

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Návrh modelu smart grid
Design of model of smart grid

Rok: 2015

Jan Vysocký

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Vysocký

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh modelu smart grid.
Design of model of smart grid.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis topologie smart grid
3. Návrh modelu
4. Závěr
1. Introduction
2. Description of smart grid topology
3. Design of the smart grid model
4. Conclusion

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Hadjsaid, N., Sabonnadière, J.-C. Smart Grids (2013) Smart Grids, 358 p.
- [2] Momoh, J. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis (2012), 216 p.
- [3] Ekanayake, J., Liyanage, K., Wu, J., Yokoyama, A., Jenkins, N. Smart Grid: Technology and Applications (2012), 283 p.

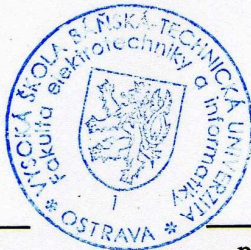
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7. května 2015


.....
Jan Vysocký

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Lukáši Prokopovi Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky, které mi při zpracování bakalářské práce velmi pomohly.

Abstrakt

Náplní této bakalářské práce je navrhnout a vytvořit fyzický model, maketu chytré elektrizační sítě. Tento model je navržen tak, aby vizuálně zobrazil tok energií ve vedeních distribuční soustavy vybavené telekomunikačními a datovými sítěmi pro moderní řízení sítě. Vytvořená síť obsahuje všechny prvky, se kterými je uvažováno v teoretických modelech chytrých distribučních sítí. Na modelu najdeme distribuované elektrárny, lokální mikrosíť vytvořenou z vilové čtvrti, sídliště představující odběr střední velikosti a továrnu představující velkoodběr. Dále na modelu najdeme centrální akumulátor pro řízení výkonové rovnováhy sítě a elektrické vedení napojení na napájecí nadřazenou elektrizační soustavu.

Vizualizace modelu je provedena tak, aby byl model maximálně názorný a bylo ho možné použít jako výukový materiál pro prvotní seznámení se s fungováním a topologií chytré sítě. Vizuální prvky modelu jsou ztvárněny LED diodami a malými DC motorky, vše je řízeno pomocí řídicí desky elektroniky přímo vytvořené pro řízení tohoto modelu. Mikroprocesor řídicí desky je naprogramován tak, že model pracuje v několika módech lišících se momentálním výkonem distribuovaných elektráren.

Textová část bakalářské práce obsahuje v první části teoretické pojednání o chytrých sítích a v části druhé popis vytvořeného modelu, popis jeho funkčních stavů, schémata plošných spojů použitých na modelu, fotografie detailů jednotlivých částí a obrázky ze samotného návrhu částí modelu.

Klíčová slova

Chytrá síť, chytrý elektroměr, přenosová soustava, distribuční soustava, elektrizační soustava, elektromobil, zařízení pro uskladnění energie, mikro síť, virtuální elektrárna, výroba elektrické energie, přenos elektrické energie, distribuce elektrické energie, řízení elektrizační soustavy, trh s elektřinou, spotřeba elektrické energie, řízení spotřeby, distribuovaný zdroj energie, zdroje obnovitelné energie

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to design and create a physical model of smart electricity grid. This model is designed to visually show the energy flow in the lines of distribution grid which is equipped with telecommunication and data networks for advanced network management. A network contains of all the elements which are anticipated in theory of smart grids. In the model there we can find a distributed generation, a local micro grid which is formed from a residential area, a settlement representing the medium-volume consumer and a factory representing high-volume consumption. Furthermore, on the model we can find the central battery serving for power balance management and the connection to the superior power electricity grid.

The visualization of the model is performed so that the model clearly provides the understanding of the smart grid model. It is possible to use the model as a learning material for initial familiarization with the operation and the topology of the smart grid. The model is equipped with various visual elements: there are LEDs and small DC motors. Everything is controlled by the control board directly created for the managing this model. The microprocessor of the control board is programmed so that the model works in several modes with various value of electric power generated by the distributed generators.

The text part of the bachelor thesis is divided into two parts. The first part contains theoretical analysis of the smart grids. The second part deals with the physical model: there is the model description, the description of its functional modes, schematics of circuit boards which were used in the model, details pictures of the model individual parts and drawings created during the design phase of the model creation process.

Key Words

Smart grid, Smart electricity meter, transmission grid, distribution grid, electricity system, electric car, equipments for energy storage, micro grid, virtual power plant, generation of electric energy, transmission of electric energy, distribution of electric energy, electricity system management, electricity market, electric energy consumption, demand management, distributed generator, renewable energy resources

Seznam obrázků a schémat

<i>Obr. 3.1, 3.2: Model chytré sítě</i>	33
<i>Obr. 3.3: Hlavní plocha modelu</i>	34
<i>Obr. 3.4: Zadní plocha modelu</i>	34
<i>Obr. 3.5: Půdorys gondoly větrné elektrárny</i>	35
<i>Obr. 3.6: Nárys gondoly větrné elektrárny</i>	35
<i>Obr. 3.7; Obr. 3.8: Fotografie gondoly větrné elektrárny, pohled shora (bez vrchní části) a z boku (s vrchní částí)</i>	36
<i>Obr. 3.9: Bokorys stožáru větrné elektrárny</i>	36
<i>Obr. 3.10: Nárys vrtule rotoru větrné elektrárny</i>	36
<i>Obr. 3.11: Fotografie stožáru větrné elektrárny</i>	37
<i>Obr. 3.12: Fotografie vrtule větrné elektrárny</i>	37
<i>Obr. 3.13; Obr. 3.14: Fotografie celé větrné elektrárny – pohled zepředu, z boku</i>	37
<i>Obr. 3.15; Obr. 3.16: Fotografie solární elektrárny – pohled z boku a shora</i>	38
<i>Obr. 3.17: Fotografie akumulátoru</i>	39
<i>Obr. 3.18: Fotografie LED pásku</i>	40
<i>Obr. 3.19: Fotografie krabičky slunce</i>	41

Seznam tabulek

<i>Tab. 3.1: Parametry LED použitých na LED páscích</i>	40
<i>Tab. 3.2: Varianty LED pásku použité na modelu</i>	40
<i>Tab. 3.3: Parametry výkonové LED WHITE 1W 170lm/120°</i>	41
<i>Tab. 3.4: Funkce jednotlivých tlačítek klávesnice</i>	47

1. Úvod	9
2. Teoretická část	10
2.1. Základní myšlenka a důvod vzniku chytrých elektrizačních sítí	10
2.2. Současný stav elektroenergetiky	11
2.2.1. Výroba elektrické energie	11
2.2.2. Přenos elektrické energie	11
2.2.3. Distribuční soustava	12
2.2.4. Spotřeba elektrické energie	12
2.2.5. Prvotní změny	13
2.3. Požadavky na vlastnosti chytrých sítí a jejich definice	13
2.4. Proměna na chytrou síť	14
2.4.1. Změny na straně výroby	14
2.4.2. Změny na straně přenosu	15
2.4.3. Distribuce elektrické energie	17
2.4.4. Změny u spotřebitele elektrické energie	19
2.5. Informační a komunikační technologie v chytrých sítích	22
2.6. Mikrosítě	24
2.7. Virtuální elektrárny	25
2.7.1. Obchodní virtuální elektrárna	26
2.8. Zařízení pro uskladnění elektrické energie	26
2.8.1. Přeměna elektrické energie na energii chemickou	27
2.8.2. Přeměna elektrické energie na energii potenciální	27
2.8.3. Přeměna elektrické energie na energii kinetickou	27
2.8.4. Uskladnění energie do silných elektrických polí	27
2.9. Elektromobily součástí elektrizační soustavy	28
2.9.1. Řízení spotřeby	30
2.9.2. Regulace frekvence	30
2.9.3. Elektromobily jako energetická záloha	31
2.9.4. Elektromobil součástí chytrého domova	31
3. Praktická část – návrh modelu chytré sítě	33
3.1. Obecný popis modelu chytré sítě	34
3.1.1. Větrná elektrárna	35
3.1.2. Solární fotovoltaická elektrárna	38
3.1.3. Vesnice, skupina rodinných domů - mikrosítě	38
3.1.4. Centrální akumulátor	39
3.1.5. LED pásy	39
3.1.6. Slunce	40
3.2. Provozní stavy modelu chytré sítě	42
3.2.1. Jasný podzimní den, počasí je slunečné, zároveň vane silný vítr	42
3.2.2. Zatažený podzimní den, obloha je zatažená, vane však silný vítr	42
3.2.3. Zatažený podzimní den, obloha je zatažená, vane však silný vítr, pokračování stavu 3.2.2	43
3.2.4. Letní slunečný den, obloha je jasná, je však bezvětří	43

3.2.5.	Letní slunečný den, obloha je jasná, je však bezvětří, pokračování stavu 3.2.4	44
3.2.6.	Zimní zatažený den, obloha je zatažená a vane mírný vítr	44
3.2.7.	Zimní zatažený den, obloha je zatažená a vane mírný vítr, pokračování stavu	
3.2.6		45
3.2.8.	Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětří	45
3.2.9.	Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětří, pokračování stavu 3.2.8	
		45
3.2.10.	Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětří, pokračování stavu 3.2.9	
		46
3.3.	Ovládání modelu	47
3.4.	Fotodokumentace modelu	47
3.5.	Výkresová část	48
3.5.1.	Výkres hlavní a zadní plochy	48
3.5.2.	Sítě modelů objektů chytré sítě	48
3.5.3.	Elektrické schéma zapojení jednotlivých prvků modelu.....	48
3.5.4.	Schéma desek plošných spojů	48
3.6.	Program použitý k řízení práce řídicí desky.....	48
4.	Závěr	49
5.	Literatura, použité zdroje.....	50
6.	Seznam příloh - Příloha na CD/DVD	52

1. Úvod

Elektroenergetika na celém světě se po většinu 20. století a ještě na začátku 21. století vyvíjela v rámci jednoho modelu velkých centralizovaných zdrojů a hlavních přenosových sítí. Na začátku 20. století se postupným propojováním malých elektrizačních soustav vytvořil stabilní systém. Celá spotřeba připojená k dané rozsáhlé soustavě je zajišťována z několika velkých zdrojů, většinou tepelných elektráren. Z nich je pak energie rozváděna do celé elektrizační soustavy, nejprve skrze přenosovou soustavu a následně pomocí distribuční sítě na konkrétní místo odběru. V průběhu 20. století došlo k velkým technologickým změnám, které se projevovali nahrazování starých technologií novými a vytváření nových systému s lepšími vlastnostmi. V síti, která tyto technologie napájela energií, tedy v elektrizační soustavě k žádným revolučním změnám nedocházelo, naopak se posilovaly její základní myšlenky navržené na začátku 20. století. Rozdíl stáří technologií a věku jednotlivých komponent mezi systémem napájeným a napájecím tak s postupem času narůstal. Elektrizační soustava tak byla čím dál méně schopná plnit vysoké požadavky moderních technologií čím dál více citlivých na kvalitu dodávané energie. S příchodem 21. století se staly hlavními politickými tématy boj proti změnám klimatu, energetická bezpečnost nebo zvyšování energetické efektivity. Tyto všechny impulsy vedly k mnoha iniciativám za rozsáhlé změny v celém systému výroby a dodávky elektrické energie, které mají proměnit elektrizační soustavu v moderní systém vybavený množstvím telekomunikační a řídicí techniky. Konkrétním výsledkem těchto iniciativ je koncepce chytré sítě, které jsou také tématem této bakalářské práce.

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě části: část teoretickou a praktickou. V části teoretické se věnuji teoretickému rozboru jednotlivých změn spojených s transformací elektrizační soustavy. V její první kapitole představuji souhrn základních příčin myšlenek, které vedly odbornou společnost k vytvoření koncepce chytré sítě. Druhá kapitola volně navazuje na první a představuje klasický model elektrizační soustavy 20. století. V prvních dvou kapitolách jsem se tak snažil ukázat nesoulad mezi světem inovací 21. století a současnou elektrizační sítí, která na inovace stále čeká. V třetí kapitole již představuji přímo samotnou koncepci chytré sítě jako reakci na problémy představené v prvních dvou kapitolách. Čtvrtá kapitola je stěžejním textem celého teoretického rozboru. V této kapitole představuji aplikaci konceptu chytré sítě na jednotlivé části systému výroby a dodávky elektrické energie. Pátá kapitola je věnována informačním a komunikačním technologiím, jejichž implementace do elektrizační soustavy bude představovat největší pokrok v celé transformaci k chytrým sítím. Poslední čtyři kapitoly jsou věnovány mikrosítím, virtuálním elektrárnám, akumulacním zařízením a elektromobilům.

V části praktické se pak věnuji popisu procesu tvorby návrhu a sestavení modelu chytré sítě, který je hlavní náplní této bakalářské práce. Tato část práce je vytvořena formou technické dokumentace. V první kapitole praktické části popisují model nejprve jako celek a následně se zde věnuji několika jednotlivým částem. Konkrétně se jedná o ty části, které jsou pro model nejdůležitější, dávají mu funkčnost nebo jsou svou strukturou složitější (u těch jsem považoval za důležité vyjádřit se k nim písemně proto, aby nedošlo k jejich mylné interpretaci). V druhé kapitole popisují jednotlivé provozní stavy modelu, kterých je celkem deset. Ve třetí kapitole popisují, jak lze model ovládat, a představují funkci konkrétních tlačítek klávesnice. Poslední tři kapitoly obsahují fotodokumentaci modelu, soubor jednotlivých obrázků, výkresů a schémat vzniklých jako výstup procesu návrhu modelu a program, kterým je naprogramován mikroprocesor řídicí desky. Tyto tři kapitoly odkazují na přílohy, v samotném textu bakalářské práce je uveden jen úvod těchto kapitol a jejich hlavní obsah se nachází v příslušných přílohách, jejichž seznam se nachází na konci bakalářské práce.

2. Teoretická část

2.1. **Základní myšlenka a důvod vzniku chytrých elektrizačních sítí**

Po celé dvacáté století elektrizační soustava narůstala do velikosti. Nárůst to byl pomalý a postupný. Nicméně, na přelomu tisíciletí bylo odstartováno období její přestavby a dnes se systém dodávky elektrické energie mění ve svých klíčových aspektech, s cílem vytvořit soustavu mezipropojených sítí se zcela novými schopnostmi, které do systému výroby a dodávky elektrické energie zapojí mnohem více aktivních stran s větším množstvím obchodních příležitostí.

Shledáváme mnoho důvodů k přebudování starých elektrizačních soustav. Jmenovitě:

- *Rozmach výstavby elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie přináší velké množství nových zdrojů, které je zapotřebí připojit do elektrizační soustavy.*
- *Většina prvků v elektrizačních soustavách je zastaralých, tyto prvky tak vykazují horší spolehlivostní parametry než je žádané, kvalita dodávek elektrické energie má klesající tendenci.*
- *Je vyvíjen tlak na společnosti provozující distribuční a přenosové soustavy, aby dosáhly co nejvyšší efektivity dodávek elektřiny, tedy aby minimalizovali ztráty energie při přenosu.*
- *Rostoucí obavy o schopnost přenášet všechny obchodně vyjednané toky výkonů. Evropské a další světové trhy se postupně liberalizují a propojují za účelem dosažení otevřených trhů s velkým počtem uzavřených transakcí. Jejich následné vyrovnání vede k velkému objemu fyzických toků. V obdobích s největší zobchodovanou kapacitou tak dochází k zatěžování elektrických vedení přenosových soustav až na samou hranici jejich schopností.*
- *Komplexnost operací prováděných v elektrizační soustavě se zvyšuje, staré systémy řízení již nejsou dostačující a soustavu je zapotřebí obohatit o měřicí a řídicí techniku, která by dokázala soustavu řídit v reálném čase a umožnila dosáhnout nejlepších možných parametrů dodávky.*

Všechny tyto faktory motivovaly množství společností působících v oboru energetiky k vývoji technologií, které by systém výroby a dodávky elektrické energie dovedly k stabilitě, efektivitě a dlouhodobě udržitelnému rozvoji. Národní i mezinárodní regulační a zákonodárné orgány podporují rozvoj trhu s elektřinou za účelem dosažení maximálního plnění zájmů koncových zákazníků, těmito zájmy jsou hlavně vysoká kvalita dodávané energie a maximální stabilita dodávky a to vše za nejnižší možné ceny.

Požadavky regulačních orgánů se neustále stupňují. Tlak na elektrizační soustavu tak narůstá a bez dlouhodobého rozvoje by již brzy operátoři soustav nedokázali zabezpečit dodávku elektřiny.

Jednotlivé podněty současných změn mají dopad na různé části soustavy, jedná se tak o přestavbu ve všech jejích stupních. Mnohé výzkumné a vývojové týmy z celého světa tak před několika lety začaly vytvářet koncepce přinášející všechny potřebné změny v jednom celku při plnění všech požadavků 21. století s ohledem na další možný rozvoj. Tyto koncepty jsou charakteristické obohacením současných elektrických sítí velkým množstvím moderní chytré techniky, hlavně techniky měřicí a řídicí. Zároveň k fyzické elektrizační infrastruktuře připojují infrastrukturu telekomunikační pro přenos dat mezi jednotlivými prvky této moderní hybridní soustavy. Protože tyto nové elektrizační soustavy 21. století oplývají sofistikovanou a chytrou výbavou na úrovni hardware i software, začali být označovány jako chytré sítě, nebo-li anglicky Smart Grids.

2.2. Současný stav elektroenergetiky

Systém výroby a dodávky elektrické energie můžeme popsat 4 úrovněmi. Jejichž současný stav popisují na následujících řádcích.

2.2.1. Výroba elektrické energie

Většina elektřiny je vyrobena v elektrárnách o velkých instalovaných výkonech. Pro pokrytí energetických potřeb rozsáhlých oblastí tak stačí malé množství takových elektráren. Jedná se převážně o elektrárny tepelné spalující fosilní paliva. V oblastech s velkým množstvím říčních toků bývají dominantním zdrojem energie velké vodní elektrárny.

Výhodou všech těchto typů elektráren je snadná říditelnost, operátoři přenosových soustav mohou výkon takového zdroje jednoduše měnit a reagovat tak na změnu odběru energie z elektrizační soustavy. Nevýhodou těchto zdrojů je jejich umístění. Většina tepelných elektráren se nachází v blízkosti zdroje paliva, tedy uhelných dolů. Velké vodní elektrárny jsou pak stavěny na velkých řekách. Elektrárny velkých výkonů bývají případně vázány k oblasti velké spotřeby, např. k velkým městům. Vzhledem ke skutečnosti, že odběratelé jsou rozprostřeni po velkých oblastech, musí být zajištěn přenos elektrické energie z místa její výroby do míst obydlí, kde je tato energie spotřebovávána. Přenos elektrické energie na velké vzdálenosti vede k vysokým energetickým ztrátám a velká část vyrobené elektřiny se tak bez užitku přemění v teplo v materiálu elektrického vedení.

Ve většině evropských států se během 20. století staly dominantním zdrojem elektrárny tepelné. Tepelné elektrárny bylo výhodné stavět jako velké zdroje. Výkonná tepelná elektrárna pracuje s vyšší účinností než malá, náklady na stavbu jednoho takového zdroje jsou nižší, než by byly náklady na stavbu několika menších o stejném kumulativním výkonu, a i počet odborných pracovníků potřebných k provozu elektrárny je nižší než několik skupin pracovníků v několika elektrárnách.

2.2.2. Přenos elektrické energie

Model přenosové soustavy 20. století je charakteristický rozvodem energie mezi jednotlivými oblastmi (kraji, regiony) v rámci většího celku. Jak již bylo nastíněno v předchozím bodě, přenosová soustava a její provozovatel zajišťují přenos energie vyrobené převážně v několika velkých elektrárnách. V jejich blízkosti se nachází elektrické stanice, které elektrický proud tekoucí z elektrárny transformují na nízké hodnoty vhodné k přenosu za minimálních výkonových ztrát. Energií přenosová soustava přenesení do oblasti spotřeby, kde je pak tato energie předána distribuční soustavě. Energie může být z přenosové soustavy také předána přímo konkrétnímu odběrateli, tak je tomu v případě velkoodběratelů.

Přenosová síť díky své funkci tvoří páteř celé elektrizační soustavy. Její provozovatel zodpovídá za zajištění výkonové rovnováhy mezi výrobou a spotřebou. Tato rovnováha je nutná pro stabilní chod celé elektrizační soustavy, její narušení se okamžitě projevuje v odklonu frekvence proudu a napětí od jmenovité hodnoty a dochází tak k zhoršení kvality dodávané energie.

Aby provozovatel přenosové soustavy dosáhl zmíněné rovnováhy a toků všech činných a jalových výkonů dle naplánovaného harmonogramu, vždy potřeboval měřicí a řídicí techniku, která zjišťovala současný stav soustavy a korigovala odchylky. Přenosová soustava tak již v současné době disponuje sofistikovanou technikou a její hlavní řízení je koncentrováno do moderních operačních center.

2.2.3. Distribuční soustava

Distribuční sítě byly po celé 20. století vytvářeny za účelem rozvodu elektrické energie do míst jednotlivých odběrů. Distribuční sítě tak tvoří spojení mezi přenosovou soustavou, ze které jsou napájeny, a koncovým zákazníkem, tedy místem odběru.

Většina distribučních sítí je provedena v paprskovité struktuře. V této struktuře je síť spojena v jednom napájecím místě se soustavou nadřazenou. Od tohoto uzlu vede několik linek vedení do jednotlivých míst odběrů tak, že každé odběrné místo je s napájecí elektrickou stanicí spojeno pouze jedním vedením. Distribuční sítě této struktury obecně převládají, protože umožňují připojení všech uzlů do napájecího místa s minimálními náklady na výstavbu, jelikož je použito vedení v minimální celkové délce potřebné k připojení všech uzlů. Nevýhodou těchto sítí je nižší stabilita dodávek elektrické energie: při výpadku jednoho vedení jsou postiženi všichni odběratelé připojení za místem výpadku bez možnosti nouzového napájení jiným vedením.

V oblastech s vyšší hustotou odběratelů se využívá struktura polomřížová a mřížová: zde jsou jednotlivé uzly sítě spojeny s více napájecími uzly. Při výpadku jednoho vedení se tak odběrné místo neocitá bez napájení. Distribuční sítě takovéto struktury tak vykazují vyšší stabilitu. Jejich výstavba je však dražší, jelikož je k spojení jednotlivých uzlů použito více vedení než je nejmenší možné množství, celková délka použitého vedení je tak vyšší.

Základní charakteristikou klasických distribučních sítí je jednosměrný tok výkonů. Protože tyto sítě byly dimenzovány jen pro samotný rozvod energie, při jejich projektování nebylo počítáno s možným tokem energie ve směru jiném než je směr od uzlu napájecího distribuční sítě k místu odběru.

2.2.4. Spotřeba elektrické energie

Dosavadní koneční zákazníci systému dodávky elektrické energie působili jako prostí odběratelé, jejichž odběr je zcela nezávislý na současném stavu elektrizační soustavy, případně trhu s elektřinou. Byli a stále tak jsou v plně pasivní pozici. Jejich odběr není nijak řízen z pozice organizací spojených s dodávkou elektrické energie. Zájem konečných zákazníků je, aby dodávaná elektrická energie byla v nejvyšší možné kvalitě a přitom její cena byla co nejnižší.

Společností, které zákazníci za dodávku elektrické energie platí, je obchodník s elektřinou, který pro všechny své zákazníky zajišťuje nákup silové elektřiny na trhu s elektřinou. Tato společnost tvoří v současnosti jediné spojení konečného zákazníka s trhem.

Obchodník je také tím, kdo odběratelům zprostředkovává informaci o množství elektrické energie, kterou za určité období odebrali. Informaci o tomto množství zajišťuje provozovatel místní distribuční sítě. Naprostá většina odběratelů je vybavena elektroměrem s nepřímým měřením, který hodnotu dodané energie pouze měří a zobrazuje. Množství odebrané energie tak musí být osobně odečítána pracovníky distribuční společnosti, kteří jednou za určité období odběratele navštíví. Tento systém tak není příliš výhodný, jelikož poskytuje informaci pouze o sumě odebrané energie, ne o vývoji odběru. V období mezi odečty jsou tak zákazníci fakturováni pouze dle odhadů spotřeby, přičemž skutečná spotřeba se může velice lišit.

Ve všech 4 úrovních systému výroby a dodávky elektrické energie je tak prostor pro zapojení nových technologií, které by umožnily celému systému pracovat efektivněji a stabilizovaněji, jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska samotného plnění služby dodávání elektrické energie odběratelům.

2.2.5. Prvotní změny

Systém produkce a dodávky elektřiny byl po celé 20. století relativně stabilní. Na jeho konci však přišla série změn, které jeho stabilitu do jisté míry narušily. Tyto změny byly započaty liberalizací trhů s energiemi. V případě trhu s elektřinou, jeho liberalizace vedla k příchodu velkého množství nových subjektů na trh, ke kterým následně přešla velká část odběratelů. Odklon od velkých stabilních společností vedl k dělení zodpovědnosti za dodávku mezi tyto nové subjekty, které však mezi sebou nespolupracovaly. To vedlo k oslabení stability sítě jako celku.

Přelom století také přinesl zvýšený zájem o stav životního prostředí napříč celou společností. V oblasti výroby elektrické energie se tento zájem projevil podporou elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie a omezováním provozu elektráren využívajících k produkci elektrické energie fosilní paliva či štěpný materiál. V oblasti rozvoje přenosové soustavy se objevila velká překážka v podobě sílícího odporu vlastníků pozemků vůči výstavbě nových elektrických vedení v blízkosti jejich obydlí. Rozvoj důležitých profilů přenosových soustav je tak brzděn a elektrická soustava se nestihá přizpůsobovat rozvoji elektráren s kolísavou produkcí energie. Přenosové soustavy tak ztrácí na stabilitě.

Kromě zájmu o životní prostředí se začíná zvyšovat tlak na kvalitu dodávek elektrické energie. Místní administrativní a regulační orgány zavádějí systémy podpor rozvoje nových elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie a technologií zvyšující celkovou účinnost systému výroby a přenosu elektrické energie.

2.3. Požadavky na vlastnosti chytrých sítí a jejich definice

V současné době se nacházíme na počátku vytváření přesného modelu, který by jasně definoval, jaké parametry má chytrá síť splňovat, jakými funkcemi má disponovat, jak rozsáhlé změny do současné elektrizační infrastruktury a současného trhu s elektřinou má přinést a jak velkou měrou se do celé transformace staré sítě k té chytré má zapojit běžný maloodběratel elektrické energie.

Chytré sítě se stávají stále častějším tématem debat nejen mezi vědci a výzkumníky, ale také debat politiků, úředníků a samotných účastníků trhu s elektrickou energií, tedy osob a organizací disponujících vlivem v oblasti energetiky. Tito lidé vnímají chytré sítě jako prostředek či cestu, jak dosáhnout cílů vytyčených na místní, národní až mezinárodní úrovni a to cestou ekonomicky výhodnou, sociálně přijatelnou a se zapojením moderních technologií. Příkladem takového cíle může být Strategie 2020 Evropské komise, který má jako jeden z cílů „snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti úrovním roku 1990 a zvýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů v konečné spotřebě energie na 20 % a posun ke zvýšení energetické účinnosti o 20 %.“ [2]

Vývojem konceptu chytrých sítí se zabývá většina vyspělých států světa. Představitelé těchto států mají různé představy o vývoji energetických soustav států. Tyto představy jsou spojeny se současnou politickou a ekonomickou situací daného státu a očekáváním jeho vývoje v nejbližších desetiletích. Koncepty chytrých sítí jsou tak v různých státech postaveny na rozdílných pilířích a je kladen důraz na rozdílné cíle, kterých se má implementací chytrých sítí dosáhnout. Přesto ty hlavní motivy jsou v podstatě podobné ve všech státech.

V Evropské unii byly cíle vývoje elektrizačních soustav nastíněny řadou směrnic Evropského parlamentu, nařízeními Evropské komise a dalšími kroky tvůrců legislativy a regulátorů. Samotných chytrých sítí se pravděpodobně nejvíce dotkl vznik již zmíněné Strategie 2020. Zdá se být nemožné docílit jednotlivých cílů nastíněných v této strategii bez dostatečně inteligentní infrastruktury, která by byla schopna vyregulovat výkyvy výkonů velkých větrných a fotovoltaických elektráren. Ty již brzy mohou disponovat takovým výkonem, že budou schopny pokrýt většinu evropské spotřeby elektrické energie. To však jen za příznivého počasí. Za nepříznivého naopak nepokryjí energetické potřeby ani

2. Teoretická část

z části. Stejně tak zvýšení energetické účinnosti nebude možné bez dostatečného řízení toků výkonů v evropských elektrizačních soustavách a sdílení dat mezi institucemi výroby, přenosu a spotřeby elektrické energie.

Za vývojem technologií pro chytré sítě a chytrých sítí samotných vznikla v rámci Evropské unie organice EU SmartGrids Technology Platform. Ta koncept chytrých sítí definovala jako „elektrizační síť, která inteligentně spojuje proces dodávek elektrické energie do sítě s chováním spotřebitelů odebírajících elektrickou energii ze sítě a to tak, aby byla elektřina dodána efektivně za podmínek udržitelných, ekonomicky výhodných a bezpečných.“ [3]

Ministerstvo energetiky Spojených států amerických vytvořilo detailnější definici chytrých sítí. Ta říká, že „chytrá síť je síť schopná sama opravit poruchy na ní vzniklé a obnovit dodávky do oblastí postižených poruchou, umožňující aktivní účast spotřebitelů na chod sítě, pružně zasahující proti ohrožením sítě v podobě útoků a přírodních katastrof, umožňující připojení všech druhů producentů elektrické energie a všech zařízení pro akumulaci elektrické energie, umožňující vstup nových produktů, služeb a trhů, optimalizující využívání zařízení sítě a pracující efektivně, poskytující kvalitní dodávky elektrické energie pro digitální hospodářství.“ [4]

Když bychom shrnuli představy různých organizací a zanedbali lokální odlišnosti pro definování základní myšlenky chytrých sítí z celosvětového pohledu, můžeme obecně říct, že chytrá síť je koncept sítě spojující elektrickou infrastrukturu s infrastrukturou komunikační a informační, systém zapojující různá chytrá zařízení pro tvorbu, přenos a sběr dat a systémy měřící a řídicí techniky do elektrizační soustavy. Tato chytrá zařízení mají různé podoby, tak aby jejich schopností mohlo být využito napříč elektrizační soustavou.

Podívejme se teď na konkrétní podobu proměny jednotlivých částí systému výroby a dodávky elektrické energie.

2.4. Proměna na chytrou síť

K tomu, aby se současná elektrizační síť stala chytrou, je zapotřebí velká řada změn na všech úrovních elektrizační soustavy, od výroby, přes přenos, distribuci a spotřebu elektrické energie. V následujícím textu se zaměřím na každou část elektrizační soustavy zvlášť s cílem popsat, jak se ono propojování digitálního a fyzického světa projevuje v dané oblasti.

2.4.1. Změny na straně výroby

Jak už jsem psal v předchozích částech práce, dominantní způsob výroby elektrické energie se v současné době mění. Energetika opouští velké zdroje spalující fosilní paliva a tyto elektrárny jsou postupně nahrazovány elektrárnami malými využívajícími obnovitelné zdroje energie (dále OZE).

Původní model elektroenergetiky byl postaven na využívání dostupného paliva, které umožňovalo vyrábět elektrickou energii levně. Cena paliv, a tak i energie z nich vyrobené, však dlouhodobě roste, proto je kladen či dál větší důraz na úspory energií a zvyšování energetické účinnosti. Mimo jiné je současným trendem zkracovat vzdálenosti mezi místem výroby a spotřeby elektrické energie a to pomocí systému velkého množství zdrojů napájejících jen skupinu nejbližších odběratelů. Konkrétně se jedná o nově vybudované distribuované zdroje v podobě fotovoltaických, větrných či malých vodních elektráren, tedy elektrárny využívající OZE. Kromě těchto podob mají nové zdroje formu malých kogeneračních jednotek či bioplynových stanic s plynovou mikroturbínou.

Primární výhodnou elektráren využívajících OZE je skutečnost, že během procesu výroby elektřiny nevypouštějí do okolí znečišťující látky a hlavně žádné skleníkové plyny, které jsou příčinou skleníkového efektu. Vyspělé státy celého světa se snaží pomocí legislativních nástrojů

2. Teoretická část

znevýhodňovat používání fosilních paliv jako zdroje energie, např. pomocí speciálních daní či systému emisních povolenek, a naopak zvýhodňovat využívání obnovitelných zdrojů, např. pomocí dotací na stavbu elektráren jich využívajících či systémem výkupních cen elektrické energie produkované z OZE. Tzv. zelená energetika se tak dostává do popředí zájmu politiků i běžných občanů a postupně nahrazuje energetiku tradiční založenou na fosilních palivech.

Elektrárny využívající OZE lze budovat ve velkém rozmezí výkonů, lze navrhnout větrnou elektrárnu s malým výkonem pro malé rychlosti větru, stejně jako velkou větrnou elektrárnu pro vysoké rychlosti větru. Podobná situace je u elektráren fotovoltaických, kdy celkový instalovaný výkon elektrárny je přímo úměrný celkové ploše všech fotovoltaických panelů.

S malými zdroji se můžeme setkat např. v oblastech zástavby v podobě domácích elektráren. Nízká cena zdrojů s malým instalovaným výkonem láká maloodběratele, aby si pořídili vlastní elektrárnu pro částečné či celkové pokrytí své spotřeby. Malé domácí elektrárny mají obvykle výkon kolem 10 kW a většinou se jedná o elektrárnu fotovoltaickou tvořenou několika panely na střeše.

Velké zdroje jsou i dnes stavěny v oblastech vhodných pro výrobu elektrické energie. Tepelné elektrárny byly stavěny v blízkosti místa těžby paliva či v blízkosti oblasti vyšší spotřeby. Lokalita výstavby výkonné elektrárny využívající OZE je ovlivněno hlavně přírodními podmínkami souvisejícími s typem energie danou elektrárnou využívané: v případě větrné elektrárny je vybírána lokalita s vysokou průměrnou rychlostí větru, v případě fotovoltaické elektrárny lokalita s vysokým počtem slunečních dní v průběhu roku, podobně u ostatní elektráren závislých na počasí. Tyto oblasti se často nacházejí daleko od větších sídelních celků, které se většinou nacházejí v oblastech s pro lidi příjemnějším klimatem.

O malých elektrárnách v soukromém vlastnictví se předpokládá, že se v budoucnu stanou dominantním zdrojem elektrické energie v elektrizační soustavě. Rozsáhlejší rozmach těchto elektráren však přináší určité technické problémy a výzvy, které musí být vyřešeny dříve než se malé domovní instalace stanou skutečně dominantní. Elektrárny využívající energii větru či slunce jsou silně závislé na počasí a jejich výkon v čase kolísá. Aby domácí elektrárna po většinu roku dodávala dostatek energie pro pokrytí celého odběru domácnosti, musí být její instalovaný výkon větší než je maximální odběr. To však vede k tomu, že v situacích, kdy je počasí pro daný zdroj příznivé, elektrárna produkuje více energie než dokáže domácnost v daný moment spotřebovat a elektrárna produkuje přebytečný výkon. Tento přebytek je pak zapotřebí někam vyvést. Pokud domácnost nedisponuje vlastním akumulátorem energie, bude přebytek vyveden do distribuční sítě. Je tak zapotřebí, aby provozovatel distribuční sítě znal aktuální výkon všech elektráren připojených do jeho sítě a zároveň znal úroveň aktuálního odběru dané domácnosti.

Jak v případě uložené energie do akumulátoru, tak v případě vyvedení výkonu do vnější sítě je zapotřebí moderní řídicí a měřicí technika. Nutnost použití chytrých prvků je zde zřejmá.

2.4.2. Změny na straně přenosu

Z hlediska technologií pro dálkové měření a řízení jsou přenosové sítě v současnosti nejrozvinutější částí elektrizační soustavy. Je to dáno skutečností, že přenosová síť je páteřním prvkem celé soustavy a v současné době zprostředkovává připojení k soustavě pro většinu zdrojů, hlavně těch s největšími instalovanými výkony. Operátoři přenosových sítí zodpovídají za udržování výkonové rovnováhy mezi výrobou a spotřebou, udržují toky výkonů na přeshraničních vedeních na předem sjednaných hodnotách a obecně udržují stabilitu sítě na takové úrovni, aby nedošlo k přetížení konkrétních vedení, což by mohlo vést k poškození vedení a následným výpadkům dodávek. Navíc provozují elektrizační soustavu tak, aby byl přenos co nejefektivnější a bylo dosaženo co nejmenších energetických ztrát. Tyto obtížné úkoly by provozovatelé přenosových soustav nemohli zvládnout bez

2. Teoretická část

znalosti velkého množství dat o stavu prvků soustavy a bez techniky, která jim umožní soustavu modifikovat dle aktuálního vývoje stavu přenosových soustav okolních evropských zemí, které jsou všechny spojeny do jedné synchronní zóny a ovlivňují se tak navzájem.

Mohlo by se tedy zdát, že přenosové sítě již dosáhly maximálního stupně rozvoje a s příchodem chytrých sítí nemusí projít zásadními úpravami. Pravdou však je, že i přenosové soustavy bude potřeba reformovat. Bude nutné dále zvyšovat objem měřených dat na jednotlivých prvcích soustavy, rozšířit komunikační technologie mezi všemi částmi přenosové soustavy a implementovat výkonnější řídicí technikou, než je ta současná. Ještě důležitější ovšem bude vytvoření komunikačního kanálu, kterým budou operátoři přenosových soustav získávat data ze všech složek elektrizační soustavy, data z trhu s elektrickou energií a data z dalších oblastí ovlivňujících chod elektrizační soustavy (např. vývoj počasí v Evropě). Všechna tato data poslouží k vytvoření podrobných analýz současného a budoucího stavu celé elektrizační soustavy a jednotlivých trhů s elektřinou. Tyto analýzy by měly přispět k efektivnějšímu využití přenosových kapacit soustav, k udržení stability sítí na požadovaných hodnotách a k zvýšení efektivity přenosu energie.

V následujícím textu uvádím události, které měly, mají (či teprve budou mít) největší vliv na proměnu přenosové sítě a reakce přenosových soustav.

2.4.2.1. Liberalizace evropského trhu s elektřinou a vstup nových subjektů na trh

Vznikem společností zabývajících se obchodováním s elektřinou se značně rozrostl počet subjektů, které ovlivňují toky výkonů přes přenosovou soustavu. Neustále se rozšiřující možnosti trhu umožňují obchodníkům nakupovat ve stále kratších časových úsecích, s menším množstvím komodity. Propojováním evropských trhů získávají obchodníci možnost nakupovat na trzích v cizích zemích. Vzniká tak situace, kdy mezi evropskými zeměmi tečou velké výkony na velké vzdálenosti v rámci vyrovnání obchodních transakcí. Často jsou tak vedení přenosové soustavy zatíženy na svá maxima a riziko přetížení je vysoké. Provozovatelé přenosových sítí se musí vypořádat s těmito obtížnými situacemi a to s co nejmenšími zásahy do chodu trhu s elektřinou. Přidělování volných přenosových kapacit účastníkům trhu by nebylo možné, kdyby provozovatelé přenosových sítí nekoordinovali vývoj trhu s ohledem na schopnosti vedení.

2.4.2.2. Rozsáhlý rozvoj instalací elektráren využívajících OZE

Provozovatelé přenosových soustav musí počítat s kolísáním jejich výkonu v závislosti na rychle se měnícím počasí, jakožto instituce zodpovědné za stabilitu sítě musí disponovat prostředky pro vyrovnání výkonové rovnováhy sítě i za těchto rychle se měnících podmínek. Těmito prostředky jsou regulátory a regulační kapacita zdrojů. Současná kapacita a rychlost reakce těchto regulačních zařízení je však omezená. Rozsáhlé navyšování výkonů elektráren využívajících OZE bude muset být následováno instalací nových regulačních zařízení disponujících množstvím dat o zdrojích, která regulátorům umožní reagovat ještě před vznikem výkyvu výkonu elektrárny. Zároveň bude zapotřebí, aby přenosová síť disponovala větším množstvím akumulačních kapacit pro funkci primární a sekundární regulace.

2.4.2.3. Vznik velkého množství distribuovaných zdrojů

V posledních letech narůstá počet elektráren menších výkonů, které jsou připojovány přímo do oblastních distribučních sítí nebo dokonce distribučních sítí lokálních. Distribuční sítě tak získávají vlastní zdroje energie a snižují množství energie odebírané z přenosové soustavy. V budoucích letech naroste výkon těchto distribuovaných zdrojů natolik, že vyprodukují tolik energie, kolik už daná distribuční síť nedokáže spotřebovat a energie začne proudit do soustavy přenosové. Mění se tak směr

2. Teoretická část

toku výkonu oproti tradičnímu provoznímu stavu. Tyto obrácené toky bude nutné pečlivě monitorovat a jejich řízení bude potřeba koordinovat mezi oběma soustavami.

2.4.2.4. Propojení jednotlivých evropských přenosových soustav vedeními o vyšší přenosové kapacitě s cílem vytvoření kontinentální přenosové sítě.

Dříve zmíněné body mají za následek nárůst toků velkých výkonů na velké vzdálenosti. Již dnes je běžné, že za letních slunečních dní přetéká energie z jihu Evropy (s velkým instalovaným výkonem v solárních elektrárnách) do zemí na severu Evropy. Na podzim naopak přetéká energie ze severu na jih. Tou dobou je v oblasti Severního moře produkováno velké množství energie díky silným podzimním větrům a velkým instalovaným výkonům ve zdejších větrných elektrárnách. Tyto velké přetoky silně zatěžují hlavní linky vedení přenosových soustav ve střední a západní Evropě a ubírají jim volnou přenosovou kapacitu pro zobchodování na evropských trzích.

V posledních letech vzniklo mnoho projektů vedených orgány Evropské unie a Evropskou sítí provozovatelů elektroenergetických přenosových soustav (ENTSO-E) s cílem posílit spolupráci jednotlivých národních přenosových soustav při řízení toků výkonů a podpořit rozvoj hlavních linek, které jsou zásadní pro stabilitu propojených evropských soustav. Jedním z nich je např. projekt eHighway2050, jehož cílem je vybudovat mezi lety 2020 až 2050 panevropskou přenosovou síť pro vyrovnávání výkyvů výkonů elektráren využívajících OZE instalovaných v různých částech Evropy. Velká síť s velkým množstvím vzájemně propojených prvků umožní lépe regulovat výpadky jednotlivých prvků a zvýší stabilitu celé evropské elektrizační soustavy.

2.4.3. Distribuce elektrické energie

Distribuční soustava projde v budoucích letech pravděpodobně největšími změnami, ty však budou rozdílné od těch, kterými projdou sítě přenosové. Je to dáno rozdílnou úlohou v tradičním pojetí obou systémů, která se projevila v jejich stavbě a rozvoji.

Distribuční síť tvoří článek mezi přenosovou sítí a odběratelem. Jejich hlavní úlohou je rozvádění energie přivedené do jednoho či více napájecích míst soustavy mezi jednotlivá odběrná místa a to při maximální efektivitě (tedy minimálních ztrátách), při maximální spolehlivosti sítě (tedy minimální době nedodávání energie zákazníkům) a při maximální kvalitě dodávané energie.

Rozvoj směrem k chytrým sítím zachovává zmíněná hlediska kvality. Plnění těchto hledisek se zjednoduší použitím chytrých zařízení a datových sítí, kterými bude distribuční síť vybavena. Chytrá distribuční síť však bude mnohem samostatnější, méně závislá na síti nadřazené než ta současná. Provozovatelé distribučních sítí se pak budou muset vypořádat s několika aspekty chytrých sítí, se kterými se do dnešní doby víceméně neseekali. Soupis těch, které se v distribuční soustavě projeví nejzřetelněji uvádím na následujících řádcích.

2.4.3.1. Rozvoj distribuovaných zdrojů

Tzv. distribuované zdroje jsou elektrárny vyvádějící produkovaný výkon přímo do distribuční soustavy. Často se jedná o elektrárny využívající OZE, které jsou charakteristické velkým kolísáním aktuálního výkonu. Takové zdroje silně narušují výkonovou rovnováhu v síti. Za vyrovnávání výkonové rovnováhy tradičně zodpovídá provozovatel přenosové soustavy, pokud však má být chytrá distribuční síť autonomní jednotkou, musí její operátoři disponovat podobnými prostředky řízení jakými disponují operátoři soustav přenosových. Bude tak nutné vybavit distribuované zdroje dostatečným množstvím měřicí a komunikační techniky. Měřicí technika bude sledovat aktuální výkon daného zdroje a jeho dopad na síť v místě připojení. Komunikační technika bude v reálném čase zasílat do řídicího střediska operátora data z měřicí techniky. Systém data vyhodnotí a na jejich

2. Teoretická část

základě vyreguluje jednotlivé distribuované zdroje tak, aby dopad každého z nich na chod sítě byl udržován v dovozených mezích. Zároveň musí operátor učinit taková opatření, aby zavedením regulace co nejméně snížil zisk vlastníka distribuovaného zdroje.

Sítě s velkým výkonem v distribuovaných zdrojích se pak dostanou do situace, kdy za příznivého počasí se v síti vytvoří dlouhodobý nadbytek energie. Po naplnění všech akumulčních kapacit připojených do distribuční sítě změní operátor sítě tradiční směr toku výkonu v distribuční síti a nadbytečnou energii uvolní do sítě nadřazené, tedy oblastní distribuční sítě nebo sítě přenosové. Aby však operátor mohl takto měnit směr výkonu, bude muset provést rekonfiguraci topologie distribuční sítě. Tuto schopnost většina dnes provozovaných sítí nemá. Síť bude zapotřebí vybavit sérií dálkově ovládaných přístrojů pro spínání jednotlivých linek vedení. Zároveň musí být síť vybavena novými linkami propojujícími doposud nepropojené prvky sítě. Komplexnější topologie umožní vznik nových provozních módů. Moderní vypínače řízené mikropočítači propojené do jednoho spolupracujícího celku umožní mezi těmito módy rychle a často přecházet za účelem dosažení maximální stability distribuční sítě.

2.4.3.2. Rozvoje akumulčních stanic a spotřebičů s akumulací

Připojení akumulčních stanic a spotřebičů s akumulací do distribuční sítě bude velice důležité, ať už z hlediska řízení toků nebo řízení stability, ale také z hlediska vzniku lokálního trhu s elektřinou. Lokální trhy mají umožnit energetickou soběstačnost místní distribuční soustavy a razantně tak snížit ceny silové elektřiny pro místní odběratele.

Dostatečná kapacita akumulčních zařízení by umožnila distribuční síti přejít do ostrovního provozu. V něm je soustava samostatně pracující a nedochází k toku energie do soustavy, ani z ní ven. Cena dodávané elektřiny by se tak osvobodila od platby za přenos či platbu operátorovi trhu.

Kromě akumulátorů přímo určených k regulaci sítě budou k výkonové rovnováze přispívat také spotřebiče s akumulčním charakterem (např. elektrické ohřívače teplé užitkové vody). Specifickým typem spotřebiče schopným akumulovat velké množství energie jsou elektromobily. Vzhledem k významu problematiky akumulace energie z hlediska chytrých sítí, věnoval jsem elektromobilům a akumulčním stanicím samostatnou část práce.

2.4.3.3. Proměna odběratelů elektřiny z pozice prostých spotřebitelů k pozici aktivního hráče na místním trhu s elektřinou

Tuto proměnu považuji z hlediska přerodu k chytrým sítím za největší pokrok. Zákazníci jsou postupně vybavováni chytrými elektroměry, které jim umožní pozorovat svou spotřebu v reálném čase. Získají tak přehled o dopadech svého chování spotřebitele na výši svého účtu za elektřinu. Tomuto aspektu chytrých sítí se věnuji hlavně v části práce Změny u spotřebitele elektrické energie. Tento aspekt však dopadá i na distribuční společnosti. Ty budou mít za úkol vytvořit prostředí, které bude prezentovat data o jejich spotřebě a to formou, které zákazníci porozumí a zaujme je. Distribuční společnosti budou poskytovat spotřebitelům rady, jak mohou jednoduše snížit svou spotřebu. Nakonec distribuční společnost vytvoří pro spotřebitele speciální tarify, které jim umožní platit za silovou elektřinu cenu odvozenou od aktuální tržní hodnoty.

Odběratel s takovým tarifem by tak mohl načasováním své spotřeby výrazně ovlivnit výši svého účtu za elektřinu a zároveň aktivně ovlivňovat výkonovou rovnováhu místní distribuční sítě.

2.4.3.4. Obnova zastaralé infrastruktury distribučních sítí

Současné evropské distribuční soustavy se skládají z prvků s vysokým stářím, které se počítá v desítkách let. Bez ohledu na rychlost přechodu k sítím chytrým je zapotřebí přistoupit k obnově

2. Teoretická část

stávajících sítí, jelikož současný stav sítí ohrožuje dodávky elektrické energie v kvalitě stanovené veřejnou a univerzální službou. Obnova zastaralých vedení a vybavení elektrických stanic pomůže docílit nižších ztrát při přenosu energie a zvýšit stabilitu dodávek.

Proměna distribuční sítě v chytrou vyžaduje vybudování komunikační infrastruktury spojující jednotlivé články sítě, od chytrých elektroměrů, přes jednotlivé části elektrických stanic a jistící prvky vedení až po datová centra v budovách operátora distribuční soustavy. Zde se budou data ze všech prvků přijímat, sbírat a vyhodnocovat. Výsledkem budou analýzy současného stavu soustavy a predikování stavů budoucích. Závěry analýz poslouží k tvorbě přímých povelů pro jednotlivé prvky. Tyto povely budou s využitím komunikačních sítí doručeny přímo svým adresátům.

2.4.3.5. Vytvoření systému pro zpracování nasbíraných dat.

Distribuční společnosti budou potřebovat software, který dokáže spravovat všechna ta data výše zmíněná v předchozím bodě. Vývoji systémů pro zpracování velkého množství dat se dnes zabývá velké množství firem ze sektoru informačních technologií. Větší množství dat znamená vyšší nároky na výpočetní kapacitu a taky větší složitost algoritmů data analyzujících. Kvalitní analýzy se stanou nutností, moderní distribuční soustavu by bez nich nebylo vůbec možné řídit.

2.4.3.6. Vytvoření lokálních trhů s elektřinou

Rovnováha poptávky a nabídky na trhu je ekvivalentní výkonové rovnováze elektrizační soustavy. Prodej elektrické energie na trhu tak pomáhá provozovatelům sítí regulovat tuto výkonovou rovnováhu a to pomocí tržních mechanismů a reakce spotřebitelů na vývoj ceny elektřiny.

Dnes existují trhy národní, koncept chytrých sítí však počítá i se vznikem trhů lokálních. Prodej elektřiny na lokálním trhu zajistí, že elektrická energie produkovaná místními distribuovanými zdroji bude spotřebována odběrateli připojenými k místní distribuční soustavě. Energie tak bude přenášena jen na minimální vzdálenost.

Vznik a provoz lokálního trhu s elektřinou je úkolem distribuční společnosti.

2.4.3.7. Datové propojení distribuční společnosti s provozovatelem přenosové sítě

Pro zachování stability celé elektrizační soustavy je zapotřebí, aby vývoj distribuční soustavy nenarušil práci soustav nadřazených. Proto data získaná v distribuční soustavě musí být poskytnuta operátorům přenosových soustav, aby byli schopni provést analýzy v kontextu celé elektrizační soustavy.

2.4.4. Změny u spotřebitele elektrické energie

Jelikož každý z nás je spotřebitelem elektrické energie, dopady změn spojených s transformací sítí na chytré budou obecně nejviditelnější právě v oblasti spotřeby elektrické energie. Nicméně, v zemích Evropské unie v několika posledních letech již došlo ve způsobu dodávek elektrické energie k několika tržním a legislativním změnám, které byly prvními kroky reorganizace systému dodávky elektrické energie maloodběratelům. Nejprve bych tedy zmínil právě tyto již aplikované změny, z jejichž výhod občané Evropské unie dnes již běžně čerpají.

Na počátku 90. let 20. století začali evropští politici debatovat o nutnosti liberalizovat trh s elektřinou a plynem v zemích Evropské unie a docílit tak vytvoření otevřeného tržního prostředí, které v oblasti dodávek energií doposud v Evropě neexistovalo.

2. Teoretická část

Situace na evropských trzích s energiemi se v období po Druhé světové válce vyvíjela obdobně ve všech státech. Dodávky energií zajišťovaly velké společnosti, které vlastnily a kontrolovaly všechny části procesu dodávky energií: od jejich výroby přes dopravu či přenos a následnou distribuci spotřebitelům. Takové společnosti jsou označovány jako vertikálně integrované. Stav, kdy jedna společnost ovládá celý systém výroby a dodávky, ji staví do specifického postavení vůči jejím zákazníkům. Navíc v mnoha evropských zemích působila jen jediná dodavatelská společnost, která tak získávala monopolní postavení. V tomto prostředí tak odběratel neměl prakticky žádnou možnost, jak zajistit, aby platil za dodávku energií co nejméně. Vznik tržního prostředí a rozštěpení energetických gigantů na menší společnosti zabývající se jen jednou částí systému dodávky energie se tak stali hlavními tématy reformy evropské energetiky.

Výsledkem této reformy byly 3 tzv. liberalizační balíčky. Jednalo se o soubory směrnic a nařízení s přímým dopadem na celý systém dodávky energií ve všech členských státech. První balíček vstoupil v platnost v roce 1996, druhý v roce 2003 a třetí v roce 2009.

Liberalizace evropských trhů byla zdlouhavá a obtížná, dnes ji však můžeme považovat za úspěšně dokončenou. Došlo k rozvoji národních trhů, které se následně začaly spojovat do nadnárodních trhů. V nejbližších letech by pak mělo dojít k vzniku jednotného evropského trhu spojujícího trhy všech členských států Evropské unie.

S liberalizací evropského trhu s elektřinou vznikly společnosti plně se zabývající nákupem elektřiny pro své zákazníky, tzv. obchodníci s elektřinou. Dnes si evropští obchodníci mohou vybrat, kde energii nakoupí, zde na tuzemském či cizím trhu a trhu krátkodobém či dlouhodobém. Obchodníci tak nakupují za nižší ceny, což se promítá i v nižších účtech za elektřinu u jejich koncových zákazníků.

Bohužel, ani liberalizovaný trh s širokou nabídkou dodavatelů nemotivoval většinu zákazníků k odchodu k dodavatelům, jejichž nabídka byla skutečně tou nejvýhodnější. Mnoho zákazníků zůstalo u svých starých dodavatelů, společností vzniklých odštěpením z tradičních energetických monopolů v rámci reorganizace předepsané legislativou Prvního a Druhého liberalizačního balíčku. Lidé byli po celý život zvyklí elektřinu „jen odebrat a platit“. Nestarali se o to, kolik elektřiny vlastně spotřebovávají, zda hodně či málo, nestarali se o to, kolik platí, zda hodně či málo. Maloodběratelé ani pořádně nevěděli, co to elektřina vlastně je, protože k jejímu užívání jim přeci stačilo jen připojit spotřebič do zásuvky. Odběratelé platili faktury za elektřinu bez jakéhokoli porozumění jednotlivým jejím částem a složkám celkové ceny. V takovém prostředí bylo velice těžké pro nově vzniklé obchodníky, aby maloodběratele přesvědčili, že jejich nabídka je skutečně výhodná a že odchodem od tradičního dodavatele a přechodem k nim skutečně sníží své náklady.

České energetické společnosti řešily neinformovanost zákazníků pomocí masivních reklamních kampaní. Zároveň vzniklo velké množství internetových portálů pro srovnávání jednotlivých nabídek, na kterých si odběratelé za pomoci srozumitelných kalkulaček mohli vypočítat, kolik by mohli u jiného dodavatele ušetřit.

Neinformovanost a nezájem odběratelů o systém dodávky a spotřeby elektrické energie je největší překážkou dalšího pokračování reorganizace trhu s elektřinou. Dle plánu evropských politiků má po dokončení liberalizace národních trhů dojít k jejich vzájemnému propojení do již zmíněného jednotného evropského trhu. Dalším plánovaným krokem je přebudování evropských elektrizačních sítí na sítě chytré. Prvním krokem k chytrým sítím má být nahrazení klasických „hloupých“ elektroměrů moderními elektroměry chytrými.

V členských státech EU je příchod chytrých elektroměrů ošetřen legislativně, konkrétně Směrnicí 2009/72/ ES o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou. Ta požaduje, aby do roku

2. Teoretická část

2020 byly inteligentní elektroměry instalovány u 80% maloobděratelů a do roku 2020 u všech. Výměna elektroměrů bude akcí velkého rozsahu, která si vyžádá vysoké vstupní náklady. [5]

Proces aplikace chytrých elektroměrů bych rozdělil na dvě etapy. V první etapě budou chytré elektroměry měřit elektrické veličiny v reálném čase, digitalizovat je a výsledná data předávat dále ke zpracování. V druhé etapě se elektroměry propojí s domácími energetickými centry, což jsou zařízení propojující a ovládající všechna zařízení v domě a vytváří tak jeden spolupracující celek. Vznikne tak chytrý dům, který bude pracovat s minimální spotřebou a bude třeba i energeticky soběstačný.

2.4.4.1. První etapa – sběr dat v reálném čase

První generace chytrých elektroměrů umožní odběratelům získat detailní přehled o jejich odběru. Ve všech zemích Evropy se dnes stále setkáme hlavně s tradičním způsobem odečtu spotřeby. Ten je prováděn několikrát do roka, spočívá v ručním odečtení čísla z ciferníku (či displeje) elektroměru. Pověštinu roku je tak odběratel účtován na základě odhadu vypočteného z těchto hodnot odečtených v předcházejících obdobích. Nahrazením systému jedné celkové hodnoty za dané období za systém průběžného měření se sérií hodnot získává distribuční společnost data o vývoji spotřeby. Tato data pak mohou být zákazníkovi prezentována v rámci jeho faktury, čímž faktura získává transparentnost. Odběratel vidí, jakou měl kdy spotřebu, a nemá důvod podezřívát dodavatele, že množství odebrané energie uvedené na faktuře neodpovídá skutečnému odběru nebo že elektroměr měří špatně.

První službou, kterou chytré elektroměry odběratelům přinesou, tak bude sbírání skutečných dat o spotřebě v reálném čase a jejich následná prezentace zákazníkům v podobě, na kterou jsou zvyklí z jiných běžných služeb, jako je např. vyúčtování za telefon.

V momentě, kdy zákazníci uvidí, jaká je v dané chvíli jejich spotřeba a jak se tato hodnota v průběhu dne mění, získává zákazník nástroj, jak porozumět své spotřebě. Následně je zapotřebí poskytnout zákazníkům interaktivní prostředí, které jim všechna sesbíraná data odprezentuje a to pokud možno v podobě, které porozumí. Takovým prostředím může být nějaký software či internetová stránka, kterou by si odběratel spustil/otevřel na zařízení, které dnes zákazníci běžně vlastní, jako jsou počítače, chytré telefony či tablety. Příkladem takového prostředí může být software společnosti YELLO STROM dodávající elektřinu německým zákazníkům. Jejich služba umožnila spotřebitelům sledovat vývoj jejich aktuální spotřeby v grafické vizualizaci. Zákazník si mohl vyzkoušet zapínat a vypínat různé elektrospotřebiče ve své domácnosti a pozorovat, jak se mění odebíraný výkon ze sítě, jaká by byla celková denní a měsíční spotřeba při aktuálním odběru a kolik by s takovým odběrem za elektřinu zaplatil.

Poté, co je spotřebitel seznámen s velikostí své spotřeby a vidí, jak se v průběhu dne spotřeba mění, je potřeba ho dále vzdělávat v oblasti řízení spotřeby a úspor. Skrze vizualizační prostředí dodavatele může zákazník obdržet tipy a rady, jak zacházet s energií chytře. Zjistí, jaké chyby dělá při používání konkrétních elektrospotřebičů (zvláště těch s velkým příkonem) a jakými jednoduchými triky může dosáhnout energetických (a tedy i finančních) úspor.

Zda tyto rady a triky skutečně povedou ke změně chování většiny spotřebitelů, je otázkou. Dosavadní testování chytrých elektroměrů přinesla spíše negativní závěry. Domnívám se však, že velkou motivací pro odběratele ke korekci své spotřeby by mohl být vznik nových tarifů s dynamickými cenami elektřiny. V rámci takového tarifu zákazník neplatí konstantní cenu za jednotku elektrické energie, nýbrž cenu, jejíž výše je v čase proměnlivá, odvozená od současné ceny elektřiny na krátkodobém trhu.

2.4.4.2. Druhá etapa – Vytvoření chytrých domů

Jakmile se chytré elektroměry rozšíří na většinu odběrných míst a odběratelé se naučí využívat služeb, které poskytují, přijde čas na zahájení 2. etapy aplikace chytrých elektroměrů. Ta promění budovy v chytré domy – budovy, vybavené chytrými elektrospotřebiči s množstvím senzorů a schopností vzájemně komunikovat s ostatními zařízeními budovy. Vznikne tak jedno velké chytré prostředí. Takové prostředí umožní dosáhnout maximální efektivity práce jednotlivých zařízení i celé propojené skupiny. Chytré domy zároveň poskytnou uživateli komfortní a funkční prostředí k životu.

Řídícím „mozkem“ chytrého domu je domácí energetické centrum – zařízení schopné komunikovat se všemi spotřebiči v domě. Domácí centrum zpracovává pracovní data spotřebičů a vytváří prostředí pro jejich spolupráci. Uživatel domu nastaví charakter chování chytrého domu skrze uživatelský interface, např. aplikaci ve svém chytrém telefonu a energetické centrum pak tento požadovaný způsob chování převede do časovaných příkazů jednotlivým spotřebičům v domovní chytré síti.

Aby byla práce chytrého domu efektivní i co se týče spotřeby energií a nákladů na jejich odběr, bude domovní centrum spolupracovat s chytrým elektroměrem jakožto zařízením schopným měřit elektrické veličiny, komunikujícím s distribuční společností a znalým současné ceny elektřiny na trhu. Díky informacím poskytnutým elektroměrem pak bude energetické centrum moci efektivně řídit malé domovní zdroje energie jako jsou domácí solární a větrné elektrárny či kogenerační jednotky.

Chytré domy se budou objevovat postupně, standardem by se mohly stát po roce 2020. Rychlost rozvoje inteligentních budov je dána hlavně rychlostí šíření inteligence mezi jednotlivými spotřebiči. Brzdou domácích inteligentních sítí by pak mohla být vzájemná nekompatibilita mezi jednotlivými spotřebiči různých výrobců.

Při pohledu do vzdálenější budoucnosti by energetická centra mohla proměnit pozici odběratelů ze stavu pasivně odebírajících elektrickou energii ze sítě do stavu aktivních hráčů na trhu s elektřinou. Domácnosti vybavené chytrými spotřebiči, domácími elektrárnami a akumulačními jednotkami by mohly energii ze sítě čerpat v dobách, kdy by její cena byla nízká, ukládat ji do akumulátorů či efektivně spotřebovávat, v dobách vysokých cen by naopak mohly prodávat energii uloženou v akumulátorech či tu právě vyrobenou v domácí elektrárně. Domácnost by tak pracovala v různých stavech s cílem dosáhnout energetické nezávislosti a maximálního zisku z trhu s elektřinou.

2.5. **Informační a komunikační technologie v chytrých sítích**

Informační a telekomunikační technologie zažívají v posledních letech velký rozmach. Ještě před dvaceti lety bylo k internetu připojeno jen několik počítačů nacházejících se ve vědeckých centrech, domácnosti tehdy nebyly připojeny prakticky žádné. Pro běžné občany byl internet něčím, o čem jen sotva někde slyšeli, a bližší kontakt neměli žádný. Na počátku 21. století se situace začala razantně měnit, k internetu se připojila široká veřejnost, rychlost přenosu dat vzrostla, obsah dostupný na internetu neustále rostl, a tak se internet stával zajímavým médiem pro stále větší množství lidí.

Rozvoj internetu ovlivnil i rozvoj spotřební elektroniky. Od přelomu století je síťový interface jedním ze základních prvků ve výbavě stolního počítače či laptopu. Operátoři mobilních telefonů začali poskytovat skrze své bezdrátové telekomunikační sítě mobilní internet a internet se stal službou dostupnou prakticky kdekoli. Dnes je internet opravdu kdekoli a v čemkoli. Internet je nejmocnějším komunikačním médiem. Můžeme tak říci, že pro samotné fungování vyspělého světa a jeho společnosti je kvalitní a stabilní připojení k internetu zcela zásadní. Vyjádřeno v číslech, např. v roce 2011 přispěl internet a skupiny, jejichž fungování je zcela či částečně závislé na internetu, 9,5% k hrubému domácímu produktu České Republiky, což v penězích představovalo toho roku 360 miliard Kč. [6]

2. Teoretická část

Když se podíváme na historii využívání informačních a komunikačních technologií v systému výroby a dodávky elektrické energie, zjistíme, že prvními subjekty elektroenergetiky, které začaly využívat výhod informačních a telekomunikačních technologií, byli provozovatelé přenosových sítí. Jelikož jsou zodpovědní za zajištění stability celé elektrizační soustavy, jejich operátoři potřebují získávat data z co největšího počtu prvků sítě a to okamžitě poté, co jsou tato data naměřena, dokud jsou aktuální. Tato data pak operátoři přenosových sítí používají k analýzám současného stavu soustavy a jejího vývoje. Operátoři tak potřebují datovou síť spojující všechny důležité prvky přenosové soustavy s operačním centrem, která bude schopna obousměrné komunikace, aby mohla přenášet naměřená data z celé soustavy do operačního centra a z operačního centra pak řídicí povely do jednotlivých prvků soustavy.

K dalšímu využití datových sítí v energetice došlo po liberalizaci evropských energetických trhů. Jak jsem již psal v předchozích částech práce, během liberalizace vznikly nové trhy s elektřinou a na nich začaly obchodovat nově vzniklé subjekty – obchodníci s elektřinou. Většina současných trhů, nejen těch s energiemi, je pouhým programem spuštěným na serveru. Jeho účastníci k němu přistupují vzdáleně pomocí internetu a speciální aplikace pro obchodování. Vývoj poptávky a nabídky tvoří na trhu cenu obchodované komodity. Internet tak hraje zásadní roli při tvorbě ceny elektřiny a umožňuje, aby bylo uzavřeno velké množství obchodů mezi velkým množstvím obchodníků.

K trhu přistupuje přes internet i provozovatel přenosové soustavy. Ten spolu s operátorem trhu koordinuje vývoj krátkodobých trhů tak, aby bylo vypořádání jednotlivých obchodů fyzicky proveditelné. Přenosová kapacita jednotlivých vedení je totiž omezená. Provozovatel přenosové soustavy tak omezuje obchodovanou kapacitu jednotlivých vedení a z dat o výsledcích obchodů pak připravuje plány provozu sítě.

Obchodníkům slouží internet také jako komunikační kanál se současnými zákazníky, stejně jako těmi potenciálními. Jak jsem již psal, internet je hlavním komunikačním médiem a tak evropští spotřebitelé elektřiny hledají informace o nabídkách právě zde. Odběratelé si procházejí jednotlivé nabídky tarifů jednotlivých dodavatelů uváděných na jejich internetových stránkách nebo využívají možností zdejších kalkulátorů pro výpočet nejhodnějšího dodavatele.

Internet se tak již stal důležitou součástí obchodu s elektrickou energií. Nicméně, přímé použití informačních a telekomunikačních technologií v systému výroby a dodávky elektrické energie je doposud malé a k většímu propojení fyzické a telekomunikační sítě zatím došlo pouze v přenosové soustavě. Distribuční soustava je moderní komunikační technikou vybavena minimálně. Některé její prvky tak nejsou dálkově ovládány, jiné jsou ovládány pomocí systému Hromadného dálkového ovládání (HDO).

HDO je systém pro dálkové ovládání elektrických zařízení pomocí povelů přenášených přímo po silových vedeních elektrické sítě. Tento systém je používán např. pro řízení provozu některých spotřebičů u maloodběratelů (zapínání/vypínání), přepínání sazeb na elektroměrech, ovládání veřejného osvětlení, apod. Systém HDO je složen z těchto prvků:

- *počítačem řízená centrální automatika – vytváří povelové kódy*
- *výkonový vysílač signálu HDO, včetně vazebních prvků – vysílá signál s povelovými kódy*
- *přenosové cesty – pro přenos signálu HDO se používá samotná elektrorozvodná síť*
- *přijímač HDO – je umístěn v místě odběru elektřiny*

HDO využívá kódování povelu do formy impulsního kódu. Ten je trojfázově vysílán pracovním nízkofrekvenčním kmitočtem vysílače (jeho hodnota je nejčastěji mezi 150 až 2500 Hz) a ve vhodném napájecím místě superponován na základní napětí energetické sítě o frekvenci 50 Hz. Takovým bodem bývá nejčastěji transformovna 110/22 kV nebo 400/110 kV, a to na s nižším

2. Teoretická část

napětím. Na vyslání určité informace reagují hromadně všechny ty přijímače, které jsou předem nastaveny tak, aby reagovaly na konkrétní část kódu. Počet přijímačů připojených v síti není omezen.

Operátoři distribučních sítí využívají systému HDO mimo jiné pro lokální regulaci výkonové bilance sítě. Do distribučních sítí je zapojeno velké množství spotřebičů, které mohou být napájeny dle potřeb distributora, aniž by tím ve větší míře ovlivnili užívání daného spotřebiče. Typickým příkladem takového spotřebiče jsou akumulární kamna. [7]

Systém HDO je používán již desítky let bez větších technických změn, čemuž odpovídá jeho technická úroveň a omezené schopnosti. Hlavním omezením systému HDO je fakt, že komunikace je adresována celé skupině přijímačů reagujících na konkrétní část kódu, povel nelze adresovat konkrétnímu přijímači z této skupiny. Povel signálu HDO jsou pouze dvoustavové, tedy zapnuto/vypnuto, a tak operátor distribuční sítě nemá možnost řídit v širokém rozsahu. Navíc je komunikace pomocí HDO jen jednosměrná.

Dnešní rozvoj informačních a telekomunikačních technologií v mnoha podobách má velký potenciál, který by se měl promítnout do rozvoje elektrizační soustavy. Cena komunikačních technologií postupně klesá, naopak jejich schopnosti neustále rostou, a tak by bylo možné s nízkými náklady vybavit distribuční síť na různých místech množstvím inteligentních zařízení. Inteligence těchto technologií by výrazně zvýšila schopnosti elektrizační soustavy. Vzrostla by flexibilita regulace, spolehlivost dodávek, výroba a přenos elektrické energie by mohly být efektivnější a přenosové schopnosti sítě by mohly vzrůst.

Implementací inteligentní řídicí a měřicí techniky do celé elektrizační soustavy a jejím spojením s komunikační infrastrukturou dojde k zásadnímu kroku v transformaci k chytrým sítím. Konkrétní podobu této techniky v budoucích chytrých sítích uvádím na následujících řádcích:

- *chytré elektroměry – buď v základní variantě, kdy je elektroměr vybaven technologií pro dvousměrnou komunikaci mezi ním a operátorem distribuční sítě, nebo v pokročilé variantě, kdy elektroměr umožní správu celé spotřeby daného odběrného místa a zároveň sleduje cenu elektřiny na trhu pro dosažení maximální ekonomické a energetické efektivity*
- *domácí energetická centra – pokročilá zařízení pro správu všech spotřebičů v budově, které spojí do jedné domácí datové sítě s cílem dosažení interoperability a harmonického chodu domácnosti; ve spojení s elektroměrem umožní autonomní fungování celé budovy s cílem dosažení ekonomické a energetické efektivity při zachování komfortu uživatele*
- *řídicí a měřicí přístroje – analogové elektrické přístroje v elektrizačních sítích jsou postupně nahrazovány přístroji digitálními; nové přístroje v sobě spojí schopnosti tradičních elektrických přístrojů a možnosti datových sítí; jednotlivé přístroje v celé elektrizační soustavě pak budou moci spolupracovat a informovat operátora sítě o svém stavu v reálném čase; tato data pak umožní operátorům provádět analýzy stavu soustavy a dosahovat nejlepších pracovních stavů soustavy*

2.6. Mikrosítě

Mikrosítě jsou lokální distribuční sítě, do kterých jsou připojeny všechny základní prvky chytré elektrické sítě, tedy zdroje výkonu různých typů a charakteristik, spotřebiče s odběrem řízeným dle potřeb sítě a jednotky pro akumulaci energie zajišťující výkonovou rovnováhu mezi výrobou a spotřebou. Na rozdíl od klasických distribučních sítí, všechny části mikrosítě se nacházejí na malé ploše. Konkrétně se může jednat o jednu městskou čtvrť, vesnici, průmyslový závod či pouze jedinou budovu. Mikrosítě se od klasických distribučních sítí liší také menším počtem připojených prvků.

2. Teoretická část

Mikrosítě vystupují vůči nadřazené síti, ke které jsou připojeny, jako kompaktní celky. Stejně tak působí i na trhu s elektřinou. Zde provozovatelé mikrosítí prodávají svou přebytečnou energii, kterou již nemají kde akumulovat, případně, v zájmu ekonomické prosperity sítě, prodávají energii v obdobích, kdy jsou její ceny na trhu vysoké. V časech, kdy elektrárny mikrosítě nevyrobí dostatek energie a akumulátory jsou vybity, provozovatelé mikrosítě na trhu energii nakupují pro vyrovnání rozdílu mezi místní spotřebou a výrobou. Případně, v zájmu ekonomické prosperity sítě, nakupují energii v obdobích, kdy jsou ceny elektřiny na trhu nízké. Nakoupenou energii mohou akumulovat v akumulacích kapacitách mikrosítě a následně spotřebovat nebo, opět v zájmu ekonomické prosperity sítě, opětovně prodat na trhu v dobách vysokých cen. Jak je vidět, mikrosít' není pouze síť efektivně nakládající s energií, ale i zdroj značných zisků.

Stav mikrosítě se v průběhu dne mění, síť volně přechází mezi stavem subjektu energii ze sítě odebírající a stavem subjektu energii do sítě dodávající. Mikrosítě jsou vybaveny přístroji a technologiemi, které jim umožňují pracovat v ostrovním provozu. Mohou tak být odpojeny od vnější elektrizační soustavy. Mikrosít' je tak schopna plně fungovat i v případě, kdy je vnější síť postižena nějakou událostí, která naruší její stabilitu a kompaktnost.

Rozmach využívání OZE k výrobě energie elektrické vytváří velice příznivé podmínky pro tvorbu mikrosítí. Zvláště vhodné je využití mikrosítě pro správu domácích fotovoltaických elektráren. Mikrosítě mohou pomoci proměnit oblasti, které byly doposud pasivními odběrateli, na dynamické zdroje a vytvořit prvky, které vykazují jen malé výkyvy odběru elektrické energie. Zároveň poskytuje možnost přetvořit několik prvků sítě v jeden podnikatelský subjekt poskytující své služby na trhu s elektřinou, čímž může zcela změnit ekonomiku provozu těchto zařízení.

Pro vytvoření mikrosítě je zapotřebí její jednotlivé prvky vybavit komunikačními a měřicími technologiemi a vytvořit komunikační síť pro řízení a získávání dat o jejich provozu. Také je nutné vytvořit operační centrum, odkud bude mikrosít' řízena. První mikrosítě budou vznikat tam, kde je zásobování energií pomocí veřejné elektrizační soustavy příliš technicky obtížné nebo příliš finančně nákladné, případně v oblastech, kde je vyžadována energetická nezávislost. Pokud by v budoucnu mikrosítě do sebe pojaly většinu spotřebičů a většinu zdrojů (hlavně těch distribuovaných), systém řízení celé elektrizační soustavy by se značně zjednodušil a zefektivnil.

2.7. Virtuální elektrárny

Virtuální elektrárna je energetický systém složený z mnoha malých zdrojů elektrické energie nacházejících se na různých místech, přičemž se z vnějšího pohledu jeví celý systém jako jediný zdroj s velkým instalovaným výkonem. Takovými malými zdroji mohou být elektrárny využívající jak OZE, tak i ty vyrábějící elektrickou energii spalováním fosilních paliv. Konkrétně se ve spojitosti s virtuálními elektrárnami hovoří hlavně o malých kogeneračních jednotkách, malých vodních, fotovoltaických a větrných elektrárnách. Jednotlivé zdroje jsou datovou sítí spojeny s řídicím centrem a pomocí společného řídicího systému provozovány jako jeden celek. Instalovaný výkon virtuální elektrárny je dán součtem výkonů jednotlivých zdrojů, které ji tvoří. V závislosti na skladbě zdrojů a velikosti mohou virtuální elektrárny sloužit jak v základním, tak i ve špičkovém, případně režimu zálohy jiných elektráren.

Řídicí systém virtuální elektrárny je nastaven tak, aby zajistil maximálně efektivní výrobu elektrické energie a to v čase, kdy je jí zapotřebí, a nejbližší místu, kde je jí zapotřebí. Hlavním parametrem řízení virtuální elektrárny je tak vývoj spotřeby a to v čase i prostoru. Hlavní cíl slučování malých zdrojů do virtuálních elektráren lze však charakterizovat jako snahu docílit co nejstabilnějšího celku charakterem podobného klasické tepelné elektrárně velkého výkonu při současném zachování maxima výhod decentralizovaných zdrojů energie.

2. Teoretická část

Virtuální elektrárna plní několik rolí:

- *je klíčovým nástrojem managementu strany poptávky*
- *výrazně zvyšuje úroveň bezpečnosti dodávek*
- *zvyšuje efektivnost systému zásobování energií*
- *napomáhá zvyšování soběstačnosti v zásobování energií [8]*

Na trhu s elektřinou pak virtuální elektrárna figuruje jako samostatný subjekt přinášející výhody jak pro drobného výrobce elektřiny, tak pro obchodníka s elektrickou energií. Pro obchodníka je jednodušší a výhodnější nakoupit potřebné množství elektrické energie od jednoho dodavatele než stejné množství kupovat od více drobných dodavatelů. A to od dodavatele, který především dokáže garantovat dodávku smlouveného množství elektřiny. Pro drobného dodavatele elektrické energie má pak zapojení do systému virtuální elektrárny přínos ve zlepšení ekonomiky provozu zdroje a v trvalém monitorování zdroje s diagnostikou nestandardních provozních stavů včetně možnosti dálkového zásahu umožňujícího eliminaci tohoto stavu.

Při srovnání s klasickou elektrárnou má virtuální elektrárna své výhody i nevýhody. Mezi výhody lze jednoznačně zařadit skutečnost, že při poruše jedné elektrárny nebo při omezení jejích regulačních schopností nedojde k přerušení celé dodávky elektrické energie, ale jen její části. Nevýhodou je pak složitější řízení spojené s větším množstvím menších zdrojů zapojených do skupiny virtuální elektrárny. [9]

2.7.1. Obchodní virtuální elektrárna

V současné době je koncept virtuální elektrárny stále rozvíjen. Na trhu již dnes existují systémy, které naplňují alespoň část konceptu. Konkrétně se jedná o tzv. obchodní virtuální elektrárny. Na rozdíl od plnohodnotné virtuální elektrárny obchodní virtuální elektrárna se snaží vyrovnávat nabídku a poptávku na trhu pouze v čase, ale nikoliv v prostoru. Je to virtuální subjekt spravující skupinu elektráren tak, aby došlo k zvýšení tržní hodnoty elektrické energie produkované těmito zdroji. Jedná se tedy o službu pro vlastníky jednotlivých elektráren, která jim má pomoci zvýšit zisk z prodeje elektřiny na krátkodobém trhu. Část ze vzniklého zisku pak získává provozovatel obchodní virtuální elektrárny jako platbu za službu.

Obchodní virtuální elektrárna je soubor řídicích komponent a softwaru pro sledování a řízení jednotlivých výrobních jednotek zapojených do skupiny. Tyto komponenty mají za úkol:

- *sbírat data o provozu zdrojů a jejich evidence v centrálním datovém skladu*
- *předpovídat vliv počasí a dalších faktorů na provoz zdrojů a dostupnost energie z OZE*
- *řídit tyto zdroje*
- *poskytovat technologická data vlastníkům jednotlivých elektráren zapojených do skupiny [10]*

2.8. Zařízení pro uskladnění elektrické energie

S rozmachem využívání OZE ve výrobě energie elektrické se stává řízení elektrizační soustavy značně složitějším. Okamžitý výkon elektráren využívajících OZE je až na některé výjimky (kterými jsou např. elektrárny spalující biomasu nebo tepelné solární elektrárny s akumulací energie v tekutých solích) závislý na aktuálním stavu ovzduší v lokalitě působení elektrárny. Výkon těchto zdrojů tak v čase značně kolísá, suma výkonu dodávaného do sítě se neustále mění a pro provozovatele přenosových soustav je velice obtížně regulovat výkonovou rovnováhu v síti. Tradiční elektrárny jsou vybaveny mnoha systémy pro regulaci svého výkonu dle vývoje odchylky frekvence od jmenovité hodnoty. Velikost této odchylky je úměrná přebytku či nedostatku energie v síti. K tomu,

2. Teoretická část

aby operátoři přenosové soustavy měli možnost soustavu řídit i při většinovém pokrytí spotřeby kolísavými zdroji, kdy již regulační schopnosti tradičních elektráren nestačí, potřebují operátoři zařízení pro uskladnění energie. Tato zařízení disponují regulátory reagujícími na vznik rozdílu mezi okamžitou spotřebou a výrobou stejně jako na ni reagují systémy primární a sekundární regulace v tradičních elektrárnách. Konkrétní reakce je však rozdílná. Např. regulátory tepelných elektráren regulují pomocí zvýšení či snížení výkonu elektrárny, jsou tak omezeny setrvačností soustrojí a velikostí regulačního výkonu generátoru. Regulátory akumulčních zařízení mohou regulovat výkon mnohem dynamičtěji, ve větším rozsahu a rychleji. Akumulátory navíc mohou přecházet mezi stavem, kdy energii do sítě dodávají, a stavem, kdy naopak energii ze sítě odebírají. Konkrétně, při přebytku energie v síti, se tak mohou chovat jako spotřebič odebírající energii ze sítě. Při nedostatku energie v síti se mohou chovat jako zdroj výkonu a energii do sítě dodávat.

Konkrétní podoba akumulčního zařízení může být různá. V současné době se výzkumu metod ukládání elektrické energie věnuje mnoho technologických institutů a univerzit po celém světě, stejně jako mnoho společností působících v energetice

2.8.1. Přeměna elektrické energie na energii chemickou

Tato metoda je dnes nejvíce zkoumaná. Energie chemická má velké množství podob a v případě jejího použití při akumulaci energie se uvažuje hlavně o dvou podobách. Tou první je uložení energie do elektrochemických článků. Dnes již existuje několik akumulčních stanic s vysokou kapacitou složených z elektrochemických článků. Zatím nejvyspělejším typem jsou články lithiium-iontové, brzy však můžeme očekávat nové typy lepších vlastností. Druhá zmíněná metoda je využití nadbytečné energie k výrobě vodíku. Ten je pak stlačen a uskladněn do zásobníků. Později v době potřeby je zpětně přeměněn na energii elektrickou v palivových člancích.

2.8.2. Přeměna elektrické energie na energii potenciální

Zde můžeme opět zmínit 2 podoby této metody. Tou první je akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách. Nadbytečná energie v síti je využita k čerpání vody do horních nádrží přečerpávacích vodních elektráren. Z nich je pak v čase nedostatku energie voda vypouštěna zpět do spodní nádrže tekouce přes turbínu s generátorem, který tak přeměňuje kinetickou a potenciální energii vody zpátky na energii elektrickou. Druhou zmíněnou metodou je akumulace ve stlačeném vzduchu. Přebytečná energie je použita na napájení kompresorů, které stlačují vzduch a ukládají ho do zásobníků. Z nich je pak v době nedostatku energie vzduch vypouštěn ven skrze plynové turbíny, které jsou jím roztáčeny a pohání elektrický generátor.

2.8.3. Přeměna elektrické energie na energii kinetickou

Přebytečná energie je použita na pohon elektromotorů, které roztáčí mohutné setrvačníky. V době nedostatku energie v síti pak elektromotory přecházejí do generátorického chodu a rekuperačním brzděním přeměňují kinetickou energii zpět na elektrickou.

2.8.4. Uskladnění energie do silných elektrických polí

Tato metoda uvažuje použití superkapacitorů. Jejich výhodou je schopnost rychlého nabití a vybití.

Ze zmíněných způsobů uskladnění energie je v mnoha ohledech nejlepší volbou přečerpávací vodní elektrárna. Přečerpávací elektrárny jsou nejstarším typem akumulátoru energie v elektrizační soustavě a dodnes nejčastěji používaným. Provozovatelé soustav jejich schopností využívají k regulaci

2. Teoretická část

výkonové rovnováhy sítě a ukládání energie elektráren pracujících v době mimo špičku. Přečerpávací elektrárny často slouží jako síťová záloha a záloha velkých elektráren (např. v české přenosové soustavě je jaderná elektrárna Temelín takto zálohována přečerpávací vodní elektrárnou Dlouhé Stráně a jaderná elektrárna Dukovany je zálohována přečerpávací vodní elektrárnou Malešice). Ukládání energie do kapacit přečerpávací vodní elektrárny je léty prověřená metoda. Přečerpávací vodní elektrárny dokážou uskladnit energii s vysokou účinností celého cyklu, dokážou rychle měnit svůj výkon a to jak čerpání, tak generování. Jsou schopny pojmout velké množství energie. Pokud je elektrárna navíc vybavena turbínou s vysokým výkonem, může převzít výkon velkých tepelných elektráren v době špičky. Provozovatel sítě tak může dlouhodobě provozovat menší množství zdrojů s vyšším využitím. Z hlediska ekonomického je přečerpávací vodní elektrárna charakteristická prvotní vysokou investicí na vybudování nádrží a všech souvisejících vodních cest a potrubí. Služby, které přečerpávací vodní elektrárny poskytují, však mohou tyto investice rychle splatit. Jejich provozní náklady jsou nízké a životnost jako celek je prakticky neomezená.

Zařízení uskládající energii v první řadě pomáhají zajišťovat rovnováhu mezi spotřebou a výrobou energie v síti. Oproti ostatním způsobům regulace sítě nabízejí možnost rychlé reakce za ekonomicky výhodných podmínek. Navíc tato zařízení mohou zásobit síť v době špičky energií, která do nich byla uskladněna v době mimo špičku. Díky tomu mnoho elektráren, které pracují jen v době špičky, nemusí být vůbec spouštěno a jiné mohou pracovat s konstantním výkonem po celý den a dosahovat tak vysoké účinnosti provozu. Akumulátory pomáhají regulovat napětí, zvyšují kvalitu energie dodávané zákazníkům a potlačují oscilace v síti. Akumulátory navíc mohou pomoci při obnově provozu elektrárnám, které k nastartování potřebují vnější zdroj energie.

V budoucích sítích bude akumulátorů energie zapotřebí čím dál více a to obzvláště těch, které budou schopny reagovat velice rychle. S rozmachem distribuovaných zdrojů budou akumulátory zapotřebí i v distribuční soustavě. Zde jejich nejvhodnější forma bude vytvoření skupiny mnoha akumulčních zařízení s malou kapacitou, tak aby operátoři mohli regulovat distribuční soustavu na lokální úrovni. Takový provozní stav by mohl výrazně zvýšit efektivitu provozu sítě a snížit ztráty při přenosu energie.

2.9. Elektromobily součástí elektrizační soustavy

Automobilový průmysl představuje jeden z hlavních motorů světového hospodářství. Světová motorizace neustále pokračuje, hlavně v rozvojových zemích nabírá vysoké tempo. V současné době je po celém světě provozováno 1,25 miliardy automobilů [11] [12] a statistici odhadují, že roku 2035 bude po světových silnicích jezdit přibližně 1,7 miliardy automobilů, z toho asi 1 miliarda automobilů osobních, přičemž největší nárůst počtu automobilů se očekává v Číně a Indii. [13]

Rozmach automobilové dopravy v Číně však nepřináší lidem jen pohodlné cestování. Dopravní prostředky poháněné spalovacím motorem vypouštějí do ovzduší výfukové plyny, které jsou zdrojem velkého množství emisí. Doprava je obecně považována za jednoho z největších znečišťovatelů životního prostředí a právě v Číně to pociťují opravdu silně. Velká čínská města trápí smog po většinu roku.

Proto čínské úřady zavedly v posledních letech několik opatření, které mají bojovat proti znečištěnému ovzduší. Jedním z nich je podpora ekologické dopravy. V oblasti vnitroměstské přepravy má podobu hlavně rozvoje městské hromadné dopravy, ale také i dosti silné podpory elektromobility. Čínská vláda zavedla systém finančních pobídek na nákup automobilů plně či částečně poháněných elektrickým motorem. Zároveň v čínských městech a u hlavních komunikací probíhá rozsáhlá výstavba dobíjecích stanic.

2. Teoretická část

Stejný systém podpory elektromobility je uplatňován v mnoha státech západní a severní Evropy nebo také v USA. V rámci Evropy je lídrem v podpoře elektromobility a její aplikaci v dopravě Norsko, ve kterém se v roce 2014 prodalo celkem 18 017 elektromobilů, což činilo 12,5% všech prodaných osobních automobilů na zdejším trhu. [14] Dalšími státy s velmi příznivými podmínkami pro rozvoj elektromobility jsou např. Nizozemí, Francie nebo Německo, ve kterém jsou však dotační programy na podporu elektromobility teprve na začátku. Francouzští představitelé plánují, že po francouzských silnicích bude roku 2020 jezdit 2 milióny aut poháněných elektromotorem, německý stát počítá ke stejnému datu s 1 miliónem elektromobilů na německých silnicích. [15] Největším trhem s elektromobily jsou jednoznačně Spojené státy. Již v roce 2013 se zde prodalo přes 100 tisíc automobilů poháněných elektromotorem a zdejší trh roste dále. Dle odhadů by se roku 2023 mohlo v USA ročně prodat kolem půl milionu elektromobilů. [16]

V Evropě je podpora elektromobility spojena s dvěma hlavními aspekty – těmi jsou péče o životní prostředí a energetická bezpečnost, která je hlavně v posledních letech v Evropě velkým tématem. Automobily se spalovacími motory potřebují pro svůj provoz pohonnou hmotu, které jsou vyráběny z ropy, která je v mnoha případech těžena v politicky nestabilních zemích, což se projevuje značnými výkyvy ceny ropy na světových trzích. Tyto výkyvy ohrožují evropské hospodářství, a proto se evropská politika již delší dobu snaží učinit Evropu energeticky nezávislou. Poslední takovou snahou je chystaný projekt Energetické unie. Pokud by se v budoucnu podařilo plně pokrýt energetické potřeby evropských zemí z evropských energetických zdrojů (hlavně tedy elektráren využívajících OZE), byl by to výrazný krok k energetické nezávislosti Evropy. Pokud by takto produkované energie byl dostatek i na provozování zcela elektrifikované dopravy, Evropa by získala plnou energetickou nezávislost.

Z pohledu uživatelů automobilů se stávají elektromobily rok od roku zajímavějšími, a to nejen kvůli zvyšujícím se finančním pobídkám k jejich nákupu či získání mnoha výhod spojených s jejich užíváním, jako je parkování zdarma, osvobození od některých daní apod. Atraktivita elektromobilů mezi řidiči roste hlavně s poklesem jejich samotné ceny (i bez započítávání dotací) a růstem počtu nabíjecích stanic.

Je tedy zřejmé, že v současnosti je svět elektromobilům nakloněn a jejich počet tak pravděpodobně bude rychle narůstat. Velké množství elektromobilů však může mít značný dopad na elektrizační soustavu, ze které jsou dobíjeny. Elektromobily jsou zvláštním typem elektrospotřebiče se specifickou dynamikou odběru energie ze sítě, a tak je zapotřebí se ptát, jestli elektromobily budou pro budoucí chytrou elektrizační soustavu spíše hrozbou nebo příležitostí.

Odpověď na tuto otázku můžeme začít jednoduchým příkladem. V určité lokalitě bude působit milión elektromobilů, které budou dobíjeny z veřejné elektrizační soustavy. V určitý moment nastane situace, kdy 50% z nich bude nabíjeno výkonem 3,7 kW ze standardní domácí zásuvky, 40% z nich bude nabíjeno z domácí dobíjecí stanice s výkonem 11 kW a zbylých 10% bude dobíjeno u rychlodobíjecí stanice s příkonem 22 kW. Celkový příkon všech těchto elektromobilů tak bude v daný moment činit 8,45 GW, což je velice vysoká hodnota. Mohl by být problém zajistit výrobu dostatečného výkonu pro pokrytí takto vysokého odběru a následně distribuovat vysoké výkonové toky do míst, kde jsou jednotlivé vozy dobíjeny.

Nárůst celkové spotřebované energie by naopak nebyl příliš výrazný. Průměrný evropský řidič denně najede 50 km. Elektromobil spotřebuje na takto dlouhé trase 6 kWh energie. Celková roční spotřeba jednoho elektromobilu by tak byla kolem 2 MWh energie., což je průměrná roční spotřeba jedné domácnosti (nevyužívající elektrinu k vytápění či ohřevu TUV) nebo také množství energie spotřebované během 4 minut 40MVA elektrickou obloukovou pecí při tavně oceli.

2. Teoretická část

Celkové množství spotřebované energie tak není problémem. Tím je vysoký okamžitý příkon nabíjecích stanic. Kdyby byly elektromobily nabíjeny v čase špičky, museli by provozovatelé elektrizačních soustav přikročit k rozsáhlým investicím do zařízení soustavy a spouštět velké množství špičkových elektráren s vysokou cenou provozu. Pokud by však řidiči nabíjeli své elektromobily v čase vhodném pro elektrizační soustavu, tedy mimo špičkové zatížení, a využívali by k nabíjení variantu s nejnižším příkonem, tedy z domácí zásuvky 3,7 kW, zatížení sítě by nedosáhlo ani současných hodnot špičkového odběru a provozovateli soustavy by tak nevznikly žádné významné komplikace. Naopak by tento způsob nabíjení byl ku prospěchu provozních parametrů elektrizační soustavy. Elektromobily nabíjené v době mimo špičku sníží rozdíl spotřeby mezi dobou špičky a mimo ní a tak dojde k lepšímu využití současných výrobních a přenosových kapacit sítě.

Elektromobily jsou navíc specifickým spotřebičem. Jejich uživatel potřebuje, aby jeho elektromobil byl nabitý na danou úroveň kapacity baterie v určitý čas, kdy bude potřebovat vůz použít a nezajímá ho dynamika samotného procesu nabíjení. Tato skutečnost dává elektromobilům ambice stát se chytrým spotřebičem. Spotřebičem schopným dynamicky měnit svůj příkon a případně injektovat energii zpátky do sítě podle potřeb jejího provozovatele. Tento způsob řízení odběru energie v případě spolupráce sítě a elektromobilu bývá anglicky označováno vehicle-to-grid (V2G).

Služby, které by mohly elektromobily jakožto akumulátory energie síti poskytnout, jsou tyto:

- *řízení spotřeby energie během nabíjení, případně zpětná injekce energie do sítě*
- *účast v systému řízení frekvence, tedy primární a sekundární regulace*
- *poskytování energetické zálohy v případě nouzové situace v síti*

2.9.1. Řízení spotřeby

V čase mimo špičkový odběr, klesá odběr na své minimum. Provozovatelé sítě na tuto skutečnost reagují odstavením některých elektráren. S příchodem dalšího období špičkového odběru je však opět spouštějí. V případě tepelných elektráren vychází tento proces spouštění a vypínání velice nákladně. Obdobně negativní dopad na řízení sítě má také čas špičky. Pokrytí zvýšeného odběru vyžaduje použití velkého množství výrobních jednotek a to i těch, jejichž provoz je velice drahý.

Snížení rozdílu spotřeby v jednotlivých částech dne by provozovateli elektrizační soustavy usnadnilo její provoz a řízení s lepším využitím výrobních a přenosových kapacit. Náklady na provoz by tak značně poklesly. Jako možný a ekonomicky dostupný způsob dosažení takového stavu může být zapojení elektromobilů do řízení spotřeby. Vzhledem k tomu, že injekce energie zpátky do sítě vyžaduje specifickou výbavu elektromobilu, zvláště z oblasti výkonové elektroniky a řídicího zařízení, můžeme očekávat, že v nejbližší době touto schopností bude disponovat pouze minimum elektromobilů.

2.9.2. Regulace frekvence

Aby byla elektrizační soustava stabilní, musí být v ní trvale platný stav výkonové rovnováhy. Indikátorem této rovnováhy je frekvence elektrického napětí a proudu v síti. Pokud je v daný moment více energie ze sítě odebíráno než je do sítě dodáváno, frekvence klesá a naopak roste, pokud je dodávka převažuje nad odběrem. Při vzniku odchylky frekvence od jmenovité hodnoty jsou provedeny kroky, které působí proti odchylce. Hlavními systémy pro regulaci frekvence je systém primární a sekundární regulace. Systémy primární frekvence reagují okamžitě po vzniku odchylky, jejich úkolem je zastavit další nárůst odchylky. Pro návrat frekvence zpátky na její jmenovitou hodnotu pak slouží systémy sekundární regulace. Provozovatel přenosové sítě, který zodpovídá za regulaci celé soustavy, nakupuje služby regulace sítě na specifické části trhu s elektřinou.

2. Teoretická část

Elektromobily by mohly v systému primární a sekundární regulace hrát důležitou roli. Pokud by byly vozy vybaveny systémy pro sledování frekvence sítě, případně systémy komunikujícími s provozovateli přenosové soustavy, mohla by řídicí elektronika vozu i reagovat podobně jako reaguji regulační systémy v elektrárnách. Vzhledem k tomu, že elektromobily jsou napájeny systémem složeným z výkonové elektroniky a baterie elektrochemických článků, dokážou tok energie do baterie či z ní regulovat mnohem dynamičtěji a rychleji než regulátory regulující elektrárny pracující s mechanickým soustrojím. Regulace takových elektráren je brzděna setrvačností mnohatunový soustrojí, a tak není možné skokově navýšit otáčky turbíny apod. Zdvojnásobit odběr energie ze sítě, případně do ní dodat energii z baterie však zvládne výkonová elektronika elektromobilu ve zlomku sekundy.

Systém sekundární regulace aplikovaný na baterii elektromobilu by jistě snížil její životnost, která je ovlivněna hlavně počtem nabíjecích/vybíjecích cyklů. Motivací pro majitele vozů účastnit se regulace by mohl být podobný systém, který je dnes používán u velkých poskytovatelů regulační energie, tedy systém platby za regulační kapacitu. Celkové náklady provozovatelů přenosové soustavy na regulaci sítě by však poklesly, jelikož elektrárny poskytující drahou regulační energii by již nebyly potřeba.

2.9.3. Elektromobily jako energetická záloha

V případě výpadku některého z velkých zdrojů v síti, případně při neplánovaném odpojení některého z důležitých vedení se může soustava dostat do situace vážného narušení stability. Taková situace může vést k rozpadu celé soustavy na ostrovy, jednotlivé menší soustavy navzájem od sebe oddělené. Aby jednotlivé soustavy mohly po určitou dobu pracovat v ostrovním provozu a mohlo následně dojít k obnově původního stavu elektrizační soustavy, je často zapotřebí zdroje energie připojeného k ostrovu. Takový zdroj dodá do sítě výkon, kterým nastolí výkonovou rovnováhu alespoň na lokální úrovni a zabrání dalšímu pokračování rozpadu soustavy. Navíc pokud by se např. operační centrum místní distribuční soustavy ocitlo zcela bez napájení, nedokázalo by provést na síti operace nutné pro její rekonstrukci. Záložní zdroje energie jsou důležité také při restartování některých elektráren, které nejsou schopné tzv. startu ze tmy, tedy spuštění bez prvotního napájení soustrojí elektrárny z vnější elektrizační soustavy.

V současné elektrizační soustavě je záloha reprezentována elektrárnami, které jsou za normálního provozu odstaveny či pracují se sníženým výkonem. Při stavu nouze jsou pak provozovatelé těchto elektráren vyzváni k jejímu spuštění, případně zvýšení jejího výkonu.

V systému energetické zálohy by tak elektromobily mohly hrát důležitou roli. Jejich dostatečné množství by mohlo převzít úlohu velkých zálohových zdrojů. Díky svému rovnoměrnému rozmístění na rozsáhlých oblastech by elektromobily působily v podstatě na všechny prvky soustavy. Zásah skupiny elektromobilů by tak byl efektivnější než zásah jednoho centralizovaného zdroje. Motivací majitelů elektromobilů pro jejich připojení do systému energetické zálohy by mohla být platba za rezervovanou kapacitu zmíněná v předchozí části.

2.9.4. Elektromobil součástí chytrého domova

Předchozí části práce prezentovaly způsoby, jakými mohou elektromobily přispět k veřejnému zájmu. Majitel elektromobilu však chce v první řadě čerpat jeho výhod ke svému užítku. Z mnoha výhod elektromobilu bych rád na závěr popsal využití jeho akumulátoru jako součást chytrého domu. Jak již jsem psal v předchozí části práce, chytrý dům sjednocuje řízení všech spotřebičů do jednoho energetického centra. To pracuje tak, aby budova fungovala co nejefektivněji a nejekonomičtěji. Chytrý dům vybavený akumulátorem energie (v tomto případě uvažujeme o připojeném

2. Teoretická část

elektromobilu) a zdrojem energie má ambice se stát energeticky zcela soběstačným. Energie z domácí elektrárny by mohla být ukládána do elektromobilu při nadbytku výroby nad spotřebou, aby pak v čase, kdy je energie spotřebováváno více než vyráběno, mohla domácnost energii čerpat z elektromobilu a měla tak po celý den zajištěnu dodávku energie bez nutnosti odebírat energii ze sítě a platit za ni dodavateli.

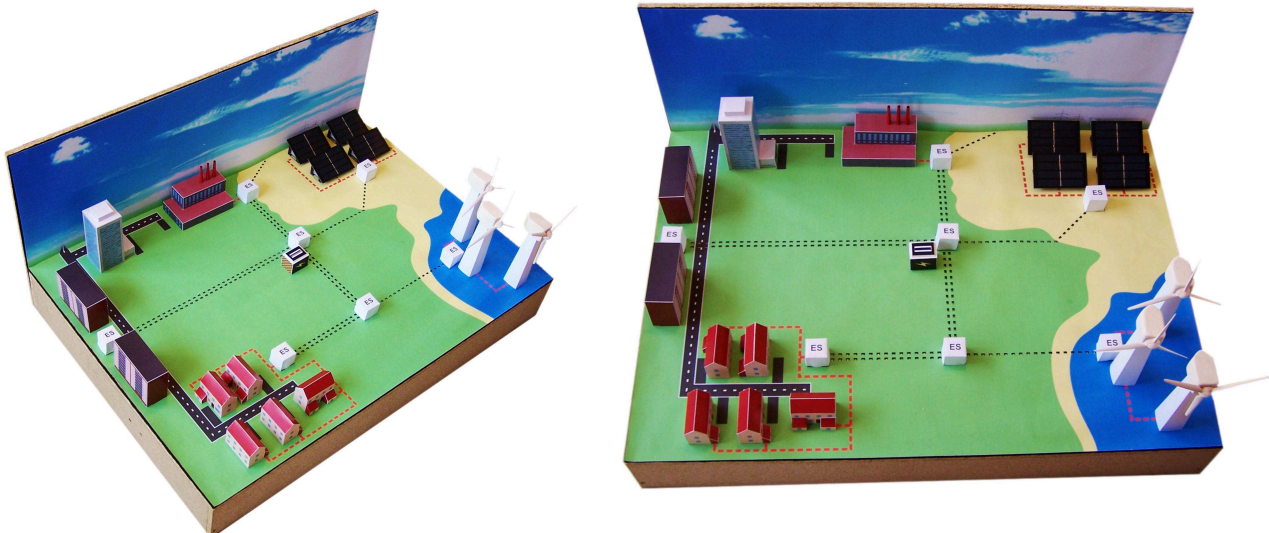
Díky tomu, že elektromobil je dopravní prostředkem, který si zdroj své energie vozí s sebou, se může elektromobil proměnit v přenosný zdroj energie. Jeho majitel tak může z jeho baterie napájet spotřebu své horské chaty bez přípojky k veřejné síti nebo napájet pracovní nástroje při práci mimo budovu.

3. Praktická část – návrh modelu chytré sítě

Hlavní náplní této bakalářské práce je vytvoření návrhu modelu chytré sítě a jeho následné sestavení. V této části práce popisují model nejprve jako celek a následně se věnují jeho jednotlivým částem. Hlavním záměrem během celého procesu návrhu bylo vytvořit model, který by byl co nejvíce srozumitelný ve svých funkcích, aby poskytl rychlé porozumění fungování moderní chytré sítě. Názornost a srozumitelnost modelu mu dává možnost, aby byl použit jako doplňkový výukový materiál pro studenty, kteří se s filozofií a topologií chytrých sítí setkávají poprvé.

Jak jsem již uvedl v teoretické části, problematika chytrých sítí je obsáhlá a postihuje všechny subjekty zapojené do systému výroby a přenosu elektrické energie a stejně tak samotného odběratele elektrické energie. Proto se zde popisovaný model chytré sítě zaměřuje na hlavní část proměny současných elektrizačních soustav na chytré a to konkrétně proměnu distribuční soustavy. Jak jsem již v teoretické části uvedl, s příchodem chytrých sítí budou v distribučních sítích probíhat největší změny. Současná distribuční síť pracuje v jednosměrném režimu – přenáší energii z jednoho či několika míst napájení z nadřazené soustavy do míst spotřeby, tedy na elektrickou přípojku spotřebitele. Směr toků výkonu je tak konstantní a jejich velikost, pokud v síti nenastane nějaký speciální stav, lze velice dobře předpovídat. Většina současných distribučních sítí tak může být provozována v nejjednodušší topologii jako síť paprsková, kdy každý jednotlivý spotřebitel je napájen pouze pomocí jednoho vedení. Moderní chytrá distribuční síť se bude muset vypořádat s příchodem velkého množství malých a středně velkých zdrojů elektrické energie zapojených přímo do ní. Tyto tzv. distribuované zdroje změny toky výkonů v distribuční síti a to jak jejich směr, tak jejich velikost. Navíc se bude často jednat o elektrárny využívající k výrobě elektrické energie obnovitelných zdrojů energie, hlavně malé větrné a fotovoltaické elektrárny, jejichž okamžitý výkon je závislý na aktuálním počasí. Množství energie dodávané do distribuční soustavy tak bude v čase značně kolísat, s čímž se bude muset provozovatel distribuční soustavy muset vyrovnat. Aby taková síť zůstala stabilní, dokázala pracovat efektivně a dodávka energie spotřebitelům byla kvalitní, je zapotřebí síť vybavit moderní telekomunikační a datovou technikou a mnoha přístroji umožňujícími síť řídit.

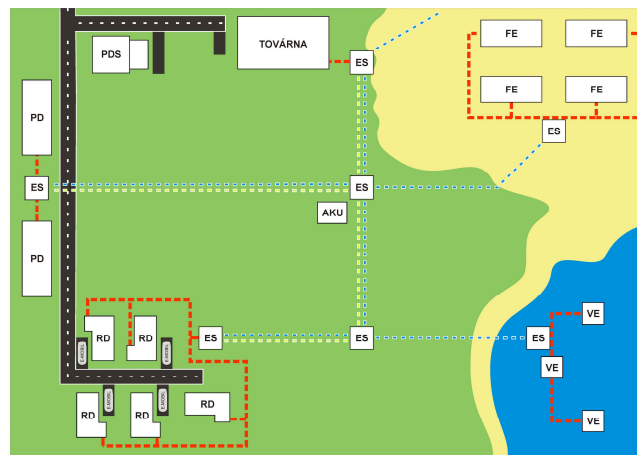
Právě takovou síť jsem se ve svém modelu snažil zobrazit.



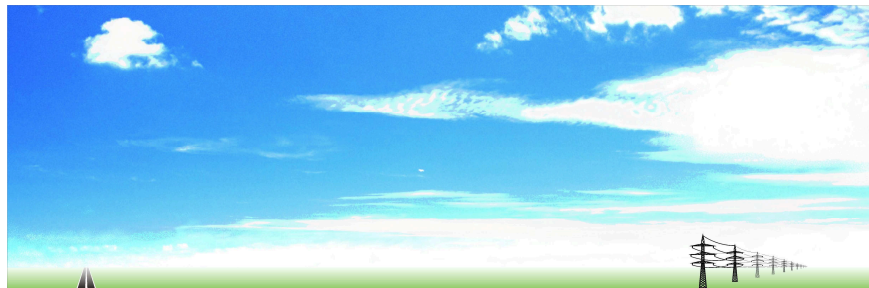
Obr. 3.1, 3.2: Model chytré sítě

3.1. Obecný popis modelu chytré sítě

Model se skládá z několika částí. Hlavní scéna je vytvořena na ploše šířky 827 mm a výšky 585 mm. Hlavní plocha zachycuje krajinu, do níž byla chytrá elektrizační síť zasazena. V pravém dolním rohu se nachází moře a pobřeží, v pravém horním rohu se nachází poušť a zbytek plochy jsou travnaté louky. U levého okraje je několik staveb propojených silnicí. Za hlavní plochou se kolmo k ní nachází zadní plocha s obzorem a oblohou. Hlavní smysl této zadní plochy je vytvoření nosného systému pro uchycení krabičky slunce s LED diodami (viz dále) a také zobrazení elektrického vedení nadřazené napájecí soustavy, ke které je naše modelová síť připojena. Náhled hlavní a zadní plochy vkládám zde, jejich obrázky ve vyšší kvalitě se pak nachází v příloze B této práce na přiloženém CD.



Obr. 3.3: Hlavní plocha modelu



Obr. 3.4: Zadní plocha modelu

Na hlavní ploše je modelováno několik prvků sítě, které jsem považoval za nejdůležitější části chytré sítě. Do oblasti moře jsem umístil tři větrné příbřežní elektrárny symbolizující farmu větrných elektráren. Do oblasti pouště jsem umístil 4 fotovoltaické panely symbolizující solární fotovoltaickou elektrárnu. U horního okraje uprostřed se nachází budova továrny symbolizující velkooběr elektrické energie, navíc se zde nachází napojení modelované sítě k síti nadřazené. U levého horního rohu se nachází budova operátora modelované soustavy. Pro názornost byla zvolena výšková budova, jejíž výška je odpovídající významu provozovatele sítě. Uprostřed levého horního okraje se nachází dva panelové domy symbolizující sídliště, a tedy odběr střední velikosti. U levého dolního rohu se nachází vesnice s několika rodinnými domy, které představují několik maloodběrů. Uprostřed celé sítě se nachází centrální akumulační stanice. Celá hlavní plocha je pak protkána LED pásky zabudovanými pod hlavní plochou v drážkách v hlavní desce konstrukce. Světelný efekt vytvářenými těmito LED pásky symbolizuje pohyb energie podél elektrického vedení chytré sítě.

3. Praktická část

Konstrukce modelu je vytvořena z dřevotřískových desek tloušťky 12 mm. Celkem má konstrukce 6 částí:

- 1 hlavní deska: na hlavní desce jsou umístěny jednotlivé prvky modelu a jsou v ní zabudovány LED pásy; rozměry této desky jsou 827 mm x 585 mm
- 4 boční desky: vytváří opěrnou část spodní konstrukce, nesou hlavní desku konstrukce a vytvářejí tak pod ní chráněný prostor, ve které jsou nainstalovány desky plošných spojů řídicí desky a bargrafu a také všechny vodiče galvanicky spojující řídicí desku s jednotlivými prvky modelu umístěnými nad hlavní deskou; rozměry bočních desek připojených k zadnímu a přednímu okraji hlavní desky jsou 827 mm x 100 mm, rozměry bočních desek připojených k levému a pravému okraji hlavní desky jsou 561 mm x 100 mm
- 1 zadní deska: zadní deska nese na lící straně plochu s obzorem a oblohou, na straně zadní krabičky slunce s LED diodami, zadní deska navíc zesiluje celkovou konstrukci; rozměry této desky jsou 827 mm x 382 mm

Jednotlivé desky jsou spojeny samořeznými šrouby délky 40 mm a se závitem tloušťky 3,5 mm.

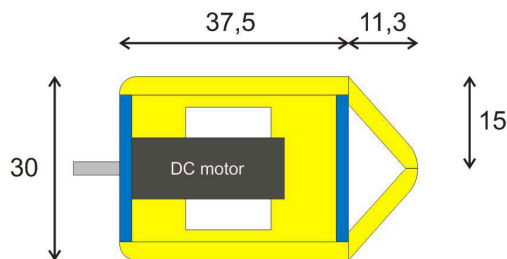
Pro připojení plošných spojů k hlavní konstrukční desce byly použity šrouby M3 délky 30 mm se zápuštěnou hlavou.

K technickému návrhu a kresbě všech jednotlivých částí byl využit grafický software CorelDRAW X3.

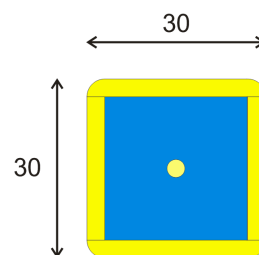
3.1.1. Větrná elektrárna

Modely jednotlivých větrných elektráren se skládají ze tří částí: ze stožáru, z gondoly a vrtule s rotorem. Jako stavební materiál na stavbu těchto částí byly použity papír, překližka a balza.

Zde jsou obrázky jednotlivých částí (okótování rozměrů v milimetrech, barva dané části značí její materiál: žlutá – balza, modrá – překližka) a jejich fotografie po zhotovení:

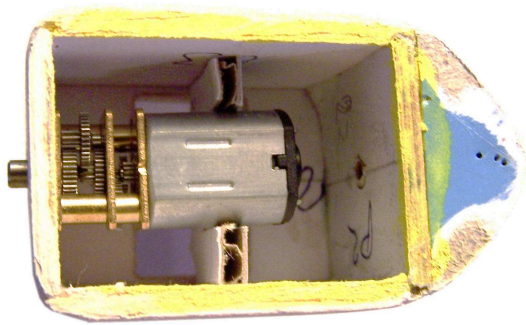


Obr. 3.5: Půdorys gondoly větrné elektrárny

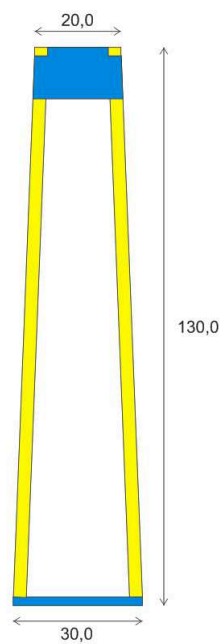


Obr. 3.6: Nárys gondoly větrné elektrárny

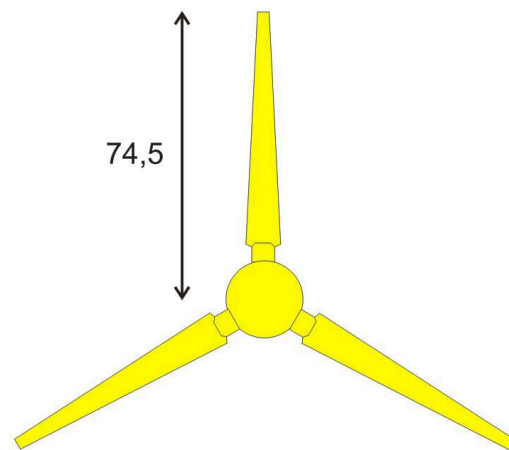
3. Praktická část



Obr. 3.7; Obr. 3.8: Fotografie gondoly větrné elektrárny, pohled shora (bez vrchní části) a z boku (s vrchní částí)



Obr. 3.9: Bokorys stožáru větrné elektrárny

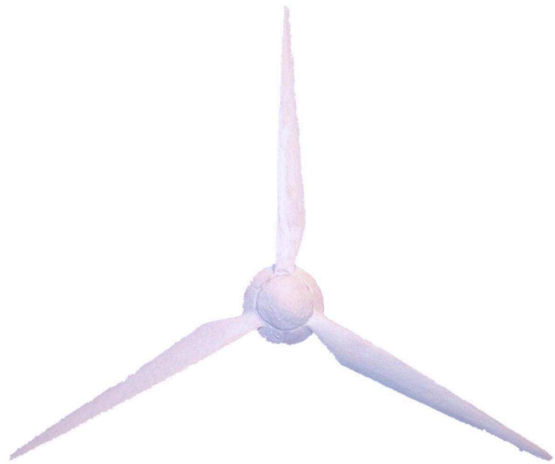


Obr. 3.10: Nárys vrtule rotoru větrné elektrárny

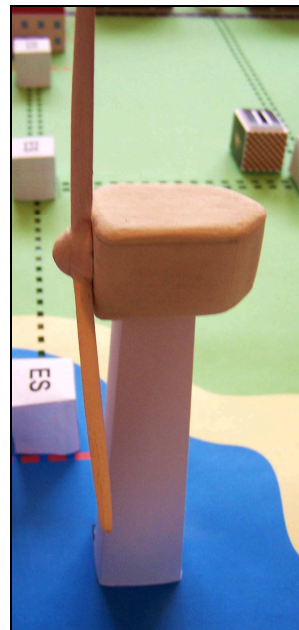
3. Praktická část



Obr. 3.11: Fotografie stožáru větrné elektrárny



Obr. 3.12: Fotografie vrtule větrné elektrárny



Obr. 3.13; Obr. 3.14: Fotografie celé větrné elektrárny – pohled zepředu, z boku

Jak je vidět na obrázku půdorysu gondoly, v gondole se nachází malý stejnosměrný motor, který zajišťuje pohon vrtule připojené ke gondole. Jedná se o motor X Power Micro Motor vybavený převodovkou s převodem do pomala (převodový poměr $i = 250$). Motory na modelu pracují s dvěma hodnotami napětí, při nichž se točí dvěma hodnotami otáček. Pro ty módy modelu, které zachycují velmi větrné počasí, kdy větrné elektrárny mají okamžitý výkon rovný instalovanému a jejich vrtule se otáčejí otáčkami příslušnými tomuto výkonu, je každý z motorů napájen plným napětím stabilizovaného zdroje $U = 4,5 \text{ V}$. Při tomto napětí se motory otáčejí rychlostí $n_{1V_m} = 11250 \text{ otáček/min}$ a po převodu tak získáváme otáčky $n_{1V_p} = 45 \text{ otáček/min}$. Pro módy modelu, které zachycují středně

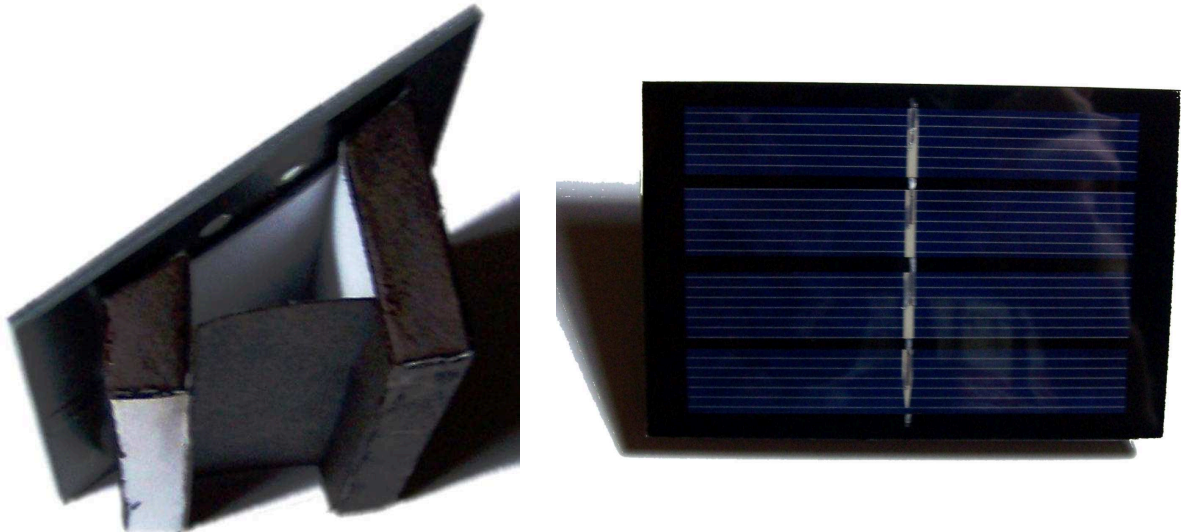
3. Praktická část

větrné počasí (přesněji fouká vítr 4. až 5. stupně Beaufortovy stupnice), kdy rotor větrné elektrárny se otáčí otáčkami menšími než jsou jmenovité a elektrárna pracuje s nižším okamžitým výkonem než je její instalovaný, je každý z motorů napájen napětím $U = 2 \text{ V}$. Při tomto napětí se motory otáčejí rychlostí $n_{2V_m} = 5250$ otáček/min a po převodu tak získáváme otáčky $n_{2V_p} = 21$ otáček/min.

Jelikož máme na modelu 3 větrné elektrárny a v nich 3 motory, jsou tyto tři motory spojeny paralelně. Motory jsou napájeny ze stabilizovaného zdroje napětí se stabilizátorem LM7805. Velikost napětí je řízena pomocí pulzně šířkové modulace spínaná výkonovým tranzistorem. Ta umožňuje dosáhnout jakéhokoli napětí od nuly až po skoro plné napětí zdroje, v tomto případě 4,5 V. Obdélníkové napětí PWM je vyhlazeno pomocí kondenzátoru $C = 470 \mu\text{F}$. Při napájecím napětí 4,5V teče obvodem motorů proud 14 mA, při napájecím napětí 2 V teče proud 10 mA.

3.1.2. Solární fotovoltaická elektrárna

Model solární fotovoltaické elektrárny jsem ztvárnil pomocí 4 fotovoltaických panelů. Každý z nich má rozměry 90 x 60 mm. Tyto panely jsou přilepeny na papírové konstrukci, která dává panelům sklon 30° vůči hlavní ploše.



Obr. 3.15; Obr. 3.16: Fotografie solární elektrárny – pohled z boku a shora

3.1.3. Vesnice, skupina rodinných domů - mikrosítě

Vesnice je ztvárněna 5 rodinnými domy. Tyto domy považujeme z hlediska sítě jako odběry malé velikosti. Obyvatelé těchto domů vlastní elektromobily a využívají akumulaci kapacity jejich baterií pro akumulaci levné energie z dob nadbytku výkonu v síti.

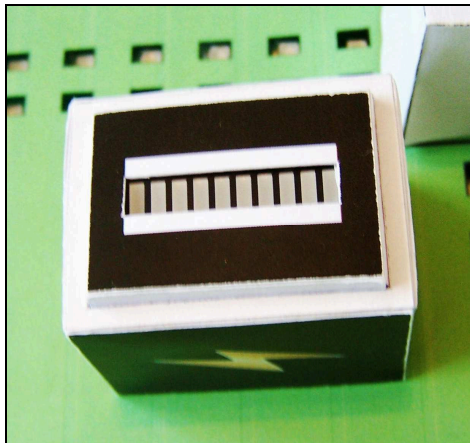
Tato skupina domů zastupuje na tomto modelu mikrosítě. (viz část 2.6 Mikrosítě v této práci) Díky možnosti akumulace energie v bateriích místních elektromobilů může tato mikrosítě pracovat po část dne nezávisle na vnější síti, samozřejmě jen v rozsahu množství energie uložené v elektromobilech. Proto v některých stavech modelu je mikrosítě nenapájena z chytré sítě a využívá energii uloženou v akumulátorech. Je tomu tak ve stavech, kdy lokální distribuované zdroje produkují málo energie a ta je tak v danou chvíli drahá.

3.1.4. Centrální akumulátor

Centrální akumulátor je důležitou součástí chytré sítě, protože dává provozovateli sítě možnost energii skladovat v časech nadbytku výroby nad spotřebou a naopak energii zpětně uvolnit do sítě v čase nedostatku výroby vůči spotřebě. Levná energie vyrobená v distribuovaných zdrojích této sítě tak v síti zůstává a neodtéká do soustavy nadřazené. A zároveň provozovatel chytré sítě nemusí nakupovat drahou energii z vnější soustavy, při jejímž přenosu by navíc vznikaly ztráty. Akumulátor tak provozovateli sítě snižuje náklady.

Akumulátor zároveň slouží jako hlavní nástroj pro řízení sítě: protože v soustavě musí neustále platit stav výkonové rovnováhy mezi spotřebou a výrobou, je možné pomocí kapacity akumulátoru soustavu vyvážit.

Model akumulátoru je ztvárněn pomocí papírové budovy (její stavební síť je v příloze C). Momentální stav nabití akumulátoru je znázorněn pomocí bargrafu na jeho střeše. Bargraf je spojen s vlastním plošným spojem, který je pak připojen k řídicí desce (více v elektrickém schématu zapojení v příloze D a schématech plošných spojů v příloze E). Bargraf v použitém zapojení a dle programu umožňuje zobrazovat na své stupnici 5 stavů – od dvou svítících diod až po všech deset svítících.



Obr. 3.17: Fotografie akumulátoru

3.1.5. LED pásy

Toky elektrické energie ve vedeních modelové sítě jsou zobrazeny pomocí spínání a vypínání světelných LED diod osazených na plošných spojích umístěných pod papírem hlavní plochy. Diody jsou spínány a vypínány tak, aby vznikl světelný efekt pohybujících se zářících bodů. Zářící body se pohybují vždy od místa zdroje energie do místa spotřeby, případně místa akumulace energie.

Na modelu se nachází dva druhy LED pásků. Jedna skupina pásků je osazena modře svítícími diodami, tyto pásy zobrazují tok výkonu produkovaného v distribuovaných zdrojích, případně tok výkonu z vnější nadřazené sítě do modelované sítě. Druhá skupina pásků je osazena zeleně svítícími diodami, tyto pásy zobrazují tok výkonu dodávaného do soustavy centrálním akumulátorem.

Světelný efekt vytvářený postupným spínáním LED diod je hlavním vizuálním prvkem modelu.

LED pásy se na modelu vyskytují ve třech variantách a to variantě s devíti diodami, šesti diodami a třemi diodami. Plošný spoj, na kterém jsou usazeny byl vyroben univerzálně tak, aby ho bylo možno zkrátit z plné délky pro 9 diod na délku dvou třetin či jedné třetiny.

3. Praktická část

Zde je tabulka se základními parametry LED diod:

Zeleně svítící LED	Modře svítící LED
Jmenovité napětí $U_f = 3,0$ V	Jmenovité napětí $U_f = 3,0$ V
Jmenovitý proud $I_f = 30$ mA	Jmenovitý proud $I_f = 30$ mA
Vlnová délka $\lambda = 521$ nm	Vlnová délka $\lambda = 467$ nm

Tab. 3.1: Parametry LED použitých na LED páscích

Trojice diod je spojena do série, konkrétně se jedná o spojení každé třetí diody v řadě. Tedy v případě plné délky pásku je do série spojena 1., 4. a 7. dioda, 2., 5. a 8. dioda, 3., 6. a 9 dioda. V jeden moment tak svítí diody ob dvě další v řadě. K těmto třem diodám v sérii je připojen odporník omezující proud tekoucí diodami, odpor těchto odporníků se liší v závislosti na variantě LED pásku, zda se jedná o pásek zkrácený či celý. Konkrétní hodnoty odporu v následující tabulce:

Varianta LED pásku:	Odpor odporníku:
Pásek 1/3 délky, v sérii 1 dioda a 1 odporník	paralelně 1200 Ω a 1000 Ω
Pásek 2/3 délky, v sérii 2 diody a 1 odporník	paralelně 2x 680 Ω
Pásek plné délky, v sérii 3 diody a 1 odporník	150 Ω

Tab. 3.2: Varianty LED pásku použité na modelu

LED pásky jsou připojeny na napájecí napětí 12 V na příslušných výstupních svorkách řídicí desky. Spojení je provedeno 4 vodiči, jeden je společný pro všechny diody a je připojen na kladný pól napájecího napětí. Každý jeden ze tří zbylých vodičů uzemňuje jednu trojici sériově zapojených diod. Přivedením napájecího napětí je vybrán příslušný LED pásek. Postupným uzemňováním dochází k přepínání mezi jednotlivým trojicemi LED. Více v elektrickém schématu v příloze D a schématu plošného spoje LED pásku v příloze E.

LED pásky jsou usazeny do drážek vyfrézovaných v podkladové desce z dřevotřísky. V těchto drážkách jsou zalaty čirým univerzálním silikonem, který vyplňuje celý prostor drážky a vytváří tak mechanickou ochranu jak LED pásků vespod vrstvy silikonu, tak papír hlavní plochy nad silikonem. Zároveň silikon slouží jak difúzní optické prostředí pro rovnoměrnější distribuci světelného toku LED diod.



Obr. 3.18: Fotografie LED pásku

3.1.6. Slunce

Okamžitý výkon solárních fotovoltaických elektráren je závislý na aktuálním počasí, konkrétně na aktuálním osvětlení fotovoltaických panelů. Protože i na mém modelu se nachází tento typ elektrárny a změny okamžitého výkonu elektrárny jsou důležitou součástí modelu, bylo zapotřebí rozeznávat stavy osvětlení a neosvětlení panelů i zde na modelu. Vytvořil jsem proto scénu se zářícím sluncem a bez něj. Pro rozeznání těchto dvou stavů jsem na zadní desku s oblohou umístil model slunce, ztvárněný 3 výkonovými LED diodami ozařujícími papír plochy s oblohou skrze kruhový otvor v zadní desce o průměru 8 cm. Zde je tabulka se základními parametry každé z těchto 3 diod:

3. Praktická část

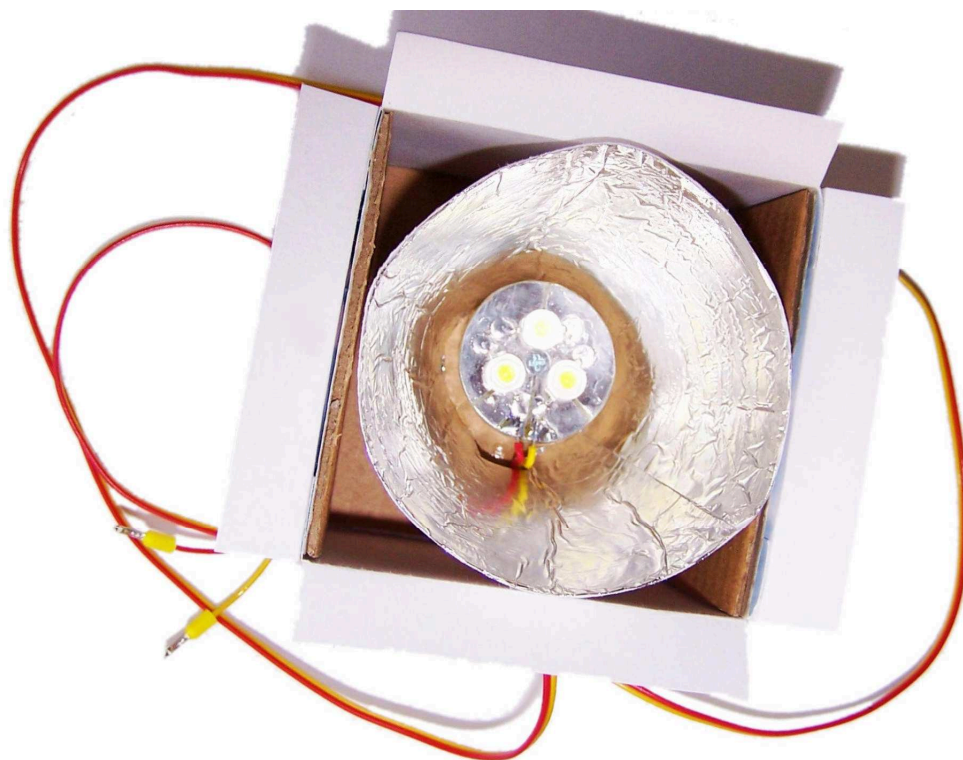
Jmenovité napětí U_f	3,6 V
Jmenovitý proud I_f	350 mA
Jmenovitý výkon P	1 W
Světelný tok ϕ	170 lm
Teplota chromatičnosti T	5500 K

Tab. 3.3: Parametry výkonové LED WHITE 1W 170lm/120°

Tyto tři LED diody jsou spojeny sériově a pracují s nižším proudem než je jejich jmenovitý, konkrétně při jejich sepnutím jimi protéká 180 mA. Proud je omezen sériově zapojeným odporníkem o odporu $R = 22 \Omega$. Světelný tok každé z nich je tak nižší než jmenovitý, přesto dostatečný k ozáření papírové plochy s oblohou, na které se zobrazí kotouč slunce.

LED diody jsou uchyceny na plošném spoji, ten je uchycen v papírové krabičce. Tato krabička vytváří svítidlo, uchycuje diody a zároveň, pomocí odrazné plochy kolem LED diod, distribuuje světelný tok diod. Diody se nachází vzdálenosti 75 mm od osvětlované plochy.

Zde je fotografie zachycující celé svítidlo s LED diodami odděleně od zadní desky konstrukce modelu:



Obr. 3.19: Fotografie krabičky slunce

3.2. Provozní stavy modelu chytré sítě

Rozdílné stavy modelované sítě jsou způsobeny hlavně kolísáním výkonu distribuovaných zdrojů. V naší modelované síti jsou distribuované zdroje zastoupeny elektrárnami využívající k výrobě elektrické energie energii slunečního záření a kinetickou energii větru, jejich okamžitý výkon je tak závislý na aktuálním počasí. Proto i jednotlivé stavy mého modelu jsou charakterizovány aktuálním stavem ovzduší v místě výroby elektrické energie.

3.2.1. Jasný podzimní den, počasí je slunečné, zároveň vane silný vítr

Ve skutečném světě, za tohoto počasí pracují větrné a fotovoltaické elektrárny s dostatečně velkým zdrojem energie, okamžitý výkon těchto elektráren je tak blízký hodnotě jejich instalovaného výkonu.

Na našem modelu je tento stav znázorněn osvětlením fotovoltaických panelů solární elektrárny, přesněji rozsvícením výkonových LED diod umístěných za zadní plochou s oblohou, a otáčením rotorů větrných elektráren maximálními otáčkami, tedy na našem modelu to je 45 otáček/min. Oba zdroje dodávají do sítě modelu své maxima výkonu.

V tomto stavu je vyráběné energie dostatek na zásobení všech odběrů v naší modelové síti, dokonce zde zůstává přebytek. LED pásy světelně znázorňují tok energie z elektrických stanic (dále ES) napájených z distribuovaných zdrojů. Z farmy příbřežních větrných elektráren se přenáší výkon do ES mikrosítě tvořené rodinnými domy a do ES připojující centrální akumulární stanici. Z ES fotovoltaické elektrárny se přenáší výkon do ES sídliště symbolizované dvěma panelovými domy a do ES napájející továrny.

V tomto stavu tak farma větrných elektráren poskytuje energii pokrývající celý odběr mikrosítě, z jejího přebytku je navíc nabíjen centrální akumulátor. Energie vyráběná fotovoltaickou elektrárnou je spotřebovávána na napájení sídliště a továrny. Průběh nabíjení akumulátoru můžeme pozorovat pomocí bargrafu na střeše budovy akumulátoru, kdy počet jeho svítících LED diod postupně narůstá. Poté, co akumulátor dosáhne 100% kapacity, již se dále nenabíjí.

3.2.2. Zatažený podzimní den, obloha je zatažená, vane však silný vítr

Ve skutečném světě, za tohoto počasí pracují větrné elektrárny s dostatečným zdrojem energie, jejich výkon je tak blízký hodnotě jejich instalovaného výkonu. Fotonvoltaická elektrárna naopak vyrábí minimum energie, její aktuální výkon dosahuje jen několika procent jejího jmenovitého výkonu.

Na našem modelu je tento stav znázorněn neosvětlením fotovoltaických panelů solární elektrárny, přesněji výkonové LED diody umístěné za zadní plochou s oblohou nesvítí. Rotory větrných elektráren se však točí na maximální otáčky, stejně jako v případě předchozího stavu. Větrná elektrárna dodává do sítě modelu svůj maximální výkon, solární elektrárna žádný.

V tomto stavu již vyráběné energie není dostatek na zásobení všech odběrů napájených pomocí naší sítě. Z farmy příbřežních větrných elektráren se přenáší výkon do ES mikrosítě tvořené rodinnými domy a do ES centrálního akumulátoru, z tohoto místa se navíc částečně přenáší do ES sídliště a do ES továrny. LED pásy vycházející z ES fotovoltaické elektrárny nesvítí. Napájení velkého odběru továrny je částečně zajišťováno z vnější nadřazené elektrizační soustavy pomocí

3. Praktická část

připojovacího vedení (což je světelně symbolizováno pomocí LED pásku u zadního okraje modelu), částečně z akumulátoru i energie větrné elektrárny.

V tomto stavu tak farma větrných elektráren poskytuje energii zcela pokrývající odběr mikrosítě a částečně odběr sídliště a továrny. Zbylou potřebnou energii pro odběr továrny poskytuje vnější síť. Centrální akumulční stanice napájí část odběru sídliště a továrny, a tak je v tomto provozním stavu postupně vybíjena, což je světelně znázorněno na bargrafu akumulátoru. Počet svítících LED diod postupně klesá, jakmile dosáhne stavu 2 svítících LED diod, akumulátor je vybit na 20% kapacity. Protože provozovatel sítě potřebuje zbývající energii pro regulaci distribuční sítě, akumulátor již dále nemůže sloužit jako zdroj výkonu pro soustavné napájení odběrů a tento stav končí. Jakmile nastane tato situace, model přechází do stavu 3.2.3.

3.2.3. Zatažený podzimní den, obloha je zatažená, vane však silný vítr, pokračování stavu 3.2.2

Jakmile je centrální akumulátor vybitý na 20% kapacity, již dále nemůže poskytovat energii pro napájení sídliště a továrny. Odběr továrny je tak dále plně zajišťován dodávkou energie z vnější sítě a odběr sídliště dodávkou energie produkované větrnou elektrárnou.

V tomto stavu tak LED pásky světelně znázorňují tok energie přes připojovací vedení vnější soustavy do ES továrny. Spotřeba mikrosítě zůstává zajišťována energií dodávanou farmou větrných elektráren, která nyní napájí i sídliště. Ostatní prvky zůstávají ve stejném stavu, ve kterém se nacházely během provozního stavu chytré sítě 3.2.2.

Centrální akumulátor na svém bargrafu zobrazuje stav vybití na 20% kapacity. Během provozního stavu 3.2.3 akumulátor není opětovně dobíjen, potřebnou energii by musela dodat vnější síť, což by bylo pro provozovatele chytré distribuční sítě ekonomicky nevýhodné (tato elektrická energie je dražší, zatížena poplatky za přenos a vyrobena v drahých zdrojích).

3.2.4. Letní slunečný den, obloha je jasná, je však bezvětří

Ve skutečném světě, za tohoto počasí pracují fotovoltaické elektrárny s dostatečným zdrojem energie, jejich výkon je blízký hodnotě jejich instalovaného výkonu. Rotory větrných elektráren však nemá co roztáčet a tyto zdroje tak nevyrobí žádnou energii, jejich aktuální výkon je nulový.

Na našem modelu je tento stav znázorněn osvětlením fotovoltaických panelů solární elektrárny, přesněji rozsvícením výkonových LED diod umístěných za zadní plochou s oblohou. Rotory větrných elektráren se však vůbec netočí, stojí. Solární elektrárna tak dodává do sítě modelu svůj maximální výkon, avšak větrná elektrárna nedodává žádný.

V tomto stavu není dostatek vyráběné energie na zásobení všech odběrů napájených pomocí naší sítě. Z ES fotovoltaické elektrárny se přenáší výkon do ES mikrosítě tvořené rodinnými domy, částečně do ES sídliště a také částečně do ES továrny. Zbývající část napájení odběru sídliště zajišťuje centrální akumulátor, který zároveň částečně napájí velký odběr továrny. Napájení velkého odběru továrny je navíc zajišťováno pomocí vnější nadřazené elektrizační soustavy pomocí připojovacího vedení.

V tomto stavu tak fotovoltaická elektrárna poskytuje energii pokrývající zcela odběr mikrosítě, částečně odběr sídliště a částečně odběr továrny. Odběr továrny je zajišťován z vnější sítě, akumulátoru a fotovoltaické elektrárny zároveň. Centrální akumulční stanice je v tomto provozním stavu postupně vybíjena, což je světelně znázorněno na bargrafu akumulátoru. Počet svítících LED diod postupně klesá, jakmile dosáhne stavu 2 svítících LED diod, akumulátor je vybit na 20% kapacity. Protože provozovatel sítě potřebuje zbývající energii pro regulaci distribuční sítě,

3. Praktická část

akumulátor již dále nemůže sloužit jako zdroj výkonu pro soustavné napájení odběrů a tento stav končí. Jakmile nastane tato situace, model přechází do stavu 3.2.5

3.2.5. Letní slunečný den, obloha je jasná, je však bezvětří, pokračování stavu 3.2.4

Jakmile je centrální akumulátor vybitý na 20% kapacity, již dále nemůže poskytovat energii pro napájení sídliště a továrny. Odběr továrny je tak dále plně zajišťován dodávkou energie z vnější sítě a odběr sídliště dodávkou energie produkované fotovoltaickou elektrárnou.

V tomto stavu tak LED pásy světelně znázorňují tok energie přes přípojovací vedení vnější soustavy do ES továrny. Spotřeba mikrosítě zůstává zajišťována energií dodávanou fotovoltaickou elektrárnou, která nyní napájí i sídliště. Ostatní prvky zůstávají ve stejném stavu, ve kterém se nacházely během provozního stavu chytré sítě 3.2.4.

Centrální akumulátor na svém bargrafu zobrazuje stav vybití na 20% kapacity. Během provozního stavu 3.2.5 akumulátor není opětovně dobíjen, potřebnou energii by musela dodat vnější síť, což by bylo pro provozovatele chytré distribuční sítě ekonomicky nevýhodné.

3.2.6. Zimní zatažený den, obloha je zatažená a vane mírný vítr

Ve skutečném světě, za tohoto počasí nemá žádný z našich zdrojů okamžitý výkon roven plnému instalovanému výkonu. Protože jsou panely fotovoltaické elektrárny skoro neosvětleny, fotovoltaická elektrárna vyrábí minimum energie, její aktuální výkon dosahuje jen několika procent jejího jmenovitého výkonu. Větrná elektrárna pracuje přibližně na polovinu svého jmenovitého výkonu. Mírný vítr roztáčí turbínu na otáčky nižší než jmenovité, což způsobuje výrazný pokles výkonu (výkon větrné turbíny je úměrný třetí mocninně rychlosti větru).

Na našem modelu je tento stav znázorněn neosvětlením fotovoltaických panelů solární elektrárny, přesněji výkonové LED diody umístěné za zadní plochou s oblohou nesvítí. Rotory větrných elektráren se sice točí, ale jen s poloviční rychlostí otáčení, tedy na našem modelu to je 21 otáček/min. Farma větrných elektráren dodává do sítě modelu polovinu svého maximálního výkonu, solární elektrárna nedodává výkon žádný.

V tomto stavu je produkce energie distribuovanými zdroji nízká a není dostatečná na zásobení všech odběrů napájených pomocí naší sítě. Z farmy příbřežních větrných elektráren se přenáší výkon pouze do ES mikrosítě. Centrální akumulační baterie zajišťuje energii pro celý odběr sídliště. Velký odběr továrny je zcela zajišťován dodávkou energie z vnější nadřazené elektrizační soustavy. LED pásy vycházející z ES fotovoltaické elektrárny nesvítí.

V tomto stavu tak farma větrných elektráren poskytuje energii pokrývající odběr mikrosítě, sídliště je napájeno akumulátorem a fotovoltaická elektrárna nezajišťuje žádný odběr. energii pro odběr továrny poskytuje vnější síť. Centrální akumulační stanice je v tomto stavu vybitá, což je světelně znázorněno na bargrafu akumulátoru. Počet svítících LED diod postupně klesá, jakmile dosáhne stavu 2 svítících LED diod, akumulátor je nabit na posledních 20% kapacity. Protože provozovatel sítě potřebuje zbývající energii pro regulaci distribuční sítě, akumulátor již dále nemůže sloužit jako zdroj výkonu pro soustavné napájení odběrů a tento stav končí. Jakmile nastane tato situace, model přechází do stavu 3.2.7.

3.2.7. Zimní zatažený den, obloha je zatažená a vane mírný vítr, pokračování stavu 3.2.6

Jakmile je centrální akumulátor vybitý na 20% kapacity, již nemůže poskytovat energii pro napájení sídliště. Jeho úlohu tak přebírá vnější síť. Odběr továrny je dále zajišťován dodávkou energie z vnější nadřazené soustavy.

V tomto stavu tak LED pásy světelně znázorňují tok energie přes připojovací vedení vnější soustavy skrze ES továrny do ES sídliště. Spotřeba mikrosítě zůstává zajišťována energií dodávanou farmou větrných elektráren. Tyto elektrárny zůstávají ve stejném stavu, ve kterém se nacházely během provozního stavu chytré sítě 3.2.6.

Centrální akumulátor na svém bargrafu zobrazuje stav vybití na 20% kapacity. Během provozního stavu 3.2.7 akumulátor není opětovně dobíjen, potřebnou energii by musela dodat vnější síť, což by bylo pro provozovatele chytré distribuční sítě ekonomicky nevýhodné.

3.2.8. Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětrí

Ve skutečném světě, za tohoto počasí neposkytují naše zdroje prakticky žádný výkon. Protože jsou panely fotovoltaické elektrárny skoro neosvětleny, fotovoltaická elektrárna vyrábí minimum energie, její aktuální výkon dosahuje jen několika procent jejího jmenovitého výkonu. Rotory větrných elektráren nemá co roztáčet a větrné elektrárny tak neprodukují žádnou energii, jejich aktuální výkon je nulový.

Na našem modelu je tento stav znázorněn neosvětlením fotovoltaických panelů solární elektrárny a stojícími rotory větrných elektráren. Ani jeden z distribuovaných zdrojů nedodává do modelované sítě energii.

V tomto stavu je tedy produkce energie distribuovanými zdroji nulová, a tak všechny odběry připojené k naší síti musí být zásobeny z jiných zdrojů. Těmi jsou centrální akumulární stanice a vnější elektrizační soustava. Centrální akumulární baterie zajišťuje energii pro odběr sídliště a částečně pro velký odběr továrny. Ten je však hlavně zajišťován dodávkou energie z vnější nadřazené elektrizační soustavy. Mikrosítě není z chytré sítě napájena, využívá energie uložené ve vlastních akumulárních kapacitách. LED pásy vycházející z ES fotovoltaické elektrárny a ES farmy větrných elektráren nesvítí.

V tomto stavu je tak jediným zdrojem připojeným přímo k chytré síti centrální akumulátor. V tomto stavu zajišťuje celý odběr sídliště a část odběru továrny, vybíjí se tak rychleji než ve stavu 3.2.6. Tento fakt je znázorněn rychlejším poklesem počtu svítících LED bargrafu akumulátoru. Jakmile je akumulátor plně vybit na 20% kapacity, model přechází do stavu 3.2.9.

3.2.9. Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětrí, pokračování stavu 3.2.8

Jakmile je centrální akumulátor vybit na 20%, již nemůže poskytovat energii pro napájení sídliště a továrny. Jeho úlohu tak přebírá vnější síť a napájí tak zcela továrnu i sídliště.

V tomto stavu tak LED pásy světelně znázorňují tok energie přes připojovací vedení vnější soustavy skrze ES továrny do ES sídliště. Mikrosítě stále čerpá z vlastních akumulárních kapacit. Distribuované zdroje připojené do chytré distribuční soustavy neprodukují žádnou energii, a tak nezajišťují žádný odběr. Protože centrální akumulátor je vybitý na minimální přípustnou hodnotu, také nezajišťuje žádný odběr. Všechny odběry jsou pokryty drahou energií z vnější sítě.

3. Praktická část

Centrální akumulátor na svém bargrafu zobrazuje stav vybití na 20% kapacity. Během provozního stavu 3.2.9 akumulátor není opětovně dobíjen, potřebnou energii by musela dodat vnější síť, což by bylo pro provozovatele chytré distribuční sítě ekonomicky nevýhodné.

3.2.10. Zimní zatažený den, obloha je zatažená a je bezvětrí, pokračování stavu 3.2.9

Jakmile mikrosítě vyčerpá všechnu svou energii akumulovanou v bateriích elektromobilů, musí i ona přejít na napájení energií dodávanou vnější sítí. Na modelu je tento stav světelně znázorněn tokem energie z ES továrny do ES mikrosítě.

Během všech provozních stavů chytré sítě zároveň dochází k regulaci uvnitř mikrosítě tvořené skupinou rodinných domů. Díky řídicí technice této sítě a jejím akumulacním kapacitám je odběr mikrosítě méně kolísavý. Zároveň v dobách drahé energie na místním trhu s elektřinou, tedy stavech, kdy distribuované zdroje kvůli nepřízní počasí dodávají do sítě malé či žádné množství energie (tedy v naší síti stavy 3.2.6 až 3.2.10), mikrosítě omezuje (či úplně přerušuje) dodávky z distribuční soustavy a využívá vlastních akumulacních kapacit v podobě baterií elektromobilů.

3.3. Ovládání modelu

Ovládání modelu chytré sítě je velice jednoduché. Na levém boku modelu je umístěna maticová klávesnice s 9 tlačítky, pomocí nichž je ovládán celý model.

Každé tlačítko má maximálně jednu funkci:

Tlačítko 1	Spustí provozní stav 3.2.1
Tlačítko 2	Spustí provozní stav 3.2.2
Tlačítko 3	Spustí provozní stav 3.2.4
Tlačítko 4	Spustí provozní stav 3.2.6
Tlačítko 5	Spustí provozní stav 3.2.8
Tlačítko 6	Způsobí vybití centrálního akumulátoru na 20% jeho kapacity
Tlačítko 7	Způsobí nabití centrálního akumulátoru na 100% jeho kapacity
Tlačítko 8	-
Tlačítko 0	Vypne model

Tab. 3.4: Funkce jednotlivých tlačítek klávesnice

Jednotlivé provozní stavy modelu netrvalí neomezeně dlouho. Některé přechody mezi stavy jsem již popsal v části 3.2 a to konkrétně ty, které následují po vybití akumulátoru na 20% kapacity. Model však přechází i mezi jinými stavy. Ze stavu 3.2.1, který je základní, model přechází do stavu 3.2.2, 3.2.4, 3.2.6 či 3.2.8, výběr konkrétního je náhodný. Po proběhnutí vybraného stavu se následně vrací zpět do stavu 3.2.1.

Jeden stav modelu může trvat maximálně 37 sekund a to jen v případě stavu stabilního a pokud do něj ručně nezasáhneme novou volbou provozního stavu. V provozních stavech, kdy dochází k nabíjení či vybíjení akumulátoru, akumulátor prochází 5 úrovněmi (pokud se akumulátor nabíjí z minima či vybíjí z maxima, jinak prochází menším počtem úrovní) a to konkrétně 20%, 40%, 60%, 80% a 100% kapacity. Jedna úroveň trvá 6,2 sekund. Akumulátor se tak vybije z maxima do minima či nabije z minima do maxima za 24,8 sekund.

3.4. Fotodokumentace modelu

V příloze A se nachází fotografie zachycující jednotlivé části modelu. Fotografie zachycují průběh stavby jednotlivých částí modelu a jejich skládání dohromady do výsledného celku.

3.5. Výkresová část

3.5.1. Výkres hlavní a zadní plochy

V příloze B se nachází obrázky hlavní a zadní plochy a to ve vyšším rozlišení než v jakém jsou jejich náhledy, Obr 3.1 a 3.2, v části 3.1 této práce. Jednotlivé části zakreslené na obou plochách jsou popsány také v části 3.1.

3.5.2. Síť modelů objektů chytré sítě

V příloze C se nachází síť modelů jednotlivých budov umístěných na hlavní desce. Tyto sítě byly navrženy v programu CorelDRAW X3, vytisknuty na fotografický papír a následně složeny do výsledných tvarů.

3.5.3. Elektrické schéma zapojení jednotlivých prvků modelu

V příloze D se nachází elektrická schémata zapojení jednotlivých prvků modelu. Schémata byla vytvořena v programu OrCAD.

3.5.4. Schéma desek plošných spojů

V příloze E se nacházejí obrázky zobrazující náhledy jednotlivých desek plošných spojů použitých na modelu. Protože tyto plošné spoje jsou provedeny vícevrstvé (s výjimkou desky klávesnice), pro přehlednost jsou barevně rozlišena vodivá spojení v jednotlivých vrstvách. Konkrétní vrstvu daného spoje přibližuje barevný popis pod každým obrázkem. Obrázky nejsou zobrazeny v měřítku 1:1, proto jsem je opatřil grafickým měřítkem.

Plošné spoje byly vytvořeny v prostředí programu OrCAD verze 9, jejich obrázky použité v této práci pak byly vytvořeny v programu CAM 350.

3.6. Program použitý k řízení práce řídicí desky

V příloze F se nachází program, kterým byl naprogramován mikroprocesor řídicí desky za účelem řízení modelu. Program je implementován jako konečný automat. Programování mikroprocesoru probíhalo v prostředí programu CodeVisionAVR. Program má dvě části. První částí je kód hlavního programu s instrukcemi pro řízení jednotlivých prvků v jednotlivých pracovních stavech modelu. Druhou částí je kód nastavení registrů mikroprocesoru.

Proces vytváření programu probíhal následovně. Vytvořil jsem nový projekt a nastavil základní parametry mikroprocesoru. Konkrétně jsem si vybral čip ATmega64L, krystal 3,68MHz a tvorbu aplikace. Porty procesoru jsem si vybral A až G a nastavil vlastnosti každého z nich. Použil jsem dva ze čtyř časovačů. Osmibitový čítač 0 a šestnácti bitový čítač 1.

U obou časovačů používáme jako zdroj hodin hodiny procesoru. Úlohou prvního časovače je generování pulzně šířkové modulace. Jeho děličku frekvence nastavujeme na konečný takt procesoru 57,6 kHz a mód pulzně šířkové modulace volíme fast PWM. Úlohou druhého časovače je obsluha přerušení. Jeho děličku frekvence nastavujeme na konečný takt procesoru 3,6 kHz.

Program CodeWizardAVR pak vygeneruje základní kód programu a nastavení registrů mikroprocesoru. Následuje vytváření samotného obsahu programu.

V příloze F se také nachází stavový diagram přechodů programu řídicí desky.

4. Závěr

V této bakalářské práci jsem prezentoval chytré elektrizační sítě. V první teoretické části jsem se zaměřil na popis změn a technologických výzev, které čekají jednotlivé části systému výroby a dodávky elektrické energie. Soubor všech požadavků na elektrizační soustavu budoucnosti (ze strany spotřebitelů, subjektů působících v energetice, politiků, ...) pak vytváří její možnou podobu.

S transformací tohoto systému je spojeno velké množství problémů, které proces přeměny mohou komplikovat. Pokusil jsem se prezentovat nástroje, které je umožní všechny překonat. Některé potřebné technologie (na úrovni hardware i software) jsou již dnes na potřebné úrovni, jiné musí projít dalším výzkumem. Příkladem těch již dostatečně vyspělých jsou datové sítě, jejich implementace do elektroenergetiky je však dnes nedostatečná a pro dosažení cílů chytrých sítí bude potřeba vybudovat rozsáhlou infrastrukturu datových elektroenergetických sítí. Příkladem technologií, jejichž vývoj ještě nedosáhl úrovně potřebné pro plnění cílů chytrých sítí, jsou hlavně akumulární zařízení a technologie řízení distribuovaných zdrojů.

V rámci celé teoretické části jsem prezentoval důvody provádění změn na elektrizační síti a uváděl výhody chytré sítě oproti současné a nové možnosti, které poskytne. Ať už to je zvýšení stability celé elektrizační soustavy, zvýšení kvality dodávek, rekonfigurovatelnost a zcela nové provozní stavy distribučních soustav, nárůst efektivity práce všech prvků elektrizační soustavy a pokles energetických ztrát, zvýšení bezpečnosti soustavy, zapojení odběratelů do regulace sítě a trhu s elektřinou, nové způsoby produkce elektrické energie, pokles cen elektrické energie nebo mnoha dalších.

V teoretické části jsem také prezentoval některé specifické subjekty, které postupně pronikají do elektrizační sítě nebo proniknou v blízké budoucnosti. Těmi jsou mikrosítě, virtuální elektrárny či elektromobily.

V praktické části práce jsem pak na modelu prezentoval distribuční síť, která prošla procesem transformace na chytrou, a získala tak nové schopnosti typické pro chytrou distribuční síť. Cílem mé práce bylo vytvořit model, který bude interaktivní, srozumitelný a jednoduše ovladatelný, aby mohl být použit jako doplněk výuky. Myslím, že výsledný model odpovídá těmto mým cílům a samotnému zadání bakalářské práce.

Provedení model zároveň nechává prostor pro budoucí rozšíření. Jak jsem již uvedl, problematika chytrých sítí zasahuje všechny části systému výroby a dodávky elektrické energie, a tak by v budoucnu po vzoru mého modelu chytré distribuční sítě mohly vzniknout i modely dalších částí zmíněného systému, např. model chytrého domu s domácí chytrou sítí, rozšířený model mikrosítě rodinných domů nebo model virtuální elektrárny.

5. Literatura, použité zdroje

- [1] Hadjsaid, N., Sabonnadiere, J.-C., *Smart Grids*, první vydání, Wiley-ISTE, 2012, 350 s., ISBN: 978-1-84821-261-9
- [2] Úřad vlády ČR, *Strategie Evropa 2020* [online], copyright 2009-2014, <<http://www.vlada.cz/cz/evropske-zalezitosti/evropske-politiky/strategie-evropa-2020/strategie-evropa-2020-78695>> [citace 1.4. 2015]
- [3] EU SmartGrids Technology Platform, *What is a SmartGrid* [online], <<http://www.smartgrids.eu/ETPSmartGrids>> [citace 1.4. 2015]
- [4] US Department of Energy, *Smart Grid* [online], <<http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>> [citace 1.4. 2015]
- [5] ČEZ a.s., *Velký experiment pro chytrá měřidla* [online], copyright 2015, <<http://www.kdejinde.cz/cs/jak-se-pracuje-v-cez/den-s/43-velky-experiment-pro-chytra-meridla.html>> [citace 5.4. 2015]
- [6] Horáček, F., *Studie: Internet přispívá k HDP až deseti procenty* [online], publikováno dne 4.2. 2014 <http://ekonomika.idnes.cz/internetova-ekonomika-prispiva-k-hdp-4-procenty-f5s-/ekonomika.aspx?c=A140204_141845_ekonomika_fih> [citace 10.4. 2015]
- [7] Duchek, P., *Také vás rozčiluje HDO?* [online], publikováno dne 14.10. 2005, <<http://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/753-take-vas-rozciluje-hdo>> [citace 7.4. 2015]
- [8] Šafařík, M., *Virtuální elektrárny* [online], 2008 <http://zelenykruh.cz/wp-content/uploads/2015/01/virtualni-elektrarny_PORSENNNA.pdf> [citace 16.4. 2015]
- [9] Března, J. Dobeš, L., Matoušek, L., Murár, V., *V Česku vzniká první rozptýlená elektrárna* [online], publikováno dne 3.8. 2009, <<http://www.tzb-info.cz/5817-v-cesku-vznika-prvni-rozptylena-elektrarna>> [citace 16.4. 2015]
- [10] Amper Market, *Virtuální elektrárna* [online], <<http://www.ampermarket.cz/virtualni-elektrarna>> [citace 16.4. 2015]
- [11] Statista, *Number of cars sold worldwide from 1990 to 2015* [online], <<http://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>> [citace 7.4. 2015]
- [12] Davis, S., Diegel, S., Boundy, R., *Transportation Energy Data Book: Edition 33* [online], publikováno v červenci 2014, <http://cta.ornl.gov/data/tedb33/Edition33_Full_Doc.pdf> [citace 7.4. 2015]
- [13] LeBeau, P., *Whoa! 1.7 Billion Cars on the Road by 2035* [online], publikováno dne 12.11. 2012 <<http://www.cnbc.com/id/49796736>> [citace 7.4. 2015]
- [14] Horčík, J., *V Norsku se minulý rok prodalo 18 017 elektromobilů* [online], publikováno dne 27.1. 2015 <<http://www.hybrid.cz/v-norsku-se-minuly-rok-prodalo-18-017-elektromobilu>> [citace 7.4. 2015]

5. Literatura, použité zdroje

- [15] BusinessInfo.cz, Generální konzulát České republiky, *Informace z Česko-německého fóra elektromobility v Německu* [online], publikováno dne 3. 11. 2014
<<http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/informace-z-cesko-nemeckeho-fora-elektromobility-v-nemecku-58757.html>> [citace 8.4. 2015]
- [16] Ekobonus.cz, *Amerika: největší trh pro elektrická auta* [online], publikováno dne 23.6. 2014,
<<http://www.ekobonus.cz/ekologicka-doprava/elektromobily/amerika-nejvetsi-trh-pro-elektricka-auta>> [citace 8.4. 2015]

6. Seznam příloh - Příloha na CD/DVD

Příloha A - Fotodokumentace modelu (14 stran)

Příloha B - Výkres hlavní a zadní plochy (2 strany)

Příloha C - Síť modelů objektů chytré sítě (5 stran)

Příloha D - Elektrické schéma zapojení jednotlivých prvků modelu (9 stran)

Příloha E - Schéma desek plošných spojů (4 strany)

Příloha F - Program použitý k řízení práce Řídící desky a stavový diagram (16 stran)