pro případ jejich integrace do dalších systémů, neboť by následně brzdily podnik ve strategických rozhodnutích. Řízení BSS/OSS systémů je nutné pouze na základě dlouhodobě vypracované strategie k zajištění kontinuálního vývoje telekomunikačního operátora.

Rámec NGOSS je současně určen pro další subjekty na telekomunikačním trhu, které tvoří a podílejí se na telekomunikačních dodavatelských řetězcích telekomunikačních operátorů:

- Dodavatelé síťových řešení

³² TAFIM=Technical Architecture Framework for Information Management)

³³ OSS= Operational support systém

³⁴ BSS= Business support systém

³⁵ NGOSS= Next Generation Operational Support System

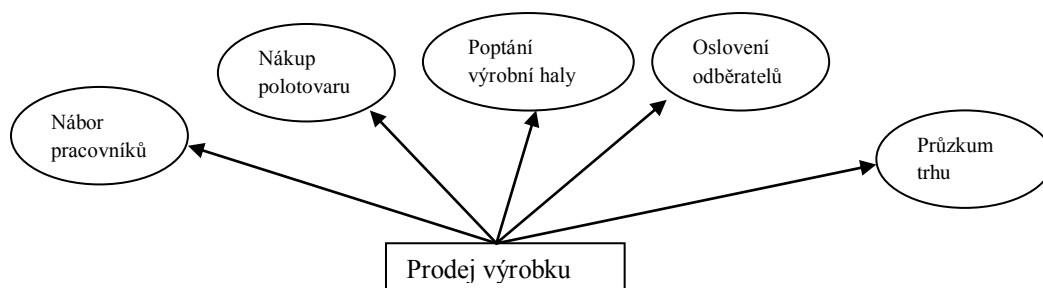
- Dodavatelé softwarových řešení (OSS/BSS)
- Integrátoři řešení

Firmy nabízející operátorům síťové prvky a OSS systémy k jejich údržbě jsou vystaveni možným komplikacím, neboť implementace jejich komplexního řešení musí být kompatibilní se stávajícím prostředím telekomunikačního operátora. Se vzrůstajícím počtem dodavatelů riziko exponenciálně roste a proto řešení v souladu s NGOSS minimalizuje riziko nekompatibility a umožňuje rychlejší a jednodušší integraci. V dnešním globálním světě by bylo velkou vzácností řešení, které není v souladu s nejrozšířenějším telekomunikačním standardem.

Dodavatelé softwaru pro poskytovatele telekomunikačních služeb mají primárně řešení vytvořené a provádějí u konkrétní organizace pouze přizpůsobování dle konkrétních technických prostředků dané organizace. V praxi se primárně jedná o technická rozhraní a technologické prostupy napříč sítěmi různých technologických platforem a přizpůsobování existujícímu softwarovému vybavení dle úrovně automatických procesů. Dodavatelé musí zároveň důkladně analyzovat situaci a co nejvíce porozumět požadavkům zákazníků. V poslední době díky globalizaci telekomunikačního trhu a snižování cen nabízených komplexních systémů je již pouze několik světových firem schopných nabídnout, prodat a implementovat komplexní řešení pro telekomunikační operátory (Huawei, Ericsson, ...).

Princip rámce NGOSS vychází z dekompozice procesů, která umožňuje strukturovaný rozklad každého procesu na několik samostatných pod procesů tvořících celkově funkční hlavní proces. Umožňuje analyzovat podnikové procesy na několika úrovních abstrakce (zpravidla na třech) a zobecnit a dekomponovat libovolný proces v závislosti na uživateli. Největším benefitem dekompozice je rozklad rozsáhlých podnikových procesů prostřednictvím několika úrovní na jednotlivé univerzální moduly, které je například možno následně v rámci nákladové optimalizace sdílet zároveň několika procesy a šetřit tak finanční aktiva společnosti.

Obrázek 4: Dekompozice procesu [Obrázek autora]



Na poli telekomunikačních operátorů se nejčastěji využívají tři stupně abstrakce. Historickým vývojem se zobecněním a unifikací napříč oborem došlo na konci 20. století ke konsensu. Zpravidla dle odborné literatury se nejčastěji nazývají:

- Nejvyšší úroveň
- První úroveň
- Druhá úroveň

Nejvyšší úroveň abstrakce představuje hlavní činnost poskytovatele telekomunikačních služeb. Nejčastěji se jedná o model zahrnující pouze tři oblasti s nulovou úrovní detailu:

- Strategie, Infrastruktura and produkt
- Provoz a údržba
- Management

Nejvyšší procesní úroveň je dekomponována do několika podrobnějších procesů k lepší deskripci činnosti organizace. Se vzrůstající dekompozicí exponenciálně narůstá délka a šířka procesní mapy. Na druhé úrovni detailu dochází již k rozpadu procesů do jednotlivých univerzálních modulů a jako celek může být kompletní procesní mapa použita pro analýzu organizační struktury, její napřímení a další zefektivnění.

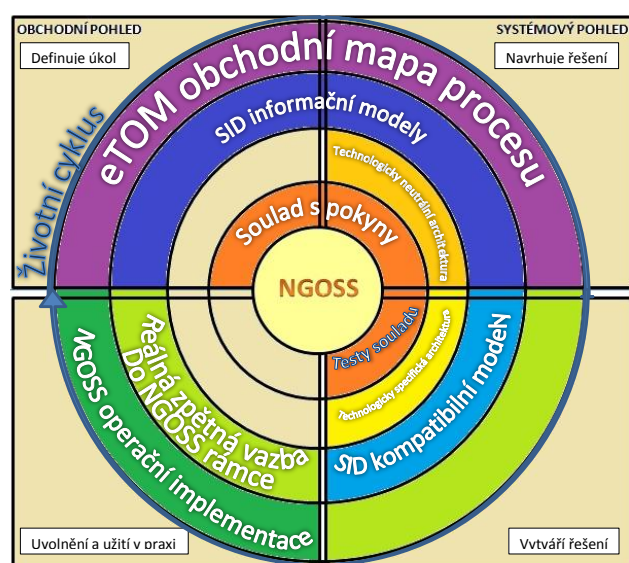
Každý architektonický telekomunikační rámec rozlišuje úrovně abstrakce na základě konkrétního technologického řešení. Provázanost, konzistence a rozsáhlost úrovní bývá nejčastějším kritériem k posouzení kvality architektonického rámce. Ačkoliv rámec NGOSS vychází původně ze „Zachmanova“ rámce se 7 pohledy, má jejich sloučením pouze 4 úrovně – pohledy:

- Obchodní pohled
- Systémový pohled
- Implementační pohled
- Oživovací pohled

Identifikace a uspokojení potřeb interních zákazníků je primárním účelem obchodního pohledu. Pohled klade důraz na vytvoření a následnou analýzu všech obchodních procesů k identifikaci všech

obchodních potřeb celé organizace k tvorbě procesní mapy eTOM³⁶. Následně se z procesní mapy vytvoří datový a informační tok k jejich zajištění, nazývaný SID³⁷ model. Oba klíčové elementy rámce NGOSS nám dané toky nezávisle popisují z hlediska procesů a umožňují tak nezávislý pohled na případné navrhované úpravy a narovnání a zefektivnění podnikových procesů. Systémový pohled modeluje řešení obchodních potřeb z hlediska technologického řešení. Identifikují se veškeré potřeby kladené na celý systém ze strany stávající infrastruktury daného podniku. Implementační pohled mapuje systémové řešení na stávající technologickou infrastrukturu podniku. Rámec NGOSS využívá především komponenty NGOSS shoda a specifičnost dané architektury. Závěrečná oživovací fáze ověřuje uspokojování obchodních požadavků již implementovaného řešení a automatizuje většinu možných navržených procesů.

Obrázek 5: Nástroje frameworku NGOSS³⁸ [Obrázek autora]



5.3.1 Elementy NGOSS

Rámec NGOSS pro zjednodušení návrhu využívá jednotlivé elementy, které usnadňují návrh OSS/BSS řešení v každé organizaci. Elementy spolu tvoří nejen vzájemně se ovlivňující komplex procesů pro snazší návrh a implementaci systému, ale současně také vytvářejí slovník terminologie pro unifikaci pojmů napříč všemi operátory. Vytváří postupy při vývoji návrhů byznys požadavků a odkazují na další podřízené dokumenty pro detailnější prováděcí specifikace. NGOSS obsahuje následující komponenty:

- eTOM
- SID
- TNA³⁹

³⁶ eTOM= enhanced telecommunication operation map

³⁷ SID= Shared information/Data Model

³⁸ http://www.cisco.com/en/US/technologies/collateral/tk869/tk769/white_paper_c11-541448.html

- Contract Interface
- NGOSS shoda
- TAM⁴⁰

Jednotlivé komponenty rozdělují celý telekomunikační rámec na několik dílčích oblastí. Primárně pro účely diplomové práce se budeme zabývat elementy návrhu řešení OSS. Do této oblasti spadají především procesní mapa eTOM a SID model. Jejich detailní deskripce nám umožní nastínit možné principy v telekomunikačním odvětví a zamyslet se nad jejich využitím v problematice inteligentních energetických sítích.

5.3.2 E-TOM Procesní mapa

Mezi nejvýznamnější prvky v metodice ITIL⁴¹, sjednocující mezinárodní telekomunikační svět patří management incidentů a management změn neboli operační procesy. Nastiňují referenční rámce běžně používané telekomunikačními operátory při návrhu svých interních technologických procesů, následných analýz a příslušných nápravných opatření v incident managementu dle úrovně dopadu na provoz či zákazníka k zajištění soudržnosti obchodních procesů. Procesní mapa e-TOM, původně publikovaná konsorciem TM Fórum, je globálně uznávaný referenční model celé škály podnikových procesů, klíčových prvků a interakci mezi nimi na poli poskytování telekomunikačních služeb. Cílem tvorby procesní mapy bylo vytvoření unifikovaného názvosloví a chápání podnikových procesů pro referenční srovnávání. Rozděluje obchodní aktivity společností poskytující telekomunikační služby do několika kategorií na základě vymezení několika sfér, do nichž jsou umístěny procesní elementy mapy. Elementy poukazují na organizační a funkční zařazení, na základě kterého je možné predikovat procesní toky a modelovat strategické scénáře společnosti dle příslušných incidentů. Celý model je popsán pomocí vysokého stupně abstrakce k ponechání volnosti při návrhu podnikových procesů, avšak s využitím doporučených elementů a procesních oblastí telekomunikační procesní mapy (eTOM) pro unifikaci a interoperabilitu mezi sítěmi.

Původní vývoj modelu eTOM směřoval k analýze interních E2E podnikových procesů a teprve pozdějším vývojem došlo k rozšíření o partnerské obchodní procesy. Primárně však model eTOM je určen pro obchodní útvary podniku, kterým by měl pomoci naplnit obchodní požadavky interních procesů. Hlavním důvodem vzniku procesní mapy byla nutnost vytvoření procesního standardu používaných telekomunikačními společnostmi, kterým přináší následující výhody:

- Vytvoření unifikovaného schématu
- Vytvoření základních procesních elementů a klasifikačního schématu

³⁹ TNA= Technology neutral architecture

⁴⁰ TAM= Telecommunication application map

⁴¹ ITIL-IT Infrastructure Library

- Slovník terminologie k unifikaci telekomunikačních pojmů
- Sjednocení klasifikačních nástrojů obchodních analytiků

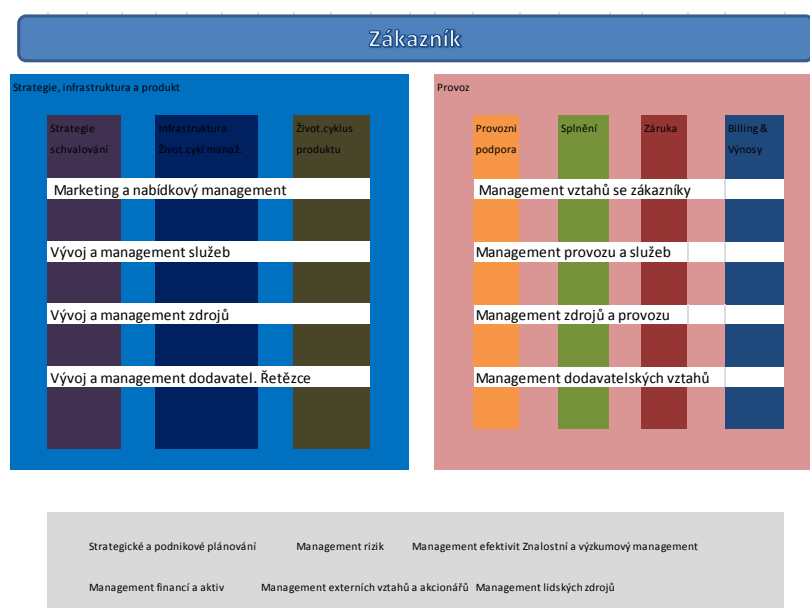
5.3.3 Principy procesní mapy

Procesní mapa eTOM představuje logický celek obsahující unifikované obchodní procesy a jejich vzájemné závislosti. Celky jsou tvořeny procesy a procesními elementy dle příslušných podnikových aktivit. Počet procesů a elementů se mění v závislosti na stupni zanoření v procesní mapě. Uplatňuje se zde princip dekompozice, jehož benefitem je definice podnikových procesů do unifikovaných modulů. Dokumentace mapy zahrnuje pouze tři úrovně abstrakce k ponechání dostatečné volnosti při návrhu podnikových procesů. Nultá úroveň abstrakce je definována hlavními obchodními činnostmi daného operátora. Zde mapa poskytuje znázornění tří hlavních procesních oblastí:

- Strategie, infrastruktura a nabízené služby
- Provozní procesy
- Podnikového řízení

Základem procesního modelu e-TOM jsou provozní procesy vykonávané denně k podpoře služeb a zákazníků. Charakteristická je skutečnost, že jde o často opakované procesy. Sousední oblast strategie, infrastruktura a produkt zahrnuje procesy k vytváření strategie společnosti, procesy plánování a rozšiřování infrastruktury a procesy tvorby a údržby dodavatelského řetězce. Poslední významnou oblastí je podnikový management, kde procesy jsou sdíleny napříč celým podnikem a jsou důležité k podpoře ostatních činností. Především jde o personální a finanční řízení společnosti.

Obrázek 6: Procesní model eTOM⁴² [Obrázek autora]



⁴²

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:EtomLevel0.png>

Na obrázku jsou také zobrazeny podrobnější procesní skupiny. První skupina trh, produkt a zákazník zahrnuje procesy obchodní a marketingové činnosti. Dle analýzy trhu poskytují zákazníkovi pouze produkty, o které má zájem. Především se jedná o nabídkové procesy produktů a procesy řízení vztahů se zákazníkem. Skupina služby obsahuje procesy incident managementu, vytváření a konfigurace služeb a stanovení cen za poskytované služby. Skupina zdroje se zabývá budováním a správou podnikové infrastruktury spojenou s poskytovanými produkty a službami. Blok dodavatel/partner doplňuje podnikové procesy o vazby s dodavateli a obchodními partnery při tvorbě a údržbě dodavatelských řetězců.

Pro úplný konceptuální popis obrázků je nutná také deskripce interních a externích entit generující dodavatelsko-odběratelské vazby. Jedná se o následujících 5 entit:

- Zákazníci (primární zájem společnosti)
- Dodavatelé (zajišťují zdroje)
- Partneři (spolupracují na podnikových cílech)
- Zaměstnanci (snaha dosahovat podnikových cílů)
- Akcionáři (očekávají výnos)

5.4 SID

Informačně datový model k deskripci komplexních obchodních aktivit pro datové architektury a architektury OSS systémů je využíván pro svoji možnost volby různých informačních pohledů. SID je element rámce NGOSS a složí současně jako slovník k unifikaci definic, odborných termínů a ke sjednocení komunikace při samotné implementaci či návrhu systému a zajištění efektivity.

Obchodní entita je objekt hlavního zájmu obchodního oddělení v organizaci. Bývá nejčastěji popisována v odborné literatuře pomocí jejích vlastností a v praxi je mnohdy charakterizována samotným zákazníkem, který interaguje s ostatními obchodními entitami. Agregovaná obchodní entita reprezentuje funkční soubor více obchodních entit pomocí dekompozice a vzájemnou interakcí obchodních entit sdílí jeden společný cíl. Soubor více agregovaných entit se nazývají domény a tvoří konzistenci mezi procesní mapou eTOM a modelem SID. Umožňuje architektům analyzovat konkrétní problém z hlediska více možných pohledů k zajištění relevantní analýzy a přijetí následných opatření. Úhly pohledu se obvykle rozdělují na dvě velké skupiny související s druhem analýzy:

- Procesní hledisko
- Datové hledisko

Obchodní entita je objekt hlavního zájmu obchodního oddělení v organizaci. Bývá nejčastěji popisována v odborné literatuře pomocí jejích vlastností a v praxi je mnohdy charakterizována samotným zákazníkem, který interaguje s ostatními obchodními entitami. Agregovaná obchodní entita reprezentuje funkční soubor více obchodních entit pomocí dekompozice a vzájemnou interakcí obchodních entit sdílí jeden společný cíl. Soubor více agregovaných entit se nazývají domény a tvoří konzistenci mezi procesní mapou eTOM a modelem SID. Umožňuje architektům analyzovat konkrétní problém z hlediska více možných pohledů:

- Procesní hledisko
- Datové hledisko

5.5 TNA

Společně s elementem Contract Interface pomáhají tyto elementy NGOSS při analýze implementace existujících či nových OSS systému do již funkčních telekomunikačních poskytovatelů služeb. Pomocí TNA definované standardy pomáhají architektům k vývoji systémů, které lze v souladu s normami provozovat. Normy obsahují sice obecné a nezávislé manuály k technologiím, avšak při jejich dodržení není problém se samotnou implementací specifické architektury OSS systémů telekomunikační infrastruktury. Pro definici aplikačních rozhraní (interface) a technologických postupů mezi jednotlivými moduly informačních systémů se využívá element rozhraní kontraktu. V praxi se jedná o seznam technologických požadavků, postupů a povinností pro zachování kontinuity přenosu dat mezi moduly systému, které musí smluvní strany respektovat. Aplikační programové rozhraní je v dnešní době jeden z nejvýznamnějších elementů zákaznického přizpůsobení již hotových komplexních ICT řešení a bývá mimo ceny předmětem nejtvrděších vyjednávacích taktik z obou stran.

5.6 NGOSS soulad

Nástroj k posouzení, zda námi navržené řešení je v souladu či v rozporu s obdobnými systémy v odvětví se nazývá NGOSS shoda. Hlavním cílem elementu je tvorba kritérií pro závěrečné hodnocení OSS systému, zda je v souladu se standardem rámce NGOSS. Zahrnuje také testovací scénáře k identifikaci problémů před spuštěním systému do ostrého provozu, neboť se tím snižuje pravděpodobnost, že nově implementovaný systém nebude kompatibilní se stávajícím technologickým prostředím telekomunikačního operátora. NGOSS soulady bývají běžně využívány při subdodávkách od více výrobců jako podklad předávacích dokumentací.

6. Standardy smart grid

Potřeba standardizace v souvislosti s velkým průmyslovým rozvojem v 19. století vyústila v ustavující schůzi 26. června 1906 a založením mezinárodní elektrotechnické komise IEC⁴³ pro definování standardů napříč státy. V současné době jsou její členové tzv. národní výbory jednotlivých členských států. Přípravuje, a po odborné diskuzi vydává mezinárodní standardy pro všechny elektrické, elektronické a elektromechanické technologie. Zajišťuje také posuzování shody, zda dané zařízení je či není v souladu s mezinárodním standardem. Při svých rozhodnutích úzce spolupracuje Mezinárodní organizací pro standardizaci (ISO) a s Mezinárodní Telekomunikační Uníí (ITU). Soubory norem zahrnují velmi širokou oblast lidské činnosti:

- Výroba energie, přenos a její distribuce
- Telekomunikace
- Polovodičová technika
- Technologie ukládání elektrické energie
- Solární energie
- Nanotechnologie
- Mnoho dalších

Rozvodná síť pro střídavý proud byla od roku svého vzniku roku 1896 koncipována pro jednosměrný přenos elektrické energie. Následný bouřlivý vývoj ve 20. století v oblasti výstavby elektráren nakonec vedl ke spojení mnoha metropolitních distribučních sítí do jedné z důvodu zajištění bezpečnosti dodávek pro spotřebitele. Pro kvalitní řízení bylo zavedeno dálkové ovládání velkých spotřebičů pro odfiltrování energetických špiček plynoucí z diametrálně rozdílné velikosti distribuční soustavy a počtu zdrojů. Od poloviny 20. Století vystupuje do popředí opětovná potřeba zvýšení energetické bezpečnosti. Vhodná alternativa se ukázala propojení státních distribučních soustav, avšak s ponecháním řízení v jednotlivých státech. Propojování odlišných soustav vytvořilo poptávku pro standardizaci a následné používání unifikovaných zařízení. Na počátku 21. století se podstatně zvýšila možnost využití nových technologií v energetických soustavách a související poptávka po unifikaci samozřejmě neúměrně vzrostla.

Oblast inteligentních energetických napájecích soustav s úzkým propojením výroby, distribuce a konečné spotřeby se objevuje již od 80 let 20. století, kdy byl poprvé použit automatický odečet od zákazníků až k vynalezení technologie chytrého měření v roce 1990. Mohutným vývojem procházejí v této souvislosti normy a standardy plynoucí z nového druhu komunikace uvnitř rozvodné sítě. Nová síť významně zvyšuje datový tok směrem od spotřebitele k operátorovi energetické sítě.

⁴³ IEC= Komise électromechanique internationale

Současně se harmonizují technické standardy a normy pro mezinárodní spolupráci při přepětí či podpětí v síti pro zajištění interoperability a sjednocení typů elektrických zařízení. Z toho důvodů byly zavedeny nebo upraveny následující mezinárodní normy.

Chytrá vrstva komunikační infrastruktury představuje přidanou hodnotu celého systému. Primárně jde o výměnu dat mezi chytrým elektroměrem a rozvodnou 110kV, neboť představuje centrální místo geografických oblastí. Propojením s elektroměry systémem PLC nebo GSM/GPRS umožňují vazbu přípojných bodů s páteří úrovní energetické soustavy, která je připojena dále k systému SCADA. S páteří sítí je také spojena metropolitní inteligentní síť propojující jednotlivé lokální sítě na úrovni smart grid oblastí, kterých může být ve smart grid regionu několik. Pomocí unifikované hierarchické struktury datové sítě pomocí standardů je implementace nových technologií jednoduchá.

Na fyzické infrastruktuře budou vybudovány virtuální sítě dle již existujícího standardu 802.1X, které bezpečným virtuálním způsobem oddělují různé komunikační sítě a zajišťují tak předem definované parametry služby (QOS). Předpokládá se využití základních VLAN pro ochranné účely energetické sítě (GOOSE komunikace mezi IED a DTS) a k řízení jednotlivých prvků distribuční soustavy, sběr požadavků a odečet z elektroměrů či log událostí z dalších měřicích prvků. Jednotlivé virtuální sítě se na základě druhu komunikace budou odlišovat virtuální sítí a použitým protokolem. Primární protokol ke komunikaci bude ethernet, který je pro svoji univerzálnost podporován napříč různými komunikačními technologiemi. Proto budou v datové a komunikační síti používány TCP/IP a pro ochrany energetické sítě protokoly založené na IEC 61850 (GOOSE).

6.1 IEC 60870

Z důvodů zavedení technologie Smart Grid byly přijaty nové standardy IEC 60870 a IEC 61850 pro harmonizaci vyšších požadavků při vzájemné interakci řízení výroby, distribuce a spotřeby elektrické energie. Doporučují využití běžných komunikačních sítí na bázi „ethernet“ a vycházejí z telekomunikačního principu master and slave. První z nich sjednocuje komunikační protokoly určené pro systémy dálkového řízení a systém SCADA⁴⁴. Přesně vymezuje komunikační protokoly pro dálkové ovládání zařízení a soustav. Primárně jde o protokoly s principem sériového přenosu s binárním kódováním. Prakticky se využívají především při přenosu dat mezi energetickými dispečinkami (dohledová centra elektráren a rozvodů).

6.2 IEC 60850

Druhý standart IEC 61850 harmonizuje automatizační procesy elektrických rozvodů. Cílem při jeho návrhu bylo umožnit vznik automatických systémů, kde spolu bude probíhat komunikace mezi

⁴⁴ SCADA=Supervisory Control and Data Acquisition in energetical systém

zařízeními různých výrobců (IED⁴⁵). Komplexně pak budou zajišťovat nejen ochranu rozvodny, ale také umožní provozní dohled, měření a regulaci dané rozvodny. Přesně definuje vzájemné komunikační rozhraní, protokoly a datové modely. Velkým benefitem je, že protokoly z IEC 61850 používají vlastnosti „ethernetu“ a umožňují snadnou implementaci podnikové IT infrastruktury, která je vybudována na stejném principu. Každé zařízení připojené v režimu klient dokáže ovládat provoz na síti a komunikovat s každým zařízením IED. Dokáže ale také vysílat hromadná data do systému SCADA s aktuálními a historickými údaji každého IED zařízení v síti. Podstatné v této oblasti jsou protokoly GOOSE⁴⁶ a GSSE⁴⁷. GOOSE je událost v rozvodně, kdy jsou stavová data a proměnné seskupeny do unifikovaného datového rámce a přenášeny v předem definovaných časových intervalech. Cílem návrhu byla náhrada běžných zařízení k logickému řízení, které koordinuje komunikaci po vnitřní sběrnici rozvodny. V případě detekce události vyše zařízení přenos všesměrovým vysíláním k ostatním zařízením, která mají oprávnění tyto informace přijímat. GSSE je událost v rozvodně s přenosem pouze stavových dat. Informace se nepřenášejí jako datový objekt, ale pouze jako stavové seznamy řetězce bitů.

6.3 IEC 61968

V oblasti distribuce elektrické energie se pro usnadnění integrace mezi aplikacemi používá soubor norem IEC 61968. Definuje komunikační standardy, formáty, a rozhraní aplikací pro harmonizaci výměny systémových dat. Soubor norem je důležitý pro volně sdružené aplikace, neboť s rostoucí rozmanitostí jazyků, operačních systémů a protokolů roste důraz na jejich vzájemnou zastupitelnost. Převážně se celý komplex norem zaměřuje na systém řízení distribuce elektrické energie s cílem sledování a řízení unifikovaných zařízení pro bezpečnou dodávku elektrické energie, automatické řídicí procesy proti hromadným výpadkům, regulace napětí sítě, řízení spotřeby a řízení automatizovaných procesů. Celý soubor norem je velice důležitý pro podporu integrace napříč aplikacemi programového vybavení energetického operátora. Na tomto poli se uplatňuje nutnost harmonizace evropské direktivy EN61968 do českého práva. Primárním účelem návrhu normy bylo umožnění hromadné výměny dat aplikačního softwaru řízení energetické soustavy.

6.4 IEC 61970

Základní soubor pokynů a norem pro řízení energetických systémů definuje standardy pro jednotlivá rozhraní aplikačních programů. Byl navržen pro usnadnění aplikační integrace a ke větší flexibilitě systémové výměny informací nutných pro řízení energetické sítě. Současně také unifikuje implementaci nových systémů do stávajících prostředí energetických operátorů. Celý soubor norem IEC61970 obsahuje následující části:

- Obecné zásady a požadavky
- Terminologie

⁴⁵ IED= intelligent electrical device

⁴⁶ GOOSE= Generic Object Oriented Substation Event

⁴⁷ GSSE= Generic Substation State Events

- Obecný informační model CIM
- Specifikace rozhraní komponent
- Technologické mapování

6.5 MODBUS

Inteligentní energetická soustava bude automaticky primárně zaměřena na spolupráci s infrastrukturou velkých odběratelů elektrické energie, neboť v souladu s řízením rozvodné sítě musí kooperovat řízení průmyslové technologie daného podniku. Jednoduché sdílení čidel pomocí sériové linky do počítače, který naměřená data přenáší do dispečerského systému (SCADA), který data analyzuje a následně zasílá povely k řízení prvků v distribuční soustavě. Pro řízení průmyslových technologií se nejčastěji využívají otevřené komunikační protokoly pro vzájemnou komunikaci různých zařízení a umožňující přenos dat různými formami. V průmyslové sféře se nejvíce používá protokol MODBUS. Jeho výhodné vlastnosti jako jednoduchost, bezpečnost a spolehlivost se používají u síťových prvků v oblasti nízkého napětí. Na sběrnici může být v jeden okamžik pouze jedno zařízení master, které komunikuje, a ostatní zařízení mu odpovídají, případně vznášejí dotaz na volnou sběrnici. Datové pakety zápisu jsou určeny výhradně pro odesílání dat a neumožňují posílání dalších parametrů. Pro přenos se využívají běžná komunikační rozhraní informační technologie:

- MODBUS Ethernet (TCP/IP)
- MODBUS Serial (RS-232, RS422, RS 485, optické a rádiové přenosy)
- MODBUS Plus

Modbus ethernet (TCP) je nejrozšířenější varianta otevřeného komunikačního protokolu určeného pro automatický dohled a kontrolu zařízení v průmyslu. Nejčastější použití je implementace MODBUS modulu do stávající síťové infrastruktury podniku. Umožňuje velký počet souběžných spojení. Naproti tomu varianta MODBUS Plus, která je vysokorychlostní lokální sítí pro průmyslové řídicí aplikace, umožňuje komunikaci pro kontrolu a sledování na vzdálených místech v průmyslovém provozu (až 450m) bez použití opakovače.

Poslední varianta MODBUS Seriál preferuje režim sériové linky 19200 baudů po 8 datových bitech. Nejčastěji komunikuje po rozhraní RS-485. Definuje dva sériové vysílací režimy, které určují technologické parametry přenosu a především však jejich komunikační rychlost a formát posílaných dat:

- MODBUS RTU (rychlá a spolehlivá komunikace)
- MODBUS ASCII (pomalejší přenos, málo používaný)

6.6 Shrnutí

Budoucí chytrá energetická síť bude silně závislá na obousměrné výměně dat spotřebitele a poskytovatele elektrické energie. Pro zajištění efektivní komunikace prvků smart grid sítě a odběratele je nutné zajistit nejen unifikovanou komunikaci mezi data koncentrátorem a jednotkami RTU⁴⁸ pro řízení a regulaci toků výkonů, ale také standardizaci na poli řízení jednotlivých spotřebičů pomocí chytrých elektroměrů, neboť vybudovat komunikační infrastrukturu pro rychlé připojení/odpojení jednotlivých spotřebičů by bylo velmi nákladné a vysoce neefektivní. Současně by docházelo k přetěžování energetické sítě náběhovým rázem po výpadku elektrické energie, neboť by náběh nemohl být odložen na dobu menšího přepětí v síti. Proto musejí být inteligentní elektroměry jednotky s individuálním řízením na základě požadavků od energetické sítě. V praxi bylo na základě provedených a instalovaných studií již mnohokrát ověřeno, že řízení výroby v synergii s řízením spotřeby v malé oblasti jedné trafostanice snižuje požadavek k nadřazené energetické síti ke krytí podpětí až o 80% ve srovnání s konvenčním způsobem řízení.

Vzhledem k rozsáhlosti a komplexnosti celé problematiky inteligentních sítí nelze rámce pro řízení distribuční energetické sítě jednoduše převzít z telekomunikační oblasti a aplikovat na pole energetické distribuce, ale je nutné věnovat se simulacím. Pomocí pokročilých algoritmů je možné namodelovat reálný provoz včetně interakcí spotřebitelů na zavedení dynamických tarifů a jejich následné úpravy s ohledem na elasticitu poptávky. Na základě dosud provedených simulací bylo prokázáno, že aplikace telekomunikačních principů je možná na poli chytrých energetických sítí.

⁴⁸

<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43720.pdf>

7. Simulace

Modelování předpokládaného reálného provozu ve Smart Grid sítích lze uskutečnit pomocí různých softwarových nástrojů. Cílem je deskripce jednotlivých simulačních nástrojů včetně teorie s nimi spjaté ideálních prostředků pro použití v energetických sítích a představení výsledků simulací, které na daných prostředcích byly provedeny a odborné veřejnosti následně představeny. Doposud provedené simulace zdokumentované v odborné literatuře konstatují, že k nejvýznamnějším deformacím digitálních signálů technologií PLC dochází při modulaci digitálního signálu na vedení a při následném přenosu se již digitální signál deformuje pouze nepatrně. Zatížení energetické sítě prakticky neovlivňuje přenosovou funkci digitálního signálu. Největší zdroje rušení představují spínací polovodičové prvky spínající velké proudy, stykače, zářivky a motory.

8.1 Matlab

Nejvíce dostupný simulační software představuje program MATLAB⁴⁹. Jde o interaktivní programové prostředí vyvíjené společností Mathworks určené pro vědeckotechnické účely. Před 10lety měl program MATLAB přes 1milión registrovaných uživatelů především z řad vědeckých pracovníků a studentů. Primární oblastí k modelování jsou především technické obory a ekonomie. Umožňuje nám inženýrské výpočty, implementaci algoritmů, počítačovou simulaci, následnou analýzu a prezentaci dat. Současně nám poskytuje možnosti vývoje tvorby vlastních aplikací, respektive grafického rozhraní. Pro účely modelování inteligentních energetických sítí jsou nejvhodnější především nadstavby Simulink a Simscape, které umožňují modelování napříč mnoha odvětvími, především však v elektrické a fyzikální oblasti. Simulace však nejčastěji slouží jako základ či funkce dalších komerčních programů, které jsou více kompatibilní s interním prostředím běžných firemních prostředí. V oblasti Smart Grids se proto hlavní vývojový proud ubírá jiným směrem a matlab je využíván spíše pro laboratorní účely.

8.2 Multi-agent-systém

Oblíbeným prostředkem na poli umělé inteligence jsou multiagentní systémy (MAS), jejichž vznik se připisuje Rodney Brooksovi, který poprvé popsal princip autonomního agenta. Charakteristickými rysy MAS systémů jsou následující vlastnosti plynoucí z jejich samotné podstaty:

- Každý agent má nekompletní data a schopnost řešit pouze lokální úlohu
- Globální řízení celého systému neexistuje
- Naprostá decentralizace dat
- Asynchronní výpočtová simulace

Vzájemnou součinností agenti vytvářejí předem definované systémy, které představují simulované prostředí naprogramované v jazyce Java s agenty, které se vzájemně ovlivňují. Jsou předurčeny pouze k provádění předurčených funkcí a nestarají se o celkový cíl simulace. Modelování Smart Grid

⁴⁹ MATLAB=matrix laboratory

v MAS je decentralizované. Pro každé agenta (mikrogrid=bytové domy) se asynchronně počítají výsledné hodnoty představující normální chování spotřebitelů. Výhoda spočívá v podstatě prostředí, tj. není nezbytná kalkulace všech zařízení do jediné simulační rovnice. Zvyšující se zájem o MAS plyne z možnosti jejich využití:

- Řešení problémů nemožných řešit konvenčními metodami
- Řešení komplexních problémů se vzájemnými interakcemi
- Řešení problémů autonomních komponent
- Prostorově distribuovaných informačních zdrojů
- Řešení systémů s distribuovanou znalostí
- Zlepšení výkonu napříč dimenzemi

V praxi se aplikace MAS definuje jako multiagentní modelování, které zahrnuje především návrh a implementaci. V některých praktických aplikacích je velice obtížné definovat a zformovat konkrétní problémy k řešení.

8.3 GridIQ

Modelování reálného provozu je nejčastěji vytvořeno také pomocí MAS. GridIQ však využívá MAS s limitujícími možnostmi simulace. Pomocí mostů mezi agenty (domy) a analýzu počítajícím nástrojem představují ideální možnost simulace v energetických sítích. Díky velké variabilitě možností simulace a provázanosti s programem MATLAB byl jako nástroj zvolen „Power System Analysis Toolkit“. Vývojové prostředí pro agenty bylo zvoleno „Java Agent Development Framework“. Pomocí programu Grid IQ ve společnosti General Electric byly modelovány a vyvinuty aplikace nutné ke spuštění inteligentních energetických sítí v pilotním provozu:

- Pokročilá měřicí infrastruktura, Systém řízení výkonu
- Systém řízení distribuce, Systém řízení výpadků
- Distribuční a podružná automatizace
- Systém kontrol a ochran distribuční sítě i jejich zdrojů
- Konektivita přenosu a distribuce, SCADA automatizace

8.4 Gridlab-D⁵⁰

Při hlubším hledání byla nalezena další možná varianta – program GridLab-D od firmy Pacific Northwest National Laboratory. Simulační nástroj byl vytvořen na základě poptávky Ministerstva Energetiky USA a v úzké součinnosti s akademickou obcí a energetickými operátory. Využívá prostředí multiservisních agentů s výrazně lepším uživatelským rozhraním v grafické podobě. Jde o vysoce flexibilní multiagentní řešení, které modeluje nejen distribuční síť elektrické energie, ale zároveň také všechny synergické jevy, které by distribuční síť mohli ovlivňovat. Dokáže modelovat chování několika milionů zařízení s odlišným chováním každého z nich na základě naměřených hodnot z reálného provozu americké energetické soustavy. Software si vytvořil reálné profily spotřebitelů sběrem dat od koncových zařízení a umožňuje nejen předpovídat energetické špičky, ale vhodně nastavenou cenovou politikou je dokáže i snižovat. Současně automatizovanou kontrolou toků elektrické energie generuje příčiny (alarmy) ke vzniku energetických operací, které automaticky regulují napětí v každém bodu energetické sítě. Benefitem je také dohled inteligentních elektroměrů v online režimu a zlepšení zákaznické technické podpory. Software GridLAB-D je hojně využíván především pro:

- Design automatické distribuce

Poskytuje analýzy a podporu pro návrh nového designu sítě s cílem automatizace distribuční sítě k optimalizaci volt – ampérových charakteristik, efektivní dostupnosti a detekce chybových jevů s automatickou obnovou služby bez zásahu operátora energetického systému. Současně při návrhu přihlíží k návratnosti investic a budoucímu rozvoji distribuční sítě pro její snadné rozšiřování po etapách.

- Řízení špičkového zatížení

Současná energetická síť trpí především neduhem špičkového zatížení a regulace odběru systémem HDO vede ke skokovému přepínání energetických výkonů. Simulací chování odběratelů elektrické energie lze porozumět spotřebitelskému chování na základě elastické poptávky po elektrické energii a následně vytvořit algoritmus k vyhlazení výkonových špiček odběru elektřiny, lepší předpověď budoucího stavu sítě každý den a přijmout nápravná opatření vč. změny designu sítě k minimalizaci vyráběné a spotřebovávané energie.

- Řízení výroby a ukládání elektrické energie

S rozvojem nových zdrojů elektrické energie vzrůstá nestabilita její výroby. Počet zdrojů elektrické energie se exponenciálně zvyšuje se solárními elektrárnami, výrobou elektřiny pomocí kogeneračních jednotek přímo v místě spotřeby a čím dál více roste potřeba samotné součinnosti mezi elektrárnami. Software otevírá možnosti plánování a řízení výroby i spotřeby v závislosti na nabídce a poptávce (ceně elektrické energie). Také umožňuje ekonomické předpovědi finančních parametrů (výnosy, zisky, ...) dle nastavených vstupních proměnných (mzdový medián, průměrný volný kapitál v domácnosti, ...).

- Strukturovaná analýza ceny

⁵⁰

http://www.gridlabd.org/brochures/20090902_gridlabd_brochure.pdf

Vzhledem k tomu, že odebíraná elektrická energie je vyráběna v poměru dle energetického mixu (poměru dle elektráren, které ji aktuálně vyrábějí), je možné na základě elastické poptávky spotřebitelů regulovat i cenu vyráběné energie při podpětí v síti. Také umožňuje akumulovat různé nabídky výroby elektřiny a rozhodnout se v nejlepší okamžik k jejímu akceptování pro nejnižší cenu na trhu.

Simulační software Grid-LAB-D obsahuje speciální modul k modelování chování nejen spotřebičů, ale i spotřebitelů dle nastavených parametrů pro celý rezidentní segment k provedení relevantní detailní analýzy předpokládaného zatížení konkrétních energetických uzlů v závislosti na spotřebitelském chování při nastavených cenách za odebranou elektrickou energii. Simuluje několik typických spotřebičů elektrické energie u odběratelů pro optimální předpověď stavu v síti:

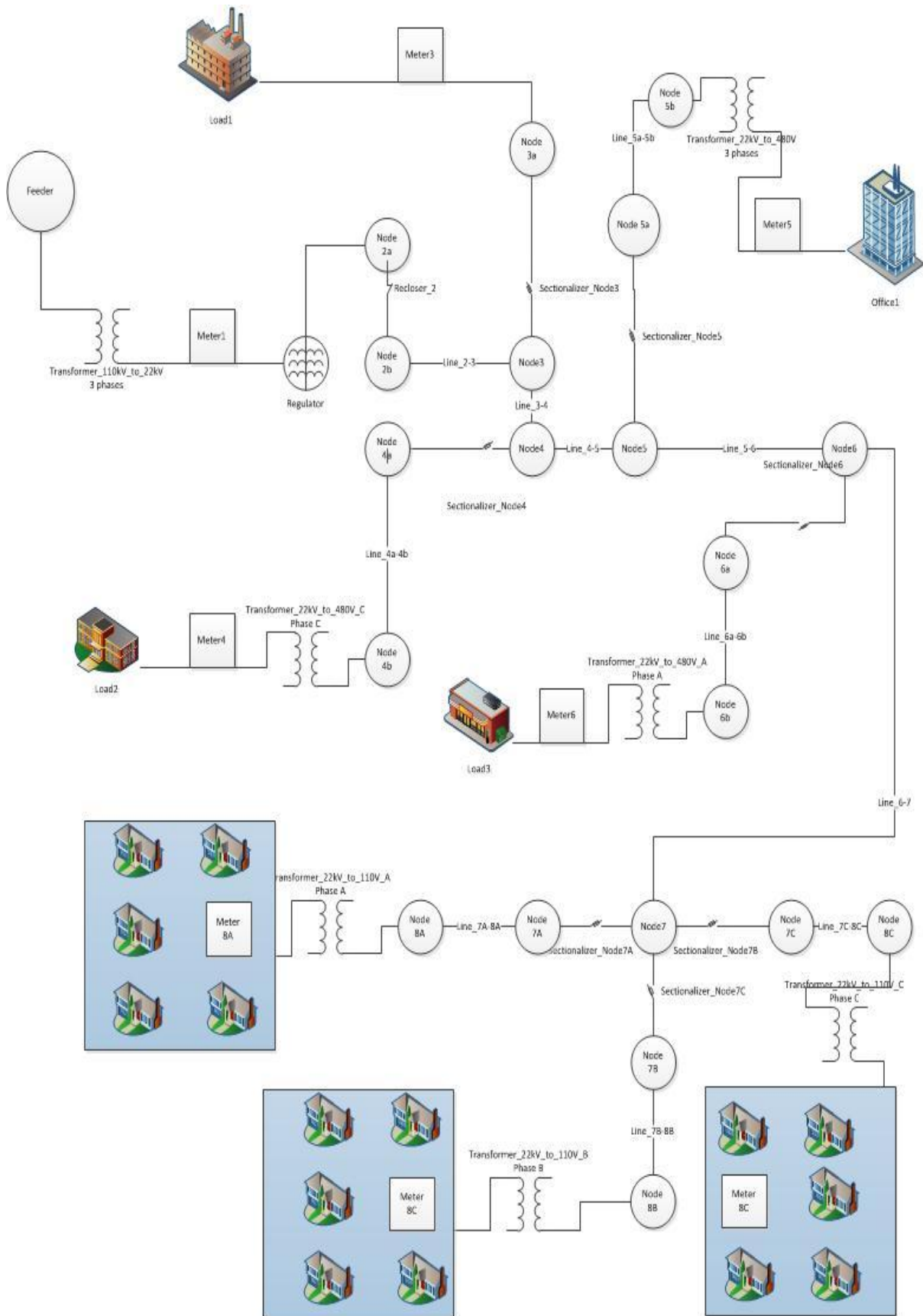
- Ohřev vody
- Světelné prvky
- Myčky nádobí
- Varné desky/sporák
- Mikrovlnné trouby
- Vytápění/ chlazení domu

Se schopností modelovat typické spotřebiče v každé domácnosti umožňuje software studovat a předpovídat vytížení energetické sítě a porovnávat jeho změny v závislosti na konečné ceně elektrické energie. Interakce v mezích reálné ekonomiky, zákaznického chování s dopadem na reálný distribuční systém nám umožňují přesně předpovídat dopady na konkrétní rozvodné prvky energetické soustavy a tvorbou ceny tak optimalizovat spotřebu elektrické energie.

8.5 Praktická simulace v programu Grid-LAB-D

Na základě referencí z odborné literatury byl pro simulaci zvolen program vyvinutý a používaný americkým ministerstvem energetiky k modelování jednotlivých etap implementace inteligentních energetických sítí. Bylo zvoleno řešení odpovídající průměrně zatížené energetické rozvodně na našem území. Kombinace obytných čtvrtí, kancelářských budov, úřadů a továrních čtvrtí. V každém objektu byl instalován chytrý elektroměr pro bezobslužný monitoring sítě. Pro kontrolu všech parametrů sítě jsme umístili odečítací kontrolní body před skupiny objektů s podobným časovým chováním odběru elektrické energie. Zdroj naší sítě tvořila elektrická rozvodna s jedním transformátorem 110kV/22kV a šesti koncovými transformátory 22kV/400V.

Obrázek 7: Schéma simulované energetické sítě [Obrázek autora]



Deskripce jednotlivých bodů:

- Feeder – zdroj napětí 22kV pro naši distribuční soustavu. V běžné distribuční soustavě jsou diverzifikovány zdroje přívodu pomocí pospojení (kaskádou) s minimálně dvěma dalšími zdroji
- Transformer – umožňují změnu napětí při přechodu z jednoho distribučního uzlu do druhého. Je možné také modelovat parametry v závislosti na teplotě a stáří zařízení
- Node – základní objekt sítě, který umožňuje propojování různých částí sítě
- Link – spojení objektů v síti
- Line – napěťové linky v distribučním vedení. Rozdělují se na nadzemní (overhead) a podzemní (underground) vedení
- Meter – představuje vícefázový měřák
- Regulator – regulátor napětí sítě
- Recloser – rozpojovač sítě, který při zkratu odpojí obvod a po předem definované době zkusí obvod připojit s limitovaným počtem pokusů připojení
- Sectionalizer – sekčník, který při nulovém napětí rozepne obvod. Po odstranění poruchy je obsluhou opět spojen
- Load – zátěž sítě (spotřebič)
- House – dům se spotřebiči a spotřebitelským chováním
- Office – komerční objekt a spotřebiče včetně spotřebitelského chování

Měřené parametry:

- A - Fáze A ze třífázového zapojení
- B - Fáze B ze třífázového zapojení
- C - Fáze C ze třífázového zapojení
- S - Fáze Split – v rezidentním segmentu N a PE vodič
- N – Nulový vodič
- G – Zemní vodič

Objekt uzel:

```
object node {      name NodeOne;
                   phases ABC;
                   nominal_voltage 7200.0;
                   voltage_A 7200.0+0d;
                   voltage_B 7200.0-120.0d;
                   voltage_C 7200.0+120.0d;
                   bustype PQ;
                   }
```

Objekt vedení:

```
object link {name Node1toNode2;
             phases ABC;
             from Node1;
             to Node2;      }
```

Objekt zemní vedení:

```
object underground_line { name Node1toNode2;
                          phases ABC;
                          from Node1;
                          to Node2;
                          length 5280;
                          configuration An_underground_line_cfg;}
```

Objekt transformátor:

```
object transformer {name xfrmr_709_775;
                   phases "ABC";
                   from node_709;
                   to node_775;
                   configuration xfrmr_config_400;
                   use_thermal_model TRUE;
                   climate Seattle;
                   aging_granularity 300;
                   percent_loss_of_life 20;}
```

Konfigurace objektu transformátor:

```
object transformer_configuration {
    name xfrm_config_400;
    connect_type SINGLE_PHASE_CENTER_TAPPED;
    install_type PADMOUNT;
    power_rating 500;
    primary_voltage 4800;
    secondary_voltage 480;
    full_load_loss 0.006;
    no_load_loss 0.003;
    reactance_resistance_ratio 10;
    core_coil_weight 50;
    tank_fittings_weight 60;
    oil_volume 5;
    rated_winding_hot_spot_rise 80;
    rated_top_oil_rise 30;
    rated_winding_time_constant 0.5;
    installed_insulation_life 175200;
    coolant_type MINERAL_OIL;
    cooling_type OA;
}
```

Objekt spotřebič (zátěž):

```
object load {
    phases "ABCD";
    name 841;
    constant_current_C -0.586139+9.765222j;
    constant_impedance_B 221.915014+104.430595j;
    constant_power_A 42000.000000+21000.000000j;
    nominal_voltage 4800;
}
```

Objekt elektro meter:

```
object meter {name Mtr1;
    phases ABC;
    nominal_voltage 4800.0;
}
```

Objekt regulátor:

```
object regulator_configuration {      name reg_conf_79978101;
  connect_type 2;
  band_center 122.000;
  band_width 2.0;
  time_delay 30.0;
  raise_taps 16;
  lower_taps 16;
  current_transducer_ratio 350;
  power_transducer_ratio 40;
  compensator_r_setting_A 1.5;
  compensator_x_setting_A 3.0;
  compensator_r_setting_B 1.5;
  compensator_x_setting_B 3.0;
  CT_phase "ABC";
  PT_phase "ABC";
  regulation 0.10;
  Control MANUAL;
  Type A;
  tap_pos_A 7;
  tap_pos_B 4;      }
```

Konfigurace parametrů regulátoru:

```
object regulator_configuration {
  name reg_conf_79978101;
  connect_type 2;
  band_center 122.000;
  band_width 2.0;
  time_delay 30.0;
  raise_taps 16;
  lower_taps 16;
  current_transducer_ratio 350;
  power_transducer_ratio 40;
  compensator_r_setting_A 1.5;
  compensator_x_setting_A 3.0;
  compensator_r_setting_B 1.5;
  compensator_x_setting_B 3.0;
  CT_phase "ABC";
  PT_phase "ABC";
  regulation 0.10;
  Control MANUAL;
  Type A;
  tap_pos_A 7;      tap_pos_B 4;      }
```

Objekt rozpojovače sítě:

```
object recloser
{
  name recloser_2;
  phases "ABCN";
  from node_2a;
  to node_2b;
  retry_time 1s;
  max_number_of_tries 3;
}
```

Objekt sekčník::

```
object sectionalizer
{
  name Test_Section;
  phases ABC;
  phase_A_state CLOSED;
  phase_B_state CLOSED;
  phase_C_state CLOSED;
  operating_mode BANKED;
}
```

Objekt regulátor sítě:

```
object regulator
{
  name Reg799781;
  phases "ABC";
  from node_799;
  to node_781;
  configuration reg_conf_79978101;}
}
```

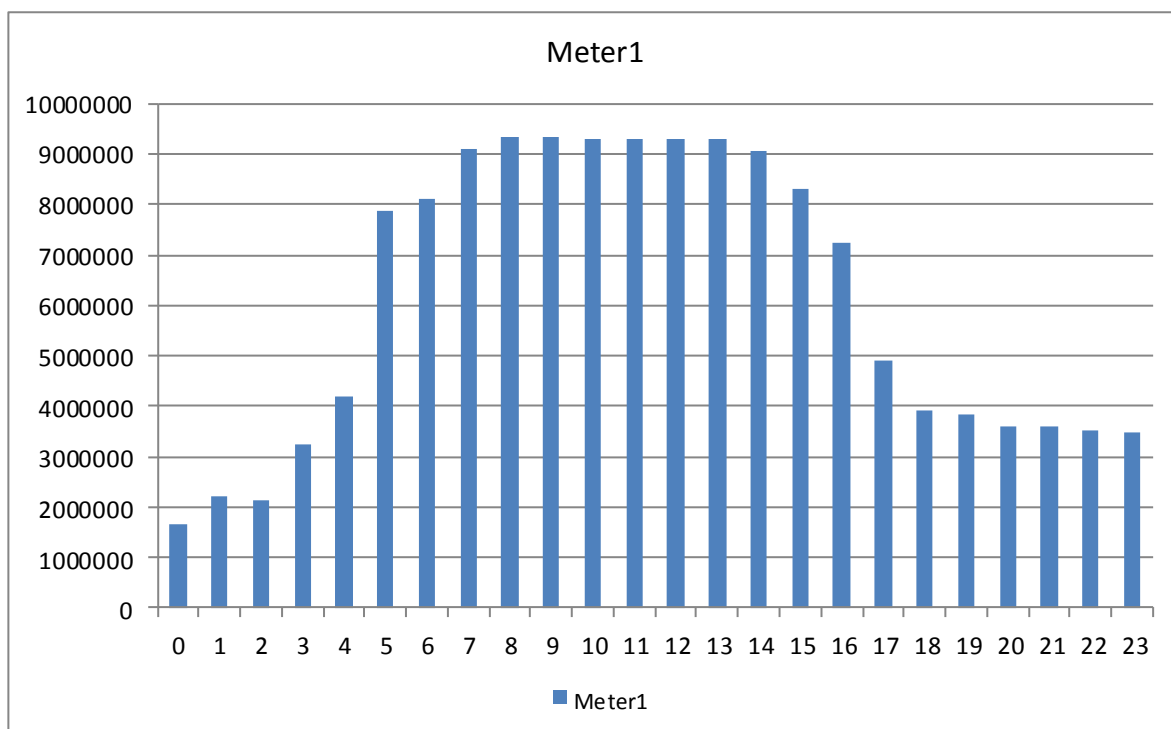
Měřené objekty:

- **Meter1** - měření celkově spotřebované energie v simulovaném chytrém regionu
- **Meter3** (load1) – simulace továrny – provoz na dvě směny v průběhu dne (6-18) s jednosměnným nočním provozem (18-24).
- **Meter4** (load2) – simulace rozlehlého školského areálu se špičkovou spotřebou (8-16)
- **Meter5** – modelování provozu kancelářské budovy se špičkovým odběrem v rozmezí 9-17
- **Meter6** (load3) – simulace obchodního centra

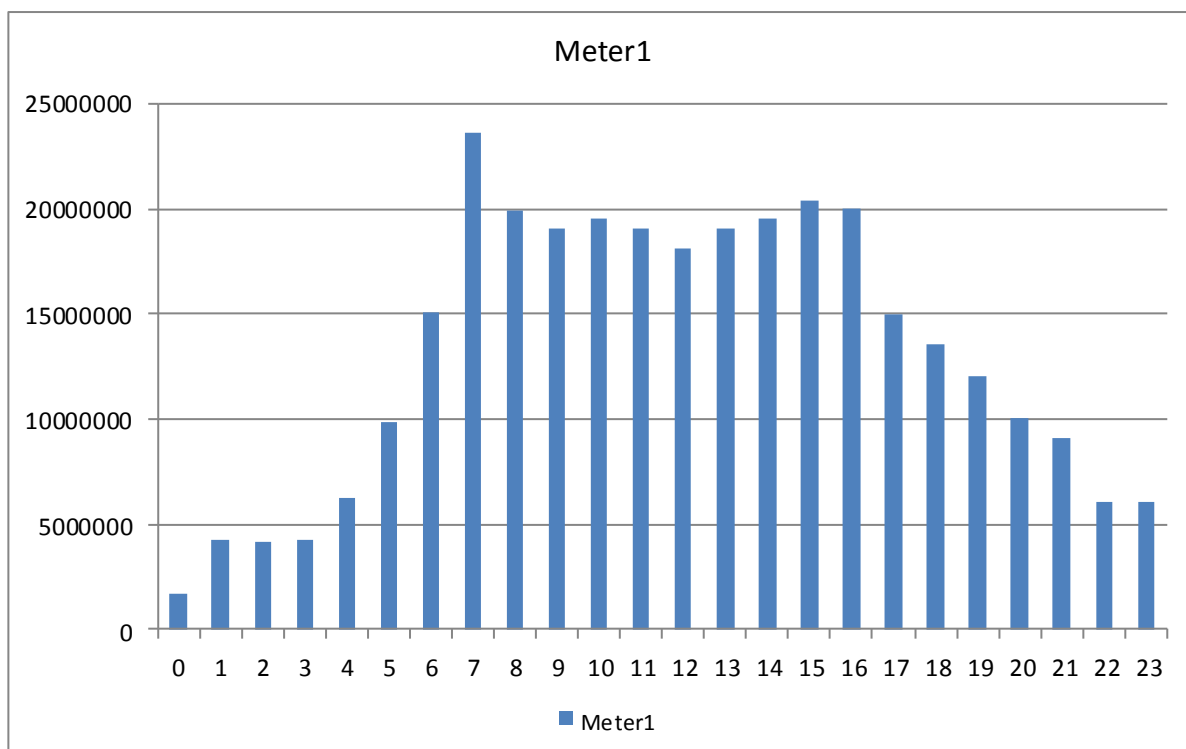
Simulace byla poměrně velmi náročná na výpočetní výkon. Na běžném počítači výpočet probíhal přibližně 6hodin čistého času. Výsledky simulace obsahovali přes 500MB dat. Pro potřeby názornosti diplomové práce jsme se zabývali dny s maximální a minimální spotřebou v modelovaném energetickém uzlu. Maximální spotřeba nastala dne 29.ledna se špičkovým odběrem. Vzhledem k pokročilým algoritmům simulačního software byly na meteru5 v průběhu dne s minimální spotřebou plánované práce a v průběhu dne s maximální spotřebou porucha. Proto nejsou výsledky na prezentovaných grafech zmíněny.

Bohužel simulační software je designován na prostředí americké rozvodné soustavy, která se odlišuje od naší rozvodné sítě především specifickým chováním spotřebitelů. Jedná se hlavně o masivní využívání klimatizačních jednotek v domácnostech. V České republice minimální odběry kolidují okolo druhé poloviny července (např. v roce 2011 24. července), neboť klimatizace má charakter luxusního zboží a v letních měsících spotřebitelé dávají přednost dovoleným či chalupářským aktivitám a většina spotřebičů je tedy mimo provoz. Proto v USA minimální odběr nenastává v letních měsících, ale v zimním období. Výsledky naší simulace ukazují minimální odběr elektrické energie 1. ledna a maximální odběr 29. ledna, čímž potvrzují teoretické předpoklady. Nutno podotknout, že minimální odběr první den úzce souvisí se státním svátkem, kdy většina podniků má uzavřené provozy a domácnosti odpočívají po silvestrovských oslavách. Navzdory nízkým lednovým teplotám tak dochází k nejnižší roční spotřebě.

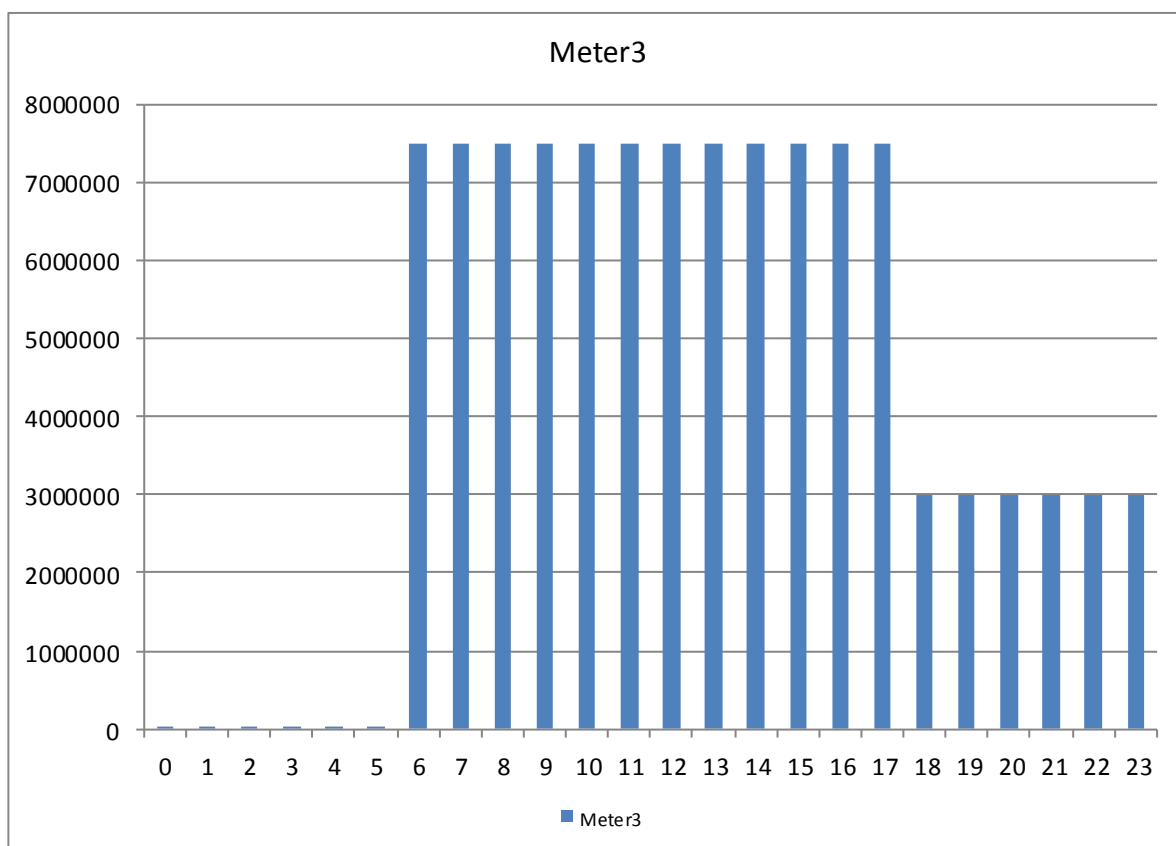
Graf 6: Spotřeba [W] Meter1 1.ledna [Graf autora]



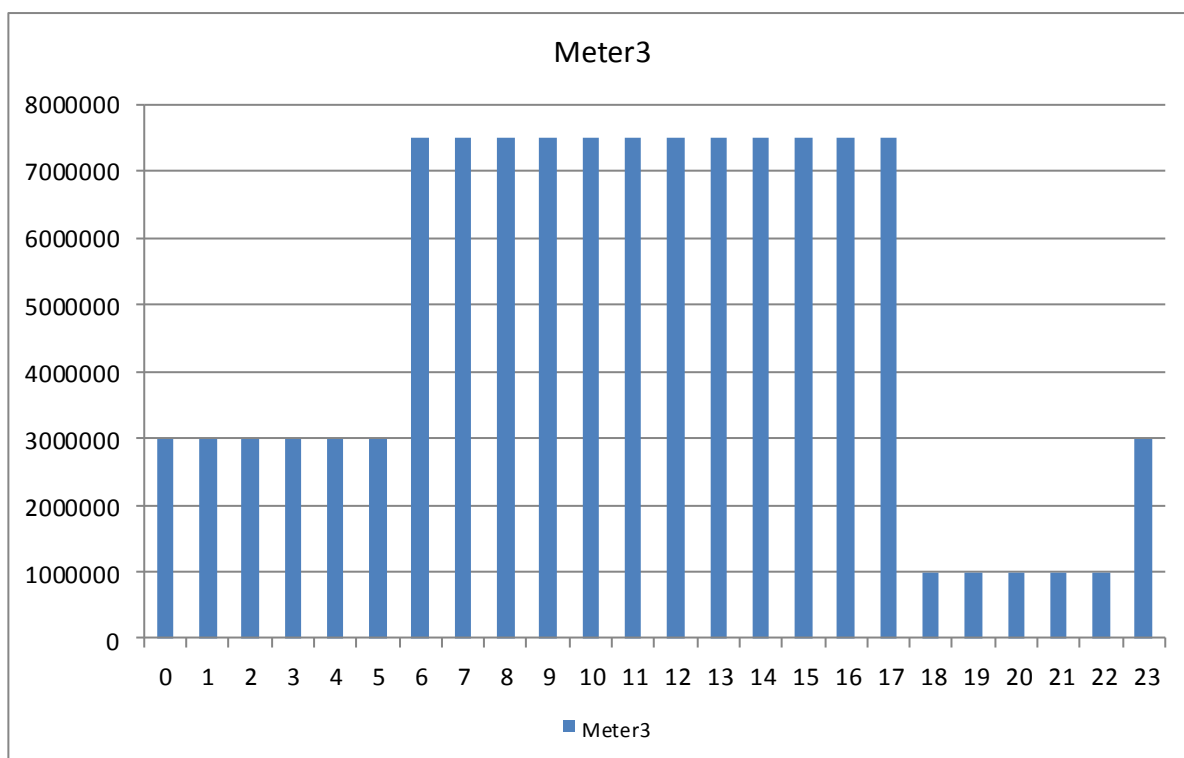
Graf 7: Spotřeba [W] Meter1-29.ledna [Graf autora]



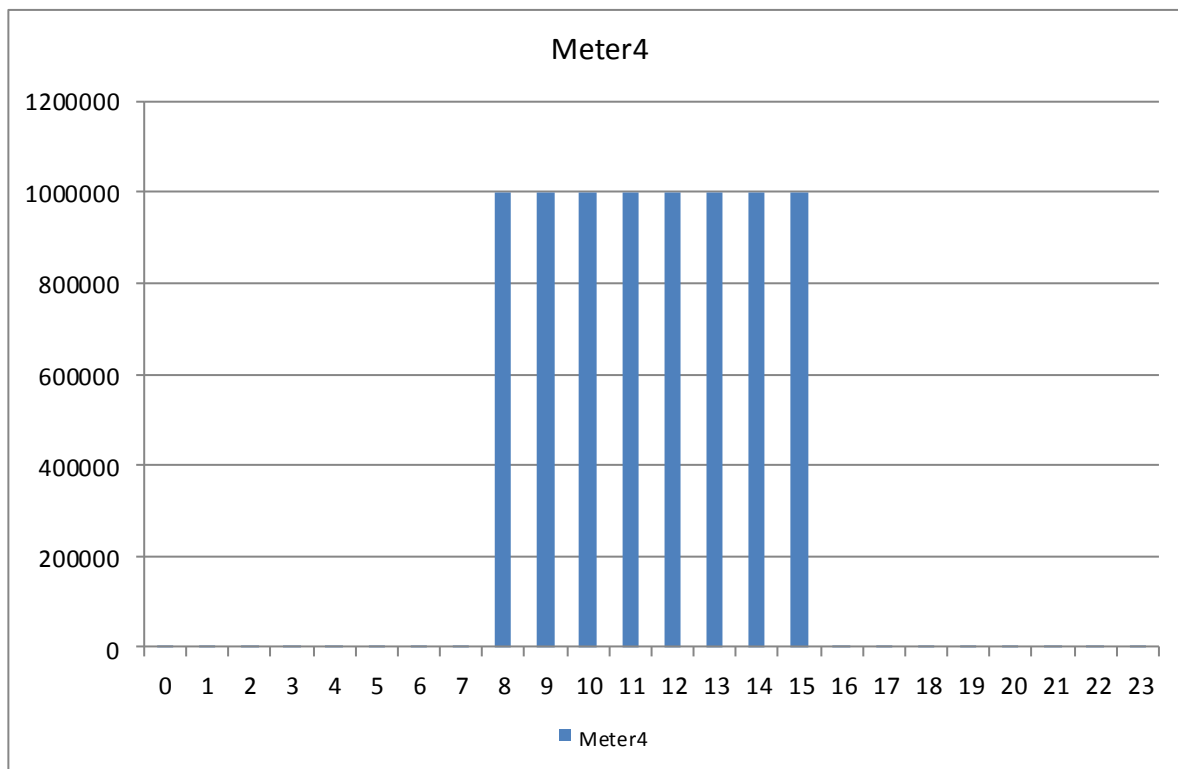
Graf 8: Meter3 [W] 1.ledna [Graf autora]



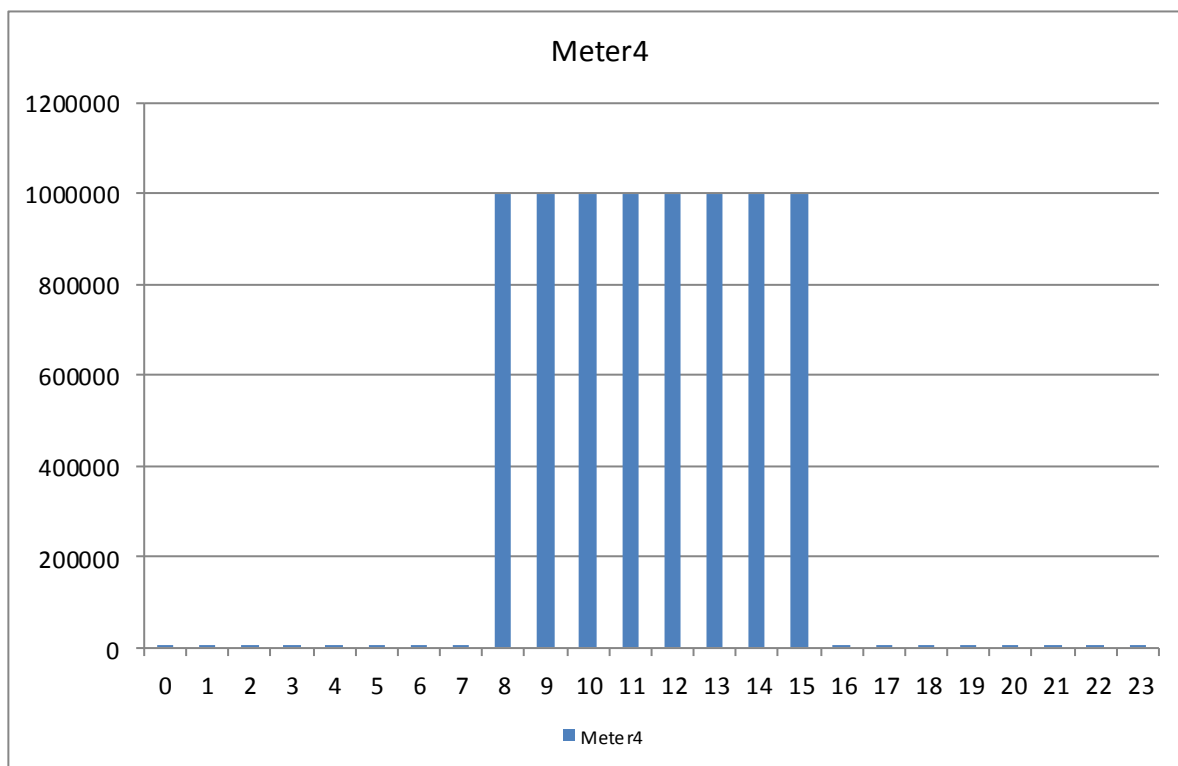
Graf 9: Spotřeba [W] Meter3-29-01 [Graf autora]



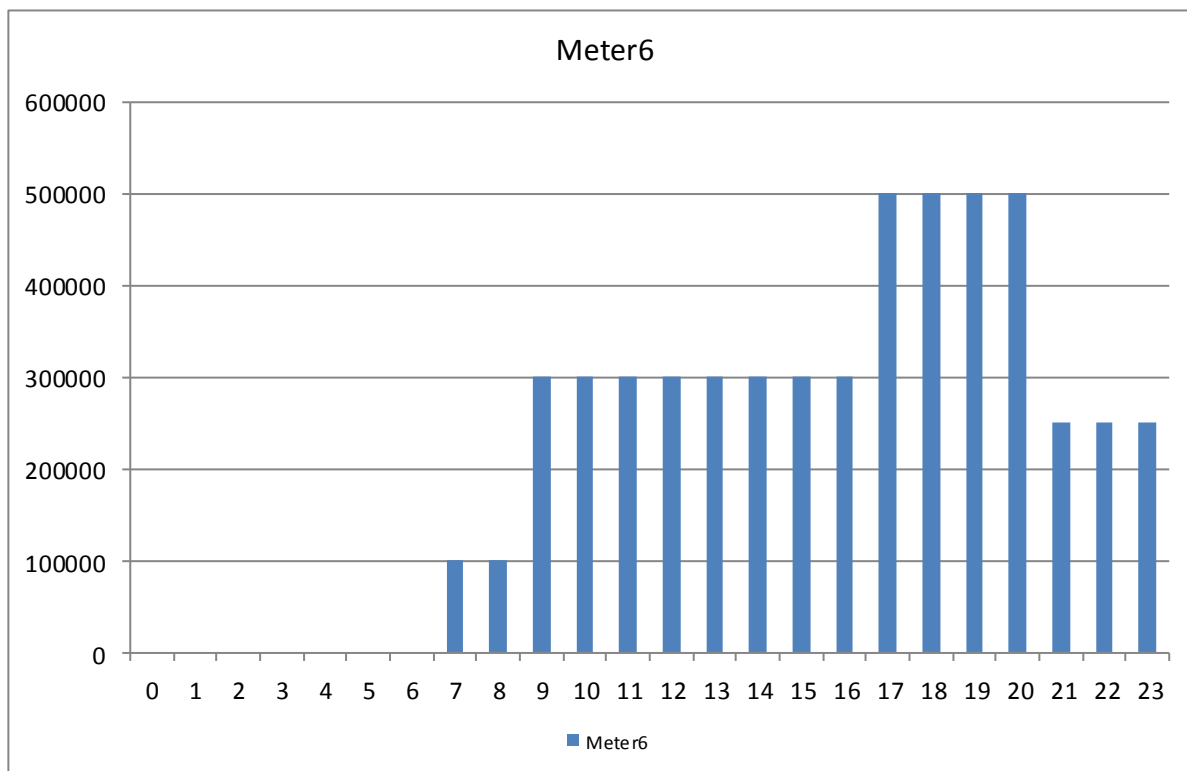
Graf 10: Spotřeba [W] Meter 4 1.ledna [Graf autora]



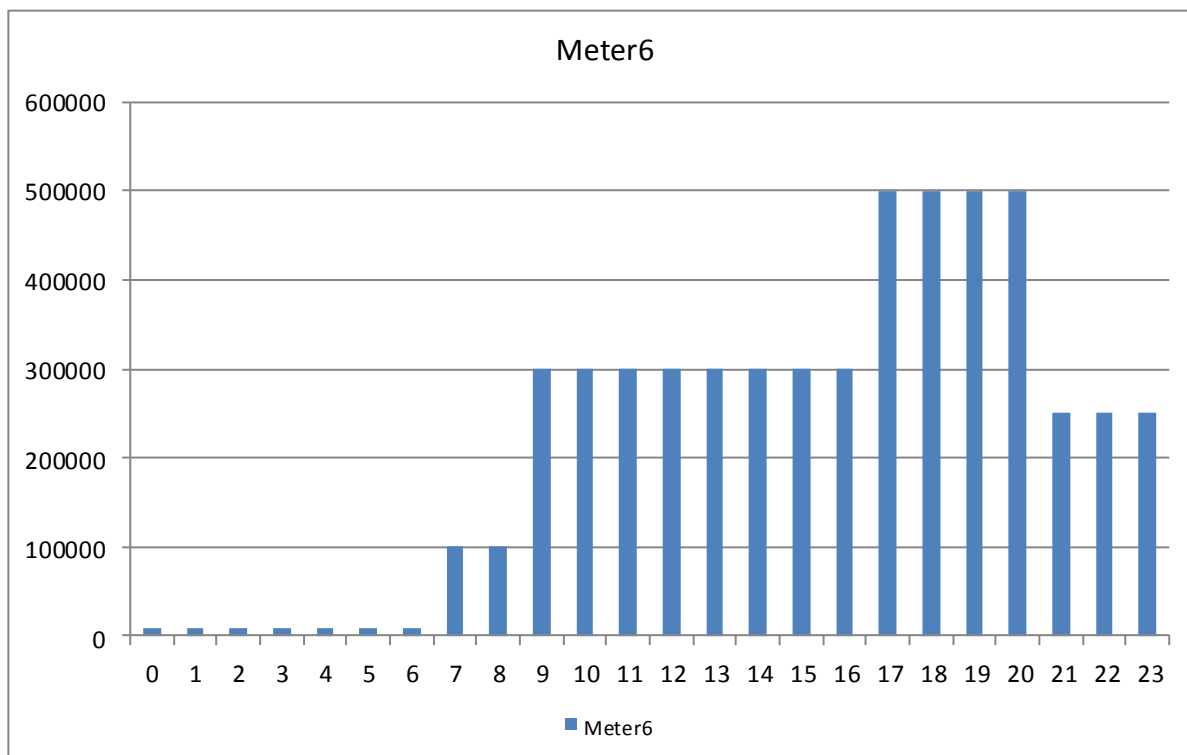
Graf 11: Spotřeba [W] Meter 29.ledna [Graf autora]



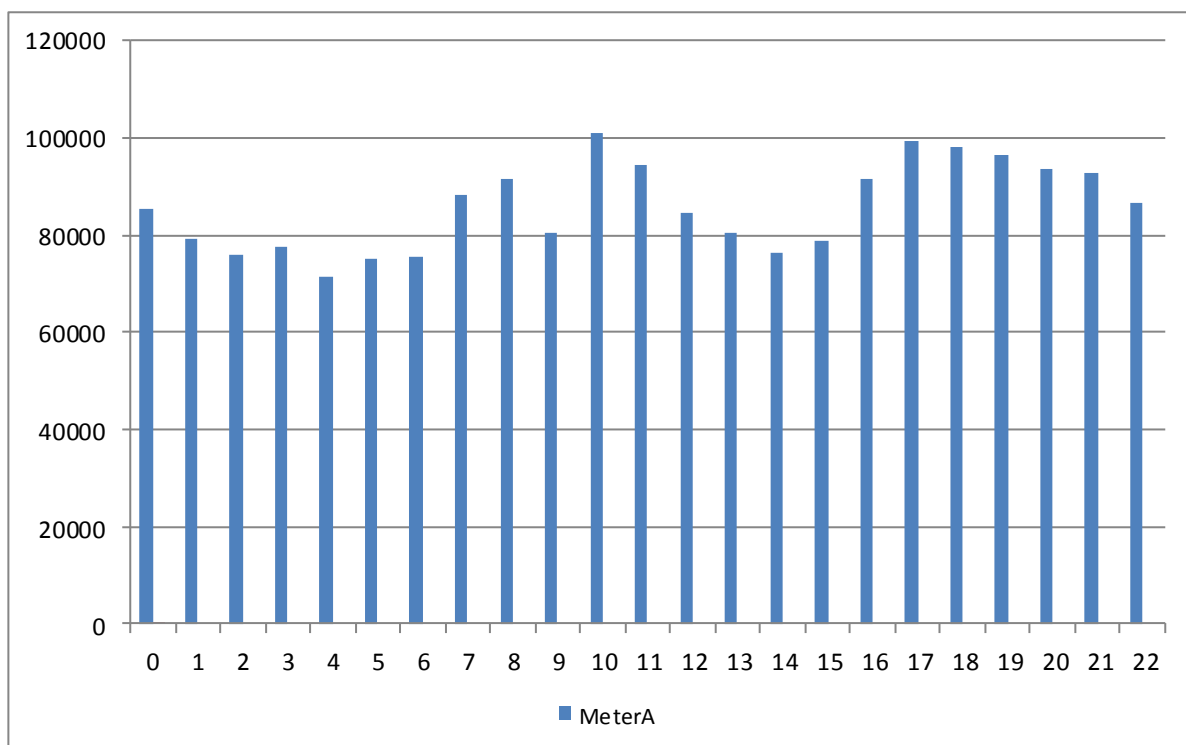
Graf 12: Spotřeba [W] Meter6:01.01 [Graf autora]



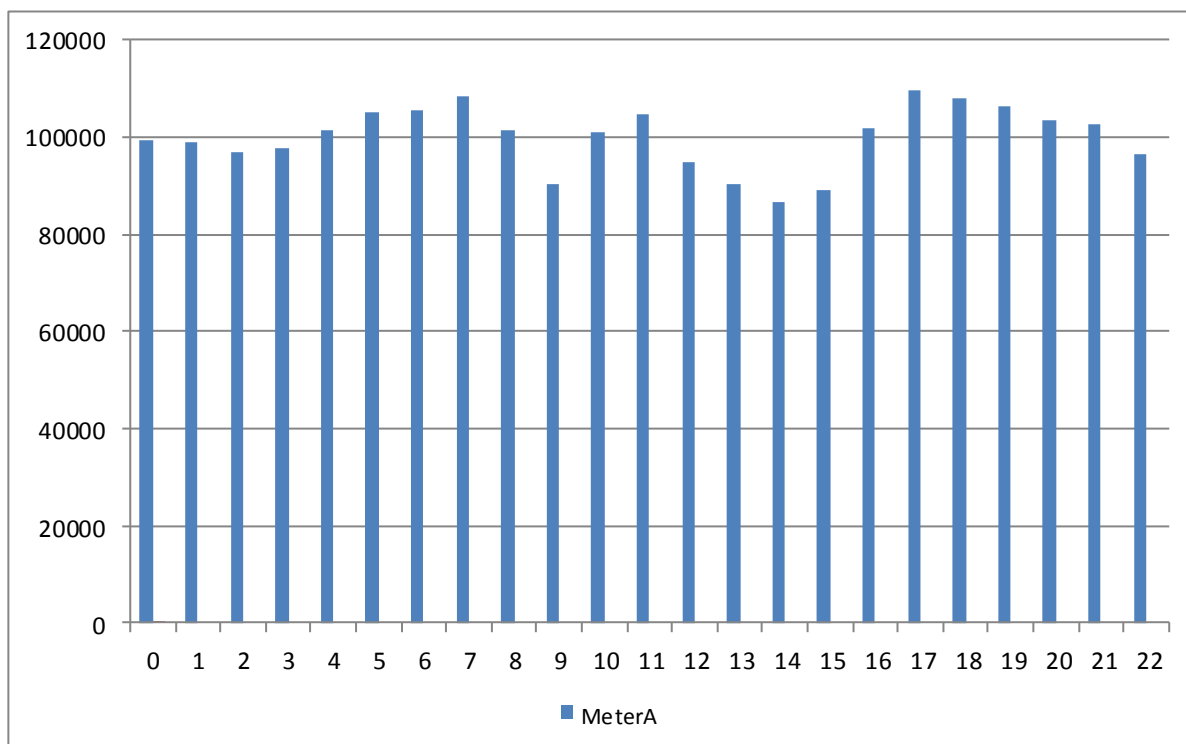
Graf 13: Spotřeba [W] Meter6-29.1 [Graf autora]



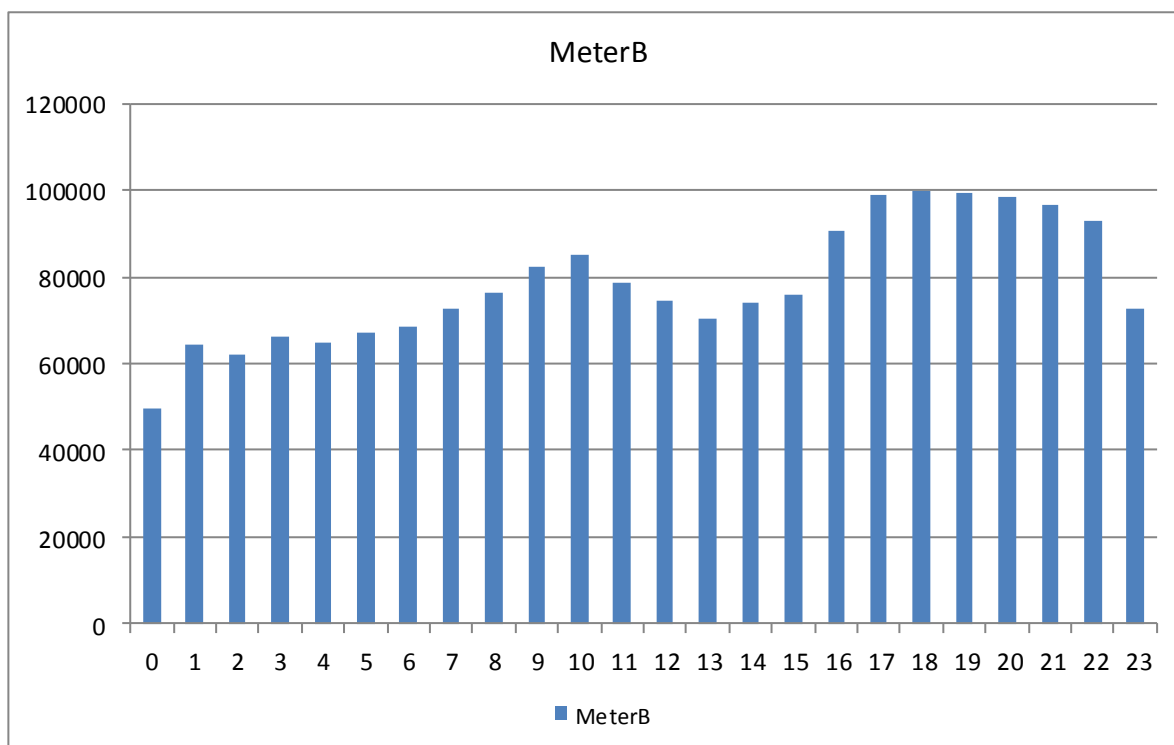
Graf 14: Spotřeba [W] Meter8A 1.ledna [Graf autora]



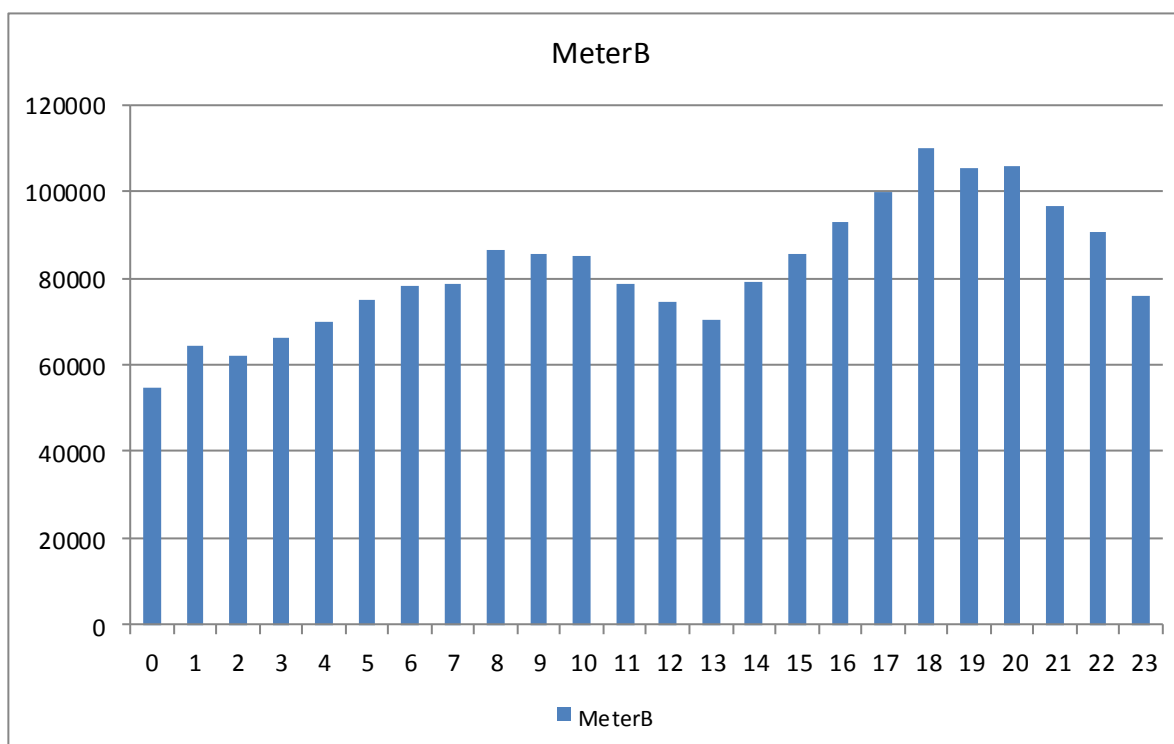
Graf 15: Spotřeba [W] Meter 8A 29.ledna [Graf autora]



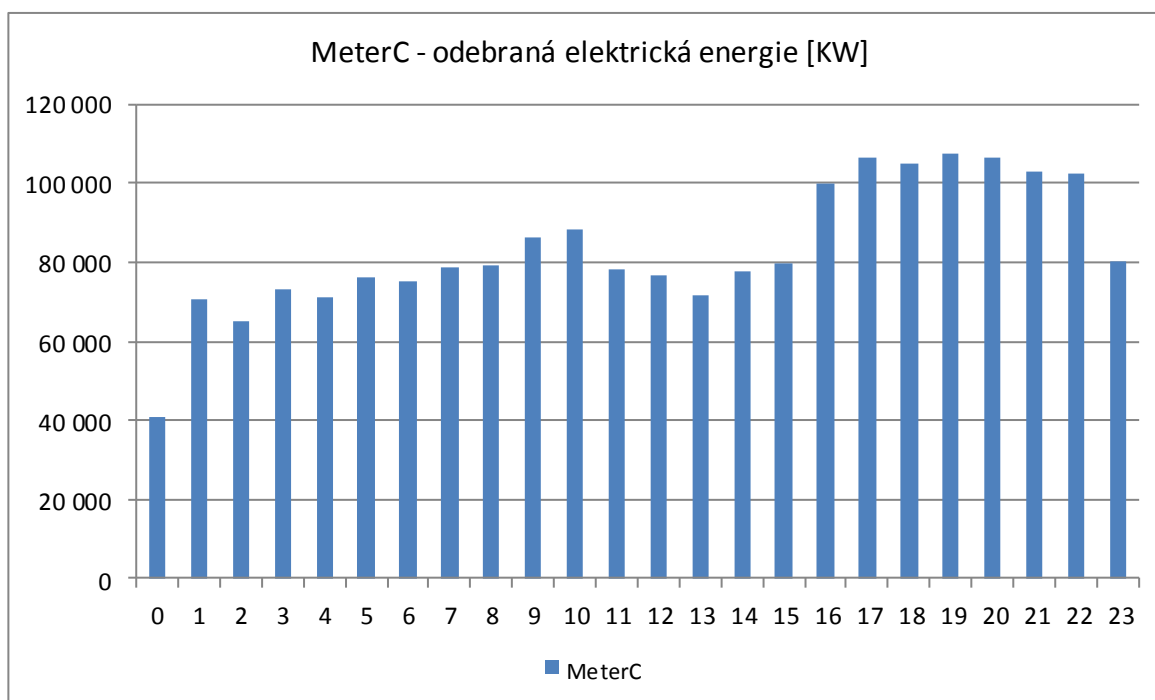
Graf 16: Spotřeba [W] Meter8B 1.ledna [Graf autora]



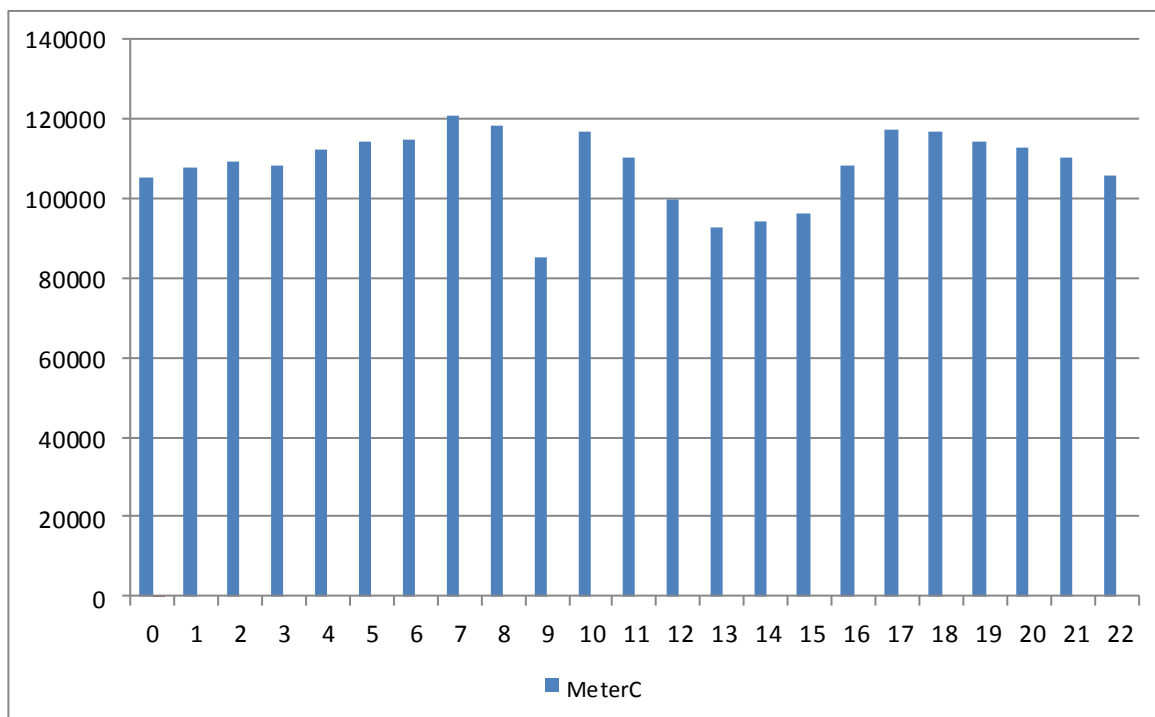
Graf 17: Spotřeba [W] Meter 8B 29.ledna [Graf autora]



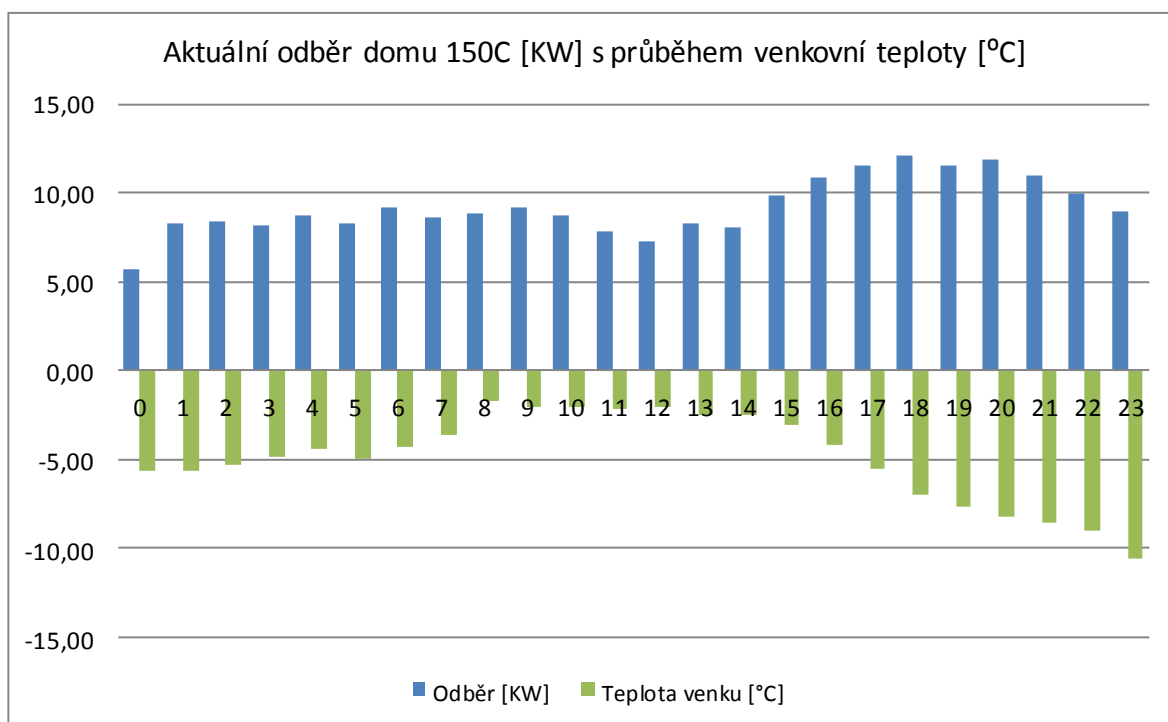
Graf 18: Spotřeba [W] Meter8C-01.01 [Graf autora]



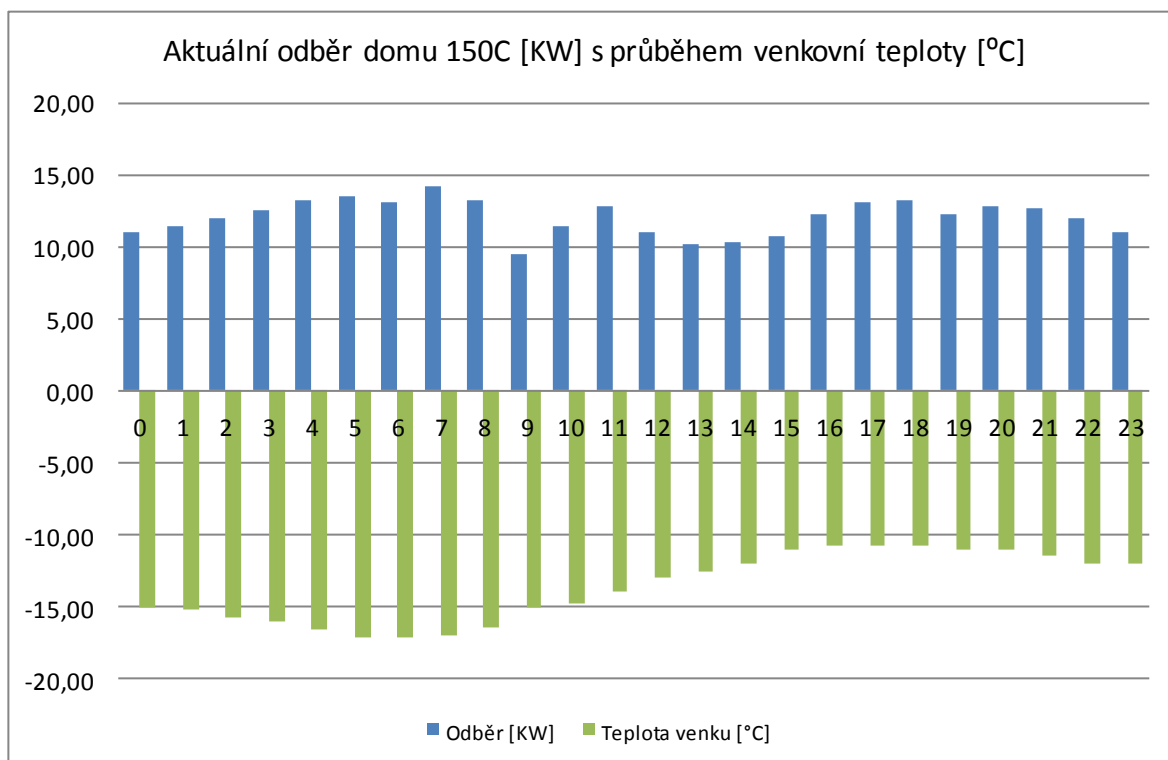
Graf 19: Spotřeba [W] Meter 8C 29.01[Graf autora]



Graf 20: Spotřeba [kW] Meter House_150 1.ledna s průběhem venkovní teploty [Graf autora]



Graf 21: Spotřeba [kW] Meter House_150 29.ledna s průběhem venkovní teploty [Graf autora]



Shrnutí

Primárním cílem diplomové práce bylo navržení a ověření hypotézy, že řízení energetických sítí je možné uskutečnit na základě procesů aplikovaných v telekomunikační oblasti. Po provedených simulacích lze konstatovat, že řízení inteligentních sítí na základě doposud aplikovaných principů je možné a byl udělán první krok k ověření. Namodelováním situace jednoho energetického uzlu (elektrické rozvodny) jsme v programu Grid-LAB-D vytvořili reálnou situaci. Aplikací chytré sítě do oblasti energetické distribuce může operátor s nízkou volatilitou přesně předpovídat odběr v každém energetickém uzlu. Předpovědi spotřeby mu umožní redukcí rozdílu mezi vyráběnou a spotřebovávanou elektřinou, která přinese nezanedbatelné zvýšení efektivity přenosové soustavy. Benefitem pro operátora energetické sítě bude také úplný přehled o odebíraném proudu v každém bodu sítě.

Implementace chytrých elektronických prvků na bázi protokolu TCP/IP do energetické soustavy přinese také zvýšení energetické bezpečnosti v souladu s aktuálně představenou zelenou knihou Evropské Unie⁵¹ v roce 2013. Kniha předpokládá, že mohutné investice v oblasti energetických sítí přinesou společnosti jako celku velkou návratnost ve střednědobém horizontu. Stejným směrem nahlíží také Státní energetická koncepce (SEK) České republiky, která si jako hlavní priority klade posílení role jádra při výrobě elektřiny s maximálním využitím zbytkového tepla, rozvoj ekonomicky efektivních obnovitelných zdrojů elektrické energie a hlavně zvýšení energetické bezpečnosti a odolnosti České republiky. První prioritou úzce souvisí s energetickým mixem naší republiky. Jaderná energie představuje s parními elektrárnami pilíř naší energetické bezpečnosti, který doplňují ostatní zdroje elektrické energie. Poslední dvě priority SEK zcela naplňuje nová generace inteligentních energetických sítí, která se v této dekádě plánuje vystavět napříč státy po celé Evropě. Musí být flexibilní a rychlou komunikací být připravena na řízení mnoha elektráren, neboť dle závazku EU bude pětina vyráběné energie na jejím území pocházet v roce 2020 z obnovitelných zdrojů (OZE). V této souvislosti je často zmiňován problém s nárazovou výrobou z OZE, neboť generují velké množství nepředvídatelných proudových špiček, které v současném režimu řízení energetické sítě snižují čas normálního stavu sítě a zvyšují dobu, kdy je energetická síť v přepětí/podpětí.

Chytré energetické sítě přispějí také k liberalizaci celého energetického trhu, která dále zvýší bezpečnost dodávek elektrické energie a umožní vstoupit novým hráčům na trh. (Dodavatelem OZE např. solární se může stát téměř každý občan). Proces vlastnického oddělení vlastníka rozvodné sítě a dodavatele elektřiny proběhl v České republice již dávno a volba dodavatele elektrické energie se pro mnoho našich domácností stala běžnou součástí života. V této souvislosti dochází ke konkurenčnímu snižování ceny a zlepšování zákaznických služeb napříč celým segmentem, neboť dodavatelé mezi sebou soutěží na trhu o odběratele elektrické energie.

⁵¹ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-274_cs.htm

Rozvoj inteligentních sítí se bude snažit neustále zvyšovat jejich inteligenci. Nyní většina výdajů energetických operátorů se zaměřuje na výstavbu a implementaci chytrého měření. V budoucnu se předpokládá podstatné rozšíření komunikace oběma směry s cílem zvýšení flexibility a zkrácení odezvy rozvodné sítě na jednotlivé události. Předpokládá se nejen plná funkcionalita s akumulátory v elektromobilech (PHEV), ale také komunikace s jednotlivými spotřebiči v domácnosti k dalšímu vyhlazení energetických špiček v daném rozvodném uzlu sítě. Tímto směrem se v současné době ubírá pozornost mnoha výzkumníků a vědeckých institucí.

Výzkum v oblasti energetických sítí bude směřovat do dalších oblastí parametrů u spotřebičů připojených do stejné zásuvky na základě jejich charakteristik (elektrických otisků) bez nutnosti použití snímačů. Umožňuje radikální snížení ekonomiky provozu a efektivní energeticky nenáročnou komunikaci nejen uvnitř budovy, ale i v rámci chytrých energetických sítí pomocí rádiových vln či optických a metalických sítí. Vynález se plánuje ve střednědobém horizontu implementovat přímo do inteligentního elektroměru, případně bude možné osazení na samotnou zásuvku. Umožní operátorům pomocí komunikace s chytrým elektroměrem komunikovat a regulovat přímo jednotlivé spotřebiče bez zvýšených požadavků na jejich logiku.

S rozvojem inteligentního měření spotřeby by mohlo být v krátké budoucnosti zavedeno dynamické určování ceny na základě aktuálního stavu energetické sítě. Bude tak umožněno energetickým společnostem přinést na trh nové flexibilní tarify s proměnou cenou a budou moci provozovat celý systém dodávek elektrické energie mnohem efektivněji. Zároveň velmi dobře informovaní spotřebitelé budou mít možnost dodávanou energii optimálně spotřebovávat odložením spotřeby samotné naprogramováním spotřebiče na sepnutí až v době levnější elektřiny. Ve střednědobém horizontu se předpokládá také vznik elektronických aukcí, kde si spotřebitelé budou virtuálně odkládat své nespotebované přebytky elektřiny úměrně dle zvolené tarify. S předstihem prostřednictvím internetové aplikace oznámí svůj úmysl například zítra spotřebovat větší množství energie a za to při spotřebě samotné budou elektrickou energii odebírat za minimální možnou cenu, neboť operátor energetické sítě s tímto odběrem bude počítat při plánování regulace.

Závěr

Moderní informační technologie se těší velké oblibě spotřebitelů. Inteligentní energetické sítě zapojí koncové spotřebitele do rozhodování o tom, zda spotřebu nemohou odložit a později spotřebovat za nižší cenu. Primárním cílem diplomové práce bylo navržení a ověření hypotézy, že řízení energetických sítí je možné uskutečnit na základě procesů aplikovaných v telekomunikační oblasti. Po provedených simulacích lze konstatovat, že řízení inteligentních sítí na základě doposud aplikovaných principů je možné a byl udělán první krok k ověření. Cíl diplomové práce byl splněn. Namodelováním situace jednoho energetického uzlu (elektrické rozvodny) jsme v programu Grid-LAB-D vytvořili reálnou situaci sedmi trafostanic se špičkovým odběrem 20MW. Při aplikaci inteligentního řízení v energetické síti nasimulované pomocí rozsáhlých algoritmů došlo k signifikantnímu snížení přepětí v síti generované v běžných špičkách reálného provozu energetického operátora a požadavek ke krytí podpětí při špičkovém odběru v našem mikroregionu na nadřazenou elektrickou rozvodnu klesl o více než 55%. Zároveň se snížila celková doba podpětí v síti. Redukcí času podpětí by při dynamickém určování ceny uspořil výrazně také spotřebitel elektrické energie, neboť v době podpětí je odebíraná elektrická energie nejdražší. Aplikací chytré sítě do oblasti energetické distribuce může operátor s nízkou volatilitou přesně předpovídat odběr v každém energetickém uzlu. Předpovědi spotřeby mu umožní redukcí rozdílu mezi vyráběnou a spotřebovávanou elektřinou, která přinese nezanedbatelné zvýšení efektivity přenosové soustavy. Benefitem pro operátora energetické sítě bude také úplný přehled o odebíraném proudu v každém bodu sítě, čímž dojde k významné eliminaci černých odběrů a v konečném důsledku ke snížení provozních nákladů.

Použité zkratky

ADSL	Asymetric Digital Subscriber Line
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMM	Advanced Metering Management
AMR	Advanced Meter Reading
BRKO	Biologicky Rozložitelný Komunální Odpad
BSS	Business Support System
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSD	Circuit Switched Data
CEN	European Committee for Standardisation
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CIM	Common Information Model
CRM	Customer Relationship Management
ČEPS	Česká přenosová soustava
DSL	Digital Subscriber Line
DSM	Demand Side Management
DSM IC	Demandable Safety Margin of Installed Capacity
ECS	Energy Control System
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIA	Environmental Impact Assessment
ERU	Energetický Regulační Úřad
ETOM	Enhanced Telecommunication Operation Map
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
ETSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
E2E	End to End

GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global Systém for Mobile Communication
GSSE	Generic Substation State Events
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
ICT	Information and Communication Technologies
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Inteligent Electrical Device
IEEE	Institute of Electrotechnical Commission
IP	Internet Protocol
ISO	International Standardization Organization
ITIL	Information Technology Infrastructure Library
ITU	International Telecommunication Union
NGOSS	Next Generation Operational Support System
NMT	Nordic Mobile Telephone
MATLAB	Matrix Laboratory
MAS	Multi Agent System
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MSC	Mobile Switching Center
OSGP	Open Smart Grid Protocol
OSS	Operational Support Systém
OZE	Obnovitelné Zdroje Energie
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PLC	Power line communication
QoS	Quality of Service
RTU	Remote Terminal Unit

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SETP	Strategy Energy Technology Plan
SGMS	Smart Grid Management System
SID	Shared Information Data Model
TAFIM	Technical Architecture Framework for Information Management
TAM	Technology Application Map
TCP	Transmission Control Protocol
TNA	Technology Neutral Architecture
VDSL	Very High Speed DSL

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ČEPS – *dispečerské řízení sítě* [online]. [2012] [cit. 2011-11-23]. Dostupný z WWW: http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Dispecerske_rizeni/Priprava_provozu/Documents/RPP2012.pdf
- [2] ERU – *zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu elektrické energie* [online]. [2011] [cit. 2012-05-31]. Dostupný z WWW: http://eru.cz/user_data/files/ERV/ERV3_2012konec.pdf
- [3] IBM – *Siestorage – modulární akumulční systém Siemens na českém trhu* [online]. [2012] [cit. 2012-05-09]. Dostupný z WWW: <http://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/press/releases/new/Main/62900.jet>
- [5] IBM – *Battery 500 – Project nové generace baterií* [online]. [2012] [cit. 2012-09-22]. Dostupný z WWW: http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smart_grid/article/battery500.html
- [6] ETSI – *Open Smart Grid Protocol* [online]. [2012] [cit. 2012-01-01]. Dostupný z WWW: http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/OSG/001_099/001/01.01.01_60/gs_osg001v010101p.pdf
- [7] ESNA – *Demonstrates On-going Commitment to Interoperability and Open Standards* [online]. [2012] [cit. 2012-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.esna.org/>
- [8] Netherlands Environmental Assessment Agency – *Trends in global CO₂ emission* [online]. [2012] [cit. 2012-07-18]. Dostupný z WWW: <http://www.pbl.nl/en/publications/2012/trends-in-global-co2-emissions-2012-report>
- [9] CISCO- *Introduction to eTOM* [online]. [2012] [cit. 2012-07-18]. Dostupný z WWW: http://www.cisco.com/en/US/technologies/collateral/tk869/tk769/white_paper_c11-541448.html
- [10] AUTOMA- *Jednotky RTU pro řízení distribuční sítě* [online]. [2011] [cit. 2011-07-06]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43720.pdf>
- [11] PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY- *GridLab-D Simulator* [online]. [2012] [cit. 2012-08-07]. Dostupný z WWW: http://www.gridlabd.org/brochures/20090902_gridlabd_brochure.pdf
- [12] EUROPEAN COMMISSION – *Long-term financing* [online]. [2012] [cit. 2013-04-08]. Dostupný z WWW: http://ec.europa.eu/internal_market/finances/financing-growth/long-term/index_en.htm
- [13] SKUPINA ČEZ – *Smart grids* [online]. [2012] [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: <http://futuremotion.cz/cs/uvod.html>

- [14] EDISON ELECTRIC INSTITUTE – Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective *[online]*. [2012] [cit. 2012-01-24]. Dostupný z WWW: http://www.aeic.org/meter_service/smartmetersfinal032511.pdf
- [15] PRICE WATERHOUSE COOPER. Smart from the start: Managing smart grid programmes *[online]*. [2012] [cit. 2011-05-4]. Dostupný z WWW: <http://www.pwc.com/gx/en/utilities/energy-supply/pdf/managing-smart-grid-programmes.pdf>
- [16] Černoch, Filip: Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU *[online]*. [2010] [cit. 2010-20-12]. Dostupný z WWW: <http://www.mzv.cz/file/652093/>
- [17] IBM: Kozubík, L. Centrální systém AMM v prostředí utilitní společnosti. *[online]*. [2010] [cit. 2008-20-12]. Dostupný z WWW: http://www-05.ibm.com/sk/events/presentations/resources/Centralni_system_AMM_v_prostredi_utilitni_spolecnosti_Kozubik.ppt

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Graf 1: Spotřeba elektrické energie dle hodiny v MW [Graf autora]	12
Graf 2: Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů v [%] na celkové [Graf autora].....	15
Graf 3: Porovnání hodinové spotřeby v energetických soustavách v [MW] [Graf autora]	18
Graf 4: Dotace zákazníků v Kč na 1MWh elektřiny z obnovitelných zdrojů [Graf autora]	29
Graf 5: Porovnání akumulátorů [Graf autora]	32
Graf 6: Spotřeba Meter1 1.ledna [Graf autora]	62
Graf 7: Spotřeba Meter1-29.1 [Graf autora]	62
Graf 8: Meter3 1.ledna [Graf autora]	63
Graf 9: Meter3-29-01 [Graf autora].....	63
Graf 10: Meter 4 1.ledna [Graf autora]	64
Graf 11: Meter 29.ledna [Graf autora]	64
Graf 12: Meter6:01.01 [Graf autora]	65
Graf 13: Meter6-29.1 [Graf autora]	65
Graf 14: Meter8A 1.ledna [Graf autora]	66
Graf 15: Meter 8A 29.ledna [Graf autora]	66
Graf 16: Meter8B 1.ledna [Graf autora]	67
Graf 17: Meter 8B 29.ledna [Graf autora]	67
Graf 18: Meter8C-01.01 [Graf autora].....	68
Graf 19: Meter 8C 29.01[Graf autora].....	68
Graf 20: Meter House_150 1.ledna s průběhem venkovní teploty [Graf autora].....	69
Graf 21: Meter House_150 29.ledna s průběhem venkovní teploty [Graf autora].....	69
Tabulka 1: Výpočet přenesených dat [Tabulka autora]	20
Tabulka 2: Kódovací schéma a přenosové rychlosti [Tabulka autora].....	22
Tabulka 3: DSL Technologie [Tabulka autora].....	23
Tabulka 4: Rozdělení úzkopásmového PLC dle frekvencí [Tabulka autora]	24

Tabulka 5: Vyrobená elektrická energie v roce 2011 [Tabulka autora]	28
Tabulka 6: Procentní podíly složek ceny dodávky elektrické energie [Tabulka autora].....	35
Obrázek 1: Chytrý elektroměr společnosti ČEZ.....	25
Obrázek 2: Velkokapacitní Lithium-Ion akumulátor Siemens Siestorage.....	30
Obrázek 3: Architektura sítě Smart Grid [Obrázek autora]	34
Obrázek 4: Dekompozice procesu [Obrázek autora]	39
Obrázek 5: Nástroje frameworku NGOSS [Obrázek autora].....	41
Obrázek 7: Procesní model eTOM [Obrázek autora]	43
Obrázek 9: Schéma simulované energetické sítě [Obrázek autora]	55