

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Budoucnost Smart Grid a  
hromadného dálkového ovládání**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2017/2018

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš VOGL**  
Osobní číslo: **E15B0101P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Budoucnost Smart Grid a hromadného dálkového ovládání**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište princip a vývoj využití HDO a Smart Grid.
2. Porovnejte výhody a nevýhody HDO a Smart Grid s ohledem na provoz elektrizační soustavy.
3. Analyzujte vhodnost jejich využití z hlediska přechodu části ES na ostrovní provoz.
4. Posuďte, jaké jsou jejich výhody a nevýhody z hlediska regulace spotřeby.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Raková, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na regulaci a řízení elektrizační soustavy s ohledem na dodržení výkonové bilanční rovnováhy. Hlavními regulačními metodami jsou statické frekvenční a napěťové charakteristiky, které slouží k udržování jmenovitých hodnot frekvence a napětí v přípustných dovolených mezích.

Tato práce se zabývá hromadným dálkovým ovládáním a Smart Grid v průběhu jejich vývoje a základními principy jejich využití, dále porovnává jejich výhody a nevýhody. Hromadné dálkové ovládání je prvotní možností regulace výkonu na straně zátěže. V budoucnu by tento systém mohl nahradit koncept Smart Grid, který má větší potenciál pro komplexnější a účinnější řešení regulace výkonu na straně zátěže a který by také měl být schopný zakomponovat do elektrizační soustavy větší množství decentralizované výroby.

Nakonec této práce analyzuji vhodnost jejich využití, z hlediska kdy část elektrizační soustavy bude v ostrovním provozu, za pomoci matematického modelovacího programu. S častějším nasazováním elektrických zařízení a s rostoucím počtem zařízení obsahující elektroniku hrozí stále větší riziko následných problémů pro civilizaci, při vzniku rozsáhlého výpadku dodávky elektrické energie. Jednou z možností ochrany před touto hrozbou je ostrovní provoz.

## **Klíčová slova**

Smart Grid, hromadné dálkové ovládání, Internet of Things, statické frekvenční a napěťové charakteristiky, decentralizovaná výroba, ostrovní provoz, mikrosítě, matematické modelování.

## **Abstract**

The submitted bachelor thesis is focused on the regulation and control of the electricity system with respect to the observance of the power equilibrium. The main control methods are the static frequency and voltage characteristics, which are used to maintain nominal values of frequency and voltage within the permissible limits.

This work deals with mass remote control and Smart Grid in the course of their development and basic principles of their use, and compares their advantages and disadvantages. Mass remote control is the primary power control option on the load side. In the future, this system could be replaced with the Smart Grid concept, which has greater potential for a more comprehensive and efficient solution to load side regulation, and which should also be able to integrate more decentralized production into the power grid.

Finally, I analyze the suitability of their use, from the point of view of part of the electricity system being in island operation, using the mathematical modeling program. With more frequent use of electrical equipment and with an increasing number of devices which have included electronic, there is an increasing risk of subsequent problems for civilization when a major power outage. One way to protect against this threat is island operation.

## **Key words**

Smart Grid, mass remote control, Internet of Things, static frequency and voltage characteristics, decentralized production, island operation, micromet, mathematical modeling.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2018

Tomáš Vogl

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Rakové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat celé mé rodině za podporu, díky které mohu studovat.

# Obsah

ÚVOD .....	9
SEZNAM ZKRATEK .....	10
SEZNAM SYMBOLŮ.....	11
<b>1 REGULACE A ŘÍZENÍ ES.....</b>	<b>12</b>
1.1 STATICKÉ CHARAKTERISTIKY.....	14
1.2 MOŽNOSTI REGULACE NA STRANĚ SPOTŘEBY.....	18
<b>2 VÝVOJ A PRINCIP VYUŽITÍ SMART GRID A HDO .....</b>	<b>20</b>
2.1 HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ .....	20
2.1.1 <i>Princip</i> .....	20
2.1.2 <i>Vývoj</i> .....	23
2.2 SMART GRID .....	24
2.2.1 <i>Princip</i> .....	24
2.2.2 <i>Vývoj</i> .....	25
<b>3 VÝHODY A NEVÝHODY SMART GRID A HDO.....</b>	<b>28</b>
3.1 HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ .....	28
3.1.1 <i>Výhody</i> .....	28
3.1.2 <i>Nevýhody</i> .....	28
3.2 SMART GRID .....	29
3.2.1 <i>Výhody</i> .....	29
3.2.2 <i>Nevýhody</i> .....	29
<b>4 VYUŽITÍ SMART GRID A HDO V ČR A ZAHRANIČÍ.....</b>	<b>30</b>
4.1 ČESKÁ REPUBLIKA .....	30
4.2 ZAHRANIČÍ.....	33
<b>5 APLIKACE SMART GRID A HDO V OSTROVNÍM PROVOZU V ES .....</b>	<b>37</b>
5.1 DEFINICE A VZNIK OSTROVNÍHO PROVOZU.....	37
5.2 MOŽNOSTI REGULACE V OSTROVNÍM PROVOZU .....	38
<b>6 MODEL OSTROVNÍHO PROVOZU.....</b>	<b>40</b>
6.1 POPIS MODELU .....	40
6.2 ÚČEL SESTAVENÍ MODELU.....	42
<b>7 ANALÝZA VÝSLEDKŮ SIMULACÍ OSTROVNÍHO PROVOZU.....</b>	<b>43</b>
7.1 SIMULACE I.....	43
7.2 SIMULACE II.....	48
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>1</b>



## Úvod

Práce je zaměřena na využití Smart Grid a hromadného dálkového ovládání. Hromadné dálkové ovládání je využíváno k dálkovému spínání jednotlivých, nebo hromadných skupin zátěží. Smart Grid je v podstatě nadstavbou zavedeného systému, která bude do určité míry inteligentně ovládat, měřit a komunikovat s výrobou a spotřebou celé elektrizační soustavy. Právě tyto aspekty řízení jsou důležité pro vývoj energetiky, který směřuje k čistějším a hlavně obnovitelným zdrojům energie. Tedy řízení jako takové, a to již v jakékoliv podobě, je neuronovou sítí páteřní elektrizační soustavy, díky kterému jsme schopni efektivněji ovládat energetickou síť v jakémkoliv měřítku.

Text je rozdělen do šesti hlavních částí: první se zabývá regulací a řízením v elektrizační soustavě, druhá uvádí vývoj a princip využití Smart Grid a hromadného dálkového ovládání. Třetí část popisuje výhody a nevýhody Smart Grid a hromadného dálkového ovládání, čtvrtá část poukazuje na využití Smart Grid a hromadného dálkového ovládání. Pátá aplikuje Smart Grid a hromadné dálkové ovládání v ostrovním provozu v elektrizační soustavě a šestá vytváří model ostrovního provozu.

Hlavními cíli této práce je komplexní porovnání Smart Grid a hromadného dálkového ovládání, jejich možnosti využití pro regulaci spotřeby a vhodnost jejich použití při provozu části elektrizační soustavy v ostrovním provozu. Dále je tu snaha o predikci budoucího směru energetiky v tomto odvětví a letmé obeznámení s inteligentními technologiemi a ostrovním provozem.

## Seznam zkratek

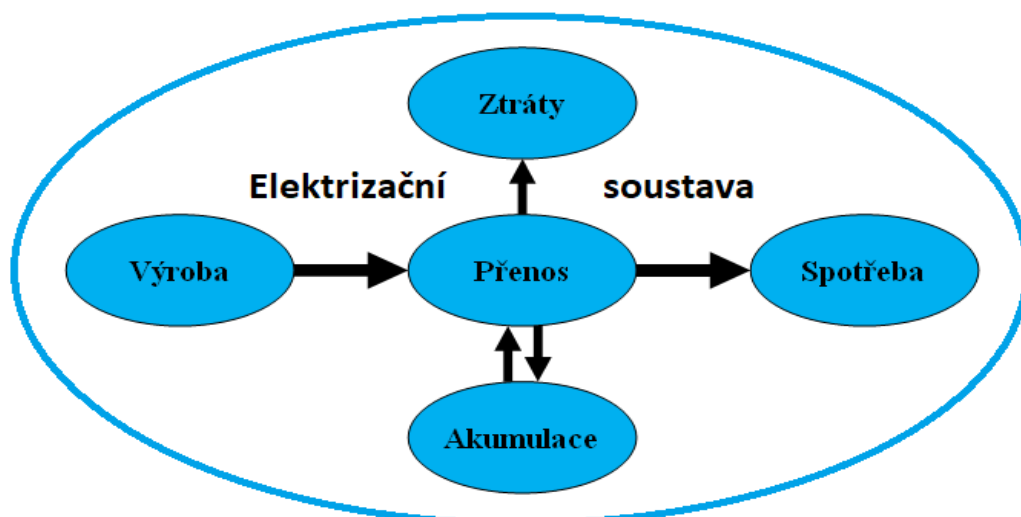
AMM .....	Advanced Meter Management
ČEPS, a.s. ....	Česká energetická přenosová soustava, a.s.
ČEZ, a.s. ....	České energetické závody, a.s.
ČR.....	Česká republika
DS .....	Distribuční síť
ES .....	Elektrizační soustava
ETP .....	Evropská technologická platforma
EU.....	Evropská unie
FVE.....	Fotovoltaická elektrárna
GRID4EU .....	Síť pro Evropskou unii
GSM .....	Global System for Mobile Communication
HDO .....	Hromadné dálkové ovládání
IOT .....	Internet of Things
LORAWAN.....	Long Rang Wide Area Network
LPWAN.....	Low Power Wide Area Network
NAP .....	Národní akční plán
NIST .....	National Institute of Standarts and Technology
NN .....	Nízké napětí
PLC.....	Programmable Logic Controller
RDO.....	Rádiové dálkové ovládání
SC .....	Smart City
SG.....	Smart Grid
SM .....	Smart Meters
SR .....	Slovenská republika
USA .....	The United States of America
VN .....	Vysoké napětí
VTE .....	Větrná elektrárna
VVN .....	Velmi vysoké napětí

## Seznam symbolů

$f_n$ .....	Jmenovitá frekvence
$P_{id}$ .....	Ostrovní výkon výroby
$P_n$ .....	Jmenovitý výkon
$P_o$ .....	Výkon výroby před přechodem do ostrovního provozu
$S_a$ .....	Zdánlivý výkon akumulace
$S_s$ .....	Zdánlivý výkon spotřeby
$S_v$ .....	Zdánlivý výkon výroby
$S_z$ .....	Zdánlivý výkon ztrát
$U_n$ .....	Jmenovité napětí
$\delta$ .....	Statika proporcionálního regulátoru otáček
$\Delta f$ .....	Odchylka frekvence

# 1 Regulace a řízení ES

Regulace systematicky a průběžně udržuje kvalitativní a kvantitativní parametry určité soustavy či celku v námi požadovaném rozsahu. Podle způsobu regulace můžeme tyto procesy dělit: na regulaci s otevřenou smyčkou řízení (bez zpětné vazby) a regulaci s uzavřenou smyčkou řízení. Při regulaci se zpětnou vazbou se obecně používá záporná zpětná vazba, abychom docílili utlumení soustavy po vychýlení z rovnovážného stavu, do stavu nového, též rovnovážného. Řízení může probíhat ručně či automaticky, což je v dnešní době více rozšířené. Celý tento celek poté směřuje k automatickému řízení, čili k automatizaci. V elektrizační soustavě (ES) řídíme výkonovou bilanci zdrojů a zátěží, která je znázorněna v diagramu na Obr. 1.



Obr. 1 Výkonová bilance v elektrizační soustavě [1]

Při výrobě a spotřebě elektrické energie musíme dbát na rovnováhu celé soustavy. Pokud nezajistíme tuto rovnováhu, dojde ke změně frekvence a napětí v ES, což se jeví jako nežádoucí efekt. Tento proces bude probíhat do té doby, než dojde k opětovnému ustálení výkonové rovnováhy. K ustálení dojde jak v regulované, tak i v neregulované soustavě s tím rozdílem, že vyrovnání u neregulovatelné soustavy může skončit mimo přípustné meze napětí a frekvence. Těmito hranicemi míníme dovolené frekvenční a napěťové pásmo, které je definováno s určitou odchylkou od jmenovitých hodnot. Velikost regulačních pásem je dána příslušnými normami. Pro udržení kvality a bezpečnosti dodávky elektrické energie musí být zachována výkonová bilance vyjádřená v rovnici (1). [1]

$$S_v = S_s + S_z + S_a \quad (1)$$

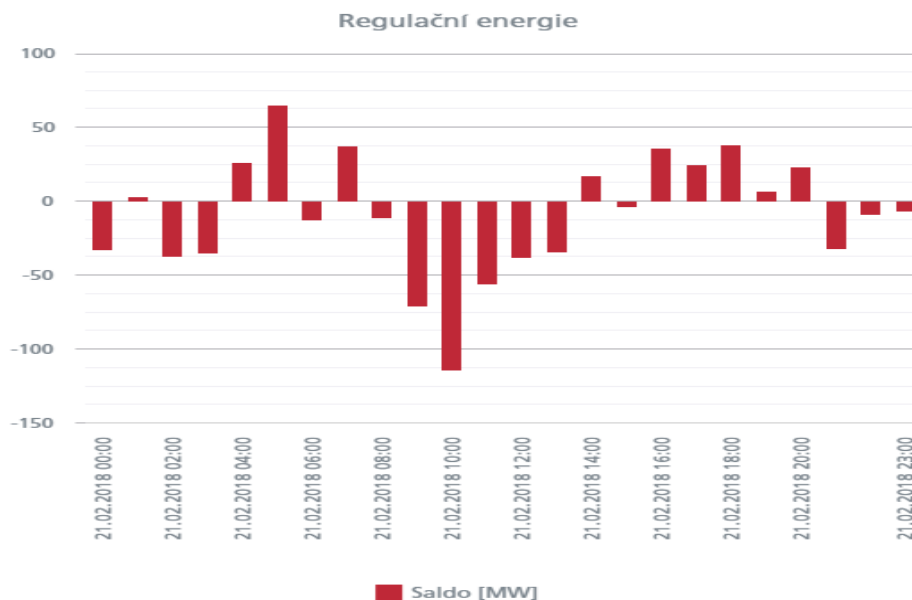
Jak je patrné, z bilanční rovnice je možné provádět regulaci na straně výroby, nebo spotřeby. Pro dostatečný regulační rozsah musíme zajistit potřebný výkon na straně výroby, abychom mohli zvyšovat i snižovat dodávané množství elektrické energie. V praxi je běžné přerozdělení výkonu zátěže mezi více zdrojů. Výroba elektrické energie podléhá prediktivním harmonogramům denního, týdenního, měsíčního a ročního zatížení. Na druhou stranu máme v síti také rychlé a nepředvídatelné změny zatížení, které mohou být způsobeny zkraty, rychlým nárůstem či poklesem výkonu z větrných elektráren (VTE) či fotovoltaických elektráren (FVE), výpadkem některých z elektrárenských bloků, nebo náhlou změnou výkonu zatížení. V přenosové soustavě České republiky (ČR) zodpovídá za udržení energetické bilance v síti společnost Česká energetická přenosová soustava, a.s. (ČEPS, a.s.), která využívá k udržení kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie nejrozličnějších služeb, jako jsou systémové, podpůrné a přenosové služby.

Systémové služby k udržování kvality elektřiny využívají tyto technicko-organizační prostředky: udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence, sekundární regulaci frekvence a činného výkonu, sekundární regulaci napětí, terciální regulaci napětí, zajištění kvality napěťové sinusovky a zajištění stability přenosu. Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase využívá těchto prostředků: sekundární regulaci výkonu, minutové zálohy a snížení výkonu. Hlavním prostředkem pro obnovení provozu je plán obnovy spolu s podpůrným systémem ostrovní provoz (OP) a start ze tmy. Dispečerské řízení zajišťuje bezpečnost provozu prostřednictvím plánu obrany a provozních instrukcí, řízením propustnosti sítě (toků činných výkonů) pomocí rekonfigurace zátěže, redispečinku zdrojů a protiobchodu.

Podpůrné služby zajišťují primární regulaci frekvence bloku, sekundární regulaci výkonu bloku, minutovou zálohu 5-minutovou a 15-minutovou kladnou či zápornou a snížení výkonu – to vše jsou kategorie služeb nakupovaných na volném trhu. Další kategorie jsou nakupované prostřednictvím přímé smlouvy s poskytovatelem – sekundární regulace napětí či jalového výkonu, OP a start ze tmy.

Přenosové služby představují vnitrostátní přenos, přeshraniční přenos a společný model sítě. [2]

Na Obr. 2 je prezentována regulační energie, která byla zapotřebí pro regulaci ES ČR během jednoho průměrného pracovního dne. Tato energie je zde vyobrazena v saldu, což je rozdíl mezi energií smluvně dojednanou a energií skutečně spotřebovanou.



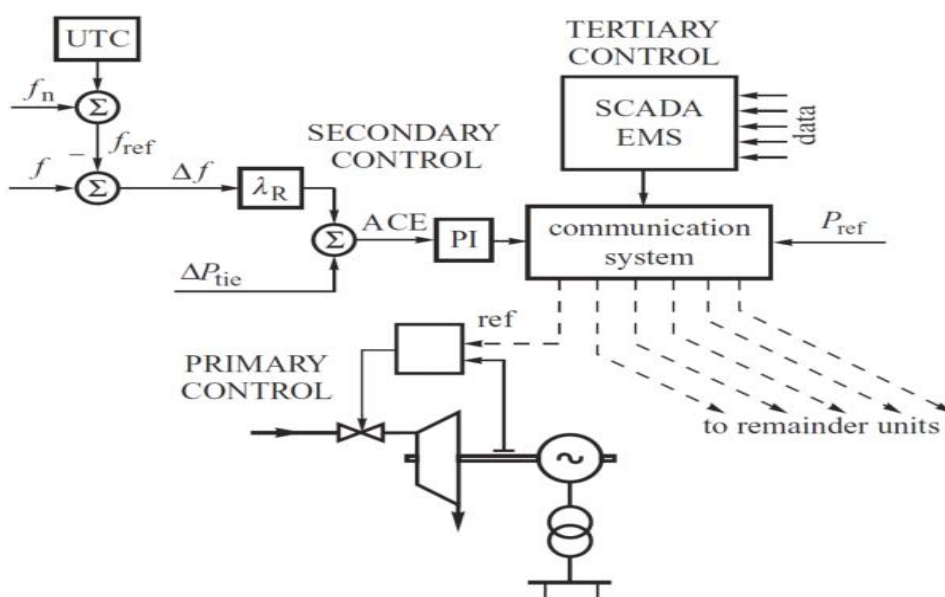
Obr. 2: Regulační energie [3]

Hodnoty napětí a frekvence se jak v propojených ES, tak i v OP regulují dle statických frekvenčních a napěťových charakteristik, které jsou dále představeny v následující kapitole.

## 1.1 Statické charakteristiky

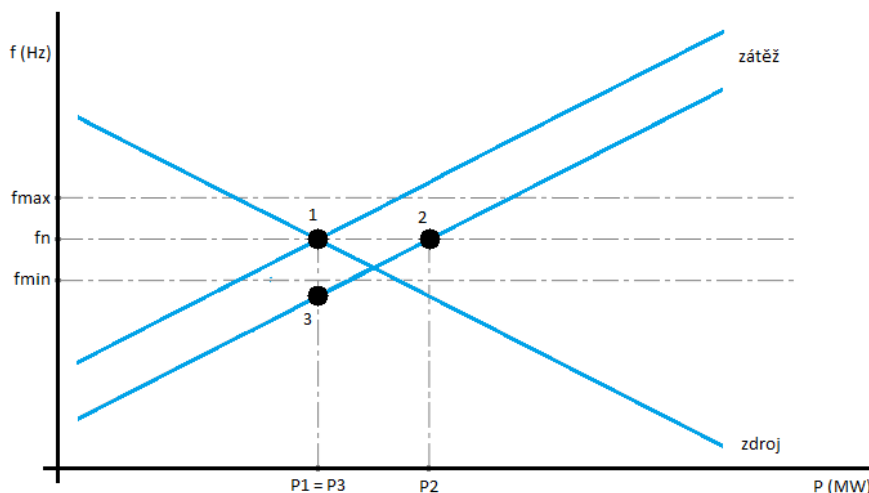
Dané napěťové a frekvenční charakteristiky se stanovují pro regulaci zdrojů, zátěží a ES. Jejich průběh a sklon definují, jak se změna výkonu v ES projeví na odchylce frekvence a napětí od jejich jmenovitých hodnot. Sklon těchto charakteristik se nazývá napěťová a frekvenční citlivost, která se většinou uvádí v poměrných hodnotách. [4] ES ČR je provozována na různých napěťových hladinách, proto má napětí charakter lokálního parametru podle dané hladiny. Frekvence v základní harmonické je v celé ES konstantní, a proto se značí jako parametr globální. Distributoři musí tyto parametry udržovat v určitých mezích. U frekvence je dovolená odchylka  $\pm 200$  mHz. U napětí je to pak  $\pm 10\%$  od  $U_n$ , mimo sítě 400 kV, které mají odchylku  $\pm 5\%$  od  $U_n$ . Charakteristiky nám pak ukazují změnu pracovního bodu při změně výkonu zátěže či zdroje.

Regulace frekvence je možná v několika stupních, přičemž se ve výsledku využívá všech současně. Stupně dělíme: bez regulace (uplatnění samoregulačního efektu zátěže), primární, sekundární a terciální regulace (minutové zálohy). Dříve se používalo označení terciální regulace, dnes se používá termín minutové zálohy. Klasické schéma zapojení jednotlivých regulací v ES je možné vidět na Obr. 3, kde je mimo sekundární regulace a regulace pomocí minutových záloh, také zobrazena primární regulace turbosoustrojí bloku elektrárny.



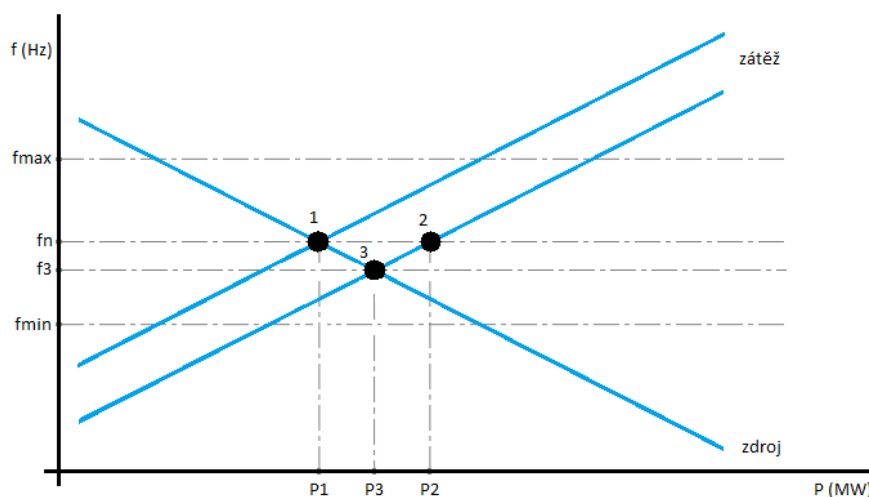
Obr. 3: Přehled regulací [8]

Samoregulační efekt nastává ve chvíli poklesu či nárůstu výkonu zátěže. Princip samoregulačního efektu zátěže při zvýšení množství odebírané elektrické energie lze vysvětlit pomocí Obr. 4 na následující straně, kde je jmenovitý ustálený bod charakterizován bodem 1. V tomto bodě se při zanedbání ztrát výroba elektrické energie rovná její spotřebě. Zvýšením výkonu zátěže dojde k posunu zatěžovací přímky z bodu 1 do bodu 2. Přirozeně s tímto zatížením by mělo dojít také k nárůstu výkonu zdroje, ke kterému ale nedochází, protože zdroj bez zásahu do regulačního obvodu má na výstupu stále konstantní výkon  $P_1$ . Proto se pracovní bod vrací na jmenovitou hodnotu výkonu zdroje a ustálí se v bodě 3, ale již s větší, než dovolenou odchylkou  $\pm 200$  mHz od jmenovité hodnoty  $f_n$ .



Obr. 4: Statická charakteristika bez regulace

Primární regulace spočívá ve vyrovnání výkonové bilance. Stručné vysvětlení principu primární regulace lze vysvětlit na předchozím řešeném příkladu, kdy došlo ke zvýšení výkonu zátěže, viz Obr. 4 a Obr. 5, kde je znázorněn posun pracovního bodu z bodu 1 do bodu 2. Na Obr. 5 je však znázorněná situace již ovlivněná primární regulací, která adekvátně k zátěži dorovnává výkon zdroje, pouze s tím rozdílem, že pokles frekvence zůstává v přípustných mezích. Nedochází tak k snížení výkonu až na původní jmenovitou hodnotu, ale pouze k poklesu do bodu 3, kde se výkon zátěže opět rovná výkonu zdroje.

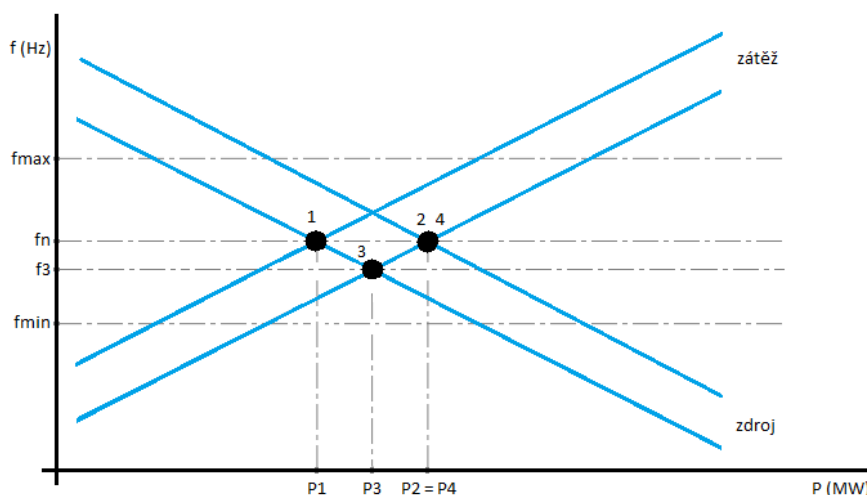


Obr. 5: Statická charakteristika s primární regulací

Pokud do výše řešené ES zahrneme i sekundární regulaci, tak díky této regulaci dojde k obnovení jmenovité hodnoty  $f_n$ . Z následujícího Obr. 6 je zřejmé, že opět dochází nárůstem výkonu zátěže k posunu pracovního bodu z bodu 1 do bodu 2. Díky samoregulačnímu jevu zatížení a primární regulaci začíná klesat frekvence do bodu 3,



ale díky změně jmenovité hodnoty zdroje, tedy navýšením celkového výstupního výkonu zdroje, se dostáváme do bodu 4 a frekvence je znovu jmenovitá. Tento regulační proces je zde znázorněn posunem statické frekvenční charakteristiky zdrojů a pracovního bodu z bodu 1 do bodu 4.



Obr. 6: Statická charakteristika se sekundární regulací

Terciální regulace dnes známá jako minutová záloha slouží k výkonovému odlehčení, tedy k obnovení původních jmenovitých hodnot výkonů primárních zdrojů. U terciální regulace se využívá podpůrných služeb, tedy k uvolnění regulačního rozsahu používáme například navýšení výkonů elektráren, které jsou momentálně provozovány na nižší výkon, než je jejich jmenovitý výkon či připojením odstavených bloků. Tyto prostředky nám navýší potřebný prostor pro celkovou regulaci systému.

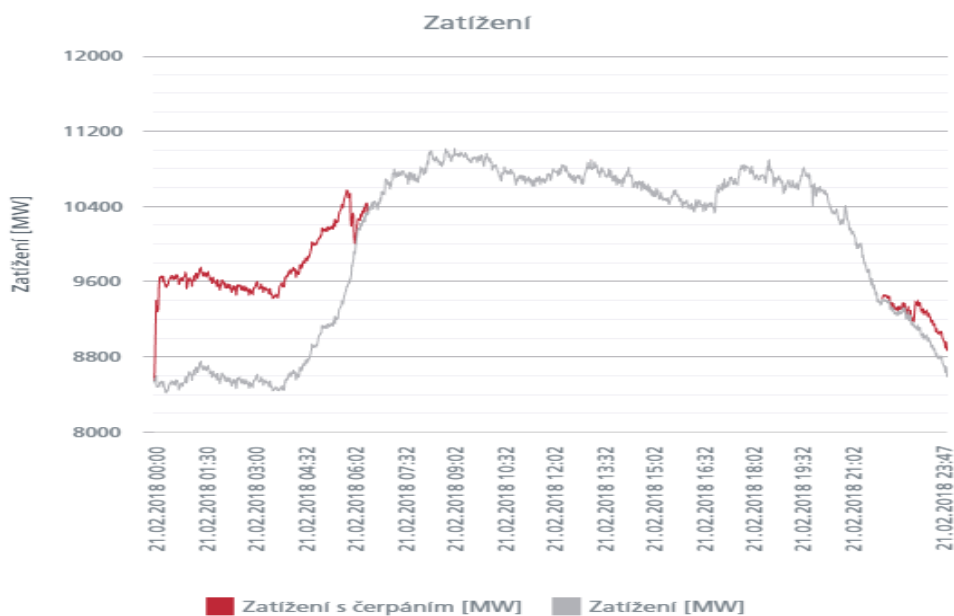
Obdobným způsobem se reguluje i napětí dle statických napěťových charakteristik, které udávají závislost napětí na jalovém výkonu. Mimo jiné je při regulaci napětí z pohledu distribuční soustavy důležitým parametrem udržení hodnot napětí na vybraných rozvodnách v tzv. pilotních uzlech, kde probíhá primární regulace. Tyto uzly slouží jako kontrolní body při zjišťování, zda je měřené napětí v přípustných mezích. Jak již bylo zmíněno, pro zachování jmenovitých hodnot napětí a frekvence nám slouží regulace činného a jalového výkonu, buď na straně výroby či na straně spotřeby. Dosud a nyní je regulace především uskutečňována regulačními zásahy na straně výroby, popřípadě na straně spotřeby pomocí regulačních tarifů, které řídí spotřebu elektrické energie pomocí spínání a vypínání spotřebičů dle systému hromadného dálkového ovládání (HDO). S rozvojem mikrosítí a decentralizované výroby vznikl i nový regulační prostředek

tzv. Smart Grid (SG). Hlavním cílem této práce je analyzovat a porovnat vlastnosti systému HDO a SG, proto je následující část práce zaměřena především na možnosti regulace výkonu na straně spotřeby.

## 1.2 Možnosti regulace na straně spotřeby

Regulace na straně spotřeby se provádí motivováním konečných zákazníků za předpokladu, že spotřeba není omezována, ale je pouze usměrňována. Obvykle se provádí technicko-ekonomickými prostředky, tedy pomocí HDO, které se využívá k řízení odběru elektrické energie na dálku. Využíváme tzv. tarifování elektřiny podle hledisek, která jsou výhodná pro ES. Distributor zvýhodňuje cenu v různých časových intervalech. [4] Spínací časy se liší podle distributora, lokality, aktuálního dne, hodiny a typu spínání. Společnost České energetické závody, a.s. (ČEZ, a.s.) má například časy spínání nízkého tarifu v oblasti Sever pro povel A1B6DP1 stanoven mezi 8:00 – 10:55, 11:55 – 14:10, 15:10 – 18:30, 19:30 – 7:00. [5] Společnost E.ON s.r.o. má například časy spínání nízkého tarifu v oblasti Brno pro povel A1B4DP1 stanoven mezi 8:30 – 9:30, 10:30 – 12:30, 13:30 – 14:30, 15:30 – 7:30. [6] Společnost PRE a.s. má například časy spínání nízkého tarifu v oblasti Prahy pro povel A4B1DP1 stanoven mezi 1:00 – 5:00, 5:40 – 9:00, 9:40 – 12:40, 13:20 – 17:00, 17:40 – 20:40, 21:20 – 00:20. [7]

Spotřebu na straně odběratele můžeme rozdělit na říditelnou a neříditelnou. V dnešní době je výroba a spotřeba elektrické energie v celku dobře plánovatelnou záležitostí. Přesto se v ES vyskytuje pár případů, které je těžší ovlivnit jako třeba dodávaný výkon z fotovoltaických a větrných zdrojů nebo přeshraniční toky. Přeshraniční toky se dají řešit Phase Shift transformátorem, příkladem může být instalace toho transformátoru ve 400 kV rozvodně Hradec u Kadaně, který reguluje největší přeshraniční tok ze severu Německa. S obnovitelnými zdroji je to již těžší, neboť ani dnes nedokážeme řídit počasí, a proto tu nastávají problémy s výkonovými výkyvy těchto zdrojů. Jedním z řešení může být zapojení VTE a FVE do jednoho celku pracujícího současně spolu s akumulacním zařízením jako jediný zdroj a tím zlepšit jejich stabilitu. Dále na Obr. 7 je zatížení ze stejného dne jako na Obr. 2. Lze zde pozorovat, jak díky přečerpávacím vodním elektrárnám a dalším akumulacním zdrojům dochází k rovnoměrnějšímu rozdělení výkonu během dne s následným využitím k pokrytí výkonových špiček. Tento diagram slouží k vizualizaci předpokládaného zatížení a k následnému porovnání se skutečným zatížením.



Obr. 7: Diagram zatížení [3]

Odběratele dělíme podle velikosti odebíraného výkonu a důležitosti dodávky elektrické energie. Podle hierarchie začínající od státu jako celku přes kraje, města a vesnice, ve kterých se vyskytují velkoodběratelé a maloodběratele. Podle důležitosti dodávky lze spotřebiče dělit do tří stupňů:

1. stupeň – jsou spotřebiče, u kterých výpadek může znamenat ohrožení zdraví, života nebo velké ekonomické ztráty. Spotřebiče musí být vybaveny záložním zdrojem energie, aby nedošlo k přerušení napájení. Příkladem těchto spotřebičů může být zařízení pro přenos a zpracování dat, zdravotnická zařízení či tavící pec.

2. stupeň – jsou spotřebiče, které nejsou závislé na nepřetržité dodávce elektrické energie. Výpadek se projeví omezením, zastavením výroby, avšak nedochází k větším ekonomickým ztrátám, ani k ohrožení zdraví, ani života. U těchto spotřebičů je nutné dodávku co nejrychleji obnovit, byť spotřebiče nevyžadují záložní zdroje energie. Příkladem těchto spotřebičů může být obráběcí stroj, mechanické dílny či různé průmyslové provozy.

3. stupeň – jsou spotřebiče, kam patří všechny ostatní spotřebiče, u kterých nemusíme zajišťovat dodávku zvláštními opatřeními. Příkladem těchto spotřebičů jsou domácnosti, školy, úřady, atd. [9]

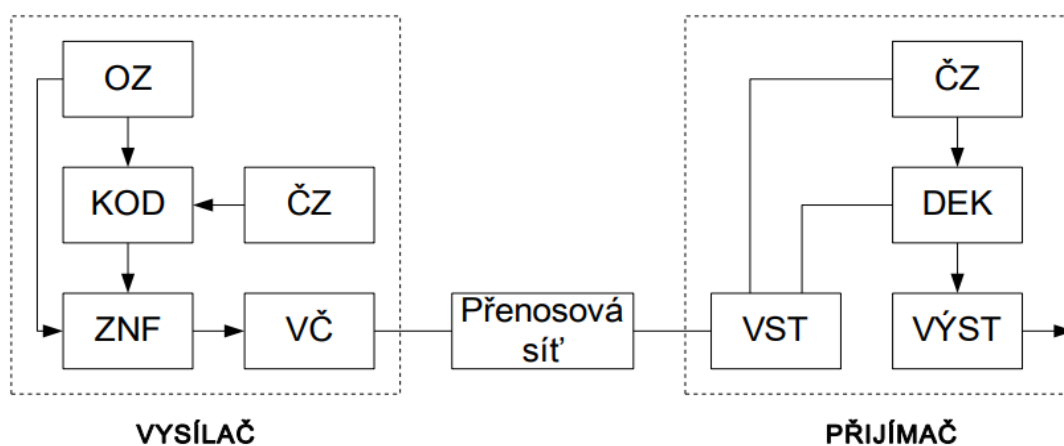
## 2 Vývoj a princip využití Smart Grid a HDO

### 2.1 Hromadné dálkové ovládání

Definice HDO podle společnosti ČEZ, a.s. zní: „*Hromadné dálkové ovládání je soubor technických prostředků (jako např. vysílače, přijímače, centrální automatika, přenosové cesty apod.) umožňujících vysílat povely nebo signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů, přepínání tarifů.*“ [10]

#### 2.1.1 Princip

Celý systém je založený na jednosměrném přenosu řídicího signálu, od vysílače přes silové vedení, či zemnicí lano, nebo popřípadě pomocí Global System for Mobile Communication (GSM) signálu bezdrátovou cestou až k přijímači, který signál dekóduje a podle toho vykoná příslušný úkon: zapnutí, vypnutí či přepnutí tarifního pásma. V dnešní době se vysílače nejčastěji instalují do různých rozveden velmi vysokého napětí (VVN) na stranu nižšího napětí, tedy na stranu vysokého napětí (VN) a jednotlivé přijímače jsou v místě spotřeby, nebo v důležitých uzlech rozvodné sítě VN jako např. úsečnickové odpojovače. Na Obr. 8 máme blokové uspořádání vysílače, přenosové cesty a přijímače systému HDO.



Obr. 8: Blokové uspořádání systému HDO [11]

Uspořádání systému ve vysílací části je (OZ) ovládací zařízení – umožňuje zahájení vysílacího pochodu, (KOD) kódovací obvod – tvoří povelový kód dle nastavených povelů, (ČZ) časová základna – časově řídí kódovací obvod a synchronismus vysílače a přijímače, (ZNF) zdroj nosné frekvence – vytváří impulsní tónový signál, (VČ) vazební člen –

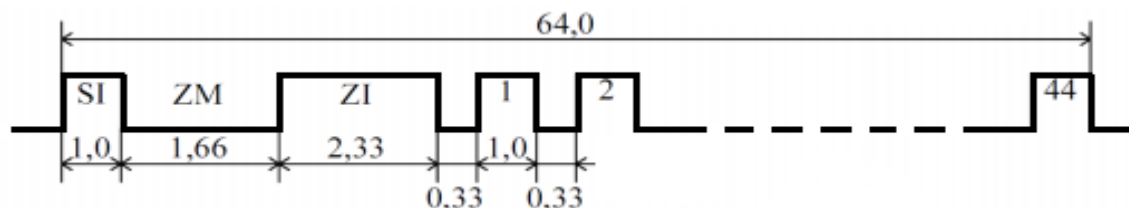
umožňuje přivedení tónového signálu na přenosovou síť. V přijímací části je (ČZ) časová základna – časově řídí dekódovací obvod a synchronismus vysílače a přijímače, (DEK) dekódovací obvod – vyhodnocuje ovládací povely, (VST) vstupní obvod – umožňuje kmitočtovou selekci, (VÝST) výstupní obvod – slouží k provedení ovládacího úkonu pro daný ovládací povel. [12]

Dále je důležitý princip samotného tónového kmitočtu a jeho povelového kódu, neboť musíme zajistit, aby přijímač provedl přesný úkon námi zadaný, a to s co největší správností provedení ovšem bez tak cenné zpětné informace o jeho potvrzení. Proto se jednotlivé vysílání povelových signálů od sebe liší, ale ve výsledku jsou si dosti podobné. Vysílání je založeno na jednoduchém opakování téhož signálu po určitou dobu, která je delší nežli doba pro vyslání jednoho povelu. Tento úkon se provádí kvůli rušení a ztrátám na vedení, které mohou signál zdeformovat. Touto cestou zaručíme jistotu provedení našeho povelu.

V evropské energetice se setkáme se základní frekvencí 50 Hz a jejími vyššími harmonickými. Zejména liché násobky základní harmonické můžou způsobit rušení jiných signálů, proto se snažíme vyhnout používání těchto frekvencí k účelu řízení. Těmito zdroji lichých harmonických jsou všechny elektrické stroje se železným obvodem, které odebírají ze sítě magnetizační proud, jehož průběh není sinusový. Příkladem vzniku liché harmonické může být rozběh motoru Y/D, při kterém se může projevit frekvence 850 Hz. [12] Hojně využívanými ovládacími kmitočty pro HDO u nás jsou frekvence 183,33 Hz, 283,33 Hz a nejvíce 216,66 Hz. V jiných zemích kmitočty dosahují až 2 kHz. Při návrhu kompenzace je důležité mimo jiné zajistit, aby kompenzační zařízení spolu s reaktancí vedení nepůsobily jako rezonanční obvod pro jakoukoliv frekvenci HDO a tím signál HDO neutlumily či zcela neodsávaly z ES. [13]

Signály HDO vznikají superponováním tónového (modulačního) kmitočtu na základní síťový kmitočet. Klíčováním tónového signálu vzniká tzv. telegram HDO, který v sobě nese konkrétní informaci. Na většině území ČR se používá dlouhá varianta telegramu ZPA I-I 64 s, v menší míře se pak používá zkrácená varianta ZPA I-I 32 s. Tyto varianty mohou být v provedení paralelním či sériovým. Na jižní Moravě a Slovenské republice (SR) se používá telegram VERSACOM. [14]

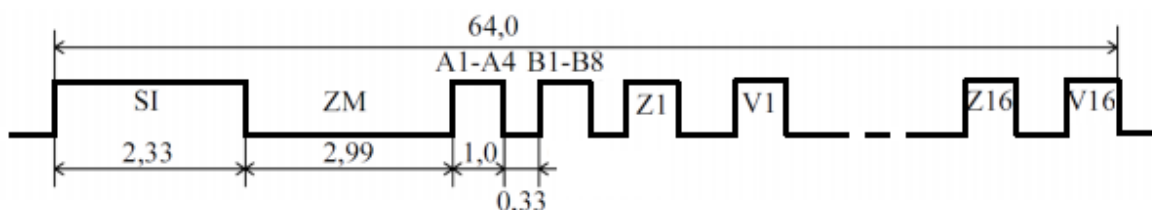
Paralelní povelový kód pomocí jednoho pulzu I-M zobrazený na Obr. 9 se vyznačuje přítomností impulsu v daném intervalu znamenajícím zapnuto a nepřítomností znamenající vypnuto. Kód nese informaci pro 44 skupin přijímačů a navíc oproti sériovému povelovému kódu obsahuje zabezpečovací impuls. [15]



Obr. 9: Paralelní povelový kód [15]

Časový průběh impulsů v povelu je (1,0 s) startovací impuls, (1,66 s) zabezpečovací mezera, (2,33 s) zabezpečovací impuls, (0,33 s) mezera, (1,0 s) povelový impuls/pauza.

Sériový povelový kód pomocí dvou pulzů I-I zobrazený na Obr. 10 se vyznačuje adresní a výkonovou částí, kde adresní část je tvořena impulzem A, který je dlouhý 4 intervaly a impulzem B, který má 8 intervalů. Každý interval představuje jednu adresu, tedy je možné přenášet i několik adres najednou. Výkonová část se dělí na 16 dvojic impulsů. Přítomnost prvních z dvojic v daném intervalu znamená zapnout a přítomnost druhých z dvojic vypnout. Na rozdíl od paralelního povelového kódu je vždy přítomen impuls pro každý povel. Kombinací adresní a výkonové části je možné ovládat až 512 skupin přijímačů. [15]



Obr. 10: Sériový povelový kód [15]

Časový průběh impulsů v povelu je (2,33 s) startovací impuls, (2,99 s) zabezpečovací mezera, (1,0 s) adresní impuls/pauza A s mezerou 0,33 s, (1,0 s) adresní impuls/pauza B s mezerou 0,33 s, (1,0 s) povelový impuls/pauza zapnout, (0,33 s) mezera, (1,0 s) povelový impuls/pauza vypnout.

VERSACOM se vyznačuje řídicí automatikou, která vysílá do sítě parametrovací signál pomocí daného protokolu, kterým lze synchronizovat čas přijímače, editovat spínací časy či zablokovat nebo odblokovat spínací program. [11]

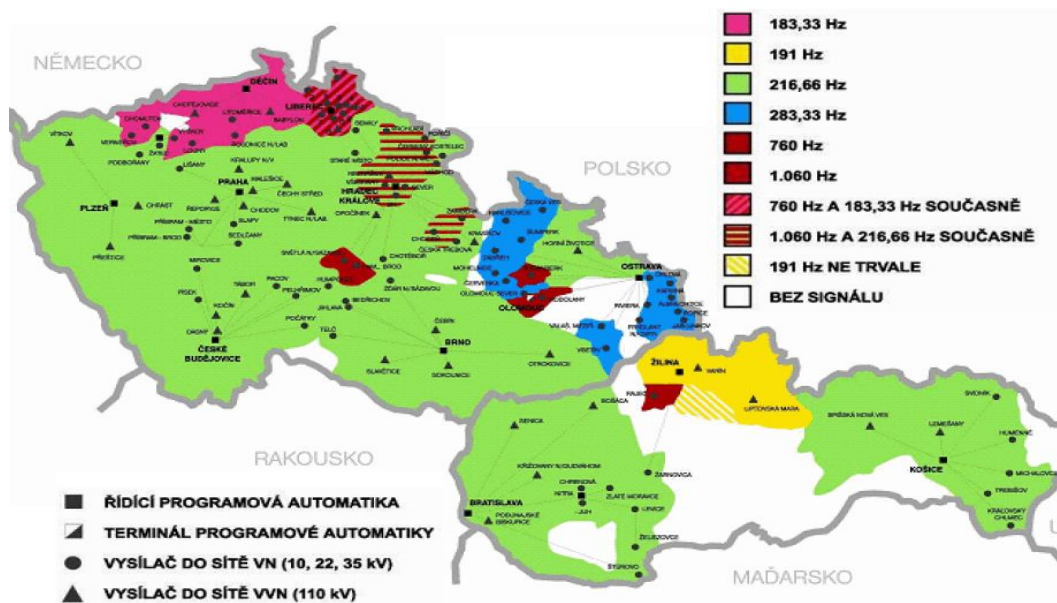
### 2.1.2 Vývoj

Poprvé se zavedení dálkového ovládání, pomocí změny kmitočtu objevilo již v Anglii na konci 19. století, tehdy ještě ve stejnosměrných soustavách. V dnešních střídavých sítích se začaly objevovat ve 30. letech nejprve ve Francii a Německu. Větší pozornosti se celý koncept dočkal až po konci druhé světové války. [13]

V poválečném období se systémy HDO začaly nasazovat v ČR a díky historickým událostem i v SR ve větším měřítku, které přerostlo v dlouhou tradici. Počátky sahají až do přelomu 50. a 60. let minulého století do města Cheb, kdy se začaly uvádět do provozu první vysílače HDO s relativně malými výkony do 50 kVA. V té době se jednalo o rotační generátory kmitočtu a ty se přes vazební členy emitovaly do distribuční sítě (DS) 6, 10 a později i 22, 35 kV. Jedním z prvních průkopníků v tomto směru byla Východočeská energetika, která disponovala systémem s ovládacím kmitočtem 1 050 Hz. V polovině 70. let, kdy se začalo více využívat výkonové polovodičové techniky, se vyvinuly první statické měniče frekvence a byly používány jako silové zdroje kmitočtu HDO pro vysílače do napěťové hladiny VN a později i do VVN. [14]

Začátkem 80. let se začal zavádět nový systém s ovládacím kmitočtem 216 Hz a 2/3 Hz pro napěťovou hladinu VVN. Toto řešení klade nárok na technické řešení ovládání vysílačů, tím je myšlena spolupráce zařízení HDO v jedné části ES a zabránění úniku signálu přes nadřazenou soustavu. Ovládání vysílačů začalo být samostatně pracující, tedy každý vysílač byl vybavený programovatelnou elektronikou. Některé okružní skupiny se řídily z ústřední automatiky řízené rajónním či krajským dispečinkem. [11]

Na další straně, na Obr. 11 můžeme vidět současné pokrytí signálem HDO a všechny dnes využívané frekvence, z čehož je jasně vidět, že tento systém je ve velké míře rozprostřen jak u nás, tak i v menší míře u našich sousedů.



Obr. 11: Pokrytí ČR a SR signálem HDO [16]

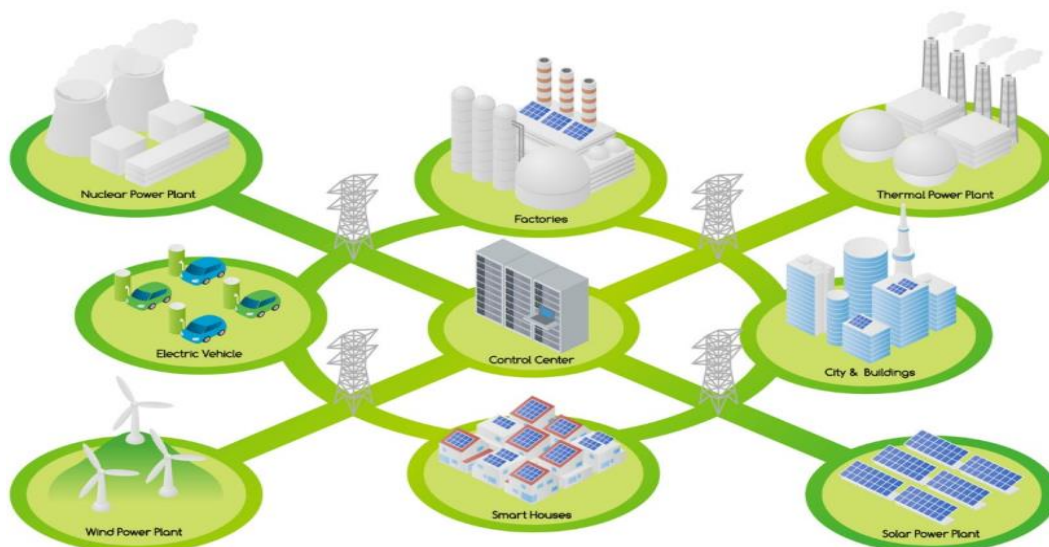
## 2.2 Smart Grid

Definice SG podle organizace National Institute of Standards and Technology (NIST) zní: „*Smart Grid je elektronický systém, který využívá informační, obousměrně, zabezpečené komunikační technologie a výpočetní systém integrovaný v celém spektru energetického systému, od výroby až po koncové body spotřeby.*“ [17]

### 2.2.1 Princip

Koncept inteligentních sítí je soubor elektrické a komunikační sítě, která je prolnta skrze celou ES a je schopná obousměrné komunikace mezi výrobou, distribucí a spotřebou elektrické energie v reálném čase. Tento systém by měl být schopný detekovat různé závady či poruchy, implementovat decentralizované zdroje, zlepšit využití akumulace a celkově zefektivnit výrobu a spotřebu elektrické energie jak v místním, tak i v globálním měřítku. Do jisté míry můžeme mluvit o síti, která díky inteligentním snímačům a řídicímu centru dokáže řešit problémy bez větších odstávek elektrické energie. Ovšem to neznamená, že se obejdeme bez velkokapacitních konvenčních elektráren, neboť pouze ty nám zajistí stabilní výrobní výkon. Část konceptu této revoluční sítě můžete vidět na následujícím Obr. 12.





Obr. 12: Grafické uspořádání konceptu SG [18]

SG má tři základní znaky, kterými je definován: plná automatizace, plná integrace zákazníků a adaptace na různé způsoby výroby elektřiny.

Plná automatizace se vyznačuje spoluprací digitálního kontrolního a řídicího systému, včetně všech možných senzorů, které monitorují chování sítě a dokážou automaticky obnovit provoz po případné poruše. Díky tomu máme k dispozici informace o zatížení sítě, kvalitě dodávky, eventuálně přerušení dodávky elektrické energie v reálném čase.

Plnou integrací zákazníků se rozumí vybavení zákazníků digitálními měřidly s obousměrnou výměnou informací v reálném čase, což poskytuje možnost tvorby flexibilních cenových tarifů v průběhu celého dne podle aktuální situace v síti.

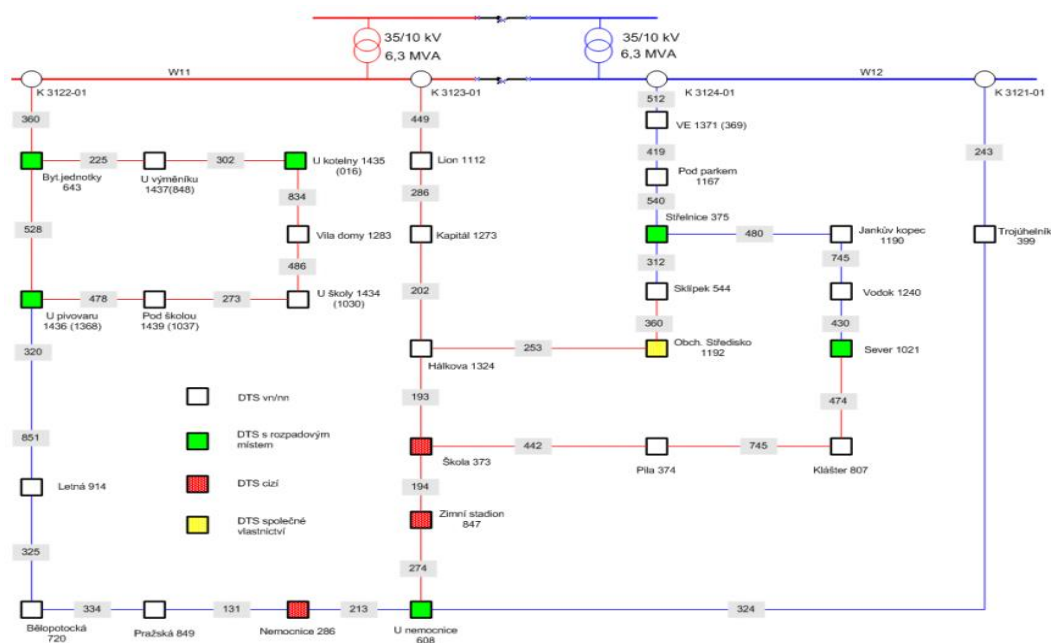
Adaptace na různé způsoby výroby elektřiny spočívá v zapojení FVE a VTE, plynových mikroturbín a dalších decentralizovaných výrobních zdrojů do ES, což se nabízí jako příležitost pro soukromý sektor. [19]

### 2.2.2 Vývoj

V roce 2005 vznikla organizace Evropská technologická platforma (ETP) pro SG, která má za úkol formulovat a propagovat vize o rozvoji evropských ES do roku 2020 a dále. Prvními průkopníky na poli SG je Itálie a Španělsko. V Itálii v roce 2006 zahájili povinnou instalaci Smart Meters (SM), která by v roce 2011 měla tvořit 95 % všech

instalovaných měřičů. Ve Španělsku v roce 2010 spustili pilotní projekt v regionu Valencie, kde na 100 tisíc domácností bylo vybaveno SM a tento projekt pokračuje s řízením nízkého napětí (NN) a VN v DS pomocí víceúrovňového řešení implementace SM. [20]

Co se týče ČR, tak ta už má za sebou také jeden pilotní projekt a to ve Vrchlabí v letech 2010 – 2015, který byl pod vedením ČEZ Distribuce, a.s. V roce 2011 se stal Smart region ve Vrchlabí součástí projektu síť pro Evropskou unii (GRID4EU) spolufinancovaného Evropskou unií (EU). Projekt byl vedený pod názvem DEMO5 a jako celek je jedním z nejvýznamnějších a jeho cílem bylo ověřit přínos využívání nových technologií v DS. GRID4EU byl realizován v šesti členských státech EU a veden stejným počtem evropských provozovatelů DS, kteří se dohromady starají o více jak 50 % odběrných míst v EU. Celkově bylo v projektu zapojeno 27 partnerů z EU a The United States of America (USA). Cílem projektu byla automatizace sítě NN a VN, a také OP s využitím kogeneračních jednotek. Celý projekt byl v roce 2016 ukončen a po následující 4 roky bude probíhat propagace výsledků. [21] Dále je zobrazena na Obr. 13 topologie sítě ve Vrchlabí, kde jsou vyznačeny druhy distribučních soustav zde se nacházejících.



Obr. 13: Topologie VN sítě ve Smart regionu Vrchlabí [22]

Podle Národně akčního plánu (NAP) pro SG od Ministerstva průmyslu a obchodu je současný stav a předpokládaný vývoj SG v energetickém sektoru následující. V roce 2015

je pro ČR zpracována studie o nastavení frekvenčních ochran FVE, dále jsou vytvořeny technické a legislativní podmínky pro provoz malých zdrojů do 10 kW bez nutnosti vlastnit licenci na výrobu elektrické energie a od téhož roku začal rozvoj vysokorychlostního internetu. V následujícím roce 2016 byly zavedeny základní podmínky chránění a bezpečnosti pro OP napájeného pomocí zdrojů s měniči. S dalším rokem 2017 byla definována pravidla pro řízení decentralizovaných zdrojů k prospěchu řízení bilance ES ČR. Do konce roku 2019 jsou dokončeny potřebné analýzy, bude aktualizován plán realizace SG v ČR, jsou dokončeny a vyhodnoceny pilotní projekty, dále jsou předpokládány vícenásobky nad rámec běžného rozvoje při přípravování a realizaci SG v závislosti na objemu připojované decentralizované výroby. Vznikne nový trh pro zajištění stabilizujících výrobních kapacit v ES. V letech 2020 – 2024 dojde k řízenému nasazování Advanced Meter Management (AMM), kterými by se mělo osadit cca 30 % odběrných míst v sítích NN a všechna odběrná místa v síti VN. Do konce roku 2024 se dokončí nasazování dálkově ovládaných úsečníků v sítích VN, bude nasazen celoplošný systém řízení napětí potažmo jalového výkonu v sítích VN a VVN, také bude zahájena první etapa automatizace sítě NN. Koncem tohoto období očekáváme rozvoj akumulčních zařízení a s tím podstatnější rozšiřování elektromobility. Klíčovým řešením bude již schválený rámec politiky v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030, který se zabývá minimálním 40 % snížením emisí skleníkových plynů oproti roku 1990. Dále 47 % podíl obnovitelných zdrojů energie na celkové výrobě elektrické energie. Nejpozději do roku 2035 se SG stane plně funkčním systémem, tedy decentralizovaná výroba se spotřebou elektrické energie bude zapojena do řízení rovnováhy ES a bude implementován dynamický tarifní systém. Poté taky dojde k postupnému přechodu funkcí spojených se spínáním tarifů a spotřebičů ze systému HDO na řízení prostřednictvím nových technologií. Avšak signál HDO bude dále provozován paralelně s novými technologiemi. Bude dokončena automatizace sítě NN. NAP predikuje scénáře až do roku 2040 a to v celku pesimistickým způsobem, který je způsoben postupným vyčerpáním zásob fosilních paliv. [22]

## 3 Výhody a nevýhody Smart Grid a HDO

### 3.1 Hromadné dálkové ovládání

HDO je zde již několik let, a ačkoli v době vzniku bylo výdobytkem doby a průkopnickým nástrojem, který dělal a stále dělá svoji práci dobře, je zde pár nevýhod, které v dnešní době lehce převyšují výhody. Tedy zmíníme jeho kladné vlastnosti a naopak také jeho rostoucí nedostatky.

#### 3.1.1 Výhody

Výhodami tohoto systému je snížení nákladů na energii, ze strany odběratelů v době sepnutí nízkého tarifu. Snížení zatížení sítě v exponovaných denních dobách, kterých docílíme spínáním spotřebičů v době, kdy je ES výkonově odlehčena. HDO umožňuje centrální řízení spotřebované elektrické energie. Dále je možné, námi dobře známe, dálkové spínání zařízení, jako je například venkovní osvětlovací soustava. [13] Z ekonomického hlediska má tento způsob ovládání také nespornou výhodu, neboť dnešní investice do zavedeného systému jsou v podstatě nulové. Určitou výhodou je i jeho vlastní jednoduchost, díky které není zapotřebí složitých technologických prostředků, tedy využíváme víceúčelových prostředků pro jeho fungování (zemní lano, silové vodiče).

#### 3.1.2 Nevýhody

Nevýhodami tohoto systému je rušení ovládacích signálů v síti, které přenášíme stejnou cestou jako samotný výkon, což může mít za následek nesprávné provedení pokynu. Spotřebitel může být limitován určenými časy spínání, které mu nemusí vyhovovat. [13] Tímto se dostáváme k námi zmiňované jednoduchosti celého systému a jeho největšího problému, kterým je bezpečnost. Samotné HDO vzniklo v době, kdy se nepředpokládalo narušení bezpečnosti z třetí strany. V zásadě vysíláme nezabezpečený signál do otevřeného a nezajištěného prostředí. Samotný přijímač nemá možnost kontroly pravosti signálu, odkud a kým byl vyslán, což dává možnost všemožným druhům útoků, které by mohly způsobit přetížení části DS. Také rezonance s reaktancí vedení a vyšší harmonické, které byly zmíněny již v předešlé podkapitole 2.1.1 Princip, mohou způsobit zdeformování či až utlumení, nebo odsání signálu z ES. Dalším problémem je omezenost použitelných kódů (cca 200), tedy není možná různorodost spínání různých zařízení v různou dobu. [23] Investice do modernizace by byly tak nákladné, že přichází v úvahu

zavedení zcela nového systému, který by z těchto nevýhod vycházel a k tomu posunul dálkové ovládání na vyšší úroveň.

## 3.2 Smart Grid

SG by měla vycházet z již využívaného systému HDO, tedy měla by umět to samé co doposud používaný systém. Navíc by hlavně měla napravit nedostatky původního systému a být konkurence schopná. Tento koncept a jeho hlavní myšlenka by měla změnit celkový pohled na výrobu a spotřebu elektrické energie.

### 3.2.1 Výhody

Výhodou tohoto konceptu, včetně již zmiňovaných výhod u HDO, je vyšší snížení nákladů za elektrickou energii, díky monitorování celkového stavu domácností. Tedy budeme mít informace o průběžné spotřebě elektrické energie, využití jednotlivých spotřebičů a tím budeme moci stimulovat zákazníky k úspornějšímu chování. SG optimalizuje rozložení spotřeby v čase a tím snižuje cenu elektřiny a náklady na výrobu elektrické energie. Další nespornou výhodou je zapojení decentralizované výroby a propojení s dalšími systémy využívající akumulaci energie (topení, elektromobilita). Z čehož vyplývá nižší závislost na globálních dodavatelích a vyšší flexibilita ve výrobě a spotřebě elektrické energie. V neposlední řadě by SG měla vyřešit i zabezpečení celkové komunikace a ovládání sítě, tedy kybernetickou bezpečnost. [24] Protože tato síť by měla díky všem těmto informacím o výrobě a spotřebě elektrické energie sama vyhodnocovat a obousměrně komunikovat mezi výrobou, spotřebou a centrálním komunikačním dispečinkem.

### 3.2.2 Nevýhody

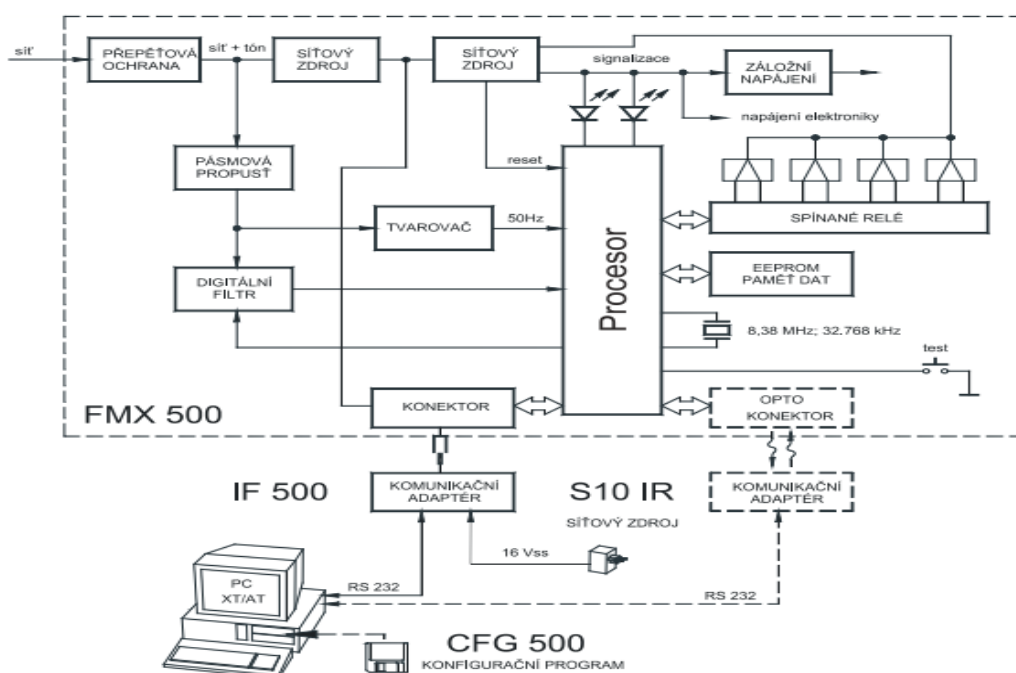
Nevýhodami tohoto konceptu je určitě větší investice, která se ovšem vyplatí, pokud se docílí všech možností, které koncept nabízí. Poté je určitě nevýhodou shromažďování dat, bez kterých by byl celý koncept bezvýznamný. SG musí zajistit bezpečí všech osobních údajů zákazníků, ale také musí být zabezpečena na možnou hrozbu odposlechů či ovládání nepověřenými osobami. [24] Dalším problémem může být výhodné komplexní propojení všech spotřebičů a všech zdrojů, neboť při prolomení zabezpečení a následném narušení infrastruktury by mohlo dojít k celkové ztrátě kontroly nad celým systémem.

## 4 Využití Smart Grid a HDO v ČR a zahraničí

Zde zmíníme aktuální stav SG a HDO na trhu, jejich nejčastější místa nasazování, důvody jejich použití, ale hlavně zmíníme společnosti, které se nejvíce v tomto odvětví angažují. Ohledně SG si povíme něco málo o výsledcích z pilotních projektů a samotné využití SG vysvětlíme na příkladu Smart City (SC), které je v dnešní době více rozšířené. HDO, potažmo SG, nejsou diametrálně odlišnými systémy, potažmo koncepty, ale jedná se pouze o inovativní vývoj, a proto je možné prolínání úzce souvisejících pojmů.

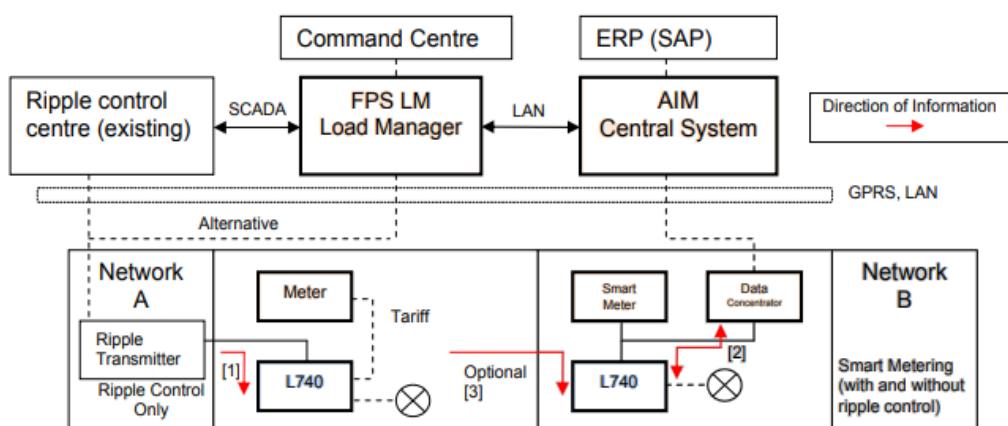
### 4.1 Česká republika

Zde začneme se zaběhlým systémem HDO, který je v ČR hojně využíván. Nejčastějšími místy nasazení jsou místa, kde má systém za úkol spínání tarifů, přímé ovládání elektrických spotřebičů, celkové zrovnoměření zatížení, řešení mimořádných havarijních stavů, dokonce byl jistou dobu součástí vysílání pro potřeby civilní obrany. [25] Nejznámějšími společnostmi, které vyrábějí přístroje pro HDO, jsou ZPA Smart Energy a Landis+Gyr. Příkladem takového základního přístroje může být přijímač HDO řady FMX500 od společnosti ZPA Smart Energy na následujícím Obr. 14, který obsahuje 1 až 4 relé, zálohování reálného času, programově volitelný programový kód a dokáže spínat proudy do 25 A. [26]



Obr. 14: Blokové uspořádání přijímače HDO [26]

Společnost Landis+Gyr se kromě HDO orientuje i na pozvolný přechod na koncept SG. Tedy nabízí mimo konvenčního provedení HDO a jeho upravené verze, která umí systém obohatit o další funkce, také inteligentní čidla a měřidla, která podporují dynamické řízení odběru elektrické energie a chytré měření v jedné ucelené soustavě. Příkladem takového přístroje může být hybridní přijímač HDO s Programmable Logic Controller (PLC) zařízením řady L740 od společnosti Landis+Gyr, který obsahuje maximálně 5 relé, automatické řízení v případě selhání komunikace, časová pásma a smyčky, záložní hodiny, dynamické řízení zátěže, funkce učení, přímé příkazy (veřejné osvětlení řízené událostmi či textovými zprávami), stahování softwaru, vzdálenou parametrizaci zařízení, zpětnou vazbu stavu (přerušování dodávky elektrické energie nebo chyba polohy relé) a dokáže spínat proudy 16 A nebo 40 A. [27] Přijímač jako takový si můžeme představit obdobně jako u předešlého přijímače HDO FMX500, zde je však pouze nadstavba klasického přijímače HDO tzv. 3. generace řízení zátěží, která je zobrazena na dalším Obr. 15. Toto blokové uspořádání obsahuje dvě komunikační cesty (Network A a B). Network A slouží k tarifnímu dynamickému spínání zátěže pomocí regulátoru FPS LM s možností kontroly zvlnění sítě. Network B pak nabízí alternativu ve formě inteligentního měření s možností komunikace přes centrální systém AIM.



Obr. 15: Blokové uspořádání řízení zátěží přijímačem HDO [27]

Tímto se dostáváme ke SG, která se postupně dostává do popředí pozvolným nasazováním SM, nebo budoucím rozšířením AMM. Zde bychom se měli pozastavit nad výsledky z již zmiňovaného pilotního projektu ve Vrchlabí. V Paříži při slavnostní prezentaci bylo odhaleno, že automatizační technologie mají jednoznačně příznivý vliv na celkový chod ES. Významně usnadňují integraci obnovitelných zdrojů a dalších decentralizovaných zdrojů elektrické energie v kombinaci se zásobníky energie.

Při paralelním napájení sítě z více rozveden a využití informačních sítí v kombinaci s automatizací byl citelně snížen počet odběrných míst, zasažených v případě poruchy, zkrácena byla i doba uvedení sítě do původního stavu. Dále bylo poukázáno na potřebu další standardizace v oblasti komunikací a zájem uživatelské veřejnosti o účast v projektech. Projekt také však upozornil, že přístup, který může být technicky uzpůsobitelný a užitečný pro obě strany, nemusí být vždy ekonomicky efektivní. Příkladem může být motivování zákazníka ke snižování spotřeby elektrické energie z ekologických důvodů, které jsou často podmíněny EU. Na druhé straně ovšem stojí povaha nákladů odvětví, které jsou z části fixní, a proto v následujícím rozpočítání těchto nákladů do cen pro odběratele nastává situace, kdy při poklesu spotřeby elektrické energie, cena za jednotku přirozeně roste, což ve výsledném omezování spotřeby elektrické energie působí demotivujícím způsobem. Ve výsledku lze tento projekt hodnotit jako přínosný pro město samotné a projektové organizace, zejména tedy pro ČEZ, a.s., který si zde vyzkoušel reálné fungování celého konceptu chytrých sítí. [28] Ovšem krom tohoto pilotního projektu, nenajdeme SG v rozsáhlejší provedení a kvůli tomuto důvodu pro prezentaci SG využijeme související trend SC, konkrétně SC Plzeň. Ačkoli se může jevit SC méně rozvinutým konceptem oproti SG, opak je pravdou. Dnes máme v Plzni několik projektů, jejichž potenciál stojí na základech SC, potažmo SG. Příkladem mohou být aplikace zprostředkovávající aktuální stav kvality ovzduší, výšku hladin řek, obsazenost parkovacích míst, intenzitu zatížení dopravy, ale také je lze využít k dálkovým odečtům energií. Dnešní podstatou SC, jako u budoucí SG, je propojení celkové infrastruktury, tedy např. sloučení mobility s bezpečností a životním prostředím.

Internet of Things (IOT), to je způsob propojení všemožných věcí (vozidel, spotřebičů, budov), které jsou vybaveny elektronikou s potřebným softwarem, síťovou konektivitou a dalšími užitečnými periferiemi. Všechna tato chytrá zařízení mohou mezi sebou komunikovat a společně interagovat, pokud je to možné, jinak dokáží fungovat i samostatně. Principiálně se jedná o jistou variantu budoucí SG pro energetiku. Plzeň jako první město v ČR vybuďovalo vlastní senzorickou síť Long Range Wide Area Network (LORAWAN) fungující v pásmu 868 MHz, která je založena na nejnovější bezdrátové síti Low Power Wide Area Network (LPWAN). Tato technologie umožňuje jednoduchou a energeticky nenáročnou komunikaci s velkým dosahem. Současný stav sítě LORAWAN v Plzni činí 17 přístupových bodů tzv. bran, 39 registrovaných řízení a 27 423 přenesených údajů. [29] Celý tento systém chytrých technologií nazýváme never ending process,



neboť jejich využití nemá hranic. Na Obr. 16 je patrné téměř plošné pokrytí ČR signálem LORAWAN.

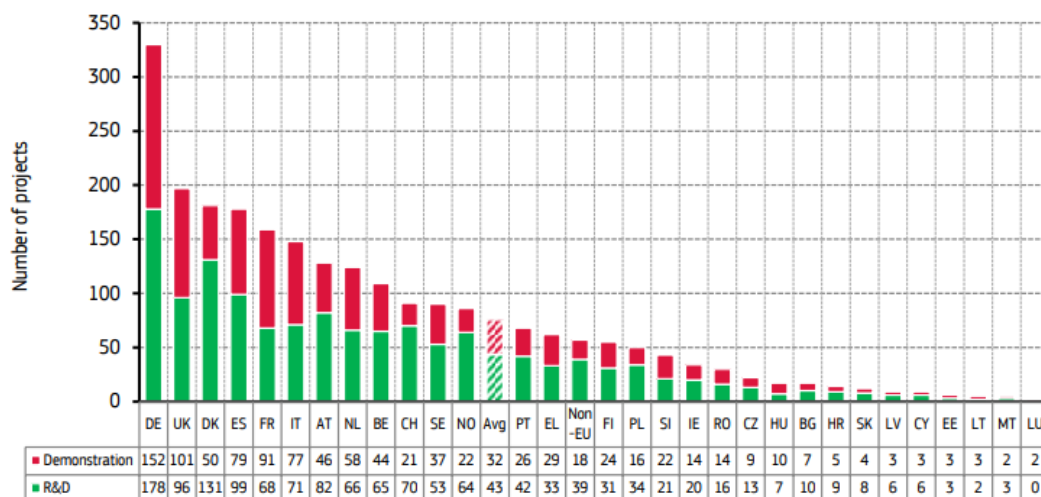


Obr. 16: Pokrytí ČR signálem LORAWAN [30]

## 4.2 Zahraničí

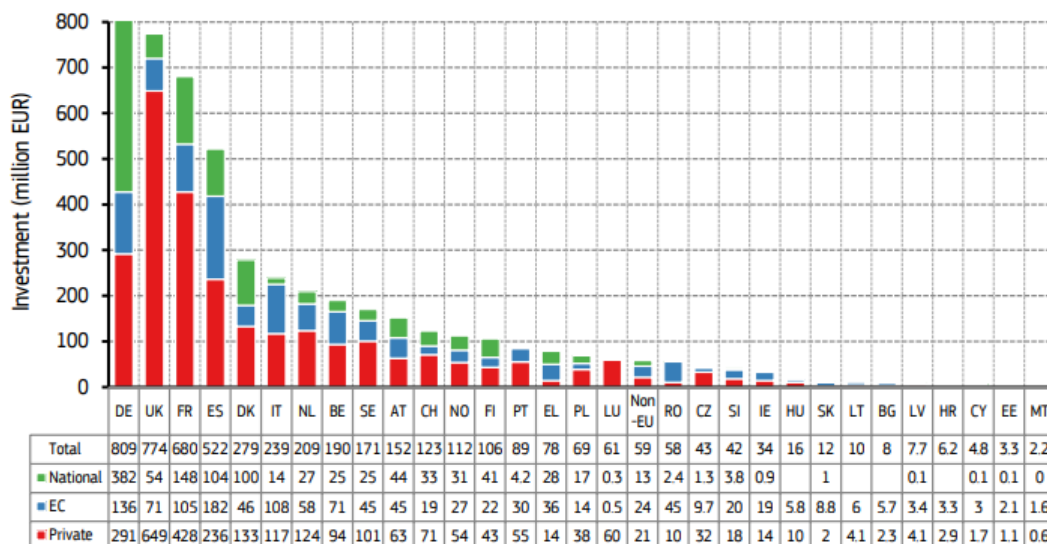
HDO je v ČR velmi rozšířeno, a proto ho těžko najdeme mimo náš kraj, ve stejném smyslu jako u nás, přesto si svoje místo našlo i mimo naše území, i když v trochu obměněné přepracované verzi. Pro příkladnou ukázkou, pokud tedy vynecháme SR, která je se systémem HDO obeznámena víceméně stejně, vyjma jednoho odlišného ovládacího kmitočtu 191 Hz. Německo je dalším nejbližším státem, kde zavedli obdobný systém našeho HDO vedený pod pojmem rádiové dálkové ovládání (RDO), neboť způsob šíření signálu není veden silovou částí vedení, ale za pomoci dlouhovlnného rádiového signálu. Jednotliví provozovatelé DS jsou propojeni rychlým přenosem s centrálním počítačem u dlouhovlnného vysílače. V Německu najdeme dlouhovlnné vysílače poblíž měst Berlín a Frankfurt, který stačí na pokrytí celého území. [25] Interesujícími společnostmi, které vyrábějí přístroje pro RDO, jsou Langmatz a opět Landis+Gyr. Příkladem takového přístroje může být přijímač RDO EK893 od společnosti Langmatz, který obsahuje až 6 relé s možností spínání proudu 25 A nebo 40 A, vnitřní anténu s možností připojení externí, přijímač podporuje formát telegramu VERSACOM a SEMAGYR. [31]

SG v pilotní verzi byla nasazena jak v Evropě, tak i v USA, ale stejně jako u nás ji v reálném využití ještě nenajdeme. Tedy opět zmíníme pouze výsledky těchto pilotních projektů ze světa. Mezi největší projektové země v EU se řadí Německo, Velká Británie, Dánsko, Španělsko či Itálie. Na následujícím Obr. 17 jsou uvedeny počty projektů v každém členském státě, které jsou rozděleny na pilotní projekty a výzkum a vývoj SG.



Obr. 17: Celkový počet projektů SG zastoupených v členských zemích [32]

Vzhledem k nedostatečné transparentnosti výsledků z těchto projektů můžeme pouze odhadovat převládající pozitivní dopady jako v případě pilotního projektu v ČR ve Vrchlabí. Z tohoto důvodu alespoň zmíníme finanční plány a investice spojené s rozvojem SG. Přestože jsou soukromé investice velmi důležitým zdrojem financování SG projektů, pouze 15 % ze všech projektů v databázi je financováno výhradně soukromými zdroji. To poukazuje na význam evropského a vnitrostátního financování, což platí zejména pro výzkum a vývoj v oblasti SG. Navzdory různorodosti financování mezi členskými státy, představují soukromé investice hlavní zdroj financí ve většině zemí. [32] Na Obr. 18, na další straně jsou uvedeny objemy a zdroje investic do SG za každou jednotlivou zúčastněnou zemi.



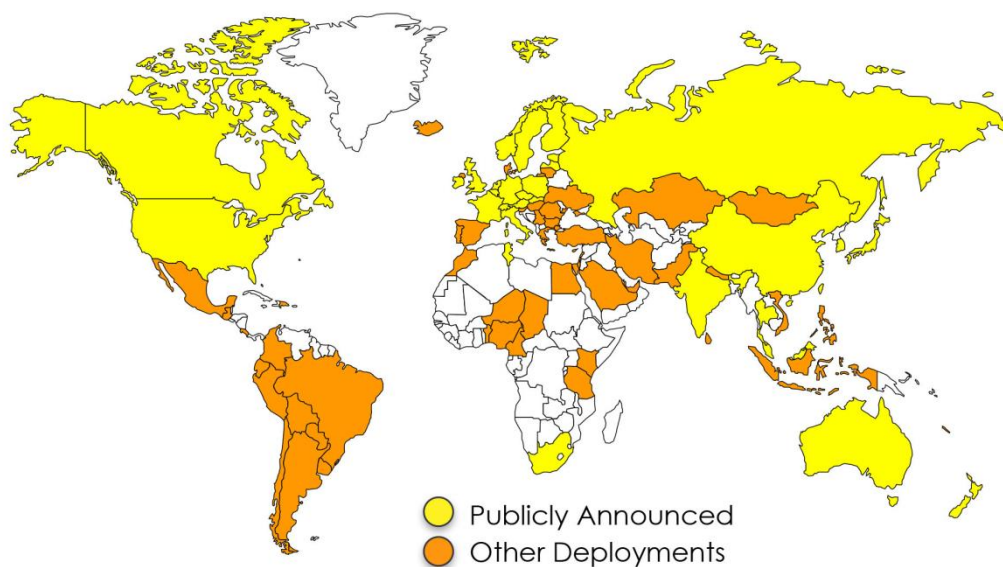
Obr. 18: Celkové investice členských zemí do projektů SG [32]

Z přehledu celkových investic je vidět, že největší podíl vnitrostátních dotací k celkovému objemu má Německo a Dánsko. Největší podíl evropských dotací k celkovému objemu má zase Bulharsko a Slovensko. V posledním soukromém podílu dotací k celkovému objemu má potom zastoupení Velká Británie a Francie. Dále lze dělit investice podle druhu organizace, která je poskytla. V tomto případě jsou největšími investory samotní distributoři, univerzity, výrobci technologií, výzkumná centra a informační a telekomunikační odvětví. [32] Dále si předvedeme možnosti SG na fungujícím konceptu SC.

SC má v zahraničí hojně zastoupení v největších a nejznámějších městech ve stylu SC jako je Amsterdam, Tokio, Paříž, Londýn, San Francisco a na první příčce se v roce 2017 umístil New York City. Město získalo toto ocenění díky partnerství se společností International Business Machines Corporation, která se zabývá rostoucími nároky na komplexní schopnosti potřebné pro budování inteligentních měst. Dalšími společnostmi spolupracujícím s městem jsou Cisco Systems a City 24/7, které se podíleli na strategickém umístění inteligentních obrazovek s přístupem na internet po celém městě. Tyto obrazovky tak zpřístupní zpravodajství, události a třeba i slevové kupony pro širokou veřejnost. Dále se New York City řadí mezi nejvýznamnější města ve službách sdílení automobilů, vzdělávání, inovativní ekonomiky a rychlosti internetu. [33]

New York Waterway je soukromá trajektová společnost, která provozuje přístavy v New Yorku a New Jersey, využívající platformu založenou na IOT od společnosti Hitachi Data Systems provozovanou v síti Verizon. Společnost vybavila všechny své trajekty monitorovacími kamerami s živým přenosem, bezdrátovými rádii, informačními monitory pro cestující a senzory shromažďující údaje o jízdním řádu, počasí, rychlosti a směru trajektu, spotřebě pohonných hmot a potřebách údržby. Pro cestující je k dispozici aplikace, kde najdou všechny potřebné informace v průběhu jejich přepravy. Trajektová doprava je zde velmi rozšířená a důležitá při krizových situacích, kdy jsou ostatní způsoby dopravy mimo provoz. Kupříkladu lze zmínit živelné pohromy, kdy se tento způsob dopravy využívá k obnovení ostrovů do původního stavu, nebo kurióznější událost, kterou bylo nouzové přistání dopravního letadla na řece Hudson, kdy byly tyto trajekty využívány k záchraně cestujících. [34]

Co se týče IOT v globálním měřítku, bylo by dobré znovu zmínit síť využívanou v Plzni LORAWAN, pro lepší pochopení její velikosti. Síť má ve světě nemalé zastoupení s potenciálem k budoucímu širšímu růstu. Právě díky rychlému růstu této sítě není možné uvést přesná data, ale pouze přibližná. Síť pokrývá kolem padesáti operátorů, tří set účastnických měst a pěti set členských měst. Přibližné pokrytí signálem LORAWAN je znázorněno na Obr. 19. [35]



Obr. 19: Pokrytí Světa signálem LORAWAN [35]

## 5 Aplikace Smart Grid a HDO v ostrovním provozu v ES

Právě díky možnosti dálkového ovládání, kdy je možné libovolné spínání různých úseků v ES s rychlou odezvou z centrálního stanoviště, lze v časné zásahu zabránit rozpadu energetické sítě, neboli tzv. blackoutu. Tímto způsobem můžeme odpojit inkriminovanou část od zbývajících celku ES s podmíněnou možností energetické nezávislosti, byť i v omezeném rozsahu pro udržení energeticky důležitých částí.

### 5.1 Definice a vznik ostrovního provozu

Definice OP podle společnosti ČEPS, a.s. zní: „*Ostrovní provoz je schopnost elektrárenského bloku pracovat do vydělené části vnější sítě, tzv. ostrova. Ostrovní provoz se vyznačuje velkými nároky na regulační schopnosti bloku. Tato schopnost je nezbytná pro předcházení a řešení stavu nouze. Vyznačuje se značnými změnami frekvence a napětí v souvislosti s tím, že blok pracuje do izolované části soustavy.*“ [2] Tedy obecně si tento provoz lze představit pod určitou částí ES, ať už je to budova, město či stát. Tato část musí obsahovat nezávislý zdroj elektrické energie s úměrným výkonem pro základní funkčnost OP. Příkladem mohou být zdravotnická zařízení vybavena záložním zdrojem elektrické energie, který musí být schopný po určitou dobu udržet zařízení v provozu.

Vznik OP je charakterizován obvykle rychlou změnou frekvence a vznikem bilanční nerovnováhy činného či jalového výkonu. Příčina přechodu do OP je indikována vhodným frekvenčním relé, které máme nastavené na hodnotu danou frekvenčním rozsahem v ES. V tu chvíli je nutné, abychom okamžitě zajistili změnu režimu regulace výroby na proporcionální regulaci otáček. Odpojíme dálkovou regulaci výkonu (sekundární regulaci frekvence a výkonu). Odpojíme systém automatické regulace jalového výkonu a napětí v pilotním uzlu ze systému terciální regulace napětí. Zajistíme aperiodický a stabilní přechod otáček na novou hodnotu, která je stanovena frekvencí v OP a zvolenými parametry regulace otáček. Výkon výroby se v mezních případech může změnit z hodnoty jmenovité až na hodnotu vlastní spotřeby. Dále odpojíme výroby od vnější sítě a zapojíme je do provozu na vlastní spotřebu, nebo na provoz do vyjmuté části DS a přepneme potřebné regulace zdroje do ostrovního režimu. Další provoz řídíme podle provozovatele DS. [36]

V samotném průběhu OP musíme regulací a technologickými zařízeními výrobní zajistit stabilní paralelní spolupráci s ostatními výrobními zapojenými v ostrovu. Dále zajistíme adekvátní odezvu dodávaného činného a jalového výkonu na změny frekvence a napětí včetně nenominálních parametrů napětí a frekvence od jmenovitých hodnot. Adekvátní odezvou, miníme idealizovanou (po odeznění rychlých elektromechanických přechodných dějů) závislost výkonu výrobní  $P_{id}$  na stacionární odchylce frekvence  $\Delta f$ , která je znázorněná v rovnici (2). Doporučená hodnota statiky proporcionálního regulátoru otáček  $\delta$  je 4 až 8 %. [36]

$$P_{id} = P_o - \left( \frac{100}{\delta} \cdot \frac{P_n}{f_n} \cdot \Delta f \right) \quad (2)$$

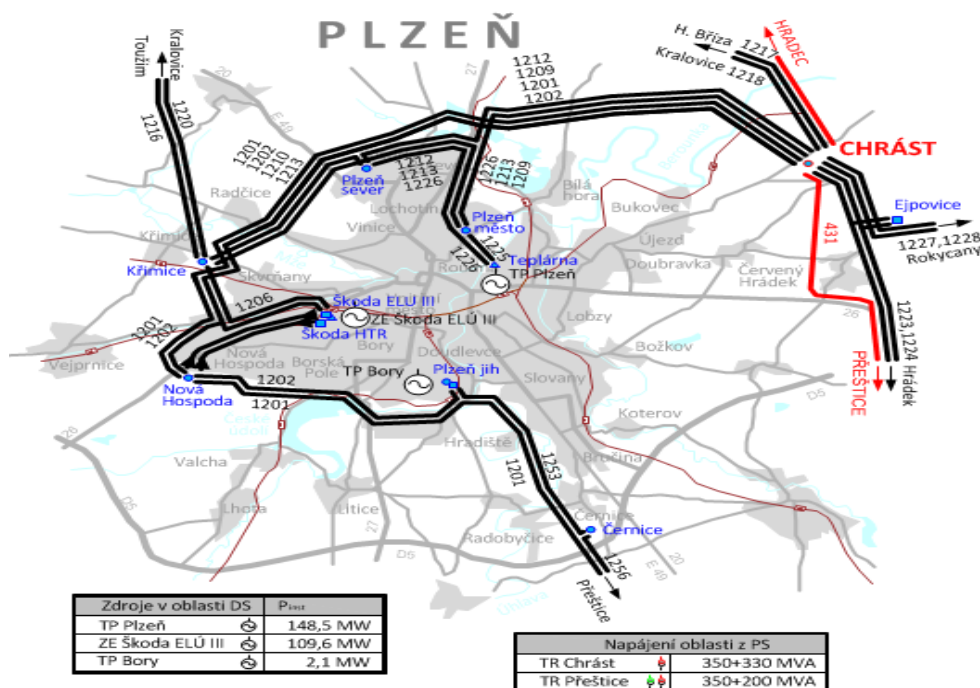
Při opětovném připojení OP k ES musí být výrobní schopná pracovat v režimu OP po minimální dobu 2 hodin. Podle pokynů dispečera DS musíme zvládat regulovat frekvenci ostrova dostatečně plynule a jemně, tak aby bylo možné opětovné přifázování k propojené ES. Výrobní musí být schopná připojení k vnější síti při kmitočtu daného frekvenčního rozsahu a napětí daného napěťového rozsahu. V případě fázování výrobní v rozvodně DS musí být výrobní schopná přivést napětí po výrobním vedení do této rozvodny. [36]

## 5.2 Možnosti regulace v ostrovním provozu

Blackout je hrozbou energeticky závislé společnosti. Důsledky této hrozby se umocňují s vývojem elektroniky, která se postupem času promítne do všech zařízení. To je další potřebný důvod pro vývoj HDO ve SG, neboť pravděpodobnost případů rozpadu ES roste s růstem elektrifikace. SG by měla efektivněji zvládat tyto havarijní stavy, nebo jim dokonce předcházet. Jak v normálním provozu, tak i v OP je nezbytné udržet výkonovou bilanci, tedy aby se výkon výroby rovnal výkonu spotřeby. Toho lze docílit otáčkovou regulací jednotlivých bloků elektráren v OP spolupracujících, kdy se přímo regulují otáčky za účelem udržení  $f_n$ . Další možností může být využití systému HDO, kterým lze do jisté míry docílit plynulé regulace ze strany spotřeby. Zde však musíme brát v potaz legislativu, která má v sobě zakomponovány časy spínání HDO, které musíme dodržovat. Z druhé strany tu ovšem máme obchodní podmínky mezi distributorem a koncovým zákazníkem, ve kterých si distributor vyhrazuje právo omezit dodávku elektrické energie ve stavu nouze. Tedy v součinnosti otáčkové regulace bloku a HDO je možné OP udržovat. [37]

Z tohoto je zřejmé, že pokud již samotné HDO dokáže zlepšit regulaci OP, poté by k tomuto účelu regulace mělo jít využít i SG a to se stejnými, nebo i lepšími výsledky.

Příkladem, kdy OP odklonil možnou hrozbu nestability ES, je město Plzeň. Dne 18. 10. 2015 nastala v ES v okolí Plzně kritická situace zapříčiněná poruchou ve spínacím režimu. Díky rychlé reakci došlo k odpojení města od zbylé ES a město bylo napájeno z místních zdrojů, kterými jsou Plzeňská energetika s diesellovým agregátem o výkonu 21 MW s možností startu ze tmy a Plzeňská teplárenská. Společně s ČEZ, a.s. a ČEPS, a.s. byl zvolen algoritmus spínání, díky kterému bylo zabezpečeno napájení klíčových částí města Plzně. Celý OP poté trval asi 20 minut, při kterých byla příčina poruchy odstraněna. [38] Pro upřesnění rozmístění lokálních zdrojů a napájecích uzlů plzeňského ostrova je zde Obr. 20, na kterém je znázorněna rozvodná síť Plzně. Dále jsou zde uvedeny jmenovité výkony zdrojů, které mají v součtu větší výrobní výkon, než je spotřeba samotné Plzně, z čehož vyplývá možnost fungování města v OP. [37]



Obr. 20: Rozvodná síť města Plzeň [39]

## 6 Model ostrovního provozu

V této kapitole jsem pomocí programu MATLAB Simulink sestavil jednoduchý model, který představuje OP provozovaný s fotovoltaickým zdrojem a dvěma zátěžemi, přičemž jedna z nich umožňuje regulaci ze strany spotřeby, tzn. snížení výkonu zátěže v době výskytu nižšího výkonu na straně zdroje. Tento princip by měl zajistit, aby se zachovala výkonová bilance a výkon zdroje se rovnal výkonu zátěže.

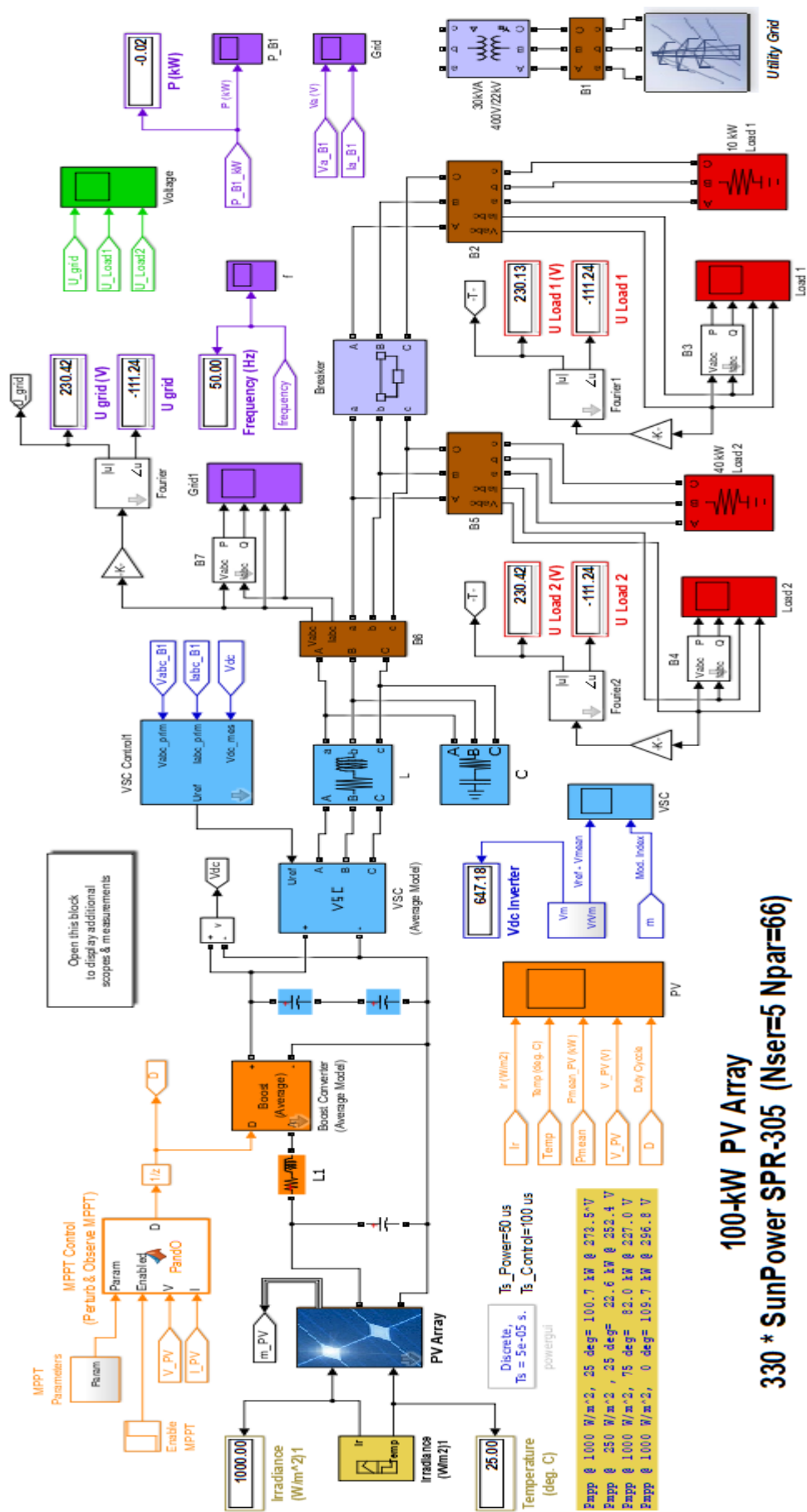
### 6.1 Popis modelu

V řešeném případě modelované mikrosítě v OP se frekvence nemění s poklesem výkonu zdroje, neboť střídač na výstupu FVE udržuje jmenovitou frekvenci 50 Hz, což je zapříčiněno nepřítomností synchronních generátorů. Proto v mém OP dochází vlivem sníženého osvětlení fotovoltaických panelů slunečním zářením ke snížení výkonu FVE a tím pouze ke snížení napětí v ostrovní mikrosíti. Pro co největší zjednodušení jsem zvolil u fotovoltaických panelů konstantní teplotu 25 °C, abych zabránil poklesu výkonu vlivem zvýšené teploty. Dále pro zjednodušení jsem použil pouze zátěže s čistě odporovým charakterem. Posledním zjednodušením je samotná regulace zátěže, kterou jsem provedl pomocí vypínače řízeného osvětlením slunečního záření. Ve výsledku probíhá regulace OP připojením zátěže v době maximálního svitu a odpojením zátěže v době poklesu svitu slunečního záření. Schéma navrženého modelu ostrovní mikrosítě je znázorněno na Obr. 21, na následující straně a parametry základních prvků modelu jsou shrnuty níže v Tab. 1.

Tab. 1: Základní parametry modelu OP

Jmenovitý výkon FVE	100 kW	Jmenovitý výkon Load1	10 kW
Jmenovité napětí sítě	230 V	Jmenovitý výkon Load2	40 kW
Povolené meze napětí	207 – 253 V	Parametry LC filtru	250 $\mu$ H / 200 $\mu$ F
Jmenovitá frekvence sítě	50 Hz	Zvolené meze svitu	1 000 – 700 W/m <sup>2</sup>
Časový interval simulace	20 s	Teplota okolí	25 °C





Obr. 21: Model OP s FVE a možností regulace na straně spotřeby

## 6.2 Účel sestavení modelu

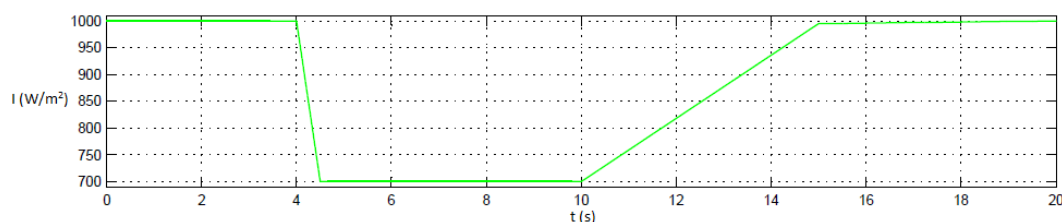
Samotný model OP poukazuje na možné využití HDO a SG v případě začlenění decentralizované výroby a to zejména obnovitelných zdrojů, jako jsou FVE a VTE, u kterých se nedá plynule regulovat výrobní výkon, pokud nespolupracují s akumulacním zařízením. Jedinou výjimkou je tedy FVE, u které je možné snižovat její činný výkon stupňovitě na pokyn dispečera distribuční soustavy což je zmíněno i v legislativě. Problematiku s regulací zde řeší regulace ze strany spotřeby, která reaguje spínáním zátěže dle výrobního výkonu. Nejlepším řešením by ovšem byla kombinace regulací, jak ze strany spotřeby, tak i ze strany výroby. V reálném případě by se regulace řídila dle statických napěťových charakteristik, zde již z miněných důvodů neměnné frekvence. Pokud by námi zvolený zdroj spolupracoval současně se synchronním generátorem společně do OP, nebo by systém byl připojen do ES, poté by již bylo vhodnější využití i statických frekvenčních charakteristik neboť frekvence je globálním parametrem ES. Další podstatnou položkou při využívání zdrojů s proměnným výrobním výkonem je akumulace, díky které zajistíme stabilnější dodávku elektrické energie. Příkladem může být Austrálie, kde je největší lithium-iontové seskupení baterií zapojeno v jeden veliký energetický celek, na světě. Tato superbaterie o výkonu 100 MW od firmy TESLA s.r.o. zde akumuluje energii z hojně rozšířených VTE. Problém u těchto baterií je ovšem jejich kapacita, která časem klesá.

## 7 Analýza výsledků simulací ostrovního provozu

V následující kapitole provedu komplexní analýzu výsledných průběhů v časovém intervalu 20 s. Analýza bude probíhat v daném následujícím pořadí: OP s neregulovanou zátěží v porovnání OP s regulovanou zátěží a to od zdroje, přes LC filtr až k spotřebiči. V následujících kapitolách analyzuji dvě podobné simulace zmiňovaného modelu OP, jediným rozdílem v simulacích bude rozdílný průběh simulovaného svitu slunečního záření. V první simulaci dojde k jednomu sepnutí a vypnutí, v druhé simulaci ke dvěma sepnutím a vypnutím.

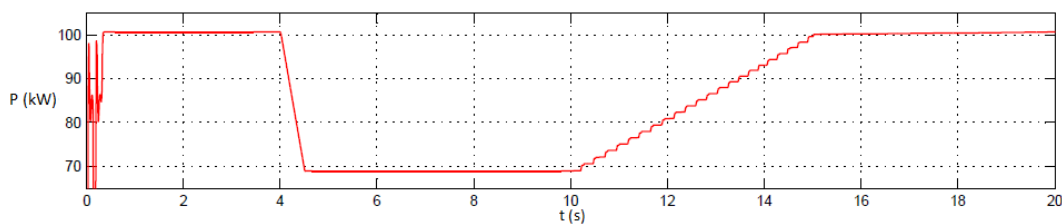
### 7.1 Simulace I

Pro představu o výkonu zdroje této simulace, který je díky konstantní teplotě závislý pouze na osvětlení slunečním zářením, je zde Obr. 22 s daným modelovaným svitem.



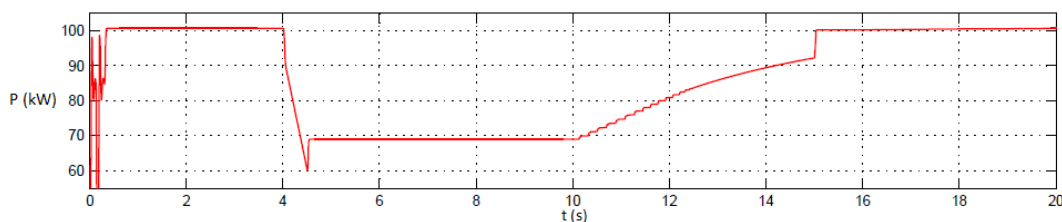
Obr. 22: Průběh intenzity záření dopadající na fotovoltaické panely

První měření je umístěno u FVE, která má znázorněné měření výkonu na osciloskopu PV (oranžový blok osciloskopu). Na následujícím Obr. 23 je vidět výstupní výkon z FVE, kdy je v mikrosíti neregulované zatížení. Výkon zdroje je, jako i ostatní výkony, dopočten z naměřených hodnot napětí a proudu. Jmenovitý výkon zdroje je 100 kW při konstantní intenzitě záření 1 000 W/m<sup>2</sup>. První simulovaná změna slunečního svitu dle Obr. 22 nastala v čase  $t = 4$  s, kdy dochází k strmému lineárnímu poklesu intenzity záření na 700 W/m<sup>2</sup>. Změna slunečního svitu zapříčiní pokles výstupního výkonu z FVE až na hodnotu 70 kW, kterou si drží do další změny slunečního svitu. V čase  $t = 10$  s dochází k opětovnému pozvolnému nárůstu intenzity záření na hodnotu 1 000 W/m<sup>2</sup>, kterou dosáhne v čase  $t = 15$  s. Fotovoltaický systém obsahuje regulační obvod pro sledování bodu MPP, tj. hodnoty maximálního výkonu, který může FVE dosáhnout dle okamžitého slunečního svitu. Z porovnání grafů na Obr. 22 a Obr. 23 je patrné, že intenzita záření dopadající na fotovoltaické panely je přímo úměrná dodávanému výkonu z FVE do sítě.



Obr. 23: Průběh výkonu FVE s neregulovaným zatížením

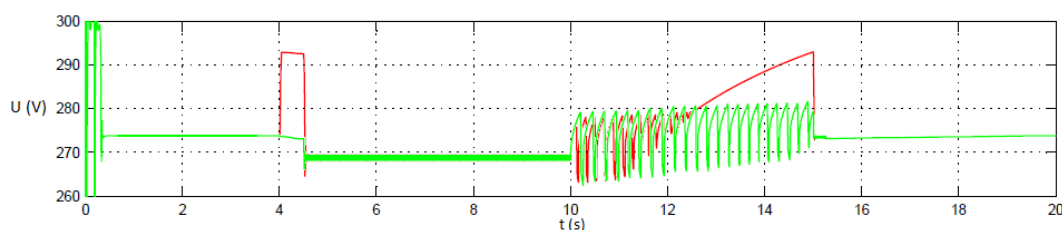
Na Obr. 24 je již výstupní výkon z FVE, kdy je v síti regulované zatížení. Všechny parametry FVE zůstávají stejné, tedy je stejný výkon zdroje, při stejné intenzitě záření jako v předešlém příkladu FVE s neregulovaným zatížením. Zde je však změna v úsecích, kde dochází ke spínání zátěže Load1, která je spínána v časech poklesu intenzity záření, tedy v čase  $t = 4$  s dochází k odpojení a v čase  $t = 15$  s dochází k připojení. Pokles a nárůst výkonu již není lineární a v bodě od času  $t = 4$  s dochází v následném poklesu výkonu až na hodnotu 60 kW oproti předešlé situaci. Tímto zjišťujeme nevýhodu spínání v síti, které se zde projevuje výkonovým překmitem.



Obr. 24: Průběh výkonu FVE s regulovaným zatížením

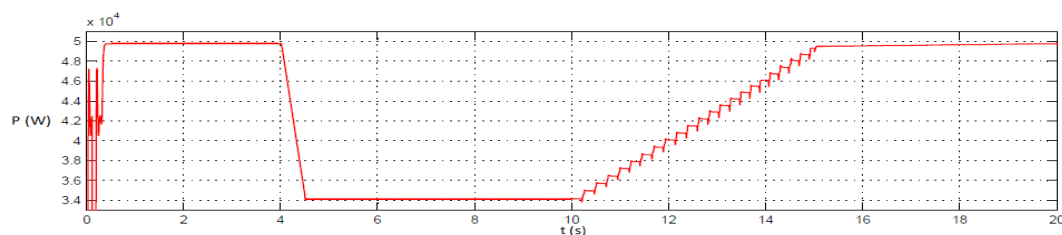
V této části se zaměřím na porovnání průběhů výstupního napětí z fotovoltaických panelů, a to v jednom společném grafu pro lepší porovnání oblastí  $t = 4$  s až  $t = 15$  s. Zde bude lépe zřetelný rozdíl, mezi průběhem napětí bez spínání zátěže (zelený průběh) a se spínáním zátěže (červený průběh), dohromady na další straně, na Obr 25. Tedy první zelený průběh při konstantní intenzitě záření  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ , lze na FVE naměřit cca 274 V, v čase  $t = 4$  s dochází vlivem poklesu intenzity záření k poklesu napětí na cca 268 V, toto napětí se stabilně udržuje na své hodnotě po dobu snížené intenzity záření, která je  $700\ \text{W}/\text{m}^2$ . V čase  $t = 10$  s dochází k nárůstu intenzity záření, které má za následek opětovné zvýšení napětí na cca 274 V, ale zde je změna doprovázena kmity, které jsou zapříčiněny LC filtrem na výstupu FVE, absencí regulačního obvodu a nelinearitou VA charakteristiky fotodiody. K jejich ustálení dochází v čase  $t = 15$  s, kdy dojde k ustálení intenzity záření. Za druhé červený průběh, který se chová úplně stejně, jako zelený díky vlivu zdroje, který si udržuje stejné hodnoty napětí pomocí regulačního obvodu střídače

a také kvůli identickému průběhu slunečního svitu, tedy krom úseků, kde dochází ke spínání. V čase  $t = 4$  s dochází k odpojení zátěže Load1. To se na průběhu napětí FVE projeví napěťovým kmitem o hodnotě cca 294 V, protože důsledkem odpojení zátěže Load1 došlo k výkonovému odlehčení, které mělo za následek tento obdélníkový impuls s dobou trvání změny intenzity záření. Toto krátkodobé zvýšení napětí odpovídá náhlému odlehčení sítě, odpojením zátěže, při poklesu svitu, tzn. krátkodobým přepětím, kdy zdroj dodává více, než odebírá neregulovaný spotřebič až do doby, kdy se jejich výkony vyrovnají. K tomuto přepětí může částečně přispět i vybití kondenzátorů LC filtru u fotovoltaického systému. V čase  $t = 10$  s dochází k nárůstu intenzity záření, ale díky odpojené zátěži Load1 dochází k nárůstu napětí rychleji, než v předešlém případě. Růst dokonce pokračuje až na hodnotu cca 294 V, kde by se ustálil, nebýt opětovného připojení odpojené zátěže Load1, která takto vyrovnala výkonovou bilanci.



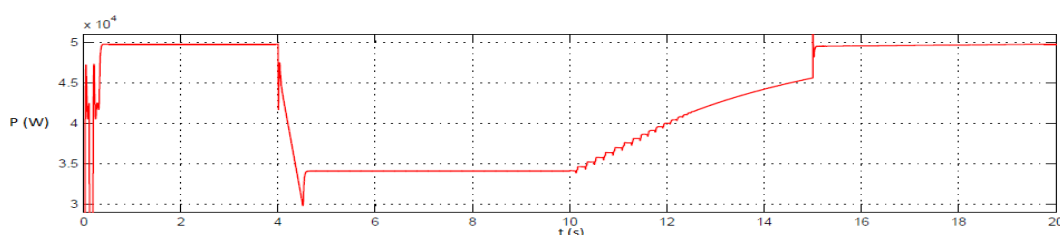
Obr. 25: Průběh výstupního napětí FVE

Další měření veličin je pomocí bloku B6 na výstupu LC filtru, který má znázorněné měření výkonu na osciloskopu Grid1 (fialový blok osciloskopu). Na Obr. 26 je přenesený výkon přes LC filtr v mikrosíti s neregulovaným zatížením, který má jmenovitou hodnotu 50 kW při výstupním výkonu FVE 100 kW. V čase  $t = 4$  s dochází k poklesu výkonu FVE na hodnotu 70 kW a to má za následek pokles přeneseného výkonu na hodnotu 34 kW. V čase  $t = 10$  s nastává růst přeneseného výkonu na opětovnou jmenovitou hodnotu 50 kW, kterou dosáhne v čase  $t = 15$  s. Charakter průběhu přeneseného výkonu je stejný, jako u výkonu dodávaného z FVE.



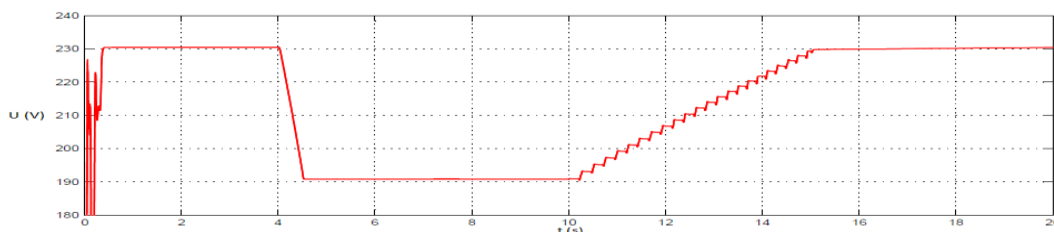
Obr. 26: Průběh výkonu LC filtru s neregulovaným zatížením

Na dalším Obr. 27 je již přenesený výkon přes LC filtr v mikrosíti s regulovaným zatížením, který má stejný jmenovitý výkon 50 kW, při stejném výstupním výkonu FVE 100 kW, jako je výkon LC filtru s neregulovaným zatížením. Zde je však opět změna v úsecích, kde dochází ke spínání zátěže Load1, která je spínána v časech poklesu výkonu dodávaného FVE, tedy v čase  $t = 4$  s dochází k odpojení a v čase  $t = 15$  s dochází k připojení. Pokles a nárůst výkonu již není lineární a v bodě odpojení od času  $t = 4$  s dochází k následnému poklesu výkonu až na hodnotu 30 kW, oproti předešlé situaci na Obr. 26, kde byl pokles na hodnotu 34 kW. Zde jsme také zaznamenali šíření výkonového kmitu, jako v situaci spínání u FVE.



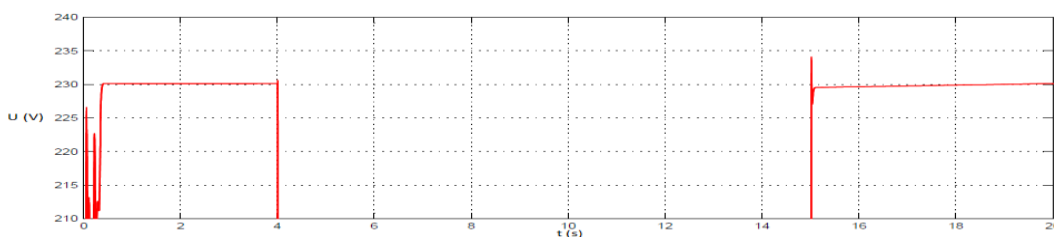
Obr. 27: Průběh výkonu LC filtru s regulovaným zatížením

Poslední zde prezentované výsledky měření z tohoto řešeného modelu jsou naměřeny přímo u samotné zátěže Load2 o výkonu 40 kW a zátěže Load1 o výkonu 10 kW, které mají zobrazeny měření napětí na osciloskopu Voltage (zelený blok osciloskopu), kde je znázorněn průběh fázového napětí za LC filtrem a na samotných zátěžích. Na další straně, na Obr. 28 je napětí na obou neregulovaných zátěžích, které má jmenovitou fázovou hodnotu 230 V s daným jmenovitým kmitočtem 50 Hz. Na průběhu lze pozorovat, jak při poklesu výkonu FVE v čase  $t = 4$  s dochází k poklesu napětí z 230 V až na 190 V. Tento pokles napětí je zapříčiněn výkonovou nerovnováhou, kdy je výkon zátěže vyšší než je výkon zdroje, tedy dodávaný výkon je nedostatečný pro obě zátěže v daný moment. V době, kdy má FVE nižší výkon, než požaduje zátěž, je na zátěžích napětí, které neodpovídá předepsaným normám, které dovolují pouze 10 % odchylku od hodnoty  $U_n$ . V tomto případě je odchylka 17,4 % od hodnoty 230 V. Dále je průběh stejný, jako v předešlých případech, kdy v čase  $t = 10$  s dochází k nárůstu výkonu FVE, což má za následek opětovné obnovení  $U_n$  v čase  $t = 15$  s.



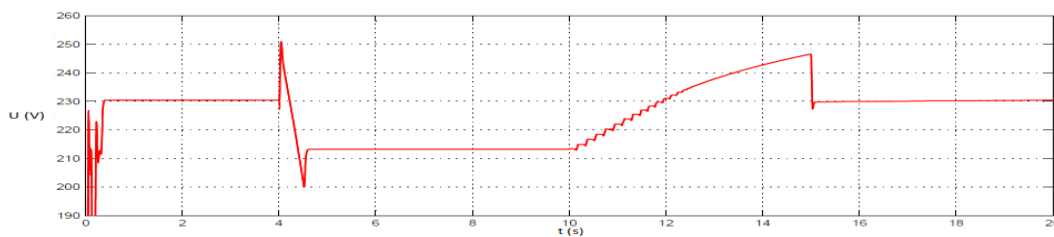
Obr. 28: Průběh napětí na neregulované zátěži

Nyní provedu regulaci ze strany spotřeby a to odpojením jedné ze dvou zátěží a tím docílím výkonového odlehčení, tedy vyrovnaní výkonové bilance. Opět jsem v místě měření průběhů fázového napětí na zátěžích a na výstupu LC filtru znázorněného na osciloskopu Voltage (zelený blok osciloskopu), ale nyní odpojím zátěž Load1 v době, kdy se sníží výkon FVE, znázorněno na Obr. 29. Z průběhu je jasně vidět, že napětí je konstantní po dobu, kdy je výkon FVE také konstantní a na jmenovitých hodnotách. Tedy v čase  $t = 4$  s, kdy dochází k poklesu dodávaného výkonu FVE, dojde k odpojení zátěže Load1 a v čase  $t = 15$  s dojde opět k jejímu připojení, které se projeví překmitem způsobeného sepnutím.



Obr. 29: Průběh napětí na regulované zátěži

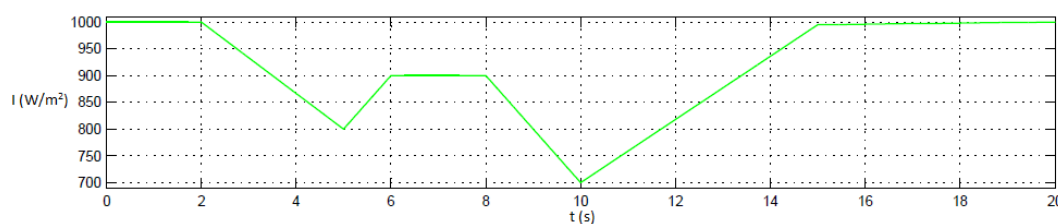
Díky tomuto způsobu regulace je na následujícím Obr. 30 vidět zřetelné zlepšení v porovnání se soustavou bez regulace na Obr. 28 a to právě v poklesu napětí, jak na výstupu LC filtru, tak i ve výsledku na zátěži. V tomto případě, dojde k poklesu napětí, z hodnoty 230 V pouze na hodnotu cca 214 V, což je hodnota, která se nachází v mezích předepsanými normami. Oproti předešlé 17,4 % odchylce v mikrosíti bez regulované zátěže, zde v regulované mikrosíti dojde k odchylce pouze o 7 %.



Obr. 30: Výsledný průběh napětí na výstupu LC filtru a na zátěži v regulovaném OP

## 7.2 Simulace II

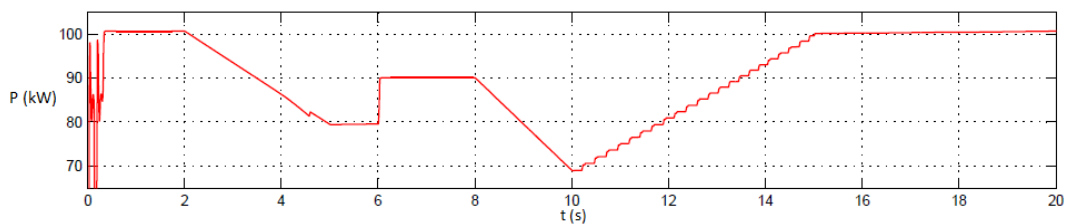
Pro představu o výkonu zdroje u druhé simulace, který je díky konstantní teplotě opět závislý pouze na osvitě slunečním zářením, je zde Obr. 31 s daným modelovaným osvitem.



Obr. 31: Průběh intenzity záření dopadající na fotovoltaické panely

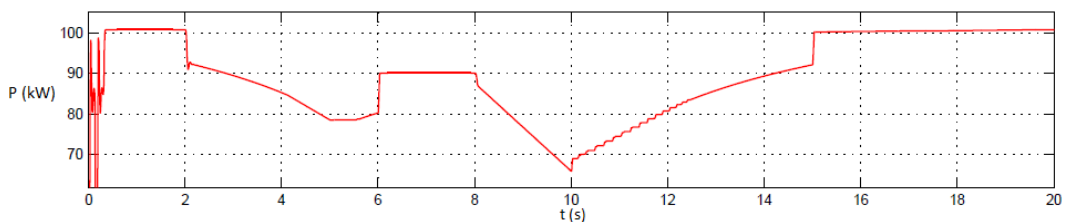
Zde je opět první měření umístěno u FVE, jako u v předešle Simulaci I, která má znázorněné měření výkonu na osciloskopu PV (oranžový blok osciloskopu). Na následujícím Obr. 32 je vidět výstupní výkon z FVE, kdy je v mikrosíti neregulované zatížení. Jmenovitý výkon zdroje je 100 kW při konstantní intenzitě záření  $1\,000\text{ W/m}^2$  a při následující konstantní hodnotě  $900\text{ W/m}^2$  je pak výkon 90 kW. První simulovaná změna slunečního svitu dle Obr. 31 nastala v čase  $t = 2\text{ s}$ , kdy dochází k poklesu intenzity záření na  $800\text{ W/m}^2$  se kterým klesá i výstupní výkon FVE na hodnotu 80 kW, který si drží do času  $t = 6\text{ s}$ , i když svit slunečního záření ihned ve stejném okamžiku narůstá na hodnotu  $900\text{ W/m}^2$  a ten se drží do času  $t = 8\text{ s}$ . To je způsobeno rychlou a náhlou změnou svitu s malým rozdílem výsledných velikostí hodnot. Výkon na změnu reaguje až po ustálení na konstantní hodnotě a to skokovou změnou výkonu na hodnotu 90 kW v čase  $t = 6\text{ s}$ . V následující změně sluneční svit v čase  $t = 8\text{ s}$  zapříčiní pokles výstupního výkonu z FVE až na hodnotu 70 kW v čase  $t = 10\text{ s}$ , od které se ihned odrazí na jmenovitou hodnotu výkonu a tím již kopíruje změnu slunečního svitu. Změna svitu probíhá až do času  $t = 15\text{ s}$ , ve kterém se intenzita záření ustálí na opětovné hodnotě  $1\,000\text{ W/m}^2$ .





Obr. 32: Průběh výkonu FVE s neregulovaným zatížením

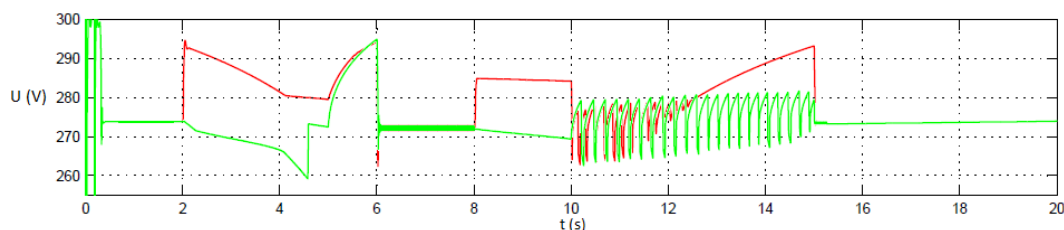
Na Obr. 33 je již výstupní výkon z FVE, kdy je v síti regulované zatížení. Všechny parametry FVE zůstávají stejné, tedy je stejný výrobní výkon, při stejné intenzitě záření jako v předešlých případech. Zde je však změna v úsecích, kde jsou přechodné změny svitu slunečního záření a kde dochází ke spínání zátěže Load1, která je spínána v časech poklesu intenzity záření, tedy v časech  $t = 2$  s,  $t = 8$  s dochází k odpojení a v časech  $t = 6$  s,  $t = 15$  s dochází k připojení. Pokles a nárůst výkonu již není lineární a od časů odpojení v bodech  $t = 2$  s,  $t = 8$  s dochází v následném poklesu výkonu k lehkým překmitům, které v této simulaci nejsou již tolik zřetelné, díky stupňovitému charakteru průběhu výkonu FVE.



Obr. 33: Průběh výkonu FVE s regulovaným zatížením

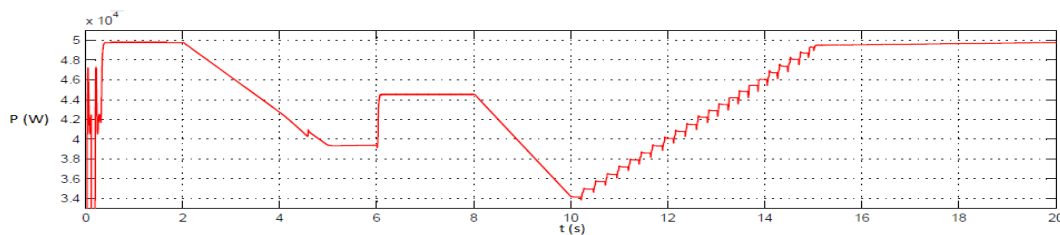
V této části se opět zaměřím na porovnání průběhů výstupního napětí z fotovoltaických panelů, a to v jednom společném grafu pro lepší porovnání oblastí  $t = 2$  s až  $t = 15$  s. Zde bude lépe zřetelný rozdíl, mezi průběhem napětí bez spínání zátěže (zelený průběh) a se spínáním zátěže (červený průběh), dohromady na Obr 34, na další straně. Tedy první zelený průběh při konstantní intenzitě záření  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ , lze na FVE naměřit cca 274 V, v čase  $t = 2$  s dochází vlivem poklesu intenzity záření k poklesu napětí až na cca 260 V. Po této změně, nastane okamžitá změna spolu se změnou intenzity záření, dochází k opačnému nárůstu napětí až na cca 295 V, které v čase  $t = 6$  s překmitne, do ustálené polohy cca 272 V. Toto napětí se stabilně udržuje na své hodnotě, po dobu snížené intenzity záření, která je  $900\ \text{W}/\text{m}^2$ . V čase  $t = 8$  s dochází k lineárnímu poklesu s následným nárůstem intenzity záření, které má za následek opětovné zvýšení napětí na cca 274 V, ale zde je změna doprovázena kmity, které jsou opět zapříčiněny

již zmiňovanými okolnostmi v Simulaci I. K jejich ustálení dochází v čase  $t = 15$  s, kdy dojde k ustálení intenzity záření. Za druhé červený průběh, který se chová úplně stejně, jako zelený průběh, tedy krom úseků, kde dochází ke spínání. V časech  $t = 2$  s,  $t = 8$  s dochází k odpojení zátěže Load1. To se v čase  $t = 2$  s na průběhu napětí FVE projeví napěťovým kmitem o hodnotě cca 294 V, protože důsledkem odpojení zátěže Load1 došlo k výkonovému odlehčení. Dalším časem spínání je  $t = 8$  s, kdy dochází k obdélníkovému pulsu o hodnotě cca 285 V. V čase  $t = 10$  s dochází k nárůstu intenzity záření, ale díky odpojené zátěži Load1 dochází k nárůstu napětí rychleji, než v předešlém případě. Růst dokonce pokračuje až na hodnotu cca 294 V, kde by se ustálil, nebýt opětovného připojení odpojené zátěže Load1, která takto opět vyrovnala výkonovou bilanci.



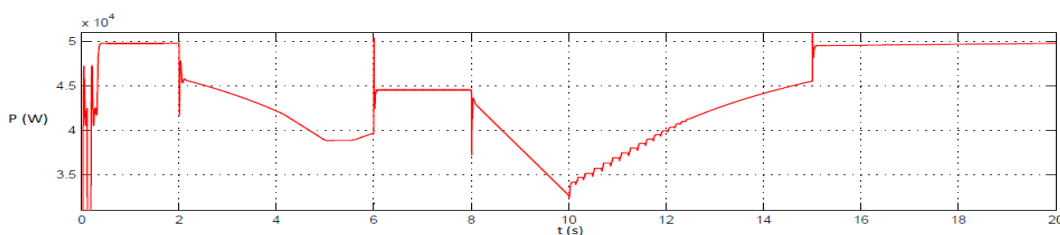
Obr. 34: Průběh výstupního napětí FVE

Další měření veličin je na výstupu LC filtru na bloku B6, který má znázorněné měření výkonu na osciloskopu Grid1 (fialový blok osciloskopu). Na následujícím Obr. 35 je přenesený výkon přes LC filtr v mikrosíti s neregulovaným zatížením, který má jmenovitou hodnotu 50 kW při výstupním výkonu FVE 100 kW. V čase  $t = 2$  s dochází k poklesu výrobního výkonu FVE na hodnotu 80 kW a to má za následek pokles přeneseného výkonu na hodnotu 40 kW. Následně v čase  $t = 6$  s dochází ke skoku výkonu na hodnotu 44 kW, která je konstantní do času  $t = 8$  s, kdy dochází k opětovnému poklesu výkonu na hodnotu 34 kW. V čase  $t = 10$  s nastává růst přeneseného výkonu na opětovnou jmenovitou hodnotu 50 kW, kterou dosáhne v čase  $t = 15$  s. Charakter průběhu přeneseného výkonu je stejný, jako u výkonu dodávaného z FVE.



Obr. 35: Průběh výkonu LC filtru s neregulovaným zatížením

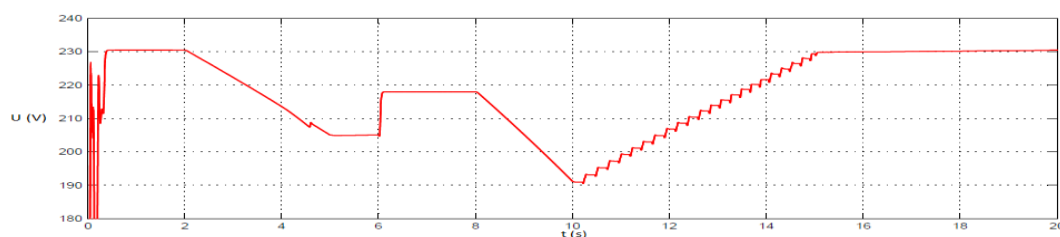
Na Obr. 36 je již přenesený výkon přes LC filtr v mikrosíti s regulovaným zatížením, který má stejný jmenovitý výkon 50 kW, při stejném výstupním výkonu FVE 100 kW, jako je výkon LC filtru s neregulovaným zatížením. Zde je však opět změna v úsecích, kde dochází ke spínání zátěže Load1, která je spínána v časech poklesu výkonu dodávaného FVE, tedy v časech  $t = 2$  s,  $t = 8$  s dochází k odpojení a v časech  $t = 6$  s,  $t = 15$  s dochází k připojení. Pokles a nárůst výkonu již není lineární a v bodech odpojení od časů  $t = 4$  s,  $t = 8$  s dochází k poklesům výkonů na obdobné hodnoty jako na Obr. 35. Charakter tohoto průběhu je podobný jako na Obr. 33, kde je znázorněn průběh výstupního výkonu FVE s regulovaným zatížením. Zde jsem také zaznamenal šíření výkonového kmitu, jako v situaci spínání u FVE.



Obr. 36: Průběh výkonu LC filtru s regulovaným zatížením

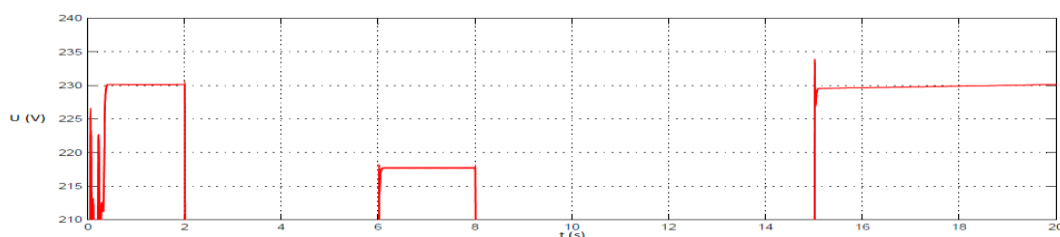
V posledním místě měření jsou samotné zátěže Load2 o výkonu 40 kW a Load1 o výkonu 10 kW, které mají zobrazeny měření napětí na osciloskopu Voltage (zelený blok osciloskopu), kde je znázorněn průběh fázového napětí za LC filtrem a na samotných zátěžích. Na dalším Obr. 37 je napětí na neregulované zátěži, které má jmenovitou fázovou hodnotu 230 V při daném jmenovitém kmitočtu 50 Hz. Na průběhu lze pozorovat, jak při poklesu výkonu FVE v čase  $t = 2$  s dochází k poklesu napětí z 230 V na 205 V. V čase  $t = 6$  s nastává opětovný skok napětí na hodnotu 218 V a v čase  $t = 8$  s dojde k poklesu až na hodnotu 190 V. V době, kdy má FVE nižší výkon, než požaduje zátěž, je na zátěžích napětí, které neodpovídá předepsaným normám, které dovolují pouze 10 % odchylku od hodnoty  $U_n$ . V tomto případě jsou mezní odchylky 10,9 %, 5,2 % a 17,4 % od hodnoty

230 V. Dále je průběh stejný, jako v předešlých případech, kdy v čase  $t = 15$  s dochází k opětovnému obnovení  $U_n$ .



Obr. 37: Průběh napětí na neregulované zátěži

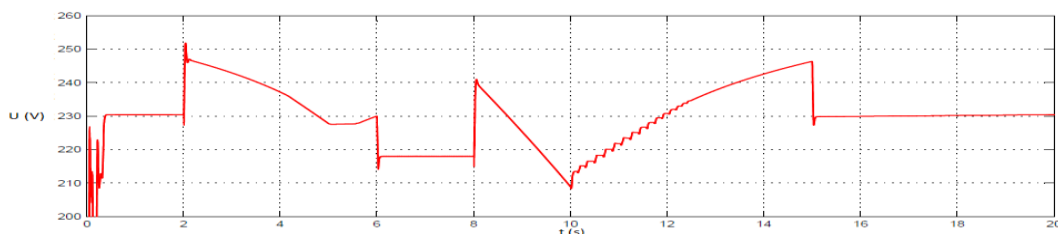
Nyní opět provedu regulaci ze strany spotřeby a to odpojením jedné ze dvou zátěží a tím docílím výkonového odlehčení, tedy vyrovnání výkonové bilance. Opět jsem v místě měření průběhů fázového napětí na zátěžích a na výstupu LC filtru znázorněného na osciloskopu Voltage (zelený blok osciloskopu), ale nyní odpojím zátěž Load1 v době, kdy se sníží výkon FVE, znázorněno na Obr. 38. Z průběhu je jasně vidět, že napětí je konstantní po dobu, kdy je výkon FVE také konstantní. Tedy v čase  $t = 2$  s, kdy dochází k poklesu dodávaného výkonu FVE, dojde k odpojení zátěže Load1 a v čase  $t = 6$  s dojde opět k jejímu připojení, které se projeví překmitem způsobeného sepnutím. Tento proces spínání se pak opakuje ještě jednou v čase  $t = 8$  s dojde k opětovnému odpojení a v čase  $t = 15$  s k opětovnému připojení.



Obr. 38: Průběh napětí na regulované zátěži

Jako v Simulaci I, i zde je díky tomuto způsobu regulace, vidět výsledné zřetelné zlepšení na následujícím Obr. 39 v porovnání se soustavou bez regulace na Obr. 37 a to právě v poklesu napětí. V tomto případě v čase  $t = 2$  s dojde sice k překmitu na hodnotu 250 V, který je ovšem stále v předepsaných mezích. Díky tomuto přechodovému ději se zabránilo poklesu napětí společně s poklesem výkonu. Dále v čase  $t = 6$  s dochází k připojení zátěže Load1 a k ustálení na hodnotě 218 V, jako na Obr. 37. K poslednímu spínání dojde v čase  $t = 8$  s, kdy napětí dosáhne hodnoty 240 V a poté lineárně klesá k hodnotě 210 V, aby v následujícím čase došlo k jeho ustálení na opětovně jmenovité

hodnotě 230 V. Zde, jsou procentuální změny napětí v předepsaných normách, tyto hodnoty jsou 8 %, 5,2 % a 8,7 % od  $U_n$ . Je zde vidět, proti předešlým odchýlkám v mikrosíti bez regulované zátěže, zde v regulované mikrosíti došlo ke zlepšení výsledných odchylek v úsecích poklesu výkonu FVE.



Obr. 39: Výsledný průběh napětí na výstupu LC filtru a na zátěži v regulovaném OP

Z mnou uvedených výsledků, i když nebyl zvolen korektní způsob regulace výkonu zátěže a také spínaná zátěž samotná měla dosti hrubý regulační efekt, je dáno, že regulace ze strany zátěže má převažující pozitivní účinek na zlepšení kvality napětí v OP. K tomuto zjištění jsem došel díky zjištěným procentuálním odchýlkám. Z legislativy vychází, že při podmínce udržení mezních hodnot napětí od hodnot jmenovitých musíme dodržet maximální odchylku  $\pm 10 \% U_n$ . Jediným problémem jsou zmiňované kmity, které jsou způsobeny spínacími režimy. Tohoto problému se však v reálné aplikaci lze vyvarovat, nebo jej alespoň eliminovat použitím vhodného regulačního obvodu, který nám zajistí plynulejší spínání zátěže a tím také nižší amplitudu a dobu trvání kmitu v přechodném ději. Dále je nutné zmínit, že při nahodilém spínání zátěže není jisté vyrovnaní výkonové bilance, které lze docílit pouze zahrnutím primární a sekundární regulace do regulační smyčky a tím zajistit, že výroba se bude rovnat spotřebě.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce byla komplexní analýza stávajícího systému hromadného dálkového ovládání a budoucího konceptu Smart Grid a to z pohledu principu funkčnosti a jejich vývoje využití v zahraničí a České republice. V této kapitole jsem zjistil, že hromadné dálkové ovládání je v České republice hojně využíváné a rozšířené. Ve světě se dnes již směřuje ke Smart Grid, díky její perspektivnosti a i když se Česká republika nemůže porovnávat s většími zeměmi jako je Německo, Francie či Španělsko, které jsou v tomto odvětví dále a mají i větší kapitál, tak i tak má naše země za sebou několik povedených pilotních projektů. Právě díky tomuto zapojení má Česká republika slušně nakročeno k tak významné energetické revoluci, kterou pro naší elektrizační soustavu bezpochyby bude koncept Smart Grid.

Poté byly v práci porovnány jejich výhody a nevýhody, a to jak jednotlivě, tak i jako celků vůči sobě. V této části se potvrdila funkčnost a jednoduchost hromadného dálkového ovládání, které využívá víceúčelových prostředků pro jeho fungování, jako jsou silová vedení či zemnicí lana. Ovšem v jistý okamžik se právě tyto funkcionality stávají jeho nevýhodami, díky nimž je rušení či až celkové utlumení tónového signálu přenášeného od vysílače k přijímači zcela běžné. Smart Grid by se měla z těchto neduhů poučit a být plnohodnotným nástupcem, který nabídne stejné možnosti s lepším zabezpečením. Právě zabezpečení je důležitou vlastností v podobě, které skýtá nebezpečí ve velkoplošném shromažďování dat, které jsou bohužel nezbytné pro její inteligentní fungování. V neposlední řadě by měla dodat nové možnosti v regulaci ze strany spotřeby.

Dále byl navržen model ostrovního provozu s ohledem na možnost regulace ze strany spotřeby, který měl prokázat vhodnost jejich použití a zjistit jejich výhody a nevýhody v tomto odvětví. Výsledný simulovaný model prokázal i při neoptimálním návrhu, že pokud chceme regulovat systém, který má proměnlivý výkon výroby elektrické energie bez možnosti regulace z jeho strany, musíme se přiklonit k regulaci na straně výkonu spotřeby. V obou případech simulace bylo zjištěno, že v situacích, kdy jsou předepsané meze jmenovitého napětí již mimo dovolenou mez, tak právě tento způsob regulace dokáže napětí vrátit do přípustných hodnot. V Simulaci I, při poklesu výkonu zdroje, byla naměřena na neregulovaných zátěžích hodnota napětí 190 V, což odpovídá 17,4 %

odchylce od jmenovité hodnoty napětí 230 V. V téže situaci, avšak při využití možnosti regulace ze strany spotřeby, byla na zbylé zátěži naměřena hodnota napětí 214 V, což odpovídá 7 % odchylce od jmenovité hodnoty napětí 230 V. V Simulaci II, při poklesu výkonu zdroje, byly naměřeny na neregulovaných zátěžích hodnoty napětí 205 V a 190 V, což odpovídá 10,9 % a 17,4 % odchylce od jmenovité hodnoty napětí 230 V. V téže situaci, avšak při využití možnosti regulace ze strany spotřeby, byly na zbylé zátěži naměřeny hodnoty napětí 250 V a 210 V, což odpovídá 8 % a 8,7 % odchylce od jmenovité hodnoty napětí 230 V. Také se zde objevil problém se spínáním regulované zátěže, která způsobovala kmity v síti ostrovního provozu.

Na konec bych shrnul, že koncept Smart Grid je tu s námi již určitou dobu, a pokud půjdeme dostatečně daleko, můžeme za jednu z alternativ považovat již námi velmi známé a hojně využívané hromadné dálkové ovládání. Tedy nemůžu říci, že tato chytřejší verze je pro Českou republiku, natož pro zbytek světa pouhým science fiction. Upřímně si myslím, že hromadné dálkové ovládání bylo a je dobře fungujícím nástrojem, ale bohužel, či bohudík vývoj nezastavíme a do budoucna je potřeba směřovat k celkovým vylepšením a jejím klíčovými vlastnostem, kterými jsou bezpečnost, udržitelnost a konkurenceschopnost.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] 1. podklady z předmětu měření a regulace. Podklady1 [online]. 2013 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dvorsky>
- [2] ČEPS činnosti. Systémové, podpůrné a přenosové služby [online]. 2017 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/cinnosti>
- [3] ČEPS pro partnery. Data [online]. 2017 [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/data>
- [4] 3. přednáška z předmětu měření a regulace. MRpr3 [online]. 2016 [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dvorsky>
- [5] Skupina ČEZ podpora. Časy spínání HDO [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/technicke-zalezitosti/pro-odberatele/hdo.html>
- [6] EON domácnosti. Časy spínání HDO [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/kontakty-podpora/poruchy-a-technicke-dotazy/cas-nizkeho-tarifu/jake-jsou-casy-spinani-hdo>
- [7] PRE distribuce potřebuji zařídit. Stav HDO [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/potrebuji-zaridit/zakaznici/stav-hdo>
- [8] Powerwiki. Regulace činného výkonu a frekvence v ES [online]. 2017 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/APES/Pf-reg.pdf>
- [9] OENERGETICE elektřina. Záložní zdroje elektrické energie - 1. díl: úvod do problematiky [online]. 2015 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/zalozni-zdroje-elektricke-energie-1-dil-uvod-do-problematiky>
- [10] Distribuce spínání HDO. Hromadné dálkové ovládání (HDO) [online]. 2017 [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo.html>
- [11] Ústav elektroenergetiky. Hromadné dálkové ovládání [online]. 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: [http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK\\_ePower/MESV/Prezentace\\_MESV.pdf](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MESV/Prezentace_MESV.pdf)
- [12] Ing. A. Posselt, Ing. J. Svoboda a kolektiv autorů. Hromadné dálkové ovládání. 1970 [cit. 2017-12-16]
- [13] OENERGETICE elektřina. HDO - smart grid fungující již půl století [online]. 2015 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti>



- [14] EGC produkty pro energetiku. HDO [online]. 2017 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <https://www.egc-cb.cz/produkty-pro-energetiku/hdo.html>
- [15] Bc. V. Sidek. Univerzální přijímač hromadného dálkového ovládání [online]. 2012 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/8/87/Dp\\_2012\\_sidek\\_vojtech.pdf](https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/8/87/Dp_2012_sidek_vojtech.pdf)
- [16] Ing. A. Krutina. Optimalizace a bilance řízení toků energie [online]. 2015 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/45514894-Zapadoceska-univerzita-v-plzni-fakulta-elektrotechnicka-katedra-elektroenergetiky-a-ekologie-autoreferat-disertacni-prace-ing.html>
- [17] NIST Smart Grid Communications. Summary [online]. 2016 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/programs-projects/smart-grid-communications-0>
- [18] Smart Cities World News. Huawei set to accelerate the smart grid [online]. 2017 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: <https://smartcitiesworld.net/news/news/huawei-set-to-accelerate-the-smart-grid-1613>
- [19] Proelektrotechniky vzdělávání. Víte, co je to a jak funguje smart grid? [online]. 2013 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/22.php>
- [20] Bc. A. Holasová. Ekonomické zhodnocení modelu Smart Grids [online]. 2014 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23736/F3-DP-2014-Holasova-Adela-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [21] Distribuce pro média. Projekt smart region ve Vrchlabí [online]. 2018 [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/smart-region.html>
- [22] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG) [online]. 2015 [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2016/11/Narodni-akcni-plan-pro-chytre-site.pdf>
- [23] TZB info elektroenergetika. HDO je duch minulosti, smart grid je platforma pro dobu změn [online]. 2016 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14443-hdo-je-duch-minulosti-smart-grid-je-platforma-pro-dobu-zmen>
- [24] TOP EXPO distribuce. Energetika v ČR směřuje k decentralizaci, její klíčovou součástí jsou chytré sítě [online]. 2016 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: [http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/tee-2016/prezentace/solc\\_pavel.pdf](http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/tee-2016/prezentace/solc_pavel.pdf)
- [25] Powerwiki. Hromadné dálkové ovládání - doplnění [online]. 2010 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: [https://www.powerwiki.cz/attach/EZS/prednaska\\_06d.pdf](https://www.powerwiki.cz/attach/EZS/prednaska_06d.pdf)

- [26] ZPA smart energy produkty a řešení. FMX510 - přijímač hromadného dálkového ovládání [online]. 2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.zpa.cz/produkty-a-reseni/hdo:c2/fmx-510:p16.htm>
- [27] Landis+Gyr manage energy better produkty a služba. Přijímač HDO, inteligentní zařízení pro ovládání zátěže Landis+Gyr L740 [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.landisgyr.cz/product/load-switch-devices-1740>
- [28] Smart City v praxi zajímavé projekty. Projekt smart region Vrchlabí zblízka: úspěchy, otazníky a další plány [online]. 2016 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: [http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave\\_projekty\\_22.php](http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_22.php)
- [29] Internet věcí Plzeň. Home. [online]. 2018 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://iot.plzen.eu>
- [30] IOT portál mapa pokrytí. České radiokomunikace (LoRaWAN). [online]. 2017 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti>
- [31] Langmatz. [online]. 2015 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://langmatz.de/en/wp-content/uploads/sites/2/2015/11/langmatz-radio-ripple-control-receiver-load-management-ek893-en.pdf>
- [32] European Commission. Smart grid projects outlook 2017 [online]. 2017 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: [http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2017/sgp\\_outlook\\_2017-online.pdf](http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2017/sgp_outlook_2017-online.pdf)
- [33] WDD blog. Top 10 Smartest Cities in the World [online]. 2017 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.wirelessdesignmag.com/blog/2017/11/top-10-smartest-cities-world>
- [34] NEXT CITY Science of Cities. Ferry Powered by the Internet of Things Pursues a More Efficient Ride [online]. 2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://nextcity.org/daily/entry/new-york-waterway-ferry-smart-platform>
- [35] EP&T. LoRa alliance drives strong LoRaWAN protocol deployments [online]. 2016 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.ept.ca/2017/06/lora-alliance-drives-strong-lorawan-protocol-deployments/lora-alliance-lorawan-coverage-map>
- [36] Distribuce. Pravidla provozování distribučních soustav [online]. 2011 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011\\_priloha-7.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_priloha-7.pdf)
- [37] Ing. V. Mužík. Způsoby řízení spotřeby v případě provozu v ostrovním režimu na území města Plzně. 2015 [2018-04-21].
- [38] Plzeňská energetika. Plzeň může být vzorovým městem pro spolehlivou a bezpečnou dodávku elektřiny [online]. 2016 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: [http://www.pe.cz/upload/File/kariera/09\\_03\\_2016\\_Plzen\\_vzorove\\_mesto.pdf](http://www.pe.cz/upload/File/kariera/09_03_2016_Plzen_vzorove_mesto.pdf)

- [39] OTE statistika. Schéma sítě 110 kV v oblasti velkých měst a důležitých aglomerací [online]. 2015 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavaharokstazeni/files\\_ke\\_stazeni/2015-mesta-adulezite-aglomerace.png](http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavaharokstazeni/files_ke_stazeni/2015-mesta-adulezite-aglomerace.png)