

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Možnosti využití konceptu Smart Village v České
republice**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub VOŇKA**
Osobní číslo: **E19N0075P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Možnosti využití konceptu Smart Village v České republice**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Zhodnoťte současný stav elektroenergetiky v ČR a její předpokládaný budoucí vývoj s ohledem na požadavky ENTSO-E.
2. Posuďte možné pozitivní a negativní vlivy Smart Village a řízených mikrosít na provoz elektrizační soustavy v ČR.
3. Navrhněte a vytvořte ve vhodném softwaru jednoduchý model regulace výroby a spotřeby elektrické energie v konceptu Smart Village.
4. Zhodnoťte energeticky výsledky simulace modelu z pohledu současného stavu elektrizační soustavy v ČR.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ekanayake, J. B. Smart grid: technology and applications. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. ISBN 978-0-470-97409-4
2. Ilić, Marija D.; Chakraborty, Aranya. Control and optimization methods for electric smart grids. New York : Springer, 2012. ISBN 978-1-4614-1604-3
3. European Network of Transmission System Operators, dostupné z: www.entsoe.eu

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Raková, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na energetickém zhodnocení ze strany spotřeby a výroby konceptu Smart Village v České republice. Práce se zabývá analýzou dopadů Smart Village na hladině NN (0,4 kV), připojenou do distribuční sítě na hladině VN (22 kV). První část kapitol se zabývá teoretickou částí, která je zaměřena na současný stav elektroenergetiky v České republice a jejího budoucího vývoje s ohledem na predikci energetického mixu zdrojů do roku 2040. V dalších kapitolách jsou zmíněny fotovoltaické elektrárny jako decentralizovaný zdroj energie, které jsou součástí mého modelu spolu s připojovacími a regulačními podmínkami, zmíněné v kodexu PS, dále PPDS a PPPS. V druhé části diplomové práce jsou zmíněny koncepce Smart Home, Smart Grid, Microgrid a Smart Metering k pochopení souvislostí s koncepcí Smart Village. Krátce je zmíněna problematika současného provozování fotovoltaických elektráren a jejich predikce rozvoje na hladině NN do roku 2040. Na tuto část teorie navazují modely, které simulují problematiku propojené distribuční sítě s danou Smart Village. Závěrečná část této diplomové práce je vytvoření modelu zaměřeného na jednoduché regulaci ze strany výroby a spotřeby. V souvislosti na výsledky z modelu, zhodnotím energetický stav dané Smart Village a posoudím možné dopady na DS, zda je výhodné se touto cestou budoucího rozvoje v energetickém mixu zdrojů vydat.

Klíčová slova

Smart Village, Smart Grid, Microgrid, Smart Home, Smart Metering, DECE, kodex PS, PPDS, PPPS, Vnitrostátní plán ČR, Národní akční plán ČR, ENTSO-E, Rozvoj DECE.

Abstract

The diploma thesis is focused on the energy of utilization on the side from the consumption and production of the Smart Village concept in the Czech Republic. The work deals with the parsing of the impacts of Smart Village on the LV level (0.4 kV), connected to the distribution network at the HV level (22 kV). The first phase of the chapters deals with the theoretical part, which is focused on the current state of electricity in the Czech Republic and its future development in respect of the prediction of energy mix until 2040. together with the control and connection conditions mentioned in the PS Code, as well as PPDS and PPPS. In the second phase of the thesis, the concepts of Smart Home, Smart Grid, Microgrid, and Smart Metering are mentioned to understanding the context of the concept of Smart Village. The issue of the current operation of photovoltaic power plants and their prediction of development at the LV level until 2040 is briefly mentioned. This part of the theory tag along with models that simulate the issue of an interconnected distribution network with a given Smart Village. The last phase of this diploma thesis is the creation of a model focused on simple regulation by production and consumption. In connection with the results of the model, I will evaluate the energy status of the Smart Village and assess the possible impacts on the DS, whether it is advantageous to take this path of future development in the energy mix of resources.

Key words

Smart Village, Smart Grid, Microgrid, Smart Home, Smart Metering, DECE, PS Code, PPDS, PPPS, National Plan of the Czech Republic, National Action Plan of the Czech Republic, ENTSO-E, Development of DECE.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 27.5.2021

Bc. Jakub Voňka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Lence Rakové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce, které mě vedli k úspěšnému zvládnutí dané problematiky.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	13
1 SOUČASNÝ STAV A PLÁNOVANÝ VÝVOJ ELEKTROENERGETIKY V ČR	14
1.1 EVROPSKÁ SÍŤ PROVOZOVATELŮ PŘENOSOVÝCH SOUSTAV - ENTSO-E	15
1.2 ROZLOŽENÍ VÝKONOVÝCH TOKŮ V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ V ČR	16
1.3 VNITROSTÁTNÍ PLÁN ČESKÉ REPUBLIKY V OBLASTI ENERGETIKY A KLIMATU	18
1.4 NÁRODNÍ AKČNÍ PLÁN	20
2 KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY V SOUČASNOSTI	22
2.1 SYSTÉMOVÉ SLUŽBY.....	22
2.2 PODPŮRNÉ SLUŽBY	24
3 DECENTRALIZOVANÉ ZDROJE	25
3.1 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	25
3.2 PRAVIDLA PRO PŘIPOJOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO PS	28
3.3 PRAVIDLA PRO PŘIPOJOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO DS	29
4 SMART GRIDS A ŘÍZENÉ MIKROSÍTĚ	31
4.1 SMART GRID	31
4.1.1 Řízení Smart Grid	32
4.1.2 Praktické příklady aplikace Smart Grid v ČR a ve světě.....	34
4.2 SMART VILLAGE	36
4.2.1 Praktické příklady aplikace Smart Villages v ČR a ve světě	37
4.3 SMART HOME	39
4.3.1 Princip využití fotovoltaických panelů na rodinných domech	40
4.4 ŘÍZENÉ MIKROSÍTĚ	42
4.5 CHYTRÁ MĚŘICÍ KOMUNIKAČNÍ TECHNIKA (SMART METERING)	44
5 DOPADY OČEKÁVANÉHO ROZVOJE DECE	46
6 ANALÝZA VLIVU PROVOZU SMART VILLAGE NA ES	50
6.1 MODEL SMART VILLAGE V SOFTWARE MATLAB SIMULINK	50
6.1.1 Popis jednotlivých částí základního modelu řešené Smart Village	51
6.2 VÝSLEDKY SIMULACE VLIVU SMART VILLAGE NA PROVOZ ES.....	57
6.2.1 Připojení ostrovní Smart Village k ES	57
6.2.2 Přejít Smart Village do ostrovního provozu.....	59
6.2.3 Vliv připojení nesymetrického zatížení.....	61
6.2.4 Vliv chybně nastaveného LC filtru FVE na kvalitu napětí v ES.....	63
6.2.5 Odpojení FVE od ES vlivem změny slunečního svitu	64
6.2.6 Dopad porušení výkonové bilance ve Smart Village na ES	67
7 KOMPLEXNÍ MODEL SMART VILLAGE	69
7.1 PŘEDSTAVENÍ NAVRŽENÉHO KOMPLEXNÍHO MODELU SMART VILLAGE	69
7.2 NAVRŽENÝ ALGORITMUS ŘÍZENÍ PROVOZU SMART VILLAGE.....	71
7.3 NÁVRH A ANALÝZA REGULAČNÍHO SCHÉMA SPOTŘEBY (ODBĚRU) ELEKTŘINY.....	76
7.4 NÁVRH A ANALÝZA REGULAČNÍHO SCHÉMA VÝROBY (DODÁVKY) ELEKTŘINY.....	82
7.4.1 Regulace výkonu FVE s akumulací ve Smart Home.....	82
7.4.2 Regulace výkonu velkokapacitní baterie	85
7.5 ANALÝZA SIMULACE PROVOZU NAVRŽENÉHO KOMPLEXNÍHO MODELU	87
8 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE MODELU	92
ZÁVĚR	93
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	95

SEZNAM PŘÍLOH	101
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

AC	Střídavá složka napětí / proudu
aFRP	Zálohy pro regulace výkonové rovnováhy s automatickou aktivací
aFRR	Výměna regulační energie ze záloh pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací
Aktivace IN	Zálohy dodávky energie do / ze zahraničí v rámci spolupráce na úrovni TSO
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
Brutto	Celková výroba elektřiny na svorkách generátorů
DC	Stejnoseměrná složka napětí / proudu
DECE	Decentralizované energetické zdroje
DG	Distribuční generátory
DMSC	Řadič systému pro správu distribuce
DŘS	Dispečerský řídicí systém
DS	Distribuční soustava
DSM	Managementu strany poptávky (Unified Demand Side management)
DTS	Distribučních stanice
DZ	Diagram zatížení
EGÚ	Energetický ústav
ENTSO-E	Evropská síť provozovatelů přenosových soustav
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
EZ	Energetický zákon
FACTS	Flexibilní střídavé přenosové systémy
FVE	Fotovoltaické elektrárny
GPRS	Systém odečítání elektroměrů (General Packet Radio Service)
GSM	Systém telekomunikace (group special mobile)
GTO	Vypínací tyristor (Gate turn-off thyristor)
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HDP	Hrubý domácí produkt
I	Hodnota ozáření (W / m ²)

IED	Inteligentní elektronická zařízení
IGBT	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (Insulated Gate Bipolar Transistor)
IGCT	Tyristor obsahující integrovaný řídicí obvod (Integrated Gate Commutated Thyristor)
IoT	Internet věcí
IT	Inteligentní technologie
JRC	Výzkumné středisko v EU (Joint Research Centre)
LC	Filtr s indukčností a kapacitou
LDS	Lokální distribuční soustava
mFRR	Výměna regulační energie ze záloh pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací
mFRP	Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (t = 5, 15 minut)
MG	Mikro síť (Microgrid)
MOSFET	Řízený tranzistor (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	Malé vodní elektrárny
NAP	Národní akční plán
Netto	Rozdíl mezi celkovou výrobou elektřiny a vlastní spotřebou na výrobu elektřiny
NN	Hladina nízkého napětí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P	Instalovaný výkon (W)
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PE	Parní elektrárny
PMU	Fázorové měření
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PPPS	Pravidla provozování přenosové soustavy
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
PpS	Podpůrné služby
PS	Přenosová soustava
Q	Jalový výkon (Var)

RIS3	Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci
RoCoF	Časové změny frekvence sítě (Rate of Change of frequency)
RRP	Proces náhrady záloh
RSCs	Regionální bezpečnostní koordinátoři
RTU	Zařízení pro vzdálené řízení (Remote Terminal Unit)
SAIDI	Základní ukazatel spolehlivosti dodávky elektrické energie
SAIFI	Průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie
SCADA	Dispečerské řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition)
SEK	Státní energetické koncepce
SET	Strategický plán pro energetické technologie
SG	Chytrá síť (Smart Grid)
SM	Inteligentní domy (Smart Home)
SyS	Systémové služby
T	Teplota (°C)
TSO	Provozovatelé přenosových soustav
U	Napětí (V)
UPFC	Regulátory toku energie
VH	Vyšší harmonické v napětí
VM	Výrobní modul
VN	Hladina vysokého napětí
VŘ	Výběrové řízení
VSC	Převodník zdroje napětí (Voltage Source Converter)
VTE	Větrné elektrárny
VVN	Hladina velmi vysokého napětí
VZ	Veřejná zakázka
WAMPAC	Monitorování, ochrana a řízení velkého prostoru (Wide Area Monitoring Protection and Control)

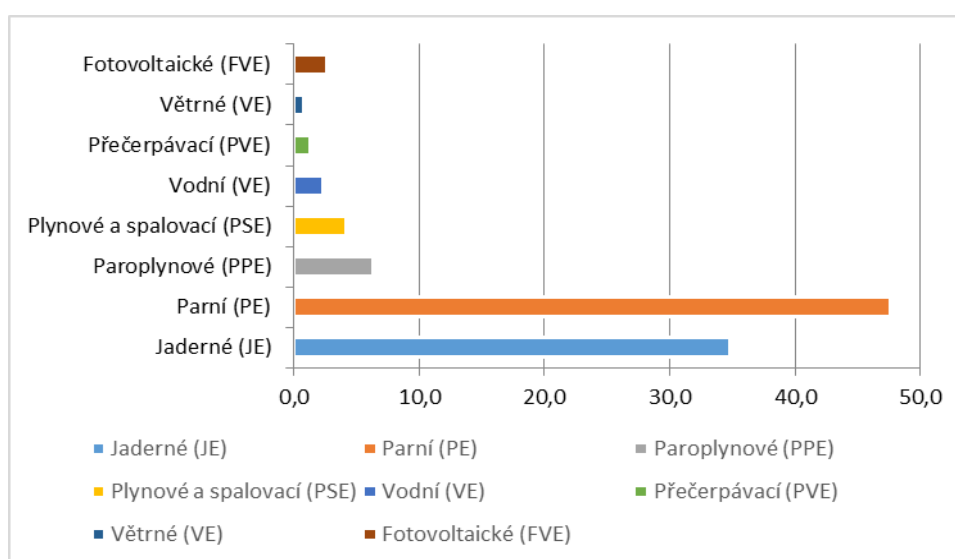
Úvod

Integrace obnovitelných zdrojů elektrické energie (OZE) do elektrizační soustavy je jedno z nejčastějších doporučení s přihlédnutím na směrnici Ochrana klimatu a energetika (2018 / 410 a 2018 / 841) [1] a [2], vydanou evropskou komisí. Pro názornou ukázkou v roce 2018 činily úhrnné emise skleníkových plynů 128,1 mil. tun CO₂ ekvivalentních, vztaženo na data z roku 1990, tomu celkově odpovídá snížení emisí o 35,6 %. Oproti tomu, integrace OZE v elektrizační soustavě (ES) přinesla řadu nových překážek, se kterými se pojí okolnosti složitého systému, například vysoká úroveň distribuce, nepravidelná dodávka elektrické energie a nedostatek inteligentních kontrolních algoritmů pro složitou síť. V minulosti byla jednoduchá topologie elektrizační sítě, která představovala dodávku od primárních zdrojů (např. uhelné elektrárny) přes transformátory a vedení k místu dané spotřeby. Dle bilanční rovnice výkonů bez uvažování ztrát platí, že jakmile je elektřina jednou vyrobena, musí být uložena nebo spotřebována. Bohužel ukládat energii ve velkém měřítku v současné době nelze zcela uskutečnit, neboť je to z ekonomických a energetických aspektů nevýhodné. V současnosti musíme efektivněji vyrovnávat nabídku s poptávkou po elektrické energii, abychom předešli špičkám v diagramu zatížení (DZ), protože zajištění provozu zdrojů, které pokrývají požadovanou spotřebu elektrické energie pouze pro špičková zatížení je velmi ekonomicky nákladné. Elektrárna dostává zapláceno za připravenost okamžitého najetí do určitého času, aby pokryla špičkové zatížení. Doba trvání špičkového zatížení je několik minut, maximálně hodin. Z praktického hlediska je výhodnější srovnat poptávku elektrické energie s dostupnou nabídkou pomocí obousměrné komunikace mezi sítí a odběratelem, tj. regulací na straně výroby, ale i spotřeby. Poskytnutím pobídek spotřebiteli z hlediska výhodnějších tarifů, pro snížení zátěže v dané oblasti za předpokladu efektivního využití dostupné kapacity. Výsledkem je značný rozvoj budoucích, inteligentních elektrických sítí, které se uplatní na všech hladinách napětí v ES s přihlédnutím na budoucí trendy.

Z výše uvedených důvodů je hlavním cílem mé diplomové práce posoudit současný stav elektrizační soustavy v ČR a zhodnotit předpokládané energetické přínosy plánovaného využití konceptu Smart Village. Pro splnění hlavního cíle mé diplomové práce je stěžejní částí této práce můj návrh jednoduchého modelu regulace výroby a spotřeby elektrické energie aplikované v řešené Smart Village, a to jak v jejím ostrovním provozu, tak i při její paralelní spolupráci s elektrizační soustavou.

1 Současný stav a plánovaný vývoj elektroenergetiky v ČR

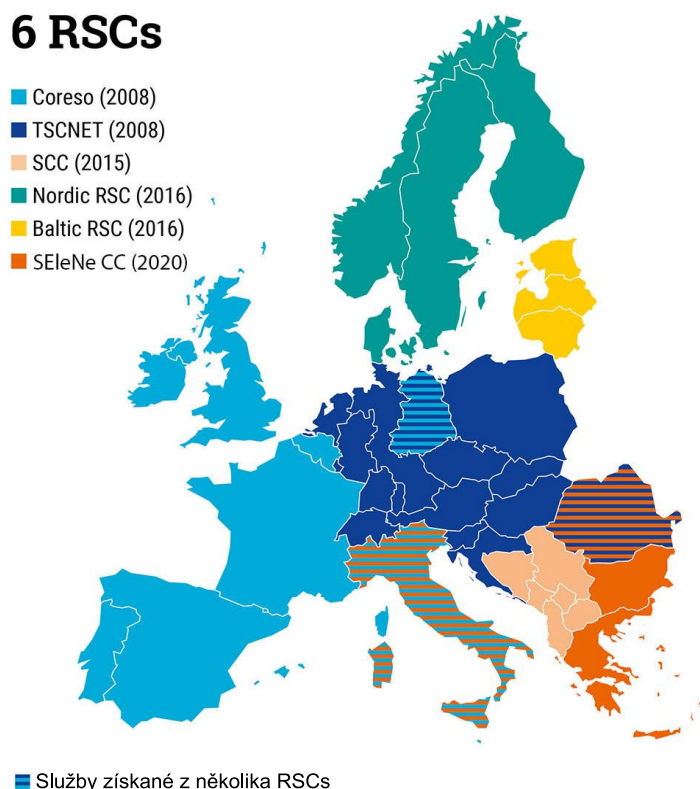
Tato kapitola se zabývá energetickou bilancí výroby a spotřeby elektrické energie z dostupných dat z roku 2019 a předpokládaným vývojem energetiky v ČR do roku 2030 s ohledem na požadavky ENTSO-E [3]. Na základě dat z konce roku 2019, dosáhla celková výroba elektřiny brutto zhruba 87 TWh v zastoupení zdrojů, viz Příloha 1. Jak je vidět z tabulky v Příloze 1, tak hlavní podíl na celkově vyrobené elektrické energii mají parní elektrárny (cca 48 %) spalující převážně hnědé uhlí. Podíl jednotlivé spotřeby energie v ČR z roku 2019 je vidět v Grafu 1. V současné době se OZE podílejí na celkovém množství vyrobené elektrické energie cca 12 % z celkového množství. Do roku 2040 ukončí výrobu elektrické energie část uhelných elektráren vlivem jejich končící životnosti a jejich neustále se zpřisňujícím emisním limitům a nezadržitelnému ubývání zdrojů fosilních paliv dle směrnice EU [4] a [5]. Spotřeba elektrické energie každým rokem narůstá, vlivem tohoto, bude potřeba postavit nové zdroje elektrické energie, které pokrývají danou spotřebu. Postupovat by se mělo dle Národního akčního plánu (NAP) [6] s přihlédnutím na závazky od Evropské unie o změně klimatu a zvyšování zastoupení obnovitelných zdrojů v energetickém mixu. Z hlediska určování trendů se budoucí vývoj české energetiky řídí dle Státní energetické koncepce (SEK) [7], jehož posláním je dle [8]: „zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky ČR, a to za konkurenceschopné a přijatelné ceny za standardních podmínek.“



Graf 1: Celková spotřeba energie v ČR z roku 2019 [3]

1.1 Evropská síť provozovatelů přenosových soustav - ENTSO-E

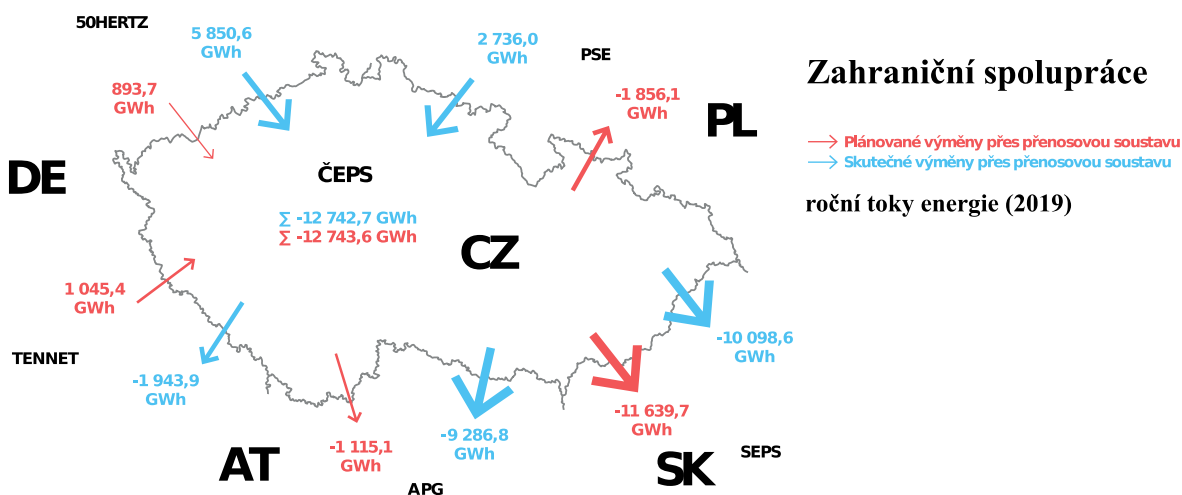
Česká republika je součástí ENTSO-E, která zastupuje 42 provozovatelů přenosových soustav (TSO) z 35 zemí v celé Evropě, pro vnitřní trh s energií od roku 2009, jehož cílem je další liberalizace trhů s plynem a elektřinou v EU. Role provozovatelů přenosových soustav se v roce 2009 vyvinula s tzv. 3. energetický liberalizační balíček. [9], v důsledku tohoto balíčku se stali provozovatelé přenosových soustav místem setkání různých aktérů na trhu s energií. Cílem ENTSO-E je vytvoření vnitřního trhu s energií, zajištění jeho optimálního fungování a podpora ambiciózní evropské energetické a klimatické agendy [1] [2]. Mezi takové agendy patří například integrace vysokého stupně OZE do evropského energetického systému a následný rozvoj flexibility a mnohem většího zaměření na zákazníka než v minulosti. Klíčem k agendě ENTSO-E je tržní přístup, zabezpečení dodávek, inovace, zaměření na zákazníka, zaměření na zúčastněné strany, flexibilita a regionální spolupráce, která má 6 koordinátorů viz Obrázek 1. [10] Činnosti systému ENTSO-E, které přispívají k dosažení cílů, jsou definovány v [11].



Obrázek 1: Regionální bezpečnostní koordinátoři (RSCs) [12]

1.2 Rozložení výkonových toků v elektrizační soustavě v ČR

Elektrizační soustava v ČR je charakterizována pomocí přenosové a distribuční soustavy, která tvoří tzv. páteřní síť. Tato soustava slouží k přenosu a rozvodu elektrické energie z místa výroby do místa spotřeby. Provozovatel přenosové soustavy je společnost ČEPS, a.s, tato soustava je tvořena zasmyčkovanou sítí na hladinách 400, 220 a 110 kV. Následně na PS navazuje distribuční soustava, která je charakterizována radiální sítí na hladině 110 kV a okružní sítí na hladině VN. DS je provozována více než třemi sty provozovateli, mezi hlavní distributory patří zejména ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s. a PREDistribuce, a.s. Ostatní provozovatelé mají pouze lokální charakter, například velké průmyslové podniky. [13] Na Obrázku 2 lze vidět přeshraniční toky v PS ČR se sousedními TSO, kterými jsou 50Hertz, TenneT, PSE, SEPS a APG.

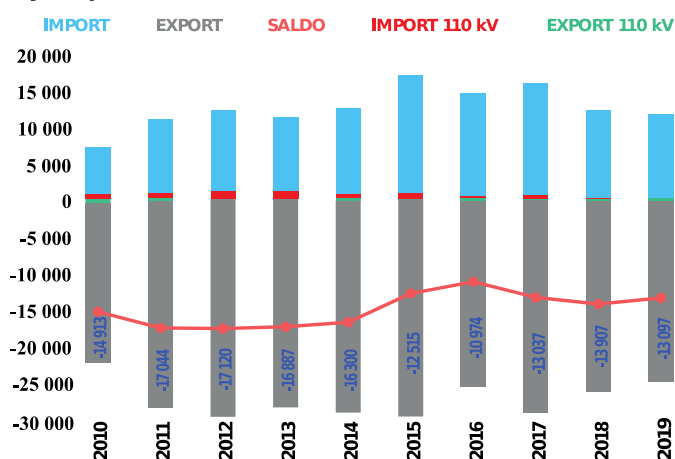


Obrázek 2: Přeshraniční toky energií přes ČR [14]

V minulosti byl směr toku elektřiny uvažován od místa výroby k odběrnému místu s nejmenší cestou odporu. V současnosti není pouze centralizovaná výroba elektrické energie, ale stále více se uplatňuje její decentralizace. V případě elektrizační soustavy ČR a EU, je tok výkonů v synchronně propojené soustavě, a tudíž je ovlivněn veškerou spotřebou, zdroji a topologií sítí v daném okamžiku. Soustavu si lze představit jako jednoduchý model s bilancí výroby, spotřeby, transformátory, větví (všechna propojení mezi uzly tvoří jednu větev), které jsou propojené pomocí uzlů (kontrolní oblasti, TSO, stát), tyto větve jsou definovány limitní hodnotou přenosu výkonového toku jednotlivých uzlů, které přenáší výkonový tok z hlavního uzlu do jiného uzlu (např. přeshraniční trasa do sousední TSO), viz Obrázek 2. V České republice se bilance toků činných a jalových

výkonů řeší uvnitř ES a mezi jednotlivými TSO za pomoci regulace frekvence a napětí dle statických charakteristik, tj. pomocí primární, sekundární a terciární regulace. Přičemž pro regulaci napětí je důležitá regulace v tzv. pilotních uzlech (Kočín, Krasíkov, Výškov, Mělník, Týnec apod.). Tato koncepce regulace je určena kvalitativními parametry (velikost napětí, frekvence, jednotlivé fáze napětí mezi vodiči, sinusový průběh napětí) s definovanými provozními kritérii na základě stanovených cílů pro regulaci výkonových toků [15]. Vývoj salda od roku 2010 až do současnosti lze vidět v Grafu 2, kde v jednotlivých letech je zaznamenána velikost importu, exportu, průměrného salda, importu do sítě 110 kV a exportu ze sítě 110 kV, která ovlivňovala naši elektrizační soustavu.

Vývoj salda od roku 2010 (GWh)



Graf 2: Roční fyzikální toky [14]

Existuje několik důvodů, proč je potřebné a též velmi důležité řízení výkonových toků. Jedním z takových důvodů je například náhodné přetěžování vedení, vlivem neřízených výkonových toků, které se nejčastěji projevují v údržbových nebo neúplných stavech sítě (např. před rekonstrukcí nebo pokud není v adekvátním stavu dané vedení). Cílem je tedy omezit rizika přetěžování vedení alespoň části či celé elektrizační soustavy v ostrovním provozu, kde tento zvýšený nárůst nepravidelných toků je zapříčiněn z velké části od větrných parků na severu Německa, viz Obrázek 2, kde se výrazně liší plánovaný a skutečný přenos výkonových toků. V souvislosti s rostoucím přeshraničním tokem elektrické energie (z větší části mezistátní), které vedou k přetěžování a složitým řízením toků, mohou ve větší míře nastat nové výskyty úzkých míst v sítích (například vedení, které nezvládne časté přetížení, vlivem přenášeného výkonového toku). V souvislosti s tímto problémem může nastat riziko výpadků a přerušení zásobování v daných oblastech

nebo nevyžádané obchodní tranzity, což má za následek šíření velkých systémových poruch apod. [16]

1.3 Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu

Na základě požadavku nařízení Evropského parlamentu a Rady 2018 / 1999 [17] o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu byl navrhnut Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu [18], který obsahuje cíle a energetickou politiku pro rok 2021 až 2030 s výhledem do roku 2050. Cíle Vnitrostátního plánu jsou snižování emisí, zvyšování energetické účinnosti a podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu. Plán vychází ze dvou strategických dokumentů, jedním z nich je Státní energetická koncepce ČR z roku 2015 [19] (aktualizována v roce 2019) a Politiky ochrany klimatu v ČR [20], schválena v roce 2017. [18] V následujícím textu je uvedeno stručné shrnutí a představení jednotlivých cílů a příslušných cílových hodnot definovaných ve výše zmíněných dokumentech.

- **Oblasti energetiky a klimatu**

V roce 2005 byly emise skleníkových plynů v ČR zhruba 146 milionů tun CO₂ ekvivalentní. Evropská unie zavedla celoevropský cíl, za účelem snížení skleníkových plynů na úroveň 43 % do roku 2030 v porovnání s rokem 2005 (zhruba 5 300 milionů tun CO₂ ekvivalentní) [21]. Česká republika má za cíl snížit tyto emise do roku 2030 na úroveň 30 % v porovnání s rokem 2005, což odpovídá snížení emisí o 44 milionů tun CO₂ ekvivalentní.

Z hlediska dekarbonizace je kladen celoevropský cíl zhruba 32 % podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie EU do roku 2030. ČR navrhla s ohledem na tento cíl zvýšení využívání obnovitelných zdrojů energie na 22 % do roku 2030, což je 9 % nárůst v porovnání s rokem 2020, který činí 13 % podíl OZE. [18]

- **Energetická účinnost**

V rámci dimenze energetické účinnosti pro období 2021 až 2030, jsou navrženy tři cíle:

- indikativní cíl pro velikost primárních energetických zdrojů, konečné spotřeby a energetické intenzity,
- závazný cíl v oblasti energetických úspor budov veřejného sektoru,
- závazné meziroční tempo úspor konečné spotřeby.

Do roku 2030 plánuje ČR dosáhnout energetické intenzity HDP na úroveň 0,157 MJ / Kč, primárních energetických zdrojů na úroveň 1 727 PJ a konečné spotřeby 990 PJ. V letech 2018 a 2019 na základě z dostupných dat EUROSTAT a predikce spotřeby, byl stanoven závazek o kumulovaných úspor energie, které činí 462 PJ. [18]

- **Energetická bezpečnost**

Z hlediska energetické bezpečnosti jsou kladeny cíle zvýšení diverzifikace energetického mixu, zajištění dostatečného rozvoje pro energetickou infrastrukturu, nezvyšovat dovozní závislost od sousedních států, tedy zachování si soběstačnosti ve spotřebě elektřiny což je například v současnosti tendr o stavbě nového bloku elektrárny Dukovany, jehož výstavba se plánuje v roce 2029 a dokončení do roku 2036. [18]

- **Vnitřní trh s energií**

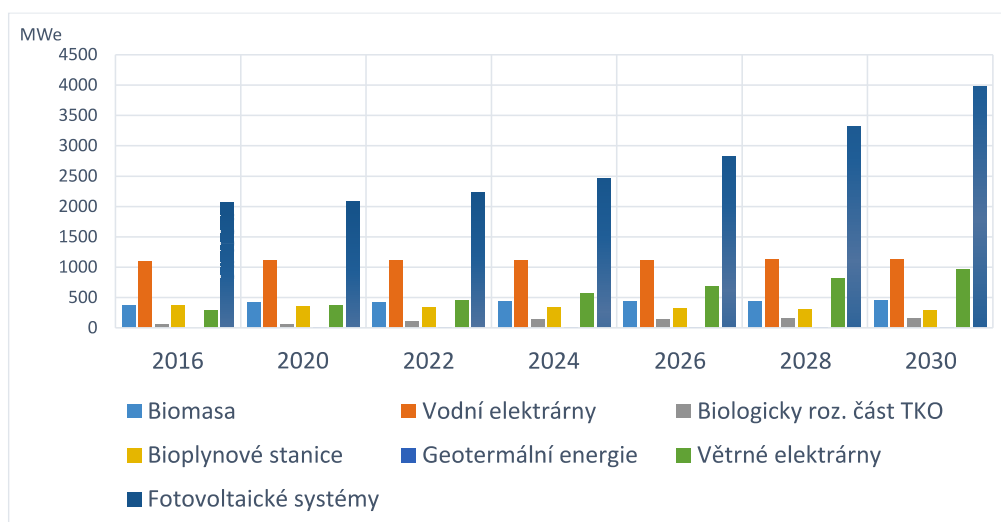
S ohledem na dimenzi vnitřního trhu s energií, se dá konstatovat splnění cíle v oblasti interkonektivity elektrizační soustavy do roku 2030 na úroveň 15 %. Cílem ČR je udržení importní / exportní kapacity přenosové soustavy v poměru k maximálnímu zatížení na úrovni alespoň 30 % / 35 %, což odpovídá k cíli instalovanému výkonu 15 %. V současnosti ČR nepovažuje za nutné zavádět další specifické politiky, protože se již pohybuje na úrovni téměř 30 %. [18]

- **Výzkum, inovace, konkurenceschopnost**

Pátá dimenze EU je zaměřená na výzkum, inovace a konkurenceschopnost. ČR nemá stanoveny cíle v oblasti výzkumu, vývoje a inovací, které souvisejí specificky s energetickou unií. V oblasti udržitelné energetiky je jedna z prioritních oblastí klíčových strategických dokumentů, jako je například Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci (Národní RIS3 strategie) [22]. ČR při vytváření priorit v této oblasti, zohledňuje i priority na úrovni EU, zejména tzv. Evropského strategického plánu pro energetické technologie (plán SET) [23], což má za prioritu nízkouhlíkové strategie, které pro ČR nelze přesně stanovit. Vnitrostátní plán uvádí odhad veřejných finančních prostředků, přidělených v rámci sektoru energetiky. [18]

1.4 Národní akční plán

Původní NAP pro chytré sítě z roku 2015 byl v roce 2019 aktualizován a současné plánování je stanoveno až do roku 2030. Tento plán byl zpracován Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO), na základě požadavků Státní energetické koncepce (SEK). Plán se zabývá analýzou budoucích potřeb a variant řešení klíčových otázek, které by měla být uskutečněna do roku 2030. Integrací a rozvojem decentralizovaných zdrojů (FVE, kogenerace, VTE, MVE, biomasa, BRKO atd.) viz Graf 3, spotřeby a akumulčních zařízení do elektrizační soustavy bude potřeba vytvořit regulační, tarifní a legislativní podmínky. Integrací se rozumí připojení daného zařízení a vytvoření podmínek zajišťujících spolehlivý a bezpečný provoz elektrizační soustavy ČR, obě tyto podmínky musí zajistit provozovatel distribuční soustavy (PDS) a provozovatel přenosové soustavy (PPS). Formou pilotních projektů, studií a analýz je záměr o uskutečnění podpory a rozšíření digitalizace elektrizační soustavy. [6] Hodnoty vývoje predikovaných instalovaných výkonů jednotlivých decentralizovaných zdrojů do roku 2030 lze nalézt v Příloze 2.



Graf 3: Predikce instalovaného výkonu v ČR [6]

V následujícím textu je uvedeno stručné shrnutí a představení jednotlivých strategických cílů, které byli stanoveny na základě budoucích trendů v rozvoji energetiky.

- **Vytvořit podmínky pro vyšší penetraci decentralizovaných, zejména obnovitelných zdrojů elektřiny, akumulace a elektromobility**

Koncepční varianty z roku 2018 pojednávají o očekávané dlouhodobé rovnováze, odpovídající strategii rozvoje dle SEK. Podíl decentralizovaných zdrojů by měl pro rok 2030 odpovídat 20 % až 25 %, oproti 18 % v roce 2018. Tento trend odpovídá též

požadavkům dle Návrhu vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu, viz kapitola 1.3. Z hlediska opatření, které musí nastat z důvodu vyššího podílu decentralizovaných zdrojů, jsou zavedena opatření například posilování sítě, implementace chytrých distribučních stanic (DTS) na hladině VN / NN (40 % všech distribučních trafostanic do konce roku 2030), osazení měření kvality elektřiny na transformátorech VN / NN (65 % všech transformátorů na hladině VN / NN do konce roku 2030) nebo výstupy projektu Management Q [24]. Projekt Management Q se zaměřuje na analýzu a popis zdrojů toků v ES ČR, dále se projekt zaměřuje na vyhodnocení stávajícího stavu toků Q v ES ČR. Poslední zaměření projektu je kladeno na zpracování koncepčního návrhu a to z hlediska legislativního, ekonomického a technického opatření pro řízení toků jalové energie. Přehled základních trendů NAP lze nalézt v Příloze 3. [6]

- **Zvýšit spolehlivost, kvalitu a bezpečnost dodávek elektrické energie**

S cílem zajistit tyto nastíněné ukazatele, je potřeba snížit míru přerušení dodávek a naopak zvýšit kvalitu dodávané elektrické energie, která je definována stabilitou frekvence a napětí, vysokou mírou schopnosti obnovy dodávané elektřiny po výpadku a odolnosti sítí vůči vnějším podmínkám. Prostřednictvím kombinace ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie SAIFI, dle [25] *“Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období”* a SAIDI, dle [25] *„Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období“*. Energetický regulační úřad (ERÚ) určuje míru kvality síťových služeb, které jsou nastaveny pro každého držitele licence individuálně a zvyšování jejich hodnoty vede PDS k zlepšování kvality služeb. [6]

- **Zajistit vyšší dostupnost informací zákazníkům**

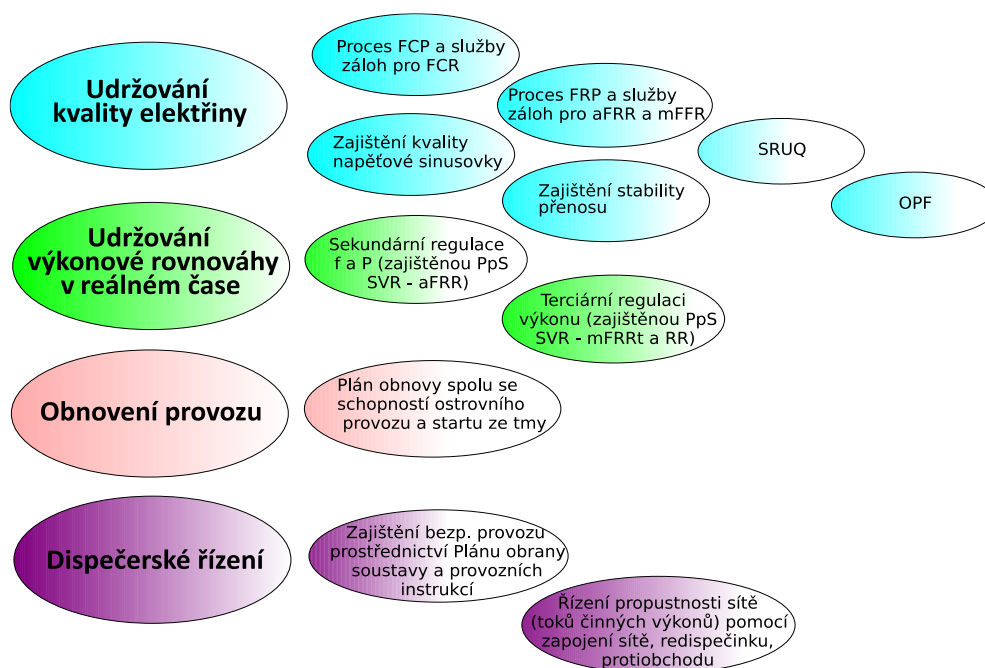
S cílem aktivně zapojit zákazníky do trhu s elektřinou a souvisejícími službami, vede ke zvýšení energetické účinnosti spotřeby energie. Jedním z prostředků pro uskutečnění bude zavedení inteligentních měřicích systémů (v souladu s požadavky Směrnice (EU) 2019 / 9443), kde kritériem úspěšnosti implementace, bude dodržení harmonogramu v upravené vyhlášce o měření elektřiny. [6]

2 Kodex přenosové soustavy v současnosti

Na základě současného stavu elektrizační soustavy v ČR zmíněného v předchozí kapitole 1, je zde dále stručně představen Kodex přenosové soustavy ČR, který obsahuje základní požadavky a pravidla pro provoz a řízení elektrizační soustavy v ČR zahrnující i požadavky ENTSO-E. Kodex PS tedy definuje základní terminologii, prostředky a postupy sloužící pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu ES. Přičemž kvalita dodávané elektrické energie závisí na udržování hodnot frekvence (globální parametr) a napětí (lokální parametr) na jejich jmenovitých hodnotách, čehož je dosahováno pomocí tzv. systémových a podpůrných služeb. Vzhledem k tomu že v současnosti stále převažují v energetickém výrobním mixu velké elektrárenské zdroje (parní, jaderné, paroplynové a plynové elektrárny), tak je výkonová bilance v ES na straně zdrojů řízena převážně centrálně z dispečinku ČEPS, a. s. S plánovaným rozvojem decentralizované výroby bude potřeba i změnit stávající Kodex PS a celou strategii provozu a řízení ES.

2.1 Systémové služby

Část I Kodexu přenosové soustavy obsahuje informace o provozování systémových služeb (SyS). Systémové služby slouží k zajištění kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny. Přehled jednotlivých SyS, lze nalézt na Obrázku 3.

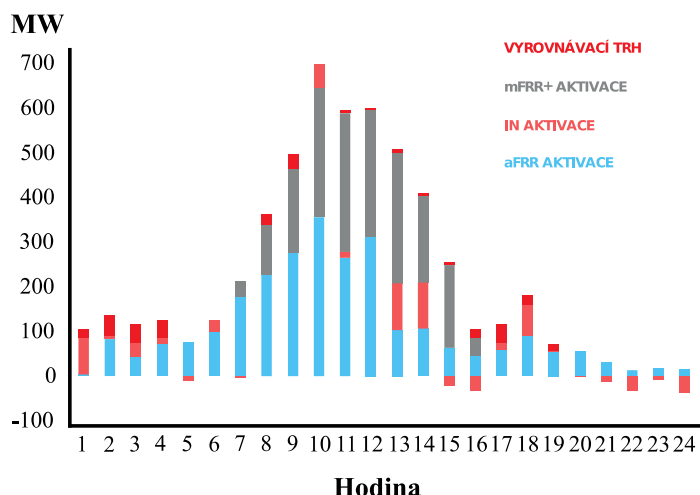


Obrázek 3: Členění jednotlivých systémových služeb [6]

Společnost ČEPS, a.s. zajišťuje SyS formou řídicí nebo koordinační na úrovni přenosové soustavy (PS), podle Energetického zákona. Úkolem SyS je zajistit bezpečný a spolehlivý provoz PS, její kvalitu přenosu elektrické energie a zajištění požadavků v rámci mezinárodní spolupráce ENTSO-E a z legislativy EU pro bezporuchový provoz elektrizační soustavy ČR. [26] Jednotlivý princip služeb, které jsou vyznačené na Obrázku 3, jsou detailně popsány v Kodexu PS část I [26].

Spotřebitelé, kteří využívají službu SyS, hradí tuto službu jako součást ceny elektřiny. Finanční prostředky získané z této služby jsou prostřednictvím provozovatelů regionálních distribučních soustav a výrobců placeny společností ČEPS. ČEPS, a.s. určuje vyšší ceny, dle vydaného Cenového rozhodnutí pro daný kalendářní rok. [26]

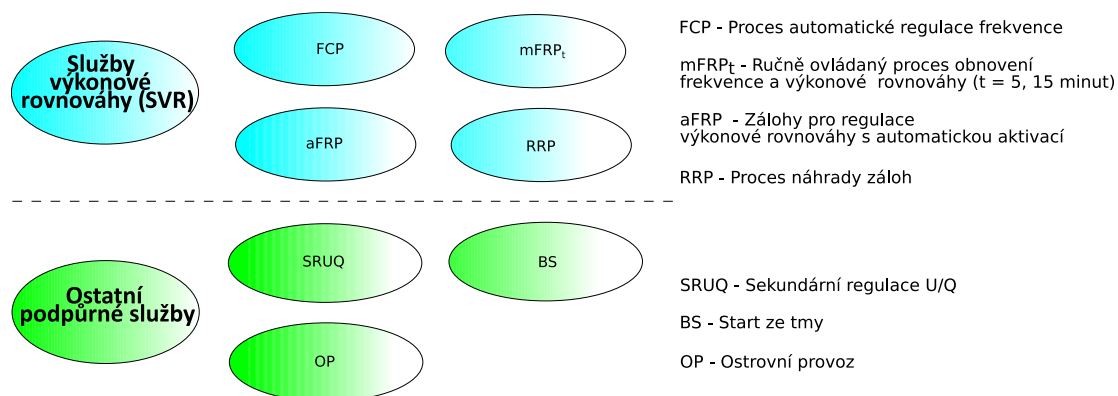
V Grafu 4 je vyobrazena aktivace služeb výkonové rovnováhy ze dne 22. 1. 2019 dle legendy. Společnost ČEPS reguluje poptávku službou vyrovnávacího trhu [27], která reguluje výkonové toky, pomocí opatřené regulační energie na domácím trhu a domácím vyrovnávacím trhu (není nutná aktivace zálohy pro její použití). Dále je služba výměny regulační energie ze záloh pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací (mFRR), kterou je možné poskytovat ve dvou variantách pro $t = 5$ minut nebo $t = 15$ minut s minimální regulační zálohou 30 MW a 10 MW na jednom energetickém zařízení. Aktivace IN zálohy je dodávka energie do / ze zahraničí v rámci spolupráce na úrovni TSO, při procesu vzájemné výměny systémových odchylek. Poslední zálohou z Grafu 4 je aFRR záloha (kladná i záporná), což znamená automatické obnovení frekvence a výkonové rovnováhy. Záloha je prováděna změnou hodnoty výkonu regulované jednotky, dle požadavku regulátoru frekvence a salda předávaných výkonů, která se provádí řízením frekvence zátěží (LFC). Aktivace jednotlivých služeb je zejména dopoledne a přes poledne, popřípadě večer kolem 20 h z důvodu vysokého zatížení, a tím nevyrovnané výkonové bilance elektrizační soustavy (ES) ČR. [26], [27], [28]



Graf 4: Využití služeb výkonové rovnováhy [2]

2.2 Podpůrné služby

Z kodexu přenosové soustavy části II. jsou sepsány podpůrné služby (PpS), jejich přehled a služby, které zajišťují, lze nalézt na Obrázku 4. Za účelem zajištění systémových služeb (SyS), využívá ČEPS, a.s. podpůrné služby, poskytované jednotlivými účastníky trhu s elektřinou, pro zajištění provozování elektrizační soustavy, kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny. Obecně, všichni účastníci trhu s elektřinou musí splňovat požadavky, jako je „měřitelnost“, která má stanovené kvantitativní parametry a určitý způsob měření. „Certifikovatelnost“, neboli způsob prokazovat služby, pomocí periodických testů, které účastník je schopen poskytnout. Dále požadavek na garantovanou dostupnost služby, možnost vyžádat si inspekci nebo průběžnou kontrolu poskytování služeb. Pomocí těchto požadavků je schopna PpS korigovat rozdíl mezi výrobou a odběrem elektrické energie, za pomoci změny výkonu ve výrobních blocích (regulační výkony), na straně zásobitelského systému a spotřeby (regulační zatížení), na straně spotřebitelského systému. Principy jednotlivých podpůrných služeb jsou detailně popsány v Kodexu PS část II. [26]



Obrázek 4: Členění jednotlivých podpůrných služeb [26]

3 Decentralizované zdroje

Decentralizované zdroje jak již bylo zmíněno, nemusí být jen ve velkém měřítku solární a větrné elektrárny, ale s nástupem digitalizace a direktivy EU na vyšší podíl OZE s tzv. Winter package [29], přichází trend o instalaci těchto zdrojů na rodinné, bytové domy či firemní budovy. Integrací těchto decentralizovaných zdrojů do DS, při výpadku klasických energetických zdrojů, jsme schopni v případě potřeby vytvořit menší ostrovní oblasti části elektrizační soustavy a zachovat tak dodávku elektrické energie pro řízení a regulaci částí ES tak, aby nedošlo k úplnému blackoutu. Z toho důvodu se musí v budoucnosti přizpůsobit i technologie a řízení provozu distribučních a přenosových sítí. A dále je potřeba umožnit regulaci decentralizovaných zdrojů a řízenou akumulaci elektrické energie tak, aby se i decentralizované zdroje (OZE) mohli částečně podílet na udržení požadované kvality a množství dodávek elektrické energie v ES. [30]

Tuto kapitolu chci zaměřit především na vysvětlení principu provozu fotovoltaických elektráren (FVE), jelikož jsem je jako příklad decentralizovaných zdrojů použil v modelu mnou navržené a řešené Smart Village. Zároveň tato kapitola obsahuje pravidla a požadavky pro připojování FVE do DS a PS.

3.1 Fotovoltaické elektrárny

Z hlediska využití fotovoltaických elektráren na střechách objektů je tento koncept popsán v kapitole Smart Home. Tato kapitola je zaměřena na fotovoltaické elektrárny, které účelově napájí danou Smart Village. V Příloze 3, jsou stručně vypsána technická data (výroba, spotřeba a vlastní spotřeba) instalovaných FVE v České republice z roku 2019 [3].

Fotovoltaický panel je technické zařízení, které transformuje získanou energii ze slunečního záření na elektrickou energii. Výroba elektrické energie závisí na intenzitě slunečního záření a teplotě okolí. Pro můj model jsem si vybral solární panel typu SW 270 mono od výrobce SolarWorld, jehož V-A charakteristika FV článku při různé intenzitě záření je vidět na Obrázku 5.

Výkon za standardních zkušebních podmínek (STC)

* STC: 1000W/m ² 25°C AM 15		SW 270
Maximální výkon	P _{max}	270 Wp
Napětí naprázdno	U _{oc}	38,3 V
Napětí při jmenovitém výkonu	U _{MPP}	32,1 V
Proud nakrátko	I _{sc}	8,90 A
Proud při jmenovitém výkonu	I _{MPP}	8,42 A

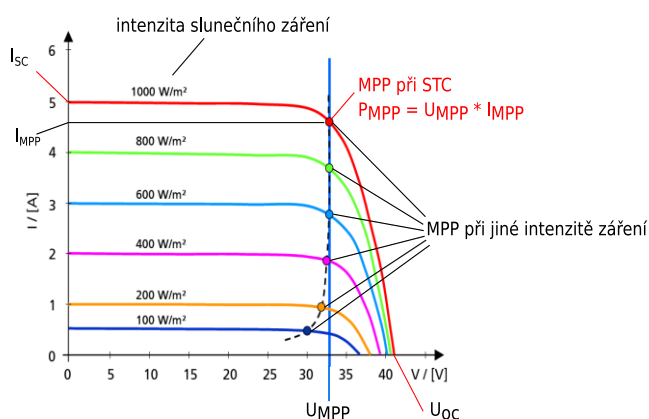
Parametry systémové integrace

Maximální systémové napětí SC II	1000 V
Maximální systémové napětí USA NEC	600 V
Maximální zpětný proud	16 A
Počet přemostňovacích diod	3

Tepelné vlastnosti

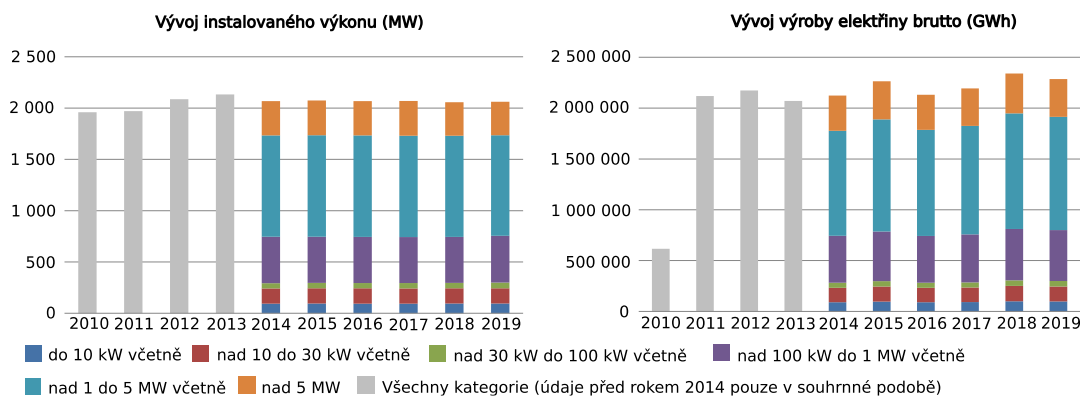
NOCT	46 °C
TCI _{sc}	0,00 4 % / K
TC _{oc}	- 0,30 % / K
TC _{MPP}	- 0,45 % / K
Provozní teplota	- 0,40 °C do 85 °C

Obecná VA charakteristika FV článku



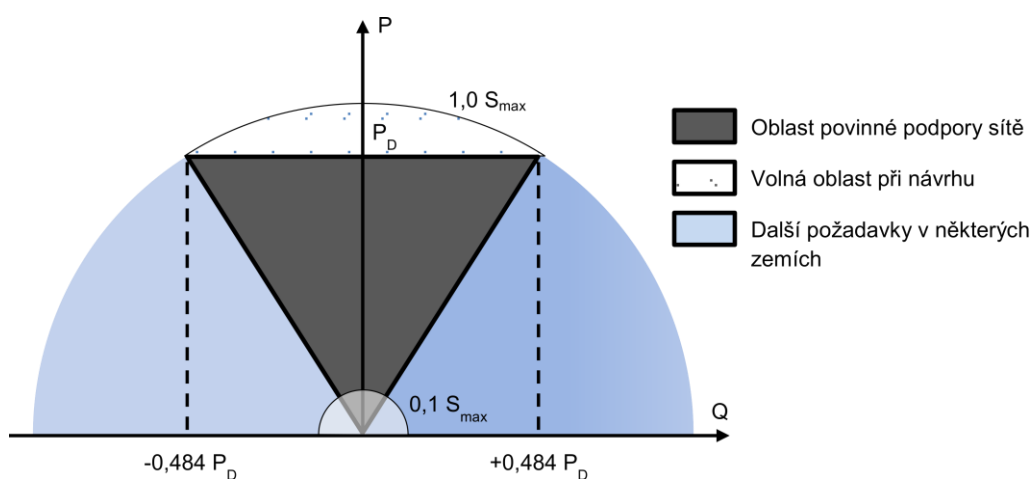
Obrázek 5: Datasheet FV panelu typ SW 270 Mono [31], [77]

Existuje několik typů FV panelů od klasických křemíkových až po složené z tenkovrstvých solárních článků. Fotovoltaické elektrárny mohou být připojeny do distribuční sítě a napájet tak ES tzv. on grid (zapojen do sítě), nebo pracují odděleně od sítě a využívají se převážně k akumulaci elektrické energie pro její pozdější využití, tj. jsou v autonomním režimu a napájí většinou jeden objekt např. rodinný dům, tj. zapojení FVE tzv. off grid (mimo síť) [33], viz Příloha 7. V současnosti se uplatňuje nejvíce hybridní způsob. [32] V Grafu 5 lze vidět vývoj instalovaného výkonu FVE spolu s vývojem výroby elektřiny brutto. V minulosti, převážně od roku 2009, vlivem dotací od EU, byl velký zájem o FVE, kterým se odstartovala v ČR velká integrace těchto zdrojů až zhruba do roku 2011. Od roku 2011 množství nových instalovaných FVE opět pokleslo vlivem omezení státních dotací a negativních dopadů na elektrizační soustavu. V současnosti je o tyto zdroje velký zájem a to zpravidla podle nové směrnice EU [1] a [2], ze které plyne požadavek na postupné zvyšování instalovaného výkonu OZE. Především v případě ČR je jedna z možností právě zvýšení instalace a využití FVE.



Graf 5: Vývoj instalovaného výkonu a elektřiny brutto z FVE [3]

On grid systém je zapojen paralelně do DS a dle PPDS Příloha 4 [34] jsou možné tyto základní zapojení výroben do DS: například přímo do distribuční sítě NN nebo pomocí spínacích a jisticích prvků do rozvaděče (může být uvažována i akumulace). Dále je možnost připojení výrobní z nadzemního vedení VN přípojkou výrobce nebo samostatným vedením do VN rozvodny LDS (lokální distribuční soustavy), poslední možností je připojení výrobní zasmyčkováním do VN vedení. Protože FVE produkuje stejnosměrný (DC) proud resp. napětí, je zapotřebí použít střídač pro převedení DC proudu na střídavý (AC), to lze uskutečnit například střídači typu IGBT, IGCT, GTO tyristorů nebo tranzistory MOSFET pro menší výkony. Vlivem zpětných vlivů na síť je zapotřebí za střídač umístit LC filtr na odstranění vyšších harmonických (VH) a zajištění potřebného sinusového průběhu proudu. [35] Regulovat výkon z FVE lze v současnosti pomocí hromadného dálkového ovládání (HDO), případně pomocí jednotky RTU (Remote Terminal Unit) [36]. Akumulace energie z FVE je možná do akumulátorových baterií nebo tepelných zásobníků. Při použití standardních měničů dodává FVE pouze činný výkon. Z toho důvodu jsou měniče, určené pro FVE, optimalizovány a využívají tzv. MPP tracker, který nastavuje pracovní bod střídačů tak, aby odpovídal aktuálnímu bodu maximálního výkonu připojených panelů dle atmosférických podmínek (teplota, sluneční svit) v daném okamžiku. [35] Pomocí FVE je možné i podpořit udržení požadované hodnoty napětí v síti NN pomocí jalového výkonu zdrojů, tzn. pomocí regulace decentralizovaného zdroje dle P-Q diagramu, viz Obrázek 6. Tento diagram znázorňuje požadavky na dodávku / odběr jalového výkonu při jmenovitém napětí U_n , kde P_D je návrhový výkon výrobní, S_{max} je špičkový výkon zdroje.



Obrázek 6: P-Q diagram pro statickou regulaci [34]

3.2 Pravidla pro připojování fotovoltaických elektráren do PS

V Kodexu přenosové soustavy části IV. jsou vypsány pravidla pro připojení těchto decentralizovaných zdrojů (FVE, VTE) do elektrizační soustavy. Pravidla jsou obdobná jako pro klasický výrobní blok, ale zde se navíc kladou požadavky vyplývající ze specifických vlastností a způsobu jejich provozu (zejména proměnlivost výkonu, která je závislá na síle větru a intenzitě slunečního svitu). [26]

- **Jmenovitý výkon větrné resp. fotovoltaické elektrárny**

Jednotlivé bloky FVE resp. VTE jsou součtem jmenovitých výkonů připojených do jednoho přípojného místa.

- **Procesní pravidla pro připojování VTE a FVE do přenosové sítě**

Předkládaná dokumentace k žádosti o připojení, musí mít doklad o vypořádání pozemků v lokalitách, kde se plánuje výstavba elektrárny. Dále je potřeba získat vyjádření příslušných obcí v katastrálním území ohledně výstavby dané elektrárny. Nakonec se musí doložit doklad o zahájení řízení pro odbor životního prostředí [26]

- **Frekvenční a napěťové meze v PS pro provoz VTE a FVE**

Schopnost elektrárny trvale dodávat výkon, který by měl být v rozsahu napětí přenosové sítě.

Jedná se o hladiny napětí: $400 \text{ kV} + / - 5 \% = 420 - 380 \text{ kV}$

$220 \text{ kV} + / - 10 \% = 242 - 198 \text{ kV}$

Z hlediska trvalé dodávky výkonu v závislosti na frekvenci, je tolerance v rozmezí 49,5 – 50,5 Hz.

- **Maximální růst dodávaného činného výkonu**

Výrobní zdroj má stanovenou doporučenou hodnotu, kterou může dodávat v rozmezí 1 - 30 MW / min nebo 10 % z ($P_{\text{inst}} / \text{min}$), dle dohody s PPS. Schopnost samostatné funkce v ostrovním režimu pro VTE a FVE není zatím v současnosti požadována. [26]

3.3 Pravidla pro připojování fotovoltaických elektráren do DS

V Příloze 4 PPDS [34] jsou stanoveny podmínky připojitelnosti zdroje. Nově připojované výrobní do DS musí být připraveny pro instalaci ovládacího obvodu komunikační cesty, mezi novou výrobnou a elektroměrovým rozváděčem. Výrobní s instalovaným výkonem nad 100 kVA, musí mít spínač s oddělovací funkcí, který je vybaven navíc dálkovým ovládním a signalizací stavu. Mezi zásadní pravidla pro posuzování připojitelnosti zdrojů do DS patří dostatečná kapacita sítě, do níž se zdroj připojuje, zpětné vlivy zdroje na síť, požadavky na statickou a dynamickou podporu sítě (schopnost výrobní podílet se na udržování napětí při dodávce do sítě), kvalitu napětí v síti a pouze ohlašovací povinnost pro mikrozdroje (do 10 kW bez licence). Zdroje by měli pracovat v pracovním rozsahu účinníku zdroje 0,9 induktivní a 0,9 kapacitní, z hlediska připojitelnosti zdroje se kontroluje podle PPDS pro $\cos \varphi = 1$. [76]

- **Požadavky na technické vybavení výroben s inst. výkonem 100 kW a více připojených k DS**

Výrobní nad 100 kW musí být schopna adekvátně reagovat na příkazy z dispečinku PDS ke změně požadovaného činného výkonu na 60, 30 a 0 % jmenovité hodnoty včetně povelu na zrušení příkazu. Regulace činného výkonu probíhá stupňovitě v režimu 0, 30, 60 a 100 % instalovaného výkonu. Regulace mezi stupni je bez přechodu na mezistupeň 0 nebo 100 %. U výrobní, řízenou dálkově, nelze regulovat stupňovitě, ale musí být zajištěna regulace plynule na zadanou hodnotu napětí z dispečerského řídicího systému (DŘS), pomocí U / Q regulace. U / Q regulace je v rozsahu P-Q diagramu v rozmezí 0,95 v druhém kvadrantu (odběr Q při dodávce P) – 1 – 0,95 ve třetím kvadrantu (dodávka Q při dodávce P). Tento rozsah regulace se vztahuje k předávacímu místu do DS. [73]

Z hlediska chování výroben v síti, na základě normálních provozních podmínek platí následující požadavky, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Provozní frekvenční rozsah výroben v sítích NN, VN a 110 kV

Rozsah frekvence	Minimální doba provozu
47 – 47,5 Hz	20 s
47,5 – 48,5 Hz	30 min*
48,5 – 49 Hz	90 min
49 – 51 Hz	neomezeně
51 – 51,5 Hz	30 min

V případě časové změny frekvence sítě (RoCoF), se výrobní moduly A1, A2, B1, B2, C a D nesmí odpojit do hodnoty $+ / - 2$ Hz. RoCoF je měřena jako střední hodnota derivace frekvence v časovém intervalu 500 ms, kde tato hodnota platí i pro výrobní do 800 W, ale již není povinná. [34]

- **Rozsah trvalého provozního napětí**

- *Výrobní elektriny připojená do sítě NN*

Výrobní s výrobním modulem (VM) A1, A2 a výrobní elektriny do 800 W podle [37], musí být schopné trvalého provozu v případě, že napětí v místě připojení je v rozsahu $U_n - 15\%$ až $U_n + 10\%$. Jestliže však napětí bude nižší než stanovené U_n , potom je dovoleno snížení výstupního výkonu, které odpovídá relativní změně napětí $(U_n - U) / U_n$ [34]

- *Výrobní elektriny připojená do sítě VN a 110 kV*

Výrobní musí být schopna provozu, pokud napětí v místě připojení zůstává v rozsahu definovaném v Tabulce 2.

Tabulka 2: Dovolené rozsahy napětí pro výrobní

Rozsah napětí	Doba provozu
0,85 p.j. – 0,90 p.j.	60 minut
0,90 p.j. – 1,118 p.j.	neomezená
1,118 p.j. – 1,15 p.j.	60 minut

U výrobních modulů D (čl. 16.2 b) [38] je též rozsahu podle Tabulky 2.

Samotný výrobní modul má širší provozní rozsah, aby bylo možné uvažovat vzrůst a pokles napětí uvnitř instalace, popřípadě vliv polohy při případných změnách odboček transformátoru.

4 Smart Grids a řízené mikrosítě

Aby bylo umožněno instalovat a provozovat v rámci ES více decentralizovaných zdrojů, především FVE, je zapotřebí k nim připojit akumulčních zařízení s dostatečnou kapacitou a správně navrhnout regulační schéma regulátoru napěťových střídačů FVE i regulátorů nabíjení / vybíjení akumulčních zařízení. Pokud se bude předpokládat, že bude v sítích NN či VN připojeno více decentralizovaných zdrojů, tak je navíc nutné je v případě přechodu této části ES do ostrovního režimu regulovat jako celek, tzn. vytvořit chytré síť. V rámci těchto chytrých sítí se pak předpokládá, že provoz (ostrovní provoz a provoz při paralelním připojení s ES) těchto jednotlivých decentralizovaných zdrojů bude řízen z nadřazeného řídicího systému těchto sítí. V těchto chytrých sítí se tedy bude aplikovat obdobný princip řízení výkonových toků, jako je aplikován v PS. V závislosti na rozsáhlosti sítě a velikosti napěťové hladině zvolené ostrovní části ES budou těmito systémy Smart Grid, řízená mikrosítě (Mikrogrid), Smart Village nebo Smart Home. Dále v této kapitole jsou uvedeny charakteristické vlastnosti a příklady praktického využití těchto chytrých sítí a stručný úvod do chytré měřicí komunikační techniky, která se v těchto sítích využívá.

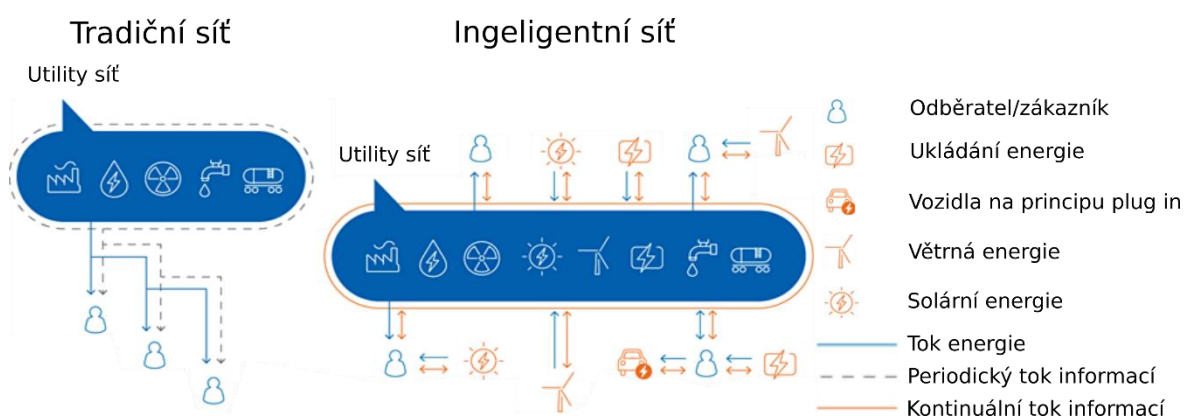
4.1 Smart Grid

Chytrá síť (Smart Grid - SG), je „elektrická síť“ schopna efektivně propojit chování a akce všech uživatelů k nim připojených, tzn. spotřebitele, výrobce a spotřebitele s vlastní spotřebou. K tomu využívá pokročilé komunikační, řídicí a informační technologie za účelem snižování nákladů, úspor při výrobě a přenosu energie, též klade důraz na zvyšování transparentnosti, spolehlivosti a bezpečnosti pro obě strany. [39], [40]

Smart Grid využívá inovativní produkty a služby spolu s inteligentními monitorovacími, řídicími, komunikačními a samoléčebnými technologiemi pro:

- lepší usnadnění připojení a provoz generátorů všech velikostí a technologií,
- umožnění spotřebitelům podílet se na optimalizaci provozu systému,
- poskytování lepších informací spotřebitelům a možnosti volby nabídky,
- významné snížení dopadu celého systému zásobování elektrinou na životní prostředí,
- zajištění zvýšené úrovně spolehlivosti a bezpečnosti dodávek.

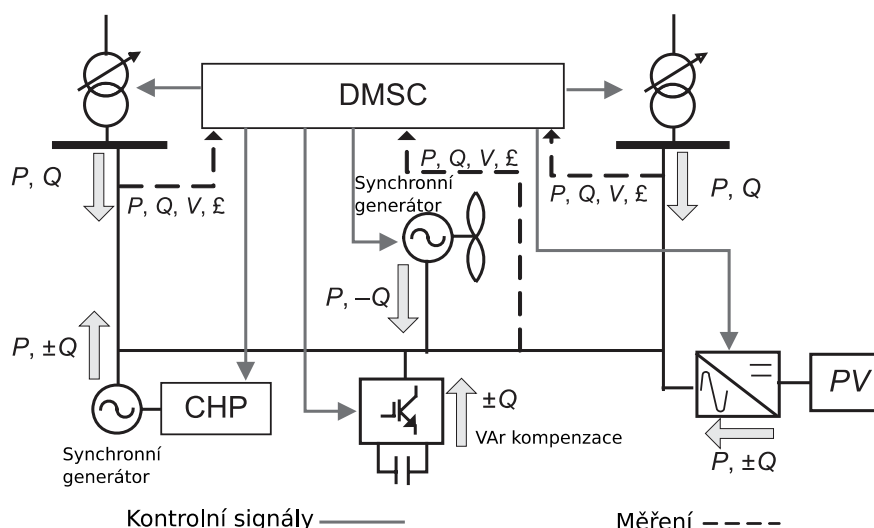
Z Obrázku 7 je zřejmé, že tradiční síť zahrnuje pouze jednosměrný přenos, tzn. že energie se přenáší z výrobního zdroje ke spotřebiteli. Naopak inteligentní síť funguje a závisí na obousměrném komunikačním toku. Regulace probíhá v reálném čase. Pro správný tok informací a správu je zásadní spolehlivost a bezpečnost komunikačních metod. Díky tomu lze například zabránit přetížení vedení a dalším nepříznivým stavům, které by mohly mít negativní vliv na provoz dané sítě. Lze se na to podívat i z hlediska spotřeby, kde si lze všimnout více zdrojů u Smart Grid, převážně OZE s nestálou výrobou energie. V tomto případě je tedy nutné konfigurovat elektrizační síť tak, aby v době výroby z těchto zdrojů byla energie posílána ke spotřebiteli (do místa zátěže), tím se zvedá účinnost sítě a tedy je zajištěna lepší kvalita dodávky elektrické energie do místa spotřeby. Nevýhodou je, že je zapotřebí složitější elektrizační síť z hlediska různých ochranných měřicích přístrojů, schopnosti zpracování velkého množství dat atd. [41]



Obrázek 7: Tradiční vs chytrá síť[41]

4.1.1 Řízení Smart Grid

Jednoduché schéma distribuční sítě s distribuovanou (decentralizovanou) výrobou elektrické energie je znázorněno na Obrázku 8. Řízení Smart Grid, tj. aktivních distribučních sítí, se liší od pasivní distribučních sítí. Za prvé, tok energie je obousměrný, tzn. že směr toku energie a velikost napětí v síti závisí na poptávce a injektovaném výkonu. Za druhé, vlivem distribuovaných zdrojů energie je větší rozsah poruchových proudů, a tudíž je nutné síť chránit složitým nastavením ochranných a koordinací. Za třetí, proud jalového výkonu v síti může být nezávislý na proudu činného výkonu. Poslední důležitá zmínka souvisí přímo s decentralizovanými zdroji energie, které jsou k ES připojeny přes výkonovou elektroniku (střídače), díky nimž se mohou v ES vyskytnout vyšší harmonické napětí a proudu. [42]



Obrázek 8: Schéma aktivního řízení distribuční sítě [42]

Na Obrázku 8 je zobrazeno kontrolní schéma vhodné pro dosažení funkcí aktivního řízení. V tomto schématu hodnotí síť řadič systému pro správu distribuce (DMSC) podmínky sítě a přijímá opatření k řízení napětí a proudů v síti. Architektura DMSC je znázorněna v Příloze 4, systém získává měření ze sítě a odesílá signály do zařízení pod jeho kontrolou. Řízené akce mohou být operace odbočky transformátoru, která mění výstup DG a tím i vstřikování / absorpci jalového výkonu. [42]

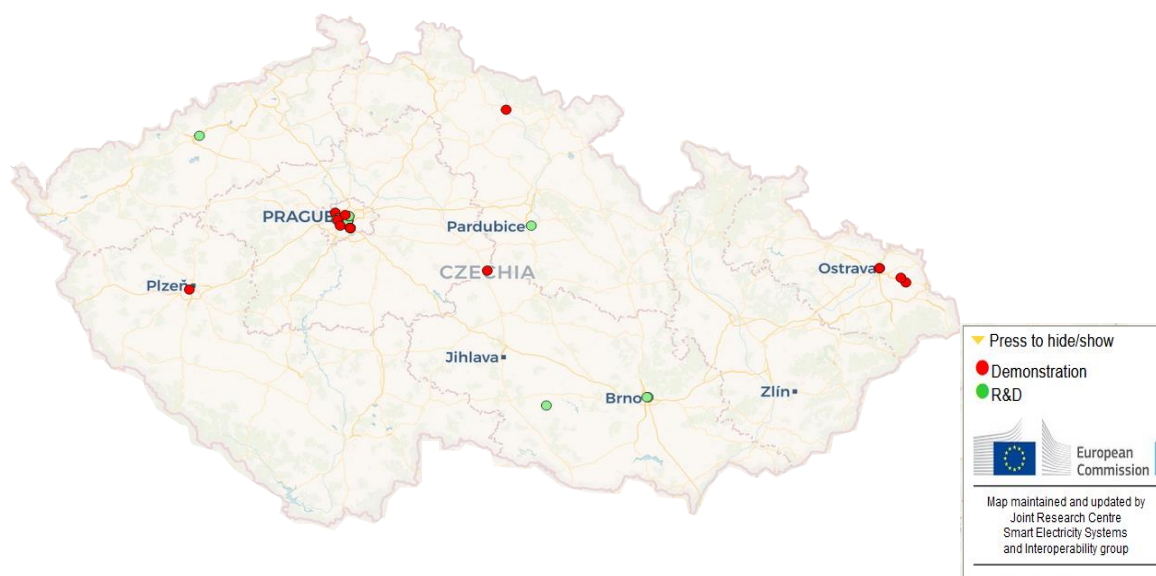
- **Informační a komunikační technologie**
 - obousměrná komunikační technologie zajišťující propojení mezi různými součástmi energetického systému a zátěží,
 - otevřené architektury pro plug-and-play domácí spotřebiče, mikrogenerace a elektrická vozidla,
 - komunikace a nezbytný software a hardware k poskytování lepších informací zákazníkům, což umožní zákazníkům obchodovat na trzích s energií a reagovat na straně poptávky,
 - software k zajištění a udržování bezpečnosti informací a norem zajišťujících rozšiřitelnost a interoperabilitu komunikačních a informačních systémů.
- **Technologie snímání, měření, regulace a automatizace**
 - inteligentní elektronická zařízení (IED) zajišťující pokročilé ochranné přenosy, měření, záznamy poruch a záznamy událostí pro energetický systém,
 - fázorová měřicí jednotka (PMU) a monitorování, ochrana a řízení velkého prostoru (WAMPAC) k zajištění bezpečnosti energetického systému,

- integrované senzory měřící, řídicí a automatizační systémy, informační a komunikační technologie k zajištění rychlé diagnostiky, též schopnost včasné reakce na jakoukoliv událost v různých částech energetického systému,
 - inteligentní zařízení, komunikace, ovládací prvky a monitory s cílem maximalizovat bezpečnost, pohodlí a úspory energie v domácnostech,
 - inteligentní měřiče, komunikace, displeje a související software, které zákazníkům umožní větší výběr a kontrolu nad používáním elektřiny a plynu.
- **Výkonová elektronika a skladování energie**
 - vysokonapěťový stejnosměrný přenos (HVDC) a vzájemné propojení a flexibilní střídavé přenosové systémy (FACTS) umožňující dálkovou přepravu a integraci obnovitelných zdrojů energie,
 - různá výkonová elektronická rozhraní a výkonná elektronická podpůrná zařízení k zajištění účinného připojení obnovitelných zdrojů energie a zařízení k ukládání energie,
 - sériové kondenzátory, jedinečné regulátory toku energie (UPFC) a další zařízení FACTS, které poskytují větší kontrolu nad napájecími proudy v AC síti,
 - HVDC, FACTS a aktivní filtry společně s integrovanou komunikací a řízením k zajištění větší pružnosti systému, spolehlivosti dodávek a kvality energie,
 - výkonová elektronická rozhraní a integrovaná komunikace a řízení na podporu provozu systému řízením obnovitelných zdrojů energie, skladování energie a spotřebních zátěží,
 - skladování energie k usnadnění větší pružnosti a spolehlivosti energetického systému. [42]

4.1.2 Praktické příklady aplikace Smart Grid v ČR a ve světě

- **Česká republika**

V České republice lze nalézt projekty zaměřené na konceptu inteligentních sítí, viz Obrázek 9. Mapování provádí pravidelně „společné výzkumné středisko“ (JRC) [46], je to generální ředitelství Evropské komise, pro inovace, výzkum, vědu, kulturu a vzdělávání. Systém představuje komplexní soupis projektů, kde z hlediska tématu jsem se zaměřil na koncept inteligentních sítí v Evropě. Systém funguje na principu získávání informací ze stran pracovních skupin, které se podílí na projektu inteligentní sítě a jsou tak zpětnou vazbou pro mapování projektů po celé ČR.



Obrázek 9: Mapa projektů v ČR - poslední update 6. října 2020 [43]

Na obrázku 9 lze nalézt několik projektů, které jsou geograficky rozloženy po celé ČR, červené body znázorňují demonstrace, čímž je myšleno pokusy a zkoušky projektu, zelená barva znamená vývoj a výzkum. Například si lze všimnout, že většina projektů je v okolí Prahy jmenovitě projekty Arrowhead od organizace České vysoké učení v Praze, dále projekt Smart grid Prague od PREdistribuce, projekt INTREPID od společnosti Honeywell SPOL S.R.O. Z hlediska vývoje a výzkumu jsou v ČR projekty SUSPLAN od společnosti ENVIROS, s.r.o. nebo projekt PV grid od společnosti CZEPHO apod.

- **Integrace Smart Grids ve světě**

V letech 2010 přišla evropská unie „Joint Research Centre (JRC)“ s analýzou o přehledném porovnání všech projektů pro koncept inteligentní sítě. Na tento koncept zareagovalo během pouhých 5 měsíců až 300 projektů, z toho bylo schváleno a vypsáno v katalogu 219 projektů, ostatní byly zamítnuty z důvodů nedostatku informací nebo nespádaly konkrétně do této kategorie. V příloze 5 je soupis investic do konceptu inteligentních sítí z roku 2011 od různých zemí, než je Evropská unie, které též investovaly do inovací Smart Grid. [44] Evropská komise v roce 2017 vytvořila další soupis, kde sumarizovali do roku 2017 analýzy a projekty, celkově je sepsáno zhruba 950 projektů. Tento katalog představuje do dnešního dne nejaktuálnější a nejkomplexnější soupis projektů na koncept inteligentních sítí v Evropě. [45]

4.2 Smart Village

V letošním roce je širší zájem o trend Smart Village (SV), což je nástavba SG, Z pohledu EU se tento koncept se zabývá komunitami s nízkou populací a venkovskými oblastmi, jejíž rozčlenění dle EU je naznačeno v Obrázku 10. Koncept jako takový se skládá ze stávajících sítí, popřípadě nově vznikajících a jejich následné vylepšení je pomocí telekomunikačních, digitálních technologií, různých inovací a efektivnějšího využívání znalostí ve prospěch obyvatel a podniků v těchto oblastech. Smart Village není univerzálním řešením, ale vychází z potřeb a potenciálu příslušného území, též je veden strategií podporovaným novými nebo stávajícími územními strategiemi. De fakto tímto způsobem se klade za cíl zvýšit zájem pobytu v těchto oblastech, a tím i zvýšit životní úroveň a kvalitu života na venkově nebo v některých částech měst. [51], [52] Z všeobecného pohledu tento koncept není přesně specifikován, dá se přiřadit na pomezí Smart Home až po část Smart Town (chytrého města), z pohledu zátěže se tedy může jednat o rodinný nebo průmyslový objekt, panelový dům, část města, průmyslovou zónu apod.



Obrázek 10: Kategorizace digitální transformace venkovských oblastí podle EU [53]

4.2.1 Praktické příklady aplikace Smart Villages v ČR a ve světě

Pro koncept Smart Village v ČR, lze souhrnně konstatovat následující poznatky:

- z hlediska informační technologie jsou minimální technologické a ekonomické bariéry, v porovnání s městy není tak technologicky vybavená,
- jedna z velkých bariér je konzervativnost a úroveň vzdělání venkovského obyvatelstva, což je jedna z překážek pro celkové využívání IT,
- byrokracie (zadávání veřejné zakázky (VZ), složitá výběrová řízení (VŘ)), finanční prostředky (70 % případů), odmítání projektů,
- problémy jsou převážně základní potřeby pro život (kanalizace, vozovka, vodovod, vzdělání, parkování, málo pracovních kapacit, nedostatek času),
- homeworkingu, teleworkingu či home office, by zde mohli najít atraktivní využití, nebo sociální komunikace se svými blízkými a určité formy léčení, které mohou být uskutečněny dálkově online,
- jedním z možností, jak přimět venkovské obyvatelstvo k využití konceptu Smart Village, je zvýšit jejich kvalifikační úroveň v IT, protože nelze brát v potaz jen inteligentní zařízení, přístrojů a nástrojů jako prostředek, když jejich potenciál nelze kvalitně a efektivně využít. [51], [52]

Z hlediska projektů a studií jsou níže informativně vypsány příklady a možnosti podpory projektů Smart Village. Energetické zhodnocení některého z konkrétních již realizovaných projektů bohužel není v současné době v dostupných odborných informačních zdrojích k dispozici.

- **Jihomoravský kraj**

Byla vytvořena analýza o pokusu definovat inteligentní vesnici v českých podmínkách, konkrétně pro jihomoravský kraj, kde se analýza zabývá digitální správou pro venkovské vesnice v této oblasti. Dospělo se k závěru, že digitální technologie je možná, ale problém je s konzervatismem a nižší kvalitou digitální úrovně tamního obyvatelstva. [51]

- **Projekt Smart Village Starovice**

Investiční a developerská společnost PŘEMYSL VESELÝ invest, s.r.o. se společností E-ON, mají možnost, vybudovat první inteligentní vesnici v České republice. Konkrétně ve Starovicích, 20 minut od Brna, kde se vybuduje 41 nízkoenergetických rodinných domů.

Projekt je rozdělen do tří etap, tento projekt by měl být úspěšně dokončen v červenci roku 2023. Dále tato firma připravuje studie pro městy Ostrovačice s výstavbou pěti bytových domů s plánováním začátkem stavby v roce 2021. Navržena je i další studie, pro město Hustopeče s plánováním výstavby 16 rodinných domů, datum zahájení je 2023. [54]

- **Místní akční skupina (MAS) v ČR**

Tato skupina pokrývá 82 % ČR, nezávisle a politicky rozhoduje pro neziskové organizace, společenství občanů, veřejné správy a soukromé podnikatelské sféry za pomoci získávání finanční podpory od EU z národních programů. Pomocí metody LEADER, tak přispívá k rozvoji venkova a zemědělství. [55] Pro více informací o MAS je zde odkaz na brožuru [56].

- **Akce EU pro chytrý venkov**

V dubnu 2017 zahájila Evropská komise tuto akci pro venkovské občany, kteří se chtěli chopit iniciativy při hledání praktických řešení problémů pro jejich vesnice. Například z důvodů reakce na demografické změny a vylidňování, využívání vazeb s městy, hledání místního řešení finančních úspor a úspor v centralizaci veřejných služeb, za účelem maximalizovat roli venkovských oblastí při přechodu na oběhové a nízkouhlíkové hospodářství nebo zvýšit podporu digitální transformace. [52]

- **Uskutečněný pilotní projekt v Evropě**

Pro názornou ukázkou jsem si vybral projekt pro devět eco-Smart Villages [57] dotovaných převážně EU a ostatními sponzory, viz Příloha 6. Z hlediska technologie či systému, do kterých bylo investováno za účelem zlepšení podmínek tamního obyvatelstva, jsou znázorněny v Příloze 6. Cíle, které vyplynuly z podporovaných vesnic zmíněného projektu, byli příspěvky k místní ekonomice, zlepšení sociální dimenze, využívání digitálních technologií, zapojení místního obyvatelstva do projektů, rozvoj efektivní strategie, dimenze prostředí atd. Z hlediska rozdělení projektů podle cíle, jakým způsobem se přispívá k modernizaci chytrého venkova, byla vytvořena kategorizace již zúčastněných projektů k chytré vesnici. [58]

4.3 Smart Home

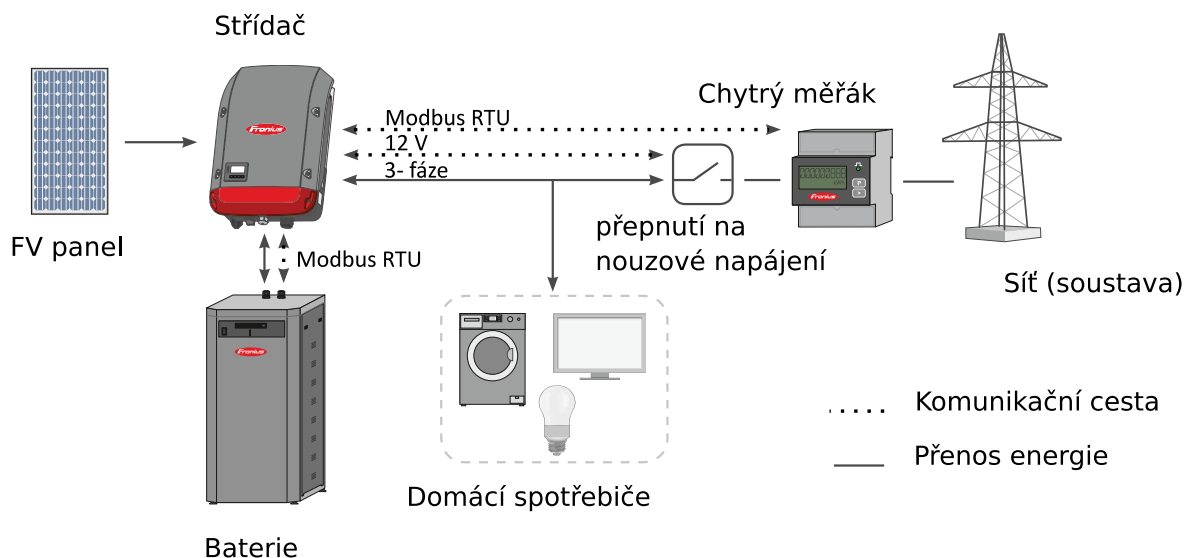
Systémy Smart Homes (SM), tj. inteligentní domy, se využívají za účelem snížení spotřeby energie, uspokojení rychle rostoucí poptávky na trhu po elektrické energii a jejího využití. SH jsou jedním z nejmodernějších technologií v oblasti monitorování a snižování spotřeby energie. V jednoduchosti, se jedná o budovu vybavenou inteligentní technologií, se zaměřením na poskytování služeb na míru pro uživatele. Díky systému Smart Home lze zajistit vyšší energetickou hospodárnost domu např. tím, že je efektivně řízena spotřeba elektřiny a tepla, ale i především výroba, tj. decentralizované zdroje elektřiny, které jsou v daném objektu či areálu objektu instalovány (např. FVE, mikrokogenerační jednotky na biomasu, VTE). Systém Smart Home zajistí i efektivní nabíjení elektromobilů a i jejich případné zpětné využití při poklesu výkonu v síti. [59]

Otázka bezpečnosti a ochrany soukromí, je stále výzvou a to vlivem masivního rozsahu a povahy sítí internetu věcí (IoT). V této publikaci [60] se řeší zejména přístupy založené na blockchainu, které zaručují decentralizované zabezpečení a soukromí. Ve zmíněné publikaci představují majoritní zdroj tzv. miner, zodpovídající za veškerou komunikaci a chránění blockchainu, který se využívá k auditu a kontrole komunikací. Inteligentní dům má důkladnou ochranu s cílem na důvěru, základní bezpečnost, dostupnost a integritu, například nastavení ochrany bezpečnosti a soukromí chytrého domu se skládá ze tří hlavních úrovní, konkrétně: cloudového úložiště, sdíleného pokrytí a chytré domácnosti. Nastíněný princip komunikace založené na blockchain lze vidět na Obrázku 11. Závěrem této publikace jsou výsledky simulace.



Obrázek 11: Přehled navrhované architektury založené na Blockchain [60]

vyrobenou energii z FV panelů do sítě, které hlídá chytrý měřák, v tomto případě je poskytovatel tzv. prosumer. [44]



Obrázek 13: princip využívání fotovoltaiky [65]

- **Faktory pro pořízení FVE**

Využíváním FVE v domácnostech, odběratel snižuje potřebu výroby energie z PE, čemuž automaticky přispívá ke snížení CO₂ zhruba až o 6 tun ročně. Vlivem pořízení FVE do domácnosti si tak odběratel zajišťuje vlastní nezávislost z výroby energie pro vlastní spotřebu až 140 dní (záleží na rozsáhlosti FVE). Regulace a sledování výroby i spotřeby vlastní elektřiny je uskutečněna pomocí chytré technologie (chytré telefony, tablety, počítače atd.). Dalším důležitým faktorem je snížení nákladů až o 50 % z průměrných ročních výdajů za elektřinu. [66]

- **Program Nová zelená úsporám**

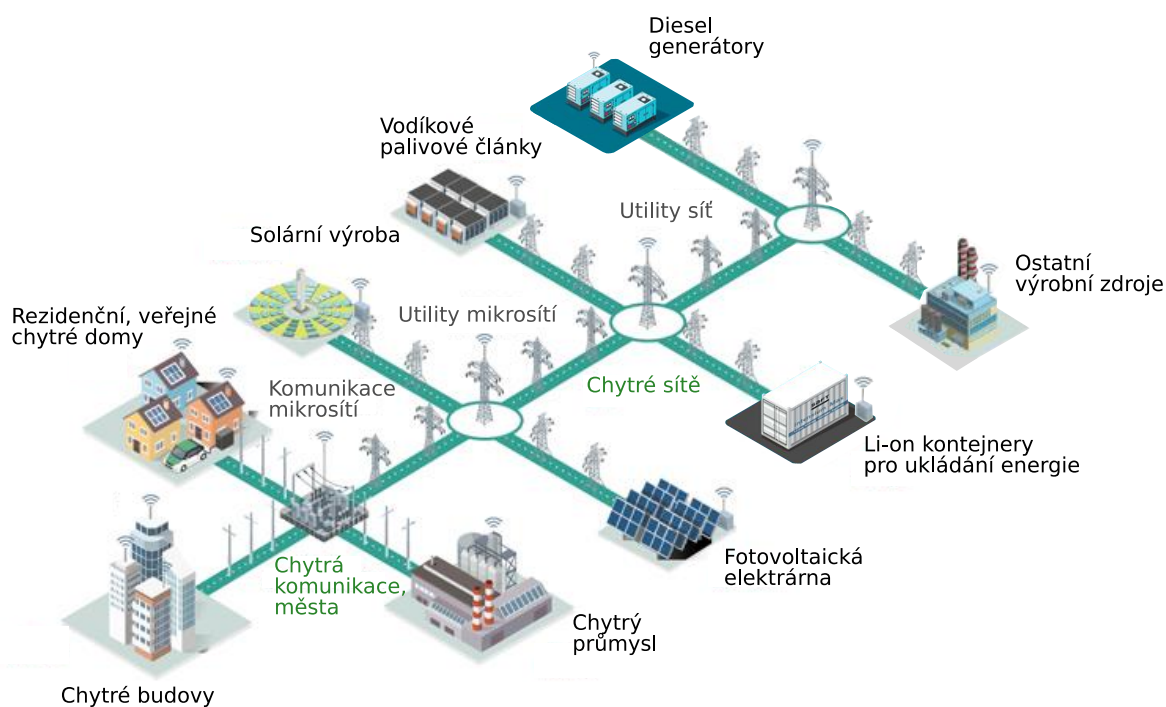
Tento program je spravován Státním fondem životního prostředí [75], který podporuje snižování energetické náročnosti obytných budov, za předpokladu efektivního využívání zdrojů energie a OZE. Cílem programu je zlepšit stav životního prostředí, snížením produkce emisí především CO₂. Poskytované dotace, tak zvyšují zájem o tyto zdroje a výrazně tak zlepšuje ekonomickou stránku výstavby FVE, protože ekonomická výhodnost je bez dotací obtížná. V současnosti za předpokladu neustálého poklesu cen komponent a postupně rostoucí cen elektřiny, je vlivem dotací urychlena návratnost investice až o 7 let. Například společnost ČEZ a.s má vypsání informace pro splnění

nároku této dotace a uvedenou tabulku o výši cen dotací za splnění určitých podmínek. [74]

4.4 Řízené mikrosítě

Koncept mikro sítí (MG) je rostoucí segment v energetickém průmyslu a představuje posun paradigmatu od vzdálených centrálních elektráren k lokalizované distribuované výrobě, zejména ve městech, komunitách a různých oblastech, viz Obrázek 14. MG jsou odolné v případě, kdy je potřeba izolovat se od vnější sítě, kde v této izolované síti (ostrovu) lze provádět flexibilní paralelní operace umožňující poskytování služeb, které zvyšují konkurenci schopnost sítě.

Při ostrovní režimu sítě, v případě nouze, daná MG je stále schopná sloužit svému zahrnutému zatížení i v případě pokud je vnější síť vypnutá, tato MG může sloužit okolní komunitě poskytováním platformy na podporu kritických služeb od hostování záchranářů a vládních funkcí až po poskytování klíčových služeb a pohotovostních služeb. Navzdory mnoha výhodám, bohužel mikrosítě čelí významným překážkám v široké implementaci. [48]



Obrázek 14: Vizualizace funkce mikro sítí [49]

MG jsou založeny na principu udržitelnosti energetických systémů, které zaručují zákazníkovi nákladově efektivní spotřebu energie. Zvyšující se poptávka po celosvětové rezidenční energii, přinutila výrobce přehodnotit pohled na energetickou spotřebu. Vlivem

vyčerpání konvenčních zdrojů energie a vysokých nákladů na spotřebu elektřiny, se objevuje v současnosti trend přeměnit spotřebitele na zákazníky tzv. prosumers. Prosumers využívají zdroje výroby elektrické energie, v případě přebytku energie je snaha tuto energii buď ukládat nebo umožnit těmto prosumer obchodovat s elektřinou na trhu do distribuční sítě a tím vlastně podpoří decentralizaci výroby energií. [50]

Z hlediska mikrosítí se na danou problematiku lze podívat ze dvou hledisek:

- **Energetický management**

Řešení, zvyšuje výkonovou stabilitu systému, prostřednictvím efektivního plánování zařízení. Vlivem energetického managementu musí spotřebitel plnit svou nízkonákladovou spotřebu energie, což by mělo být docíleno pomocí decentralizované výroby energie (solární energie, vítr, plug-in hybridní elektrická vozidla a malé dieselové generátory).

Jednou z možností jak využít energetický management, je například pomocí algoritmů energie, které přesouvají vysoké poptávky energie spotřebitelů mimo špičky, tak aby nebyla potřeba využít špičkové zdroje ale využít tyto decentralizované zdroje k pokrytí a tím docílit snížení přetížení distribučního systému. Mimo přetížení systému mohou též nastat situace, které by mohly řešit případné algoritmy pro výpadek napájení, vyšších nákladů na elektřinu, nárůst ztrát z distribuce, vyšších poptávek ve špičce atd.

Další možností systému je například management systému inteligentní energie, založenou na IoT systému řízení ke snížení spotřeby energie u spotřebitelů ve špičce. Jinou možností je technologie založená na blockchain, kde řízením energie dochází k minimalizaci vyšších nákladů na elektřinu. Využití lze nalézt i pro koncept nabíjecích stanic k uspokojení poptávky pro ostatní spotřebitele. Cílem je tedy minimalizace energetických nákladů na distribuční soustavu operátorů a pro maximalizaci zisku vlastníka dané mikrosítě. [50]

- **Obchodování s energií**

Algoritmus, který sdílí elektřinu mezi různými zákazníky a dodavateli energie pracuje na základě jejich poptávky po elektřině. Zmíněné zdroje mají své vlastní náklady na jednotku energie výroby. Jednotkové výrobní náklady z vlastní výroby jsou obvykle nízké, zatímco energie získané ze sousedních mikrosítí jsou nákladnější. Podobně i náklady na elektřinu zakoupené od ostatních mikrosítí nebo jiných provozovatelů zdrojů elektrické energie,

budou vysoké. Mikrosítě, tedy musí splňovat místní energetickou poptávku všech spotřebitelů. Mikrosít' musí být schopna vykonat celkové přeplánování poptávky po energii, která by měla být splněna z místní energie. Mikrosít' „a“ musí být schopná získávat energii z jiných zdrojů, tzn. ze sousední mikrosítě „b“ nebo od různých provozovatelů, zásobující jiná místa spotřeby. Pokud je poptávka menší než vyprodukovaná místní energie, potom je potřeba, aby mikrosít' „a“ mohla prodat svojí přebytečnou energii, například do blízké mikrosítě „b“ nebo prodat přebytečnou energii společnosti zásobující svými zdroji jiná místa spotřeby elektrické energie, pomocí kupní smlouvy.

Při obchodování s energií, každá mikrosít' přetváří svou vlastní křivku spotřeby energie, prostřednictvím systému Unified Demand Side management (DSM). Sjednocený DSM používaný na úrovni mikrosítě se využívá pro přeplánování posuvného zatížení. V případě nedostatku vlastní výroby energie k uspokojení místní poptávky, je možnost u spotřebitele získat energii z několika MG, prostřednictvím obchodování s energií. Kromě toho jsou všechny mikrosítě, propojené prostřednictvím obousměrného komunikačního spojení. Obousměrná komunikace umožňuje MG zakoupit / prodat požadovanou nebo přebytečnou energii.

Navrhovaný přístup ve vývojovém diagramu vyžaduje řadu vstupů, včetně cen za energii, tj. počet spotřebitelů, typ zátěže, sadu spotřebičů, výkonový profil každého spotřebiče a související omezení. Tato omezení jsou včetně uvolňování zátěže, ořezávání špiček, zařízení fungující s nepřetržitým provozem, preference spotřebitelů a člověka jako faktor interakce. [50]

4.5 Chytrá měřicí komunikační technika (Smart Metering)

Chytrý odečet (SM) elektrické energie, se stává standardem v průmyslových firmách a domácnostech. Tento nezávisle chytrý elektroměr, dokáže zapnout spotřebiče v době, kdy je nízký tarif (levná elektřina), vede záznamy o spotřebě a zasílá informace zákazníkovi, popřípadě do řídicích systémů jednotlivých DECE v rámci inteligentní sítě.

Jeden z typů je například od společnosti Landis+Gyr, která je jednou z mála firem, která splnila požadavky na certifikát Smart Metering pro chytré sítě. Elektroměr, který je znázorněn na Obrázku 15 využívá společnost E.ON, základem je systém Converge, který sbírá, zpracovává data a má flexibilní rozhraní pro směrování dat. Odečítání elektroměrů

probíhá za pomoci služby General Packet Radio Service (GPRS), která se též využívá u mobilních telefonů pro telekomunikaci Group Special Mobile (GSM) k připojení internetu a přenosu dat. V elektroměru je také účetní systém SAP, který zasílá predikované hodnoty energie do systému Converge. Ten následně v rámci validace, porovná skutečně naměřenou hodnotou s požadovanou hodnotou. Pokud se skutečně naměřená hodnota přiblíží k limitu, který si zákazník zaplatil, zašle systém SMS zprávu s upozorněním k limitní hranici a pokynu k zaplacení. Pokud si zákazník dál nepředplatí energii, systém Converge odpojí zákazníka od sítě. Jakmile dojde k zaplacení, který průběžně hlídá systém SAP, systém Converge připojení zákazníka zpět k odběru. Smart Metering má tedy za úkol sledování okamžité nabídky a poptávky po elektrické energii a navíc hlídá platební morálku spotřebitelů. [67]

Z hlediska IoT, je důležitá kybernetická bezpečnost, která se netýká pouze nespokojenosti zákazníka nebo propadlých zisků ale i osobních údajů nebo parametry a statistiky ze stability elektrické sítě. Komplexní požadavky pro Smart Metering na kybernetickou bezpečnost jsou následující:

- fyzické zajištění jednotlivých zařízení,
- zabezpečené ukládání dat, komunikace a backendové systémy,
- je požadován celostní přístup plánování, který zahrnuje celou IT infrastrukturu od bezpečnostních aspektů, až po lidi, a různé postupy a procesy, které umožňují její fungování.

Systém je kompletním celkem a jeho celkovou bezpečnost nelze vytvářet s orientací pouze na jedinou komponentu systému. Pro návrh systému je důležité zjistit požadavky na bezpečnost z více perspektiv procesu, mohou to být například od splnění zákonných předpisů až po potřeby vysokého výkonu systému podle požadavků uživatele. [68]

Landis+Gyr E450



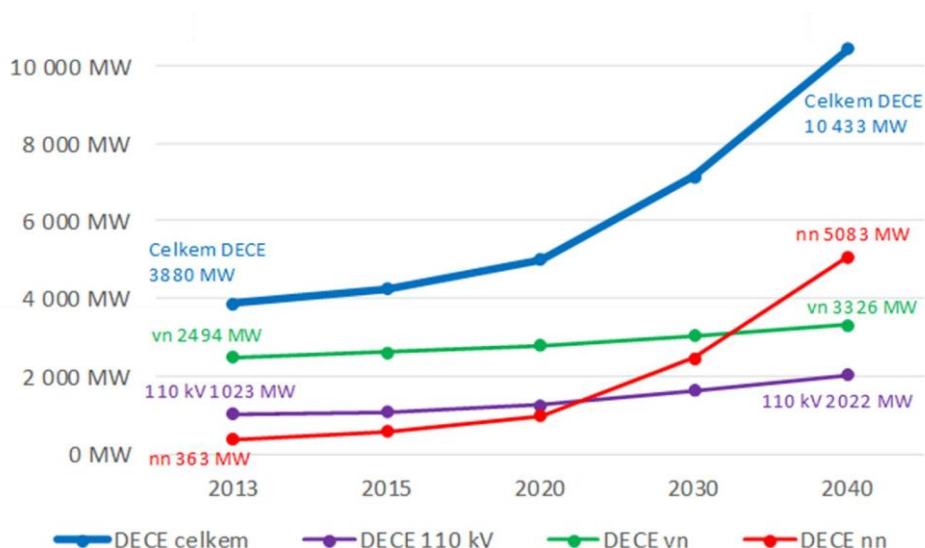
Landis+Gyr E350

**Obrázek 15: elektroměry typu Landis+Gyr [69], [70]**

5 Dopady očekávaného rozvoje DECE

Tato kapitola se zabývá rešerší technických a ekonomických dopadů očekávané zvýšené integrace decentralizovaných zdrojů (DECE), pro které je potřeba kvantifikovat očekávaný vliv výroben z malých FVE a ostatních DECE do PS a DS. V současnosti u stávajících výroben, které podléhají standardnímu připojovacímu procesu, jsou ve větší míře vybaveny měřeními typu B v intervalu jednoho měsíce, pro zpracování a přenos naměřených hodnot. Podle aktuálně platné novely energetického zákona (EZ) mohou od 1. 1. 2016 nově vznikat výroby bez licence, ve vyhlášce o podmínkách připojení k elektrizační soustavě (č. 16 / 2016), kde jsou vymezeny zjednodušené podmínky připojení, tj. bez povolených přetoků do distribuční sítě pro mikro zdroje do 10 kW k DS. Vedle výroben bez licence, mohou vznikat výroby s povolenými přetoky za předpokladu podmínek standardního připojovacího procesu (s licencí, nebo bez licence). Z technického hlediska je nutné rozlišovat FVE doplněné akumulacími baterií, což umožňuje vyšší využití výroby v místě spotřeby. Naznačené způsoby provozování FVE (bez přetoků, s přetoky a s akumulací), mají rozdílné dopady na bilanci v regionech, za pomoci typových denních diagramů (TDD). [71], [72]

Vypracovaná studie EGÚ: Výpočty dopadu rozvoje decentrálních výroben [72] z roku 2014, aktualizována v roce 2017, se zaměřuje na predikci dopadu decentralizovaných zdrojů do provozu DS a PS v ČR. Do budoucí predikce o rozvoji ES a sítí se bere v potaz i řada dalších vlivů (odstavování starších zdrojů, výstavba nového bloku JE, propojování ES na technické a obchodní úrovni), kde se všechny tyto vlivy simulovaly a vyhodnocovaly. Největší nárůst se očekává po roce 2020 na hladině NN, zejména pak mezi lety 2030 a 2040, kde budou figurovat zejména FVE. V současnosti již dochází ke zpoždění náběhu instalovaného DECE, vzhledem k přijatému scénáři. V Grafu 6 je znázorněn očekávaný rozvoj DECE podle NAP SG, studie respektuje přírodní a společenské podmínky. Očekávaná penetrace těchto zdrojů je převážně v oblasti střední, jižní části Čech a Prahy.[72]



Graf 6: Vývoj celkového inst. výkonu DECE dle NAP SG na celém území ČR [72]

- Přehled dopadů rozvoje DECE na napěťové hladiny DS a PS

Rozvoj DECE podle NAP SG má rozdílné dopady na jednotlivé napěťové hladiny, projeví se to převážně na kvalitativních a provozních parametrech sítí co do provozovatelnosti ES. Výčet uvedených technických dopadů do sítí je uveden v Tabulce 3. Z technického opatření pro zahrnutí DECE do DS a PS musí být splněny podmínky PPDS [34] a PPPS [26]. V Tabulce 3 je rovněž uveden přehled všech analyzovaných opatření podle napěťových hladin sítí a provozu ES. [72]

Tabulka 3: Dopady DECE a eliminace jejich vlivů

Předpokládaný dopad rozvoje DECE a plánovaná eliminace negativních vlivů		
Napěťová hladina	Dopad rozvoje DECE	Opatření negativních vlivů
NN	Dopad na napěťové profily NN	Přirozená obnova sítí NN
	Kolísání napětí NN vlivem DECE	Charakteristiky zdrojů DECE Q (U), P (U)
	Nesymetrie napětí a proudu	Akumulace na hladině NN (eliminace přetoku výkonu do DS)
	Dodávky do sítí NN od prosumers	Nové stanice DTS VN / NN
	Zatěžování DTS	Nové kabelové vedení NN
	Dopad na ztráty výkonu v sítích NN	Rekonstrukce venkovních vedení NN (na AES)
	Dodržení impedance sítě NN	Podpora dispečerského řízení na hladině NN pro DECE

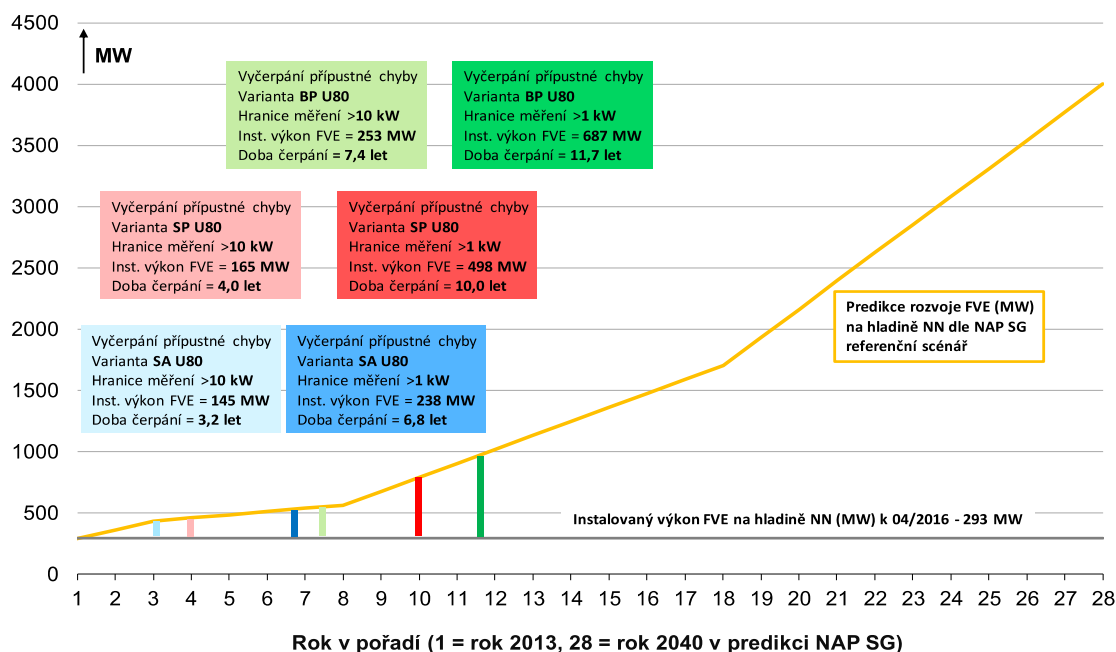
Předpokládaný dopad rozvoje DECE a plánovaná eliminace negativních vlivů		
VN	Udržení úrovně napětí VN	Přirozená obnova sítí VN
	Kolísání napětí VN vlivem DECE	Akceptace opatření pro DECE na hladině NN pro sítě NN
	Zatěžování transformace 110 / VN	Regulace Q na zdrojích ve VN dle potřeb PDS
	Zatížení páteřních vedení VN	Připojení zdrojů DECE samostatným vývodem do přípojnice VN
		Posílení nevyhovujících vedení VN
		Nová transformovna 110 / VN
		Akumulace ve VN místo TR. 110 / VN a reziduální akumulace
		Podpora dispečerského řízení na hladině VN pro DECE
110 kV	Udržení napětí 110 kV	Přirozená obnova sítí 110 kV
	Kolísání napětí ve 110 kV	Akceptace opatření pro DECE na hladině NN pro sítě VN
	Zatížení vedení 110 kV	Další transformace PS / 110 kV pro podporu sítí k DECE
		Podpora dispečerského řízení na hladině 110 kV
Přenosová síť	Volatilita zatížení od distribuční sítě	Rozvoj topologie PS a transformace PS / 110 kV
	Otáčení směrů toků výkonů z DS do PS	Instalace dodatečných kompenzačních prostředků v PS pro DECE
	Odlehčování PS a růst napětí	Další transformace PS / 110 kV pro podporu sítí k DECE
	Přetoky Q z DS a napětěvé problémy	Větší koordinace dispečerského řízení PS a DS
	Zatížení transformační vazby PS / 110 kV	
	Snížení zkratových poměrů	
Provoz ES	Navyšování potřeb rezervních výkonů	Trvalá potřeba zdrojů základního výkonu (JE zdroje)
	Vyrovnání se s rampami změn OZE	Nové zdroje flexibility
	Růst požadavků na flexibilitu	Flexibilita statická a dynamická
	Vyšší požadavky na řízení ES	Flexibilita na straně zdrojů, spotřeby, akumulace
		Flexibilita systémová a nesystémová
		Možnosti omezování činné dodávky DECE
		Řízení a telekomunikace

- **Současný provoz DECE v DS**

DECE v současné době na hladinách VN a NN, ovlivňují nezanedbatelným způsobem provoz DS, zejména dispečerského řízení. Významným faktorem je nemožnost řídit tuto významnou část zdrojů (FVE, VTE), bez možnosti dalších opatření (akumulace, komunikační systémy a úpravy SCADA) dodávku činného výkonu. Z pozitivního hlediska, odpadá snížení zatížení přenosem výkonů sítí, výhodná je výroba elektřiny blíže k místu spotřeby nebo využití regulačního rozsahu DECE (U / Q). Z negativního hlediska jsou zde problémy zejména s napětím (kolísání, nesymetrie), komplikovaný způsob řízení DS, atd. [71]

- **Dopady očekávaného růstu decentrální výroby typu FVE na hladině NN**

V březnu 2018 byla vypracovaná studie [71] pro malé FVE na hladině NN pro systém zúčtování odchylek, která měla odhadnout přípustné chyby do bilance v ES, z důvodu predikce významného nárůstu jejich instalovaného výkonu. Pomocí simulačního modelu byla vypočtena rozdělení FVE co do počtu tak i velikostí, pro tři varianty způsobu provozování FVE u odběrných a předávacích míst (OPM) (BP – bez přetoků, SP – s přetoky, SA – s akumulací), viz Graf 7. Výrobní s členěním do 1 kW včetně, od 1 do 2 kW včetně, od 2 do 5 kW včetně a nad 10 kW na úrovni všech PDS, je doporučeno systematicky sledovat jejich výkon v oblasti připojení výroben.



Graf 7: hraniční výkony do predikce nárůstu FVE na hladině NN dle NAP SG [71]

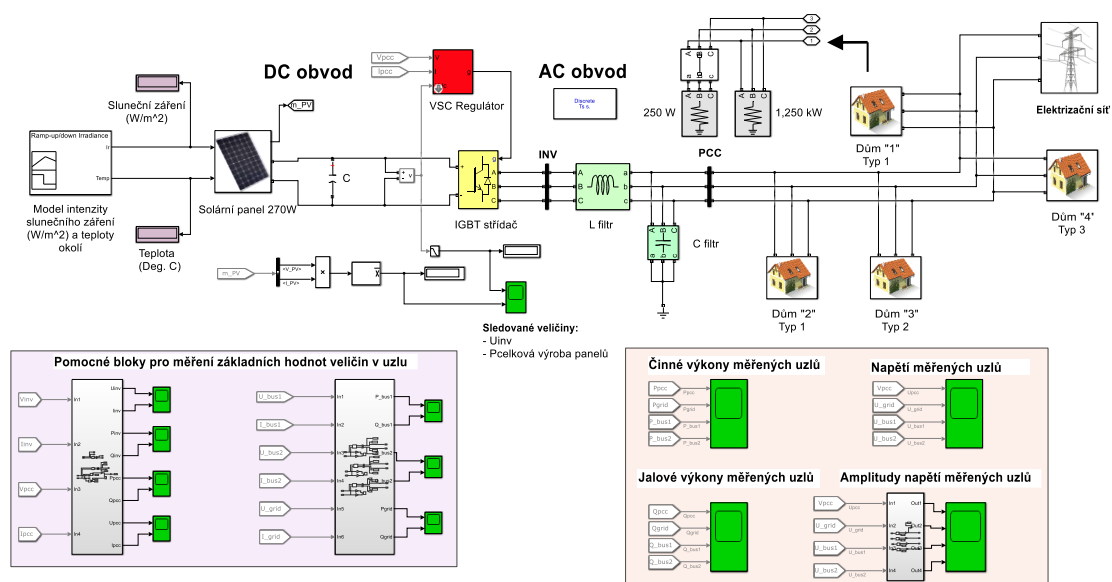
6 Analýza vlivu provozu Smart Village na ES

V předchozí kapitole 5, byly stručně a přehledně uvedeny všechny očekávané dopady zvýšeného rozvoje využívání DECE na provoz ES v ČR. Jelikož se ve své diplomové práci zabývám zejména analýzou provozu DECE (konkrétně FVE) v rámci Smart Village na NN, tak jsem v programu MATLAB Simulink vytvořil základní model jednoduché řešené sítě. Na základě výsledků simulace různých provozních stavů tohoto jednoduchého modelu Smart Village ověřím a zanalyzuji možné pozitivní i negativní dopady provozu Smart Village s FVE, jako jedinými zdroji energie, na provoz ES v ČR a kvalitu dodávané elektrické energie.

6.1 Model Smart Village v softwaru MATLAB Simulink

Mnou vytvořený základní matematický model pro koncept Smart Village, slouží k určení vlivu SV na ES pro různé scénáře. Tímto modelem bych chtěl nastínit základní pozitivní a negativní vlivy SV na řízení tohoto modelu a její vlivy do připojené ES (aktuální výkon za daných podmínek). Mezi vstupní hodnoty patří intenzita slunečního svitu I (W / m^2), teplota okolního prostředí T ($^{\circ}C$) a množství spínaných nebo odepínaných zátěží v čase. Dále tento model dovoluje detailněji pozorovat například tok činných a jalových výkonů (P , Q) a velikosti proudů a napětí v jednotlivých částech modelu. Model řešené sítě jsem sestavil převážně z bloků ze základní knihovny a z bloků knihovny Power Systems dostupných v programu MATLAB Simulink.

Navržený model jednoduché koncepce Smart Village se skládá z několika částí, viz Obrázek 16, tzn. z jedné FVE s akumulací (FV panel, kapacita ve ss obvodu, IGBT střídač, VSC regulátor a LC filtr), jednotlivých velikostí zátěží (Dům 1 až Dům 4) a měřících systémů v daných uzlech a bloku subsystému, pomocí něhož je modelována připojená ES. Blok elektrizační soustavy, který obsahuje model ES (konkrétně část DS na VN), transformátor VN / NN, vedení a vypínač pro transformaci mezi ostrovním provozem Smart Village a paralelní spoluprací s ES, je představen blíže dále v textu stejně tak, jako i ostatní části modelu.



Obrázek 16: základní model FVE připojené do ES

6.1.1 Popis jednotlivých částí základního modelu řešení Smart Village

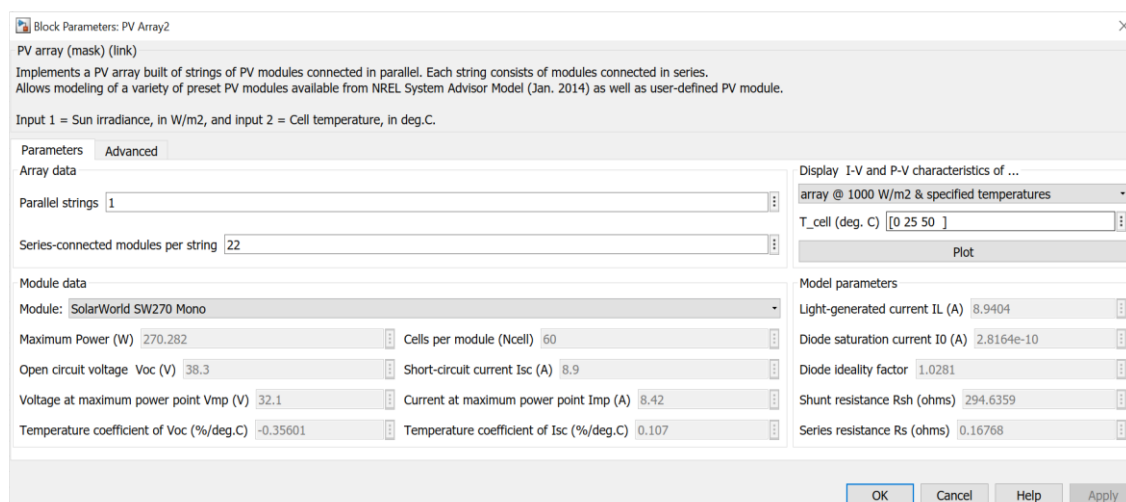
- **Model intenzity slunečního záření a teploty okolí**

Na straně stejnosměrného (DC) obvodu je znázorněn blok FV panelu, do kterého vstupují signály charakterizující vstupní parametry atmosférických a klimatických podmínek z bloku modelu intenzity slunečního záření a teploty okolí. V základním provozním stavu je intenzita slunečního záření nastavena na hodnotu $1\,000\text{ W} / \text{m}^2$ a teplota okolí na konstantní hodnotu $25\text{ }^\circ\text{C}$, odpovídající jmenovitému provoznímu stavu FVE. Tyto vstupní parametry slunečního záření a teploty okolí lze libovolně před začátkem simulace měnit pouhým přenastavením tvaru křivky jejich průběhu v nastaveném časovém intervalu simulace.

- **Model fotovoltaických panelů a stejnosměrného meziobvodu**

Pro model FV panelů byl využit volně dostupný model. V knihovně softwaru Simulink je blok s názvem PV array, který má v sobě uloženou databázi různých druhů solárních panelů dostupných na trhu. Jedním z nich je mnou vybraný solární panel SolarWorld SW 270 Mono, jehož základní parametry jsou uvedeny na Obrázku 17. V bloku PV array se vybere daný solární panel a následná data parametrů vybraného panelu se automaticky vyplní. Dále se v tomto bloku určí, kolik modulů bude zapojeno sériově do řetězce a kolik těchto řetězců bude spojených paralelně pro celkový požadovaný výkon výroby.

Množství instalovaného výkonu FVE jsem zvolil zhruba 6 kW (5 840 W), tzn. 22 panelů zapojených sériově do jednoho stringu. Ve DC obvodu za FV panely musí být paralelně připojena dostatečná kapacita (v tomto případě o velikosti 100 F), která slouží k usměrnění oscilací ve ss části meziobvodu mezi blokem FVE a blokem napěťového střídače IGBT a zároveň slouží jako akumulární zařízení.



Obrázek 17: Parametry vybraných FV panelů

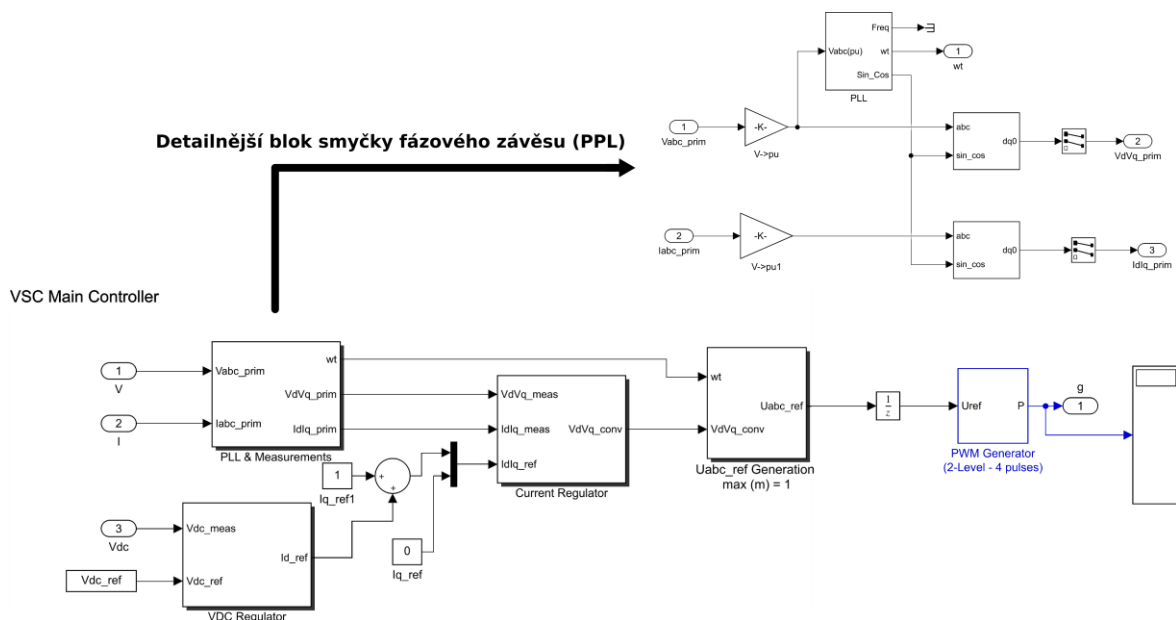
Velikost požadovaného napětí na DC straně střídače je volena tak, aby na AC straně FV systému za LC filtrem byla udržována minimálně hodnota napětí 230 V. S přihlédnutím na úbytky napětí na LC filtru, bylo vypočteno dle napěťové smyčky požadované napětí na DC straně střídače 675 V. Hodnota napětí na kapacitoru byla nastavena o něco vyšší, z důvodu vybalancování toku výkonu, který by měl být u FVE větší, aby zátěže připojené v modelu Smart Village blíže k FVE byly přednostně napájeny právě z FVE a ne z ES.

- **Model IGBT střídače FVE a jeho regulátoru**

Dále je tato usměrněná elektrická energie přenášena na vstup IGBT střídače, ve kterém se DC napětí, transformuje, a na výstupní straně IGBT střídače vzniká střídavé (AC) napětí. Provoz střídače, tzn. velikost amplitudy a frekvence generovaného střídavého napětí z FV systému, je řízen pomocí VSC regulátoru. Jelikož jsou v této práci uvažovány a hodnoceny současně používané FV systémy, tak je využit volně dostupný model VSC regulátoru, který umožňuje udržovat frekvenci výstupního napětí na konstantní jmenovité hodnotě 50 Hz a velikost amplitudy napětí dle požadované nastavené referenční hodnotě napětí. Tento volně dostupný model VSC regulátoru byl pro tuto diplomovou práci trochu pozměněn, tzn. byla vyřazena část regulačního obvodu, která má za cíl regulovat výkon

z FVE dle nastavení MMP trackeru a místo této části regulačního obvodu byla zařazena konstanta požadovaného referenčního napětí na DC straně střídače (V_{dc_ref}). Tato úprava byla provedena proto, aby bylo možné pomocí regulátoru střídače regulovat dodávaný výkon z tohoto DECE (FVE a připojené akumulárního zařízení) do sítě Smart Village. Schéma zapojení celého regulačního obvodu použitého regulátoru IGBT střídače je zobrazeno na Obrázku 18.

Dále je důležité se zmínit o základních částech VSC regulátoru, zejména o smyčce fázového závěsu (PPL), viz Obrázek 18. Pomocí smyčky fázového závěsu se z naměřené hodnoty napětí, měřené v místě připojení FV systému do sítě, tzn. uzlu PCC, zjistí velikost frekvence v síti. Tato frekvence je generována pro IGBT střídač, tedy není potřeba dělat synchronizaci při propojení ostrovní části FVE s ES, protože hlavním zdrojem po připojení je daná ES s frekvencí o 50 Hz na měřených uzlech.



Obrázek 18: Vnitřní bloky VSC regulátoru

Princip samotného regulátoru střídače, tzn. regulátoru dodávaného výkonu z FV systému ve Smart Village, lze zjednodušeně vysvětlit shrnutím do následujících bodů:

- V místě připojení FV systému do sítě (uzel PCC) se měří okamžité hodnoty napětí a proudů.
- Naměřené hodnoty napětí a proudu se pomocí Clarkovy a Parkovy transformace transformují ze soustavy souřadnic třífázového systému abc do d-q souřadného systému a pomocí smyčky fázového závěsu se velikosti napětí v d-q souřadnicích získá hodnota okamžité frekvence v síti, tj. požadovaná hodnota frekvence generovaného napětí střídačem pokud je Smart Village připojen do ES

(zdroje připojené do ES se berou jako majoritní zdroje a zdroje připojené ve Smart Village se jim podřizují, tj. jsou minoritní).

- Z regulátoru napětí na DC straně střídače (VDC Regulator) se stanoví požadovaná referenční hodnota proudu, která má být dosažena na AC straně střídače na indukčnosti LC filtru.
- V regulátoru proudu (Current Regulator) se vypočítá požadované napětí, které se má generovat na AC straně střídače před LC filtrem v d-q souřadnicích. V této části regulačního obvodu je požadovaná hodnota generovaného napětí vypočtena z hodnot okamžitého proudu a napětí měřeného v místě PCC (transformovaných do d-q souřadného systému) a požadované hodnoty proudu na AC straně střídače (z bloku VDC Regulator) pomocí části regulačního obvodu, který zohledňuje úbytek napětí na LC filtru.
- V předposledním bloku regulátoru je jen požadované napětí z bloku Current Regulator transformováno zpět z d-q souřadného systému do třífázového systému abc.
- Poslední část regulačního systému regulátoru střídače obsahuje blok pulzně šířkové modulace (PWM), který dle požadovaného napětí na AC straně střídače generuje pulzy na střídač.

- **Model LC filtru FV systému**

Za výstupem z IGBT střídače je zapojen LC filtr o velikosti 17 mH a 15 μ F pro filtrování vyšších harmonických. Za LC filtrem je uzel PCC charakterizující místo připojení DECE do sítě.

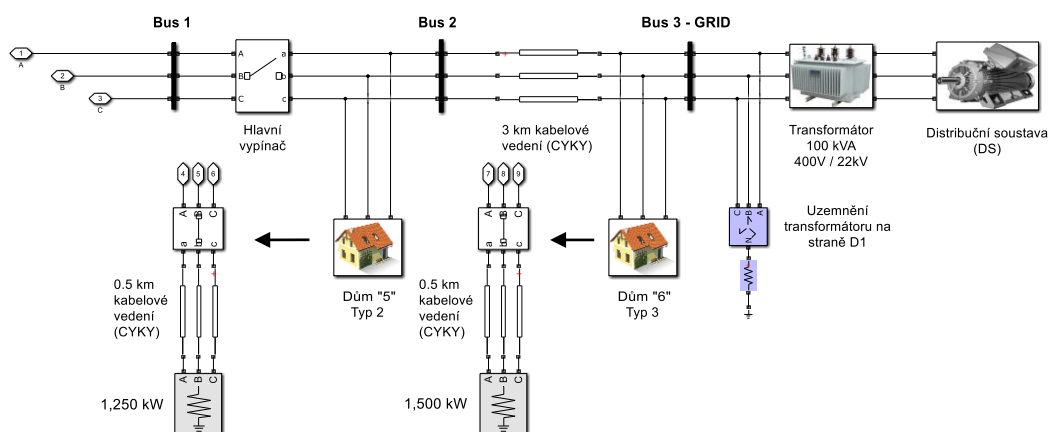
- **Modely zátěže napájených domů ve Smart Village**

V řešeném modelu Smart Village jsou připojeny 3 druhy zátěží (Dům Typ 1, Dům Typ 2 a Dům Typ 3). Tyto zátěže se liší pouze velikostí a časem spínání. První z nich je zátěž s názvem Dům Typ 1 skládající se ze dvou zátěží. První zátěž odebírá konstantní výkon 1 250 W, k této zátěži je připnuta přes vypínač s nastavenou časovou prodlevou odepnutí druhá zátěž o velikosti 250 W, jejímž odepnutím se simuluje proměnný výkon celkového zatížení Domu Typ 1. Druhý typ zátěže s názvem Dům Typ 2 o velikosti 1 250 W má vypínač s nastavenou časovou prodlevou sepnutí / odepnutí části zátěže o velikosti 250 W dle druhu modelu. Posledním typem zátěže je Dům Typ 3 o velikosti 1 500 W, tato zátěž je

konstantně připojena k síti, pokud tomu není jinak v dané konkrétní simulaci. Na Obrázku 16 jsou vidět měřící body uzlů (INV a PCC), kterými se kontrolují velikosti změn tvaru a křivek průběhů napětí a proudů u DECE při změně zátěže či přechodnému jevu.

- **Model části distribuční soustavy**

Model části distribuční soustavy, se kterou paralelně spolupracuje řešená Smart Village, je vidět na Obrázku 20. Pomocí Hlavního vypínače může přejít Smart Village do ostrovního režimu. Toky výkonů v celé řešené ES jsou, mimo měření ve výše představeném modelu Smart Village, měřeny také v uzlech označených Bus 1, Bus 2 a Bus 3 – GRID. Z hlediska zátěží jsou v modelu distribuční soustavy dvě zátěže, tj. Dům 5 a Dům 6, které jsou k DS připojeny kabelovým vedením o délce 3 km s parametry kabelu pro CYKY na hladině 400 / 750 V, podle dat z datasheetu. Kabelové vedení bylo přidáno za účelem znázornění určité vzdálenosti vesnice s FVE od připojovacího místa k DS. Rovněž má toto kabelové vedení účel tlumicího prvku při připojení k ES. Aby bylo možné připojit FVE provozované na hladině NN (400V) do DS, je nutné použít transformátor 400 / 22 kV. Posledním blokem modelu distribuční sítě je blok, jenž sám o sobě je nazván jako distribuční soustava (DS). Tento blok reprezentuje celou nadřazenou ES, která znázorňuje distribuční síť, spolu s implementovaným vedením, aby se na straně vyššího napětí transformátoru nemuselo přidávat navíc vedení.



Obrázek 19: základní model ES a vedení

- **Parametry jednotlivých bloků v základním modelu Smart Village**

Parametry jednotlivých výše představených bloků v navrženém základním modelu Smart Village jsou přehledně shrnuty v Tabulce 4. Parametry uvedené v Tabulce 4 platí obecně

pro všechny simulace. Případné změny jsou popsány u analýzy dané konkrétní simulace a byly provedeny za účelem nastínění požadované problematiky z hlediska vlivů na síť.

Tabulka 4: Základní bloky a jejich vstupní data

Název	Zadáno	Název	Velikost
FVE	$P(W) = 5\,840$	Dům 1 Typ 1	$P(W) = 1\,500$, $t = 5\text{s}$ (odpojena zátěž 250W)
C (DC obvod)	$C(F) = 100$, $U_{dc}(V) = 675$	Dům 2 Typ 1	$P(W) = 1\,500$, $t = 4\text{s}$ (odpojena zátěž 250W)
LC filtr	17 mH, 15 μF	Dům 3 Typ 2	$P(W) = 1\,250$, $t = 6\text{s}$ (připojena zátěž)
IGBT střídač	$R_s(M\Omega) = 1$ $C_s(nF) = 2$ $R_{on}(m\Omega) = 10$	Dům 4 Typ 3	$P(W) = 1\,500$, (konstantně připojená zátěž)
3f kabelové vedení (CYKY)	3 km: $R_p(\Omega) = 12.5 - 1.175$ $L_p(mH) = 0.3 - 0.5$ $C_p(nF) = 100 - 200$	Dům 5 Typ 2	$P(W) = 1\,250$, (konstantně připojená zátěž)
3f kabelové vedení (CYKY)	0.5 km: $R_p(\Omega) = 12.5 - 12$ $L_p(mH) = 0.3 - 0.32$ $C_p(nF) = 100 - 110$	Dům 6 Typ 3	$P(W) = 1\,500$, (konstantně připojená zátěž)
Transformátor (Yg, D1)	$S_n = 100\text{ kVA}$ 22kV / 400V Primár: $R_1(\text{pu}) = 0.001$ $L_1(\text{pu}) = 0.015$ Sekundár: $R_2(\text{pu}) = 0.001$ $L_2(\text{pu}) = 0.015$	Distribuční soustava (DS)	$U_n(\text{kV}) = 22$ $f(\text{Hz}) = 50$ $S(\text{MVA}) = 100$ $X/R = 1.5$
VSC regulátor	$P_{nom}(W) = 6000$, $f(\text{Hz}) = 50$, $U_1(V) = U_2(V) = 400$, $U_{ss}(V) = 675$, $R_{tlumivky}(\Omega) = 0$, $L_{tlumivky}(mH) = 17$, $U_{dc\ zisk}(Kp, Ki) = 0.1$ a 400, $I_{zisk}(Kp, Ki) = 0.3$ a 200, $T_s(s) = 2.7385e-6$		

6.2 Výsledky simulace vlivu Smart Village na provoz ES

Vliv Smart Village s FVE na provoz ES posoudím na základě analýzy výsledků simulací několika provozních stavů řešeného modelu sítě. Zejména se zaměřím na připojení ostrovní Smart Village k ES, na její opětovný přechod do ostrovního režimu, na vliv nesymetrického zatížení, na dopad chybně nastaveného LC filtru FVE na kvalitu napětí v ES a na odpojení FVE od ES, tj. přerušování dodávky elektřiny z FVE vlivem poklesu slunečního svitu při soumraku. Při všech simulacích je využit model, jehož schéma bylo představeno v kapitole 6. 1.

6.2.1 Připojení ostrovní Smart Village k ES

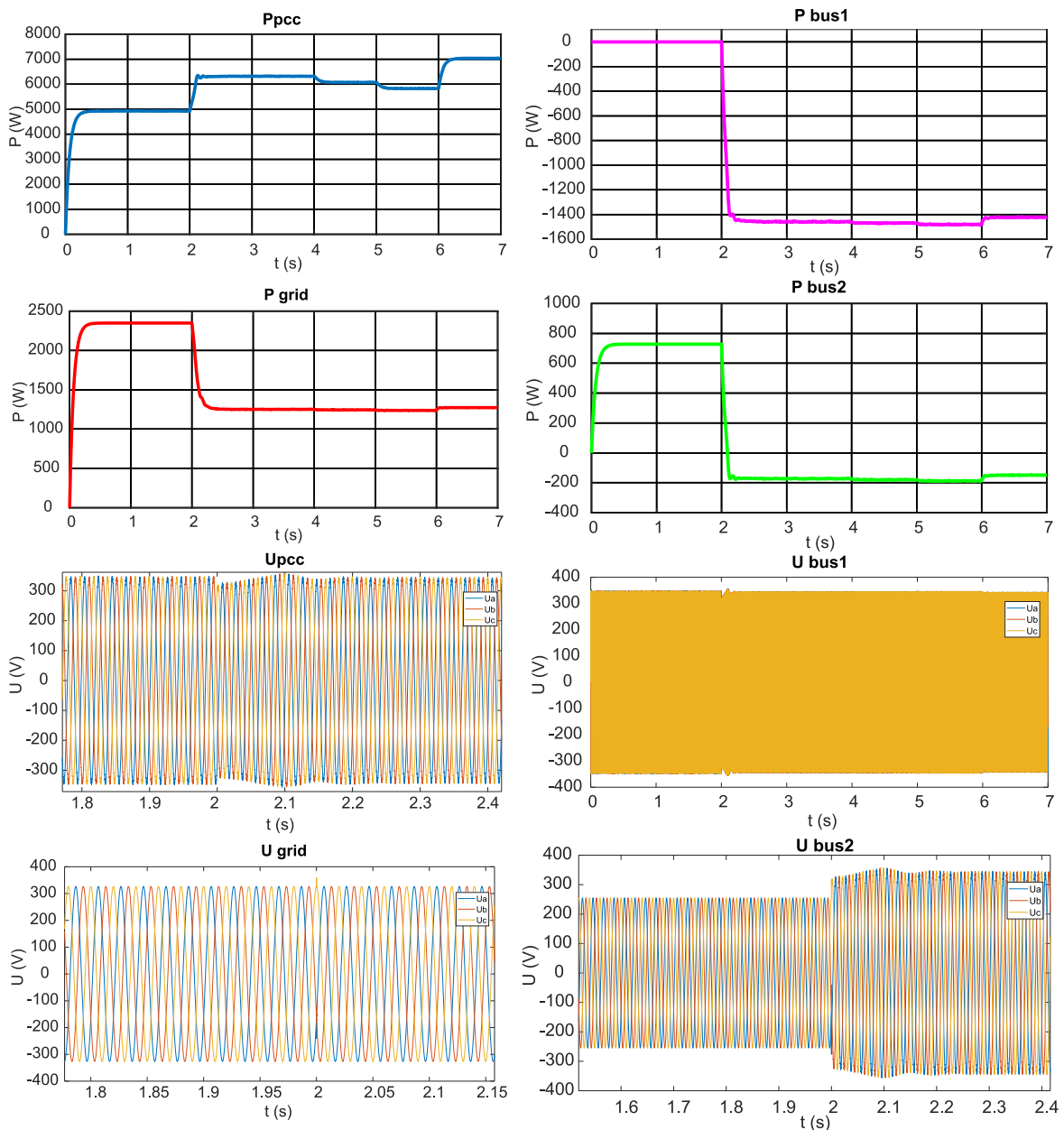
Při první simulaci (stejně jako u všech ostatních) má fotovoltaická elektrárna jmenovitý výkon cca 6 kW. Výsledné průběhy činných výkonů a napětí v jednotlivých uzlech řešené sítě jsou uvedeny na další straně, viz Výsledné grafy 1.

Na začátku simulace jsou připojeny zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 4 (1,5 kW), viz schéma na Obrázku 16. FVE pracuje až do 2 s v ostrovním provozu a výkon dodávaný z FVE do sítě (cca 4,8 kW) odpovídá výkonu zatížení Dům 1, Dům 2 a Dům 4 a ztrátám v ostrovní provozu Smart Village. Důkaz, že je Smart Village do 2 s v ostrovním režimu, je patrný i z průběhu činného výkonu měřeného v uzlu Bus 1 (viz graf „*P bus 1*“, tj. za Hlavním vypínačem ve směru od ES. Z tohoto grafu je zřejmé, že do 2 s byl tok výkonu přes Bus 1 nulový, tedy Smart Village byla opravdu v ostrovním provozu. Do 2 s jsou tedy zátěže Dům 1, Dům 2 a Dům 4 napájeny z FVE s akumulací a zátěže Dům 5 (1,25 kW) a Dům 6 (1,5 kW) z ES. Tím, že do 2 s jsou Dům 5 a Dům 6 napájeny z ES přes 3 km dlouhé vedení, tak se to projeví ztrátami přenášeného výkonu (viz graf „*P bus 2*“) a poklesem napětí na konci vedení u zátěže Dům 5, viz graf „*U bus 2*“, pod jmenovitou hodnotu, ale v dovolených mezích.

Následně ve 2 s sepne Hlavní vypínač a propojí synchronně ES s ostrovním provozem FVE. Napětí v uzlu Bus 2, které bylo do 2 s menší než 400 V z důvodu úbytků napětí na vedení směrem od ES až po danou zátěž Dům 5, viz schéma na Obrázku 19, vzroste díky dodávanému výkonu ze Smart Village (viz graf „*P bus 1*“ a „*P bus 2*“) na jmenovitou hodnotu, viz Graf „*U bus 2*“. Což je dáno tím, že po propojení Smart Village s ES najednou vzroste blíže k FVE zatížení dané zátěží Dům 5 a Dům 6, které jsou

z hlediska impedančních poměrů v propojených sítích umístěny blíže k FVE než k ES. Tím, že se u FVE zvýší zatížení, tak dojde k poklesu napětí ve Smart Village, tzn. u FVE s akumulací viz graf „ U_{pcc} “. Na tento pokles napětí v uzlu PCC reaguje regulátor střídače FVE s akumulací a zvýší dodávaný výkon z FVE do sítě (viz graf „ P_{pcc} “) tak, aby se ustálila výkonová bilance v síti. Tím je zachována frekvenční a napěťová stabilita. Následně po přechodném jevu nastává ustálení. FVE podle svých výrobních možností pokrývá převážnou část spotřeby Dům 1 až Dům 6 a zbytek zátěže si přebírá ES.

Výsledné grafy 1: Průběhy veličin z naměřených uzlů (pcc, grid, bus1, bus2)



Z výsledných průběhu napětí a činných výkonů ve všech měřených uzlech propojené Smart Village s ES je vidět jak regulátor střídače FVE s akumulací správně doreguluje

změny zatížení, které nastanou během celé doby simulace, tzn. do 7 s. V čase 4 s byl výkon FVE snížen, protože došlo v zátěži Dům 2 ke snížení zatížení o 250 W. Následně opět poklesl dodávaný výkon z FVE v čase 5 s, jelikož se snížilo zatížení o 250 W i u zátěže Dům 1. Naopak v čase 6 s došlo k navýšení výkonu FVE s akumulací vlivem připojení zátěže Dům 3 o výkonu 1,25 kW. Všechny tyto změny výkonů zatížení byly pokryty díky regulaci dodávaného výkonu z FVE s akumulací, viz graf „*Ppcc*“. ES se na pokrytí změn zatížení téměř nepodílela, neboť dle profilu napětí v síti byla vyšší hodnota napětí u FVE než u bloku DS. To odpovídá teoretickým předpokladům, protože cílem bylo, aby výroba byla v místě spotřeby a výkon dodávaný z ES byl minimální. Přičemž je vidět, jak FVE je „měkký“ zdroj napětí, tj. u FVE (v místě PCC viz graf „*Upcc*“) kolísá napětí dle změny výkonu zatížení v blízkosti FVE. Naproti tomu se ověřilo, že ES je „tvrdý“ zdroj napětí, neboť v průběhu celé simulace bylo napětí měřené za blokem DS stále konstantní na jmenovité hodnotě, viz graf „*U grid*“. Výsledky jalového výkonu měřené v jednotlivých uzlech ES lze nalézt v Příloze 8.

Z výsledků této první simulace lze tedy konstatovat, že regulované DECE (v tomto případě FVE s akumulací) dokáží při paralelní spolupráci s ES pomáhat vylepšovat napěťový profil v síti NN tím, že se vyrábí elektrická energie v místě spotřeby. Připojením Smart Village k ES došlo tedy ke zvýšení napětí u konečného zákazníka Dům 5, snížil se výkon přenášený přes vedení z ES, naopak došlo k dodávce přebytečného výkonu ze Smart Village do ES a ke stabilizaci hodnoty výkonu dodávaného z ES. Při paralelní spolupráci s ES tedy díky regulovanému zdroji ve Smart Village se ES nemusela tak moc podílet na vyrovnání výkonové bilance, oproti situaci kdyby regulovaná FVE s akumulací v síti připojena nebyla. Řízená Smart Village by tedy mohla být částečně podpůrným prostředkem pro zachování frekvenční a napěťové stability v ES.

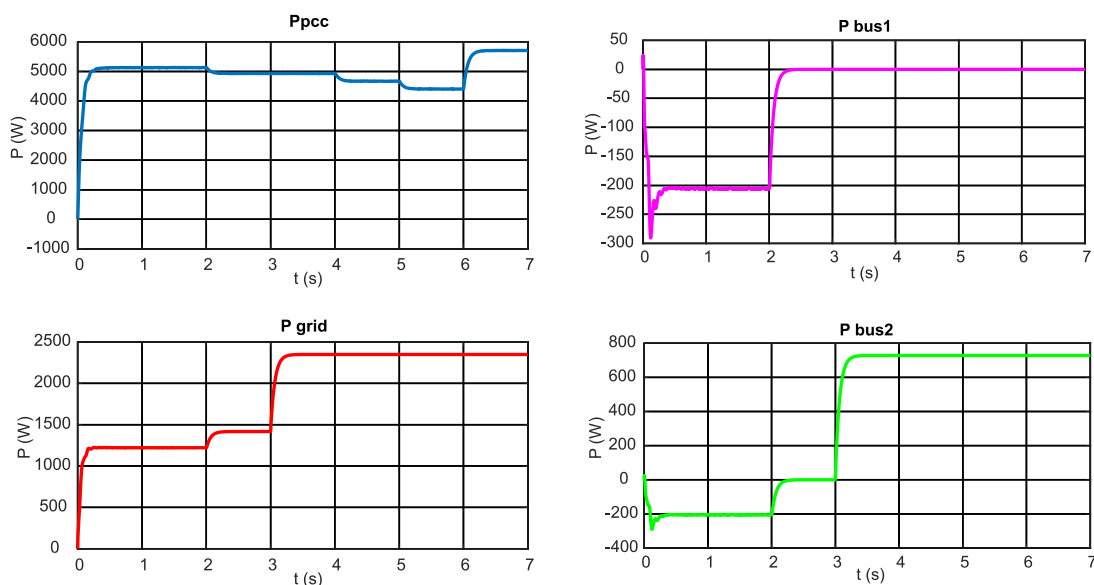
6.2.2 Přejít Smart Village do ostrovního provozu

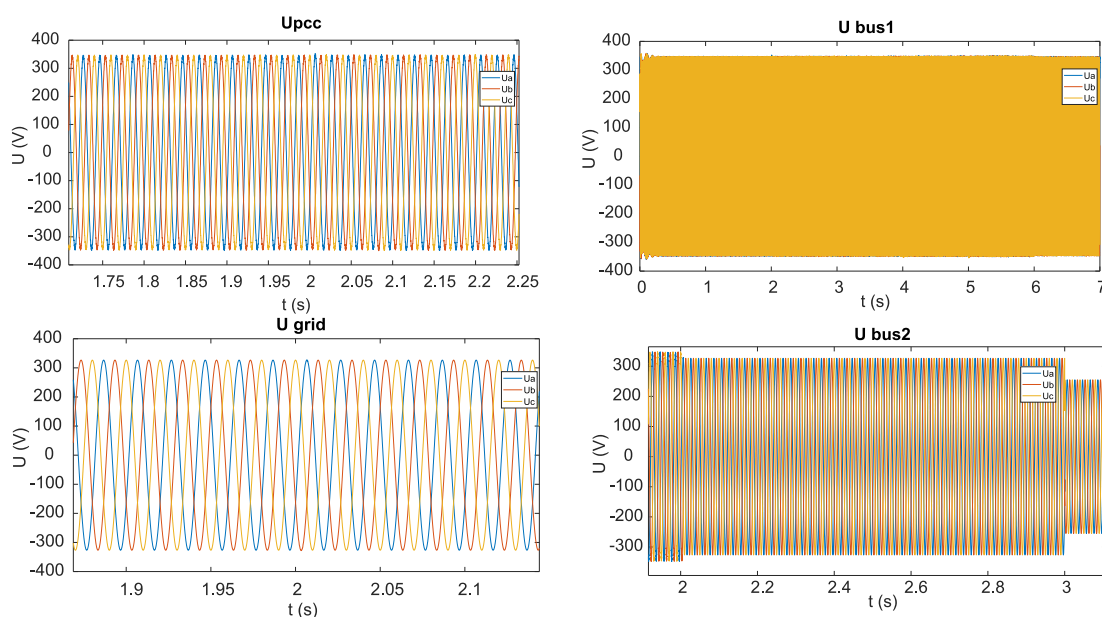
Ve druhé simulaci, byl simulován opačný případ než v první simulaci, tzn. přechod Smart Village do ostrovního režimu. Na začátku simulace je Hlavní vypínač v sepnuté poloze a požadovaný výkon zatížení je rozdělen mezi FVE s akumulací a ES. Připojeny jsou zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 4 (1,5 kW) a Dům 6 (250 W). Kde FVE podle svých výrobních možností pokrývá převážnou část spotřeby (Dům 1 až po část spotřeby na Dům 6) viz graf „*P bus 2*“ a graf „*Ppcc*“, do 2 vteřin s celkovou výrobou zhruba 5,25 kW. Zbytek zátěže z Dům 6 (1,25 kW) je kryto ze strany ES viz graf „*P grid*“.

V čase 2 s se odepne Hlavní vypínač viz graf „*P bus 1*“, indikace tohoto rozpojení je dána velikostí toku výkonu přenášené mezi ES a danou SV, která je hodnotově rovna 0. Posléze na toto rozpojení reaguje regulátor střídače FVE s akumulací a začne regulovat výkon podle aktuální zátěže v ostrovním provozu SV viz graf „*Ppcc*“ tak, aby se ustálila výkonová bilance. Naopak ES přebírá zbytek zátěží od místa rozpojení „Hlavního vypínače“ viz graf „*P grid*“. V čase 3 s je připnuta zátěž Dům 5 (1,25 kW), díky které se zvýší spotřeba na straně ES.

V čase 4 s došlo ke snížení zatížení o 250 W pro zátěž Dům 2, v čase 5 s nastala stejná situace zátěže Dům 1 (snížení o 250 W). Na regulátor střídače FVE s akumulací, se to projevilo snížením celkové spotřeby pokrývané SV v ostrovním provozu, viz graf „*Ppcc*“. V době 6 s se připojí zátěž Dům 3 (1,25 kW) viz graf „*Ppcc*“, která se projeví nepatrným poklesem napětí v uzlu PCC, na tento pokles reaguje regulátor střídače FVE s akumulací, tím že se zvýší dodávaný výkon z FVE do sítě na hodnotu výkonu cca 5,9 kW viz graf „*Ppcc*“. Z pohledu napětí lze stále předpokládat že FVE je měkký zdroj napětí (v místě PCC viz graf „*Upcc*“), který reaguje na kolísá napětí dle změny výkonu zatížení v blízkosti FVE. ES jak již bylo zmíněno je „tvrdý“ zdroj napětí, protože v průběhu celé simulace bylo napětí měřené za blokem DS stále konstantní na jmenovité hodnotě, viz graf „*U grid*“. Pokles napětí v čase 3 s viz graf „*U bus 2*“, je vlivem úbytku napětí kabelového vedení, dlouhé 3 km. Případné výsledky jalového výkonu lze nalézt v Příloze 8.

Výsledné grafy 2: Průběhy veličin z naměřených uzlů (pcc, grid, bus1, bus2)





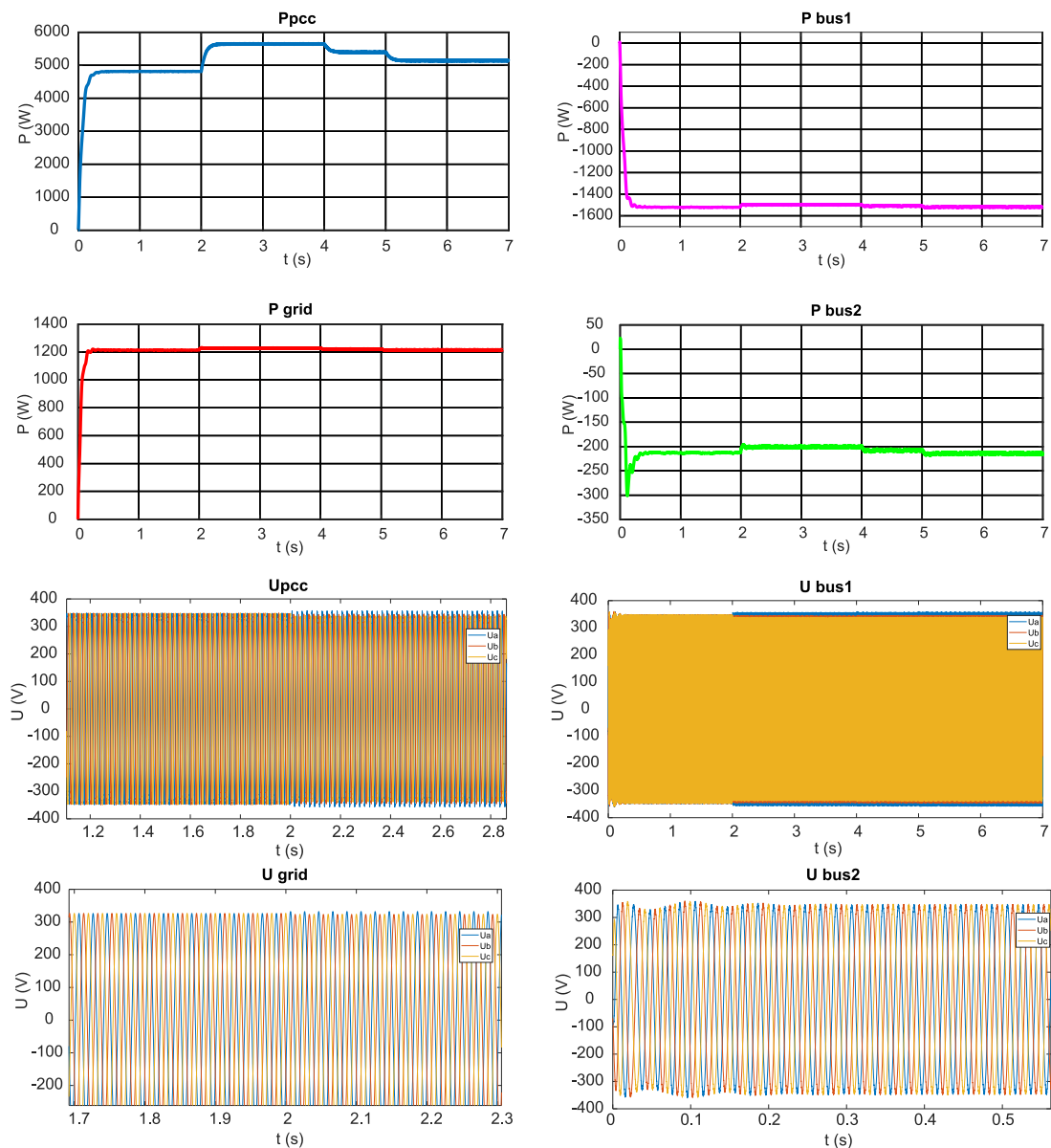
6.2.3 Vliv připojení nesymetrického zatížení

Ve třetí simulaci, byl analyzován případ připojení nesymetrické zátěže a jejího vlivu na paralelní spolupráci ES se Smart Village. Hlavní vypínač je počas celé simulace v sepnuté poloze a požadovaný výkon zatížení je rozdělen mezi FVE s akumulací a ES. Na začátku simulace po odeznění přechodového jevu, FVE s akumulací pokrývá zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 5 (1,25 kW) a částečně se snaží poslat výkon ze zátěže Dům 6 (cca 240 W), ze stejného důvodu jako v předešlých simulacích. Tento děj trvá do času 2 s, celkově FVE s akumulací pokrývá cca 4,9 kW, viz graf „*P_{pcc}*“. ES do času 2 s pokrývá převážně zátěž v Dům 6 (cca 1,21 kW), viz graf „*P_{grid}*“, zátěž Dům 4 (1,5 kW) není v této simulaci připojena.

Z výsledných průběhů napětí a činných výkonů ve všech měřených uzlech propojené Smart Village s ES, po čase 2 s je vidět jak regulátor střídače FVE s akumulací reaguje na nesymetrickou zátěž, připojené zátěže Dům 3, viz graf „*U_{pcc}*“. Stejně tak, na tuto nesymetrickou zátěž reaguje „tvrdý zdroj“ bloku DS, který je touto nesymetrickou zátěží též ovlivněn viz graf „*U_{grid}*“. Z pohledu vyrovnání výkonové bilance v čase 2 s mezi zdroji FVE s akumulací a ES, došlo k přerozdělení výkonu pro aktuální spotřeby zátěží. FVE s akumulací se ustálila na hodnotu cca 5,8 kW, stále je schopna pokrývat všechny zátěže ale výkonově došlo k menšímu poklesu toku ze strany FVE na Bus 1 o cca 100 W. Naopak si tuto zátěž převzala ES, tudíž usuzuji, že je zajištěna kvalitně přerozdělená regulace výkonu mezi oběma zdroji.

V čase 4 s dojde ke snížení zátěže v Dům 1 na hodnotu 1,25 kW a v čase 5 s snížení zátěže Dům 2 na hodnotu 1,25 kW, viz graf „*P_{pcc}*“. Na regulátor střídače FVE s akumulací, se snížení obou zátěží projevilo snížením celkové spotřeby pokrývané SV v paralelním chodu s ES, viz graf „*P_{pcc}*“. Regulace výkonového toku ze strany FVE opět o něco vzrostl, z důvodu výkonové rezervy, která je použita na napájení Dům 6 viz graf „*U_{bus 2}*“. Protože je mezi Dům 6 a FVE s akumulací vedení o vzdálenosti 3 km, FVE nemá takový vliv na tuto zátěž jako blok DS, který je impedančně blíže k zátěži. Proto se již po snížení zátěže z Dům 1 a Dům 2 (celkově cca 500 W), zvýšil přenášený výkonový tok z FVE pouze o cca 150 W, viz „*P_{bus 1}*“. Jalové výkony jsou znázorněny v Příloze 8.

Výsledné grafy 3: Průběhy veličin z naměřených uzlů (*pcc*, *grid*, *bus1*, *bus2*)



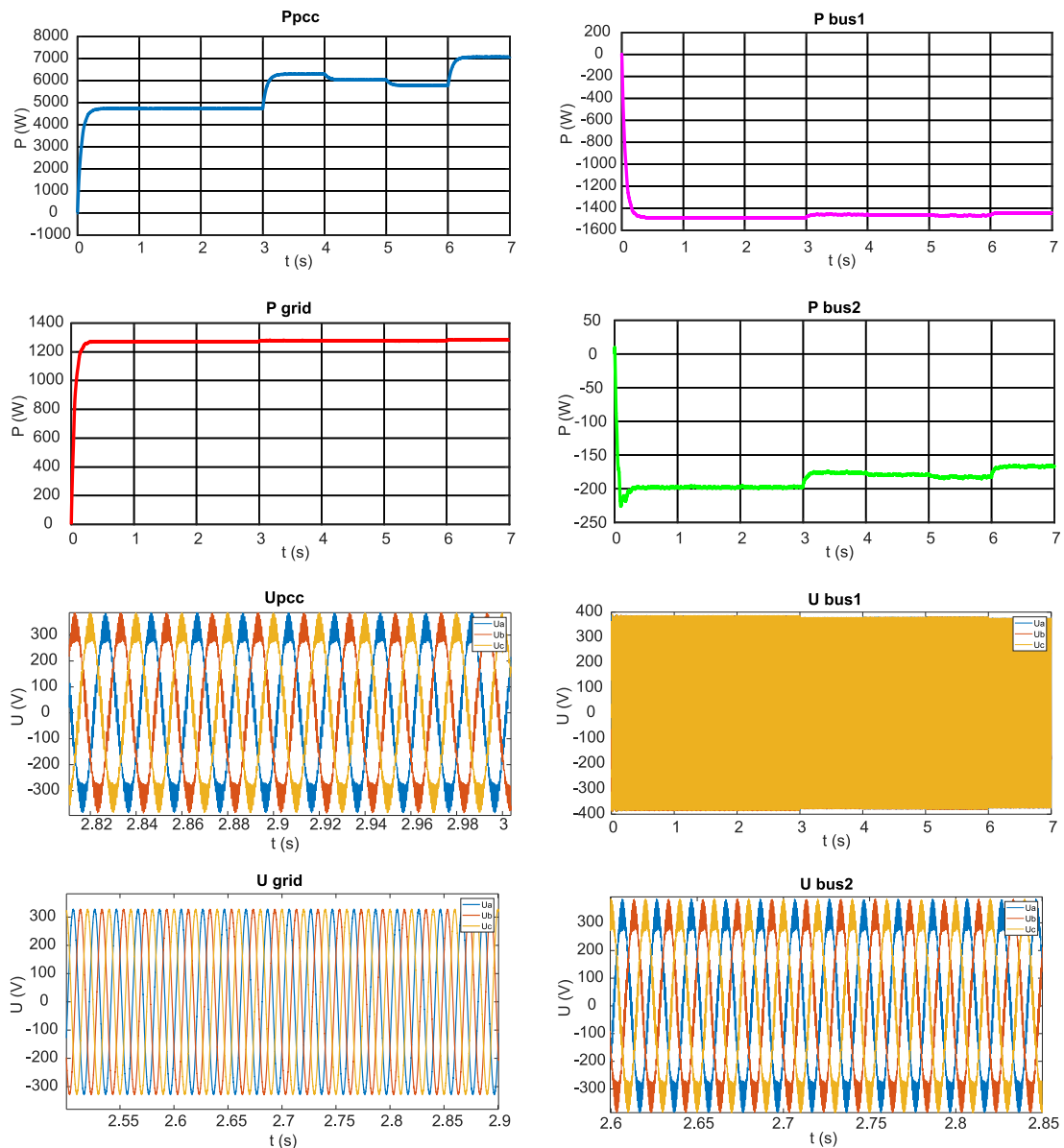
6.2.4 Vliv chybně nastaveného LC filtru FVE na kvalitu napětí v ES

Ve čtvrté simulaci, byl analyzován případ špatně naladěného LC filtru a jeho vlivu na paralelní spolupráci ES se Smart Village. LC filtr byl nastaven na hodnotu $L = 7$ mH a $C = 1$ μ F. Hlavní vypínač je počas celé simulace v sepnuté poloze a požadovaný výkon zatížení je rozdělen mezi FVE s akumulací a ES. Na začátku simulace po odeznění přechodového jevu došlo k přerozdělení výkonového toku mezi FVE s akumulací a ES. FVE s akumulací pokrývá zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 5 (1,25 kW) a částečně se snaží hradit výkon ze zátěže Dům 6 (cca 200 W) viz graf „*P bus 2*“, celkově velikost výkonu FVE s akumulací je cca 4,8 kW, viz graf „*Ppcc*“. ES pokrývá výkon přibližně 1,25 kW, který spotřebovává zátěž Dům 6 (velikost zátěže je 1,5 kW), viz graf „*P grid*“, tento děj trvá až po dobu 3 vteřin.

V čase 3 s se připojí zátěž Dům 4 (1,5 kW) viz graf „*Ppcc*“, která se projeví poklesem napětí v uzlu PCC, na tento pokles reaguje regulátor střídače FVE s akumulací, tím že se zvýší dodávaný výkon z FVE do sítě na hodnotu výkonu cca 6,3 kW viz graf „*Ppcc*“. Protože FVE s akumulací je nastavena tak, aby přednostně napájena SV, za předpokladu ustálení výkonová bilance v síti. Tím je zachována frekvenční a napěťová stabilita. Následně po přechodném jevu nastává ustálení a probíhá další sekvence snižování zátěží o hodnotách 250 W pro Dům 1 v čase 4 s a Dům 2 v čase 5 s, viz graf „*Ppcc*“. Z pohledu regulace ze strany ES, nenastala velká výkonová změna, protože FVE s akumulací reguluje v místě spotřeby a zátěž Dům 6 (1,5 kW) je impedančně dál od FVE s akumulací než samotný blok DS viz graf „*P grid*“. V čase 6 s se připojí zátěž Dům 3 (1,25 kW), která se projeví dalším poklesem napětí viz graf „*U bus 1*“ a znova po ustálení přechodového děje nastane ústálení výkonové bilance v síti.

Z výsledku simulace lze konstatovat, že z pohledu výkonu nelze poznat vliv, špatně nastaveného LC filtru. V případě změřeného napětí z měřicího bodu PCC za LC filtrem, viz graf „*Upcc*“, lze pozorovat silně kmitající a nesinusový průběh napětí. Tento problém, je potřeba řešit z důvodu citlivosti různých zařízení na kvalitu napětí, protože FVE s akumulací je „měkký zdroj“, projeví se toto nekvalitní napětí pouze v oblasti SV. Naopak pro ES, která je znázorňována jako „tvrdý zdroj“, tak toto nekvalitní napětí nemá vliv na případnou síť bloku DS viz graf „*U grid*“. Výsledky vlivu špatně naladěného LC filtru na jalový výkon jsou v Příloze 8.

Výsledné grafy 4: Průběhy veličin z naměřených uzlů (pcc, grid, bus1, bus2)

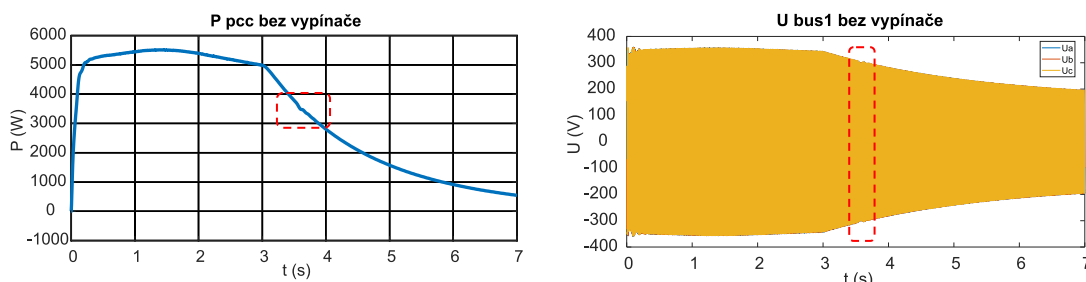


6.2.5 Odpojení FVE od ES vlivem změny slunečního svitu

Touto simulací je záměrem nastínit situaci poklesu slunečního svitu až do nulové hodnoty při kterém už daná FVE s akumulací nevyrobí žádný výkon v nočních hodinách, popřípadě vlivem poruchy. Tvar křivky slunečního záření a teploty na FV panelech lze vytvořit v bloku „Signal Builder“ viz Graf 8, který by indikoval průběh teploty okolí a slunečního záření v čase simulace. Předpokladem této simulace je dodávat výkon z FVE s akumulací, za každé situace, pokud vyrábí. V případě že tato FVE nevyrobí výkon, předpokládá se záměrné vypnutí FVE a plné převzetí zátěží napájených ze strany ES. Pro jednoduchost byla nastavena C v DC obvodě na hodnoty 0,05 F (předešlá hodnota 100 F), aby v simulaci nebyl velký projev akumulace napětí této kapacity, který se projevoval na chvilkově

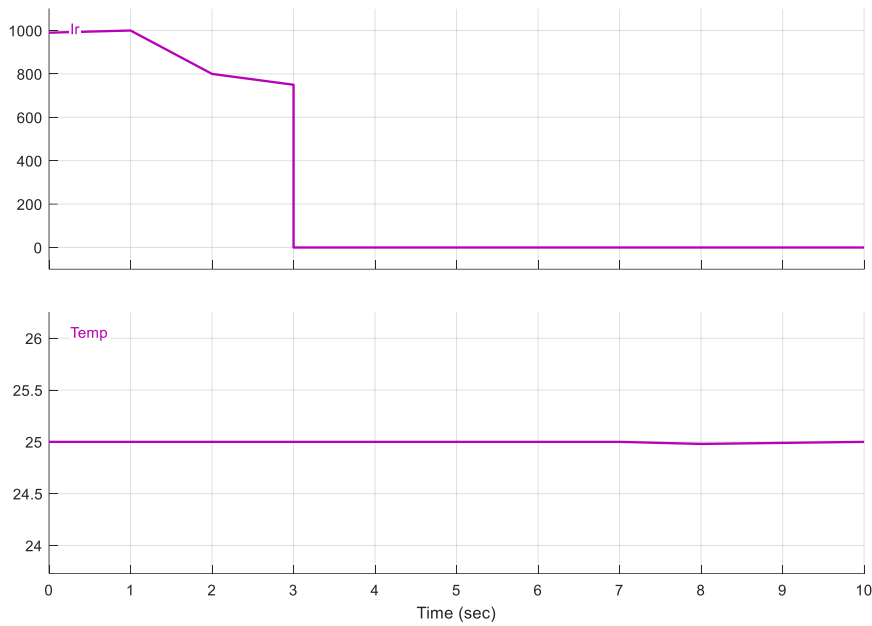
udržitelné hodnotě výkonu při poklesu svitu. Mezi LC filtrem a měřícím bodem PCC, se navíc dodal vypínač s časem vypnutí, při poklesu výkonu FVE s akumulací na hodnotu nula. Protože daný LC filtr, při nevýrobě FVE, se choval v síti jako spotřebič, jeho kapacita se nabíla a vytvořila menší kmit při poklesu výkonu viz graf „P pcc bez vypínače“. V případě poklesu napětí na hodnotu nula viz graf „U bus 1 bez vypínače“ v bodě PCC, byl pokles pomalejší vlivem právě této kapacity.

Výsledné grafy 5: Průběh výkonu pcc a napětí bus 1



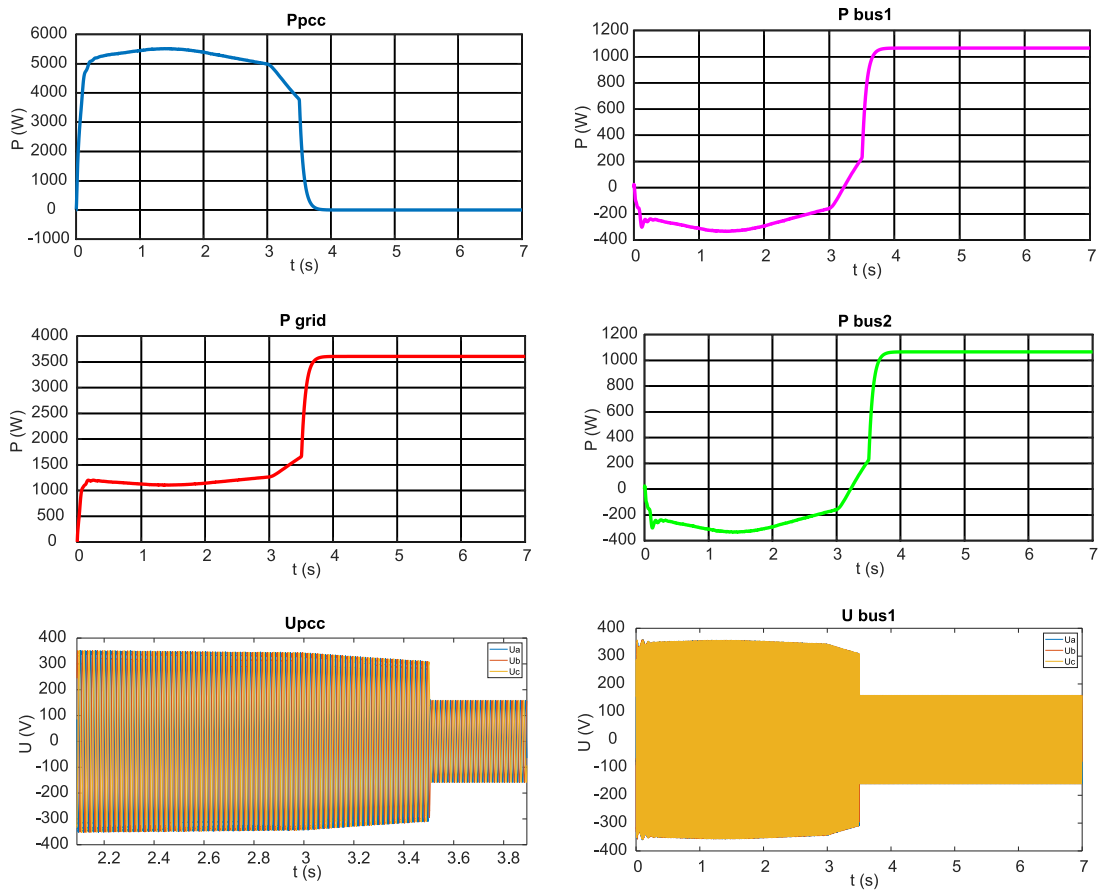
Hlavní vypínač je počas celé simulace v sepnuté poloze a požadovaný výkon zatížení je rozdělen mezi FVE s akumulací a ES. Na začátku simulace po odeznění přechodového jevu došlo k přerozdělení výkonového toku mezi FVE s akumulací a ES. FVE s akumulací pokrývá zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 4 (1,5 kW) a částečně se snaží hradit výkon ze zátěže Dům 6 (cca 300 W), který v průběhu času do 1 s roste, viz graf „Ppcc“.

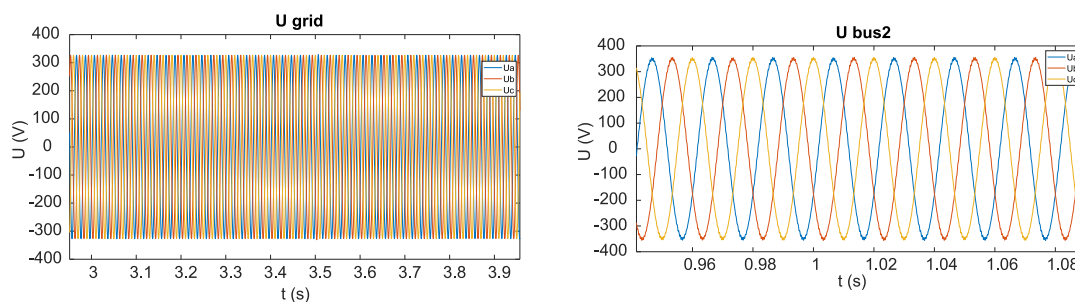
Tento děj nastal z důvodu zvýšení slunečního svitu z hodnoty $990 \text{ W} / \text{m}^2$ až na hodnotu $1000 \text{ W} / \text{m}^2$. Ze strany ES, klesá hrazený výkon, viz graf „P grid“, po čase 1 s klesá sluneční svit na hodnotu $800 \text{ W} / \text{m}^2$, potom v čase 3 s klesne na hodnotu $750 \text{ W} / \text{m}^2$. Tímto je docíleno pokles výroby z FVE a tím i napětí viz graf „Upcc“. Zároveň ES začíná přebírat zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW) a Dům 4 (1,5 kW) od FVE, protože je napětově výše než FVE s akumulací viz graf „P grid“ a graf „P bus 1“. Rychlost strmosti poklesu výkonu je dán strmostí poklesu slunečního svitu viz Graf 8 a graf „Ppcc“. V čase 3 s při poklesu slunečního svitu na nulu, klesla i výroba FVE na nulu a tudíž veškerou spotřebu ve SV převzala ES. Nedostatečný výkon, ze strany ES v době plného převzetí od FVE, nastal vlivem dlouhého vedení, kde vznikl úbytek napětí takový, že potřebný výkon pro napájení zátěží nedosáhl potřebných mezích. Případné výsledky jalového výkonu jsou znázorněny v Příloze 8.



Graf 8: nastavená změna slunečního záření (W / m^2) a teplota ($^{\circ}C$)

Výsledné grafy 6: Průběhy veličin z naměřených uzlů (pcc, grid, bus1, bus2)





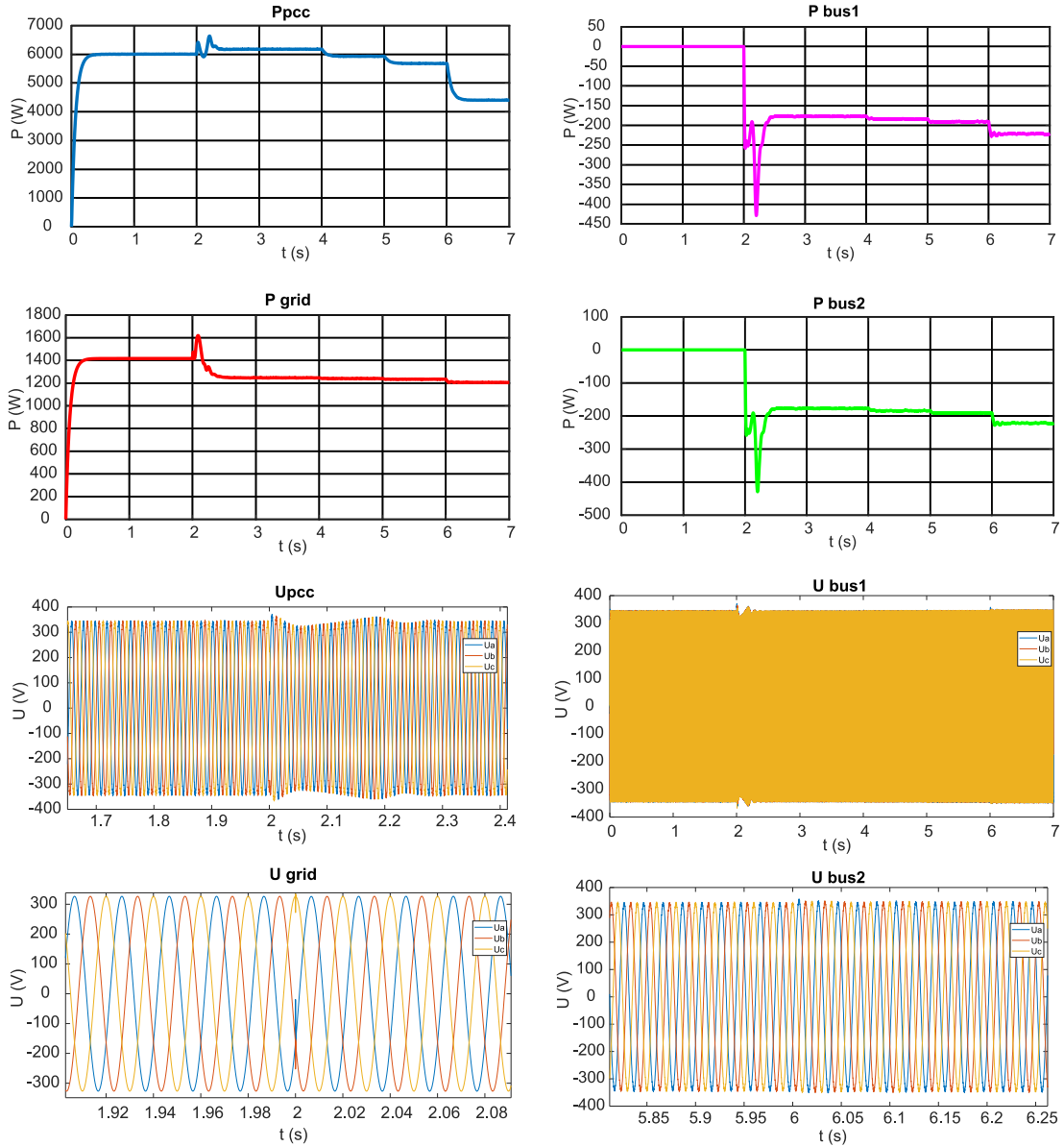
6.2.6 Dopad porušení výkonové bilance ve Smart Village na ES

Poslední simulace se zabývá dopadem porušení výkonové bilance ve SV, v případě připojení skoro plně zatížené SV z pohledu výkonové bilance k ES. Tento stav pro naši řešenou SV v praxi nesmí nastat, protože vzniká velký proudový ráz, což může mít za následek vyhození vypínačů vlivem zareágování ochran v některých místech trasy nebo v nejhorším případě může dojít až ke ztrátě ze synchronizmu.

Na začátku simulace je Hlavní vypínač v rozepnuté poloze a požadovaný výkon zatížení je rozdělen mezi FVE s akumulací a ES. Ze strany FVE jsou připojeny zátěže Dům 1 (1,5 kW), Dům 2 (1,5 kW), Dům 3 (1,25 kW) a Dům 4 (změněno na 1,3 kW), celkově je tedy spotřeba cca 6 kW viz graf „*P_{pcc}*“, s ohledem na ztráty v ostrovním provozu. V čase 2 s dojde k připnutí SV k ES a nastává proudový ráz, který je znázorněn velkým překmitem ale není tak velkým, aby síť tuto náhlou změnu toku výkonů nezvládla vyregulovat viz graf „*P_{bus 1}*“. Z pohledu „tvrdého zdroje“ ES se napětí nezměnilo, viz graf „*U_{grid}*“, naopak v grafu „*U_{pcc}*“, lze vidět přechodový děj, který má stále sinusové napětí.

Po přechodovém ději, nastalo bilanční výkonové ustálení a dané zdroje si přerozdělili spotřebu, pokud by byla nastavená větší spotřeba z pohledu bilance výkonu v ostrovním provozu, při připojení, nastala by ztráta ze synchronizmu. V čase 4 s došlo ke snížení zatížení o 250 W pro zátěž Dům 2, v čase 5 s nastala stejná situace zátěže Dům 1 (snížení o 250 W). Na regulátor střídače FVE s akumulací, se to projevilo snížením celkové spotřeby pokrývané SV a zároveň v čase 4 s a 5 s došlo k menšímu snížení výroby ze strany ES, viz graf „*P_{grid}*“ nebo graf „*P_{bus 2}*“. Tento děj nastal, protože FVE měla rezervní výkon právě vlivem snížených zátěží Dům 1 a Dům 2 (500 W). V čase 6 s došlo k odepnutí zátěže Dům 3 o hodnotě 1,25 kW a tím i ke stejnému ději jak jsem již popisoval z předešlé situace. Případné výsledky jalového výkonu lze nalézt v Příloze 8.

Výsledné grafy 7: Průběhy veličin z naměřených uzlů (pcc, grid, bus1, bus2)



7 Komplexní model Smart Village

Tato kapitola obsahuje stěžejní část diplomové práce, která se týká vytvoření jednoduchého modelu Smart Village obsahující návrhy regulačních schémat regulátorů výroby a spotřeby elektrické energie.

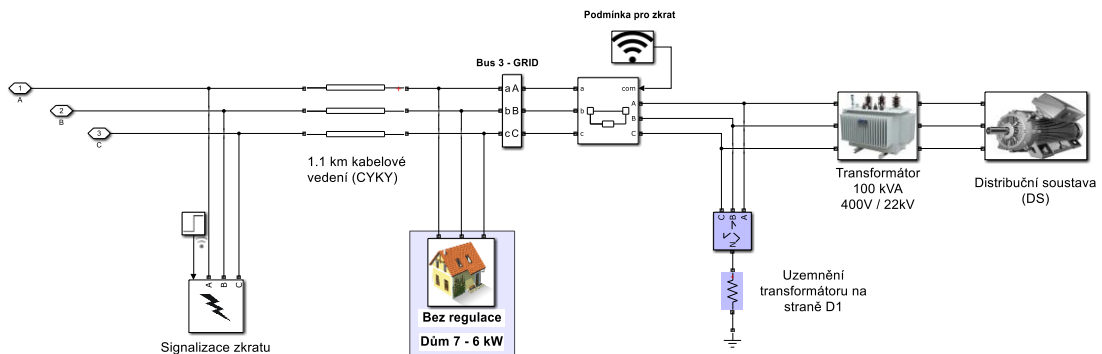
7.1 Představení navrženého komplexního modelu Smart Village

Při tvorbě výsledného modelu Smart Village jsem vycházel ze základního modelu představeného v kapitole 6, který jsem postupně zdokonaloval. Vytvořil jsem současně několik variant modelů, díky nimž analyzuji mnou navržené regulační obvody výroby a spotřeby elektrické energie při různých provozních stavech Smart Village. Výsledkem je komplexní model, který zahrnuje všechny dílčí části jednotlivých řešených modelů. viz Obrázek 20 a Obrázek 21 na následující straně.

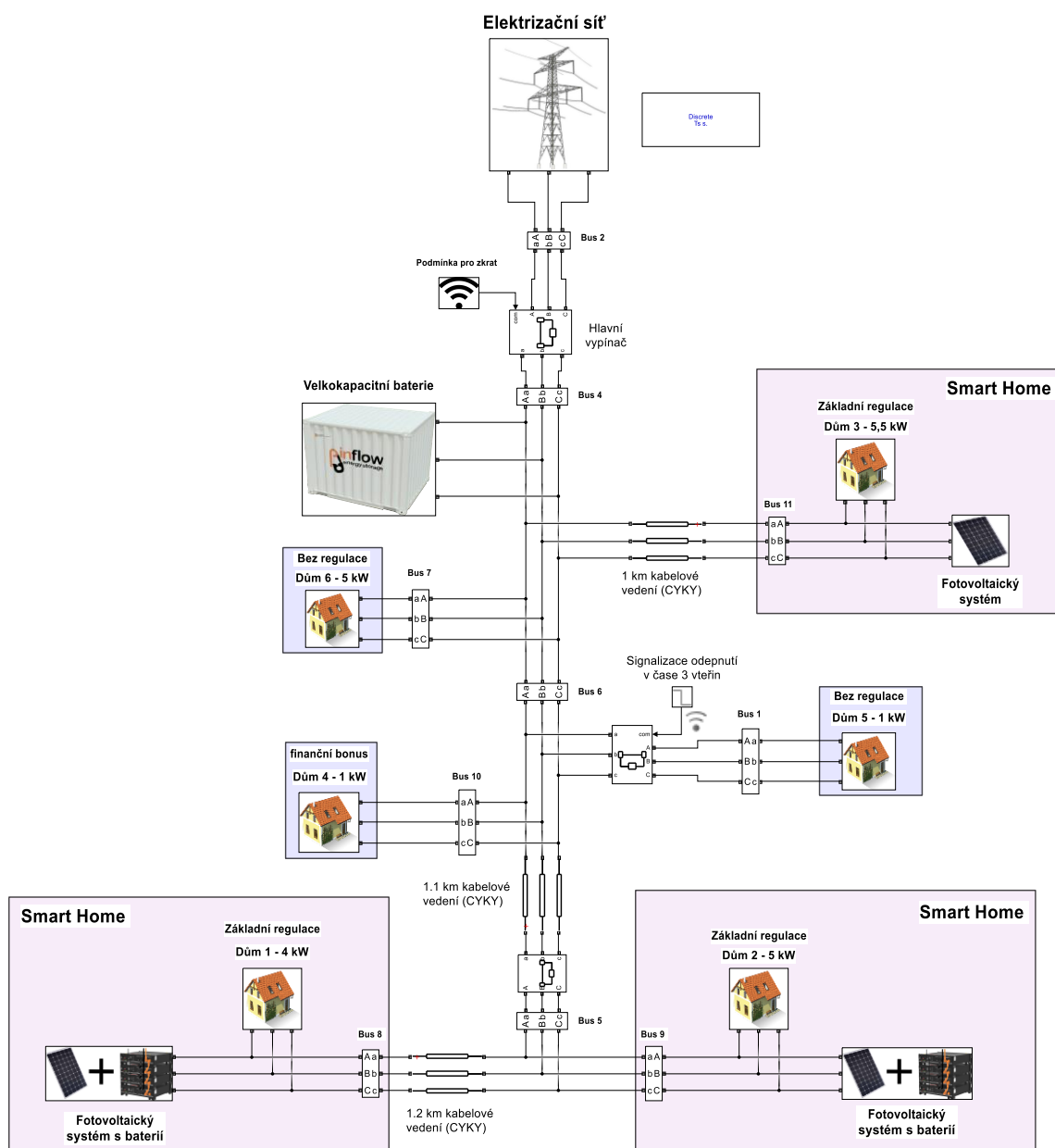
Na Obrázku 20 je vidět vnitřní schéma subsystému bloku nazvaného ve schématu uvedeném na Obrázku 21 Elektrizační síť. Jak je patrné z Obrázku 20, tak blok Elektrizační síť má obdobnou topologii jako v modelu představeném v kapitole 6.1.1. Parametry bloku Distribuční soustava a bloku Transformátor jsou stejné jako v základním modelu, viz v kapitola 6.1.1. Rozdíl je zde v připojené zátěži, kde zde je připojena jen jedna zátěž Dům 7, a v připojení bloku simulující zkrat v ES a vypínače mezi transformátorem a uzlem Bus 3 – GRID, který při zkratu v ES odpojí postižený úsek tzn., ES se odpojí a Smart Village přejde do ostrovního provozu rozepnutím Hlavního vypínače, viz blok ve schématu na Obrázku 21. Tyto dva vypínače jsou řízeny navrženým algoritmem, který simuluje selektivitu ochran.

Samotný navržený model Smart Village obsahuje tři domy typu Smart Home (Dům 1, Dům 2 a Dům 3), které jsou napájeny hybridně z vlastní FVE a ES, dva domy bez možnosti regulace spotřeby (Dům 5 a Dům 6) a jeden objekt (Dům 4), který obsahuje regulaci spotřeby, tzn. má finanční bonus za regulaci spotřeby.

Dále je v modelu Smart Village připojena velkokapacitní baterie, která pomáhá regulovat hodnoty napětí a frekvence v síti, zejména pokud některá z FVE je odpojena od sítě a pouze v případě pokud je Smart Village v ostrovním provozu.



Obrázek 20: Schéma elektrizační soustavy v komplexním modelu



Obrázek 21: Navržený komplexní model Smart Village

- **Parametry jednotlivých bloků**

Parametry pro Obrázek 20, jsou stejné jako v předešlém modelu, rozdíl je pouze kabelové vedení, které bylo upraveno na hodnotu provozních veličin pro vedení dlouhého 0,5 km, viz Tabulka 4 a nastavena hodnota vzdálenosti 1,1 km. Na Obrázku 21 jsou uvedeny velikosti zátěží všech spotřebičů a vzdálenosti vedení, které mají stejné parametry jako zmiňované vedení 0,5 km v Tabulce 4. Z pohledu Velkokapacitní baterie a baterie ve SH je zde uvedena Tabulka 5, která stanovuje technické parametry těchto baterií.

Tabulka 5: Základní technická data baterií

Název	Velkokapacitní baterie	Název	Baterie ve SH 1	Název	Baterie ve SH 2
Nominální hodnota napětí (V)	400	Nominální hodnota napětí (V)	400	Nominální hodnota napětí (V)	400
Jmenovitá kapacita (Ah)	190	Jmenovitá kapacita (Ah)	65	Jmenovitá kapacita (Ah)	65
Stav nabití na začátku baterie (%)	80	Stav nabití na začátku baterie (%)	45	Stav nabití na začátku baterie (%)	60
Čas odezvy baterie (s)	1	Čas odezvy baterie (s)	1	Čas odezvy baterie (s)	1
Plné nabití napětí (V)	465,6	Plné nabití napětí (V)	465,6	Plné nabití napětí (V)	465,6
Nominální hodnota proudu vybíjení (A)	82,6	Nominální hodnota proudu vybíjení (A)	28,3	Nominální hodnota proudu vybíjení (A)	28,3
Typ baterie:	Lithium-Ion				

Simulace těchto baterií a popis jejich funkce, lze nalézt v kapitole 7.3.1 a kapitole 7.3.2.

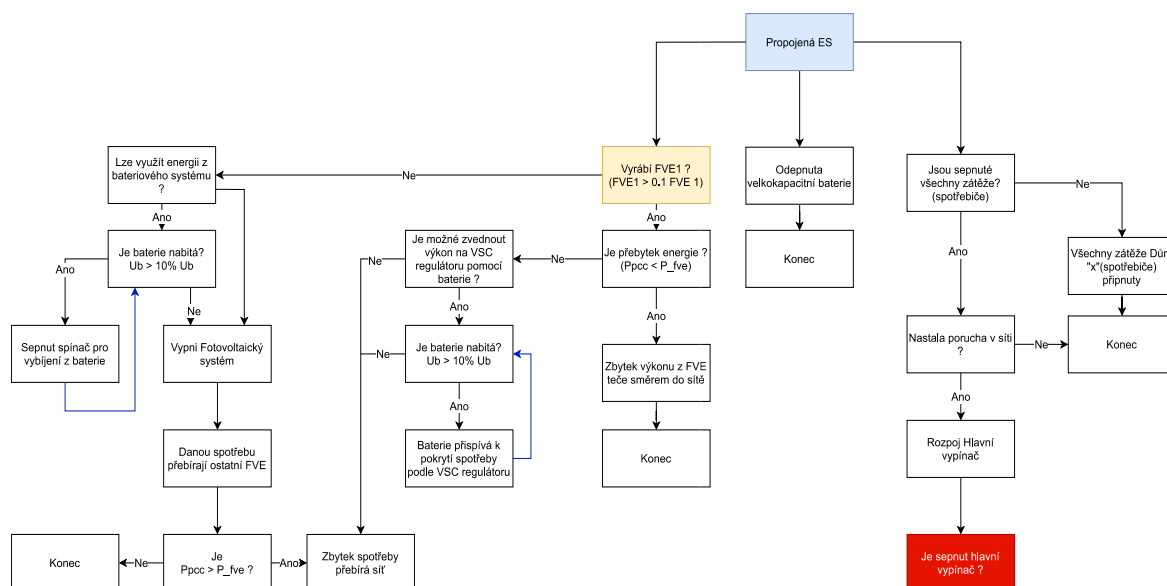
7.2 Navržený algoritmus řízení provozu Smart Village

Hlavním cílem mojí diplomové práce je navrhnout regulační schéma výroby a spotřeby elektrické energie v konceptu Smart Village. Aby bylo možné řídit provoz výše navrženého komplexního modelu Smart Village, tak je nejprve nutné navrhnout algoritmus řízení jejího provozu na základě, kterého se poté se staví modely regulačních obvodů v programu MATLAB Simulink.

Při návrhu algoritmu řízení Smart Village se vychází ze dvou hlavních provozních situací, tzn. ostrovního provozu Smart Village a paralelní spolupráce (propojení) Smart Village s ES. Mnou navržený algoritmus řízení je tedy univerzální pro jakoukoliv Smart Village a pro jakýkoliv její provozní stav. A v případě potřeby jej lze flexibilně modifikovat dle zadaných požadavků. Výsledné navržené schéma algoritmu řízení je prezentováno pomocí vývojových diagramů na Obrázku 22 a Obrázku 23. Navržený princip řízení provozu Smart Village je tedy patrný z těchto vývojových diagramů prezentovaných na následujících stranách.

- **Algoritmus řízení provozu Smart Village při spolupráci s ES**

Z navržených algoritmů je patrné, že při připojení Smart Village k ES budou majoritními zdroji (např. klasické uhelné elektrárny, jaderné, plynové, atd.), zdroje připojené k ES na vyšších napěťových hladinách (obecně v PS), než jsou DECE na NN nebo VN v rámci Smart Village. DECE budou tedy minoritními zdroji, které budou dodávat výkon do ES dle požadavků z ES, tzn. na základě naměřené hodnoty napětí a frekvence v síti. V tomto případě tedy DECE v rámci Smart Village budou, díky umožnění regulace jejich provozu, lokálně pomáhat majoritním zdrojům elektřiny udržovat napěťovou a frekvenční stabilitu v ES. V tomto řešeném modelu se uvažují jako DECE pouze FVE s akumulací využívající klasické napěťové střídače a jim odpovídající dostupné regulátory. Z tohoto důvodu hodnota frekvence v síti je dána regulací frekvence v ES a FVE s akumulací a jejich střídači jí pouze udržují na jmenovité hodnotě. Tzn., v regulačních obvodech střídačů není část regulačního obvodu, který by dovolil změnu frekvence na výstupu ze střídače. Což je správné s ohledem na to, že DECE mají být pouze jako podpůrné zdroje a nemají až moc zasahovat do řízení a regulace provozu ES. Tím, že dodávají výkon do sítě, který je regulován tak přispívají zejména k udržení stability napětí v dané lokalitě a zároveň ke snížení ztrát při přenosu výkonu v PS a DS jelikož výroba elektřiny je v místě její spotřeby. Výsledné schéma řízení Smart Village v pracovním stavu, kdy je připojena k ES je vidět na Obrázku 22.



Obrázek 22: Algoritmus řízení provozu Smart Village při spolupráci s ES

- **Algoritmus řízení provozu Smart Village při ostrovním režimu**

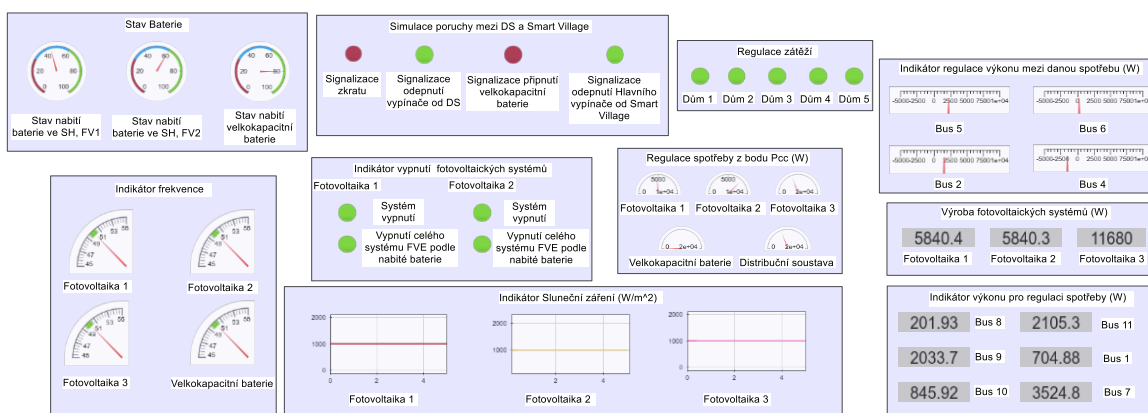
Pokud bude potřeba přejít na ostrovní provoz Smart Village, tak Smart Village zajistí pomocí regulace výroby z DECE dodávku požadovaného výkonu a tím napětíovou a frekvenční stabilitu i v ostrovním režimu. Hlavní myšlenkou řízení ostrovní Smart Village, viz Obrázek 23, je tedy jak regulace výroby, tak regulace i spotřeby.

tak pokud není dostatečný výkon v síti, tak musí počkat, až bude dostatečný „volný“ výkon v síti. Za tyto služby (regulace spotřeby) dostane zákazník finanční bonus.

Vysvětlení principů navržených regulačních schémat regulátorů výroby a spotřeby je uvedeno v kapitole 7.3 a 7.4. V těchto kapitolách je i ověřen princip činnosti navržených regulátorů simulacemi některých provozních stavů Smart Village v programu MATLAB Simulink.

- **Přístrojová deska (dashboard)**

V navrženém komplexním modelu Smart Village byl navíc navržen kontrolní panel (přístrojová deska, tj. subsystém Dashboard), který slouží jako ukazatel vybraných okamžitých hodnot sledovaných veličin a k signalizaci stavů v dané simulaci, viz Obrázek 24. Tento navržený kontrolní panel lze snadno modifikovat pro jakýkoliv jiný model Smart Village a může sloužit pro dispečerské řízení a kontrolu provozu celé Smart Village. V tomto kontrolním panelu lze tedy sledovat okamžitý provozní stav ve Smart Village a zároveň sledovat, zda regulace výroby DECE a spotřeby ve Smart Homes probíhá správně, tj. dle aktuálních požadavků na udržení stability napětí a frekvence v ES.



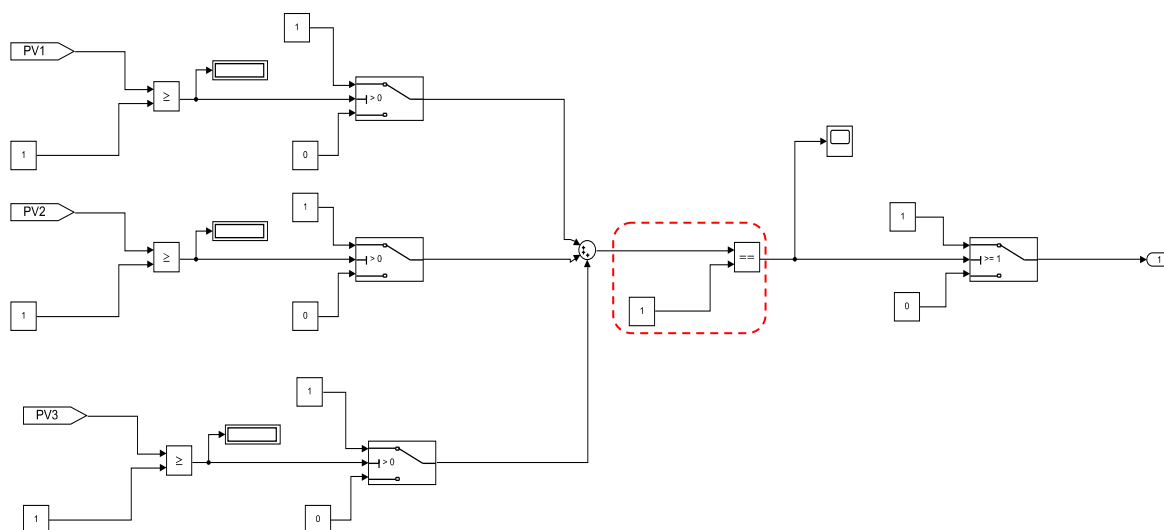
Obrázek 24: Dashboard regulace Smart Village

7.3 Návrh a analýza regulačního schéma spotřeby (odběru) elektřiny

V této sekci, se zaměřuji na regulaci spotřeby, ze strany zákazníka, podle kterého se budou spínat / odepínat regulované zátěže (spotřebiče) pomocí podmínkové regulace, na základě nastavených hodnot výroby nebo spotřeby. Výsledné regulační schéma zátěží je poměrně rozsáhlé. Z tohoto důvodu jsem, pro větší přehlednost a snazší vysvětlení jeho principu, rozdělil schéma na čtyři části podle aplikovaných podmínek v regulačním schématu. Pro názornou ukázkou nastíním daný princip regulace pro jednotlivé části regulačního schématu (regulační podmínky). Ve Smart Home si lze představit spotřebu o jedné základní zátěži, která je konstantní a k ní je připojen podmínkový blok se spínanou zátěží, charakterizující proměnlivou část celkové zátěže objektu. Pro případ bloku domu s finančním ohodnocením, platí stejné podmínky ale hodnoty spínání / odepínání mají menší hodnoty, tudíž dojde k sepnutí dřív.

- **Podmínka 1**

Tato podmínka deklaruje jaký signál, se vyšle na výstup switche, podle toho kolik FVE vyrábí v danou chvíli (označované PV). První podmínka „=1“ zobrazená viz Obrázek 25 pomocí červeně zaobleného obdélníku, je toto schéma Obrázku 25, vytvořeno celkem třikrát, pokud podmínka na switchi platí, vyšle signál o hodnotě 1, znamená to že vyrábí pouze jedna ze třech možných FVE, popis následujících kroků je v podmínce 2. Dále při totožném schématu, při kterém platí ale jiná podmínka „=2“ nebo „=3“, je ze switche na pravé straně vysílán signál pouze tehdy, vyrábí-li dvě nebo tři FVE. Pokud tedy platí jedna z těchto třech podmínek, vyšle se signál o hodnotě jedna (ostatní o hodnotě 0) a switch povolí danou regulaci pro spínání zátěží, následné pokračování je v podmínce 3.



Obrázek 25: Schéma regulátoru zátěží 1

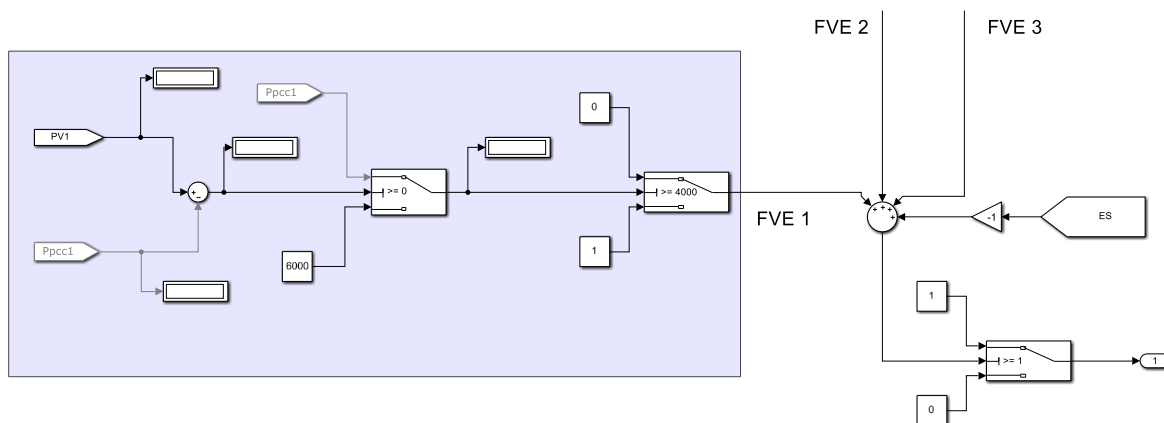
- **Podmínka 2**

Podle svého uvážení jsem se rozhodl stanovit kritéria sepnutí / odepnutí zátěží podle různého počtu FVE. Na základě aktuální spotřeby a počtu zdrojů jsem se rozhodl nastavit kritéria následovně: pokud vyrábí pouze jedna ze třech FVE dle uvážení, je nastavena FVE1 a FVE2 (každá o výrobě cca 5,8 kW) na kritérium 4 kW, FVE 3 má větší výrobu (cca 11 kW), proto má nastavené kritérium na 8 kW. Obecně tyto nastavené hodnoty pro spínání / odepínání jsou nastaveny na hodnotu minimálně 50 % z celkové výroby podle počtu zdrojů, které v danou chvíli vyrábí, aby byla zajištěna určitá rezerva výkonu.

Vyrábí-li pouze jedna ze třech možných FVE, platí tato podmínka: pokud je výroba vyšší než spotřeba, vyšle se signál ze switche o hodnotě 6 000 (velké číslo pro splnění podmínky dalšího switche). Tento signál je kontrolován dalším switchem na podmínku velikosti spotřeby vyšší než 4 kW, pokud je tedy vyšší než 4 kW, potom regulované zátěže nemohou sepnout (vyšle se hodnota 0) viz Obrázek 26. Pro FVE která vyrábí, platí signál spotřeby „*Ppcc1*“. Stejně tak platí podmínka switche o hodnotě 4 kW, pokud tato aktuální spotřeba „*Ppcc1*“ bude nižší než nastavené kritérium, hodnota signálu bude 1, naopak pokud bude větší, než 4 kW hodnota signálu bude 0.

Stejná podmínka platí i pro PV2, která již není zobrazená na daném obrázku, totéž platí i pro schéma PV3, které se liší pouze nastavené hodnoty ve spínání / odepínání, která je 8 kW. Připojení PV2 a PV3 je znázorněno v bloku sumátoru. Tento sumátor, sečte jednotlivé signály a následně je pošle na switch, který vyhodnotí kladné číslo a vyšle

hodnotu 1 pro spínání regulovaných zátěží. V sumátoru je navíc signál ES, který znázorňuje podmínku 4.

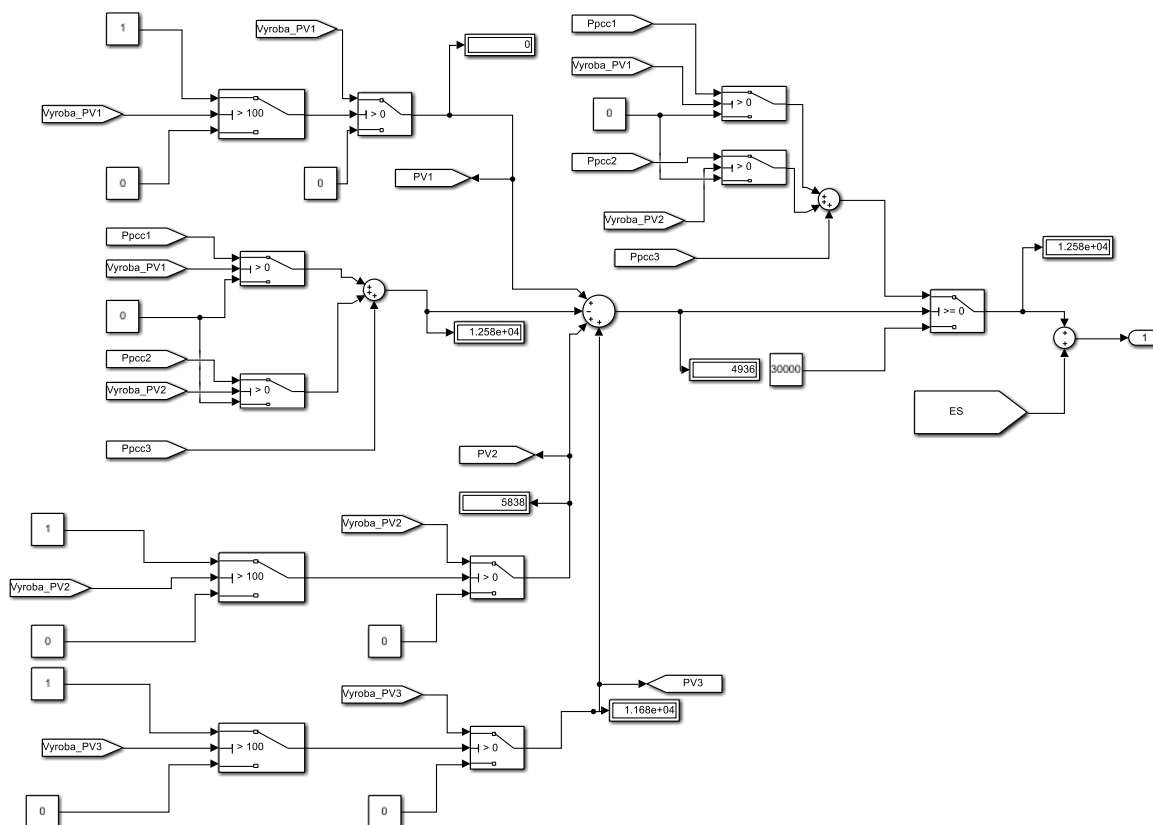


Obrázek 26: Schéma regulace zátěží 2

- **Podmínka 3**

Obecně platí v této podmínce, pokud FVE vyrábí alespoň 100 W (myšleno tedy že opravdu vyrábí), dojde k vyslání signálu aktuální výroby dané FVE. Následně v této podmínce mohou nastat dvě situace. Pro první situace nastává, jsou-li aktivní všechny tři FVE (celková výroba cca 22 kW), platí podmínka: spotřeba je větší než výroba, generuje hodnotu 30 000 (velké číslo pro splnění následujícího switchu, viz Obrázek 29). Následující switch porovnává podmínku: pokud hodnota vstupující do switchu je větší než 20 kW (nastavená hodnota dle uvážení), automaticky se odepínají regulované zátěže (hodnota signálu je 0).

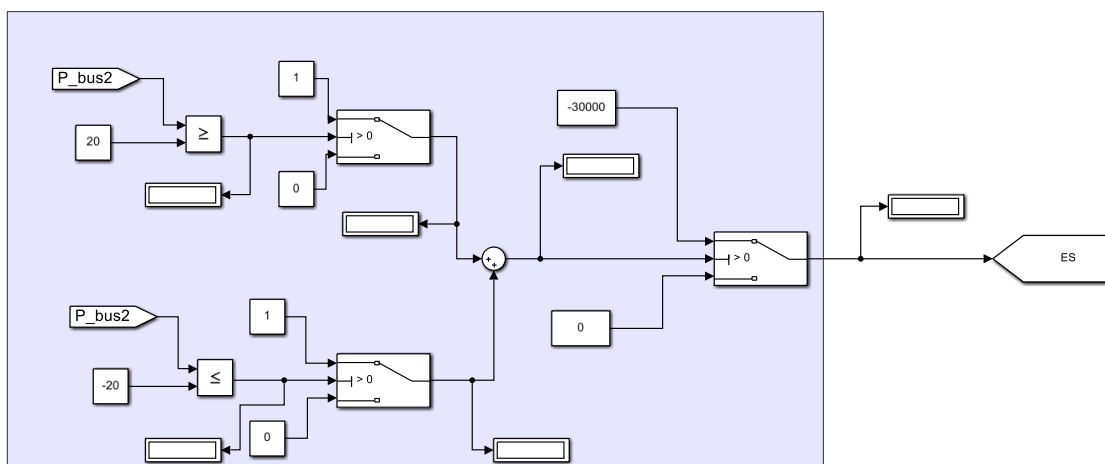
Druhá možnost situace: pokud je výroba větší než spotřeba, posílá signál aktuální spotřeby „Ppcc1, Ppcc2, Ppcc3“, které regulují dané FVE. Tyto regulované zátěže jsou připojené, dokud nepřesáhne aktuální spotřeba 20 kW, kterou hlídá druhý switch na Obrázku 29 (hodnota signálu je 1 pokud nepřesáhne 20 kW). Pro stejný případ je zde navíc signál od podmínky 4. Toto naznačené schéma na Obrázku 27, platí v podmínce 1 pro výrobu ze dvou nebo třech FVE. Pro podmínku výroby pouze dvou FVE, platí jiná nastavená hodnota na druhém switchi, viz Obrázek 29, s hodnotou 10 kW. Podmínka 1 tedy rozhoduje, která z těchto dvou switchů bude (zda vyrábí 2 nebo 3 FVE) aktivní pro spínání regulovaných zátěží.



Obrázek 27: Schéma regulace zátěží 3

- **Podmínka 4**

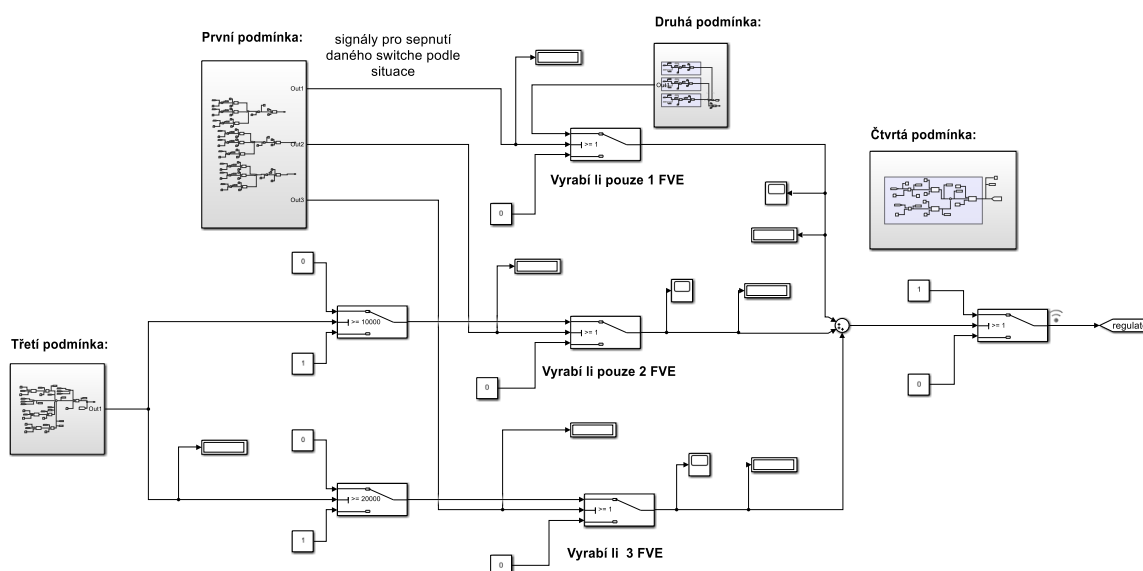
Schéma na Obrázku 28 popisuje situaci měřeného uzlu Bus 2, který měří výkon u hlavního vypínače, mezi danou Smart Village a DS. V případě, pokud přes tento Bus 2 poteče výkon, ať už z FVE do sítě (záporný) nebo ze sítě do místa spotřeby (kladný), tato regulace to zaznamená a ze switche vyšle signál o hodnotě minus 30 000 (velké záporné číslo, pro zajištění splnění podmínky na jednotlivém switchi) k sepnutí všech zátěží, bez ohledu na danou spotřebu, protože veškerou zbylou spotřebu přebírá ES. V případě že přes tento Bus 2 nepoteče žádný výkon, systém vysílá signál 0 do všech podmínek, tedy neovlivňuje spínací procesy podmínek pro regulaci zátěží.



Obrázek 28: Schéma regulace zátěže 4

- **Komplexní schéma regulátoru**

Na Obrázku 29, lze vidět komplexní schéma regulátoru zátěži 1, ve kterém jsou nastíněny všechny podmínky. Stejný princip je v regulátoru zátěži 2 (finanční bonus) pro horší citlivost spínání, hodnoty jsou nastaveny o něco menší, aby bylo docíleno tzv. horšího tarifu. Zákazník by byl finančně bonifikován za dřívější odepnutí spotřebičů než by tomu nastalo u regulátorů zátěži 1, aby například nedošlo k výkonnostní nerovnováze mezi spotřebou a výrobou. Jednotlivé spínací procesy podle výkonu jsou znázorněny ve Výsledné grafy 8.



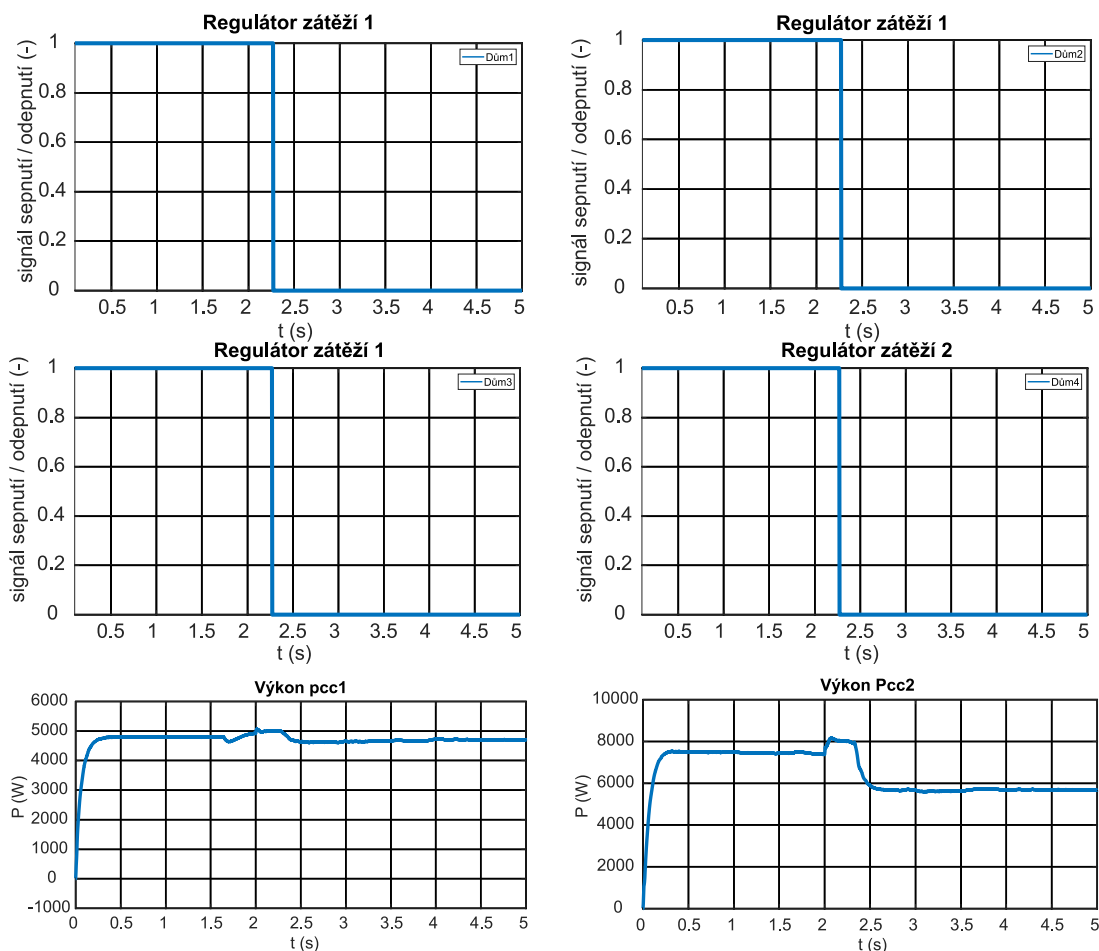
Obrázek 29: komplexní schéma regulátoru zátěži

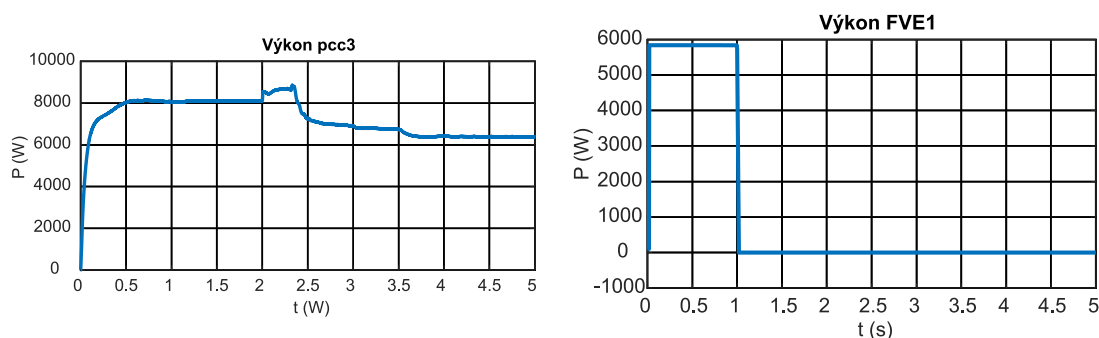
Z výsledných průběhů spínání zátěži a činných výkonů v měřených uzlech viz Výsledné grafy 8 „výkon pcc“ lze situaci popsat následovně: v čase 1 s nastal pokles výkonu FVE1 s akumulací na hodnotu 0, následně po čase 1,5 s došlo ke změně stavu

baterie (chvíli trvalo překlenutí na kladnou hodnotu proudu viz kapitola 7.4.1 graf “Proud baterie“) ze stavu nabíjení, do stavu vybíjení viz kapitola 7.4.1 graf “Stav baterie (nabíjení / vybíjení)“. Z tohoto důvodu nelze poznat pokles výkonu viz graf „výkon pcc1“, protože baterie převzala roli zdroje, znázorněno poklesem výkonu v čase cca 1,7 s.

Po čase 2 s nastala v síti porucha a tudíž se regulované zátěže odpojili v čase cca 2,3 s, kdy na Bus 2 klesá výkon na hodnotu 0. Tudíž z podmínky 4 (vnucující hodnotu 1 pro sepnutí všech regulovaných zátěží), se daná podmínka změnila na podmínku 3 vyrábějící pouze 2 FVE s hodnotou kritéria spínání 10 kW. V grafu „regulátor zátěží 1“ (Dům 1, Dům 2, Dům 3), je vidět že tato podmínka deklarovala signál hodnoty 0 (odepnutí zátěží) vlivem kontroly výkonu z FVE 2 a FVE 3, viz graf „Výkon pcc2“ a graf „Výkon pcc3“ (součtově je hodnota cca 17 kW). Stejně tak došlo v Dům 4 (finančního bonus) k odepnutí regulované zátěže ve stejnou chvíli viz graf „Regulátor zátěží 2, protože vlivem nastavené hodnoty kritéria (8 kW), též nevyhovovaly rezervnímu výkonu oproti aktuální spotřebě (cca 17 kW), kterou pokrývaly dané FVE.

Výsledné grafy 8: Průběh veličin z naměřených uzlů pcc a regulace spínání v čase



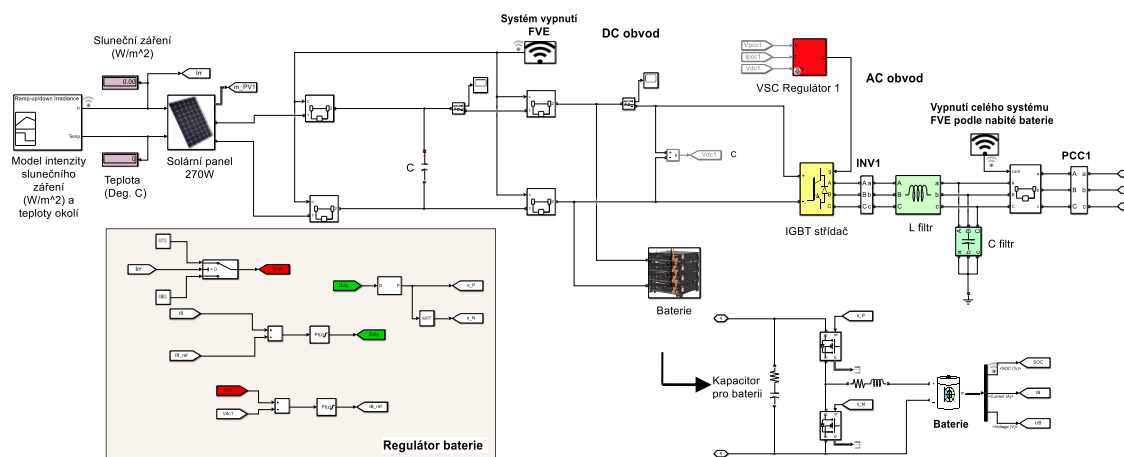


7.4 Návrh a analýza regulačního schéma výroby (dodávky) elektřiny

Tato kapitola zahrnuje části modelu týkající se regulace výroby z pohledu zákazníka (regulace výkonu FVE s akumulací v objektu Smart Home) a distributora (regulace velkokapacitní baterie připojené a provozované distributorem ve Smart Village).

7.4.1 Regulace výkonu FVE s akumulací ve Smart Home

Baterie FVE na Obrázku 30 se nabíjí tehdy, je-li výroba větší než spotřeba, nebo pokud je spotřeba větší než je výroba, automaticky baterie přestane nabíjet a pomáhá regulovat napětí pro vytvoření dostatečného výkonu, tedy je možné vyrábět i více, pokud je v daném Smart Home vestavěná baterie. K baterii jsou přiděleny vypínače, z důvodu kapacity (C) v DC obvodu, která se zpětně nabíjí a vytvářela nesinusové průběhy napětí. Dále je zde vypínač pro vypnutí celého systému FVE v případě, že baterie klesne pod 10 % nabitě hodnoty a zároveň pokud daná FVE nevyrábí, vypnutí je zavedeno z důvodu LC filtru, který se v danou chvíli chová jako spotřebič a má negativní vliv na síť. Výsledky komplexního modelu pro baterie z FVE 1 jsou viz Výsledné grafy 9. A výsledky z FVE 2 jsou viz Výsledné grafy 9, která pouze vyrábí a tudíž baterie signalizuje pouze stav nabíjení.

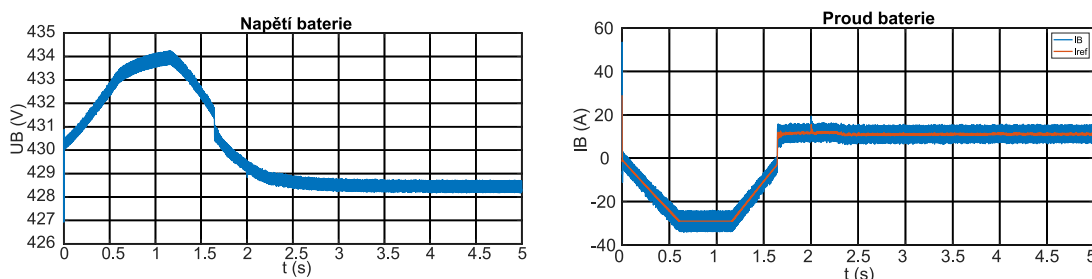


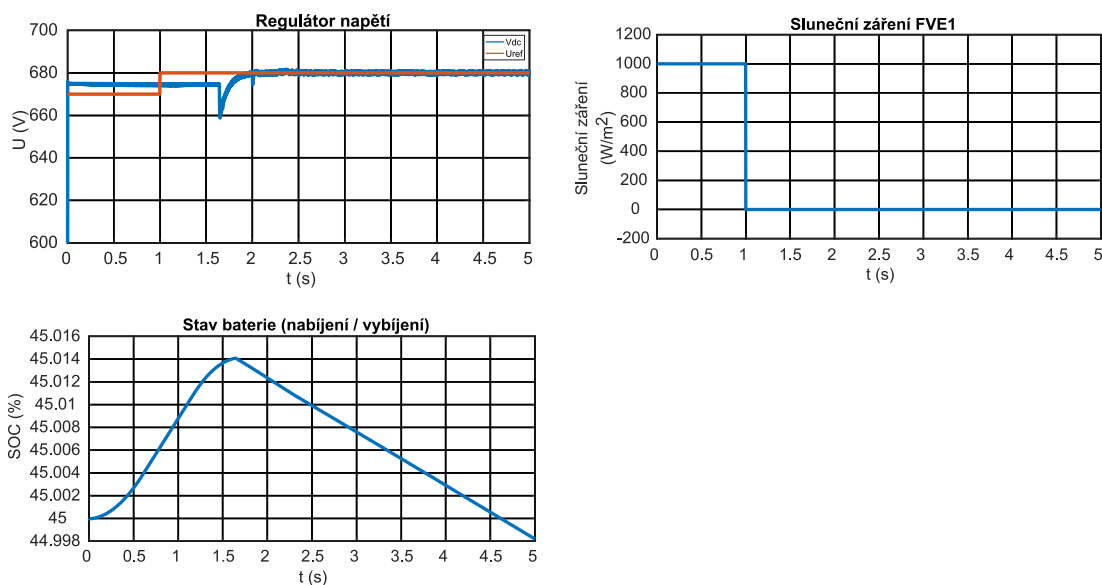
Obrázek 30: Regulátor baterie pro SH

Pro regulátor baterie, je možné stanovení U_{ref} , podle kterého se porovnává napětí před VSC regulátorem viz Výsledné grafy 9 „Regulátor napětí“. Tímto způsobem pokud U_{ref} (670V) < V_{dc1} (675V), signalizuje se stav nabíjení. V případě poklesu výkonu, znázorněno poklesem slunečního záření pod 500 W / m² viz Výsledné grafy 9 „Sluneční záření FVE1“ dojde k přepnutí na konstantu 680 V, která signalizuje stav vybíjení. Oba stavy lze, podle konstant U_{ref} nastavit na hodnoty takové, které by přechod do těchto stavů (nabíjení / vybíjení) mohli urychlit. Bohužel tímto U_{ref} se stanovuje hodnota napětí před VSC regulátorem, čímž docílíme vyšší dominanci tohoto zdroje nad ostatními a tato baterie začne pokrývat mnohem větší spotřebu, při ostrovním provozu SV. Tedy nelze stanovit velkou toleranci napětí od DC obvodu, ve kterém je stanovena hodnota 675 V na kapacitě (C) ve všech fotovoltaických systémech. Menší tolerance U_{ref} sice sepne dříve, ale graf není takový, jaký bych v praxi očekával. Výsledky dopadů této tolerance jsou znázorněny v Příloze 11.

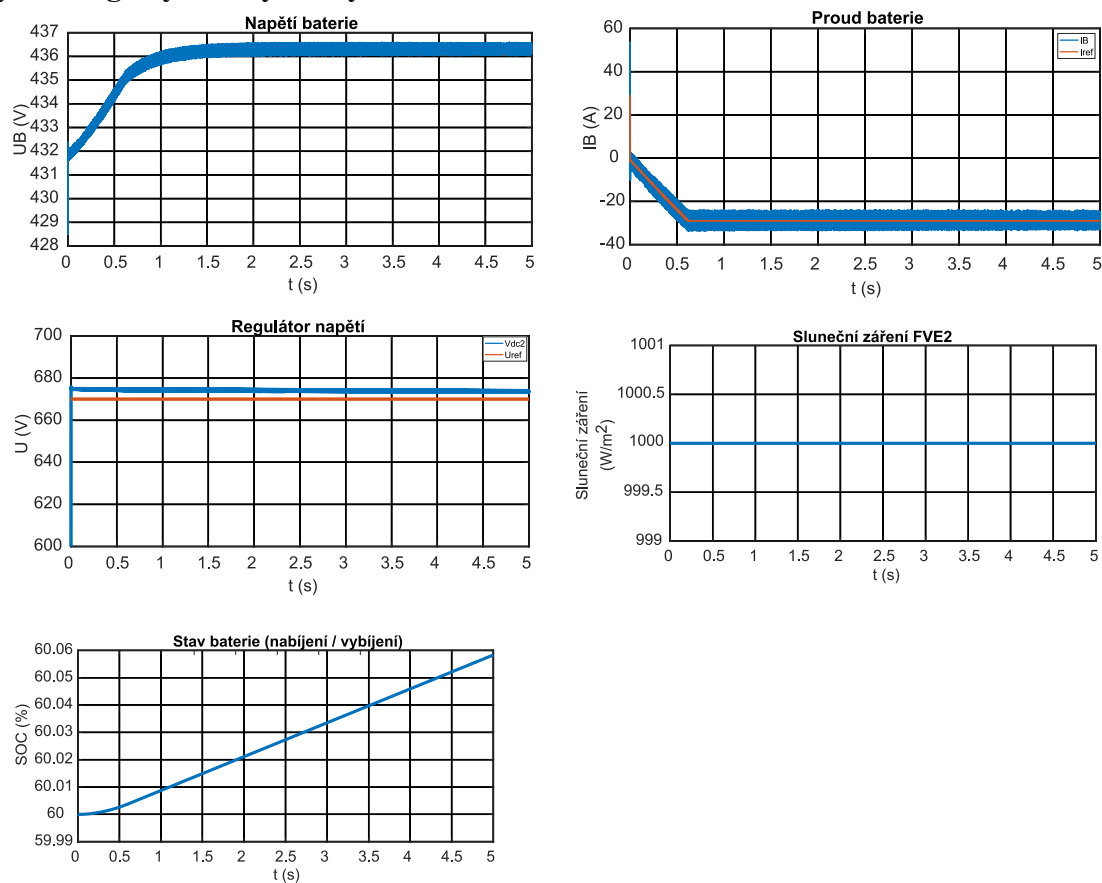
Z výsledků viz Výsledné grafy 11, je znázorněna výroba FVE1, FVE2 a FVE3 a jejich kvalita napětí v místě spotřeby. Napětí dodávané z baterie viz Výsledné grafy 11 „Napětí pcc1“ má nezkreslené sinusovky. Vlivem ES je udržována hodnota napětí 340 V i v případě hodnoty U_{ref} (680 V), následně po odepnutí od ES v čase cca 2,3 s je napětí z této FVE1 za střídačem větší (350 V). tato hodnota je sdružená, po přepočtení na efektivní hodnotu je stále v toleranci 230 V ± 10 % (ostatní FVE cca 347 V vlivem velké impedance vedení, které musí překonat pro napájení zátěží v místě spotřeby). Zároveň v tomto čase (2,3 s), všechny FVE reagují na odpojení ES od SV, vlivem poruchy. Z pohledu napětí můžeme konstatovat, že impedanční vzdálenost od místa rozpojení dáno vzdáleností vedení FVE1 a FVE2 je reakce napětí na rozpojení menší než pro FVE3. Tento útlum je zapříčiněn impedancí vedení, která je blíže k Hlavnímu vypínači viz grafy „Napětí pcc2“ a „Napětí pcc3“.

Výsledné grafy 9: Výsledky simulace baterie FVE1

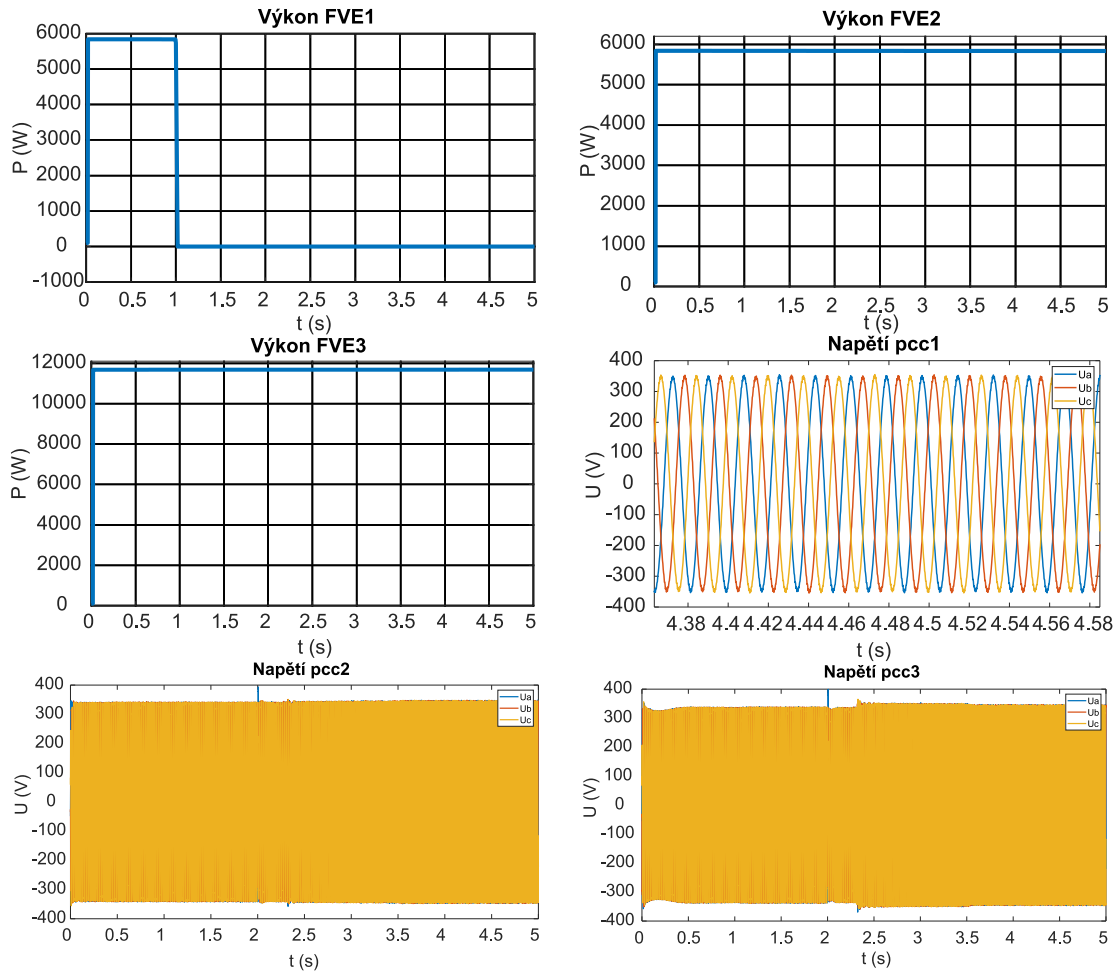




Výsledné grafy 10: Výsledky simulace baterie FVE2

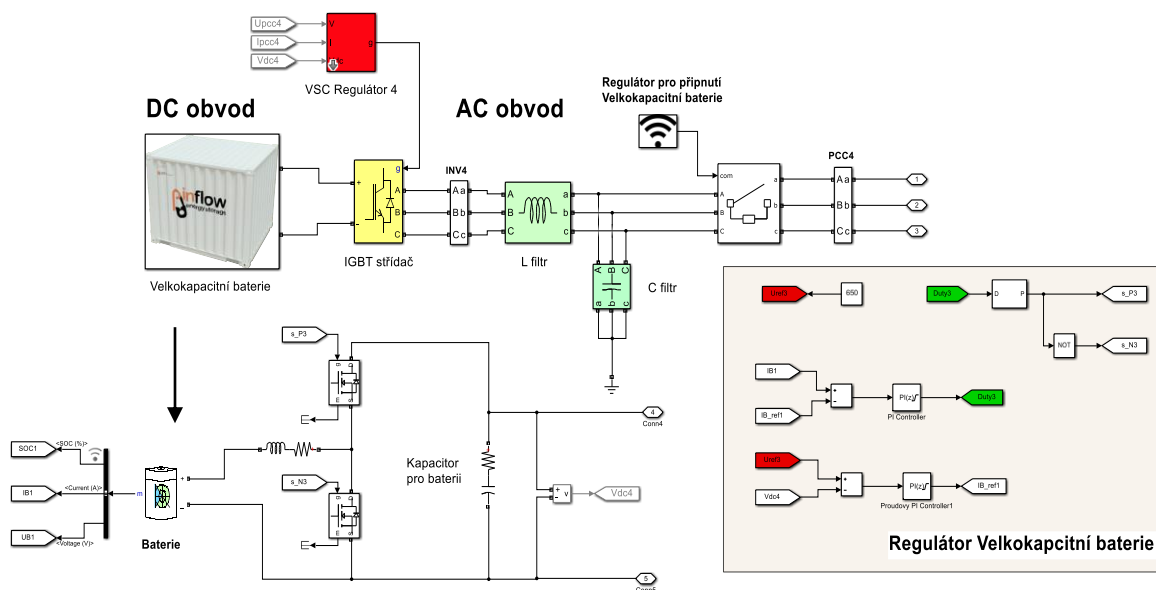


Výsledné grafy 11: Výkony FVE a napětí za LC filtrem



7.4.2 Regulace výkonu velkokapacitní baterie

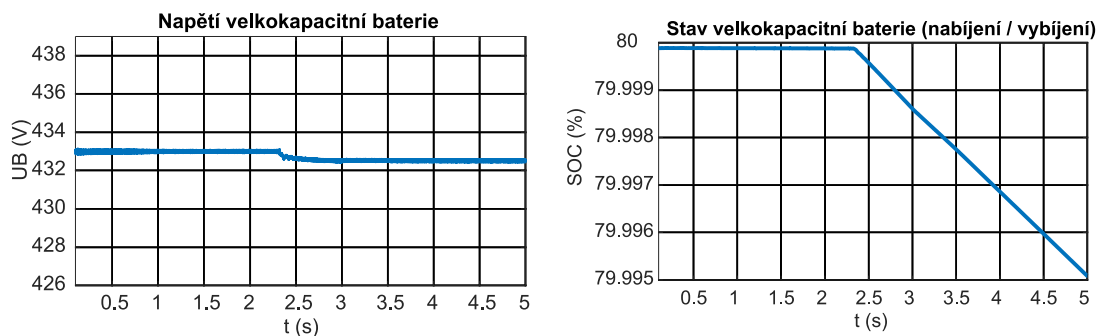
V simulaci, velkokapacitní baterie, slouží k automatickému převzetí spotřeby, v případě poruchy mezi danou Smart Village a distribuční soustavou. Velkokapacitní baterie se připojí k soustavě tehdy, pokud na Bus 2 naměří nulovou velikost přenášeného toku výkonu. Za dané situace to může na Bus 2 způsobit pouze porucha, která vyhodnotila daná ochrana a vypla hlavní vypínač nebo mohlo dojít k odpojení od DS za účelem ostrovního provozu dané Smart Village. Schéma velkokapacitní baterie je zobrazeno na Obrázku 31, spolu s vnitřním schématem baterie. Výsledky simulace jsou viz Výsledné grafy 12.

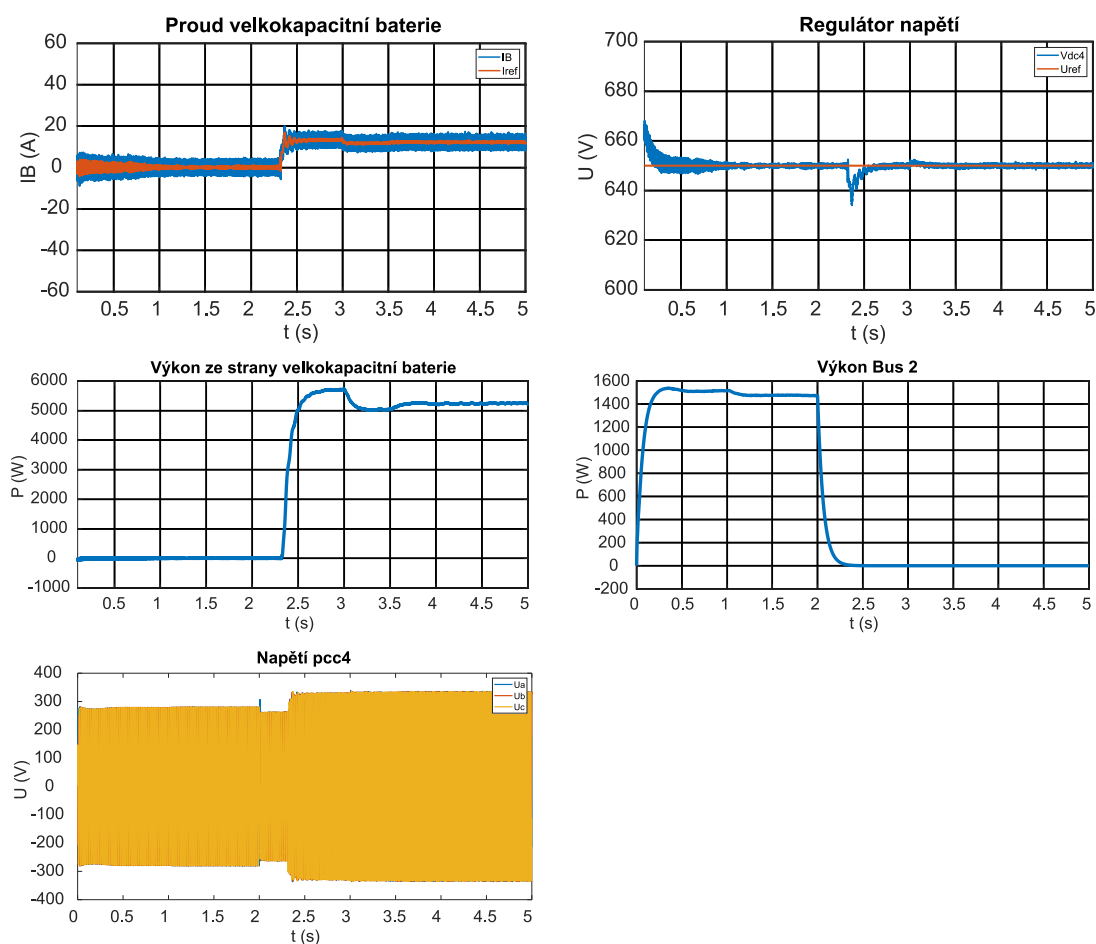


Obrázek 31: Model velkokapacitní baterie

Z výsledků baterie viz Výsledné grafy 12, lze vidět průběhy veličin z naměřených hodnot bloku Velkokapacitní baterie. Tato baterie byla do času cca 2,3 s v odepnuté stavu, vlivem bloku regulátoru pro připojení Velkokapacitní baterie. Tento regulátor měří hodnotu na Bus 2 a stanovuje hodnotu 1 (stav připojení baterie) v případě poklesu výkonu uzlu Bus 2 na hodnotu 0 viz graf „Výkon na Bus 2“. V případě připojení velkokapacitní baterie (signalizováno stavem vybíjení viz graf „stav velkokapacitní baterie“), nastává přechodový jev a ustálení výkonové bilance, mezi jednotlivými FVE podle impedanční vzdálenosti od místa spotřeby. V čase 3 s dojde k odpojení zátěže Dům 5 (1 kW) a dojde znova k přerozdělení výkonu mezi vyrábějící zdroje.

Výsledné grafy 12: Výsledky simulace velkokapacitní baterie





7.5 Analýza simulace provozu navrženého komplexního modelu

Start simulace začíná sepnutým stavem na Hlavním vypínači, kterým je signalizováno propojení mezi SV a ES. Napětí před VSC regulátory, bylo nastaveno o něco větší (675 V), aby výkony z FVE a později z velkokapacitní baterie (650 V) měly přednost pro napájení zátěží v místě spotřeby, než samotná ES. Dále se tato výroba z FVE a ES rozdělí podle impedance vedení, která není všude stejná a tudíž dochází k efektivnějšímu přerozdělení viz Výsledné grafy 13.

V případě Smart Home, jsou zde rozděleny 2 typy systémů, jedním je s akumulací do baterie (Hybrid systém) a druhý typ je bez uvažování baterie. Všechny FVE vyrábí po celou dobu simulace, pouze v čase 1 s nastal pokles slunečního svitu a tedy výpadek FVE1, z tohoto důvodu, převzala baterie roli zdroje a hradila napětí místo FVE1, viz kapitola 7.3.1. Pro tuto situaci je zde naznačena nevyužitá simulace baterie, která v případě že je nabitá (SOC >10 %), převezme roli výroby od FVE1 a napájí dané zátěže v síti (přechod ze stavu nabíjení do stavu vybíjení), pokud by stav baterie byl pod

SOC < 10 %, došlo by k vypnutí celého systému FVE1. Výsledky simulace, spolu se schématem SH pro FVE1 jsou nastíněny v kapitole 7.3.1

V čase před rozpojením Hlavního vypínače (do 2 s) výkon ze strany FVE viz „Výkon Bus 8“, „Výkon Bus 9“ a „Výkon Bus 10“ je převážná část výkonu pokryta od FVE2 (Bus 9) a FVE3 (Bus 11), protože FVE1 je impedančně dál vlivem vedení (v případě neuvažování vedení, nastává situace symetrického přerozdělení výkonů). Z pohledu ES lze v grafu „Výkon ze strany sítě“ zpozorovat výkon cca 8 kW, který postupně klesá vlivem přerozdělení výkonu mezi FVE. Tato síť byla impedančně blíže k místu spotřeby, z toho důvodu kryla větší část spotřeby než jednotlivé FVE. Vlivem použití vedení, nastal úbytek napětí na vedení do místa spotřeby.

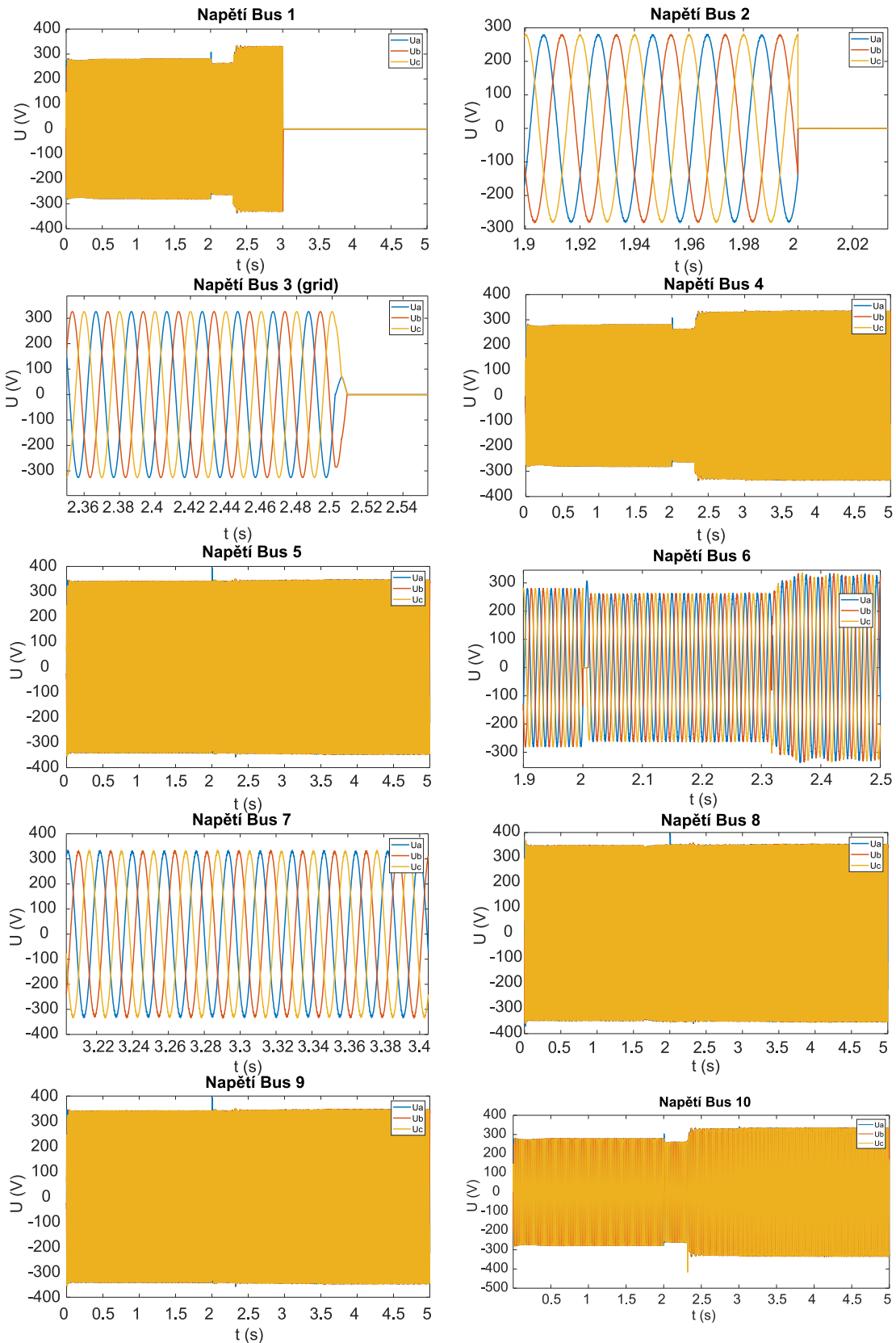
V čase 2 s došlo ke zkratu (sepnutí poruchy mezi Bus 2 a Bus 3 – GRID), tuto poruchu následně zaznamenají ochrany, které vyšlou signál na vypínač (podmínka pro zkrat) a vypnou dané úseky (u trafa je podmínka vypnutí opožděna o $t = 0,5$ s) viz Výsledné grafy 14 „Výkon ze strany sítě“. Následné rozpojení Hlavního vypínače v čase 2 s, způsobilo na regulátoru střídače FVE 2 a FVE 3 zvýšení výkonu.

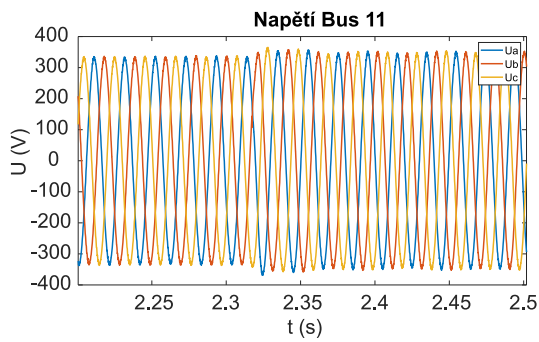
V čase cca 2,3 s došlo k připojení Velkokapacitní baterie vlivem poklesu výkonu uzlu Bus 2 na hodnotu 0, poté došlo k přechodovému ději a výkonovému ustálení. Výsledky simulace z pohledu regulace výroby na jednotlivých uzlech (Bus) mezi dané spotřeby, jsou znázorněny ve Výsledné grafy 14. Velkokapacitní baterie je impedančně blíže ke spotřebitelům tudíž, přebírá větší část spotřeby. Výsledky simulace velkokapacitní baterie lze nalézt v kapitole 7.3.2. Poslední částí simulace nastává odepnutím zátěže Dům 5 (spotřeba 1 kW), v čase 3 s, po kterém se znova přerozdělí výkon mezi FVE a velkokapacitní baterií.

Z pohledu regulace spotřeby pro simulaci regulace zátěží od 1 s do času 5 s platí, podmínka 1. Tato podmínka do 1 s signalizuje výrobu všech FVE (vyšle signál pro aktivaci podmínky 3), tudíž platí sepnutí zátěží, pokud je spotřeba do 20 kW, ale platí zároveň podmínka 4, která automaticky vyšle signál sepnutí zátěží, pokud je SV propojená s ES. Následně po čase 1 s dojde k vypnutí FVE1 (výrobu pokrývá baterie, ale ta není součástí regulace) a zároveň se změní signál v podmínce pro regulaci zátěží z 20 kW na 10 kW, protože regulace je nastavena podle výroby FVE. Obdobný princip platí pro Dům 4, ve kterém je stanovena horší velikost spínání podle spotřeby (tento zákazník je

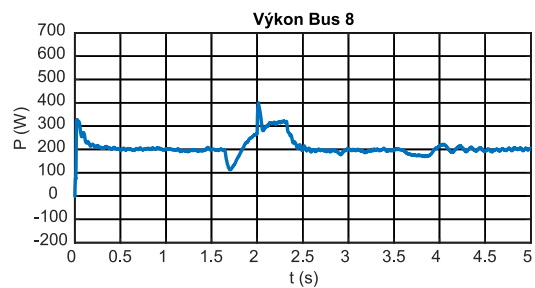
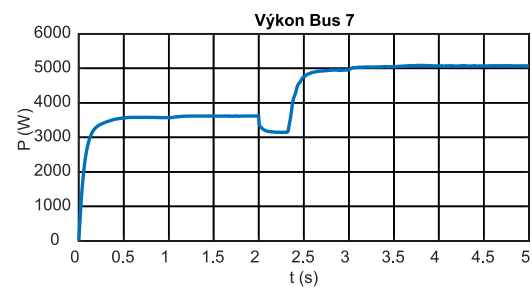
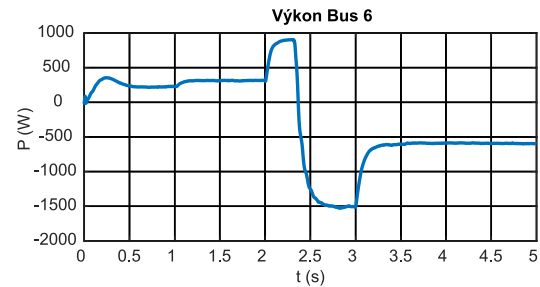
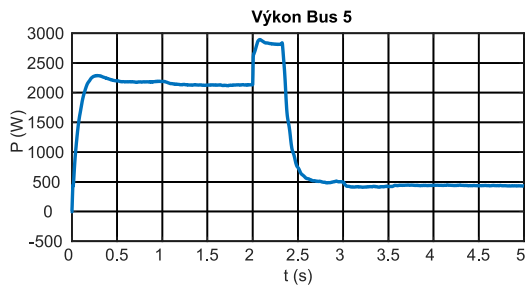
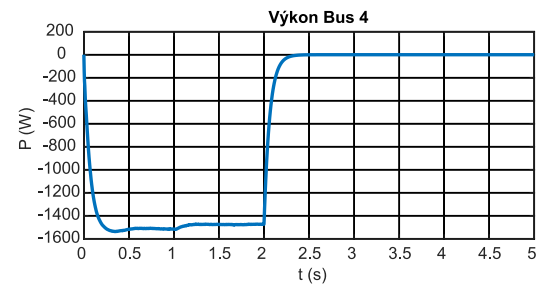
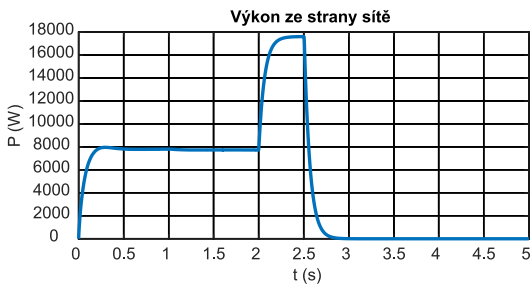
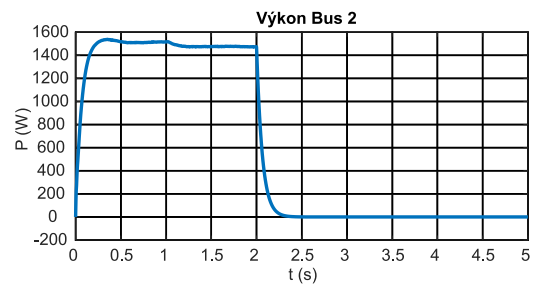
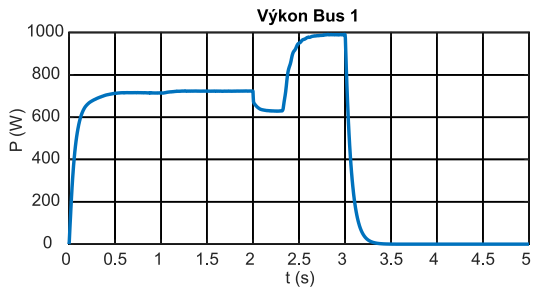
finančně bonifikován). Výsledky simulace lze nalézt v kapitole 7.3 „Komplexní schéma regulátoru“.

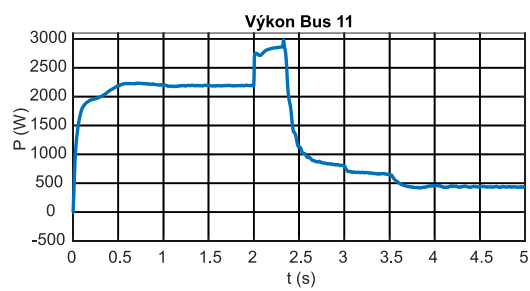
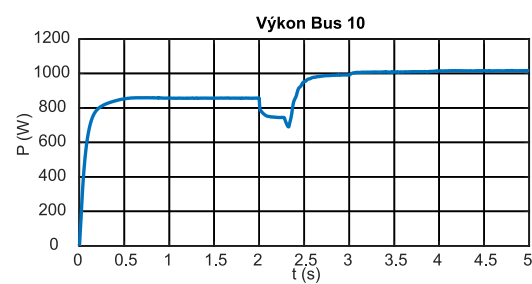
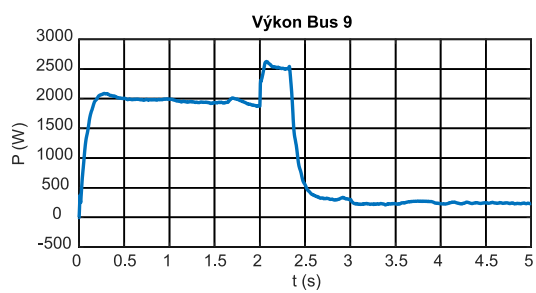
Výsledné grafy 13: Napětí v měřících uzlech





Výsledné grafy 14: Výkony v měřících uzlech





8 Energetické zhodnocení výsledků simulace modelu

Z analýzy výsledků simulace mohou konstatovat několik věcí. Koncept Smart Village jako takový lze do jisté míry podle mého názoru uskutečnit v České republice, jakožto jednu z možností regulace výkonu pro malé oblasti v sítích NN při predikci rostoucího trendu instalovaných FVE, převážně v obytných zónách. Požadavky budou kladeny převážně na zařízení komunikačních a řídicích systémů a novou legislativu týkající se provozování a řízení DECE ve Smart Village a samotného provozu Smart Village jako celku v ostrovním režimu i při synchronním propojení s ES. Potřebná legislativa se pomalu připravuje, protože bude nutné vědět přesné povolené hodnoty rozsahu napětí a frekvence v dané oblasti ve všech možných provozních stavech Smart Village, proto aby byla dostatečná regulace výkonu v případě nepoměru výroby a spotřeby. Dále bude potřeba vyřešit možné komunikační prostředí, které za situace ostrovního provozu bude potřeba provozovat jako řízená mikrosíť. Pokud těchto mikrosíť bude více, bude potřeba vyřešit i komunikační rozhraní mezi nimi. Otázkou bude, zda tuto regulaci bude provádět dispečer nebo umělá inteligence (možné dodávky energie mezi těmito MG v případě blackoutu ES apod).

Z pohledu regulace zátěží usuzuji, že tento model funguje správně. Vylepšit ho lze například s počítáním přesné okamžité spotřeby a stanovení si určité tolerance při spínání / odpojení spotřebičů. Záleží na velikosti spínané zátěže, která má vliv na nastavený rozsah spínání, pokud velikost těchto zátěží není zanedbatelná, má tedy vliv na celkovou výrobu a spotřebu elektrické energie. V modelu této řešené sítě lze výkonovou bilanci udržovat i pomocí regulace na straně výroby, která je kryta z velkokapacitní baterie a řízeného provozu FVE s akumulací. Navržený model lze ještě upravit tak, že v případě, že dodávaný výkon z FVE je nulový (v nočních hodinách nebo vlivem poruchy FVE) tak je baterie FVE využívána pouze pro napájení spotřeby daného objektu Smart Home.

Z pohledu regulace výroby, je možné uvažovat i jiné zdroje, které by přispívali k pokrytí dané oblasti s uvažováním environmentálního prostředí (VTE, vodíkové baterie, MVE apod.), FVE nemusí být pouze na domech, mohou tvořit i menší fotovoltaické farmy, které by napájely danou oblast, rozhodující bude požadavek na redukci využívané plochy pro tyto FVE a jejich vliv na životní prostředí (umístění může být například na parkovišti, na hale průmyslových objektů apod).

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit z energetického pohledu využití konceptu Smart Village v České republice a její případné dopady na elektrizační soustavu. Hlavním záměrem této práce bylo navrhnout jednoduchý regulační obvod ze strany výroby a spotřeby, za předpokladu regulace pomocí výkonů. Simulace vlivu Smart Village na elektrizační soustavu byla provedena prostřednictvím výše uvedených matematických modelů v prostředí výpočtového softwaru MATLAB Simulink.

V první fázi modelování (viz kapitola 6) byl každý model testován v ostrovním provozu a řešily se provozní situace ostrovní Smart Village, po následném vyladění modelu se připojila elektrizační soustava. Posléze byl model znova zkontrolován, zda nenastaly problémy v síti, které byly zjišťovány pomocí měření a dopočítání veličin (P , Q , U , I) v uzlech (Bus) v modelu celé řešené sítě.

Teoretická část práce z pohledu zadání je obsažena v kapitolách 1 až 6. V kapitole 1 až kapitole 3 jsou chronologicky popsány jednotlivé části současného stavu v elektroenergetice (NAP, vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu, ENTSO-E, kodex PS), až po fotovoltaické systémy a jejich připojovací a provozovací podmínky těchto zdrojů v distribuční a přenosové soustavě. V kapitole 4 jsou zmíněny koncepty Smart Home, Smart Grid, mikrosítí a technologie Smart Metering k pochopení souvislostí s koncepcí Smart Village, které jsou do jisté míry s tímto konceptem provázány. Kapitola 5 obsahuje rešerši dostupných studií a analýz současného stavu ES v ČR a dopadů předpokládaného zvýšení integrace FVE (obecně i DECE) na provoz elektrizační soustavy převážně na hladině NN, a to do roku 2040.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zhodnotit případné vlivy provozu Smart Village na provoz elektrizační soustavy a navrhnout modely regulace výroby a spotřeby v řešené Smart Village. Proto v kapitole 6 je vytvořen základní model Smart Village v softwaru MATLAB Simulink a z výsledků analýzy jeho simulace jsou vyhodnoceny dopady, které by v praxi mohly nastat, tzn. připojení / odpojení elektrizační soustavy, nesymetrie, pokles slunečního svitu, špatně nastavený LC filtr a dopady přibližně stejné výroby a spotřeby v ostrovním provozu. V kapitole 7 je navržen a sestaven komplexní model Smart Village s regulací výroby a spotřeby, který je hlavním přínosem této práce.

Z pohledu regulace zátěží se řešilo především jejich spínání / odpínání podle poměru spotřeby a výroby. Z okamžitého provozního stavu Smart Village vyplynuly další podmínky pro spínání regulovaných zátěží Smart Home a Dům 4 (finanční bonus za regulaci spotřeby): jako je možná připojitelná kapacita zátěže, množství decentralizovaných zdrojů dodávající výkon do sítě, jaká je aktuální výkonová bilance v síti a zda je Smart Village připojena k ES nebo je v ostrovním provozu. V případě, že je Smart Village připojena k ES, tak potom dojde k automatickému sepnutí zátěží, bez ohledu na poměr spotřeby a výroby výkonu. Regulace na straně spotřeby je pouze při ostrovním provozu Smart Village. Z pohledu výroby je nastíněna regulace VSC regulátorem IGBT střídače, baterií a FVE v modulu Smart Home, velkokapacitní baterií a kontrolním panelem, který indikuje provozní stavy, hodnoty měřených veličin a rozložení toků výkonů v jednotlivých větvích sítě v průběhu času simulovaného modelu.

Dle výsledků analýzy simulací mnou navržených modelů SV předpokládám, že pokud budou vhodně navržené regulační (řídící) obvody, nastavené správné hodnoty parametrů regulátorů a vyřešení efektivnější komunikace mezi spotřebou a výrobou lze tento koncept uskutečnit z počátku v malém měřítku. Po důkladné analýze pilotních projektů, až by byly zjištěny skutečné dopady a výhody / nevýhody v praxi, poté by se navrhla určitá opatření v legislativě a především by se zlepšila technologie řízené Smart Village pro její širší využití. Nevýhodou tohoto konceptu bude nutnost zvyšování transparentnosti, spolehlivosti a bezpečnosti pro obě strany. Z tohoto pohledu je přínosné díky regulovaným DECE snížení zatížení primárních zdrojů, ale určitě by nemělo zatím dojít k velkému navýšení těchto decentralizovaných zdrojů, protože není dosud zcela vyřešena regulace z pohledu výroby, tzn. nemůžeme ovlivňovat počasí a není zatím k dispozici efektivní velkokapacitní akumulace pro velké fotovoltaické či větrné elektrárny.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Ochrana klimatu a energetika - Ministerstvo životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ochrana_klimatu_energetika
- [2] EUR-Lex - 4372643 - EN - EUR-Lex. EUR-Lex — Access to European Union law — choose your language [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=LEGISSUM:4372643>
- [3] Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc
- [4] EUR-Lex - 2001_8 - EN - EUR-Lex. EUR-Lex — Access to European Union law [online]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM%3A2001_8&qid=1613844853601
- [5] EUR-Lex - 128012 - EN - EUR-Lex. EUR-Lex — Access to European Union law [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM:128012>
- [6] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepci-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/9/Aktualizace_NAP_SG_2019-2030.pdf
- [7] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2021/2/Zprava-o-plneni-nastroju-SEK-do-roku-2020.pdf>
- [8] Státní energetická koncepce | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statni-energeticka-politika/statni-energeticka-koncepce--223620/>
- [9] ENTSO-E Official Mandates. Home [online]. Copyright © 2009 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/official-mandates/>
- [10] Who Is ENTSO-E?. Home [online]. Copyright © 2009 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/objectives/>
- [11] System Operations. Home [online]. Copyright © 2009 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/system-operations/>
- [12] Mapa ENTSO-E [online]. Dostupné z: https://www.entsoe.eu/assets/graphics/content/entso-e_map_RSCs_200414.jpg
- [13] Elektrizační soustava ČR. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18339524-Elektrizacni-soustava-cr.html>
- [14] ČEPS, a.s.. Data do kapsy 2019 [online]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/ke-stazeni>

- [15] MR pr. 9 Regulace U v ES. [online]. Copyright © 2021 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/13652877/>
- [16] Řízení toků výkonů v ES [online]. Copyright © 2021 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/13574454/>
- [17] EUR-Lex — Access to European Union law [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>
- [18] Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>
- [19] Státní energetická koncepce | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [20] Politika ochrany klimatu v České republice - Ministerstvo životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017
- [21] Jak se daří snižovat emise CO2 v EU (infografika) | Zpravodajství | Evropský parlament. [online]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180706STO07407/jak-se-dari-snizovat-emise-co2-v-eu-infografika>
- [22] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/>
- [23] ERA | Evropský strategický plán pro energetické technologie | Národní portál pro evropský výzkum. [online]. Copyright © MŠMT 2012 [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: <https://www.evropskyvyzkum.cz/cs/o-era/klicove-dokumenty-era/set-plan>
- [24] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/10/Management_O_Executive_Summary_1.pdf
- [25] Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2019 [online]. Copyright © [cit. 03.03.2021]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2019.pdf/cd3555b2-e3c6-4d11-807f-cb1a10ed31bb
- [26] ČEPS, a.s.. [online]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [27] Informační portál. Informační portál [online]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/vyrovnavaci-trh>
- [28] KeepWarm •• Home [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://keepwarmeurope.eu/fileadmin/user_upload/Learning_Centre/Czech_Republic/T2.2-22_Changes_in_market_for_ancillary_services.pdf
- [29] Press corner | European Commission. European Commission [online]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_306

- [30] Decentralizace energetiky | Alies. Alies | Alies [online]. Copyright © 2011 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.alies.cz/nase-prace/decentralizace-energetiky/>
- [31] SolarWorld SW 270 Mono Solar Panel. Solar Electric Supply – Leading Wholesale Solar Panels & Solar Electric Systems Suppliers [online]. Copyright © 2020 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.solarelectricsupply.com/solarworld-sw270-mono-solar-panels>
- [32] Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice [online]. Copyright © 2020 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [33] Možnosti skladování energie ve fotovoltaice. Topné, průmyslové a chladicí systémy | Viessmann Česká republika [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/skladovani-energie-fotovoltaika.html>
- [34] ČEZ Distribuce [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf
- [35] Kompenzátory pro fotovoltaiku | ELCOM. Technology Solutions Provider | Intelligence Inside | ELCOM [online]. Copyright © 2021 ELCOM, a. s. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.elcom.cz/produkt/kompenzatory-pro-fotovoltaiku/>
- [36] Řízení výkonu FVE - Solar Monitor. Home - Solar Monitor [online]. Copyright © All right reserved [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.solarmonitor.cz/cz/reseni/rizeni-vykonu-fve>
- [37] ČSN EN 50 438 ed.2 Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí
- [38] EUR-Lex — Access to European Union law [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631&from=EN>
- [39] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2016/11/NAP-SG_CJ_Abstrakt.pdf
- [40] SCIRP Open Access [online]. Copyright ©2000 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://www.scirp.org/pdf/sgre20110400016_22126588.pdf
- [41] Survey of Big Data Role in Smart Grids: Definitions, Applications, Challenges, and Solutions ~ Fulltext. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2018 Ghofrani [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.benthamopen.com/FULLTEXT/TOEEJ-12-86>
- [42] SMART GRID [online]. Copyright ©2000 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <http://e4uhu.com/down/smart%20grid%20technology/JanakaGrid.pdf>
- [43] Home | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability [online]. Dostupné z: https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/sgp_outlook_map/map.html
- [44] Komponenty FVE | Silekto Energy. Záložní zdroje UPS | Motorgenerátory | Fotovoltaické elektrárny | Silekto [online]. Copyright © 2021 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.silekto.cz/fotovoltaicke-elektrarny/komponenty-fve/>

- [45] Smart Grid Projects Outlook 2017 | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability. Home | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability [online]. Dostupné z: <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grids-observatory>
- [46] ERA | JRC – Společné výzkumné středisko | Národní portál pro evropský výzkum. [online]. Copyright © MŠMT 2012 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.evropskyvyzkum.cz/cs/nastroje-spoluprace/iniciativy-ek/jrc>
- [47] Home | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf
- [48] Features and Benefits - Microgrids. Object moved [online]. Copyright © 2017 International District Energy Association, All Rights Reserved. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.districtenergy.org/microgrids/about-microgrids97/features>
- [49] Is this the microgrid moment? – eprsquared.com. eprsquared.com – Finance, Real Estate, Energy [online]. Copyright ©2021 Energy [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.eprsquared.com/the-solar-industrys-new-power-player-2/>
- [50] Joint Energy Management and Energy Trading in Residential Microgrid System - IEEE Journals & Magazine. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Copyright 2021 IEEE [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9133420>
- [51] Smart Village and Sustainability. Southern Moravia Case Study in: European Countryside Volume 11 Issue 4 (2019) . Sciendo [online]. Dostupné z: [https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals\\$002feuco\\$002f11\\$002f4\\$002farticle-p651.xml](https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals$002feuco$002f11$002f4$002farticle-p651.xml)
- [52] Aktuální stav a možnosti Smart Village v ČR v porovnání se zahraničím. [online]. Copyright © 2021 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/17637305/>
- [53] Smart Villages, when tech comes to Towns - Iberdrola. Iberdrola: la energética del futuro | Web corporativa - Iberdrola [online]. Copyright © 2021 Iberdrola, S.A. All rights reserved. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.iberdrola.com/innovation/smart-village-smart-towns>
- [54] Úvod PŘEMYSL VESELÝ invest. Úvod PŘEMYSL VESELÝ invest [online]. Dostupné z: <http://www.premyslinvest.cz/>
- [55] Místní akční skupiny | NS MAS. NS MAS | Národní síť Místních akčních skupin České republiky [online]. Copyright © 2021 Národní síť Místních akčních skupin České republiky, z.s. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <http://nsmas.cz/o-nas/mistni-akcni-skupiny/>
- [56] Chytrý venkov [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://mmr.cz/getmedia/558f8844-57f6-43bb-aefc-5718822e9d26/Prezentace-Chytry-venkov-6-2-2019.pdf.aspx?ext=.pdf>
- [57] Pilot project - Publications Office of the EU. [online]. Copyright © European Union [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9ff90911-a0c9-11ea-9d2d-01aa75ed71a1/language-en>

- [58] Projects & Initiatives | The European Network for Rural Development (ENRD). The European Network for Rural Development (ENRD) | Connecting Rural Europe ... [online]. Dostupné z: https://enrd.ec.europa.eu/smart-and-competitive-rural-areas/smart-villages/smart-villages-portal/projects-initiatives_en
- [59] A systematic review of the smart home literature [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/12/Fardapaper-A-systematic-review-of-the-smart-home-literature-A-user-perspective.pdf>
- [60] Blockchain for IoT Security and Privacy [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: http://people.cs.pitt.edu/~mosse/courses/cs3720/Blockchain_for_IoT_Security_and_Privacy.pdf
- [61] Vyhláška č. 264 / 2020 Sb., o energetické náročnosti budov | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/vyhlaska-c--264-2020-sb---o-energeticke-narocnosti-budov--255330/>
- [62] Loxone Hradec Králové Smart Home Chytrá domácnost ovládání domu. Loxone Hradec Králové Smart Home Chytrá domácnost ovládání domu [online]. Copyright © 2021 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://futurein.cz/>
- [63] Loxone - TERMO Litvínov. Tepelné čerpadlo NIBE, tepelko Nibe, topení - TERMO Litvínov [online]. Copyright © 2020 TERMO spol. s r.o. [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.termo-litvinov.cz/loxone/>
- [64] Chytrá elektroinstalace neboli Smart Home do nového domu. Loxone Hradec Králové Smart Home Chytrá domácnost ovládání domu [online]. Copyright © 2021 [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://futurein.cz/novostavba/>
- [65] FRONIUS SYMO HYBRID [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://www.hqline.cz/docs/Download/Fronius/Fronius_Symo_Hybrid.pdf
- [66] Fotovoltaika | Skupina ČEZ. Skupina ČEZ [online]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/technologie/fotovoltaika>
- [67] Smart metering u E.ON v Maďarsku [online]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/smart-city/65.php>
- [68] Bezpečnost informací [online]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/smart-city/65.php>
- [69] Landis+Gyr E450 - Landis+Gyr. Landis+Gyr: Průkopník inteligentního měření. | Manage Energy Better [online]. Copyright © 2021 Landis [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: <https://www.landisgyr.cz/product/landisgyr-e450/>
- [70] Landis+Gyr: Průkopník inteligentního měření. | Manage Energy Better [online]. Copyright © [cit. 04.03.2021]. Dostupné z: https://www.landisgyr.cz/webfoo/wp-content/uploads/2013/03/E350_ZxF100_Technicka-data_CZ.pdf
- [71] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/3/Shrnuti_NAP_SG_A4_1.pdf

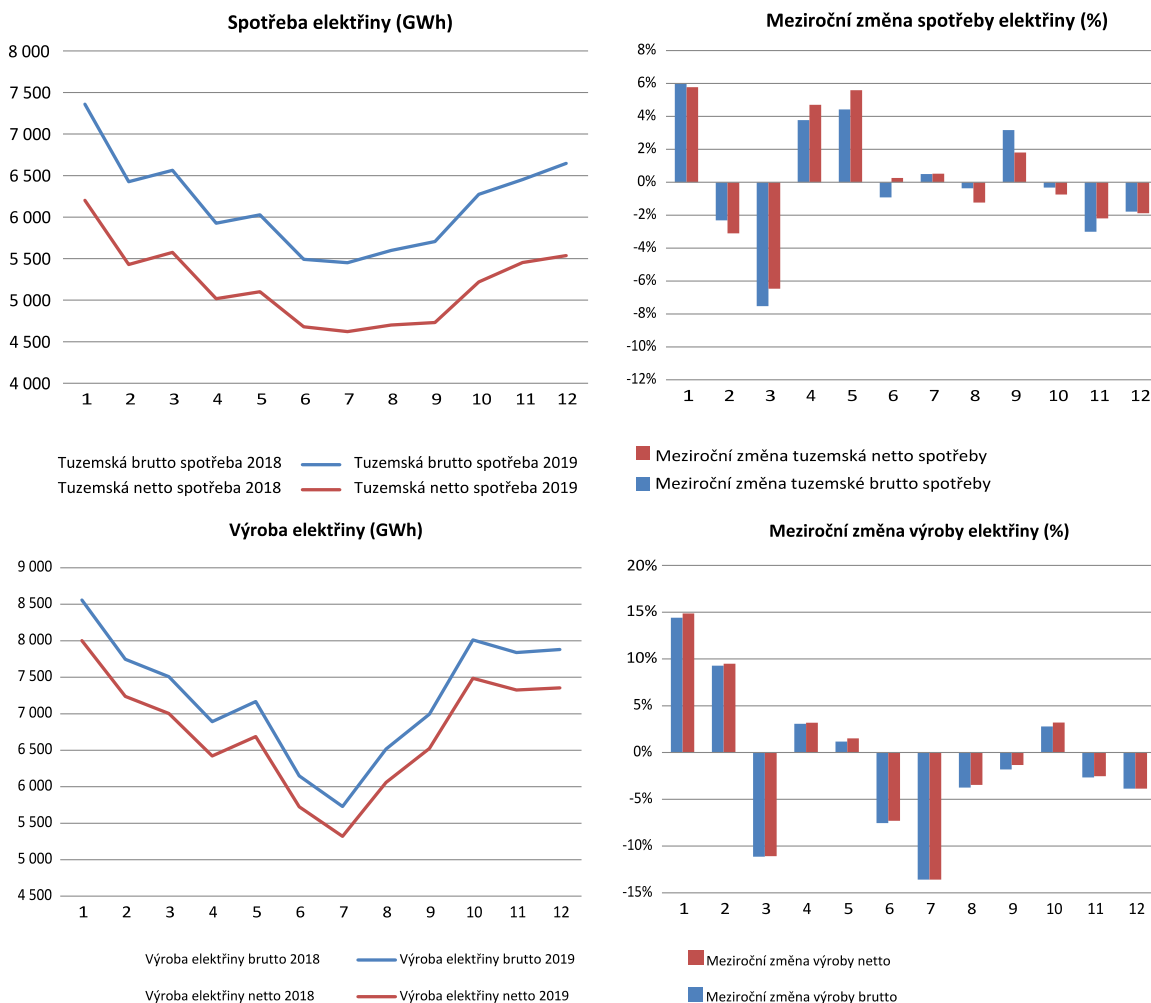
- [72] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/distribucni_soustava/cezdistribuce_provozni-instrukce_0038r00_pozadavky-na-regulaci-vyroben.pdf
- [73] ČEZ, PROVOZNÍ INSTRUKCE [online]. Copyright © [cit. 17.03.2021]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/distribucni_soustava/cezdistribuce_provozni-instrukce_0038r00_pozadavky-na-regulaci-vyroben.pdf
- [74] ČEZ Fotovoltaika | Dotace a financování | Skupina ČEZ. Skupina ČEZ [online]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/technologie/fotovoltaika/dotace-a-financovani>
- [75] SFŽP ČR – Státní fond životního prostředí ČR. SFŽP ČR – Státní fond životního prostředí ČR [online]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/>
- [76] Miroslava Tesařová, Studijní prezentace: Kvalita elektrické energie – přípojovací podmínky zdrojů. Západočeská univerzita v Plzni Katedra elektroenergetiky.
- [77] [online]. Copyright ©v [cit. 06.03.2021]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 – CELKOVÁ SPOTŘEBA A VÝROBA ELEKTRINY V ČR.....	1
PŘÍLOHA 2 – PREDIKCE INSTALOVANÉHO VÝKONU.....	2
PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DATA Z ROKU 2019 PRO FOTOVOLTAIKU [3]	2
PŘÍLOHA 4 – ARCHITEKTURA DMSC [15]	3
PŘÍLOHA 5 – INVESTICE DO INTELIGENTNÍ SÍTĚ V EVROPĚ I MIMO NI [47].....	3
PŘÍLOHA 6 – FINANČNÍ ZDROJE.....	4
PŘÍLOHA 7 – ON - GRID, OFF - GRID, HYBRID - GRID.....	5
PŘÍLOHA 8 – JALOVÉ VÝKONY ZE SIMULACÍ	6
PŘÍLOHA 9 VLIV UREF NA SÍŤ	8

Přílohy

Příloha 1 – celková spotřeba a výroba elektřiny v ČR



Výroba elektřiny brutto (GWh) z roku 2019		
Zdroje	Celková roční spotřeba	Zastoupení zdrojů (%)
Jaderné (JE)	30 246	34,8
Parní (PE)	41 386	47,6
Paroplynové (PPE)	5 518	6,3
Plynové a spalovací (PSE)	3 676	4,2
Vodní (VE)	2 008	2,3
Přečerpávací (PVE)	1 166	1,3
Větrné (VTE)	700	0,8
Fotovoltaické (FVE)	2 285	2,6
celkem (Gwh)	86 988	

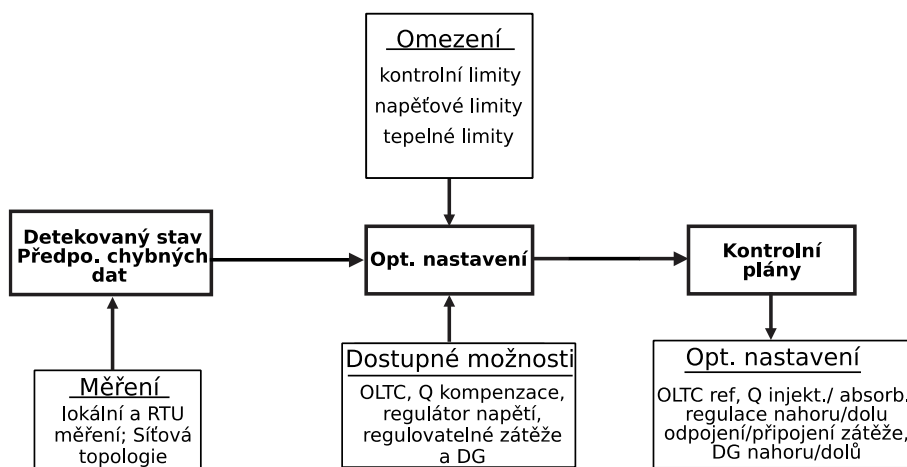
Příloha 2 – Predikce instalovaného výkonu

Instalovaný výkon (MWe)	2016	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Biomasa	376	414	414	431	435	436	454
Vodní elektrárny	1 090	1 106	1 111	1 115	1 119	1 123	1 127
Biologicky roz. část TKO	55	55	112	133	133	154	154
Bioplynové stanice	369	355	345	338	322	307	287
Geotermální energie	0	10	10	10	10	10	10
Větrné elektrárny	282	370	455	565	685	820	970
Fotovoltaické systémy	2 068	2 082	2 236	2 470	2 822	3 319	3 975
Celkem	4 240	4 392	4 683	5 062	5 526	6 169	6 977

Příloha 3 – Technická data z roku 2019 pro fotovoltaiku [3]

	Celkový instalovaný výkon (MWe)	Výroba elektřiny brutto (MWh)	Technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny (MWh)	Výroba elektřiny netto (MWh)	Dodávka elektřiny do ES (MWh)
Fotovoltaické elektrárny (FVE)	2 061,4	2 285 835,4	20 371,3	2 265 464,1	2 115 186,8
Do 10 kW včetně	94,7	97 451,8	66,7	97 385,1	64 286,6
Nad 10 do 30 kW včetně	148,5	147 166,9	193,2	146 973,7	90 305,0
Nad 30 kW do 100 kW včetně	55,9	54 747,1	151,5	54 595,5	42 229,7
Nad 100 kW do 1 MW včetně	455,7	501 003,4	4 639,5	496 363,9	461 930,5
Nad 1 do 5 MW včetně	980,5	1 113 388,8	10 384,2	1 103 004,6	1 092 864,7
Nad 5 MW	326,2	372 077,4	4 936,1	367 141,3	363 570,2

Příloha 4 – Architektura DMSC [15]

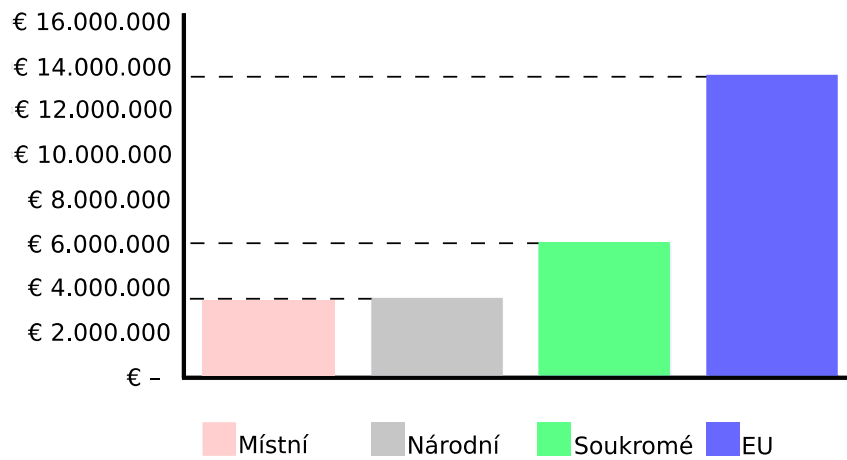


Příloha 5 – Investice do inteligentní sítě v Evropě i mimo ni [47]

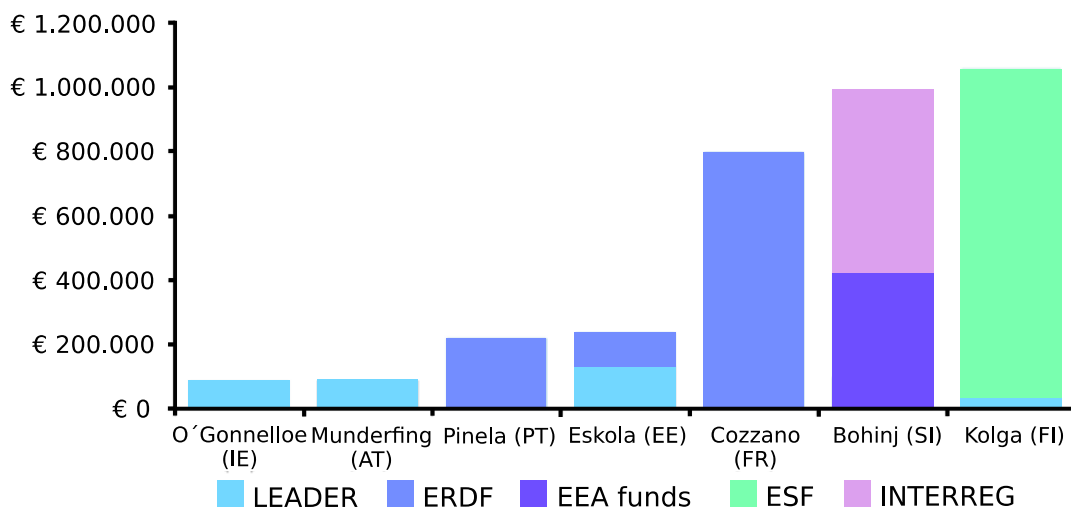
Země / Region	Předpovězené investice do inteligentních sítí	Financování rozvoje inteligentních sítí	Počet nasazených a / nebo plánovaných inteligentních měřičů
Evropská unie	56 miliard eur do roku 2020 (odhadované investice do inteligentních sítí)	184 milionů EUR (evropské financování projektů v rámci JRC v rámci 6. a 7. RP). Asi 200 milionů EUR z Evropského fondu pro obnovu, EFRR, EERA. Vnitrostátní financování: n / a	5 milionů již nainstalováno (katalog JRC, 2011) 240 milionů do 2020
USA	238 až 334 miliard do roku 2030 (odhadované investice do implementace plně funkční inteligentní sítě)	4,9 miliard eur v roce 2009	8 milionů v roce 2011 a 60 milionů do roku 2020
Čína	71 až 65 miliard eur (odhadované investice vývoje technologie inteligentní sítě)	5,1 miliard v roce 2019	360 milionů do roku 2030
Jižní Korea	16,8 miliard eur do roku 2030 (odhadované investice do inteligentních sítí)	580 milionů v roce 2009	500 tisíc v roce 2010, 750 tisíc v roce 2011 a 24 milionů do roku 2020
Austrálie	n / a	253 milionů eur v roce 2009	2,4 milionu do roku 2013 ve státě Victoria
Indie	n / a	n / a	130 milionů do roku 2020
Brazílie	n / a	143,6 milionů eur v roce 2009	63 milionů do roku 2020
Japonsko	n / a	143,6 milionů eur v roce 2009	n / a

Příloha 6 – Finanční zdroje

• Finanční zdroje



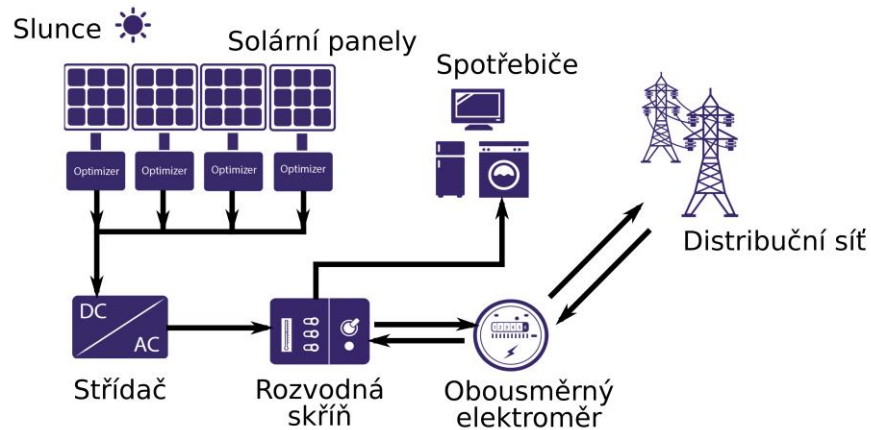
Graf 8: Zdroje financování pro 9 zkoumaných iniciativ inteligentních vesnic [57]



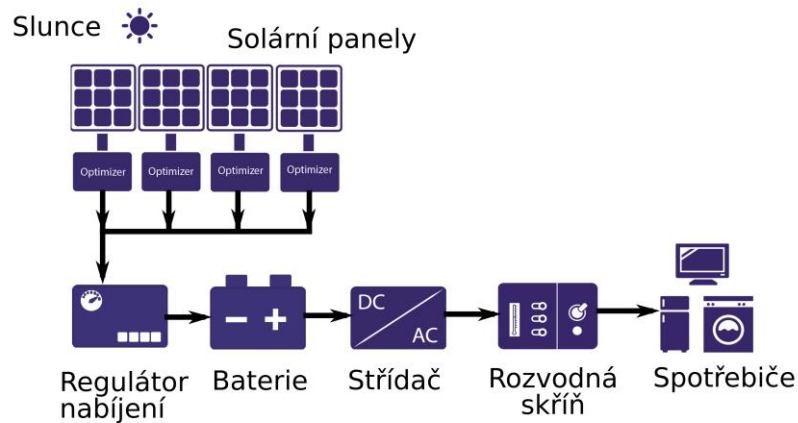
Graf 9: Zdroje financování pro 7 inteligentních vesnicích [57]

Příloha 7 – On - grid, Off - grid, Hybrid - grid

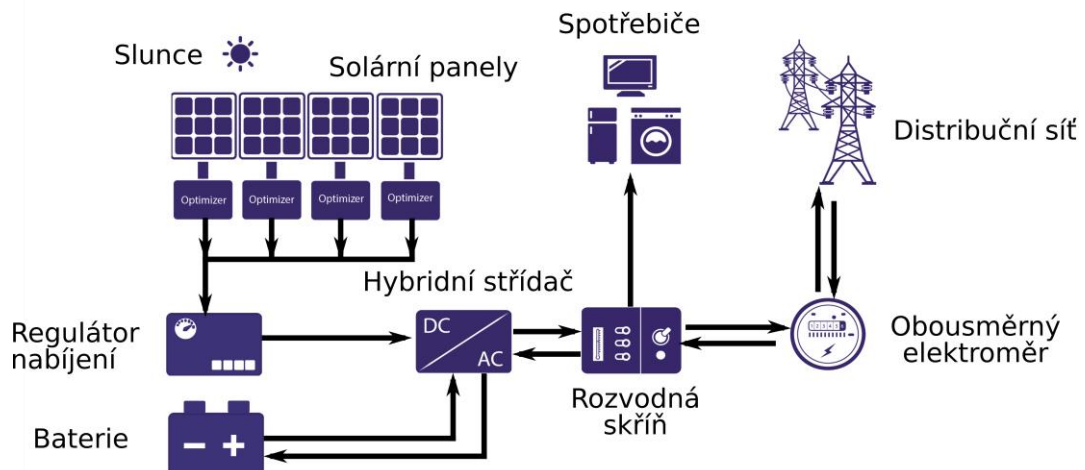
ON - GRID



OFF - GRID

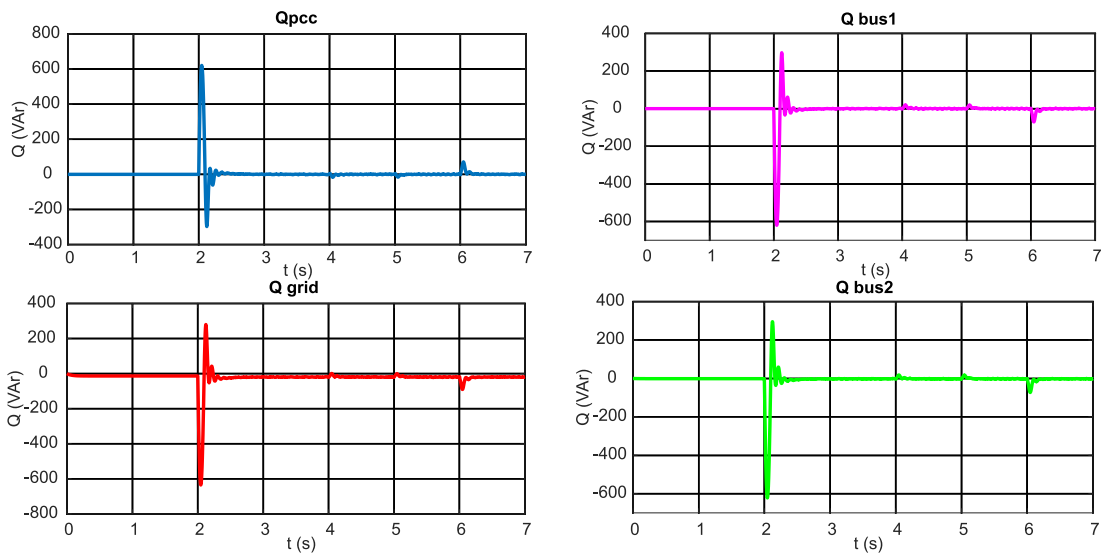


HYBRID - GRID

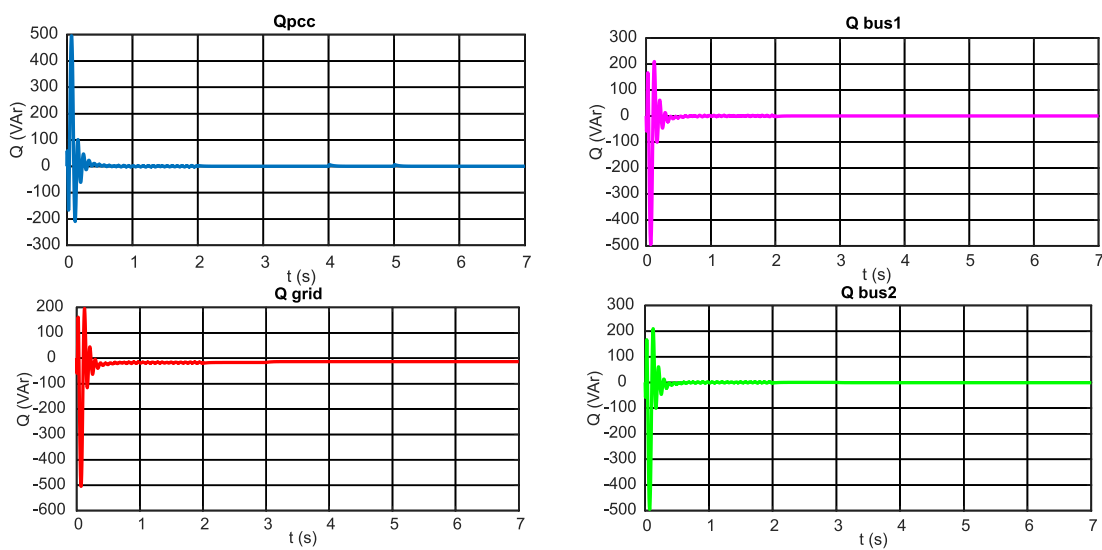


Příloha 8 – Jalové výkony ze simulací

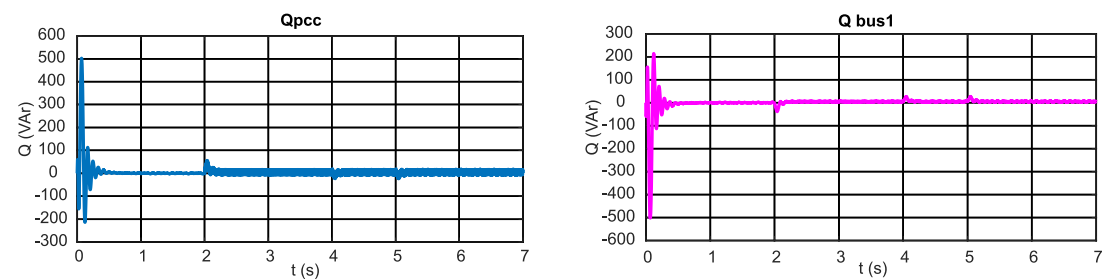
a) Připojení

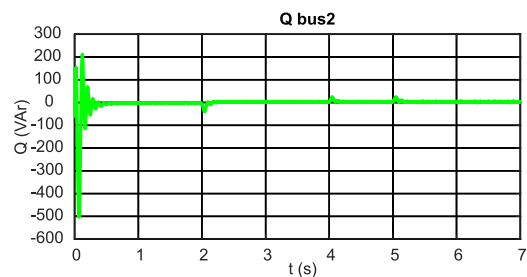
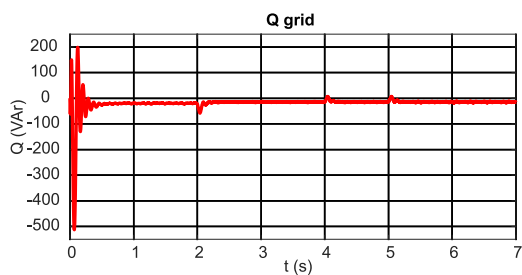


b) Odpojení

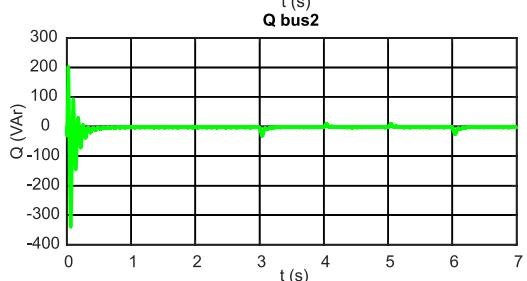
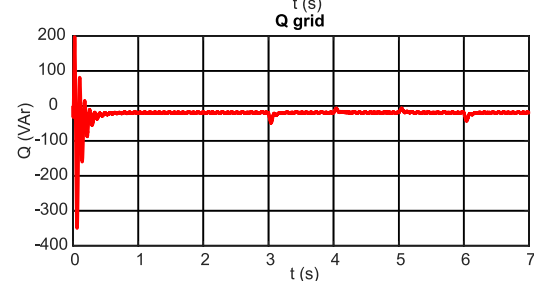
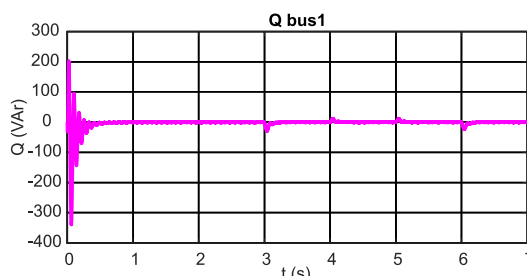
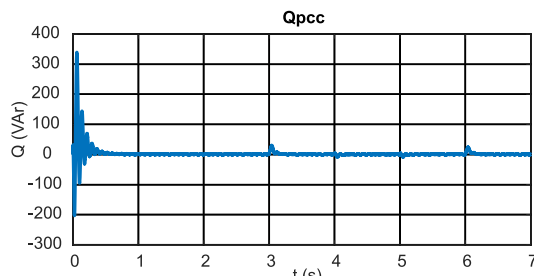


c) Nesymetrie

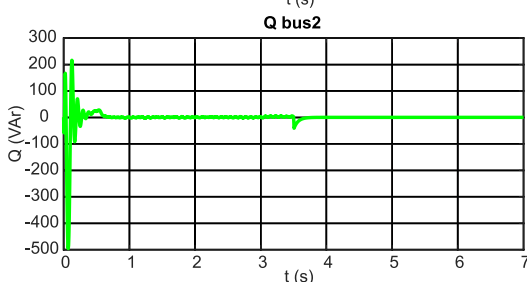
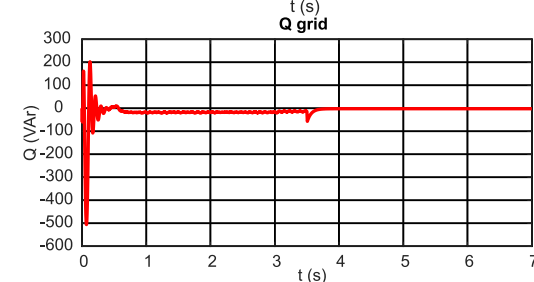
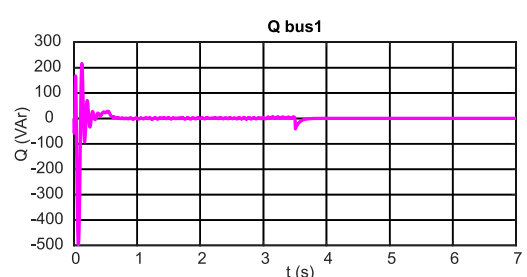
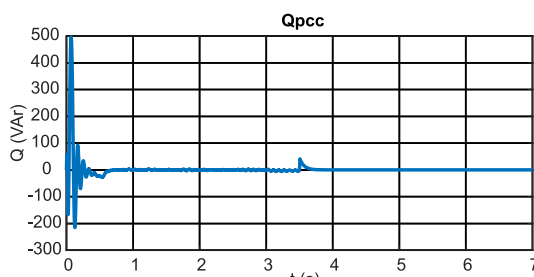




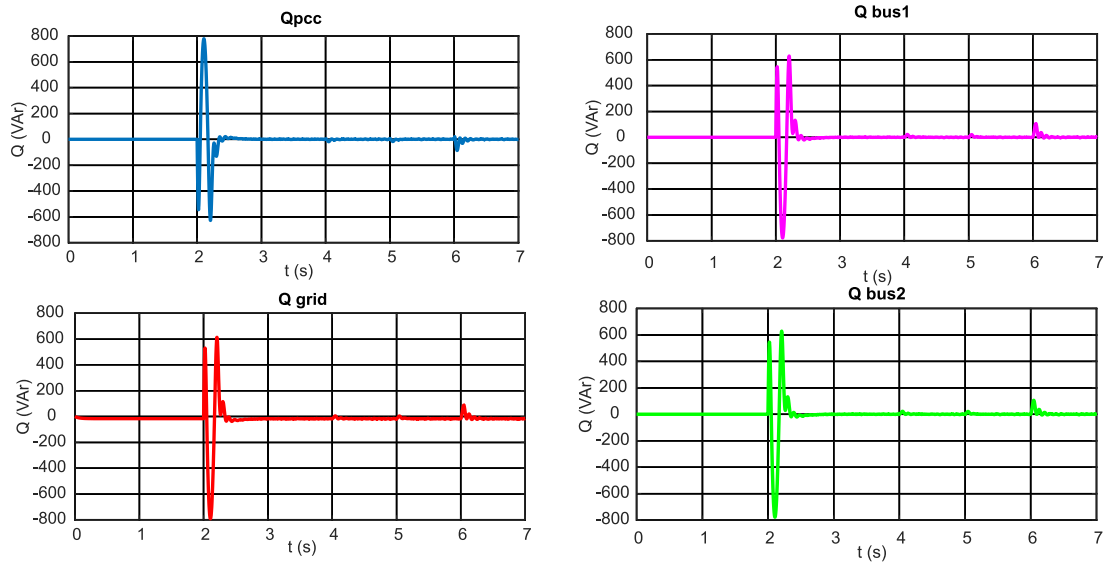
d) Špatně zvolený LC filtr



e) Změna svitu slunce



f) Spotřeba přibližně rovna výrobě z FVE



Příloha 9 Vliv Uref na síť

Na levé straně Uref pro nabíjení / vybíjení dáno konstanty 650 a 700 V. Na pravé straně Uref pro nabíjení / vybíjení dáno konstanty 674 a 676 V.

