

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Smart Grids velkého průmyslového podniku

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.

Autor: Bc. Stanislav Nečesal

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav NEČESAL**
Osobní číslo: **E14N0123P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Smart Grids velkého průmyslového podniku**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište specifické vlastnosti distribučních sítí velkých průmyslových podniků.
2. Uveďte základní myšlenky a technické komponenty Smart Grids.
3. Navrhněte řešení Smart Grids vybraného průmyslového podniku.
4. Vyberte praktické ukázky naměřených průběhů.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan





Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na obecný popis a praktické řešení inteligentních sítí, tzv. Smart Grids. V práci je provedeno vlastní ideové řešení lokální distribuční soustavy obecného průmyslového podniku se zavedením konceptu Smart Grids. Cílem této práce je ukázat možný směr řízení lokální distribuční soustavy pomocí nových inteligentních prvků a procesů, pomáhajících jejímu co nejefektivnějšímu využití.

Klíčová slova

Distribuční soustava, Lokální distribuční soustava, Průmyslový podnik, Hromadné dálkové ovládání, Automatická sekundární regulace napětí, Smart Grids, Smart Metering, Power Line Communication

Abstract

The presented master thesis focuses on a general description and practical solutions of the so called Smart Grids. The thesis provides a resolution of local distribution network of a general industrial company with the establishment of the Smart Grids concept. The aim of the thesis is to show a possible way of directing a local distributional system with the aid of new intelligent features and processes helping its most effective utilizing.

Key words

Distribution system, Local distribution system, Industrial Company, Ripple Carrier Signaling, Automatic Secondary Voltage Regulation, Smart Grids, Smart Metering, Power Line Communication

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 19.5.2017

Stanislav Nečesal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 DISTRIBUČNÍ SÍTĚ PRŮMYSLVÝCH PODNIKŮ	12
1.1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA	12
1.2 OBECNÝ POPIS LOKÁLNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	13
1.2.1 <i>Technické požadavky na připojení odběrných míst</i>	13
1.3 OBECNÁ SPECIFIKA PRŮMYSLVÝCH PODNIKŮ	16
1.3.1 <i>Napětové hladiny</i>	17
1.3.2 <i>Stupeň zajištění dodávky elektrické energie</i>	17
1.3.3 <i>Dimenzování</i>	18
1.3.4 <i>Zkratová odolnost</i>	18
1.3.5 <i>Kompensace (bilance jalového výkonu)</i>	19
1.4 TRANSFORMÁTORY V LDS.....	21
2 SMART GRIDS	22
2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ SMART GRIDS.....	23
2.2 PŘÍNOSY ZAVEDENÍ SMART GRIDS.....	23
2.3 KOMPONENTY VE SMART GRIDS	24
2.3.1 <i>Inteligentní elektroměry</i>	24
2.3.2 <i>Data koncentrátoři</i>	25
2.3.3 <i>Inteligentní rozvaděče</i>	26
2.4 ZÁKLADNÍ PRVKY A METODY ZAVEDENÍ SMART GRIDS	27
2.4.1 <i>Kontrola dynamické bezpečnosti provozního stavu ES</i>	27
2.4.2 <i>Zdokonalení korekčních zásahů</i>	27
2.4.3 <i>WAMS (Wide Area Monitoring System)</i>	28
2.5 SMART METERING.....	30
2.6 KOMUNIKAČNÍ SÍTĚ PRO SMART GRIDS.....	32
2.6.1 <i>Power Line Communication (PLC)</i>	34
2.6.2 <i>Heterogenní hybridní síť</i>	36
2.7 PRINCIPY REGULACE	37
2.7.1 <i>Regulace na straně spotřeby</i>	37
2.7.2 <i>Hromadné dálkové ovládání</i>	39
2.7.3 <i>Regulátor ostrovního provozu (ROP)</i>	41
2.7.4 <i>Automatická sekundární regulace napětí (ASRU)</i>	43
2.7.5 <i>Základní technické formy ASRU</i>	46
2.7.6 <i>Praktické ukázky průběhů napětí</i>	49
3 VLASTNÍ NÁVRH SMART GRIDS PRO OBECNOU LDS PRŮMYSLVÝCH PODNIKŮ	53
3.1 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VLASTNÍHO NÁVRHU LDS	54
3.1.1 <i>Řízení sítě</i>	56
3.2 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA.....	58
3.2.1 <i>Akumulce</i>	60
3.3 BIOPLYNOVÁ STANICE.....	61
3.4 SMART PARKING	62
4 ZÁVĚR	64
POUŽITÁ LITERATURA	66
PŘÍLOHY	69

PŘÍLOHA 1: LDS AREÁLU PRŮMYSLVÝCH PODNIKŮ ARCELORMITTAL OSTRAVA

Seznam symbolů a zkratek

f [Hz]	Frekvence
I [A]	Elektrický proud
P [W]	Činný výkon
Q [VAr]	Jalový výkon
S [VA]	Zdánlivý výkon
s [ha]	Plocha solárních panelů
X [Ω]	Reaktance
Z [Ω]	Impedance
β [-]	Koeficient soudobosti
$\cos\varphi$ [-]	Účíník
AMM	Automatické měření
ASRU	Automatická sekundární regulace napětí
ARN	Automatická regulace napětí
BPS	Bioplynová stanice
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
DS	Distribuční soustava
DSM	Řízení poptávky
ES	Elektrizační soustava
EZ	Energetický zákon
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
LDS	Lokální distribuční soustava
nn	Nízké napětí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDC	Data koncentrátor
PLC	Komunikace po silnoprúdém vedení
PLDS	Provozovatel lokální distribuční soustavy
PMU	Synchronní měření fázorů
PPLDS	Pravidla provozování lokální distribuční soustavy
PRN	Primární regulátor napětí
PS	Přenosová soustava

RF	Radiová frekvence
ROP	Regulátor ostrovního provozu
ŘS	Řídicí středisko
SCADA	Dispečerské řízení
SG	Smart Grids
SM	Smart Metering
SRU	Sekundární regulace napětí
SRQ	Sekundární regulace jalového výkonu
TE	Tepelná elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
WAMS	System fázorových měření

Úvod

Předkládaná práce se zabývá problematikou inteligentních sítí, tzv. Smart Grids a zavedení tohoto konceptu v lokálních distribučních soustavách velkých průmyslových podniků.

Dnešní obsluha lokálních soustav poskytuje energetické služby nejen vlastnímu podniku, ale také dané lokalitě. Provozovatelé lokálních distribučních soustav tedy nejsou jen pouhým odběratelem elektrické energie, ale zauímají významné místo na energetickém trhu. Předpoklad k efektivní obsluze dává komplexní přístup a jednotný dispečink provozu s využitím právě inteligentních technologií v komunikaci.

Již řečený pojem Smart Grids je v podstatě koncept využívající nejmodernějších technologií a procesů, jejichž funkce spočívá v možnosti monitorovat odběr a dodávku elektrické energie, řízení energetických sítí a také v efektivní práci s jednotlivými zařízeními po celé trase sítě, tedy v obousměrném přenosu dat mezi zařízeními.

První část této práce se zabývá popisem lokálních distribučních soustav průmyslových podniků, včetně popisu různých specifík průmyslových sítí. Druhá část je zaměřena na teoretickou problematiku Smart Grids, tzn. základní myšlenky inteligentních sítí a také rozbor jednotlivých technologií. V této části jsou také prezentovány praktické ukázky naměřených průběhů napětí v případě využití jednoho z možných systémů regulace, tedy automatické sekundární regulace napětí a jalového výkonu. V poslední části práce je proveden můj návrh Smart Grids, jakožto ideové řešení lokální distribuční soustavy obecného průmyslového podniku.

1 DISTRIBUČNÍ SÍTĚ PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ

1.1 Distribuční soustava

Pro přenos a rozvod elektrické energie od místa výroby až ke spotřebitelům slouží systém venkovních, popř. kabelových vedení nazývaný elektrizační soustava. V ČR je elektrizační soustava rozdělena podle úrovně přenášeného napětí na soustavu přenosovou (400 kV, 220 kV) a soustavu distribuční (110 kV a nižší). Distribuční soustava slouží k přenosu výkonů k odběratelům. Přenáší výkon na menší vzdálenosti, jsou do ní zapojeny elektrárny menších výkonů. [1]

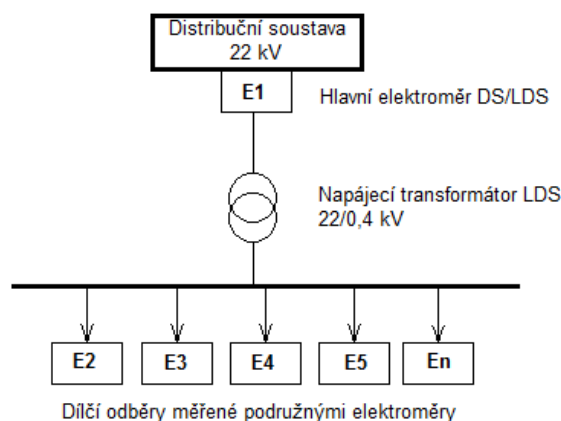
Tato soustava obsahuje velké množství dílčích prvků, a to měřicích zařízení, řídicích prvků, ochran, transformátorů a informačních prvků. V České republice se v DS používají napětí 110 kV, 35 kV, 22 kV a 0,4 kV. Kromě propojení koncových uživatelů, se do této soustavy připojují již zmíněné malé zdroje, resp. malé výroby elektřiny, s výkony v řádu desítek MW. [1]

Návrhy distribučních soustav v minulosti měly pouze jeden směr toku elektřiny a to od zdroje ke konečnému spotřebiteli. Zdroj elektřiny byl buď transformátor z nadřazené napěťové soustavy, nebo samotná elektrárna. V současné době však přibývá malých, decentralizovaných zdrojů (převážně z OZE) a zároveň je také kladen důraz na regulaci toku elektřiny. K samotné regulaci je nutné znát okamžité hodnoty regulované veličiny a také možnost tuto hodnotu změnit. Dříve měl na starosti ovládání v rozvodnách vvn/vn přímo operátor. Dnes jsou již stanice bezobslužné a transformovny jsou ovládány z velínu. [1,2]

Česká republika je, co se provozu distribučních sítí týče, rozdělena mezi tři velké hráče, kterými jsou: PRE Distribuce a.s., E.ON Distribuce a.s. a ČEZ Distribuce a.s. Společnosti jsou tak jediné, přímo připojené na přenosovou soustavu České republiky.

1.2 Obecný popis lokální distribuční soustavy

Lokální distribuční soustava (LDS) je síť, která dodává elektřinu do velkých územních celků, jakými jsou například průmyslové nebo komerční zóny. Tyto soustavy propojují prostřednictvím jednoho připojovacího bodu více koncových uživatelů právě s nadřazenou soustavou. Typickými lokalitami jsou průmyslové zóny, průmyslové areály, obchodní centra, nebo i bytové komplexy. Kromě dodávky elektřiny může být pomocí LDS zajištěna také dodávka zemního plynu či tepla. Stejně jako klasickou DS, i LDS může provozovat pouze společnost, která vlastní licenci pro provoz takovéto sítě, udělovanou Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Společnost s požadovanou licenci pak zodpovídá za distribuci elektřiny stejně tak, jako regionální distribuční společnosti. [3,4]



Obrázek 1: Příklad obecné LDS [5]

1.2.1 Technické požadavky na připojení odběrných míst

Technické požadavky na provozovatele LDS jsou uvedeny v Pravidlech provozování lokální distribuční soustavy (PPLDS), schválených Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). [9]

Zde je o LDS konkrétně uvedeno:

„Lokální distribuční soustava (LDS) je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV, vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV nebo 35 kV, sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky včetně elektrických přípojek ve vlastnictví PLDS; LDS je zřizována a provozována ve veřejném zájmu.“ [6]

Dále je pak:

„Provozovatel LDS je povinen na vymezeném území na základě uzavřených smluv umožnit distribuci elektřiny, připojit k LDS každého a umožnit distribuci elektřiny každému, kdo o to požádá a splňuje podmínky dané EZ, jeho prováděcími vyhláškami a Pravidly provozování LDS (dále jen PPLDS). Místo a způsob připojení k LDS se určí tak, aby nedošlo k přetížení nebo překročení parametrů žádného prvku sítě.“ [6]

Zde jsou uvedeny vybrané citace z PPLDS:

- *Zařízení na hranici odběrných míst*

„Vstupní a výstupní připojení k LDS musí zahrnovat zařízení, kterým provozovatel LDS může v případě potřeby odpojit instalaci uživatele od LDS. Toto zařízení musí být trvale přístupné provozovateli LDS.“ [6]

- *Požadavky na chránění*

„Řešení ochran uživatele na hranici vlastnictví, včetně typů zařízení a nastavení ochran i přenos informací o působení ochran musí odpovídat standardům, které provozovatel LDS specifikoval během vyřizování žádosti o připojení.“

„Zejména:

a) maximální doba vypnutí poruchy (od počátku poruchového proudu až do zhašení oblouku) a nastavení ochran musí být v rozmezí hodnot stanovených provozovatelem LDS a v souladu s limity zkratové odolnosti zařízení, přijatými pro LDS

b) uživatel nesmí omezit činnost automatik LDS (opětné zapínání, regulace napětí apod.) a tím snížit kvalitu dodávané elektřiny

c) při připojení k LDS by si měl uživatel být vědom toho, že v LDS mohou být používány prvky automatického nebo sekvenčního spínání. PLDS podá na požádání podrobné informace o prvcích automatického nebo sekvenčního spínání, aby uživatel mohl tyto informace zohlednit v návrhu své soustavy, včetně řešení ochran. [6]

d) *uživatel by si měl být zároveň vědom toho, že při napájení ze sítě VN s kompenzací zemních kapacitních proudů může v této síti nesymetrie fázových napětí vlivem zemního spojení trvat až několik hodin a že řešení ochran, např. ve venkovských oblastech může u některých typů poruch způsobit odpojení pouze jedné fáze třífázové soustavy“ [6]*

- *Zkratová odolnost*

„Skutečné hodnoty zkratové odolnosti zařízení uživatele v místě připojení nesmějí být menší než zadané hodnoty zkratového proudu LDS, k níž je zařízení připojeno. Při volbě zařízení, které bude připojeno k síti nízkého napětí, je možno zohlednit útlum zkratového proudu v příslušné síti NN. Při návrhu své soustavy vezme PLDS v úvahu případné zvýšení zkratového proudu způsobené zařízením či soustavou uživatele. Aby bylo možné provést toto vyhodnocení, je třeba zajistit v případě potřeby výměnu údajů o vypočtených příspěvcích ke zkratovému proudu vtékajících do soustavy PLDS a poměrech reaktance k činnému odporu v příslušných místech připojení k LDS.“ [6]

- *Účinek kapacitancí a induktancí*

„Uživatel při podání žádosti o připojení poskytne PLDS údaje uvedené v části 4.8. Podrobně je třeba uvést údaje o kondenzátorových bateriích a reaktorech připojených na vysokém napětí, které by mohly mít vliv na LDS a o jejichž připojení uživatel PLDS žádá. Na požádání PLDS zašle uživatel také údaje o kapacitanci a induktanci částí svého rozvodu.“ [6]

„Údaje musejí být natolik podrobné, aby umožňovaly:

- a) *prověřit, zda spínací zařízení LDS je správně dimenzováno*
- b) *prokázat, že nepříznivě neovlivní provoz LDS; pro odstranění příp. negativních vlivů je uživatel povinen provést vhodná technická opatření*
- c) *zajistit, aby zhášecí tlumivky a uzlové odporníky, pokud je PLDS používá pro zemnění uzlu sítě LDS, byly dostatečně dimenzovány a provozovány“ [6]*

1.3 Obecná specifika průmyslových podniků

Průmyslové sítě navazují na veřejnou distribuční soustavu a plní funkci rozvodu elektrické energie v průmyslových závodech. V porovnání s veřejnými distribučními sítěmi, zásobujícími obyvatelstvo a služby, je největší rozdíl v charakteru odběrů. Odběry průmyslových závodů mají koncentrovaný charakter (počet odběrů/km²) a také je zde značný výskyt spínání spotřebičů o velkých výkonech. Je zde zvýšená pravděpodobnost výskytu energetického rušení jako např. vyšší harmonické, kolísání napětí, nesymetrie napětí apod. Kvůli rozmanitosti průmyslových podniků, kdy u každého podniku jsou jiné požadavky a vzniknou jiné problémy, je potřeba řešit je hned při návrhu. Proto při rozhodnutí o výstavbě nového průmyslového areálu nebo o rekonstrukci stávajícího závodu, je potřeba z hlediska napájecí sítě zhotovit takový návrh, který bude danému charakteru závodu vyhovovat. [7]

Obvykle je dán:

- stupněm zabezpečení dodávky
- velikosti instalovaného výkonu
- jmenovitým napětím spotřebičů
- zkratovými poměry
- způsobem provozu technologického zařízení

Mezi provozní požadavky lze zařadit:

- malé investiční náklady
- malé provozní náklady (údržba, ztráty, opravy,)
- bezpečnost osob

Mezi technické:

- vysoká provozní spolehlivost
- přehlednost
- vyloučení rušivých vlivů
- snadná rozšiřitelnost
- snadné vyhledávání poruch a jejich odstranění
- snadná přizpůsobivost při změnách technologie

1.3.1 Napěťové hladiny

Pro průmyslové sítě je možné použít různé napěťové hladiny používané v ČR (viz Tab.1). Volba vstupního napájecího napětí závisí na výpočtovém zatížení celého průmyslového závodu, vzdálenosti od stávajících el. stanic a rezervě výkonu. Volba napěťových úrovní potom závisí na jmenovitých hodnotách použitých spotřebičů 6 kV nebo 0,4 kV (0,69 kV pro $U_f=400$ V). [7,8]

Nejvyšší napětí pro zařízení [kV]	Jmenovité napětí sítě [kV]
-	0,4
3,6	3
7,2	6
12	10
24	22
40,5	35

Tabulka 1: Normalizovaná napětí pro průmyslové sítě v ČR [8]

1.3.2 Stupeň zajištění dodávky elektrické energie

Podle § 16112 normy ČSN 34 1610 jsou dány tři stupně zajištění dodávky elektrické energie a to:

1. stupeň dodávky elektrické energie lze charakterizovat tak, aby bylo zajištěno napájení ze dvou na sobě nezávislých zdrojů, z nichž každý musí mít dostatečný výkon, aby při vypadnutí jednoho zdroje byly zajištěny dodávky 1. stupně. Porucha na kterékoli napájecí soustavě musí být ihned signalizována. [9]

Pokud jsou oba zdroje v závodě spojeny paralelně, je nutné při poruše jednoho zdroje ihned paralelní provoz rozpojit, buď automaticky, nebo zásahem obsluhy. Tam, kde jde u těchto dodávek o poměrně malé výkony, může být jako druhý napájecí zdroj použito záložní soustrojí se spalovacím motorem, akumulátorovými bateriemi apod. [9]

Oproti 1. stupni je 2. stupeň zajištění dodávky el. energie zajištěn pouze tak, aby byla zajištěna vzájemná záloha napáječů a transformátorů bez dalších investic. Za dostatečné jistiění se většinou považuje připojení napájení aspoň na dva transformátory nebo na dvě skupiny transformátorů. [9]

Pro 3. stupeň zajištění dodávky stačí připojení napájení na jeden zdroj (přívod) bez dalšího zvláštního zajištění. [9]

1.3.3 Dimenzování

Při dimenzování elektrických zařízení a vodičů je potřeba dodržovat tyto hlavní zásady dimenzování a ty jsou: [10]

- Kontrola na oteplení vodiče – provádí se vždy
- Kontrola mechanických účinků zkratového proudu
- Kontrola tepelných účinků zkratového proudu
- Kontrola úbytku velikosti napětí
- Kontrola velikosti Jouleových ztrát
- Soudobost (bilance činného výkonu)

Při dimenzování elektrického rozvodu se vychází z výpočtového zatížení P_p a výpočtového proudu I_p . Při návrhu uvedených veličin je potřeba rozlišovat pro co se výpočtové zatížení stanovuje. To je možné stanovit pro výrobní provoz, objekt nebo závod jako celek, pro skupinu spotřebičů i pro jednotlivé spotřebiče. [10,11]

$$P_p = \beta \cdot P_i \quad (\text{kW}; - ; \text{kW}) \quad (1.1)$$

Koeficient β je koeficientem soudobosti, který vyjadřuje, kolik zařízení pracuje současně. Je definován vztahem:

$$\beta = \frac{P_{\max}}{P_i} \quad (-; \text{kW}; \text{kW}) \quad (1.2)$$

1.3.4 Zkratová odolnost

Zkratová odolnost se dá rozdělit do dvou kategorií a to na elektrodynamickou odolnost a tepelnou odolnost. Elektrodynamická odolnost je schopnost elektrického zařízení odolávat působení nárazového zkratového proudu. Tepelná odolnost je schopnost odolávat tepelnému působení zkratového proudu. Při volbě vhodného zařízení je tedy nutné vycházet z maximální možného zkratového proudu, který se může v obvodu vyskytnout. [10,11]

- Dynamická odolnost - tuhé vodiče se považují za dynamicky odolné proti působení zkratového proudu, pokud toto působení nevede k překročení přípustného namáhání vodičů a míst jejich upevnění. Pokud je v praxi překročeno maximální namáhání při zkratu, dojde vlivem elektrodynamických sil k poškození vodičů;
- Tepelná odolnost - elektrická zařízení s izolovanou nebo neúčinně uzemněnou nulou je potřeba prověřovat na tepelnou odolnost při třífázovém a při dvoufázovém zemním zkratu. [10,11]

1.3.5 Kompenzace (bilance jalového výkonu)

Řada elektrických spotřebičů provozovaných v elektrické síti odebírá kromě činného výkonu také výkon jalový, ve většině případů induktivního charakteru. Zanedbáme-li další složky výkonu (deformační, pulzační a skrytý), můžeme definovat účinník odběru jako poměr výkonu činného P a zdánlivého S . [11]

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (-; \text{kW}, \text{kVA}) \quad (2.1)$$

Činný a jalový výkon jsou definovány:

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (\text{kW}; \text{kVA}; -) \quad (2.2)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (\text{kVar}; \text{kVA}; -) \quad (2.3)$$

[10,11]

Kompenzace jalového výkonu znamená snížení odběru induktivního jalového výkonu na předepsanou hodnotu. Pokud bude účinník menší než předepsaná hodnota $\cos \varphi = 0,95$, mohou nastat tyto následky: [7,11]

- Menší přenášený činný výkon;
- Zvýšení pořizovacích nákladů zařízení, dimenzovaných podle velikosti zdánlivého výkonu (transformátory, vypínače, jističí přístroje, ochrany, měřicí přístroje, ...);
- Zvětšení ztrát v rozvodu elektrické energie;
- Zvětšení úbytků napětí v rozvodu elektrické energie (zvětšení kolísání napětí v elektrizační soustavě);
- Špatný účinník má nepříznivý vliv i na práci v elektrizační soustavě, zhoršuje spolupráce mezi elektrárnami při předávání velkých jalových výkonů a celková stabilita přenosu.

Individuální (jednotlivá) kompenzace

U některých spotřebičů většího výkonu, je výhodné využít individuální kompenzace, a to připojením kompenzačního kondenzátoru. Výhodou je, že na odlehčeném vedení stoupne napětí a zmenší se ztráty na přívodním vedení. Nevýhodami jsou nízká využitelnost u méně používaných zařízení, prostorová náročnost a vyšší náklady. [12]

Skupinová kompenzace

Kompenzační zařízení je připojeno většinou na přípojnicích rozvaděče napájecího skupinu spotřebičů. Velikost kompenzační baterie je dimenzována na soudobý výkon skupiny a většinou je rozdělena na několik samostatně ovládaných skupin kondenzátorů. Výhodou je lepší využitelnost kompenzačních zařízení a oproti centrální kompenzaci odlehčí úsek od vstupní rozvodny ke skupinovému rozvaděči. Nevýhodou je nevykompenzovaný úsek od skupinového rozvaděče ke spotřebiči a nutnost řízení kompenzačního výkonu. [7,11]

Centrální kompenzace

Celý průmyslový závod se kompenzuje jedním kompenzačním zařízením připojeným ve vstupní rozvodně. Její hlavní předností je ještě lepší využitelnost baterií a tím se zmenší potřebný kompenzační výkon, ale zůstává nevykompenzovaný celý vnitřní rozvod a opět je potřeba automatická regulace jalového výkonu. [7]

Kombinovaná kompenzace

Je to vhodná kombinace předchozích variant. Používá se poměrně často hlavně v rozsáhlých průmyslových sítích. Jako příklad kombinované kompenzace je síť, kde se u velkých motorů s trvalým chodem použije individuální kompenzace, u skupin malých motorů s kratší dobou chodu se využije skupinové kompenzace a ve vstupní rozvodně se centrální kompenzaci dokompenzuje na požadovanou hodnotu účinníku. [7,11]

1.4 Transformátory v LDS

Transformátory 110kV/vn napájející LDS vn

Tyto transformátory jsou převážně ručně řízeny obsluhou LDS.

Transformátory vn/vn

Jedná o transformátory 22kV/6kV v průmyslových rozvodech velkých odběratelů. Z hlediska regulace U a Q je možné je rozdělit do těchto kategorií podle jejich zapojení v soustavě:

- Transformátor 22kV/6kV zapojený na nižší straně do běžné soustavy (např. výrobní linky, administrativní budovy, atd.);
- Transformátor 22kV/6kV zapojený na nižší straně do dynamické soustavy (např. válcovací stolice, pánevní pece, atd.);
- Transformátor 22kV/6kV zapojený na nižší straně do přípojnice s generátorem.

[11]

Úkolem transformátoru 22/6 kV, který je zapojen na nižší straně soustavy, co se oblasti regulace U a Q týče, je udržovat U na přípojnici 6kV, kam je připojena jeho nižší strana v zadané toleranci. V případě, že je transformátor zařazen do SRU LDS, tak se stává jedním z akčních členů a je touto regulací vybaven. [11]

Další jsou transformátory 22/6 kV, zapojené na nižší straně do dynamické soustavy. Tyto transformátory nemá smysl zařazovat do regulace U a Q, neboť na přípojnicích 6kV dochází k neustálým skokovým změnám U, na které nemůže transformátor reagovat změnou odbočky, jelikož by rychle došlo k jeho poškození. Navíc efekt z této činnosti by byl prakticky minimální. [11]

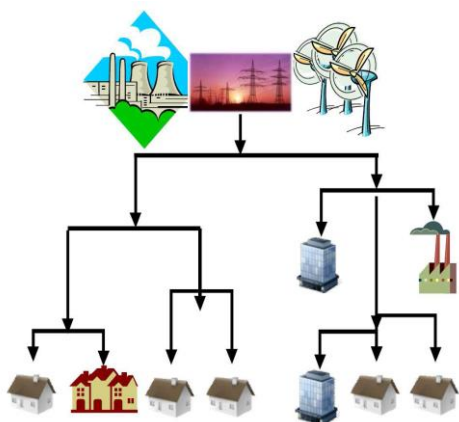
Transformátor 22kV/6kV zapojený na nižší straně do přípojnice s generátorem, by v případě odstavení generátoru udržoval U na přípojnici 6kV, kam je připojena jeho nižší strana v zadané toleranci. Při provozu generátoru přerozděluje transformátor Q mezi napěťovými soustavami 22kV a 6kV v okamžiku, kdy je regulační rozsah Q generátoru jednostranně omezen (generátor dosáhne meze svého provozního diagramu). [11]

2 Smart Grids

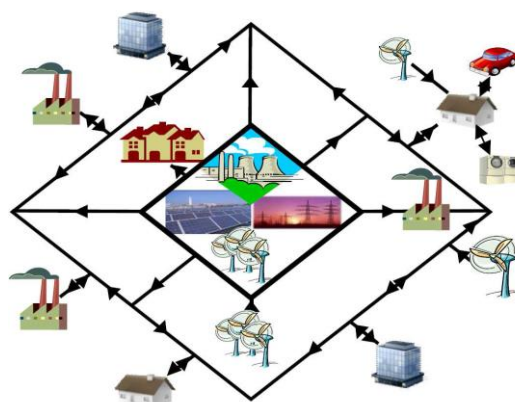
Výrazem Smart Grids, tedy inteligentní sítě, jsou označovány komunikační sítě, ve kterých je možné automaticky regulovat výrobu a spotřebu elektrické energie v reálném čase. Toho je možné docílit zavedením nových. Základním principem Smart Grids je obousměrná komunikace mezi výrobou a spotřebiči nebo spotřebiteli. To lze docílit zavedením nových technologií, které tuto komunikaci prostřednictvím jednotlivých měřidel a systémů řízení umožňují. [13,14]

Snaha o zefektivnění a inovaci sítí znamená zapojení digitálního kontrolního a řídicího systému spolu se senzory, které monitorují chování sítě a automatické obnovování provozu po případné poruše. Díky plné automatizaci jsou v reálném čase k dispozici informace o zatížení sítě, kvalitě dodávky elektřiny, přerušení dodávky atd. Dalším prvkem konceptu Smart Grids je také snaha využití zapojení OZE, například přímo u zákazníků ve formě fotovoltaických panelů, kdy systém pomocí inteligentních prvků sám určí, kdy bude zákazník prodávat případný přebytek vyrobené elektřiny do sítě.

Provoz a řízení přenosové soustavy v České republice zajišťuje společnost ČEPS, která v rámci modernizace rozvodné sítě realizuje různé projekty, kterým se sice ve své práci nevěnují, ovšem stojí za zmínku. Jsou to projekty jako WAMS, SCOPT, E-sada, TSC nebo funkcionality TRIS. Úkolem těchto projektů je zajistit síť chytřejší, spolehlivější a zvětšit její kapacitu. Tím tedy zkvalitňují její provoz, údržbu a celkové dispečerské řízení. Co se distribuční soustavy týče, společnosti ČEZ Distribuce a E.ON zavádějí především z hlediska chytrého měření Smart Metering, resp. automatického měření AMM. [13,14]



Obrázek 2: Stávající distribuční soustava [19]

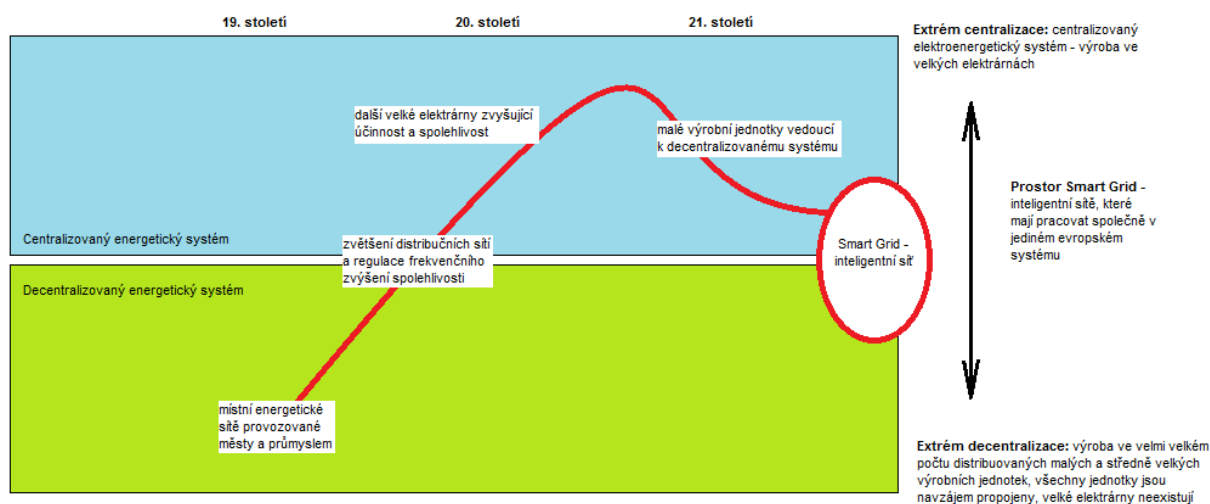


Obrázek 3: DS po zavedení Smart Grids [19]

2.1 Historický vývoj Smart Grids

Elektrizační soustavy od začátku svého vzniku, daného propojováním zdrojů a spotřebitelů do stále větších celků, byly trvale zásobeny stále většími, promyšlenějšími prvky řízení, které zajišťovaly hospodárné řízení provozu při vysoké spolehlivosti dodávky. Nárůst implementace stále modernějších prvků znamená kromě Smart Metering a obousměrné komunikace (oboustranných toků elektrické energie) také technicky inteligentní, plnohodnotnou integraci OZE do elektrizačních soustav. [15]

Celkový požadovaný stav zavedení a využívání Smart Grids je znázorněn na časovém grafu (Obr. 4), podle kterého je předpokládán až na přelomu 21. a 22. století. [15,17]



Obr. 4: Časový vývoj a úroveň decentralizace systémů Smart Grids [17]

2.2 Přínosy zavedení Smart Grids

Odběratelé mohou být buď průmyslové podniky i malé dílny, či administrativní budovy a běžní koncoví spotřebitelé. Čím dál více se projevuje snaha o vlastní instalaci OZE. S nárůstem instalace OZE v LDS vzniká riziko častějšího výskytu nevyžádané dodávky z nebo do distribuční soustavy. Dále také stoupají nároky na kvalitu napájení v některých LDS, a to z důvodu připojování odběratelů s citlivou elektronikou (nutná minimalizace vyšší harmonické, kolísání napětí, nesymetrie zatížení, atd.). [15,17]

Hlavním přínosem Smart Grids je především možnost snadného dosažení jednotného systému řízení výroby, spotřeby a distribuce elektřiny v rámci LDS, a to především z hlediska komunikace a s tím spojené inovace technického vybavení některých lokálních distribučních soustav. [16,17]

V porovnání s provozovateli regionálních distribučních soustav má provozovatel LDS tu výhodu, že oblast podniku a tedy jeho distribuční soustavy je uzavřená a pevně ohraničená a má tedy i jednodušší požadavky na komunikaci, zpracování a vyhodnocení dat.

Implementace nových inteligentních technologií je pro provozovatele sítě dlouhodobou investicí. V případě LDS se nejedná o pilotní projekty na otestování různých funkcí Smart Grids ale přímo o postupné pokrývání celé lokality novými technologiemi. Provozovatelé LDS mají na svých územích decentralizovanou výrobu elektřiny a díky množství zdrojů, kromě kogeneračních také zmíněných OZE, je třeba řídit dodávky individuálně, kvůli zamezení přetoků do nadřazených soustav. Jednou z priorit je tedy také řízení vyrovnané bilance a optimalizace přetoků. [16]

2.3 Komponenty ve Smart Grids

2.3.1 Inteligentní elektroměry

Oproti běžným elektroměrům, lze využít i elektroměrů „inteligentních“, které měří nejen spotřebovanou energii, ale i napětí v odběrném místě, maxima výkonu a další užitečná data. Umožňují spotřebiteli nastavit přesnější zúčtovací zálohy a interaktivní změnu tarifu, a samozřejmě optimalizují jejich spotřebu energie. K propojení elektroměrů velkých průmyslových podniků s data koncentrátorem (v rozvodně) se využívá kabel „Ethernet“, který je ovšem limitován maximální délkou 180m a náchylností k elektromagnetickému rušení. Elektroměr umožňuje bezdrátové posílání dat na běžné komunikační přístroje v domácnosti pomocí technologie Wi-fi. Uživatel bude tedy moci sám měnit nastavení svého tarifu a komunikovat s provozovatelem energetické sítě. [16,17]

Předpokládá se, že v budoucnu se elektroměr přemění na ICT gateway, ke které budou připojeni všechny měřiče v domácnostech nebo administrativních budovách podniků.

Výhody chytrých elektroměrů jsou především:

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

2.3.2 Data koncentrátoři

Data koncentrátoři jsou zařízení pro přenos dat, a to na rozhraní elektrické nebo rádiové sítě a TCP/IP. Je složen z průmyslového počítače, třífázového PLC modemu, třífázového elektroměru nebo třífázového analyzátoru. Pravidelně kontroluje spojení s jednotlivými měřicími místy (elektroměry) a stahuje z nich potřebná data, která třídí a ukládá ve své paměti. Data na server jsou zasílána prostřednictvím DSL, LAN, Wi-Fi nebo v případě nedostupnosti těchto spojení také pomocí GPRS. Tato shromážděná data jsou dále odesílána pomocí protokolů TCP/IP do datového centra správce rozvodné sítě. Zařízení je také propojeno s provozním a s elektronickým zabezpečovacím systémem každé rozvodny kvůli detekci nestandardních událostí. [16,17]



Obrázek 5: Data koncentrátor CAM 3500 [27]

2.3.3 Inteligentní rozvaděče

Kvůli snaze šetření energií budov, jsou zaváděny také inteligentní rozvaděče. Jedná se opět o přesné měření v reálném čase, kdy jsou centrálně shromažďovaná data odesílána na řídicí systémy pro monitorování a optimalizaci energetické účinnosti. [16,17]

Technologie inteligentních rozvaděčů se vyznačuje:

- Automatickými fakturačními odečty u zdroje (snižuje riziko výskytu chyby a také snižuje náklady na manuální odečty);
- Ochranu a řízení zajišťují inovativní jističe (ACB, MCCB, MCB aj.);
- Naměřené hodnoty elektroměrů jsou okamžitě zobrazovány na displejích.

Jako příklad jsem vybral rozvaděč Ibox. Ty se vyrábějí ve velikostech S, M, L (dle kapacity prostorů) a jsou v něm instalovány veškeré komponenty potřebné k perfektní funkci inteligentní budovy. Rozvaděč je rozdělen na silovou část (jističe, chrániče, ochrana přepětí atd.) v horní části, inteligenci (servery, moduly vstupu a výstupu, extendery, multiservery atd.) ve střední části a slaboproudé instalace (alarm, kamerový systém, STA, datová síť) v dolní části. Tento modulární rozvaděč je jediný v celém objektu a proto již nepotřebujete žádné další rozvaděče a boxy. Na obr. 11 je uveden jako příklad typ L. [18]



Obrázek 6: Rozvaděč IBOX-L[22]

2.4 Základní prvky a metody zavedení Smart Grids

2.4.1 Kontrola dynamické bezpečnosti provozního stavu ES

V současné době je na dispečincích přenosových soustav vykonávána kontrola statické bezpečnosti metodou tzv. kontingenční analýzy (kritérium $n-1$), což znamená, že jsou simulovány výpadky přenosových či výrobních zařízení a pomocí výpočtu ustáleného stavu po výpadku se kontroluje výsledný stav na proudové přetížení větví a dodržení napěťových mezí v uzlech. [17]

Tato kontrola musí také obsahovat i kontrolu dynamické bezpečnosti, tedy výpočet následků simulovaných událostí v soustavě na dynamické procesy (dynamická stabilita, oscilace a jejich tlumení, stabilita napětí). Kromě těchto událostí je také třeba provádět kontroly na události, které dynamické procesy ovlivňují (zkraty, spínací rázy, ...). [17]

2.4.2 Zdokonalení korekčních zásahů

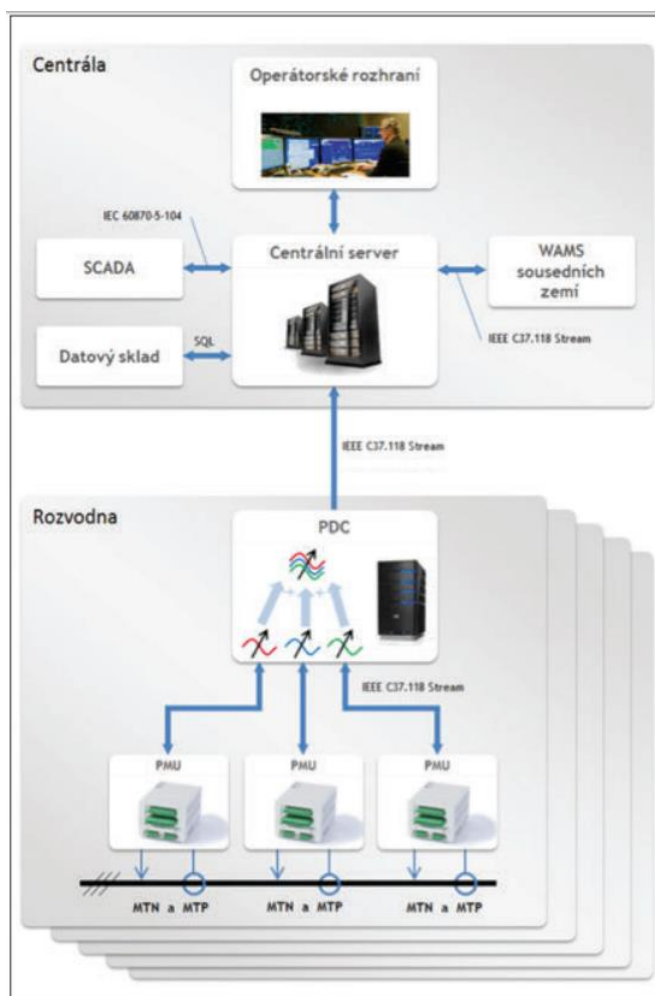
Po zjištění stavu nesplňujícího podmínky bezpečného provozu (např. přetížení vedení) je potřeba navrhnout spojitou změnu vyráběných výkonů na zdrojích vedoucích k odstranění, nebo snížení přetížení. Je požadována optimalizace bezpečnosti výsledného provozního stavu, tedy optimalizace jeho odolnosti proti předpokládaným výpadkům. K tomu jsou využívány metody tzv. Security constrained optimal power flow. Tato softwarová aplikace navrhne podle zadaných kritérií nový ustálený stav ES, postup vykonávání korekčních zásahů a další stanovená omezení. [17]

Dalším možným krokem je rekonfigurace stávající sítě či rozvoden, tedy změna zapojení vedoucích k odstranění nebo snížení přetížení. Zde se využívají metody tzv. „Security constrained optimal corrective switching“. Tento proces rekonfigurace sítě a rozvoden je vyčleněn zvlášť, protože změny stavů zapojení mění model sítě a tím tedy řešíme jinými nástroji diskrétně (tzv. mixed integer programming) a s jiným modelem než metodu spojitou. [17]

2.4.3 WAMS (Wide Area Monitoring System)

Co se přenosové soustavy týče, pro rychlé odhalení poruch a nežádoucích stavů, které by mohli vést k rozdělení sítě na ostrovní provoz nebo k blackoutu se využívá aplikací fázorových měření v centrále WAMS. Rozdíl fázových úhlů napětí v různých místech přenosové sítě indikuje stav, ve kterém se tato síť nachází. Síť přístrojů PMU (Phasor measurement unit) slouží jako doplněk systémů RTU (Remote Terminal Unit) a SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) pro detailnější sledování chování a optimálního využití přenosové. Díky velmi rychlému vzorkování měřených fázorů (až 50 snímků za sekundu) dokáže tento systém v soustavě odhalit nebezpečné dynamické děje, jako jsou netlumené oscilace a narušení stability. Jednotky PMU jsou stejně jako analyzátoři kvality elektřiny instalovány v rozvodnách jako oddělená zařízení.

Systémy WAMS se skládají z jednotek měření fázorů (PMU), datových koncentrátorů (PDC), centrálního serveru a aplikačního softwaru. [23, 26]



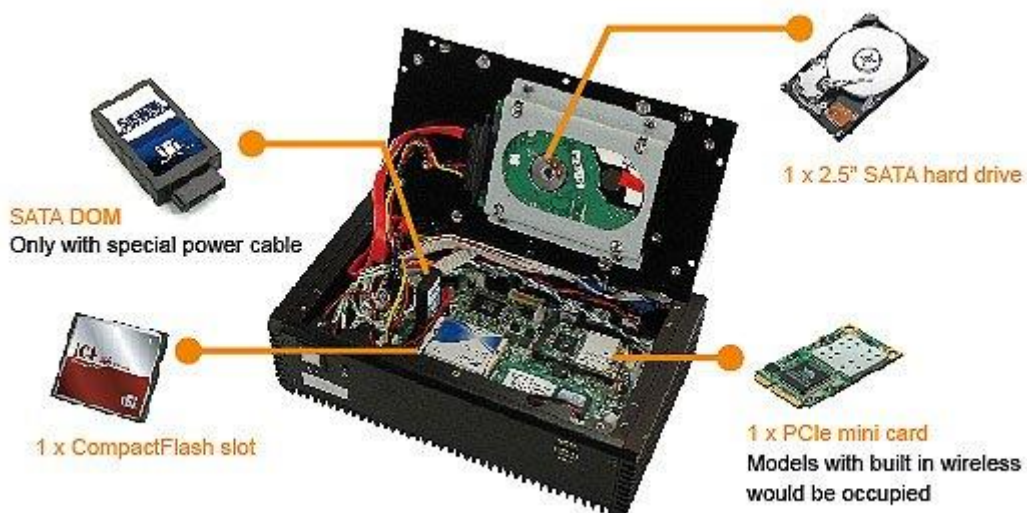
Obrázek 7: Architektura WAMS [26]

Centrální server má za úkol přijímat a ukládat data jednotek PMU a PDC, také detekuje a dále přenáší alarmany a chybová hlášení, poskytuje matematické výpočty a zajišťuje komunikaci s jinými externími systémy (např. SCADA). [26]

Mezi jeho funkce patří:

- Monitorování fázorových úhlů;
- Identifikace místa poruchy;
- Identifikace parametrů vedení;
- Monitorování střední teploty vedení;
- Detekce a analýza oscilací;
- Monitorování stability napětí;

Zařízení PDC (Phasor Data Concentrator), tzv. data koncentrátory, přijímají fázory z PMU, které následně slučují do datových proudů a ty zasílají centrálnímu serveru nebo dalším jednotkám PDC. Slučování datových proudů znamená, že se do jednoho odesílaného datagramu sloučí data z různých PMU se stejnými časovými značkami. PDC mohou také sbírat a dále přenášet informace o stavu částí WAMS na rozvodnách. Důležitou funkcí PDC je také možnost dočasného uložení dat v případě přerušení komunikačních linek mezi rozvodnou a centrálním serverem. [23, 26]



Obrázek 8: Lokální PDC instalovaná v rozvodně [28]

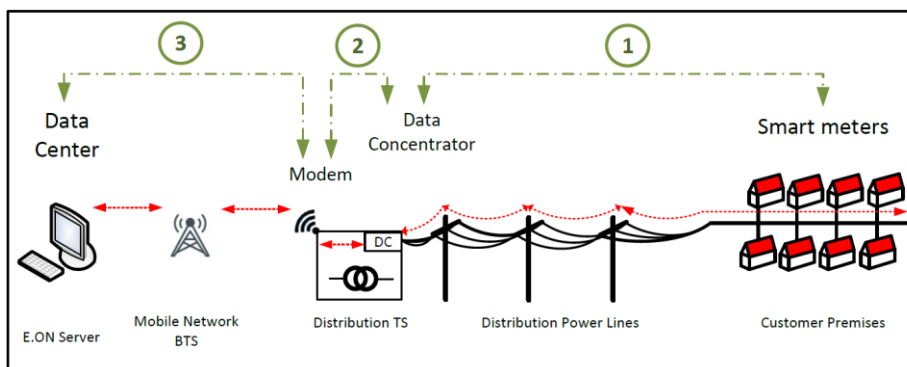
Přístroje PMU jsou měřicí zařízení připojená k elektrické síti přes měřicí transformátory napětí a proudu. Tyto přístroje kontinuálně vyhodnocují amplitudu napětí a proudu, fázový úhel a frekvenci v daném místě sítě a poté tyto informace zasílá do nadřazených jednotek PDC nebo přímo do centrálního serveru. [26]



Obrázek 9: PMU a GPS přijímač ENA – TIR [26]

2.5 Smart Metering

V současnosti je v České republice, co se inteligentních sítí týče, veliké zaměření na chytré měření (Smart Metering – SM), resp. Automatické měření (automatic Meter Management - AMM). Jedná se opět o obousměrnou komunikaci mezi distributorem nebo dodavatelem a odběratelem. Koncepce Smart Metering umožňuje nejen sběr dat z měření a jejich automatické vyhodnocení, ale také řízení sítě, připojení a odpojení měřicího místa nebo informování zákazníka o aktuální spotřebě. Důvod implementace Smart Metering je snížení spotřeby elektrické energie, což umožňuje inteligentní měření oboustranných toků. Cílovou skupinou pro zavádění Smart Meteringu jsou sice maloodběratelé a domácnosti, jeho využití se ale dá aplikovat i pro sítě průmyslových podniků. [16, 30]



Obrázek 10: Komunikační řetězec pro Smart Metering[16]

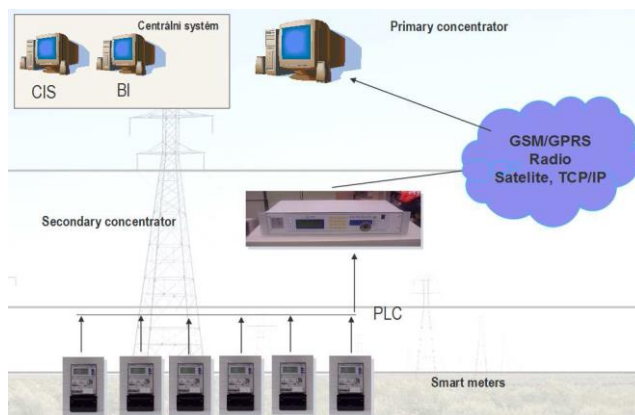
Jako přínosy zavedení Smart Metering lze uvést například:

- Zajištění vyšší spolehlivosti dodávky;
- Širší nabídka produktů – tzv. dynamické tarify;
- Pravidelné poskytování informací o aktuální spotřebě;
- Propagace tzv. Smart Home, tj. automatického řízení spotřebičů v domácnosti.
- Zákazník v systému Smart Metering bude mít k dispozici informaci o spotřebě všech médií.

Funkčním prvkem ve sběru dat je tzv. Demand Side Management (DSM). Jeho základním úkolem je pružné řízení zátěže na základě odečtu elektroměrů v reálném čase. Následně zajistí dálkový odečet elektroměrů, díky kterým centrála získá přehled o kvalitě dodávané elektrické energie a také přehled o odebrané energii u jednotlivých zákazníků. Další funkcí je automatický export dat rovnou do fakturačních systémů. V neposlední řadě je systém DSM schopen také řízení tarifů spotřebičů u odběratelů.

Jak už bylo řečeno v kapitole o WAMS, sběr dat obstarávají měřidla a koncentrátory a jejich komunikaci řídí přímo datová centrála, což je ekonomičtější, než připojovat každé měřidlo zvlášť. Pro komunikaci mezi měřidlem a koncentrátorem lze využít například technologie PLC či RF. [16]

Radio Frequency (RF) je klasická bezdrátová komunikace na rádiové frekvenci. Většina aplikací přenosu dat z měření je na volném pásmu, což znamená, že pro využití není nutné žádat o přidělení frekvenčního pásma ani platit jakékoliv poplatky. Technologie PLC (Power Line Communication) využívá k přenosu dat klasické silnoproudé vedení. PLC nevyžadují žádnou specifickou kabeláž, protože koncové zařízení je připojeno přímo do sítě a to na úrovni nn nebo vn. Problematice PLC se budu věnovat blíže v další kapitole. [16, 28]

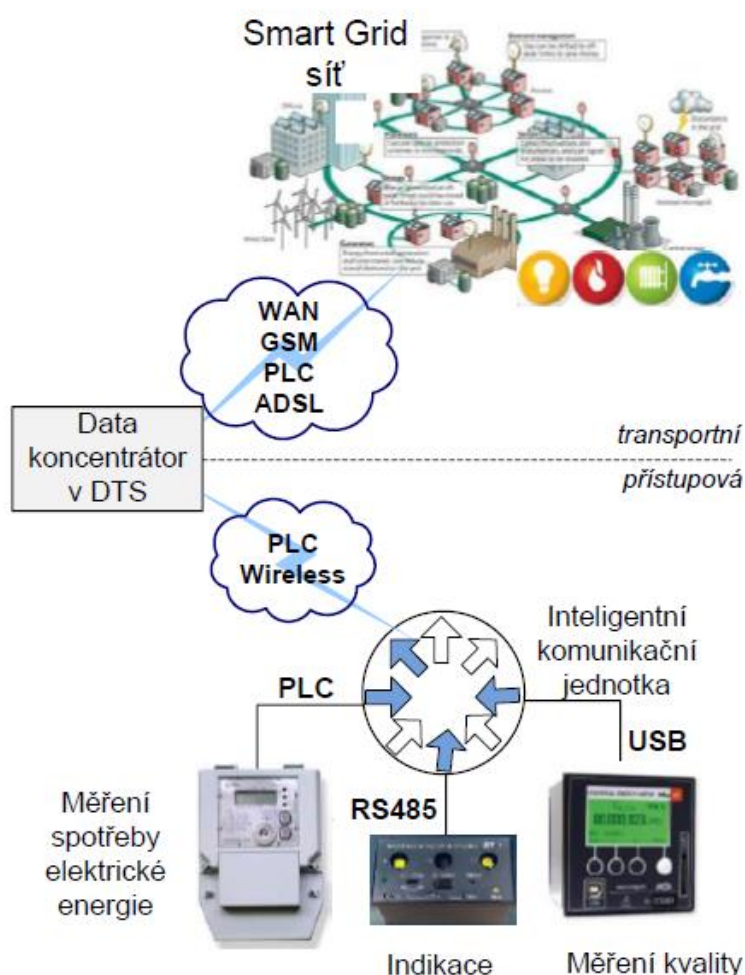


Obrázek 11: Architektura řešení AMM [29]

2.6 Komunikační sítě pro Smart Grids

Co se přenosu dat týče, celkovou konfiguraci Smart Grids sítí lze rozdělit na část transportní sítě a část přístupové sítě. Transportní sítě jsou v současné době postavené většinou na optickém spoji, širokopásmových rádiových spojích či satelitních spojích a umožňují přenášet obrovské objemy dat. Datová komunikace pro účely Smart Meteringu má určitá specifika, které je nutné respektovat. [16,30]

Vhodné přenosové technologie pro SG musí vycházet z klíčových požadavků, které jsou definovány systémem priorit. Nejvyšší prioritu mají data pro dispečink či pro systém SCADA. Data vyměňovaná mezi jednotlivými zařízeními musí mít také definované maximální zpoždění. Týká se to například systémů ochran, které musí v případě problému reagovat velmi rychle (maximální zpoždění musí být menší než 4 ms). [16,30]

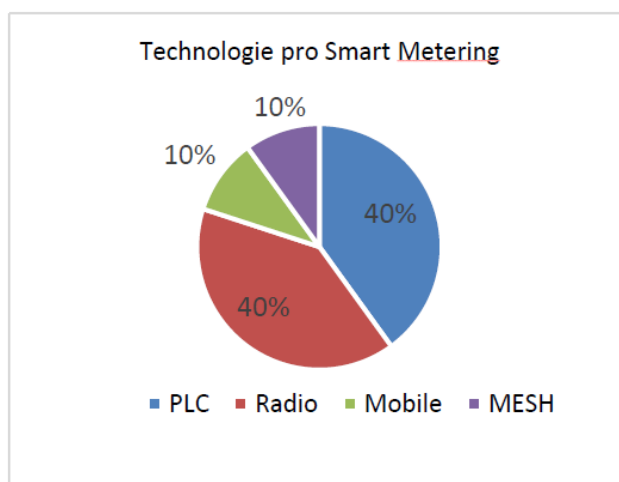


Obrázek 12: Transportní a přístupová část SG [16]

V současnosti používané komunikační prostředky v energetice lze rozdělit podle typu přenosového média na metalická vedení, optická vedení a bezdrátové rádiové prostředky. Využitím metalických či optických vedení by bylo dosaženo vysokých přenosových rychlostí, definovaného zpoždění a vysoké spolehlivosti. Odečet dat z měřících zařízení by probíhal několikrát denně, odběratel či dodavatel, by pak mohli být průběžně informováni o odběru, dodávce či kvalitě elektrické energie. Širšímu rozšíření ale brání především ekonomické hledisko, jelikož vybudování těchto vedení je velmi nákladné. [16]

Další možností je, jak již bylo zmíněno výše rádiová síť, kterou je možné realizovat pomocí rádiových modemů. Ty pracují v licencovaných či nelicencovaných pásmech a jejich hlavní předností, díky technologii vysílání, je velký komunikační dosah. Uzavřená rádiová síť je ale investičně a provozně velmi nákladné řešení a navíc často náchylné na vliv počasí. [16]

Tam, kde není pevné metalické nebo optické spojení nebo v případech, kdy objem přenášených dat není příliš velký, je ideální použít síť veřejného operátora GSM. Ty pokrývají celoplošně velká území a ve vyspělých zemích jsou dostupné téměř všude. Tyto sítě mají ovšem tu nevýhodu, že přenos dat je nespolehlivý díky tomu, že přednost mají hovorová data a dále také je tato komunikace velice nákladná. [16]



Obrázek 13: Technologie využívané pro Smart Metering [16]

2.6.1 Power Line Communication (PLC)

Vzhledem ke konfiguraci energetických sítí je pro přístupovou část Smart Grids z hlediska technických a ekonomických přínosů výhodné, kromě klasických telekomunikačních systémů, využít úzkopásmovou nebo širokopásmovou PLC komunikaci. [16,30]

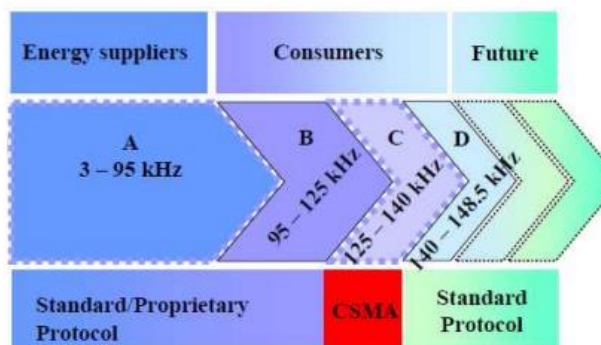
Existují tři hlavní typy PLC technologií:

- Úzkopásmová operující na velmi nízkých frekvencích (Ultra Narrow Band - UNB)
- Úzkopásmová (Narrow Band – NB)
- Širokopásmová (Broadband – BB)

Technologie UNB se vyznačuje velmi nízkou datovou rychlostí (cca 100 bit/s) a pracuje v pásmu 0,3 až 3 kHz nebo 30 až 300 Hz. Jedná se většinou o lokální řešení, která jsou už v provozu desetiletí. Tyto technologie se vyznačují velmi nízkými rychlostmi, ale mají velký komunikační dosah (150 km a více). Příkladem této technologie je systém Ripple Carrier Signaling, v ČR známý jako HDO. [16]

Úzkopásmová technologie NB pracuje ve frekvenčním pásmu 3–500 kHz, které zahrnuje evropské pásmo CENELEC 3–148,5 kHz. Dále lze tuto technologii rozdělit na úzkopásmovou s nízkou datovou rychlostí (Low Data Rate - LDR), což je technologie s jednou nosnou a datovou rychlostí několik kbit/s a s vysokou datovou rychlostí (High Data Rate - HDR), která je s více nosnými a datovou rychlostí od desítek kbit/s až do 500 kbit/s.

Širokopásmová technologie pracuje ve frekvenčním pásmu 1,8–500 MHz a vyznačuje se datovou rychlostí od několika Mbit/s až do několika stovek Mbit/s. [16]



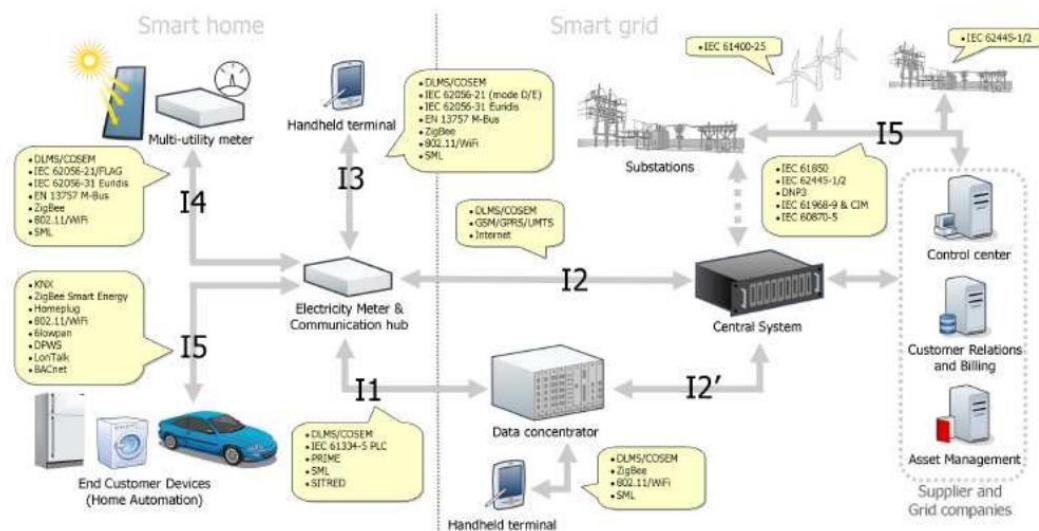
Obrázek 14: Rozdělení frekvenčních pásem dle nařízení CENELEC[16]

Každá technologie, UNB-PLC, NB-PLC a BB-PLC, má jinou oblast použití. Výběr vhodné technologie závisí jednak na technickém měřítku, ale také na legislativě a omezeních (dostupné frekvenční pásma či povolený vysílací výkon). [16,30]

Hlavní důvody použití systémů PLC především pro Smart Metering jsou:

- Finanční úspora (je to jediná technologie, která se může rovnat s bezdrátovými řešeními z hlediska nákladů na vybudování a to proto, že silnoproudé vedení už je vybudováno a je všude dostupné);
- Tradičně oddělené zařízení pro měření a komunikaci mohou být v PLC modemu sloučeny dohromady. Tato výhoda má využití zejména v aplikacích pro měření kvality elektrické energie.
- Silnoproudé vedení je pod přímou kontrolou distributorů;
- Pro určité oblasti (např. distribuční trafostanice (DTS) pod úrovní země), kde není možné provozovat rádiovou komunikaci kvůli nemožnosti umístění antén, je PLC jediným cenově dostupným řešením. [16,30]

V poslední době se začínají také objevovat iniciativy, která se snaží nastavit pro realizaci Smart Grids vhodné legislativní podmínky. Tyto legislativy chtějí definovat, sjednotit a standardizovat rozhraní dílčích prvků chytré sítě a navrhnout vhodné a technicky realizovatelné protokoly pro jednotlivá rozhraní. Jednou z těchto iniciativ je i projekt OPEN meter (Obr. 16 a Obr. 17.). [31]



Obrázek 15: Definice rozhraní podle projektu OPEN meter [31]

Rozhraní	Uvažovaná technologie	Uvažovaný protokol	Datový model
Koncentrátor-Smart Meter	PLC	Prime	DLMS
		IEC 61334-5-1	SML
Smart Meter - ŘS	Bezdrátová	UMTS	DLMS
		GPRS	SML
Smart Meter - Utility měřidla	Bezdrátová	IEEE 802.15.4-2006	DLMS
		IEEE 802.11 - 2007	SML
		WM-BUS	WM-BUS
Smart Meter - End Device	Bezdrátová	IEEE 802.15.1 - 2006	DLMS,SML
		ZigBee	ZigBee

Obrázek 16: Tabulka rozhraní OPEN meter [31]

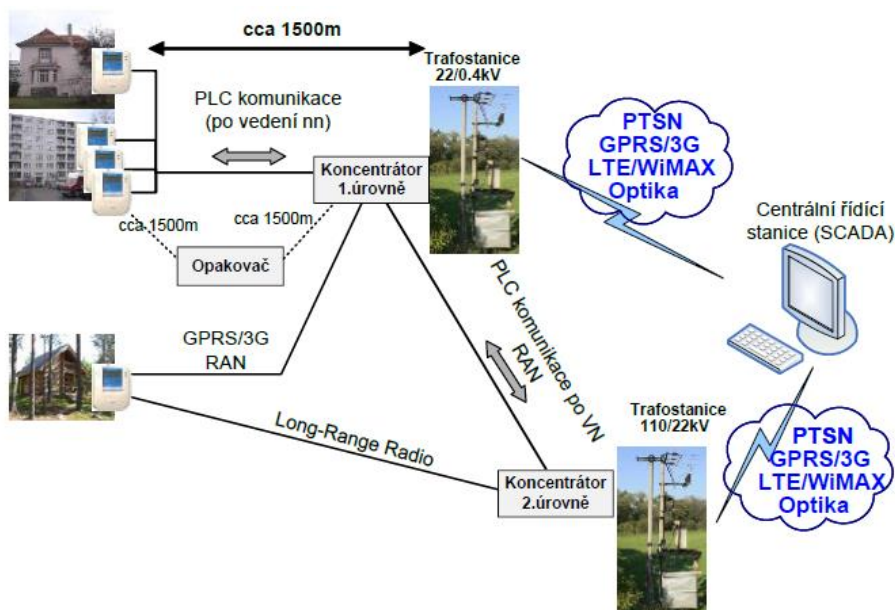
V tabulce na obr. 13 vidíme, že ovšem jediné rozhraní, kde se podle iniciativy OPEN meter počítá s PLC technologií, je mezi Smart Meterem a data koncentrátorem.

Při datových přenosech po silnoproudých vedeních je totiž několik problémových oblastí. Každé silnoproudé vedení se nevyhnutelně vyznačuje značným útlumem signálu a různým rušením a šumem, takže přenos dat vykazuje bez mechanismu kontroly chyb velmi vysokou chybovost. Značný vliv mají i různé typy silnoproudých vedení (kabelové/vzdušné) a přechody mezi nimi, stáří vedení a materiál vedení (hliník/měď). Vlastnosti a parametry vedení jsou navíc časově, frekvenčně a místně proměnné. [16, 30,31]

2.6.2 Heterogenní hybridní sítě

Jak jsem již několikrát zmínil, jelikož existují různé technologie pro přenos dat ve Smrt Grids a Smart Metering, dá se předpokládat, že SG sítě nebudou využívat jedno komunikační řešení (homogenní síť), ale spíš bude využita kombinace komunikačních technologií, tedy heterogenní sítě. [16]

Na obr. 18 je příklad heterogenní infrastruktury, kde je využito PLC technologie provozované po nn a vn vedeních. Systém je založen na tom, že každý účastník (dům, firma) je vybaven inteligentním elektroměrem s PLC modemem, který po síti nn komunikuje s koncentrátorem umístěným někde v síti nn v rámci jednoho napájecího uzlu (transformátoru). Koncentrátor předává odečtená data z jednotlivých elektroměrů přímo do centrály (např. SCADA) nejčastěji po metalických či optických vedeních případně přes síť veřejného operátora. [16]



Obrázek 17: Příklad heterogenní infrastruktury Smart Grid pro komunikaci s elektroměry [16]

Pro určité oblasti, kde není vhodné použít PLC technologii, například z ekonomických důvodů (nutnost velkého počtu opakováčů) či velké vzdálenosti nejbližší trafostanice (více jak 1 500 metrů), je vhodné použít rádiové technologie, popřípadě síť veřejného operátora. [16]

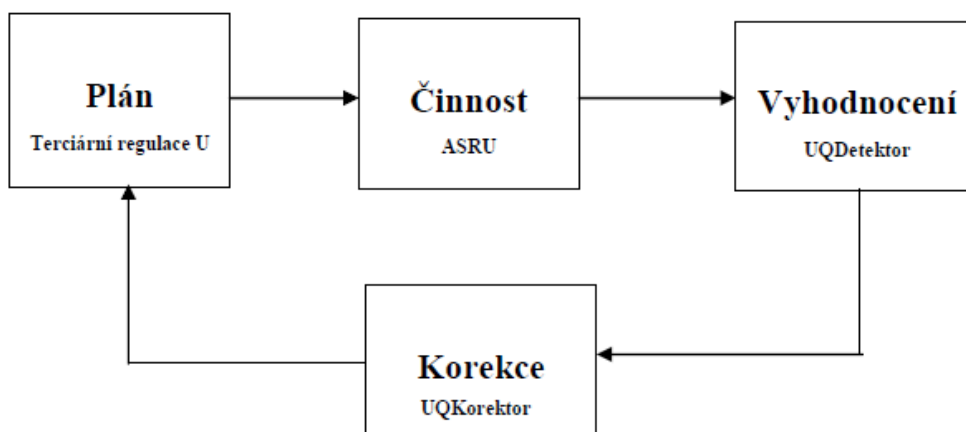
2.7 Principy regulace

2.7.1 Regulace na straně spotřeby

Cílem regulace je udržování rovnováhy mezi vyrobenou a spotřebovanou elektřinou (bilance činných a jalových výkonů). Přebytek nebo naopak nedostatek elektřiny, může způsobit vážné problémy, které se mohou projevit narušením frekvence či napětí v energetické soustavě. Svázání těchto veličin (frekvence a napětí) se právě využívá při samoregulaci. Ta se projevuje tak, že pokud poklesne např. frekvence o 1 Hz, dojde ke snížení odběru v elektrizační soustavě o předem stanovený výkon tak, aby se frekvence vrátila zpět na požadovanou úroveň (běžná odchylka frekvence $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ v 99,5 % času; $50 \text{ Hz} \pm 4 \%$ ve 100 % času). V případě nárůstu frekvence je proces opačný, ale princip zůstává stejný. [32]

V současné době jsou možnosti regulace jak na straně výroby, tak na straně spotřeby. Provozovatel DS může využít přímo technických prostředků, kterými provede vlastní regulaci (např. odpojení části sítě) nebo může využít různých cenových tarifů podle časových období během dne tak, aby byl sám odběratel motivován odběr hlídat, a podle daných tarifů tedy odebíral, když je to pro síť nejvhodnější. Kombinaci těchto možností využívá systém HDO. Regulaci může samozřejmě ovlivnit i odběratel sám už vhodným výběrem ekologicky šetrných spotřebičů. [32]

Jedním z důvodů regulace je také snaha zamezit rozsáhlému výpadku dodávky elektřiny tzv. „Blackout“ z důvodu zmíněného nedodržení bilance činného a jalového výkonu. Výpadek proudu nemusí být vždy vážný, ale v některých situacích je vyžadována rezervní dodávka. Požadavky na rezervní zdroje napájení specifikují tzv. „Stupně zajištění dodávky“, kterým jsem se věnoval v kapitole 1.3. Pro situace, kdy skutečně k výpadku dojde, existují různé scénáře jak postupovat a dostat elektřinu do důležitých objektů, aby bylo možné obnovit dodávku elektřiny co nejdříve. [32]

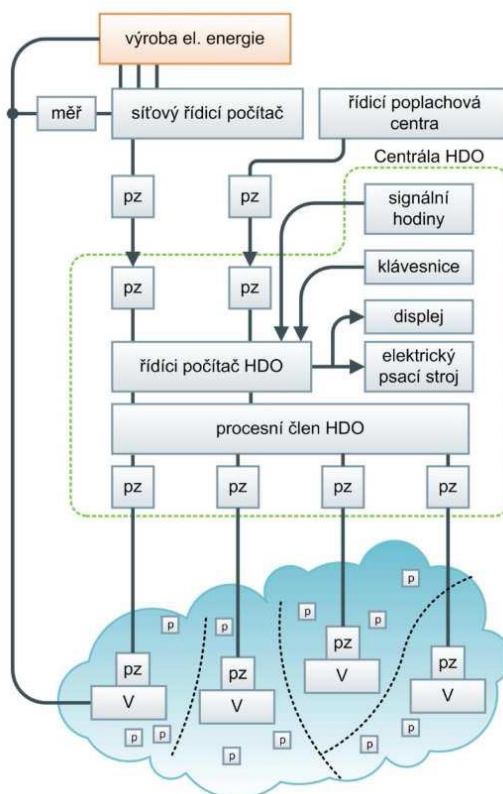


Obrázek 18: Činnost systému regulace U a Q [33]

2.7.2 Hromadné dálkové ovládání

System HDO je jedním z nejčastěji používaných způsobů regulace spotřeby elektřiny na území České republiky. System HDO nemůže být pochopitelně považován za součást konceptu Smart Grids a to především pro to, že je tento způsob schopen pouze jednostranné komunikace od výroby ke spotřebě. Cílem této technologie je přenos předem daného signálu z vysílače HDO přes přenosovou cestu k přijímači tak, aby bylo docíleno sepnutí konkrétního spotřebiče v předem stanovený čas. Velkou výhodou je to, že signál HDO se dá vyslat skupině zařízení přes již existující vedení poměrně velkou rychlostí a díky tomu, že se signál vysílá několikrát za sebou i s velkou spolehlivostí.

Jádro systému tvoří tzv. centrála HDO. Přes přenosová zařízení (PZ) jsou připojeny přenosové cesty od elektrického dispečinku a řídicích poplachových center, a také cesty přenášející řídicí signál k jednotlivým lokálním vysílačům (V), které bývají umístěny v rozvodnách. Odtud se signál šíří až k jednotlivým přijímačům (P), zapojeným v napěťové úrovni nn. Vysílání povelové série HDO je řízeno signálními hodinami a signály z energetického dispečinku i z řídicího panelu lokálního vysílače HDO. [34]



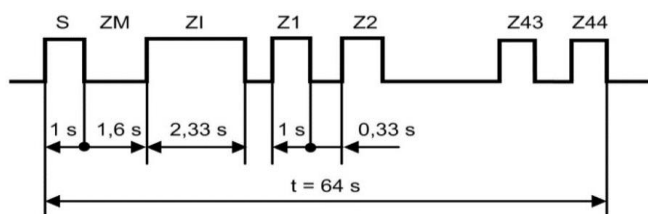
Obrázek 19: Typické uspořádání moderní sítě HDO [34]

Samotný signál HDO se přikládá k síťovému kmitočtu 50 Hz a je šířen vysílači HDO, které jsou připojeny k sekundární straně transformátorů VVN/VN. Signál HDO je pak tvořen sérií pulzů. Problém se spolehlivým řízením daného zařízení nastává v případě velkého rušení. Tato rušení jsou způsobena nehomogenitami na přenosových cestách, rušením od dalších zdrojů (např. vlastní silnoproudé generátory, další informační vysílače) a samozřejmě nedílný podíl na rušení mají i přírodní jevy (blesky apod.). [34]

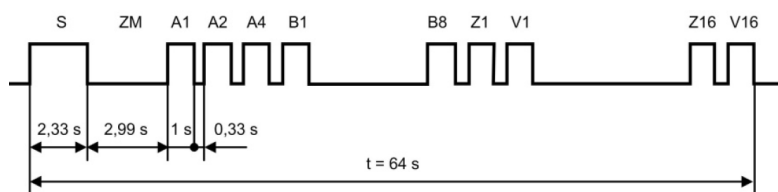
V současné době se používá pro přenos ovládacího kmitočtu HDO pásmo 110 Hz – 2 kHz. V zásadě platí několik omezení související s vyššími harmonickými pro frekvenci 50 Hz. Každý stát má ovládací kmitočty dány normou. V České republice je to podniková norma energetiky PNE 38 2530 a státní norma ČSN 334570 s tím, že nejčastěji jsou užívány kmitočty 216,6 Hz a 316,6 Hz. Tyto kmitočty jsou pak injektovány do napěťové úrovně 110 kV. Vysílače HDO jsou dvojího typu. [34]

- Centrální vysílač HDO (řízení rozsáhlé oblasti a obsahuje i telekomunikační spojení - dispečink, poplachové centrály, podřízené centrální vysílače HDO).
- Lokální vysílače HDO (přímo na sekundární straně transformátoru v rozvodně)

Tyto vysílače si pak vytváří a přeměňují signál HDO do výkonové formy sami.



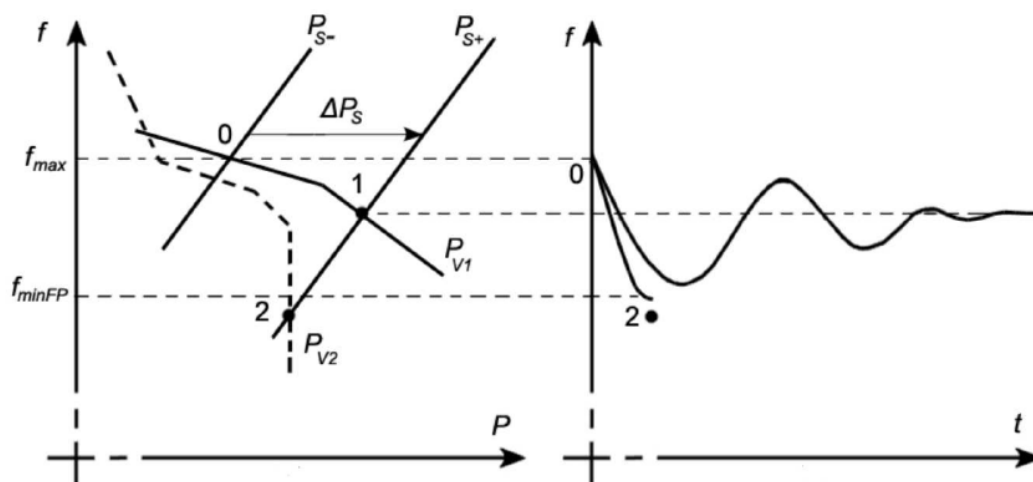
Obrázek 20: HDO s paralelním vyjádřením dvojpovel [33]



Obrázek 21: HDO se sériovým vyjádřením dvojpovel [33]

2.7.3 Regulátor ostrovního provozu (ROP)

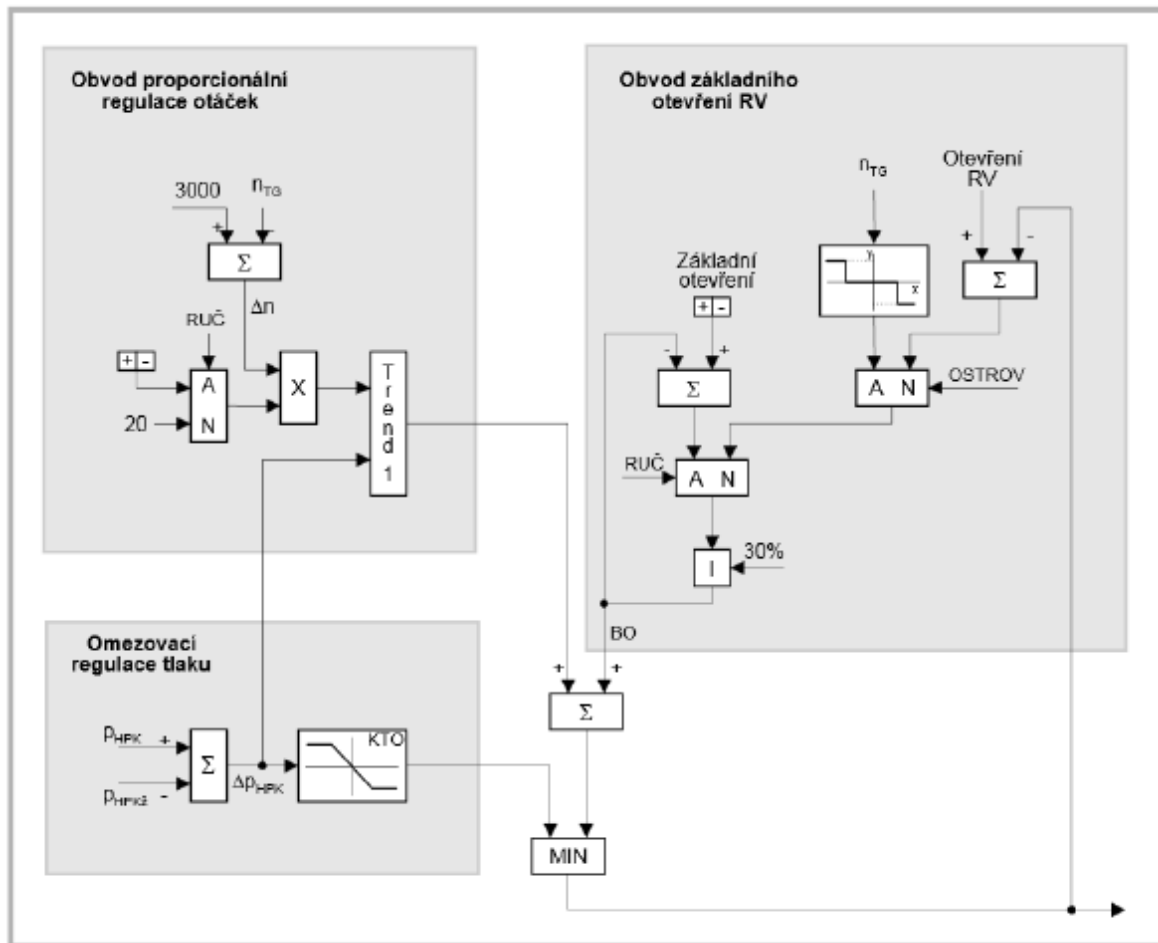
V předešlé kapitole je zmíněna důležitost udržování rovnováhy mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií, jelikož pokud dojde k nerovnováze, může dojít i k plošným výpadkům elektřiny. Jedním z důsledků výpadku je frekvenční kolaps, který nastává v případě, že některé oblasti nedokáží přejít do ostrovního provozu, popřípadě nedojde ke včasnému odpojení zasažených částí sítě. Samotný kolaps nastane, když daná elektrizační soustava nemá dostatek točivé rezervy. Problém je znázorněn na obr. 2.4. Když vyjdeme z bodu 0, prvotním jevem je nárůst zátěže o ΔP_s , tedy přechod z přímky P_s na přímku P_{s+} . Pokud je v síti dostatečná točivá rezerva, dojde k ustálení (bod 1 na křivce výroby P_{v1}). Pokud dojde k výpadku bloků, pak se křivka výroby P_{v1} změní na P_{v2} a ustálený stav nastane až v bodě 2, který ale leží pod nastavenou minimální frekvencí f_{minFP} . Ve skutečnosti tedy k žádnému ustálení nedojde. V tu chvíli začnou působit ochrany elektráren a dojde k jejich odpojení od sítě, což způsobí zmíněný výpadek. [35]



Obrázek 22: Frekvenční kolaps [35]

Z toho důvodu se při poklesu frekvence používá regulátor ostrovního provozu (ROP), tedy regulátor frekvence. K přepnutí dochází při poklesu na kmitočet 49,8 Hz. V obrázku č. 23 jsou dvojitavové přepínače A (podmínka splněna) a N (podmínka nesplněna). Regulátor ostrovního provozu je ve většině případů samostatnou částí regulátoru turbíny, která je tvořena právě vyobrazenými třemi bloky. Prvním blokem je obvod základního otevření regulačních ventilů. Zde se mění základní otevření buď ručně, nebo automaticky. Poté se ROP snaží změnou výkonu vrátit otáčky do vymezeného pásma. [35]

Druhým blokem je obvod proporcionální regulace otáček. V této části se daná odchylka násobí konstantou zesílení a velikost pak obsluha mění ručně. Rychlost dané změny je v případě nízkého tlaku páry v hlavním parním kolektoru (P_{HPK}) omezoována v bloku „Trend 1“. Posledním blokem je omezení regulace tlaku. Zde korektor tlaku ostrova (KTO) omezuje výkon turbogenerátoru hlavně při nízkém tlaku páry P_{HPK} . Výstupní signál ROP je pak tvořen superpozicí signálů z daných obvodů. [35]



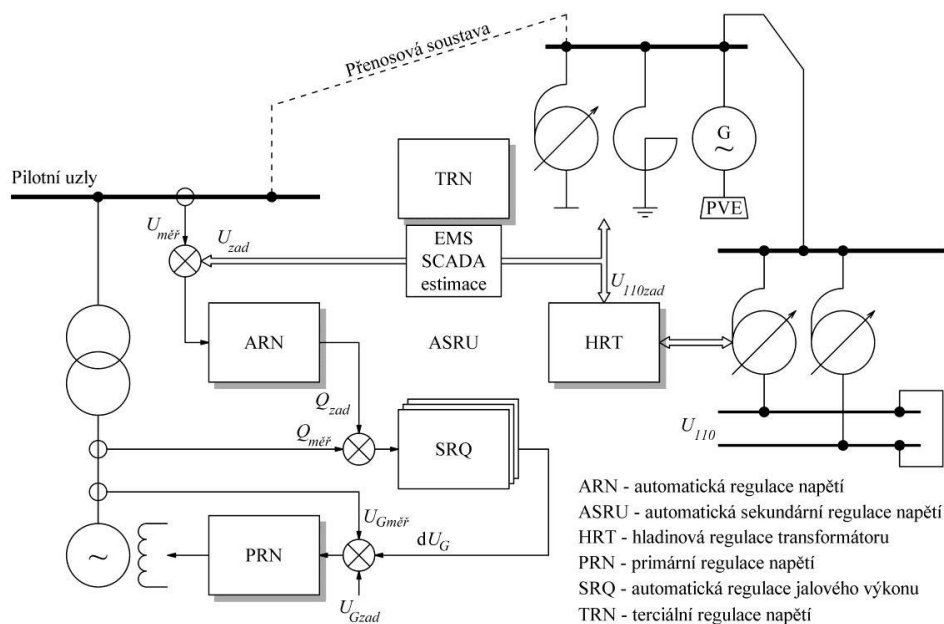
Obrázek 23: Blokové schéma regulátoru ostrovního provozu [35]

2.7.4 Automatická sekundární regulace napětí (ASRU)

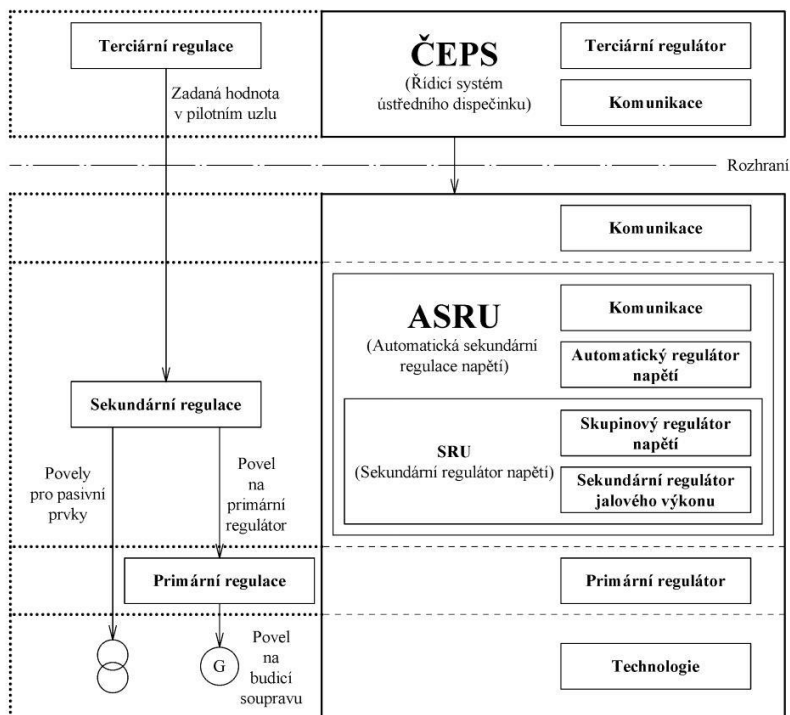
Jak jsem již také zmínil na začátku práce, jedním ze základních faktorů kvality a spolehlivosti přenosu a distribuce elektrické energie je regulace napětí a také jalového výkonu. Jalový výkon je spojen se značnými úbytky napětí a s jalovými ztrátami, také je ale potřebný pro vytváření magnetických polí v elektrických strojích. Provozovatel distribuční sítě, tedy musí zabezpečit okamžitou rezervu jalového výkonu a snaží se o to, aby v daném okamžiku v soustavě protékalo tolik jalového výkonu, kolik soustava v daném okamžiku potřebuje. K dispozici je především jalový výkon dodávaný ze synchronních generátorů elektráren a tepláren, který je druhotným produktem při výrobě činného výkonu. V současné době lze výrobu jalového výkonu ze synchronních generátorů regulovat velice přesně díky modernějším budicím soupravám. Systém, který umožňuje efektivní regulaci napětí a jalového výkonu se nazývá Automatická regulace napětí a jalového výkonu. Členění systému regulace je znázorněno na obrázcích 24 a 25. [33]

Celková regulace napětí a jalového výkonu má v celé přenosové soustavě třístupňovou hierarchii:

- Terciální regulace napětí (na úrovni celé regulované soustavy);
- Automatické sekundární regulace napětí (na úrovni jednoho uzlu soustavy);
- Primární regulace napětí (na úrovni jednoho bloku výroby).



Obrázek 24: Členění úloh regulace [33]



Obrázek 25: Schéma regulace napětí [33]

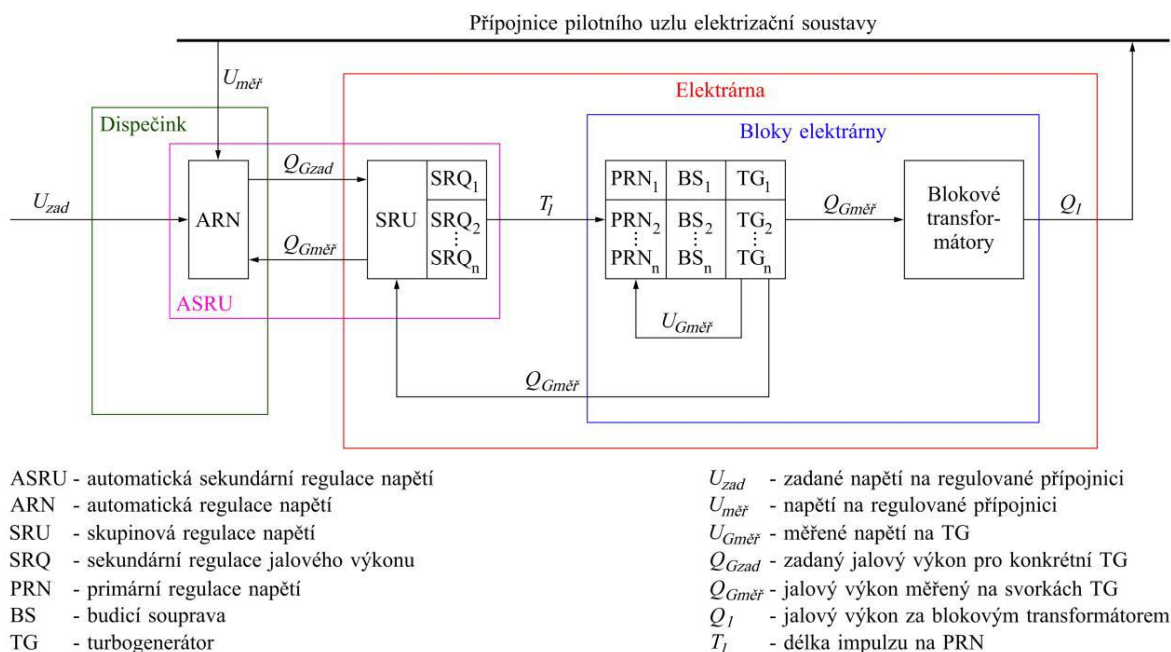
Primární a sekundární regulace je prováděna automaticky, zatímco terciální regulace slouží pro obnovení primární a sekundární regulace a tento požadavek dává sám operátor. Primární regulace se provádí přímo přes buzení daného stroje a je schopna reagovat na změny zátěže během 1 – 2 s. Lze ji chápat jako lokální regulaci a má přímý vliv na stabilitu systému, jelikož jsme omezeni maximálním proudem statoru a rotoru. Primární regulace má tedy blízko k výše zmíněnému regulátoru kmitočtu (ROP). [33]

Sekundární regulace má za úkol udržovat danou velikost napětí na předem vybraných uzlech a přímo tedy přerozděluje vyráběný jalový výkon. Obecně lze tuto úroveň regulace rozdělit na dva dílčí typy:

- Automatické regulátory napětí ARN (reagují přímo na odchylku napětí a přidělují jalový výkon, který následně vyrovná tuto odchylku);
- Sekundární regulátor napětí SRU - sekundární regulace jalového výkonu SRQ a regulátor odboček síťového transformátoru (udržuje napětí přímo na sekundární straně transformátoru). [33]

Automatická regulace napětí (ARN) vypočítává celkovou změnu jalového výkonu na základě vyhodnocené aktuální regulační odchylky, která je nutná pro její eliminaci. Podle momentální regulační rezervy rozdělí požadavky na jednotlivé sekundární regulátory (SRU), které jsou pro regulaci v daném pilotním uzlu (převážně přípojnice rozvodny) k dispozici. SRU v elektrárně dále rozdělí přidělený požadavek podle rezervy na jednotlivé regulátory jalového výkonu (SRQ) generátorů. Ty pak generují velikost impulsu na mechanismus změny zadané hodnoty napětí primární regulace napětí a ta změní velikost jalového výkonu. Tato změna vstupuje přes blokový transformátor zpět do pilotního uzlu.

Regulační proces musí být aperiodický nebo maximálně s jedním překmitem. Výsledná doba regulace nesmí být větší než dvě minuty. [36]



Obrázek 26: Blokové schéma ASRU [33]

Fyzikální princip systému ASRU je dán vztahem:

$$\Delta U_i = a_{ij} \cdot \Delta Q_j \quad (2.1)$$

ΔU_i ... změna napětí v uzlu i ,

a_{ij} ... koeficient citlivosti změny napětí v uzlu i na změnu jalového výkonu v uzlu j ,

ΔQ_j ... změna jalového výkonu v uzlu j . [36]

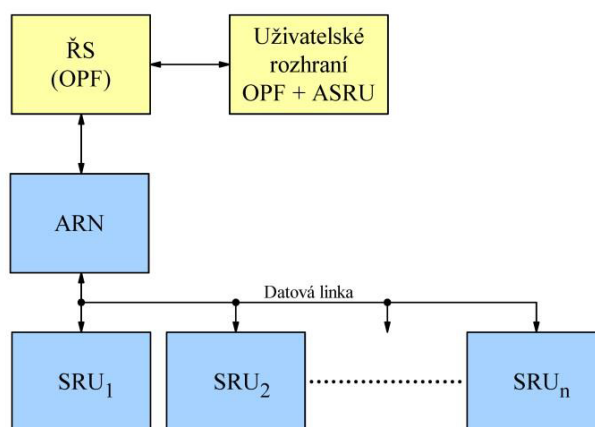
Ze vztahu (2.1) vyplývá, že k dosažení změny napětí v libovolném uzlu sledované soustavy je potřeba provést změnu dodávky jalového výkonu. Velikost změny napětí ΔU_i , závisí kromě velikosti změny dodávky jalového výkonu ΔQ_j také na aktuální velikosti citlivostní konstanty a_{ij} mezi dvěma uzly soustavy. Tento koeficient se určuje na základě znalosti vazební reaktance X_V . Ta se určí ze znalosti topologie sledovaného pilotního uzlu. Citlivostní koeficient se pohybuje pro síť 400 kV v rozmezí 30 až 50 MVar/kV a pro síť 220 kV 10 až 25 MVar/kV. [36]

2.7.5 Základní technické formy ASRU

Existují čtyři technické varianty systému ASRU:

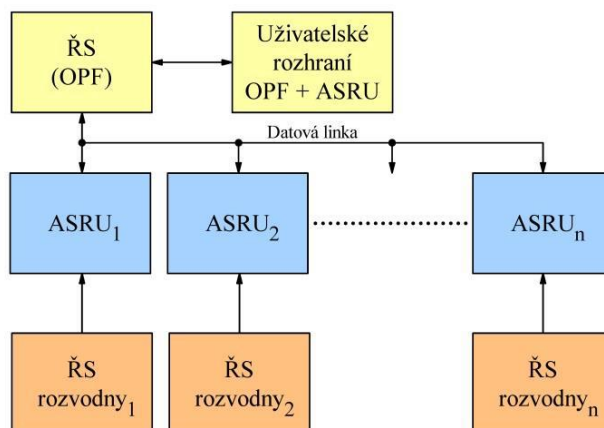
- Centralizovaná varianta ASRU (ARN na dispečinku);
- Decentralizovaná varianta ASRU (ARN mimo dispečink);
- Varianta bez samostatné stanice ARN (integrace ARN v rámci ŘS dispečinku ASRU);
- Varianta bez ASRU (jeho zrušení).

Centralizovanou variantu ASRU popisuje obr. 28. Stanice ARN je umístěna na dispečinku a je komunikačně spojena s ŘS dispečinku. ARN zajišťuje oboustrannou komunikaci se všemi podřízenými stanicemi SRU. Systém ASRU pracuje s uzavřenou zpětnou vazbou přes ŘS dispečinku s nastavitelným intervalem mezi dvěma regulačními zásahy (20 až 30 sekund). [37]



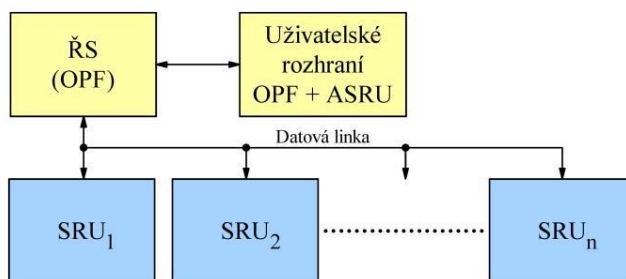
Obrázek 27: Centralizovaná varianta ASRU[37]

Decentralizovaná varianta znamená integraci funkcí ARN a SRU do jedné stanice ASRU. Mezi všemi jednotlivými stanicemi ASRU zajišťuje obousměrnou komunikaci ŘS. Zadané napětí je předáváno z ŘS do ASRU vzdálenou komunikací z dispečinku na výrobní, a to jak přímo z TRN, tak i dispečerem z uživatelského rozhraní ŘS. Systém ASRU pracuje s uzavřenou lokální zpětnou vazbou s nastavitelným intervalem mezi dvěma regulačními zásahy (8 až 15 sekund). [37]



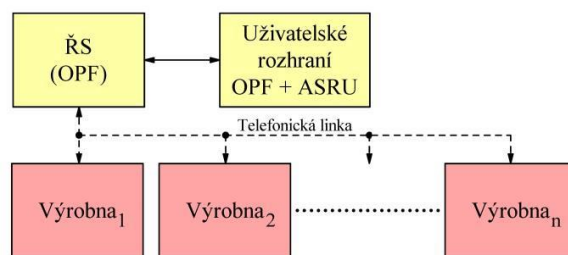
Obrázek 28: Decentralizovaná varianta ASRU [37]

Varianta bez samostatné stanice ARN znamená integraci TRN a ARN v rámci ŘS dispečinku. Předávání zadaného jalového výkonu z ŘS do SRU na výrobních probíhá na základě výpočtu provedeného TRN. Dispečer nemá možnost měnit zadané napětí (může pouze zablokovat výpočet TRN). ŘS pak zajišťuje oboustrannou komunikaci se všemi stanicemi SRU. Tento systém neprovádí regulaci napětí (zadané napětí v pilotních uzlech nezná), ale pouze upravuje dodávku jalových výkonů generátorů podle kritérií specifikovaných při výpočtech TRN. Tento systém pracuje s nepravidelnou zpětnou vazbou.



Obrázek 29: Varianta bez ARN [37]

Při zrušení ASRU je provozována pouze TRN a obsluha je kontaktována telefonicky s požadavky na změnu jalového výkonu.



Obrázek 30: Zrušení ASRU [37]

Dlouhodobé monitorování činnosti systému ASRU přineslo poznatky o dalších přínosech nad rámec očekávaného zvýšení kvality, hospodárnosti a bezpečnosti dodávky elektřiny konečným odběratelům. K těmto přínosům patří:

- Hlavním odběratelem kvality napětí je akční člen, který reguluje v pilotním uzlu napětí. Tento na pohled logický poznatek si řada provozovatelů výroben (hlavně v soustavě 110 kV) neuvědomuje a chápe regulaci napětí pouze jako službu soustavy, za niž si chce nechat platit. V případě, že výrobná reguluje (stabilizuje) napětí na přípojnici, ze které je napájena její vlastní spotřeba, nebo účelová spotřeba celého průmyslového areálu. To pomáhá zlepšit vlastní napěťové podmínky, případně podmínky svých odběratelů v areálu a pak teprve ostatním uživatelům distribuční soustavy;
- Zapojení výrobní do systému ASRU může vyvolat průměrné snížení dodávky (nebo odběru) jalového výkonu bloků za sledované období, jelikož ovládání jalového výkonu bude více spojené s reálnou potřebou regulované soustavy. Tedy v případě vhodné koordinace řízení jalového výkonu v celé soustavě se sníží nároky na absolutní čerpání jalového výkonu u jednotlivých výroben;
- Velkou výzvou pro nově implementované systémy ASRU bude také rozsáhlá implementace OZE a s tím vzniklé problémy (nevhodná změna stávajících toků jalového výkonu, zvyšování fluktuace napětí atd.), což poslouží k dalšímu zdokonalení. [36]

2.7.6 Praktické ukázky průběhů napětí

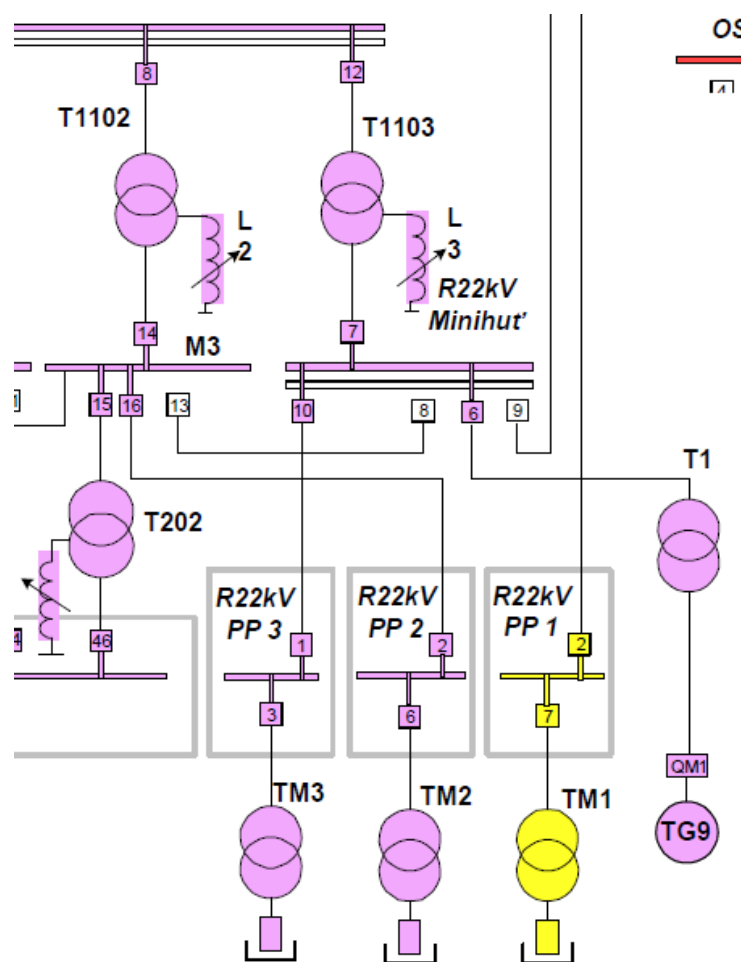
Jako příklad lze uvést regulační algoritmus ASRU LDS podniku ArcelorMittal Ostrava jehož kompletní schéma LDS je v příloze práce.

Tento algoritmus je založen na zásadách:

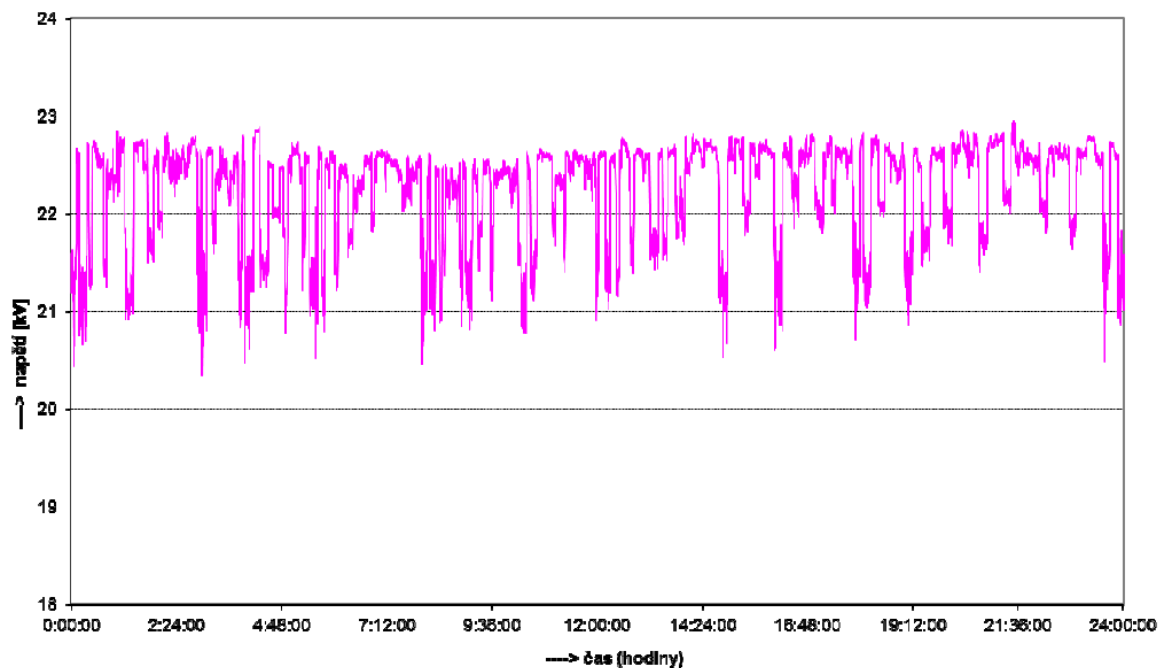
- Napětí na přípojnicích 22kV je udržováno v určené toleranci pomocí generátorů zapojených do jednotlivých modulů LDS AMO;
- Transformátory 22kV/6kV, které nejsou na nižší straně zapojeny do přípojníc 6kV s generátory, udržují napětí na své nižší straně v zadané toleranci U;
- Transformátory 22kV/6kV, které jsou na nižší straně zapojeny do přípojníc 6kV s generátory, udržují napětí na své nižší straně v zadané toleranci U v případě vyčerpání regulačního rozsahu těchto generátorů nebo v případě jejich odstavení.

[36]

Pro vlastní ukázku je uveden pilotní uzel na přípojnici nižší strany transformátoru T1103, do něhož je přímo zapojena pánvová pec č. 3 (PP3) a generátor č. 9 (obr.31).

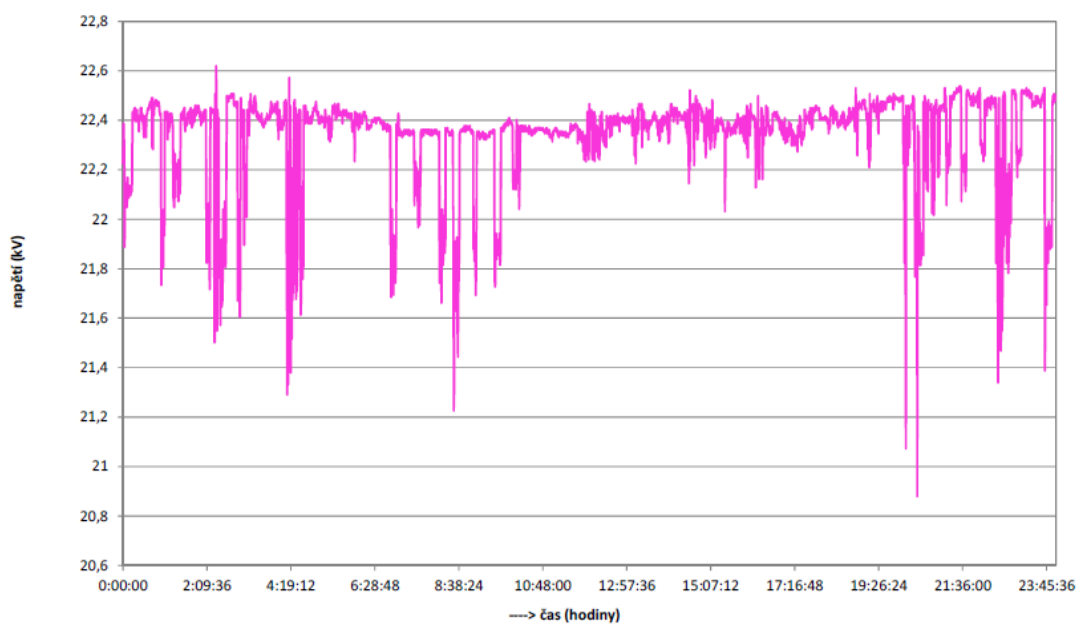


Obrázek 31: Vybraná část LDS ArcelorMittal Ostrava[33]



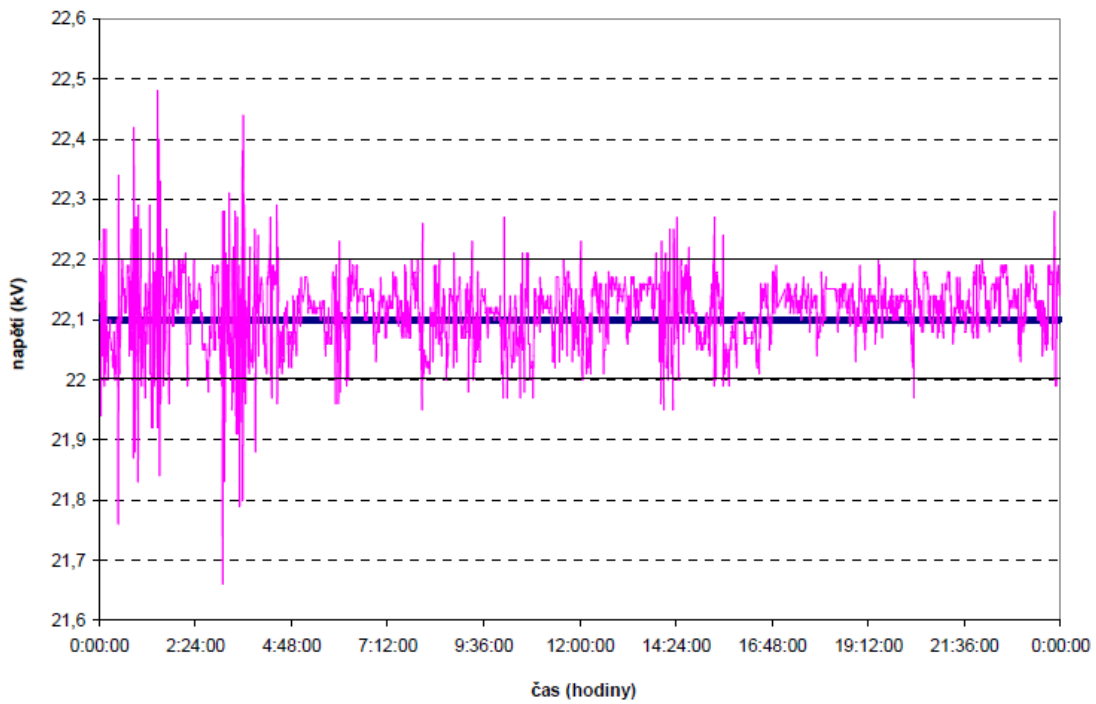
Obrázek 32: PP3 v provozu, TG9 mimo provoz, ASRU mimo provoz [33]

Z grafu na obr. 23 lze vyčíst, že v případě vypnutí TG9 nedochází ani k částečnému tlumení skokových změn napětí pomocí PRN tohoto generátoru a pochopitelně ani k regulaci U a Q. Pro nadřazenou soustavu 110 kV je to velmi nepříznivý provozní stav, jelikož se poruchy přenášejí do regionální distribuční soustavy. [33]

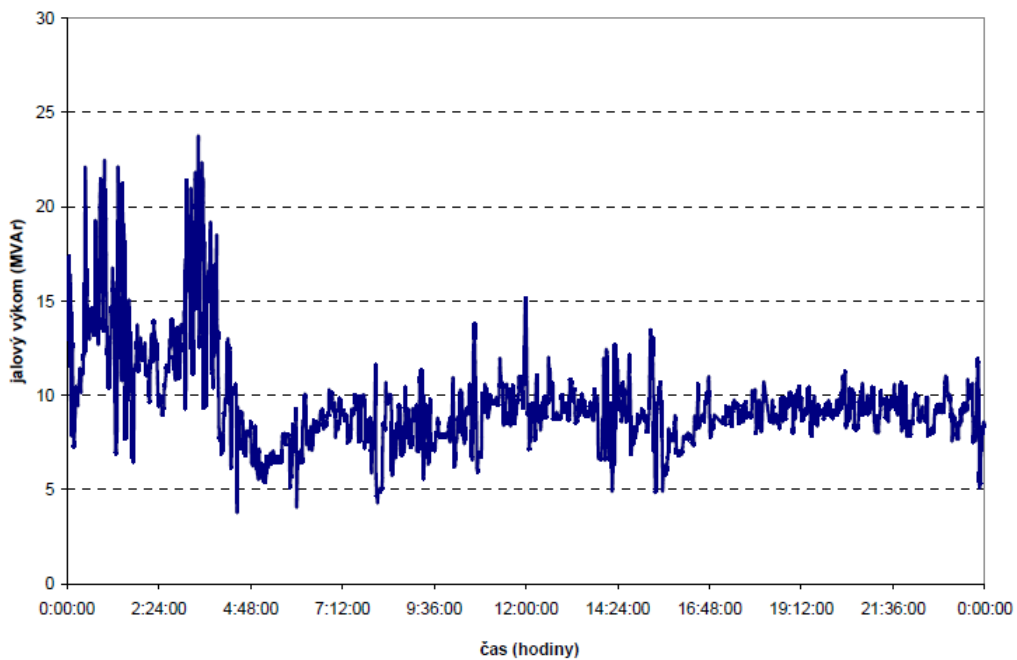


Obrázek 33: PP3 v provozu, TG9 v provozu, ASRU mimo provoz [33]

V grafu na obr. 33 se již uplatňuje tlumící schopnost PRN TG9 a napěťové změny už nejsou tak významné jako při provozu bez TG9. PRN reguluje pouze zadané napětí generátoru a proto není schopen udržovat zadanou hodnotu napětí na přípojnici 22kV. [33]



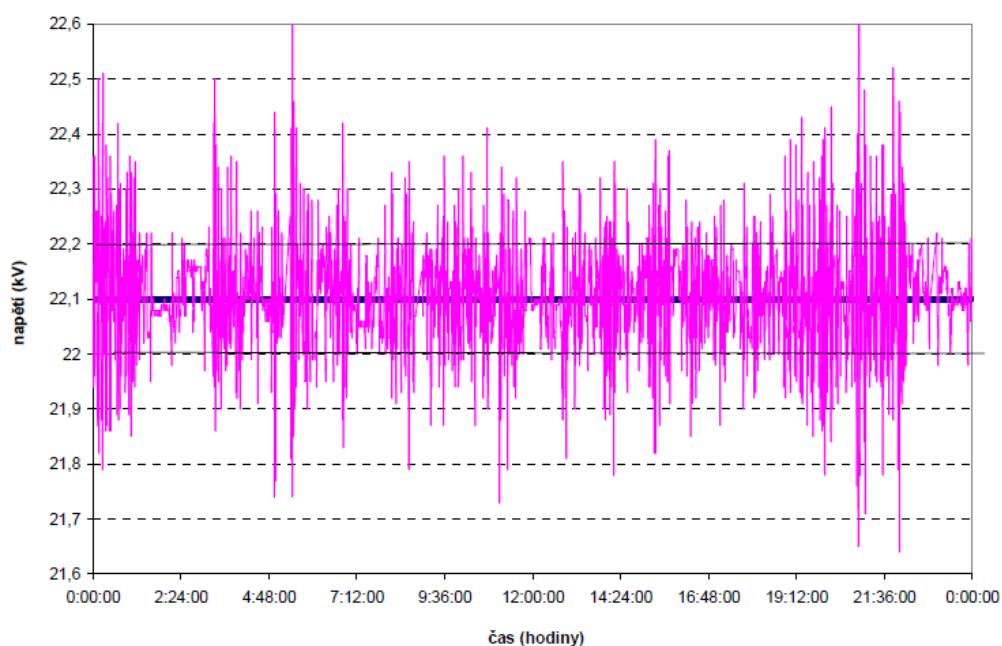
Obrázek 34: PP3 částečně mimo provoz, TG9 v provozu, ASRU v provozu [33]



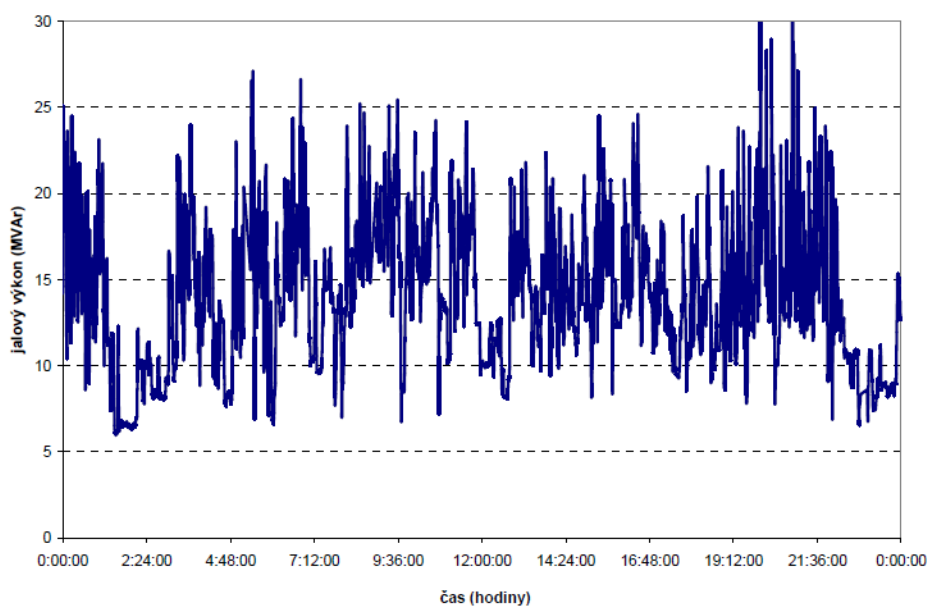
Obrázek 35: Stejný stav - jalový výkon [33]

V grafech na obrázcích 35 a 36 je ukázáno, že ASRU reguluje na zadanou hodnotu 22,1kV s tolerancí 0,11kV v rychlé regulační smyčce, což umožňuje rychlou reakci na každou vzniklou regulační odchylku. Napětí se daří držet pomocí regulačních zásahů relativně konstantní. [33]

Na posledních dvou grafech již vidíme nejčastější provozní stav, při kterém ASRU významně eliminuje napěťové změny generované PP3 (a částečně také PP1 a PP2). K regulačním zásahům zde dochází téměř v každém regulačním cyklu. [33]



Obrázek 36: PP3 v provozu, TG9 v provozu, ASRU v provozu [33]



Obrázek 37: Stejný stav - jalový výkon [33]

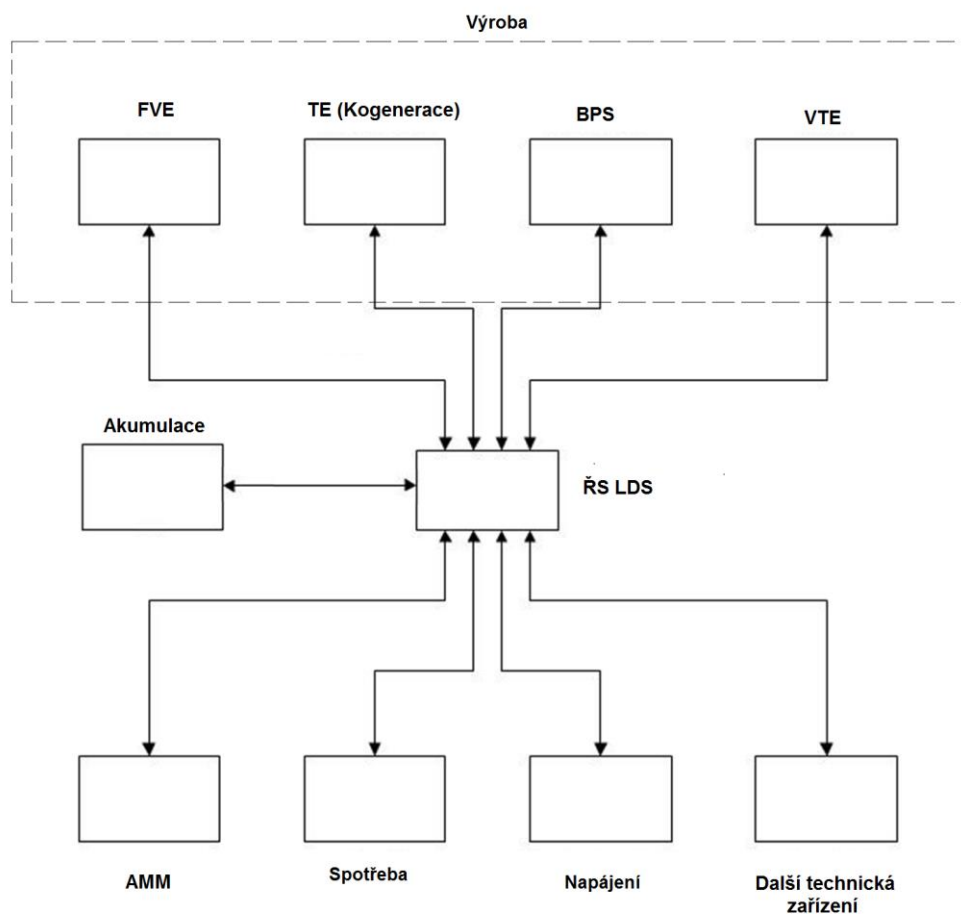
3 Vlastní návrh Smart Grids pro obecnou LDS průmyslového podniku

Samotný návrh SG je složitý proces především proto, že je každá síť jiná a před samotnou realizací je nutné provést studii proveditelnosti, která bude obsahovat detailně zpracovaný návrh celého projektu. Tato studie bude obsahovat přesné informace o rozloze, velikosti instalovaného výkonu, vnořené výrobě elektřiny, velikosti odebíraného výkonu, charakteru odběru a o aktuální technické vybavenosti sítě. V obecném návrhu jsou ale některé společné body, které lze do základního modelu implementovat vždy (Obr. 29).

Každý koncept Smart Grids je tvořen řídicím systémem LDS, ve kterém je soustředěna veškerá obsluha a ovládání jednotlivých částí pomocí obousměrné komunikace. Z obnovitelných zdrojů je v návrhu na obr. 29 FVE, VTE a bioplynová stanice. Také je v návrhu uvažována podniková tepelná elektrárna se spojenou výrobou elektřiny a tepla. Vedle výroby elektrické energie je zde také uvažováno uskladnění, například v případě větší výroby, než je spotřeba. Vzhledem k současným možnostem akumulace, je v podniku uvažován pouze akumulátor připojený k FVE. Tato energie se dá využít pro vykrytí špičkových odběrů. Zmíněné zdroje jsou pak schopny zásobovat závod v případě odpojení od nadřazené ES. Ta je znázorněna blokem „Transformátory“. Díky inteligentnímu řešení sítě, bude ŘS schopné samo v průběhu provozu určit, kdy je nutné kterou část zapojit (či odpojit) podle stávající situace. Dále, aby návrh splňoval definici Smart Grids, zde musí být možnost změny činného a jalového výkonu v závislosti na požadavcích sítě. Také je pak v návrhu nutné zahrnout inteligentní elektroměry AMM a to kvůli zpětné informaci o aktuální spotřebě. Díky těmto elektroměrům lze jednoduše určit přesný diagram zatížení a tím efektivně řídit celou výrobu.

Obecně je tedy klíčovým cílem, který musí síť splnit, aby dokázala spolehlivě udržovat stabilitu rozvodné sítě, tedy zlepšit schopnost LDS reagovat na všechny možné situace a to jak provozní, tak havarijní. Dalším cílem by mělo být dokázat vyrobit a dodat cenově dostupnou elektřinu tak, aby její množství pokrylo poptávku, s čímž souvisí zlepšení energetické účinnosti celé LDS. Po implementaci SG by tedy síť měla být schopna optimalizovat energetické toky, které se přenášejí a umožnit koncovým uživatelům aktivně ovlivňovat svoji spotřebu.

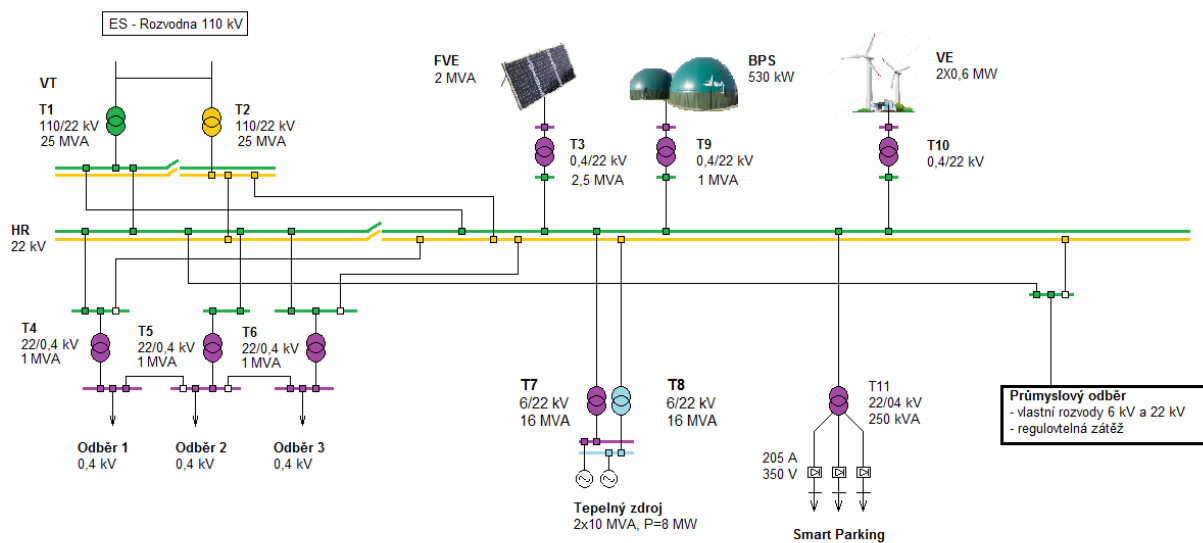
Neméně důležitými cíli jsou potom také prověření stavu současných rozvodů a návrh jejich výměny či modernizace a snížení škodlivých emisí tepelné elektrárny.



Obrázek 38: Blokové schéma obecného technického řešení

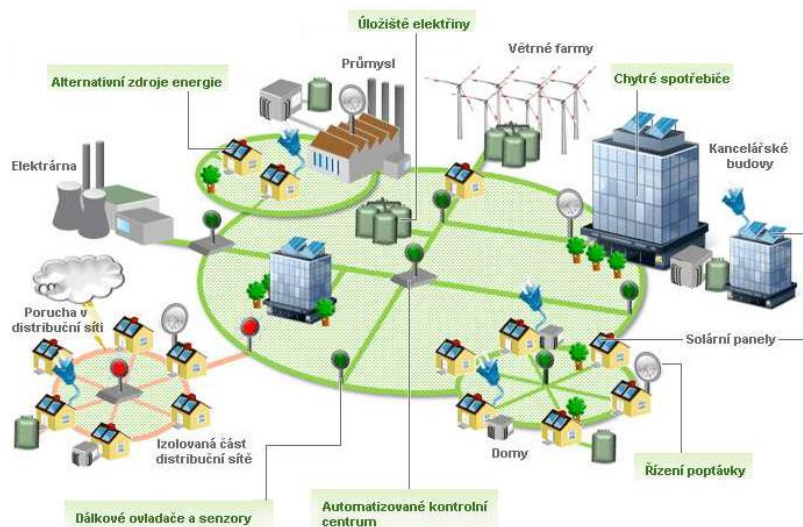
3.1 Technické řešení vlastního návrhu LDS

Technické řešení, je v této práci uvažováno jako ideový návrh LDS průmyslového areálu. Areál průmyslového podniku je připojen k rozvodně ES 110 kV. Odtud je energie vedena přes paralelně zapojené transformátory 110/22 kV do vlastní podnikové hlavní rozvodny (HR) o dvou přípojnicích, podélně dělených. Zde jsou dále připojeny vlastními vývody FVE o výkonu 2 MVA, bioplynová stanice o výkonu 530 kW a VTE o celkovém výkonu 2x0,6 MW. Je zde také využito uskladnění elektrické energie z fotovoltaických panelů, a to vanadového redoxního akumulátoru. Kromě těchto zdrojů je na HR také připojena podniková tepelná elektrárna přes paralelně vedené transformátory 6/22 kV o dvou generátorech, 2x10 MVA, 2x8 MW. Obecně je předpokládán odebíraný výkon ze sítě 23 MVA, přičemž vlastní odběr pro potřeby průmysl je 20 MVA a odběry pro přilehlé budovy a budovy administrativní atd. je realizován přes transformátory T1, T2 T3, o výkonech 1 MVA.



Obrázek 39: Vlastní návrh SG pro LDS průmyslového podniku

V návrhu celého areálu, nedochází pochopitelně jen ke spotřebě v rámci průmyslovému oděru, a také spotřebě administrativních budov a část energie je také vedena ke spotřebitelům v blízkém okolí. Do budoucna lze také počítat s rozvojem elektromobilů, a tedy je počítáno i s návrhem inteligentního parkoviště, které může v případě nabitých vozů posloužit, jako sice malý, ovšem nezanedbatelný příspěvek. Je pochopitelně samozřejmostí, že v rámci rozvoje bude využito dalších dostupných technologií, jako inteligentních rozvaděčů, vlastních solárních panelů na střechách přilehlých domů, popřípadě i dalších moderních technologií jako jsou například piezoelektrické dlaždice.



Obrázek 40: Implementace SG [38]

3.1.1 Řízení sítě

Na uzlových cestách v síti budou instalovány inteligentní rozvaděče s elektroměry, které po vyhodnocení současného stavu budou odesílat naměřená data v reálném čase do centrály, odkud budou vysílány povely pro případné rekonfigurace sítě.

- Nejdůležitější výhodou řízení provozu z centrály v reálném čase, je možnost okamžité zálohy, podle momentálních nejvíce vyhovujících možností.
- V případě, že celková vlastní vyrobená elektrická energie bude výrazně přesahovat potřeby podniku a nastanou ideální podmínky pro využití energie z OZE, centrála vyšle povel k odpojení transformátoru na vstupní rozvodně (VT) a LDS bude schopna provozu v ostrovním režimu.
- Podle povětrnostních podmínek, bude například možné, aby centrála automaticky překonfigurovala síť na odběr z VTE, což v případě vyhovujících podmínek pro odebrání energie také z FVE v kombinaci s BPS bude znamenat dostatečný výkon v síti a bude tedy možné odstavit výrobu tepelné elektrárny. Znamená to tedy primární využití OZE při momentálních vyhovujících podmínkách.
- Centrála bude dále schopna řídit dobu sepnutí spotřebičů využívaných v podniku a tedy dopředu uvažovat předpokládaný odběr. Pokud by došlo k poruše v dodávce elektrické energie z nadřazené rozvodny 110 kV a zároveň nebyli vhodné podmínky pro provoz OZE, centrála je schopna také v reálném čase řídit momentální zátěž podle její důležitosti.
- V případě poruchy v nadřazené DS je možné provozu v ostrovním režimu, při odebrání výkonu z podnikové TE například v kombinaci s některými OZE, opět podle současných podmínek k jejich využití.
- V podniku bude také zavedeno inteligentní parkoviště s dobíjecí stanicí pro 9 elektromobilů současně. V případě, že dojde k nenadálé potřebě dorovnat špičku, či k jiné rychlé poruše, bude možné čerpat i energii z právě dobíjených elektromobilů.

- Pro osvětlení lze kromě dnes již poměrně běžných LED lamp, lze využít také možnost, kdy jsou na tyči připevněny horizontální a vertikální větrné turbíny a solární panely. Lampa díky tomu může vyprodukovat, až 380 W. Tuto elektřinu lze pak uskladnit v bateriích buď pro následné okamžité použití v síti, nebo pro použití v nočních hodinách. Pro šetření bude také pochopitelně využito dnes už běžných pohybových senzorů.

- Budovy v okolí či přímo v areálu, včetně budov administrativních budou mít také své vlastní fotovoltaické panely, umístěné na střeše. Tyto panely sice pravděpodobně nebudou využity k dodávce do sítě v případě jakýchkoliv nenadálých situací, ovšem znatelně poslouží k ušetření energie do jejich vlastní spotřeby. Díky inteligentnímu řízení, bude tedy možné kdykoliv během provozu odpojit některý ze tří transformátorů T1, T2 nebo T3 a využívat pouze potřebné energie. V budoucnu, při zapojení dalších možných technologií (například v případě masivního využívání elektromobilů) by bylo i teoreticky možné, aby centrála odeslal povel k odpojení všech tří transformátorů a tedy překonfigurovat síť budov na ostrovní provoz. Tato myšlenka se zdá ale v současné době nereálná.

3.2 Fotovoltaická elektrárna

V současné době je možné použít tři základní typy fotovoltaických panelů a to buď mono krystalické, polykrystalické nebo amorfni. Monokrystalické panely mají lepší účinnost při přímém naklopení na sluneční svit, polykrystalické solární panely jsou zase schopny pracovat s lepší účinností, když sluneční svit dopadá pod „neideálním“ úhlem (v ČR obecně nejvíce vyrobí panel orientovaný k jihu se s klonem 35°). Snahou bude využívat FVE po celý rok, kdy bude jejich umístění stabilní. Dle statistik není celková roční produkce v případě takovéto montáže ovlivněna zvoleným typem panelů. Posledním typem jsou amorfni fotovoltaické panely, které jsou v porovnání s druhými dvěma levnější, ale jejich účinnost je podstatně menší, takže pro výkon, který dosáhneme při použití monokrystalických či polykrystalických fotovoltaických panelů, by bylo potřeba více amorfni panelů, tím tedy využití větší plochy. [39]

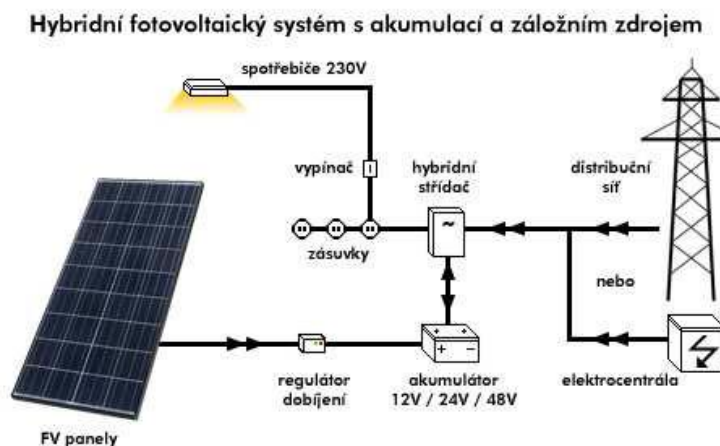
V návrhu je brána v úvahu FVE o celkovém instalovaném výkonu 2 MVA, při ideálním účinníku (v případě přetížení kabelů může vznikat i kapacitní účinník - $\cos\varphi = 0,95$ kapacitní) znamená 2 MW. V případě slunečního dne může výkon dosáhnout cca 1 kW/m², pokud bude obloha zatažena, může výkon poklesnout až na 100 W/m². V průměru lze počítat s tím, že 8 – 10 m² solárních panelů dokáže vyrobiť 1 kW. Z těchto informací lze tedy podle rovnice (3.1) usoudit, že potřebný prostor pro solární panely zabere plochu 1,8 ha.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kW} \dots\dots\dots 9 \text{ m}^2 \\ 2 \text{ MW} \dots\dots\dots x \\ \hline \end{array}$$

$$x = \frac{9 \cdot 2 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^3} = 18000 \text{ m}^2 = 1,8 \text{ ha} \quad (3.1)$$

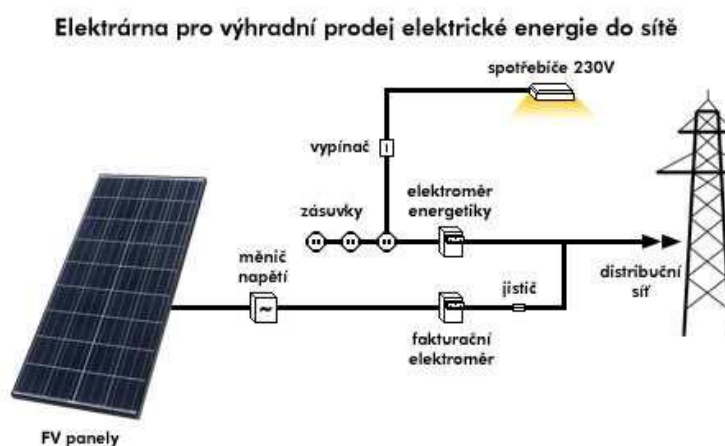
Během výroby elektřiny neprodukuje FVE žádné látky, které by znečišťovaly životní prostředí. Jedná se také o bezúdržbový systém, takže provozní náklady jsou velmi nízké. Náklady na výstavbu FVE nejsou malé, ale lze uvažovat o podstatném snížení nákladů v případě využití daňových slev a státem garantované podpoře. Samotná výroba elektřiny je velmi závislá, jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, na intenzitě slunečního svitu. Další velkou nevýhodou je fakt, že současné fotovoltaické panely ztrácejí na své účinnosti. Pokles výkonu je přibližně 1 % za rok provozu.

Pro realizaci FVE máme na výběr ze dvou možných základních konceptů, podle nichž lze FVE provozovat. Prvním konceptem je tzv. koncept hybridní elektrárny (obr. 41), kdy má systém za úkol eliminovat odběr elektřiny ze sítě, takže by solární panely nedodávaly elektřinu přímo do sítě, ale nejdříve do akumulátorů, z nichž by se elektřina přes střídač dostávala dál do LDS. [39]



Obrázek 41: Hybridní systém FVE [39]

Druhým způsobem provozu je využití konceptu pro prodej elektřiny (obr. 42). Elektřina vyrobená ve FVE se prodává rovnou do sítě, což je podporováno ve formě dotací na „zelenou elektřinu“, jelikož výkupní cena takto získané elektřiny je vyšší než prodejní cena. [39]

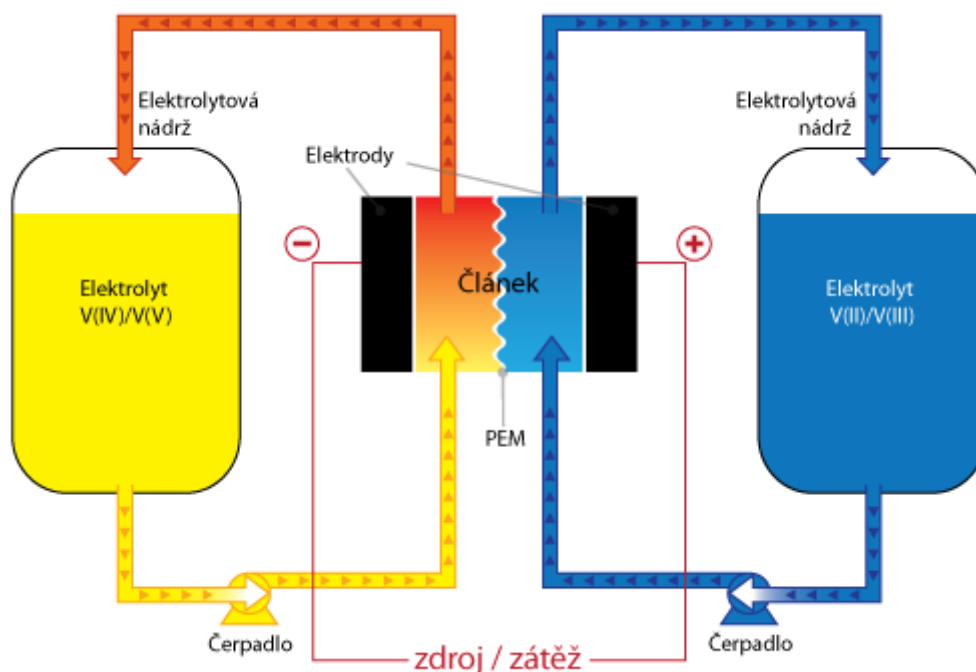


Obrázek 42: FVE pro prodej do sítě [39]

V tomto případě využijeme konceptu hybridní elektrárny a budeme tedy ukládat přebytečnou energii do akumulátorů.

3.2.1 Akumulce

Důležitý je samozřejmě výběr vhodného akumulátoru k uchování přebytečné elektřiny. Existuje celá řada akumulátorů, ale ne všechny se pro uskladnění elektřiny z fotovoltaických panelů hodí. V současné době jsou nejvyužívanějšími typy akumulátorů pro FVE olověné akumulátory, ale stále častěji se objevují i další typy. LiFePo₄ akumulátor (Lithiumželezo-fosfát) se používá ve větší míře v elektromobilech. Jeho životnost je v porovnání s olověným akumulátorem dvojnásobná, ale je dražší než olověný akumulátor. NiCd akumulátor (Nikl-kadmium) má poměrně dlouhou životnost (30 let i více), ale tyto akumulátory jsou také výrazně dražší než olověný akumulátor. Zajímavým typem akumulátoru je akumulátor, který akumuluje elektřinu do vodíku (Energy Cell). Tento typ akumulátoru má výhodu v tom, že elektřinu lze uskladnit na dlouhou dobu bez ztráty kapacity. Ovšem revolucí v uskladnění elektřiny je vanad redoxní akumulátor (obr. 43). Tento akumulátor lze považovat za revoluční už z toho důvodu, že oproti klasickým akumulátorům, kde je elektřina soustředěná uvnitř článku, je elektřina u tohoto typu akumulátoru uložena chemicky v elektrolytech. Jak je možné vidět na obrázku, tento akumulátor je složen ze dvou nádrží, ve kterých je elektrolyt lišící se svou polaritou. [41]



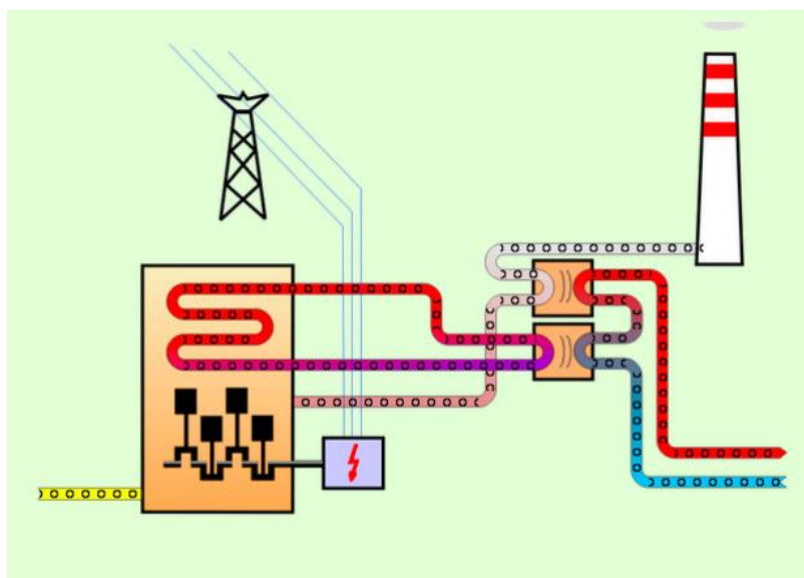
Obrázek 43: Vanad redoxní akumulátor [39]

3.3 Bioplynová stanice

Bioplynové stanice jsou běžně provozovaná ekologická zařízení, která zpracovávají širokou škálu materiálů nebo odpadů organického původu prostřednictvím procesu zvaného anaerobní digesce (kontrolovaná mikrobiální přeměna organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a „digestátu“ – obr. 44) v uzavřených reaktorech. Výsledkem procesu je tedy bioplyn, který je zatím nejčastěji využíván k výrobě elektřiny a tepla a „digestát“, který lze použít jako kvalitní hnojivo (obdoba kompostu).

Tyto stanice zpracovávají mimo vedlejších zemědělských produktů i průmyslové a komunální bioodpady. Mohou být zemědělské, kde bývá nejčastěji provozovatelem větší zemědělský podnik (především areály bývalého JZD), nebo stanice komunální a průmyslové, které jsou spojeny s čistírnami odpadních vod. Do kategorie bioplynových stanic se ještě řadí skládkový plyn, který je řízeně produkován a jímán ze skládek odpadů. [25]

V tomto řešení LDS uvažujeme bioplynovou stanicí se dvěma paralelně provozovanými reaktory a třemi kogeneračními jednotkami o výkonech 2x175 kW a jednou o 180 kW. Tento počet generátorů umožňuje veliký rozsah regulace (90 – 530 kW), což by s jedním generátorem nebylo možné. V návrhu vycházím z již existujícího řešení BPS Suchohrdly u Miroslavi. [25]



Obrázek 44: Kogenerace v BPS [25]

3.4 Smrart Parking

Ačkoli v současné době nejsou elektromobily příliš rozšířené, v budoucnu lze očekávat, že jejich počet poroste a to i v soukromé sféře. Díky zapojení elektromobilů do SG získá daná síť další možnost, jak vykrývat nenadálé nestability energetické sítě. Pokud bude docházet k masivnějšímu nasazování elektromobilů lze očekávat, že dojde ke snížení výrobních nákladů elektromobilů, zejména pak baterií a to díky vyšší poptávce. Nárůst elektromobilů lze očekávat i z důvodu stále se zpřísňujících limitů CO₂. Ačkoli vše napovídá tomu, že elektromobily se budou objevovat stále častěji, v současné době rozvoji nepomáhá hlavně omezená nabídka, nízký počet dobíjecích stanic, velká pořizovací cena oproti tradičním vozidlům a také malý dojezd vozidel používající jako svůj jediný zdroj baterii. Pod pojmem elektromobilita si lze představit i další dopravní prostředky jakými jsou např. elektrokola a elektro-motocykly. Všechny tyto dopravní prostředky lze využít uvnitř SG a to tak, že se elektromobil bude nabíjet ze sítě a pokud bude nutné rychle vyrovnat nějakou energetickou špičku či dojde k nějaké další rychlé poruše, kdy bude nutné dodat do sítě další elektřinu, síť využije elektřinu z baterií ve svůj prospěch.

Vlastních elektromobilů lze využít i v samotném areálu, jelikož kromě snížení CO₂ dojde také k ušetření nákladů za pohonné hmoty (ze statistik vyplývá, že provoz elektromobilů vyjde 3x – 4x levněji než provoz vozidel na standardní pohon) a zároveň je dojezd elektro-automobilů v rámci regionu dostačující (100 – 150 km). Odběratelům uvnitř LDS bude umožněno, v případě souhlasu s využitím elektřiny z jejich elektromobilů, dobíjení jejich vozidel za zvýhodněné tarify a to buď přes běžnou 230 V zásuvku nebo přes tzv. „Wall-box“ dobíjecí stanici.

V tomto návrhu uvažují:

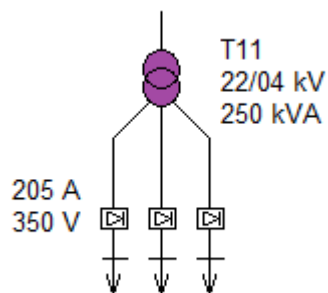
Typ vozu	Příkon	8 hod nabíjení	4 hod nabíjení	0,5 hod nabíjení
A – malý automobil	10 kW	5 A	10 A	82 A
B – nižší střední třída	30 kW	10 A	20 A	165 A
C – vyšší střední třída	80 kW	14 A	28,5 A	227 A

Tabulka 2: Rozdělení typů elektromobilů [44]



Obrázek 45: Nabíjecí stanice pro elektromobily[45]

V návrhu jsou uvažovány tři jednofázové odběry přes transformátor 22/0,4 kV a výkonu 250 kVA. Tyto fáze (s usměrňovači) povedou ke třem nabíjecím stanicím (jedna stanice - 205 A, 350 V). Jako příklad zástupce elektromobilů je brán model B, tedy vůz nižší střední třídy. Možná kombinace vozů je tedy například 3 elektromobily třídy B, přičemž 2 budou nabíjeny po střední dobu 4 hodin a jeden pomocí rychlonabíjení, odebíraný proud ze sítě je tedy 205 A ($2 \times 20 + 165 = 205$ A).



Obrázek 46: Připojení dobíjecích stanic k LDS

4 Závěr

Zavádění Smart Grids do distribučních i přenosových sítí je trendem současným, nikoliv jen pouhou představou do budoucna. Vzhledem k tomu, že dochází k velikému nárůstu obnovitelných zdrojů a to nejen ve velkovýrobě, ale i u samotných odběratelů, je vhodné zaměřit se na energetickou soustavu jako na dílčí subjekty. V současné době i přes zmíněný nárůst rozptýlených zdrojů, se stále zaměřujeme na několik velkých zdrojů energie pro své okolí. Pokud se bude na soustavu nahlížet jako na jednotlivé zdroje tak, aby je bylo možné provozovat v případných ostrovních režimech, lze se tím snadno vyhnout nebezpečí výpadků, které by mohli způsobit pád celé soustavy. Jelikož jsou soustavy spolu provázané, zmíněný kolaps se může rozšířit do velmi širokého okolí a způsobit tím problémy na velmi rozsáhlém území, tím se tedy dotknout tisíců obyvatel. Přestože je pochopitelně nutné různé druhy komunikace testovat v reálných podmínkách, trend implementace Smart Grids musí být zaváděn komplexně, nikoliv pouze jako nahodilé experimenty. Komplexní implementace inteligentních prvků pro řízení soustav je důležitá z toho důvodu, že v případě funkce jen na určitém území, bez provázanosti s nadřazenou soustavou, nebude mít tento koncept žádný smysl.

Současné rozvody, mnohdy vystavěné již v 50. letech, také nejsou přímo ideální pro připojování zmíněných rozptýlených zdrojů energie. Tyto rozvody nejsou totiž stavěné pro přepínání a rychlou rekonfiguraci a mohou špatně reagovat na přenos elektrické energie z těchto zdrojů. V tomto případě možnost efektivního řízení toků energie prakticky žádná není. Stále častější zavádění obnovitelných zdrojů, znamená také potřebu elektrickou energii ukládat. V případě, že v soustavě není nutné pokrytí špiček, přebytek vyrobené energie může způsobit vážné problémy v síti. Technologie ale v současné době ještě není tak daleko, abychom měli běžně k dispozici možnost efektivní akumulace.

Důvodem pro zavádění SG je tedy komplexní zmodernizování soustav pro přenos energie, aby v případě jakýchkoliv poruch, či nenadálých stavů, byla síť schopna pružně reagovat a s problémy nedostatku, nebo naopak přebytku energie si efektivně poradit.

Prvky Smart Grids v lokálních distribučních soustavách, jsou zaváděny z důvodu co nejlepšího a zároveň nejméně nákladného využití elektrické energie uvnitř této LDS. Připojení menších zdrojů jako jsou FVE, VTE, BPS nebo, pokud je podnik v blízkosti vodního toku, i malé vodní elektrárny, by mělo znamenat také šetrnost k okolnímu životnímu prostředí. Elektřina z těchto zdrojů se bude v případě jejího přebytku ukládat do

akumulátorů, ze kterých bude využita v případě nutnosti (např. pokrytí špičkových odběrů). V případě průmyslového závodu dojde k postupné optimalizaci výroby tak, aby docházelo ke špičkovým odběrům v době, kdy tento odběr nebude enormně zatěžovat síť.

Hlavním cílem je tedy co nejlepší regulace výroby i spotřeby v podniku. Tím bude docíleno kvalitnější a stabilnější dodávky elektřiny, jelikož síť bude schopna sama reagovat na hrozící přetížení přesunutím či odkloněním toku elektřiny na jinou větev. K možnosti regulace přispěje také využití inteligentního měření, které má v oblasti Smart Grids v ČR největší zastoupení. Zavedení inteligentních rozvaděčů a elektroměrů zabezpečí měření v reálném čase a okamžité odesílání informací centrále, která sama vyhodnotí stávající možnosti regulace výroby či spotřeby, nebo případné rekonfigurace sítě, kvůli odklonění toku elektřiny. Lze předpokládat, že okolní odběratelé budou také z velké části vlastníky solárních panelů. Ti získají reálný a aktuální obrázek vlastní spotřeby a navíc se budou moci sami podílet na výrobě elektřiny z vlastních zdrojů a jejich přebytky dodávat zpět do sítě.

Navržená LDS je uvažována, jako běžná podniková síť, připojená k rozvodně DS 110 kV, přičemž bude mít svou tepelnou elektrárnu o celkovém instalovaném výkonu 8 MW. V rámci přechodu ke Smart Grids se tedy v podniku dále využije fotovoltaické elektrárny, jejíž panely budou zabírat plochu 1,8 ha a umístěny budou na střeších administrativních budov, parkovišť, či dalších využitelných prostor. Dále bude v podniku větrná elektrárna o dvou větrných turbínách s výkony 0,6 MW a jedné bioplynové stanice o výkonu 530 kW. Tato stanice bude pravděpodobně využívat přílehlý bývalý zemědělský areál. Do podniku bude také instalována dobíjecí stanice pro elektromobily, která bude schopna najednou dobíjet 9 vozidel nižší střední třídy. V případě nutné potřeby elektrické energie bude tedy možnost využití i těchto stanic. Celá implementace SG by měla přinést výhody jak odběratelům elektřiny, tak i výrobcům.

Implementace Smart Grids, je bohužel značně nákladná a plošné zavádění těchto technologií tedy pravděpodobně nebude jednoduché.

Použitá literatura

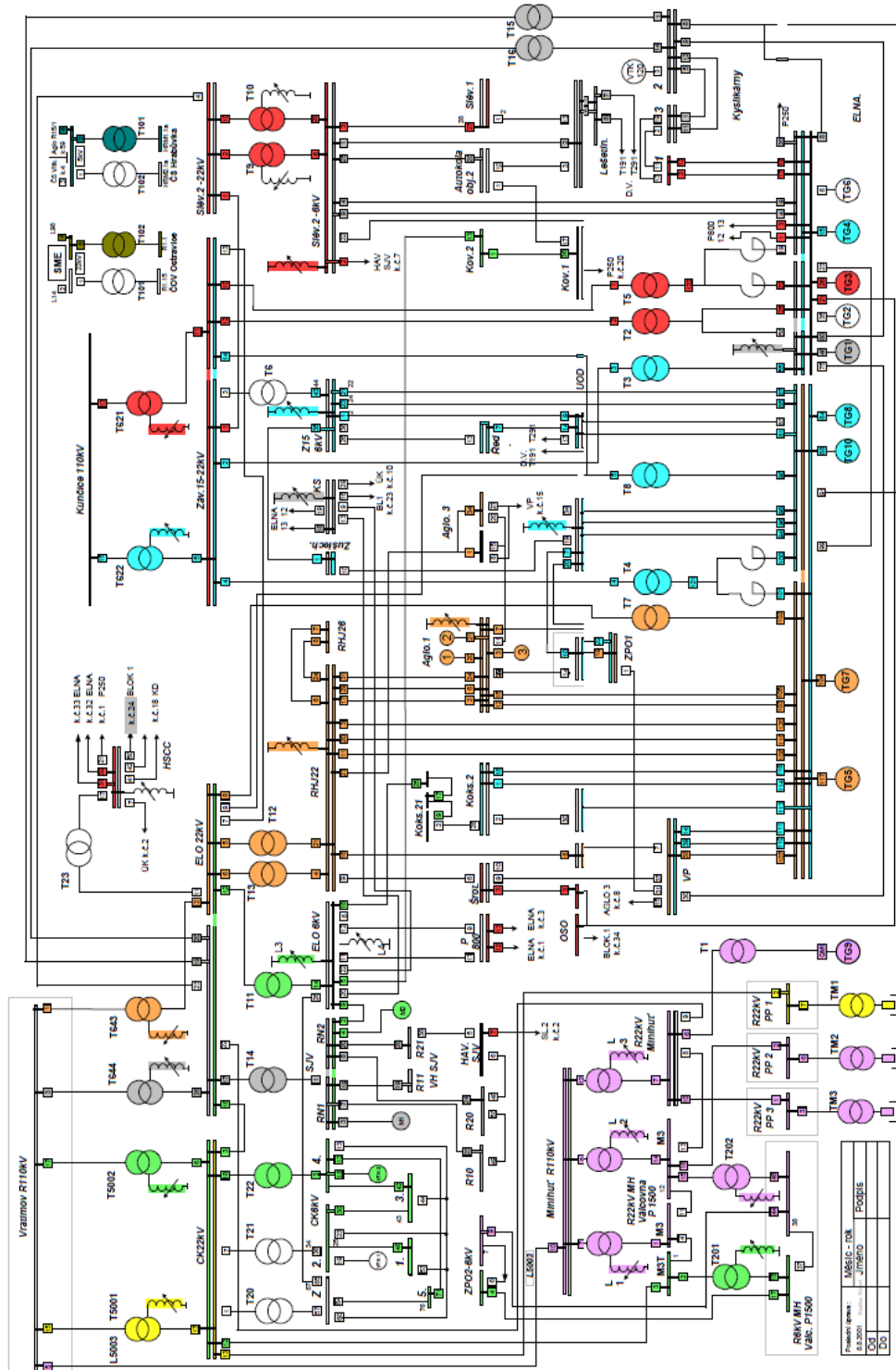
- [1] TESŘOVÁ, M. Elektroenergetika 2 – EE2: přednášky: PrednaskaEE2-1.pdf [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova>
- [2] NOHÁČ, K. Výukový materiál k předmětu Elektrárny 2. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015.
- [3] ČEZ LDS – Distribuce energií [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.cezlds.cz>
- [4] Amper Savings – Lokální distribuční soustava [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.ampersavings.cz/lokalni-distribucni-soustava>
- [5] Cefil energetika - Princip lokální distribuční soustavy [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.cefil.cz/princip-lds.html>
- [6] ERÚ - Pravidla provozování lokální distribuční soustavy [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z https://www.eru.cz/documents/10540/480204/PPDS_ET.pdf/0d0b67f1-a8cf-4aeb-a810-a263ecb9c33c
- [7] TESAŘOVÁ, M. Průmyslová elektroenergetika – PE: přednášky. [online]. [cit. 2016-12-19], Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova/PE/Prednasky.html>
- [8] ČSN 33 0120: 2001. Elektrotechnické předpisy – Normalizovaná napětí IEC
- [9] ČSN 34 1610:1963. Stupně zajištění dodávky elektrické energie
- [10] NOHÁČ, K. Elektroenergetika 1 – EE1: Materiály k přednáškám. [online]. [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/>
- [11] TESAŘOVÁ, M., ŠTROBLOVÁ, M. Průmyslová energetika. Západočeská univerzita v Plzni, 2000
- [12] MAJDA, F. Individuální kompenzace jalového výkonu. ELEKTRO, 4/2009
- [13] Proelektrotechniky.cz – Jak funguje Smart Grid? [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/22.php>
- [14] HABRYCH, M., JAROLÍMKOVÁ, G. Smart Grid – Lokální distribuční soustava, EGÚ. Poděbrady 2012
- [15] NEUMAN, P. Přednáška - Vývoj aplikací Smart Grids v přenosových a distribučních soustavách. Workshop inženýrské Akademie ČR. [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/prt/ene12/Neuman.pdf>
- [16] MLÝNEK, P. Komunikační technologie pro chytré sítě v energetice. Vysoké učení technické v Brně, 2016

- [17] NEUMAN, P. Chytré elektrizační sítě (1.část). ELEKTRO 4/2015
- [18] SCHNEIDER ELECTRICS CZ. Tři kroky k optimalizaci spotřeby energií. ELEKTRO 4/2015
- [19] PETRÁK, K., LISÝ, P. Smart Grids. Konference ČK CIRED 2009
- [20] ETM – Elektroměry a Smart Grids. [online]. [cit. 2017-03-26] Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/novinky/554-elektromery-a-smart-grids>
- [21] MODEMTEC S.R.O. Inteligentní elektroměr MT5Q1D. 2013
- [22] Inteligentní rozvaděč inteliBOX – L. [online]. [cit. 2017-03-26] Dostupné z: <http://www.inteligentnidum.com/userFiles/katalogovy-list-inteliobox-l.pdf>
- [23] VAISHALI, R. Smart Grids and WAMS. Women in Engineering/ Young Professional opening talk, 2016-01-26. [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://sites.ieee.org/northern-canada-pesias/files/2016/01/Smart_grid_January-26.pdf
- [24] Appendix B3: A Systems View of the Modern Grid. Advanced Components. [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://www.smartgrid.gov/files/appendix_b3_advanced_components.pdf
- [25] Biom.cz. Vyhodnocení ročního provozu BPS Suchohrdly u Miroslavi. [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyhodnoceni-rocnihoprovozu-mps-suchohrdly-u-miroslavi>
- [26] WAMS Systémy pro elektrizační soustavy. [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/wams_alstom.pdf
- [27] Data Concentrator CAM 3500. [online]. [cit. 2017-04-10] Dostupné z: <http://www.zpa.cz/files/files/CAM-3500-A-6-05-01-03-09-2010-web.pdf>
- [28] Data koncentrátor ECW-281B/B2 Series. [online]. [cit. 2017-04-15] Dostupné z: http://tekdis.com.au/media/djcatalog2/images/item/8/ecw-281b-b2-d525.1_f.jpg
- [29] VOLDÁN, František. Nové požadavky na řízení provozu elektrizační soustavy Smart Grids: Inteligentní měřící sítě. Cyklus 2008
- [30] VODRÁŽKA, J. Komunikační sítě pro energetiku. České vysoké učení technické v Praze. [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/159.pdf
- [31] KRUTINA, A., JIŘIČKOVÁ, J. Analýza standardů pro komunikaci po silovém vedení. Konference ČK CIRED 2011
- [32] DVORSKÝ, E. Materiály k předmětu Měření a regulace – MR. [online]. [cit. 2017-11-04]. Dostupné z <http://home.zcu.cz/~dvorsky/>

- [33] HABRYCH, R. Disertační práce - Systém regulace napětí a jalových výkonů v DS. Západočeská univerzita v Plzni, 2012
- [34] SVOBODA, Jaroslav. Systémy hromadného dálkového ovládání [online]. [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_elearning/2_KME/165a.pdf
- [35] PETRUŽELA, Ivan. Ostrovní provoz BlackOut: X15PES - 13. Ostrovní provoz [online]. 2006 LS [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: http://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/FEL_CVUT/lekce13_06.pdf
- [36] HABRYCH, R. Automatická sekundární regulace napětí. Energetika, 5/2015
- [37] KUŘIL, P. Praktické aplikace Automatické sekundární regulace napětí (ASRU). Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2016 – Citace vlastních poznámek Ing. Habrycha
- [38] Energy industry challenges, Smart Grid. [online]. [cit. 2017-4-24] Dostupné z: http://www.i15.p.lodz.pl/strony/EIC/ec/smart_grid.html
- [39] Oenergetice.cz, Fotovoltaické elektrárny. [online]. [cit. 2017-5-02] Dostupné z: http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka_elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/
- [40] Hybridní fotovoltaické systém s akumulací a záložním zdrojem. [online]. [cit. 2017-5-02] Dostupné z: http://www.solarenavi.cz/UserFiles/images/img_fv_hybrid.jpg
- [41] PLÉHA, D. Vanadové redoxní baterie. [online]. [cit. 2017-5-07]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/vanadove-redoxni-baterie>
- [42] Česká technologická platforma Smart Grids – Národní akční plán čisté mobility. [online]. [cit. 2017-5-07]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0ByPQ-XlSheYSa0hoSGc3UGZkcEE/view>
- [45] SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS. COM-POWER-VE-CA3-EN: EVlink Electric vehicle charging solutions [katalog]. [cit. 2017-5-14]. 6.11.2014. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.com/products/cz/cs/1800-evlink-reseni-nabijeni-proelektromobily/80408-evlink-wallbox/62395-evlink-wallbox/>

Přílohy

Příloha 1: LDS areálu průmyslového podniku ArcelorMittal Ostrava



Příloha 1: LDS areálu průmyslového podniku ArcelorMittal Ostrava