

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Smart Grid – pokročilé řízení energetických sítí

Diplomová práce

Bc. Jan Mareš

Školitel: Ing. Václav Novák, CSc.

České Budějovice 2019

Bibliografické údaje

Mareš, J., 2019: Smart Grid – pokročilé řízení energetických sítí. [Smart Grid – Advance energy grid management. Mgr Thesis, in Czech] – 76p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Předmětem diplomové práce je charakterizace inteligentních sítí v energetice tzv. Smart grids a realizace testovacích scénářů v simulátoru elektrické sítě. Teoretická část mapuje základní specifikace inteligentních sítí, společně s architekturou a principy komunikace. Praktická část se věnuje simulaci elektrické sítě příměstské části města a vlivu elektromobility a zdrojů obnovitelné energie na stav sítě. Výstupem práce je posouzení stavu elektrické sítě a návrh kroků nutných k plošnému zavedení elektromobility a zdrojů obnovitelné energie.

Klíčová slova

Smart Grid, inteligentní síť, Mosaik, elektromobilita, zdroje obnovitelné energie

Annotation

The subject of this master thesis is the characterization of an intelligent networks so-called Smart Grids in the energy industry and the realization of testing scenarios in a power grid simulator. The theoretical part maps the main specifications, communication principles, and architecture of Smart grid. The practical part describes the simulation of the power grid of small suburban area and the effect of electric vehicles and renewable resources on the grid. The results of the thesis are network status assessment and design of steps required for a successful wide deployment of electric vehicles and renewable energy resources.

Key words

Smart grid, intelligent networks, Mosaik, electromobility, renewable energy resources

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích

dne

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Václavu Novákovi, CSc., za podnětné rady a za čas věnovaný vedení této práce. Dále děkuji rodině za podporu při studiu.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	1
3. Metodika	1
4. Elektrická soustava.....	3
5. Definice inteligentní sítě.....	5
5.1 Charakteristika inteligentních sítí.....	5
5.1.1 Souhrn inteligentní sítě.....	8
5.2 Přínos inteligentní sítě.....	9
5.3 Legislativní opatření	11
5.4 Pilotní projekty	13
6. Architektura Smart Grid	16
7. Komunikace v inteligentních sítích.....	22
7.1 Optické vlákno.....	25
7.2 PLC – (Power Line Comunication)	26
7.3 Digital Subscriber Line (DSL)	28
7.4 Mobilní sítě GSM/GPRS-3G-LTE-A	28
7.5 WiMAX	29
7.6 Zigbee	30
7.7 Low Power Wide Area Network (LPWAN)	30
8. Chytré měření.....	31
8.1 Hromadné dálkové ovládání HDO	32
8.2 Automated Meter Reading (AMR).....	33

8.3 Advanced Metering infrastructure (AMI).....	34
8.4 Systémy inteligentních sítí.....	35
9. Simulace inteligentní sítě.....	38
9.1 Metodika simulace.....	38
9.2 Mosaik framework.....	38
9.2.1 Prvky simulace.....	44
9.3 Scénáře simulace.....	45
9.4 Stav sítě bez zdrojů obnovitelné energie.....	46
9.5 Stav sítě se zdroji obnovitelné energie.....	48
9.6 Stav sítě s elektromobily.....	50
9.7 Síť s elektromobily a zdroji obnovitelné energie.....	53
9.8 Využití solární energie.....	55
9.9 Zapojení baterií.....	56
9.10 Simulace příměstské části města.....	58
9.10.1 Data scénáře.....	60
9.10.1 Test zapojení Elektromobilů.....	61
9.11 Vyhodnocení simulací.....	63
10. Závěr.....	65
11. Seznam zkratk.....	66
12. Seznam obrázků.....	67
13. Seznam Tabulek.....	70
14. Citovaná literatura.....	71

1. Úvod

Způsob, jakým funguje distribuce elektrické energie, se od jejího počátku příliš nezměnil. Distribuční model je hierarchicky rozdělen na výrobní celky a spotřebitele. V posledních několika dekádách se ale z důvodu nových trendů začíná měnit pohled na způsob distribuce elektrické energie a řízení elektrické sítě. Vývoj postupně směřuje k využívání tzv. Smart Grids, v překladu inteligentních sítí. Děje se tak především v reakci na nutnost uspokojit stále se zvyšující poptávku po elektrické energii se zároveň co nejmenšími dopady na životní prostředí. Inteligentní sítě jsou schopné pružně reagovat na aktuální dění v síti a jejich vysoká míra digitalizace umožní efektivně řídit a sladit poptávku s výrobou a také více zapojit zákazníka.

2. Cíle práce

Teoretická část práce si klade za cíl charakterizovat pojem Smart Grid neboli inteligentní síť. S tímto souvisí definování nových výzev, které jsou nutné vyřešit a zároveň jsou důvodem k přechodu na inteligentní sítě. Dále je cílem definování přínosů inteligentního řízení elektrické sítě a z čeho se inteligentní síť skládá.

Praktická část se věnuje simulaci zátěže elektrické sítě, konkrétně při zapojení většího počtu zdrojů obnovitelné energie a elektromobilů. Bude vytvořeno několik scénářů s různým typem komponent a zapojení sítě a model reálné části města. Výsledkem bude zhodnocení stavu elektrické sítě.

3. Metodika

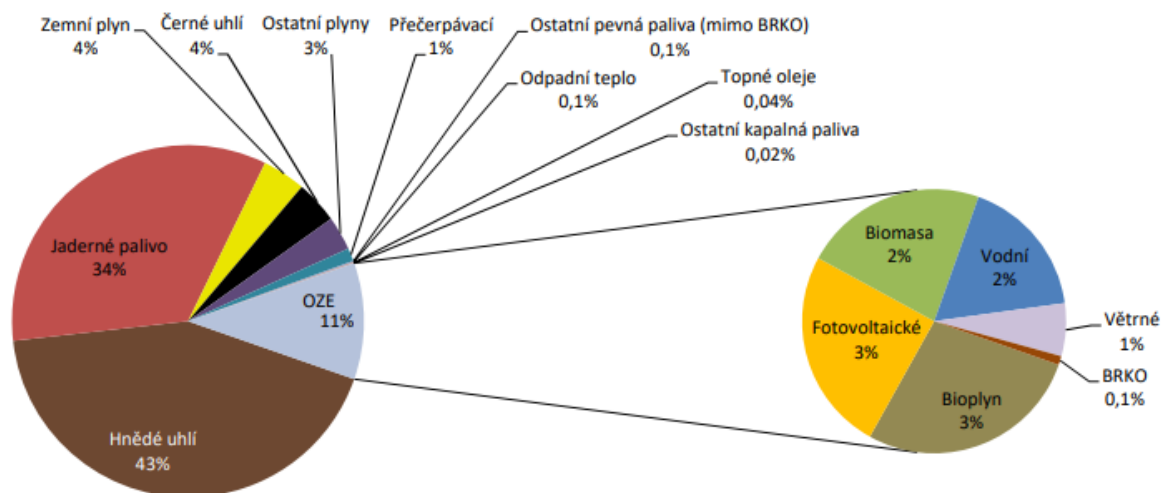
Simulaci elektrické sítě v praktické části bude předcházet kompletní analýza fungování inteligentních sítí. Budou definovány možné problémy na elektrické síti, které mohou být způsobeny aktuálním vývojem trendů v moderních technologiích, jako jsou elektromobilita a čistá energie v rámci ochrany životního prostředí. Dále budou definovány kritéria, která musí síť splnit, aby se dala považovat za inteligentní, společně s jejími přínosy. Bude popsán aktuální vývoj a legislativní základ. Druhá polovina teoretické části se bude věnovat architektuře a definování prvků tvořící inteligentní síť. Poslední kapitoly teoretické části se budou věnovat komunikačním

technologíím a infrastruktuře inteligentních sítí, kde budou popsány technologie sběru dat, které jsou v inteligentních sítích klíčové. Hlavními zdroji pro řešení jsou oficiální dokumenty standardizačních institutů, vypracované dokumenty ministerstev nebo články na odborných portálech.

V úvodu praktické části bude přiblížen simulátor elektrické sítě a princip jakým je elektrická síť simulována. Dále budou definovány jednotlivé scénáře simulace. Výstupem každého scénáře budou naměřená data zobrazená v grafech s komentáři zhodnocující výsledek a zjištěné poznatky. Následně bude vytvořen model elektrické sítě dle reálné předlohy, na kterém bude otestována postupná penetrace elektromobily a jejich vliv na méně výkonnou elektrickou síť v příměstských částech měst.

4. Elektrická soustava

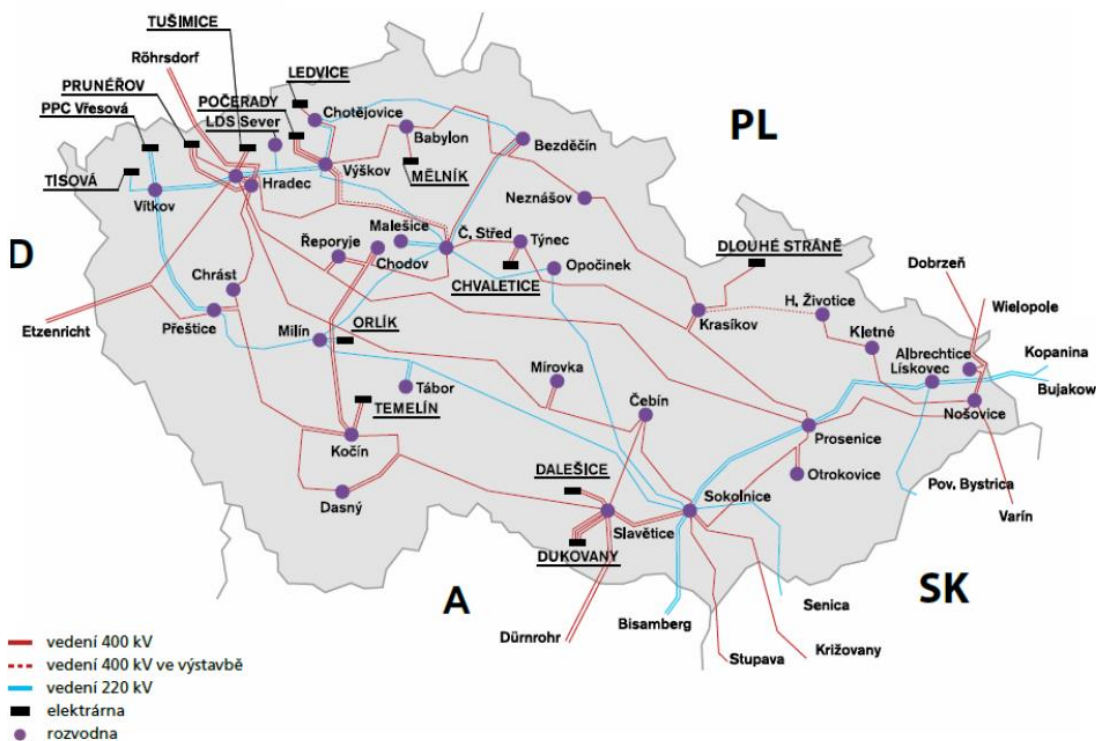
Elektrická soustava se skládá z výrobních celků, přenosové soustavy a distribuční soustavy. Mezi výrobní celky řadíme, jak velkoobjemové především jaderné a uhelné elektrárny (Obrázek 1), tak maloobjemové lokální. Tyto celky jsou napojené na přenosovou soustavu, která slouží k převodu el. energie na dlouhé vzdálenosti a k propojení se zahraničními elektrizačními soustavami. Přenosovou soustavu tvoří vedení zvláště vysokého a velmi vysokého napětí 220kV – 400kV. Vysoké napětí slouží k redukci ztrát při přenosu na dlouhé vzdálenosti. Mimo jiné, mezi funkce přenosové soustavy patří vyrovnávání výkyvů v elektrické soustavě, tj. přenášení energie z místa přebytku na místo nedostatku [1].



Obrázek 1, Celkový podíl zdrojů na vyrobené el. energii za rok 2018, zdroj: [2]

Provozovatelem přenosové soustavy v České republice je státní společnost ČEPS, a.s., která provozuje soustavu na základě evropské a české legislativy a dle energetického zákona 458/2000sb. Společnost ČEPS odpovídá za stabilitu a regulaci napětí a jalového výkonu. Zpracovává plány ochrany přenosové soustavy a strategické plány proti šíření poruch a obnovy přenosové soustavy po rozsáhlých poruchách.

Schéma sítě 400 a 220 kV



Obrázek 2, Přenosová soustava ČR, zdroj: [1]

Přenosová soustava je zakončena transformačními stanicemi, na které navazuje distribuční soustava. Distribuční soustava rozvádí el. energie na kratší vzdálenost a vede ji ke koncovým zákazníkům. Typické napěťové hladiny distribuční soustavy jsou 110kV pro velmi vysoké napětí, 22kV pro vysoké napětí a 400 V pro nízké napětí. Největším rozdílem mezi přenosovou a distribuční soustavou je topologie. Distribuční soustava, na rozdíl od přenosové soustavy, je vzájemně propojena – topologie Mesh. Prvky se navzájem ovlivňují a mohou přebírat zátěž. Vlastníkem distribuční soustavy jsou lokální provozovatelé, resp. distributoři [1].

V České republice se jedná o společnosti:

- ČEZ Distribuce, a. s.
- E.ON Distribuce, a. s.
- PREDistribuce, a. s.

5. Definice inteligentní sítě

Evropská komise definuje inteligentní síť nebo chytrou síť¹, jako sofistikovanou elektrickou síť, která umí integrovat veškeré funkce všech připojených prvků tak, aby byla zajištěna efektivní, ekonomická a bezpečná dodávka elektrické energie. Síť je schopna obousměrné digitální komunikace a obousměrného toku elektrické energie mezi spotřebitelem a distributorem. Dále zavádí pojem chytré měření, jenž obsahuje chytré měřicí prvky a monitorovací systémy a možnosti zapojení zákazníka do trhu s el. energií. [3].

Národní akční plán pro chytré sítě definuje inteligentní síť následně [4]:

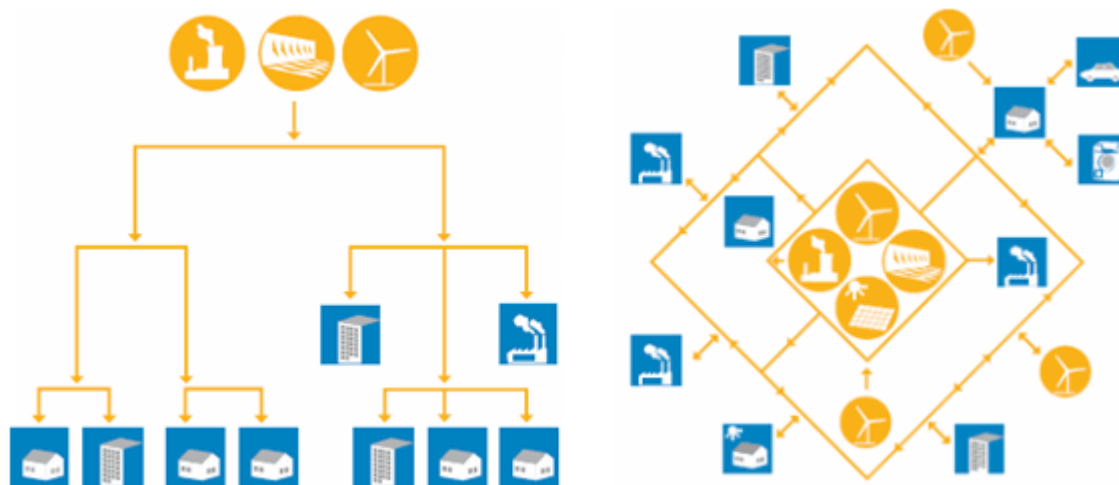
„Chytré sítě (smart grids – SG) jsou definovány jako elektrické sítě, které jsou schopny efektivně propojit chování a akce všech uživatelů k nim připojených – výrobců, spotřebitelů, tzv. „prosumers“ (tj. spotřebitelé s vlastní výrobou) - k zajištění ekonomicky efektivní, udržitelné energetické soustavy provozované s malými ztrátami a vysokou spolehlivostí dodávky a bezpečnosti.“

5.1 Charakteristika inteligentních sítí

Dle odhadů divize inteligentních sítí společnosti Siemens se do roku 2030 zvýší nárůst spotřeby el. energie až o 60 % na 37 000 TWh. Přičemž velký podíl na tomto nárůstu bude koncentrován ve velkých městech, která jsou zodpovědná za 2/3 globální spotřeby. Vyšší spotřeba vyvolává otázky ohledně ochrany životního prostředí, jelikož ve světě je stále velký podíl uhelných elektráren. Aby byla poptávka po elektrické energii naplněna a zároveň se nezvýšila produkce skleníkových plynů, je nutné zvýšit podíl zdrojů obnovitelné energie (OZE) na celkové vyrobené energii a optimalizovat celkovou spotřebu. Proto je nutné změnit přístup řízení elektrické sítě a postupně přejít na inteligentní sítě, které jsou schopné efektivně pracovat se zdroji obnovitelné energie a pružně reagovat na změny v poptávce [5].

¹ Pro Smart Grid jsou inteligentní sítě synonymem pro chytré sítě.

Jak již bylo zmíněno, inteligentní sítě mění pohled na výrobu a poptávku. Aktuálně se výroba přizpůsobuje poptávce, v inteligentních sítích se naopak poptávka řídí výrobou. Současná elektrická síť je proto hierarchická (Obrázek 3). Velké výrobní celky vyrábějí a distribuují elektřinu zákazníkům (jednosměrný tok el. energie) a na straně zákazníka probíhají pouze odečty spotřeby el. energie. Inteligentní sítě na druhou stranu plně integrují distribuované zdroje, jako menší výrobní celky, nejčastěji právě zdroje obnovitelné energie. Výrobní kapacita se také může nacházet u koncových zákazníků, kteří případně potřeby mohou vlastní el. energii posílat zpět do sítě. Nový pohled tak mimo jiné umožňuje vytvořit tzv. řízené ostrovní provozy, které umožňují dodávat energii i v případě výpadku hlavního vedení a napájet místo z lokální zdrojů [6] [7].

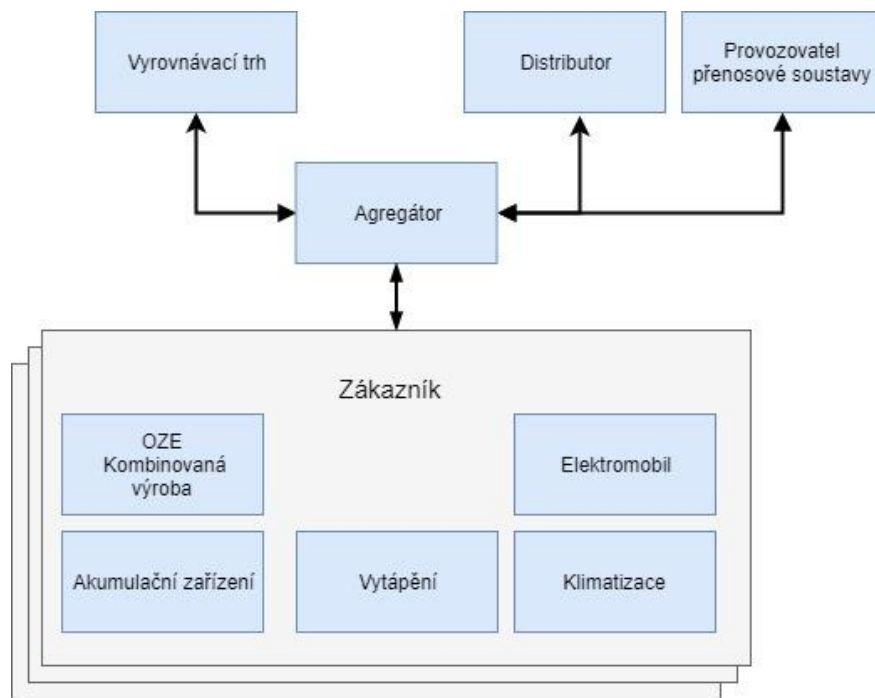


Obrázek 3. Tradiční hierarchická síť a distribuovaná inteligentní síť, zdroj: [19]

Vysoká míra penetrace OZE přináší nové výzvy, kterým se musí stávající elektrická síť přizpůsobit. Výkon OZE je proměnlivý, jelikož je závislý na aktuálním stavu počasí. Elektrická síť se tak může dostat do výkonové nerovnováhy, jelikož hodnota výroby má být ekvivalentní hodnotě spotřeby. OZE tak narušuje stabilitu sítě, kdy proměnlivý výkon není dostatečně kompenzován ostatními zdroji. Navíc energie z obnovitelných zdrojů není vždy efektivně využita, především v dlouhých letních dnech, kdy je menší spotřeba, a musí se nadbytečná el. energie přesměrovávat. Tato kompenzace znamená nemalé finanční náklady [7].

Taková to proměnlivost vyžaduje vysokou míru flexibility v síti (Obrázek 4). Flexibilita znamená schopnost měnit velikost odběru nebo výroby dle cenových signálů. Flexibilitu poskytují výrobci, decentralizované zdroje, akumulční zařízení (případně i elektromobily), inteligentní spotřebiče atd. V praxi se jedná o zapojení aktivních zákazníků (domácnosti i komerční a průmyslové objekty), kteří jsou motivováni odměnou optimalizovat svoji spotřebu. To znamená, že může být např. sepnuta kombinovaná výrobní jednotka, která bude generovat el. energii v momentu, kdy je jí na trhu nedostatek, a naopak mohou být vypnuta energeticky náročná zařízení v momentě spotřební špičky.

Agregátor (Obrázek 4) pak tuto flexibilitu nakupuje a obchoduje s ní na trzích s elektřinou nebo s provozovateli distribuční a přenosové soustavy. Flexibilita tedy přímo zapojuje zákazníka do dění v elektrické síti a pomáhá efektivně a ekonomicky udržovat stabilitu elektrické sítě [8].



Obrázek 4, Aktéři flexibility v elektrické síti, zdroj: vlastní

Správná realizace flexibility závisí na akumulární technologii. Akumulační prvky se v době přebytku el energie nabíjejí a v době poptávky energii zase do sítě dávají. Pomáhají tak udržet rovnováhu na síti. K vyrovnávání výkyvů se v současné době používají vodní přečerpávací elektrárny. Do budoucna se ale počítá se širším nasazením akumulátorových baterií na úrovni distribuční sítě, např. společně s fotovoltaickými panely se můžou domácnosti stát do určité míry soběstačnými.

Inteligentní sítě také plně podporují elektromobilitu. Předpokládaný nárůst podílu elektromobilů na celkově nově prodaných vozech by měl v EU dosahovat až 30 % k roku 2030. V České republice se k roku 2040 počítá se třemi scénáři. Na celkovém počtu 6 mil vozidel je predikován podíl 7.7 % elektromobilů v nízkém scénáři, 20 % ve středním scénáři a až 50 % ve vysokém scénáři [9].

Nabíjecí infrastruktura tak bude mít znatelný vliv na distribuční soustavu a bude ji nutné tomu přizpůsobit. Ideálně by mělo docházet k dynamické změně výkonu dobíjení a přizpůsobovat ho tak aktuálnímu stavu sítě, aby nedocházelo k jejímu přetěžování. Elektromobily lze také využít jako akumulátory a mohou tak přispět k vyrovnání spotřebních špiček [8].

5.1.1 Souhrn inteligentní sítě

Síť se považuje za inteligentní, pokud splňuje následující kritéria [8]:

- Silová vedení jsou zokruhována nebo provedena s možností napájení minimálně ze dvou stran.
- Řídící, měřicí a dispečerské centrum zajišťuje veškeré funkce ochrany, sběr a přenos dat, dálkové ovládání a automatizaci řízení chodu soustavy. U náročnějších úkonů prováděné terénními jednotkami, poskytuje analytické informace, umožňující rychlé detekování a opravení závady.
- Veškeré toky el. energie v soustavě jsou řízeny a měřeny.
- Spolupráce soustavy s decentralizovanými výrobkami, prvky u zákazníků

- Chytré elektroměry umožňující oboustrannou komunikaci a měření v minimálně 15minutových profilech. Také umožňují dálkové řízení odběrného místa a předávat zákazníkovi informace na místě, min. o průběhu spotřeby.
- Nasazování nových prvků se řídí standardy interoperability tak, aby byla zajištěna kompatibilita při budoucí výměně zařízení a bezchybná spolupráce mezi prvky soustavy a prvky inteligentní sítě.
- Elektrická soustava, řídicí a dispečerské systémy umožňují bezpečný provoz, integraci nových technologií (elektromobilita, akumulární zařízení, zdroje obnovitelné energie, distribuované zdroje, kombinované výrobní jednotky), spolehlivé dodávky el. energie v co nejvyšší kvalitě.
- Aktivním zákazníkům jsou poskytovány veškeré informace nutné k tomu, aby byli schopni učinit vlastní rozhodnutí při využívání služeb distribuční sítě, např. demand-side-respose, kdy provozovatel ovlivňuje zatížení a zákazník je odměňován za změnu své spotřeby.
- V systémech nakládajících s osobními daty nebo s daty z elektroměrů je zajištěna ochrana osobních údajů dle platné legislativy.
- Soustava a systémy jsou kyberneticky ochráněny dle bezpečnostních standardů a norem, jsou naplňovány legislativní povinnosti a je zajištěna adekvátní fyzická bezpečnost.

5.2 Přínos inteligentní sítě

V inteligentních sítích spolu veškeré prvky obousměrně komunikují pomocí automatizovaného systému. Velkou změnou je obousměrná komunikace mezi distributorem a zákazníkem, která je umožněna novými chytrými elektroměry. Aby byla možná vysoká míra digitalizace musejí být vytvořeny nové komunikační a datové cesty, které dovolí dálkové ovládání, měření, signalizaci a automatizaci.

Změny nastanou i v dispečerském řízení. Dojde ke snížení intervalu pro vyhodnocení odchylky mezi výrobou a poptávkou minimálně na 15 minut. Kratší doba bude klást vyšší nároky na datové sítě, ale provozovateli umožní přesnější plánování a řízení [8].

Digitalizace všeobecně přinese podporu fungování nových trhů včetně zapojení zákazníka jako aktivního prvku elektrické sítě.

Inteligentní systémy umožní rychlejší řešení incidentů a obousměrná komunikace poskytuje řídicímu centru aktuální data a umožňuje přesně informovat terénní jednotky, které mohou rychle nalézt příčinu problému. Systém také bude schopen automatizovaně vymezit poruchu a snížit následky na minimum [8].

Díky chytrým elektroměrům bude také snadnější hledat závady v částech sítě u zákazníka, kdy nebude již potřeba instalovat speciální měřící zařízení, jelikož veškerá potřebná data budou již v centrálním systému.

Následující body shrnují přínos inteligentních sítí:

- řízení výroby, spotřeby, akumulace a toku el. energie v reálném čase
- distributor má přehled o aktuálním dění na síti a může na něj pružně reagovat
- distributor je schopen dálkově a automatizovaně ovládat odběrná místa
 - omezit výkon spotřebičů
 - sepnout spotřebiče
 - odpojit odběrné místo
- automatizovaná detekce a vymezení poruch
- chytré elektroměry detekují pokusy o manipulaci
- zákazník má přehled o své spotřebě
- zákazník má v nabídce více cenových tarifů
- zákazník může přesunout část spotřeby do času levného tarifu
- zákazník může el. energii dávat do sítě
- ostrovní provoz při výpadku hlavního vedení
- akumulace el. energie, která pomůže řešit spotřební špičky
- podpora elektromobility
- efektivní využívání zdrojů obnovitelné energie
- distribuované výrobní zdroje
- flexibilita

5.3 Legislativní opatření

Prvním krokem k vytvoření nové politiky v oblasti energetických technologií byl evropský Strategic Energy Technology Plan (SET Plan), jehož záměr je zrychlit vývoj nových technologií a udržet si pozici lídra v oblasti nízkouhlíkových technologií. Primární cíl je 20% podíl obnovitelných zdrojů el. energie a snížení emisí plynu CO₂ o 20 % do roku 2020. Do roku 2050 si SET PLAN klade za cíl snížit skleníkové plyny až o 80-95 % a nárůst průměrných teplot by neměl přesahovat více jak 2 °C [10].

V listopadu 2016 byl představen legislativní balíček „Čistá energie pro všechny Evropany“. Cílem toho balíčku je vytvořit podmínky pro transformaci evropského trhu s energií do podoby, jež odpovídá definici inteligentní sítě. Jedná se o legislativní i nelegislativní návrhy, zprávy a iniciativy, které se týkají shromažďování a přístupu k datům zákazníka, kybernetické odolnosti systému a bezpečnosti dat a dalšími aspekty inteligentní sítě popsané v kapitole 5.1 Charakteristika inteligentní sítě. [11].

Celkově byly navrženy a upraveny celkem čtyři směrnice a čtyři nařízení. Stručně se jedná o oblasti energetické účinnosti a náročnosti, využívání zdrojů obnovitelné energie, ochrany životního prostředí a pravidel pro vnitřní trh. Také vznikla Agentura Evropské unie pro spolupráci energetických regulačních orgánů. Se schválením těchto směrnic a nařízení přišla pro ČR povinnost vypracovat vlastní vnitrostátní plán, který se nazývá Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG) [11].

Národní akční plán pro chytré sítě 2019–2030 zpracovaný Ministerstvem průmyslu a obchodu byl dne 16. září 2019 schválen vládou České republiky. Tento projekt si klade za cíl připravit Českou republiku na předpokládaný vývoj v oblasti energetiky, změny ve struktuře elektrické soustavy, zvyšování energetické účinnosti a přechod na nízkoemisní technologie [8].

Předpokladem je vytvořit podmínky pro:

- vyšší míru penetrace decentralizovaných výrobních celků
- vyšší míru penetrace zdrojů obnovitelné energie
- zvýšení informovanosti zákazníka

- zvýšení energetické efektivity zákazníka
- zapojení zákazníka do trhu s elektřinou
- zvýšení celkové bezpečnosti
- zvýšení spolehlivosti elektrické soustavy
- zvýšení kvality dodávané elektřiny

Na přípravnou fázi, která se skládala z analýz a řešení klíčových problémů, navazuje realizační část, která do roku 2030 skrze dílčí projekty vybuduje chytrou síť na úrovni přenosové i distribuční soustavy včetně vytvoření legislativních, tarifních a regulačních podmínek, které souvisí zejména s obnovitelnými zdroji, akumulací a elektromobilitou [4].

Implementace inteligentních sítí je v České republice ovlivněna zákonem č. 458/2000 Sb. (Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích) a novelou zákona č. 131/2015 Sb. (Zákon, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb.). Byly vytvořeny podmínky pro decentralizované elektrické a inteligentní sítě. Zásadní změnou v této novele je možnost provozovat vlastní zdroj elektrické energie do výkonu 10kW pro pokrytí vlastní spotřeby bez nutnosti vlastnit licenci na výrobu elektřiny [4].

Výše zmíněný zákon definuje tyto podmínky pro provoz mikrozdroje o výkonu do 10 kW včetně [12]:

- Instalovaný výkon nepřesáhne 10kW.
- V odběrném místě již není připojena jiná výrobná
- Dané místo bude vyrábět energii pouze pro vlastní spotřebu a energie nebude dodávána do sítě. Případné přetoky budou penalizované (Tabulka 1).
- Provoz mikrozdroje musí být v souladu s pravidly provozování distribuční soustavy.
- Mikrozdroj musí být vybavený zařízením zamezující případné dodávce do distribuční soustavy s výjimkou krátkodobých přetoků, které slouží pro reakci omezovacího zařízení, ale nezvyšují hodnotu napětí.

Hodnota překročení rezervovaného výkonu	Pokuta kW/měsíc
do 2.5 %	36 Kč
od 2.5 % do 5 %	72 Kč
od 5 % do 10 %	145 Kč
od 10 %	1449 Kč

Tabulka 1, Pokuta za přetoky elektrické energie, zdroj: [13]

Dále byla zavedena možnost na náklady spotřebitele instalovat chytrý elektroměr dříve, než bude plošně zaveden provozovatelem distribuční soustavy. V neposlední řadě zavádění inteligentních sítí ovlivňují síťová nařízení č.714/2009 a nařízení týkající se oblastí připojení výroby a spotřeby, rozvoj vnitřního trhu s elektřinou a provoz soustav, a také legislativní návrhy Evropské komise. Směrnice evropského parlamentu a rady 2014/32EU a norma ČSN EN 50470 popisuje kritéria na nově vyrobená nebo dovezená měřidla, která jsou nutná pro jejich nasazení [4] [12].

Zavádění elektromobility se zabývá Národní akční plán čisté mobility, který vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Tento plán si klade za cíl podpořit rozvoj alternativních paliv, rozvoj elektromobility a nabíjecí infrastruktury a podpořit další výzkum a vývoj [14].

5.4 Pilotní projekty

Jelikož transformace na inteligentní síť bude probíhat na již fungující elektrické soustavě, je proto nutné nejprve dostatečně nové technologie otestovat. Proto po celé Evropě, včetně České

republiky, probíhají pilotní projekty, které mají vždy za úkol otestovat konkrétní část funkcionality inteligentní sítě.

Tyto projekty jsou především implementovány ve větších městech, přičemž nejvíce těchto projektů se nachází na území Skandinávie, Nizozemska, Švýcarska, Rakouska a Itálie. Tyto projekty jsou nejčastěji v rámci tzv. chytrých měst (Smart Cities) anebo regionů (Smart Region). Na vyčleněných oblastech je např. testováno chytré měření, automatizace, moderní řídicí systémy, ostrovní provoz, zapojení obnovitelných a distribuovaných zdrojů [15].

Jedním z nejvýznamnějších evropských projektů na poli inteligentních sítí byl Grid4EU, který si kladl za cíl ověřit funkcionalitu moderních technologií aplikovaných v distribuční soustavě. Na tomto projektu, který běžel v letech 2011-2015, se podílelo celkem 6 evropských distributorů s pokrytím odběratelů více než 50 % a vzniklo celkem 6 hlavních projektů (Tabulka 2) napříč evropskými státy. Do projektu také přispělo dalších 27 partnerů (dodavatelé technologie, výzkumné instituce atd.) [16].

Číslo a místo konání dema	Zaměření dema
Demo 1 Německo	Autonomní systémy samostatně jednající na základě okolních podnětů.
Demo 2 Švédsko	Monitorovací systémy pro nízkonapěťové sítě.
Demo 3 Španělsko	Automatizace středně a nízkonapěťových sítí Informovanost zákazníka.
Demo 4 Itálie	Integrace obnovitelných a distribuovaných zdrojů.
Demo 5 Česká republika	Automatizace sítě VN a NN a vymezení poruch. Ostrovní provoz.
Demo 6 Francie	Řízení poptávky v místě s vysokým podílem obnovitelných a distribuovaných zdrojů.

Tabulka 2, Dema projektu Grid4EU, zdroj: [16]

Česká společnost ČEZ v rámci Grid4EU vytvořila pilotní projekt Smart Region ve Vrchlabí. Nejedná se však o jediný projekt. Další vznikaly např. v Pardubicích, Hradci Králové a Jeřmanicích. Ve Vrchlabí se testovalo nasazení chytrých elektroměrů a zavedení obousměrné komunikace mezi distribuční sítí a zákazníky. Dále byl měřen vliv elektromobility na stabilitu sítě a testován ostrovní provoz, který umožňují dvě tamní kogenerační jednotky (kombinovaná výrobní jednotka tepla a el. energie). Tyto jednotky v případě výpadku dokáží spolehlivě zásobovat el. energií všechny důležité objekty a mají výkon na pokrytí až 2/3 města. Dalším cílem bylo zavést automatizaci a vymezení výpadků do oblastí vysokého a nízkého napětí [17] [18].

Grid4EU celkově ukázal, že nové technologie mají příznivý vliv na snahu zavést větší podíl obnovitelných zdrojů el. energie a zachovat přitom stabilitu sítě. Také se ukázalo, že samotná veřejnost má o tyto nové technologie zájem. Nicméně je v první řadě nutné vytvořit jednotné standardy k docílení vzájemné interoperability komponent.

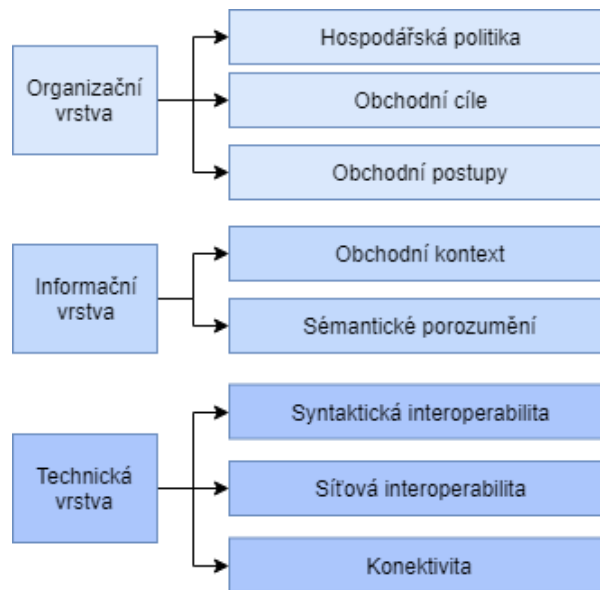
6. Architektura Smart Grid

Inteligentní sítě se skládají z řady vzájemně propojených systémů a zařízení, které se dělí do čtyř kategorií [19] [20]:

1. **Výroba** – Monitoring a řízení výroby, spotřeby a přenosu elektrické energie.
2. **Inteligentní prvky** – chytré elektroměry a také chytré spotřebiče komunikující s elektroměry.
3. **Komunikace** – Vrstva zajišťující přenos dat.
4. **Inteligentní systémy** – Systémy, které zpracovávají a vyhodnocují data pohybující se v síti.

Předpokladem správného fungování systémů je vzájemná interoperabilita, což znamená schopnost dvou a více systému nebo prvků od různých výrobců vzájemné komunikace. Cílem je koncept Plug-and-play, tedy rychlé zapojení nového prvku, který je ihned automaticky nakonfigurován a schopen fungovat.

Problematice interoperability se v širokém rozsahu věnují standardizační instituty NIST (Americký Národní institut standardů a technologie) a CEN-CENELEC (Evropským výbor pro normalizaci v elektrotechnice). V dokumentech IEEE Std. 2030-2011 a CENELEC Smart Grid Reference Architecture je detailně popsána architektura a předpoklady, které je nutné ke splnění interoperability v síti (Obrázek 5). Jsou zde uvedené a rozdělené předpoklady interoperability do tří hlavních kategorií a osmi podkategorií, které obsahují konkrétní požadavky [21] [22].



Obrázek 5, požadavky na interoperabilitu, převzato a upraveno z: [21]

Referenční modely popsané ve zmíněných dokumentech IEEE Std. 2030 a Smart Grid Reference Architecture, poskytují základní informace, terminologii a principy interoperability napříč celou sítí. Jejich cílem je vytvoření společné klasifikace pro inteligentní síť. Lze je chápat jako konstrukční nástroj pro transformaci standardní el. sítě na inteligentní. Také usnadňují škálovatelnost a budoucí rozšiřování. Dokumenty jsou určeny především k analýze a snazšímu pochopení problematiky nežli jako normativní dokument nařizující daný postup. Inteligentní síť je rozdělena na tři základní perspektivy a osm oblastí (tzv. domén). Oblasti definují prvky, které obsahují a jejich logické propojení.

Model NIST rozděluje chytrou síť na tři základní perspektivy:

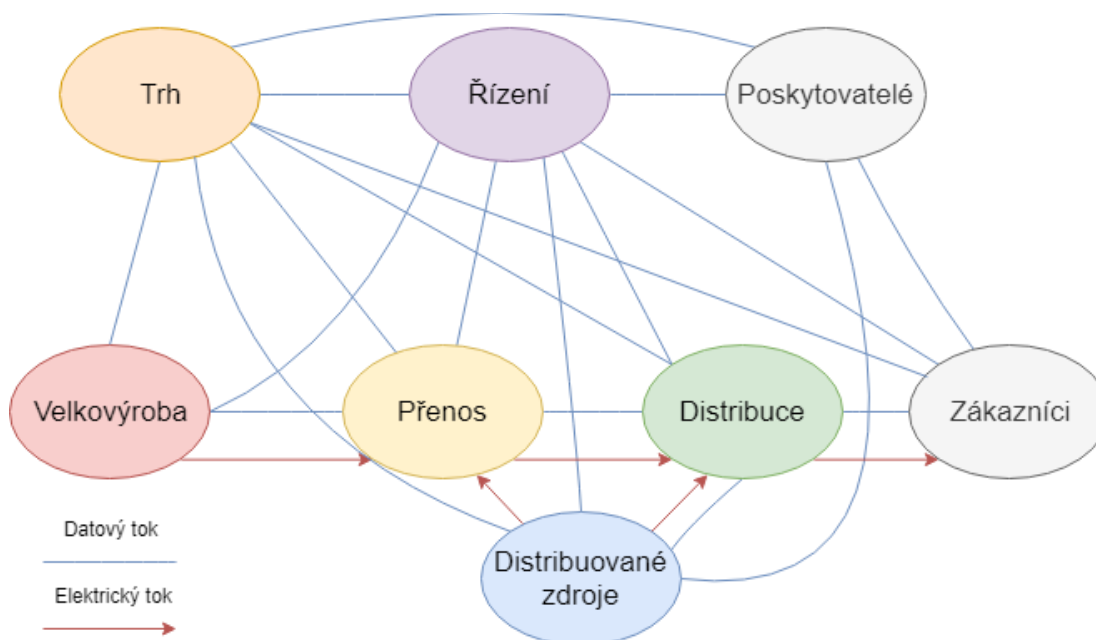
1. Energetické systémy
2. Komunikační technologie
3. Informační technologie

K těmto perspektivám jsou vázány [6]:

- **Domény** – specifické oblasti sítě
- **Entity** – zařízení, komunikační sítě, počítačové systémy
- **Rozhraní** – logická propojení entit
- **Datové toky** – komunikace na aplikačním úrovni

Evropský a americký model mají základní domény shodné, nicméně v evropském modelu z důvodu velkého příklonu k využívání zdrojů obnovitelné energie byla přidána doména distribuované zdroje (Obrázek 6), která obsahuje právě zdroje obnovitelné energie. Do DER spadají i tzv. virtuální elektrárny, tj. skupinu distribuovaných zdrojů řízené společným systémem. Obrázek 6 ilustruje 8 hlavních domén [21].

Integrace domény DER je nutná z důvodu nových právních předpisů za účelem jasného rozlišení distribuovaných zdrojů napříč doménami velkovýroby a zákazníkem. Jsou totiž rozlišovány DER v prostorách zákazníka, které nemohou být řízeny distributorem a DER v přímé režii distributora. Domény jsou blíže představeny v následujících tabulce (Tabulka 3) [21].



Obrázek 6, Domény evropského modelu CENELEC, převzato a upraveno z: [17]

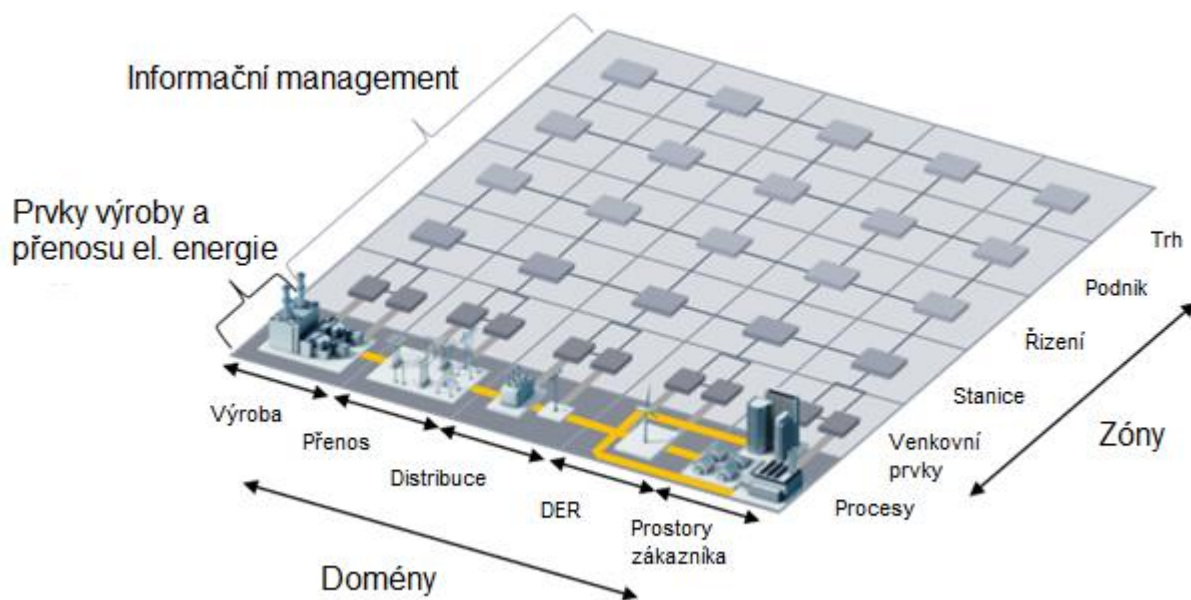
Doména	Popis
Velkovýroba	Elektrárny, které generují velký objem el. energie, připojené přímo do přenosové soustavy.
Přenosová soustava	Entity asociované s přenosem el. energie na dlouhé vzdálenosti.
Distribuční soustava	Entity distribuční soustavy a rozvod el. energie ke koncovým zákazníkům. Spadají sem také generátory nebo akumulární prvky umístěné u zákazníka.
Poskytovatelé	Třetí strany a nástroje poskytující služby související s el. energií. Poskytovatelé nabízejí dodatečné služby v podobě tarifních cen.
Trh	Doména obsahuje informace týkající se trhů s elektřinou
Řízení provozu	Řízení přenosu el. energie obsahuje řídicí mechanismy udržující síť stabilní.
Distribuované zdroje	Zdroje el. energie, připojené u zákazníka nebo na přenosovou soustavu, rozmístěné na různých místech v síti.
Zákazníci	Koncoví odběratelé, patří sem domácnosti a průmyslová zařízení.

Tabulka 3, Popis domén konceptuálního modelu. Zdroj: [21]

CENELEC (Evropa) ve svém dokumentu stejně jako NIST (Amerika) rozlišuje mezi sebou procesy energetických a informačních systémů. Je zde zaveden pojem Plane Grid – Jedná se mřížku složenou z domén a zón (Obrázek 7). Na této mřížce je zobrazeno, na jakých úrovních dochází k interakci mezi energetickými a informačními systémy.

Domény zde odpovídají procesům výroby a distribuce el. energie. Jsou logicky seřazené od výroby přes přenos a distribuci, až po koncové zákazníky. Tyto domény odpovídají doménám definovaným v tabulce 2. Domény operace, trh, řízení spadají pod informační management, ve kterém se dále nacházejí tzv. zóny (Tabulka 4). Zóny reprezentují hierarchické úrovně správy sítě

a odráží koncept funkčního dělení a agregace. Data jsou nejprve v rámci určených oblastí agregována v data koncentrátorech, až poté posílána do datového centra [21].



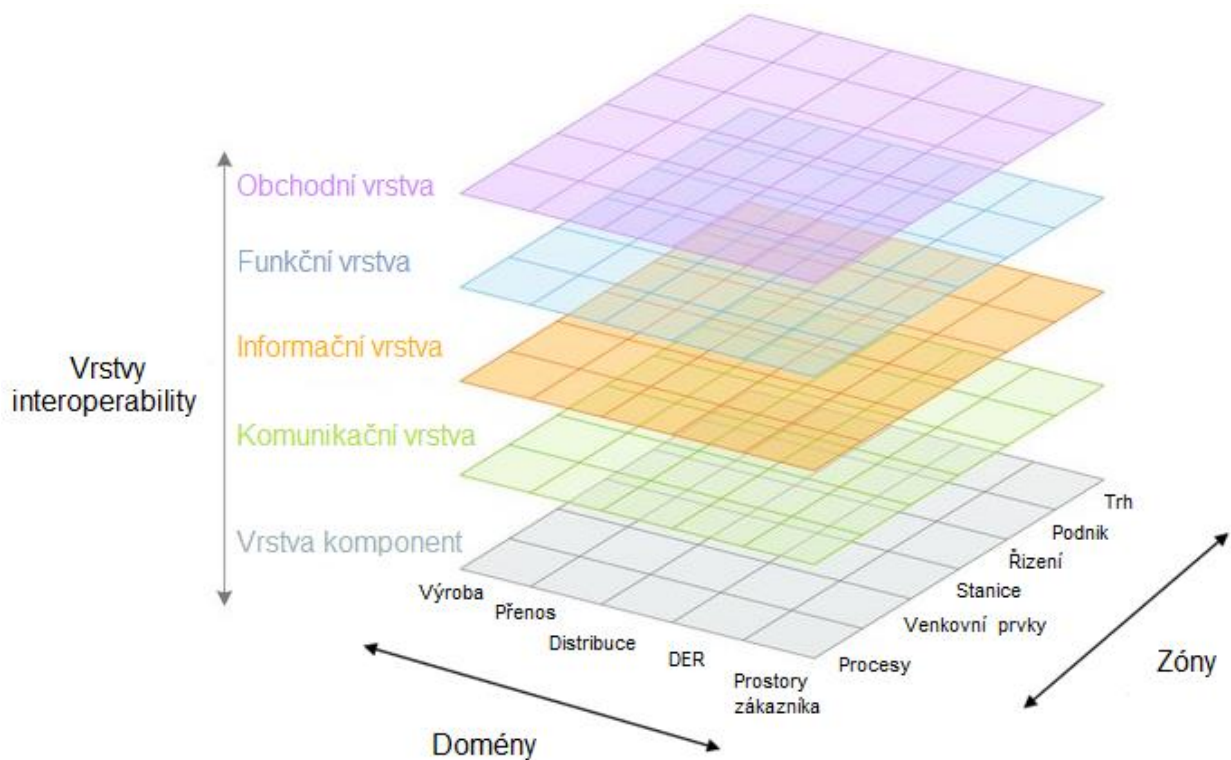
Obrázek 7, Plane Grid, zdroj: [21].

Zóny	Funkce
Procesy	Zahrnuje výrobu energie, resp. transformaci jiné energie (sluneční záření, voda, vítr, štěpení) na energii elektrickou. Spadají sem zařízení přímo související s výrobou.
Venkovní prvky	Řízení, monitoring a zabezpečení elektrické sítě.
Stanice	Agregace dat, automatizace rozvodů
Řízení	Systémy správy distribuce el. energie (DMS), management ostrovního provozu, infrastruktura nabíjecích stanic a systémy virtuálních elektráren.
Podnik	Komerční a organizační procesy, struktura a řízení podniku, logistika, řízení lidských zdrojů, školení zaměstnanců, vztah se zákazníky, účtování atd.
Trhy	Obchod s el. energií.

Tabulka 4, Zóny SGAM, zdroj: [21]

Výsledný model (Obrázek 8) vzniká sloučením vrstev interoperability společně s Plane grid. Každá vrstva představuje určitou rovinu inteligentní sítě, která se rozkládá napříč doménami. Jedná o následující vrstvy [21]:

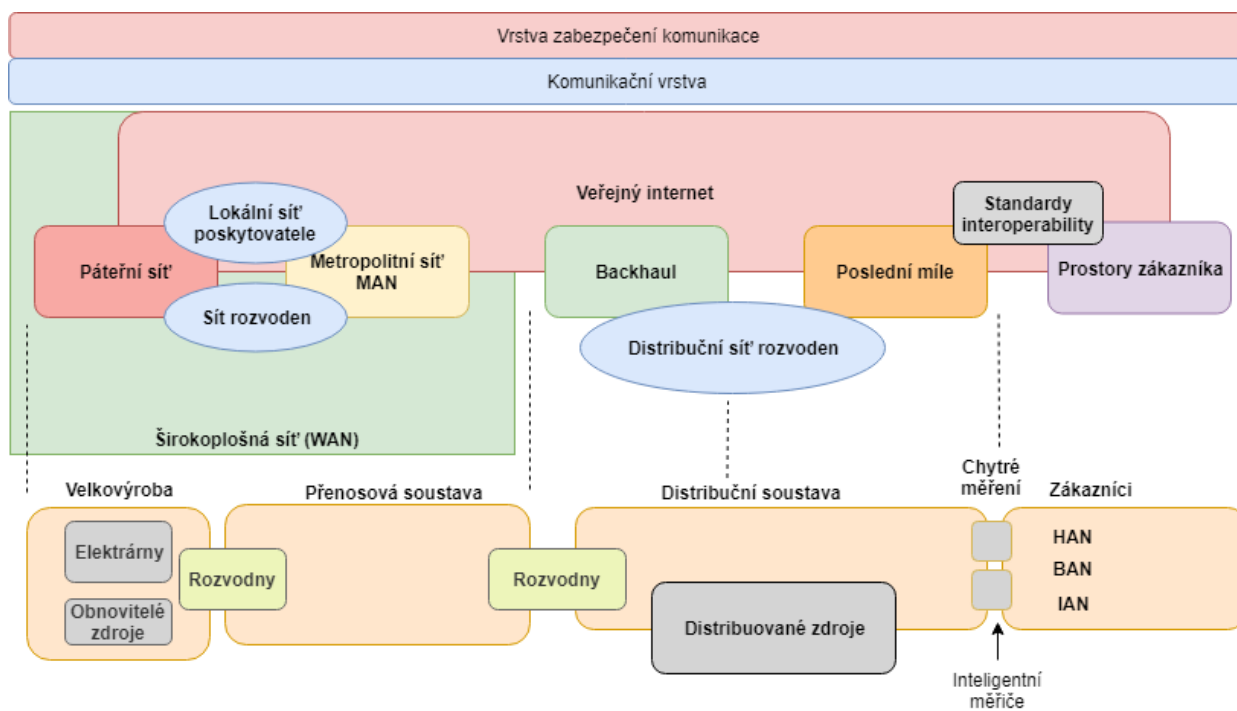
- Obchod – mapování ekonomických struktur, obchodních modelů, obchodní procesy
- Funkcionalita – funkce a služby včetně jejich vztahů
- Informace – informace, které jsou vyměňovány mezi funkcemi, službami a komponentami, reprezentuje datové modely
- Komunikace – popisuje protokoly a mechanismy pro vzájemnou komunikaci
- Komponenty – komponenty v kontextu inteligentní sítě – systémy, aplikace, zařízení spojené s přenosem el. energie, ochranná zařízení, síťová infrastruktura



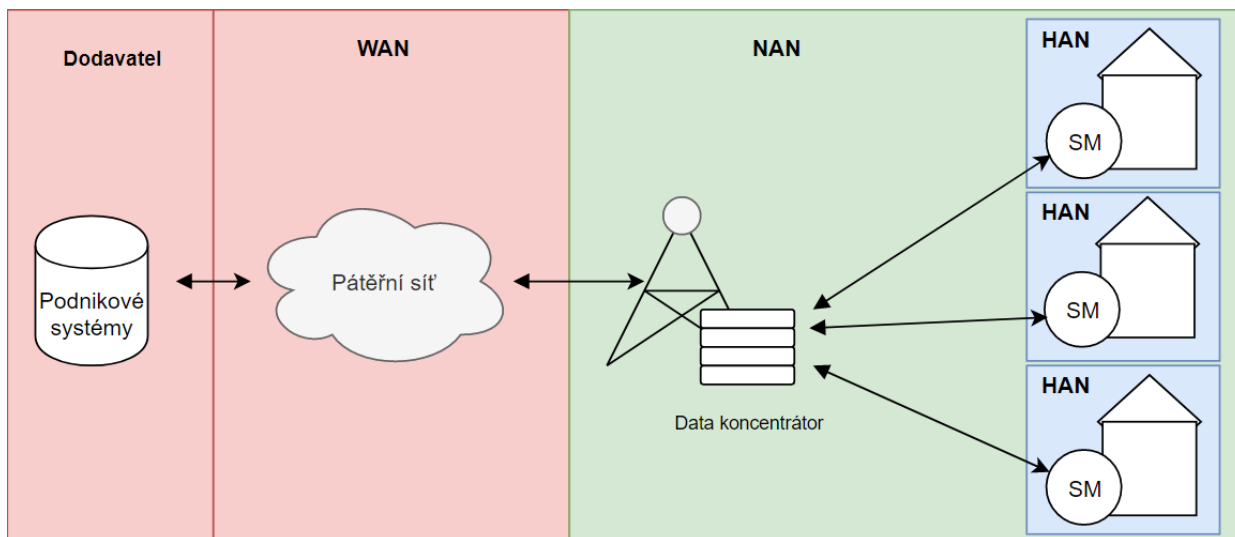
Obrázek 8, SGAM Framework, zdroj: [21]

7. Komunikace v inteligentních sítích

Základní komunikační infrastruktura byla definována institutem NIST (Obrázek 9). Kritickou částí komunikační infrastruktury je páteřní síť, nacházející se v oblasti přenosové soustavy. Na ni dále navazuje síť backhaul v oblasti distribuční sítě, ve které se mimo jiné nachází data koncentrátoři. Backhaul komunikační bránu mezi elektrickou soustavou a zákazníkem. Na backhaul navazuje poslední míle, která zajišťuje komunikaci s elektroměry. Posledními sítěmi jsou domácí sítě v prostorech zákazníka, kde probíhá komunikace mezi chytrým elektroměrem a zákazníkem. Nebo komunikace chytrých zařízení s chytrým elektroměrem v rámci domácí sítě. Hlavními sítěmi jsou WAN – páteřní síť, NAN – síť agregující data z elektroměrů a HAN (případně IAN, BAN), kde se nachází chytré prvky v prostorách zákazníka (Obrázek 10).



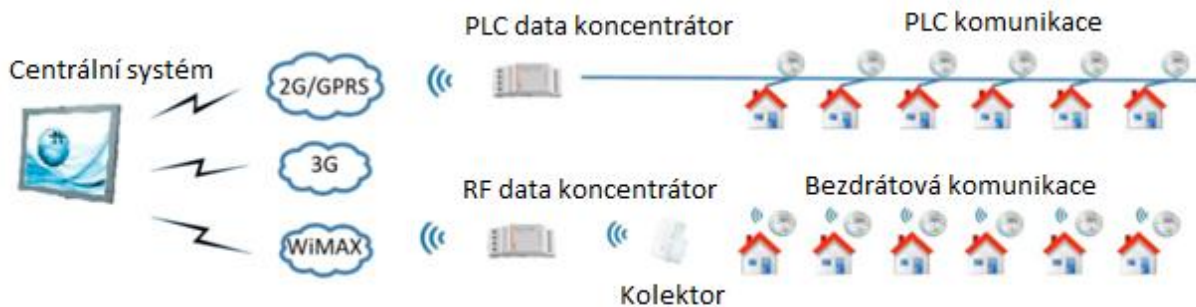
Obrázek 9, Podsíť v rámci konceptuálního modelu NIST, upraveno a převzato z:[1]



Obrázek 10, Základní síť komunikační infrastruktury, SM – smart meter, chytrý elektroměr, zdroj: vlastní

Obecně existují tři úrovně komunikace v inteligentních sítích. Komunikace na síti velmi vysokého napětí, vysokého napětí a nízkého napětí. Z pohledu inteligentních sítí je nejdiskutovanější úroveň nízkého napětí, kde se nachází velká část chytrého měření. Zde existují dvě základní přenosové trasy (Obrázek 11) – od elektroměrů do data koncentrátorů a z data koncentrátorů do datového centra. V inteligentních sítích je kombinováno více typů komunikačních technologií. Použití daného typu technologie se odvíjí od těchto hlavních faktorů [23]:

- šířka pásma
- latence
- bezpečnost
- cena
- spolehlivost
- případně dostupnost rádiového spektra



Obrázek 11, Základní technologie a datové trasy, zdroj: [23]

Návrh komunikační infrastruktury se řídí souborem norem IEC 61850, který specifikuje metody komunikace a komunikační protokoly mezi zařízeními v rozvodnách, ale i mezi dalšími prvky sítě, jako jsou např. elektrárny nebo dispečerské systémy. Na základě této normy lze vystavět flexibilní komunikační infrastruktury, která vyhovuje současným technologiím a metodám a ob stojí v budoucím rozšiřování. Hlavním důvodem vzniku souboru norem IEC 61850 bylo vytvoření jednotné, standardizované a na dodavateli nezávislé (interoperabilní) metody tvorby komunikačních sítí z důvodu velkého množství různých protokolů [24].

V inteligentních sítích najde uplatnění široké množství komunikačních technologií. Nejzákladnější jsou shrnuté v následující tabulce (Tabulka 5) [23].

Název	Rychlost	Dosah	Sítě
Optické vlákno (EPON)	1 Gbps	20 km	WAN
NN – PLC	100–500 kbps	150 km	NAN, FAN, WAN, AMI
BB – PLC	1–200 Mbps	1.5 km	HAN, BAN, IAN, AMI
WiMAX	100 Mbps -1 Gbps	Až 100 km	NAN, FAN, WAN, AMI
GPRS	144 kbps	5 km	HAN, BAN, IAN, NAN, FAN, AMI
UTMS	14 Mbps	5 km	
LTE-A	1 Gbps	30 km	
Zigbee	256 kbps	100 m	HAN, BAN, IAN
DSL	ADSL: 8 Mbps / 1.3Mbps ADSL2+ 24 Mbps / 3.3 Mbps	ADSL 5 km ADSL2+ 7 km	AMI, NAN, FAN
LPWAN	<100 kbps	15-30 km v nezastavěných oblastech	AMI

Tabulka 5, Souhrn komunikačních technologií, zdroj: [23]

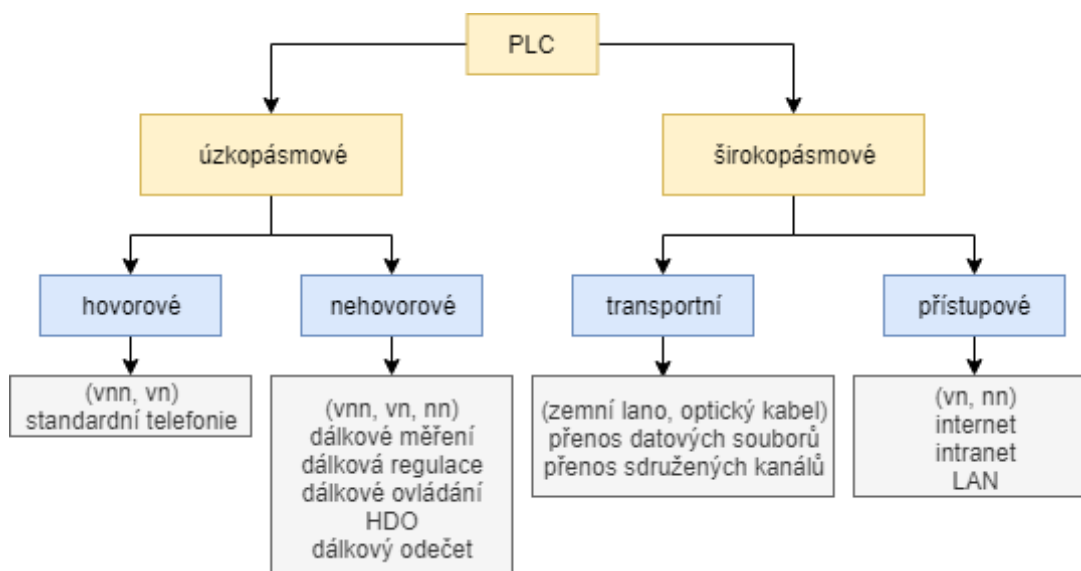
7.1 Optické vlákno

V oblasti přenosové soustavy se vyskytují optická vlákna, která vycházejí ze standardu SONET, ze kterého vychází standard SDH, jenž se používal pro telefonní přenosy. SDH nabízí vysokou míru spolehlivosti, a proto se využívá pro komunikaci distančních ochranných opatření na koncích tras, které vyžadují komunikaci v řádu stovek kbit/s a malé zpoždění v řádu několika ms. SDH splňuje

především požadavek na malou četnost výpadků a jejich trvání (řády ms). Jinak by docházelo ke ztrátám funkcionality distančních ochran a možnému poškození zařízení přenosové soustavy. Síť optického vedení má také spojení se Spolkovou republikou Německo, Polskou republikou, Rakouskou republikou, Slovenskou republikou a pobaltskými státy. Z hlediska chytrého měření se optická vlákna používají jako páteří síť WAN [20] [25].

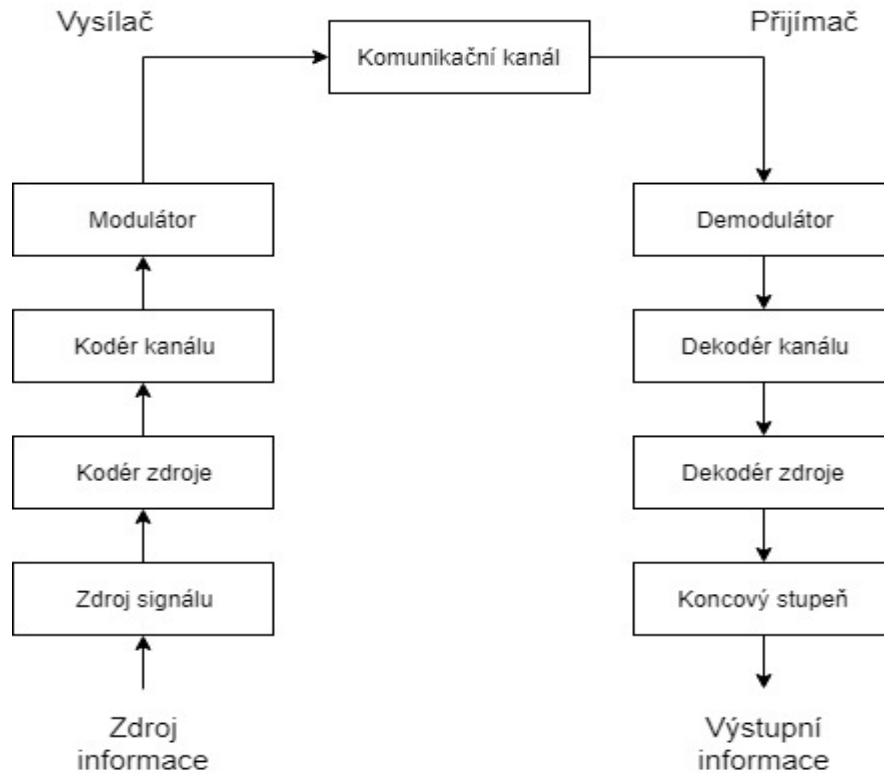
7.2 PLC – (Power Line Comunication)

PLC je typ technologie využívající silové vedení pro přenos informací. Výhodou PLC je, že není nutno budovat novou infrastrukturu. PLC se dělí na širokopásmové Broadband PLC a úzkopásmové Narrowband PLC.



Obrázek 12, Rozdělení a služby v PLC, převzato a upraveno z: [25]

Vedení PLC signálu probíhá dvěma způsoby – zavěšením přídavného sdělovacího vedení pod fázové vodiče vysokého napětí nebo využití ochranného zemního lana. Princip komunikace PLC (Obrázek 13) je prakticky shodný s principem rádiové komunikace. Na straně vysílače se daný signál zakóduje a vytvoří se modulovaný signál. Na straně přijímače jde o stejný postup ale s obrácenou posloupností [26] [25].



Obrázek 13, Princip komunikace PLC, zdroj: [26]

Jelikož je silové vedení velice rušné prostředí je někdy nutné, zejména v oblasti transformátorů, komunikační vedení přemostit. Aby bylo možné spolehlivě komunikovat na velké vzdálenosti, je také nutné síť rozšířit o opakovací signálu, aby vlivem šumu na přenosovém médiu nedocházelo ke ztrátám informace. Problematická může být i volba frekvenčních kanálů, jelikož elektrická síť je velmi proměnlivé prostředí. Nevýhodou je také, že v případě přerušení vedení se přeruší také komunikace [25] [26].

Úzkopásmové PLC se rozděluje na vnitřní – automatizace domácí sítě a vnější – řídicí služby. Nejčastější aplikací jsou dálkové odečty a telemetrie z elektroměrů, tj. komunikace mezi elektroměrem a data koncentrátorem (sít' HAN a NAN). PLC posílá data na frekvencích mezi 3kHz a 150 kHz a je dále rozděleno na pásma CENELEC A–D [23]:

- CENELEC A – Využívá distributor pro řízení distribuční sítě
- CENELEC B, C, D jsou určeny pro účely odběratelů

Nejrozšířenějšími standardy úzkopásmového PLC jsou PRIME (ITU G.9904) a G3-PLC (ITU G.9903) [25].

Širokopásmové PLC vzniklo za účelem zpřístupnění internetu, zejména v oblasti poslední míle a prostor zákazníků. Ačkoliv bylo BB-PLC využíváno domácích sítích, širšího nasazení pro účely chytrého měření se nedočkalo [23].

Vzniklo několik specifikací, z nichž mezi nejznámější jsou:

- HomePlug 1.0 – 14 Mbps
- HomePlug Turbo – 85 Mbps
- HomePlug AV – 200 Mbps

7.3 Digital Subscriber Line (DSL)

DSL využívá k přenosu dat telefonní linky. Poskytuje backhaul sít' pro data nasbíraná z domácích sítí. DLS je spolehlivá a odzkoušená služba a stejně jako u PLC není nutné stavět novou infrastrukturu. Nevýhodou je klesající propustnost závislá na vzdálenosti zdroje od cíle [23].

7.4 Mobilní sítě GMS/GPRS-3G-LTE-A

Mobilní sítě mají výhodu, že distributor nemusí budovat novou infrastrukturu, a navíc nabízejí dobré pokrytí s dostatečnými přenosovými rychlostmi. Umožňují tak rychlé vytvoření komunikační sítě anebo zajištění komunikace s jinak nedostupným místem. Preferované použití je komunikace mezi data koncentrátoři a datovou centrálou (NAN, WAN). Mobilní sítě se nehodí

na místa, kde je nutné nepřetržité připojení, jelikož nejsou vyhrazené pouze pro distributory a mohou být přetížené v době nouzové situace [27].

GSM/GPRS – Nejpoužívanější standard pro přenos menšího objemu dat nebo spojení s odlehlými místy. GPRS je doplňková síť k GSM, se kterou má společnou rádiovou část a páteřní síť. GSM je nutné doplnit o speciální uzel umožňující komunikaci s rádiovou částí a uzel pro paketovou síť, který funguje jako směrovač. V chytrém měření se používá v síti NAN pro přes agregovaných dat od elektroměrů [26].

LTE, vysokorychlostní standard pro mobilní sítě. Tato technologie umožňuje sdružování nosných vln, koordinovat interferenci mezi jednotlivými buňkami (beamforming) a přenos pomocí technologie MIMO k uživateli a od uživatele. LTE již nepodporuje přepojování okruhů, ale pouze paketů a jeho bezdrátové rozhraní není kompatibilní se sítěmi 2G a 3G. Navíc v každé zemi jsou pro LTE vyhrazena jiná pásma, tudíž zařízení splňující regulace jedné země nemusí splňovat regulace druhé. V rámci chytrého měření se používá jako backhaul síť (WAN) [23] [28].

Protokol 3GPP definuje celkem 12 LTE kategorií tzv. LTE UE (CAT1 – CAT12), které se liší maximální rychlostí stahování a nahrávání dat. K dosažení udávané rychlosti musí být kategorie podporována sítí i zařízením zároveň [29].

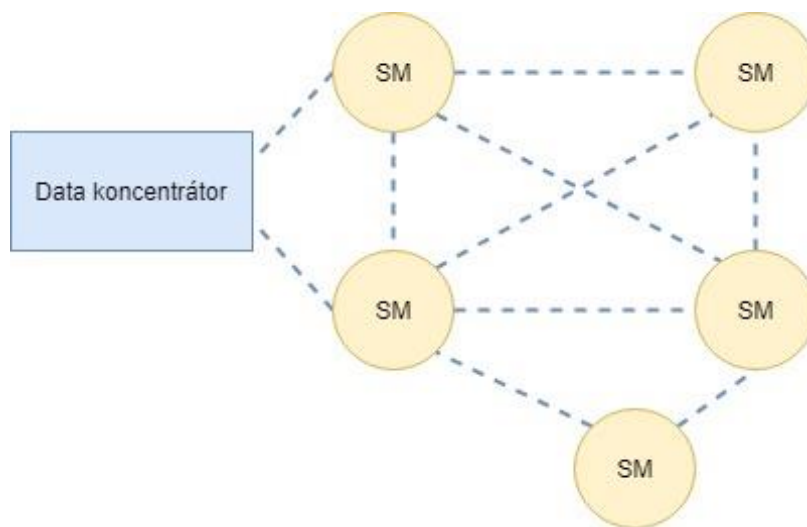
7.5 WiMAX

WiMAX je bezdrátová technologie, která vznikla jako potenciální nástupce GSM a jedná se o alternativní řešení pro Backhaul síť vedle 4G sítí. Mezitím co standard WiFi je určen především pro vnitřní sítě, WiMAX je určen pro venkovní sítě a překonávání vzdáleností v řádech desítek kilometrů. WiMAX lze vedle využití v inteligentních sítích a v chytrém měření také použít pro širokopásmové připojení mezi městy a státy nebo jako bezdrátovou alternativu DSL, poskytování datových a telekomunikačních služeb [30] [31].

7.6 Zigbee

Zigbee je technologie pro nízkovýkonová zařízení. Má velmi malé přenosové rychlosti a dosah pouze 10 až 100 m. Využití nachází zejména v místech, kde pohybuje malý počet dat a snažíme se o co nejmenší spotřebu. Jedná většinou o chytré řešení budov – chytré osvětlení, snímače, automatizované sepínání spotřebičů atd. Velkou nevýhodou je náchylnost na rušení, což je problém vzhledem k provozní frekvenci 2,4 GHz [27].

Zigbee lze také využít pro vytvoření mesh topologie (Obrázek 14), kde jsou elektroměry navzájem propojené a v případě výpadku jedné z cest lze pro data najít alternativní cestu [23].



Obrázek 14, Mesh topologie, SM – smart meter, chytrý elektroměr. Převzato a upraveno z: [23]

7.7 Low Power Wide Area Network (LPWAN)

V chytrém měření lze využít i komunikační technologie používané v IoT. Tyto technologie jsou vhodné pro místa, kde je přenášeno malé množství dat (jednotky kb) na dlouhé vzdálenosti s co největší energetickou účinností. Známé standardy jsou SigFox, LoRaWan a NB-IoT [23].

8. Chytré měření

Zavádění chytrého měření lze rozdělit na oblast přenosové a distribuční soustavy. Jelikož přenosovou soustavu vlastní jediná společnost ČEPS, jsou zde celoplošné změny prováděny snadněji a již nyní je přenosová soustava na vysoké úrovni automatizace. Zavádění inteligentních sítí se tedy týká především distribuční sítě. Zde jsou hlavními aktéry společnosti ČEZ, E.ON a PRE distribuce, kteří společně pracují na plánu zavedení inteligentních sítí do roku 2030 [32].

Nasazování chytrého měření se řídí Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2018/844, která počítá s celoplošným nasazením inteligentních sítí po celé Evropě. Dle této směrnice, jsou státy evropské unie zavázány nasadit inteligentní sítě a chytré měření a vytvořit tak bezpečnou a efektivní infrastrukturu, která je šetrná k životnímu prostředí [33].

Jedny z největších projektů probíhali nebo probíhají v Itálii, ve Švédsku a Finsku. Projekty menšího rozsahu ve Francii, Španělsku a ve Velké Británii. Itálie má jednu z nejrozsáhlejších sítí chytrého měření, kde téměř každý zákazník vlastní chytrý elektroměr. Společnost Progetto Telegstore započala budovat tuto síť již v roce 2002 a vyměnila celkem 30 miliónů elektroměrů. Británie, Francie či Španělsko spouští menší pilotní projekty v řádech stovek tisíc elektroměrů a ostatní členské země v projektu Smart Grid spouštějí menší experimentální projekty.

V rámci evropské energetické legislativy třetího energetického balíčku byly členskými státy Evropské unie vypracovány studie, které měly potvrdit výdělečnost inteligentních sítí z dlouhodobého hlediska. Pokud se tak stane, daná země nasadí chytré měření s cílem pokrytí alespoň 80 % do roku 2020. V případě České republiky byla efektivita plošného nasazení chytrého měření sporná. Hlavním důvodem byl především ekonomický faktor. Faktory, které snižují efektivitu inteligentních sítí v ČR [26]:

- rozšířený systému HDO
- drahá technologie
- nedostatečná funkcionalita připojených systémů
- dostatečně výkonná přenosová a distribuční soustava schopná odolávat vysoké zátěži

Uvedené nevýhody jsou nicméně překonány nově vznikajícími standardy, které umožňují efektivnější vývoj a tím pádem širší rozšíření technologií a jejich zlevnění. Hlavní výhodou chytrého měření nad HDO je bezpečnost a flexibilita, která překonává ekonomické nevýhody. [34].

8.1 Hromadné dálkové ovládání HDO

V České republice se jedná o nejrozšířenější způsob dálkových odečtů, který se začal nasazovat již v 70. letech a dnes se je rozšířen téměř na celém území ČR. Systém HDO byl nasazován i v jiných zemích, nicméně v ČR zaznamenal nejplošnější nasazení.

Princip spočívá ve vysílání transponovaného kódu na kmitočet energetické sítě skrze rozvodny a transformátory až ke koncovým zákazníkům. Do HDO patří veškeré dálkové služby – signalizace, měření, regulace, sledování aj. HDO je systémem jednosměrných tzv. distribučních. Signál je z centra hromadně posílán ke koncovým bodům. Pomocí těchto příkazů, posílaných na odběrné místo dochází k přepínání tarifů na elektroměru a k zapínání/vypínání spotřebičů (boilery, akumulární kamna atd.) Umožňuje tak z centrálně regulovat odběr elektřiny. HDO umožňuje pouze dva cenové tarify – nízký a vysoký. Časy, kdy tyto tarify běží, jsou specifikované distributorem a zpravidla uvedené na informačním portále distributora [35] [36].

Nevýhodou HDO je nezabezpečený kanál, po kterém jsou posílány signály, jelikož v době nasazení se nepočítalo s tím, že by někdo mohl disponovat vybavením schopného odposlouchávání a vysílání HDO signálů. Dle recenze článku Ing. Jiřího Roubala, z České technologické platformy Smart Grids pod článkem „HDO je duch minulosti, smart grid je platforma pro dobu změn“ na webovém portále tzbinfo, uvedl právě zabezpečení jako největší problém HDO, tedy jeho absenci. Dále je podotýkáno, že náklady na HDO infrastrukturu podporující dostatečné zabezpečení na dnešní dobu, by bylo stejně nákladné jako přechod na inteligentní síť [36].

Dalším uvedeným negativem HDO je jeho neotevřenost k třetím stranám. Časy HDO jsou pevně dané a obchodníci mají na odběr dané smlouvy a také stanovené postihy za překročení nebo neodebírání elektřiny. V dynamickém prostředí inteligentních sítí by HDO nemohlo z obchodních důvodů fungovat, pokud by nebylo v reálném čase propojeno se sítí obchodníků. Stejně jako v případě zabezpečení by se jednalo o zbytečně nákladné rozšíření již zastaralé technologie. HDO také neumožňuje efektivní kompenzování výkyvů spotřeby [37].

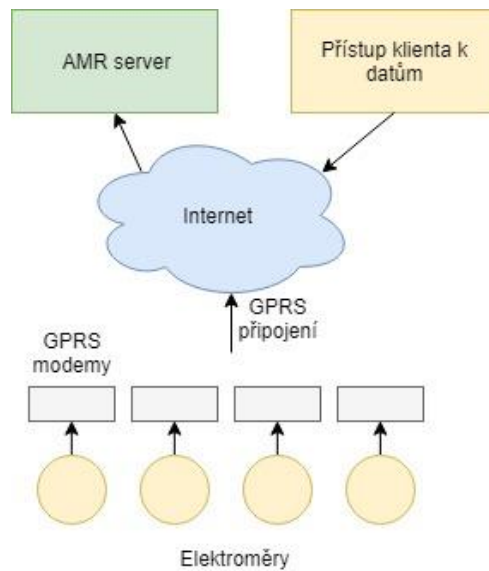
Nakonec je HDO brzděno nedostatečně širokou sadou kódů. Každý příkaz, resp. tarif, zabírá jeden vysílaný kód a těch je k dispozici pouze 200. To znamená, že každý obchodník by neměl své vlastní kódy/tarify. V případě inteligentního domu bylo nebylo možné spínat/blokovat veškeré spotřebiče [36].

8.2 Automated Meter Reading (AMR)

AMR je technologie sběru dat, která automatizovaně shromažďuje data (elektřina, voda atd.) do centrální databáze pro vyúčtování a další analýzu nebo detekci problému. AMR je síť s jednosměrnou komunikací (Obrázek 15) v energetice používaná pro automatizované odečty a poskytnutí informací o kWh a možných spotřebních špičkách [25].

Výhody AMR:

- Přesná data o stavu sítě
- Zjednodušení procesu vyúčtování
- Data jsou k dispozici v reálném čase
- Zákazník se může na internetu dostat ke svým datům



Obrázek 15, AMR infrastruktura, zdroj: [38]

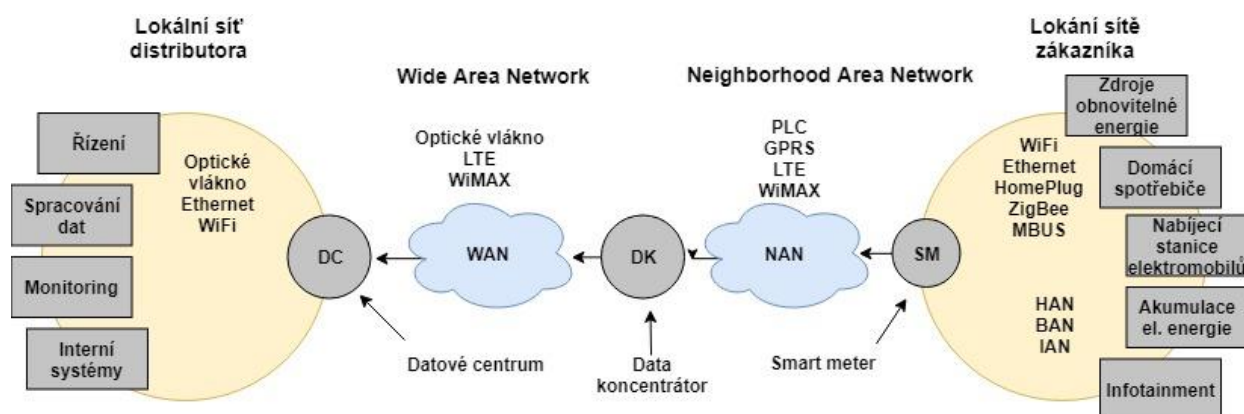
8.3 Advanced Metering infrastructure (AMI)

AMI na rozdíl od AMR disponuje obousměrným komunikačním kanálem mezi zákazníkem a distributorem, díky chytrým elektroměrům. Chytré elektroměry poskytují více informací o síti (proud, napětí, výpadky, časově přesné profily spotřeby atd.). AMI je integrace mnoha technologií dohromady, zajišťujících hlavní funkcionalitu inteligentních sítí [39]:

- Distributor má detailní přehled o aktuálním dění v síti
- Dálkové a automatizované řízení výroby a akumulace v prostorách zákazníka
- Zákazník se může aktivně podílet na trzích
- Zákazník má aktuální přehled o své spotřebě
- Umožňuje změnu z hierarchické elektrické sítě na distribuovanou
- Neustálá kontrola kvality elektřiny
- Rychlá detekce a náprava výpadků
- Detekce manipulace se zařízením

AMI se skládá z celkem čtyř hlavních částí:

- **Lokální síť zákazníka** – Sběr dat v prostorách zákazníka
- **NAN** – Agregace dat z elektroměrů do data koncentrátorů
- **WAN** – Přeposílání agregovaných dat po páteřní síti do datového centra
- **Lokální síť distributora** – Interní systémy zpracovávající přijatá data

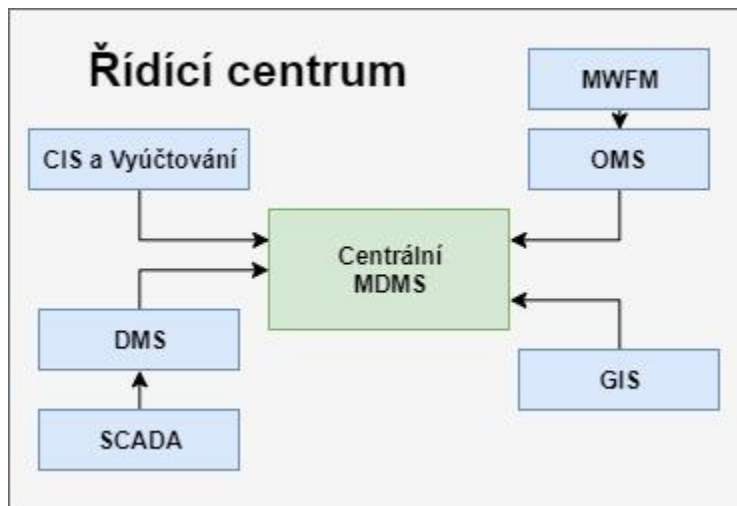


Obrázek 16, AMI infrastruktura, převzato a upraveno z: [39]

8.4 Systémy inteligentních sítí

V inteligentních sítích se nachází celá řada vnitřních systémů, které společně umožňují optimální a ekonomický chod takové sítě. Typy integrovaných systémů (Obrázek 17) se mohou dle různých společností lišit. Mezi hlavní funkce těchto systémů patří:

- automatizované řízení sítě
- automatizované obnovení provozu po výpadku
- optimalizaci výkonu distribuční sítě
- komunikaci se zákazníkem
- dálkové řízení prvků v prostorách zákazníka
- detekce chyb v elektrické soustavě
- předpověď stavu elektrické soustavy



Obrázek 17, Systémy inteligentních sítí, převzato upraveno a z: [43]

Meter Data Management System (MDMS) – Zpracovává a ukládá data z inteligentní sítě, pro účely zakomponovaných podsystémů, které mezi sebou spolupracují. Jedná se o následující [40]:

- DMS – Distribution Management Systém
- CIS – Customer Information System
- OMS – Outage Management System
- GIS – Geographic Information System

Distribution Management System (DMS) – Udržuje operační model co nejbližší skutečnému stavu sítě. Jedná se o systém umožňující efektivní řízení sítě, poskytuje nástroje pro automatizaci, hlídání kvality dodávané energie a řízení poptávky a výroby. DMS úzce spolupracuje je systémy SCADA a OMS [40].

Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) – Dispečerské řízení dat, SCADA poskytuje telemetrická data a monitoruje stav sítě [40].

Outage Management System (OMS) – Detekuje a lokalizuje výpadky anebo neobvyklé situace a tím předchází potencionálnímu výpadku. Poskytuje důležité informace terénním jednotkám, které tak mohou snadněji a rychleji vyřeší daný problém. OMS také informuje zákazníky o výpadku a jeho možné délce. OMS především spolupracuje se systémy GIS A CIS [40].

Mobile work force management (MWFM) – Umožňuje pracovníkům v terénu komunikovat s řídicím centrem a urychlit tak práci [40].

Geographic Information System (GIS) – Geografický informační systém umožňuje sběr, analýzu a vizualizaci časových řad a pomáhá tak vytvořit reálný obraz sítě. Pomáhá také určit optimální umístění inteligentních prvků, či nalézt zranitelná místa sítě. Mimo jiné pomáhá řešit otázky týkající se dalšího rozšiřování, zejména při implementaci nových zdrojů el. energie. [41].

Customer Information System (CIS) – Zprostředkovává komunikaci se zákazníkem a ukládá informace o zákazníkovi (kontakty, geografická poloha, bankovní spojení apod.). CIS zpracovává nahlášené problémy od zákazníků a předává je dále OMS [40].

Vyúčtování – Automatizované účtování probíhá na základě intervalových profilů spotřeby.

9. Simulace inteligentní sítě

Nové strategie řízení elektrické sítě, je nutné nejprve patřičně otestovat, aby byl přechod co nejvíce ekonomický a zároveň byla zachována spolehlivost sítě. Použité systémy a technologie jsou tak testovány simulacemi. Typů simulací existuje celá řada, např. simulace zaměřené přímo na simulaci elektrické sítě (PyPower) nebo na obnovitelné zdroje (RAPSIm).

Požadavek na simulační nástroj byla především možnost simulovat nasazení elektromobility a zdrojů obnovitelné energie v distribuční soustavě na úrovni poslední míle. Dále pak možnost vytvořit vlastní síť s vlastními parametry (napětí vedení, délka vedení, typ vedení, typ trafo stanice, možnost vložit vlastní data o spotřebě a výkonu). Z analýzy vyšel jako nejvhodnější simulační nástroj Mozaik, který umožnil otestovat scénáře specifikované v cílech této práce.

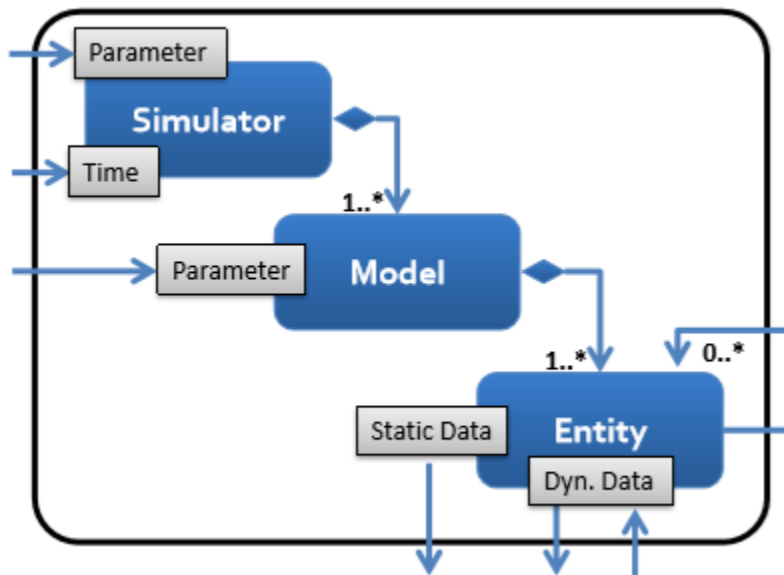
9.1 Metodika simulace

Byly vytvořeny dva modely elektrické sítě. První model sloužil k demonstraci chování zdrojů obnovitelné energie a elektromobilů. Bylo vytvořeno několik scénářů, které se zaměřovaly na změny v hodnotách činného výkonu. Výstupem každého scénáře byl graf s naměřenými hodnotami, který byl poté vyhodnocen. Druhý model byl vytvořen na základě příměstské části města Tábora, kde byl sledován stav distribuční sítě po zapojení elektromobilů.

9.2 Mosaik framework

Pro simulování scénářů byl využit framework Mosaik, který je napsán v jazyce Python a běží na operačních systémech Linux, OSX a Windows. Disponuje přehlednou dokumentací umožňující snadné upravení komponent a vytvoření vlastních scénářů. Co-simulátor umožňuje synchronizaci více na sobě nezávisle běžících simulátorů a výměnu dat mezi nimi skrze poskytnuté API. Skládá ze tří hlavních konceptů (Obrázek 18) [42]:

- **Entita** – Objekt (komponenta) v modelovaném systému, která je vytvořením instance explicitně vyjádřena. Jedná se např. o objekt domácnosti, transformátoru, elektrického vedení apod.
- **Model** – Abstraktní reprezentace systému, který je spouštěn co-simulátorem Mosaik. Jedná se např. o model distribuční soustavy.
- **Simulator** – Spouštěcí prostředí pro jeden nebo více modelů.



Obrázek 18, Koncepty frameworku Mosaik, zdroj: [42]

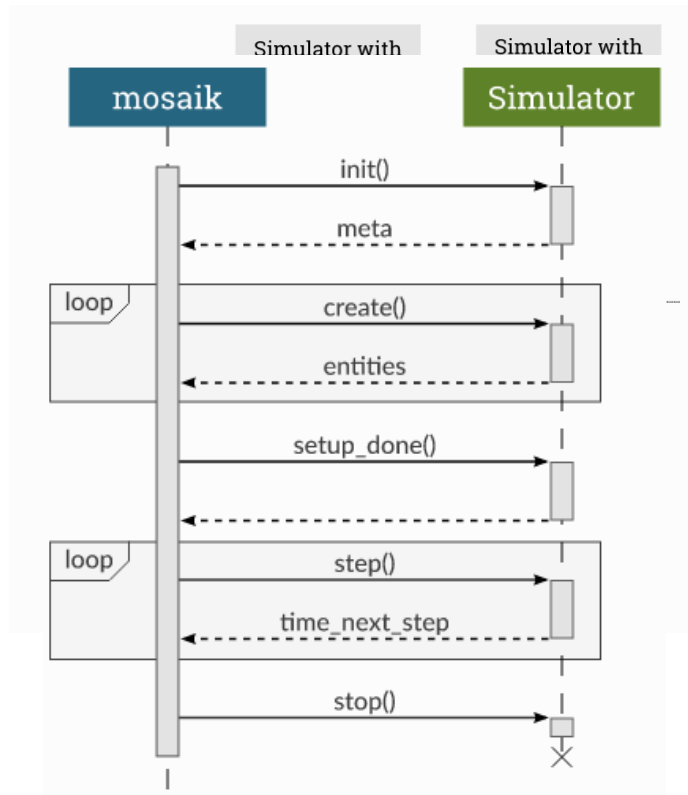
Mosaik obsahuje tyto hlavní komponenty [42]:

- Mosaik SimAPI
- ScenarioAPI
- Simulator manager
- Mosaik simulátor

Mosaik SimAPI – Defínuje komunikační protokoly a API volání (Obrázek 19) [42].

- **init()** – Inicializace simulátoru. Vrací metadata obsahující popis entit.
- **create()** – Vytvoření instancí entit

- **setup_done()** – Ukončení instancování entit.
- **step()** – Zahájení kroku simulace na základě vstupních dat za nastavený časový interval.
- **get_data()** – Slouží k získání dat ze simulátoru. Je průběžně voláno v průběhu metod `create()` nebo `step()`.
- **stop()** – Ukončení simulátorů.



Obrázek 19, Volání Mosaik API [42]

Scenario API – Umožňuje spouštět simulátory a instancovat modely. Skládá se ze tří hlavních kroků [42]:

1. Importování a spuštění simulátorů
2. Instancování entit
3. Propojení entit a vytvoření datových toků mezi nimi

Základem simulace je instance „world“, která obsahuje všechna data nutná pro běh simulace poskytnutá objektem Sim_config, ve kterém jsou importovány dostupné simulátory. Metoda start() iteruje objektem sim_config a simulátory spustí.

```
# Importování Mosaiku
import mosaik

#Importování simulátorů
sim_config = {
    'ExampleSim': {'python': 'example_sim.mosaik:ExampleSim'},
}

#Vytvoření instance word
world = mosaik.World(sim_config)

#Spuštění simulátorů, vrací meta data v podobě modelu
simulator_0 = world.start('ExampleSim', step_size=2)
simulator_1 = world.start('ExampleSim')
```

Instance modelů se vytváří na základě meta dat (z volání init()). Vytvoření instancí může probíhat více způsoby. První nejjednodušší je zavolat metodu create(). Každá instance ale bude mít stejná data. Druhý způsob využívá generátorovou notaci seznamů (list comprehension), je podrobnější a umožní vytvořit instance s rozdílnými daty. Init_val jsou parametry popisující model.

```
#Vytvoření instancí modelu. a_set metoda s list comprehension, b_set metoda create()
a_set = [simulator_0.A(init_val=i) for i in range(3)]
b_set = simulator_1.B.create(3, init_val=1)
```

Aby simulátory neběžely paralelně naprázdno, je nutné propojit jejich výstupy a vstupy. Výstup instance A je propojen se vstupem instance B. Do metody connect() vstupuje zdrojová a cílová instance a zadaná hodnota. Propojovat lze pouze instance odlišných simulátorů a nelze vytvořit zacyklení zpětným propojením výstupu B se vstupem A.

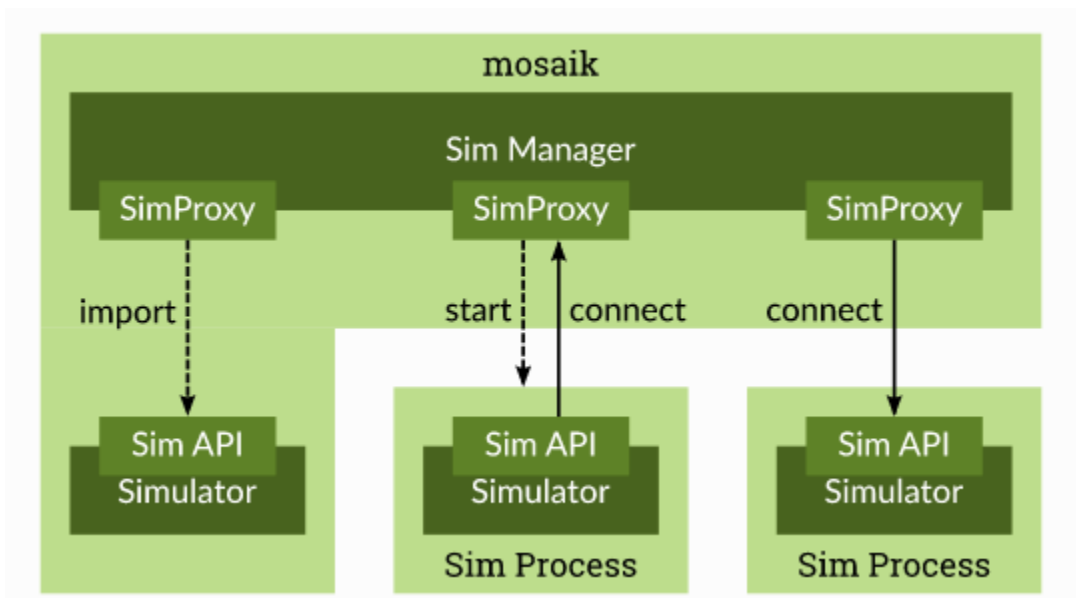
```

#Propojení instancí
for a, b in zip(a_set, b_set):
    world.connect(a, b, ('val_out', 'val_in'))

# Start simulace
world.run(until=10)

```

Simulator manager – Obstarává externí procesy a komunikaci mezi nimi (Obrázek 20). Simulátory napsané v jazyce Python lze spouštět přímo jako importované moduly. Poté ale běží pouze na jednom vlákně, není tedy možná paralelizace. Výpočetně náročnější simulátory je výhodnější spouštět jako samostatné procesy. Umožňuje to paralelizaci a také nezáleží ve kterém jazyce je simulátor napsán. Třetí možností je spouštět simulátory na jiném zařízení např. hardware-in-the-loop simulace [42].



Obrázek 20, Metody spouštění simulátorů [42]

Na kódu níže jsou konkrétní příklady importování simulátorů. První je přímo importován, druhý je spouštěn jako samostatný proces a třetí běží externě na jiném zařízení, se kterým je navázáno síťové připojení.


```

sim_config = {
    # proces spuštěn přímo
    'SimA': {
        'python': 'package.module:SimClass',
    },
    # Samostatný proces
    'SimB': {
        'cmd': 'java -jar simB.jar %(addr)s',
        'cwd': 'simB/dist/',
    },
    # Externí proces
    'SimC': {
        'connect': 'localhost:5678',
    },
}

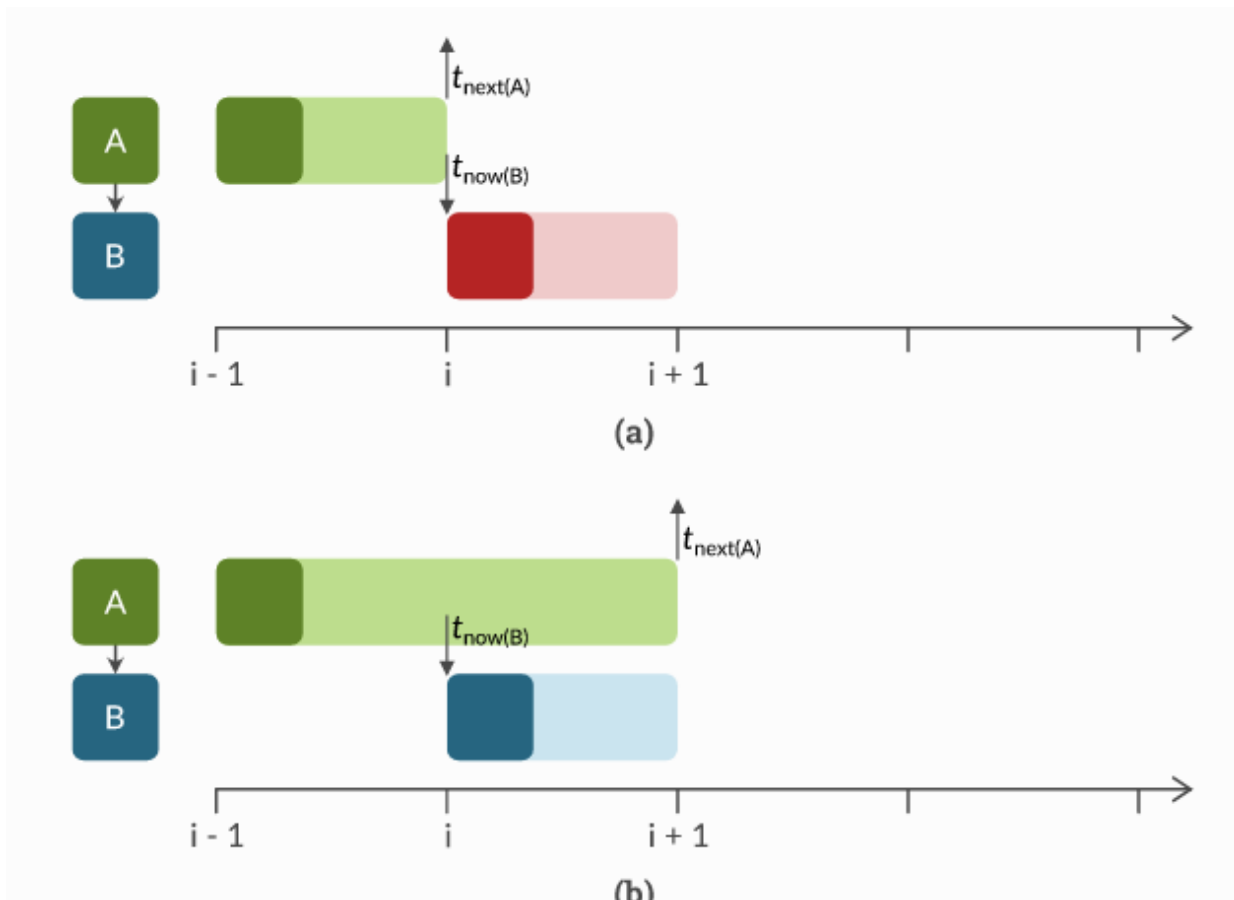
```

Mosaik simulátor – Diskrétní simulační knihovna SimPy koordinující simulace. SimPy využívá next-event techniku, kdy se model skokově mění pouze, pokud byla vyvolána nějaká událost. Mosaik dokáže sledovat závislosti mezi simulátory a nechat je učinit krok pouze, pokud je to nutné, tj. v případě, kdy vstup jednoho simulátoru vyžaduje data z výstupu druhého simulátoru. Pokud na sobě datově simulátory nezávisí, běží vedle sebe paralelně (pokud jsou to samostatné nebo externí procesy).

Na počátku simulace je každý simulátor na hodnotě času $t = 0$. Hodnota t je sledována pro každý simulátor separátně. Simulace probíhají skokově, po dokončení skoku simulátor vrací čas, kdy chce provést další skok. Velikosti skoků se mohou v průběhu simulace měnit.

Obsahuje-li scénář více datově závislých simulátorů (Obrázek 21), tyto simulátory mohou provést svůj skok pouze pokud mají připravená vstupní data. Tato situace je ilustrována na obrázku níže. Mosaik nejdříve určí, který simulátor je generuje vstupní data. Aby simulátor A poskytl data simulátoru B, musí nejprve A provést skok tak aby $t_{\text{next}(A)} > t_{\text{now}(B)}$. Dokud je

($t_{\text{next}(A)} \leq t_{\text{now}(B)}$), nemůže B provést skok. Pokud podmínka platí, Mosaik nasbírá data, která odpovídají času $t_{\text{now}(B)}$, předá je procesu B a ten na jejich základě provede skok [42].



Obrázek 21, Datová závislost simulátorů

9.2.1 Prvky simulace

Základem simulace (Obrázek 22) je souboru Demo.py, kde jsou naimportovány data a požadované simulace a vytvořeny instance entit společně s jejich datovými toky.

Hlavní prvky:

mosaik-csv: Převádí pro Mosaik soubory formátu csv na entity.

mosaik-hdf5: Ukládá data ze simulace do HDF5 databáze.

mosaik-householdsim: Obsahuje model pro vytváření entit domácností. Také obsahuje seznam ID, která určují, k jakému bodu na síti jsou domácnosti připojené.

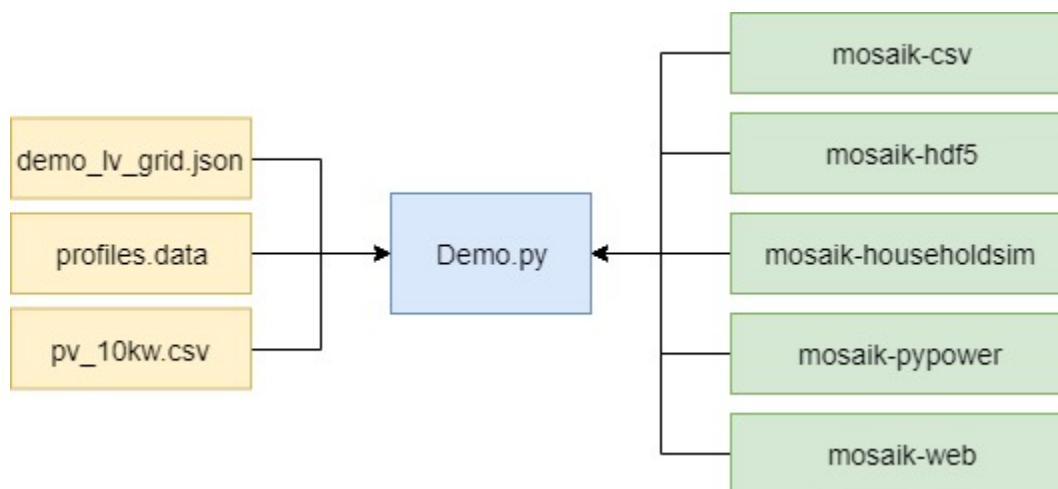
mosaik-pypower: Simuluje elektrickou soustavu.

mosaik-web: Provádí vizualizaci výstupních data ve webovém prohlížeči.

demo_lv_grid.json: Obsahuje schéma zapojení elektrické sítě. Jsou zde definovány přípojně body a vedení společně s jejich parametry.

profiles.data: Data, která obsahují informace o spotřebě v podobě výkonu P [W] jednotlivých domácností v minutovém profilu.

pv_10kw.csv: Data, která obsahují výkon P [W] fotovoltaické elektrárny v 15minutovém profilu.



Obrázek 22, Schéma co-simulace, zdroj: vlastní

9.3 Scénáře simulace

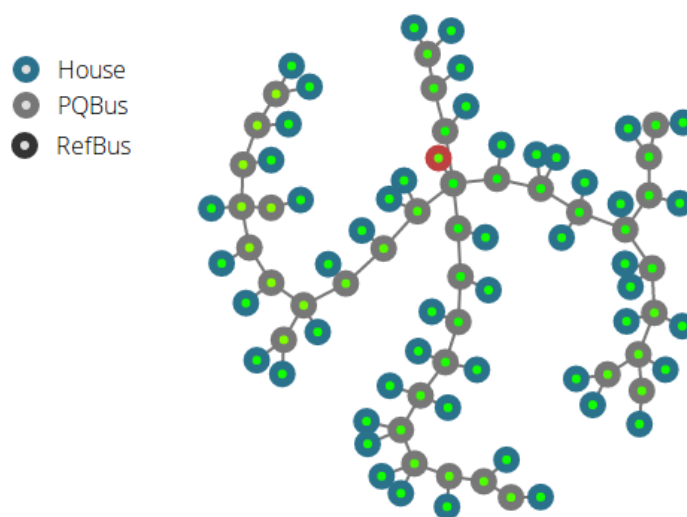
Simulace nejprve probíhala v příkazové řádce s webovou vizualizací a poté v grafickém prostředí Maverig. Simulace v příkazové řádce je rychlejší, ale hůře se zde manipuluje s časovou osou. Simulace obsahuje 60 různorodých spotřebních profilů domácností, data o výkonu fotovoltaických elektráren. Byl naměřen stav sítě s OZE a bez OZE.

Pro další část simulace bylo použito grafické prostředí Maverig, které umožňuje intuitivnější sestavení modelu elektrické sítě a snadnější manipulaci s časem. Nejprve byla otestována data od německého institutu informačních technologií OFFIS sídlícího v Oldenburgu. Do sestavené sítě byly postupně přidávány fotovoltaické elektrárny a elektromobily a naměřen jejich vliv na celkový stav činného výkonu v síti.

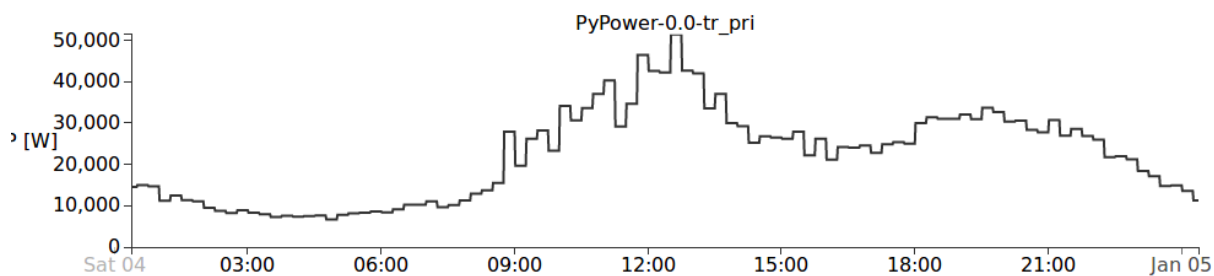
V poslední části byla sestavena distribuční síť Horek u Tábora. Jedná se o jednu z řady příměstských částí města Tábora. Zde bylo cílem otestovat stav sítě po zapojení elektromobilů s 30% podílem na vozidlech. Data o spotřebě byla poskytnuta společností E.ON distribuce, a.s.

9.4 Stav sítě bez zdrojů obnovitelné energie

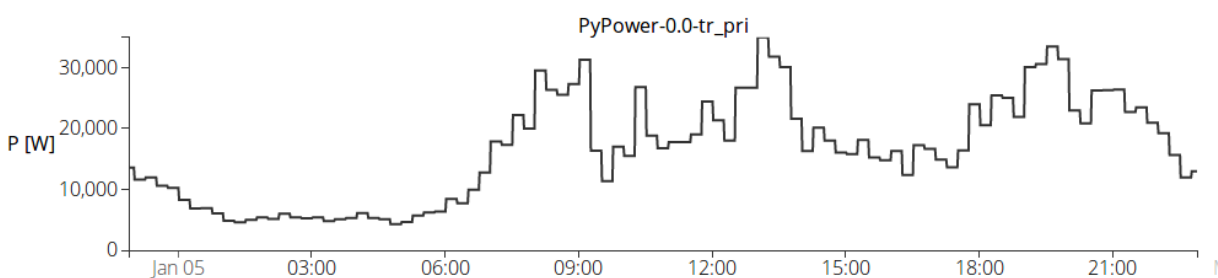
První scénář obsahuje data 60 domácností s 15minutovými profily spotřeby el. energie. Následující trojce grafů (Obrázky 24,25,26) ukazuje průběh spotřeby v období ledna. Na první pohled je patrná nízká spotřeba od půlnoci do ranních hodin. Dále jsou z dat patrné spotřební špičky v ranních hodinách, lze si všimnout, že v sobotu (Obrázek 25) začíná o něco později. Další špička nastává v odpoledních hodinách. V neděli je tato špička nejnižší, rodiny v tuto dobu často bývají mimo domácnost. Poslední nárůst spotřeby je ve večerních hodinách s vrcholem mezi 19:00 a 20:00 hodinou.



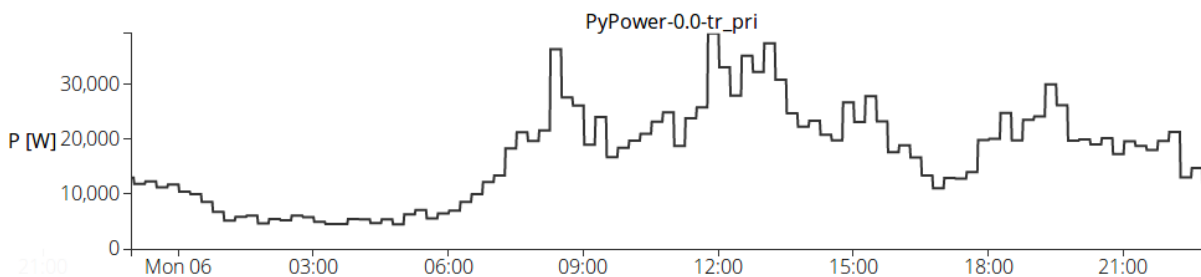
Obrázek 23, Webová vizualizace sítě bez zdrojů obnovitelné energie, zdroj: vlastní



Obrázek 24, Činný výkon, sobota, zdroj: vlastní



Obrázek 25, Činný výkon, neděle, zdroj: vlastní

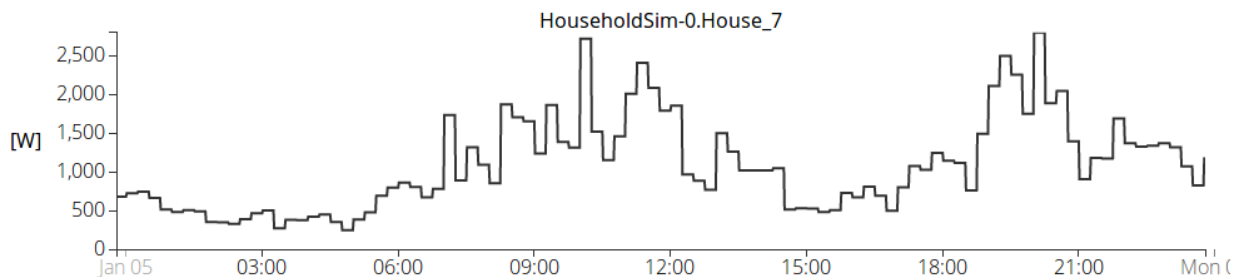


Obrázek 26, Činný výkon, pondělí, zdroj: vlastní

Tato data jsou chytrými elektroměry společně s dalšími údaji zasílány do řídicího centra. Lze tak snadněji předvídat stav elektrické sítě v dané oblasti a udržovat její stabilitu. Je ale nutné zmínit potenciální riziko odposlechu těchto dat. Nepovolaná osoba může využít tyto profily k nelegální činnosti, jelikož je možné podle spotřeby odhadnout, kdy jsou majitelé doma a kdy ne.

Na obrázku 27 je vyobrazen profil spotřeby jedné konkrétní domácnosti, z více takových profilů se lze zjistit rutinu domácnosti. V tomto případě se lze domnívat, že rodina v neděli vstává

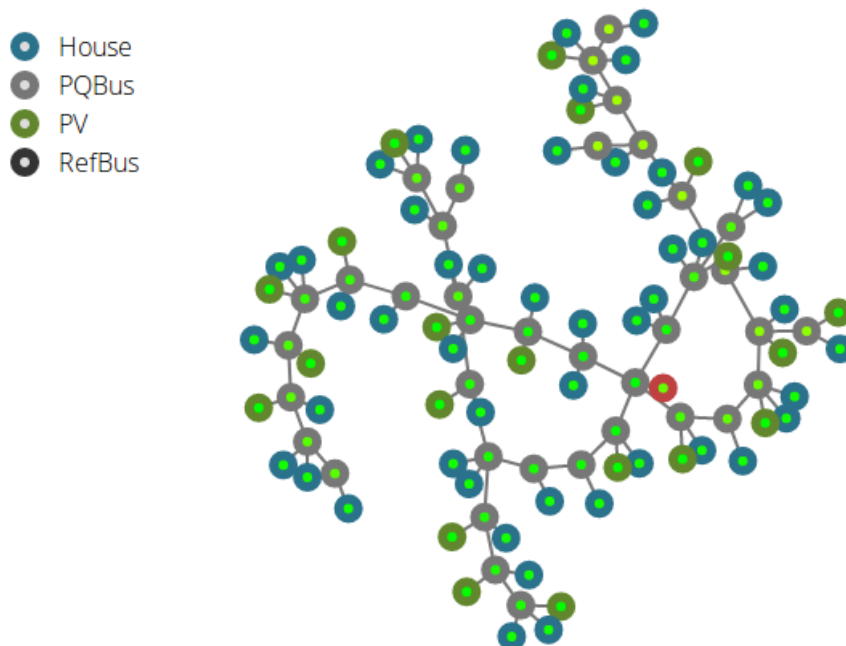
kolem 8:00 hodiny, do odpoledne se zdržují doma a poté odchází a vrací se zhruba ve večerních hodinách.



Obrázek 27, Příklad profilu denní spotřeby jedné domácnosti, zdroj: vlastní

9.5 Stav sítě se zdroji obnovitelné energie

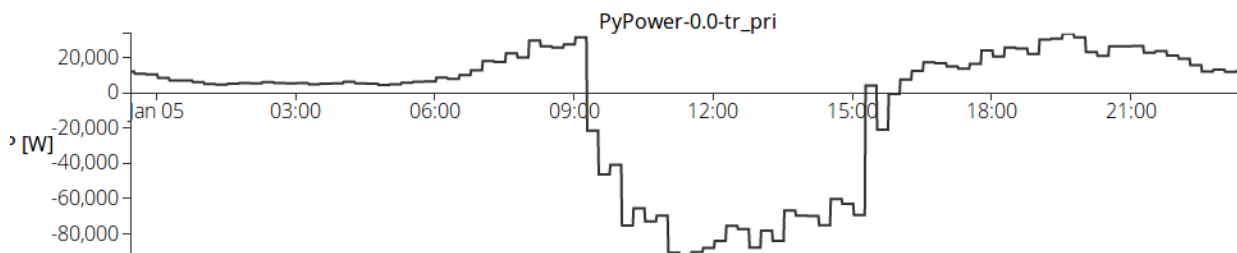
V tomto scénáři figuruje stejná síť 60 domácností, do které byly připojeny fotovoltaické panely. Cílem tohoto scénáře bylo demonstrovat vliv obnovitelné energie na činný výkon sítě.



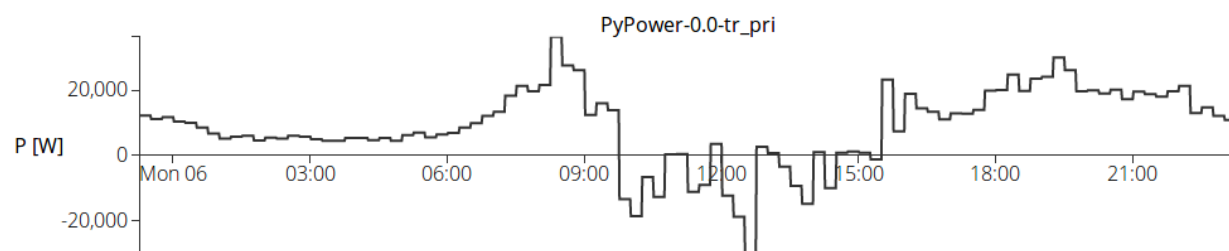
Obrázek 28, Síť s 20 zdroji obnovitelné energie (PV), webová vizualizace, zdroj: vlastní

Na prvním grafu (Obrázek 29) jsou patrné záporné hodnoty činného výkonu. Jedná se o nevyužitou energii vyrobenou fotovoltaickými elektrárnami. Nejvyšších hodnot dosahuje především ve slunečných víkendových dnech, kdy je menší spotřeba a dochází k velkému nepoměru výroby a poptávky.

Na druhém grafu (Obrázek 30) je demonstrována nestálost výroby zdrojů obnovitelné energie. Na prvním grafu je záporná hodnota činného výkonu v hodnotě okolo -90 kW, mezitím co následující den byla pouze -30 kW. Je také patrné, že se jedná o zimní dny, jelikož je den kratší a elektrárny produkují el. energii pouze do odpoledních hodin.

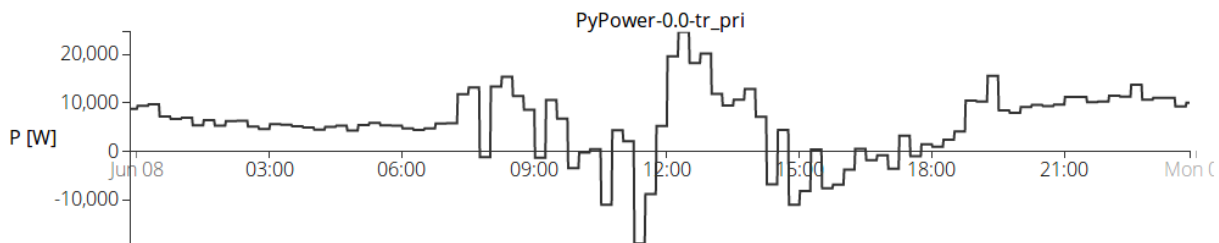


Obrázek 29, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, zima, zdroj: vlastní

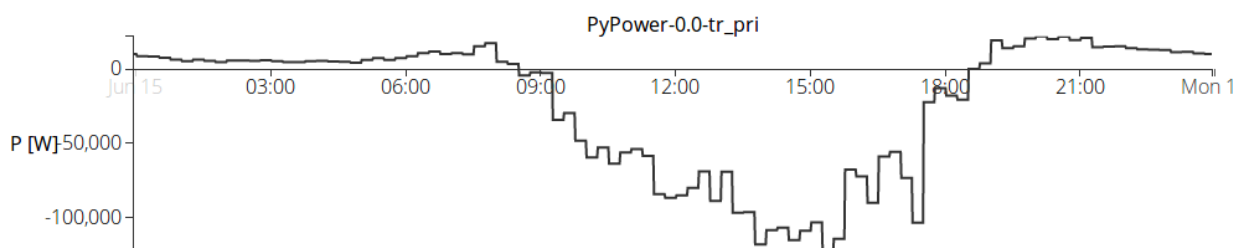


Obrázek 30, Činný výkon, pondělí, fotovoltaické elektrárny, zima, zdroj: vlastní

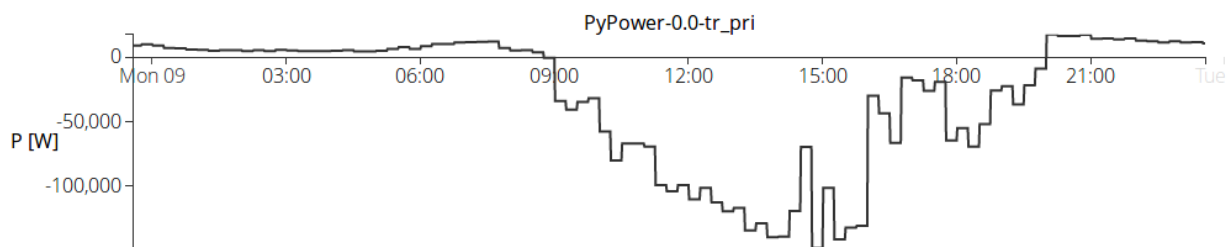
Následující grafy (Obrázky 31,32,33) prezentují naměřené hodnoty z období léta. Na grafech je patrná delší doba, po kterou fotovoltaické elektrárny produkují el. energii. Opět je vidět nestálosti výroby, kdy na prvním grafu není v odpoledních hodinách hodnota činného výkonu po celou dobu v záporných hodnotách, mezitím co v následujícím dnech klesá na více jak -100 kW.



Obrázek 31, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, léto, mračno, zdroj: vlastní



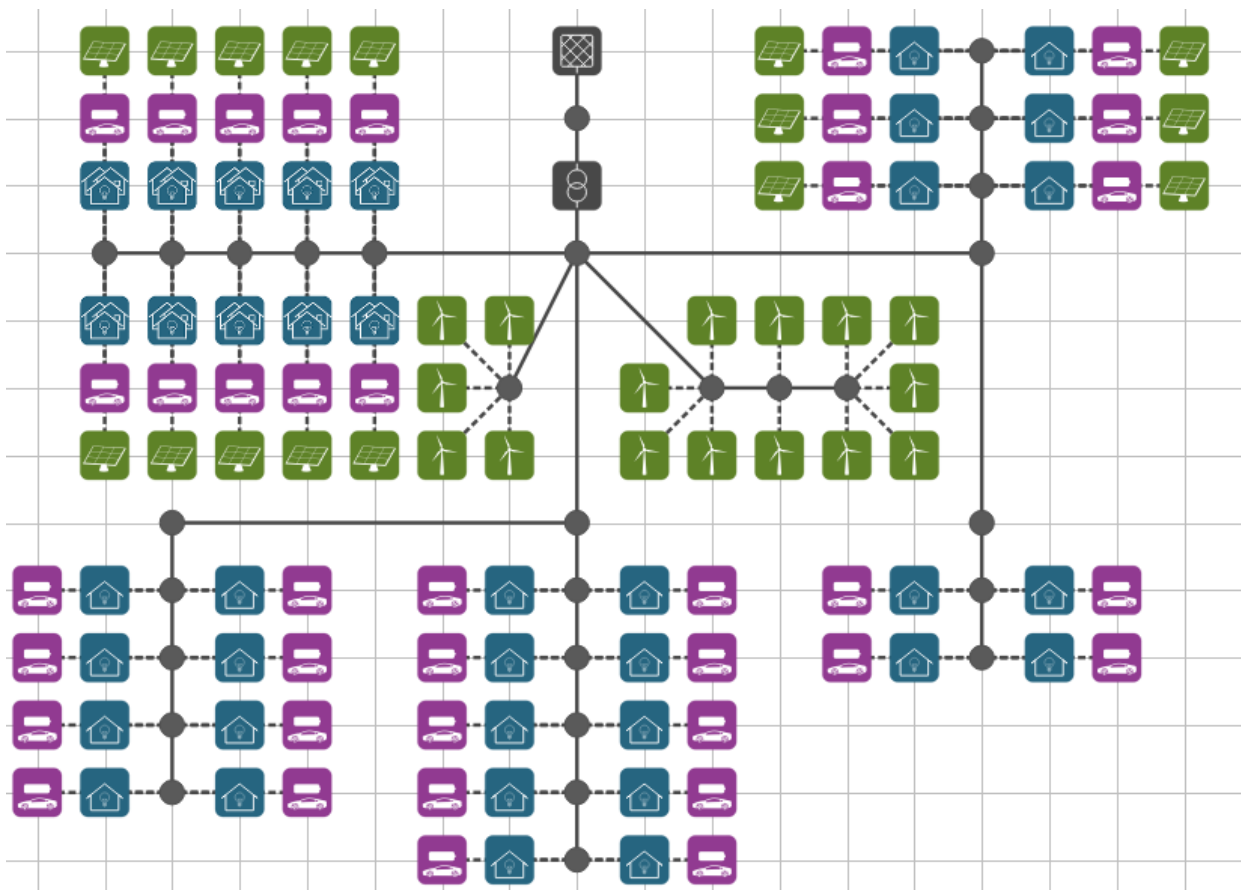
Obrázek 32, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, léto, slunečno, zdroj: vlastní



Obrázek 33, Činný výkon, pondělí, fotovoltaické elektrárny, léto, slunečno, zdroj: vlastní

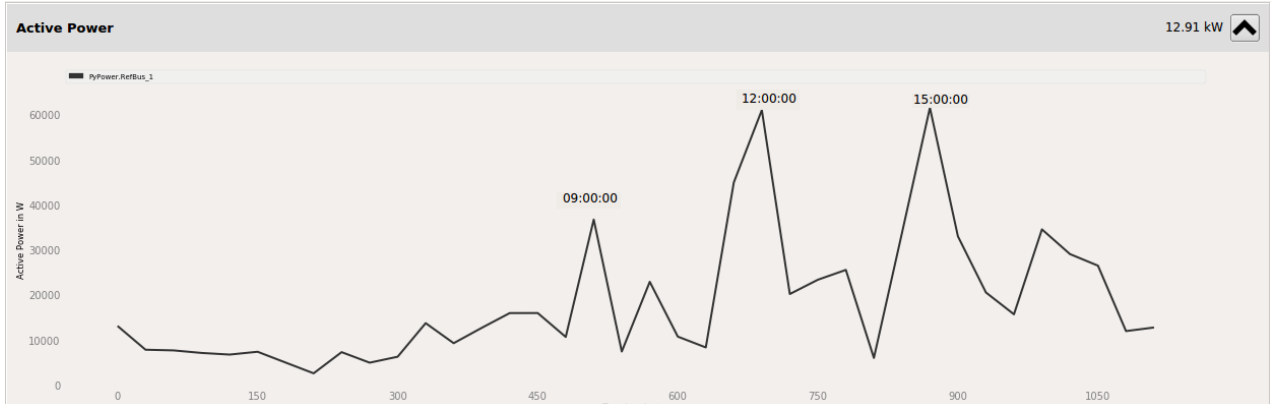
9.6 Stav sítě s elektromobily

Následující scénáře byly simulovány pomocí grafického prostředí Maverig (Obrázek 34). Na vrcholu sítě se nachází připojení k distribuční síti a trafo stanice. Dále síť obsahuje domácnosti, fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny a elektromobily. Jedná se o náhled sestavené sítě, která sloužila k úvodnímu testování.



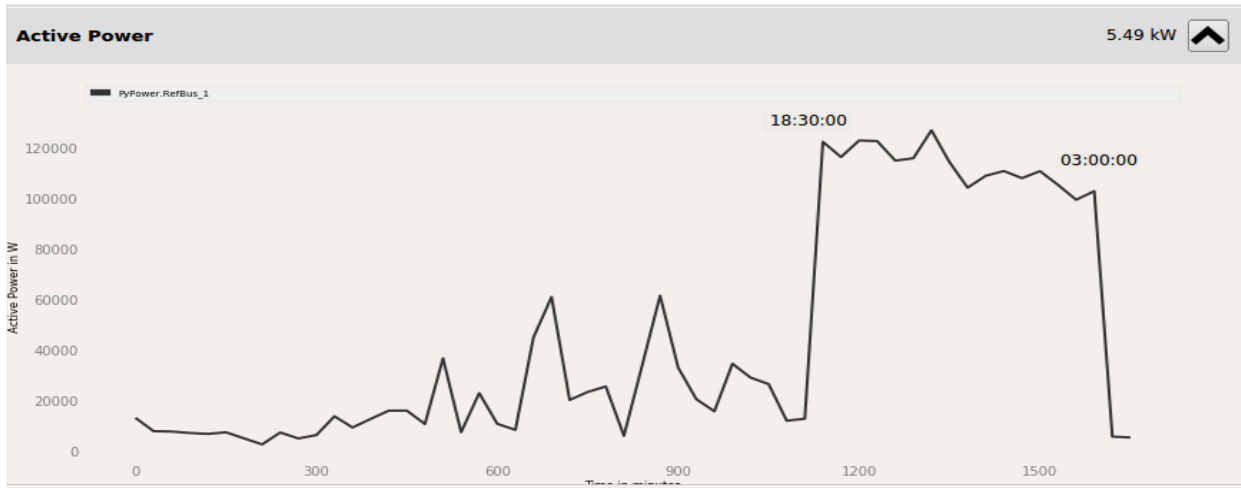
Obrázek 34, Model testované sítě v prostředí Maverig, zdroj: vlastní

Cílem bylo na této síti otestovat vliv elektromobilů na elektrickou síť. Nejprve byly zaznamenány hodnoty spotřeby bez elektromobilů a poté s elektromobily, tyto hodnoty následně porovnány. Následující graf (Obrázek 35) zobrazuje data o spotřebě domácností bez elektrických aut s již obvyklými spotřebními špičkami.



Obrázek 35, Činný výkon bez elektrických aut, zdroj: vlastní

Na následujícím grafu (Obrázek 36) lze spatřit obrovský nárůst spotřeby v momentě, kdy se elektromobily začínaly nabíjet. Jedná o vozidlo VW e-Golf 24kWh nabíjené domácí nabíječkou 230 V 16 A.



Obrázek 36, Činný výkon s elektrickými auty, zdroj: vlastní

Elektromobily vytvořily problém v podobě velké spotřební špičky v nočních a ranních hodinách. V tuto dobu také bývají sepínány elektricky náročné spotřebiče z důvodu levnějšího

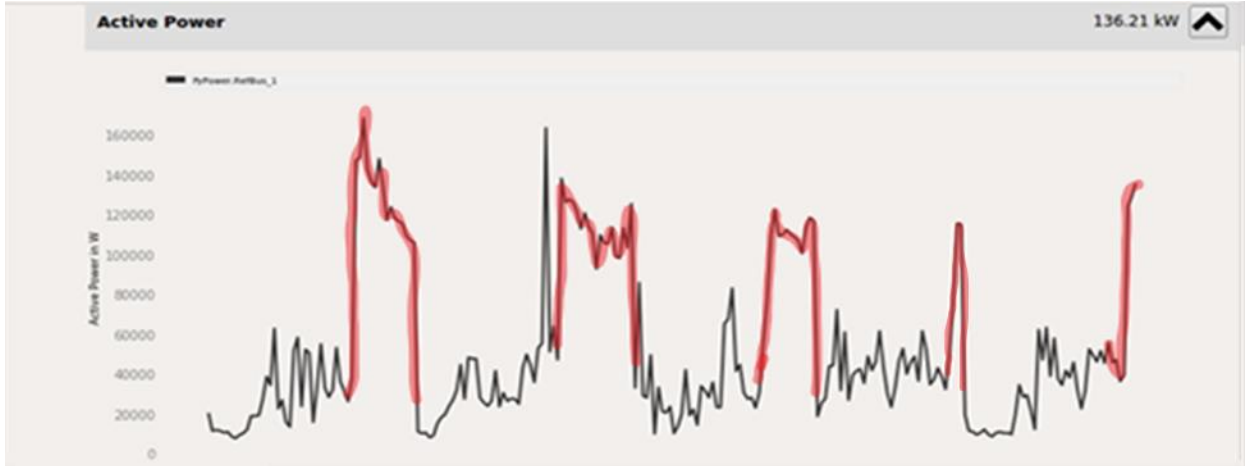
tarifu. Tato špička by mohla být z části pokryta zdroji obnovitelné energie. Pro tento případ, ale nelze použít fotovoltaické elektrárny a efektivita větrných elektráren je dána polohou oblasti.

Situace by mohla být částečně vyřešena zaváděním nabíjecích stanic přednostně k místům pracoviště, aby elektromobily byly nabíjeny v moment poklesu spotřeby v odpoledních hodinách a byl tak efektivně využit výkon fotovoltaických elektráren. Zpět do cíle by vozidla dorazila nabitá a eventuelně by mohla sloužit jako baterie na pokrytí večerní spotřební špičky. Je také výhodné využít elektromobil jako baterii i v místě pracoviště. Elektromobily tak vyrovnávat poklesy napětí, které mohou mít negativní vliv na fungování některých zařízení daného objektu (výrobní linka apod.).

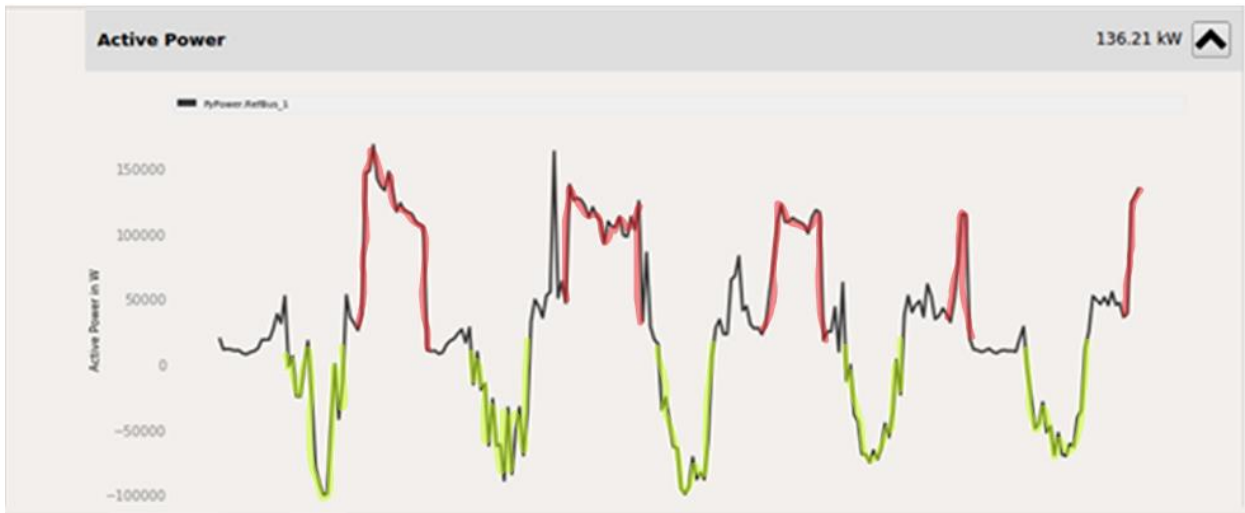
9.7 Síť s elektromobily a zdroji obnovitelné energie

Na následujících grafech je zaznamenán nejprve stav sítě pouze s elektromobily (Obrázek 37), poté stav sítě po zapojení fotovoltaických elektráren (Obrázek 38) a nakonec stav sítě po zapojení větrných elektráren (Obrázek 39). Grafy zobrazují data ze čtyř dní od 20.10 do 24.10.

Na grafech jsou patrné velké spotřební špičky způsobené dobíjením elektromobilů (červeně). Elektromobily se každý den začaly nabíjet od 18:30 do 3:00 ráno. Po přidání fotovoltaických elektráren (zeleně) se elektrická síť dostávala z jednoho extrému na druhý. Výkyvy v činném výkonu demonstrují problematiku tzv. „čisté energie“ (Obrázek 39). Aby elektromobily byli skutečně ekologické, je potřeba pro jejich nabití co nejvíce využít el. energii z OZE. Je tedy nutné změnit místo dobíjení anebo přidat některou z akumulčních technologií (viz kapitola 9.10 Zapojení baterií).

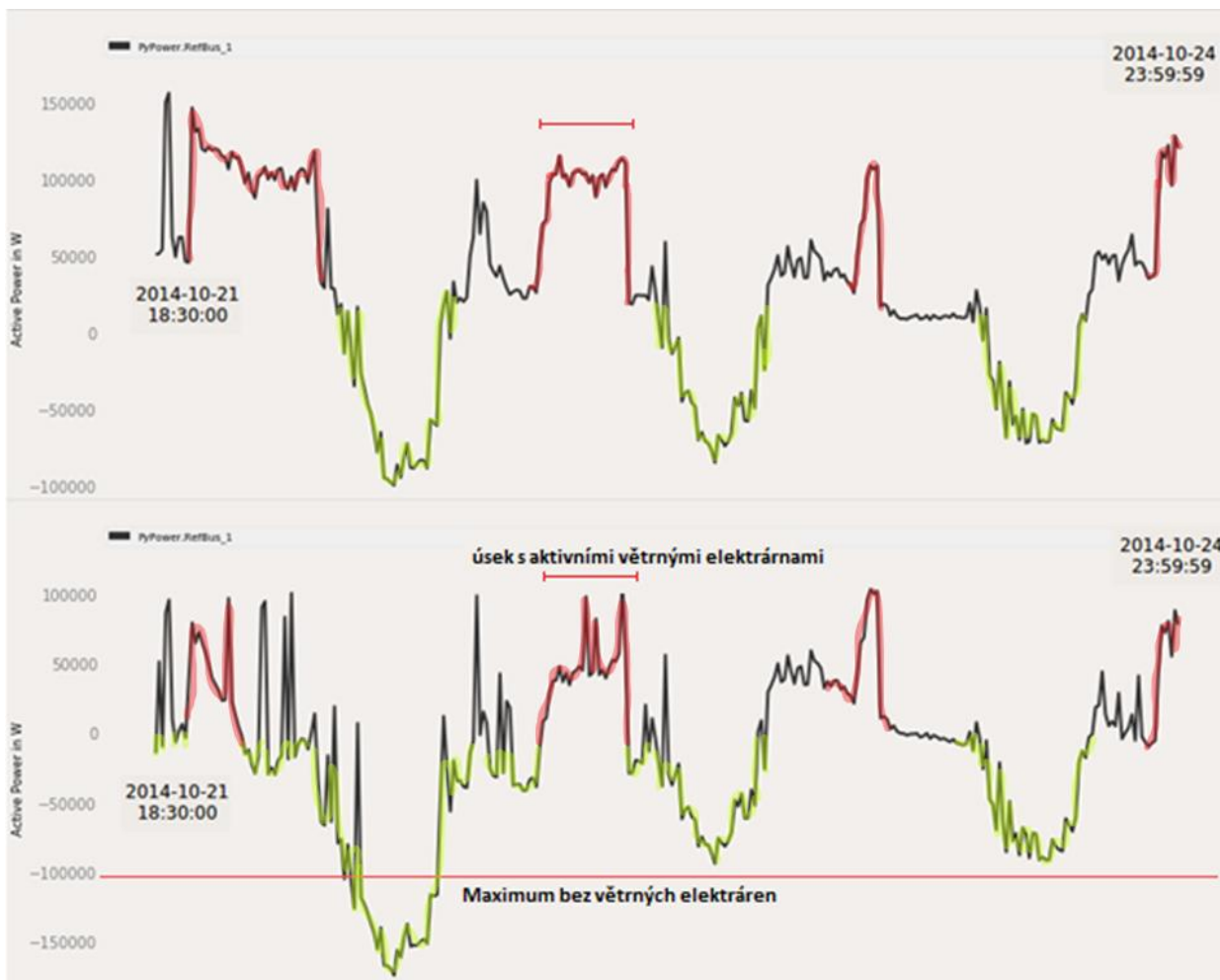


Obrázek 37, Záznam činného výkonu, ze dne 20.10 - 24.10, síť 58 domácností, pouze s elektromobily, zdroj: vlastní



Obrázek 38, Záznam činného výkonu ze dne 20.10 - 24.10, síť 58 domácností, s elektromobily a fotovoltaické elektrárny, zdroj: vlastní

Na následujících dvou grafech (Obrázek 39) byly do sítě přidány větrné elektrárny s cílem snížit spotřební špičky v ranních hodinách. Jejich výkon ale v měřené dny nebyl dostatečně vysoký a pouze mírně zredukoval spotřební špičku, a navíc prohloubil záporné hodnoty činného výkonu přes den.

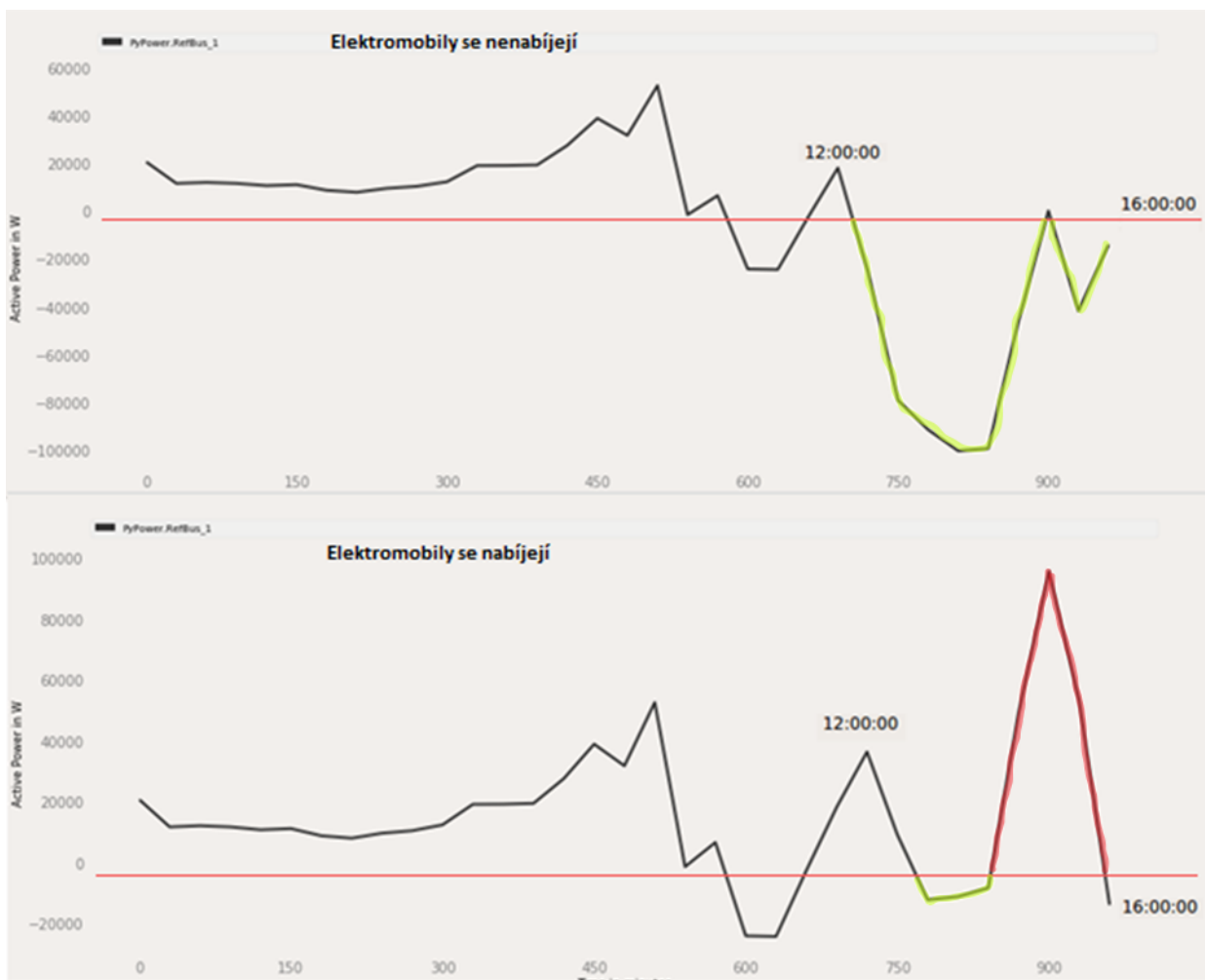


Obrázek 39, Porovnání stavu sítě po přidání větrných elektráren, ze dní 21.10 – 24.10, zdroj: vlastní

9.8 Využití solární energie

Při přesunu dobíjení elektromobilů na dobu nejvyšší aktivity fotovoltaických elektráren (Obrázek 40), se zmenšila hodnota přetoku, ale v momentě, kdy fotovoltaické elektrárny začaly ztrácet výkon, naskočila opět spotřební špička (červená oblast druhý graf na obrázku 40). Zde za to může příliš dlouhá doba nabíjení v kratších zimních dnech. Je tedy nutné počítat, jak s aktuálním počasím, tak také s ročním obdobím, resp. je nutný systém hlídající výkon zdrojů obnovitelné energie, který následně upraví dobíjecí výkon nabíječek.

První graf zobrazuje stav, ve kterém se elektromobily nenabíjejí. Druhý graf poté ukazuje stav, kdy byla využita energie z fotovoltaických elektráren. Na konci grafu se nachází zmíněná spotřební špička způsobená ztrátou výkonu OZE.

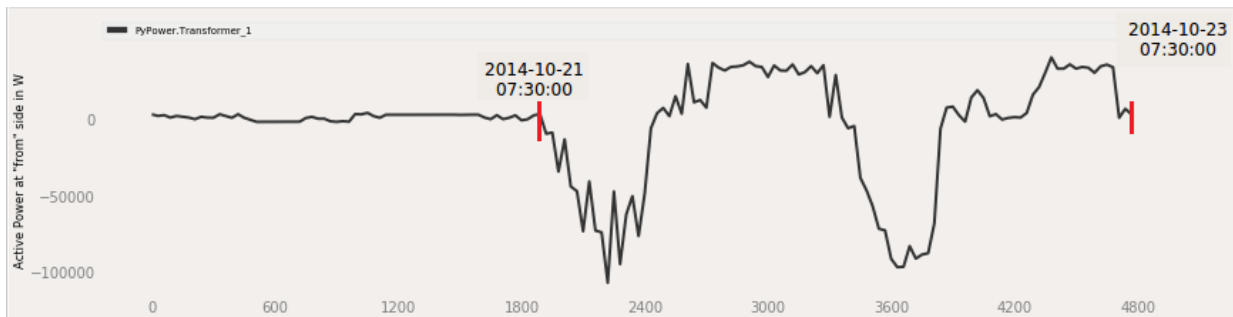


Obrázek 40, Stav sítě v odpoledních hodinách bez aktivního nabíjení a s aktivním nabíjením elektromobilů, zdroj: vlastní

9.9 Zapojení baterií

V tomto scénáři byly přidány baterie, které se nabíjely v momentě přebytku el. energie a v případě překročení dané hranice spotřeby začaly zase do sítě el. energii dávat. Baterie tak využily přebytečný výkon fotovoltaických elektráren přes den a v noci byl tento výkon využit k nabití elektromobilů. Při velké poptávce po el. energii může být i samotný elektromobil využit jako

baterie. Na grafu níže je porovnání několika dní, kdy první den byly baterie aktivní až do dne 2014-10-21 a zbylé dny fungovala síť bez baterií.



Obrázek 41, Regulace špiček činného výkonu bateriemi, zdroj: vlastní

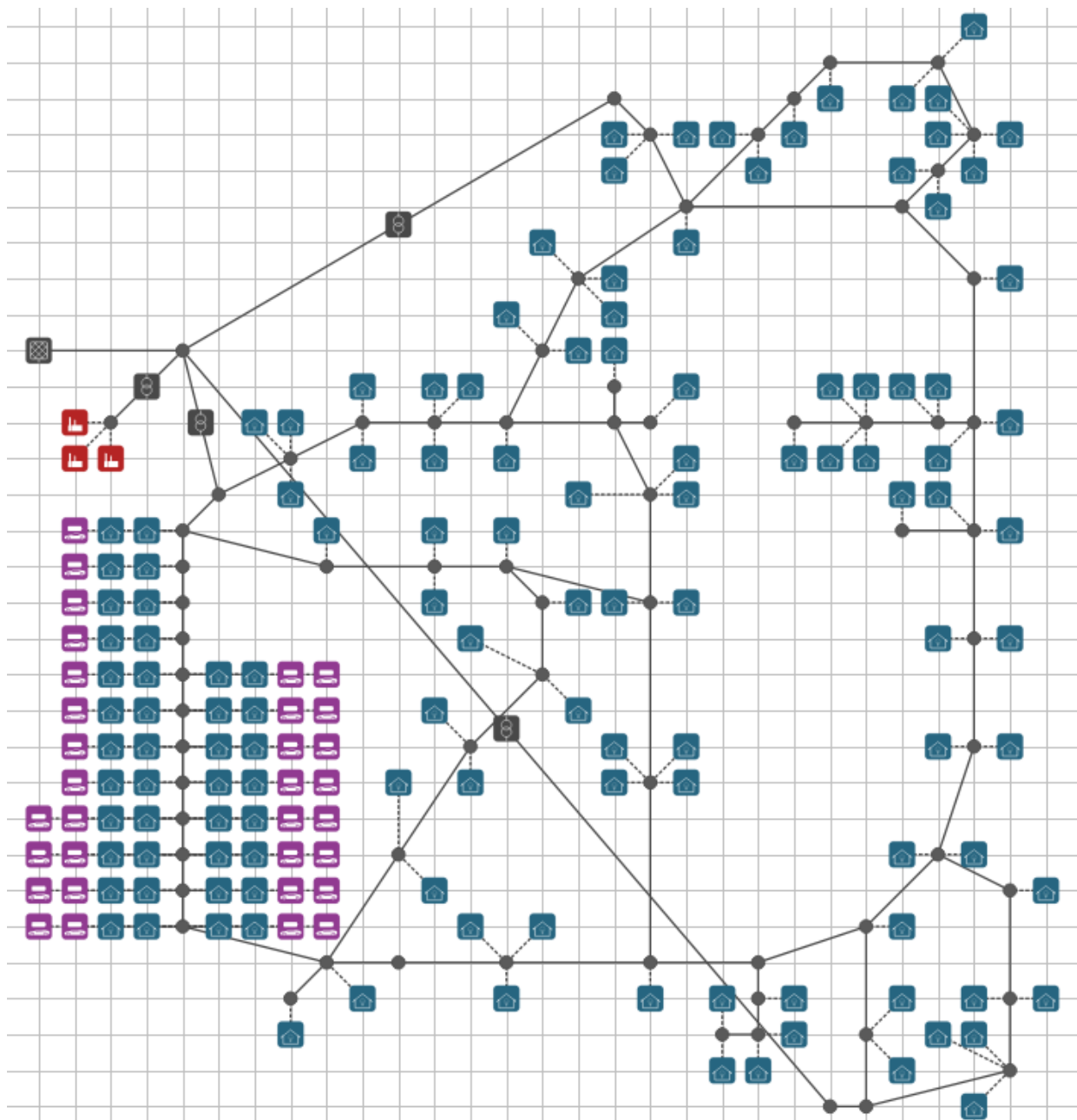
Baterie výrazně přispěli ke stabilizování činného výkonu. Nicméně baterie je nutné neustále sledovat, jelikož mohou vznikat situace, kdy OZE dobijí baterie nedostatečně a ty posléze ztratí svoji regulační funkci, jelikož budou brzy vybité. Nastat může i opačný problém, kdy dojde k úplnému nabití a tím pádem nemožnosti dalšího využití přebytku el. energie v oblasti.

9.10 Simulace příměstské části města

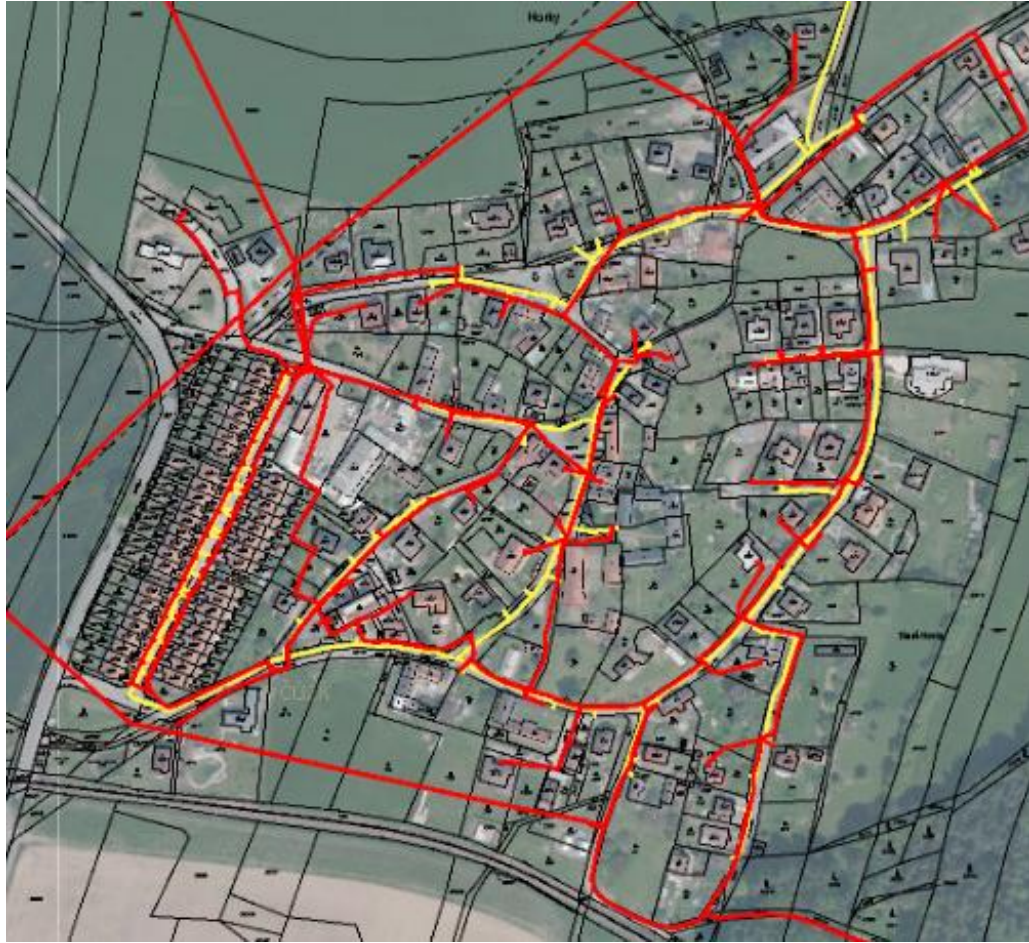
Problematika zapojení velkého počtu elektromobilů a fotovoltaických elektráren se týká zejména příměstských částí, vesnic a menších měst, kde bývá méně výkonná elektrická síť.

V následujícím scénáři je model typické příměstské části v okolí Tábora. Konkrétně se jedná o Horky u Tábora. Okolní příměstské části města Tábora mají podobnou charakteristiku. Nachází se zde zhruba 150 domácností, zejména rodinné domy ale i řadové domky. Scénář byl zaměřen na řadové domy, kde je větší koncentrace vozidel a kladl si za cíl otestovat střední scénář zatížení, kdy elektromobilita tvoří 30 % ze všech registrovaných vozidel.

Model sítě Horek u Tábora (Obrázek 42) je vymodelován podle map E.ON distribuce, a.s (Obrázek 43). V oblasti se nachází tři malé průmyslové objekty, jejich data poskytla společnost E.ON. V síti se nachází celkem 133 domácností. Z důvodů absence dat o spotřebě v podobě minutových profilů, které E.ON neprovádí, jsou data v domácnostech vytvořena z průměrné spotřeby domácnosti v Jihočeském kraji z dat ČSÚ. Data o výkonu fotovoltaických elektráren a elektromobilů pocházejí z německého institutu OFFIS.



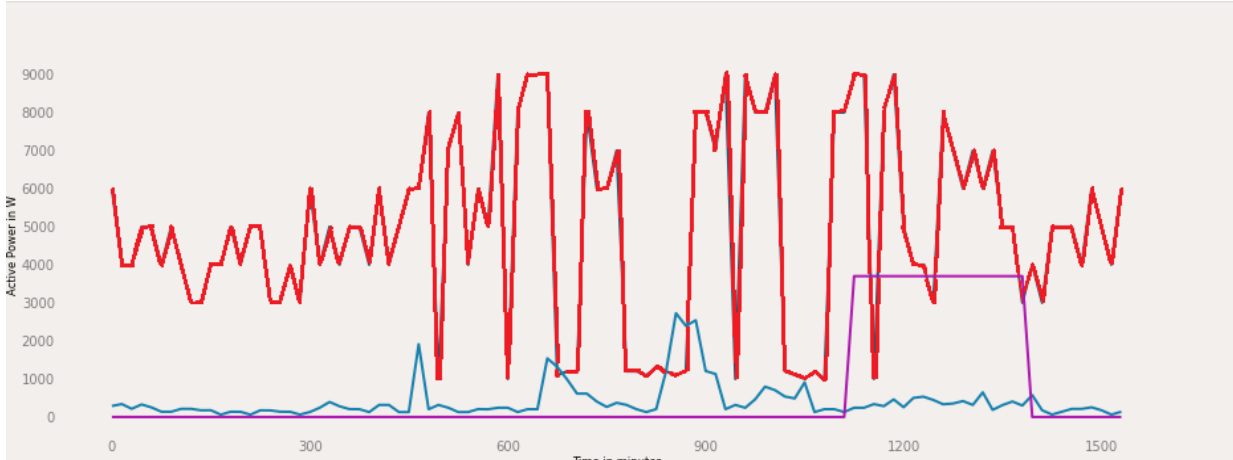
Obrázek 42, Vymodelovaná síť Horek u Tábora, zdroj: vlastní



Obrázek 43, Distribuční soustava (červená) Horek u Tábora, mapy E.ON. zdroj: [44]

9.10.1 Data scénáře

Následující graf (Obrázek 44) prezentuje data jedné z domácností (světle modrá), elektromobil (fialová) a malý průmyslový celek (červená). Maximální spotřeba domácností ve špičce se pohybovala okolo 2.7 kWh. Elektromobil se nabíjel maximálním výkonem 3,7 kWh. Jedná se o model e-Golf 24kWh a je nabíjen standardní domácí nabíječkou 230 V, 16 A pro elektromobily. Spotřeba menšího průmyslového podniku, se pohybuje v rozmezí 6–9 kWh.



Obrázek 44, Charakteristika spotřeby zapojených komponent, zdroj: vlastní

9.10.1 Test zapojení Elektromobilů

Do sítě byli postupně přidávány elektromobily. Už při zapojení 32 elektromobilů (25% zastoupení, považujeme-li pouze jedno vozidlo na domácnost), došlo k přetížení sítě v oblasti řadových domů (Obrázek 45). Celkovému počtu zastoupení vozidel 30 % (kdy má většina domácností více jak jedno auto) se počet zapojených aut zdaleka nepřiblížil. Maximální proud na kabelu NAYY 150 mm, používaný společností E.ON pro páteřní síť distribuční soustavy, byl 270 A. Zátěž na vedení překročila 280 A při zmíněném počtu elektromobilů. Přetížení nastalo při scénáři, kde byla veškerá koncentrace elektromobilů v řadových domech. Při rozprostřeném zapojení elektromobilů do ne tak hustě obydlené oblasti k přetížení se stejným počtem elektromobilů nedošlo. Pro tak velkou koncentraci budov jako jsou řadové domy a s tím spojený větší počet elektromobilů, je nutné vytvořit časový harmonogram, kdy budou jednotlivá vozidla dobíjena, aby nedocházelo k přetížení sítě.



Obrázek 45, Překročení maximálního proudu 270 A na vedení, při nabíjení 32 elektromobilů, zdroj: vlastní

Následně byly změněny parametry vozu z e-Golf 24kWh na novější model vozidla střední třídy Volkswagen ID.3 58kWh a nabíjecí výkon na 7.4 kWh. V takovém případě došlo ke stejnému přetížení sítě sledované části řadových domů, při zapojení 20 ti vozidel.

Vzhledem k možnosti nabíjet elektromobily po celou noc, postačí v simulované oblasti pouze méně výkonné nabíjecí stanice. Aby zůstala síť stabilní, mělo by být vystaveno pouze omezené množství veřejných rychlonabíjecích stanic umístěné tak, aby nedocházelo k přetížení. V případě Horek u Tábora je vhodné místo přilehlá benzínová pumpa, kde je jednodušší vystavět novou část infrastruktury připravenou na výkonné nabíjecí stanice.

Zátěž vedení lze snížit v momentě, kdy budou domácnosti elektricky téměř nezávislé, to znamená, že budou mít nainstalovány fotovoltaické panely a baterii s odpovídajícím výkonem pro nabití svého automobilu. Výkon takovéto elektrárny ale nesmí překročit 10 kW a odběrné místo musí být vybaveno zařízením zamezující dodávku el. energie do distribuční soustavy, případě nevyužitě energie tzv. přetoky.

Na posledním grafu (Obrázek 46) je sledována konkrétní část sestavené sítě. Kdy v elektrickém vedení v maximální zátěži tek l proud 82 A (první graf červená oblast), což odpovídalo 30 kW činného výkonu. K domácnostem byl následně připojen odpovídající výkon fotovoltaických elektráren na pokrytí této spotřeby. Na druhém grafu lze vidět, že zatížení sítě pokleslo na 12 A, jelikož domácnosti spotřebovali vlastní vyrobenou el. energii. Fialové oblasti značí zatížení sítě vlivem přetoků. K těmto přetokům by nemělo docházet, nejlépe by přebytečná energie měla být akumulována v bateriích v rámci domácnosti.



Obrázek 46, Redukce přetížení vedení pomocí fotovoltaické elektrárny, zdroj: vlastní

9.11 Vyhodnocení simulací

Při simulovaných scénářích byla naměřena značná nerovnováha činného výkonu způsobená zapojením většího počtu elektromobilů a zdrojů obnovitelné energie. Energie z fotovoltaických elektráren nebyla plně využita a vznikaly přetoky zpět do distribuční soustavy. Naopak v nočních hodinách, kdy se elektromobily nabíjejí nejčastěji, bylo el. energie nedostatek. Respektive byla vysoká poptávka, kterou nelze pokrýt nevyužitou energií z fotovoltaických elektráren, pokud nebude do sítě zapojena některá z akumulačních technologií.

Aby se elektromobilita dala nazvat skutečně „čistou“ dopravou, je nutné elektromobily nabíjet z co největší části ze zdrojů obnovitelné energie. To si žádá vybudování mnoha decentralizovaných menších výrobních celků. Tyto celky nicméně svým výkonem, a tudíž případnou potřebou přenášet velký objem el. energie, způsobují velkou zátěž na elektrické soustavě. Jelikož musí být zachována rovnováha spotřeby a výroby. Před větší mírou penetrace elektromobility a decentralizovaných zdrojů je nutné patřičně modernizovat elektrickou soustavu. V ideálním případě existují domácnosti, které jsou vybavené bateriovým systémem a fotovoltaickou elektrárnou. Tato elektrárna přes den nabije baterie a ty posléze v noci poslouží k nabití elektromobilu. Vše v rámci elektrické sítě domácnosti. Nevzniká tak nadbytečné zatížení distribuční soustavy v dané oblasti.

Co se týče samotného nabíjení, je nutné analyzovat danou oblast, aby nedocházelo k přetížení a k poklesu napětí v distribuční soustavě vlivem vysokého výkonu nabíjecích stanic. Distribuční soustava v odlehlejších oblastech není dostatečně dimenzována na zátěž rychlonabíjení. Je minimálně nutné vybudovat nové výkonnější vedení, vyměnit trafostanice a jističe v budovách. Proto se aktuálně nejlépe jeví řešení v podobě pomalého nabíjení přes noc v rámci domácnosti a vybudování veřejných rychlonabíjecích stanic v prostorách např. benzinových pump. Nabíjení elektromobilů na méně výkonných sítích by mělo probíhat postupně podle časového harmonogramu a s malým výkonem. Zákazník bude motivován lepší cenou tyto časy dodržovat. Vliv na distribuční síť při testování mělo i rozložení budov v dané oblasti, resp. hustota osídlení. Tam kde se nachází více budov, se z pravidla nachází i více vozidel. Proto je nutné počítat např. u řadových nebo panelových domů s výkonnějším vedením, než u řídce osídlené části města či vesnice.

10. Závěr

Snaha o zajištění poptávky po el. energii s co nejmenším dopadem na životní prostředí pozvolna mění pohled na řízení elektrické sítě. Čím dál tím vyšší míra zastoupení zdrojů obnovitelné energie vyžaduje automatizovaný systém, který přizpůsobí stav sítě náhlým změnám jejich výkonu. Přejít na model decentralizované výroby přímo podporuje hlavní myšlenku zajistit co nejstabilnější dodávku el. energie.

Ochrana životního prostředí ovlivňuje i ostatní průmysl. Trend elektromobility bude mít v budoucnu přímý dopad na stav elektrické sítě. Rychlost vývoje elektromobilů a s tím přibývajícím výkonem nabíjecích stanic, převyšuje schopnost distributorů patřičně připravit elektrickou síť na případné zatížení. Vlivem nabíjení stále se zvyšujícího počtu elektromobilů může v některých oblastech docházet k přetížení elektrického vedení. Před vybudováním dobíjecích stanic nebo vydání povolení na určitý výkon dobíjecí stanice v domácnostech je nutné analyzovat stav soustavy v dané oblasti.

I přesto, že se ekonomicky některým zemím přechod na inteligentní síť nevyplatí, bude přechod na tyto sítě nutný. Nároky na bezpečnost jsou stále vyšší a náklady na splnění bezpečnostních standardů se již u starších technologií ekonomicky nevyplatí. Do starších systému nelze také efektivně zapojit zákazníky, kteří již také produkují elektrickou energii a vytvořit pro ně nové tarify. Inteligentní síť díky mnoha vnitřním systémům a obousměrné komunikaci umožňuje automatizované a hospodárné řízení elektrické sítě, která není zbytečně přetěžována a je schopna stabilně dodávat el. energii.

11. Seznam zkratek

el. – elektrický

kV – kilovolt

V – Volt

W – Watt

Wh – watthodina

DER – Distribuované zdroje

VVN – Velmi vysoké napětí

VN – Vysoké napětí

NN – Nízké napětí

PLC – Power line communication

NN-PLC – narrowband PLC (úzkopásmové)

BB-PLC – broadband PLC (širokopásmové)

SGAM – Smart Grids Architecture Model

OZE – Obnovitelné zdroje energie

HAN – Home Area Network

IAN – Industrial Area Network

BAN – Building Area Network

WAN – Wide Area Network

FAN – Field Area Network

12. Seznam obrázků

Obrázek 1, Celkový podíl zdrojů na vyrobené el. energii za rok 2018, zdroj: [2]	3
Obrázek 2, Přenosová soustava ČR, zdroj: [1].....	4
Obrázek 3, Tradiční hierarchická sítě a distribuovaná inteligentní síť, zdroj: [19]	6
Obrázek 4, Aktéři flexibility v elektrické síti, zdroj: vlastní.....	7
Obrázek 5, požadavky na interoperabilitu, převzato a upraveno z: [21]	17
Obrázek 6, Domény evropského modelu CENELEC, převzato a upraveno z: [17].....	18
Obrázek 7, Plane Grid, zdroj: [21].....	20
Obrázek 8, SGAM Framework, zdroj: [21]	21
Obrázek 9, Podsítě v rámci konceptuálního modelu NIST, upraveno a převzato z:[1].....	22
Obrázek 10, Základní síť komunikační infrastruktury, SM – smart meter, chytrý elektroměr, zdroj: vlastní	23
Obrázek 11, Základní technologie a datové trasy, zdroj: [23]	24
Obrázek 12, Rozdělení a služby v PLC, převzato a upraveno z: [25]	26
Obrázek 13, Princip komunikace PLC, zdroj: [26]	27
Obrázek 14, Mesh topologie, SM – smart meter, chytrý elektroměr. Převzato a upraveno z: [23]	30
Obrázek 15, AMR infrastruktura, zdroj: [38].....	34
Obrázek 16, AMI infrastruktura, převzato a upraveno z: [39]	35
Obrázek 17, Systémy inteligentních sítí, převzato upraveno a z: [43]	36
Obrázek 18, Koncepty frameworku Mosaik, zdroj: [42]	39
Obrázek 19, Volání Mosaik API [42].....	40
Obrázek 20, Metody spouštění simulátorů [42]	42

Obrázek 21, Datová závislost simulátorů.....	44
Obrázek 22, Schéma co-simulace, zdroj: vlastní.....	45
Obrázek 23, Webová vizualizace sítě bez zdrojů obnovitelné energie, zdroj: vlastní.....	46
Obrázek 24, Činný výkon, sobota, zdroj: vlastní.....	47
Obrázek 25, Činný výkon, neděle, zdroj: vlastní.....	47
Obrázek 26, Činný výkon, pondělí, zdroj: vlastní	47
Obrázek 27, Příklad profilu denní spotřeby jedné domácnosti, zdroj: vlastní	48
Obrázek 28, Sít s 20 zdroji obnovitelné energie (PV), webová vizualizace, zdroj: vlastní	48
Obrázek 29, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, zima, zdroj: vlastní	49
Obrázek 30, Činný výkon, pondělí, fotovoltaické elektrárny, zima, zdroj: vlastní	49
Obrázek 31, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, léto, mračno, zdroj: vlastní.....	50
Obrázek 32, Činný výkon, neděle, fotovoltaické elektrárny, léto, slunečno, zdroj: vlastní	50
Obrázek 33, Činný výkon, pondělí, fotovoltaické elektrárny, léto, slunečno, zdroj: vlastní	50
Obrázek 34, Model testované sítě v prostředí Maverig, zdroj: vlastní	51
Obrázek 35, Činný výkon bez elektrických aut, zdroj: vlastní.....	52
Obrázek 36, Činný výkon s elektrickými auty, zdroj: vlastní	52
Obrázek 37, Záznam činného výkonu, ze dne 20.10 - 24.10, sít 58 domácností, pouze s elektromobily, zdroj: vlastní	54
Obrázek 38, Záznam činného výkonu ze dne 20.10 - 24.10, sít 58 domácností, s elektromobily a fotovoltaické elektrárny, zdroj: vlastní	54
Obrázek 39, Porovnání stavu sítě po přidání větrných elektráren, ze dní 21.10 – 24.10, zdroj: vlastní.....	55
Obrázek 40, Stav sítě v odpoledních hodinách bez aktivního nabíjení a s aktivním nabíjením elektromobilů, zdroj: vlastní.....	56

Obrázek 41, Regulace špiček činného výkonu bateriemi, zdroj: vlastní	57
Obrázek 42, Vymodelovaná síť Horek u Tábora, zdroj: vlastní	59
Obrázek 43, Distribuční soustava (červená) Horek u Tábora, mapy E.ON. zdroj: [44].....	60
Obrázek 44, Charakteristika spotřeby zapojených komponent, zdroj: vlastní	61
Obrázek 45, Překročení maximálního proudu 270 A na vedení, při nabíjení 32 elektromobilů, zdroj: vlastní	62
Obrázek 46, Redukce přetížení vedení pomocí fotovoltaické elektrárny, zdroj: vlastní	63

13. Seznam Tabulek

Tabulka 1, Pokuta za přetoky elektrické energie, zdroj: [13]	13
Tabulka 2, Dema projektu Grid4EU, zdroj: [14].....	14
Tabulka 3, Popis domén konceptuálního modelu. Zdroj: [19].....	19
Tabulka 4, Zóny SGAM, zdroj: [19]	20
Tabulka 5, Souhrn komunikačních technologií, zdroj: [21].....	25

14. Citovaná literatura

- [1] *Energetika.tzb* [online]. tzbinfo, 2016 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- [2] Roční zpráva o provozu ES ČR. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Praha: ERÚ, 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c
- [3] *SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ: Inteligentní sítě: od inovací k zavádění* [online]. Brusel: Evropská komise, 2011 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0202&from=CS>
- [4] *Zpráva o průběžném vyhodnocení plnění Národního akčního plánu pro chytré sítě* [online]. Praha: odbor elektroenergetiky a teplotnictví, 2017 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2018/1/Zprava-NAP-SG.pdf>
- [5] Siemens Infrastructure & Cities Sector. In: *Siemens* [online]. Munich, 2013 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/press/pool/de/materials/infrastructure-cities/icsg/profile-siemens-smart-grid-en.pdf>
- [6] IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads. *IEEE Std 2030-2011*. 2011. DOI: 10.1109/IEEESTD.2011.6018239.
- [7] *Smart Grids/ Chytré sítě* [online]. Praha: Skupina ČEZ, 2016 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1395262-1-uvodni-slovo-2-co-jsou-to-smart-grids-4-komponenty->

smart-grids-6-chytre-site-ve-svete-8-chytra-domacnost-10-smart-region-12-prinosy-smart-grids.html

- [8] *Národní akční plán pro chytré sítě 2019 - 2030*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019.
- [9] ZVĚŘINOVÁ, Mgr. Iva, Mgr. Milan ŠČASNÝ, PH.D., Mgr. Zuzana MARTÍNKOVÁ a JUDr. et Mgr. Vojtěch MÁCA, PH.D. Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí. *Elektro.tzb-info* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
- [10] *EVROPSKÝ STRATEGICKÝ PLÁN PRO ENERGETICKÉ TECHNOLOGIE*. Brusel: KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2007.
- [11] Energetika v EU. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, a. s., b.r. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media-2016/12-prosinec/bulletin-energetika-v-eu-12_2016.pdf
- [12] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. In: *2000*. Praha: Sběrka zákonů České republiky, 2000, ročník 2019, 131/2000, číslo 458. Dostupné také z: www.mvcr.cz/soubor/sb095-09-pdf.aspx
- [13] ČESKÁ REPUBLIKA. *Energetický regulační věstník*. In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2015, ročník 2015, číslo 7. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_8_2015.pdf/afe1400e-2277-4835-8228-15c27aaa8d9a
- [14] *Národní akční plán čisté mobility*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015.
- [15] Analýza aktuální úrovně zapojení ČR do konceptu smart city a smart region v souvislosti s novými trendy, včetně návrhů opatření. In: *Vláda České republiky* [online]. Praha: Úřad

vlády České republiky, b.r. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z:
https://www.vlada.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/Zaverecna-zprava_Smart_City_a_Smart_Region.pdf

- [16] Projekt Grid4EU. In: *Proelektrotechniky* [online]. Proelektrotechniky, 2016 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/zajimave-projekty/78.php>
- [17] Projekt Smart Region ve Vrchlabí: automatizovaná a soběstačná distribuční síť. In: *ČEZ Distribuce* [online]. ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/smart-region.html>
- [18] SLAVÍK, MBA, Ing. Jakub. Projekt Smart region Vrchlabí zblízka. In: *Smart city v praxi* [online]. 2016 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_22.php
- [19] HALUZA, Miroslav a Jan MACHÁČEK. Inteligentní rozvodné síť. *Elektro.tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7864-inteligentni-rozvodne-site>
- [20] VODRÁŽKA, Jiří. *Komunikační síť pro energetiku (Smart Grid)*. Praha, 2016. Dostupné také z: <http://docplayer.cz/1395354-Komunikacni-site-pro-energetiku-smart-grid-jiri-vodrazka.html>
- [21] *CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group: Smart Grid Reference Architecture* [online]. Brusel: CENELEC, 2012 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf
- [22] *GridWise Interoperability Context-Setting Framework*. 2008. Dostupné také z: https://www.gridwiseac.org/pdfs/interopframework_v1_1.pdf

- [23] ANDREADOU, Nikoleta, Miguel Olariaga GUARDIOLA a Gianluca FULLI. *Telecommunication Technologies for Smart Grid Projects with Focus on Smart Metering Applications*. 2016. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/5/375>
- [24] IEC 61850: soubor norem pro komunikaci v energetice s velkým potenciálem výhod. *AUTOMA*. 2010, 8(3), 3.
- [25] PRAVDA, PH.D., Ing. Bc. Ivan. *Nové trendy v elektronických komunikacích PLC, BPL: Využívání silnoprůdých vedení a sítí pro přenos zpráv*. Praha, 2018. Dostupné také z: <https://publi.cz/eknihy?book=256-plc-bpl-vyuzivani-silnoprudych-vedeni-a-siti-pro-prenos-zprav>
- [26] MIKULA, Aleš, Jaroslav CHLUMSKÝ a Jan DVOŘÁK. *Analýza stavu standardů v systémech sběru dat projektu Smart metering systém pro energetiku*. Trutnov, 2014.
- [27] GUNGOR, Vehbi C., Dilan SAHIN, Taskin KOCAK, Salih ERGÜT, Concettina BUCCELLA, Carlo CECATI a Gerhard P. HANCKE. *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*. 2011. 1551-3203. Dostupné také z: <https://repository.up.ac.za/handle/2263/18406>
- [28] PRAVDA, PH.D., Ing. Bc. Ivan. *Mobilní a bezdrátové sítě*. Praha, 2015. Dostupné také z: <https://publi.cz/eknihy?book=236-mobilni-a-bezdratove-site>
- [29] LTE ue-Category. *3GPP* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.3gpp.org/keywords-acronyms/1612-ue-category>
- [30] JONES, Dan. Sprint Eyes WiMax Backhaul. *Lightreading* [online]. 2006 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.lightreading.com/mobile/backhaul/sprint-eyes-wimax-backhaul/d/d-id/632431>
- [31] *WiMAX Technology* [online]. WiMAX Forum, b.r. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080722062158/http://www.wimaxforum.org/technology/>

- [32] EEGI, SET PLAN. *Svetenergie* [online]. b.r. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/vyvoj-a-vyzkum/smart-grids/evropsky-kontext>
- [33] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: kterou se mění směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti*. Brusel: EVROPSKÁ KOMISE, 2016.
- [34] TECO A.S., . Tecomat Foxtrot – „inteligentní dům“ jako chytrý uzel v síti Smart Grid. *Elektro.tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/12205-tecomat-foxtrot-inteligentni-dum-jako-chytry-uzel-v-siti-smart-grid>
- [35] *HDO* [online]. České Budějovice: EGC - EnerGoConsult ČB s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.egc-cb.cz/produkty-pro-energetiku/hdo.html>
- [36] ZANDL, Patrick. HDO je duch minulosti, smart grid je platforma pro dobu změn. *Energetika.tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14443-hdo-je-duch-minulosti-smart-grid-je-platforma-pro-dobu-zmen>
- [37] VASTL, Bc. Jiří. Využití smart meteringu v systému zúčtování elektrické energie I. *Energetika.tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/17415-vyuziti-smart-meteringu-v-systemu-zuctovani-elektricke-energie-i>
- [38] AMR. In: *Energy and water management solutions* [online]. Cape Town, b.r. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <http://www.semsolutions.co.za/automatic-metering.html>
- [39] NGHIA LE, Trong, Wen-Long CHIN, Dang Khoa TRUONG a Tran Hiep NGUYEN. *Advanced Metering Infrastructure Based on Smart Meters in Smart Grid* [online]. b.r. [cit. 2019-11-08]. DOI: 10.5772/63631. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/smart-metering-technology-and-services-inspirations-for-energy-utilities/advanced-metering-infrastructure-based-on-smart-meters-in-smart-grid>

- [40] *Advanced Metering Infrastructure and Customer systems* [online]. Washington, D. C: US Department of Energy, 2016 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf
- [41] GIS for Smart Grid. In: *Www.esri.com* [online]. Redlands (California): ESRI, 2012 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/262165601_Securing_Advanced_Metering_Infrastructure_Using_Intrusion_Detection_System_with_Data_Stream_Mining
- [42] Mosaik's documentation. *Mosaik* [online]. Oldenburg: OFFIS, b.r. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://mosaik.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- [43] Scalable Distributed Communication Architectures to Support Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid. In: *Semanticscholar* [online]. b.r. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Scalable-Distributed-Communication-Architectures-to-Zhou-Hu/a85378ea057a3170cefa3bf6f304a2d43b4705c1>
- [44] Distribuční síť E.ON Distribuce, a.s. *Geoportal.eon* [online]. b.r. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://geoportal.eon.cz/itc/default.aspx?serverconf=vsite&wmcid=1143>