

**EDÍCIA VEDECKÝCH MONOGRAFIÍ
TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH**

Michal Ivančák, Juraj Kurimský

**INTELIGENTNÉ SIETE A ICH VPLYV
NA DISTRIBUČNÚ SÚSTAVU**

Košice 2019

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Michal Ivančák, Juraj Kurimský

**INTELIGENTNÉ SIETE A ICH VPLYV
NA DISTRIBUČNÚ SÚSTAVU**

Vedecká monografia

Košice 2019

Michal Ivančák, Juraj Kurimský

Inteligentné siete a ich vplyv na distribučnú sústavu

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438 a APVV-17-0372.

Táto práca bola podporená vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky (MŠVVaŠ SR) v rámci projektu VEGA 1/0372/18.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Inovatívne postupy testovania pre priemysel 21. storočia ITMS: 313011T565, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Recenzenti

Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun PhD.

Ing. Jozef Dudiak PhD.

Za odbornú náplň zodpovedajú autori

Názov Inteligentné siete a ich vplyv na distribučnú sústavu

Autori Ing. Michal Ivančák, doc. Ing. Juraj Kurimský, PhD.

Vydavateľ Technická univerzita v Košiciach

Rok vydania 2019

Vydanie Prvé

Počet strán 94

Náklad 100 ks

Copyright Technická univerzita v Košiciach

ISBN 978-80-553-3483-7

Obsah

Zoznam obrázkov	8
Zoznam tabuliek	10
Zoznam symbolov a skratiek	11
Úvod	12
1. Úvod do inteligentných sietí	13
1.1. Inteligentná sieť a príbuzné technológie.....	13
1.2. Požiadavky na inteligentné siete.....	14
1.3. Analýza funkcionalít a ich implementácia v súčasných podmienkach	17
2. Prehľad projektov inteligentných sietí vo svete.....	20
2.1. Inteligentné siete na Slovensku	22
2.1.1. Stratégia Európskej únie pre projekty inteligentných sietí do roku 2035.....	23
2.1.2. Nová smernica energetickej efektívnosti Slovenskej republiky	24
2.1.3. Vyúčtovanie spotreby energií	25
2.1.4. Budúcnosť inteligentných sietí na Slovensku	26
2.1.5. Projekt Acon	29
2.1.6. Projekt Inertia.....	30
2.1.7. Projekt E2SG	31
2.1.8. Projekt Flex4grid	31
2.1.9. Projekt PowerUp	32
2.1.10. Projekt PV Grid	32
2.1.11. Projekt VIBRAte	33
2.1.12. Projekt Energoz	33
2.1.13. Inteligentné mestá na Slovensku	33
2.2. Inteligentné siete v Českej republike	33
2.3. Projekty inteligentných sietí v Japonsku	39
2.4. Projekty Inteligentných sietí v Číne.....	42
2.5. Projekty Inteligentných sietí v USA	44

2.6.	Projekty inteligentných sietí v Kórejskej republike	45
2.7.	Projekty inteligentných sietí v Brazílii	47
2.8.	Projekty inteligentných sietí vo Francúzku	48
2.9.	Projekty Inteligentných sietí v Nemecku.....	50
2.10.	Projekty inteligentných sietí v Belgicku.....	52
2.11.	Projekty Inteligentných sietí v Rakúsku.....	55
2.12.	Projekt inteligentných sietí v Poľsku	57
3.	Analýza budovania inteligentných sietí.....	59
3.1.	Návrh inteligentnej siete.....	60
3.1.1.	Úlohy a funkcia zúčastnených strán	61
3.1.2.	Komunikácia a meranie	62
3.1.3.	Tok výkonu pre inteligentné siete.....	65
3.2.	Modelovanie obnoviteľných zdrojov energie	67
3.2.1.	Solárna energia.....	67
3.2.2.	Veterná energia.....	69
3.2.3.	Energia z biomasy.....	71
3.2.4.	Vodná energia	71
3.2.5.	Akumulácia energie.....	72
3.2.6.	Elektromobilita a PHEV	72
3.3.	Výber vhodného softvéru.....	73
3.3.1.	Neplan	73
3.3.2.	Matlab - Simulink	74
3.4.	Prevádzka mikrosiete z pohľadu IEC 62264-1	74
4.	Analýza modelovania inteligentnej siete	75
4.1.	Model siete z pohľadu vplyvu inteligentných sietí na distribučnú sústavu	75
4.1.1.	Popis použitých prvkov.....	76
4.1.2.	Analýza siete.....	78
4.1.3.	Scenár č. 1	78

4.2.	Model siete z pohľadu spolupráce obnoviteľných zdrojov	82
4.2.1.	Analýza siete.....	83
4.2.2.	Zhrnutie modelu.....	85
4.3.	Využitie inteligentných meracích systémov v inteligentných sieťach.....	86
5.	Záver.....	88
	Zoznam použitej literatúry	90

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Model architektúry inteligentnej siete [3]	16
Obr. 2 Topológia a tok energie tradičnej siete (vľavo) a inteligentnej siete (vpravo) [6].	17
Obr. 3 Inteligentný elektromer (IMS) – elektromer s pokročilou funkcionalitou [8].....	20
Obr. 4 Rozloženie projektov inteligentných sietí vo svete [27].	21
Obr. 5 Schéma inteligentnej siete [9].....	22
Obr. 6 Rozloženie projektov Inteligentných sietí v Európe [43].....	24
Obr. 7 Aplikácie systému SCADA [10]	27
Obr. 8 Pôsobnosť projektu ACON na SR a v ČR [46].....	30
Obr. 9 Vzor inteligentnej domácnosti a jej spotrebičov [17].	35
Obr. 10 Systém inteligentnej siete v Ontáriu [16].....	37
Obr. 11 Inteligentné mesto Fujisawa [18].....	41
Obr. 12 Rozvoj UHVDC transformátora v Číne [19].	43
Obr. 13 Inteligentná sieť na ostrove Jeju [22].....	46
Obr. 14 Rozčlenenie oblastí projektu NiceGrid [22].....	48
Obr. 15 Inteligentná sieť Wachtendonk [25]	52
Obr. 16 Hlavný prehľad štruktúry projektu LINEAR	54
Obr. 17 Projekt Inteligentných sietí v Aspern-e [28].....	56
Obr. 18 Porovnanie počtu obytných, komerčných a priemyselných zariadení v projekte AMI [31]	57
Obr. 19 Princíp projektu UPGRID [32]	58
Obr. 20 Kľúčové aspekty pri navrhovaní inteligentnej siete	60
Obr. 21 Zúčastnené strany a ich funkcie	61
Obr. 22 Návrh metodológie výpočtu zaťaženia.....	66
Obr. 23 Náhradný model FV článku [40]	68
Obr. 24 V-A Charakteristika FV článku [39].....	69
Obr. 25 Model spolupráce vozidla a siete (V2G) [33]	73
Obr. 26 Časť modelu v programe Neplan	76
Obr. 27 Činné a jalové strany pri scenári 1	79
Obr. 28 Energia vyrobená počas scenára 1	80
Obr. 29 Činné a jalové strany pri scenári 2	81
Obr. 30 Energia vyrobená počas scenára 2	81
Obr. 31 Model mikrosiete v Matlab - simulink	83
Obr. 32 Porovnanie zdanlivého výkonu fotovoltaickej a veternej elektrárne a dieselového generátora.....	84

Obr. 33 Porovnanie profilov nabíjania a vybíjania elektrických vozidiel.....	84
Obr. 34 Procesy výroby (horný graf) a spotreby (dolný graf)	85
Obr. 35 Funkcionality IMS systému vo VSD a.s.	87

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Prehľad použitých prvkov	76
Tab. 2 Parametre fotovoltického panela.....	77
Tab. 3 Parametre siete pri scenári č. 1.....	79
Tab. 4 Parametre siete pri scenári č. 2.....	80

Zoznam symbolov a skratiek

DER	Distribúované zdroje energie
DS	Distribučná sústava
DSM	Demand side management – manažment na strane dopytu
EV	Elektrické vozidlo/Electric vehicle
FV	Fotovoltaický/á
GIS	Geografický informačný systém
HVDC	Jednosmerný prenos elektrickej energie
ICT	Informačné a komunikačné technológie
IMS	Inteligentné meracie systémy
NN	Nízke napätie
OZE	Obnoviteľný/é zdroj/e energie
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicles
V2G	Vehicle to grid – použitie elektromobilu ako operatívneho úložiska energie
VN	Vysoké napätie
VVN	Veľmi vysoké napätie

Úvod

Pojem „smart“ je v súčasnej dobe veľmi populárny. Zvyčajne označuje rôzne produkty s vyšším stupňom informatizácie. Smart produkty ako napríklad mobilné telefóny „Smart Phone“, televízory „Smart TV“ alebo inteligentná elektronika s najrôznejšími funkciami a aplikáciami sú dnes veľmi obľúbené. Elektrická energia je v súčasnosti strategická „surovina“ a jej dôležitosť v nasledujúcich rokoch jednoznačne porastie. Z tohto dôvodu sa kladie čoraz väčší dôraz na stabilitu, bezpečnosť a zaistenie dodávky elektrickej energie koncovým odberateľom. Preto sa informatizácia postupom času viac a viac zavádza aj do elektrizačnej sústavy. Na popularite tak postupne naberaá aj nové pomenovanie „Smart Grid“ inak známe aj ako „inteligentná sieť“.

Aj keď je pojem inteligentná sieť v súčasnosti celkom populárny, nie je každému zrejmé čo sa pod týmto pojmom rozumie. Inteligentná sieť je často označovaná aj ako sieť budúcnosti a tiež sieť ktorá dokáže zabezpečiť vysoký podiel distribuovanej výroby. Pojem inteligentná sieť postupom času získal takmer až prívlastok akéhosi čarovného prútika schopného riešiť všetky problémy súvisiace s obnoviteľnými zdrojmi energie pripájanými do distribučných sietí a zároveň redukovať konečnú cenu elektriny pre odberateľov. Spomedzi viacerých dostupných definícií je najzaujímavejší práve výrok Fereidoona P. Sioshansihho, ktorý pojem Smart Grid vo svojej publikácii vykladá nasledovne: „Smart Grid je to najlepšie, čo môže byť, ale nevieme, čo to vlastne je.“ [1,2].

Téme inteligentných sietí sa venuje množstvo projektov, článkov a publikácií, rovnako ako aj zahraničných či domácich konferencií. Napriek veľkej popularite ale existuje široká nejednotnosť v definícii tohto pojmu. Napriek mnohým odlišnostiam je inteligentná sieť často označovaná ako sieť budúcnosti a zároveň považovaná za sieť, ktorá je schopná využiť väčšie množstvo obnoviteľných zdrojov energie a distribuovanej výroby ako súčasná sieť.

Pretvorenie súčasnej fungujúcej siete na inteligentnú bude finančne veľmi náročné. Ide o proces, ktorý bude dlhodobý a ktorý viaže na seba kapitál v priebehu desiatky rokov. Je preto nutná spolupráca všetkých zúčastnených strán. Stále nie je úplne overené, ako budú jednotlivé technológie v rámci týchto nových inteligentných sietí spolupracovať. Tento proces prestavby už však beží a mnohé krajiny rozbiehajú rôzne pilotné projekty, ktoré majú demonštrovať realizovateľnosť a výhodnosť tejto technológie [2].

1. Úvod do inteligentných sietí

Za hlavný rozdiel medzi sieťou súčasného typu a inteligentnou sieťou sa považuje reverzibilita, teda obojsmerný prenos elektrickej energie. Súčasná energetická sieť umožňuje prenos elektrickej energie len jedným smerom, teda z miesta centralizovanej výroby do miesta spotreby. Používaním inteligentná sieť sa umožní výrobu v mieste spotreby do takej miery, že smer toku elektrickej energie bude sa bude meniť.. Bude dochádzať k stavu, keď elektrická energia vyrobená v jednom regióne bude spotrebovaná v inom regióne. Takto fungujúca sústava si však vyžaduje zavedenie a rozšírenie viacerých technológií, či už tieto technológie považujeme za súčasť inteligentných sietí, alebo len za príbuzné technológie [2].

1.1. Inteligentná sieť a príbuzné technológie

V súvislosti so zavádzaním a rozvojom inteligentných sietí dochádza tak isto aj k vzniku nových technológií . Ako príklad môžeme uviesť nasledujúce príbuzné technológie:

- Smart metering (inteligentné meranie) a pokročilá meracia infraštruktúra – zabezpečuje nie len pravidelný automatický odpočet údajov z inteligentných meracích systémov, ale aj obojsmernú komunikáciu potrebnú pre zabezpečenie dynamických taríf, prípadne pre odpájanie záťaže. Aplikáciu Inteligentných meracích systémov (IMS) máme na Slovensku od roku 2014 na základe vyhlášky číslo 358/2013 (zo dňa 28. 10. 2013) z dielne Ministerstva Hospodárstva SR.
- Systémy smart home (inteligentný domov) – umožňujú automatickú reakciu niektorých spotrebičov na zmenu tarify v závislosti na potrebách spotrebiteľa. Zároveň tieto systémy sprístupňujú spotrebiteľovi on-line údaje o jeho spotrebe energií. V prípade úpravy zmluvných vzťahov medzi spotrebiteľom a prevádzkovateľom distribučnej siete, ako aj vhodného technického prepojenia medzi systémom inteligentnej domácnosti a riadiacim systémom distribučnej siete, je možné zabezpečiť priame riadenie vybraných spotrebičov v rámci domácnosti [2]. V súčasnosti ide o nájdenie integrácie všetkého so všetkým napr. osvetlenia za pomoci inteligentnej žiarovky, ktorú je potom možné ovládať cez mobilnú aplikáciu v telefóne za pomoci WiFi siete v domácnosti.
- Distribuovaná výroba (smart distribution) – nepredstavuje nevyhnutnú súčasť inteligentnej siete, patrí však medzi faktory vedúce k potrebe vytvorenia takejto siete. Veľké objemy distribuovaných, prevažne obnoviteľných zdrojov pripájaných do distribučných sietí, má za následok vznik mnohých problémov. Od inteligentnej siete a riadenia distribučnej sústavy na úrovni VN a NN sa očakáva riešenie týchto problémov. Riešenia inteligentnej distribúcie sú

navrhnuté tak, aby minimalizovali energetické straty, obmedzovali prerušenie napájania a optimálne využívali distribuované komponenty inteligentnej siete, vrátane alternatívnych zdrojov energie, ukladania energie a nabíjacej infraštruktúry hybridných elektrických vozidiel - PHEV (Plug-in hybrid electric vehicles). [33]

- Elektromobilita - podobne ako distribuovaná výroba, nepredstavuje nevyhnutnú súčasť inteligentnej siete, napriek tomu tieto pojmy navzájom úzko súvisia. Rovnako ako v prípade distribuovanej výroby platí, že súčasná sieť nebude schopná plniť svoju funkciu po rozsiahlom rozšírení elektromobilov. Od inteligentnej siete sa očakáva, že umožní nielen efektívne postupné dobíjanie elektromobilov, ale umožní aj využitie časti kapacity batérií pripojených elektromobilov pre potreby siete.
- Systém iNES - (intelligente OrtsNEtzStation - inteligentná transformátorová stanica NN) je systém vyvinutý v spolupráci Univerzity vo Wuppertale spolu so spoločnosťami SAG GmbH a Bilfinger Manuel GmbH. Systém iNES je určený na sledovanie a vyhodnocovanie on-line stavu NN siete a na riadenie tejto siete tak, aby nedochádzalo k nebezpečným stavom v sieti (prepätie, podpätie, preťaženia vedení) [2].
- SCADA – (Supervisory Control and Data Acquisition) je systém, ktorý dozerá na geograficky rozložené procesy a riadi ich. Tento systém sa tiež nazýva aj „Telecontrol System“ a teda predstavuje systém, ktorý slúži na monitorovanie a riadenie územne rozľahlých procesov. V takomto systéme sú zahrnuté všetky zariadenia a funkcie na zber, spracovanie, prenos a zobrazovanie nevyhnutných informácií o procesoch [4].

1.2. Požiadavky na inteligentné siete

Vo všeobecnosti môžeme požiadavky na inteligentné siete rozdeliť na normatívne požiadavky a na legislatívne požiadavky. Legislatívne požiadavky vychádzajú zo Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2009/72/ES z 13. júla 2009 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou. Kde „cieľom vnútorného trhu s elektrinou, ktorý sa postupne zavádza v celom Spoločenstve od roku 1999, je ponúknuť všetkým spotrebiteľom v Európskej únii, či ide o občanov alebo podniky, skutočný výber, nové obchodné príležitosti a zvýšiť objem cezhraničného obchodu v snahe získať výhody vyplývajúce z vyššej efektívnosti, konkurenčných cien a vyšších štandardov služieb a prispieť k bezpečnosti dodávok a trvalej udržateľnosti“ [32].

V bode (27) sa ďalej uvádza: „Členské štáty by mali podporovať modernizáciu distribučných sústav napríklad prostredníctvom zavádzania inteligentných sústav, ktoré by sa mali budovať tak, aby podporovali decentralizovanú výrobu a zabezpečovali energetickú účinnosť.“ [32]

Inteligentné siete majú byť teda prostriedkom a nevyhnutnou súčasťou pri vytváraní novej infraštruktúry v rámci budovania a rekonštrukcie elektrických sietí v Európe. Budovanie inteligentných sietí má byť optimalizované najmä z hľadiska zvyšovania energetickej účinnosti. Z hľadiska zavádzania IMS bolo potrebné do roku 2020 nainštalovať inteligentné meracie systémy aspoň u 80% spotrebiteľov.

Do úvahy treba zobrať aj ďalšie nariadenia, ktoré sú nepriamo spojené s prevádzkou siete a to sú Smernica európskeho parlamentu a rady 2009/28/ES o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov energie a o zmene a doplnení a následnom zrušení smerníc, Smernica európskeho parlamentu a rady 2010/31/EÚ o energetickej hospodárnosti budova, Smernica európskeho parlamentu a rady 2014/94/EÚ o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá.

Z pohľadu normatívnych požiadaviek treba pre potreby Slovenska vychádzať najmä z predpisov európskych normalizačných organizácií CEN, CENELEC a ETSI. Na základe mandátu od EÚ vydali tieto organizácie základné požiadavky v rámci inteligentných sietí s názvom First Set of Standards, ktorý obsahuje okrem iného časť s názvom Smart Grid Reference Architecture (referenčná architektúra pre inteligentné siete). Podľa tohto dokumentu je architektúra inteligentných sietí tvorená množstvom systémov, ktoré medzi sebou spolupracujú, a spoločne tak tvoria elektrizačnú sústavu. Koordinačná skupina pre inteligentné siete definuje v tomto dokumente 3 hlavné ciele:

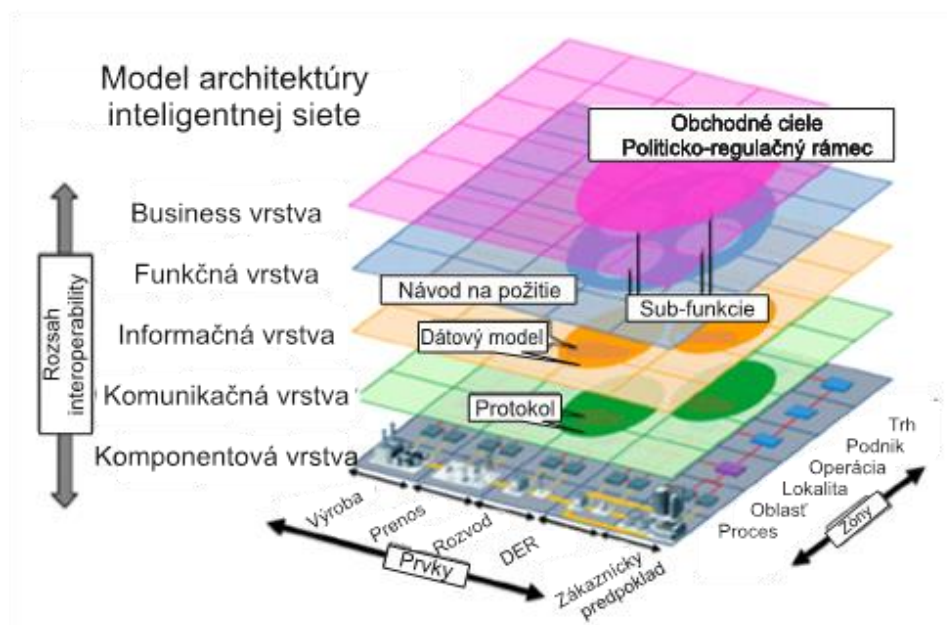
- Zabezpečenie toho, aby hlavné prvky architektonického modelu mohli abstraktne reprezentovať doménu inteligentnej siete so všetkými hlavnými zúčastnenými stranami. Takýto model by mal byť v súlade s už existujúcimi porovnateľnými modelmi na celom svete.
- Definícia architektonického rámca, ktorý by podporoval celý rad rôznych prístupov zodpovedajúcich rôznym požiadavkám zainteresovaných strán a urobiť ho v časovom rámci, ktorý by ho nútil obmedziť počet takýchto prístupov.
- Poskytnutie metodiky, ktorá by používateľom architektonického modelu umožnila uplatniť ho vo veľkom množstve prípadov použitia, aby tak poskytla najmä návod na analýzu potenciálnych implementačných scenárov, identifikujúcich oblasti možnej nedostatočnej interoperability (napr. chýbajúce normy) atď. [3]

Inteligentnú sieť je rozumné vnímať ako vývoj súčasnej siete, kde treba zohľadniť nové požiadavky, vyvíjať nové aplikácie a integrovať nové najmodernejšie technológie, najmä informačné a komunikačné (IKT). Integrácia IKT do inteligentných sietí poskytne rozšírené možnosti správy aplikácií cez internet a vytvorí tak integrovanú, bezpečnú, spoľahlivú a výkonnú sieť.

Výsledkom bude nová architektúra s viacerými zúčastnenými stranami, viacerými aplikáciami, viacerými sieťami, ktoré musia vzájomne spolupracovať. To sa dá dosiahnuť iba vtedy, ak sa bude rozvíjať Inteligentná sieť a najmä jej normy. Vplyvom toho sa vývoj môže spoľahnúť na dohodnutý súbor modelov, ktorý to umožní: na tieto modely sa v tomto odseku odkazuje ako na referenčnú architektúru.

Rámec SGAM (architektonický model inteligentnej siete) a jeho metodika sú určené na predstavenie návrhu využívania inteligentných sietí z architektonického hľadiska, ktoré umožňujú špecifické, ale aj neutrálne riešenie a technológie. V súlade so súčasným rozsahom pôsobnosti umožňuje validáciu prípadov využívania inteligentných sietí a ich podporu podľa noriem. Rámec SGAM pozostáva z piatich vrstiev predstavujúcich obchodné ciele a procesy, funkcie, výmenu informácií a modely, komunikačné protokoly a komponenty. Týchto päť vrstiev predstavuje abstraktnú a zhustenú verziu kategórií interoperability. Každá vrstva pokrýva jednu rovinu inteligentnej siete, ktorá je preklenutá elektro doménou a zónou správy informácií.

Účelom tohto modelu je ukázať interakciu vzájomných vzťahov medzi vrstvami v modeli. To umožňuje prezentáciu súčasného stavu doplnkov v elektrickej sieti, ale okrem toho môže znázorniť vývoj budúcich scenárov inteligentnej siete prostredníctvom podpory univerzálnosti zásad, lokalizácie, konzistentnosti, flexibility a interoperability. Na obr. 1 je možné vidieť model architektúry inteligentnej siete.



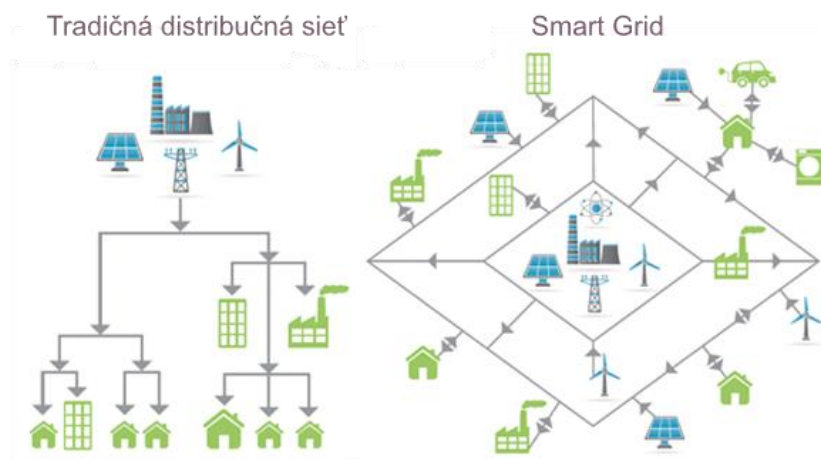
Obr. 1 Model architektúry inteligentnej siete [3]

1.3. Analýza funkcionalít a ich implementácia v súčasných podmienkach

Inteligentné siete majú oproti klasickým sieťam viaceré odlišnosti, no môžeme ich definovať aj na základe ich vlastností a výhod:

- sieťová topológia,
- začlenenie distribuovanej výroby,
- rôzne smery toku energie,
- obojsmerná komunikácia,
- aktívne prvky a senzory v celom systéme,
- samo-monitorovanie,
- vyššia spoľahlivosť,
- vyššia bezpečnosť,
- väčší komfort pre zákazníkov,
- rýchla detekcia a lokalizácia porúch,
- väčšia efektívnosť využitia elektrickej energie,
- poloautomatické obnovovanie a autoregenerácia,
- adaptabilná ochrana a izolácia prípadného problému,
- začlenenie zákazníka a poskytnutie nových služieb,
- využitie centralizovaných zdrojov spolu s decentralizovanými zdrojmi,
- decentralizované zdroje malých výkonov sú rozmiestnené po celú Európu,
- nadväzuje sa snaha a záväzok Európskej únie zvýšiť podiel výroby z obnoviteľných zdrojov na 20 % v roku 2020,
- vysoká miera automatizácie v distribučných a prenosových sústavách,
- zníženie strát v systéme a s tým súvisiace zvýšenie ekológie, ekonomie a efektivity prevádzky,
- podpora rozptýlenej výroby spoločne s rozvojom a výskumom nových metód riadenia.[36]

Na obr. 2 je možné vidieť názorné porovnanie tradičnej siete a siete inteligentnej. Ako bolo spomenuté vyššie, inteligentná sieť má veľa odlišností od tradičnej siete, ale má tiež aj veľa spoločného.



Obr. 2 Topológia a tok energie tradičnej siete (vľavo) a inteligentnej siete (vpravo) [6].

Inteligentná sieť prináša veľa výziev a zmien v energetického systéme z hľadiska nových inovácií a najnovších technológií, pretože zahŕňa výmenu starých existujúcich technológií z konvenčnej siete a tiež inštaláciu nových akumulčných zariadení. Tieto obrovské zmeny v tomto odvetví budú výhodou pre spotrebiteľov ako aj pre technologické riešenia. „Nové“ technológie v inteligentnej sieti obsahujú nielen hardvér, softvér, ale aj komunikačné schopnosti. Dá sa povedať že proces vývoja inteligentných sietí je to stále v počiatočnej fáze a v niektorých oblastiach musí pokročiť na podstatne významnejšiu úroveň, inde je naopak už dobre vyvinutý.

Technológie, ktoré je potrebné implementovať do inteligentných sietí:

- plug-in hybridy, kompatibilné so sieťou,
- ukladanie energie,
- záťaž šetrná k sieti,
- automatizácia rozvodní,
- pokročilé distribuované ovládanie,
- pokročilé merania a senzory,
- inteligentné domy,
- komunikácia,
- automatizácia distribúcie,
- reakcia na dopyt,
- webové služby a výpočty siete
- a pokročilé vodiče.

Ukladanie energie sa teraz stalo jedným z dôležitých hľadísk inteligentnej siete. Cieľom inteligentnej siete musí byť tiež riešenie problémov v aktuálnych sieťach:

- odstránenie špičkového zaťaženia,
- tlmenie oscilácie systému (podpora prechodnej stability),
- zabezpečenie lepšej integrácie obnoviteľných systémov,
- zníženie potreby ďalších prenosových aktivít,
- rast obnoviteľnej výroby,
- podporné napätie
- a zvýšiť účinnosť existujúcich elektrární a prenosových zariadení.

Znížené náklady na energiu môžu byť jedným z krokov pre vytvorenie lepšej siete. Jedných z opatrení by mohlo byť zlepšenie spoľahlivosti dodávky elektrickej energie a tiež zníženie investícií potrebných pre nové zariadenia.

V rámci merania a snímania siete by mohlo byť urobených niekoľko zmien. inteligentné meracie systémy zohrávajú dôležitú úlohu pri implementácii technológií inteligentných sietí, pretože monitorujú pravidelný dopyt spotrebiteľov, napätie, frekvenciu a účinník. Spravidla ide o inštaláciu inteligentného meracieho systému u rezidenčných zákazníkov, kde zariadenie zaznamenáva tieto premenné a posiela ich do centrálného systému zberu údajov pomocou rýchleho satelitného komunikačného spojenia.

Ciele inteligentnej siete sú definované:

- schopnosť riadenia záťaže a riadenia spotreby,
- kapacita systému na prispôsobenie údajov požiadavkám na zaťaženie,
- detekcia neoprávneného zásahu a identifikácia krádeže,
- presné predpovedanie zaťaženia,
- okamžitá detekcia výpadkov
- a vylepšená optimalizácia distribučného systému.

Na základe vyššie spomenutých vlastností je možné povedať, že proces vytvárania inteligentnej siete v Európe je v procese tvorby. Netreba však zabúdať na to, že technológie napredujú veľmi rýchlo, preto je len otázkou času, kedy bude ideálna inteligentná sieť spustená do prevádzky.

2. Prehľad projektov inteligentných sietí vo svete

Distribučné systémy v Európe sú stavané na základoch časovaných na obdobie po druhej svetovej vojne, kedy začínalo ich budovanie. Pôvodne boli tieto siete stavané ako regionálne sústavy, ktoré sa postupom času navzájom prepájali a spájali. Prvé centrálné elektrárne boli poháňané uhlím, ropu alebo zemným plynom. Malé množstvo týchto centrálnych elektrární tvorili jadro pre väčšinu vyspelejších energetických sústav. Vplyv klimatických zmien zasiahol aj oblasť energetiky, pretože vývojom technológií dochádza ku vytváraniu nových konceptov, ktoré nahradia tie zastaralé.

V súčasnej dobe musia prevádzkovatelia prenosových sústav čeliť novým výzvam na strane výroby aj spotreby. Príchodom nových technológií musia čeliť najmä:

- vplyvu spaľovania fosílnych palív na životné prostredie,
- prechod na ekologickejšie avšak nestálejšie zdroje (veterná, slnečná energia),
- bezpečnosť a diverzifikáciu dodávok energie,
- ochranu sietí pred kybernetickými útokmi
- a ochranu súkromia. [5]



Obr. 3 Inteligentný elektromer (IMS) – elektromer s pokročilou funkcionalitou [8].

Riešenie týchto otázok prichádza so zavedením smart meteringu, teda inteligentného merania, ktorý je nevyhnutnou súčasťou inteligentných sietí. Inteligentné meranie prináša so sebou niekoľko výhod ako zapojenie zákazníka a tiež regulácie priamo v mieste spotreby. Inteligentné meracie systémy (IMS) sa stávajú integrálnou súčasťou modernizovania energetických sústav, ich zavedenie

má vplyv na znižovanie účtov spotrebiteľov, zníženie emisie skleníkových plynov a zníženie zaťaženia siete v špičke.

V nemalej miere sa tiež zavádza používanie geografických informačných systémov (GIS), ktoré dokážu plnohodnotne zabezpečiť výmenu informácií medzi spotrebiteľov a distribútorom elektrickej energie a tiež centrálnu správu týchto systémov. Najväčším prínosom GIS je lokalizácia objektov a tiež javov v celej distribučnej sústave, ktorá úzko súvisí s budovaním a prevádzkou distribučnej siete. Zabezpečenie dobrého technického stavu, údržba a rozvoj, optimálne a efektívne riadenie, s ohľadom na životné prostredie je povinnosťou každého prevádzkovateľa energetickej distribučnej spoločnosti.

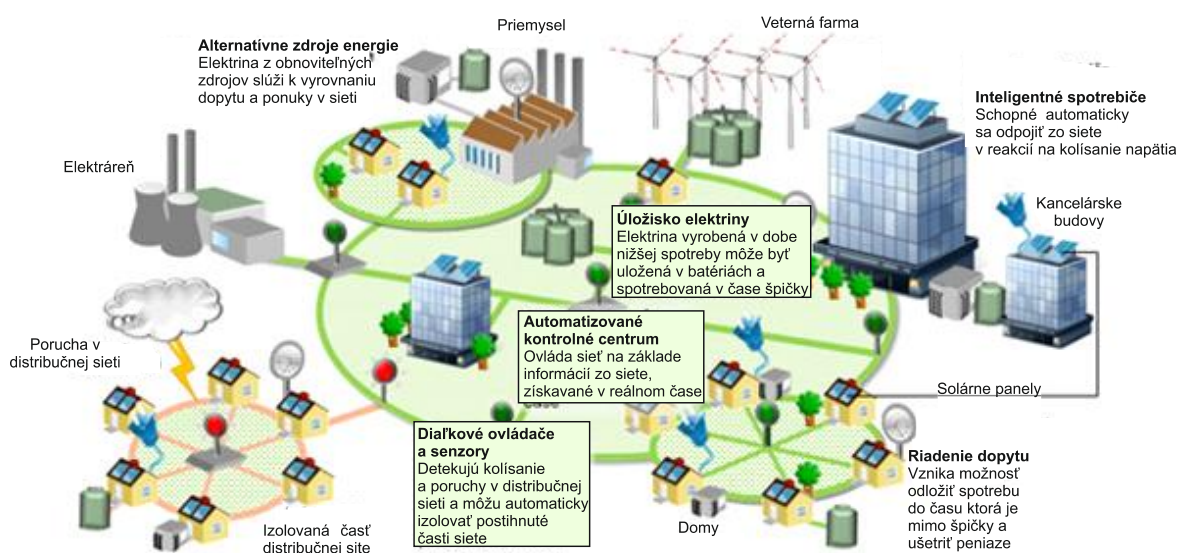


Obr. 4 Rozloženie projektov inteligentných sietí vo svete [27].

Na mape na obrázku č. 4 sú znázornené uskutočnené projekty podľa miesta realizácie. Pilotné a skúšobné projekty sú označené trojuholníkom, ostatné krúžkom. Červenou farbou sú premietnuté projekty týkajúce sa elektroenergetiky, modrou farbou projekty týkajúce sa vody a projekty so zemným plynom sú zelené.

2.1. Inteligentné siete na Slovensku

Inteligentná sieť je samostatná sieť ktorú tvorí samostatná výroba a tiež spotreba elektrickej energie. Proces zavádzania inteligentnej siete na Slovensku je ešte v počiatočných štádiách. Doposiaľ prebehlo niekoľko pilotných projektov a tiež odborných štúdií zo strany odborníkov na energetiku. Zavádzanie inteligentnej siete sa dá prirovnávať ku evolučnému procesu, teda ku procesu ktorý je v procese neustáleho vyvíjania sa a zdokonaľovania. Prevádzka inteligentnej siete poskytuje informácie všetkým subjektom ako sú prevádzkovatelia prenosovej sústavy, distribučných sústav, obchodníkom ale aj spotrebiteľom. Správny chod inteligentnej siete zohráva dôležitú úlohu pre správny chod elektrizačnej sústavy a rovnováhy v sieti. Zabezpečenie správneho chodu si vyžaduje, aby boli k dispozícii všetky možné údaje ale hlavne údaje o zmenách v sieti. Pri správnom fungovaní inteligentnej siete, sieť všetky tieto podnety spracuje a následne vyhodnotí.



Obr. 5 Schéma inteligentnej siete [9].

Inteligentnú sieť teda z tohto pohľadu môžeme chápať ako sústavu snímačov. Takáto sieť „vyššej inteligencie“ dokáže reagovať na rôzne podnety zo siete, optimálne využívať elektrickú energiu vyrábanú a spotrebovávanú v sieti, teda predstavuje nový pohľad na fungovanie štandardnej energetiky nie len na Slovensku. Dá sa povedať že svet stojí na začiatku „druhej fázy elektrifikácie“, kedy sa prestaneme stretávať s pojmom „black-out“ či bez-napätový stav. Stojí za zváženie, koľko je potrebné investovať do vývoju týchto systémov, aby sme tak dokázali eliminovať tieto teraz tak bežné pojmy.

Inteligentná sieť môže byť chápaná ako dátový prenos v reálnom čase (online), ktorý vie poskytovať informáciu o aktuálnom stave v sieti. Nedá sa však hovoriť len o len o meraní, ale treba spomenúť aj monitoring výroby v sieti, distribúciu a prenos. Na dosiahnutie ekonomicky

efektívneho a tiež udržateľného systému výroby a spotreby energie, s nízkymi stratami a spoľahlivou dodávkou energií je potrebné správne skoordinať správanie a konanie všetkých zúčastnených členov, ktorí sú do nej zapojení (výrobcovia, spotrebitelia a tiež tí, ktorí sú zároveň výrobcami aj spotrebiteľmi). Predpokladá sa že s príchodom nových technológií budú musieť distribučné spoločnosti zápasiť s narastajúcim počtom nových decentralizovaných zdrojov z OZE, preto je potrebné zabezpečiť dostatočnú flexibilitu v sieti. Dá sa predpokladať že inteligentné siete spolu s novými technológiami, budú zohrávať dôležitú úlohu v energetickej budúcnosti. Predpoklady o podiele výroby z obnoviteľných zdrojov v Európskej únii na konci tejto dekády sa odhadujú na 17 %.

2.1.1. Stratégia Európskej únie pre projekty inteligentných sietí do roku 2035

Dokument, ktorý vypracovala Európska technologická platforma (ETP) pre inteligentné siete sa zaoberá hlavnými cieľmi, týkajúcich sa práve oblasti zameranej na inteligentné siete v období do roku 2035. Prioritou sú možné inovácie, regulačný rámec a bezpochyby aj finančná stránka. V roku 2007 ETP Smart Grids odprezentovalo stratégiu zameranú na rozvoj inteligentných sietí Strategic Research Agenda 2035 (SRA 2035). v marci 2012 ETP aktualizovalo pôvodnú stratégiu.

Stratégia SRA 2035 by mala byť podstatným dokumentom pre základy nasledujúceho rámcového programu (HORIZONT 2020) ako podstatného nástroja Európskej komisie pre podporu vedy a výskumu.

Dokument stanovuje nasledujúce priority v oblasti inteligentných sietí:

- sieťová bezpečnosť - bezpečná výmena informácií,
- sledovanie spotreby v reálnom čase pomocou moderných technológií (inteligentné meracie systémy IMS),
- vytváranie malých a stredne veľkých systémov pre skladovanie elektrickej energie,
- inteligentné technológie v domácnostiach
- a pokročilá úroveň predpovede spotreby elektriny a produkcie z OZE s odchýlkou.



Obr. 6 Rozloženie projektov Inteligentných sietí v Európe [43].

Je veľmi dôležité zamerať sa na trendy v energetiky aj z dlhodobého hľadiska. Takéto sledovanie podporuje správne rozhodovanie o tom, kde je potrebné investovať v rámci energetických zariadení. Mnoho takýchto zariadení má životnosť 30 až 50 rokov, a teda zariadenia, ktoré sú nasadené v danom období by mali byť použiteľné aj v odlišnom prostredí budúcnosti. A preto je veľmi dôležitý odhad a správne nastavenie technických, prevádzkových a ekonomických parametrov.

2.1.2. Nová smernica energetickej efektívnosti Slovenskej republiky

Európska komisia, Rada a Parlament uzavreli dohodu o znení novej smernice týkajúcej sa efektívnosti v energetike. Bola schválená 11. septembra 2012. Táto smernica je pre krajiny Európskej únie záväzná. A taktiež sú krajiny viazané povinnosťou, aby raz ročne zverejňovali úspory energie každého subjektu. Tie musia poskytnúť informácie o koncových odberateľoch a ich spotrebe.

Smernica definovala pre členské krajiny EÚ, aby si zadefinovali svoje národné ciele, ktoré sú schopné dosiahnuť a budú pre nich záväzné. Po zozbieraní týchto cieľov (v období do júna 2014) určila európska komisia spoločný cieľ pre cieľ EÚ. Táto smernica pre určuje pre všetky štáty EÚ, vtedy 27, povinnosť každoročne zverejniť úspory ktoré za daný rok dosiahli. Subjekty a podsubjekty musia na základe žiadostí poskytnúť štatistický prehľad o koncových odberateľoch a ich spotrebe.

Inovácia v meraní spotreby energií

Ďalšou z povinností ktoré museli členské štáty splniť bolo poskytnutie meracích systémov na meranie odberu elektrickej energie, zemného plynu, centralizovaného zásobovania teplom a tiež centralizovaného zásobovania teplej a studenej vody. Podmienkou pri tom bolo, aby ich cena mohla byť z pohľadu zákazníka primeraná.

Meracie systémy majú byť inštalované do nových budov a tiež v prípade rozsiahlejších rekonštrukcií do už existujúcich objektov. Smernica tiež hovorí o výmene starých meracích systémov za nové v prípade, že tento krok je z hľadiska nákladov ekonomicky efektívny a taktiež technicky možný. Ekonomická efektívnosť má vychádzať z pohľadu dlhodobej prevádzky a z dosiahnutia úspor dlhodobým používaním. Smernice o tzv. treťom energetickom balíku (smernice č. 2009/72/ES a č. 2009/73/ES), hovoria o tom, že v prípade inštalácie inteligentných meracích systémov pre elektrickú energiu a pre zemný plyn je potrebné zabezpečiť, aby bolo vytvorené rozhranie, ktoré zabezpečí spotrebiteľovi možnosť získania informácií o priebežnej spotrebe a tiež prístup k historickým dátam za obdobie posledných 24 mesiacov spätne.

Smernica tiež myslí na prípad inštalácie malého obnoviteľného zdroja. V tomto prípade má IMS vedieť započítať takto dodanú energiu do distribučnej sústavy. Dostupnosť týchto dáta má byť zabezpečená aj pre zainteresované tretie strany, napr. dodávateľov energií.

Ďalšou z podstatných vecí, ktoré smernica opisuje, je zabezpečenie bezpečnosti a ochrana dát získavaných z IMS. Údaje z týchto zariadení, ako aj údaje o spotrebiteľoch musia byť chránené právnymi predpismi EÚ, tzv. GDPR, ktoré hovorí o práve na ochranu osobných údajov a ochrane súkromia.

2.1.3. Vyúčtovanie spotreby energií

Ak koncoví odberatelia nemajú nainštalované inteligentné meracie systémy, členské štáty musia zabezpečiť, aby údaje o vyúčtovaní boli presné a založené na skutočnej spotrebe. Povinnosť je možné dosiahnuť aj motivovaním odberateľov k priebežnému vykonávaniu tzv. „samoodpočtov“, teda odčítavania a nahlásenia stavu meracieho systému samotným spotrebiteľom. Ak spotrebiteľ

nenahlási hodnoty z meracieho systému za dané obdobie, vyúčtovanie sa môže vykonať aj na základe realistického odhadu spotreby.

Koncový odberateľ dostane všetky svoje vyúčtovania a informácie o vyúčtovaní spotreby energie bezplatne. Výnimku tvorí len vyúčtovanie za individuálnu spotrebu vykurovania a chladenia v bytových domoch a viacúčelových budovách. V takomto prípade sa náklady môžu preniesť na koncových spotrebiteľov, pokiaľ sú tieto náklady primerané.

2.1.4. Budúcnosť inteligentných sietí na Slovensku

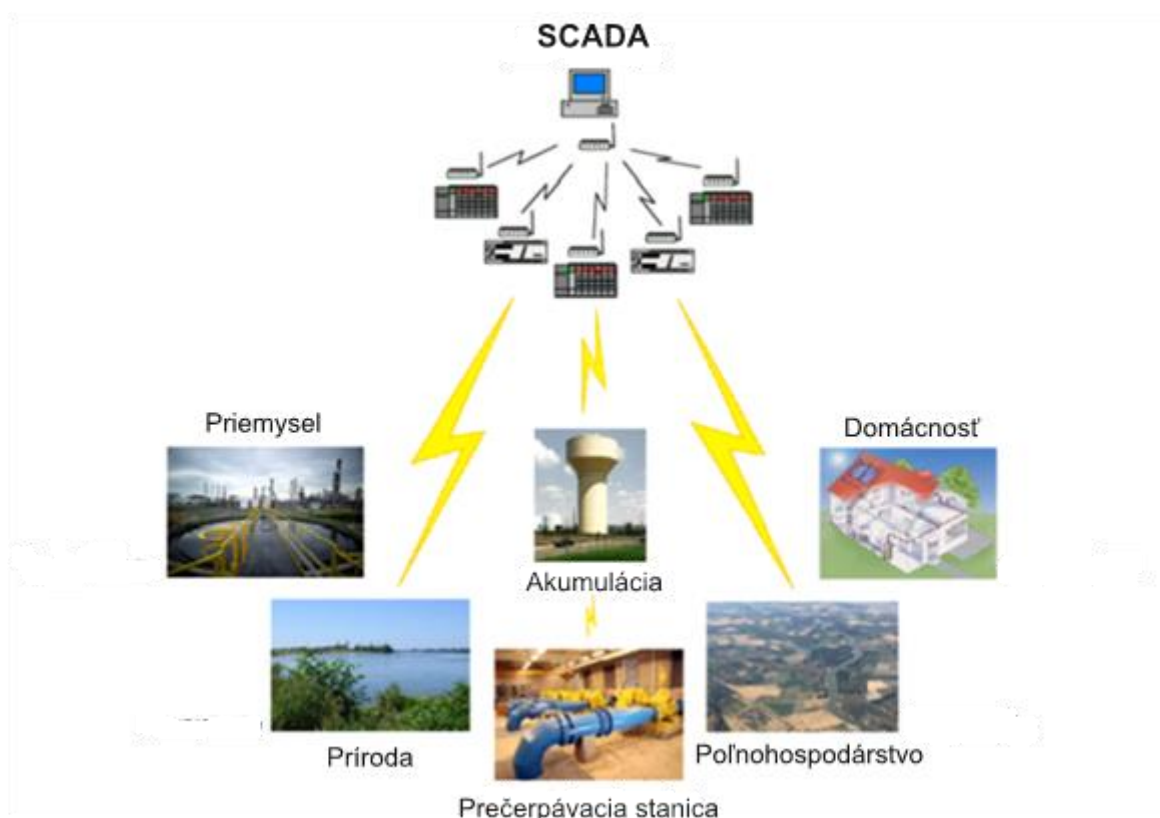
Elektrická energia má jasné postavenie nielen na Slovensku, ale aj vo svete. Inteligentné siete majú už niečo za sebou, ale stále môžeme povedať, že sme ešte len v počiatkoch. Základy pre budovanie inteligentnej siete sú na Slovensku tvorené už desaťročia, ide o technológie a zariadenia pre automatizáciu, monitorovanie a ochranu prevádzky všetkých napäťových sústav, zber a spracovanie dát týkajúcich sa spotreby a tiež údaje o dodávkach a výpadkoch v rámci distribučnej, ale aj prenosovej sústavy. V súčasnosti majú operátori k dispozícii vyše 3500 kilometrov optických káblov, čiže vedú mapovať situáciu v reálnom čase, a tak lepšie riadiť sústavu a predchádzať globálnym výpadkom, tzv. black-outom. V rámci Európy funguje systém virtuálnej elektrárne, sústava ENTSO-E, vďaka ktorej si vieme v čase nedostatku energiu „požičať“ a v čase prebytku posunúť ďalej do susedných krajín. Na úplné zapojenie inteligentných sietí je potrebné zapojenie aj na úrovni NN a zároveň zapojenie zákazníkov. Na to však bude musieť prebehnúť rozsiahla obnova siete.

Inteligentné siete dokážu poskytovať konkrétne benefity všetkým účastníkom na trhu s energiou. Na základe toho vieme definovať ich dominantné časti:

- prevádzkovatelia energetických sústav,
- odberatelia a obchodníci s elektrickou energiou
- a decentralizované výrobné zdroje.

Počiatky inteligentných sietí na Slovensku siahajú do obdobia konca 90-tych rokov procesom inštalovania inteligentných technológií v hlavných napájacích a rozvodných celkoch, v 110 kV a 22 kV rozvodniach. Všetky rozvodne, od východu po západ krajiny, sa začali postupne rekonštruovať a postupne dopĺňať o systémy SCADA, ako aj o digitálne ochrany a iné zabezpečovacie celky. Tento proces bol v Západoslovenskej distribučnej spoločnosti, teraz ZSE, v roku 2006 v stave, kedy bolo približne 90 % rozvodní v plne diaľkovom ovládaní. Tento proces by nebol možný, keby nebolo investované do komunikácie a do vybudovania prenosových ciest v kombinácii so zemnými lanami a tiež siete GPRS.

Vďaka spolupráci medzi telekomunikačnými a energetickými spoločnosťami boli vytvorené možnosti pre inteligentné siete vo VVN, VN ale hlavne v NN sieťach s napätiami 22 kV a 0,4 kV. V období na začiatku tisícročia sa vývoj inteligentných sietí zameriaval práve na 22 kV vedenia. Bolo to hlavne z dôvodu, že pri poruche v týchto sieťach dochádzalo ku výrazným výpadkom. Zároveň sa brala do úvahy dostupnosť týchto vedení, ktoré sú častokrát v náročnejších terénoch a opravy a manipulačné zásahy môžu byť častokrát zdĺhavé, nehovoriac v prípade náročnejších klimatických podmienok. Od roku 2003 sa začali inštalovať na vzdušné linky diaľkovo ovládané úsekové odpínače a na káblových 22 kV sieťach zasa diaľkovo ovládané trafostanice.



Obr. 7 Aplikácie systému SCADA [10]

V rámci zavádzania novínok v tomto projekte a vďaka technologickým pokrokom v tejto oblasti boli v sieťach inštalované diaľkovo ovládané tzv. úsečníky a reclosery. Tieto zariadenia dokážu diaľkovo vykonať automatické manipulácie bez zásahu dispečera. Zároveň vedú poskytnúť dáta pre rozhodovací proces ohľadom lokalizácie miesta poruchy, a tak pomôcť ku rýchlejšej oprave poruchy v sieti a obnoveniu dodávky elektrickej energie. V rámci nových procesov v inteligentných sieťach je tiež systém diaľkovej lokalizácie porúch v káblových rozvodoch. Z pohľadu ekonomickej a hospodárnej efektívnosti nie je možná inštalácia diaľkového ovládania v každej stanici, preto sa postupne začali nasadzovať indikátory prechodu skratového, resp. zemného prúdu. Vďaka tomu vie

dispečer lokalizovať miesto poruchy na presnosť medzi dvoma trafostanicami, a tak efektívne riešiť opravu poruchy.

Implementácia funkcionalít inteligentných sietí nie je len v majetku a pôsobnosti distribučných spoločností. Celá elektrizačná sústava je súbor prepojených zariadení navzájom medzi sebou od výroby, cez distribúciu až po spotrebu. Preto sa pri vytváraní pravidiel musia definovať jasné podmienky pre všetkých užívateľov siete, zadať proces diaľkového ovládania a tiež zberu dát pre potreby riadenia ako jedného celku. Ide hlavne o predchádzanie problémom, ktoré môžu vznikáť prevádzkou OZE, ktorých masívny nárast podmienil definíciu technických a prevádzkových poriadkov a tiež zvýšenú potrebu monitoringu a testovania prevádzky. Z dôvodu možného ohrozenia bezpečnosti a stability sústavy sú všetky zdroje nad 100 kW v diaľkovom ovládaní z dispečingu, teda vedia byť v prípade potreby vypnuté, prípadne môžu mať zablokovaný prístup do DS.

Implementácia nových technológií, ktoré budú odskúšané a dostatočne spoľahlivé bude musieť byť prevedená na najnižšej úrovni. Preto je už na začiatku potrebné zadať funkcionality, ktoré budú vyžadované zo strany zákazníkov či firiem. Hlavným cieľom distribučnej sústavy je zabezpečenie bezporuchového chodu celej distribučnej siete, zabezpečenie kvality elektrickej energie a minimalizácia výpadkov v sieti. Správnou kooperáciou merania na NN strane sústavy a ovládacích prvkov je možné dosiahnuť sledovania siete ako celku, hlavne jej parametrov, kvality, zaťaženia jednotlivých prvkov, ako aj identifikácia neoprávnených odberov. Kľúčovým krokom bude tiež vytvorenie prvkov dispečerského riadenia NN sústavy.

S témou inteligentných sietí úzko súvisí aj téma inteligentného merania – smart meteringu. Rozhodnutím EÚ a nasadením tretieho liberalizačného balíčka rozhodli členské štáty o plošnom nasadení IMS u koncových zákazníkov, hlavne v domácnostiach a pre podnikateľov. V Slovenskej republike ide o cca dva milióny zákazníkov, pričom náklady sú odhadované v desiatkach miliónov eur. Zavedenie inteligentného merania predpokladá výhody pre všetkých účastníkov trhu. Samozrejme stále sú tu otázky týkajúce sa zabezpečenia, interoperability, komunikačných ciest a tiež pokrytia nákladov na implementáciu nových prvkov v sieti.

Výskum, vývoj a implementácia inteligentných sietí reaguje na rozvoj v sektore energetiky. Inteligentné siete prinášajú vylepšenia v riadení ako aj v kontrole siete, v neposlednom rade sledovania spotreby v reálnom čase. Zavádzanie IMS ako súčasti inteligentných sietí v súčasnosti predpisuje na území SR platný právny predpis, ktorý vytvára povinnosť pre všetkých prevádzkovateľov sústav zaviesť IMS do určitého obdobia. Inovácie v riadení distribučných sústav

v reálnom čase na VN aj NN si vyžaduje predpoklad masívneho rozvoja OZE, predovšetkým malých zdrojov inštalovaných v domácnostiach, prípadne v podnikoch.

Spustením inteligentného merania sa postupne vytvoria podmienky pre integráciu OZE do elektroenergetických sústav a vznikne tiež možnosť lepšej participácie na trhu s elektrickou energiou. Podstatnou časťou bude dohodnutie vzťahov medzi všetkými účastníkmi trhu a ich vzájomná participácia na vytváraní inteligentnej siete. Rozvoj inteligentných sietí je v pohybe, svedčí o tom aj blížiaci sa rok 2020 a tým pádom plnenie cieľov viazaných na tento rok. V posledných rokoch je citeľná investícia do automatizácie sústavy a tiež manažment niektorých prvkov sústavy. Postupným zvyšovaním podielu výroby elektrickej energie z OZE bude overovaná pripravenosť distribučných spoločností.

V našej krajine už prebehlo niekoľko projektov venovaných vývoju a výskumu venovaným inteligentným sieťam, taktiež projekty týkajúce sa demonštrácie, overovania schopností a hľadania ideálneho rozmiestnenia prvkov inteligentnej siete. V rámci prevádzky sa tiež testujú nové vylepšenia a inovácie, vedúce ku lepšej a stabilnejšej prevádzke siete.

V roku 2011 sa uskutočnila analýza nákladov implementácie inteligentného merania s pilotným projektom, ktorá sa zamerala na hľadanie dôkazov toho, pre ktorý segment spotrebiteľov by mohol byť smart metering ekonomicky výhodný.

2.1.5. Projekt Acon

Hlavný cieľom cezhraničného smart grid projektu ACON (Again COnnected Networks) medzi Slovenskou a Českou republikou je posilniť integráciu českého a slovenského trhu s elektrinou a efektívne zjednotiť správanie a aktivity užívateľov elektrizačných sústav tak, aby vznikla ekonomicky výhodná, udržateľná elektrizačná sústava s malými stratami a s vysokou kvalitou a bezpečnosťou dodávok.[46]

Realizátorom projektu je na strane SR spoločnosť Západoslovenská distribučná, a.s., a na strane ČR spoločnosť E.ON Distribuce, a.s. Odhadované náklady na projekt sú 221 mil. eur a predpokladaný termín realizácie sú roky 2018-2024. Projekt ACON obsahuje viaceré inteligentné a inovatívne prvky a je jedným z prvých smart grid projektov na zozname PCI (projekty spoločného záujmu). Vďaka inteligentným technológiám sa doplnia nové komunikačné prvky a tiež aj inteligentné riadenie zaťaženia automatickými algoritmi, čo zvýši informovanosť, zaistí lepšie prepojenie a v budúcnosti umožní využívať distribučné sústavy na širšie nasadenie obnoviteľných zdrojov, ako aj prístup k digitálnej infraštruktúre. Zvýšený zákaznícky komfort pocíti vďaka projektu ACON v horizonte nasledujúcich šiestich rokov vyše 190 000 zákazníkov ZSE, predovšetkým v okresoch Malacky, Senica, Myjava, Skalica, Trenčín a Nové Mesto nad Váhom. Projekt ACON

Inteligentné siete pozostáva z dvoch častí: rozsiahle nasadenie inteligentných prvkov, kde budú pohraničné oblasti vybavené inteligentnými technológiami (IMS, AMM, diaľkové riadenie, nové technológie pre transformačné stanice, kabeláž). Druhá časť obsahuje podporné konvenčné prvky. [44] [45] [46]



Obr. 8 Pôsobnosť projektu ACON na SR a v ČR [46]

2.1.6. Projekt Inertia

V roku 2013 – 2014 sa v Košiciach riešil projekt INERTIA - úspora spotreby elektrickej energie pomocou informačných technológií - je financovaný Európskou a členom riešiteľského konzorcia bola aj Ekonomická fakulta Technickej univerzity v Košiciach.

Plný názov projektu v angličtine je: Integrating Active, Flexible and Responsive Tertiary Prosumers into a Smart Distribution Grid, čiže: Integrácia aktívnych, flexibilných a reagujúcich terciárnych „prosumerov“ („prosumer“ je účastník elektrickej rozvodnej siete, ktorý v systéme funguje v jednom čase ako producent energie -producer-, a inokedy ako spotrebiteľ -consumer-) do inteligentnej siete.

Výstupy projektu:

- Optimálne stratégie pre manažment elektrickej energie na strane spotreby pre všetky typy distribuovaných zdrojov energie (pre mikro-generovanie, obnoviteľné zdroje energie, systémy úložísk a spotreby energie).

- Agentové modely distribuovaných zdrojov energie (jednotlivých aj agregovaných) s využitím vzorov správania sa ľudí prítomných v budove ako aj informácií o aktuálnom využívaní budovy pre budovy rôznych typov (administratívne budovy, domácnosti atď.).
- Sémanticky popísané distribuované zdroje elektrickej energie.
- Sémanticky popísané biznis modely pre kontrakty služieb, ktoré umožnia rozdelenie potenciálnych benefitov všetkým stranám zúčastneným v hodnotovom reťazci manažmentu na strane spotreby.[47]

2.1.7. Projekt E2SG

Cieľom projektu E2SG (energy to smart grid), realizovaného v rokoch 2012 – 2015 bolo navrhnúť mechanizmy a politiky na zostavenie, monitorovanie a kontrolu inteligentných sietí, t. j. súbor vzájomne prepojených uzlov, ktorých primárnym cieľom je vyrábať, vymieňať a spotrebúvať elektrickú energiu najúčinnším a najspoľahlivejším spôsobom prostredníctvom využívanie distribuovaných informácií, ktoré sú snímané, prenášané a spracovávané cez tú istú skupinu uzlov a odkazov. Z tohto hľadiska je E2SG komplementárny s ohľadom na Európsku regulačnú skupinu, ktorý sa zameriava na uzly s generačnými schopnosťami, ktorých rozhrania sú hlavnou témou spoločného záujmu. [48]

E2SG sa zameriaval na riešenie väčšiny problémov, ktoré so sebou prináša rozvoj koncepcie inteligentnej siete na úroveň, ktorú potrebujú priemyselní aktéri spoločnosti v nasledujúcich desaťročiach a zmene v oblasti životného prostredia, ktoré povedie k zvýšenému využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. Projekt bol medzinárodného charakteru a Slovenskú republiku v ňom zastupovala STU v BA a firma R-DAS, s. r. o. [48]

2.1.8. Projekt Flex4grid

Riadenie flexibility na strane dopytu je kľúčovým predpokladom transformácie smerom k vysokej penetrácii obnoviteľných zdrojov energie. Projekt systému riadenia flexibility s názvom Flex4Grid, ktorý je navrhnutý tak, aby poskytoval nízkonákladové riešenie pre domácich spotrebiteľov, ktorí sa chcú zúčastniť na vyrovnávaní spotreby elektrickej energie. Systém Flex4Grid neustále predpovedá potrebu flexibility v rozvodnej sieti a informuje spotrebiteľov o obdobiach riadenia flexibility. Spotrebiteľia môžu agregátorovi poskytnúť svoju flexibilitu výmenou za odplatu, ktorá závisí od vybraného motivačného programu. Automatizácia udalostí riadenia flexibility je zabezpečená prepojením so zariadeniami a systémom prostredníctvom technológií zjednotenej architektúry. Systém Flex4Grid bol nasadený u troch pilotov v Slovinsku a Nemecku. Na zber štatistických údajov týkajúcich sa účasti spotrebiteľov na udalostiach týkajúcich sa riadenia flexibility sa použil rozsiahly pilotný program v Celje v Slovinsku s 1047 účastníkmi. V rámci

pilotného projektu Celje sa použil systém stimulovania maximálnej ceny. Menší nemeckí piloti s celkovým počtom 185 účastníkov sa použili na testovanie technických schopností systému. U všetkých troch pilotov sa uskutočnili prieskumy spokojnosti používateľov. Výsledky naznačujú, že navrhovaný prístup je vhodný na zapojenie spotrebiteľov do udalostí riadenia flexibility. Účastníci pilotov znížili svoje zaťaženie v priemere o 10% počas vrcholnej udalosti. Celkové skóre prieskumu spokojnosti používateľov bolo 3,4 a 3,9 na 5-bodovej Likertovej stupnici pre nemeckých a slovenských pilotov. Toto sú dobré výsledky pre prototypový systém; sú však potrebné zlepšenia stability a použiteľnosti systému. Za Slovensko zastupovala projekt spoločnosť SAE Automation z Novej Dubnice. [49]

2.1.9. Projekt PowerUp

Medzinárodný projekt na čele so slovenskou spoločnosťou Broadbit Slovakia s. r. o. prebiehal v rokoch 2011 - 2013. Cieľom PowerUp bolo vyvinúť rozhranie vozidla a siete (V2G), ktoré zahŕňa úplný vývojový cyklus špecifikácie fyzickej aj linkovej vrstvy, návrh protokolu riadenia nabíjania, prototypovanie, testovanie zhody, pokusy a štandardizáciu. Jeho výsledky mali zabezpečiť hladkú integráciu EV do vznikajúcich sietí inteligentných sietí. Tým by bolo možné dosiahnuť efektívnosť vyplývajúcu z robustnej prevádzky siete. Schopnosti V2G zmiernujú denné výkyvy dopytu po elektrine a umožnili by EV fungovať ako núdzoví dodávatelia energie. Na dosiahnutie požadovaných výsledkov je nevyhnutné, aby bol akýkoľvek typ elektrického vozidla kompatibilný s akoukoľvek európskou sieťou inteligentných sietí. Technológia V2G sa vyvíjala v spojení s prebiehajúcou normalizáciou rozhrania V2G podľa normy ISO / IEC a rozšíri existujúce inteligentné siete. - normy merania a normy ETSI ITS pre automobilové komunikácie. [50]

2.1.10. Projekt PV Grid

PV GRID je projekt financovaný Európskou komisiou prostredníctvom programu Inteligentná energia pre Európu. Program prebiehal od mája 2012 do októbra 2014 a jeho cieľom bolo prispieť k prekonaniu byrokratických bariér, ktoré bránili rozsiahlej integrácii fotovoltickej (PV) energie do distribučných systémov (DS) v celej Európe. To možno dosiahnuť analýzou prekážok, riešením a formulovaním regulačných a normatívnych odporúčaní. Dokonca aj po úspechu projektu PV LEGAL a napriek tomu, že mnohé krajiny už implementovali stratégie na rozvoj trhu s fotovoltikou a vytvorili politické prostredie podporujúce fotovoltiku, je stále potrebné zmierniť administratívne požiadavky a postupy potrebné na inštaláciu, pripojenie k sieti a prevádzku fotovoltického systému v celej Európe. To je práve jeden z hlavných cieľov projektu PV GRID - identifikovať tieto prekážky, či aktualizovať a udržiavať databázu vytvorenú pre projekt PV LEGAL. Dôležité je samozrejme aj prekážky odstraňovať a to pre každú zo 16 krajín EÚ, ktoré sa projektu PV GRID zúčastňujú. Aj Slovenská asociácia fotovoltiky a OZE (SAPI) bola súčasťou tohto projektu.

2.1.11. Projekt VIBRATE

Elektronická mobilita Viedeň BRATislava predstavuje pilotný dvojročný projekt na podporu elektromobility v strednej Európe. Spolupráca rakúskych a slovenských spoločností priniesla sieť štandardizovaných nabíjajúcich staníc do oblasti Twin City Bratislava - Viedeň a tiež pomohla pri propagácii využívania elektromobilov. Projekt bol financovaný z programu Spolupráca Slovensko - Rakúsko 2007 - 2013.

2.1.12. Projekt Energoz

Technologický inštitút Slovenskej akadémie spolu s Elektrotechnický ústav SAV, Fyzikálny ústav SAV, Ústav anorganickej chémie SAV, Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV a STU Bratislava začal od mája 2010 trojročný projekt ENERGOZ. Cieľom projektu Efektívneho riadenia výroby a spotreby energie z obnoviteľných zdrojov je aplikovaný výskum a transfer technológií v oblasti riadenia a skladovania energie z OZE, vrátane vytvorenia demonštračného projektu Smart Grids. [5] [53]

2.1.13. Inteligentné mestá na Slovensku

Ministerstvo hospodárstva (MH) SR minulý rok (2018) schválilo dotácie pre desiatku projektov v celkovej výške pol milióna eur, ktoré majú pomocou technológií zlepšiť život v slovenských mestách a obciach. Štát sa tak prihlásil k podpore konceptu smart city, ktorý sa zatiaľ na Slovensku udomácňuje najmä vďaka impulzom z komerčnej sféry a firiem, vyvíjajúcich riešenia pre inteligentné mestá. Medzi prvky inteligentného mesta okrem iného patria: inteligentné osvetlenie s nabíjaním elektromobilov, monitorovanie spotreby energie, parkovací systém a kontrola parkovania, sledovanie kvality ovzdušia či analýza dát o demografickom správaní obyvateľov. [54]

Spoločnosti združení v rámci iniciatívy vyčlenili svojich špecialistov na to aby mestám pomohli zorientovať sa v problematike, identifikovať vhodné oblasti pre nasadenie smart riešení, analyzovať ich prínos a poskytli poradenstvo pri vypracovaní štúdií. Mestá Trnava, Trenčín, Banská Bystrica, Dolný Kubín, Prešov a Hlohovec prejavili aktívny záujem o využitie podpory ponúkanej Iniciatívou pri nasadzovaní smart riešení. Mestá sa zaujímali predovšetkým o dopravné riešenia, ktoré zlepšujú dopravnú infraštruktúru a zefektívňujú premávku v meste a o riešenia optimalizujúce komunálne služby. [55]

2.2. Inteligentné siete v Českej republike

Vláda Českej republiky schválila Národný akčný plán pre inteligentné siete (NAP SG). Ide predovšetkým o projekt využívania inteligentných sietí v domácnostiach. Je to jedna z priorit aktualizovanej Štátnej energetickej koncepcie týkajúcej sa plánu rozvoja sieťovej infraštruktúry

pre zabezpečenie jej spoľahlivej a bezpečnej prevádzky. Akčný plán predpokladá postupné zavedenie inteligentných sietí a ďalších opatrení v niekoľkých etapách v horizonte do roku 2040. V jeho rámci dôjde postupne k zavádzaniu inteligentných meradiel do všetkých domácností, k ponuke nových produktov od obchodníkov a na väčšie možnosti rozvoja malých domácich výrobní.

Zavedenie a využitie inteligentných sietí (Smart Grid) bude v blízkej budúcnosti nevyhnutnou súčasťou zabezpečenia spoľahlivej prevádzky elektrizačnej sústavy Českej republiky, ktorá bola predovšetkým budovaná pre využitie klasických veľkých centrálnych zdrojov. Bez zavedenia nového spôsobu jej riadenia a spomínaných inteligentných sietí by však nebolo možné zvládnuť integráciu veľkého objemu výroby elektriny, najmä zo solárnych a veterných elektrární (tzv. intermitentných zdrojov), ktorá má kvôli závislosti na počasí kolísavú povahu. Rovnako tak je nutné zaistiť kvalitnú integráciu výroby z malých zdrojov pripojených do distribučnej siete, typicky malých solárnych elektrární na strechách rodinných domov, ktoré čiastočne pokrývajú spotrebu domácností, a u ktorých sa vďaka technologickému pokroku, lepšej dostupnosti a znižovaniu administratívnych bariér očakáva v najbližších rokoch ďalší rozvoj. [16]

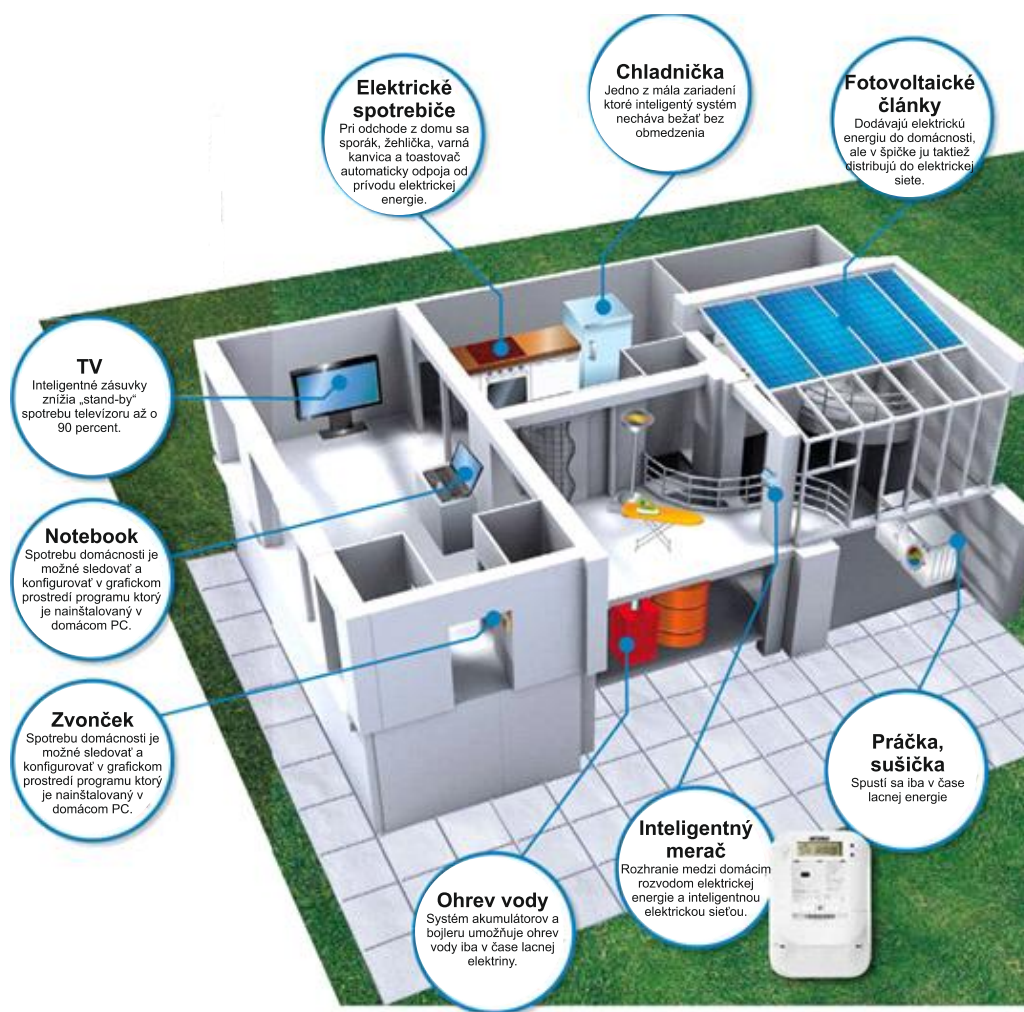
Aplikácia prostredia inteligentných sietí sa stane nevyhnutnou pre rozvoj trhu s elektrinou a pre jeho využívanie aktívnymi spotrebiteľmi, a tiež spotrebiteľmi - výrobcami. Konzumentom navyše poskytnú inteligentné siete technologickú podporu pre zvýšenie účinnosti použitia energie. NAP SG predpokladá postupné zavedenie inteligentných sietí a ďalších opatrení v niekoľkých etapách. Investície do inteligentných sietí sú investíciami do infraštruktúry a premietnu sa do regulovanej zložky ceny za elektrinu. Preto bude potrebné prispôsobiť spôsob a rýchlosť zavedenia inteligentných sietí, prínosom pre spotrebiteľov. Predložený NAP SG berie do úvahy nákladovú optimalizáciu. Súčasťou NAP SG je ucelený návrh opatrení, ktoré zabezpečia prípravu a realizáciu nutných zmien optimálnym spôsobom, a harmonogram, kedy je nutné jednotlivé opatrenia realizovať. Dodatočné náklady na realizáciu SG budú financované prostredníctvom taríf (platbami koncových zákazníkov, odoberajúcich elektrickú energiu) a prípadne prostredníctvom dotačných titulov OP PIK, čiže bez dopadu do verejných rozpočtov.

Projekt Výskum využívanie Smart Grid zariadení v domácnostiach v Českej republike pre podporu ich rozšírenia si kladie za cieľ zmapovať názory a postoje obyvateľov mesta Rakovník a jeho okolitých obcí vo vzťahu k úlohe, vyhodnotenia získaných poznatkov a spracovania odporúčaní, ktoré by prispela k zameraniu, ako ďalej postupovať v danej problematike a bola tak nápomocná v naplnení cieľov aktualizovanej Štátnej energetickej koncepcie. Koncept inteligentnej siete chápeme ako odpoveď na súčasný vývoj v spoločnosti vzhľadom na to, aké miesto v nej energetika a s tým spojené odvetvia priemyslu a ich jednotlivé oblasti vrátane spotreby zaujímajú. Základným

princípom je vzájomná obojsmerná komunikácia medzi výrobnými zdrojmi elektrickej energie a spotrebičmi alebo spotrebiteľmi o okamžitých možnostiach výroby a spotreby energie.

Inteligentná sieť má tri základné znaky:

- plná automatizácia,
- plná integrácia (začlenenie) zákazníkov
- a adaptácia na rôzne spôsoby výroby elektriny.

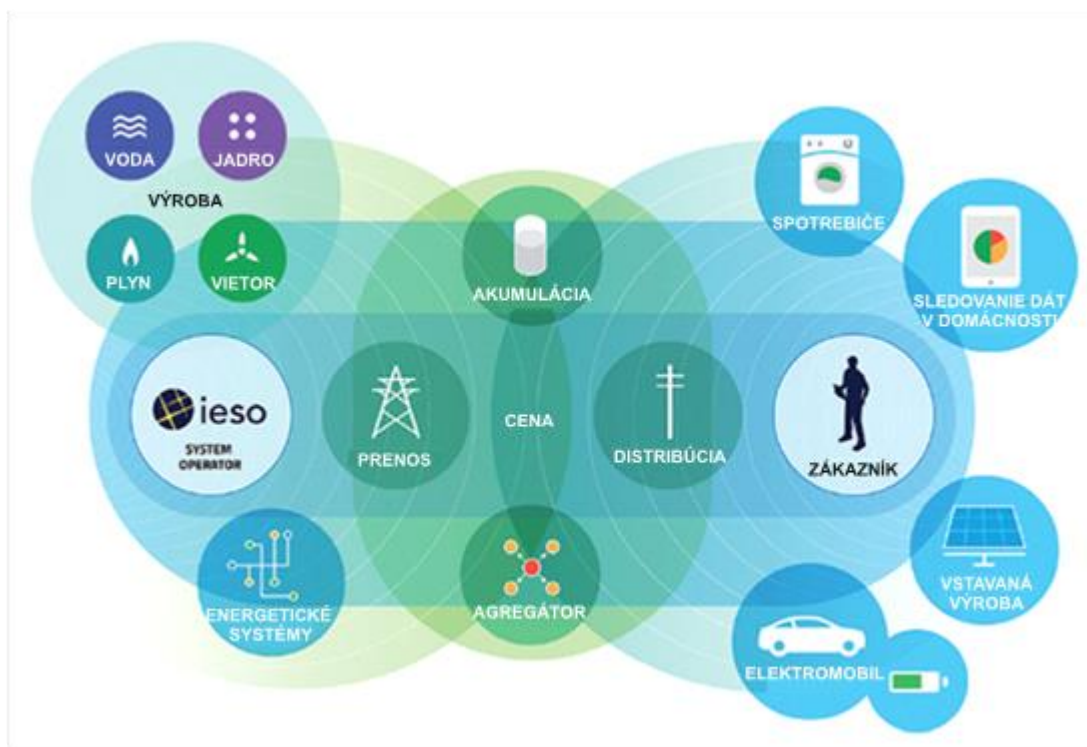


Obr. 9 Vzor inteligentnej domácnosti a jej spotrebičov [17].

Plnú automatizáciu predstavuje zapojenie digitálneho kontrolného a riadiaceho systému spolu so senzormi, ktoré monitorujú správanie siete a automatické obnovovanie prevádzky po prípadnej poruche. Podstatou integrácie zákazníkov je ich vybavenie digitálnymi meradlami s obojsmerným tokom informácií v reálnom čase, čo umožňuje tvorbu cenových taríf podľa aktuálnej situácie v sieti.

V tejto súvislosti sa najmä hovorí o tzv. chytrých alebo tiež inteligentných elektromeroch Smart Metering. Plná integrácia umožňuje zákazníkom efektívne riadiť spotrebu, napr. ohrev vody, pranie bielizne či dobíjanie batérií v dobe s voľnou výrobnou kapacitou. Inteligentné siete napríklad umožňujú, aby spotrebiče, ktoré môžu byť zapojené kedykoľvek počas dňa (napríklad kúrenie), boli zapnuté práve v okamihu, keď sú k dispozícii nevyužitý zdroje elektriny. Ich praktické uplatnenie sa dnes obmedzuje na vybrané projekty vo vymedzených regiónoch ČR, kde sa skúšajú technické a prevádzkové vlastnosti ich fungovania.

V popise projektu, ktorý bol schválený Ministerstvom priemyslu a obchodu ČR, je uvedené, že princípom tzv. inteligentných smart grid zariadení je interaktívna obojsmerná komunikácia medzi výrobnými zdrojmi a spotrebičmi alebo spotrebiteľmi o aktuálnych možnostiach výroby a spotreby energie. Štátna energetická koncepcia už dlhšiu dobu podporuje zavádzanie týchto zariadení do života. Napriek tomu nemožno jednoznačne tvrdiť, že odborná verejnosť pozná a chápe dostatočne výhody a možnosti využitia týchto zariadení tak, aby bola schopná ich ďalej odporúčať domácnostiam či menším firmám, ktoré nemajú svoje vlastné energetické oddelenia a zaujímajú ich možné úspory. Tým boli dané "mantinely" výskumu, ktorý prebiehal v období júl - september vyplnením dotazníka na reprezentatívnom súbore dospelých občanov ČR o počte 307 respondentov vo veku 15-65 rokov. Výskum bol zložený z kvantitatívnej analýzy zaoberajúcej sa všeobecne fenoménom inteligentných sietí a zároveň kvalitatívne metódou realizovanou v rozhovoroch s účastníkmi výskumu. Ukázalo sa, že mnoho z opýtaných respondentov má o danej problematike jasnú predstavu, avšak za mätúce považujú prevažne anglické pojmy napr. wearables (nositeľná elektronika). Bolo im preto v "diskusii" potrebné upresniť, o čo sa konkrétne jedná a následne podali dosť jednoznačnú odpoveď. Túto skutočnosť potvrdzujú aj prieskumy, ktoré v Českej republike prebehli, napríklad spoločnosťou Ipsos a Centrom pre výskum verejnej mienky .[16]



Obr. 10 Systém inteligentnej siete v Ontáriu [16].

Na obrázku č. 9 je schematicky znázornená inteligentná sieť v Ontáriu, ktorá je v prevádzke už od roku 2006. Tento systém zahŕňa energetické a informačné prepojenie výrobných zdrojov a spotreby cez prenosovú a distribučnú sieť s riadiacim strediskom, spoločne aj so zapojením zásobníkov energie.

Záverom je možné konštatovať, že zariadenia inteligentných sietí čaká na českom i slovenskom trhu rad výziev. Tou hlavnou výzvou po preniknutí na tuzemský trh je dosiahnutie pozitívneho hodnotenia z hľadiska kvality inteligentných pomocníkov, čo najlepšej úspory energie a jej príspevku k lepšiemu životnému prostrediu. Dôležité je podotknúť, že pri voľbe výrobkov stále rozhoduje ich cena nasledovaná účinnosťou, značkou a vzhľadom. Avšak aj tu dochádza k postupnej zmene postojov, kedy ľudia začínajú byť viac citliví na problematiku životného prostredia a uvažujú o svojom osobnom príspevku k jeho zlepšeniu.

Vďaka technologickému pokroku sa bývanie budúcnosti stáva realitou. Systémy inteligentného bývania zahŕňajú energetické úspory, a tým šetrnosť k životnému prostrediu, vysokú úroveň bezpečia vďaka ovládaniu cez inteligentné telefóny a tablety úplné pohodlie a zábavu vo vysokej kvalite. Keď to zhrnieme, tak Smart Home predstavuje bezpečie, úspory, ekológiu, pohodlie a zábavu. Ponuka riešení pre smart domácnosti je na českom trhu široká, ponúkajú ho české i

zahraničné firmy, rovnako tak výrobky, ktoré nesú označenie smart. Základom je centrálny systém, ktorý je ovládaný a riadený veľmi jednoducho a prostredníctvom potrebnej infraštruktúry, vrátane aktívnych prvkov pomáha automatizovať prevádzku domu. Stará sa aj o domácnosť a poskytuje informácie o jej aktuálnom stave. Dôležité je optimálne a účinné ovládanie tepelnej techniky, vďaka čomu sa dosahujú nemalé finančné úspory a šetrenie životného prostredia. Do centrálného systému je napojené aj osvetlenie, ktoré ďalej umožňuje pohodlnú komunikáciu medzi členmi domácnosti a stará sa aj o zábavu. Konečne je to pravidelný servis, ktorý je predpokladom bezproblémového fungovania celého systému [17].

Výsledky projektu výskumu využívania Smart Grid zariadení v domácnostiach ČR

- Z 307 oslovených osôb ich 185 používa internet doma, 144 v telefóne a 105 v práci.
- Približne polovica z opýtaných osôb sa stretla s pojmom inteligentné siete, 207 z nich správne odpovedalo, čo predstavujú.
- Nákup nových elektrických spotrebičov v blízkej budúcnosti plánuje necelá pätina opýtaných, štvrtina odpovedala možno, polovica nie. Z ich odpovedí vyplynulo, že si pod pojmom elektrické spotrebiče predstavujú predovšetkým vybavenia do domácnosti, zatiaľ čo napríklad mobily, notebooky a príslušenstvo k nim nezarátavajú.
- Ochotu vymeniť súčasné spotrebiče za nové s nižšou spotrebou elektrickej energie, aj keď drahšie, vyslovilo takmer 60 percent opýtaných. Avšak rozhodujúcim kritériom by napriek tomu bola cena, presnejšie návratnosť vložených prostriedkov.
- Takmer tri štvrtiny respondentov by boli ochotní používať elektrické spotrebiče aj v nočných hodinách za predpokladu, že by to pre nich malo ekonomický efekt, napríklad nízku alebo nulovú cenu elektrickej energie.
- Aj keď bol prieskum realizovaný v regióne, ktorý patrí z hľadiska výšky príjmov k tým slabším, spotrebu elektrickej energie, prípadne jednotlivých spotrebičov, sleduje necelá štvrtina opýtaných, zatiaľ čo 58,5 percent ju nesleduje a zaoberá sa ňou až pri ročnom vyúčtovaní.
- Fotovoltaika je medzi opýtanými chápaná ako niečo, čo útočí na ich peňaženku a združuje elektrickú energiu, berú ju ako fakt a neprejavujú záujem dozvedieť sa o nej viac. Približne 69 percent z nich sa nezaujíma o dianie spojené s energetickou budúcnosťou a dve tretiny berú IT technológie ako realitu, alebo sú im ľahostajné.
- Konkrétne informácie o inteligentných sieťach a inteligentných domácnostiach získavajú predovšetkým od dodávateľa energie a predajcov zariadení. Významným zdrojom informácií je komunikácia medzi ľuďmi navzájom, či už na pracovisku alebo v rámci komunít. Časť (17,6%) zastáva názor, že informácií je všade dosť, stačí o ne len prejaviť záujem.

Výskum využívania Smart Grid zariadení v domácnostiach v ČR pre podporu ich rozšírenia bol prvou z akcií, ktorými sa chce spoločnosť E.B.V., z.ú., venovať v tejto oblasti. Jeho výsledky nám potvrdili, že uvedená problematika prebieha v niekoľkých rovinách:

- Odborná z hľadiska energetiky - zamerané na prenos a distribúciu elektrickej energie, jej meranie, spracovanie údajov atď. V tomto smere bolo vykonané veľké množstvo práce a spracovaný rad štúdií a prieskumov, na ďalších sa pracuje, pričom dlhodobú orientáciu a smer udáva vládou schválený Národný akčný plán pre inteligentné siete.
- Odborná z pohľadu výrobcov - výskum a vývoj v tomto smere ide rýchlym tempom, prakticky každý môžeme čítať správy o nových riešeniach, nových aplikáciách, inovovaných spotrebičoch, komponentoch atď. Existuje množstvo serverov, ktoré sa im venujú.
- Marketingových aktivít - v tomto smere spoločnosti zaoberajúce sa výskumom marketingu a výskumom verejnej mienky prispievajú k riešeniu zadaných cieľov, najmä z hľadiska predajnosti výrobkov, ich atraktivity, záujmu o ne a tak ďalej. Viac informácií možno nájsť na ich webových stránkach.
- Popularizácia prostredníctvom predajcov a dodávateľov energie - ako nám ukázal prieskum, je to najúčinnější forma, prostredníctvom ktorej sú obyvatelia zoznamovaní s danou problematikou.
- Mediálne popularizácia medzi širokou verejnosťou - tá prebieha predovšetkým prostredníctvom médií. Ako nám potvrdil prieskum, propagácii Smart Home v širších súvislostiach sa venujú predovšetkým odborné časopisy, najmä prostredníctvom prezentácie firiem a jej produktov, zatiaľ čo denná tlač a ďalšie médiá idú skôr po senzáciách, než serióznym zoznamovaním s danými javy a ich prínosy.

Prieskum je prvým krokom, ako účelne z hľadiska problematiky získať ďalšie poznatky, ktoré povedú k ich zovšeobecneniu a praktickému využitiu, ako aj k popularizácii riešení spojených s inteligentnou domácnosťou. Príkladom v tomto nám môže byť postup, ktorý bol zvolený pri zoznamovaní širokej verejnosti s energetickými štítkami, ktorý už prebieha niekoľko rokov s postupne dosahovanými výsledkami [16].

2.3. Projekty inteligentných sietí v Japonsku

Mnohí odborníci a tiež samotné Japonsko sa označuje za vedúcu krajinu vo vývoji a implementácii inteligentných sietí vo východnej Ázii. Japonsko má v úmysle posilniť svoju energetickú účinnosť a mohlo by sa tak stať vedúcim v oblasti pre technológiu inteligentných sietí. Že sa nejedná o náhly záujem, svedčí aj história, pretože Japonsko bolo medzi prvými štátmi na svete, ktoré začiatkom nového tisícročia investovali do technológie Inteligentných sietí aj

organizácií New Energy and Industrial Technology. Táto krajina vychádzajúceho slnka investovala viac ako 849 mil. dolárov na výskum a vývoj inteligentných sietí. Vývojová organizácia sa rozhodla podporiť množstvo pilotných projektov mikrosietí. Vzhľadom k udalosti vo Fukušime, ktorá značne poškodila energetickú infraštruktúru a znížila počet zdrojov na pokrytie základnej spotreby štátu, sa Japonsko ešte viac začalo orientovať na zlepšenie svojej energetickej efektívnosti a obnoviteľných zdrojov energie. Japonsko je rozdelené na 10 regiónov s 10 rôznymi operátormi, čo pripojenie obnoviteľných zdrojov alebo implementáciu Inteligentných sietí naprieč regiónmi značne komplikuje. Avšak najväčším problémom bola administratíva, pretože projektu trvalo až 4 roky, než získal všetky potrebné povolenia. Tento čas je od roku 2014 skrátený na polovicu a developeri to ihneď využívajú. Tento krok vpred v naplnení cieľov Japonska je ešte podporený finančnými dotáciami na rôzne energetické projekty predovšetkým z oblasti mikrosietí. Japonsko má v súčasnosti podiel obnoviteľných zdrojov na celkovej výrobe krajiny len 10%, ale očakáva sa rast na dvojnásobok do roku 2025, a na to bude potrebný vývoj a implementácia systému Inteligentných sietí [11].

Japonské smart mesto

Fukušimská havária znamenala pre japonskú energetiku zásadný prelom. Odklon od jadra bol impulzom pre domáce firmy, aby sa intenzívnejšie zaoberali konceptom udržateľnej výstavby. Jedno zo smart miest budúcnosti, Fujisawa, bolo dokončené v roku 2018. Keďže nesúhlas domáceho obyvateľstva s rozvojom jadra dlhodobo neklesá, energetické spoločnosti začali hľadať biznis potenciál vo výstavbe inteligentných miest. Jedným z priekopníkov v smart segmente je spoločnosť Panasonic Corp. Pred pár rokmi sa spojila s ďalšími ôsmimi firmami a spoločne vytvorili koncept udržateľného smart mesta Fujisawa, ktoré sa nachádza zhruba 50 km juhozápadne od Tokia.

Začiatok projektu sa datuje ešte do roku 2012. Hoci jednotlivé technológie sú na trhu bežne dostupné, Fujisawa ako projekt je unikátny tým, že inteligentná sieť nebola včlenená do mestského prostredia náhodne, ale projektoval sa od úplných základov. V súčasnosti nájde vo Fujisawe domov zhruba tisíc domácností. Cieľom investorov bolo vytvoriť pre obyvateľov ideálne životné podmienky tak, aby boli v symbióze s najmodernejšími technológiami. Na ploche 19 hektárov sú umiestnené komerčné prevádzky, spoločenské centrá alebo verejné parky. Výstavba Fujisawa Sustainable Smart Town (SST) je dnes v prevádzke. Prvoradým zámerom bolo vytvoriť koncept pre smart životný štýl. Ten je založený na pohodlí miestnych obyvateľov, regionálnych špecifikách, ako aj na spôsobe života v budúcnosti. Špeciálny dôraz sa snaží klásť na energetiku, bezpečnosť, mobilitu a zdravotnú starostlivosť.



Emisie oxidu uhličitého (CO₂) v novom meste by sa mali znížiť o 70 % v porovnaní s hodnotami v
Obr. 11 Inteligentné mesto Fujisawa [18].

roku 1990, spotreba vody by mala byť o 30 % nižšia a zhruba 30 % spotrebovanej elektriny by malo pochádzať z obnoviteľných zdrojov energie. Integrovanou súčasťou každého domu je fotovoltaiický systém na výrobu elektriny a batéria na uskladnenie energie. V prípade krízy je k dispozícii núdzové napájanie, čo je jedno z ponaučení havárie v roku 2011. V koncepte smart mesta ako Fujisawa nechýba ani rozvoj elektrickej mobility, v každom dome sú nabíjacie body pre elektromobily a elektrické skútre. Do budúcnosti sa počíta s rozmachom systému zdieľania dopravných prostriedkov.

Teoretici predpovedajú, že v blízkej budúcnosti budú smart domy „komunikovať“ so svojimi majiteľmi, aby im pomohli rozhodnúť sa, aký zvoliť jedálny lístok či oblečenie. Výsledkom interakcie domov s ostatnými prevádzkami bude dokonalý prehľad o tom, aké produkty a služby sú v smart meste najžiadanejšie a ktoré si naopak vyžadujú zlepšenie.

Ďalšou inováciou je bezpečnostný systém, ktorý vie rozpoznať tváre obyvateľov domu a automaticky im otvoriť vchodové dvere. Systém sa dá rozšíriť o identifikáciu blízkej rodiny alebo priateľov. Futuristicky môže znieť aj funkcia umelej inteligencie v kuchyni, ktorá je prepojená s virtuálnym cloudom a reaguje na hlasové pokyny majiteľa. Ak chcete napríklad upiecť tortu, okamžite sú vám k dispozícii recepty podľa zadania, nechýbajú ingrediencie ani detailný postup prípravy. Kým si čítate recept, rúra sa automaticky predhreje. Hlas majiteľa je tak v smart dome hlavným prostriedkom, ako ovládať okolie. Dokáže ním zapnúť domáce kino, spustiť obľúbenú

hudbu či vyhľadať najbližšiu reštauráciu podľa zvolených kritérií. Automatizácia riadi osvetlenie, kúrenie alebo klimatizáciu. V spálni dokáže smart systém monitorovať tep srdca či pomôcť diagnostikovať dýchacie problémy [15] [56].

2.4. Projekty Inteligentných sietí v Číne

Čína plánuje vytvorenie globálnej energetickej siete založenej na obnoviteľných zdrojoch energie. Viac ako miliardová Čína nepremýšľa v malom meradle. Keď investuje do železníc, investuje stovky miliárd dolárov za rok. Už v roku 2016 mala Čína počiatočnú myšlienku na zrealizovanie globálnej elektrickej rozvodnej siete v hodnote viac ako 50 biliónov dolárov.

Projekt je rozložený do niekoľkých desaťročí a hotový by mohol byť okolo roku 2050. Počíta s tým, že v prvej fáze sa Čína zameria na dokonalé prepojenie svojich vlastných zdrojov diaľkovým vedením a na rozvoj batérií a ďalších technológií potrebných k rozvoju obnoviteľných zdrojov. V ďalšej fáze potom Čína začne svoju elektrickú rozvodnú sieť s pomocou technológií UHV / HVDC prepájať s najbližšími i vzdialenejšími susedmi. Najprv takými ako je Mongolsko alebo Južná Kórea. Nasledovať by mala výstavba obrovských veterných fariem v arktických oblastiach a solárnych elektrární v oblasti rovníka a Sahary.

Čína dúfa, že sa vďaka tomuto plánu podarí zabrániť globálnym klimatickým zmenám, dať prácu miliónom ľudí a navyše aj zabezpečiť toľko potrebný mier. Dokonca aj v Česku nedávno čínska exportná banka China Exim Bank s pomocou svojho investičného fondu China-CEE kúpila od americkej spoločnosti Contour Global tri solárne elektrárne s celkovým výkonom 6 MW.

Na váhe dodáva celému zámeru nielen rastúca ekonomická a politická sila Číny, ale aj slová čínskeho prezidenta Xi Jinping-a, ktorý zámer na vybudovanie globálnej energetickej siete verejne požehnal. GEIDCO – Global Energy Interconnection Development and Co-operation Organization je podnikateľská skupina založená v Číne, no dnes už má uzavreté dohody okrem domácich subjektov aj s energetickými spoločnosťami v Japonsku, v Južnej Kórei a v Rusku a s výrobcami zariadení a univerzitami zo 14 krajín. Jej zámer je impozantný – do roku 2050 prepojiť celý svet energetickou super sieťou, prenášajúcou elektrinu z obnoviteľných zdrojov. Schopnosť pružne prenášať elektrinu na veľké vzdialenosti by eliminovala dnešné problémy s lokálnou nestabilitou.

Čínska predstava celosvetovej energetickej siete sa do značnej miery podobá "energetickému internetu". Neexistuje v nej žiadna centrálna distribučná autorita, tento koncept je už zdá sa úplne prekonaný. Namiesto toho celosvetová sieť, v ktorej vietor neprestáva fúkať a slnko svietiť, dodáva energiu 24 hodín denne, 7 dní v týždni, 365 dní v roku práve tam, kde je potrebná.

Najväčším spotrebiteľom elektriny bude v budúcnosti práve Čína, ktorá zároveň zápasí s extrémnym znečistením ovzdušia. Odborníci odhadujú, že funkčné globálne energetické prepojenie (Global Energy Interconnection) by mohlo znamenať aj to, že 80% spotreby energie zaistia bezemisné zdroje. Viac než technickým problémom, bude globálna energetická sieť problémom geopolitickým a ekonomickým [12].

Podľa Medzinárodnej agentúry pre energetiku sa rozvíjajúca čínska ekonomika bude do roku 2035 podieľať na svetovom dopyte po elektrine z 31 %. Krajina zároveň zavádza opatrenia na zmiernenie množstva emisií. Snaží sa prejsť na nízkouhlíkové hospodárstvo a čínska vláda zaviedla novú priemyselnú politiku na podporu a rozvoj čistých energetických odvetví. Okrem podpory jadrovej, solárnej, veternej energie a energie z biomasy podporuje hybridné a elektrické vozidlá, energetickú účinnosť a ochranu životného prostredia. Ostatné politiky sa zameriavajú na podporu nových technológií v oblasti výskumu a inovácií [13].

Projekt jednosmerného prenosového spojenia o ultra-vysokom napätí (UHVDC) Changji-Guquan v Číne prenáša elektrický výkon 12 000 MW pri napätí 1100 kV DC (teda 1,1 mil. voltov) na vzdialenosť 3 284 km. Toto UHVDC spojenie tak po svojom dokončení, na začiatku roka 2019, zaznamenalo svetový rekord vo všetkých troch svojich základných parametroch: prenášanom výkone, napätí a vzdialenosti.



Obr. 12 Rozvoj UHVDC transformátora v Číne [19].

Technológia HVDC sa rozvíja počas posledných desaťročí ako efektívna alternatíva zažitému striedavému prenosovému systému v určitých konkrétnych prípadoch. Všeobecne platí, že prenos elektrickej energie je efektívny pri použití vysokého napätia, pretože s vyšším napätím klesajú straty energie pri prenose. Meniť hodnotu napätia pomocou transformátora však možno len

pri striedavom prúde. Naproti tomu je použitie jednosmerného elektrického vedenia oproti striedavému ekonomickejšie, a to predovšetkým preto, že nie je potrebné prenášať tri fázy, možno použiť tenšie vodiče a jednosmerný prúd má všeobecne menšie straty vo vedení (okolo 3,5% na 1000 km) [18].

HVDC prenosové spojenie je tak oproti striedavému ekonomickejšie na vlastnom vedení a menej ekonomické v koncových bodoch, kde je potrebné prúd transformovať a usmerňovať, resp. striedať, pričom hrá úlohu nákladnosť, účinnosť a spoľahlivosť príslušných zariadení. Preto sa uplatní predovšetkým pri jednoduchých prenosových spojeniach, ako je práve projekt UHVDC Changji - Guquan. Stále viac je napriek tomu využívané aj u multiterminálových HVDC prenosov, ako je severoamerické HVDC spojenie Radisson - Montreal - Boston.

UHVDC spojenie Changji - Guquan prenáša elektrickú energiu z regiónu Xinjiang na severozápade Číny do provincie Anhui vo východnej Číne. Tento UHVDC projekt tak účinným spôsobom prepojil regióny na východe krajiny, kde je hlavný a prudko rastúci dopyt po elektrickej energii, so severom a severovýchodom, kde sú sústredené jej zdroje.

Prenášaný výkon zodpovedá dvanástim priemerným elektrárňam, a umožní tak integráciu veľkého množstva obnoviteľných zdrojov energie. Oproti súčasnému štandardu v HVDC technológiách znamená toto rekordné prenosové spojenie 50% nárast v prenosovej kapacite a zhruba rovnaký nárast vo vzdialenosti, na akú je elektrická energia týmto spôsobom prenášaná [14].

2.5. Projekty Inteligentných sietí v USA

Téma inteligentných sietí je už určitý čas aktuálna v USA aj v krajinách Európskej únie, a to medzi štátnymi a správnymi orgánmi, ako aj v súkromnom sektore.

V Spojených štátoch sa inteligentnými sieťami zaoberá priamo ministerstvo energetiky, ktoré v roku 2015 vyhlásilo program s názvom "Stratégia modernej siete". Tento program sa zameriava na vývoj a zavedenie technológií v oblasti integrovanej komunikácie, pokročilých zariadení, riadenia siete, merania a vyhodnocovania stavu siete a jej komponentov a systémov na podporu rozhodovania.

Najpokročilejšie štáty sú z hľadiska implementácie konceptu inteligentných sietí Kalifornia a Colorado. V San Diegu, v spolupráci s lokálnou univerzitou, spoločnosť San Diego Gas& Electric pripravila v roku 2006 štúdiu, ktorá navrhla a stanovila prioritné hlavné iniciatívy na vytvorenie inteligentnej siete do roku 2016. Súčasťou štúdie bolo aj zdokonalenie výhod v oblasti úspor pri údržbe siete, využitie prenosových kapacít, zníženie dopytu po energii v špičkách, vytvorenie

pracovných miest v regióne atď. Z dlhodobého hľadiska 20 rokov môžu tieto prínosy dosiahnuť približne 3 miliardy USD pri investíciách približne 0,5 milióna USD a prevádzkové náklady 25 miliónov USD ročne [20].

Situácia v meste Boulder v Colorade je ešte o krok ďalej. Iniciátorom je energetická spoločnosť Xcel Energy, ktorá spolupracuje so spoločnosťou Smart Grid Consortium, vykonáva analýzu súčasného stavu infraštruktúry v meste s cieľom stanoviť rozsah a smerovanie výstavby inteligentnej siete. Podľa predbežného plánu má byť celé územie pokryté inteligentnými sieťami, pričom celková investícia bude dosahovať približne 100 miliónov USD. Sieť bude tvorená prvkami pokročilých komunikačných technológií a inteligentnými elektromermi s programovateľným ovládaním pre domácnosti, ktoré umožnia užívateľom automatizovať kontrolu nad spotrebou elektrickej energie. Nabité skúsenosti sa následne využijú pri plánovaní implementácie inteligentných sietí vo všetkých sieťach Xcel Energy [20].

Podpora inteligentných sietí sa stala federálnou politikou s prechodom zákona o energetickej nezávislosti a bezpečnosti z roku 2007. Zákon v hlave 13 stanovuje finančné prostriedky vo výške 100 miliónov dolárov na finančný rok 2008-2012, stanovuje program pre štáty, podniky a spotrebiteľov na vybudovanie inteligentných sietí a vytvára komisiu pre modernizáciu siete, ktorá posúdi prínosy reakcie na dopyt a odporučí potrebné štandardy protokolu. Zákon o nezávislosti a bezpečnosti energie z roku 2007 riadi Národný inštitút pre normy a technológie s cieľom koordinovať vývoj štandardov inteligentných sietí.

Inteligentné siete získali ďalšiu podporu s prechodom amerického zákona o obnove a reinvestícií z roku 2009, ktorý vyčlenil 11 miliárd dolárov na vytvorenie inteligentnej siete.

V roku 2015 mali americké elektrárne približne 64,7 miliónov pokročilých (inteligentných) infraštruktúr na meranie infraštruktúry (AMI). Asi 88% zariadení AMI bolo inštalovaných v jednotlivých domácnostiach.

Pokročilá infraštruktúra merania zahŕňa meracie prístroje, ktoré merajú a zaznamenávajú spotrebu elektrickej energie v minimálnych hodinových intervaloch a poskytujú údaje zákazníkom a zákazníkom aspoň raz za deň. Inštalácie AMI sa pohybujú od základných hodinových meradiel až po meradlá v reálnom čase so vstavanou obojsmernou komunikáciou schopnou zaznamenávať a prenášať okamžité údaje [21].

2.6. Projekty inteligentných sietí v Kórejskej republike

Kórejská vláda spustila pilotný program vo výške 65 miliónov USD na ostrove Jeju s hlavnými hráčmi v tomto odvetví. Program pozostáva z plne integrovaného systému Inteligentnej siete pre

6000 domácností. Veterné farmy a štyri distribučné linky sú zahrnuté do pilotného programu. To dokazuje rozsah záväzku Kórejskej republiky smerom k životaschopnej budúcnosti.

Kórea plánuje znížiť celkovú spotrebu energie o 3% a znížiť celkovú spotrebu elektrickej energie o 10% do roku 2030. Vláda tiež plánuje do tej doby znížiť emisie skleníkových plynov o 41 miliónov ton. Vláda oznámila, že do roku 2030 vykoná celoštátnu implementáciu inteligentnej siete.

V januári 2010 urobila Kórea významný krok vpred vo svojom úsilí o získanie postavenia v celosvetovom sektore inteligentnej siete a pristúpila k dohode so štátom Illinois o spoločnom vývoji a testovaní technológií pre inteligentnú sieť. Obe strany podpísali memorandum o porozumení s ministerstvom obchodu v Illinois o vytvorení pilotného programu na vytvorenie technológie inteligentnej siete v zariadení na ostrove Jeju. Podľa plánu budú technológie, ktoré sú rozvíjané prostredníctvom tohto partnerstva a považované za životaschopné pre komercializáciu, rozvinuté v Illinois, ako aj v kórejských mestách. Obe strany sa dohodli na spustení obchodného modelu pre inteligentnú sieť na ostrove Jeju a neskôr ju uplatnia v Soule a Chicagu. Kórejský elektrotechnický výskumný inštitút a ďalšie súvisiace miestne centrá sa stretnú s Illinois Argonne National Laboratory a Chicago University za účelom testovania a vývoja technológií [22].



Obr. 13 Inteligentná sieť na ostrove Jeju [22].

Zároveň sa vytvorí spoločný výbor pre spoluprácu s cieľom vypracovať podrobný program spolupráce na nasledujúce tri roky. Kórejská vláda sa snaží dokončiť inštaláciu inteligentnej siete v krajine do roku 2030 a vytvoriť ďalších 27 000 alebo viac elektrárenských staníc. V pláne na realizáciu projektu je celkovo 27,5 miliarda wonov. Vláda plánuje vyriešiť túto otázku vývojom základných technológií, nových trhov, novej infraštruktúry a prilákaním dobrovoľných investícií podnikov [21].

2.7. Projekty inteligentných sietí v Brazílii

Úsilie inteligentnej siete v Brazílii sa primárne zameralo na diverzifikáciu zdrojov výroby a na zvýšenie infraštruktúry elektrickej siete. Za týmto zameraním sú tri hnacie sily. Prvou hybnou silou je vysoký rast dopytu po elektrine za posledných dvadsať rokov, o ktorom sa predpokladá, že bude pokračovať. Brazília vynakladá veľké úsilie na to, aby udržala krok s rastúcou požiadavkou na elektrickú energiu a výrazne zohľadňuje svoje politické rozhodnutia o inteligentnej sieti. Druhou hybnou silou je, že sa spoliehajú na vodnú elektrickú energiu. Silná závislosť Brazílie na vodnej elektrárni spôsobuje, že ich dodávka elektrickej energie je počas sezóny sucha zraniteľná nedostatkom vody. Program brazílskej inteligentnej siete má v úmysle riešiť túto otázku tým, že podporuje rozvoj ďalších zdrojov výroby elektrickej energie. Tretím hnacím motorom sú vysoké netechnické straty v Brazílii. Brazília dúfa, že zavedie modernú technológiu inteligentných sietí na zníženie týchto strát [21].

Brazília tvrdo pracuje na riešení rozmanitosti výroby elektrickej energie tým, že uskutočňuje aukcie pre rôzne druhy zdrojov energie. Biomasa je jedným zo zdrojov, do ktorých Brazília investuje z dôvodu kombinácie OZE medzi sebou. Biomasa je v súčasnosti tretím najväčším zdrojom výroby elektrickej energie v Brazílii. Biomasa je v Brazílii vhodnejším zdrojom, pretože prevalencia poľnohospodárstva, najmä cukrovej trstiny, a jej špičková generácia koreluje dobre s obdobím využívania vodných elektrární. V roku 2012 Brazília zaviedla nový pozmeňujúci a doplnujúci návrh, ktorý vyžaduje, aby miestni distribútori získali najmenej 2 GW výroby biomasy navyše každý rok počas 10 rokov. Okrem podpory investícií do výroby biomasy Brazília podporuje aj výrobu z veternej energie. Podobne ako pri výrobe biomasy je vietor vhodnejším zdrojom, pretože jeho vrcholová sezóna generácie koreluje aj so sezónou hydroelektrického údolia. Potenciál výroby z vetra sa odhaduje na 143,5 GW. Brazília začala s energetickými aukciami v oblasti veternej energie v roku 2009 a dúfa, že bude mať inštalovanú kapacitu 11 GW. Generovanie aukcií bolo taktiež zabezpečené pre solárnu elektrinu od roku 2013. Solárny trh v Brazílii je oveľa menší ako trh s vetrom a biomasou, ale rastie s pomocou vlády.

Okrem rozšírenia výroby plánuje Brazília aj rozsiahle zavedenie inteligentného merania. V roku 2012 nariadil regulačný orgán pre elektrinu v Brazílii, aby všetci noví spotrebitelia v obytných vidieckych oblastiach dostali inteligentný merací systém. Existujúci zákazníci, ktorí chcú mať inteligentnú sieť, si ju môžu vyžiadať. Spoločnosť Green Tech Media odhaduje, že do roku 2030 sa nainštaluje 27 miliónov inteligentných meracích systémov. Brazília dúfa, že inštalácia inteligentných meracích zariadení pomôže znížiť ich netechnické straty [21].

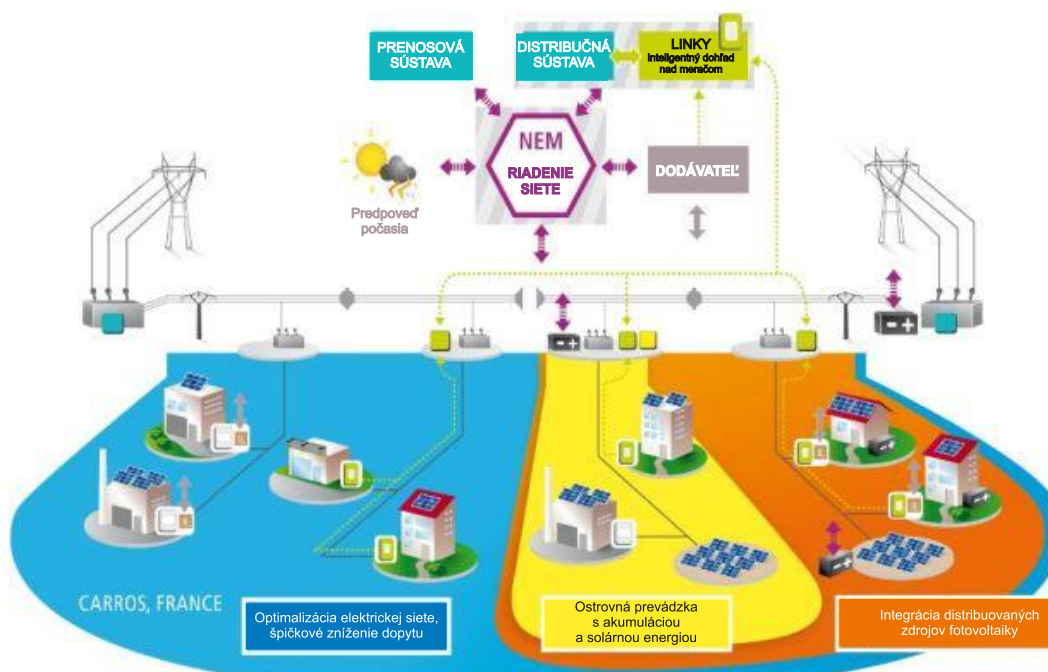
2.8. Projekty inteligentných sietí vo Francúzku

V období od januára do marca 2014 sa uskutočnili testy fungovania prvého európskeho systému inteligentnej siete využívajúcej solárnu energiu. Ako projekt s názvom Nice Grid je tento systém inštalovaný a testovaný vo francúzskom meste Carros.

Cieľom projektu Nice Grid je preveriť prevádzkovú prax fungovania systému inteligentnej siete pomocou moderných zariadení na komunikáciu a riadenie odpovedí siete na okamžitú požiadavku v podmienkach zapojenia veľkého podielu zdrojov energie rozptýlených medzi veľkým počtom malých miest výroby a pripojených k individuálnym zásobníkom energie. Výsledkom projektu NiceGrid by mal byť moderný systém energetického riadenia, ktorý by umožnil optimalizáciu výroby a spotreby elektriny na úrovni okresu, čiže rozlohou malého regiónu [23].

Cieľom projektu je aktívne zapojiť spotrebiteľov elektrickej energie do riadenia dopytu - teda o premenách spotrebiteľov na účastníkov alebo spotrebiteľov.

Projekt vedie EFRR - francúzska národná distribučná spoločnosť, pokrývajúca 95% rozvodných sietí v krajine. Spolu s tým je do projektu zapojených ďalších 21 energetických, výrobných a iných spoločností a organizácií.



Obr. 14 Rozčlenenie oblastí projektu NiceGrid [22]

Pre projekt bolo zvolené mesto Carros, ležiace vo vnútrozemí Azúrového pobrežia v juhovýchodnom Francúzsku, v blízkosti známeho letoviska Nice (odtiaľ je možné vyložiť názov projektu ako "sieť Nice" alebo anglicky "krásna sieť"). Z hľadiska zásobovania elektrickej energie je spoločnosť Carros charakteristická tým, že sa nachádza na okraji distribučnej siete a v súčasnosti disponuje veľkým podielom elektrickej energie z individuálnych zdrojov.

Projekt NiceGrid je rozčlenený do troch oblastí (obrázok č. 13):

- "Modrá oblasť" zahŕňa 1500 odberných miest mesta Carros pripojených k energetickým sieťam prostredníctvom štyroch stredných napäťových rozvodných vedení a vybavených zásobníkmi energie o celkovej výkonnosti 5 MW.
- "Oranžová oblasť" zahŕňa 200 spotrebiteľov vybavených fotovoltaiickými zdrojmi o celkovej špičkovej výkonnosti 2,5 MWp na testovanie rovnováhy medzi výrobou elektriny, spotrebou a uložením do zásobníkov energie.
- "Žltá oblasť" je skupina spotrebiteľov zodpovedajúca kapacite jednej verejnej rozvodnej siete predstavujúcej skúšobnú zónu izolovanú od distribučnej siete a využíva na svoju spotrebu len vlastnú elektrinu z fotovoltaiických zdrojov.

Zásobníky energie zapojené do systému tvoria:

- Jedna 560 kWh / 1,1 MW lítium-iónová batéria na primárnej rozvodni v Carrose, ktorá spája distribučnú sieť s prenosovou sieťou.
- Päť 310kWh / 100kW lítium-iónových batérií inštalovaných na piatich stredne a nízkonapäťových rozvodných zariadeniach, ktoré riadia špičkové výkony fotovoltaiických zdrojov a riadia obdobie špičkových potrieb. Súčasne umožňujú aj prevádzku v ostrovnom režime a efektívnejšie riadenie tokov energie a napätia v sieti.
- Sto 6,6 kWh / 3 kW lítium-iónových batérií inštalovaných v domácnostiach dobrovoľných účastníkov a uľahčujúcich priebeh spotreby energie.

Funkčnosť systému inteligentnej siete zaisťujú tri základné systémové prvky:

- Štandardná energetická sieť, t. j. elektrické vedenie, rozvody a transformátory.
- Automatizované systémy zabezpečujúce prepojenie medzi konvenčnými a obnoviteľnými zdrojmi elektrickej energie, zásobníky energie a spotrebiteľmi na optimalizáciu tokov elektriny v sieti. Tieto systémy komunikujú s energetickým dispečingom po špeciálnej komunikačnej sieti.

- Dispečingy využívajúce softvérové riešenia na zabezpečenie rovnováhy medzi výrobou a spotrebou energie, pre optimalizáciu tokov elektrickej energie v sieti a ďalšie súvisiace úlohy pri riadení energetických sústav.

Projekt Nice Grid začal v roku 2012 s trvaním štyri roky. Je financovaný čiastočne francúzskou vládou a čiastočne z európskych zdrojov v rámci 7. rámcového výskumného programu. Celkový rozpočet projektu predstavuje 30 mil. €.

Cieľom vykonaných testov je v praxi preskúmať možnosť zníženia špičky v energetickej sieti medzi 18. a 20. hodinou pomocou inteligentných elektromerov LINKY, ktoré patria k ERDF. Do testov, ktoré sa vykonávali dvakrát za týždeň, bolo dobrovoľne zapojených 130 domácností. Zníženie dopytu prebieha napr. formou odstavenia elektrického vykurovania počas 0,5 - 1,5 hodiny (podľa tepelnej izolácie v domoch) tak, aby nedošlo k útlmu pohodlia obyvateľstva. V iných prípadoch ide o nepoužívanie ďalších energeticky náročnejších spotrebičov [23].

Ako je zrejmé z projektu Nice Grid, Francúzsko je jednou z krajín, ktoré intenzívne skúmajú projekty inteligentných energetických sietí. Ďalším z nich je demonštračný projekt Smart Grid Vendée, ktorý pokrýva sieť Vendée s 282 obcami na západnom pobreží Francúzska.

Projekt je koordinovaný organizáciou SyDEV, ktorá vlastní 21 600 km distribučnej siete v regióne Vendée a je zodpovedná za dodávku energie z obnoviteľných zdrojov do siete. Ďalšími partnermi sú prevádzkovateľ distribučnej siete ERDF, prevádzkovateľ prenosovej siete RTE, výrobná spoločnosť Alstom, ACTI, COFELY INEO a Legrand a výskumná organizácia CNAM.

Tento projekt o celkovom rozpočte 28 mil. € bol zahájený v júni 2013 a trval celkom päť rokov. Jeho cieľom bolo sledovať možnosti využitia malých zdrojov elektrickej energie, napríklad solárnych a veterných a inovatívnych spôsobov jej využitia, napríklad pre elektromobilitu. Súčasťou projektu je aj hľadanie inovatívnych riešení pre riadenie energetiky budov a verejných služieb, napríklad verejného osvetlenia. S cieľom dosiahnuť efektívne riadenie rovnováhy medzi ponukou a dopytom po elektrickej energii. Pri využívaní malých premenlivých zdrojov energie je cieľom týchto projektov efektívne riadiť náklady a užívateľsky zaujímavé obchodné modely [24] .

2.9. Projekty Inteligentných sietí v Nemecku

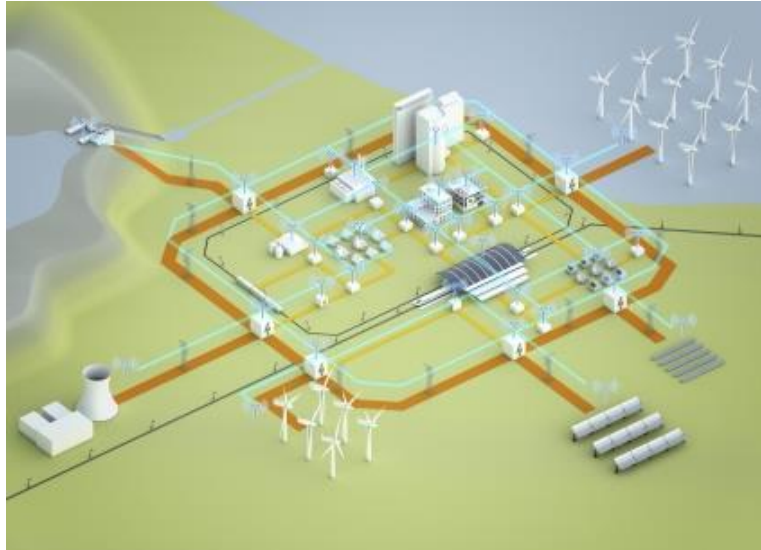
Politická požiadavka pre nemeckú energetiku na rozsiahle využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ktorých výkon je v kontinentálnych európskych podmienkach veľmi premenlivý, vedie k intenzívnemu vývoju koncepcie "Inteligentných sietí". Uplatnenie tejto koncepcie v praxi sa teraz skúšobne pripravuje v osemtisícovom nemeckom meste Wachtendonk na Dolnom Rýne.

Koncepcia „inteligentných sietí“ predpokladá zapojenie ICT technológií do miest výroby, prenosu, rozvodu a spotreby elektriny s cieľom merať a predvídať spotrebu a výrobu elektrickej energie v reálnom čase a obe navzájom nepretržite zladovať skrze zapájanie alebo odpájanie zdrojov. V súvislosti s inteligentnými sieťami sa hovorí o "obojsmernom toku energie", ide v skutočnosti skôr o toky dát pre zabezpečenie rovnováhy v sieti.

Príkladom je skúšobný projekt energetickej spoločnosti Stadtwerke Krefeld AG a priemyselného výrobcu Siemens. Cieľom je vyskúšať praktické fungovanie technologických zariadení pre inteligentné siete v spomínanom meste Wachtendonk, ktorého 8000 obyvateľov dnes získava 80% elektrickej energie z fotovoltaiických panelov alebo iných obnoviteľných zdrojov.

Projektu predchádzala modernizácia mestskej energetickej siete, ktorej súčasťou bola inštalácia dátových kanálov, zatiaľ nepoužívaných, a prispôbenie 52 z celkom 105 miestnych rozvodní pre umožnenie inštalácie zariadení pre Inteligentné siete.

Teraz sa u viac ako stovky domácností vo Wachtendonk a na mestských rozvodniach inštalujú "inteligentné" elektromery od Siemensu. Tieto elektromery majú schopnosť "snímkovania" situácie v sieti a poskytovania údajov o spotrebe elektrickej energie. Namerané hodnoty sú prenášané do "inteligentných" rozvodní, pozostávajúcich zo stredno-napäťových prepínačov, prispôsobivých miestnych sieťových transformátorov, systémov diaľkového ovládania, sieťových ochrán a prenosových systémov. Senzory spolu s dátovou sieťou zaistia "chytré" počínanie týchto rozvodní tak, že miestne transformátory podľa okamžitej situácie stabilizujú sieť na rozhraní medzi vysokým a stredným napätím. Napríklad v bezoblačných dňoch môžu ukázať dáta z "inteligentných" elektromerov, že v sieti stúpa napätie, zatiaľ čo spotreba je malá. Znamená to, že fotovoltaiické elektrárne dodávajú do siete neúmerne veľa energie, a "múdre" transformátory preto pružne vyrovnávajú napätia v sieti [25].



Obr. 15 Inteligentná sieť Wachtendonk [25]

Ďalšie projekty realizované v Nemecku:

- ADELE Project AA-CAES – projekt sa venuje využitiu stlačeného vzduchu ako vyrovnávacieho potenciálu pre elektrinu vyrobenú z OZE. Cieľom je vyvinúť adiabatickú elektrárňu na stlačený vzduch.
- E-DeMa – projekt na vytvorenie otvoreného rozhrania pre elektronický energetický trh s prepojením informačných, komunikačných technológií a energie pre dlhodobý rozvoj trhu s elektrinou.
- Smart Nord – projekt rozvíja koncept na koordinované a distribuované poskytovanie činného výkonu, jalového výkonu a udržiavanie výkonu na úrovni DS [26].

2.10. Projekty inteligentných sietí v Belgicku

Linear – projekt zameraný na riadenie spotreby elektrickej energie s integrovanými ťažko predvídateľnými zdrojmi, tepelné čerpadlá, uskladnenie elektrickej energie.

Projekt LINEAR (Miestne inteligentné siete a energeticky aktívne regióny) sa zameriava na zavedenie a zavádzanie inovatívnych technológií inteligentnej siete v EÚ v regióne Flámsko a jeho cieľom je ďalší prelom, vývoj a nasadenie týchto riešení. Pozostáva z výskumnej zložky a predstavuje veľký obytný pilotný projekt so zameraním na aktívne riadenie domáceho zaťaženia na strane dopytu.

LINEAR je rozsiahly výskum a demonštrácia projektu zameraná na zavedenie inteligentných sietí a ďalších technológií konkrétne na stratégie aktívneho dopytu, na obytné účely priestorov vo Flámsku v Belgicku. Tento región vzbudzuje osobitný záujem vďaka svojej vysokej životnej úrovni

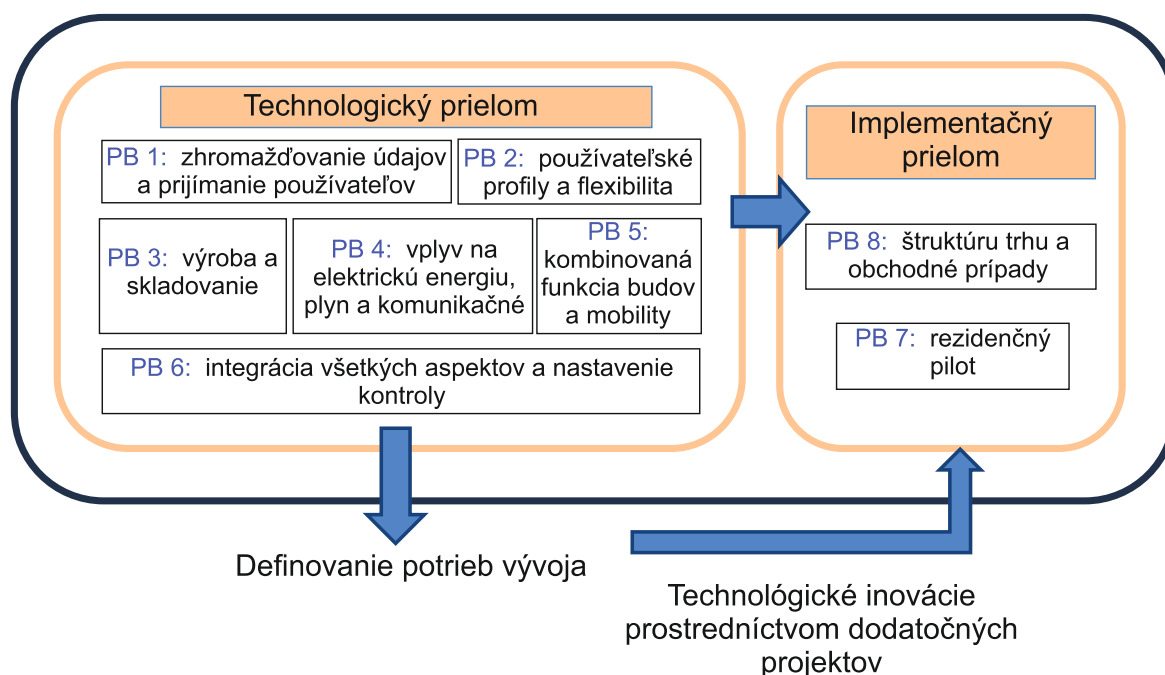
a vysokej hustoty obyvateľstva. Pretože má tento región málo ekonomicky využiteľné prírodné zdroje, ceny energií sú vysoké.

V kombinácii s európskymi cieľmi 20-20-20 Strategický plán pre energetické technológie (SET) predložený Radou Európskej komisie podporil silnú motiváciu miestnej vlády, priemyslu a domácich používateľov skúmať nové technológie. Očakáva sa, že za pár rokov rastúcu integráciu distribuovaných zdrojov energie vážne ovplyvní fungovanie distribúcie, pokiaľ sa do tej doby nevykonajú aktívne stratégie dopytu. Preto región Flanders, ktorý možno považovať za jedno veľké mesto, je ideálnym testovacím miestom na uskutočnenie štúdie inteligentných sietí. Projekt LINEAR sa zameriava na technologické ako aj na prelomové zavádzanie techník aktívneho dopytu. Jeho zameranie je dvojaké. Na jednej strane sa projekt zaoberá úsilím v oblasti výskumu a vývoja potrebného na nasadenie aktívnych dopytových technológií. Na druhej strane sa tiež zameriava na zavádzanie týchto technológií do terénneho testu zariadením rezidenčného pilotného projektu.

Projekt sa začal v máji 2009, čiastočne financovaný z prostriedkov flámskej vlády pre akademické a výskumné ústavy (ESAT / ELECTA-KU Leuven, VITO, IBBT A IMEC). Okrem toho niekoľko priemyselných partnerov vrátane Belgacom, Eandis, EDF-Luminus, Fifthplay, Infrax, Laborelec, Miele, Siemens, Telenet a Viessman investuje a aktívne sa podieľa na projekte a tiež dozerá na pracovný plán, činnosti a na relevantnosť výstupov a kvalitu. V porovnaní s ostatnými európskymi iniciatívami, ako napríklad ADDRESS a EU-DEEP, LINEAR je jedinečný mnohými spôsobmi:

- 1) Hlavný dôraz sa kladie na implementáciu systému automatizovaných technológií aktívneho dopytu v rozvodnej sieti a terénnu skúšku súčasťou približne 250 koncových používateľov.
- 2) Projekt spája prístup orientovaný na zákazníka so zameraním na technologický výskum, kde každý aspekt je dobre podporený rozsiahlym ekonomickým rámcom. Výmena znalostí a spolupráca medzi týmito tromi stanoviskami predstavuje potrebné prostriedky na dosiahnutie úspechu realizácie aktívnej potreby v reálnom terénnom procese.
- 3) Spolupráca príslušných zainteresovaných strán umožňuje zoskupovanie potrebných kompetencií a skúseností v oblasti inteligentných sietí. Keďže prevádzkovatelia distribučných sústav sú tiež zapojení do projektu, prepojenie s ich inteligentným meraním poskytuje detailný prehľad o užívateľských profiloch viac ako 1000 koncových používateľov.

Jedným z cieľov LINEAR na vysokej úrovni je definovať rozvojové potreby umožňujúce zavedenie aktívnych dopytových techník a následne ich iniciovať do technologických inovácií v ďalších projektoch. Navyše je to zámer vytvoriť prelomový pokrok v implementácii aktívneho dopytu po terénnej skúške a vybudovať tak jedinečnú výskumnú infraštruktúru vo Flámsku založenú na rezidenčnom testovacom mieste. Metodika použitá v LINEAR je zobrazená na obrázku č. 15. V zásade existujú dve hlavné zložky: jedna sa zameriava na výskum a vývoj - ktorého cieľom je technologický rozvoj prielomov - a jeden sa zameriava predovšetkým na prelomom zavedení obytného (rezidenčného) pilota.



Obr. 16 Hlavný prehľad štruktúry projektu LINEAR

Výskumná časť musí viesť k definovaniu konkrétneho materiálu technologických koncepcií pre inteligentné dodávky energie. Ako je znázornené na predchádzajúcom obrázku, štruktúra projektu pozostáva z niekoľkých pracovných balíkov, z ktorých každý sa zameriava na špecifický aspekt. Najprv sa zhromaždia profily používateľov a zariadení monitorovaním v plnom rozsahu. Tieto profily sú na základe výsledkov prepojené s rôznymi typmi používateľov, založené na otázkach od koncových používateľov, na štúdium používateľskej akceptácie systému inteligentných sietí. Po druhé, profily zariadení sú prepojené na využitie energie v budove a flexibilitu budovy rôznych používateľov a zariadení.

Ďalšia výskumná téma je kombinácia distribuovaných generačných jednotiek, ako napr. fotovoltaičné systémy a skladovanie, berúc do úvahy tepelné ako aj elektrické skladovanie. Okrem toho vplyv zvýšenia DER na súvisiace siete (elektrina, komunikácia, plyn), vrátane možnosti rekonfigurácie siete vo Flámsku. A nakoniec, žiadosť zapojiť hybridné elektrické vozidlá

ako skladovacie prostriedky. Poznatky o týchto rôznych aspektoch sú kombinované s cieľom definovať optimálne kombinácie a stratégie kontroly nákladových, skladovacích a výrobných jednotiek a integrovať ich do jedného odhadu potenciálu pre meracie miesta a formulovať všeobecné rady pre iné projekty. Tento proces je založený na vývoji algoritmov a simulačných nástrojov na podporu testu na mieste. S cieľom podnietiť realizačný prielom a demonštráciu koncepcie inteligentných sietí v existujúcej Flámskej rezidenčnej oblasti.

Toto pilotné miesto je plne funkčné od roku 2013. V rámci projektu je realizované aktívne riadenie dopytu na približne 250 budovách, vrátane nepredvídateľných zdrojov energie. Obidva výskumy a realizačná časť projektu sú neustále v blízkosti a spolupracujú s pracovným balíkom pre energetické trhy. Tento pracovný balík hodnotí trhové aspekty, ako sú súčasné a budúce štruktúry trhu, regulácia a obchodné prípady pre aktívny dopyt [29].

Ďalšie projekty v Belgicku:

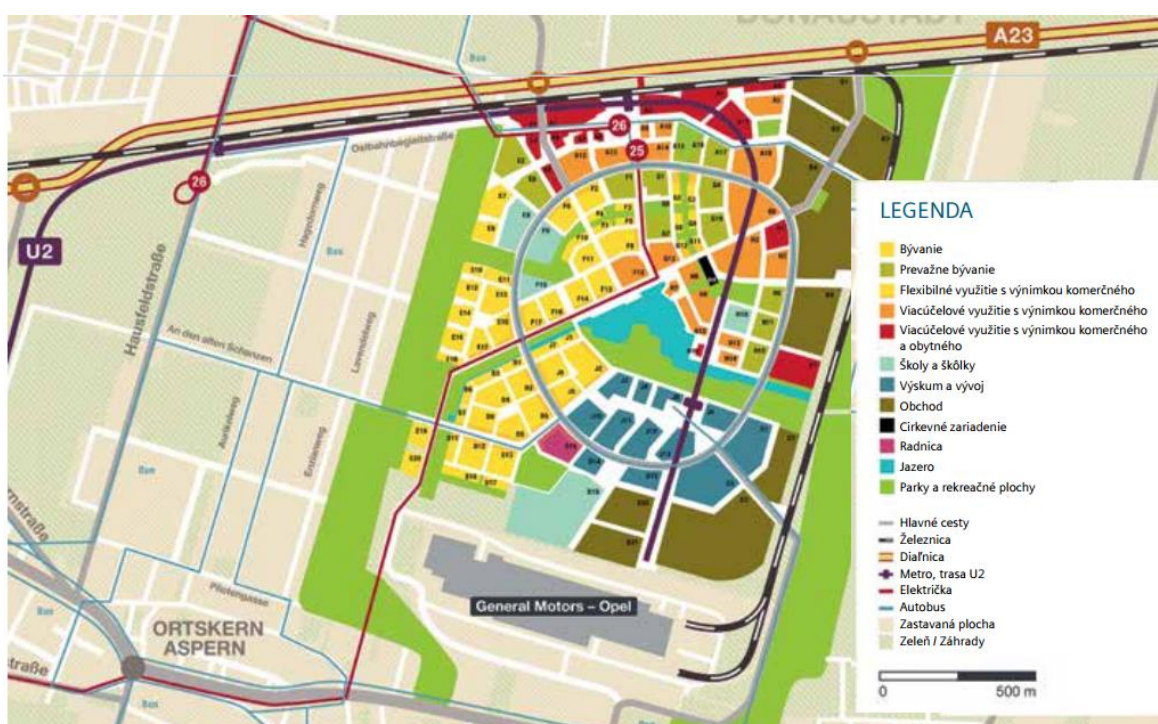
- Meta-PV – prvý projekt na svete, kde sa testuje poskytovanie elektrických výhod z fotovoltických systémov vo veľkom rozsahu.
- Meter-ON – projekt sa radí medzi koordinačné a podporné činnosti, ktorých cieľom je riadiť vykonávanie riešení inteligentného merania v Európe spôsobom zberu skúseností [26].

2.11. Projekty Inteligentných sietí v Rakúsku

Zaujímavý futuristický urbanistický projekt vzniká neďaleko Viedne. Rakúska metropola plánuje postaviť mesto, kde sa budovy a infraštruktúra prepoja do takej miery, že vytvoria veľké synergické efekty.

Nové mesto nesie názov Aspern a vznikne na severovýchodnom okraji Viedne na ploche bývalého letiska s rozlohou 240 hektárov. Ide o akési živé laboratórium, kde sa uplatnia energeticky úsporné technológie a bude sa „ladiť“ ich súhra. Aspern je jeden z najväčších európskych developerských projektov a jeho tvorcovia predpokladajú, že bude obydľím pre dvadsaťtisíc ľudí. Vedci, projektanti, architekti a stavitelia si tu v praxi overia, ako optimálne nastaviť interakciu budov, obnoviteľných zdrojov energie, lokálnych energetických sietí, maximalizovať ich účinnosť a súčasne minimalizovať energetickú náročnosť. [28]

Projekt Aspern, ktorý bol spustený v roku 2018 tvorí 3 420 bytových jednotiek a školský kampus vrátane internátov pre študentov. Okolo roku 2028 by malo mať mesto zhruba 8,5 tisíce bytových jednotiek, komerčný komplex a výskumné centrum. K dispozícii bude dvadsaťtisíc pracovných miest. To všetko zhruba 25 minút jazdy metrom z centra Viedne. Krok pre kvalitu života v Asperne však nie je len ďalším veľkým developerským projektom. Od všetkých ostatných sa odlišuje nedávno podpísanou päťročnou joint venture spoluprácou v hodnote 40 miliónov eur medzi mestom Viedeň a spoločnosťami Wien Energie a Siemens (na výskume sa bude podieľať Siemens CT a divízia Inteligentných sietí a Building Technologies). Aspern bude nasledujúce roky slúžiť ako „skúšobný priestor na integráciu technológií, ktoré podporujú úsporu energie a udržateľný mestský rozvoj. Projekt je mimoriadne významný aj pre samotnú Viedeň, ktorá si určila cieľ minimalizovať environmentálnu stopu a súčasne pokračovať vo zvyšovaní kvality života. [28]



Obr. 17 Projekt Inteligentných sietí v Aspern-e [28]

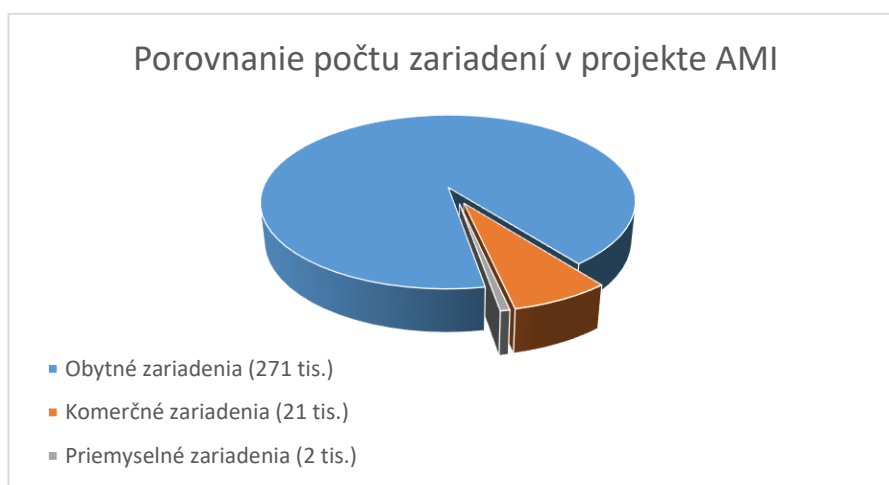
Odborníci považujú za najdôležitejšie dostať budúce energetické potreby pod kontrolu: „Ide najmä o múdre riešenia pre domácnosti a overenie spôsobov, ako centralizovaný rozvod tepla kombinovať s novými, decentralizovanými dodávkami tepla.“ Viedeň je podľa rebríčka OSN mestom s najlepšimi podmienkami pre život a figuruje tiež na prvom mieste v Top 10 Smart Cities on the Planet. Týmto projektom si chce svoju dominantnú pozíciu ešte viac upevniť. Vznikajúce mesto bude vybavené radom technológií na riadenie inteligentných budov. Riešenia pre siete nízkeho napätia (systém distribúcie elektrickej energie z transformátorov do jednotlivých budov

a obytných jednotiek) doplní mestské dátové centrum (City Data Center) pre riadenie „big data“. Všetky tieto systémy, samozrejme, budú schopné svoje dáta zdieľať. [28]

Tento projekt inteligentných sietí začína s energetickými sieťami – integruje budovy a výrobu energie do jednej siete – a usiluje sa o postupné rozširovanie multimodálnych energetických systémov. Aspern je preto ideálnym miestom na uvedenie nových produktov do reálneho sveta a zároveň na predpovedanie potrieb nových trhov. Veľké systémy, napríklad vykurovanie, budú v novom meste vybavené senzormi, ktoré umožnia sledovať využívanie energie. Senzory bude mať aj celá elektrická sieť Aspernu, aby bolo možné v reálnom čase sledovať jej správanie a všetky dáta posilať do City Data Center. K technologickým novinkám aspernského „laboratória“ patrí aj model, kde cenová rentabilita elektrickej siete nebude založená na klasickom systéme ponuky a dopytu. Snaha smeruje k maximálnej možnej lokálnej výrobe i spotrebe elektrickej energie, ktorú by malo umožniť jej miestne ukladanie. Ďalšou úrovňou je preto vytvorenie inteligentnej nízko napäťovej siete. Ak sa to podarí, podstatne to zjednoduší koordináciu distribúcie energie medzi budovami a rozvodnými sieťami [28].

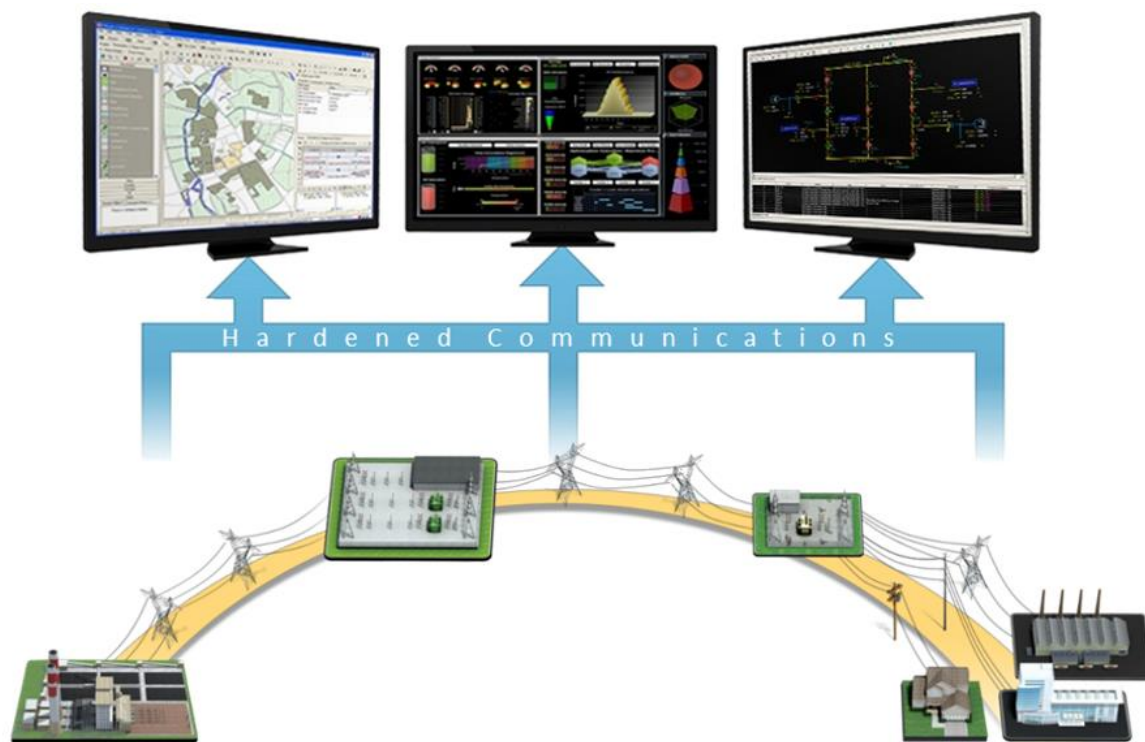
2.12. Projekt inteligentných sietí v Poľsku

AMI – Pokročilá meracia infraštruktúra (AMI) je integrovaný systém inteligentných meracích systémov, komunikačných sietí a systémov na správu dát, ktorý umožňuje obojsmernú komunikáciu medzi nástrojmi a zákazníkmi. Zákaznícke systémy zahŕňajú domáce displeje, domáce siete, systémy na správu energie a ďalšie zariadenia zákazníckeho zariadenia, ktoré umožňujú inteligentné funkcie rozvodných sietí v obytných, komerčných a priemyselných zariadeniach. Tento projekt začal v roku 2010 a ukončený bol v roku 2017. Výsledkom bolo okrem iného zber dát v 15 minútových intervaloch, platenie len za energiu ktorá bola spotrebovaná a nie len odhadovaná, zmena pohľadu spotrebiteľov na spotrebu energie a iné. [31].



Obr. 18 Porovnanie počtu obytných, komerčných a priemyselných zariadení v projekte AMI [31]

UPGRID - Projekt UPGRID sa začal začiatkom roka 2015 v rámci programu H2020 a je vyvíjaný európskym konzorciom zloženým z 19 partnerov zo 7 európskych krajín: Španielsko, Portugalsko, Poľsko, Švédsko, Spojené kráľovstvo, Francúzsko a Nórsko.



Obr. 19 Princíp projektu UPGRID [32]

Projekt zahŕňa 4 demonštrácie, ktoré boli nasadzované od apríla 2015 do júna 2017 v oblasti Bilbao na severe Španielska, Parque das Nações v Lisabone (Portugalsko), Åmål v Dalsland na juhu Švédska a Gdynia v Pomoranskom regióne (Poľsko).

Projekt rozvíjal a overoval riešenia, ktoré umožnia implementáciu pokročilých funkcií nad existujúcou technológiou a vytvorí skutočne integrovaný inteligentný systém. S týmto projektom sa očakáva zlepšenie monitorovania a kontrolovateľnosti sietí nízkeho (NN) a vysokého napätia (VN) ako spôsobu predvídania technických problémov spojených s rozsiahlou integráciou DER (Distributed Energy Resources), čo prinesie aj koncových používateľov bližšie k prevádzke a plánovaniu systému.

Demonštrácia poľského projektu sa nachádza v meste Gdynia, ktoré je mestom v pomoranskom regióne. Oblasť sa vyznačuje 55 VN / NN stanicami, 38 km vedení vysokého napätia a 102 km vedené nízkeho napätia, ktoré zásobujú približne 14 700 zákazníkov.

3. Analýza budovania inteligentných sietí

Na výskum inteligentných sietí sa je možné pozeráť z rôznych pohľadov, či už z pohľadu použitých prostriedkov alebo z pohľadu dosiahnutia nejakého cieľa. Každopádne je možné zvoliť viacero pohľadov na výskum inteligentných sietí. V tejto kapitole sú opísané viaceré pohľady, ktoré viedli k vytvoreniu modelov opísaných v štvrtej kapitole.

Mikrosieť sa považuje za inovatívnu technológiu, ktorá pomáha integrovať obnoviteľné zdroje energie do distribučných systémov a poskytuje ďalšie výhody rôznym zúčastneným stranám, napríklad kompenzáciu investícií do infraštruktúry a zvýšenie spoľahlivosti miestneho systému. Tieto systémy si však vyžadujú ďalšie investície do regulačnej infraštruktúry, a preto je potrebné kvantifikovať dodatočné náklady a očakávané prínosy, aby sa stanovilo, či je investícia ekonomicky uskutočniteľná. Dokument [37] navrhuje metodiku systematizácie a reprezentácie výhod a ich vzájomných vzťahov založených na paradigme UML Use Case, ktorá umožňuje reprezentáciu komplexných systémov v stručnej a elegantnej podobe. Táto metodika je demonštrovaná stanovením ekonomickej uskutočniteľnosti mikrosiete a distribuovanej výroby inštalovanej na typickom kanadskom modeli vidieckych distribučných systémov ako prípadovej štúdie. Štúdia sa snaží minimalizovať náklady na energiu dodávanú komunite, berúc do úvahy fixné náklady spojené s mikrovrstvami a distribuovanou výrobou a navrhuje výhody pre rôzne zúčastnené strany. [33]

Technické a ekonomické prínosy, ktoré sa získavajú z mikrosietí, sú vo všeobecnosti klasifikované ako zlepšená účinnosť, znížené emisie a zlepšená kvalita a spoľahlivosť energie. Priame výhody možno rozdeliť do dvoch kategórií: miestne prínosy, ktoré sú výsledkom vnútornej prevádzky mikrosiete a širšie prínosy vyplývajúce zo spôsobu, akým mikrosieť interaguje s „makrosieťou“ alebo väčším energetickým systémom. Medzi miestne výhody patrí zvyšovanie spoľahlivosti energie dodávanej zákazníkom v rámci a mimo mikrosiete, zvyšovanie kvality energie zmierňovaním napäťových výkyvov a poklesov, znižovanie skreslenia a nežiaducich harmonických, zvyšovanie účinnosti znižovaním distribučných strát a poskytovaním kombinovanej výroby tepla a energie. Participácia záťaže a výroby v mikrosieti ako jedného spolupracujúceho subjektu umožňuje ďalšie ekonomické výhody vrátane kolektívnej optimalizácie nákladov založených na účasti na trhu s elektrinou, poskytovania doplnkových služieb do siete (napríklad regulácia jalového výkonu a napätia, rezervná energia a schopnosť štartu z tmy, ako aj potenciál pracovať vo väčšom rozsahu s cieľom poskytnúť rezervy na riadenie frekvencie a znížiť alebo kompenzovať investície do rozvodní a napájacích vedení prevádzkovateľom siete. Nepriame prínosy plynúce z prevádzky mikrosiete môžu mať širší dosah, pokiaľ ide o ich vplyvy, ale tiež ich je ťažké kvantifikovať. Zahŕňajú environmentálne prínosy, ako napríklad zníženie emisií skleníkových plynov

a iných znečisťujúcich látok integráciou čistých zdrojov energie do siete, zníženie fyzickej stopy potrebnej na výrobu energie, zníženie závislosti na externých palivových zdrojoch a cenách a tvorba zamestnania v lokalite mikrosiete.[37]

3.1. Návrh inteligentnej siete

Na základe požadovaných vlastností budúcej inteligentnej siete je potrebné vyhodnotiť rozdiely v charakteristikách súčasnej energetickej siete a navrhovanej inteligentnej siete, aby sa zdôraznila charakteristika siete a výzvy. Keď bude inteligentný sieťový systém plne vyvinutý, umožní zapojenie zákazníka, vylepší výrobu a prenos pomocou nástrojov, ktoré umožnia minimalizovať zraniteľnosť systému, odolnosť, spoľahlivosť, primeranosť a kvalitu energie. Tréningové nástroje a rozvoj kapacít na riadenie a prevádzku sietí a pripraví nové pracovné príležitosti, ktoré budú súčasťou požadovaných cieľov vývoja inteligentnej siete, a ktoré bude možné testovať pomocou testovacieho zariadenia. Na dosiahnutie rýchleho nasadenia sietí je potrebné, aby testovacie stredisko a výskumné centrá pracovali naprieč disciplínami a aby vybudovali prvú generáciu inteligentných sietí. Zameraním sa skôr na bezpečnostné kontroly ako na jednotlivé zraniteľné miesta a hrozby môžu spoločnosti poskytujúce služby a predajcovia technológií inteligentných sietí opraviť základné príčiny, ktoré vedú k zraniteľnostiam. Bezpečnostné kontroly je však zložitejšie a niekedy nemožné pridať do existujúceho systému a v ideálnom prípade by sa mali integrovať od začiatku, aby sa minimalizovali problémy s implementáciou. Prevádzková efektívnosť sa bude pravidelne hodnotiť z dôvodu ochrany inteligentnej siete pred vyvíjajúcimi sa hrozbami. [33]



Obr. 20 Kľúčové aspekty pri navrhovaní inteligentnej siete

Aby sa zvýšila účinnosť a spoľahlivosť, musí inteligentná sieť spĺňať niekoľko pravidiel:

1. Uspokojiť potrebu väčšej integrácie digitálnych systémov pre zvýšenie efektívnosti energetického systému. V reštrukturalizovanom prostredí umožniť neregulovaný elektrotechnický priemysel založený na obnove trhu bez obmedzení systému a sezónnych a denných výkyvoch dopytu. Konkurenčné trhy zvyšujú dodávku energie medzi regiónmi, čo ešte viac zaťažuje súčasnú starnúcu sieť a vyžaduje aktualizované kontroly v reálnom čase.

2. Riešenie preťaženia siete, zvýšiť účasť zákazníkov a zníženie neistoty pri investovaní. To si bude vyžadovať zvýšenie schopnosti siete spoľahlivo zvládnuť dopyt.

3. Bezproblémová integrácia systémov obnoviteľnej energie (OZE) a distribuovanej výroby. Výrazný nárast integrácie nákladovo konkurencieschopných technológií distribuovanej výroby ovplyvňujúci energetický systém.

3.1.1. Úlohy a funkcia zúčastnených strán

Rovnako ako v pôvodnom systéme sa musí kritická pozornosť venovať identifikácii zainteresovaných strán a tomu, ako budú fungovať pri rozvoji siete. Zainteresované strany sa pohybujú od výrobcov po spotrebiteľov energie, tvorcov politík, poskytovateľov technológií a výskumných pracovníkov. Dôležitou súčasťou realizácie inteligentnej siete je kompletný nákup prvkov alebo zapojenie všetkých zainteresovaných strán.



Obr. 21 Zúčastnené strany a ich funkcie

Tvorcovia politiky sú nadnárodnými a národnými regulačnými orgánmi zodpovednými za zabezpečenie súdržnosti politík v záujme úsilia o modernizáciu a sprostredkovanie potrieb všetkých strán. Hlavným prínosom rozvoja inteligentných sietí pre tieto zúčastnené strany je zníženie cien energie, znížená závislosť od zahraničnej komodít, zvýšená účinnosť a spoľahlivosť dodávky energie.

Obrázok zobrazuje kategórie zainteresovaných strán. Ďalšími účastníkmi vývoja inteligentnej siete sú vládne agentúry, výrobcovia a výskumné ústavy.

3.1.2. Komunikácia a meranie

Pretože väčšina existujúcich prenosových a distribučných systémov vo svete stále používa staršiu digitálnu komunikačnú a riadiacu technológiu, vyvíjajú sa pokročilé komunikačné systémy pre automatizáciu distribúcie, ako je jednotka vzdialených terminálov a systém SCADA, ako aj inovatívne nástroje a softvér, ktorý bude komunikovať so spotrebiteľmi v domácnosti. V konečnom dôsledku vysokorychlostné, plne integrované obojsmerné komunikačné technológie umožnia inteligentnej sieti byť dynamickou, interaktívnou mega infraštruktúrou na výmenu informácií a energie v reálnom čase.

Táto technológia slúži na meranie, monitorovanie a kontrolu v reálnom čase v inteligentnej sieti a zároveň hrá zásadnú úlohu pri fungovaní inteligentnej siete. Otázky noriem, kybernetická bezpečnosť a interoperabilita, ktorými sa táto práca podrobnejšie nezaobera, majú rozhodujúci vplyv na komunikáciu. Je potrebné formalizovať normy a protokoly, ktoré sa budú presadzovať pre zabezpečený prenos kritických a vysoko citlivých informácií v rámci komunikačnej schémy. Existujúce meracie, monitorovacie a kontrolné technológie budú samozrejme zohrávať úlohu v schopnosti inteligentných sietí, stanovovaní vhodných noriem, počítačovej bezpečnosti a interoperability, čo si vyžaduje dôkladné preskúmanie, napríklad formalizáciu štandardov a protokolov na bezpečný prenos kritických a vysoko citlivých informácií v rámci navrhovanej komunikačnej schémy. Prostredie plug-and-play otvorenej architektúry bude okrem toho poskytovať bezpečné sieťové inteligentné senzory a riadiace zariadenia, riadiace centrá, systémy ochrany a používateľov. Možné káblové a bezdrôtové komunikačné technológie môžu zahŕňať:

1. Multiprotocol Label Switching (MPLS): vysokovýkonné telekomunikačné siete na prenos údajov medzi sieťovými uzlami.
2. Celosvetová interoperabilita pre mikrovlnný prístup (WiMax): bezdrôtová telekomunikačná technológia pre prenos dát z bodu na viac bodov pomocou technológie Internetu.
3. Širokopásmové pripojenie cez elektrické vedenie (BPL): komunikácia prostredníctvom elektrického vedenia s prístupom na internet.
4. Wi-Fi: bežne používaná bezdrôtová lokálna sieť.

Medzi ďalšie technológie patrí optické vlákno, sieť a viacbodové šírené spektrum. Päť charakteristík technológie inteligentných sietí je:

1. veľká šírka pásma,
2. digitálna komunikácia s podporou IP (uprednostňuje sa podpora IPv6),
3. šifrovanie,
4. počítačová bezpečnosť
5. a podpora a kvalita služieb a Voiceover Internet Protocol (VoIP).

Spôľahlivá komunikácia hardvéru a softvéru bude vyžadovať konfiguráciu niekoľkých typov sieťových topológií. Nižšie je uvedený prehľad najpravdepodobnejších kandidátov. Lokálna sieť pozostáva z dvoch alebo viacerých komponentov a veľkokapacitného diskového úložiska (súborové servery), ktoré umožňujú každému počítaču v sieti prístup k spoločnej skupine pravidiel. LAN má softvér operačného systému, ktorý interpretuje vstupy, inštruuje sieťové zariadenia a umožňuje používateľom navzájom komunikovať. Každé hardvérové zariadenie (počítač, tlačiareň atď.) V sieti LAN je uzol. LAN môže prevádzkovať alebo integrovať až niekoľko stoviek počítačov. LAN kombinuje vysokú rýchlosť a geografické rozloženie 1 - 10 km. LAN môže tiež pristupovať k iným LAN alebo sa zapojiť do siete typu WAN – Wide Area Networks. LAN s podobnou architektúrou sú mosty, ktoré pôsobia ako prenosové body, zatiaľ čo LAN s rôznymi architektúrami sú brány, ktoré prevádzajú údaje pri prechode medzi systémami.

LAN je technológia zdieľaného prístupu, čo znamená, že všetky pripojené zariadenia zdieľajú spoločné komunikačné médium, ako napríklad koaxiálny, krútený pár alebo kábel z optických vlákien. K sieti sa pripája zariadenie fyzického pripojenia, karta sieťového rozhrania (NIC). Sieťový softvér riadi komunikáciu medzi stanicami v systéme.

3.1.2.1. Topológie LAN

Topológie LAN definujú spôsob organizácie sieťových zariadení. Štyri najbežnejšie architektonické štruktúry sú:

1. Topológia zbernice: architektúra lineárnej LAN, v ktorej prenos zo sieťovej stanice rozširuje dĺžku média a je prijímaný všetkými ostatnými stanicami, ktoré sú k nemu pripojené.
2. Topológia kruhovej zbernice: séria zariadení navzájom prepojených prostredníctvom jednosmerných prenosových spojení, ktoré tvoria jednu uzavretú slučku.
3. Topológia hviezd: koncové body v sieti sú spojené so spoločným centrálnym uzlom alebo prepínačom (switchom) pomocou vyhradených spojení.

4. Topológia stromu: identická s topológiou zbernice s tým rozdielom, že sú možné aj vetvy s viacerými uzlami.

3.1.2.2. Technológie monitorovania, smartmetrov a merania

Prostredie inteligentnej siete vyžaduje aktualizáciu nástrojov na snímanie a meranie na všetkých úrovniach siete. Tieto komponenty poskytnú údaje potrebné na monitorovanie siete a trhu s energiou. Snímanie poskytuje detekciu výpadkov a reakciu na nich, vyhodnocuje zdravie zariadenia a integritu siete, eliminuje odhady meračov, poskytuje ochranu pred krádežami energie, umožňuje spotrebiteľovi výber, DSM a rôzne monitorovacie funkcie siete. Pokiaľ ide o meranie, nové digitálne technológie využívajúce obojsmernú komunikáciu, rôzne vstupy (cenové signály, denné tarify, regionálna dopravná organizácia, obmedzenia na zmiernenie preťaženia), rôzne výstupy (údaje o spotrebe v reálnom čase, kvalita energie, elektrické parametre), schopnosť pripojenia a odpojenia a rozhrania s generátormi, prevádzkovateľmi sietí a zákazníkymi portálmi na zlepšenie merania spotreby. Toto je podporené zvýšeným využitím digitálnej elektroniky na meranie, rozvojom elektromerov na úrovni zákazníka a inštaláciou rozsiahleho monitorovacieho systému na pokročilé monitorovanie a ochranu utilít. Čím sa zvyšuje využívanie digitálnej elektroniky na meranie, tým sa zvyšuje pokrok vo vývoji elektromera na úrovni inštalovanej u zákazníka.

Systém WAMS

Systémy monitorovania veľkého priestoru (WAMS) sú navrhnuté spoločnosťami pre optimálnu kapacitu prenosovej siete a na zabránenie šírenia porúch. Poskytovaním informácií o stabilite a prevádzkových bezpečnostných rezervách v reálnom čase poskytuje WAMS včasné varovania pred poruchami systému na prevenciu a zmiernenie výpadkov v celom systéme. WAMS využívajú senzory distribuované po sieti v spojení so satelitmi GPS na presné časové označovanie meraní v prenosovom systéme. Integrované senzory sú prepojené s komunikačnou sieťou. Fázorové merania sú súčasťou technológiou, ktorá je súčasťou najlepších návrhov inteligentných sietí.

Inteligentné meracie systémy

Inteligentné meracie systémy majú dve funkcie: poskytovanie údajov o spotrebe energie zákazníkom (koncovým používateľom), ktoré pomáhajú kontrolovať náklady a spotrebu; odosielanie údajov do obslužného programu na riadenie faktora zaťaženia, požiadavky na špičkové zaťaženie a vývoj cenových stratégií na základe informácií o spotrebe a tak ďalej. Automatické čítanie údajov je ďalšia súčasť IMS a obojsmerných komunikačných meracích prístrojov a obojsmernej komunikácie medzi zákazníkmi. Vývoj pokročil natoľko, že IMS v súčasnosti môžu

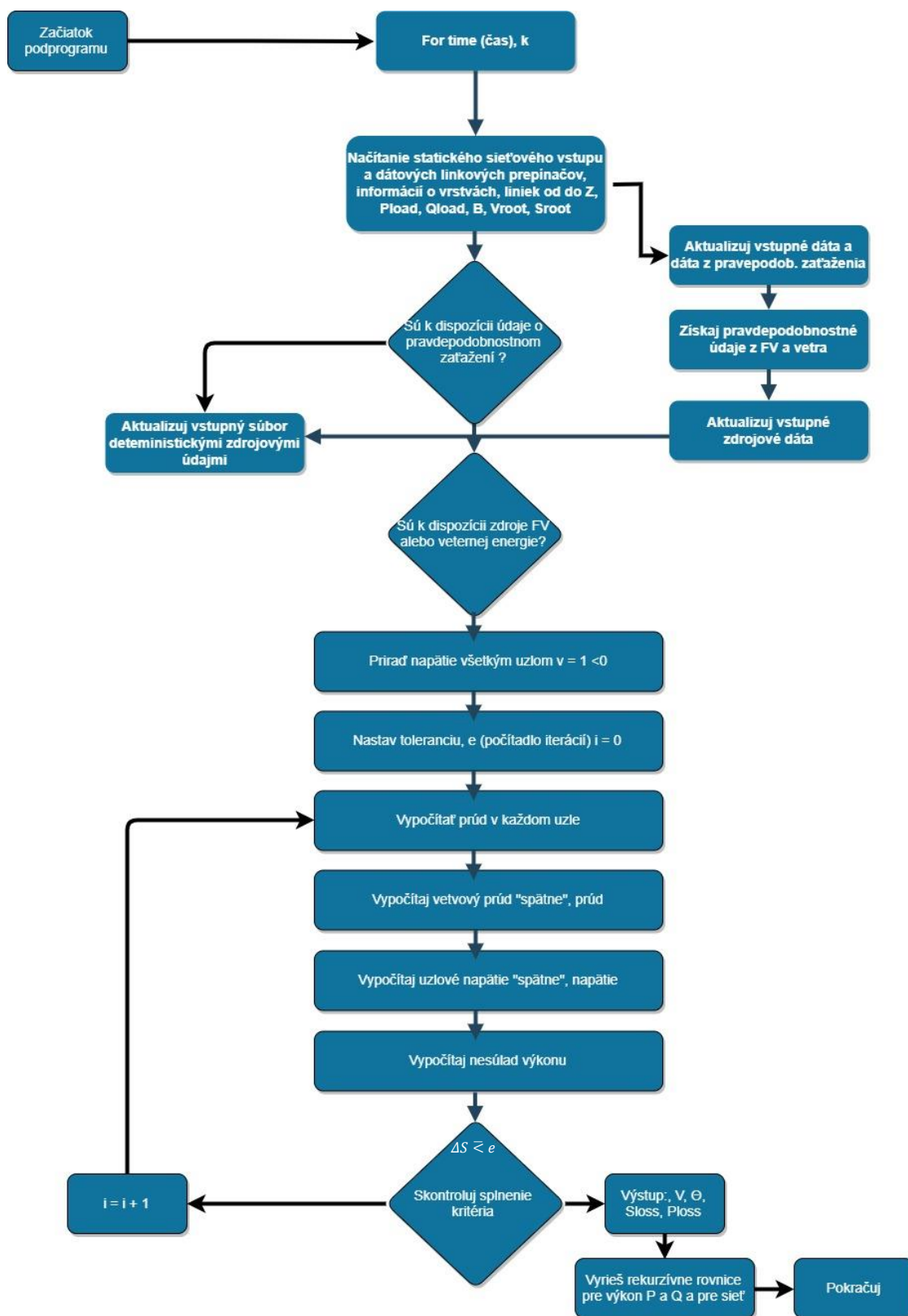
merať spotrebu elektrickej energie, vody a plynu súčasne. IMS informujú zákazníkov služieb o tom, kedy a koľko kilowatthodín energie využívajú. Výsledkom sú okrem presnejších účtov rýchlejšie detekcie zistenia výpadku a obnovy dodávky. Dodatočné funkcie umožnia mieru odozvy na dopyt, daňové úľavy, colné možnosti a účasť na dobrovoľných programoch odmeňovania za zníženu spotrebu. Medzi ďalšie funkcie patrí diaľkové pripojenie / odpojenie používateľov, riadenie a monitorovanie aplikácií, inteligentný termostat, vylepšené monitorovanie siete, prepínanie a predplatené meranie.

3.1.3. Tok výkonu pre inteligentné siete

Zaťaženia, ktoré zahŕňajú stochastické a náhodné štúdie inteligentnej siete sa môžu modelovať pomocou nasledujúceho implementačného algoritmu. Smerovanie toku záťaže pomocou topológie bude vyžadovať novú metodológiu a algoritmus, ktorý bude zahŕňať napájacie a časovo závislý vývoj toku zaťaženia. Interoperabilita by v tomto prípade mohla zodpovedať za primerané použitie súčasnej metodiky na vykonanie analýzy v obvyklých aj výstražných stavoch. Navrhovaný implementačný algoritmus rozšíri tieto možnosti:

1. Vstup modelu OZE a zaťaženie sa zmení, aby sa zohľadnila variabilita: vstup bude musieť obsahovať určitý tok distribúcie energie, aby sa posunula preťažená hodnota nového odhadu P_Q a P_a . Atribúty Q_d majú tiež jedinečnú účinnosť primeranú v štúdií výkonnosti.
2. Môže byť ovplyvnená riedkosť, pretože zaťaženie OZE môže byť široko distribuované, to znamená, že treba brať do úvahy zaťaženie a veľkosť OZE.
3. Výpočtové výzvy v novom toku zaťaženia pomocou OZE pre inteligentnú sieť, ktoré zahŕňajú ovplyvňujú nezávislé výpočty.

Tok zaťaženia sa používa aj v distribuovaných sieťach. Definovať môžeme maximálne množstvo ďalšieho možného prenosu MW medzi dvoma časťami energetického systému. Dodatočne znamená, že existujúce prevody sa považujú za súčasť „základného prípadu“ a nie sú zahrnuté v čísle danej konštanty. Zvyčajne sú tieto dve časti kontrolnými oblasťami alebo to môže byť akákoľvek skupina energetických injekcií. Termín „maximum“ sa vzťahuje na prípady, keď v systéme nedochádza k žiadnemu preťaženiu, keď sa zvyšuje prenos, alebo k akémukoľvek preťaženiu, ku ktorému dochádza v systéme počas nepredvídaných udalostí, keď sa prenos zvyšuje v reálnom čase online. Podľa definície sa ATC počíta pomocou vzorca.



Obr. 22 Návrh metodológie výpočtu zaťaženia

3.2. Modelovanie obnoviteľných zdrojov energie

Návrh a vývoj inteligentnej siete si vyžaduje modelovanie obnoviteľných koncových zdrojov a technológií ako sú veterné, fotovoltaické, solárne, biomasa a palivové články. Na zistenie úrovne ich zapojenia je potrebné posúdiť ich vplyv na nový systém. V rámci fungovania inteligentných sietí sa predpokladá rozsiahle rozmiestnenie distribuovaných energetických zdrojov (DER) v blízkej budúcnosti. Obnoviteľné technológie by mali byť umiestnené tak, aby znížili závislosť Európy od fosílnych palív a environmentálne vplývali na výrobu energie. Technológie obnoviteľnej energie a ich integrácia predstavujú niekoľko problémov vrátane zvýšenia efektívnosti a spoľahlivosti a rozvoja najmodernejšieho sledovania s cieľom riadiť variabilitu. Architektonické návrhy, ktoré zahŕňajú optimálne prepojenia, optimálne dimenzovanie a umiestnenie DER pre optimálnu spoľahlivosť, bezpečnosť a ekonomické prínosy, sú tiež kritickými aspektmi. Okrem toho je potrebné zaoberať sa výpočtovým vývojom inteligentnej siete, ktorý umožňuje modely odhadu a predpovedania pre rýchle predpovede týchto premenlivých zdrojov energie v reálnom čase. Táto podkapitola sa venuje významu a technológiám vrátane konverzie, ukladania a PHEV.

3.2.1. Solárna energia

Solárna energia využívaná fotovoltaickými (FV) bunkami bola prvýkrát objavená v roku 1839 francúzskym fyzikom Edmundom Becquerelom. Technológia môže byť použitá ako jeden panel, reťazec FV panelov alebo množstvo paralelných reťazcov FV panelov. Solárny FV panel nemá žiadne emisie, je spoľahlivý a vyžaduje minimálnu údržbu. FV systém všeobecne zvažuje:

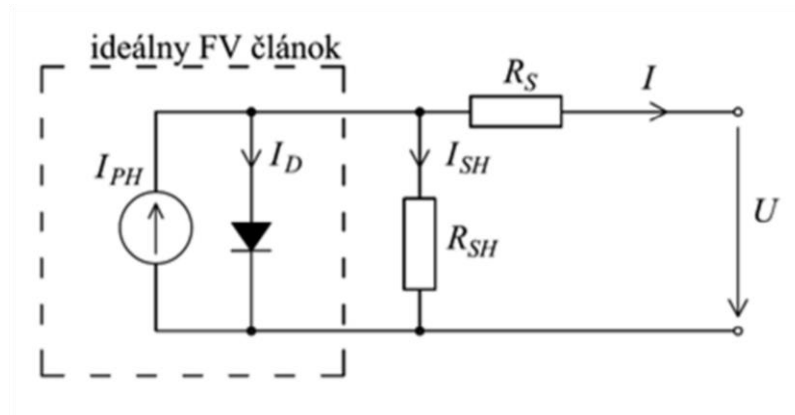
- Žiarenie: Dostupnosť premeny slnečnej energie na elektrinu. Úrovne žiarenia je ovplyvňovaná prevádzkovou teplotou, intenzitou svetla FV buniek (v závislosti od polohy) a polohou solárnych panelov (maximálny výkon pri kolmom dopadaní svetelných lúčov).
- Emisie: Úrovne emisií FV sú šetrné k životnému prostrediu.

Kvôli zvýšeniu efektívnosti fotovoltaických článkov, materiály používané na ich výrobu zahŕňajú amorfný kremík, polykryštalický kremík, teluridkademnatý, mikrokryštalický kremík a amorfný CIS (med'-indium-selén).

3.2.1.1. Modelovanie FV systémov

Existuje niekoľko FV simulačných programov, ktoré umožňujú sériovú analýzu času. Vstup zvyčajne pozostáva z ročného globálneho priameho ožiarenia za jeden rok a údajov o teplote a rýchlosti vetra, napríklad z údajov národných hydrometeorologických ústavov, geometrie poľa a ďalších parametrov FV a rovnováhy systému. Existuje veľa modelov na výpočet výstupného výkonu FV článku alebo FV poľa. Z dôvodu premenlivej efektívnosti a množstva technológií, ktoré sú v

súčasnosti k dispozícii, je výstupný výkon ovplyvňovaný podmienkami prostredia a špecifikáciami modulov. Charakteristický model jednej bunky sa bežne používa pre fotovoltaické technológie. Náhradný model je daný nasledovne:

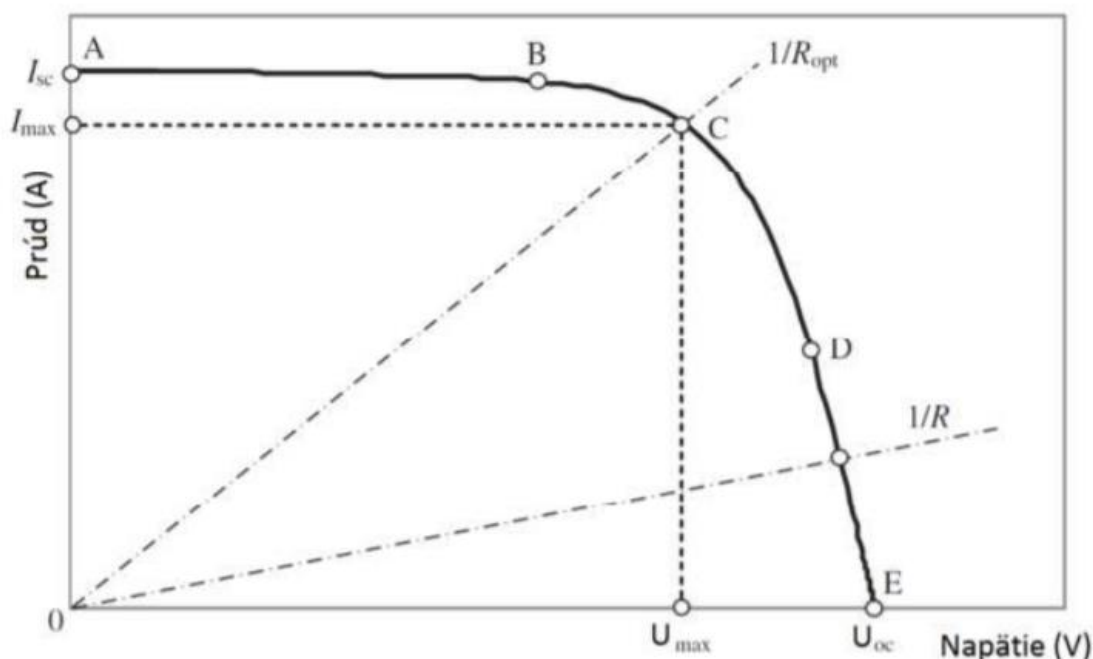


Obr. 23 Náhradný model FV článku [40]

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} \quad (A; A; A; A), [20]. (3.1)$$

- I - výstupný prúd [A]
- I_{PH} - prúd generovaný svetlom [A]
- I_D - prúd diódou
- I_{SH} - bočný prúd diódou

Obrázok na ďalšej strane zobrazuje V-A charakteristiku solárneho článku závislú na veľkosti ožiarenia a pre určitú teplotu článku. Ak je FV článok skratovaný, výstupný prúd je na maxime (I_{sc} – skratový prúd) a napätie článku je nulové. Ak je FV článok zapojený naprázdno, napätie, ktoré je na jeho kontaktoch je na maxime (U_{oc} napätie naprázdno) a prúd je nulový. V každom z týchto dvoch stavov je výstupný výkon z článku nulový. Medzi stavom článku nakrátko a stavom naprázdno, je výstupný výkon z FV článku väčší ako nula. Ak sú svorky FV článku spojené s premenným odporom, tak pracovný bod je určený priesečníkom V-A charakteristiky solárneho článku a V-A charakteristiky odporu. Na obrázku je V-A charakteristika odporovej záťaže lineárna priamka. Ak je odporová záťaž malá, tak FV článok pracuje v oblasti medzi bodmi A a B zobrazených na krivke. V tejto oblasti sa FV článok správa ako konštantný zdroj prúdu. Ak je odporová záťaž príliš veľká, tak FV článok pracuje v oblasti medzi D a E, kde sa článok správa skôr ako zdroj konštantného napätia. Bod C na grafe znázorňuje bod maximálneho výkonu pre určitú hodnotu osvetlenia a teploty článku.



Obr. 24 V-A Charakteristika FV článku [39]

3.2.2. Veterná energia

Vietor je jedným z najrýchlejšie rastúcich zdrojov obnoviteľnej energie v celom svete. Rok 2018 bol pre globálny veterný priemysel dobrý rok, v rámci roka bolo nainštalovaných 51,3 GW novej energie z vetra, čo je mierny pokles o 4,0% v porovnaní s rokom 2017, napriek tomu je to silný rok. Od roku 2014 ročné inštalácie každoročne dosiahli najvyššiu hodnotu 50 GW, a to aj napriek zvýšeniam a poklesom na niektorých trhoch. Nové zariadenia s výškou 51,3 GW prinášajú celkový kumulatívny počet zariadení až do 591 GW. Na pevnine bolo nainštalovaných 46,8 GW, čo je pokles o 4,3% v porovnaní s rokom 2017. Čína a USA zostali lídrami s najväčšími pobrežnými elektrárnami s novou kapacitou 21,2 GW a 7,6 GW. Európsky pobrežný trh nainštaloval 9 GW, čo je o 32% pokles v porovnaní s rokom 2017.

Rastúce rozvíjajúce sa trhy v Afrike, na Strednom východe, v Latinskej Amerike a v juhovýchodnej Ázii nainštalovali v roku 2018 kombinovaných 4,8 GW (takmer 10 percent všetkých nových zariadení).), z ôsmich percent v roku 2017, keď tieto trhy nainštalovali 3,8 GW. Spoločnosť GWEC (Svetová asociácia pre veternú energiu) očakáva, že trh na pevnine sa do roku 2023 inštaluje vyššie o 50 GW ročne. Zrelé trhy v Ázii, Európe a Severnej Amerike budú pokračovať so stabilnými objemami. Rast prinesie rozvoj trhov s veternou energiou v Afrike / na Strednom východe, v Latinskej Amerike a v juhovýchodnej Ázii. Globálny pobrežný trh zostal v roku 2018 stabilný s 4,5 GW nových prírastkov, rovnaká veľkosť trhu ako v roku 2017. Celková kumulatívna inštalácia teraz dosiahla 23 GW, čo predstavuje štyri percentá z celkovej kumulatívnej inštalácie. Spoločnosť GWEC

očakáva nárast pobrežných zariadení najskôr v Ázii a potom v Severnej Amerike a v blízkej budúcnosti dosiahne ročné pobrežné inštalácie 6 a viac GW. Dynamika trhu sa v roku 2018 zmenila. Mnoho aktérov v priemysle revidovalo svoje obchodné modely a stratégie získavaním nových dcérskych spoločností v príbuzných oblastiach a / alebo rozširovaním ponúkaných služieb. [41]

Turbíny vyrábajú elektrinu za prijateľné náklady bez toho, aby sa museli pridávať do infraštruktúry, napríklad do prenosových vedení. Veterná turbína sa skladá z generátora, lopatiek a ovládača alebo spojovacieho zariadenia. Vietor je v porovnaní s FV energiou ekonomicky konkurencieschopnejší obnoviteľný zdroj. Z hľadiska prevádzky poznáme rôzne konfigurácie veterných turbín.

- Veterná turbína konštantnej rýchlosti.
- Variabilná rýchlosť veternej turbíny s premenlivým odporom rotora.
- Variabilná rýchlosť veternej turbíny s meničom frekvencie čiastkového rozsahu.
- Variabilná rýchlosť veternej turbíny s meničom frekvencie v plnom rozsahu.

K výstupnému výkonu prispievajú sila vetra a veľkosť turbíny. Hoci turbíny nevytvárajú žiadny oxid uhličitý alebo znečisťujúce látky, vietor má tri nevýhody:

- veterné turbíny sa nedajú regulovať,
- veterné turbíny sú najvhodnejšie na špičkový výkon
- a veterné turbíny sú závislé na fúkaní vetra.

3.2.2.1. Veterná energia

Slnčné žiarenie ohrieva povrch ako povrch Zeme tak aj atmosféru. Teplotný rozdiel medzi atmosférou a zemským povrchom spôsobuje prúdenie vzduchu, ktorý je zdrojom veternej energie. Energia pohyblivej hmoty vzduchu môže byť vyjadrená rovnicou kinetickej energie (1)[42]:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

Kde:

m - hmota (kg)

v - rýchlosť pohybujúcej sa hmoty (m.s-1)

Nasledujúca rovnica (2) sa vzťahuje na hmotu [3]:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot S \text{ (kg)} \quad (2)$$

Kde:

A - plocha, ktorou preteká daný objem vzduchu (m²)

s – vzdialenosť, ktorú daný vzduch opíše (m)

Na základe (1) a (2) pre veternú energiu, ktorá prúdi cez jednotku plochy je možné stanoviť nasledujúcu rovnicu (3):

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 (W \cdot m^{-2}) (3)$$

3.2.3. Energia z biomasy

Energia z biomasy je energia vyrobená spracovaním organických materiálov ako sú kukurica, pšenica, sója, drevo a iné zvyšky ktoré môžu produkovať chemikálie prípadne iné látky. V rámci výroby bioenergie sa najčastejšie používa proces nazývaný splyňovanie, čiže premena na plyn, ktorý následne spaľovaným v plynovej turbíne výroba elektrickú energiu. Biomasa sa môže prevádzať tiež priamo na tekuté palivá, ako je etanol, alkohol alebo bionafta pochádzajúce z kukuričného etanolu. Rastliny na biomasu sú komerčne dostupné po celom svete. Výkon elektrární na biomasu sa pohybuje od 0.5 GW až 3.0 GW využívajúc skládkový plyn a lesné produkty. Biomasa sa v rozvojových krajinách tradične používa na domáce varenie a kúrenie. Energii z biomasy je možné vyrábať, iba ak je k dispozícii dostatok bioproduktov a ak sa uskutoční proces premeny. Biomasa produkuje CO a ďalšie emisie. Požadovaná stratégia plánovania a lokalizácia výroby z biomasy v si vyžaduje schopnosť zahrnúť variabilitu takejto výroby do konceptov nových systémov

3.2.4. Vodná energia

Vodná energia je zďaleka najväčší obnoviteľný zdroj energie. Najväčšie vodné elektrárne dosahujú výkony niekoľko stoviek MW, stredné vodné elektrárne sa pohybujú od 100 kW do 30 MW, zatiaľ čo malé vodné elektrárne sú menšie ako 100 kW. Malé vodné elektrárne pracujú s premenlivou rýchlosťou kvôli toku vody. Indukčné motory vytvárajú energiu vďaka turbínovému systému. Hydraulická turbína premieňa vodnú energiu na mechanickú rotačnú energiu. Malé a mikrovodné systémy sú vhodnými adeptami pre optimalizáciu OZE na zlepšenie funkčnosti inteligentnej siete. Aj v tomto prípade sa riešia otázky spoľahlivosti a modelovania ako vo fotovoltaickej a veternej energii. Vodná energia je závislá na ročnom období a musí brať do úvahy aj množstvo vody ktoré tečie korytom rieky, zároveň je to tiež ideálny prostriedok na akumuláciu energie.

3.2.5. Akumulácia energie

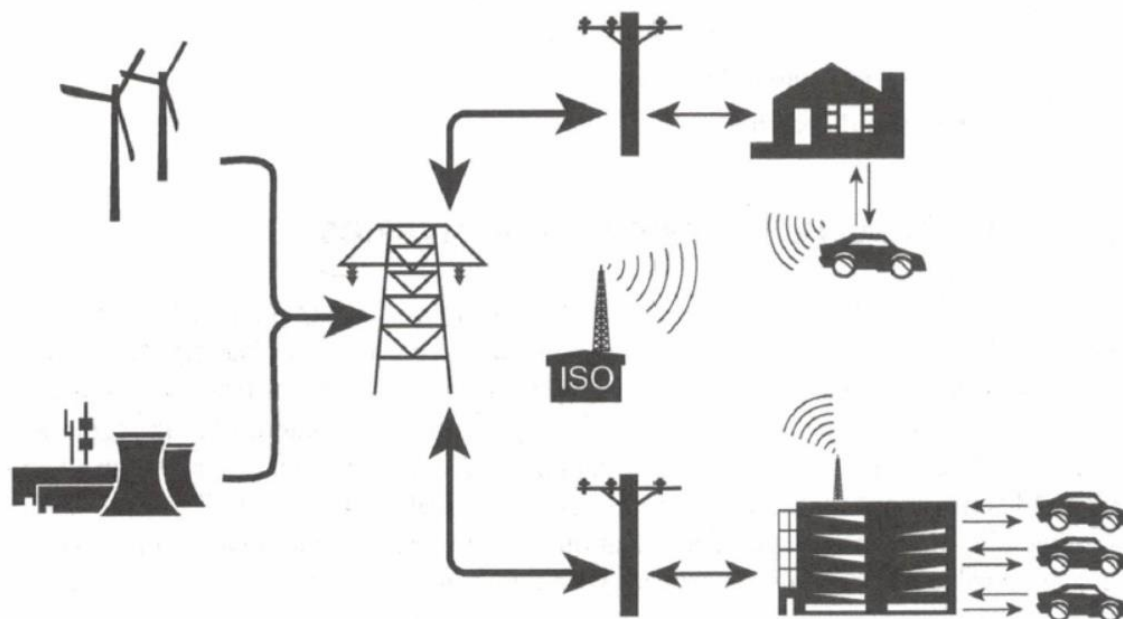
Od vynájdenia elektrickej energie sa hľadali účinné spôsoby skladovania tejto energie a jej použitie na požiadanie. V priebehu minulého storočia sa priemysel skladovania energie vyvíjal, prispôboval a inovoval v reakcii na meniace sa energetické požiadavky a technologický pokrok.

Systémy na uchovávanie energie poskytujú širokú škálu technologických prístupov k riadeniu napájania s cieľom vytvoriť odolnejšiu energetickú infraštruktúru a priniesť úspory nákladov pre verejnoprospešné služby a spotrebiteľov. Pre lepšie porozumenie rôznych prístupov, ktoré sa v súčasnosti používajú po celom svete, vieme rozdeliť spôsoby akumulácie do piatich hlavných kategórií:

- Batérie - rad elektrochemických úložných riešení, vrátane pokročilých chemických batérií, prietokových batérií a kondenzátorov.
- Akumulácia tepla - zachytávajúce teplo a chlad, aby sa vytvorila energia na požiadanie alebo kompenzovali energetické potreby.
- Mechanické skladovanie - inovatívne technológie využívajúce kinetickú alebo gravitačnú energiu na ukladanie elektrickej energie.
- Akumulácia pomocou vodíka - výroba elektrickej energie z vodíka a opačne, prostredníctvom elektrostatózy – premena energie na vodík a jeho uskladnenie.
- Prečerpávanie vody - vytváranie veľkých vodných nádrží s vodou. [57]

3.2.6. Elektromobilita a PHEV

Vďaka systému V2G môže zaparkované vozidlo poskytovať energiu do distribučnej siete. Na túto technológiu môžu byť použité akumulátorové elektrické vozidlo, vozidlo s palivovými článkami alebo dokonca hybridné plug-in vozidlo. Uložená alebo nevyužitá energia, ktorú energetické spoločnosti vytvárajú v noci alebo v čase mimo špičky, sa môže použiť na podporu vozidiel v prípade mimoriadnych udalostí, napríklad pri výraznom znížení dodávok ropy alebo náhlom zvýšení cien ropy. Každé vozidlo PHEV bude vybavené prípojkou do siete na tok elektrickej energie, ovládacím alebo logickým pripojením potrebným na komunikáciu s prevádzkovateľom siete a palubnými ovládacími prvkami a meraním. Obrázok 25 schematicky znázorňuje spojenia medzi vozidlami a sieťou. Elektrina tečie z rozvodnej siete z generátorov ku koncovým užívateľom, zatiaľ čo nevyužitá energia prúdi do a späť z elektrických vozidiel, ako je znázornené čiarami s dvoma šípkami na obrázku. V časoch nízkej spotreby sa môžu batérie vozidiel nabíjať a vybíjať podľa potreby.



Obr. 25 Model spolupráce vozidla a siete (V2G) [33]

3.3. Výber vhodného softvéru

Výskum z pohľadu použitia vhodného prostriedku bol viazaný na výber vhodnej metódy a následne aj vhodného softvéru. V rámci možnosti trhu existuje viacero softvérových prostriedkov ktoré bolo možné zvoliť na modelovanie inteligentnej siete. Výsledkom “prieskumu trhu” boli programy NEPLAN a program Matlab, konkrétne jeho modul Matlab – Simulink.

3.3.1. Neplan

Softvér Neplan je dodávaný švajčiarskou spoločnosťou sídliacou neďaleko Zürichu založenou v roku 1988. Ako majiteľ a vývojár prvotriedneho analytického nástroja NEPLAN® sa spoločnosť stala jednou z vedúcich spoločností na trhu inžinierskych softvérových systémov. Najnovšia verzia obsahuje mnoho nových funkcií, štandardov a vylepšení pre moduly plynu, vody a diaľkového vykurovania, ako aj pre moduly analýzy energetických systémov. Túto najnovšiu verziu je možné nainštalovať aj ako aplikáciu bez prehliadača.

Medzi základné výhody programu patrí určite jednoduchosť, nastaviteľné pracovné prostredie, plynulosť pri práci, veľmi krátka časová odozva na vykonaný úkon, prehľadné pracovné prostredie, stabilný softvér, ktorý aj pri väčšom zaťažení „nepadá“. Medzi nevýhody, ktoré pri modelovaní inteligentnej siete chýbali sú: dynamický priebeh simulácie a menší nedostatok pri generovaní grafických výstupov. Aj keď je Neplan veľmi vhodný na zisťovanie skratových pomerov v modelovanej sieti, pre účely modelovania prevádzky spolupráce obnoviteľných zdrojov až taký vhodný nebol.

3.3.2. Matlab - Simulink

Ďalším softvérovým prostriedkom bol Matlab – Simulink. Spoločnosť MathWorks založili v roku 1984 Jack Little a Cleve Moler, ktorý si uvedomili potrebu inžinierov a vedcov pre výkonnejšie a produktívnejšie výpočtové prostredia nad rámec jazykov, ako sú Fortran a C. Kombinovali svoje odborné znalosti z matematiky, inžinierstva a informatiky a dokázali vyvinúť program MATLAB. Ako uvádza web tejto spoločnosti: MATLAB® je najjednoduchším a najproduktívnejším výpočtovým prostredím pre inžinierov a vedcov. Matematika, grafika a programovanie sú navrhnuté tak, ako myslíte na prácu, ktorú robíte. Simulink® je prostredie blokových schém pre simuláciu a návrh založený na modeloch multidoménových a zabudovaných inžinierskych systémov. Tieto bloky dokážu za zlomok času to čo by bolo potrebné napísať cez kódy C, C ++ alebo HDL.+

3.4. Prevádzka mikrosiete z pohľadu IEC 62264-1

Na optimálnu prevádzku mikrosiete je treba zohľadniť štandardy a normy, ktoré sú tomu venované. V rámci prevádzky a návrhu modelu mikrosiete treba zobrať do úvahy štandard IEC 62264-1. Táto norma z roku 2013 opisuje obsah rozhrania medzi funkciami riadenia výroby a ostatnými podnikovými funkciami. Uvažované rozhrania sú rozhrania medzi úrovňami 3 a 4 hierarchického modelu definovaného v tomto štandarde. Cieľom je znížiť riziká, náklady a chyby spojené s implementáciou týchto rozhraní. Norma sa môže použiť na zníženie úsilia spojeného s implementáciou ponúk nových produktov. Cieľom je mať systémy na sledovanie a riadenie, ktoré vzájomne spolupracujú a ľahko sa integrujú.

Rozsah tejto normy je obmedzený na

- a) prezentácia rozsahu oblasti výrobných operácií a kontroly;
- b) diskusiu o organizácii hmotného majetku podniku zapojeného do výroby;
- c) zoznam funkcií spojených s rozhraním medzi riadiacimi funkciami a podnikovými funkciami;
- d) opis informácií zdieľaných medzi riadiacimi funkciami a podnikovými funkciami.

4. Analýza modelovania inteligentnej siete

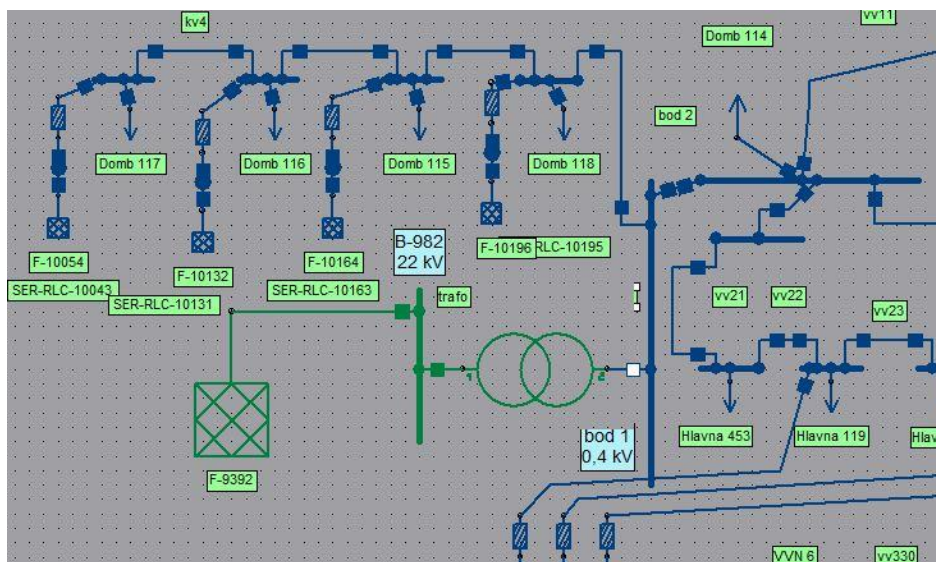
Inteligentné siete majú oproti klasickým sieťam výhody ale hlavne i nejaké odlišnosti. Najvýznamnejším rozdielom je odlišná topológia siete v dôsledku zahrnutia distribuovanej výroby, ktorá spôsobuje rôzne smery toku energie. Zmena nastáva aj vďaka novým technológiám, obojsmernej komunikácii a prítomnosti aktívnych prvkov a senzorov v systéme, samokontrole, ako aj rýchlej detekcii a lokalizácii porúch.

Vďaka novým technológiám sa očakáva vyššia spoľahlivosť, lepšie zabezpečenie, väčšie pohodlie pre zákazníkov a vyššia účinnosť pri využívaní elektrickej energie. Inteligentné systémy tiež predpokladajú poloautomatickú obnovu a automatickú regeneráciu, ako aj adaptívnu ochranu a izoláciu potenciálneho problému. Zákazníkom sa tak poskytuje integrácia a poskytovanie nových služieb.

Z hľadiska distribúcie ide o použitie centralizovaných zdrojov spolu s decentralizovanými zdrojmi. Decentralizované zdroje malých kapacít rozmiestnené v celej Európe sú v súlade so záväzkom Európskej únie zvýšiť svoj podiel výroby energie z obnoviteľných zdrojov na 20% do roku 2020. Očakáva sa, že vysoký stupeň automatizácie v distribučných a prenosových systémoch zníži straty systému a súvisiace zvýšenie ekologických opatrení, hospodárnosti a prevádzkovej efektívnosti, ako aj podpora rozptýlenej výroby spolu s vývojom a výskumom nových metód riadenia, výsledkov.

4.1. Model siete z pohľadu vplyvu inteligentných sietí na distribučnú sústavu

Hlavným prvkom použitým na vytvorenie tohto modelu je simulačný program NEPLAN, v ktorom bola sieť modelovaná. Konkrétne ide o sieť, ktorá predstavuje časť dediny z východného Slovenska. V tomto programe boli ako parametre siete použité hodnoty individuálnej spotreby jednotlivých domácností, parametre elektrických vedení a dĺžky medzi odbermi a tiež parametre výkonových transformátorov. Tieto údaje boli statické a tvorili základy, na ktorých bola analýza vykonaná.



Obr. 26 Časť modelu v programe Neplan

4.1.1. Popis použitých prvkov

Ako bolo uvedené vyššie, v simulačnom programe bolo použitých niekoľko elektrických prvkov. K základným prvkom siete bolo pridaných niekoľko prvkov inteligentných sietí vrátane fotovoltaiických panelov a nabíjačiek elektrických vozidiel. Počet prvkov použitých v programe je uvedený v Tabuľke 1.

Tab. 1 Prehľad použitých prvkov

TYP POUŽITÝCH PRVKOV	POČET POUŽITÝCH PRVKOV
Vedenie	137
Uzol	89
Odber	73
Nabíjačka elektromobilov 11k W	73
FV panel 3.3 kWp	73
FV elektrárň 0.5 MWp	1
Transformátor 22/0.4 kV	2

Zaťaženie domácností sa pohybovalo od 3 do 10 kW. V rámci simulácie bol použitý FV panel od kanadskej solárnej spoločnosti. Tento panel sa použil v dvoch variantoch, buď ako fotovoltaiická elektrárň pozostávajúca z 11 blokov umiestnených na streche domu alebo ako jedna veľká 0,5 MW elektrárň umiestnená v teréne alebo na streche priemyselného zariadenia. Parametre panela sú v Tabuľke 2.

Tab. 2 Parametre fotovoltaiického panela

PARAMETER	HODNOTA
Nominál. max. výkon (Pmax)	300 W
Opt. operačné napätie (Vmp)	32.5 V
Opt. operačný prúd (Imp)	9.24 A
Max. napätie (Voc)	39.7 V
Skratový prúd (Isc)	9.83 A
Účinnosť modulu	18.33%
prevádzková teplota	-40°C ~ +85°C
Max. SystemVoltage	1000 V
Protipožiarna odolnosť	Typ 1 (UL 1703) or trieda C (IEC 61730)
Maximálna hodnota poistky	15 A
Trieda	Class A
Tolerancia výkonu	0 ~ + 5 W

Použitie FV panela ako prvku pre výrobu elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, bolo motivované najmä dostupnosťou týchto zariadení. Ak by sme chceli porovnať základné obnoviteľné zdroje a ich použitie v domácnosti, vyhrala by to slnečná energia. Inštalácia tepelného čerpadla vyžaduje vyššie vstupné náklady; použitie veterných turbín by bolo možné iba v ostrovnej prevádzke a bez použitia dotácií. Geotermálna energia sa na Slovensku využíva veľmi málo, nakoľko je tu nevyhnutná potreba geologického prieskumu podložia a vrty do hĺbky niekoľko stoviek metrov.

Pri modelovaní vplyvu inteligentných sietí sa použila aj nabíjačka na elektrické vozidlá s výkonom 11 kW. Predpoklad rastúceho počtu nabíjačiek a ich vplyv na sieť bol spôsobený najmä plánovanými zmenami v právnych predpisoch EÚ. Existuje predpoklad, že pri schválení domu bude jednou z podmienok inštalovať nabíjačku pre elektrické auto. Tieto nariadenia sú konkrétne opísané v európskej smernici 2014/94 / EÚ z 22. októbra 2014 o zavádzaní infraštruktúry alternatívnych palív, ale aj v smernici Európskeho parlamentu a Rady 2009/28 / ES z 23. apríla 2009 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov a tiež v smernici Európskeho parlamentu a Rady 2010/31 / EÚ z 19. mája 2010 o energetickej hospodárnosti budov. Na základe týchto nariadení sa vytvárala analýza, či by takáto sieť dokázala čeliť takémuto náporu. Pri simulácii sa predpokladalo, že sieť bude vo veľkom rozsahu zaťažaná a že k nabíjaniu automobilov by došlo súčasne.

Pri nabíjaní existuje niekoľko profilov nabíjania. Väčšina závisí od pracovného času majiteľa automobilu a tiež od dĺžky trasy, ktorú pravidelne absolvuje. Pri analýze by bolo tiež možné zvážiť použitie elektronického automobilu na akumuláciu elektriny.

4.1.2. Analýza siete

Na overenie vplyvu prvkov inteligentnej siete na malú časť distribučného systému sa použili dva scenáre. V obidvoch prípadoch boli nabíjačky zapínané postupne a zmeny v sieti boli neustále monitorované. Počas sledovania parametrov bolo tiež možné zachytiť okamih, keď bola sieť preťažená.

Poloha FV elektrárne sa nachádzala v strede obce, bližšie k transformátoru číslo 2. Táto pozícia by tak mala udržiavať stabilitu siete a tiež znižovať straty. Umiestnenie na okraji siete nemusí mať pozitívny vplyv na susedné domy. V rámci analýzy vznikol tiež predpoklad, že elektrické vedenia nemusia byť na pripojenie takého zdroja dimenzované.

Scenár č. 1 popisuje stav siete, keď FV panely na streche nie sú pripojené k systému a v prevádzke tiež nie je FV elektrárne. Tento stav môže byť tiež stavom, keď na panely nespadá slnečné žiarenie.

Druhý scenár sa líši tým, že výroba FV ide na plný výkon. Takýto stav by mohol tiež simulovať stav uprostred dňa, keď je slnko najvyššie. Keďže ide o dedinu, táto situácia by sa mohla vyskytnúť najmä vtedy, keď je väčšina obyvateľstva doma, to znamená počas víkendu alebo počas prázdnin.

4.1.3. Scenár č. 1

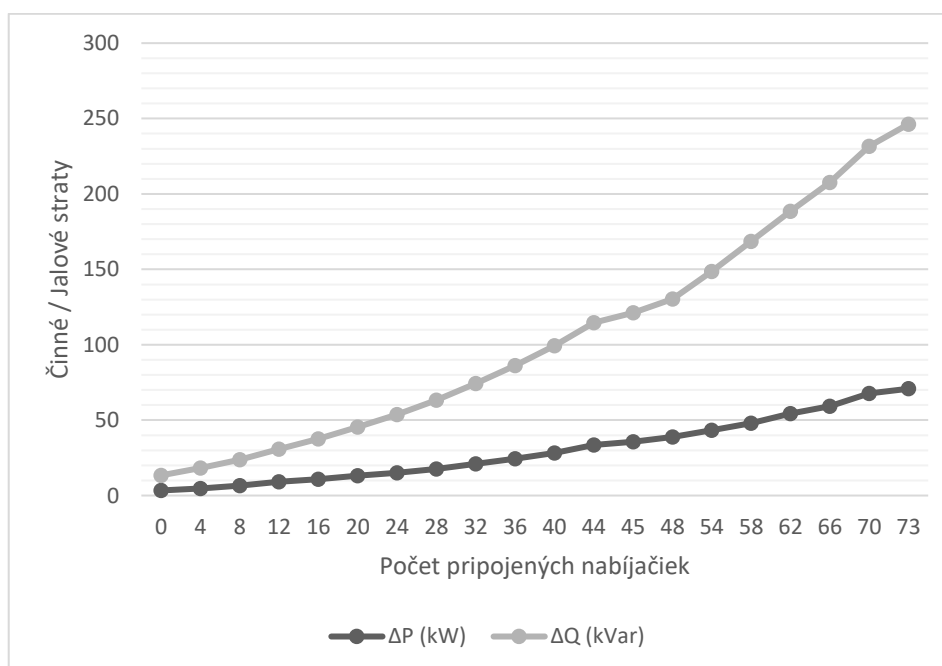
V prvom scenári je možné vidieť namerané hodnoty (Tabuľka č. 3) a grafické znázornenie výsledkov na grafoch (obrázok č. 19 a obrázok č.20). V tomto prípade vidíme, že straty v sieti bez použitia nabíjačiek boli iba na úrovni kW jednotiek. Postupným pripojením nabíjačiek sa začal meniť stav siete. V tabuľke vidíme kritický počet (45) pripojených nabíjačiek, keď bola sieť preťažená.

Ak by sme chceli podrobnejšie vyhodnotiť percentuálnu pravdepodobnosť tejto situácie, môžeme predpokladať pravdepodobnosť 10%, že k tejto situácii dôjde. Z opačného hľadiska, z pohľadu prevádzky siete, je potrebné zdôrazniť, že takáto situácia nemôže nastať ani v prípade 1% šance.

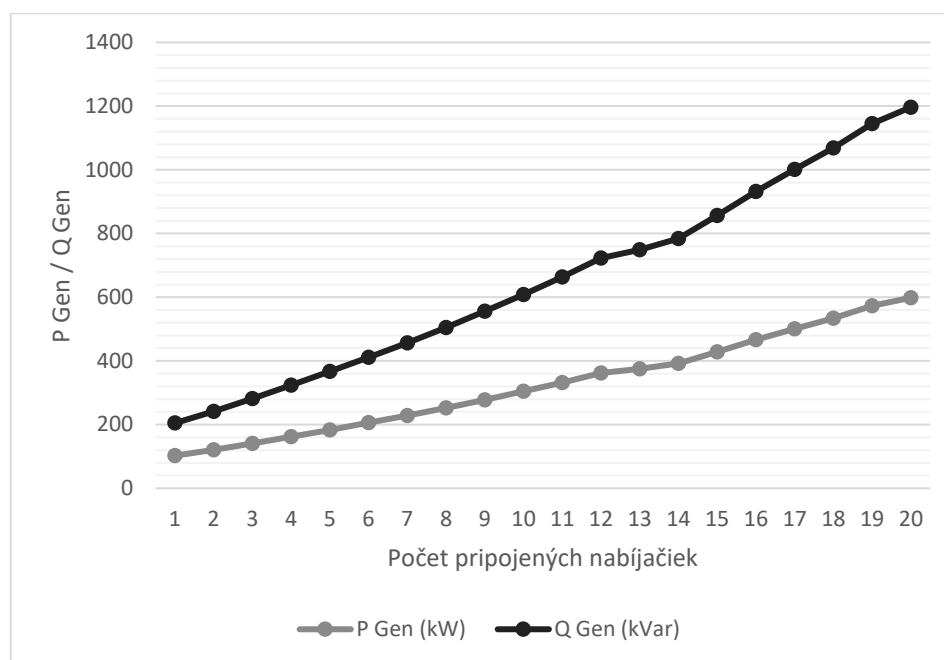
Tab. 3 Parametre siete pri scenári č. 1

POČET	ΔP	ΔQ	P IMP	Q IMP	P GEN	Q GEN	P LOAD	Q LOAD
-	kW	kVar	kW	kVar	kW	kVar	kW	kVar
	3,38	13,36	261,18	102,43	261,18	102,43	264,4	86,9
4	4,73	18,16	309,83	120,61	309,83	120,61	308,4	101,37
12	09,8	30,8	402,18	162,18	402,18	162,18	396,4	130,29
20	13,11	45,5	494,21	205,81	494,21	205,81	484,4	159,22
28	17,66	63,26	586,76	252,49	586,76	252,49	572,4	188,15
36	24,46	86,19	681,56	304,36	681,56	304,36	660,4	217,08
44	33,59	114,59	778,69	361,69	778,69	361,69	748,4	246,01
45	35,75	121,25	800	374,64	800	374,64	767,55	252,3
48	38,83	130,45	827,94	392	827,94	392	792,4	260,47
58	48,03	168,49	947,13	466,2	947,13	466,2	902,4	296,63
70	67,66	231,65	1098,76	572,76	1098,76	572,76	1034,4	340,02
73	70,81	246,31	1134,92	598,27	1134,92	598,27	1067,4	350,87

Na obrázku č. 19 môžeme vidieť straty činného výkonu a jalového výkonu. Na obrázku č. 20 je znázornená generovaná energia v sieti pri spustení scenára 1. Horná krivka ukazuje jalové a spodná činné straty. V obidvoch grafoch je pekne vidieť, kedy došlo k preťaženiu siete.



Obr. 27 Činné a jalové straty pri scenári 1



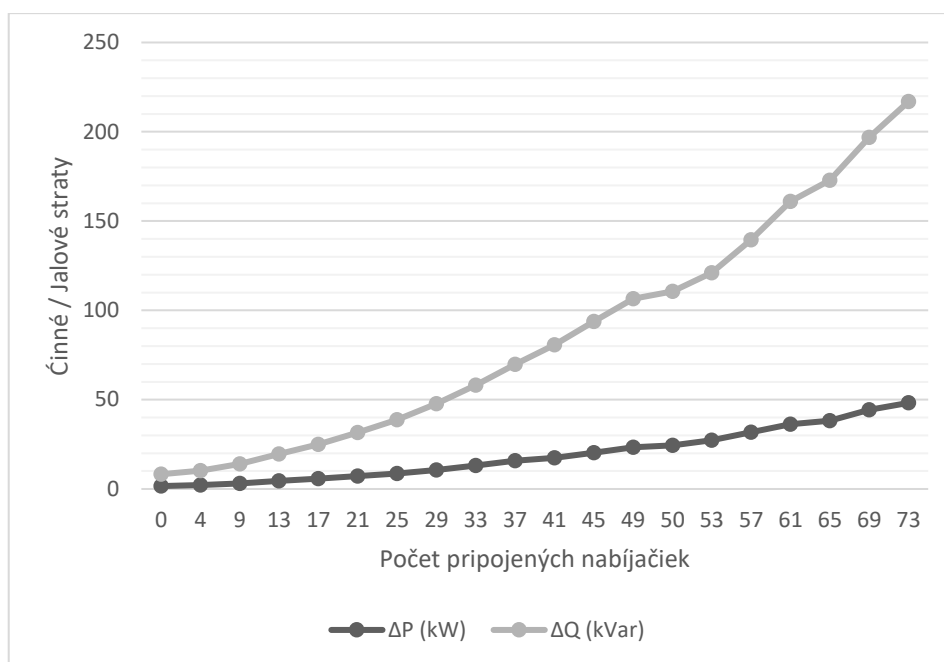
Obr. 28 Energia vyrobená počas scenára 1

Tabuľka č. 4 zobrazuje výsledky zo scenára číslo 2. Najzásadnejšou zmenou je, že straty v porovnaní s prvým scenárom sú nižšie a kritická hodnota pripojených nabíjačiek je vyššia (50) ako v prvom prípade.

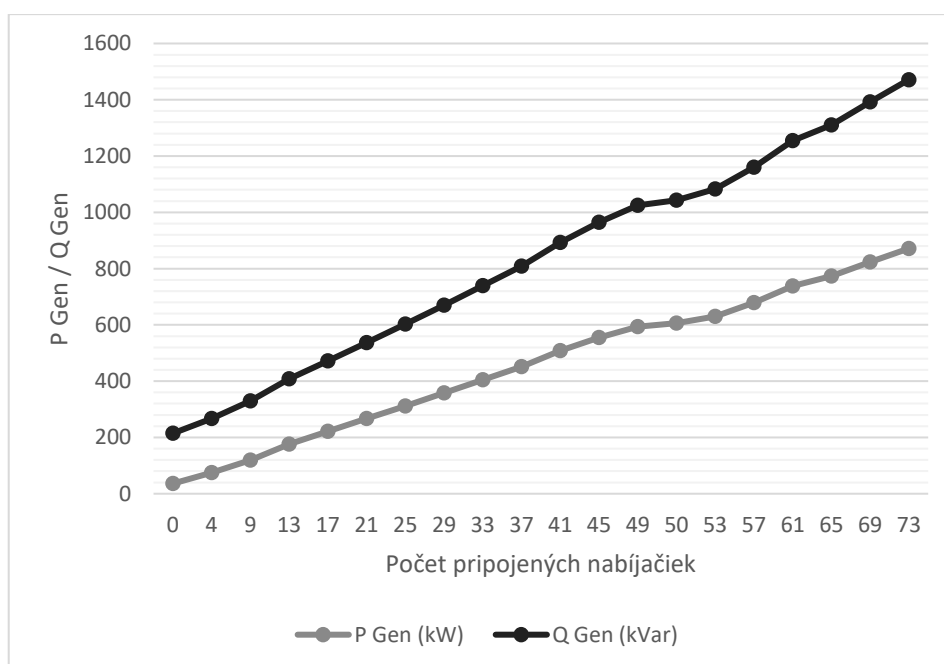
Tab. 4 Parametre siete pri scenári č. 2

POČET	Δ P	Δ Q	P IMP	Q IMP	P GEN	Q GEN	P LOAD	Q LOAD
-	kW	kVar	kW	kVar	kW	kVar	kW	kVar
0	1,63	6,62	36,07	178,46	36,07	178,46	278,64	91,58
4	2,18	8,17	74,54	192,48	74,54	192,48	316,55	104,04
13	4,57	15,1	175,93	231,95	175,93	231,95	415,55	136,59
21	7,17	24,39	266,53	270,18	266,53	270,18	503,55	165,52
29	10,61	37,1	357,97	311,81	357,97	311,81	591,55	194,45
33	13,8	45,08	404,43	334,26	404,43	334,26	635,55	208,91
41	17,47	63,18	507,82	384,9	507,82	384,9	734,55	241,45
49	23,34	83,1	593,54	431,07	593,54	431,07	814,4	267,7
50	24,34	86,21	605,54	437,8	605,54	437,8	825,4	271,32
53	27,22	93,83	630,42	452,65	630,42	452,65	847,4	278,55
61	36,27	124,7	738,48	516,06	738,48	516,06	946,4	311,09
69	44,29	152,5	823,49	569,17	823,49	569,17	1023,4	336,41
73	48,21	168,69	871,41	599,83	871,41	599,83	1067,4	350,87

Obrázky č. 21 a č. 21 ukazujú straty, ako aj vyrobenú energiu. Preskúmaním grafov vidíme zlom pri preťažení tiež že maximálne hodnoty sú nižšie ako v scenári jedna.



Obr. 29 Činné a jalové straty pri scenári 2



Obr. 30 Energia vyrobená počas scenára 2

4.1.3.1. Zhrnutie modelu

Tento model porovnáva vplyv elektromobility na mikrosieť, ktorá bola modelovaná na základe reálnych údajov. V modeli bolo navrhnuté použitie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie (OZE), konkrétne fotovoltaických panelov, na výrobu elektrickej energie a zároveň na zníženie dodávky energie do siete. V rámci analýzy je možné porovnať dva scenáre, ktoré sú zobrazené v numerickej aj grafickej podobe. Z tohto článku vyplýva, že použitie OZ má významný vplyv na takýto malý

systém. Použitie FV panelov výrazne znížilo straty v sieti bez ohľadu na straty v systéme vysokého napätia a tiež v prenosovej sústave.

Tento návrh sa môže ďalej vylepšiť, napríklad o pridaním iného obnoviteľného zdroja, ktorý by pomohol pri prevádzke siete, hlavne v čase keď slnečné žiarenie nedopadne na FV panely. Vzniká tiež možnosť zvýšenia výkonu FV farmy prípadne použitie batérií za účelom akumulácie elektrickej energie.

Táto simulácia je iba približná, pretože softvér ponúka iba obmedzené možnosti na simuláciu správania v sieti. Použité hodnoty sú statické a bolo by lepšie použiť časovo premenlivé údaje. Ak by sme chceli byť presnejší, bolo by potrebné simulovať zmenu zaťaženia počas dňa. Bolo by tiež potrebné simulovať priebeh slnečného žiarenia počas dňa v rôznych podmienkach a rôznych ročných obdobiach. Samotné nabíjanie elektronického vozidla by sa potom mohlo rozdeliť na rôzne časti dňa na základe scenárov nabíjania.

4.2. Model siete z pohľadu spolupráce obnoviteľných zdrojov

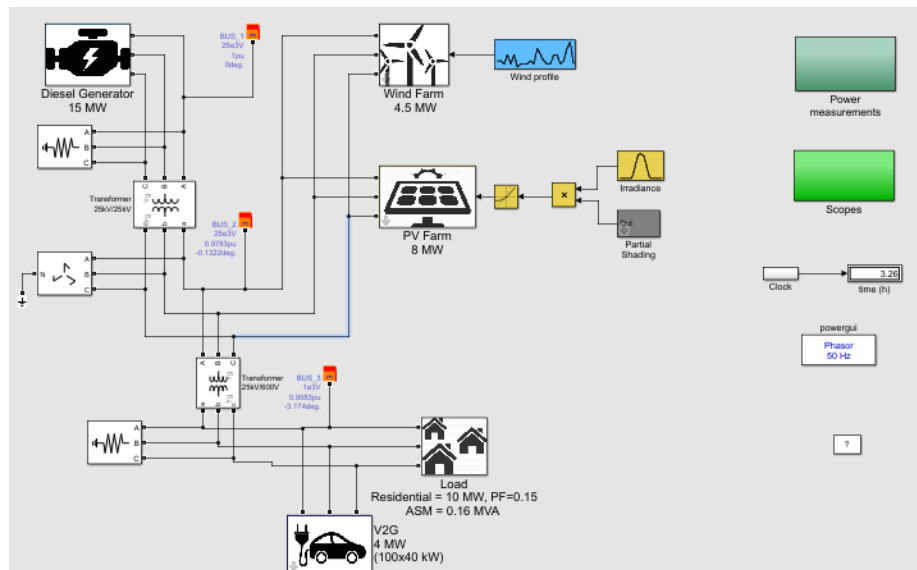
Modelovanie je veľmi dobrý spôsob tvorby a analýzy návrhov rôznych modelov vďaka výpočtovému výkonu počítača, najmä pri zohľadnení zjednodušenia a efektívnosti výpočtov. Samozrejme, v pozadí každého softvéru je sada matematických vzorcov, ktoré môžeme použiť na efektívnejšie úpravy pri zmene konštanty. Preto nie je potrebné opakovať celý výpočet.

Nevyhnutnou súčasťou budovania elektrickej siete je primeraná príprava, ktorá je potrebná na zabezpečenie správneho overenia funkčnosti siete, aby sa predišlo zbytočným investičným nákladom. Samozrejmosťou je počítačová zručnosť pri ovládaní dostupných programov. Softvérové nástroje zároveň vytvárajú správne podmienky pre laboratórne testovanie, ako aj pre spätné overenie funkčnosti už realizovaného projektu. Základ modelovania musí byť čo najpresnejší, aby sa zabezpečila čo najpresnejšia presnosť výsledkov.

Simulink je rozšírenie MATLAB na simuláciu a modelovanie dynamických systémov. Poskytuje užívateľovi možnosť rýchlo a ľahko vytvárať dynamické modely systémov vo forme blokových diagramov. Modely sa dajú opísať pomocou rovníc alebo sa dajú zostaviť z blokov predstavujúcich skutočné systémové prvky. Okrem modelov fyzikálnych systémov je možné modelovať aj algoritmy riadiacich systémov vrátane ich automatického ladenia, systémov spracovania signálu, komunikácie a spracovania obrazu.

Tento model ukazuje systém V2G (vehicle to grid) – čiže spoluprácu elektrického vozidla a siete, ktorý môže byť použitý na reguláciu frekvencie v mikrosieti, v prípade keď sa vyskytnú udalosti

počas dňa. Fázorový režim Simscape™ Power Systems™ umožňuje rýchlu simuláciu 24-hodinového scenára.



Obr. 31 Model mikrosiete v Matlab - simulink

4.2.1. Analýza siete

Mikrosieť je rozdelená do štyroch dôležitých častí: naftový generátor, ktorý pôsobí ako generátor základného výkonu; FV elektrárň kombinovaná s veternou farmou na výrobu obnoviteľnej energie; systém V2G inštalovaný vedľa poslednej časti topológie, ktorá predstavuje zaťaženie siete. Veľkosť mikrosiete predstavuje približne spoločenstvo tisícok domácností počas dňa s nízkou spotrebou na jar alebo na jeseň. V základnom modeli je 100 elektrických vozidiel, čo znamená, že medzi automobilmi a domácnosťami je pomer 1:10. Toto je možný scenár v dohľadnej budúcnosti.

4.2.1.1. Diesellový generátor

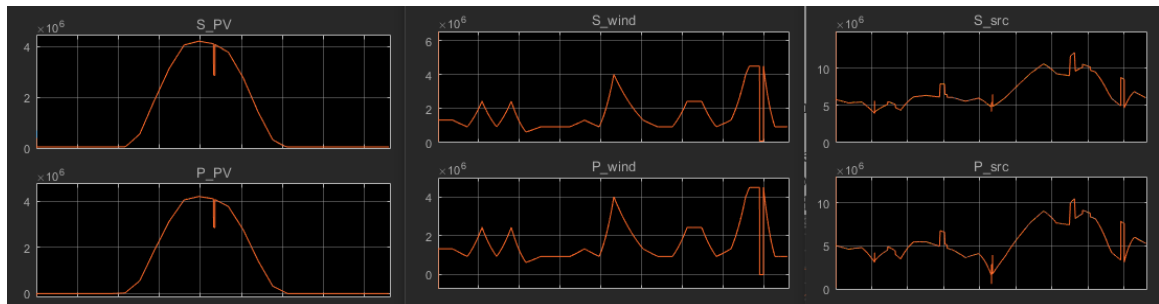
Diesellový generátor vyvažuje spotrebu energie a vyrobenú energiu. Frekvenčnú odchýlku mriežky môžeme určiť podľa rýchlosti rotora jeho synchronného stroja.

4.2.1.2. Obnoviteľné zdroje energie

V tejto mikrosieti boli použité dva zdroje obnoviteľnej energie:

1. Fotovoltaická elektrárň, ktorej výkon je ovplyvňovaný tromi energetickými faktormi: veľkosťou fotovoltaickej elektrárne, účinnosťou solárnych panelov a veľkosťou dopadajúceho slnečného žiarenia.
2. Zjednodušený model veternej farmy, ktorý vyrába elektrickú energiu priamo úmerne s rýchlosťou veternej energie. Keď vietor dosiahne nominálnu hodnotu, veterná farma

vyrába nominálny výkon. Keď rýchlosť vetra prekročí maximálnu rýchlosť vetra, veterná elektrárňa sa odstavuje zo siete do času, kým sa vietor nevráti na svoju nominálnu hodnotu.

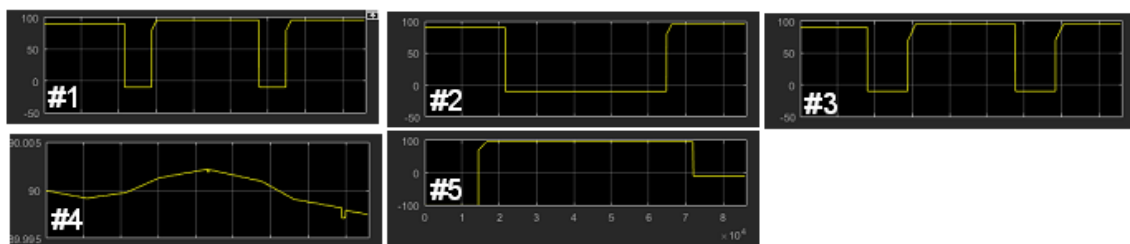


Obr. 32 Porovnanie zdanlivého výkonu fotovoltaickej a veternej elektrárne a dieselového generátora.

4.2.1.1. V2G

V2G má dve funkcie: Riadi nabíjanie batérií, ktoré sú k nemu pripojené a zároveň využíva dostupnú energiu na reguláciu siete, keď sa počas dňa vyskytne nečakaná udalosť. Blok implementuje päť rôznych profilov používateľov automobilov:

- Profil # 1: Ľudia, ktorí idú do práce s možnosťou nabíjania auta v práci.
- Profil č. 2: Ľudia, ktorí idú do práce, no nemajú možnosť si v práci nabiť svoje auto.
- Profil # 3: Ľudia, ktorí idú do práce s možnosťou nabíjania auta v práci, ale pri dlhšej jazde.
- Profil # 4: Ľudia, ktorí zostávajú doma.
- Profil # 5: Ľudia pracujúci na nočnej smene.



Obr. 33 Porovnanie profilov nabíjania a vybíjania elektrických vozidiel

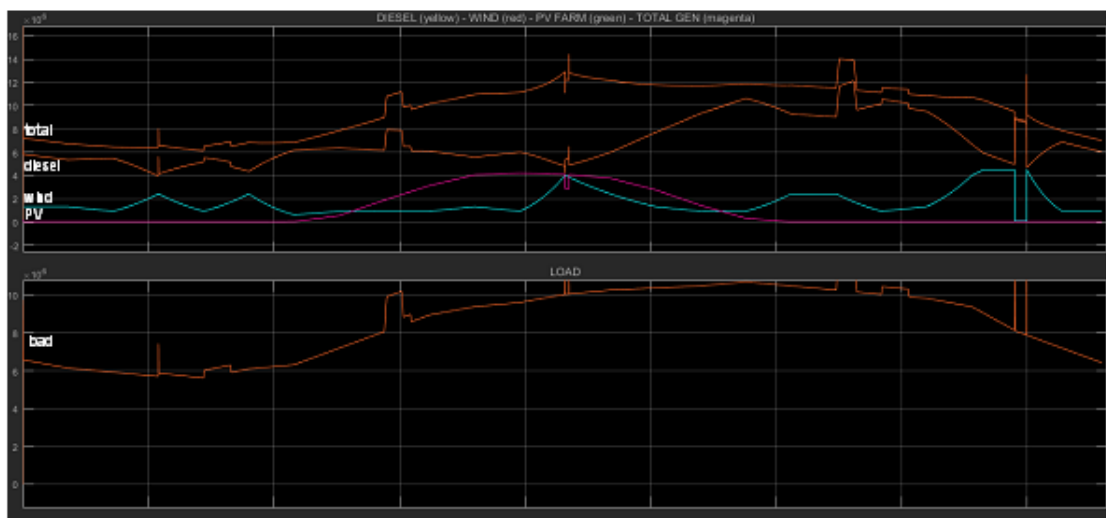
4.2.1.2. Závaž – odber energie pre jednotlivé domácnosti

Zaťaženie pozostáva z obytného zaťaženia a asynchrónneho stroja, ktorý sa používa na vyjadrenie dopadu priemyselného indukčného zaťaženia (napríklad ventilačného systému) na sieť. Rezi denčné zaťaženie uvažuje profil spotreby s daným účinníkom.

4.2.1.3. Simulácia

Spustením modelu môžeme sledovať rôzne signály vo vnútri modelu. Je tiež možné monitorovať rýchlosť otáčania rotora v rozsahu nad modelom. Kliknutím na podsystém Scopes and

Power Measurement je možné získať prístup k informáciám z rôznych uzlov. V tomto subsysteme je k dispozícii aj stav nabíjania každého profilu vozidla. Záporný stav znamená, že auto je na ceste alebo nie je pripojené.



Obr. 34 Procesy výroby (horný graf) a spotreby (dolný graf)

4.2.1.1. Scenár simulácie

Simulácia trvá 24 hodín. Intenzita slnečného žiarenia je riadená normálnym rozdelením, keď je najvyššia intenzita dosiahnutá na poludnie. Vietor sa počas dňa výrazne mení a má niekoľko vrcholov a miním. Zaťaženie domácnosti má typický vzorec podobný bežnej spotrebe v domácnosti, počas dňa je nízka, večer sa zvyšuje na vrchol a v noci pomaly klesá. Frekvenciu siete počas dňa ovplyvňujú tri udalosti:

- spustenie asynchrónneho stroja o tretej hodine ráno,
- čiastočné zamračenie na poludnie ovplyvňujúce výrobu slnečnej energie
- a výkon veternej farmy prerušený o 22. hodine, keď vietor prekročí povolenú maximálnu povolenú rýchlosť vetra.

4.2.2. Zhrnutie modelu

Tento model popisuje simuláciu, ktorá zahŕňa zdroje energie (15 MW dieselový generátor, fotovoltaickú a veternú elektrárňu s výkonom 8 a 4,5 MW), spotrebu elektrickej energie (s maximom približne 10 MW) a model nabíjania elektrického vozidla ako spôsob akumulácie elektrickej energie v prípade výpadku alebo prebytku energie v sieti. Systém tiež obsahuje nepredvídateľné zdroje, ktoré v kombinácii s naftovým generátorom a systémom nabíjania elektrických vozidiel udržiavajú sieť v prevádzke.

Vzhľadom na to, že tento model je ostrovnej prevádzky (off – grid), nie je teda pripojený k väčšiemu systému a preto jeho prevádzka závisí od spoľahlivej prevádzky najväčšieho zdroja. Týmto základným zdrojom je dieselový generátor, ktorý nie je závislý od veternej a solárnej energie, ale v rámci regulácie poskytuje maximálny priestor pre energiu z obnoviteľných zdrojov energie. V rámci modelu sa vykonalo niekoľko meraní, ktoré preukázali funkčnosť modelu a jeho stabilitu za daných podmienok. Na danom modeli by bolo vhodné monitorovať kvalitu elektrickej energie, najmä frekvencie, pretože kolísanie frekvencie nie je žiadúci jav v sieti.

4.3. Využitie inteligentných meracích systémov v inteligentných sieťach

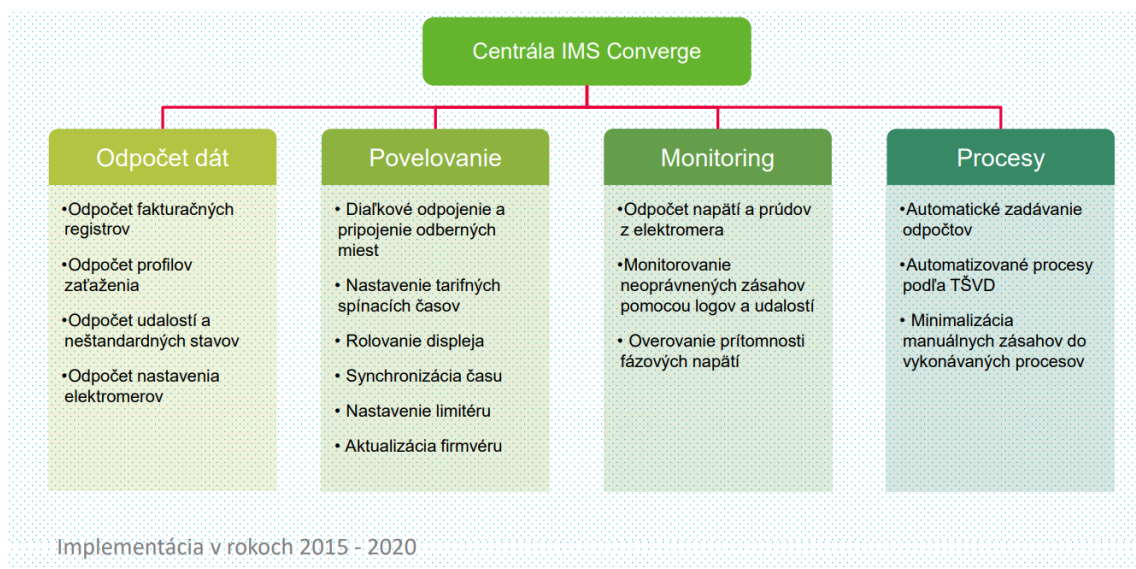
Použitie záťaže ako dodatočného stupňa kontroly nie je úplne nová funkcia, ale zase na opačnej strane by bola škoda nevyužiť kapacity inteligentných meracích systémov. Môžeme hovoriť o cenovo dostupnom prostriedku globálnej komunikačnej infraštruktúry, ktoré okrem toho obsahujú vstavané systémy umožňujúce pomerne ľahko implementovať určitú časť „inteligencie“ v rámci základnej funkcionality, a to odpočtov záťaží. Tento vývoj je spôsobený skutočnosťou, že napriek zvýšenej účinnosti elektrických zariadení spotreba každý rok neustále stúpa o niekoľko percent. Aj keď generácia nemusí byť príliš problémom, je to práve kapacita rozvodnej siete, ktorá mnohých zainteresovaných ľudí znepokojuje.

Otázky týkajúce sa prenosu energie vyvolávajú najmä nové a ambiciózne projekty, ako napríklad DeserTec (rozsiahle solárne elektrárne v severnej Afrike, ktoré zásobujú Európu) a veľké pobrežné veterné parky v Severnom mori. Siete by mohli čoskoro čeliť svojim obmedzeniam a inteligentný manažment na strane dopytu (demand side management – DSM) je jedným zo spôsobov, ako tieto limity trochu ďalej rozšíriť. Tento typ manažmentu tiež podporuje distribuovanú výrobu: na zníženie prenosu energie na veľké vzdialenosti, by sa mohla lokálne generovaná energia spotrebovať miestnymi odbermi okamžite, keď je k dispozícii. Hlavnou výhodou DSM je, že je lacnejšie inteligentne ovplyvňovať záťaž, ako stavať novú elektrárňu alebo inštalovať nejaké elektrické úložné zariadenia.

DSM zahŕňa všetko, čo sa deje na strane dopytu energetického systému, od výmeny starých žiaroviek po kompaktné žiarivky (CFL – compact fluorescent lights) až po inštaláciu sofistikovaného systému dynamického riadenia záťaže. Aj keď v minulosti bol manažment DSM zameraný na budovanie siete, v blízkej budúcnosti by sa mal posunúť smerom k činnosti zameranej na zákazníka.

V rámci podmienok Slovenskej republiky a to konkrétne Východoslovenskej distribučnej spoločnosti (VSD a.s.), prebieha testovanie prevádzky IMS na identifikáciu poruchy u zákazníka. Nasadením značného počtu meracích prvkov v sieti je tak následne možné overiť stav iných elektromerov v okolí hlásenia chyby a tak lokalizovať veľkosť a miesto poruchy. Zavedením

funkcionality Ping tiež vedia overovať dostupnosť IP adresy elektromerov automaticky každých 10 minút a tak lepšie reagovať na správanie sa siete. Takýmto spôsobom je možné overovať a merať aj iné veličiny elektrickej distribučnej siete. Ďalšie funkcionality systému IMS, ktoré sa v súčasnosti používajú v podmienkach východného Slovenska sú zobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obr. 35 Funkcionality IMS systému vo VSD a.s.

5. Záver

Ľudia porovnávajú odvetvie elektroenergetiky a telekomunikácií pomocou dobre známej analógie: „Alexander Graham Bell by nerozoznal mobilné telefóny, ak by bol dnes nažive, ale Thomas Alva Edison by stále spoznal elektrický systém, ak by bol dnes žil.“ Existuje veľa dôvodov prečo vzniká tento rozdiel, avšak jeden vyniká. Masívna elektrická infraštruktúra nemôže byť nahradená tak rýchlo a nákladovo efektívne ako telekomunikačná infraštruktúra. Elektrická infraštruktúra je jednoducho kapitálovo náročnejšia. Druhým dôvodom je to, že vývoj v oblasti spracovania telekomunikačných zariadení a IT zariadení výrazne prekročil vývoj v telekomunikačných infraštruktúrach. Prostredie, ktoré poháňa potrebu vyspelých komunikácií, sa v telekomunikačnom priemysle vyvíjalo oveľa rýchlejšie ako v elektrotechnickom priemysle. Ďalej možno tvrdiť, že porovnávanie osobných komunikácií poháňaných elektrinou nie je to isté, pretože spotrebitelia sú ochotnejší platiť za elektrinu.

Táto práca sa zaoberá vplyvom inteligentných sietí na distribučnú sústavu. V rámci prvých kapitol je v nej opísaný stav vytvárania technológií inteligentných sietí z pohľadu technického ale tiež legislatívneho. Inteligentné siete, ako celok zahŕňajú úzku spoluprácu medzi vývojármi zariadení, prevádzkovateľmi energetických sietí a tiež spotrebiteľmi elektrickej energie. Celý systém siete však musí byť stavaný na základnom princípe energetiky, a to že výroba sa musí rovnať spotrebe.

Trendy vo svete, ktoré sú súčasťou druhej kapitoly, poukazujú na to, že inteligentná sieť je projekt, ktorý je možné realizovať, a ktorý dokáže úspešne fungovať. Nie je to však jednoduchý proces nakoľko vo väčšine prípadov išlo o realizáciu celých inteligentných miest. Tu vzniká otázka, nakoľko by bola úspešná rekonštrukcia prípadne reorganizácia už existujúcich elektrických sietí. Každopádne je možné konštatovať, že postupnými krokmi, ktoré sa v súčasnosti realizujú naprieč celou Európou a tiež Slovenskom, bude možné vytvoriť inteligentnú sieť aj rekonštrukciou existujúcich zariadení v sieti.

Tretia kapitola je venovaná analýze inteligentných sietí pre vytvorenie modelov, ktoré by vedeli testovať prevádzku nových zariadení v sieti. Princíp budovania vychádza zo štandardov riadenia prepojených sústav a tiež uvažuje s prevádzkou sietí, ktoré by v prípade potreby vedeli tvoriť funkčnú ostrovnú prevádzku. V krátkosti sú tiež skúmané prvky výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, ako fotovoltaiická a veterná energia, energia z biomasy prípadne vodná energia. Príchodom nových technológií je tiež skúmané zapojenie elektrických vozidiel do fungovania sústavy v rámci manažmentu nabíjania. Spolupráca obnoviteľných zdrojov tiež predpokladá používanie vhodných akumulčných prvkov v sústave.

V štvrtej kapitole sú opísané dva typy modelov. Prvý z nich sleduje vplyv nových zariadení na existujúcu sústavu. Výsledky zo simulácií ukazujú, že pripojenie veľkého množstva nových spotrebičov, konkrétne nabíjačiek na autá, by mohlo mať nežiadúci vplyv na fungovanie existujúcich sústav. Riešením je modernizácia elektrických sietí a súčasne aj manažment nabíjania elektromobilov v rámci jednej siete. Druhý model simuluje prevádzku inteligentnej mikrosiete. Mikrosieť je ostrovnej prevádzky a obsahuje jeden diesel agregátor na udržanie prevádzky siete v kombinácii s prvkami ako sú fotovoltaické panely a veterné turbíny. Model demonštruje reguláciu parametrov siete, kde na denný diagram zaťaženia vplyvajú prírodné zmeny.

Táto práca reaguje na aktuálne dianie v elektroenergetike. Blížiacim sa rokom 2020 dochádza ku postupnému napĺňaniu cieľov Európskej únie na zvýšení podielu výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov a tiež zníženiu uhlíkovej stopy a znižovaniu emisií. Stratégia Európskej únie už aj teraz myslí na ďalšie dekády a pripravuje nové ciele na obdobie do roku 2030. V rámci vytvárania inteligentných sietí je tiež postupne dokončovaná výmena inteligentných elektromerov v domácnostiach aj v podnikoch. Tento nemalý krok prináša už teraz pozitívne výsledky v rámci sledovania spotreby a vytvárania lepšieho pohľadu na spotrebu elektrickej energie zákazníkov.

Zoznam použitej literatúry

- [1]. SIOHANSI, F., P. et al. Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy; Academic Press, 2011. 510 s. ISBN 978-0-12-386452-4
- [2]. VOLČKO, Vladimír: SmartGrid: Vplyv na prevádzku, bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy, Autoreferát dizertačnej práce, STU FEI Bratislava, online, [cit. 2019-09-02]. Dostupné na internete: <http://www.fei.stuba.sk/docs//2015/autoreferaty/Volcko_autoref.pdf>
- [3]. CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, First Set of Standards, online [cit. 2019-09-12]. Dostupné na internete: <http://gridscientific.com/images/Smart_Grid_Reference_Artitecture.pdf>
- [4]. AT&P journal 4/2010: SCADA systém je viac ako len softvérová aplikácia, 26 s, online, [cit. 2019-09-07]. Dostupné na internete: <http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy/atp_2010/pdf/atp-2010-04-26.pdf>
- [5]. NAŠČÁKOVÁ, Jana; GERGELOVÁ, Marcela: SmartGrids ako piliere budúcej energetiky v podmienkach Slovenskej republiky, Transfer inovácií 24/2012, s143-147, online, [cit. 2019-10-10]. Dostupné na internete: <<https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/24-2012/pdf/143-147.pdf>>
- [6]. Panajotovic, B., Jankovic, M. & Odadzic, B. ICT and smart grid. in 2011 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSEKS) vol. 1 118–121 (2011).
- [7]. MAREČEK, Peter: Smart grids AOM15E2S – Elektrické zdroje a soustavy, České vysoké učení technické v Praze.
- [8]. Inteligentný elektromer, online, [cit. 2019-09-12]. Dostupné na internete: <<https://www.vsd.sk/edso/domov/technicke-info/meranie-distribucie/elektromery/ms>>
- [9]. Iniciativa Futur/e/motion, online, [cit. 2019-11-08]. Dostupné na internete: <<https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost2011/cs/environment/ochrana-zivotniho-prostredi.html>>
- [10]. SCADA System, online, [cit. 2019-10-21]. Dostupné na internete: <<http://www.electronicshub.org/scada-system/>>
- [11]. Japonsko ve vůdčí roli výzkumu Smart Grids ve Východní Asii, online, [cit. 2019-10-22]. Dostupné na internete: <<http://oenergetice.cz/zahranicni/japonsko-ve-vudci-rolivyzkumu-smart-grids-ve-vychodni-asii/>>

- [12]. Čína chce vybudovat globální síť založenou na obnovitelných zdrojích, online [cit. 2019-10-22]. Dostupné na internetu: <<http://www.hybrid.cz/cina-chce-vybudovat-globalni-energetickou-sit-zalozenou-na-obnovitelnych-zdrojich/>>
- [13]. Smart grids zabezpečia Číne trvalo udržateľný rozvoj miest, online [cit. 2019-10-22]. Dostupné na internetu: <<http://energia.sk/dolezite/elektrina-a-elektromobilita/smart-grids-zabezpecia-cine-udrzatelny-rozvoj-miest/12917//>>
- [14]. Rekord v prenášaném napětí, výkonu a vzdálenosti: Čína dostane UHV DC přenosové spojení, online [cit. 2019-10-23]. Dostupné na internetu: <<http://www.proelektrotechniky.cz/vyroba-a-prenos/107.php>>
- [15]. Japonsko testuje smart mesto budúcnosti, online, [cit. 2019-10-23]. Dostupné na internetu: <<http://energia.sk/dolezite/uvod/japonsko-testuje-smart-mesto-buducnosti/13873/>>
- [16]. Využívaní Smart Grid v domácnostech. Výsledky výzkumu Smart Grid zařízení v domácnostech ČR pro podporu jejich rozšíření, online, [cit. 2019-11-03]. Dostupné na internetu: <http://www.mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/brozura_2016.pdf>
- [17]. Elektřina pod kontrolou, online, [cit. 2019-09-25]. Dostupné na internetu: <<http://www.chip.cz/novinky/trendy/elektrina-pod-kontrolou/>>
- [18]. Šéf firmy Panasonic pre Európu: Televízor ako centru pre internet vecí je hlúposť. Televízor je na sledovanie videa, online, [cit. 2019-09-27]. Dostupné na internetu: <<https://touchit.sk/sef-firmy-panasonic-pre-europu-televizor-ako-centrum-pre-internet-veci-je-hlupost-televizor-je-na-sledovanie-idea/41878>>
- [19]. Record 1,100kV UHVDC power link rolls out in China, online, [cit. 2019-09-27]. Dostupné na internetu: <<http://www.eenewseurope.com/news/record-1100kv-uhvdc-power-link-rolls-out-china-0>>
- [20]. Budoucnost má jméno smart grids, online, [cit. 2019-09-09]. Dostupné na internetu: <<http://www.enviweb.cz/clanek/energie/73664/budoucnost-ma-jmeno-smart-grids>>
- [21]. Smart grids by country, online, [cit. 2019-09-29]. Dostupné na internetu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grids_by_country#United_States/>
- [22]. Koreas Jeju Smart Grid Test – Bed Overview, online, [cit. 2019-10-22]. Dostupné na internetu: <<https://nkloc.wordpress.com/2010/11/01/koreas-jeju-smartgrid-test-bed-overview/>>
- [23]. Nice Grid: první evropský demonstrační projekt solární smart grid, online, [cit. 2019-10-25]. Dostupné na internetu: <<http://www.proelektrotechniky.cz/zajimave-projekty/27.php/>>

- [24]. Smart Grid Vendée: francouzský projekt smart grid na postupu, online, [cit. 2019-10-25]. Dostupné na internete: <<http://www.proelektrotechniky.cz/zajimave-projekty/32.php/>>
- [25]. Zkušební „smartgrid“ v Německu, online, [cit. 2019-10-25]. Dostupné na internete: <<http://www.proelektrotechniky.cz/smart-metering/4.php/>>
- [26]. Dr.h.c. prof. Ing. KOLCUN, Michal, PhD.; Ing. DUDIÁK, Jozef: Inteligentné siete, online, [cit. 2019-10-10]. Dostupné na internete: <http://people.tuke.sk/dusan.medved/Porac/2014/Kolcun_Dudiak.pdf/>
- [27]. Smart grids, online, [cit. 2019-10-13]. Dostupné na internete: <https://www.powerwiki.cz/attach/EZS/prednaska_05.pdf>
- [28]. VISION 01/2014. Pri Viedni vyrastie chytré mesto, online, [cit. 2019-10-27]. Dostupné na internete: <https://w5.siemens.com/web/sk/sk/siemens_slovensko/Documents/visions_2014-01.pdf>
- [29]. B. Dupont; P. Vingerhoets; P. Tant; K. Vanthournout; W. Cardinaels; T. De Rybel, E. Peeters, R. Belmans: LINEAR Break through Project: Large – Scale Implementation of Smart Grid Technologies in Distribution Grids, online, [cit. 2019-11-05]. Dostupné na internete: <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/371843/1/ISGT_Linear+Breakthrough+Project_2012.pdf>
- [30]. Zkušební „smartgrid“ v Německu, online, [cit. 2019-11-05]. Dostupné na internete: <<http://www.proelektrotechniky.cz/smart-metering/4.php/>>
- [31]. AMI (SmartGrid Project) – Poland – 2016, online, [cit. 2019-10-28]. Dostupné na internete: <https://www.smartgrid.gov/recovery_act/deployment_status/sdgp_ami_systems.html>
- [32]. UPGRID – projekt, online, [cit. 2019-11-13]. Dostupné na internete: <<http://upgrid.eu/>>
- [33]. J. A. Momoh, Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis, 1 edition. Hoboken, N.J.: Wiley-IEEE Press, 2012. 232 p. ISBN-13: 978-0470889398.
- [34]. S. Borlase, Ed., Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions, 1 edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012. 607 p. ISBN-13: 978-1439829059.
- [35]. SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY 2009/72/ES, online, [cit. 2019-09-28]. Dostupné na internete: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2009/72/oj>>
- [36]. Jain, A. & Mishra, R. Changes challenges in smart grid towards smarter grid. in 2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES) 62–67 (2016). doi:10.1109/ICEPES.2016.7915907.
- [37]. Morris, G. Y., Abbey, C., Joos, G. & Marnay, C. A Framework for the Evaluation of the Cost and Benefits of Microgrids. 14.

- [38]. IEC 62264-1:2013. ISO (2013). Available at: <https://www.iso.org/standard/57308.html>. (Accessed: 20th November 2019)
- [39]. Leitman V. IDENTIFIKACE A DETEKCE PORUCH NA FV SYSTÉMU – PROVOZNÍ MĚŘENÍ. , VÚT Brno, Bakalárska práca. 61.
- [40]. Kalogirou, S. A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. (Academic Press, 2013).
- [41]. GLOBAL WIND REPORT 2018, GlobalWind Energy Council, 61 s., online, [cit. 2019-11-09]. Dostupné na internete: <<https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>>
- [42]. Možnosti výroby elektrickej energie z malej veternej turbíny / Jakub Urbanský ... [et al.] - 2019. In: Elektroenergetika : International Scientific and Professional Journal on Electrical Engineering : Medzinárodný vedecký a odborný časopis pre elektroenergetiku. Roč. 12, č. 1 (2019), s. 21-24 [print]. - ISSN 1337-6756, online, [cit. 2019-11-25]. Dostupné <na internete: <https://eejournal.fei.tuke.sk/index.php/jeen/article/view/461/537>>
- [43]. Smart grid projects map: organisations and implementation sites, online, [cit. 2019-11-15]. Dostupné na internete: <https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/sgp_outlook_map/map.html>
- [44]. Project Acon - Smart grid CZ/SK, online, [cit. 2019-11-20]. Dostupné na internete: <<https://www.acon-smartgrids.cz/sk#Acon>>
- [45]. EÚ schválila grant na česko-slovenský smart grid projekt Acon, online, [cit. 2019-11-20]. Dostupné na internete: <<https://energoklub.sk/sk/clanky/eu-schvalila-grant-na-cesko-slovensky-smart-grid-projekt-acon/>>
- [46]. 10.4 Smart grid projekt ACON, online, [cit. 2019-11-20]. Dostupné na internete: <<https://www.mhsr.sk/energetika/medzinarodna-spolupraca/projekty-spolocneho-zaujmu-pci/elektroenergetika/104-smart-grid-projekt-acon>>
- [47]. INERTIA - inteligentná elektrická distribučná sieť, online, [cit. 2019-11-16]. Dostupné na internete: <<https://www.teraz.sk/slovensko/inertia-distribucia-energia-tuke/42658-clanok.html>>
- [48]. Energy to smart grid, online, [cit. 2019-11-16]. Dostupné na internete: <<https://cordis.europa.eu/project/rcn/201959/factsheet/en>>
- [49]. Kiljander, J. et al. Residential Flexibility Management: A Case Study in Distribution Networks. IEEE Access 7, 80902–80915 (2019).
- [50]. PowerUp, online, [cit. 2019-11-16]. Dostupné na internete: <<https://ses.jrc.ec.europa.eu/powerup>>

- [51]. PV GRID, online, [cit. 2019-11-16]. Dostupné na internete: <<https://www.sapi.sk/medzinarodne-projekty>>
- [52]. VIBRATE, online, [cit. 2019-11-18]. Dostupné na internete: <<http://www.ecb2.sk/recent-projects/?lang=en>>
- [53]. Projekt Energoz, online, [cit. 2019-11-18]. Dostupné na internete: <<http://www.energoz.sav.sk/>>
- [54]. Smart mestá chce aj štát. O čom je desiatka projektov s dotáciami za pol milióna eur, online, [cit. 2019-11-19]. Dostupné na internete: <<https://www.etrend.sk/trend-archiv/rok-2019/cislo-12/smart-mesta-chce-aj-stat.html>>
- [55]. Šesť slovenských miest plánuje zaviesť riešenia smart city, online, [cit. 2019-11-19]. Dostupné na internete: <<https://ekonomika.sme.sk/c/20873296/sest-slovenskych-miest-planuje-zaviesť-riesenia-smart-city.html>>
- [56]. Introducing Fujisawa Sustainable Smart Town. A town sustainably evolving through living ideas, online [cit. 2019-11-20]. Dostupné na internete: <<https://fujisawasst.com/EN/project/>>
- [57]. Energy storage associaton, online, [cit. 2019-11-20]. Dostupné na internete: <<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/>>
- [58]. Palensky, P. & Dietrich, D. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. IEEE Transactions on Industrial Informatics7, 381–388 (2011).
- [59]. Veseleňák, S. Automatická identifikácia miesta poruchy na NN prostredníctvom IMS elektromerov + vyhodnotenie. 14. Odborný seminár: Aktuálne problémy elektroenergetiky SR, Poráč 2019
- [60]. Dudiak, J. Budovanie bezpečnej infraštruktúry inteligentného merania vo VSD a.s. 13. Odborný seminár: Aktuálne problémy elektroenergetiky SR, Poráč 2019