

Analýza nástrojov a koncepcie celkovej architektúry pre modelovanie a simuláciu mikrogridov

*Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov
II. etapa*



Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: *Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa*, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



SFÉRA, a.s. • Karadžičova 2 • 811 08 Bratislava
tel.: +421 2 502 13 142

ISBN 978-80-89778-10-2
© SFÉRA, a.s., 2021



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Táto publikácia je dielom kolektívu autorov:

Láznicka Libor, Holíš Martin, Krbaťa Rastislav, Slávik Jakub, Moško Daniel

Ostatní autori:

Kalamen Igor, Kosa Jozef, Trvalec-Višňovská Monika, Liptáková Lucia, Vannay David, Deák Tomáš,
Legnavský Ľubomír, Kianička Pavol, Jedinák Radovan

OBSAH

1 ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	6
1.1 Vízia riešenia.....	6
1.2 Inteligentné siete	7
1.2.1 Analýza problematiky.....	7
1.2.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	8
1.2.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia	8
1.3 Mikrogridy	8
1.3.1 Analýza problematiky.....	8
1.3.2 Príklady reálnych mikrogridov	10
1.3.2.1 IRENE - integrácia regeneratívnej energie a elektrickej mobility (Bavorsko, Nemecko)	11
1.3.2.2 Mikrogrid MVV Mannheim-Wallstadt, Bádensko-Württembersko, Nemecko	11
1.3.2.3 Mikrogrid Simris, Švédsko	12
1.3.2.4 Mikrogrid v univerzitnom areáli San Diego, Kalifornia, USA	12
1.3.3 Riadenie mikrogridov	13
1.3.3.1 Nástroje pre riadenie mikrogridov	15
1.3.4 Technické úlohy v rámci mikrogridov	16
1.3.5 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	17
1.3.6 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia	17
1.4 Inteligentné meracie systémy	17
1.4.1 Analýza problematiky.....	17
1.4.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	18
1.4.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia	20
1.4.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu	21
1.4.5 Integrácia v rámci riešenia	21
1.5 IoT	22
1.5.1 Analýza problematiky.....	22
1.5.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	24
1.5.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu	25
1.5.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu	25
1.5.5 Integrácia v rámci riešenia	25
1.6 Digitálne dvojča	26
1.6.1 Analýza problematiky.....	26
1.6.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	28
1.6.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu	29
1.6.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu	29
1.6.5 Integrácia v rámci riešenia	29
1.7 Modelovanie siete	30
1.7.1 Analýza problematiky.....	30
1.7.2 Možnosti a nástroje pre modelovanie mikrogridov	31
1.7.2.1 PETRIHO SIET'	32
1.7.2.2 PSLF simulačný modul	33
1.7.2.3 Energetické systémy CAD	33

1.7.2.4	MATLAB	34
1.7.3	Prvky a vstupy potrebné pre modelovanie mikrogridov	35
1.7.4	Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	36
1.7.5	Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu	36
1.7.6	Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu	36
1.7.7	Integrácia v rámci riešenia	37
1.8	Simulácia siete	37
1.8.1	Analýza problematiky	37
1.8.1.1	Možnosti a nástroje pre simuláciu siete	38
1.8.1.2	Porovnanie existujúcich SW	43
1.8.1.3	Závery vyplývajúce s dostupných informácií o existujúcich systémov	44
1.8.1.4	Typy simulácií siete	45
1.8.1.5	Statické a dynamické simulácie	46
1.8.1.6	Možnosti vizualizácie výsledkov simulácie siete	50
1.8.2	Návrh využitia problematiky v rámci riešenia	50
1.8.2.1	Predikcia spotreby energie	51
1.8.2.2	Predikcia výroby energie	52
1.8.2.3	Optimalizácia spotreby v domácnosti	53
1.8.2.4	Simulácia návratnosti investície do mikrogridu	53
1.8.3	Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu	56
1.8.4	Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu	56
1.8.5	Integrácia v rámci riešenia	56
1.9	Súlad s predpismi	57
1.9.1	Európsky legislatívny rámec	57
1.9.2	Slovenský legislatívny rámec a pilotné projekty	60
2	POŽIADAVKY NA RIEŠENIE	62
2.1	Funkčné požiadavky	62
2.2	Nefunkčné požiadavky	62
3	HRUBÝ NÁVRH RIEŠENIA	64
4	NÁVRH RIEŠENIA	66
4.1	Časti riešenia	66
4.1.1	Zberová centrála IMS	66
4.1.1.1	Evidencia odberných a odovzdávacích miest	67
4.1.1.2	Zber nameraných údajov	68
4.1.1.3	Generovanie náhradných hodnôt	69
4.1.1.4	Monitorovanie zberu	69
4.1.2	Databáza modelu siete	70
4.1.2.1	Evidencia prvkov siete	71
4.1.2.2	Topológia siete	72
4.1.2.3	Správa technickej dokumentácie	72
4.1.2.4	Reportovanie	73
4.1.3	Modelovanie a vizualizácia	73
4.1.3.1	Správa projektov	74
4.1.3.2	Knižnica grafických elementov	75

4.1.3.3	Modelovanie	75
4.1.3.4	Vizualizácia.....	76
4.1.4	Simulácie a analýzy	76
4.1.4.1	Dimenzovanie	77
4.1.4.2	Predikcie.....	78
4.1.4.3	Bilancovanie	79
4.1.4.4	Virtuálna batéria.....	79
4.2	Komponenty riešenia.....	80
4.2.1	Prehľad komponentov riešenia	80
4.2.2	Koncepcia nasadenia základných komponentov	80
4.3	Charakteristika riešenia.....	81
4.3.1	Konfigurovateľnosť a parametrizácia	82
4.3.2	Vyhľadávanie a filtrovanie	82
4.3.3	Archivácia.....	82
4.3.4	Tlač.....	82
4.3.5	Prístup k údajom	82
4.3.6	Lokalizácia	82
4.3.7	Jednotky a mena.....	82
4.3.8	Koncepcia obrazoviek	83
4.3.9	Zadávanie údajov	83
4.3.10	Bezpečnosť systému.....	83
4.3.11	Architektúra	83
4.3.12	Integrácia	83
4.3.13	Súlad s aktuálne platnou legislatívou.....	83
5	ROZHRANIA RIEŠENIA.....	84
5.1	Externé rozhrania	84
5.2	Interné rozhrania	85
6	ZOZNAM OBRÁZKOV	88
7	ZOZNAM TABULIEK	89
8	ZDROJE	90

1 ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

1.1 Vízia riešenia

Produkcia elektrickej energie zažíva veľký prerod. Vo svetovom meradle počet solárnych a veterných elektrární rastie veľkým tempom a tým pokračuje aj pokles ich ceny. V súčasnej dobe dochádza k zásadným zmenám v štruktúre zdrojov elektrickej energie. Tradičný pohľad na energetickú sústavu až doteraz bol, že elektrina tiekla jedným smerom od veľkého zdroja cez prenosovú a distribučnú sústavu k odberateľom. Odklon od konceptu centralizovanej výroby elektrickej energie je jedným z hlavných faktorov, ktoré prinášajú transformácie elektrizačných sústav.

Druhým, rovnako dôležitým faktorom, je technický pokrok v rámci telekomunikačných technológií a zariadení a taktiež implementácia inteligentných elektromerov, čo prináša možnosť budovania moderného databázového simulačného prostredia. Simulačné modely elektrizačných sústav boli a sú uznávaným nástrojom na analýzu elektrizačných sústav. V súčasnej dobe pre energetiku existuje viacero účinných programových celkov, ktoré majú rozsiahle modelovacie schopnosti a používajú sa pre analýzu elektrizačnej sústavy.

Prichádzajúca digitalizácia bude však vytláčať tradičné manuálne postupy na zdieľanie údajov pre jednotlivé simulačné modely. Sú tu možnosti získavať dáta pre simulačné modely nielen z historických meraní, ale aj priamo v reálnom čase. Využitie digitálneho modelu skutočného objektu (digitálne dvojča) nájde veľké uplatnenie pri plánovaní rozvodných sietí.

Náhodný a premenný charakter výroby nových zdrojov a premenlivých odberov prináša potrebu uvažovať o nových prístupoch k sieťovým výpočtom, k využívaniu dát a pod. Existujúce vstupy do sieťových výpočtov, ktoré boli doteraz presne špecifikované, možno nahradiť opisom stavu vo forme ich pravdepodobnostného správania. Do popredia sa dostáva aj strojové učenie a umelá inteligencia, ktoré pomáhajú implementovať nové prvky do elektrizačných sústav.

Plánovanie rozvodnej siete sa v priebehu posledných rokov stáva zložitejším vzhľadom na udržiavanie výkonovej rovnováhy energetického systému. Koncept inteligentnej siete (mikrogrid) v rámci rozvoja distribučnej sústavy umožňuje riešiť požiadavku na zvýšenú inštaláciu výrobných zariadení z obnoviteľných zdrojov energie v súlade s naplnením environmentálnych cieľov stanovených Európskou komisiou a s využívaním moderných technológií inteligentných sietí, a tým zároveň eliminovať problémy, ktoré integrácia OZE prináša súčasným prevádzkovateľom elektrizačnej sústavy. Inteligentná sieť je dnes predpokladom presnosti modelu digitálnej siete.

Pri vypracovaní investičných scenárov plánovanej lokálnej siete okrem riešenia technických otázok danej siete, ktoré budú premietnuté aj do ekonomických výpočtov, bude potrebné zohľadniť aj rôzne legislatívne a politické rámce.

Všetky uvedené fakty ukazujú na potrebu vývoja moderného programového nástroja pre modelovanie a simulácie moderných digitálnych mikrogridov. Tento zámer si vyžaduje podrobnú analýzu v nasledovných oblastiach:

- Inteligentné siete
- Inteligentné meracie systémy
- IoT
- Mikrogridy
- Digitálne dvojča
- Modelovanie siete
- Simulácia siete
- Legislatíva

1.2 Inteligentné siete

1.2.1 Analýza problematiky

Inteligentné siete sú bezpečné, spoľahlivé a plne automatizované prenosové alebo distribučné sústavy (môžu byť aj izolované s ostrovnou prevádzkou), prípadne ich časť. Inteligentné siete umožňujú:

- riadenie výroby, spotreby, akumulácie a tokov elektriny v reálnom čase,
- obojsmernú interaktívnu komunikáciu,
- aktívne zapojenie používateľov sústavy,
- vzájomné poskytovanie služieb v rámci sústavy,
- integráciu a využívanie nových technológií,
- zabezpečenie kybernetickej bezpečnosti a ochrany používateľov.

Potreba budovania inteligentných sietí je vyvolaná najmä očakávaným rozvojom decentralizácie výroby elektriny najmä z obnoviteľných zdrojov, akumulácie a elektromobility. Podľa národného energetického a klimatického plánu (NECP) by malo Slovensko do roku 2030 zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov energie zo súčasných približne 12 % na 19,2 %. Akčný plán rozvoja elektromobility na Slovensku zase predpokladá vybudovanie 1 500 verejných nabíjacích staníc pre elektromobily. V rámci modernizácie elektroenergetiky majú byť tiež podporené nové typy služieb pre používateľov sústavy a ďalších účastníkov trhu, ako je napríklad trh s flexibilitou, agregácia prebytkov vyrobenej elektriny alebo peer-to-peer platformy.

Vybudovanie inteligentnej siete si vyžaduje implementáciu nových technológií, vybavenie odberných a odovzdávacích miest inteligentnými meracími systémami s možnosťou diaľkového riadenia, zabezpečenie on-line merania kvality v distribučných staniciach, zabezpečenie vysokovýkonnej a robustnej komunikačnej siete pre bezpečný prenos a spracovanie exponenciálne narastajúcich dát.

Inteligentné siete pozostávajú z nasledovných prvkov:

- silové zariadenia pre prenos, transformáciu a distribúciu elektriny,
- riadiaca, meracia a dispečerská technika,
- inteligentné meracie systémy odberu a dodávky elektriny.

Inteligentné siete zabezpečujú:

- meranie a riadenie tokov činných a jalových výkonov v sústave,
- spoluprácu s výrobnými zariadeniami, akumuláčnými zariadeniami a zariadeniami odberateľov,
- využívanie otvorených štandardov interoperability,
- vyhodnocovanie energetickej účinnosti prevádzkovania sústavy vrátane detekcie netechnických strát,
- sprístupňovanie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu,
- umožnenie dvoj alebo viac stranných zmluvných vzťahov medzi účastníkmi trhu,
- ochranu osobných údajov používateľov sústavy a ďalších účastníkov trhu,
- ochranu proti kybernetickým rizikám,
- primeranú fyzickú bezpečnosť prvkov sústavy.

1.2.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

Navrhované riešenie bude poskytovať podporu modelovania inteligentných sietí a simulácie v rámci týchto sietí. Riešenie by tak malo poskytovať otvorenú databázu prvkov inteligentnej siete, ktorá bude využívaná pri modelovaní siete. Súčasťou modelovania by mala byť možnosť vytvárať medzi jednotlivými prvkami vzťahy resp. prepájať ich. Jednotlivé prvky by mali obsahovať aj príslušné atribúty zariadení, ktorých hodnoty budú slúžiť ako parametre pri simuláciách. Kľúčovou oblasťou, ktorá monitoruje stav v sústave je meranie. Riešenie by malo zabezpečiť integráciu na inteligentné meracie systémy siete a využívať namerané údaje ako vstup pre simulácie. Príslušné dáta by mali byť prostredníctvom riešenia sprístupňované len relevantným účastníkom trhu so zreteľom na ochranu osobných údajov. Riešenie musí zároveň spĺňať aj požiadavky na kybernetickú bezpečnosť.

1.2.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia

Navrhované riešenia pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- evidencia prvkov inteligentnej siete a ich parametrov - FP,
- integrácia na inteligentné meracie systémy - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu - FP,
- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť - NP.

1.3 Mikrogridy

1.3.1 Analýza problematiky

Celosvetové trendy v oblasti využívania obnoviteľných zdrojov energií smerujú k neustále sa zvyšujúcim nárokom na reguláciu OZE a ich hospodárne využívanie a to vedie k budovaniu inteligentných sietí konceptu mikrogrid. Problematika optimalizácie prevádzky obnoviteľných zdrojov energie v elektrizačnej sústave a riešenie problematiky implementácie technológií inteligentných sietí a stanovenie ich vplyvu na bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy je vysoko aktuálna.

Koncept mikrogrid sa zavádza s cieľom ďalej prekonávať slabé stránky konvenčných elektrických sietí pomocou inteligentných technológií s inovatívnymi digitálnymi riešeniami, čím porastie pružnosť riadenia elektrickej siete vďaka efektívnejšej výmene informácií.

Mikrogridy predstavujú distribučné siete prevažne nízkeho a v niektorých prípadoch vysokého napätia, do ktorých sú pripojované distribuované zdroje elektrickej energie s možnosťou uskladnenia prebytočnej energie a s využívaním moderných inteligentných technológií. Technológie inteligentných sietí umožňujú zmeniť prístup aj k záťaži v sieti a umožniť jej prevádzkovateľom aktívne zapojenie sa do trhu s elektrinou a do riadenia systému. Jedná sa o elektrizačnú sústavu, ktorá je schopná pojať veľké množstvo decentralizovaných zdrojov elektrickej energie (ako je fotovoltika, kogenerácia, veterné elektrárne a pod.) spolu s novými odbermi elektriny, akým sú elektromobily (ale aj napr. klimatizácia). Táto sústava musí byť schopná zabezpečiť dodávku elektriny v stanovenej kvalite v danom čase, pokiaľ možno bez prerušenia dodávky, spolu so zaistením bezpečnosti prevádzky (teda správne navrhnutý systém ochrán).

Rozdiel medzi mikrogridom a klasickým modelom siete, ako ho poznáme, je, že klasický model dnes začína u výroby elektriny, ďalej pokračuje cez prenosovú sústavu a distribučnú sústavu do miest spotreby elektriny, ako sú priemyselné objekty, administratívne a nákupné centrá a domácnosti. Mikrogrid umožňuje výrobu v mieste spotreby do takej miery, že môže dochádzať k zmene smeru toku elektrickej energie. Bude dochádzať k stavu, keď elektrina vyrobená v jednom regióne bude

spotrebovaná v inom regióne. Takto fungujúca sústava si však vyžaduje zavedenie a rozšírenie viacerých technológií ako napríklad inteligentné meracie systémy, pokročilú meraciu infraštruktúru alebo systémy inteligentnej domácnosti.

Jednou z požiadaviek na mikrogridy je aj využívanie kruhových vedení, resp. mrežových sietí pre zabezpečenie dodávky elektriny. Túto požiadavku zabezpečujú aj klasické typy sietí, problém však nastáva pri poruchách, kedy môže dôjsť ku kaskádovým poruchám v dôsledku postupného preťažovania jednotlivých prvkov sústavy. Historicky sa na redukcii rizika vzniku kaskádových porúch používali metódy postupného odľahčovania sústavy, v inteligentných sieťach sú však požiadavky na inteligentnú rekonfiguráciu siete, ktorá poskytne zabezpečenie dodávky elektriny ako aj odvrátenie kaskádovej poruchy.

Pre dosiahnutie správneho fungovania mikrogridov sú potrebné akumulčné systémy. Medzi hlavné úlohy výskumu v oblasti elektroenergetiky preto patrí hľadanie čo najefektívnejších a najprogresívnejších metód uskladnenia elektrickej energie.

Medzi očakávané prínosy inteligentnej siete konceptu mikrogrid je možné uviesť nasledovné:

- Mikrogrid ako architektonický a riadiaci koncept sieťovej infraštruktúry zvyšuje spoľahlivosť systému a kvalitu ním dodanej energie jeho segmentáciou do menších častí.
- Vďaka lokálnej výrobe a dodávke elektriny môže tiež umožniť zníženie nákladov na vybudovanie, údržbu a obnovu sieťovej infraštruktúry.
- Náklady sa znížia aj nižšími stratami na vedeniach alebo vhodnými riadiacimi technikami, ktoré umožňujú prevádzkovať sieť v ekonomickom optime a tým znižovať cenu koncovým používateľom.
- Výrazné zlepšenie parametrov výkonnosti distribučnej siete ako aj zníženie strát vznikajúcich pri preprave elektriny vzhľadom na predpoklad vzniku vybilancovaných regiónov.

Medzi nevýhody zavádzania konceptu mikrogrid patrí:

- nutnosť prebudovania riadiacich systémov,
- zavedenie nových metód merania a vyúčtovania,
- nutnosť aplikovať nové ochranné štandardy a techniky, pretože súčasné nastavenie ochranných systémov by bolo pre tento koncept nevyhovujúce,
- prebudovanie v súčasnosti centralizovaného fungujúceho systému si vyžiada vysoké investičné náklady.

Mikrogrid, ako koncept výroby, prenosu a spotreby elektriny, preberá charakteristiky a vlastnosti prenosových a distribučných sústav a v zmenšenej miere sa tak sám stáva nelineárnym dynamickým systémom.

Mikrogridy predstavujú zložité útvary s mnohými prvkami. Riešiť takúto sieť pri uvažovaní všetkých parametrov by bola úloha veľmi náročná. Jedinou možnosťou, ako aproximovať správanie týchto zložitých systémov, je použitie ich zjednodušených modelov s následnou simuláciou.

Systémové analýzy a simulácie je potrebné smerovať k návrhom takých vnútorných ekonomických a prevádzkových pravidiel pre inteligentnú sieť, ktoré by zabezpečili požadovanú funkcionálnosť jednotlivých súčastí inteligentnej siete, vrátane spotrebiteľov, pri dosiahnutí maximálneho ekonomického zisku.

Systémové analýzy musia byť zamerané aj na schopnosť inteligentnej siete účinne adaptovať rôznorodú zdrojovú a spotrebiteľskú štruktúru v nich so zohľadnením očakávaných legislatívnych požiadaviek, vývoja cien elektriny a dotačnej politiky zo strany štátu.

Pre pochopenie správania sa inteligentnej siete typu mikrogrid ako systému je potrebné identifikovať simulačné príležitosti, ktorých rozsah je v teoretickej i praktickej rovine veľmi široký. K týmto príležitostiam patria napríklad simulácia prechodových dejov, ustálených chodov, prechod do ostrovej prevádzky či participácia mikrogridu na trhu s elektrinou.

Zavádzanie konceptu inteligentných sietí s využívaním ich moderných technológií si vyžiada vykonať veľké množstvo počítačových simulácií a systémových analýz s využívaním najnovších poznatkov z oblasti spracovania dát, optimalizácie a estimácie v elektroenergetike.

1.3.2 Príklady reálnych mikrogridov

V súčasnosti existujú 2 základné a 2 doplňujúce typy mikrogridových sietí:

- Mikrogrid zákazníka – zákazník si sám riadi sieť za bodom pripojenia – odberným miestom (PCC - Point of Common Coupling). Množstvo aplikácií tohto typu už existuje, pretože uvedený režim prevádzky siete je možný z legislatívneho hľadiska, aj z hľadiska regulačnej politiky. Na strane siete zákazníka je značná voľnosť pre využitie rôznych moderných a inovatívnych technológií. Vo väčšine prípadov sa jedná o priemyselné objekty.
- Komunitný mikrogrid – tento typ siete možno definovať ako časť distribučnej siete, ktorá spadá do regulovaného odvetvia. Technologické vybavenie sa od predošlého typu mikrogridu takmer neodlišuje. Základnými odlišnosťami je regulačná politika a ekonomické aspekty a to z dôvodov integrácie nového systému do existujúcej infraštruktúry.
- Virtuálny mikrogrid – princíp je podobný, ako u predchádzajúceho typu, s tým rozdielom, že jednotlivé technologické celky sú lokalizované v rôznych miestach nadradeného systému (distribučnej sústavy). Tieto technologické časti sú riadené ako celok. Pre splnenie požiadaviek na prevádzku tohto typu siete je potrebné, aby jednotlivé technologické celky boli schopné pracovať v ostrovnom režime, prípadne každý technologický celok ako samostatný ostrov.
- Malé ostrovné siete – príbuznosť spočíva vo využívaní technológií inteligentných sietí a mikrogridov.

Pretvorenie v súčasnosti fungujúcej siete na koncept inteligentnej siete je finančne veľmi nákladné. Ide o dlhodobý proces, ktorý viaže kapitál v priebehu mnohých rokov.

Tento proces prestavby však už beží a mnohé krajiny rozbiehajú rôzne pilotné projekty, ktoré majú demonštrovať realizovateľnosť a výhodnosť tejto technológie. Spojené štáty napríklad prijali už v roku 2009 program pre rozvoj inteligentných sietí, v rámci ktorého je realizovaných 99 projektov v celkovom objeme \$ 7,8 MLD, pričom \$ 3,4 MLD je z rozpočtu federálnej vlády. Kanada je typická hlavne veľkým množstvom malých ostrovných sietí. Väčšina pilotných projektov sa preto v Kanade zameriava práve na také riadenie ostrovných distribučných sietí, ktoré umožní efektívnejšie využitie dostupných obnoviteľných zdrojov.

V oblasti zavádzania technológie inteligentných sietí ani Európa za zvyškom sveta nezaostáva. V Európe síce neexistuje jednotný postup, no Európska komisia tlačí na jednotlivé vlády, aby vytvorili vlastné politiky zavádzania tejto inovatívnej technológie.

Nám najbližší pilotný projekt je Smart Región Vrchlabí na severe Českej republiky. V rámci pilotného projektu majú byť do Smart Regiónu zapojené a testované technológie ako je elektromobilita, inteligentné meracie systémy, vysoká penetrácia distribuovanej výroby (či už na úrovni VN, alebo NN) vo forme nových obnoviteľných zdrojov energie a kombinovanej výroby elektriny a tepla. Cieľom pilotného projektu je dosiahnuť autonómnou ostrovnú prevádzku časti Smart Regiónu.

Rovnako projekt ACON (Again COnnected Networks) prinesie nové skúsenosti v oblasti inteligentných sietí v regióne strednej a východnej Európy, vyššiu stabilitu a bezpečnosť dodávok elektriny, väčší vplyv na životné prostredie, zintenzívnenie medzinárodnej spolupráce a posilnenie prepojenia medzi štátmi. 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. Vďaka inteligentným technológiám sa doplnia nové komunikačné prvky a tiež aj inteligentné riadenie zaťaženia automatickými algoritmami, čo zvýši informovanosť, zaistí lepšie

prepojenie a v budúcnosti umožní využívať distribučné sústavy na širšie nasadenie obnoviteľných zdrojov, ako aj prístup k digitálnej infraštruktúre.

V nasledujúcich kapitolách je uvedených niekoľko ďalších reálnych príkladov mikrogridov.

1.3.2.1 IRENE - integrácia regeneratívnej energie a elektrickej mobility (Bavorsko, Nemecko)

Obec Wildpoldsried (2 600 obyvateľov) vyrába v súčasnosti o 500 % viac energie, ako potrebuje, pričom energia pochádza z obnoviteľných zdrojov. Prebytočnú elektrinu predáva späť do siete. Regionálne spoločnosti AÜW a Siemens si vybrali Wildpoldsried na testovanie inteligentnej siete, ktorá automaticky stabilizuje energetickú sieť. Fúziou spustili projekt za cca 5 000 000 € - IRENE.

Prvým krokom v IRENE bola inštalácia 200 meracích prístrojov do systémov obnoviteľnej energie po celom meste. Zariadenia merajú elektrické premenné ako napríklad prúd, napätie a frekvenciu, aby určili, kto dodáva elektrinu do siete, kto spotrebúva elektrinu zo siete a aby zistili, aké problémy majú vplyv na stabilitu siete. Len čo sa zistia akékoľvek problémy, regulačný transformátor vyrovná výkyvy napätia. Mesto tiež začlenilo do systému akumulátory s kapacitou 138 kWh, ktoré prijímajú a vydávajú elektrinu a pomáhajú tak stabilizovať sieť.

Udržiavanie stability siete – SOEASY (samoorganizačný automatizačný systém) vyvažuje nedostatky a prebytky elektriny a tým udržiava stabilitu siete tak, že rozhoduje, či poslať elektrinu do siete, alebo do zásobníka. SOEASY obsahuje 5 rôznych softvérových modulov:

- Osobný energetický agent: Každá jednotka v meste má osobného energetického agenta. Toto zariadenie umožňuje výrobcovi elektriny určovať, koľko elektriny predať, kedy a za akú minimálnu cenu v 15-minútových intervaloch. Je to v istom zmysle trh s distribuovanou elektrinou v mierke jedného mesta zabudovaný do oveľa väčšej siete.
- Hlavný balancér (balance master): je nainštalovaný v AÜW a rozhoduje o výbere osobného energetického agenta na pokrytie dopytu v sieti. Môže plánovať úpravy až deň vopred a zohľadňuje rôzne parametre, ako sú napr. zmeny počasia.
- Správca oblasti: pomáha AÜW udržiavať stabilitu siete, ak sa do siete privádza príliš veľa elektriny. Správca oblasti môže upravovať vstup z rôznych zdrojov pomocou príkazov pre svojich osobných energetických agentov, môže posilať elektrinu do zásobníka, alebo môže upravovať napätie prostredníctvom variabilného transformátora.
- Agent sieťového prenosu: zhromažďuje údaje od výrobcov elektriny, spotrebiteľov a siete a dodáva ich správcovi oblasti, ktorý zasahuje v prípade prekročenia maximálneho napätia, a hlavnému balancérovi, ktorý rozhoduje o tom, aký výkon je možné prijať bez preťaženia siete.

1.3.2.2 Mikrogrid MVV Mannheim-Wallstadt, Bádensko-Württembersko, Nemecko

Projekt mikrogridov v Manheime v Nemecku, v mestskej časti Wallstadt s 1 200 obyvateľmi uskutočnil a rozvinul štátny podnik spoločnosti MVV od roku 2006.

Hlavným cieľom tohto úspešného projektu bolo vyvinúť mikrogrid, ktorý bude schopný rýchlo a hladko prepínať z režimu sieťového pripojenia na ostrovný režim. Mikrogrid bol postavený tak, aby umožňoval zavádzanie ďalších inovácií.

Systém je určený pre bytové a obchodné jednotky. Celkové lokálne zaťaženie sa pohybuje medzi 80 kW až 230 kW. Dodávky pre vetranie budovy s výkonom 60 kW a výkonom kotla 48 kW sú riadené. Lokálne je nasadených niekoľko výrobných technológií pre distribúciu, a to: palivový článok s výkonom 4,7 kW, solárny fotovoltaický systém 3,8 kW, skladovacia jednotka zotrvačníka 1,2 kW, dve kogeneračné jednotky s výkonom 9 kW a 5,5 kW (elektrické). V súčasnosti je súkromnými investormi nainštalovaných päť fotovoltaických systémov, spolu 30 kW, a 1 kogeneračný systém.

Spoločnosť MVV testovala schopnosť mikrogridu prepnúť v materskej škole Mannheim-Wallstadt do ostrovného režimu. Bol to úspech: frekvencia mierne vzrástla o 2 Hz vzhľadom na obmedzenie spôsobené pripojením záťaží. Systém sa rýchlo vrátil na svoju normálnu frekvenciu hneď po opätovnom pripojení k distribučnej sieti.

1.3.2.3 Mikrogrid Simris, Švédsko

V dôsledku prechodu na nízkoemisné energetické systémy spoločnosť E.ON prevádzkuje v obci Simris mikrogrid, ktorý pozostáva na 100% z obnoviteľných zdrojov energie. Mikrogrid tvoria zelené zdroje ako slnečná a veterná energia doplnené o flexibilné riešenia v podobe batérií uskladnených v objektoch odberateľov elektriny. Záložný zdroj je generátor na bionaftu.

Obnoviteľné zdroje energie so sebou prinášajú aj problémy s prerušovanou dodávkou z dôvodu ich variabilného výstupného výkonu a potrebu flexibility na vyvažovanie stability siete. Program INTERFLEX bol zriadený v rámci programu pre výskum a inovácie financovaný EÚ Horizont 2020. V rámci programu je realizovaných 6 demonštračných projektov v piatich členských štátoch EÚ (Česká republika, Francúzsko, Nemecko, Holandsko a Švédsko) s celkovým rozpočtom približne 23 miliónov EUR. Projekt skúma možnosti adaptácie a modernizácie distribučnej elektrickej siete v súlade s cieľmi balíkov Európskej komisie v oblasti klímy a energetiky na roky 2020 a 2030. Cieľom demonštrácií je integrácia a testovanie inovatívnych riešení technickej a miestnej flexibility s cieľom zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov na distribučnej sieti.

Do projektu mikrogridu je pripojených približne 150 odberateľov s odberom 800 kW. Elektrina sa vyrába lokálne pomocou veternej turbíny (500 kW) a fotovoltickej elektrárne (440 kW). Okrem výrobných jednotiek je nainštalovaný hlavný centrálny batériový systém (800 kW / 330 kWh) a záložný generátor na bionaftu (480 kW), ktoré umožňujú prevádzku v uzatvorenom systéme. Batériový systém funguje ako stabilizačný prvok siete a má za úlohu vyvažovanie dodávok elektriny v mikrogride. Centrálny regulátor mikrogridu má na starosti bezproblémové prepínanie medzi systémom uzavretej prevádzky a spoluprácu s distribučnou sieťou. Začiatkom roka 2019 bude do mikrogridu v Simris pridaná ďalšia batéria (Redox Flow Battery: 200 kVA/1600 kWh), aby sa ďalej predĺžila prevádzka v uzavretom (ostrovnom) režime.

Flexibilita sa testuje pomocou centralizovaných aj decentralizovaných technológií vyvažovania. Decentralizované technológie sú umiestnené v domácnostiach a kontrolované spoločnosťou E.ON pomocou DSR (Demand side response), čo je nástroj, ktorý pomáha zabezpečiť bezpečnú, udržateľnú a cenovo dostupnú elektrinu. Vyvažuje dodávky elektriny v maxime a minime, pričom zohľadňuje cenu elektriny a zameriava sa na dodávky zo zelených zdrojov.

1.3.2.4 Mikrogrid v univerzitnom areáli San Diego, Kalifornia, USA

Projekt mikrogridu UCSD (University of California San Diego) dodáva elektrinu, kúrenie a chladenie pre univerzitný areál s rozlohou 450 hektárov s denným počtom 45 000 osôb. Skladá sa z dvoch plynových turbín s výkonom 13,5 MW, jednej parnej turbíny s výkonom 3 MW a inštalovanými solárnymi článkami s výkonom 1,2 MW, ktoré spoločne zabezpečujú 85 % potreby elektriny v areáli, 95 % jeho vykurovania a 95 % jeho chladenia.

Turbíny produkujú o 75 % menej emisií, než stanovujú normy pre konvenčnú plynovú elektrárňu. Pre kúrenie, ventiláciu a klimatizáciu sa používa výkon 140 674 kW/hod, zásobník tepla s kapacitou 14 385 m³, plus tri chladiče poháňané parnými turbínami a päť chladičov poháňaných elektrickou energiou. Vysokoteplotné palivové články s výkonom 2,8 MW sú poháňané odpadovým metánom, ktorý je dotovaný kalifornským stimulačným fondom pre vlastnú výrobu a využíva výhody v podobe 30 % zľavy z federálneho úveru na daň z investícií.

Areál je pripojený k SDG&E (San Diego Gas & Electric) pomocou 69 kV rozvodne. IT infraštruktúra používa „priamy systém SCADA“ pre systémy budov a dodávky energie na zabezpečenie vzájomnej komunikácie.

UCSD (University of California San Diego) inštaluje nový špičkový hlavný riadiaci obvod - Paladin, ktorý bude riadiť celú výrobu, skladovanie a zaťaženie pomocou hodinových výpočtov s cieľom optimalizovať prevádzku. Môže prijímať až 260 000 dátových vstupov za sekundu. Na podporu Paladin použije UCSD softvér VPower na spracovanie signálov trhovými cenami, predpovede počasia a dostupnosti zdrojov. Približne 200 elektromerov bolo inštalovaných na hlavných vedeniach a pri hlavných ističoch. Ich úlohou je monitorovanie prevádzky v minútovom rozlíšení. Nakoniec DOE (Department of Education Agency) – vládna agentúra štátu Kalifornia, oddelenie pre vzdelávanie, poskytla univerzite San Diego grant na modelovanie vplyvu účinkov na lokálnu distribučnú sústavu v závislosti od zvyšovania a znižovania výkonu solárneho fotovoltického systému.

1.3.3 Riadenie mikrogridov

Na základe vyššie uvedených reálnych príkladov mikrogridov je možné konštatovať, že v rámci nasadenia obnoviteľných zdrojov energie do energetických štruktúr musí byť predovšetkým riešená otázka stability a riadenia siete s cieľom plynulého zásobovania odberateľov elektrickou energiou v stanovenej kvalite. Pre zabezpečenie tejto činnosti je potrebný záväzný tok informácií, dát a pokynov pre naplánovanie, samotné operatívne riadenie, hodnotenie a analýzu prevádzky mikrogridu.

Skúsenosti z riešenia reálnych mikrogridov poukazujú na fakt, že otázky stability a riadenia siete si vyžadujú vypracovanie špecializovaných programových vybavení na modelovanie a analýzu prenosu elektriny s cieľom zvýšiť spoľahlivosť a vylepšiť sieť tak, aby lepšie zvládla rastúci príspevok z obnoviteľných zdrojov do energetickej siete. Tomu napomáha rozvoj inteligentných sietí v energetike hlavne vďaka technickému pokroku v rámci telekomunikačných technológií a zariadení.

Mikrogridy, v rámci uvádzania tohto konceptu do prevádzky, by mali zabezpečovať nasledovné funkcie:

- Riadenie zaťaženia – zaťaženie v rámci sústavy sa neustále mení a inteligentná sieť by mala byť preto schopná notifikovať vybraných odberateľov, aby dočasne zmenili svoj odoberaný výkon a umožnili generátorom, resp. zdrojom v sieti adaptovať sa na zmenu. Za pomoci dostatočne presnej matematickej predikcie dokáže inteligentná sieť vypočítať potrebnú výšku výkonovej zálohy pre konkrétnu situáciu v sieti. V porovnaní s klasickými sieťami, kde je výkonová bilancia udržiavaná za pomoci regulácie výkonu na strane výroby úpravou výkonu generátorov, v prípade inteligentných sietí v procese regulácie napomáhajú aj samotní odberatelia.
- Reakcia na dopyt – pod pojmom reakcia na dopyt rozumieme automatickú komunikáciu generátorov a odberov v reálnom čase zabezpečujúcu vyhladzovanie špičiek výkonu, čo sa v konečnom dôsledku prejaví pozitívne ako u odberateľov (nižšie ceny za elektrinu), tak aj u výrobcov (predĺženie životnosti zariadení). Eliminovaním výkonových špičiek sa znižuje aj výška výkonovej rezervy.
- Odolnosť voči zaťaženiu – jednou z požiadaviek na mikrogridy je aj využívanie kruhových vedení, resp. mrežových sietí pre zabezpečenie dodávky elektriny.
- Decentralizácia výroby elektriny – jeden z predpokladov na zabezpečenie kontinuálnej dodávky elektriny. Nakoľko v sústave sa nachádza viacero autonómnych menších zdrojov výkonu, prípadná porucha nemôže do značnej miery ovplyvniť chod sústavy. Decentralizovaná výroba elektriny rovnako predpokladá, že časť elektriny je spotrebovaná lokálne priamo v mieste výroby – napr. vlastné zdroje energie v domácnostiach.
- Cenová kategorizácia pre odberateľov – v posledných rokoch sa pristupuje k postupnému nasadzovaniu IMS schopných okrem iného aj operatívnej zmeny tarify pre odber elektriny. V rámci inteligentných sietí sú predpokladané tieto zmeny s oveľa väčšou frekvenciou. Inteligentné spotrebiče budú preto schopné pružne reagovať a spínať sa na základe aktuálnej ceny elektriny.

- Mikrogridy predstavujú dynamický systém a ako každý systém sú počas normálnej prevádzky náchylné na rôzne poruchy alebo zmeny medzi výrobou a spotrebou. Poruchy môžu vzniknúť na strane výroby (napr. výpadok fotovoltaickej elektrárne) alebo spotreby, pričom ich riadenie môže byť obmedzené. Použitie inovatívnych digitálnych technológií umožní monitorovať celú sieť a regulovať energetické toky ako prevenciu pred výpadkami, čím sa dosiahne bezchybné zásobovanie elektrinou.

Riadenie je kľúčová záležitosť pri nasadzovaní mikrogridov do reálnej prevádzky. Podobne, ako konvenčná elektrizačná sústava, má aj mikrogrid niekoľko úrovní riadenia a požaduje použitie pokročilých riadiacich algoritmov na všetkých úrovniach. Bezpečná prevádzka v ostrovnom móde, rovnako ako aj pri spolupráci s nadradenou sústavou, závisí od riadenia. Regulátory v mikrogride musia garantovať neprerušované riadiace procesy a udržanie mikrogridu ako systému v požadovaných medziach.

Najväčšie výzvy v rámci riadiacich a ochranných systémov mikrogridu predstavuje nízka inercia, dynamické modelovanie a stabilita, či obojsmerný tok výkonov. V prípade pripojenia do nadradenej sústavy sa pozornosť venuje predovšetkým tejto kooperácii sústav. Naopak, spoľahlivosť prevádzky a riadenie sú najsťnifikantnejšie v ostrovnej prevádzke.

Pri spolupráci s nadradenou sústavou je mikrogrid vystavený variabilite jej prevádzkových parametrov. Ide najmä o zmeny tokov výkonu, napätia a frekvencie. Táto skutočnosť si vyžaduje správne nastavenie a optimalizáciu riadiacich slučiek. Okrem toho je potrebné optimálne nasadenie algoritmov na detekciu prechodu do ostrovnej prevádzky za účelom vyhladenia prechodových charakteristík a zabránenia vzniku kaskádovej poruchy.

Rôzne riadiace slučky sa používajú na posilnenie stability mikrogridov a celkového prevedenia. Najvýznamnejšie riadiace premenné používané v riadiacich stratégiách sú prúdy, napätia (amplitúdy), frekvencia a činné a jalové výkony. Riadiaca štruktúra mikrogridov má hierarchickú štruktúru a je zodpovedná za rozdelenie zaťaženia, koordináciu zdrojov, reguláciu napätia a frekvencie, prífázovanie k nadradenej sústave.

Lokálna riadiaca úroveň zahŕňa základný riadiaci hardvér, vnútorné riadiace napäťové a prúdové slučky a udržuje stabilnú prevádzku výrobných jednotiek meraním a riadením lokálnych signálov. Tiež je nevyhnutné na tejto úrovni zabezpečiť nezávislé riadenie činného a jalového výkonu. Rovnako je tu potrebné redukovať veľkosť prúdu nulovým vodičom použitím prúdového, napäťového a frekvenčného spätno-väzobného signálu.

Sekundárna riadiaca úroveň zahŕňa rozdelenie výkonov ako komunikačne založenú metódu pre paralelnú konfiguráciu výrobných jednotiek a kompenzuje odchýlky napätia a frekvencie spôsobené variabilitou záťaže a prevádzkou na lokálnej riadiacej úrovni.

Centrálna/pohotovostná úroveň je dôležitá najmä v ostrovnej prevádzke. Funguje ako systém energetického manažmentu mikrogridu a monitoruje lokálne a sekundárne regulátory. Je tiež zodpovedná za detegovanie ostrovnej prevádzky a pripojovanie a odpojovanie od nadradenej sústavy.

Globálna úroveň riadi tok výkonu medzi daným mikrogridom, inými mikrogridmi a nadradenou sústavou. Tiež napomáha ekonomicky optimálnej prevádzke. Táto vrstva riadenia leží na strane nadradenej distribučnej sústavy.

Každý mikrogrid je lokálne riadený mikrozdrojovým regulátorom. Regulátory záťaže sú inštalované na každej regulovateľnej záťaži za účelom zaistenia flexibilnej prevádzky. Každý mikrogrid má hlavnú riadiacu jednotku, ktorá plní funkciu rozhrania medzi prevádzkovateľom distribučnej sústavy alebo systémom distribučného riadenia a mikrogridom.

Lokálna úroveň riadenia rieši riadiace slučky napätia a prúdu v rámci výrobných jednotiek. Sekundárna úroveň riadenia zaisťuje, aby odchýlka napätí a frekvencie bola regulovaná smerom k nulej hodnote pri každej zmene výroby alebo zaťaženia. Centrálna/pohotovostná úroveň zahŕňa pohotovostné a ochranné systémy mikrogridu za účelom udržania stabilnej prevádzky. Tiež identifikuje preventívne a nápravne opatrenia, ktoré zmierňujú následky nepredvídaných udalostí v systéme

prevádzky. Globálna úroveň umožňuje optimálnu ekonomickú prevádzku a riadi vzťah medzi mikrogridom a distribučnou sústavou alebo inými mikrogridmi.

Z množiny existujúcich technológií a výziev v oblasti riadenia mikrogridov je možné spomenúť:

- prediktívne riadenie,
- riadenie založené na frekvenčne-výkonových a jalovo-napäťových charakteristikách,
- riadenie založené na konsenze,
- multi-agentný systém riadenia.

Meranie je teda kľúčovou oblasťou, ktorá monitoruje stav v mikrogride. Namerané údaje slúžia nielen ako vstup pre informačno-riadiace systémy pre operatívne riadenie prevádzky, ale aj ako vstup pre modelovanie a simulácie danej siete, ktoré sú uznávaným nástrojom na analýzu elektrizačnej sústavy. Je veľmi dôležité vedieť správne identifikovať riziko a následne predvídať jeho následky. Digitálna reprezentácia fyzického systému (digitálne dvojča) má veľký význam aj pri riešení riadenia a stability mikrogridov. Od modelovania, simulácií a analýz mikrogridu sa očakáva nielen zlepšenie vybraných stratégií riadenia, ale aj príspevok k tomu, že systém bude dostatočne flexibilný, aby sa prispôboval jeho neustálemu vývoju. Simulácie ďalej pomáhajú predvídať a plánovať budúce potreby siete pri zmene trendov v správaní spotrebiteľov a pod.

Moderné mikrogridy môžu zahŕňať čokoľvek, od malej skupiny domov až po celú komunitu. Mikrogrid môže v skutočnosti fungovať rôznymi spôsobmi (Off-grid, virtuálna, pripojená k nadradenej sieti). Samotné pripojenie miestnych zdrojov a ich prevádzka prostredníctvom meracích systémov je základnou formou moderného mikrogridu. Dáta generované inteligentnými elektromermi otvárajú širší rozsah prevádzkových zlepšení, ktoré zahŕňajú monitoring a riadenie spotreby elektriny. Štandardizované rozhrania použité v špecializovaných programových vybaveniach pre simulácie a analýzy mikrogridov by mali v budúcnosti umožňovať pridávanie ďalších údajov resp. pripojenia k ďalším cloudovým systémom.

1.3.3.1 Nástroje pre riadenie mikrogridov

Väčšina technológií používaných v inteligentných sieťach už bola predtým použitá v iných odvetviach, ako sú telekomunikácie alebo priemysel, a momentálne sú postupne nasadzované aj v prostredí inteligentných sietí:

- integrovaná komunikácia,
- snímače a merače,
- IMS,
- PMU – fázorové meracie jednotky.

Vysokorychlostné snímače nazývané PMU distribuované v sieti (ako samostatné jednotky alebo ako funkcia v relé alebo meračoch) je možné použiť na sledovanie kvality elektriny a v niektorých prípadoch reagujú automaticky. Fázory sú reprezentácie kriviek striedavého napätia a prúdu. V 80. rokoch sa zistilo, že hodinové impulzy zo satelitov globálneho pozičného systému (GPS) možno použiť na veľmi presné meranie času v sieti. S veľkým počtom PMU a schopnosťou porovnávať uhly odčítaných údajov všade v sieti výskum naznačuje, že automatizované systémy budú schopné spôsobiť revolúciu v riadení energetických systémov rýchlosťou a dynamickou reakciou na podmienky systému. Wide-Area Measurement System (WAMS) je sieť PMU, ktorá umožňuje monitorovanie sústavy v reálnom čase na regionálnej a národnej úrovni. Mnoho expertov v komunite odborníkov pre energetické systémy je presvedčených, že miera severovýchodného výpadku siete (blackout) roku 2003 by bola nižšia, ak by existovala sieť s rozsiahlym fázorovým meraním.

Jednou z typických vlastností mikrogridov je významné používanie meničov, ktoré slúžia ako rozhranie pre pripojenie rôznych druhov výroby elektriny (fotovoltaická elektrárňa, batériový systém, veterná turbína). V optimálnom prípade predstavuje menič, z ktorého je mikrogrid napájaný, ochranu

pred napäťovými fluktuáciami prichádzajúcimi z nadradenej napájacej sústavy. Výzvou však v tomto prípade je optimalizovanie elektrických ochrán v takto napájanom mikrogride, nesymetria zaťaženia a vznik harmonických vyšších rádov. Výkon a prúd z meniča musí byť dostatočne silný na to, aby aktivoval ochranné prvky v mikrogride. Nesymetria zaťaženia spôsobuje nesymetriu napätia, čo sa prejavuje vznikom oscilácií v jednosmernej časti meniča.

Vo Fínsku bol v roku 2010 uvedený do prevádzky projekt napájania mikrogridu meničom, ktorého odbery pozostávali z víkendových obytných domov. Lokalita je umiestnená na polostrove v centrálnom Fínsku. Vzdialenosť od distribučného transformátora je 1 kilometer. Približne 300 metrov z tohto úseku je tvorených podvodným káblom. Vzhľadom na dĺžku pripojenia a sezónne vysoké zaťaženie v obci sa začali množiť sťažnosti na výrazné napäťové fluktuácie. To je súčasne jeden z hlavných dôvodov, prečo táto lokalita bola vybraná ako testovacie miesto pre aplikáciu mikrogridu. Mikrogrid je napájaný cez 120 kVA IGBT AC/DC/AC menič s filtermi. Vstupná napájacia časť meniča na strane distribučnej sústavy mení striedavé napätie na jednosmerné a výstupná časť mení toto napätie na striedavé s konštantnou frekvenciou a napätím. Neutrálny vodič mikrogridu je pripojený do distribučného transformátora, ktorý je zapojený v konfigurácii trojuholník/hviezda. V prípade údržby alebo odstávky meniča je možné pripojiť víkendové domy priamo do distribučnej siete. Menič umožňuje diaľkové riadenie a monitorovanie cez GPRS komunikačné rozhranie. V prípade rozsiahlejších výpadkov má menič záložný zdroj napájania. Z výsledkov testovania bolo zrejmé, že menič signifikantne zvyšuje statickú napäťovú stabilitu v mikrogride. Menič má inštalovaný špeciálny softvér, ktorý umožňuje kompenzovať harmonické vyšších rádov. Kvalita elektriny sa po inštalácii a spustení AC/DC/AC meniča výrazne zlepšila. Správne nastavenie ochrán bolo verifikované umelo vyvolaným skratom. Počas prvých dvoch mesiacoch prevádzky bolo zaznamenaných niekoľko napäťových poklesov v napájacej distribučnej sieti, ktoré však neboli prenesené do mikrogridu. Počas výpadkov napätia v nadradenej sústave nebola zaznamenaná strata napätia v mikrogride. Kapacitancia jednosmerného obvodu meniča je dostatočná na vyrovnanie krátkych výpadkov napätia v nadradenej sústave. Z pohľadu budúceho rozvoja mikrogridu menič umožňuje pridanie distribuovanej výroby do mikrogridu alebo do jednosmernej časti meniča. Menič je konštruovaný tak, aby umožňoval dodávku elektriny z mikrogridu do nadradenej sústavy. Menič dokáže vykryť výpadky napätia, ktoré trvajú menej ako 0,5 sekundy. S pridaním batériového systému do jeho jednosmernej časti môžu byť vykryté aj výrazne dlhšie výpadky.

1.3.4 Technické úlohy v rámci mikrogridov

Pri riešení mikrogridov sú najčastejšie riešené nasledovné úlohy technického charakteru, ktoré je možné deliť na viacero skupín:

- návrh a dimenzovanie mikrogridov
 - návrh optimálneho portfólia zdrojov (ich jednotlivé typy a ich dimenzovanie)
 - návrh riešenia akumulácie energie (typy a dimenzovanie)
 - návrh a dimenzovanie jednotlivých častí topológie (vedenia, transformátory, vypínače, odpojovače, ...)
 - návrh a dimenzovanie ochrán a automatík
 - návrh MaR (meracie reťazce pre elektromery, merače kvality elektriny, ...)
 - návrh prvkov riadenia mikrogridov (riadenie prevádzky akumulácie, činného a jalového výkonu, frekvencie, napätia)
- návrh procesov vo vzťahu k nadradenej distribučnej sústave
 - riešenie štúdie pripojiteľnosti k nadradenej distribučnej sústave
 - štart z tmy
 - prechod do ostrovnej prevádzky
 - prífázovanie k sieti
- plánovanie prevádzky
 - predpoveď veľkosti odberov

- predpoveď výroby z FVE, VeT, kogenerácie a iných zdrojov
- predpoveď potreby tepla
- predpoveď odstávok jednotlivých zdrojov
- predpoveď odstávok veľkých spotrebičov

1.3.5 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

Navrhované riešenie má veľmi významné miesto v procese pretvorenia v súčasnosti fungujúcej siete, ktorá bola navrhnutá a konštruovaná pre koncept centralizovanej výroby elektrickej energie, na inteligentnú sieť konceptu mikrogrid. Analýza reálnych mikrogridov, ktoré demonštrujú realizovateľnosť a výhodnosť tejto technológie, prezentuje potrebnosť špecializovaných programových produktov na modelovanie a analýzu prenosu elektriny s cieľom zvýšiť spoľahlivosť a vylepšiť sieť tak, aby lepšie zvládla rastúci príspevok z obnoviteľných zdrojov do energetickej siete. Navyše, stále nie je úplne overené, ako budú jednotlivé technológie v rámci mikrogridov spolupracovať a aj v tomto smere navrhované riešenie zohrá svoju dôležitú úlohu. Koncept mikrogrid prináša ekonomickú a technickú výzvu pre spotrebiteľov, z ktorých sa stávajú aj výrobcovia. Od zmeny zmýšľania koncových odberateľov závisí úspech alebo neúspech zavedenia konceptu mikrogrid. Navrhované riešenie umožní zapojiť koncových odberateľov do vytvárania svojich mikrogridov. Riešenie prináša budovanie moderného databázového simulačného prostredia, ktoré bude poskytovať otvorenú databázu prvkov inteligentnej siete a prepájať model digitálnej siete s údajmi získanými z meraní nielen v minulosti, ale aj v reálnom čase. Štandardizované rozhrania použité v rámci navrhovaného riešenia by mali v budúcnosti umožňovať pridávanie ďalších údajov resp. pripojenia k ďalším cloudovým systémom.

1.3.6 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia

Navrhované riešenia pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- evidencia prvkov inteligentnej siete a ich parametrov - FP
- integrácia na inteligentné meracie systémy - FP
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu - FP
- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP
- kybernetická bezpečnosť (nefunkčná požiadavka) - NP

1.4 Inteligentné meracie systémy

1.4.1 Analýza problematiky

Distribučné sústavy sa stávajú čoraz viac komplexnejšími systémami s narastajúcim počtom riadiacich a monitorovacích prvkov pre kvalitu elektriny. Pomocou týchto prvkov je možné zlepšiť odhad stavu elektrizačnej sústavy ako systému a zvyšovať efektivitu riadenia. Inteligentné meracie systémy sú základom pre budovanie a rozvoj inteligentných sietí a mikrogridov a ponúkajú nový spôsob modelovania sietí nízkeho napätia.

Inteligentné meracie systémy pomáhajú získavať presnú informáciu o koncových spotrebiteľoch elektriny a dávajú príležitosť zdokonaľovať súčasné distribučné sústavy. Dáta z nich umožňujú vytváranie časovo premenných modelov záťaže distribučnej siete a testovanie rôznych riadiacich a výpočtových algoritmov. Inteligentný merací systém je tvorený hardvérovou a softvérovou infraštruktúrou schopnou zachytiť spotrebu v reálnom alebo takmer reálnom čase. Rovnako aj napätie a prúdy, prípadne iné informácie prekračujúce rámec bežného elektromera. Infraštruktúra kombinuje komunikačné technológie s technológiou inteligentných elektromerov.

Inteligentné elektromery poskytujú veľké množstvo dát o správaní sa spotrebiteľov v porovnaní s klasickými meradlami. Tieto dáta sú využívané na vytvorenie modelov distribučných sústav pre ustálené chody. Prostredníctvom dát je umožnený pohľad do energetického správania sa celého systému a rovnako aj do jeho jednotlivých častí.

V minulosti sa používali rôzne metódy na modelovanie a simuláciu sústav, ich častí alebo prvkov ako napríklad monte carlo simulácie. Tieto je možné pomocou dát z inteligentného merania doplniť alebo rozšíriť. Inteligentné meracie systémy okrem iného poskytujú komplexné širokospektrálne meranie spotreby elektriny. Pri využívaní dát je však potrebné zvažovať harmonické zložky vyšších rádov a rezonanciu v sieti, ktoré ovplyvňujú integritu dát z inteligentného merania. Sieťové rezonancie sú obvykle výsledkom interakcie kapacitných a induktívnych zložiek v sieti. Rezonancie súvisiace s injektovaním prúdu vyšších harmonických môžu spôsobiť značné prepätia a potenciálne viesť k zlyhaniu inteligentného elektromera.

Idea modelovania distribučných sústav pomocou dát z inteligentných meracích systémov nie je úplne nová. V minulosti sa pozornosť venovala najmä úrovni vysokého napätia, pričom v súčasnosti sa distribuované zdroje umiestňujú čoraz viac na stranu nízkeho napätia. V praxi sa často stáva, že modelovanie siete nízkeho napätia nie je vykonávané vôbec, alebo len v obmedzenej miere. Absencia dát z tejto hladiny spôsobuje zjednodušovanie modelovania a simulácií, kedy sa trojfázový systém rieši zjednodušene pomocou jednofázového ekvivalentného obvodu. Obvody nízkeho napätia sú konceptuálne jednoduché a je možné ich modelovať presne, avšak za vyvážených podmienok.

Pri typickom modelovaní, analýze a simuláciách hladiny nízkeho napätia sú jednotlivé záťaže a zdroje elektriny priamo pripojené na prípojnicu sekundárnej strany transformátora. Tento prístup má však slabiny najmä pri analýze tokov jalových výkonov a strát v systéme. Modelovanie siete nízkeho napätia preto požaduje poznať detailnú topológiu a informácie o pripojených prvkoch.

V sieťach nízkeho napätia sú záťaže a výroba z obnoviteľných zdrojov charakterizované krátkymi a intenzívnymi špičkami v diagramoch výroby a spotreby. Keďže v praxi častokrát chýbajú dáta s vysokou granularitou, alebo je náročné s nimi pracovať, používajú sa pre modelovanie dáta s časovým rozlíšením 5 až 60 minút. Toto rozlíšenie má však svoje limity a môže viesť k nepresným odhadom strát a kvality elektrickej energie.

Dáta z inteligentných meracích systémov môžu byť použité aj na kalibráciu existujúcich modelov distribučných sietí alebo optimalizáciu simulácií správania sa záťaže a zdrojov elektrickej energie. Dáta sú dôležité aj pre rozvoj algoritmov, ktoré odhadujú parametre distribučnej siete. Vzhľadom na veľké množstvo parametrov, systémových zmien a charakterov záťaží stále pretrváva veľký stupeň neistoty s ohľadom na presnosť a kvalitu súčasných modelov. Následne používaný model môže byť nekorektný v dôsledku chýbajúcich údajov, ľudského faktora, zmien v topológií siete a pod. Zvýšenie presnosti parametrov modelu siete nízkeho napätia je dôležité pre implementáciu obnoviteľných zdrojov energie. To je významné najmä v tých častiach sietí, ktoré obsahujú vysoké podiely distribuovanej výroby. Siete nízkeho napätia sú obvykle modelované menej detailne než siete vysokého napätia a prenosové sústavy. Proces odhadu parametrov pre modely siete a prvkov nízkeho napätia by mal byť automatizovaný.

Veľké dáta (ang. „big data“) z inteligentných meracích systémov a iných senzorických zariadení inštalovaných v elektrických sieťach oživilo implementáciu algoritmov pre odhad parametrov distribučných sietí a ich modelovania. V odbornej literatúre je navrhnutých niekoľko algoritmov pre odhad parametrov siete nízkeho napätia. Ide napríklad o lineárnu optimalizačnú metódu detekcie chýb v topológii siete.

1.4.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

Dáta z inteligentných meracích systémov budú využité pri zlepšovaní presnosti modelov distribučných sietí a ich prvkov, čo umožní rozvoj a vylepšenie modelovania a simulácií súčasných

a budúcich konceptov inteligentných sietí. V súčasnosti sú dostupné softvérové programy na výpočet elektrických sietí, ktoré umožňujú prácu s nameranými dátami z inteligentných meracích systémov.

Využitie inteligentných meracích systémov a dát z nich bude mať širokospektrálny dopad na riešenie. Merací systém umožní riešiť modelovanie a simuláciu mikrogridu ako jedného komplexného systému, ktorý bude možné, podľa potreby, rozložiť na subsystémy a tie riešiť samostatne. Dáta umožnia vykonávanie simulačných procesov mikrogridu v rámci:

- zdrojovej skladby
- technickej prevádzky
- obchodnej prevádzky

V rámci riešenia budú dáta z inteligentných elektromerov, okrem iného, uplatnené najmä v nasledujúcich procesoch:

a) dimenzovanie mikrogridu

Pod pojmom dimenzovanie mikrogridu je uvažovaná optimalizácia veľkosti zdrojovej základne mikrogridu. Pomocou nameraných dát bude možné podrobne analyzovať priebeh spotrebného miesta (miest) mikrogridu a následne určiť veľkosť inštalovaných výkonov jednotlivých zdrojov elektrickej energie v prípade pripojenia ďalších prvkov. V rámci optimalizácie bude hrať významnú rolu stanovenie veľkosti inštalovaného výkonu a kapacity akumulácie úložiska elektriny. Jeho implementácia bude životne dôležitá pre prevádzku mikrogridu a jeho optimalizácia bude mať špecifické postavenie v rámci riešenia. Riešenie bude umožňovať modifikáciu priebehu odberného miesta v rámci rôznych scenárov predpokladaného vývoja spotreby alebo pridanie kombinácie viacerých typov odberov za účelom vysporiadania sa s heterogenitou odberov a prevádzky. Časové rady z inteligentného meracieho systému umožnia grafické vykreslenie tokov výkonu a bilancií v hlavných a vedľajších uzloch mikrogridu. Rovnako sa môže vykonávať aj časová analýza rovnováhy spotreby a výroby v mikrogride. Riešenie umožní implementáciu a optimalizáciu aj väčšej skupiny zdrojov napr. strešných fotovoltaických elektrární. Z nameraných dát bude možné určiť aj niektoré napäťové parametre elektriny, napríklad prekročenie dovolených úbytkov napätia na konci jednotlivých vetiev mikrogridu s vybranými odbermi citlivými na kvalitu dodávanej elektriny. Rovnako bude možné kvantifikovať aj spoľahlivosť prevádzky mikrogridu pomocou rôznych ukazovateľov, napríklad LOLE. Ide o ukazovateľ spoľahlivosti, ktorý udáva počet hodín, keď pre dané obdobie (typicky jeden rok) je veľkosť zaťaženia väčšia, ako predpokladaná výroba vrátane odberu elektriny zo siete. Počíta sa každá hodina, aj keď dôjde k minimálnemu nepokrytiu spotreby. Parametre získané pri optimalizáciách a simuláciách budú okrem technických analýz slúžiť aj ako podklad pre vyhodnotenie ekonomickej prevádzky alebo návratnosti investícií. Riešenie umožní vkladanie nových prvkov do modelovacích a simulačných procesov a vytváranie rôznych scenárov.

b) predikcie

Dáta z inteligentného meracieho systému budú tvoriť základ pre implementáciu predikčných algoritmov. Exogénne premenné v rámci predikcie budú predovšetkým meteorologické dáta získavané z externých informačných zdrojov a budú slúžiť ako vstup do predikčných modelov. Predikčné modely zvyčajne zahŕňajú širšiu skupinu algoritmov od sezónneho Holt-wintersovho exponenciálneho vyrovnávania cez rozhodovacie stromy až po hlboké neurónové siete. Tiež budú skúmané koncepty predikcie ako „bottom-up“ a „top-down“, ktoré sa odlišujú mieru agregácie miest spotreby a výroby. Pri „bottom-up“ prístupe sa vykonávajú predikcie pre každé odberné alebo výrobné miesto zvlášť, čím sa zachytí špecifické správanie sa každého prvku v topológii a v priestorovom rozložení mikrogridu. Pri „top-down“ prístupe sa sčítajú spotreby všetkých odberných a výrobných miest a vykoná sa predikcia takto agregovaných časových radov celej jednej skupiny prvkov. Predikcie budú kľúčové aj pre prípravu technicko-ekonomickej prevádzky mikrogridu na jeden alebo viac dní dopredu, pretože pomocou nich sa budú identifikovať časové úseky s významnou výkonovou nerovnováhou. Dáta z inteligentných meracích systémov umožnia kvantifikovať straty výkonu v mikrogride ako celku a rovnako aj v jednotlivých jeho častiach. Bude skúmaná možnosť využitia predikcie strát pre prevádzku mikrogridu

a ich vplyv na bilančnú odchýlku. Opodstatnenosť predikcie vlastnej spotreby zdrojov v mikrogride bude skúmaná s rešpektom na zdrojovú skladbu a jej režimové prevádzky. Medzi zdroje s najvyššou vlastnou spotrebou patria predovšetkým bioplynové stanice a kogeneračné jednotky. Riešenie umožní vytvorenie komplexného manažmentu predikcií a prípravy prevádzky.

c) bilancovanie

Nasadenie inteligentného meracieho systému vo forme inteligentných elektromerov vo všetkých uzloch mikrogridu umožní vytvoriť komplexný systém pre správu a manažment bilancií. V súčasnosti sa v bežnej praxi používa bilancovanie v časovom rozlíšení 15 minút. Inteligentné elektromery však umožnia bilancovanie v časovom rozlíšení od 1 minúty. Keďže mikrogrid ako typ inteligentnej elektrickej siete je výrazne citlivejší na poruchy alebo rôzne výpadky či odchýlky, bilančné vyhodnotenia v 1 minútovom rozlíšení sú najsignifikantnejšie práve pri neočakávaných udalostiach. Dátová granularita agregácie bilancií pre prvky výroby a spotreby bude vyhotovená vo forme „bottom-up“ prístupu tak, aby bolo možné agregované vyhodnotenie všetkých typov výroby a spotreby rovnako ako aj každého jednotlivého prvku v mikrogride. Dôležitou rovinou bude bilančná štruktúra spolupráce mikrogridu s nadradenou distribučnou sústavou. Cieľom bude efektívna spolupráca s nadradenou sústavou a uplatnením mikrogridu ako entity v rámci trhu s elektrinou alebo poskytovaním podporných služieb nadradenej distribučnej/prenosovej sústave. Okrem toho manažment bilancií bude slúžiť na vyhodnocovanie sebestačnosti mikrogridu a primeranosti jeho zdrojovej základne. Môžu byť kalkulované rôzne ukazovatele ako LOLP, LOLE, LOLF a LOLD. Inteligentný merací systém tak vytvorí základ pre efektívny ekosystém bilancií.

d) virtuálna batéria

Pod pojmom virtuálna batéria mikrogridu sa rozumie koncept akumulácie nespotrebovanej elektriny a jej neskoršie využitie. V súčasnosti sa táto služba poskytuje v niektorých distribučných sústavách najmä pre domácnosti, ktoré sú vybavené strešnou fotovoltickou elektrárnou. Inteligentný merací systém bude základom pre zavedenie konceptu virtuálnej batérie v mikrogride. Bude testovaných niekoľko konceptov virtuálnej batérie. V prípade ostrovnej prevádzky môže byť virtuálna batéria vyhotovená formou dostupných regulačných zdrojov (bioplynová stanica, kogeneračná jednotka, akumulátor elektriny), ktoré znížia svoju výrobu v čase prebytku a takto virtuálne naakumulujú prebytočnú energiu. V čase nedostatku naopak svoju výrobu zvýšia a dodajú späť virtuálne naakumulovanú energiu. Ďalší skúmaný koncept bude zahŕňať nadradenú sústavu ako virtuálnu batériu a posúdenie takejto služby v kontexte sebestačnosti mikrogridu. Inou možnosťou bude implementácia reálneho úložiska elektriny a jeho využitie v koncepte „net-meteringu“. Na základe inteligentného meracieho systému bude možné komplexne skúmať rôzne koncepty spracovania prebytkov/nedostatkov elektriny v 1 minútovom rozlíšení. V rámci riešenia bude virtuálna batéria úzko prepojená so systémom ekonomického vyhodnocovania a bilancií.

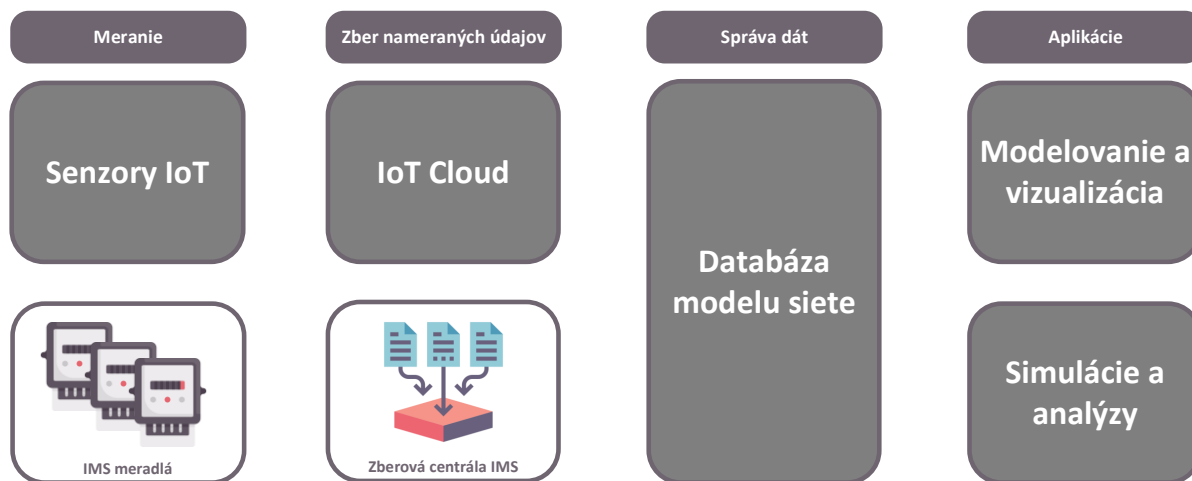
1.4.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky v rámci celkového riešenia

Navrhované riešenie pre modelovanie mikrogridu by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- evidencia meracích bodov – inteligentných elektromerov – FP,
- zapojenie dát do výpočtových algoritmov - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu – FP,
- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť – NP.

1.4.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu

V rámci logickej architektúry riešenia budú IMS meradlá zabezpečovať meranie odberu a dodávky v rámci mikrogridu. Namerané údaje sa budú zbierať prostredníctvom Zberovej centrálky IMS, ktorá bude zabezpečovať komunikáciu s elektromermi. Zberová centrála bude vystupovať v rámci riešenia ako zdroj dát, ktorý bude komunikačne prepojený so softvérom pre výpočet elektrických sietí a algoritmicke výpočty.



Obrázok 1 - IMS v logickej architektúre riešenia

1.4.5 Integrácia v rámci riešenia

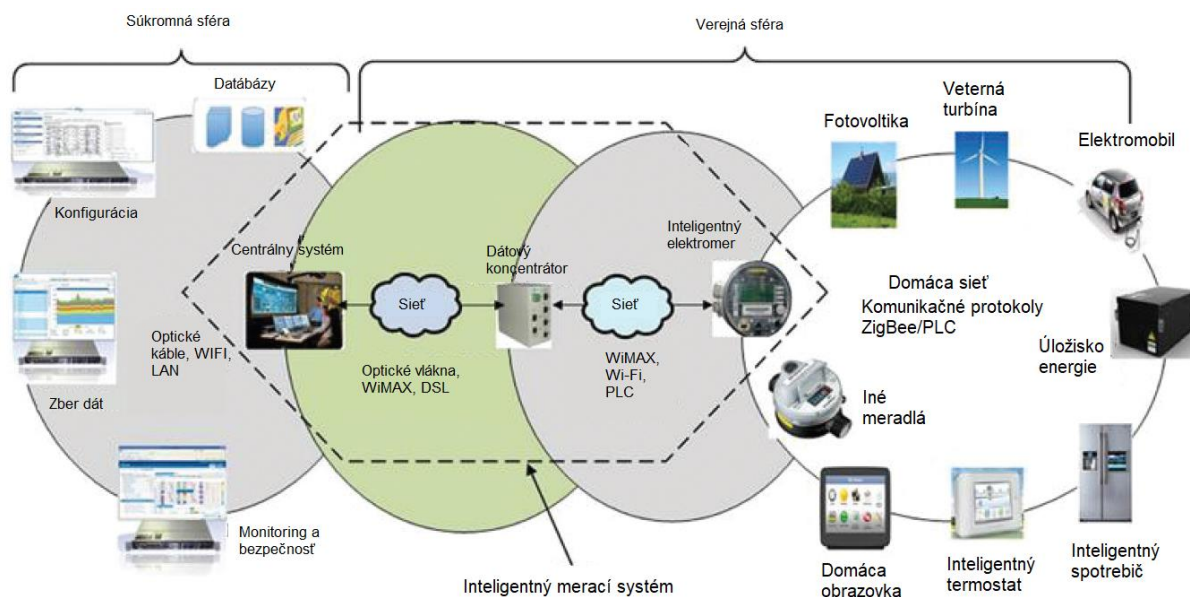
Inteligentný merací systém je rozhodujúcim mechanizmom pre realizáciu simulácií, modelovania a analýz. Ide o systém, ktorý zbiera a analyzuje dáta z inteligentných elektromerov pomocou obojsmernej komunikácie medzi spotrebiteľom a vopred určenou entitou, pričom umožňuje inteligentné riadenie rôznych aplikácií a služieb založených na dátach. Integrácia a implementácia v rámci riešenia je dôležitým digitálnym prístupom k celkovému riešeniu. K hlavným funkcionalitám patrí:

- meranie elektrických veličín,
- manažment dynamických a adaptívnych cenových taríf,
- schopnosť samoliečenia,
- komunikácia s ďalšími informačnými systémami.

Architektúra inteligentných meracích systémov obecné zahŕňa:

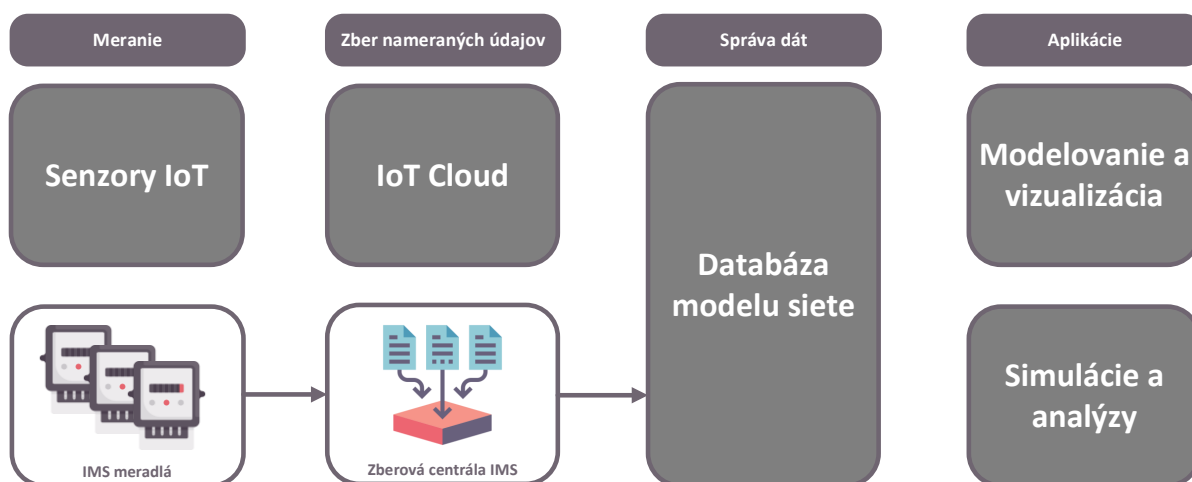
- inteligentné meradlá (elektromery, merače tepla, vodomery, plynomery),
- prístupové komunikačné rozhrania,
- komunikačnú sieť,
- manažment dát.

Jednotlivé komponenty sú obvykle umiestnené v rôznych komunikačných sieťach a oblastiach s rôznymi vlastníkmi vzťahmi. Inteligentný elektromer predstavuje v rámci riešenia fyzickú, informačnú a sociálnu doménu. Všeobecná architektúra inteligentného meracieho systému je uvedená na obrázku 2.



Obrázok 2 - Celková architektúra inteligentného meracieho systému

Integrácia oblasti IMS do riešenia bude realizovaná na úrovni sprístupnenia nameraných údajov štandardnými rozhraniami IMS centrály. Tieto dáta budú ďalej priebežne spracovávané a ukladané v rámci Databázy modelu siete. Integrácia bude jednosmerná.



Obrázok 3 - Integrácia IMS v rámci riešenia

1.5 IoT

1.5.1 Analýza problematiky

Internet vecí (IoT, Internet of Things) predstavuje technológiu zabezpečujúcu bezdrôtové prepojenie rôznych senzorov a zariadení, ktoré sa vyznačujú nízkymi nárokmi na objem prenášaných dát a nízkou spotrebou. Sensory a zariadenia môžu komunikovať navzájom alebo s centrálnymi systémami prostredníctvom bežných alebo špeciálnych bezdrôtových sietí. Údaje získavané prostredníctvom internetu vecí sa využívajú najmä pre potreby diaľkového merania veličín, diaľkového riadenia alebo automatizácie a zefektívňovania procesov.

Systémy IoT je možné rozdeliť do nasledovných troch logických vrstiev:

- snímanie objektov – snímanie fyzických objektov a získavanie dát,
- komunikačná vrstva – transparentný prenos dát cez komunikačnú sieť,
- aplikačná vrstva – aplikácie pre využitie získaných dát.

Monitorovacie a meracie senzory je možné aplikovať v rôznych odvetviach priemyslu, energetiky, poľnohospodárstva, životného prostredia, ale aj v domácnosti. Oproti súčasným zariadeniam, ktoré komunikujú prostredníctvom mobilných sietí, sa internet vecí vyznačuje veľmi nízkou spotrebou so životnosťou batérie aj niekoľko rokov.

Možnosti využitia IoT:

- monitorovanie stavu prevádzky alebo vonkajšieho prostredia,
- riadenie prevádzky, dispečingy,
- optimalizácia – prediktívna diagnostika, optimalizácia výkonu, redukcia nákladov,
- autonómia – autonómna optimalizácia prevádzky, samodiagnostika,
- efektívny rozhodovací proces – zber dát v reálnom čase pre podporu rozhodovania.

V našich podmienkach sa najviac využívajú nasledovné technológie:

- LoRaWAN
- NB-IoT
- SIGFOX

LoRaWAN

Sieť LoRaWAN poskytuje obojsmerný prenos malých objemov dát s podporou potvrdzovania doručenia, nízkymi energetickými nárokmi (výdrž batérií zariadení je mesiace až roky), vysokú bezpečnosť komunikácie šifrovaním na viacerých úrovniach. Sieť využíva komunikačný protokol LoRaWAN medzinárodnej otvorenej aliancie LoRa Alliance. Pri výmene dát sa využíva širokopásmové pripojenie s nízkou spotrebou energie LPWAN (Low-Power Wide-Area Networks). Rýchlosť prenosu sa pohybuje medzi 0,3-50 kb/s. Veľkosť správ sa pohybuje v objeme 10 až 100 bajtov.

NB-IoT (Narrow-Band Internet of Things)

NB-IoT (Narrow-Band Internet of Things) je špeciálna úzkopásmová sieť, ktorá je určená výhradne na prenos dát. Patrí do skupiny sietí LPWAN (Low Power Wide Area Network) a umožňuje prenos malého objemu dát pri nízkych rýchlostiach. Dokáže prepojiť veľké množstvo zariadení na veľkom území, pričom dosah signálu je aj na ťažko prístupných miestach (v podzemí, pod vodou a pod.). Poskytuje obojsmernú komunikáciu so šírkou pásma medzi 600 bps a 250 kbps.

SIGFOX

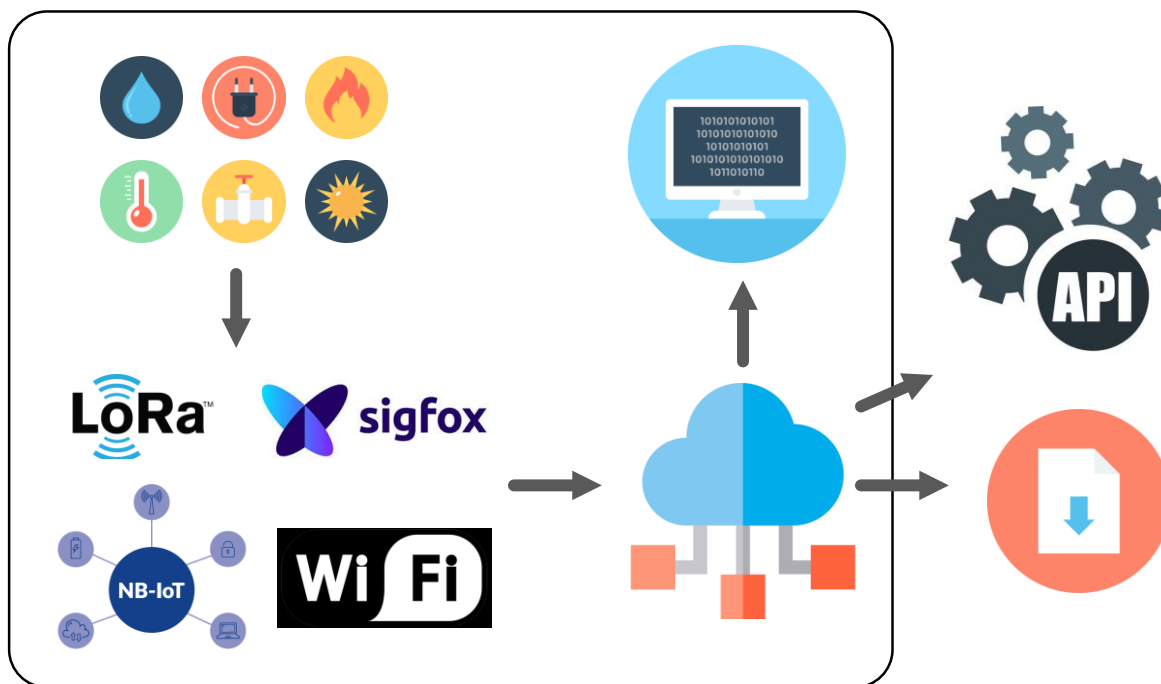
Sieť SIGFOX sa vyznačuje komunikáciou s ultranízkou spotrebou energie, ktorá zabezpečuje pripojenie IoT zariadení do cloudu. SIGFOX využíva technológiu UNB (Ultra Narrow Band). Dáta sú prenášané rýchlosťou 100 bitov za sekundu a ich veľkosť je 0-12 bajtov. Maximálny počet správ na BTS je 9 000 000 za deň. Doba prenosu a spracovania je 4 až 6 sekúnd. Využíva sa softvérové komunikačné riešenie, v ktorom sa všetka sieťová a výpočtová zložitosť spravuje v cloude, nie priamo v zariadeniach, čo má dopad na nízku spotrebu energie koncových zariadení.

Na Slovensku je aktívnych viacero IoT operátorov, ako napríklad:

- Antik (technológia LoRaWAN)

- O2 (technológia NB-IoT)
- Orange (technológia LoRaWAN)
- SimpleCell (technológia SIGFOX)
- Slovak Telekom (technológia NB-IoT)
- Slovanet (technológia LoRaWAN)

Dáta zo zariadení sa zvyčajne ukladajú do úložiska IoT operátora a používatelia IoT siete majú k týmto dátam riadený prístup. Niektorí operátori umožňujú uloženie dát priamo do úložiska používateľa.



Obrázok 4 - Architektúra pre IoT

Bezpečnosť

Narastajúce množstvo rôznorodých IoT zariadení so sebou prináša aj bezpečnostné riziká. Zariadenia produkujú veľké množstvo dát, ktoré je zložité nielen spravovať, ale aj chrániť pred kybernetickým zločinom. IoT zariadenia často obsahujú početné a ľahko zneužiteľné zraniteľné miesta. Bezpečnostní analytici pokladajú za nemožné zabezpečiť všetky koncové zariadenia, ktoré ani nemusia mať dostatočne veľkú pamäť pre spúšťanie bezpečnostného softvéru. Riešením je skôr dobrá ochrana samotnej siete.

1.5.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

V rámci problematiky mikrogridov budú primárnym zdrojom dát inteligentné meracie systémy. Pre potreby simulácií však môžu byť dôležité aj ďalšie merané veličiny, ktoré inteligentné meracie systémy nemerajú. Napríklad pre predikciu spotreby a výroby z obnoviteľných zdrojov sú dôležité meteorologické údaje, ktoré významným spôsobom prispievajú k predikcii ďalšieho vývoja tokov energií v sieti. Meteorologické údaje je možné získavať prostredníctvom IoT zariadení umiestnených na vhodných miestach vo vzťahu k príslušným výrobným zariadeniam alebo spotrebičom.

Ďalšou možnosťou využitia IoT v rámci mikrogridov je meranie ďalších typov energií, oblasť bezpečnostnej ochrany kritických prvkov sietí (kamery, alarmy), diagnostika prevádzkového stavu zariadení pre potreby preventívnej údržby prvkov siete.

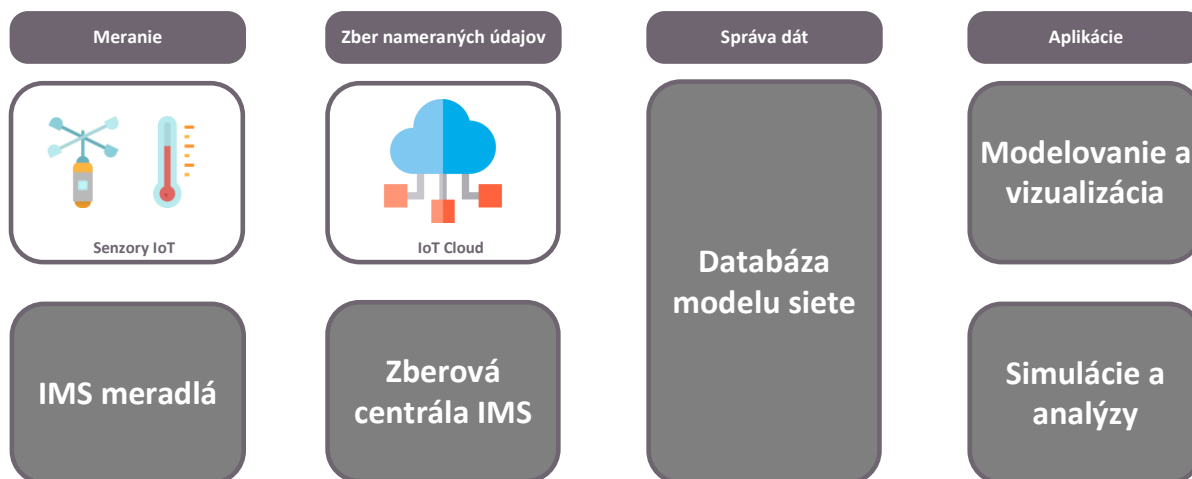
1.5.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu

Navrhované riešenie pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- evidencia meracích bodov - senzorov - FP,
- zapojenie dát do výpočtových algoritmov - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu - FP,
- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť - NP.

1.5.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu

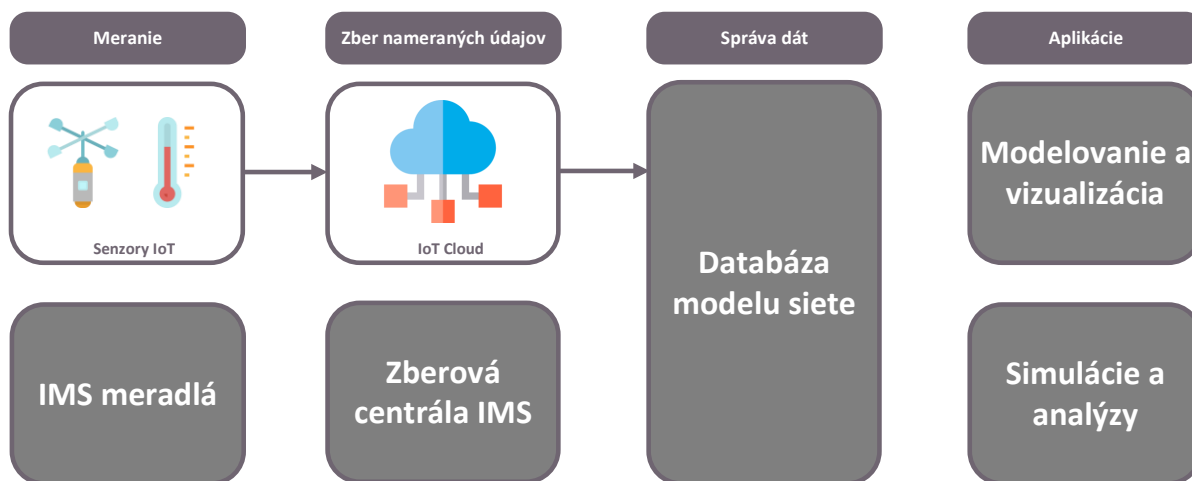
V rámci logickej architektúry riešenia budú senzory IoT zabezpečovať meranie vybraných veličín v rámci mikrogridu a okolia. Namerané údaje sa budú zbierať do IoT Cloudu prostredníctvom služieb príslušného IoT operátora. IoT Cloud bude vystupovať v rámci riešenia ako zdroj dát.



Obrázok 5 - IoT v logickej architektúre riešenia

1.5.5 Integrácia v rámci riešenia

Integrácia oblasti IoT do riešenia bude realizovaná na úrovni sprístupnenia nameraných údajov štandardnými rozhraniami IoT Cloudu. Tieto dáta budú priebežne preberané riešením a ukladané v rámci Databázy modelu siete. Integrácia bude jednosmerná.



Obrázok 6 - Integrácia IoT v rámci riešenia

1.6 Digitálne dvojča

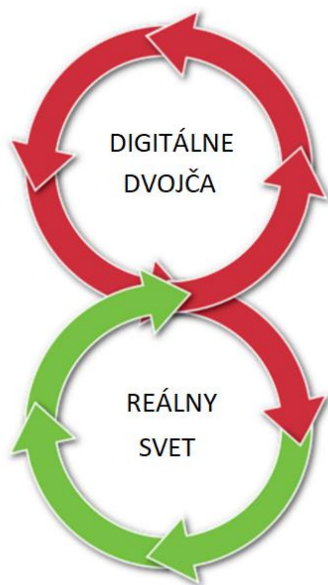
1.6.1 Analýza problematiky

Digitálne dvojča je súčasť konceptu Priemysel 4.0 a predstavuje digitálny model skutočného objektu alebo systému objektov, ktoré sú vzájomne prepojené prostredníctvom obojsmerných komunikačných kanálov. Prostredníctvom nich sa v reálnom čase nepretržite získavajú a spracovávajú údaje zo senzorov a meracích systémov. Tie vytvárajú aktuálny obraz o aktuálnom stave náprotivku - modelu vo fyzickom svete.

Digitálne dvojča poskytuje vynikajúci prehľad o súčasnom, ale aj budúcom fungovaní často aj zložitých fyzických systémov. Prostredníctvom digitálneho dvojčaťa je tak možné vykonávať dohľad a kontrolu v reálnom čase. Vhodným využitím môže byť aj simulácia zmien alebo navodenie špeciálnych situácií s využitím presných reálnych dát. Takéto použité simulácií s digitálnym modelom môže byť často menej nákladné, ako ich realizácia priamo vo fyzickom svete.

Digitálne dvojča sa skladá z nasledovných troch hlavných častí:

- fyzické objekty v reálnom priestore,
- virtuálne objekty v digitálnom priestore,
- prepojenie dát a informácií, ktoré prepoja spolu virtuálne a fyzické objekty.



Obrázok 7 - Prepojenie digitálneho dvojčata s reálnym svetom

Implementácia a prevádzkovanie digitálneho dvojčata si vyžaduje zabezpečenie nasledovných základných úloh:

- Vytvorenie digitálneho modelu objektov alebo systému objektov, ktoré zodpovedajú objektom v reálnom svete. Podľa potreby použitia digitálneho dvojčata sa vyberie realizácia 2D alebo 3D modelu. Pri modelovaní systémov objektov je často potrebné zaznamenať aj vzťahy medzi jednotlivými objektmi.
- Zabezpečenie priebežného zberu prevádzkových dát zo skutočného prostredia a ich priradenie k objektom v rámci modelu digitálneho dvojčata. Frekvencia zberu dát závisí od účelu použitia digitálneho dvojčata.
- Implementácia zozbieraných dát do simulačných algoritmov.
- Spustenie simulácie s priebežným vyhodnocovaním dát.
- Overenie výsledkov a ich implementácia do reálneho prostredia.

Digitálne modely je možné vytvárať prostredníctvom CAD softvérových nástrojov. Alternatívou je vytvorenie modelu prostredníctvom metódy 3D skenovania objektov. V prípade modelovania geograficky rozsiahlych systémov je zase vhodné využitie GIS nástrojov s využitím mapových podkladov.

Zabezpečenie zberu dát je možné realizovať prostredníctvom rôznych typov senzorov, snímačov a meracích systémov. Ako komunikačné prostriedky je možné využiť bezdrôtové technológie ako napríklad Wifi, Bluetooth, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT a pod. Dáta môžu byť ukladané v databáze alebo v cloud prostredí a musia byť dostupné výpočtovým alebo prezentačným modulom digitálneho dvojčata. Nad týmito údajmi sa priebežne spúšťajú rôzne simulácie, ktorých výsledky a zistenia je možné aplikovať do reálneho sveta.

Podľa zamerania sa rozlišujú nasledovné dve formy digitálneho dvojčata:

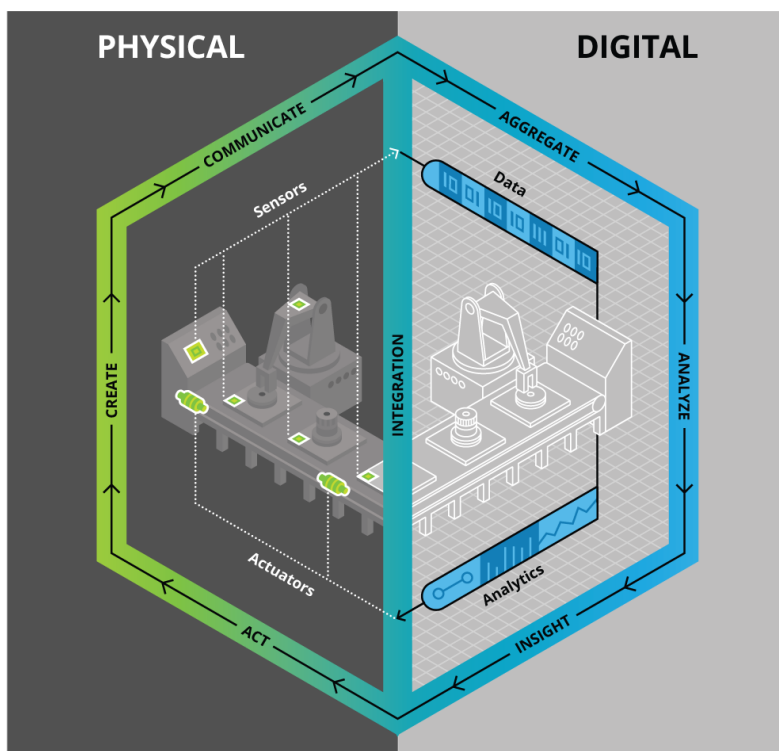
- pasívne digitálne dvojča – priamo nezasahuje do reálnych procesov, iba ich interpretuje a navrhuje možnosti pre ich optimalizáciu,
- aktívne digitálne dvojča – priamo zasahuje do reálnych procesov, poskytuje funkcie autonómneho riadenia.

Koncept digitálneho dvojčata prináša nasledovné možnosti:

- návrh komplexného systému a jeho následné autonómne riadenie a optimalizovanie,
- priebežný zber prevádzkových dát a ich neustále vyhodnocovanie,
- operatívny prístup ku komplexným a relevantným informáciám.

Neustále sa zvyšujúci výpočtový výkon spôsobuje, že čas simulácií je čoraz kratší a aplikácia simulačných výstupov do reálneho sveta je tak relatívne rýchla.

Podľa štúdie prestížnej medzinárodnej analytickej spoločnosti Gartner budú mať do roku 2022 viac ako dve tretiny spoločností, ktoré zaviedli IoT, implementované aj digitálne dvojča.



Source: Deloitte University Press.

Deloitte University Press | dupress.deloitte.com

Obrázok 8 - Model procesov s využitím digitálneho dvojčaťa

1.6.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

Využitie digitálneho dvojčaťa v energetike nie je novinkou. Často sa používa na monitorovanie, diagnostiku a prognostiku napríklad turbín v elektrárnach alebo celých výrobných zariadení. Uplatnenie môžeme nájsť aj u prevádzkovateľov prenosových sústav v Európe (napr. Fingrid) alebo v Amerike (napr. AEP). Digitálne dvojčatá tam predstavujú digitálny model inteligentnej siete, ktoré spracovávajú obrovské množstvo údajov v reálnom čase. Slúžia na najmä plánovanie investícií do rozvoja sietí, ale aj na riadenie prevádzky alebo predikciu výroby a spotreby. Dokážu tiež odhaliť potencionálne nedostatky v sieti. Využívanie digitálneho dvojčaťa tieto spoločnosti hodnotia tak, že významne prispeli k spresneniu výpočtov, zníženiu nákladov a k zefektívneniu činností.

Pre navrhované riešenie je koncept digitálneho dvojčaťa ideálnym prostriedkom pre zabezpečenie modelovania a simulácie mikrogriidu. Táto inteligentná sieť predstavuje fyzický komplexný systém pozostávajúci z mnohých prvkov, ktorej súčasťou je aj inteligentný merací systém. A práve inteligentné merania spolu s prípadnými ďalšími senzormi a snímačmi môžu zabezpečiť prepojenie digitálneho a fyzického modelu siete. Digitálne dvojča s podporou simulačných algoritmov umožní navrhovať optimálne inteligentné siete a veľmi pomôže v ich ďalšom rozvoji. Zároveň zjednoduší ich prevádzku, alternatívne až na úroveň plnej automatizácie riadenia.

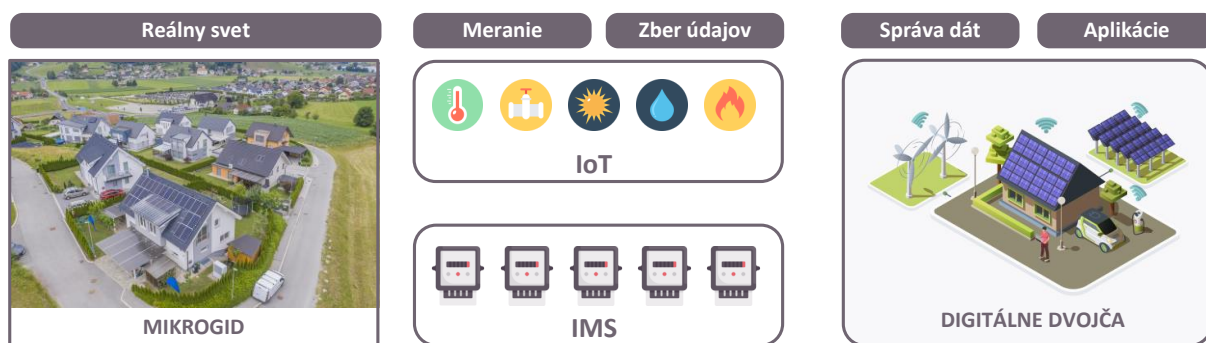
1.6.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu

Navrhované riešenie pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- modelovanie objektov – FP,
- modelovanie vzťahov medzi objektami – FP,
- zber dát – FP,
- priradenie dát k objektom – FP,
- simulácie nad dátami – FP.

1.6.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu

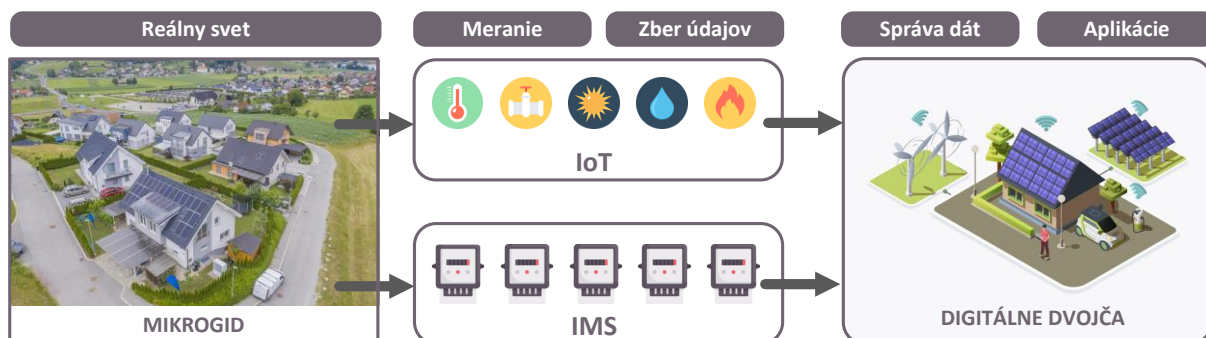
V rámci logickej architektúry riešenia bude ku mikrogriду v reálnom svete vytvorený digitálny model (digitálne dvojča), nad ktorým bude možné sledovať rôzne aktuálne veličiny, vykonávať rôzne simulácie a analýzy. Prepojenie medzi skutočným a digitálnym svetom zabezpečia merania IMS a IoT.



Obrázok 9 - Digitálne dvojča v logickej architektúre riešenia

1.6.5 Integrácia v rámci riešenia

Prepojenie skutočného mikrogriду s jeho digitálnym modelom bude zabezpečené prostredníctvom IoT senzorov a IMS meradiel. Súčasťou celkového riešenia bude zabezpečenie zberu týchto dát a ich sprístupnenie aplikačným nadstavbám nad digitálnym dvojčatom.



Obrázok 10 - Integrácia digitálneho dvojčata v rámci riešenia

1.7 Modelovanie siete

1.7.1 Analýza problematiky

Model môžeme chápať ako zjednodušený obraz skutočnosti, kde musíme niektoré stránky zovšeobecniť, aby sme tento model mohli vytvoriť. Pri samotnej tvorbe modelu je potrebná jednoznačná definícia problému a zameranie sa na tieto oblasti:

- formulácia cieľa, ktorý chceme dosiahnuť,
- vymedzenie postupov ako tento cieľ chceme dosiahnuť,
- výber hlavných faktorov, ktoré pôsobia na riešenie problému,
- určenie obmedzujúcich podmienok, v rámci ktorých sa toto riešenie bude pohybovať.

Modelovaním teda rozumieme zostavovanie modelu. Záverečnými fázami je samotný výskum a prenesenie poznatkov získaných modelovaním na reálny objekt. Dôležitou funkciou modelovania je preto i funkcia poznávací a verifikačná, ktorej úlohou je overenie získaných poznatkov na modeli. Samotná konštrukcia modelu je potom zložitý proces pozostávajúci z mnohých etáp.

Simulácia je výskumná technika, kde základom je náhrada skúmaného dynamického systému jeho simulátorom. S týmto simulátorom sa experimentuje s cieľom získať informácie o pôvodnom dynamickom systéme. V súvislosti s mimoriadnymi udalosťami je simulácia používaná ako prostriedok prevencie týchto udalostí, kedy po etape modelovania nasleduje proces simulácie. Základné typy je možné rozdeliť do skupín nasledovne:

- nomogramy,
- aplikácie analogicky odvodených zjednodušených teoretických modelov,
- počítačové simulácie.

Základnou podmienkou prevádzky elektrických sietí je spoľahlivá, kvalitná a hospodárna dodávka elektriny spotrebiteľom. Z toho dôvodu je snaha vyvarovať sa všetkým poruchám, výpadkom a generovaniu zvýšených elektrických strát. Predchádzanie potenciálnym poruchám v elektrizačnej sústave, ako sú skraty, prepätia pri pripojení a odpojení časti sústavy, atmosférické prepätia atď., je však možné dosiahnuť riešením dejov elektrickej siete vo vhodnom počítačovom modelovacom nástroji.

Aby bolo možné simulovať poruchu, je potrebné vytvoriť jej správny náhradný model. Nie je jednoduché nájsť presný a nie príliš zložitý model, ktorý zohľadňuje vlastnosti každého typu poruchy. Zvyšovanie podielu obnoviteľných a distribuovaných zdrojov energie, nárast elektromobility, využívanie moderných technológií inteligentných sietí, ako aj požiadavky na zvýšenie energetickej efektívnosti celej elektrizačnej sústavy ako komplexného systému si vyžiada vykonať veľké množstvo počítačových simulácií a systémových analýz s cieľom stanovenia vplyvu vyššie uvedených faktorov na bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy.

Vo všeobecnosti je prakticky nemožné vytvoriť presný popis reálneho sveta so všetkými jeho zložitými vnútornými väzbami a tiež s okolitými vonkajšími vplyvmi, ktoré môžeme len veľmi ťažko predvídať. Preto jedinou možnosťou týchto zložitých systémov je použitie ich zjednodušených modelov s následnou simuláciou.

Úroveň modelov jednotlivých prvkov ES závisí od účelu, pre ktorý sú určené. Problém modelovania a identifikácie parametrov modelov komponentov ES je náročný proces. Štruktúra modelu sa docieľi použitím teoretických poznatkov z elektrizačných sústav. Modely predstavujú abstraktný matematický popis vo forme algebrických a diferenciálnych rovníc. Pri zostavovaní modelov sa uvažuje s množinou zjednodušení a predpokladov. Od týchto modelov sa odvíja výber základných veličín, ktoré tvoria množinu parametrov pre daný simulačný model.

V súčasnej dobe pre energetiku existuje viacero účinných programových celkov, ktoré majú rozsiahle modelovacie schopnosti a používajú sa pre analýzu elektrizačnej sústavy. Sú to univerzálne

programy na digitálnu simuláciu ustáleného chodu siete, elektromagnetických a elektromechanických prechodných javov v silových systémoch. Tieto programové celky obsahujú už databázy simulačných modelov prvkov ES, resp. technologických celkov a ich typových parametrov. Vo väčšine prípadov tieto programové celky obsahujú aj nesimulačné podporné programy, ktoré môžu byť použité na generovanie dátových modelov, ako sú napr. výpočet parametrov vedení a pod. Úroveň simulačných programov závisí od účelu, pre ktorý boli vytvorené a na ktorý sú používané.

Pomocou simulačných modelov ES bolo možné uskutočniť posúdenie problematiky ďalšej výstavby a využívania zdrojov elektriny na báze technológie fotovoltického využitia slnečnej energie a zdrojov elektriny na báze technológie využitia vetra s cieľom stanovenia ich maximálnych možných hodnôt inštalovaného výkonu, a to za podmienok:

- pri maximálnej dostupných objemov podporných služieb,
- pri uvažovaní existujúcich zdrojov elektriny,
- pri súčasných aspektov riadenia prevádzky ES,
- pri finančnej podpore rozvoja OZE.

Počítačová simulácia všetkých rozhodujúcich iniciačných udalostí havárií:

- ako je skrat na vedeniach a prípojniciach elektrických staníc,
- výpadok vedení,
- výpadok prípojnic, výrobných zdrojov a odberateľov,
- vplyv extrémnych meteorologických podmienok,
- dominantných výkonových tokov (štatisticky evidovaných a potenciálne možných),
- dominantných konfigurácií sústavy pre plánovanú údržbu,
- neselektívnych vypínaní ochrán a pod..

pomáha správne identifikovať riziko a následne predvídať jeho následky.

Uskladňovanie energie je v súčasnosti mimoriadne aktívne preskúmaná oblasť trhu. Každá technológia akumulácie má určité vnútorné obmedzenia alebo nevýhody, preto praktické a úsporné využitie majú len pri ohraničenom rozsahu danej aplikácie. Najdôležitejšími parametrami jednotlivých technológií je dĺžka trvania dodávky naakumulovanej energie, jej množstvo a výstupný výkon. A to sú veľmi dôležité faktory, s ktorými počítačové simulácie musia uvažovať a ktoré majú podstatný vplyv na riešenie problémov s nestabilitou siete.

Vytváranie simulačných modelov elektrizačnej sústavy v súvislosti so zavádzaním konceptu mikrogrid je potrebný a veľmi účinný nástroj na analýzu ES jednak v ustálených stavoch, ale najmä v prechodných režimoch. Z vyššie uvedených faktov vyplýva, že je veľmi dôležité vykonať kvalitnú analýzu problémov v samotnej ES. Na základe vykonanej analýzy je možné pristúpiť k vytváraniu štruktúry modelov, identifikácii parametrov modelov prvkov ES, vytýpaniu simulačných príležitostí a výberu moderného databázového simulačného prostredia.

1.7.2 Možnosti a nástroje pre modelovanie mikrogridov

Modelovanie mikrogridov je úzko späté s následným simuláciami nad pripravenými modelmi. Preto je modelovanie väčšinou riešené v tých istých SW nástrojoch, ako následné simulácie. Na jednej strane je to výhoda z hľadiska jednoduchosti správy dát a jednotnosti používateľského rozhrania. Na druhej strane sa takéto komplexné riešenia stávajú ťažkopádny s nemožnosťou výberu vlastného riešenia modelovacieho nástroja. V nasledujúcich podkapitolách (okrem prvej zaoberajúcej sa Petriho sieťami ako jednej z možností modelovania sietí) je v krátkosti popísaných niekoľko príkladov existujúcich SW. Keďže, ako bolo spomenuté, tieto SW riešia aj simulácie, ďalšie príklady sú ucedené aj v kapitole 1.8 týkajúcej sa simulácií siete.

1.7.2.1 PETRIHO SIEŤ

Petriho siete (PS) sú formálna metóda podobná konečným automatom, ktorá umožňuje ľahko pochopiteľným spôsobom popísať nedeterministické a nesequenčné správanie. Ľahká pochopiteľnosť vyplýva z jednoduchého princípu zmeny stavu a grafickej podoby PS. Súbežné správanie je ľahko opísateľné vďaka tomu, že stav je distribuovaný do vrcholov nazývaných miesta, a celá sieť tak môže byť budovaná ako sústava komunikujúcich konečných automatov.

Petriho siete vznikli rozšírením modelovacích možnosti a sú pomenované podľa nemeckého matematika C. A. Petriho, ktorý navrhol ako prvý model tohto typu (C. A. Petri, 1962). Sú výhodné pre modelovanie distribuovaných alebo paralelných systémov, to znamená systémov pozostávajúcich z viacerých nezávislých systémov, ktoré navzájom komunikujú a spolupracujú. Petriho siete sú špeciálne orientované bipartitné grafy. Ich výhodou je názornosť. V grafe možno odhaliť chyby modelu a tie korigovať, odstrániť konflikty dôležité pre uskutočnenie paralelných operácií. Majú dva typy uzlov: miesto (place) – reprezentujúce stav alebo podmienku a prechod (transition) – reprezentujúci udalosť, cez ktorú môže prechádzať značka. Pohyb značky má predpísané pravidlá. Miesta a prechody sú vzájomne poprepájané hranami (arcs). Orientovaný znamená, že hrany v grafe majú smer. Bipartitný označuje stav, kde množina uzlov grafu sa skladá z dvoch vzájomne disjunktných podmnožín – množina miest a množina prechodov. V grafe znázorňujeme miesta ako krúžky a prechody ako obdĺžniky. Značenie (marking), resp. stav priradí každému miestu nezáporné celé číslo. Ak značenie priradí miestu p nezáporné celé číslo k , hovoríme, že p je označené k značkami – tokenmi (tokens). V grafe umiestnime do krúžku p pre dané miesto k bodiek.

Základné pravidlá pre Petriho siete: Miesto môže obsahovať celočíselný nezáporný počet tokenov. Kapacita udáva maximálny počet tokenov, ktoré môže dané miesto obsahovať. Ak miesto nemá zadanú kapacitu, považuje sa kapacita za neobmedzenú. Orientovaná hrana prepája miesto a prechod, alebo prechod a miesto. Hrany majú definovanú váhu – udáva sa násobnosť hrany. Ak hrana nemá definovanú váhu, potom sa jej váha rovná jednej. Počiatočné značenie (umiestnenie tokenov v miestach pred prvým preskokom) popisuje počiatočný stav systému. Vývoj systému je reprezentovaný posunom tokenov v sieti na základe aktivácie prechodu. Každé nové značenie predstavuje nový stav. Miesto p patrí do vstupnej množiny prechodu t , ak z miesta p vedie hrana do prechodu p . Miesto p patrí do výstupnej množiny prechodu t , ak vedie hrana z prechodu t do miesta p . Prechod t je spustiteľný (enabled, activated), ak:

1. každé miesto p vstupnej množiny prechodu t obsahuje aspoň toľko tokenov, aká je násobnosť hrany vedúcej z miesta p do prechodu t ,
2. počet tokenov každého miesta p výstupnej množiny prechodu t zväčšený o násobnosť hrany smerujúcej z prechodu t do miesta p , neprevyšuje kapacitu miesta p .

V okamihu aktivácie prechodu sa odoberú tokeny zo vstupných miest a pridajú sa na výstupné miesto prechodu. V každom vstupnom mieste p prechodu t sa počet tokenov zmenší o násobnosť hrany, ktorá smeruje z tohto miesta k tomuto prechodu. V každom výstupnom mieste p prechodu t sa počet tokenov zväčší o násobnosť hrany, ktorá smeruje z tohto prechodu t do miesta p . Špeciálne prípady Petriho sietí:

- C/E Petriho siete majú kapacitu každého miesta a násobnosť každej hrany rovnú 1.
- Obyčajné Petriho siete majú neobmedzenú kapacitu každého miesta a násobnosť každej hrany rovnú 1.

Elementárne obyčajné Petriho siete sú obyčajné Petriho siete, pre ktoré platí:

1. Každý prechod má aspoň jedno vstupné miesto – prechod bez vstupného miesta by umožňoval nekontrolovateľný vstup ľubovoľného počtu tokenov do siete.
2. Každý prechod má aspoň jedno výstupné miesto – prechod bez výstupného miesta by umožňoval nekontrolovateľný výstup ľubovoľného počtu tokenov do siete.
3. Žiadny prechod nemá žiadne miesto, ktoré by bolo súčasne vstupným i výstupným.

Petriho siete sú nástrojom pre modelovanie a simulovanie diskretných javov. Je to grafová štruktúra, ktorá obsahuje dva druhy uzlov - miesta a prechody, ďalej obsahuje hrany a značky, ktoré sa vyskytujú v miestach. Simulácia v Petriho sieti prebieha pomocou premiestňovania značiek z miesta do miesta, ak to dovoľuje prechod. Uplatnenie PN je veľmi široké a v súčasnosti nadobúda stále nové rozmery.

1.7.2.2 PSLF simulačný modul

Účinná analýza energetického systému často vyžaduje rozsiahle simulácie a manipuláciu s veľkým objemom údajov. Pri vykonávaní týchto analýz sú efektívne algoritmy rovnako dôležité ako inžinierske modely, v ktorých sa údaje používajú. Algoritmy pre tok energie a dynamickú analýzu systému v súprave PSLF boli vyvinuté na prácu s rozsiahlymi systémami v rozsahu až 125 000 zberníc. Kompletná sada nástrojov umožňuje používateľovi plynule prepínať medzi vizualizáciou údajov, simuláciou systému a analýzou výsledkov

Dynamické nástroje

Balík dynamickej analýzy v PSLF umožňuje používateľom vykonať analýzu dynamickej stability pre viac udalostí v prípadoch obsahujúcich až 125 000 zberníc. Tento nástroj je možné spustiť v dávkovom režime, čo umožňuje vykonávanie viacerých dynamických simulácií bez potreby interakcie používateľa. Používatelia môžu tiež modelovať a simulovať schémy nápravných opatrení v rámci dynamických simulácií. Vstavaný nástroj na dynamickú analýzu nepredvídaných udalostí DYTOOLS je navrhnutý na pomoc inžinierom plánovania pri hromadnom spracovaní simulácií dynamickej stability. Vstupný formát umožňuje inžinierom definovať nepredvídané udalosti v jednoduchých pojmoch veľmi podobných ako SSTOOLS. To je hlavná výhoda DYTOOLS.

Nástroje na analýzu ustáleného stavu

Balík analýzy ustáleného stavu pre PSLF umožňuje používateľom vykonávať tradičnú tepelnú a napäťovú analýzu, statickú analýzu napäťovej stability a analýzu medzných hodnôt prenosu. V každom behu je možné simulovať tisíce nepredvídaných udalostí. SSTOOLS ponúka používateľom obrovskú flexibilitu a stal sa pre PSLF nástrojom pre analýzu nepredvídaných udalostí v ustálenom stave.

ProvisoHD

ProvisoHD je softvérový nástroj, ktorý umožňuje používateľom rýchlo a vizuálne analyzovať postkontingenčné údaje produkované spoločnosťou SSTOOLS. Normy spoľahlivosti vedú inžinierov plánovania pri analýze väčšieho počtu nepredvídaných udalostí. Vo výsledku môžu byť výstupné súbory SSTOOLS veľmi veľké (viac GB) a rýchla a efektívna analýza výsledkov je rozhodujúca. ProvisoHD sa stal štandardným nástrojom pre následné spracovanie pre inžinierov vykonávajúcich analýzy pomocou SSTOOLS.

Optimálny ustálený stav (power-flow)

Doplňok PSLF Optimal Power-flow (OPF) poskytuje cenné pokyny pre prípad nepredvídaných udalostí týkajúce sa nápravných opatrení.

1.7.2.3 Energetické systémy CAD

V elektroenergetike je energetický systém CAD počítačom podporovaný návrhový softvér (CAD), ktorý sa používa na návrh a simuláciu elektrických energetických systémov v komerčných a priemyselných budovách.

Nástroje CAD pre elektrické systémy používajú technici elektrických energetických systémov. Nástroje CAD pre energetické systémy zvyšujú produktivitu, efektívnosť a účinnosť návrhárov elektrických systémov tým, že poskytujú základ návrhu, ktorý umožňuje rýchle vytváranie energetických

systémov, a tým, že umožňujú projektantom testovať bezpečnosť a integritu ich koncepcií návrhu. Softvérové produkty CAD pre energetické systémy umožňujú organizáciám vyvíjať návrhy energetických systémov s rýchlejšim spracovaním ako v prípade predchádzajúcich manuálnych metód.

Pomôcky pre elektrický výpočet začali výpočtovými doskami s jednosmernou sieťou a analyzátormi striedavej siete, ktoré dosiahli vysoký stupeň rozvoja v polovici 20. storočia. Veľké digitálne počítače sa stali dostatočne výkonnými na to, aby predbehli predchádzajúce analógové modelové systémy. Používanie osobných počítačov s grafickými displejmi viedlo k vývoju integrovaných balíkov softvéru na návrh napájacích systémov, čo umožnilo vykonať niekoľko rôznych štúdií napájacích systémov na rovnakých vstupných údajoch modelu.

CAD prehľad

Proces CAD elektrických energetických systémov, ktorý sa často nazýva „modelovanie“ energetických systémov, zvyčajne pozostáva z dvoch odlišných etáp:

- fáza návrhu, v ktorej sa vytvára model elektrických systémov,
- fáza simulácie alebo analýzy, v ktorej sa používajú softvérové simulačné programy na testovanie integrity dizajnu; tieto simulačné programy testujú, ako by sa model choval v reálnej prevádzke, kontrolou konkrétnych typov konštrukčných alebo prevádzkových problémov (pozri zoznam nižšie).

Návrh je iteračný proces, v ktorom výsledky simulácie navrhnu spôsoby, ako by sa mal návrh upraviť, aby sa zvýšila bezpečnosť, spoľahlivosť a prevádzkyschopnosť. Na záver projektového úsilia budú mať organizácie oveľa vyššiu mieru dôvery v integritu svojej infraštruktúry energetických systémov, než v prípade manuálne nakreslených schém. Rovnaký model, ktorý sa používa pri počítačovom návrhu napájacieho systému, sa môže použiť ako základ pre monitorovanie a modelovanie systému v reálnom čase, čo dáva prevádzkovateľom sietí kvantitatívnu hodnotu pre všetky navrhované zmeny prevádzkových podmienok systému.

Výpočty a simulácie

Na modeli CAD energetických systémov je možné vykonať niekoľko výpočtov a testov z oblasti elektrotechniky, vrátane:

- Analýza skratu
- AC a DC oblúk oblúkový blesk
- Koordinácia ochranného zariadenia
- Štúdia ustáleného stavu
- Spoľahlivosť energetického systému
- Elektromagnetická prechodová analýza
- Káblová priepustnosť
- Odhad parametrov indukčného motora
- Parametre prenosovej linky
- Optimalizácia energetického systému
- Návrh uzemňovacej mriežky elektrickej rozvodne
- Štartovanie motora
- Napäťová stabilita a analýza nepredvídaných udalostí

1.7.2.4 MATLAB

MATLAB je programovacie prostredie (s vlastným programovacím jazykom) špecializujúce sa na vedecko-technické numerické výpočty, modelovanie, návrhy algoritmov, počítačových simulácií, analýzu a prezentáciu údajov, merania a spracovania signálov, návrhy riadiacich a komunikačných

systémov. Nadstavbou Matlabu je Simulink - program na simuláciu a modelovanie dynamických systémov, ktorý využíva algoritmy Matlabu na numerické riešenia predovšetkým nelineárnych diferenciálnych rovníc. Názov MATLAB vznikol skrátením slov MATrix LABoratory (voľne preložené „maticové laboratórium“), čo zodpovedá skutočnosti, že kľúčovou údajovou štruktúrou pri výpočtoch v MATLABe sú matice. Vlastný programovací jazyk vychádza z jazyka Fortran.

MATLAB® kombinuje desktopové prostredie vyladené na iteračnú analýzu a návrhové procesy s programovacím jazykom, ktorý priamo vyjadruje matematiku matic a polí. Zahŕňa živý editor na vytváranie skriptov, ktoré kombinujú kód, výstup a formátovaný text v spustiteľnom notebooku.

Otvorená architektúra MATLABu umožňuje vznik knižníc funkcií a blokov, ktoré rozširujú existujúce funkcionality pre akékoľvek vedné odbory. To znamená, že okrem existujúcich knižníc zameraných na množstvo technických a vedných odborov je možné bez spolupráce s tvorcom SW rozšíriť systém aj o knižnice šité na mieru pre prácu s mikrogridmi a celkovo s problematikou v tomto projekte.

Inžinieri a vedci používajú program MATLAB® na organizáciu, čistenie a analýzu zložitých súborov údajov z rôznych oblastí, ako je klimatológia, prediktívna údržba, lekárske výskumy a financie. MATLAB poskytuje:

- dátové typy a schopnosti spracovania určené pre technické a vedecké údaje,
- interaktívne a vysoko prispôsobiteľné vizualizácie údajov,
- tisíce vopred pripravených funkcií pre štatistickú analýzu, strojové učenie a spracovanie signálu,
- rozsiahlu a odborne napísanú dokumentáciu,
- zrýchlený výkon s jednoduchými zmenami kódu a ďalším hardvérom,
- rozšírenú analýzu na veľké dáta bez veľkých zmien kódu,
- automatické zabalenie analýzy do voľne distribuovateľných softvérových komponentov alebo vložiteľného zdrojového kódu bez manuálneho prekódovania algoritmov,
- zdieľateľné správy automaticky generované z vašej analýzy.

1.7.3 Prvky a vstupy potrebné pre modelovanie mikrogridov

Za hlavný rozdiel medzi súčasnou sieťou a sieťou mikrogrid sa považuje reverzibilita prenosu elektrickej energie. Súčasná sieť umožňuje prenos elektrickej energie len jedným smerom, teda z miesta centralizovanej výroby do miesta spotreby. Sieť mikrogrid umožňuje výrobu v mieste spotreby do takej miery, že môže dochádzať k zmene smeru toku elektrickej energie. 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:

- Inteligentné meranie a pokročilá meracia infraštruktúra – zabezpečuje pravidelný automatický odpočet údajov z inteligentných meracích systémov, aj obojsmernú komunikáciu potrebnú pre zabezpečenie dynamických taríf, prípadne pre odpájanie záťaže.
- Systémy Inteligentnej domácnosti – 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.
- Distribuovaná výroba – patrí medzi faktory vedúce k potrebe vytvorenia siete mikrogrid. Veľké objemy distribuovaných, prevažne OZE pripájaných do distribučných sietí, má za následok vznik mnohých problémov. Od sietí typu mikrogrid a riadenia distribučnej sústavy na úrovni VN a NN sa očakáva riešenie týchto problémov.

- Elektromobilita – nepredstavuje nevyhnutnú súčasť siete mikrogrid, 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 sietí typu mikrogrid sa očakáva, že umožní nielen efektívne postupné dobíjanie elektromobilov, ale aj umožní využitie časti kapacity batérií pripojených elektromobilov pre potreby siete.

Horeuvedené skutočnosti znamenajú, že vstupné parametre treba uvažovať v širších súvislostiach a nesústredovať sa len na bežné typy modelovania sietí. Na modelovanie mikrogridov z hľadiska technických výpočtov (napr. ustálený chod siete, dynamika, ...) je potrebné definovať typy zariadení a všetky ich dôležité atribúty pre všetky zariadenia nachádzajúce sa na hlavnej prúdovej dráhe a pre všetky zdroje. K nim treba pridať aj prvky elektromobility a ostatné prvky špecifické pre mikrogridy. Tieto objekty sú následne používané pri definovaní topológie siete. Všetky typy objektov a ich atribúty sú podrobne definované v mílniku č.1 v rámci etapy č.5 tohto projektu.

1.7.4 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

V predošlých častiach tejto kapitoly bolo pojednávané o možnostiach modelovania a simulácie siete. Táto problematika je podrobne riešená rôznymi SW prostriedkami, žiaľ, všetky sú zamerané na technické výpočty a nezohľadňujú potreby vyplývajúce z vízie tohto projektu. A tou je umožniť modelovanie napr. aj prosumerom zaujímavým sa o jednoduché možnosti namodelovania vlastného mikrogridu bez podrobných znalostí o energetike.

Podstatou by bolo vytvoriť nástroj na modelovanie mikrogridu, ktorý by bol „user friendly“ a fungoval by aj na webových a mobilných platformách. Takýto nástroj by umožňoval vytváranie a modifikáciu grafických modelov pomocou vkladania grafických prvkov z predpripravenej knižnice priamo do schémy alebo mapy bez nutnosti poznať podrobnosti pre výpočty ako náhradné schémy a podobne. Zároveň by bol cez definované rozhrania prepojitelný na databázu prvkov, z ktorých čerpá, a tiež na simulačné algoritmy, čo umožní používateľom ľahko modifikovať model a spustiť nad ním príslušné výpočty pre rôzne simulačné SW a otestovať tak vykonané zmeny v simulovanom prostredí.

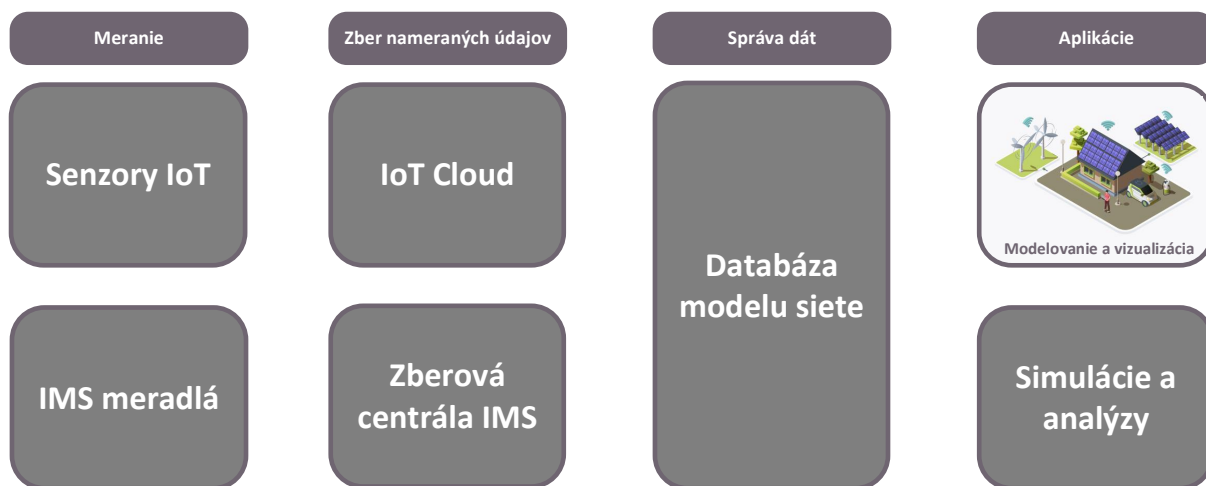
1.7.5 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu

Navrhované riešenia pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- modelovanie objektov - FP,
- modelovanie vzťahov medzi objektami - FP,
- vizualizácia modelu siete - NP,
- intuitívne používateľské rozhranie - NP.

1.7.6 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu

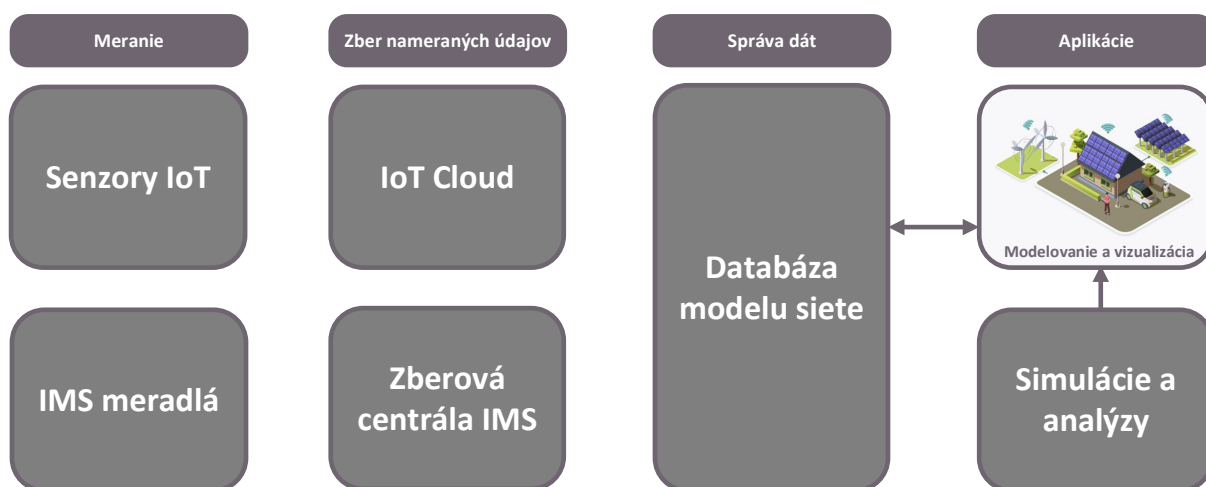
V rámci logickej architektúry riešenia bude oblasť modelovania a vizualizácie zaradená medzi aplikačné nadstavby riešenia. Pri modelovaní budú využívané prvky a ich prepojenia spravované v Databáze modelu siete. Vizualizovaný bude samotný model aj príslušné údaje jednotlivých prvkov a prepojení ako aj namerané údaje. Vizualizované budú aj výsledky simulácií a analýz.



Obrázok 11 - Modelovanie siete v logickej architektúre riešenia

1.7.7 Integrácia v rámci riešenia

Integrácia modelovania a vizualizácií do riešenia bude realizovaná najmä prepojením na databázu modelu siete. Integrácia bude obojsmerná, keďže pri modelovaní môžu vznikať nové prvky siete a prepojenia medzi nimi. Prepojenie sa uvažuje aj s oblasťou simulácií a analýz pre operatívnu vizualizáciu výsledkov.



Obrázok 12 - Integrácia modelovania siete v rámci riešenia

1.8 Simulácia siete

1.8.1 Analýza problematiky

Cieľom kapitoly o simulácii siete je analyzovať možnosti a metódy simulácie vybraných veličín na pripravenom matematickom modeli mikrogridov. Či už z pohľadu technického alebo obchodného – oba pohľady predstavujú dôležitý aspekt pri rozhodovaní, či a ako postaviť a prevádzkovať mikrogrid.

Simulácie z technického hľadiska sú dôležité pri určovaní stability navrhovanej siete z hľadiska topológie a použitých zariadení. Jedným z dôvodov je aj fakt, že pri špeciálnych prevádzkových stavoch siete vzniká pravdepodobnosť presiahnutia dovolených zaťažení prvkov siete, ako aj možnosť

nedodržania napätia v dovolených toleranciách v jednotlivých uzloch siete, prípadne aj frekvencie pri ostrovných prevádzkach.

Simulácie z obchodného hľadiska sú dôležité pri posudzovaní ekonomickej návratnosti navrhovaného mikrogridu, pri stanovovaní optimálnej spotreby v časovom horizonte a v neposlednom rade aj pri optimalizačnej úlohe pre výber portfólia zdrojov v mikrogride pri jeho návrhu.

1.8.1.1 Možnosti a nástroje pre simuláciu siete

Táto kapitola rieši porovnanie rôznych programov, ktoré riešia sieťové výpočty a simulácie siete, tzn. analýzy elektrických sietí z hľadiska ustálených stavov alebo aj dynamiky. Je podkladom pre následné vyhodnotenie vhodnosti existujúcich riešení pre riešenie problémov mikrogridov, prípadne dáva námety na doplnenie obsahu uceleného riešenia zameraného na túto tému. Či už z hľadiska spomínaných ustálených stavov, alebo z hľadiska vhodného výberu zdrojov, návrhu topológie mikrogridu a podobne. Pre hrubé porovnanie boli vybrané špecifické vlastnosti tak, aby kapitola splnila svoj účel. Samozrejme, nie je možné tieto systémy porovnať komplexne, keďže každý z nich obsahuje mnoho odlišných modulov a každý zo spomínaných systémov má svoje výhody aj nevýhody.

V oblasti sieťových výpočtov už existuje veľké množstvo systémov, žiaden ale nepokrýva úplne celú oblasť, na ktorú sa zameriava navrhované riešenie. Medzi všeobecne známe systémy možno zaradiť:

- GLF
- LUG
- PSLF
- Neplan
- Siemens PSS Sincal
- Rastr-win
- Power World Simulator
- OpenDSS
- PSCAD
- Cerberus
- ETAP
- Easy power
- Gridlabd
- Pypower
- PyPSA
- InterPSS
- PSAT (Matlab)
- Matpower

V nasledujúcich riadkoch sú v krátkosti opísané niektoré systémy z uvedeného zoznamu, ktoré sú v praxi najpoužívanejšie.

Väčšina programov pracuje na rovnakom „matematickom“ základe. Napríklad programy ako GLF a PSLF je možné použiť na výpočet ustáleného stavu sústavy a získané výstupné dáta sú potom uložené do .xls/.xlsx súboru alebo textového súboru. Tieto súbory sa dajú načítať prostredníctvom grafického používateľského rozhrania a načítané dáta ďalej spracovať pomocou modálnej analýzy. Medzi základné funkcionality programu patrí načítanie dát, vykonávanie výpočtov v pomerných aj skutočných hodnotách, výpočet admitančnej matice a Jacobiho matice, výpočet vlastných čísel, participačného faktoru uzlov a vedení, vlastných vektorov, zobrazenie vypočítaných výsledkov priamo v tabuľkách a export údajov. V prípade, že sa v sústave nachádzali paralelné vedenia alebo uzly spojené

prvkom s malou impedanciou (priechy spínač prípojnic), program vytvoril ekvivalentné náhradné vedenie resp. uzol, ktorý bol vyhodnocovaný v rámci modálnej analýzy. Na základe vyššie uvedeného teda platí, že ak sa v sústave nachádzalo paralelné vedenie, tak pri aplikácii modálnej analýzy sa vyhodnocoval participačný faktor vypočítaného ekvivalentného vedenia.

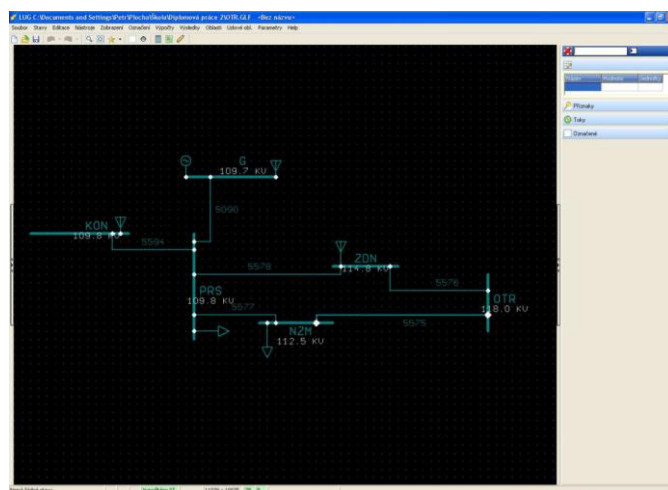
GLF

Program je jedným z prvých systémov v ČR, ktorý sa zaoberal sieťovými analýzami v energetike. Vznikol pre prostredie MS DOS a používal sa až do nástupu programu LUG. Je to jednoduchý a prehľadný program. Je určený na riešenie hlavne sietí vysokého napätia a veľmi vysokého napätia. Je ho možné využiť na výpočet ustáleného chodu siete, analýzu napäťových podmienok a výpočet skratových prúdov spolu s kontrolou spoľahlivosti (N-1). V súčasnosti sa už nepoužíva, je tu spomenutý, pretože bol jedným z prvých systémov v stredoeurópskom priestore, ktorý bol využívaný aj Slovenskou elektrizačnou prenosovou sústavou SR.

LUG

Program LUG je evolučným pokračovaním programu GLF, ktorý bol vytvorený v čase existencie MS DOS a bol už technologicky zastaralý. Či už išlo o samotné jadro programu, ktorý nebol natívnou WIN aplikáciou, alebo o možnosti vstupov a výstupov, ktoré v prípade LUG boli zmenené z obyčajných txt súborov na xls formát. Program slúži na:

- výpočet ustáleného chodu striedavej elektrickej siete,
- výpočet chodu elektrickej siete jednosmerným modelom,
- analýzy napäťových pomerov v sieti,
- analýzy skratových pomerov v sieti,
- kontrolu spoľahlivosti,
- analýzu napäťových pomerov v sieti,
- analýzu skratových pomerov v sieti,
- kontrolu spoľahlivosti prevádzky siete podľa kritéria N-1,
- preverenie sieťových závislostí vzájomného chovania prvkov a veličín,
- výpočet náhradných prvkov (napr. impedančné náhrady, ...),
- grafické zobrazenie počítanej siete alebo jej časti s vyhodnotením výsledkov podľa typu výpočtu a požiadavky používateľa,
- kontrolu dodržiavania dovolených napätí v sieti, kontrolu zaťažovania vedení a transformátorov,
- vyhodnotenie bilancie výkonov v sieti alebo v jej časti,
- rozbor strát činného a jalového výkonu v sieti.

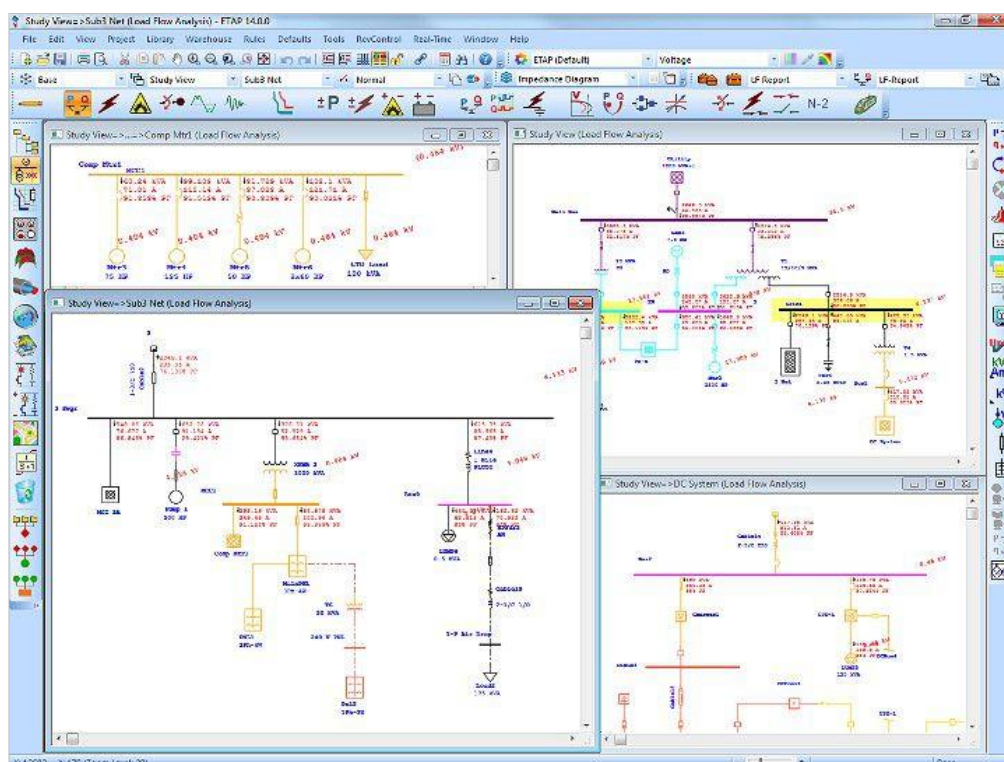


Obrázok 13 - Ukážka systému LUG

ETAP

ETAP je svetový líder na trhu a technologický líder v oblasti modelovacieho, návrhového, analytického, optimalizačného, monitorovacieho, riadiaceho a automatizačného softvéru pre elektrické energetické systémy. Jedným z ich zaujímavých riešení je load-flow-software. Samozrejme, ide len o jeden z mnohých modulov, ktoré poskytuje, avšak dotýka sa priamo problematiky v tejto časti dokumentu.

Systém vykonáva analýzu toku energie a výpočty poklesu napätia s presnými a spoľahlivými výsledkami. Vďaka vstavaným funkciám, ako je automatické vyhodnotenie zariadenia, súhrn výstrah a varovaní, analyzátor výsledkov toku záťaže a inteligentná grafika, je to najefektívnejší nástroj na analýzu toku elektrickej energie, aký je dnes k dispozícii. Softvérový modul Load Flow môže vytvárať a overovať modely systémov a získavať presné a spoľahlivé výsledky. Môže vypočítavať napätie zbernice, prúdy a toky energie v celom elektrickom systéme.



Obrázok 14 - Ukážka systému ETAP

Kľúčové vlastnosti softvéru:

- štúdia poklesu napätia a analýza toku energie,
- korekcia účinníka,
- automatické vyhodnotenie zariadenia,
- automatická korekcia teploty,
- akcie LTC s dvoma a tromi vinutiami transformátora,
- automatické činnosti regulátora napätia,
- straty reálneho a jalového výkonu,
- rozsiahle varovania a hlásenia o porušení,
- analyzátor výsledkov zaťaženia,

- panel nástrojov na zmenu a zobrazenie výsledných jednotiek jediným kliknutím,
- simulácia toku energie s viacerými podmienkami načítania a generovania,
- výpočet a vykazovanie toku zaťaženia.

Power World Simulator

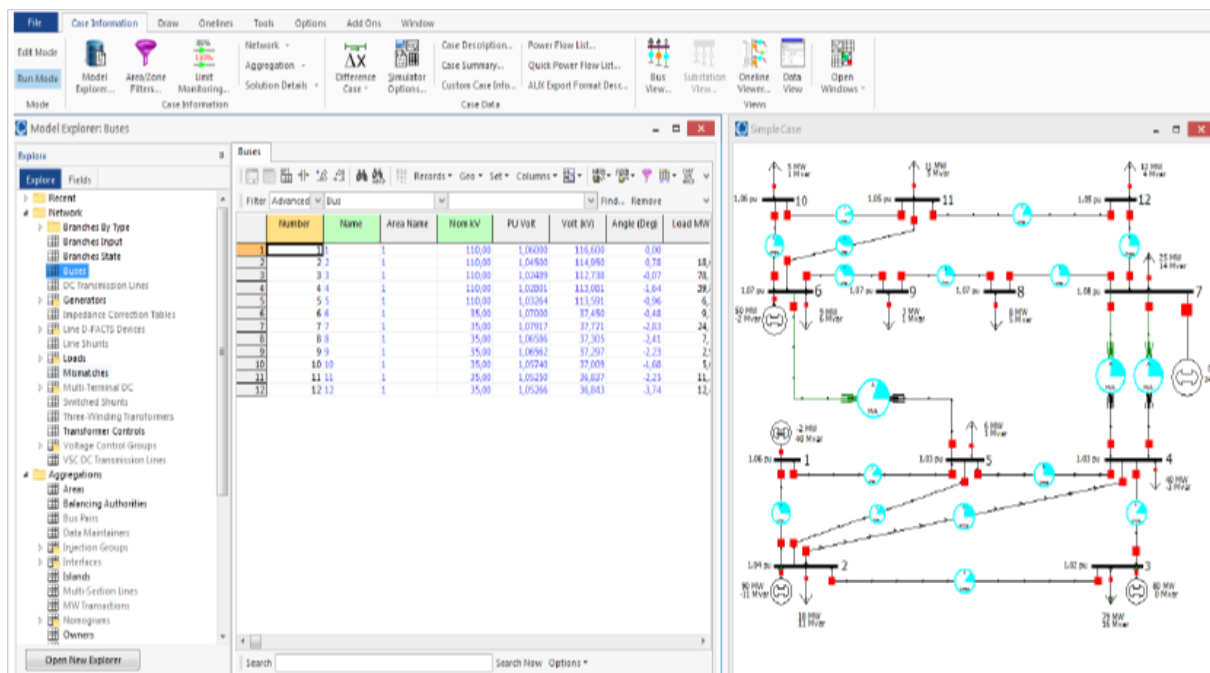
Jedná sa o plne funkčný samostatný program, ktorý je schopný riešiť všetky úkony spojené s rozvodom elektrickej energie. Systém pojme pri návrhu až 250 000 prípojnic. Systém je riešený modulárne, tzn. okrem základného modulu obsahuje veľké množstvo prídavných balíčkov.

Medzi vlastnosti systému podľa jeho tvorca môžeme zaradiť:

- intuitívne GUI,
- prieskumník modelov,
- prezentačné nástroje,
- interaktívne, animované diagramy,
- analýza nepredvídaných udalostí,
- pohľad cez Geografické informačné systémy (GIS),
- Time-Step Simulation (TSS),
- automatizované nástroje na tvorbu a úpravu diagramov.

Spomínané balíčky riešia mnoho rôznorodých tém, medzi tie najzaujímavejšie možno zaradiť:

- Dostupná kapacita prenosu (ATC) – umožňuje určiť maximálny možný prenášaný výkon medzi dvoma časťami energetickej sústavy.
- Analýza stability napätia (PVQV) – výpočet ustáleného stavu a vyhodnotenie napäťových pomerov.
- Nástroj na analýzu optimálneho toku výkonu (OPF) – Optimálne riadenie výroby zároveň s riadením obmedzenia spotreby, aby neprišlo k preťaženiu vedení.
- Nástroj pre analýzu optimálnej výkonovej rezervy – hľadá optimálny pracovný bod systému so zohľadnením klasických štandardných zdrojov a rýchlych rezervných zdrojov vrátane ceny energie z týchto zdrojov.
- Geomagnetický indukovaný prúd (GIC) – modelujte a vyhodnocujte riziko, ktoré predstavujú geomagnetické poruchy, napríklad slnečné búrky.

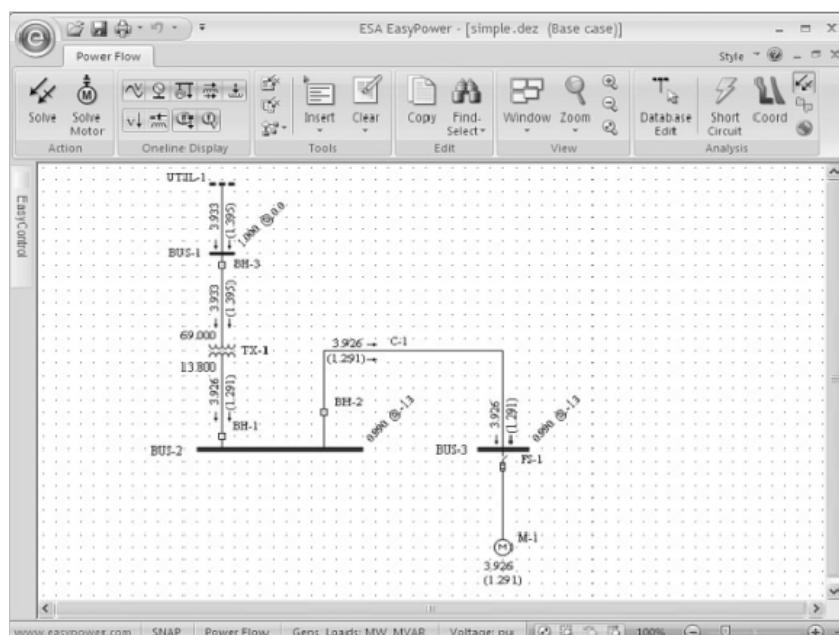


Obrázok 15 - Ukážka systému Power World Simulator

EasyPower

Systém EasyPower je zameraný na analýzy týkajúce sa ustálených tokov vrátane monitorovania sietí a riešenia ochrán. Je taktiež riešený modulárne ako predošlé systémy, jednotlivé moduly je nutné skladať do balíčkov a tie najzaujímavejšie sú nasledovné:

- oblúkový výboj,
- power flow,
- výpočty skratov,
- koordinácia ochrán,
- dynamická stabilita,
- prechodové javy,
- harmonická analýza.



Obrázok 16 - Ukážka systému EasyPower

PSCAD

PSCAD (Power System Computer Aided Design) je komerčný simulátor elektrických sietí, ktorý umožňuje používateľovi schematicky nakresliť model siete a následne spustiť rôzne typy simulácií.

Hlavné oblasti, ktoré je možné riešiť pomocou PSCAD sú:

- analýzy sietí skladajúcich sa z rotačných strojov, generátorov, trubín, transformátorov, vedení, tlmiviek a zaťažení,
- koordinácia relé,
- účinky transformátorovej saturácie,
- koordinácia izolácie transformátorov, ističov a bleskoistiek,
- impulzné skúšky transformátorov,
- vyhodnotenie filtrov a harmonickej analýzy,
- návrhy riadiacich systémov,
- optimálny návrh parametrov regulátora,
- úder blesku, poruchy alebo manipulácie pri vypnutí,
- vyšetrovanie pulzných účinkov naftových motorov a veterných turbín na elektrickú sieť.

1.8.1.2 Porovnanie existujúcich SW

Existuje viacero prác, ktoré porovnávajú existujúce systémy z hľadiska kompletnosti, licenčnej politiky, prípadne obmedzení objektov a podobne. Veľmi prehľadné porovnanie je možné nájsť napríklad v bakalárskej práci „Porovnaní programů pro síťové výpočty“, kde je porovnanie SW riešené cez rôzne atribúty. Nasledujúce obrázky sú z uvedenej práce a predstavujú základné porovnanie podľa licencie, počtu prípojníc a funkcionality.

Software	Free Licence	Student Licence	Demo Licence	Placená licence	Placené rozšírení
PWS	✓	✓	-	✓	✓
MATPOWER	✓	-	-	-	-
PSAT	✓	-	-	-	-
E-vlivity 3 / DNCalc	-	-	✓	✓	✓
PyPSA	✓	-	-	-	-
ETAP	-	-	✓	✓	✓
EasyPower	-	-	✓	✓	✓

Obrázok 17 - Typy licencií porovnávaných simulačných systémov

Software	Free Licence	Student Licence	Demo Licence	Placená licence
PWS	13	40	-	250 000/(neomezeně)
MATPOWER	(neomezeně)	-	-	-
PSAT	(neomezeně)	-	-	-
E-vlivity3 / DNCalc	-	-	50	(neomezeně)
PyPSA	(neomezeně)	-	-	-
ETAP	-	-	12	(neomezeně)
EasyPower	-	-	25	(neomezeně)

Obrázok 18 - Licencovanie podľa počtu prípojnic

Software	Napěťová stabilita a limity	OPF standard	OPF výk. rezervy	OPF bezp. omez.	Přechodová stabilita
PWS	free/student	free/student	placené	placené	placené
MATPOWER (+MOST)	free	(free)	(free)	(free)	-
PSAT	free	free	free	-	free
E-Vlivity3 DNCalc	placené	vývoj	vývoj	vývoj	vývoj
PyPSA	free	free	free	free	free
ETAP	demo/placené	demo/placené	demo/placené	demo/placené	demo/placené
EasyPower	placené	placené	placené	placené	placené

Obrázok 19 - Porovnanie funkcionality simulačných systémov

1.8.1.3 Závery vyplývajúce s dostupných informácií o existujúcich systémov

V predošlých kapitolách bolo pojednané o dôležitých vlastnostiach rôznych typov informačných systémov zameraných na riešenie simulácií stavov v elektrizačných sústavách, spolu s rôznymi typmi modelovania týchto sietí prostriedkami informačných technológií. Podľa zostaveného zoznamu vyplýva, že už existuje veľké množstvo takýchto systémov a bola by kontraproduktívna snaha o vytvorenie ďalšieho klonu tej istej „matematiky“. V tomto prípade by vznikla len ďalšia odnož používateľského rozhrania nad rovnakým matematickým problémom. Na čo je však dôležité upozorniť, je fakt, že všetky tieto špecializované systémy vychádzajú z toho, že používateľ je odborník na energetiku a výsledky vie využiť pri budovaní energetických sietí.

V „časoch mikrogridov“, kedy si vlastnú malú sieť bude vedieť vytvoriť niekoľko desiatok odberateľov a v časoch prosumerov tak neexistuje systém, ktorý by vedel pomôcť s návrhom optimálneho riešenia takejto siete aj bez hlbších znalostí energetiky. A práve týmto smerom bude smerovať ďalšia snaha, čo sa týka projektu a jeho projektových výstupov.

1.8.1.4 Typy simulácií siete

Nasledujúca kapitola obsahuje prehľad rôznych simulácií používaných v mikrogridoch. Jednotlivé typy simulácií je možné rozdeliť na dve oblasti, ktoré sa čiastočne prekrývajú a nie je možné ich úplne oddeliť:

- Oblasť „technická“, ktorú už pokrývajú existujúce systémy spomínané v predošlých kapitolách. Pod ňou sa rozumie napr. výpočet ustálených tokov na základe parametrov prvkov a topológie mikrogridu.
- Oblasť „obchodná“, ktorú pokrývajú existujúce systémy čiastočne a častokrát býva riešená len ako nadstavba nad technickou časťou. Príkladom je podrobný výpočet návratnosti FVE. Práve rozvojom tejto časti očakávame intenzívny rozvoj systémov vhodných pre bežných prosumerov.

Čo sa týka technickej oblasti, tam je dôležité riešiť okrem statického výpočtu chodu siete (statické simulácie) aj prechodové javy, ktoré je možné rozdeliť na:

- Vlnové prechodné javy, ktoré sa vyznačujú najrýchlejšími priebehmi, ich trvanie je niekoľko mikrosekúnd až milisekúnd. Príkladom sú prepätia.
- Elektromagnetické prechodné javy, ktoré majú čas trvania od niekoľko milisekúnd až po niekoľko desiatín sekundy. Pri nich zanedbávame zmeny otáčok točivých strojov a vlnové prechodové javy. Príkladom sú skraty.
- Elektromechanické prechodné javy, ktoré majú čas trvania od desiatiny sekundy až po niekoľko sekúnd a súvisia s mechanickým pohybom rotorov všetkých generátorov v sieti. Patrí sem výpočet statickej a dynamická stability.

Jednotlivé požiadavky na technické výpočty v mikrogridoch sú analogické ako v prenosových sústavách. Čo sa týka obchodnej časti, tam je pri veľkých prenosových a distribučných sústavách kladený dôraz na iné typy optimalizačných úloh (prvoradá je stabilita siete, atď.). Obe časti môžeme v krátkosti definovať nasledovne.

Oblasť technická:

- Výpočet ustáleného stavu, tzn. load flow pomocou rôznych metód (Gaussova eliminačná metóda, Newtonova iteračná metóda, Gauss-Seidlova metóda) a stanovenie:
 - napäťových pomerov v uzloch,
 - prúdov v uzloch,
 - činnej dodávky a odberu,
 - jalovej dodávky a odberu,
 - výkonových tokov,
 - strát na vedeniach a v uzloch.
- Výpočet skratových prúdov:
 - 3f skrat,
 - nesymetrické skraty (1f skrat, 2f skrat, 2f skrat voči zemi, ...),
 - skrat na svorkách generátorov.
- Riešenie statickej a dynamickej stability synchronného generátora (napr. pri MVE).
- Výpočet kritéria N-1 pre on-grid / off-grid mikrogrid.

- Prechod mikrogridu z/do ostrovnej prevádzky.
- Regulácia výkonu v mikrogride (primárna, sekundárna).
- Regulácia napätia a frekvencie v mikrogride.
- Dimenzovanie prvkov (vedení a transformátorov) na základe predpokladaných hodnôt výkonov.
- Vplyv zmeny výkonu (ako odberu, tak aj výroby) / skratu na frekvenciu v sieti v prípade, že sa v mikrogride nenachádza synchronný generátor.
- Kompenzácia jalového výkonu v mikrogride resp. určenie potreby kompenzačného zariadenia a jeho dimenzovanie.

Oblasť obchodná:

- Návratnosť investície do mikrogridu (optimalizačná úloha pre výber zdrojov).
- Predikcia spotreby elektriny.
- Predikcia ceny elektriny.
- Predikcia výroby podľa jednotlivých zdrojov:
 - stanovenie vyrábaného výkonu veternej elektrárne na základe poveternostných podmienok a natočenia lopatiek,
 - stanovenie vyrábaného výkonu FV elektrárne na základe intenzity žiarenia a vonkajších podmienok (teplota ovzdušia, náklon panelu v rámci osí x,y,z),
 - stanovenie vyrábaného výkonu malej vodnej elektrárne na základe parametrov riečneho toku.

1.8.1.5 Statické a dynamické simulácie

V rámci koncepcie simulácie mikrogridov je potrebné zdôrazniť obecný rozdiel medzi statickými a dynamickými simuláciami. Statická simulácia reprezentuje správanie sa prvku alebo systému v staticky prevádzkových podmienkach, ktoré nezávisia na čase. Používa sa vtedy, keď sa uvažuje v systéme iba malá výkonová nerovnováha resp. iné malé zmeny vo výrobe alebo zaťažení. Príkladom je simulácia postupného zaťažovania mikrogridu alebo výroba fotovoltickej elektrárne ako funkcia rôznej intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia. Dynamická simulácia reprezentuje správanie sa systému v prechodových prevádzkových podmienkach, počas ktorých fyzikálne veličiny popisujúce systém sa menia v čase. Dobre popisuje správanie sa systému pri náhlych a veľkých zmenách výkonovej rovnováhy. Príkladom je neočakávaný prechod mikrogridu do ostrovnej prevádzky ako reakcia na poruchu vzniknutú v nadradenej sústave. Delenie stability na statickú a dynamickú súvisí s dĺžkou prechodového javu a typom poruchy.

Simulácie rôznych typov stabilit vo veľkých elektrizačných sústavách sa opierajú predovšetkým o veľké generátory, ktoré sú umiestnené v jadrových, vodných alebo paroplynových elektrárnach. Tieto generátory a ich prevádzkové a regulačné charakteristiky majú obecné dominantný vplyv na udržanie stability v sústavách a predstavujú signifikantnú točivú rezervu výkonu. Pri návrhu konceptu a realizácie mikrogridu však točivé elektrické generátory môžu predstavovať iba minoritný výkonový alebo početný podiel v celkovej zdrojovej skladbe mikrogridu. Rovnako aj prevádzkové a regulačné charakteristiky malých točivých strojov nemusia byť signifikantné v rámci posúdenia stability mikrogridu.

Do problematiky statických simulácií zahŕňame javy, ktorých spoločným znakom je príčina spočívajúca v malých odchýlkach pracovného režimu mikrogridov. Do statických simulácií zaradujeme aj skúmanie, či za daných podmienok je vôbec možná stabilná prevádzka mikrogridu.

1.8.1.1.1 Simulácia statickej stability mikrogridu

Rozhodujúcim ukazovateľom pri simulácii statickej stability mikrogridu je, aby bol dohodnutý výkon prenesený do každej záťaže v medziach, pri ktorých bude veľkosť napätia oscilovať čo najbližšie k svojej

referenčnej hodnote. Statickú stabilitu v mikrogridov je možné zabezpečiť reguláciou rôznych typov zdrojov, ktoré pozostávajú z točivých elektrických generátorov alebo zariadení na akumuláciu elektrickej energie. Jedná sa najmä o kogeneračné jednotky, veterné turbíny a malé vodné elektrárne. Vzhľadom na preferovaný nízkouhlíkový charakter mikrogridu, podmienok návrhu a lokálnej dostupnosti primárnych zdrojov energie môže byť zastúpenie uvedených zdrojov v mikrogride nedominantné alebo aj úplne vynechané. Napríklad v budúcich mikrogridoch sa nepredpokladá masívne zastúpenie malých vodných elektrární alebo väčších veterných turbín. Rovnako aj dostupnosť pripojenia na zemný plyn pre kogeneračné jednotky môže byť obmedzená. V tomto prípade je potom potrebné navrhnuť koncept mikrogridu tak, aby udržanie statickej stability bolo prenesené na ostatné regulovateľné prvky mikrogridu napríklad batériový systém.

V prípade, keď je mikrogrid pripojený k nadradenej sústave, je jeho statická stabilita udržiavaná touto sústavou, pretože táto obvykle predstavuje napäťovo a frekvenčne tvrdú elektrickú sieť. V prípade, keď je mikrogrid odpojený od nadradenej sústavy a za podmienky nízkej penetrácie točivej regulačnej rezervy je potrebná regulácia napätia a výkonu iným prvkom v mikrogride, napríklad batériovým systémom. Menič takéhoto systému umožňuje injektovanie činného a jalového výkonu podľa potreby tak, aby bola uspokojená výkonová potreba záťaží pri dodržaní medzireferenčného napätia. Regulácia napätia je zabezpečená reguláciou jeho jalového výkonu. Cieľom simulácie je aj overiť dostatok jalového výkonu pre zabezpečenie predpísaných napäťových pomerov v mikrogride.

Simuláciou statickej stability mikrogridu sa testuje jeho schopnosť zachovať stabilitu za podmienky, že v mikrogride ako systéme nevznikne porucha. Simulácia tejto stability môže prebehnúť v dvoch módoch:

- bez aktivácie automatických regulačných zariadení, kedy sa simuluje schopnosť udržať statickú stabilitu mikrogridu pri deaktivovanej automatickej regulácii napäťových a výkonových pomerov,
- s aktiváciou automatických regulačných zariadení, kedy sa simuluje schopnosť udržať statickú stabilitu mikrogridu pri aktivovanej automatickej regulácii napäťových a výkonových pomerov.

Uvedené simulácie sa používajú aj pri kvalitatívnom posúdení riadiacej a regulačnej hierarchie mikrogridov.

Simulačné určenie hraníc statickej stability mikrogridu PU krivkami

Strata statickej stability v mikrogride vzniká nerovnováhou medzi dodávaným a spotrebovávaným jalovým výkonom. Odhad pracovnej oblasti, v ktorej sa statická stabilita mikrogridu nachádza, je možné určiť pomocou PU kriviek. PU krivka vyjadruje činný výkon ako funkciu napätia. PU krivka hrá dôležitú rolu pri pochopení a fyzikálnom vysvetlení statickej stability mikrogridu. Určenie PU krivky prebieha tak, že počas simulácie sa postupne zvyšuje zaťaženie v signifikantnom uzle mikrogridu, pričom sa zaznamenávajú hodnoty činného výkonu a napätia. Tento postup pokračuje až do divergencie hodnôt. Bod, kedy začnú hodnoty divergovať, sa považuje za stav, kedy mikrogrid stráca statickú stabilitu a dosiahol bod nestability. Týmto typom simulácie sa súčasne kvantifikuje aj citlivosť napätia na zmenu zaťaženia ($\Delta U/\Delta P$).

Základné použitie PU kriviek spočíva v nájdení vzdialenosti k bodu nestability. Takto je možné skúmať vplyv zmien konfigurácie mikrogridu, zmeny v rozložení zaťaženia, výroby na vzdialenosť k bodu nestability. Okrem toho na základe strmosti $\Delta U/\Delta P$ je možné identifikovať uzly mikrogridu, ktoré sú napäťovo „mäkké“.

Simulačné určenie hraníc statickej stability mikrogridu modálnou analýzou

Modálna analýza je metóda založená na dekompozícii štvorcových matic na vlastné čísla, ktorá našla uplatnenie pre hodnotenie napäťovej stability. Na výpočet ustáleného stavu v mikrogride sa využíva známy linearizovaný systém rovníc. Pri tejto metóde sa udržiava v uzloch konštantný činný výkon ($\Delta P = 0$ MW) a sleduje sa vplyv zmeny jalového výkonu na hodnotu napätia. Efekt zmien činného výkonu možno zhrnúť tak, že sa modálna analýza vykoná pri rôznych prevádzkových stavoch, alebo inak povedané, pri rôznych hodnotách zaťaženia činným výkonom.

1.8.1.5.1 Dynamické simulácie

Statická stabilita mikrogridu nezávisí na druhu zmeny ani na počiatočnom stave sústavy a simulácie sa uskutočňujú pri normálnych prevádzkových podmienkach. Oproti tomu dynamickú stabilitu je vždy potrebné určovať pre konkrétnu situáciu v mikrogride a pre dané počiatočné podmienky. Z toho vyplýva, že mikrogrid ako nelineárny dynamický systém môže udržať stabilitu pri malých zmenách prevádzkových parametrov, avšak môže byť nestabilný pri väčších zmenách. Statická stabilita počiatočného prevádzkového stavu je teda nutnou, ale nie postačujúcou podmienkou pre dynamickú stabilitu mikrogridu.

Pri simulačnom vyšetrowaní dynamickej stability skúmame schopnosť mikrogridu obnoviť statickú stabilitu po náhlej významnej zmene v jeho konfigurácii. Touto zmenou môže byť napríklad skrat v signifikantnom bode alebo prechod do ostrovnej prevádzky. Tiež sem patria výpadky jednotlivých prvkov, ako sú zdroje alebo poruchy na vedeniach.

Medzi simulačne signifikantné procesy v mikrogride patria predovšetkým:

- spínacie procesy (prechodové deje),
- nárazy zaťaženia,
- skraty.

Zmena impedancie v týchto prípadoch je vždy skoková. Dynamická stabilita mikrogridu v sebe zahŕňa skokovú zmenu zaťaženia činného výkonu. Mikrogrid môže prejsť do nového staticky ustáleného stavu len cez elektromechanický prechodový dej.

Veľké elektrizačné sústavy sú napájané predovšetkým z veľkých synchronných generátorov, ktorých rotory sú mechanicky spriahnuté s rôznymi typmi turbín (parné, plynové, vodné...). Takéto sústrojenstvo tvorí zotrvačnosť vo forme rotujúcej masy. Pri náhlom prechodovom deji nie je mechanicky možné bez poškodenia zastaviť rotujúce sústrojenstvo v pohybe. Dodávané elektrické veličiny sa počas prechodového deja menia veľmi pomaly a preto sa považujú za konštantné. V koncepte mikrogridu však táto vlastnosť môže platiť len v obmedzenej miere alebo vôbec, čo je spôsobené absenciou alebo malým zastúpením rotujúcej masy (zotrvačnosti).

V prípade pripojenia mikrogridu do nadradenej sústavy je jeho dynamická stabilita (rovnako ako pri statickej stabilite) podporená touto sieťou, pretože potrebná zotrvačnosť na zvládnutie prechodových dejov je zabezpečovaná sieťou. Takáto prevádzka mikrogridu je v porovnaní s jeho ostrovnou prevádzkou aj menej komplexnejšia.

Nízke zastúpenie zotrvačnosti, najmä v ostrovnej prevádzke, zvyšuje riziko vzniku porušenia kvality dodávanej elektriny v mikrogride už pri malých zmenách vo výrobe. Jedná sa najmä o kvalitu napätia a frekvencie.

Rozvoj a riadenie batériových systémov umožňuje v mikrogridoch rýchlu a flexibilnú dodávku činného a jalového výkonu. Integrácia batériových systémov dokáže zabezpečiť potrebnú „zotrvačnosť“ v mikrogride a zlepšiť kvalitu jeho dynamickej stability. Preto fluktuácia vo výrobe elektriny a jej vplyv na stabilitu mikrogridu a kvalitu elektrickej energie predstavuje výzvu najmä pri ostrovnej prevádzke.

Simulácia kritéria N-1

Topológia mikrogridu má byť navrhnutá s ohľadom na toto kritérium. Testovaním mikrogridu kritériom N-1 sa zisťuje jeho schopnosť udržať dovolené parametre prevádzky po výpadku jedného prvku (časť vedenia, fotovoltickej elektrárne, veternej turbíny...). Úspešným testovaním je zaručené, že nebudú prekročené dovolené medze prevádzkových parametrov. Pozornosť sa predovšetkým venuje výpadku najviac zaťaženého prvku, či inej signifikantnej časti mikrogridu.

Dodržanie kritéria sa kontroluje výpočtovo tzv. kontingenčnou analýzou, ktorá sa vykonáva opakovaným výpočtom chodov siete. Cieľom výpočtov je zistiť, či pri vypnutí daného prvku nedôjde k výkonovému preťaženiu ostatných prvkov alebo prekročeniu povolených limitov napätia v mikrogride.

V prípade, keď je dopredu známy koncept, prevádzka a zdrojová skladba mikrogridu, je možné vytipovať konkrétne stavy a za rôznych prevádzkových podmienok vyšetriť stabilitu mikrogridu kritériom N-1. Simulácia kritéria sa tiež často uskutočňuje pre časové rezy predpokladaného najväčšieho zaťaženia v mikrogride, napríklad vo večerných hodinách.

Simulačné vyšetrenie stability mikrogridu pomocou vlastných čísel

Dynamiku správania mikrogridu je možné vyšetriť pomocou analýzy vlastných čísel (ang. „Eigenvalue analysis“), pre ktorú je potrebné mať detailný nelineárny model mikrogridu. Analýza vlastných čísel umožňuje charakterizovať dynamické správanie a súčasne dokáže indikovať, ako bude mikrogrid ako systém reagovať na vnútorné dynamické zmeny. Pri modelovaní a simulácii sa menia rôzne parametre, napríklad zmeny záťaže alebo prevádzkových bodov meničov. Zmena každého parametra sa premietne do veľkosti vlastných čísel.

Simulačné vyšetrenie stability mikrogridu pomocou Ljapunových metód

Vyšetrenie stability mikrogridov často prebieha metódami, ktoré linearizujú jeho dynamické správanie, ako napríklad analýzy vlastných čísel alebo rôzne citlivostné analýzy. Ljapunove metódy odhadujú doménu asymptotickej stability vyšetřovaného dynamického systému a sú používané ako nelineárne nástroje na vyšetřovanie dynamickej stability elektrizačných sústav. Hlavnou výhodou Ljapunových metód je fakt, že Ljapunova funkcia umožňuje odhadnúť oblasti stability, do ktorých je prevádzkový bod systému priťahovaný a súčasne určiť prijateľnú mieru rušenia v systéme. Ljapunove metódy umožňujú identifikovať a kvantifikovať rôzne odchýlky v systéme, ktoré môžu byť tolerované odhadom jeho asymptotickej stability. V mikrogride potom môžu byť optimalizované veľkosti inštalovaných výkonov distribuovaných zdrojov a systémy ochrán. Ljapunove metódy našli využitie vo vyšetřovaní stability veľkých elektrizačných sústav. Tu sa však ich prehľadnosť a intuitívnosť môže strácať. Naproti tomu mikrogridy obsahujú obvykle len niekoľko zdrojov a záťaží.

Signifikantným znakom mikrogridov je výrazné využívanie meničov. Meniče sú nelineárne prvky v mikrogride, pretože diferenciálne dynamické rovnice, ktorými je ich správanie reprezentované, sú nelineárne. Mikrogridy sú viac náchylné na dynamické deje než konvenčná elektrizačná sústava. Ljapunove metódy sú preto vhodné, v rámci simulačnej analýzy, na študovanie stability mikrogridov. Rovnako sú efektívne aj pri návrhu konceptu mikrogridu, jeho riadenia a dimenzovania. Umožňujú tiež skúmať efekt jednotlivých prvkov na udržanie celkovej stability systému. Jedným z príkladov môže byť dimenzovanie veľkosti batériového systému v prípade krátkych, ale veľkých výpadkov výroby elektriny z vetra alebo fotovoltiky na úrovni 90 %, pričom ale musí byť dodržaná podmienka udržania prechodného zaťaženia 50 %.

Simulácia činnosti napäťovej ochrany mikrogridu na báze rozhodovacích stromov

Metóda je založená na analýze napäťových poklesov, ktorá presne deteguje poruchy a ich druhy v mikrogride. Táto metóda navyše rozlišuje aj tie neporuchové stavy, ktoré ovplyvňujú priebeh napäťovej krivky a spôsobujú poklesy napätia. V rámci symetrických poklesov sú extrahované významné charakteristiky napätí pomocou rýchlej Fourierovej transformácie. V prípade nesymetrických poklesov je skonštruovaných 6 nových charakteristík lineárnou kombináciou energie a entropie trojfázových napätí. Poruchové udalosti sú potom klasifikované rozhodovacími stromami za účelom odlíšenia od normálnych prevádzkových pochodov. Literatúra odporúča aplikáciu troch algoritmov na báze rozhodovacích stromov:

- C4.5,
- Random forest (Náhodné lesy),
- Logistic model tree (kombinácia logistickej regresie a rozhodovacích stromov).

1.8.1.6 Možnosti vizualizácie výsledkov simulácie siete

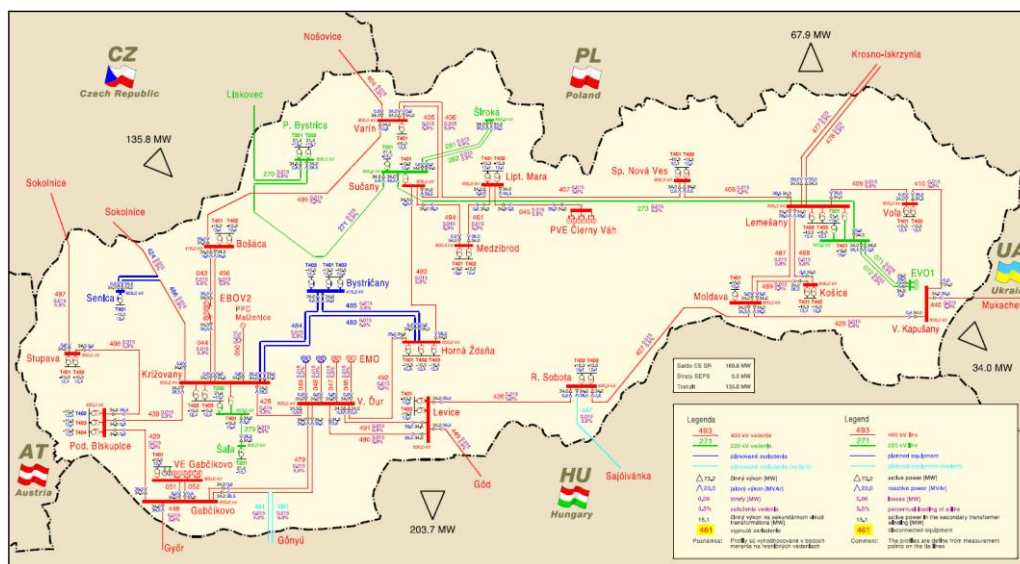
Možnosti vizualizácie výsledkov simulácií sú rôznorodé, ako bolo vidieť v predošlých kapitolách o existujúcich softvérových riešeniach. Okrem týchto proprietárnych možností sa ponúka možnosť využitia univerzálnych systémov slúžiacich ako vektorové editory. Príkladom je Bentley Microstation, ktorý v Slovenskej elektrizačnej prenosovej sústave využívajú na vizualizáciu sieťových výpočtov z programov GLF, LUG a PSLF. Na riešenie používajú napr. xlsx výstupy z LUG, ktoré po príslušnej transformácii dajú importovať makro napísané priamo v systéme Microstation. Riešenie je realizované cez pomenované štítky, ktoré pomocou prekladových slovníkov (názvy v LUG a v schéme) makro naplnia a zobrazujú správny tok a smer činnnej a jalovej energie na vedeniach, napätia a prúdy v uzloch, stavy zariadení (vypnuté, zapnuté, ...) a podobne. Tento spôsob otvára obrovské množstvo možností vizualizácie výsledkov vrátane manažérskeho pohľadu, ktorý nevyžaduje hlboké znalosti o problematike.

Uvedeným spôsobom je možné zobraziť výsledky na ľubovoľnom podklade, ktorý si používateľ zvolí. Či už ide o zobrazenie v schéme energetickej siete, alebo na prehľadnej mapke. Prípadne na ortofotomape, či na akomkoľvek potrebnom podkladovom obrázku.

Okrem vizualizácie výsledkov v grafickej podobe je výhodné použiť podobné transformačné matice aj pri zobrazovaní výsledkov v negrafickej podobe. V prípade Slovenskej elektrizačnej prenosovej sústavy ide o výstupy v .xlsx formáte v tabuľkovej podobe spolu s potrebnými grafmi, formátovaním a zhrnutím výsledkov.

Oba typy vizualizácie výsledkov sú zvlášť vhodné na komunikáciu s inými odborníkmi, na manažérske zhrnutia a podobne – tieto pohľady vysoko špecializované systémy nemávajú.

Zároveň takto postavené riešenie je nezávislé od použitého softvérového prostriedku na výpočty a pri správnych konverzných maticiach je ho možné použiť ako vizualizáciu výsledkov z ktoréhokoľvek špecializovaného softvérového nástroja. Ukážka prvého zo spomínaných typov vizualizácie je na nižšie uvedenom obrázku.



Obrázok 20 - Ukážka vizualizácie výsledkov simulácie

1.8.2 Návrh využitia problematiky v rámci riešenia

Simulácie technického rázu ako je výpočet ustáleného toku a podobne nebudú v tomto projekte riešené. Ako bolo spomínané už v predošlých kapitolách, jedná sa o oblasť, ktorú ovládajú len odborníci a existuje už veľké množstvo špecializovaných systémov.

Simulácie, ktoré budú využívané v rámci navrhovaného riešenia, sú založené na myšlienke vytvorenia aplikácie, ktorá navrhne optimálny bilančný model mikrogridu pre ľubovoľné miesto a na základe iba niekoľkých vstupných premenných. Najväčšou výzvou bude odhadnúť energetické správanie sa používateľa, napríklad odberový diagram prevádzkovateľa priemyselného parku alebo odberový diagram nemocnice. Tento obvykle nie je k dispozícii, alebo môže byť časovo náročné zaobstaráť ho. Po odhade odberového profilu (pokiaľ nebudú dáta priamo z meradla, tak odhad vždy bude zaťažený odchýlkou od reality) bude potrebná optimalizácia, ktorá určí veľkosť inštalovaného výkonu fotovoltiky, batérie a kogeneračnej jednotky, prípadne v budúcnosti aj MVE a VtE.

Simulácie, ktoré budú v tomto smere riešené, môžeme zhrnúť na:

- predikcie a simulácie spotreby elektriny,
- predikcie výroby podľa jednotlivých zdrojov,
- predikcie bilančnej skupiny,
- simulácie návratnosti investície do mikrogridu (optimalizačná úloha pre výber zdrojov / dimenzovanie).

Riešenie by malo zároveň poskytovať nasledovné funkčnosti:

- agregácie a bilancovanie v rámci mikrogridu,
- vyhodnotenie spotreby odberných miest s využitím net meteringu.

1.8.2.1 Predikcia spotreby energie

Predikciou spotreby sa zaoberá veľké množstvo prác, ktoré k problematike pristupujú rôznymi spôsobmi. Príčinou záujmu je dôležitosť tohto plánovania v elektroenergetickom priemysle. Súvisí to nielen s aspektom riadenia sústavy (významné skôr v prenosovej a distribučnej sústave), ale aj s finančným aspektom – či už ide o komunikáciu s dodávateľom elektriny, alebo riešením zodpovednosti za odchýlku. Táto druhá oblasť je zaujímavá aj pre mikrogridy a prosumerov v rámci mikrogridu.

Predikcie v energetike je možné rozdeliť do troch skupín:

- Krátkodobé (jeden deň - 96 meraní, týždeň). Majú silnú časovú závislosť a sezónnosť (sviatky, víkend...). Príkladom je podrobná predikcia mikrogridu počítaná zospodu na základe informácií o odberných miestach. Dôležité sú napr. pri vyrovnávaní odchýlky na krátkodobom trhu, príprave podkladov na riadenie spotreby a výroby a podobne.
- Strednodobé (mesiac, štvrťrok). Príkladom je úprava plánu spotreby podniku na základe plánovanej výroby a na základe predpovede počasia, tzn. upresnenie ročného plánu. Slúži ako podklad na doobstaranie alebo odpredaj elektriny na veľkoobchodnom trhu.
- Dlhodobé (rok a viac). Príkladom je predikcia spotreby domácnosti za rok. Slúži ako podklad na uzatvorenie dlhodobých kontraktov na veľkoobchodnom trhu s elektrinou.

Pri riešení predikcie z hľadiska metód je možné nájsť viacero smerov, tzn. spôsobov predikcie je veľké množstvo a z tých najzaujímavejších je možné vybrať:

- Regresné metódy (ARMA, ARIMA, Holt-Winters, GAM-generalized adaptive model)
- SSA (Singular spectrum analysis)
- Metóda oporných bodov (Support Vector Regression)
- Rozhodovacie stromy
- Expertné systémy
- Fuzzy logika
- Empirické modelovanie
- Neurónové siete
- Výpočet pomocou permanentného a temporálneho salda a metódy top-down

Neoddeliteľnou súčasťou týchto metód je predprocesing dát, napr. analýzou zhlukov (K-means, K-medoids) možno dosiahnuť vytvorenie predikovateľnejších skupín OM a až následne trénovať predikčné modely.

Predstaviteľom štatistických metód je ARIMA (skratka z anglického AutoRegressive Integrated Moving Average). Využíva sa hlavne pri predikcii finančných časových radov, ale je ju možné uplatniť aj v energetickom priemysle. Veľmi veľkú budúcnosť však majú pri generovaní predikcie neurónové siete. V súčasnosti sa rozvíja architektúra WaveNet. Jednalo sa o hlboké učenie založené na špeciálnom type konvolučných sietí, kde boli vstupom na tréning dáta o spotrebe a dáta o teplote. Výsledky ukazujú, že použitie neurónových sietí a hlbokého učenia v tejto oblasti predstavuje jeden zo správnych smerov vývoja predikčných metód.

1.8.2.2 Predikcia výroby energie

1.8.2.2.1 Predikcia FVE

Metodík predikcie FVE je viacero a väčšina vychádza z dostupných údajov, ktoré k FVE existujú:

- statické informácie, tzn.:
 - technické informácie o paneloch (počet, typ, nominálny výkon),
 - geografické umiestnenie,
 - typ montáže (tracker, pevná montáž),
 - montážna poloha panelov pri pevnej montáži (azimut, elevácia),
 - umiestnenie okolitých stavieb,
- pohybové informácie, tzn.
 - meranie FVE (aktuálny výkon, teplota článkov, vek článkov...),
 - predpoveď počasia (intenzita slnečného žiarenia, teplota, rýchlosť vetra cez ALADIN, GFS, ECMW, PVGIS),
 - historické merania výroby,
 - informácie z IoT senzorov. Príkladom IoT senzorov môžu byť napr. senzory dopadajúceho žiarenia alebo senzory lokálnej oblačnosti, ktoré vedú s vysokou mierou pravdepodobnosti určiť budúce zatienenie panelov v krátkodobom horizonte.

Výstupom predikcie je hodinový diagram výroby FVE.

1.8.2.2.2 Predikcia VtE

Predikcie VtE vychádzajú z dostupných údajov, ktoré k VtE existujú:

- statické informácie, tzn.
 - technické informácie o veterných turbínach (počet, typ, nominálny výkon),
 - geografické umiestnenie,
 - montážna poloha (napr. výška veže veternej turbíny),
 - umiestnenie okolitých kopcov, stavieb atď.,
- pohybové informácie, tzn.
 - meranie VtE (napr. aktuálny výkon),
 - predpoveď počasia (riešenie smerovej a rýchlostnej stability prúdenia vetra, napr. cez ALADIN (prepočet z výšky 10 m na výšku 60 m), WPMS (Wind power management system), ...),
 - historické merania výroby,
 - predpoveď námrazy.

Výstupom predikcie je hodinový diagram výroby VtE.

1.8.2.3 Optimalizácia spotreby v domácnosti

Optimalizačná úloha, ktorá je založená na úprave spotreby v domácnostiach podľa časového plánu tak, aby minimalizovala cenu za spotrebovanú elektrinu.

Vstupom bude:

- počet a typy významných spotrebičov (el. rúra, sušička, práčka, boiler, klimatizácia, domáce kino, kotol na kúrenie),
- počet členov domácnosti a ich návyky (čas odchodu a príchodu z práce alebo školy a pod.),
- základná spotreba (napr. odmeraná cez IMS) domácnosti bez zapnutých významných spotrebičov,
- dohodnuté sadzby s dodávateľom elektriny - v prípade dynamických sadzieb bude potrebné online riešenie prepojenia dodávateľa elektriny a spotrebiteľa.

Pri optimalizácii je potrebné brať do úvahy aj deň, pre ktorý je optimalizácia vyhotovená a to:

- pracovný deň / víkend,
- sviatok,
- deň pred a po sviatku a dni pracovného pokoja.

Okrem toho výrazný vplyv na spotrebu domácnosti predstavujú aj:

- aktuálne ročné obdobie,
- vplyv pandémie / núdzového stavu,
- prírodné katastrofy a pod.

Pri optimalizovaní resp. riadení spotreby domácnosti je potrebné brať do úvahy aj fakt, že samotná spotreba je rozdelená na dve zložky a to na základné zaťaženie a variabilnú spotrebu. Vo väčšine prípadov nie je možné ovplyvniť veľkosť základnej spotreby. Čo sa týka riadenia variabilnej spotreby, je potrebné si uvedomiť, že jej riadenie je pomerne zložité a závisí od ochoty samotných spotrebiteľov meniť svoje zaužívané návyky. Pri jej riadení resp. optimalizovaní už dnes napomáhajú tzv. inteligentné spotrebiče – napr. odložený štart práčky, sušičky a pod. Avšak tieto funkcie sú statické, t.j. je potrebné definovať presný čas spustenia daných spotrebičov. V budúcnosti by tento problém mohli odstrániť zariadenia smart home napojené na dispečing distribučnej sústavy, resp. iný centrálny dispečing, ktorý by tieto spotrebiče po vzájomnej dohode s koncovým odberateľom mohol diaľkovo ovládať, resp. spúšťať.

Výstupom optimalizácie spotreby by teda bol časový plán, ktorý by predstavoval najvhodnejší interval spúšťania významných spotrebičov či iných zariadení, ako napr. nabíjanie elektromobilu či inej domácej batérie.

Táto optimalizačná úloha nebude zaradená priamo do navrhovaného riešenia, keďže závisí od významnej súčinnosti koncového spotrebiteľa v domácnosti a vyžaduje od neho pomerne širokú škálu interných informácií o skladbe a chode jeho domácnosti. V budúcnosti je však možné zvážiť jej zaradenie do navrhovaného riešenia vzhľadom na prejavovaný záujem koncových odberateľov v domácnosti aktívne sa zapojiť do takéhoto druhu spolupráce pri optimalizácii spotreby.

1.8.2.4 Simulácia návratnosti investície do mikrogridu

Pri riešení problematiky finančnej návratnosti investície je potrebné brať do úvahy viaceré premenné. Pri budovaní mikrogridu od základov sú počiatočné investície podstatne vyššie, ako pri optimalizácii už vybudovanej siete.

Hlavné výdavky pri budovaní mikrogridu predstavuje technické vybavenie a to najmä transformátory, zdroje a úložiská energie a v neposlednom rade samotné elektrické vedenia alebo doplniteľné prvky, ako sú výkonové vypínače, odpájače, kompenzačné zariadenia, inteligentné meracie systémy a pod. Okrem technického vybavenia je potrebné investovať aj do softvérového vybavenia zabezpečujúceho riadenie a optimalizáciu prevádzkových stavov mikrogridu alebo výdavky spojené s prístupom na trh s energiami.

Pri počítaní návratnosti mikrogridu je takisto potrebné uvažovať s jeho životnosťou, ktorú uvádza väčšinou výrobca zariadení, resp. môže garantovať jeho prevádzkyschopnosť na určité obdobie. Nakoľko samotné ekonomické ukazovatele sa počas životnosti mikrogridu menia, sú tieto parametre upravované za pomoci tzv. koeficientov rastu:

- trend rastu zaťaženia,
- trend rastu odoberanej ceny elektriny,
- trend rastu zazmluvnenej ceny elektriny,
- trend rastu prevádzkových nákladov.

Investičné náklady je možné rozdeliť do 5 odpisových skupín podľa toho, ako dlho možno tieto investície odpisovať. Jednotlivé skupiny a percento odpisu pre jednotlivé roky sú uvedené v tabuľke.

Odpisová skupina	1	2	3	4	5
Doba odpisovania	4 roky	6 rokov	12 rokov	20 rokov	30 rokov
1	25	16,67	8,33	5	3,33
2	37,5	27,78	15,28	9,5	6,44
3	25	22,22	13,89	9	6,22
4	12,5	16,67	12,5	8,5	6
5		11,11	11,11	8	5,78
6		5,56	9,72	7,5	5,56
7			8,33	7	5,33
8			6,94	6,5	5,11
9			5,56	6	4,89
10			4,17	5,5	4,67
11			2,78	5	4,44
12			1,39	4,5	4,22
13				4	4
14				3,5	3,78
15				3	3,56
16				2,5	3,33
17				2	3,11
18				1,5	2,89
19				1	2,67
20				0,5	2,44
21					2,22
22					2
23					1,78
24					1,56
25					1,33
26					1,11
27					0,89
28					0,67

Odpisová skupina	1	2	3	4	5
29					0,44
30					0,22

Orientačné ceny pre vybudovanie transformátorovej stanice 110/22 kV a ceny za 1 km 22 kV káblového vedenia sú uvedené v tabuľke

Vedenie 22 kV káblové (ceny za 1 km trojžilového vedenia)	Odpisová skupina	Investičné náklady [tis. €]
Al kábel 22 kV, prierez 240mm ²	4	40
Al kábel 22 kV, prierez 185mm ²	4	38
Al kábel 22 kV, prierez 150mm ²	4	35,2
Al kábel 22 kV, prierez 120mm ²	4	32
Al kábel 22 kV, prierez 95mm ²	4	28,8
Al kábel 22 kV, prierez 70mm ²	4	26,4
Al kábel 22 kV, prierez 50mm ²	4	24,8
Al kábel 22 kV, prierez 35mm ²	4	22,8
Cu kábel 22 kV, prierez 240mm ²	4	44
Cu kábel 22 kV, prierez 185mm ²	4	40,8
Cu kábel 22 kV, prierez 150mm ²	4	38
Cu kábel 22 kV, prierez 120mm ²	4	34
Cu kábel 22 kV, prierez 95mm ²	4	30
Cu kábel 22 kV, prierez 70mm ²	4	28
Cu kábel 22 kV, prierez 50mm ²	4	27,2
Cu kábel 22 kV, prierez 35mm ²	4	26

Položka	Odpisová skupina	Investičné náklady [tis. €]
1. Stanovište transformátora 2x	5	120
2. Budova	5	200
3. Stanovište zhášacej tlmivky 2x	5	20
4. TR 110/22 kV, 40 MVA (2x - jeden záložný)	3	600
5. Pole prívodné 2x	3	260
6. Pole prívod k transformátoru 2x	3	220
7. Pole spojky 1x	3	16
8. Ochrana a meranie vvn	1	120
9. Ochrana a meranie vn, riadiaci systém	1	200
10. Ostatné (ovl. skriňa TR, kabeláž, lano Alfe, prípojnice)	3	160
11. Skriňový rozvadzač vn 4x	3	80
12. Zhášacia tlmivka 2x	3	26
13. Zariadenie pre vlastnú spotrebu	3	160

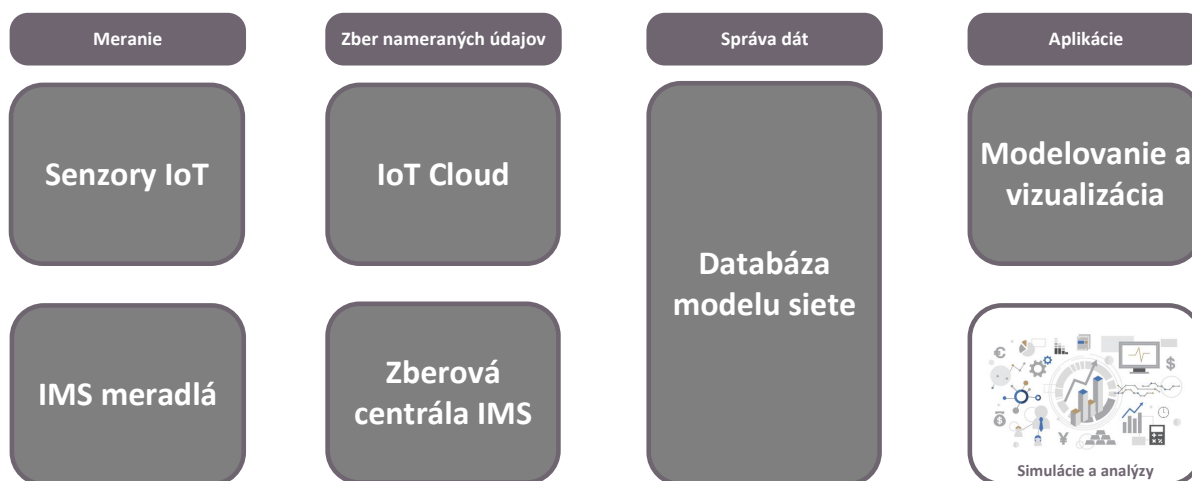
1.8.3 Funkčné a nefunkčné požiadavky vo vzťahu k riešeniu

Navrhované riešenie pre modelovanie a simuláciu siete by malo spĺňať nasledovné požiadavky:

- predikcia a simulácia spotreby elektriny - FP,
- predikcia výroby podľa jednotlivých zdrojov - FP,
- predikcia bilančnej skupiny - FP,
- simulácia návratnosti investície do mikrogridu - FP,
- dimenzovanie mikrogridu - FP,
- agregácie a bilancovanie v rámci mikrogridu - FP,
- vyhodnotenie spotreby odberných miest s využitím net meteringu - FP.

1.8.4 Logická subarchitektúra vo vzťahu k riešeniu

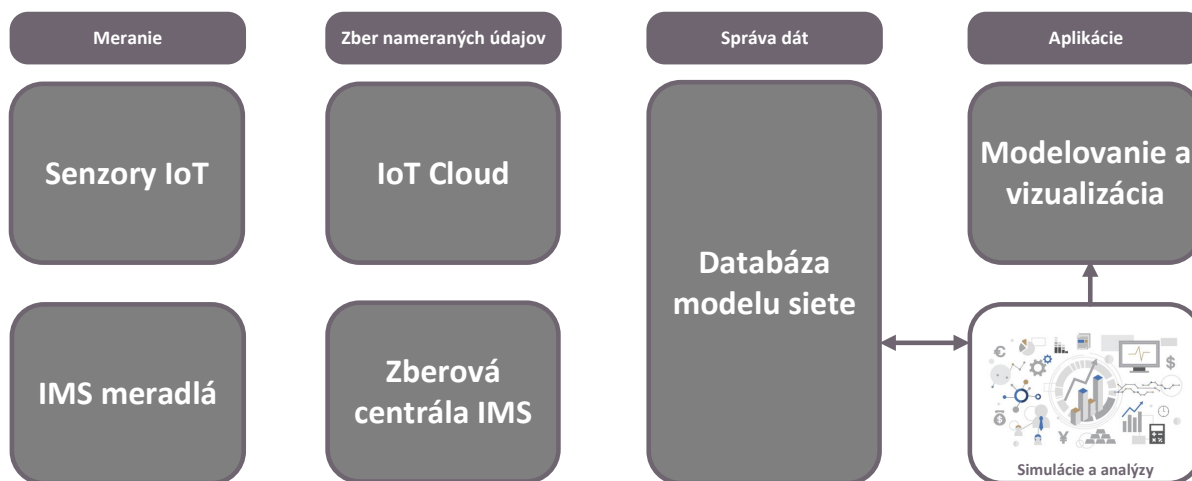
V rámci logickej architektúry riešenia bude oblasť simulácií a analýz zaradená medzi aplikačné nadstavby riešenia. Pri simuláciách a analýzach budú využívané prvky a ich prepojenia spravované v Databáze modelu siete. Výsledky simulácií a analýz budú uchovávané v Databáze modelu siete.



Obrázok 21 - Simulácie siete v logickej architektúre riešenia

1.8.5 Integrácia v rámci riešenia

Integrácia simulácií a analýz do riešenia bude realizovaná najmä prepojením na databázu modelu siete. Integrácia bude obojsmerná, keďže v databáze modelu siete budú uchovávané aj výsledky simulácií a analýz. Prepojenie sa uvažuje aj s oblasťou modelovania a vizualizácií pre operatívnu vizualizáciu výsledkov.



Obrázok 22 - Integrácia simulácií siete v rámci riešenia

1.9 Súlad s predpismi

1.9.1 Európsky legislatívny rámec

Legislatívne požiadavky na samotné inteligentné siete a ich časti vychádzajú zo Smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2009/72 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou, z ktorej vyberáme:

- 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**.
- Malo by byť možné, aby sa zavedenie **inteligentných meracích systémov** zakladalo na ekonomickom hodnotení. Ak by sa v tomto hodnotení dospelo k záveru, že zavedenie takýchto meracích systémov je ekonomicky prijateľné a nákladovo efektívne iba pre spotrebiteľov s určitou spotrebou elektriny, členské štáty to môžu pri zavádzaní inteligentných meracích systémov zohľadniť.
- V záujme podpory energetickej účinnosti členské štáty alebo regulačný orgán, ak tak členský štát určí, dôrazne odporúča, aby elektroenergetické podniky optimalizovali využívanie elektriny napríklad poskytovaním služieb energetického hospodárenia, vyvíjaním pokrokových cenových vzorcov alebo podľa potreby zavádzaním inteligentných meracích systémov či inteligentných sústav.

Legislatívne požiadavky jednotlivých členských štátov sa v súčasnosti zameriavajú na stanovenie minimálnych požiadaviek pre inteligentné meracie systémy a pokročilú meraciu infraštruktúru.

Míľnik poukazuje na vysokú aktuálnosť riešenia problematiky optimalizácie prevádzky obnoviteľných zdrojov energie v elektrizačnej sústave a na riešenie problematiky implementácie technológií inteligentných sietí a stanovenie ich vplyvu na bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy.

Existujúce riešenia v oblasti energetiky sú v procese transformácie na nové riešenia tzv. inteligentných sietí či inteligentných meraní, čo si vyžaduje úpravu a prípravu novej legislatívy, nakoľko doterajšia je značne obmedzujúca.

Distribučná sieť bude musieť v nasledujúcich rokoch prechádzať významnými štrukturálnymi a administratívnymi zmenami a bude potrebné upraviť legislatívne prostredie tak, aby podporovalo rozvoj inteligentných sietí konceptu mikrogrid.

Súčasný stav slovenskej energetiky podlieha výrazným zmenám vzhľadom na zavedenie tzv. Zimného energetického balíčka. Transpozícia zimného balíka od 1.1.2021 poskytne otvorenejší prístup pre nové zdroje OZE, prevádzkovanie batérií, energetické komunity, zavedenie tzv. aktívneho odberateľa a pod.

Zimný energetický balíček má mimoriadne široký záber. Ide o súbor ôsmich nariadení a smerníc Európskej únie:

❖ **Smernica o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov**

Jednou z najdiskutovanejších častí Zimného energetického balíčka je Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov. Jej znenie nahrádza pôvodnú smernicu (2009/28/ES), z ktorej vychádza aj súčasný Zákon o podpore OZE. Slovenskú právnu úpravu tak budú v najbližších rokoch čakať zásadné zmeny.

Cieľom smernice je zvýšiť **podiel spotreby energie z obnoviteľných zdrojov v EÚ** na hrubej konečnej energetickej spotrebe tak, aby v roku **2030 predstavoval 32 %**. Na dosiahnutie tohto cieľa budú jednotlivé štáty povinné stanoviť si v integrovaných národných energetických a klimatických plánoch výšku svojho národného príspevku.

Členské štáty by mali rešpektovať základný rámec určený smernicou pre uplatnenie vlastných systémov podpory. Od systému podpory sa očakáva **zvýšenie integrácie elektriny z OZE do klasického trhu s elektrinou**. Ďalej umožnenie flexibilnej reakcie na ceny trhu a tým zvyšovať príjmy z trhu. Zlepšenie podmienok obchodovania umožnením zníženia miery regulácie.

Pokiaľ ide o systémy priamej podpory cien, smernica počíta s podporou formou trhovej prémie, ktorá by mohla byť pohyblivá alebo pevná. Konkrétne nastavenie podpory a jej poskytovanie sa musí uskutočňovať otvoreným, transparentným, konkurenčným, nediskriminačným a nákladovo efektívnym spôsobom.

Novinkou, ktorá by mala podstatne uľahčiť rozvoj OZE, je povinné zriadenie kontaktných miest, čím sa zabezpečí podpora počas celého administratívneho procesu udeľovania povolení pre projekty v oblasti obnoviteľnej energie. Smernica tiež zaväzuje členské štáty, aby uľahčili modernizáciu už existujúcich výrobných zariadení.

Významná novinka v oblasti slovenskej energetiky je zavedenie nového subjektu na trhu: tzv. **samospotrebiteľa (prosumer)**. Samospotrebiteľ je koncový odberateľ, ktorý vyrába elektrinu z OZE pre vlastnú spotrebu. Túto elektrinu môže tiež skladovať alebo predávať.

Slovensko je povinné upraviť svoju legislatívu tak, aby umožnila reálny rozvoj samospotreby energie pričom:

- Zakázané sú akékoľvek nedôvodné diskriminačné alebo neprimerané postupy a sieťové poplatky.
- Samospotrebiteľia budú mať nárok nainštalovať a prevádzkovať systémy skladovania elektriny v kombinácii so zariadeniami vyrábajúcimi elektrinu z OZE na samospotrebu bez toho, aby podliehali dvojitému poplatkom vrátane sieťových poplatkov za skladovanie elektriny, ktorá zostáva v ich priestoroch.
- Napriek tomu, že samospotrebiteľ bude vyrábať elektrinu, zachová si svoje práva a povinnosti koncového odberateľa.
- Za vyrobenú elektrinu dodanú do siete sa predpokladá nároková odmena (resp. prostredníctvom systémov podpory).
- Samospotrebiteľom bude umožnený jednoduchý postup pripojenia ich výrobných jednotiek do distribučnej sústavy.

Členské štáty sú podľa smernice tiež povinné zabezpečiť, aby koncoví odberatelia (najmä domácnosti) mali nárok byť súčasťou tzv. „**komunity vyrábajúcej energiu z obnoviteľných zdrojov**“. Komunita bude môcť vyrábať, spotrebovať, skladovať a predávať energiu z OZE a zároveň jej bude

umožnený nediskriminačný prístup na všetky vhodné trhy s energiou, a to priamo alebo prostredníctvom agregácie.

Slovenská republika je povinná transponovať Smernicu do nášho právneho poriadku do 1.7.2021.

❖ **Smernica o energetickej efektívnosti**

Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2002 z 11. decembra 2018, ktorou sa mení smernica 2012/27/EÚ o energetickej efektívnosti, prináša najmä doplnenie nových cieľov (dosiahnuť úroveň **energetickej efektívnosti aspoň v rozsahu 32,5 % do roku 2030**) a zavádza opatrenia na ich dosiahnutie.

Smernica okrem iného taktiež vymedzuje podmienky pre meranie plynu, elektriny, vykurovania, chladenia a teplej úžitkovej vody u koncových odberateľov, a to vrátane pomerového merania a rozdeľovania nákladov v bytových domoch a viacúčelových budovách. Novinkou je formulovanie požiadaviek na prístroje s možnosťou diaľkového odčítavania hodnôt.

❖ **Smernica o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou**

Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/944 z 5. júna 2019 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a o zmene smernice 2012/27/EÚ bola prijatá za účelom prispôsobiť súčasné trhové pravidla EÚ novým okolnostiam a potrebám na trhu.

Smernica zavádza nové typy zmlúv, napríklad **Zmluva o agregácii**. Podľa smernice je agregáciou zlučovanie viacerých odberných miest alebo vyrobenej elektriny na účely predaja, nákupu alebo aukcie na akomkoľvek trhu s elektrinou.

V Smernici o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou stanovuje tzv. **aktívneho odberateľa** – skladujúceho a predávajúceho elektrinu. Taktiež určuje nový subjekt **občianske energetické spoločenstvo** so svojimi environmentálnymi, hospodárskymi alebo sociálnymi prínosmi. Ide o možnosť zapojenia sa spoločenstva do služieb energetickej efektívnosti.

❖ **Nariadenie EU o vnútornom trhu s elektrinou**

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/943 z 5. júna 2019 o vnútornom trhu s elektrinou okrem toho, že stanovuje pravidlá na zabezpečenie fungovania vnútorného trhu s elektrinou, vo veľkej miere určuje požiadavky týkajúce sa rozvoja OZE a environmentálnej politiky.

Nariadenie sa tiež podrobne venuje podmienkam prístupu do sústavy, riadeniu preťaženia, či prideľovaniu kapacity. K zmene dochádza v rámci existujúcich zásad platných pre prenosové a distribučné sieťové tarify. Nariadením sa menia aj pravidlá využívania poplatkov za preťaženie. Nariadenie stanovuje nové všeobecné zásady koordinovaného riešenia problémov s primeranosťou zdrojov, a všeobecné zásady pre uplatňovanie a koncipovanie kapacitných mechanizmov.

❖ **Nariadenie o pripravenosti na riziká**

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/941 z 5. júna 2019 o pripravenosti na riziká v sektore elektrickej energie a o zrušení smernice 2005/89/ES stanovuje pravidlá spolupráce medzi členskými štátmi v záujme prevencie kríz dodávok elektriny, prípravy na ne a ich riadenia.

❖ **Nariadenie, ktorým sa zriaďuje Agentúra ACER**

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/942 z 5. júna 2019 je aktualizáciou pôvodného nariadenia z roku 2009, na základe ktorého agentúra ACER vznikla. Aktualizované nariadenie prehľbuje a rozširuje kompetencie agentúry.

❖ **Smernica o energetickej hospodárnosti budov**

Smernica má za cieľ najmä znížiť množstvo energie potrebnej na uspokojenie dopytu po energii súvisiacej s bežným používaním budov. Z dlhodobého hľadiska chce zabezpečiť transformáciu existujúcich budov na budovy s takmer nulovou spotrebou energie.

Smernica sa dotýka aj elektromobility. Pri nových nebytových budovách a nebytových budovách prechádzajúcich významnou obnovou, ktoré majú viac ako desať parkovacích miest, má členský štát povinnosť zabezpečiť inštaláciu aspoň jednej nabíjacej stanice. Zároveň má povinnosť stanoviť požiadavky na inštaláciu minimálneho počtu nabíjacích staníc pre nebytové budovy s viac ako 20-timi parkovacími miestami do 1.1.2025.

❖ **Smernica o riadení EU v oblasti klímy**

Toto nariadenie upravuje komplexný mechanizmus riadenia energetickej únie a zároveň definuje tzv. „päť rozmerov energetickej únie“, ktorým majú členské štáty prispôbovať svoje aktivity. Týmto rozmermi sú: **energetická bezpečnosť, vnútorný trh s energiou, energetická efektívnosť, dekarbonizácia a výskum, inovácie a konkurencieschopnosť**. Za jeden z kľúčových komponentov mechanizmu riadenia energetickej únie možno označiť národný energetický a klimatický plán (ďalej len „Národný plán“). Nariadenie detailne určuje jeho štruktúru a obsah.

Zimný energetický balíček predstavuje komplexnú reformu energetickej politiky Európskej únie. Má za cieľ udržať konkurencieschopnosť EÚ na energetickom trhu a uľahčiť prechod od fosílnych palív k čistejšej a udržateľnej energii. Implementácia tzv. **Zimného energetického balíčka EK** u nás by mala odstrániť aj väčšinu súčasných najvážnejších problémov v energetike.

Úlohy výskumu a vývoja, ktoré sú zakotvené v **projekte Centra excelentnosti 2**, reflektujú priority v energetike a predpokladaný stav legislatívy po transpozícii tzv. „**Zimného energetického balíčka EÚ**“ do národnej legislatívy.

Projekt Centra excelentnosti 2, ktorý rieši **mikrogridy**, bude mať možnosť širšej aplikácie v komunitách vyrábajúcich energiu z OZE so svojimi ekonomickými a environmentálnymi dopadmi.

Súčasťou projektu je využitie inteligentných meracích systémov na zabezpečenie údajov pre účely sledovania výroby a spotreby s príslušnými parametrami, a to v súlade so Smernicou o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a taktiež v nadväznosti na nové požiadavky pre pravidlá na spracovanie a výmenu získaných údajov, ktoré sú taktiež súčasťou uvedenej Smernice.

1.9.2 Slovenský legislatívny rámec a pilotné projekty

Tak ako bolo uvedené v kapitole 1.3.2 tohoto dokumentu, existuje niekoľko typov inteligentných sietí, z ktorých siete typu Microgrid zákazníka sú už pomerne často uvádzané do praxe. Jedná sa o mikrogridy, v ktorých si zákazník sám riadi sieť za bodom pripojenia – odberným miestom. Množstvo týchto aplikácií existuje vďaka tomu, že uvedený režim prevádzky siete je možný i z legislatívneho hľadiska, hlavne z hľadiska regulačnej politiky. Na strane siete zákazníka je značná voľnosť pre využitie rôznych moderných a inovatívnych technológií. Vo väčšine prípadov sa jedná o priemyselné objekty.

Ako príklad využitia inovatívnych technológií možno uviesť veľkokapacitnú batériu brAln v priemyselnom parku v Senci. Batéria má kapacitu 432 kilowatthodín a riadi ju umelá inteligencia. Hlavnou úlohou inteligentného batériového riešenia je nabíjať batériu v čase, keď je elektriny v sieti prebytok, a teda je lacná, a využívať ju v čase drahých špičiek, keď je jej nedostatok. Zároveň batéria pomáha eliminovať výkyvy v napätí a stabilizovať sieť.

Vďaka slovensko-českému energetickému projektu ACON, o ktorom je zmienka v kapitole 1.3.2, zvýšený zákaznícky komfort pocíti v horizonte nasledujúcich šiestich rokov vyše 190 000 zákazníkov Západoslovenskej energetiky, predovšetkým v okresoch Malacky, Senica, Myjava, Skalica, Trenčín a Nové Mesto nad Váhom. Využitie inteligentných prvkov umožní lepší monitoring a riadenie celej sústavy a prispeje k jednoduchšej identifikácii potenciálnych porúch v sieti.

Prudký nárast počtu OZE vytvára aj ďalšie výzvy, keďže nárast či pokles výroby z OZE nie vždy korešponduje s vývojom spotreby elektriny. To môže spôsobovať problémy pri riadení elektrizačných sústav najmä pre prevádzkovateľov prenosových a distribučných sústav. Spoločnosti E.ON Észak-dunántúli Áramhálózati Zrt., Západoslovenská distribučná a SEPS vytvorili projekt Danube InGrid. Investície do smart grid riešení presadzujú ako projekt spoločného záujmu v kategórii inteligentných sietí. Projekt Danube InGrid je výnimočný nielen v tom, že spája záujmy prenosovej sústavy a distribučných sústav a je skvelým príkladom efektívnej a produktívnej spolupráce participujúcich spoločností, ale aj preto, že prispeje k smartifikácii elektro-energetických sietí a ich prispôbeniu súčasným požiadavkám výrobcov a spotrebiteľov elektriny.

Súčasná energetika rieši veľa otázok. Tradičný reťazec, ktorým je výroba, prenos a spotreba elektriny, bol doteraz nemenným princípom ES. A práve tento princíp sa v súčasnej dobe začína meniť v dôsledku integrácie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie, nárastu elektromobility, využívania moderných technológií inteligentných sietí. Analýzou uvedených problémov sa zaoberá aj tento dokument. Veľa problémov v energetike u nás vyplýva aj z toho, že do legislatívy sa nedostalo to, čo dáva z technického a ekonomického hľadiska zmysel.

Rozširujúca sa komunikačná infraštruktúra nasadená v rámci inteligentných sietí môže potenciálne zvýšiť počet útokov na kybernetickú bezpečnosť dodávok elektriny, čo má za následok zvýšenú kybernetickú ochranu inteligentných sietí. Výber technológie kybernetickej ochrany závisí na príslušnej legislatíve.

Energetický legislatívny rámec v Slovenskej republike je založený na viacerých dokumentoch, ktoré môžeme rozdeliť do niekoľkých skupín. Do poslednej skupiny legislatívnych dokumentov zaraďujeme prevádzkové poriadky, technické podmienky prístupu a pripojenia do sústavy a siete, dispečerské poriadky a dokumenty, ktoré sa vypracovávajú a zverejňujú v zmysle platných zákonov. Implementácia tzv. **Zimného energetického balíčka EK**, ktorá by mala u nás odstrániť väčšinu súčasných najvážnejších problémov v energetike, sa významne dotkne aj tejto skupiny dokumentov. Vývoj programového nástroja pre modelovanie a simulácie moderných digitálnych mikrogridov môže prispieť k získaniu poznatkov, ktoré budú potrebné aj z pohľadu prevádzkovateľa distribučnej sústavy.

2 POŽIADAVKY NA RIEŠENIE

2.1 Funkčné požiadavky

Inteligentné siete a mikrogridy

- evidencia prvkov inteligentnej siete a ich parametrov - FP,
- integrácia na inteligentné meracie systémy - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu – FP.

Inteligentné meracie systémy

- evidencia meracích bodov – inteligentných elektromerov - FP,
- zapojenie dát do výpočtových algoritmov - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu – FP.

IoT

- evidencia meracích bodov – senzorov - FP,
- zapojenie dát do výpočtových algoritmov - FP,
- sprístupnenie dát používateľom sústavy a ďalším účastníkom trhu – FP.

Digitálne dvojča

- modelovanie objektov - FP,
- modelovanie vzťahov medzi objektmi - FP,
- zber dát - FP,
- priradenie dát k objektom - FP,
- simulácie nad dátami – FP.

Modelovanie siete

- modelovanie objektov - FP,
- modelovanie vzťahov medzi objektmi – FP.

Simulácia siete

- predikcia a simulácia spotreby elektriny - FP,
- predikcia výroby podľa jednotlivých zdrojov - FP,
- predikcia bilančnej skupiny - FP,
- simulácia návratnosti investície do mikrogridu - FP,
- dimenzovanie mikrogridu - FP,
- agregácie a bilancovanie v rámci mikrogridu - FP,
- vyhodnotenie spotreby odberných miest s využitím net meteringu - FP.

2.2 Nefunkčné požiadavky

Inteligentné siete a mikrogridy

- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť - NP.

Inteligentné meracie systémy

- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť - NP.

IoT

- ochrana osobných údajov (ak bude riešenie evidovať) - NP,
- kybernetická bezpečnosť – NP.

Modelovanie siete

- vizualizácia modelu siete - NP,
- intuitívne používateľské rozhranie - NP.

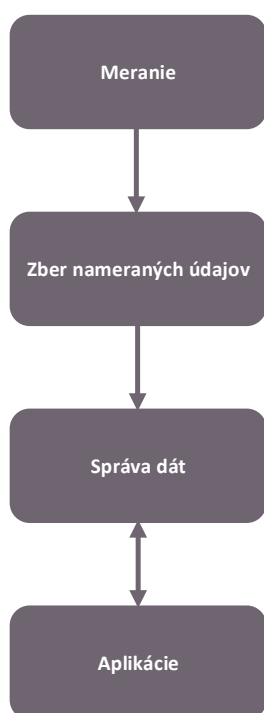
Všeobecné

- súlad s platnou legislatívou,
- konfigurovateľnosť a parametrizácia riešenia,
- vyhľadávanie a filtrovanie záznamov,
- archivácia údajov,
- možnosti tlače a optimalizácia pre tlač,
- prístup k údajom,
- jazyková lokalizácia, časové pásmo,
- jednotky a meny,
- grafické používateľské rozhranie,
- bezpečnosť systému ,
- komunikačné kanály,
- vhodná architektúra,
- integrácia riešenia na okolité systémy.

3 HRUBÝ NÁVRH RIEŠENIA

Navrhované riešenie pre modelovanie a simuláciu mikrogridu umožní prepojenie reálnej siete s jej digitálnym modelom (digitálne dvojča). Digitálny model bude pozostávať z prvkov mikrogridu, ich vlastností a prepojení (*Správa dát*). Prepojenie digitálneho modelu s reálnou sieťou zabezpečí meranie a zber príslušných veličín v sieti prostredníctvom inteligentných meracích systémov a senzorov IoT (*Meranie, Zber nameraných údajov*). Sensory IoT môžu zabezpečiť aj meranie ďalších veličín, ktoré majú vplyv na prevádzku mikrogridu (napr. meteorologické údaje). Navrhovaná architektúra riešenia umožní modelovanie mikrogridu, vizualizáciu jej aktuálneho stavu, simuláciu zmien alebo vykonávanie ďalších analýz (*Aplikácie*).

Základné oblasti navrhovaného riešenia teda musia pokrývať meranie, zber nameraných údajov, správu dát uložených v jednotnej databáze (prvky, vlastnosti prvkov, prepojenia prvkov, namerané údaje) a aplikácie využívajúce spoločnú databázu (modelovanie, vizualizácie, simulácie, analýzy).



Obrázok 23 - Základné oblasti riešenia

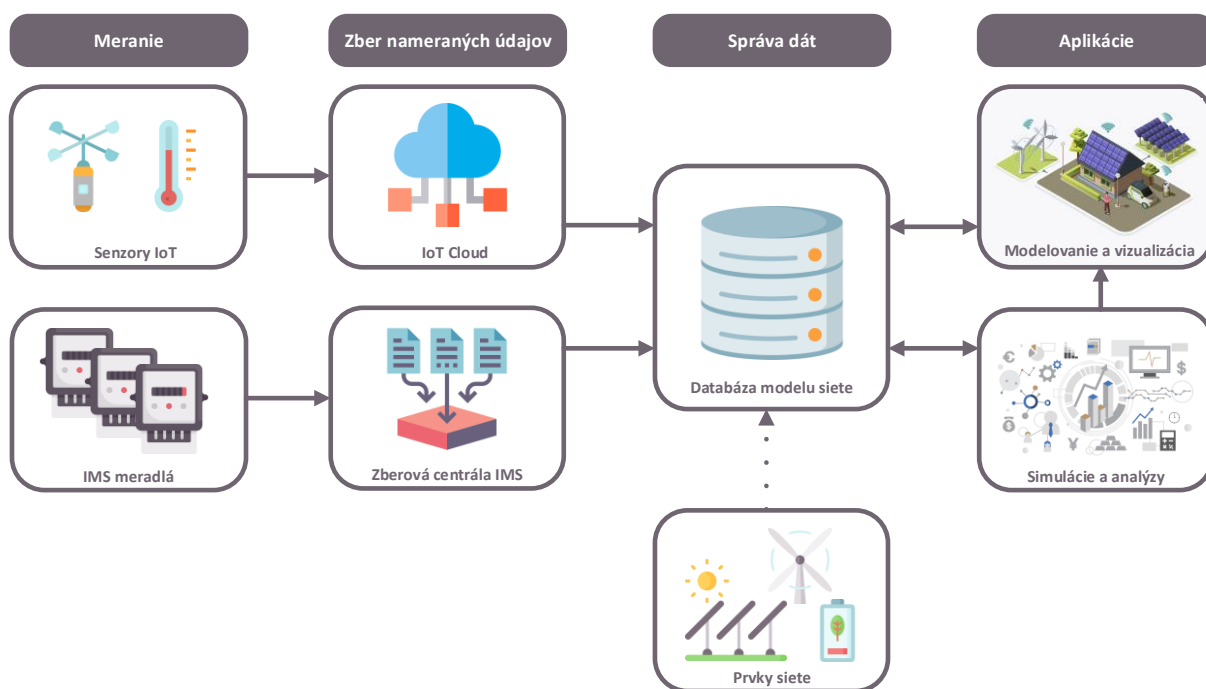
Jadrom navrhovaného riešenia bude *Databáza modelu siete* (Network Modeling Database), ktorá bude zabezpečovať oblasť správy dát. Databáza bude obsahovať informácie o všetkých relevantných prvkoch siete (výrobné zariadenia, zariadenia pre akumuláciu energií, odberné miesta, nabíjacie stanice pre elektromobily, elektromery, meracie body,...), informácie o ich technických parametroch (inštalovaný výkon, maximálna rezervovaná kapacita,...), informácie obchodného charakteru (dodávateľ elektriny, agregátor, bilančná skupina, subjekt zúčtovania, zmluvné parametre,...), informácie o prepojeniach medzi prvkami a o technických vlastnostiach prepojenia (napäťová úroveň,...), namerané údaje (z inteligentných meracích systémov, z IoT senzorov), výsledky analýz a simulácií. *Prvky siete* budú do databázy zadávané manuálne s možnosťou využitia vizuálnych nástrojov.

Aktuálne prevádzkové dáta budú získavané prostredníctvom *IMS meradiel* a *Senzorov IoT*. IMS meradlá budú zbierať informácie o elektrických údajoch siete (odber, dodávka,...). Sensory IoT môžu merať ďalšie veličiny dôležité pre sledovanie prevádzky a správania siete nad rámec oblasti merania IMS meradiel (hydrometeorologické údaje,...).

Zber prevádzkových dát bude zabezpečovať *Zberová centrála IMS a IoT Cloud*. Zberová centrála je prepojená s inteligentnými meradlami a získava z nich údaje štandardne v 15 minútovom rozlíšení.

Zberová centrála tiež zabezpečuje validáciu meraní, tvorbu náhradných hodnôt v prípade výpadkov merania alebo prenosu dát a sledovanie úspešnosti zberu dát, tiež vykonanie dozberu v prípade technických problémov v prenosových kanáloch. Namerané údaje z IoT senzorov sa štandardne odosielajú do cloudového priestoru príslušného prevádzkovateľa IoT služieb. Navrhované riešenie bude získavať IoT údaje z tohto cloudového priestoru.

Nadstavbou nad riešením sú samotné aplikácie zamerané na *Modelovanie a vizualizáciu siete* a *Simulácie a analýzy*. Ich úlohou je vizualizovať digitálny model siete do grafickej podoby a zobrazovať k nemu príslušné informácie o aktuálnom stave, výsledkoch simulácií alebo analýz. Grafická reprezentácia digitálneho modelu by mala tiež poskytnúť používateľské rozhranie pre vizuálne modelovanie siete na základe prvkov v databáze. Aplikácie zamerané na simulácie a analytiku by mali umožniť zakomponovať do riešenia výpočtové algoritmy, ktoré využívajú dáta z databázy modelu siete a prezentujú výsledky aj prostredníctvom vizualizácie digitálneho modelu siete.

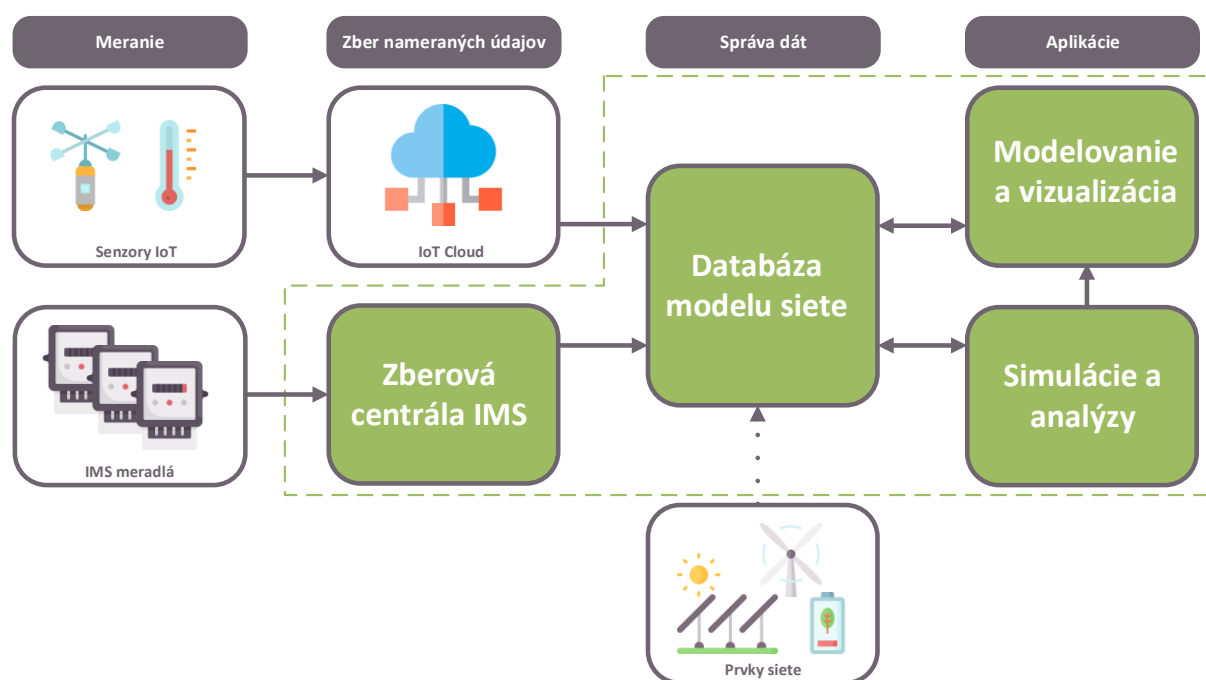


Obrázok 24 - Hrubý návrh riešenia

4 NÁVRH RIEŠENIA

Vývoj navrhovaného riešenia pre modelovanie a simuláciu mikrogridu bude pozostávať z nasledovných častí, ktoré budú navzájom integrované a prepojené na okolité prvky celkovej architektúry:

- Zberová centrála IMS
- Databáza modelu siete
- Modelovanie a vizualizácia
- Simulácie a analýzy



Obrázok 25 - Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry

4.1 Časti riešenia

4.1.1 Zberová centrála IMS

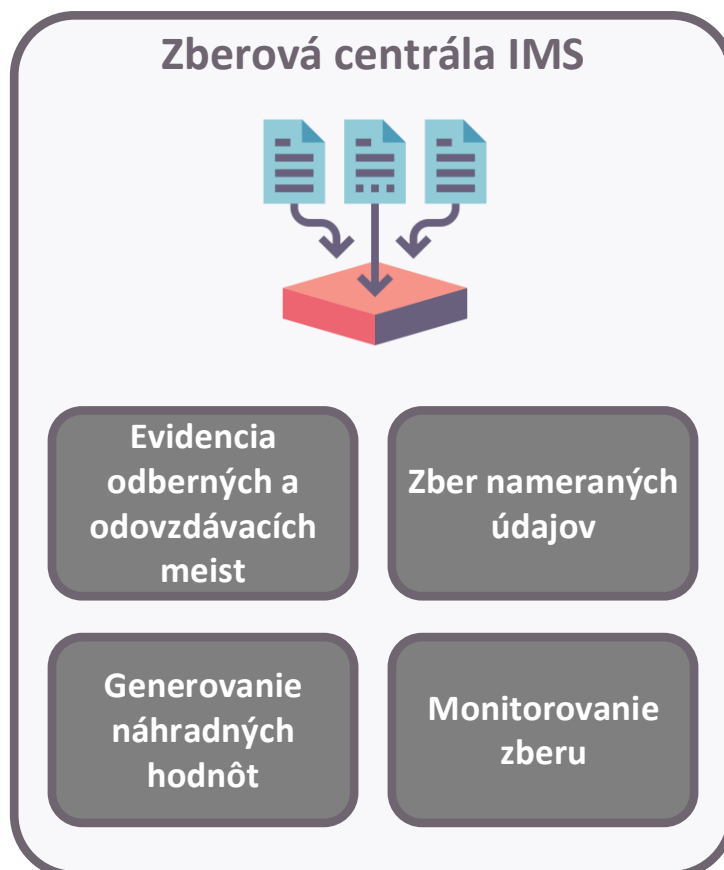
Zber údajov nameraných prostredníctvom IMS meradiel bude zabezpečovať zberová centrála IMS. Zabezpečí priamu komunikáciu s IMS meradlom, prípadne nepriamu komunikáciu s IMS koncentrátorom v závislosti od architektúry meracieho systému implementovanom v príslušnom mikrogride. V rámci spracovania nameraných údajov bude zberová centrála vykonávať validáciu nameraných údajov a identifikuje chybné alebo chýbajúce hodnoty a iniciuje ich dozber alebo potrebu servisného zásahu v meracom zariadení alebo v komunikačnej časti. Pre plynulosť fungovania nadstavbových procesov zabezpečí zberová centrála vygenerovanie náhradných hodnôt v časových radoch pre chýbajúce alebo chybové údaje. Algoritmus pre tvorbu náhradných hodnôt stanoví najpravdepodobnejšie údaje, ktorými nahradí korigované časti časových radov s meraniami.

Súčasťou zberovej centrály bude aj monitorovací nástroj, ktorý poskytne rýchly prehľad o úspešnosti zberu dát a upozorní na príslušné problémy v meracom systéme IMS.

Funkčná oblasť bude zabezpečovať nasledovné oblasti:

- Evidencia meracích bodov
- Zber nameraných údajov
- Generovanie náhradných hodnôt
- Monitorovanie zberu

Zberová centrála IMS bude integrovaná s databázou modelu siete, ktorá si bude preberať už finálne validované a korigované namerané údaje z IMS. Tieto údaje budú ďalej vstupovať pre potreby simulácií, analýz a vizualizácie v rámci modelu siete.



Obrázok 26 - Funkčné oblasti časti pre zberovú centrálu IMS

4.1.1.1 Evidencia odberných a odovzdávacích miest

Funkčná oblasť Evidencia odberných a odovzdávacích miest bude spravovať informácie o tom, na ktorých miestach sa majú zbierať aké typy meraní.

Základom evidencie budú odberné (spotreba zo sústavy) a odovzdávacie (výroba do sústavy) miesta, ku ktorým budú pridelené profily merania. Jednotlivé profily reprezentujú rôzne typy meraní získavaných z IMS meradiel (napr. činná spotreba, jalová dodávka, účinník,...).

Profil má definovaný zoznam svojich meracích systémov, ktoré predstavujú spôsob, ako sú tieto dáta zbierané (napr. 15 minútový stav registra, denná hodnota spotreba,...).

Merací systém bude mať pridelený elektromer a zberovú schému, ktorá definuje, ako často prebieha dopytovanie o dáta a za aké obdobie.

Elektromeru sa ešte priraduje aj jeho typ, ktorý zároveň definuje zoznam elektromerom podporovaných dvojíc - typ profilu a merací systém (čo a ako často odpočítava samotný elektromer).

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Evidencia odberných a odovzdávacích miest
 - vytvorenie, modifikácia alebo zrušenie odberného alebo odovzdávacieho miesta
 - výber elektromera, ktorý zabezpečuje meranie na danom mieste
 - výber zbieraných nameraných údajov podľa zvoleného typu elektromeru
 - výber zberovej schémy (prednastavená schéma podľa typu odberného alebo odovzdávacieho miesta)
- Evidencia typov elektromerov
 - vytvorenie, modifikácia alebo zrušenie typov elektromerov, ktoré podporuje zberová centrála
 - typ elektromera definuje podporované kombinácie typu profilu (čo meria) a meracieho systému (ako často meria)
- Evidencia typov profilov
 - vytvorenie, modifikácia a zrušenie typov profilov, ktoré definujú význam daného merania (napr. činná spotreba, jalová dodávka, účinník,...)

4.1.1.2 Zber nameraných údajov

Funkčná oblasť Zber nameraných údajov predstavuje priame alebo nepriame prepojenie s elektromerom a automatické získavanie nameraných údajov v stanovených časových intervaloch s možnosťou opakovania (dozbery).

Zber dát prostredníctvom priameho spojenia s elektromerom bude prebiehať prostredníctvom TCP/IP prípadne UDP protokolu s použitím industriálnych SIM kariet štandardu plug85. Samotná komunikácia bude využívať mobilné alebo pevné pripojenie a ako výmenný formát sa bude používať štandard DLMS/COSEM.

Nepriamy spôsob zberu dát bude zabezpečovať komunikáciu cez pomocné zariadenia typu skalár alebo koncentrátor, ktoré sprístupňujú dáta prostredníctvom FTP servera.

Podporované by mali byť IMS elektromery od viacerých výrobcov, ktoré sú v lokálnych podmienkach najčastejšie využívané a na trhu bežne dostupné (napr. Iskra, Schrack, Kamstrup, AppliedMeters, SanXing, Landis+Gyr,...).

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Spôsob zberu dát
 - priamy – komunikácia s elektromerom
 - nepriamy – komunikácia cez pomocné zariadenie, ktoré posiela dáta automaticky na server (skalár, koncentrátor)
- Komunikačné kanály
 - mobilná linka
 - pevná linka
 - elektrická sieť (PLC- Power Line Communication)
- Komunikačné protokoly
 - TCP/IP
 - UDP
 - FTP
- Výmenné formáty
 - DLMS/COSEM
- Plánovanie zberu

- zberová schéma
- podpora dozberu (opakované pokusy)

4.1.1.3 Generovanie náhradných hodnôt

Funkčná oblasť Generovanie náhradných hodnôt spustí v prípade výpadku spojenia s meradlom alebo v prípade jeho poruchy výpočet náhradných hodnôt. Po obnove spojenia je automaticky zabezpečený dodatočný zber a sprístupnenie skutočných nameraných hodnôt.

Základný algoritmus generovania náhradných hodnôt doplní chýbajúce hodnoty daného dňa na základe priemeru historických meraní podobných predchádzajúcich X dní (pracovný deň, víkend, sviatok). Ak sa nenájde ani jeden podobný deň, použije sa nula (typicky pri nových odberných alebo odovzdávacích miestach). Ako vzorový deň sa použije len deň, v ktorom boli zozbierané všetky dáta korektne. Ak je odberné alebo odovzdávacie miesto odpojené, ako náhradné hodnoty sa použijú nuly.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Automatizácia procesu
 - výpočet bude bežať automaticky na pozadí systému
 - proces bude koordinovaný so schémou dozberu
 - napr. až po X pokusoch o dozber neúspešne zozbieraných hodnôt sa spustí výpočet generovania náhradných hodnôt
- Identifikácia chýbajúcich hodnôt
 - identifikuje chýbajúce hodnoty v časových radoch, ktoré je potrebné nahradiť optimálne odhadovanými hodnotami
- Tvorba náhradných hodnôt
 - algoritmus tvorby náhradných hodnôt
 - súlad s legislatívou v energetike pre namerané údaje

4.1.1.4 Monitorovanie zberu

Funkčná oblasť Monitorovanie zberu zabezpečí sledovanie kľúčových ukazovateľov v reálnom čase vo vzťahu k zberu nameraných údajov z elektromerov. Na jednej obrazovke bude možné prehľadne sledovať úspešnosť zberu dát, stav meradiel, úspešnosť procesov a úloh, počet nevybavených žiadostí o servisnú zákazku, stav povelov a objem prenesených dát.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Dashboard
 - kľúčové parametre zberu dát na jednej obrazovke
 - využitie grafických prvkov pri vizualizácii parametrov (grafy)
- Úspešnosť zberu
 - sledovanie a vyhodnocovanie úspešnosti denného zberu dát
- Stav meradiel
 - celkový počet meradiel
 - počet namontovaných meradiel
 - počet aktívne zbieraných meradiel
- Stav zberových agentov
 - stavy zberových agentov – aktívny/neaktívny
 - aktuálny počet zberov po zberových agentoch

- Stav úloh
 - stavy realizácie úloh (plánovaná, úspešná, neúspešná, prebiehajúca)
- Objem prenesených dát
 - prijatý denný objem dát
 - odoslaný denný objem dát
- Chybovosť
 - štatistiky typov chýb v rámci zberu dát

4.1.2 Databáza modelu siete

Databáza modelu siete bude zabezpečovať uchovávanie dát v jednotnej dátovej základni s flexibilnou možnosťou pridávania nových dátových prvkov, prípadne celých nových štruktúr. Databáza modelu siete bude spravovať jednotlivé prvky siete a ich parametre, topológiu siete v podobe prepojení príslušných prvkov a súvisiacu technickú dokumentáciu, ktoré poskytnú údajovú základňu potrebnú pre generovanie digitálneho modelu siete. Poskytne tiež nástroj na reportovanie a tvorbu výstupných zostáv na základe preddefinovaných šablón. Zároveň zabezpečí spracovanie relevantných nameraných údajov a pripojí ich k relevantným prvkom v databáze.

Základnými entitami v evidencii budú nasledovné prvky siete:

- Odborné miesta
- Elektromery
- Fotovoltické elektrárne
- Malé vodné elektrárne
- Veterné elektrárne
- Zariadenia na uskladňovanie energie
- Spotrebiče
- Bioplynové stanice
- Kogeneračné jednotky

Databáza umožní evidovať preddefinovanú sadu parametrov entity v závislosti od typu prvku siete a podporí definované hierarchických vzťahov medzi nimi. Databáza bude tiež uchovávať konfigurovateľné číselníky, ktoré bude možné používať ako hodnoty parametrov prvkov.

Databáza by mala spravovať aj ďalšie súvisiace údaje potrebné pre aplikačné nadstavby, ako sú namerané údaje, typové diagramy odberu (pre odberné miesta bez IMS merania), cenníky, výsledky simulácií a analýz, projekty s modelom siete.

Funkčná oblasť bude zabezpečovať nasledovné oblasti:

- Evidencia prvkov siete
- Topológia siete
- Správa technickej dokumentácie
- Reportovanie

Databáza modelu siete bude integrovaná aj s ďalšími časťami riešenia. Zabezpečí sa tak aj automatizované spracovanie vybraných nameraných údajov z IoT cloudu a zberovej centrály IMS. Merania sa zároveň prepoja vo vzťahu k evidovaným prvkom siete. Databáza modelu siete poskytuje všetky evidované údaje o prvkoch a topológii siete aplikačným častiam riešenia pre potreby simulácií a analýz, alebo pre potreby modelovania a vizualizácie siete.



Obrázok 27 - Funkčné oblasti časti pre databázu modelu siete

4.1.2.1 Evidencia prvkov siete

Funkčná oblasť Evidencia prvkov siete zabezpečí správu všetkých relevantných zariadení a objektov. Medzi týmito entitami bude možné definovať hierarchické vzťahy. Evidované prvky siete budú obsahovať sadu parametrov, ktoré budú preddefinované vo vzťahu k príslušnému typu entity. Zároveň bude možné definovať číselníkové hodnoty, ktoré sa budú využívať pri evidencii prvkov. Táto evidencia tak poskytuje základnú jednotnú dátovú bázu prvkov siete mikrogrid pre nadstavbové aplikácie, ako je modelovanie alebo simulácie a analýzy.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Vytvorenie nového záznamu
 - zaevidovanie nového prvku siete prostredníctvom príslušného formulára
 - validácia vstupných hodnôt
 - podpora číselníkových hodnôt
 - možnosť importu údajov zo súboru
- Formulárové zobrazenie
 - zobrazovanie parametrov prvku siete
- Hierarchické zobrazenie
 - zobrazenie záznamov podľa definovanej hierarchie vzťahov
- Tabuľkové zobrazenie
 - tabuľkové zobrazenie vybranej sady záznamov

- filtrovanie nad zoznamom záznamov
 - export dát do externého súboru
- Modifikácia existujúceho záznamu
 - modifikácia parametrov prvku siete
- Zrušenie záznamu
 - zneplatnenie záznamu v databáze
- Správa číselníkov
 - definovanie číselníkov
- Správa typov prvkov siete
 - definovanie typov prvkov
 - definovanie parametrov pre typ prvku

4.1.2.2 Topológia siete

Funkčná oblasť Topológia siete umožní vytvárať medzi jednotlivými prvkami siete prepojenia a tak definovať samotnú elektrizačnú sieť mikrogridu. Prepojenia, podobne ako prvky siete, môžu mať tiež definované svoje typy a vlastné atribúty predstavujúce technické parametre prepojenia. Prvky siete spolu s topológiou tak vytvárajú ucelený digitálny model elektrizačnej siete a poskytujú vstupné informácie pre modelovanie a simulácie.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Vytvorenie nového prepojenia
 - zaevidovanie nového prepojenia
 - validácia vstupných hodnôt
 - podpora číselníkových hodnôt
 - možnosť importu údajov zo súboru
- Formulárové zobrazenie
 - zobrazovanie parametrov prepojenia siete
- Tabuľkové zobrazenie
 - tabuľkové zobrazenie vybranej sady záznamov
 - filtrovanie nad zoznamom záznamov
 - export dát do externého súboru
- Modifikácia existujúceho záznamu
 - modifikácia parametrov prepojenia siete
- Zrušenie záznamu
 - zneplatnenie záznamu v databáze
- Správa typov prepojení siete
 - definovanie typov prepojení
 - definovanie parametrov pre typ prepojenia

4.1.2.3 Správa technickej dokumentácie

Funkčná oblasť Správa technickej dokumentácie umožní k prvkom siete evidovať aj rôznorodú dokumentáciu súvisiacu so záznamom, ako napríklad technické špecifikácie zariadení, technické

schémy, projektová dokumentácia alebo fotodokumentácia. K jednotlivým prvkom tak bude možné pridať ľubovoľné súbory.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Pridanie súboru
 - pridanie súboru do databázy a jeho priradenie prvku siete
- Otvorenie súboru
 - otvorenie súboru prostredníctvom príslušnej externej aplikácie
- Aktualizácia súboru
 - aktualizácia predtým priradeného súboru k prvku siete
- Zrušenie súboru
 - zneplatnenie súboru v databáze

4.1.2.4 Reportovanie

Funkčná oblasť Reportovanie poskytuje nástroj pre vytváranie a spúšťanie reportov a výstupných prehľadov nad dátami evidovanými v databáze modelu siete. Výstupné zostavy tak poskytnú dostatočný pohľad na dáta spravované v databáze.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Vytváranie a konfigurácia výstupných zostáv
 - definovanie vzhľadu a štruktúry výstupných zostáv
- Generovanie výstupných zostáv a reportov
 - automatické spustenie výstupnej zostavy alebo reportu
 - manuálne spustenie výstupnej zostavy alebo reportu
- Zobrazenie výstupných zostáv a reportov
 - zobrazenie vygenerovanej výstupnej zostavy alebo reportu

4.1.3 Modelovanie a vizualizácia

Modelovanie mikrogridu bude zabezpečovať používateľsky prívetivý nástroj pre vytváranie a modifikáciu grafických modelov. Modelovanie bude realizované na základe vkladania grafických prvkov z predpripravenej knižnice priamo do schémy alebo mapy. Podporené budú základné funkčnosti pre tvorbu a modifikáciu grafických prvkov. Súčasťou je aj vytváranie prepojení medzi jednotlivými prvkami.

Grafické modely mikrogridu bude možné vytvárať schematicky (topologické zobrazenie), alebo v prostredí mapového podkladu (topografické zobrazenie). Nástroj podporí aj uchovávanie a správu projektov týchto modelov pre ich budúce použitie a modifikáciu.

Nástroj zároveň umožní v kontexte grafickej reprezentácie modelu mikrogridu zobrazovať aj ďalšie informácie o jednotlivých zariadeniach, stave v sieti, alebo výsledky simulácií a analýz.

Funkčná oblasť bude zabezpečovať nasledovné oblasti:

- Správa projektov
- Knižnica grafických elementov
- Modelovanie
- Vizualizácia

Nástroj pre modelovanie bude integrovaný aj s ďalšími časťami riešenia. Prvky siete a ich atribúty budú spravované v databáze modelu siete. Prepojenie bude aj s časťou pre simulácie a analýzy pre operatívne zobrazovanie výsledkov, čo umožní používateľom ľahko modifikovať model mikrogridu a ihneď nad ním spustiť príslušné výpočty a otestovať tak vykonané zmeny v simulovanom prostredí.



Obrázok 28 - Funkčné oblasti časti pre modelovanie a vizualizáciu

4.1.3.1 Správa projektov

Za projekt sa považuje používateľom vytvorený model siete. Funkčná oblasť Správa projektov zabezpečí uchovávanie jednotlivých modelov siete pre ich budúce použitie do databázy modelu siete. Základné atribúty projektu budú názov a dátumy, kedy bol vytvorený a aktualizovaný. Samotný projekt obsahuje zoznamy prvkov, prepojení a skupín grafu. Prvok predstavuje objekt vyrábajúci alebo odoberajúci elektrinu a uchováva si údaje o svojej pozícii v modeli. Prepojenie spája dva prvky a jeho atribútmi sú miesto začiatočného a koncového prvku, ktoré spája. Každý prvok ďalej môže obsahovať ďalšie atribúty.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Vytvoriť nový projekt
 - vytvorí nový prázdny projekt, v rámci ktorého je možné vytvoriť nový model mikrogridu
- Otvoriť projekt
 - otvorí existujúci model mikrogridu v rámci uloženého projektu
- Uložiť projekt
 - uloží aktuálny model mikrogridu

- Ulož ako nový projekt
 - uloží aktuálny model mikrogridu ako nový projekt
- Export do súboru
 - vyexportuje aktuálny model mikrogridu do externého súboru
- Import zo súboru
 - naimportuje uložený model mikrogridu z externého súboru
- Premenovať projekt
 - premenuje názov projektu.

4.1.3.2 Knižnica grafických elementov

Funkčná oblasť Knižnica grafických elementov predstavuje sadu prvkov a prepojení, z ktorých je možné vytvárať model siete. Jeden projekt bude môcť použiť aj viaceré knižnice grafických prvkov. Každému prvku bude možné priradiť grafickú reprezentáciu, ktorá určí výzor daného prvku v rámci modelu. Každý prvok bude môcť mať pridelené atribúty, ktoré ho bližšie špecifikujú.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Knižnica prvkov
 - vytvorí väzbu na vybrané prvky v databáze modelu siete
 - vytvorí väzbu na vybrané atribúty prvku v databáze modelu siete
 - priradí grafickú reprezentáciu prvku
 - pomenuje prvok v knižnici
- Knižnica prepojení
 - vytvorí väzbu na vybrané prepojenia v databáze modelu siete
 - vytvorí väzbu na vybrané atribúty prepojenia v databáze modelu siete
 - priradí grafickú reprezentáciu prepojenia
 - pomenuje prepojenie v knižnici
- Vyhľadanie
 - vyhľadá prvok alebo prepojenie podľa názvu v knižnici

4.1.3.3 Modelovanie

Funkčná oblasť Modelovanie zabezpečí vytváranie a modifikáciu digitálneho modelu siete. Budú podporené dva režimy modelovania. Vo forme schémy, kde sa jednotlivé prvky ukladajú a prepájajú v prostredí modelovacej mriežky (gridu), alebo podkladom pre modelovanie je mapa a prvky sa ukladajú podľa ich skutočnej geografickej pozície. Oba režimy modelovania bude možné kedykoľvek prepínať. Prvky a prepojenia, ktoré budú používať pri modelovaní, sa budú vyberať z knižnice grafických elementov.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Režimy modelovania
 - nastaví režim modelovania vo forme schémy
 - nastaví režim modelovania vo forme geografickej mapy
- Vloženie prvku
 - vloží prvok z knižnice grafických elementov do modelu siete
- Prepojenie prvkov

- vloží prepojenie z knižnice grafických elementov do modelu siete
 - vytvorí logické prepojenie dvoch prvkov
- Vymazanie prvku
 - vymaže prvok alebo prepojenie z modelu siete
- Modifikácia hodnôt atribútov
 - upraví hodnoty atribútov prvkov a prepojení
- Zobrazovanie
 - zväčší zobrazenie modelu (zoom in)
 - zmenší zobrazenie modelu (zoom out)
 - presunie zobrazenie modelu ľubovoľným smerom (pan)

4.1.3.4 Vizualizácia

Funkčná oblasť Vizualizácia zabezpečí zobrazenie digitálneho modelu siete. Zobrazenie modelu siete bude možné v režime schémy, geografickej mapy a hierarchického usporiadania.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Režimy zobrazenia modelu
 - nastaví režim zobrazenia modelu vo forme schémy
 - nastaví režim zobrazenia modelu vo forme geografickej mapy
 - nastaví režim zobrazenia modelu do hierarchického usporiadania
- Zobrazenie atribútov prvkov a prepojení
 - zobrazí hodnoty atribútov vybraného prvku
 - zobrazí hodnoty atribútov vybraného prepojenia
- Zobrazenie nameraných údajov
 - zobrazí namerané údaje vybraného prvku
- Zobrazenie výsledkov simulácií a analýz
 - zobrazí výsledky simulácií nad modelom siete
 - zobrazí výsledky analýz nad modelom siete

4.1.4 Simulácie a analýzy

Simulácie a analýzy budú zamerané najmä na optimalizačné bilančné úlohy v rámci mikrogridu. Riešenie umožní v rámci dimenzovania mikrogridu dopĺňať do digitálneho modelu nové výrobné zariadenia, zariadenia pre akumuláciu a spotrebiče a zhodnotiť dopady na mikrogrid ako celok, ale aj na dotknuté odberné a odovzdávacie miesta. Dimenzovanie vyhodnotí energetickú sebestačnosť a návratnosť investícií. Ďalšou riešenou oblasťou budú predikcie spotreby a výroby v rámci mikrogridu, ktoré budú predpovedať vývoj v dlhodobom, strednodobom a krátkodobom horizonte. Výstupy budú slúžiť ako podklad pre nákup alebo predaj elektriny na veľkoobchodnom trhu. Dôležitou úlohou pri prevádzkovaní distribučných sústav je aj jej bilancovanie. Vyhodnotené budú agregáty spotrieb, výroby, vyhodnotené budú bilančné straty a odchýlka sústavy. Sledovaná bude aj miera energetickej sebestačnosti mikrogridu, vyhodnocované budú tiež pretoky z/do nadradenej distribučnej/prenosovej sústavy. V rámci podpory moderných obchodných produktov bude podporená aj funkcia virtuálnej batérie. Aktívni odberatelia si budú vyrábať elektrinu primárne pre svoju potrebu. Nespotrebované prebytky v danom čase budú môcť poskytnúť bezodplatne do sústavy a rovnaké množstvo opäť spotrebovať v inom čase. Pre vyhodnotenie takého obchodného modelu sa použije metóda net metering.

Funkčná oblasť bude zabezpečovať nasledovné oblasti:

- Dimenzovanie
- Predikcie
- Bilancovanie
- Virtuálna batéria

Funkčná oblasť pre simulácie a analýzy bude integrovaná aj s ďalšími časťami riešenia. Prvky siete, ich atribúty, topológia siete a namerané údaje (IMS a IoT) budú spravované v databáze modelu siete. Prepojenie bude aj s časťou pre modelovanie a vizualizáciu pre operatívne zobrazovanie výsledkov, čo umožní používateľom ľahko modifikovať model mikrogridu a ihneď nad ním spustiť príslušné výpočty a otestovať tak vykonané zmeny v simulovanom prostredí.



Obrázok 29 - Funkčné oblasti časti pre simulácie a analýzy

4.1.4.1 Dimenzovanie

Funkčná oblasť Dimenzovanie umožní do digitálneho modelu skutočného mikrogridu dopĺňať virtuálne zariadenia na výrobu elektriny, virtuálne zariadenia pre akumuláciu, alebo odberné miesta, ktoré môžu predstavovať nových odberateľov (napr. plánovaná obytná výstavba), spotrebiče (napr. verejné osvetlenie), prípadne nabíjacie stanice pre elektromobilitu. Riešenie vyhodnotí, či modelová situácia odberov a dodávok do siete dokáže zabezpečiť energetickú sebestačnosť mikrogridu a odhadovanú dobu návratnosti príslušných investícií.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Vkládanie virtuálnych výrobných zariadení
 - vloží do digitálneho modelu mikrogridu výrobné zariadenie, ktoré v reálnom svete zatiaľ nie je vybudované, alebo do mikrogridu pripojené (virtuálne výrobné zariadenie)

- Vkládanie virtuálnych zariadení pre akumuláciu
 - vloží do digitálneho modelu mikrogridu zariadenie pre akumuláciu, ktoré v reálnom svete zatiaľ nie je vybudované, alebo do mikrogridu pripojené (virtuálne zariadenie pre akumuláciu)
- Vkládanie virtuálnych odberných miest
 - vloží do digitálneho modelu mikrogridu odberné miesto (spotrebič), ktoré v reálnom svete do mikrogridu zatiaľ nie je vybudované, alebo do mikrogridu pripojené (virtuálne odberné miesto); takýmto odberným miestom môže byť aj nabíjacia stanica pre elektromobilitu
- Nastavovanie parametrov virtuálnym zariadeniam
 - umožní nastavovať parametre virtuálnych výrobných zariadení, virtuálnych zariadení pre akumuláciu, virtuálnych odberných miest, ktoré môžu mať dopad na dimenzovanie
- Vyhodnotenie miery energetickej sebestačnosti
 - vyhodnotí mieru energetickej sebestačnosti pre digitálny model mikrogridu doplnený o virtuálne zariadenia a odberné miesta.
- Vyhodnotenie návratnosti investícií
 - vyhodnotí návratnosť investícií do vybudovania výrobných zariadení a zariadení na akumuláciu vo vzťahu k úsporám na elektrine, ktorá by bola obstarávaná externe.

4.1.4.2 Predikcie

Funkčná oblasť Predikcie bude vyhodnocovať predikcie spotreby a výroby v rámci mikrogridu po jednotlivých odberných a odovzdávacích miestach (predikcia zdola) s výslednou agregáciou, alebo bude predikovať bilančnú skupinu mikrogridu ako celok (predikcia zhora). V závislosti od charakteru a skladby prvkov príslušného mikrogridu je vhodná jedna alebo druhá predikčná metóda, prípadne ich vhodná kombinácia. Výstupom bude predikčná krivka, ktorá slúži pre obchodné aplikácie na zistenie rozdielu voči zakontrahovanému množstvu a môže tak zistené prebytky alebo nedostatky elektriny predať alebo dokúpiť na veľkoobchodnom trhu s elektrinou (obchodná časť nie je predmetom riešenia).

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Predikovanie výroby
 - vyhodnocuje predikciu výroby pre jednotlivé výrobné zariadenia samostatne na základe ich technických parametrov, geografickej polície, meteorologických údajov a historických dát
- Predikovanie spotreby
 - vyhodnocuje predikciu spotreby pre jednotlivé odberné miesta samostatne na základe ich historických údajov, meteorologických údajov, charakteru dní (sviatok, víkend, pracovný deň), sezónnosti (vykurovanie, chladenie) a pod.
- Predikovanie bilančnej skupiny
 - vyhodnocuje predikciu bilančnej skupiny ako celku na základe agregovaných dát za celý mikrogrid, sleduje správanie sa bilančnej skupiny ako celku a nerieši špecifiká jednotlivých odberných a odovzdávacích miest
- Podklady pre nákup alebo predaj elektriny
 - sprístupní celkovú predikciu bilančnej skupiny vo forme časového radu v 15 minútovom rozlíšení pre sústavu mikrogridu ako celku.

4.1.4.3 Bilancovanie

Funkčná oblasť Bilancovanie vyhodnotí na základe skutočne nameraných údajov základné bilancie v rámci distribučnej sústavy mikrogridu. Vyhodnocovaná bude bilancia spotreby, bilancia výroby, bilančné straty v sústave, odchýlka v sústave. Vyhodnotenú budú aj pretoky medzi pripojenými sústavami (nadradená distribučná/prenosová, susedná/podradená distribučná) s cieľom sledovať mieru energetickej sebestačnosti mikrogridu. Vyššia miera energetickej nesebestačnosti môže indikovať potrebu doplniť výrobné zariadenie alebo zariadenie pre akumuláciu a využiť tak funkčnú oblasť pre dimenzovanie.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Bilancie spotreby
 - vyhodnotí celkovú spotrebu všetkých odberných miest v rámci mikrogridu
- Bilancie výroby
 - vyhodnotí celkovú výrobu všetkých výrobných zariadení v rámci mikrogridu
- Vyhodnotenie pretokov medzi sústavami
 - na základe meraní na prahu sústavy mikrogridu vyhodnotí pretoky vo vzťahu k prepojeným nadradeným/susedným/podradeným sústavám
- Bilančné straty
 - vyhodnotí rozdiel medzi celkovou výrobou a celkovou spotrebou v rámci mikrogridu, pričom zohľadní aj pretoky z/do nadradených/susedných/podradených sústav
- Celková bilancia
 - vyhodnotí celkovú bilanciu distribučnej sústavy mikrogridu a vyhodnotí mieru energetickej sebestačnosti.

4.1.4.4 Virtuálna batéria

Funkčná oblasť Virtuálna batéria je obchodný produkt, ktorý je možné poskytovať pre aktívnych odberateľov (prosumerov) v rámci distribučnej sústavy mikrogrid. Aktívni odberatelia disponujú vlastným výrobným zariadením, ktorým primárne pokrývajú vlastnú spotrebu. Vzhľadom na charakter výroby z OZE, ktorý je závislý na meteorologických podmienkach, vznikajú prosumerom v rámci dňa prebytky elektriny, ktorú nestihnú spotrebovať, a naopak, v istých časových intervaloch sú závislí na dodávke elektriny zo sústavy. Takéto situácie je možné vykrývať investíciou do vlastného zariadenia pre akumuláciu energie, alebo využiť službu virtuálnej batérie. Tá spočíva v tom, že v prípade nadbytku výroby poskytuje aktívny odberateľ prebytky sústave, kde si svoju elektrinu „odloží“ a následne spotrebuje neskôr. V závislosti od skladby mikrogridu sa tieto prebytky uložia v zdieľanom zariadení pre akumuláciu, alebo sa nadbytočná elektrina jednoducho spotrebuje v danom momente iným spotrebiteľom.

Podporená bude nasledovná funkčnosť:

- Definovanie parametrov služby
 - nastavenie základných parametrov služby virtuálnej batérie, ako je napríklad dĺžka obdobia, na akú je možné si elektrinu odložiť, maximálne prípadne minimálne množstvá „uskladňovanej“ elektriny a podobne
- Evidencia zapojených odberných a odovzdávacích miest
 - evidencia odberných a odovzdávacích miest, ktoré sú zapojené do služby virtuálnej batérie a pre ktoré sa bude vykonávať samotné vyhodnocovanie
- Vyhodnotenie služby

- vyhodnotenie služby virtuálnej batérie na základe parametrov služby, evidencie relevantných odberných a odovzdávacích miest a skutočne nameraných údajov s využitím metódy net metering

4.2 Komponenty riešenia

Navrhované riešenie sa bude skladať zo štyroch častí, ktoré pokrývajú nasledovné oblasti:

- Zberová centrála IMS
- Databáza modelu siete
- Modelovanie a vizualizácia
- Simulácie a analýzy

Každá časť, ktorá sa zameriava na veľmi špecifickú oblasť, môže byť implementovaná samostatným špecializovaným subsystémom pokrývajúcim funkčné a nefunkčné požiadavky na príslušnú oblasť riešenia. Jednotlivé subsystémy však musia byť navzájom integrované do celkového jednotného navrhovaného riešenia. Zároveň musia poskytnúť potrebné integračné rozhrania aj na externé systémy, resp. externé zdroje dát, ktoré navrhované riešenie predpokladá. V optimálnom prípade môže jeden subsystém pokrývať aj viac častí navrhovaného riešenia, čo by znížilo počet komponentov riešenia a zredukovalo tak potrebné interné rozhrania medzi subsystémami.

4.2.1 Prehľad komponentov riešenia

Jednotlivé subsystémy sa budú skladať z nasledovných logických vrstiev:

- Relačná databáza
- Aplikačný server
- Webový portál / desktop klient
- Rozhrania

Relačná databáza uchováva všetky aplikačné aj riadiace dáta systému, ktoré sú spravované štandardným databázovým systémom. V prípade kritických operácií nad veľkým objemom dát sa tieto kritické výpočty implementujú priamo v databáze.

Aplikačný server zabezpečuje plánovanie a vykonávanie aplikačných procesov. Rozhranie aplikačného servera je tvorené prostredníctvom webových služieb.

Webový portál alebo desktop klient realizuje grafické používateľské rozhranie riešenia, ktoré je široko dostupné používateľom.

Preferovaným rozhraním pre automatizovanú výmenu dát sú webové služby. Riešenie sa však bude musieť prispôbiť podľa poskytovaných možností zvolených subsystémov ako aj externých systémov, s ktorými sa bude riešenie integrovať.

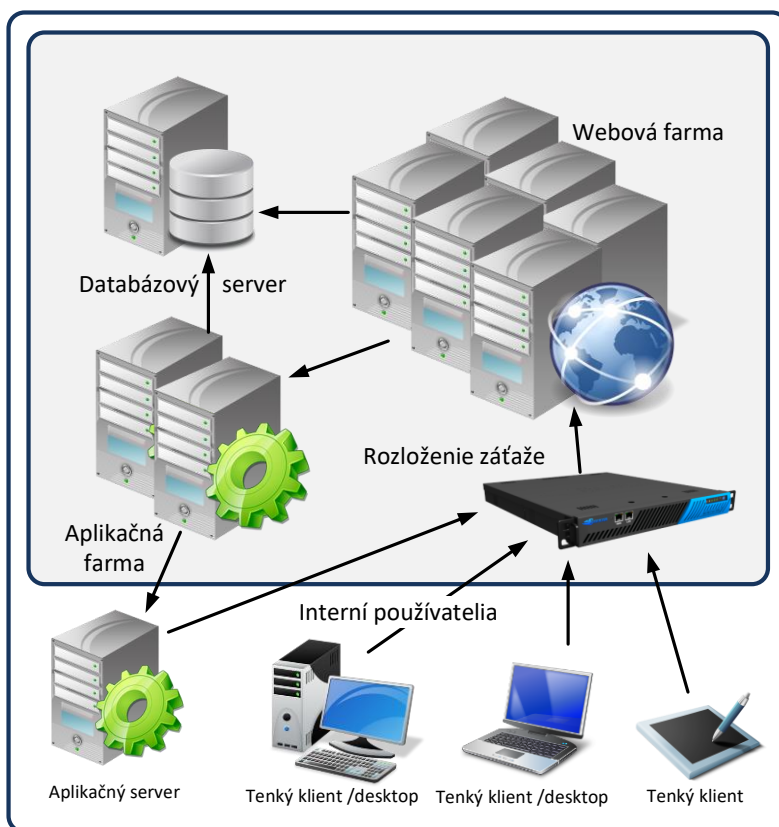
4.2.2 Koncepcia nasadenia základných komponentov

Komponenty riešenia, ktoré sú opísané v predchádzajúcej kapitole, budú podľa ich charakteru nasadené na príslušné časti infraštruktúry:

- Databázový server
 - preferované prostredie databázový systém Oracle/PostgreSQL na operačnom systéme Windows/Linux
- Aplikačný server

- preferované prostredie MS IIS na operačnom systéme MS Windows Server
- Webový server
 - preferované prostredie MS IIS na operačnom systéme MS Windows Server
- Rozloženie záťaže
 - load balancer
- Tenký klient
 - internetový prehliadač (MS Edge, Chrome, Firefox, Safari, Opera)
- Desktop
 - preferovaný operačný systém MS Windows

Referenčnú architektúru navrhovaného riešenia reprezentuje nasledovný obrázok.



Obrázok 30 - Referenčná architektúra

Riešenie bude škálovateľné, pričom aplikačný server, webový server aj webové služby je možné nasadiť v prostredí webovej farmy. Rozloženie záťaže potom v takejto konfigurácii realizuje štandardný load balancer.

4.3 Charakteristika riešenia

Navrhované riešenie by malo spĺňať nasledujúce odporúčané charakteristiky a nefunkčné požiadavky.

4.3.1 Konfigurovateľnosť a parametrizácia

Konfiguračné premenné systému budú môcť byť nastavované administrátorom systému. Systém v rámci jednotlivých aplikačných modulov sprístupní aj zoznamy záznamov, ktoré bude možné používateľsky parametrizovať a takto získané údaje bude možné exportovať do súborov vo formáte XLSX alebo CSV. Parametrizovateľné budú tiež príslušné výpočtové úlohy - analýzy a simulácie. Administrátor systému tiež bude mať možnosť upravovať názvy číselníkov a ich poradie. Prístup do systému a zaradenie do rolí sa zase bude riadiť prostredníctvom správy používateľov.

4.3.2 Vyhľadávanie a filtrovanie

Systém v rámci jednotlivých aplikačných modulov poskytne možnosti vyhľadávania, filtrovania a triedenia v zoznamoch záznamov.

4.3.3 Archivácia

Archivácia riešenia bude založená na archivácii určených záloh systému. Archivácii budú podliehať mesačné zálohy systému a zálohy vykonané v súvislosti s význačnými zmenami v systéme. Archív systému bude tvorený zálohou údajov a zálohou softvérových komponentov systému. Všetky údaje systému budú ukladané v relačnej databáze a proces archivácie dát tak bude predstavovať proces archivácie databázy. Všetky softvérové komponenty sa budú archivovať vo forme binárnych obrazov virtuálnych strojov.

4.3.4 Tlač

Pri bežnej tlači sa využijú bežné prostriedky aplikácie alebo internetového prehliadača a pri tlači špecializovaných výstupných zostáv sa využije výstup vo formáte XLSX, pričom samotná tlač prebieha prostredníctvom štandardných nástrojov nad týmto formátom, ktoré zároveň umožňujú aj uloženie výstupu do PDF a dodatočnej tlače mimo systému.

4.3.5 Prístup k údajom

Riešenie bude zabezpečovať autorizovaný prístup k dátam na základe zaradenia prihláseného používateľa do roly v systéme.

4.3.6 Lokalizácia

Riešenie bude primárne prevádzkované v slovenskom jazyku, ale koncepčne bude pripravené implementovať aj inú jazykovú mutáciu. Systém zohľadní v rámci časových radoch a výpočtoch podporu prechodov na letný a zimný čas.

4.3.7 Jednotky a mena

Riešenie bude pracovať s technickými jednotkami pre výkon kW a MW a technickými jednotkami pre energiu kWh a MWh. U finančných čiastok systém bude pracovať v EUR s presnosťou na 4 desatinné miesta.

4.3.8 Koncepcia obrazoviek

Používateľské rozhranie na úrovni jednotlivých častí riešenia by malo poskytovať jednotné, prehľadné, intuitívne a používateľsky pohodlné používateľské rozhranie. Optimálne by bolo, ak by sa na úrovni celého riešenia používali jednotne aspoň základné princípy používateľského rozhrania. Rozhranie by malo maximálne využívať rozlíšenie koncového zobrazovacieho zariadenia a podporovať širokú škálu mnohých verzií a typov internetových prehliadačov (v prípade webového rozhrania).

4.3.9 Zadávanie údajov

Údaje bude možné zadávať prostredníctvom formulárov, grafického používateľského rozhrania (modelovanie), prípadne hromadným importom zo súboru.

4.3.10 Bezpečnosť systému

Používatelia sa do systému budú prihlasovať minimálne prostredníctvom mena, hesla. Zvýšená bezpečnosť by podľa uváženia mohla byť doplnená aj o viacfaktorovú ochranu, napríklad využitím certifikátu pri prihlasovaní sa do systému, ktorý musí byť vystavený certifikačnou autoritou uznávanou prevádzkovateľom systému. Autentifikácia pri automatickej externej komunikácii prostredníctvom webových služieb bude nastavená v súlade s bezpečnostnými mechanizmami podporenými v integrovaných systémoch. Odporúča sa, aby systém bolo možné nakonfigurovať tak, aby sa po N neúspešných pokusoch o prihlásenie používateľský účet zablokoval. Tiež by bolo optimálne nastavovať expiráciu hesla po uplynutí určitého počtu dní. V prípade komunikácie medzi používateľom a webovým portálom alebo webovou službou je odporúčané šifrovanie s využitím digitálneho kľúča. Komunikácia s elektromermi by tiež mala do maximálnej možnej miery využívať bezpečnostné prvky, ktoré vybrané IMS zariadenia podporujú.

4.3.11 Architektúra

Navrhovaná architektúra riešenia opísaná v tomto dokumente pokrýva všetky funkčné a nefunkčné požiadavky a umožňuje prípadný ďalší rozvoj riešenia.

4.3.12 Integrácia

V rámci systému bude implementovaná integrácia na interné, ale aj externé informačné systémy v súlade s týmto dokumentom.

4.3.13 Súlad s aktuálne platnou legislatívou

Navrhované riešenie predpokladá zakomponovanie moderných a inteligentných prístupov v energetike do slovenskej legislatívy pre elektroenergetiku. V čase spracovania tohto dokumentu prebieha transformácia takzvaného Zimného energetického balíčka s termínom 1.1. 2021. Ide najmä o Smernicu Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/944 z 5. júna 2019 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou. Po transpozícii tejto legislatívy bude potrebné vykonať revíziu súladu navrhovaného riešenia s novou slovenskou legislatívou a v prípade potreby skorigovať tento návrh s aktuálnym legislatívnym znením.

5 ROZHRANIA RIEŠENIA

Táto kapitola definuje dátové rozhrania medzi navrhovaným riešením a okolitým prostredím a rozhrania v rámci jednotlivých častí riešenia.

5.1 Externé rozhrania

Externé rozhrania zabezpečujú výmenu dát medzi navrhovaným riešením a okolitými časťami celkovej architektúry. Navrhované riešenie bude jednosmerne pripojené na nasledovné zdroje dát:

- **IoT Cloud**

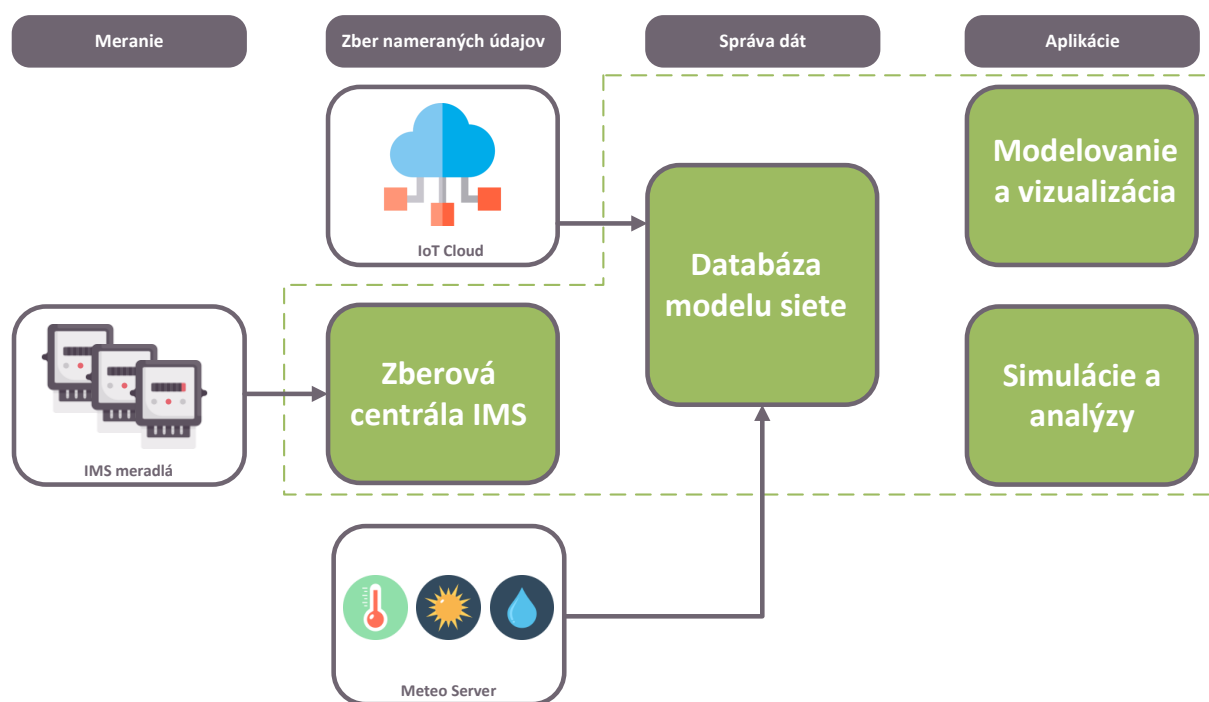
IoT Cloud poskytuje dáta získané z IoT zariadení. Príslušný IoT operátor zabezpečuje priamu komunikáciu s IoT zariadeniami a zabezpečuje zber dát a ich uloženie do IoT Cloudu. Spôsob integrácie s IoT Cloudom sa môže líšiť v závislosti od zvoleného operátora IoT siete.

- **IMS meradlá**

Zberová centrála IMS zabezpečuje priamu komunikáciu s IMS meradlami. Namerané údaje sa z IMS meradiel obvykle získavajú prostredníctvom protokolu DLMS (Device Language Message Specification). Prevádzkovatelia sústav majú v súčasnosti nastavený zber dát denne za predchádzajúci deň.

- **Meteo server**

Serverová služba, ktorá sprístupňuje meteorologické údaje. Pre potreby predikcie spotreby a výroby bude potrebné získavať najmä údaje o dopadajúcom žiarení, teplote a rýchlosti vetra. Takéto údaje bude potrebné získať jednorazovo za historické obdobie (optimálne 3 roky) pre potreby učenia predikčného modelu a následne priebežne pre potrebu aktuálnej predikcie. V rámci projektu bude vybraný dostupný Meteo server a jeho príslušná služba poskytujúca potrebné údaje.



Obrázok 31 - Externé rozhrania

Nasledujúca tabuľka definuje externé rozhrania, ktoré bude potrebné implementovať pri realizácii navrhovaného riešenia.

Tabuľka 1 - Špecifikácia externých rozhraní

Rozhranie	Frekvencia	Zdroj	Cieľ	Formát
Namerané údaje z IMS meradiel	Denne alebo priebežne	IMS meradlá	Zberová centrála IMS	DLMS/COSEM
Údaje z IoT senzorov	Denne alebo priebežne	IoT Cloud	Databáza modelu siete	podľa zvolenej siete
Meteorologické údaje	Denne alebo priebežne	Meteo server	Databáza modelu siete	podľa zvolenej služby

5.2 Interné rozhrania

Interné rozhrania zabezpečujú vnútornú výmenu dát medzi jednotlivými časťami navrhovaného riešenia. Prepojenia medzi časťami budú riešené nasledovne:

- **Zberová centrála IMS – Databáza modelu siete**

Databáza modelu siete si bude preberať namerané údaje zo zberovej centrály IMS. Zberová centrála IMS zabezpečí priamu komunikáciu s meracími prístrojmi, validáciu hodnôt a generovanie náhradných hodnôt. Namerané hodnoty bude zberová centrála IMS sprístupňovať už ako korigované validované hodnoty v štandardnom formáte MSCONS.

- **Databáza modelu siete – Modelovanie a vizualizácia**

Databáza modelu siete bude sprístupňovať pre potreby modelovania a vizualizácie evidované prvky, ich vzájomné prepojenia, atribúty prvkov a prepojení, namerané údaje z IMS meraní a IoT senzorov a uložené výsledky simulácií a analýz. Naopak, z modelovania budú do databázy ukladané nové prvky a prepojenia medzi nimi, tiež bude možné aktualizovať aj ich atribúty.

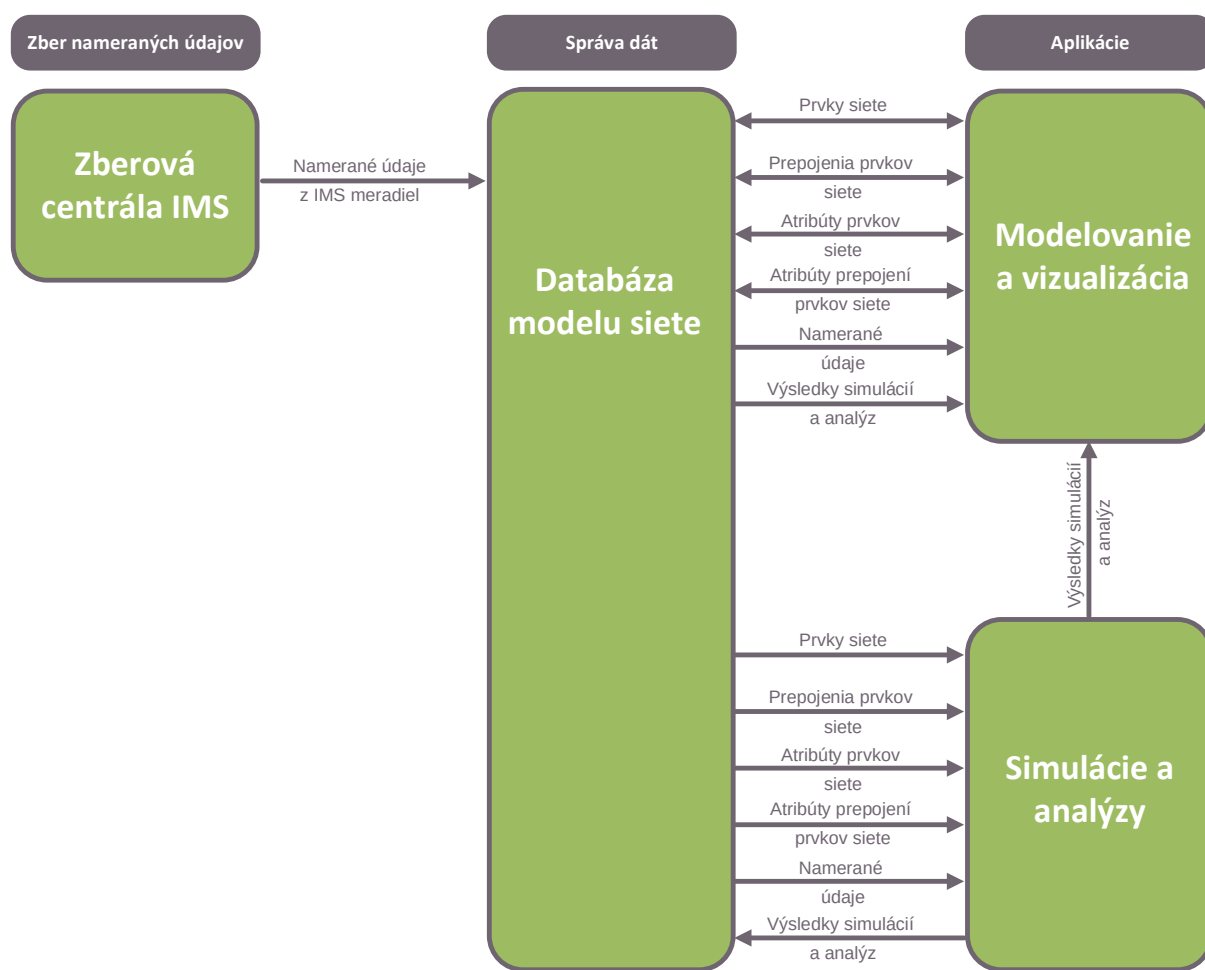
- **Databáza modelu siete – Simulácie a analýzy**

Databáza modelu siete bude sprístupňovať pre potreby simulácií a analýz evidované prvky, ich vzájomné prepojenia, atribúty prvkov a prepojení, namerané údaje z IMS meraní a IoT senzorov. Naopak, výsledky simulácií a analýz budú uchovávané v databáze modelu siete.

- **Simulácie a analýzy – Modelovanie a vizualizácia**

Výsledky simulácií a analýz budú operatívne sprístupnené pre potreby vizualizácie v rámci grafického modelu siete.

Nasledujúci obrázok opisuje jednotlivé dátové toky definované medzi jednotlivými časťami navrhovaného riešenia.



Obrázok 32 - Interné rozhrania

Nasledujúca tabuľka definuje externé rozhrania, ktoré bude potrebné implementovať pri realizácii navrhovaného riešenia.

Tabuľka 2 - Špecifikácia interných rozhraní

Rozhranie	Frekvencia	Zdroj	Cieľ	Formát
Namerané údaje z IMS meradiel	Denne alebo priebežne	Zberová centrála IMS	Databáza modelu siete	MSCONS
Prvky siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát
Prepojenia prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát
Atribúty prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát
Atribúty prepojení prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát
Namerané údaje	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát

Rozhranie	Frekvencia	Zdroj	Cieľ	Formát
Výsledky simulácií a analýz	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát
Prvky siete	Na vyžiadanie	Modelovanie a vizualizácia	Databáza modelu siete	vlastný formát
Prepojenia prvkov siete	Na vyžiadanie	Modelovanie a vizualizácia	Databáza modelu siete	vlastný formát
Atribúty prvkov siete	Na vyžiadanie	Modelovanie a vizualizácia	Databáza modelu siete	vlastný formát
Atribúty prepojení prvkov siete	Na vyžiadanie	Modelovanie a vizualizácia	Databáza modelu siete	vlastný formát
Prvky siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Simulácie a analýzy	vlastný formát
Prepojenia prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Simulácie a analýzy	vlastný formát
Atribúty prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Simulácie a analýzy	vlastný formát
Atribúty prepojení prvkov siete	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Simulácie a analýzy	vlastný formát
Namerané údaje	Na vyžiadanie	Databáza modelu siete	Simulácie a analýzy	vlastný formát
Výsledky simulácií a analýz	Na vyžiadanie	Simulácie a analýzy	Databáza modelu siete	vlastný formát
Výsledky simulácií a analýz	Na vyžiadanie	Simulácie a analýzy	Modelovanie a vizualizácia	vlastný formát

6 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 - IMS v logickej architektúre riešenia	21
Obrázok 2 - Celková architektúra inteligentného meracieho systému	22
Obrázok 3 - Integrácia IMS v rámci riešenia	22
Obrázok 4 - Architektúra pre IoT	24
Obrázok 5 - IoT v logickej architektúre riešenia	25
Obrázok 6 - Integrácia IoT v rámci riešenia	26
Obrázok 7 - Prepojenie digitálneho dvojčat'a s reálnym svetom	27
Obrázok 8 - Model procesov s využitím digitálneho dvojčat'a	28
Obrázok 9 - Digitálne dvojča v logickej architektúre riešenia	29
Obrázok 10 - Integrácia digitálneho dvojčat'a v rámci riešenia	29
Obrázok 11 - Modelovanie siete v logickej architektúre riešenia	37
Obrázok 12 - Integrácia modelovania siete v rámci riešenia	37
Obrázok 13 - Ukážka systému LUG	40
Obrázok 14 - Ukážka systému ETAP	40
Obrázok 15 - Ukážka systému Power World Simulator	42
Obrázok 16 - Ukážka systému EasyPower	43
Obrázok 17 - Typy licencií porovnávaných simulačných systémov	44
Obrázok 18 - Licencovanie podľa počtu prípojnic	44
Obrázok 19 - Porovnanie funkcionality simulačných systémov	44
Obrázok 20 - Ukážka vizualizácie výsledkov simulácie	50
Obrázok 21 - Simulácie siete v logickej architektúre riešenia	56
Obrázok 22 - Integrácia simulácií siete v rámci riešenia	57
Obrázok 23 - Základné oblasti riešenia	64
Obrázok 24 - Hrubý návrh riešenia	65
Obrázok 25 - Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry	66
Obrázok 26 - Funkčné oblasti časti pre zberovú centrálu IMS	67
Obrázok 27 - Funkčné oblasti časti pre databázu modelu siete	71
Obrázok 28 - Funkčné oblasti časti pre modelovanie a vizualizáciu	74
Obrázok 29 - Funkčné oblasti časti pre simulácie a analýzy	77
Obrázok 30 - Referenčná architektúra	81
Obrázok 31 - Externé rozhrania	84
Obrázok 32 - Interné rozhrania	86

7 ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1 - Špecifikácia externých rozhraní.....</i>	85
<i>Tabuľka 2 - Špecifikácia interných rozhraní.....</i>	86

8 ZDROJE

1. Analýza riešenej problematiky

- back-to-back converter fed village microgrid. In: 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe) [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 1-5 [cit. 2020-11-22]. ISBN 978-1-4244-8508-6. Dostupné z: doi:10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638991
- BORDONS, Carlos, Félix GARCIA-TORRES a Miguel A. RIDAO. Model Predictive Control of Microgrids [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020 [cit. 2020-11-21]. Advances in Industrial Control. ISBN 978-3-030-24569-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-24570-2
- Microgrid: Advanced Control Methods and Renewable Energy System Integration DOU, Chun-Xia, Shi-Jiu JIN, Guo-Tao JIANG a Zhi-Qian BO. Multi-Agent Based Control Framework for Microgrids. In: 2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference [online]. IEEE, 2009, 2009, s. 1-4 [cit. 2020-11-22]. ISBN 978-1-4244-2486-3. Dostupné z: doi:10.1109/APPEEC.2009.4918505
- VOLČKO, Vladimír a Žaneta ELESCHOVÁ. *Smart grid - vplyv na prevádzku, bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy: dát. obhaj. 16.12.2015, č. ved. odb. 5-2-30*. Bratislava: STU v Bratislave FEI, 2015.
- Prof. Ing. Michal Kolcun, PhD. – Ing. Vojtech Griger: Riadenie prevádzky elektrizačnej sústavy. 1.vyd. Košice: Mercury – Smékal, 288s. 2003. ISBN 80-89061-76-1
- A small town in Germany becomes a testing ground for a smart grid by Energiewende Team 13 Nov 2014
<https://energytransition.org/2014/11/wildpoldsried-testing-ground-for-smart-grid/>
- MVV Mannheim-Wallstadt Microgrid
<https://microgrid-symposiums.org/microgrid-examples-and-demonstrations/mvv-mannheim-wallstadt-microgrid/>
- UC San Diego Microgrid
<https://microgrid-symposiums.org/microgrid-examples-and-demonstrations/uc-san-diego-microgrid/>
- Local energy system in Simris
<https://www.eurelectric.org/stories/dso/local-energy-system-in-simris/> UC San Diego Microgrid PEPPANEN, Jouni, Matthew J. RENO, Robert J. BRODERICK a Santiago GRIJALVA. Distribution System Model Calibration With Big Data From AMI and PV Inverters. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2016, 7(5), 2497-2506 [cit. 2021-01-25]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2016.2531994
- BERRISFORD, Andrew John. A tale of two transformers: An algorithm for estimating distribution secondary electric parameters using smart meter data. In: 2013 26th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 1-6 [cit. 2021-01-25]. ISBN 978-1-4799-0033-6. Dostupné z: doi:10.1109/CCECE.2013.6567690
- SHORT, Tom A. Advanced Metering for Phase Identification, Transformer Identification, and Secondary Modeling. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2013, 4(2), 651-658 [cit. 2021-01-26]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2012.2219081
- REN, Hongda, Noel N. SCHULZ, Venkat KRISHNAN a Yingchen ZHANG. Online Static Load Model Estimation in Distribution Systems. In: 2019 IEEE 28th International Symposium on

- Industrial Electronics (ISIE)* [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 153-158 [cit. 2021-01-26]. ISBN 978-1-7281-3666-0. Dostupné z: doi:10.1109/ISIE.2019.8781530
- PEPPANEN, Jouni, Matthew J. RENO, Robert J. BRODERICK a Santiago GRIJALVA. Distribution System Model Calibration With Big Data From AMI and PV Inverters. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2016, 7(5), 2497-2506 [cit. 2021-01-26]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2016.2531994
 - LE, Trong Nghia, Wen-Long CHIN, Dang Khoa TRUONG a Tran Hiep NGUYEN. Advanced Metering Infrastructure Based on Smart Meters in Smart Grid. EISSA, Moustafa, ed. *Smart Metering Technology and Services - Inspirations for Energy Utilities* [online]. InTech, 2016, 2016-06-29 [cit. 2021-01-26]. ISBN 978-953-51-2451-1. Dostupné z: doi:10.5772/63631
 - EISSA, Moustafa, ed. *Smart Metering Technology and Services - Inspirations for Energy Utilities* [online]. InTech, 2016 [cit. 2021-01-27]. ISBN 978-953-51-2451-1. Dostupné z: doi:10.5772/61356
 - <https://www.engineering.sk/clanky2/informacne-technologie/3868-vlastnosti-systemov-digitalnych-dvojciat>
 - <http://www.posterus.sk/?p=13840>
 - MALINDŽAK, D, a kol.: Modelovanie a simulácia v logistike: Košice 2009 ISBN 978-80-533-0265-2 MARKL, J.: Učebné texty k predmetu Petriho sítě I. [online]. Ostrava: VŠB TU – FEI. [s.a.]. Aktualizované 26.9.2006
 - BRANDT, S. et al.: Edge colouring by total labellings In: *Discrete Mathematics*. Vol. 310, no. 2 (2010), ISSN 0012-365X
 - LEŠČIŠIN, M., LÍBAL, V., ŠPERLICH, A.: Organizácia a riadenie výroby: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava.
 - ALÁČ, P., RAŠNER, J.: Model logistického reťazca s využitím metód sietí a analýzy úžitku, In: *Transfer inovácií*. č. 11 (2008), ISSN 1337-7094.
 - MADARÁSZ, L., et al.: Rozhodovanie, zložitosť a neurčitost': teória a prax / - 1. vyd - Košice: Elfa - 2010 ISBN 978-80- 8086-142-1
 - BOROWIECKI, P., et al.: Parity vertex colouring of graphs 2011 In: *Discussiones Mathematicae: Graph Theory*. Vol. 31, no. 1 ISSN 1234-3099
 - HRÚZ, B., MRAFKO, L.: Modelovanie a riadenie udalostných dynamických systémov s využitím Petriho sietí a iných nástrojov Vydavateľstvo STU v Bratislave. ISBN 80-227-1883-1
 - <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/19-2011/pdf/049-051.pdf>
 - <https://www.geenergyconsulting.com/practice-area/software-products>
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Power_systems_CAD
 - <https://uk.mathworks.com/solutions/wireless-communications.html>
 - https://www.fei.stuba.sk/buxus/docs/2015/autoreferaty/autoref_MK.pdf programy
 - https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147204
 - <https://etap.com/product/load-flow-software>
 - <https://www.powerworld.com/products/simulator/overview>
 - Bakalárska práca – „Porovnaní programů pro síťové výpočty“
 - <https://www.easypower.com/>
 - <https://www.pscad.com/software/pscad/overview>

- <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/41288/final-thesis.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/PJES/Skriptum_NoprEfinal.pdf
- <https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/%C5%98%C3%ADzen%C3%AD%20a%20stabilita%20elektriza%C4%8Dn%C3%AD%20soustavy.pdf>
- http://www.itspy.cz/wp-content/uploads/2017/11/IT_SPY_2017_Diplomov_prce_12.pdf
- <https://www.energia.sk/predikcia-variabilneho-portfolia-spotreby-a-vyroby-energie/>
- <https://www.slideshare.net/PeterLaurinec/banalytics>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790617320645>
- LAU, H.C.W., E.N.M. CHENG, C.K.M. LEE a G.T.S. HO. A fuzzy logic approach to forecast energy consumption change in a manufacturing system. *Expert Systems with Applications* [online]. 2008, **34**(3), 1813-1824 [cit. 2021-02-02]. ISSN 09574174. Dostupné z: doi:10.1016/j.eswa.2007.02.015
- <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/kratkodoba-predikcia-vyroby-fotovoltackej-energie-pre-potreby-napajania-inteligentnych-budov-1/>
- <https://www.efocus.sk/images/uploads/6.Rajcan.pdf>
- https://www.fei.stuba.sk/buxus/docs/2019/AUTOREFERAT_Zuscak.pdf
- http://www.kves.utc.sk/kvesnew/dokumenty/Clanky_studentov/Pevny,%20P.%20Predikcia%20Ovykonu%20veternej%20elektrarne.pdf
- <https://www.slideserve.com/erno/technick-univerzita-v-ko-iciach-fakulta-elektrotechniky-a-informatiky-katedra-elektroenergetiky-prezent-cia-na-konfere>
- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY 2009/72/ES z 13. júla 2009 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou, ktorou sa zrušuje smernica 2003/54/ES
[Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/72/ES z 13. júla 2009 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou, ktorou sa zrušuje smernica 2003/54/ES \(gov.sk\)](#)
- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2018/2002 z 11. decembra 2018, ktorou sa mení smernica 2012/27/EÚ o energetickej efektívnosti
[Smernica Európskeho parlamentu a Rady \(EÚ\) 2018/2002 z 11. decembra 2018, ktorou sa stanovuje európsky kódex elektronických komunikácií \(prepracované znenie\)Text s významom pre EHP. \(europa.eu\)](#)
- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2018/2001 z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (prepracované znenie)
[SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY \(EÚ\) 2018/2001 - z 11. decembra 2018 - o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov \(europa.eu\)](#)
- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2018/844 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 2010/31/EÚ o energetickej hospodárnosti budov a smernica 2012/27/EÚ o energetickej efektívnosti
[Smernica Európskeho parlamentu a Rady \(EÚ\) 2018/844 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 2010/31/EÚ o energetickej hospodárnosti budov a smernica 2012/27/EÚ o energetickej efektívnosti \(europa.eu\)](#)
- NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2018/1999 z 11. decembra 2018 o riadení energetickej únie a opatrení v oblasti klímy, ktorým sa menia nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 663/2009 a (ES) č. 715/2009, smernice Európskeho parlamentu a Rady 94/22/ES, 98/70/ES, 2009/31/ES, 2009/73/ES, 2010/31/EÚ, 2012/27/EÚ a 2013/30/EÚ,

smernice Rady 2009/119/ES a (EÚ) 2015/652 a ktorým sa zrušuje nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 525/2013
[L_2018328SK.01000101.xml \(europa.eu\)](#)

- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2019/944 z 5. júna 2019 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a o zmene smernice 2012/27/EÚ (prepracované znenie)
[SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY \(EÚ\) 2019/ 944 - z 5. júna 2019 - o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a o zmene smernice 2012/ 27/ EÚ \(europa.eu\)](#)
- NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2019/942 z 5. júna 2019, ktorým sa zriaďuje Agentúra Európskej únie pre spoluprácu regulačných orgánov v oblasti energetiky (prepracované znenie)
[NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY \(EÚ\) 2019/ 942 - z 5. júna 2019, - ktorým sa zriaďuje Agentúra Európskej únie pre spoluprácu regulačných orgánov v oblasti energetiky \(europa.eu\)](#)
- NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2019/941 z 5. júna 2019 o pripravenosti na riziká v sektore elektrickej energie a o zrušení smernice 2005/89/ES
[NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY \(EÚ\) 2019/ 941 - z 5. júna 2019 - o pripravenosti na riziká v sektore elektrickej energie a o zrušení smernice 2005/ 89/ ES \(europa.eu\)](#)
- Poláček & Partners ZIMNÝ ENERGETICKÝ BALÍČEK EURÓPSKEJ ÚNIE
[zimny-energeticky-balicek.pdf \(polacekpartners.sk\)](#)
- Slovensko má v Senci prvú veľkokapacitnú batériu
[Slovensko má v Senci prvú veľkokapacitnú batériu - vEnergetike.sk \(webnoviny.sk\)](#)
- Smart grid projekt ACON
[10.4 Smart grid projekt ACON | Elektroenergetika | Projekty spoločného záujmu \(PCI\) | Medzinárodná spolupráca | Energetika | MHSR \(gov.sk\)](#)
- Projekt Danube InGrid uľahčí integráciu obnoviteľných zdrojov
[Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s. \(sepsas.sk\)](#)

2. POŽIADAVKY NA RIEŠENIE

Interné materiály a dokumentácia spoločnosti SFÉRA, a.s.

3. HRUBÝ NÁVRH RIEŠENIA

Interné materiály a dokumentácia spoločnosti SFÉRA, a.s.

4. NÁVRH RIEŠENIA

Interné materiály a dokumentácia spoločnosti SFÉRA, a.s.

5. ROZHRANIA RIEŠENIA

Interné materiály a dokumentácia spoločnosti SFÉRA, a.s.