

Analýza vonkajších vplyvov a vzájomných interakcií prvkov ES na dátové štruktúry modelov

*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 978-80-89778-08-9
© 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:

Kosa Jozef, Slávik Jakub, Novotný Jozef, Gulášová Anna, Moško Daniel

Ostatní autori:

Čecho Miroslav, Ščípa Vladimír, Jarásová Dagmar, Liptáková Lucia, Pražienková Svetlana, Pružinec Matúš, Jedinák Radovan, Mitaš Rastislav, Kaňuk Martin, Vannay David, Drgoňa Jozef, Bartek Tomáš, Deák Tomáš, Dovalová Lívia

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA	6
2.1	Analýza a definovanie zoznamu vonkajších vplyvov na prvky elektrizačnej sústavy	6
2.1.1	Straty a faktory ovplyvňujúce straty v elektrizačnej sústave	6
2.1.2	Faktor výkonu, vplyv jalového výkonu, deformačného výkonu a výkonov nesymetrie na straty v sústave	7
2.1.2.1	Faktor výkonu	7
2.1.2.2	Deformačný výkon	8
2.1.3	Celkové straty jalového výkonu na vybraných prvkoch ES	9
2.2	Prechodné javy v elektrizačnej sústave	10
2.2.1	Skraty v elektrizačnej sústave	10
2.2.1.1	Skraty v elektrizačnej sústave – vznik, príčiny a druhy	10
2.2.1.2	Trojfázový skrat napájaný ideálnym napäťovým zdrojom	11
2.2.1.3	Skrat na svorkách synchronného stroja	12
2.2.1.4	Nesymetrické skraty a iné nesymetrické poruchy	12
2.2.1.5	Praktický výpočet skratov	13
2.2.1.6	Definície	13
2.2.1.7	Účinky skratových prúdov	14
2.2.2	Zemné spojenia v elektrizačnej sústave	15
2.2.3	Vplyv atmosférických prepätí	16
2.2.3.1	Čo je to prepätie?	16
2.2.3.2	Atmosférické prepätie	16
2.2.3.3	Spínacie prepätia	18
2.2.3.4	Elektrostatické prepätia	19
2.2.3.5	Nukleárna explózia	19
2.2.3.6	Ochranná činnosť prepäťových ochrán	19
2.2.3.7	Triedy ochrán a ich použitie	19
2.2.4	Využitie informačno komunikačných technológií pri riadení distribučných sietí	20
2.2.4.1	Systémy automatizácie distribučných sietí	20
2.2.4.2	Vplyv na krátkodobé výpadky	21
2.2.4.3	Spôľahlivosť komunikačného systému	22
2.2.4.4	Samoliečiace sa siete	23
3	OBNOVITEL'NÉ ZDROJE ENERGIE	24
3.1	Vodná energia	24
3.2	Veterná energia	25
3.2.1	Vplyvy, ktoré majú dopad na výkon veternej elektrárne a výrobu elektrickej energie	26
3.2.1.1	Straty znečistením listov turbíny	26
3.2.1.2	Časové straty	26
3.2.1.3	Rôzne straty	26
3.3	Slnecná energia	26
3.4	Biopalivá	28
3.5	Geotermálna energia	30
3.5.1	Spôsob výroby elektrickej energie v geotermálnej elektrárni	30

4	MIKROGRIDY	31
4.1	Koncepcia mikrogridu	31
4.2	Vplyv mikrogridu na distribučnú sústavu v prípade jeho paralelnej prevádzky s nadradenou sieťou	31
4.2.1	Súčasný stav distribučných sústav	31
4.2.2	Modernizácia distribučných sústav	33
4.3	Vplyvy sietí mikrogrid na prenosovú sústavu	35
4.3.1	Vplyvy sietí mikrogrid na napäťovú stabilitu prenosovej sústavy	37
4.3.2	Vplyvy sietí mikrogrid na statickú stabilitu veľkých synchrónnych generátorov	39
4.3.3	Vplyvy sietí mikrogrid na dynamickú stabilitu sústavy	39
4.3.4	Rizikové faktory pre prenosovú sústavu	40
4.3.5	Vplyv sietí mikrogrid na odberateľov	41
5	INTELIGENTNÉ SIETE	43
5.1	Vplyv na odberateľa	43
5.2	Vplyv odberateľa na kvalitu elektrickej energie	48
5.3	Riadenie spotreby	55
5.3.1	Centralizované a decentralizované riadenie	57
5.4	Lokálna výroba na strane koncového odberateľa - modelový príklad z projektu ADDRESS	64
5.5	Vplyv na odberateľa	71
5.5.1	Dôsledky zavedenia Inteligentných sietí	71
5.5.1.1	Obchodovanie s elektrickou energiou	71
5.5.1.2	Preferencie obchodného riadenia	72
5.5.1.3	Lokálne ceny elektriny	72
5.5.1.4	Konkrétne inteligentné tarify a ich využitie v domácnostiach	73
6	INTELIGENTNÉ MERANIA	74
6.1	Inteligentný elektromer – benefity, požiadavky, konfigurácia a monitoring v konceptoch inteligentných elektrických sietí	74
6.2	Inteligentný elektromer v distribučných sieťach	78
6.3	Úloha komunikačných protokolov a štandardov v inteligentných distribučných sieťach	79
6.3.1	Komunikačné protokoly	80
6.4	Požiadavky na šírku pásma pre distribučnú sieť s inteligentnými elektromermi	87
6.5	Komunikačné pokrytie distribučnej siete s inteligentnými elektromermi	88
7	MODELOVANIE SIETE	89
7.1	Možnosti modelovania vonkajších vplyvov, resp. podmienky, za akých vonkajšie vplyvy namodelovať	89
7.2	Počítačové simulácie vonkajších faktorov vplyvajúcich na stabilitu elektrizačnej sústavy	90
7.3	Rozsah simulačných modelov elektrizačnej sústavy uvádzaných v sieťových predpisoch	92
7.4	Simulačné modely elektrizačnej sústavy pri zavádzaní konceptu mikrogrid	94
8	ZÁVER	97
9	ZDROJE	100

1 ÚVOD

Dokument bol vytvorený, zavedený a udržiavaný v súlade s cieľom Aktivity č.5: „Priemyselný výskum v oblasti optimalizácie dátových štruktúr prvkov elektrizačnej sústavy pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí / mikrogridov“; konkrétne pre míľnik č.2 „Analýza vonkajších vplyvov a vzájomných interakcií prvkov elektrizačnej sústavy v ustálených a prechodových javoch na dátové štruktúry modelov“.

Elektrizačná sústava (ES) predstavuje komplexný nelineárny dynamický systém kybernetického typu. Prepojením jeho jednotlivých prvkov a vďaka veľkému množstvu spätných väzieb medzi nimi systém získava nové vlastnosti, ktoré by jednotlivé prvky tohto systému nemali.

Základnou podmienkou prevádzky ES je spoľahlivá, kvalitná a hospodárna dodávka elektrickej energie spotrebiteľom. Z toho dôvodu je snaha predchádzať všetkým porúcham, výpadkom a generovaniu nadmerných elektrických strát. Preto je nutné sledovať a merať elektrické veličiny, ako napr. priebehy prúdov a napätí, prepätia, úbytky napätí, asymetriu napätí vo fázach, vyššie harmonické, zmenu a kolísanie frekvencie napätia a ďalšie.

ES predstavuje zložitý fyzikálny systém, v ktorom neustále prebiehajú prechodné deje a snaha zabezpečiť rovnováhu medzi spotrebou a výrobou. 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.

ES bude musieť prechádzať významnými zmenami, ktoré sa nezaobídu bez matematického modelovania energetických komponentov v lokálnych energetických sústavách, bez simulácií vytypovaných dejov v nich a simulácií pre zisťovanie ich vplyvu na prenosovú a distribučnú sústavu.

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.

Simulačné modely elektrizačných sústav sú v súčasnosti uznávaným nástrojom na analýzu ES jednak v ustálených stavoch, ale najmä v prechodných režimoch. Dôvodom je hlavne zložitosť a veľkosť takýchto systémov.

Problém modelovania a identifikácie parametrov modelov komponentov ES je náročný proces. Štruktúra modelu sa docieľi použitím teoretických poznatkov z elektrizačných sústav. Úlohou identifikácie je zabezpečiť numerické hodnoty pre parametre takéhoto modelu.

S plánovaným rozvojom inteligentných sietí a zavádzaním nových technológií prichádzajú úvahy o tom, či súčasný spôsob výpočtu sietí je dostatočne vypovedajúci s ohľadom na náhodný a premenný charakter nových zdrojov a odberov. Či existujúce vstupy do doterajších výpočtov, ktoré sú presne špecifikované, nie je vhodnejšie nahradiť opisom stavu vo forme ich pravdepodobnostného správania sa.

Na verifikovanie predpokladaného správania sa rôznych elektrických prvkov ES a ich vzájomných interakcií v ustálených resp. prechodných stavoch sa používajú simulácie. Simulácie tiež slúžia aj na testovanie efektívnosti a optimalizáciu riadiacich a kontrolných stratégií. Analýza výsledkov simulácií tiež pomáha odhaliť kritické oblasti už pri návrhu siete alebo v jej predpokladanej prevádzke.

2 ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA

2.1 Analýza a definovanie zoznamu vonkajších vplyvov na prvky elektrizačnej sústavy

2.1.1 Straty a faktory ovplyvňujúce straty v elektrizačnej sústave

Jediným objektívnym spôsobom určenia veľkosti strát je za pomoci merania. Rozoznávame dva druhy strát v súvislosti s výrobou, prenosom a spotrebou elektrickej energie:

- Straty činného výkonu
- Straty činnej energie

Pri posudzovaní strát činného výkonu z časového hľadiska je potrebné rozlišovať:

- Okamžitý činný výkon
- Činný výkon za jednu periódu sieťovej frekvencie
- Priemernú hodnotu činného výkonu za istý čas

Rozdelenie strát z hľadiska závislosti na zaťažení daného zariadenia:

- Straty nezávislé od zaťaženia:
 - straty korónou (vonkajšie vedenia),
 - straty zvodom (vonkajšie vedenia, priechodky, izolátory),
 - straty v dielektriku (káble, transformátory - olejové, priechodky, tlmivky),
 - hysterézne straty a straty vírivými prúdmi (transformátory, tlmivky, nosné svorky na vedeniach),
 - trvalá spotreba meracích a riadiacich systémov v prenosovej sústave.
- Straty závislé od zaťaženia:
 - straty vo vinutiach jednotlivých zariadení,
 - straty na vonkajších vedeniach a kábloch,
 - straty na prechodových odporoch spojov,
 - straty v istiacich obvodoch a obvodoch ochrán

Veľkosť strát je ovplyvnená najmä:

- Veľkosťou prenášaného výkonu
- Uzlovým napätím
- Činným odporom zariadení
- Veľkosťou prechodových odporov
- Zvodovým prúdom
- Korónou
- Izolačným stavom oleja transformátorov
- Kvalitou trafoplechov
- Skin-efektom
- Poveternostnými podmienkami (vonkajšia teplota, vlhkosť, znečistenie ovzdušia)
- Napäťovou a prúdovou nesymetriou
- Obsahom vyšších harmonických
- Kývaním siete, rezonancie

2.1.2 Faktor výkonu, vplyv jalového výkonu, deformačného výkonu a výkonov nesymetrie na straty v sústave

Je možné konštatovať, že straty pri prenose sú ovplyvňované jednotlivými zložkami zdanlivého výkonu, jalovým a deformačným výkonom.

2.1.2.1 Faktor výkonu

Všetky komponenty prenosovej cesty v elektrizačnej sústave musia byť dimenzované na celkový prúd, ktorý sa skladá z činnnej a jalovej zložky. O čiastke jalovej zložky na celkovom zdanlivom výkone vypovedá účinník - $\cos \phi$.

Účinník $\cos \phi$ je kosínus uhla fázového posunu medzi 1. harmonickou napätia a prúdu. Účinník je fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje podiel činného a zdanlivého elektrického výkonu v elektrickom obvode striedavého prúdu. Vyjadruje, akú veľkú časť zdanlivého výkonu možno premeniť na užitočnú energiu. Účinník závisí na vzájomnom fázovom posune prúdu a napätia. Vypočíta sa ako kosínus tohto posunu a priamo tak sa tiež značí $\{\displaystyle \cos \varphi\}$. Účinník je bezrozmerný a jeho hodnota sa pohybuje od nuly do jednej, pričom jednotkový účinník znamená, že celý výkon je činný (fázový posun je nulový), nulový účinník znamená, že celý výkon je jalový, záťaž je čisto kapacitná alebo čisto indukčná a fázový posun je teda $\pm 90^\circ$. Nízke hodnoty účinníka znamenajú v obvode vysoké straty energie.

Zdanlivý výkon je definovaný ako jednoduchý súčin napätia a prúdu prechádzajúci obvodom. Činný výkon oproti tomu vyjadruje energiu, ktorú obvod skutočne premení na iné formy. U čisto odporových spotrebičov je činný výkon rovný zdanlivému - celý výkon je využitý. U obvodov obsahujúcich aj súčiastky kapacitné (napr. žiarivky) alebo indukčné (napr. elektromotory, zariadenia s transformátorom) je však nutné brať do úvahy vzájomnú polohu fázy prúdu a napätia. V takomto prípade sa časť výkonu, označovaná ako jalový výkon, iba prelieva obvodom a nekoná užitočnú prácu. Podiel užitočnej časti výkonu - činný výkon, je potom vyjadrený účinníkom.

Ak obvod obsahuje aj súčiastky, ktorých charakteristika nie je čisto sínusová (obsahuje vyššie harmonické), je potrebné okrem jalového výkonu uvažovať aj tzv. deformačný výkon. Tento spôsobí ďalšie zníženie činného výkonu oproti zdanlivému - výsledný účinník sa potom niekedy pre odlišenie nazýva skutočný účinník.

Pri existencii jalového, prípadne deformačného výkonu musí na zabezpečenie prenosu požadovaného výkonu prúdiť obvodom vyšší prúd, čo má za následok vyššie tepelné straty. Z tohto dôvodu sa používajú kompenzátory účinníka - elektrické prvky, ktoré umožňujú udržiavať účinník blízko ideálnej hodnoty.

Zdanlivý výkon je teda celkový výkon, v ktorom je obsiahnutá aj činná aj jalová zložka.

Striedavý prúd je nutné si predstaviť ako vektor majúci dve zložky: zložka x-ová je činná a zložka y-ová je jalová, dĺžka vektora je zdanlivý prúd. To platí aj o výkone. Teda z Pytagorovej vety plynie, že ak poznáme dva výkony, tretí údaj si vieme vypočítať. Alebo ak poznáme jednu hodnotu a účinník, ostatné si vieme vypočítať.

Kapacitný a indukčný prúd majú opačný smer (v ideálnej cievke napätie predbieha prúd o 90° a na ideálnom kondenzátore opačne, čiže prúd cievky a kondenzátora sú voči sebe otočené o 180° , teda majú opačný smer).

Jednotkou činného výkonu (označuje sa P) je W (watt). Osobitnou zákonnou meracou jednotkou (podľa Vyhlášky Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR zo 16. júna 2000 o zákonných meracích jednotkách) existuje aj jednotka VA (volt-ampér) určená na vyjadrenie zdanlivého výkonu striedavého elektrického prúdu a jednotka VAr (volt-ampér reaktančný) určená na vyjadrenie jalového elektrického výkonu.

Existuje tiež jednotka VAd (volt-ampér deformačný) zaujímavá z pohľadu riešenia obvodov, kde tečú prúdy a vyskytujú sa napätia s viacerými harmonickými (striedavý prúd s viacerými frekvenciami). $S_2 = P_2 + Q_2$.

Jednotkou činnej energie je Wh, resp. kWh [kilowatt hodina].

2.1.2.2 Deformačný výkon

Vznik deformačného výkonu D je daný používaním nelineárnych prvkov. Je možné ho eliminovať filtráciou vyšších harmonických, používaním aktívnych filtrov (PFC), prípadne inteligentným radením rôznych spotrebičov, nelineárnych a lineárnych. Vplyv výkonov nesymetrie, ktoré charakterizujú nerovnomerné zaťaženie jednotlivých fáz a následne nulového vodiča, býva v NN sústave často najväčší. Eliminácia tohto fenoménu je možná dôslednejšou analýzou rozloženia odberu a úpravou zapojenia.

Napäťová nesymetria sa považuje za problém týkajúci sa kvality. Hoci napätia na svorkách generátorov a v prenosovej sústave sú "prakticky" úplne symetrické, na úrovni distribučnej sústavy dochádza k nárastu nesymetrie predovšetkým vďaka odlišnej veľkosti impedancií jednotlivých fáz zariadení a existencii rôznych jednofázových spotrebičov. Relatívne vysoká hodnota nesymetrie môže mať značný vplyv najmä na pripojené indukčné motory. Koeficient prúdovej nesymetrie zvyčajne dosahuje násobky napäťovej nesymetrie. Výrazná nesymetria v prúdoch môže viesť k nadmerným stratám v statoroch a rotoroch motorov a môže spôsobiť deštrukciu, resp. vypnutie tepelne preťaženého motora. Hoci sú indukčné motory navrhnuté tak, aby „tolerovali“ určitú nesymetriu, pri prekročení definovanej hranice je nutné znížiť záťaž motora, resp. daný motor odpojiť od napájacej siete. Životnosť motorov sa pri zvýšenej hladine nesymetrie napätia môže značne skrátiť. Ak je indukčný motor vzhľadom na daný typ aplikácie predimenzovaný, zaisťuje sa tým čiastočná úroveň ochrany, aj keď motor nepracuje najefektívnejšie. Nesymetria napätia má tiež výrazný vplyv na pohony, ktoré sú riadené frekvenčnými meničmi. Netypické harmonické zložky prúdu, ktoré vznikajú pri existencii nesymetrie napájacieho napätia takéhoto meniča, môžu viesť k nepredpokladaným problémom napr. s kompenzáciou účinníka. Aj keď nie je možné úplne eliminovať napäťovú nesymetriu, môžeme ju udržať v rámci prijateľných hraníc.

Určité typy zariadení sú značne citlivé na nesymetriu napájacieho napätia. Napríklad, v prípade 3-fázových asynchrónnych motorov nastáva v dôsledku nesymetrie napätia prehrievanie statorového a rotorového vinutia. Rôzne usmerňovače a striedače môžu v prípade ich napájania nesymetrickým napätím generovať pre ne netypické harmonické. Ak je asynchrónny motor zaťažený menovitým výkonom a napájacie napätie je nesymetrické, potom vinutiami statora a rotora potečú prúdy väčšie ako menovité. To povedie k zníženiu efektívnosti prevádzky motora, zatiaľ čo sa v dôsledku prehrievania bude skracovať jeho predpokladaná životnosť. Okrem toho, že dôjde k zníženiu efektívnosti, nadmernému prehrievaniu a skráteniu životnosti, indukčné motory napájané nesymetrickým napätím budú hlučnejšie z dôvodu zmien momentu a pulzovania rýchlosti. Trojfázové usmerňovače sú základnou súčasťou riadených pohonov a zdrojov nepretržitého napájania – UPS. Tieto usmerňovače generujú deformovaný tvar prúdovej vlny. Ak je napätie napájania symetrické, prúdová vlna zvyčajne nadobúda tvar „dvojitého pulzu na polvlnu“.

Vytvorenie "nulovej" nesymetrie napätia v napájacom systéme je takmer nemožné, a to pre:

- náhodné pripájanie a odpájanie jednofázových záťaží,
- nerovnomerné rozloženie jednofázových záťaží medzi tri fázy,
- prirodzenú nesymetriu elektrickej siete.

Napriek tomu existuje niekoľko možností, ako možno nesymetriu a jej vplyvy potlačiť.

Potlačenie nesymetrie na strane výrobcu/distribútora elektriny:

- prerozdelením jednofázových záťaží čo možno najrovnomernejšie medzi všetky tri fázy,
- znížením nesymetrie napájacieho systému, ktorá je spôsobená rozdielnymi impedanciami jednotlivých fáz siete, napr. pri vedeniach - aplikovanie transfigurácie vedení,

- použitím pasívnych LC prvkov upravujúcich parametre vedení alebo aktívnych elektronických zariadení, ako je SVC (Static Var Compensator).

Oproti pasívnym prvkov vedia aktívne systémy dynamicky upravovať vzniknutú nesymetriu.

Potlačenie nesymetrie na strane spotrebiteľa:

- prerozdelením záťaží,
- použitím pasívnych LC prvkov alebo SVC,
- nepripájaním zariadení, ktoré sú citlivé na nesymetriu, na sieť, kde sú pripojené jednofázové záťaže,
- znížením vplyvu nesymetrie na riadené pohony inštalovaním tlmičky vhodnej veľkosti do jednosmerného obvodu pohonu.

2.1.3 Celkové straty jalového výkonu na vybraných prvkoch ES

Na všetkých prenosových prvkoch ES vznikajú straty činného i jalového výkonu v rôznej veľkosti. Ich veľkosť a vzájomný pomer sa pri prevádzke mení.

Veľkosť strát je ovplyvňovaná predovšetkým:

- vzájomným pomerom a veľkosťou pozdĺžnej a priečnej impedancie prvkov,
- napätím, na ktorom sú prvky prevádzkované,
- veľkosťou prenášaného činného a jalového výkonu.

Chovanie vybraných prenosových prvkov z pohľadu strát jalového výkonu je nasledovné:

- *Vedenia*

Priečna zložka impedancie je tvorená kapacitou vonkajšieho vedenia, ktorá je predovšetkým závislá na rozmeroch stožiarov a na konštrukcii vodičov. Priečna zložka vedenia má prevažne jalový kapacitný charakter.

Činná zložka priečnej admitancie, ktorá je závislá od zvodu a koróny vedenia, sa väčšinou pri posudzovaní strát na vedení zanedbáva.

Priečna zložka sa uplatňuje vždy pri prevádzke a najviac má na ňu vplyv prevádzkové napätie vedenia. Priečna zložka sa uplatňuje predovšetkým u nezaťažených dlhých vedení (napr. Ferrantiho jav).

Pozdĺžna zložka impedancie je tvorená odporom vedenia, čo je materiálová vlastnosť naviazaná na prierez vedenia, a pozdĺžnou reaktanciou, ktorá je naviazaná na vzájomnú indukčnosť a rozmery / usporiadanie vodičov. Pozdĺžna zložka impedancie sa uplatní pri zaťažení vedenia prúdom (zaťaženie prechádzajúcim činným a jalovým výkonom). Celkové straty jalového výkonu na vedení sú súhrnom vyššie uvedených vplyvov - sú súčtom strát jalového výkonu spojené s priečnou impedanciou na zem a strát jalového výkonu spojené so zaťažením od prenosu P a Q. Pri nezaťažených vedeniach prevláda priečna zložka (nabíjací výkon) a vedenie sa voči okolitej sieti prejavuje tak, že dodáva jalový výkon do siete. U pomerne značne zaťažených vedení prevažujú straty na pozdĺžnej zložke impedancie a vedenie sa voči okolitej sieti prejavuje tak, že spotrebovávajú jalový výkon siete.

- *Káble*

Principiálne je situácia podobná ako u vonkajších vedení. Ide o vzájomný pomer priečnej (kapacitnej) a pozdĺžnej (induktívnej) zložky strát. Z hľadiska veľkosti a rozsahu sú však rozdiely. Káble sú väčšinou kratších dĺžok, prierezy káblov sú často veľké. Priečna zložka impedancie je u káblov výrazne väčšia ako u vonkajších vedení.

- *Transformátory*

Pre transformátory je z pohľadu vplyvu na straty jalového výkonu (charakter a vzájomný vplyv priečnej a pozdĺžnej zložky) situácia iná v porovnaní s vonkajším vedením alebo káblom.

Transformátory majú ako magnetické stroje len induktívnu zložku jalových strát. Priečna zložka je naviazaná na kvalitu prevedenia magnetického obvodu a materiálov a je vyjadrená stratami naprázdno (ΔP_0 [kW]) a prúdom naprázdno (i_0 [%]). Sú ekonomickým parametrom a je možné vyrobiť rôzne investičné nákladné transformátory s rôznou veľkosťou parametrov. Pozdĺžna zložka je impedancia a je vyjadrená napätím nakrátko (u_k [%]) a stratami nakrátko (ΔP_k [kW]). Straty naprázdno a prúd naprázdno sa uplatnia u všetkých transformátoroch v prevádzke bez ohľadu na ich zaťaženie. Pozdĺžne straty sa uplatnia pri prenose výkonu P a Q cez transformátor.

V elektrických sieťach spôsobuje jalová energia nárast sieťového prúdu pre danú činnú energiu prenášanú k záťažiam. Hlavné dôsledky sú:

- nutnosť predimenzovania prenosových a distribučných vedení,
- zvýšený výskyt poklesov napätí a podpätia pozdĺž distribučných vedení,
- zvýšené výkonové straty.

To má za následok zvýšenie nákladov za elektrinu pre priemyselných odberateľov, pretože:

- väčšina dodávateľov penalizuje prekročenie odberu jaloviny,
- zvyšuje sa celková požiadavka na odber KVA,
- zvyšuje sa celková spotreba v rámci samotnej inštalácie.

2.2 Prechodné javy v elektrizačnej sústave

2.2.1 Skraty v elektrizačnej sústave

2.2.1.1 Skraty v elektrizačnej sústave – vznik, príčiny a druhy

Skratom v elektrizačnej sústave rozumieme vzájomné vodivé spojenie rozličných fáz sústavy, prípadne jednej alebo viacerých fáz so zemou v sústave s uzemneným uzlom transformátora. Pri skrate nastáva v dôsledku spojenia nakrátko vyradenie spotrebičov respektíve časti ES z elektrického obvodu, tým impedancia skratového obvodu voči impedancii pred poruchou veľmi klesá. V mieste skratu dochádza k poklesu napätia, pričom do miesta poruchy tečú skratové prúdy zo všetkých zdrojov ES a to podľa ich veľkosti výkonu a vzdialenosti od miesta skratu.

Pri spojení jednej fázy so zemou v sústave s izolovaným uzlom transformátora alebo v kompenzovanej sústave nastáva jednofázové zemné spojenie, ktoré nemusí byť okamžite odpojené, ale môže byť za určitých podmienok prevádzkované.

Podľa veľkosti impedancie, ktorá spája fázy navzájom medzi sebou alebo fázu so zemou, poznáme skraty:

- dokonalé,
- nedokonalé.

Dokonalý skrat (kovový skrat) je spojenie fáz alebo fázy a zeme so zanedbateľnou impedanciou. Pri dokonalom skrate je napätie v mieste skratu prakticky nulové.

Nedokonalý skrat predstavuje spojenie fáz alebo fázy a zeme cez impedanciu, ktorú nemožno zanedbať. Nedokonalý skrat je sprevádzaný vznikom **elektrického oblúka**, pri ktorom je skratový prúd obmedzený vonkajšou impedanciou elektrického obvodu a rezistenciou elektrického oblúka, niekedy sa nazýva aj oblúkovým skratom. Môže vzniknúť krátkodobým prepätím napr. preklenutím izolácie (napr. pri vonkajších vedeniach dotykom vetví, u káblových vedení porušením izolácie) alebo chybnou manipuláciou (napr. pri vypínaní odpojovača môže vzniknúť elektrický oblúk, ktorý sa ionizáciou prostredia preniesie medzi póly a vznikne oblúkový skrat). Nedokonalý skrat je sprevádzaný značným vývinom tepla a žiarením, ktoré spôsobuje nadmerné oteplenie zariadení v blízkosti elektrického oblúka a tým i nebezpečie vzniku požiaru a ohrozenie osôb obsluhujúcich elektrické zariadenia.

V trojfázových sústavách podľa počtu spojených fáz medzi sebou a ich spojenia so zemou poznáme skrat:

- trojfázový,
- dvojfázový zemný,
- dvojfázový,
- jednofázový.

Účinky skratov: tepelné - dynamické - prepätia - porušenie synchronizmu paralelne spolupracujúcich ES - silové namáhanie.

Príčiny skratov: chyba materiálu - mech. poškodenie izolácie - vonkajšie vplyvy (blesk).

V prípade, keď sú skratované všetky tri fázy, hovoríme o **súmernom skrate**, ostatné prípady sú **skraty nesúmerné**. Pravdepodobnosť vzniku jednotlivých druhov skratov udáva tab. 1.

Tabuľka 1 - Pravdepodobnosť výskytu rôznych druhov skratov

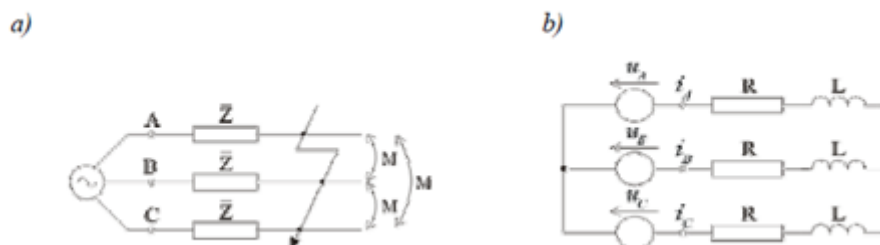
Druh skratu	Relatívna pravdepodobnosť výskytu (%)		
	vn	siete 110 kV	siete 220 kV
Trojfázový	5	0,4	0,9
Dvojfázový	10	4,8	0,6
Dvojfázový zemný	20	3,8	5,4
Jednofázový	65	91	93,1

V kompenzovaných sieťach 22kV je asi 65% zemných spojení.

Aj keď pôsobenie skratových prúdov môže byť krátkodobé, vzhľadom na ich veľkosť môžu byť silové (dynamické) a tepelné účinky nebezpečné pre elektrické prvky a zariadenia sústavy. Pri zemných skratoch môžu nastať nebezpečné vplyvy i na paralelných telekomunikačných vedeniach. Pre čo najrýchlejšie odstránenie poruchy a zabránenie veľkým škodám na zariadeniach elektrizačnej sústavy musí byť zariadenie alebo časť ES so skratom urýchlene odpojená od sústavy. Túto funkciu v sústave vvn a zvn plnia elektrické ochrany, ktoré dávajú povel výkonovým vypínačom na odpojenie od sústavy. V sieťach vn túto funkciu plnia vn poistky a ochrany a v rozvodných sieťach nn sú to poistky a ističe.

2.2.1.2 Trojfázový skrat napájaný ideálnym napät'ovým zdrojom

Základné poznatky o elektromagnetických prechodných javoch v ES odvodíme na príklade trojfázového skratu napájaného ideálnym zdrojom harmonického napätia.



Obrázok 1 - 3fázový skrat napájaný ideálnym napät'ovým zdrojom (a) všeobecná schéma, b) náhradná schéma)

Skratom v elektrizačnej sústave rozumieme vzájomné vodivé spojenie rozličných fáz sústavy, prípadne jednej alebo viacerých fáz so zemou v sústave s uzemneným uzlom transformátora.

Keď sú skratované všetky tri fázy hovoríme o súmernom skrate, ostatné prípady sú skraty nesúmerné.

Skratový prúd v každej fáze môžeme rozdeliť na dve zložky a to ustálenú zložku skratového prúdu (predstavuje striedavú zložku skratového prúdu) a jednosmernú zložku skratového prúdu.

2.2.1.3 Skrat na svorkách synchronného stroja

Prechodné javy v obvodoch s točivými strojmi sa odlišujú od prechodných javov v statických sústavách a to hlavne:

- Počas prechodného javu sa menia uhlové rýchlosti rotorov elektrických strojov, takže prechodný jav je ovplyvňovaný zotrvačnosťou otáčajúcich sa generátorov. To značí, že pri analýze prechodných javov je treba rešpektovať okrem elektromagnetických prechodných javov aj javy mechanické – teda treba uvažovať aj elektromechanické prechodné javy.
- Vlastné a vzájomné indukčnosti jednotlivých fáz synchronného stroja nie sú konštanty. Ich veľkosť sa mení s polohou rotora voči statoru. Sú periodickými funkciami uhla medzi osou budiaceho vinutia a osou vinutia príslušnej fázy.
- Pri rešpektovaní nasýtenia aktívneho železa elektrických strojov sa do výpočtov vnášajú nelinearity a po ich zanedbaní nepresnosti.

Pre odvodenie matematického modelu synchronného stroja použijeme tri rovnice pre vinutia statora vzájomne posunuté o 120°, budiace vinutie napájané jednosmerným prúdom a dve tlmiace vinutia. Pri odvodení použijeme Parkovu transformáciu do osí d a q .

- Pri trojfázovom skrate na svorkách synchronného stroja vzniká v statorovom vinutí skratový prúd, ktorý môžeme rozložiť do striedavej a jednosmernej zložky. Striedavá zložka skratového prúdu je symetrická podľa časovej osi a je možné ju rozdeliť na zložku rázovú, prechodnú a ustálenú.
- U synchronných strojov s vyjadrenými pólmi sa jednosmerná zložka v statorovom vinutí prejavuje aperiodickými kyvmi, ktoré vznikajú tým, že magnetické pole vytvorené týmto prúdom pulzuje s dvojnásobnou frekvenciou pri otáčaní rotora s vyjadrenými pólmi, vzhľadom k rôznej magnetickej vodivosti v smere pozdĺžnej a priečnej osi.
- Budiaci prúd pri skrate pozostáva z jednosmerného budiaceho prúdu dodávaného pred aj počas skratu z budiča, z jednosmernej zložky indukovanej poľami od zanikajúcich striedavých zložiek statorového prúdu, ktorý sa otáča synchronne s rotorom, a zo striedavej zložky indukovanej poľom klesajúcej jednosmernej zložky statorového prúdu.
- Prúd tlmiaceho vinutia pri skrate má obdobné dve zložky od striedavej a jednosmernej zložky statorového prúdu.

2.2.1.4 Nesymetrické skraty a iné nesymetrické poruchy

Najčastejšími poruchami spôsobujúcimi v ES poruchové prevádzkové stavy sú nesymetrické skraty. K nesymetrickým poruchám môžeme zaradiť aj pôsobenie oblúka pri skrate alebo inej poruche a tiež prerušenie niektorej z fáz.

- Trojfázový skrat
- Jednofázový skrat
- Dvojfázový skrat
- Dvojfázový zemný skrat
- Vplyv oblúka pri skrate
- Prerušenie jednej fázy
- Prerušenie dvoch fáz

2.2.1.5 Praktický výpočet skratov

Výpočet skratových prúdov v trojfázových sústavách v praxi sa vykonáva podľa normy STN EN 60909. Norma STN EN 60909 platí na výpočet skratových prúdov:

- v trojfázových striedavých sústavách nn,
- v trojfázových striedavých sústavách vysokého, veľmi vysokého a zvlášť vysokého napätia pri menovitej frekvencii 50 Hz alebo 60 Hz.

Sústavy s najvyššími napätiami 550 kV a vyššími, s dlhými prenosovými vedeniami vyžadujú zvláštne postupy riešenia. Uvedená norma stanovuje základné, použiteľné a stručné postupy vedúce k výsledkom, ktoré zaručujú požadovanú presnosť. Pri metodike výpočtu využitej v tejto norme uvažujeme v mieste skratu ekvivalentný napäťový zdroj, pričom sa nevylučuje použitie špeciálnych metód, napr. metódy superpozície. Zaoberá sa výpočtom skratových prúdov pre prípad súmerných aj nesúmerných skratov. Skratové prúdy a skratové impedancie môžeme určiť pomocou skúšok, meraní na sieťovom analyzátore, alebo výpočtom.

Výpočet skratových impedancií vychádza z menovitých údajov elektrických zariadení a topologického usporiadania sústavy a má tú výhodu, že sa môže používať pre jestvujúce i navrhované sústavy. Výpočtom sa zisťujú dva rôzne skratové prúdy, ktoré sa líšia svojou veľkosťou a to:

- maximálny skratový prúd, ktorý určuje skratovú odolnosť alebo menovité parametre elektrického zariadenia,
- minimálny skratový prúd, ktorý môže byť základom napr. pre voľbu poistiek, nastavenia parametrov ochrán a na kontrolu rozbehu motorov.

2.2.1.6 Definície

Skrat – náhodné alebo úmyselné vodivé spojenie dvoch alebo viacerých bodov obvodu, ktoré vedú k tomu, že rozdiel elektrických potenciálov medzi týmito vodivými časťami je rovný nule, alebo má hodnotu blízku nule.

Medzifázový skrat – náhodné alebo úmyselné vodivé spojenie dvoch alebo viac bodov obvodu so spojením so zemou, alebo spojených len navzájom.

Skrat medzi fázou a zemou – náhodné alebo úmyselné vodivé spojenie medzi vodičom a zemou v sústave s uzemneným uzlom transformátora.

Skratový prúd – nadprúd, ktorý vznikne pri skrate v elektrickej sieti.

Predpokladaný skratový prúd – prúd, ktorý by pretekal obvodom, ak by bol skrat nahradený ideálnym spojením so zanedbateľnou impedanciou bez zmeny napájania.

Začiatkový rázový skratový prúd I_k'' – efektívna hodnota striedavej súmernej zložky predpokladaného skratového prúdu v okamihu vzniku skratu pri konštantnej impedancii.

Začiatkový rázový skratový výkon S_k'' – fiktívna hodnota definovaná ako súčin začiatkového rázového súmerného skratového prúdu I_k'' , menovitého združeného napätia siete U_n .

Potom $k_n k_S'' = 3U I''$.

Jednosmerná (aperiodická) zložka skratového prúdu i_{DC} – stredná hodnota hornej a dolnej obalovej krivky priebehu skratového prúdu klesajúca zo svojej začiatkovej hodnoty k nule.

Nárazový skratový prúd i_p – maximálna možná okamžitá hodnota predpokladaného skratového prúdu. Veľkosť nárazového skratového prúdu závisí od okamihu, v ktorom došlo ku skratu. Výpočet nárazového skratového prúdu sa aplikuje na fázový vodič a okamih, v ktorom vznikne najväčší možný skratový prúd.

Súmerný vypínací prúd I_b – efektívna hodnota celej periódy súmernej zložky predpokladaného skratového prúdu v okamihu oddelenia kontaktov prvého pólu vypínača.

Ustálený skratový prúd I_k – efektívna hodnota skratového prúdu, ktorý zostáva po doznení prechodného javu.

Záberový prúd I_{LR} – najväčší súmerný efektívny prúd asynchrónneho motora so zabrzdzeným rotorom, ktorý je napájaný menovitým napätím U_{rM} pri menovitej frekvencii.

Ekvivalentný elektrický obvod – model použitý na popis elektrického obvodu pomocou sústavy vytvorenej ideálnymi prvkami.

Menovité napätie siete U_n – združené napätie vyšetrovanej siete.

Napätie ekvivalentného zdroja $c \cdot U_n / 3$ – napätie ideálneho zdroja priložené v mieste skratu v súslednej zložkovej sústave na výpočet skratového prúdu. Zdroj predstavuje jediné aktívne napätie sústavy.

Súčiniteľ napätia c – pomer medzi napätím ekvivalentného napäťového zdroja a menovitým napätím siete U_n .

Rázové napätie synchronného stroja E'' – efektívna hodnota súmerného vnútorného elektromotorického napätia synchronného stroja, ktoré pôsobí za rázovou reaktanciou X_d'' v okamihu skratu.

Elektricky vzdialený skrat – skrat, pri ktorom veľkosť súmernej zložky predpokladaného skratového prúdu zostáva konštantná.

Elektricky blízky skrat – skrat, pri ktorom príspevok aspoň jedného synchronného stroja k predpokladanému začiatočnému súmernému rázovému skratovému prúdu prekračuje dvojnásobok menovitého prúdu generátora, alebo skrat, pri ktorom príspevok asynchrónnych motorov prekračuje 5% začiatočného rázového skratového prúdu I_k'' bez motorov.

Súsledná skratová impedancia trojfázovej striedavej sústavy $1 Z$ – impedancia súslednej zložkovej sústavy určená z miesta skratu.

Spätná skratová impedancia trojfázovej striedavej sústavy $2 Z$ – impedancia spätnej zložkovej sústavy určená z miesta skratu.

Netočivá skratová impedancia trojfázovej striedavej sústavy $0 Z$ – impedancia netočivej zložkovej sústavy určená z miesta skratu. Obsahuje trojnásobok impedancie $N Z$ medzi uzlom transformátora a zemou.

Rázová reaktancia synchronného stroja X_d'' – reaktancia uplatňujúca sa v okamihu skratu; na výpočet skratových prúdov sa používa hodnota v nasýtenom stave.

Minimálny čas vypnutia t_{min} – najkratší čas od začiatku skratového prúdu a prvým prerušením kontaktu pólu spínacieho zariadenia.

Ekvivalentný otepľovací skratový prúd I_{th} – efektívna hodnota prúdu, ktorý má rovnaké tepelné účinky a rovnaký čas trvania ako skutočný skratový prúd, ktorý môže obsahovať jednosmernú zložku a mení sa s časom.

2.2.1.7 Účinky skratových prúdov

V prípade vzniku skratu vplyvajú na elektrické zariadenia účinky, ktoré sú vyvolané skratovým prúdom (silové a tepelné), prudkým poklesom napätia v skratovanom obvode (vplyv na stabilitu ES, vplyv na prevádzku elektrických spotrebičov) a vznikom elektrického oblúka v mieste skratu.

Skratové prúdy majú celý rad vplyvov na zariadenia, ktoré sú pripojené do ES. Pri rozsiahlych poruchách dokážu tieto úplne zničiť. Vplyv skratových prúdov pôsobiacich na zariadenia ES, ktorými skratový prúd preteká, môžeme posudzovať z hľadiska:

- priamych účinkov – ich vplyv sa prejavuje prostredníctvom dynamických síl, tepelných účinkov a účinkov elektrického oblúka,

- nepriamych účinkov – skratové prúdy pôsobia na elektrické zariadenia nachádzajúce sa mimo miesta skratu; prejavujú sa obvykle zníženým napätím, vplyvajú na stabilitu chodu ES, indukčnými účinkami pôsobia najmä na slaboprúdové zariadenia,
- skratové prúdy na zariadenia nemá vplyv, čo môžu byť prípady elektricky vzdialených skratov prejavujúcich sa veľkou impedanciou ako sú napr. elektrické inštalácie v budovách.

Základné úvahy o vplyve skratových prúdov na prevádzku elektrických zariadení môžeme rozdeliť do troch skupín:

1. ako predchádzať vzniku skratu,
2. ako obmedzovať veľkosť skratových prúdov,
3. ako obmedzovať veľkosť účinkov skratových prúdov.

Vo väčšine prípadov dochádza ku kombinácii uvedených prostriedkov, ich použitie je možné ďalej kombinovať v jednej alebo vo viacerých napäťových hladinách. Univerzálnym prostriedkom v druhej a tretej skupine je nepochybne rýchle odpojenie skratu. Vo všetkých prípadoch použitia obmedzenia skratových prúdov je potrebné zvažovať technické vplyvy, treba poznať pravdepodobnosť výskytu porúch, treba zvažovať nebezpečenstvo jednotlivých druhov skratov a tiež veľkosť investície vložené na ochranu pred skratmi a pred ich účinkami.

2.2.2 Zemné spojenia v elektrizačnej sústave

Podľa zapojenia uzla transformátora môže byť elektrická sieť prevádzkovaná niekoľkými spôsobmi a to:

- s priamo uzemneným uzlom (uzemňovacia impedancia $Z_N = 0$) – napäťová hladina nn,
- s priamo uzemneným uzlom (uzemňovacia impedancia $Z_N = 0$) – napäťové hladiny vvn, zvn, uvn,
- s izolovaným uzlom (uzemňovacia impedancia $Z_N = \infty$), kompenzovaná sieť s kompenzačnou tlmivkou ($Z_N \approx jXL$), s rezistorom ($Z_N = R$) – napäťová hladina vn.

V sústavách s priamo uzemneným uzlom transformátora predstavuje spojenie jednej fázy so zemou jednofázový skrat, t.j. je to závažná porucha, ktorá musí byť odpojená. V sústavách s izolovaným uzlom transformátora a v sústavách kompenzovaných pri spojení jednej fázy so zemou nastáva jednofázové zemné spojenie, ktoré môže byť určitý čas prevádzkované.

Pri jednofázovom zemnom spojení neporušené fázy môžu dosiahnuť združené napätie proti zemi, kým uzol transformátora dosiahne proti zemi fázové napätie. Postihnuté vedenie sa spravidla nevypne, signalizuje sa iba zemné spojenie v sieti. Prevádzka so zemným spojením môže trvať 1 až 2 hodiny, pokiaľ sa nezistí postihnutý úsek a pokiaľ sa nezabezpečí náhradné napájanie všetkých uzlov okrem postihnutého uzla, až potom sa tento úsek vypne.

V prípade zemného spojenia tečú postihnutým úsekom podstatne menšie prúdy ako pri skrate. Prúd zemného spojenia je závislý na veľkosti kapacity proti zemi, je kapacitného charakteru, pričom skratový prúd je induktívneho charakteru. Veľkosť prúdu zemného spojenia nezávisí na vzdialenosti vzniku poruchy od zdroja.

V sieťach VN je zemné spojenie veľmi často sprevádzané prepätiami, ktoré vznikajú v dôsledku zhášania a znovu zapalovania oblúka, čím sa porušuje izolácia vodičov a poškodzujú sa energetické zariadenia.

Pri spojení jednej fázy so zemou v sústave s izolovaným uzlom transformátora vzniká jednofázové zemné spojenie, ktoré sa dá za určitých podmienok krátkodobo i dlhodobo prevádzkovať.

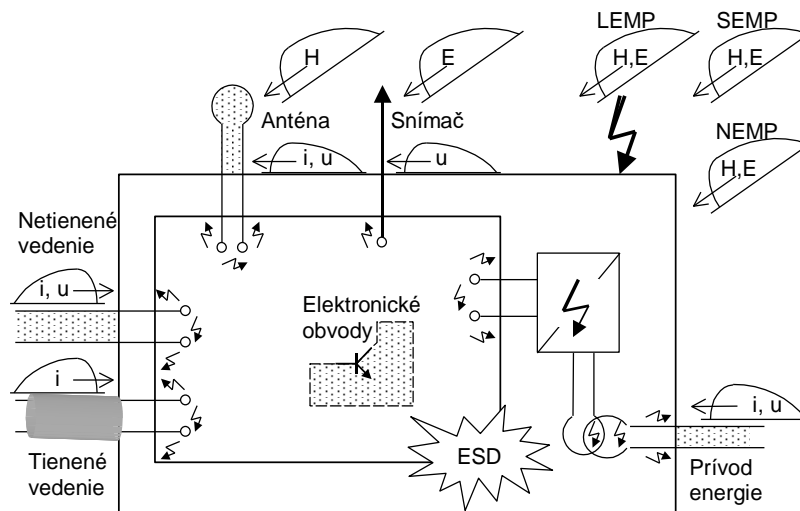
Zapojením kompenzačnej tlmivky do uzla transformátora dosiahneme to, že induktívny prúd tlmivky pôsobí v mieste zemného spojenia proti poruchovému prúdu, ktorý má charakter kapacitný a tým ho znižuje, čím dochádza k uhaseniu oblúka.

Poruchový prúd sa nedá úplne vykompenzovať, vzniká tzv. zvyškový prúd.

2.2.3 Vplyv atmosférických prepätí

Každým rokom dochádza k nárastu škôd spôsobených prepätím v sieťach NN. Predovšetkým v letnom období sú príčinou týchto škôd bleskové výboje. Niektoré prístroje však môžu byť zničené i prepätím vznikajúcim pri bežných spínacích javoch v sieti. Moderné systémy s hustou integráciou elektronických súčiastok sú neobyčajne citlivé na vplyv rušivých elektromagnetických impulzov alebo na prípadné prepätia. Účinky rušivých vplyvov môžu viesť k zrušeniu informačno-technických systémov a následne k nedozerným škodám. Niektoré štúdie uvádzajú, že hospodárstvo bez fungujúcich bánk prežije maximálne dva dni, bez rozvodných sietí približne 3,3 dni a výroba 4,9 dní. Poistovne vo vyspelých krajinách vyžadujú v prípade poistenia majetku pred škodami spôsobenými prepätiami inštaláciu prepäťových ochrán. Osoby, hospodárske zvieratá i majetok musia byť chránené pred poškodením v dôsledku nadmerného napätia, ktoré môže vzniknúť z iných príčin napr. atmosférické javy, spínacie prepätia, statická elektrina.

2.2.3.1 Čo je to prepätie?



Obrázok 2 - Zdroje ohrozenia prístrojov s elektronickými obvodmi pôsobením elektromagnetického poľa

Prepätie patrí k najvýraznejším prejavom elektromagnetickej interferencie. Prepätie je časovo závislé zvýšenie napätia, ktoré presahuje najvyššiu dovolenú hodnotu prevádzkového napätia v elektrickom obvode väčšinou rádovo trvajúce nano až milisekundy. Sú to náhodné javy, ktorých parametre sa líšia nielen podľa miesta vzniku, času a tvaru, ale rovnako závisia od elektrických vlastností vedení. Podľa pôvodu vzniku môžeme prepätia rozdeliť na:

- atmosférické prepätia vyvolané účinkom blesku (LEMP – Lighting ElectroMagnetic Pulse),
- spínacie prepätia vznikajúce pri spínaní v obvodoch – priemyselné prepätia (SEMP – Switching ElectroMagnetic Pulse),
- prepätia vznikajúce pri elektrostatických výbojoch (ESD – ElectroStatic Discharge),
- prepätia spôsobené nukleárnymi výbuchmi (NEMP – Nuclear ElectroMagnetic Pulse).

2.2.3.2 Atmosférické prepätie

Atmosférické prepätie je vyvolané bleskom. Z hľadiska ohrozenia elektrických zariadení má dôležitý význam početnosť úderov blesku pre danú oblasť na 1 km². Pre našu oblasť sa uvádza 25 až 30 búrkových dní v roku. Vzhľadom na to, že bežne používané elektrické zariadenia sú napájané z elektrickej rozvodnej siete, poprípade niektoré sú galvanicky prepojené s inými zariadeniami (napr. telefónne prístroje, počítačové zostavy, ...), existujú aj sekundárne účinky úderu blesku. Sú to hlavne:

- prepätia šíriace sa po vonkajších rozvodných vedeniach, ktoré zasiahol blesk,
- zvýšenie zemného potenciálu, ktoré závisí od veľkosti prúdu blesku a rezistivity uzemňovacej sústavy,
- indukované prepätia, ktoré sú vyvolané impulzným elektromagnetickým poľom v blízkom okolí kanála blesku,
- elektrostatické pole existujúce v blízkosti nabitého búrkového mračna, v ktorom vznikajú vysokofrekvenčné elektromagnetické impulzy.

V každom prípade musíme uvažovať dve možnosti vniknutia bleskových prúdov do elektrickej inštalácie v budovách:

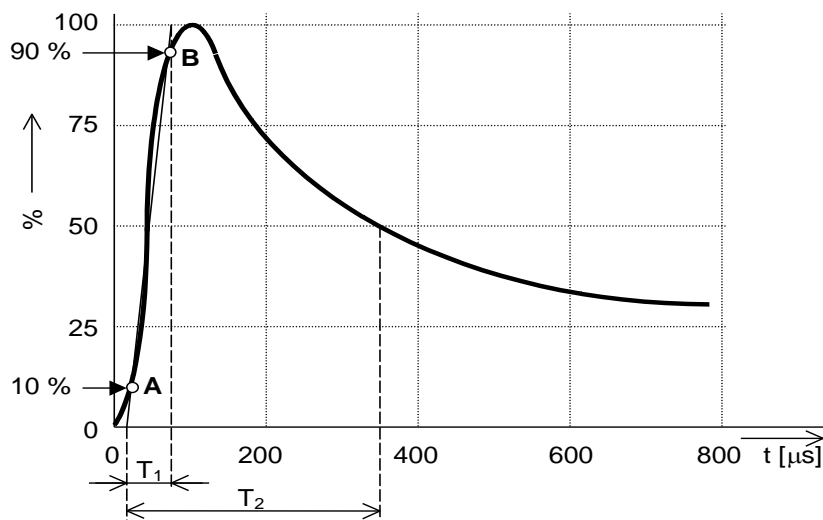
- priamy úder blesku do vonkajšej (bleskozvodnej) ochrany budovy,
- priamy úder blesku do vedenia vstupujúceho do budovy.

V prvom prípade sa bleskový prúd dostáva do budovy z uzemnenia bleskozvodu pripojeného na ekvipotenciálnu prípojku (EP) a delí sa na dve časti. Časť prechádzajúca do kovových konštrukcií pripojených priamo k EP a časť vnikajúca cez zvodiče do pracovných i ochranných vodičov napájacej sústavy.

Meranie bleskového prúdu (prof. Berger) umožnilo stanoviť priebeh blesku pre dimenzovanie všetkých druhov ochranných opatrení. V poslednom období boli znormované viaceré prúdové a napäťové priebehy pre rôzne použitie (obr. 3). Hodnoty porovnávacieho blesku 5 % môžu byť prekročené len v 5 % všetkých prípadoch.

Niektoré najdôležitejšie parametre prepätia:

Rázová vlna napätia (prúdu) je jednosmerná vlna napätia (prúdu), vyrastajúca rýchle bez podstatných kmitov na najvyššiu hodnotu a potom pomaly klesajúca k nule.



Obrázok 3 - Časový priebeh rázovej vlny

Vrcholová hodnota napätia (prúdu) je maximálna hodnota krátkodobého prepätia.

Predpokladaná vrcholová hodnota je vrcholová hodnota, ktorú by dosiahla vlna, ak by nedošlo pred vrcholom k preskoku alebo k prerazeniu.

Čelo vlny je časť vlny napätia (prúdu) pred vrcholom.

Doba čela vlny (T_1) (pre rázové vlny bez oscilácií v čele) je 1,25 násobok doby vzrastu prúdu medzi bodmi 10 % a 90 % vrcholovej hodnoty (obr. 2).

Doba vrcholu je časový interval medzi začiatkom vlny a jej vrcholom.

Doba trvania vrcholu napätia (prúdu) je časový interval, v ktorom je napätie (prúd) vyšší ako 0,9 násobok vrcholovej hodnoty.

Strmosť čela vlny je pomer vrcholovej hodnoty a doby čela vlny.

Vzostup napätia za časovú jednotku pre normalizované napätové rázy sa stanovuje ako strmosť priamky medzi dvoma bodmi (väčšinou 10 % a 90 % vrcholovej hodnoty u) čela vlny – du/dt . Príliš veľké du/dt môže zničiť polovodičové konštrukčné prvky, aj keď nie je prekročené maximálne prípustné napätie.

Tylo vlny je časť vlny napätia (prúdu) za vrcholom.

Doba poltyla vlny (T_2) je časový interval medzi začiatkom vlny a okamihom v tyle, keď napätie (prúd) pokleslo na polovicu vrcholovej hodnoty.

Šírka polovičného výkonu rázového napätia udáva šírku impulzu prepätia pri polovičnej hodnote vrcholovej hodnoty u . Táto hodnota ničí izoláciu a elektrické a elektronické konštrukčné časti. Určuje do značnej miery druh a výkonnostné dimenzovanie prepäťovej ochrany (príklad definovania skúšobného impulzu: 5 kV, 1,2/50, 0,5 J – vrcholová hodnota u je 5 kV, doba vzostupu je 1,2 μ s, šírka polovičného výkonu je 50 μ s energiou 0,5 J (Ws)).

Impulzný prúd (I_{imp}) je definovaný ako vrcholová hodnota prúdu (I_{peak}) s impulzným nábojom (Q) a mernou energiou (W/R). Používa sa pri skúške zvodíčov prepätia triedy B.

Maximálny impulzný prúd (I_{max}) je definovaný ako maximálna hodnota prúdu s tvarom vlny 8/20 μ s. Používa sa pri skúške zvodíčov prepätia triedy C.

Menovitý impulzný prúd (I_n) tiež menovitý rázový prúd, je definovaný ako vrcholová hodnota prúdu s tvarom vlny 8/20 μ s. Používa sa pri skúške zvodíčov prepätia triedy C.

Zvyškové napätie zvodiča (U_R) je vrcholová hodnota napätia, ktoré zostane na svorkách zvodiča v okamihu prechodu maxima I_n .

Zapaľovacie napätie je napätie, pri ktorom dôjde k zapáleniu oblúka medzi elektródami iskriska.

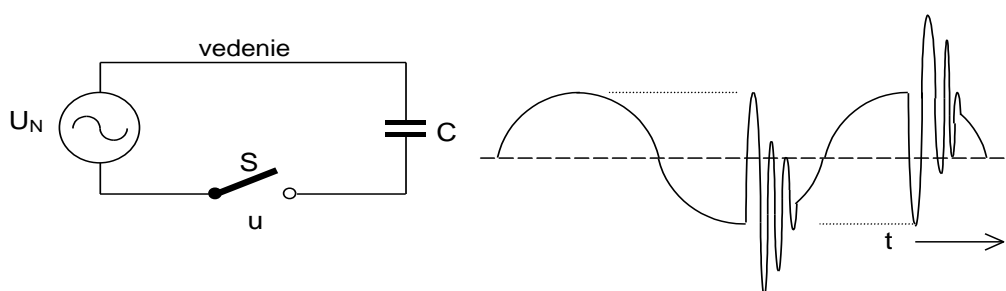
Reakčná doba (t_r) je doba medzi okamihom vzniku prepätia a okamihom, keď zvodič prepätia zareaguje.

Ochranná úroveň (U_p) je parameter, ktorý charakterizuje schopnosť zvodiča obmedzovať prepätie.

2.2.3.3 Spínacie prepätia

Pri spínacích javoch v sieťach ZVN, VVN, VN, NN i v oznamovacích vedeniach vznikajú na kapacite a indukčnosti vedenia vplyvom prudkých zmien prúdu tlmené kmity (okolo 1 MHz) alebo série impulzov s amplitúdou až niekoľko kV, ktoré môžu preniknúť až na vstupy zariadení a ohroziť elektronické obvody. Veľkosť prepätia závisí predovšetkým od spínaného (rozpínaného) prúdu a napätia, od kvality spínacích prvkov, rýchlosti procesu spínania i od impedančných pomerov na vedení. Spínacie prepätie na strane vn/vvn môže vzniknúť z niekoľkých príčin:

- odpojenie nezaťaženeho vedenia, kondenzátora (obr. 3),
- odpojenie transformátora bežiacého naprázdno,
- zemné spojenie v neuzemnených sieťach.



Obrázok 4 - Spínacie prepätie vzniknuté odpojením kapacity

Vedľa týchto spínacích prepätí môžu vznikáť tiež prepätia na zariadeniach nízkeho napätia, ktorých príčinou sú:

- Vypnutie indukčnosti, ktorá je paralelne pripojená k zdroju napätia (napr. tlmivky, transformátory, stýkače, a pod.),
- vypnutie indukčnosti dlhých odbočiek prúdových okruhov.

Poznámka: Je zistené, že mimoriadne vysoké spínacie prepätia vznikajú zapínaním domácich spotrebičov (vysávač, chladnička, žiarivkové osvetlenie).

2.2.3.4 Elektrostatické prepätia

Vznik elektrostatického výboja je príznačný pre materiály – izolanty, ktoré nemajú voľné elektróny. Pokojové stavy nábojov sa nazývajú elektrostatika, iskrový výboj je dynamickým prejavom elektrostatických nábojov. Elektrostatický výboj je charakterizovaný nízkou energiou výboja, ale pomerne vysokou napäťovou úrovňou (5 až 15 kV).

2.2.3.5 Nukleárna explózia

Atmosférickou nukleárnou explóziou vo výške 40 až 400 km vzniká intenzívne elektromagnetické pole, ktoré je vyžarované do priestoru. Pri explózii vo výške 400 km polomer ožiarenie môže dosiahnuť 12 000 km. Elektromagnetický impulz dosahuje svoju najväčšiu silu počas 10 ns (približne 100 kV/m) a trvá asi 1 ms. Zvýšenie elektromagnetického poľa môže dosiahnuť niekoľko kV/ns. Oproti pomerom pri údere blesku je nutné počítať s podstatne väčším podielom vysokých frekvencií (do 10 GHz).

2.2.3.6 Ochranná činnosť prepäťových ochrán

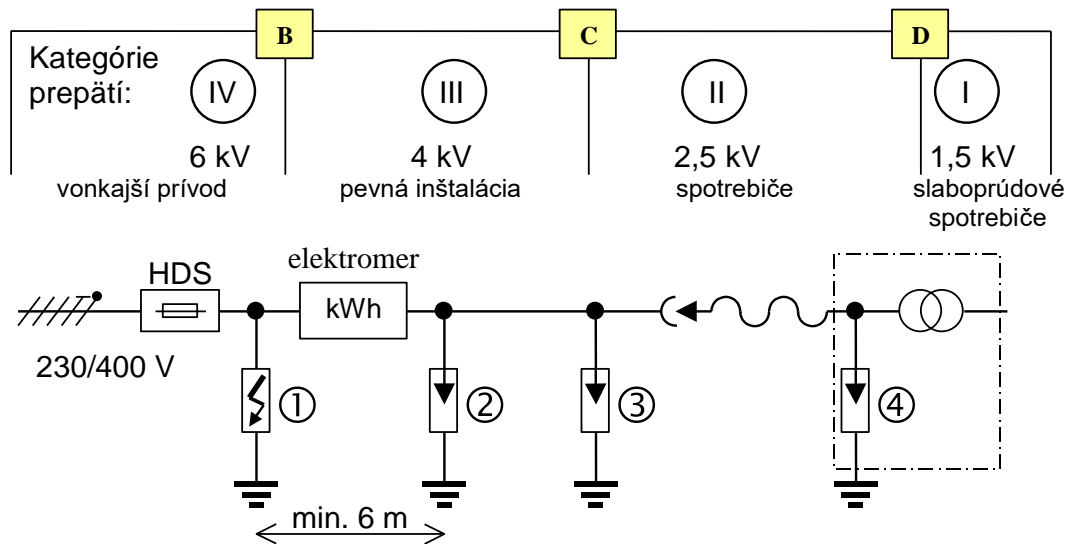
Zmyslom použitia prepäťových ochrán v sieti je ochrániť elektronické zariadenia proti vplyvom impulzného prepätia šíriaceho sa po napájacích sieťach. Základnou zásadou pre obmedzenie rizika pri priamom i nepriamom údere blesku je vytvorenie tzv. zón bleskovej ochrany, pričom zvláštny dôraz je kladený na potenciálové vyrovnanie a na použitie prepäťových ochrán, ktoré sa inštalujú na rozhraní jednotlivých zón. Jednotlivé stupne ochrán musia byť vzájomne koordinované tak, aby nedochádzalo k zničeniu nižšieho stupňa neprípustne veľkou energiou. Ochranná úroveň (U_p) za zvodičom musí byť nižšia, ako zaručená odolnosť izolácie proti prepätiu.

Každá zóna je charakterizovaná menovitou úrovňou zvodového prúdu (i_{sn}) a maximálnym zvyškovým napätím (u_R) pri menovitej úrovni zvodového prúdu. Pre splnenie funkcií jednotlivých stupňov treba medzi nimi dodržať niekoľkometrové odstupy (napr. min. 6 m medzi zvodičom bleskového prúdu a najbližším zvodičom prepätia). Ak nie je možné zabezpečiť požadované vzdialenosti, je možno použiť obmedzovaciu impedanciu, ktorá nahrádza impedanciu predpísanej dĺžky vedenia.

2.2.3.7 Triedy ochrán a ich použitie

- A** - zvodič prepätia určený pre inštaláciu na vonkajšom vedení.
- B** - zvodič prepätia určený na vyrovnanie potenciálu pre kategóriu prepätí IV, vplyv atmosférického prepätia (elektromery, ...). Ak je budova napájaná podzemným káblom. Postačí dimenzovať elektrické zariadenia a inštaláciu podľa kategórie III.
- C** - zvodič prepätia určený na ochranu elektrického zariadenia pre kategóriu prepätí III. Inštaluje sa do hlavného popr. do podružných rozvádzačov.
- D** - zvodič prepätia určený na ochranu elektrického zariadenia pre kategóriu prepätí II (potlačený vplyv atmosférických a spínacích prepätí – prenosné elektrické spotrebiče s pohyblivými prívodmi, elektrické zariadenia s elektronickými obvodmi, ...).

Kategória prepätia I je definovaná pre elektrické zariadenia, kde sa prepätie prakticky nevyskytuje, alebo kde je vzniknuté prepätie účinne obmedzené zvodičmi prepätia alebo filtermi.



Obrázok 5 - Kaskádová ochrana pred prepätím v sieti NN

Pretože tieto ochranné prvky sú umiestnené bezprostredne pri zariadeniach, nehrozí nebezpečenstvo, že by sa na prívodoch za ochranou indukovalo (napr. pri búrke) nebezpečné napätie. Pri blízkom údere blesku môže dôjsť k poškodeniu a zničeniu spotrebičov pripojených na nechránené zásuvky cez prítomnosť len prvých dvoch stupňov ochrán. V prípade absencie prvých dvoch stupňov ochrán vo vysokom percente prípadov tretí stupeň zabezpečuje plnú bezpečnosť chráneného zariadenia. V prípade, že energia impulzu prekročí maximálnu hodnotu danej ochrany, dôjde k zničeniu a odpojeniu ochrany. Aj v tomto prípade väčšinou chránené zariadenie „prežije“. Zvodiče prepätia triedy D sa neodporúča používať v inštalácii, ktorá nie je vybavená zvodičmi prepätia triedy C!

2.2.4 Využitie informačno komunikačných technológií pri riadení distribučných sietí

2.2.4.1 Systémy automatizácie distribučných sietí

Najdôležitejšou úlohou distribučnej sústavy je zabezpečiť dodávku elektrickej energie pripojeným odberateľom. Z tohto dôvodu je potrebné rýchlo nájsť každú poruchu, ktorá sa v DS vyskytne a urobiť opatrenia, vďaka ktorým sa minimalizuje počet odberateľov bez elektrickej energie. V minulosti bolo vyhľadávanie porúch zdĺhavou a náročnou úlohou, nakoľko elektrické ochrany určili len postihnutý vývod z rozvodne 22 kV. Presnejšie určenie miesta poruchy sa následne vykonávalo manipuláciami v teréne a skúšobným zapínaním vedenia do poruchy. Tento spôsob vyhľadávania poruchy bol časovo náročný, čo spôsobovalo neúmerné predlžovanie času nedodávky elektrickej energie. Časté zapínanie vedení do poruchy bolo spojené so zbytočným namáhaním zariadení distribučného rozvodu skratovými prúdmi a prevádzkovými prepätiami.

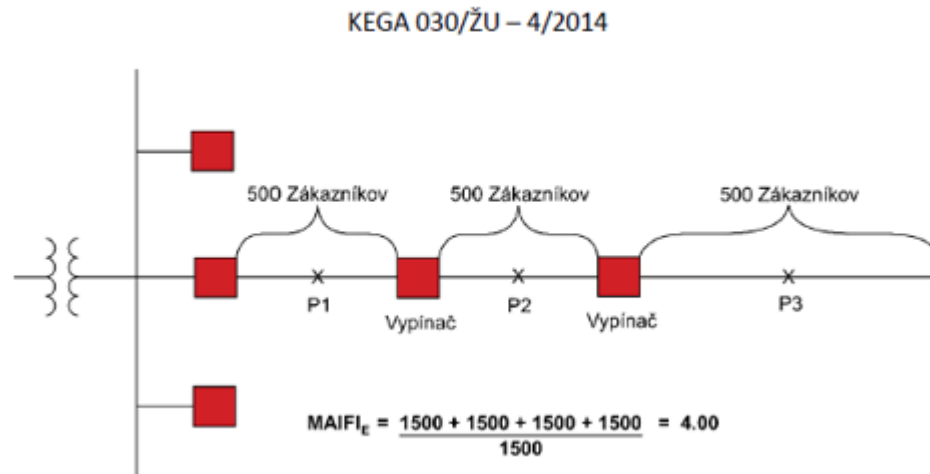
Súčasný rozvoj elektronických zariadení a výrazný pokles ich cien umožňuje širokoplošné nasadenie jednoduchých digitálnych meracích prístrojov vybavených funkciou elektrických ochrán. Systém automatizácie distribučných sietí vn pozostáva z nasledovných prvkov:

- systém diaľkovej lokalizácie porúch,
- inteligentné diaľkovo ovládané distribučné trafostanice,
- inteligentné úsekové odpínače,
- autoreclosery.

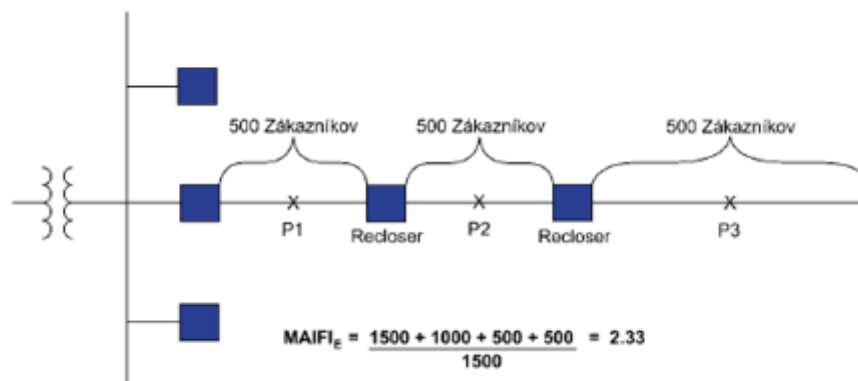
Nasadenie týchto prvkov umožňuje bližšie lokalizovať miesto poruchy, znížiť čas obnovy dodávky elektrickej energie po poruchách a znížiť namáhanie zariadení distribučného rozvodu poruchovými nadprúdmi a prepätiami.

2.2.4.2 Vplyv na krátkodobé výpadky

Viac ako 75 % všetkých porúch v distribučnej sústave je prechodných. Budovaním automatizovanej distribúcie sa minimalizujú vplyvy krátkodobých výpadkov v oblastiach, ktoré sú často postihované prechodnými poruchami. Vplyv recloserov a vypínačov nachádzajúcich sa v sústave na koeficient MAIFIE je uvedený na obr. 6 a 7.



Obrázok 6 - Použitie vypínačov



Obrázok 7 - Použitie recloserov

V tabuľke sú uvedené 4 oblasti vzniku poruchy, čo má za následok zmenu počtu ovplyvnených zákazníkov. Udalosť 4 zahrňuje druhú poruchu, ktorá sa vyskytuje v oblasti P3.

Tabuľka 2 – Vplyv recloserov a vypínačov na sústavu

Udalosť	Prechodná porucha	Počet ovplyvnených zákazníkov pri použití vypínačov	Počet ovplyvnených zákazníkov pri použití recloserov	Trvanie poruchy
1	P1	1500	1500	30 s
2	P2	1500	1000	30 s
3	P3	1500	500	30 s
4	P3	1500	500	30 s

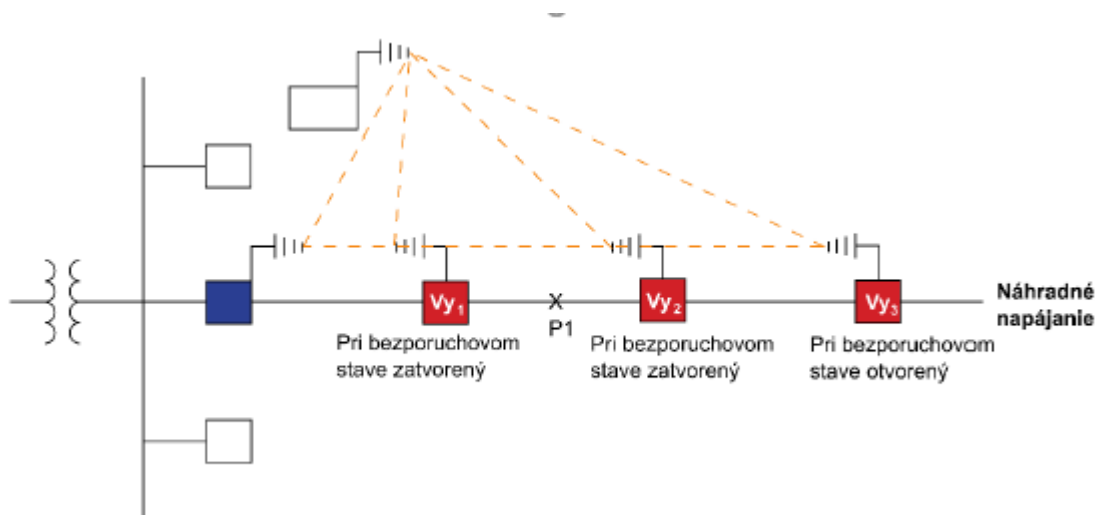
Zlepšenie koeficientu MAIFI_E z hodnoty 4,00 na hodnotu 2,33 (42 % zlepšenie) je v priamom vzťahu k zníženiu krátkodobých prerušení dodávky elektriny, čím sa zlepšuje kvalita napájania odberateľov.

2.2.4.3 Spôľahlivosť komunikačného systému

Po zistení a lokalizovaní poruchy je potrebná rekonfigurácia systému. Rekonfigurácia systému sa zavádza prostredníctvom komunikačnej siete alebo automatického decentralizovaného riadenia zariadení, prípadne ich kombináciou.

Spôľahlivosť systému je lepšia v prípade, že sa automatická rekonfigurácia systému uskutočňuje bez potreby komunikačného systému. Decentralizovaný komunikačný systém môže by jednoducho nadobudnutý pomocou recloserov. Komunikácia má významnú úlohu pri celkovej obnove systému, avšak ihneď po vyskytnutí sa poruchy nie je komunikácia potrebná.

Najvyššou prioritou pri poruche na vedení je rýchlo vypnúť vedenie, aby sa minimalizovalo jeho poškodenie. Tiež je dôležité zamedziť rozširovaniu poruchy a rýchlo obnoviť dodávku elektriny. Potom, ako je porucha izolovaná najbližším ochranným zariadením, je nutné systém rýchlo prekonfigurovať, aby sa zabezpečila dodávka elektriny pre čo najväčší počet zákazníkov. Na obr. 8 sa nachádza príklad rekonfigurácie sústavy pomocou vypínačov.



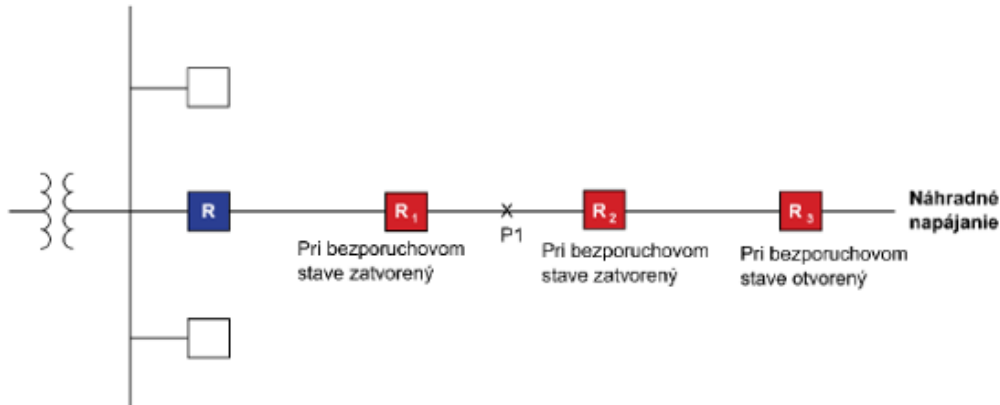
Obrázok 8 - Rekonfigurácia sústavy pomocou vypínačov

Sústava v uvedenom príklade využíva vypínače. Rekonfigurácia sústavy sa uskutoční v nasledujúcich krokoch v prípade, že trvalá porucha nastane v oblasti P1:

- Recloser alebo vypínač nachádzajúci sa v rozvodni deteguje nadprúd a vypne vedenie.
- Nastanú OZ reclosera alebo vypínača podľa ich naprogramovaných sekvencií. Tým, že je porucha trvalá, OZ budú neúspešné a následne nastane deaktivácia vypínacieho zariadenia.
- Celé vedenie je bez napätia až po vypínač Vy₃.
- Je nutná komunikácia medzi zariadeniami.
- Vypínač Vy₁ zistí poruchový stav a prostredníctvom komunikácie odošle riadiacemu systému informáciu o vyskytnutí sa poruchy.
- Je vydaný príkaz na otvorenie spínača Vy₁.
- Pomocou komunikácie je zistené, že spínač Vy₂ nezaznamenal poruchový stav.
- Je vydaný príkaz na otvorenie spínača Vy₂.
- Je vydaný príkaz na zatvorenie reclosera alebo ističa, ktorý sa nachádza v rozvodni.
- Je vydaný príkaz na uzavretie spínača Vy₃.

Poruchová oblasť medzi vypínačom V_{y1} a V_{y2} je izolovaná. V krokoch štyri až desať sa požaduje stopercentná spoľahlivosť komunikácie kvôli zabezpečeniu rýchleho obnovenia systému.

Decentralizovaná automatizácia pomocou recloserov nevyžaduje až takú komunikáciu pre obnovenie systému. Na obr. 9 sa nachádza príklad rekonfigurácie sústavy pomocou recloserov.



Obrázok 9 - Rekonfigurácia sústavy pomocou recloserov

Ak nastane porucha v oblasti P1, bude rekonfigurácia prebiehať v nasledujúcich krokoch:

- Recloser alebo vypínač nachádzajúci sa v rozvodni ostáva zopnutý. Poruchu vypne až recloser R1.
- Recloser R2 mení svoju sekvenciu OZ, veľkosť vypínacieho prúdu a napätia v závislosti od veľkosti úbytku napätia.
- Recloser R3 sa zopne na základe veľkosti úbytku napätia.
- Deaktivácia reclosera R2 nastane hneď po prvom neúspešnom OZ.

Úsek s poruchou je izolovaný medzi reclosermi R1 a R2. V krokoch jedna až štyri nie je vyžadovaná žiadna komunikácia pre zabezpečenie rýchleho obnovenia napájania obvodu. Komunikácia môže byť použitá pre obnovu systému a odstránenie poruchy. Komunikácia je používaná na podporu riadenia distribučnej siete a nie na jeho nahradenie.

2.2.4.4 Samoliečiace sa siete

Vďaka inštalácii recloserov, resp. iných diaľkovo monitorovaných a ovládaných prvkov (diaľkovo ovládané úsekové odpínače – tzv. DOU-čka), je možné automaticky získavať údaje o prevádzke vn a nn sietí a zmenou ich stavu odpínať či pripínať časti siete a tým pádom meniť počet napájaných odberateľov.

Keďže sa tieto procesy realizujú prostredníctvom informačno-komunikačných technológií a počítačových riadiacich systémov, je možné proces vyhľadávania miesta poruchy a následnej zmeny zapojenie siete 22 kV automatizovať. Pre tento účel sa využívajú algoritmy založené na rôznych metódach umelej inteligencie, ako napr. neurónové siete, expertné systémy či multiagentné systémy.

Táto vlastnosť sa očakáva od tzv. inteligentných sietí a označuje sa pojmom samoliečenie - selfhealing.

3 OBNOVITEĽNÉ ZDROJE ENERGIE

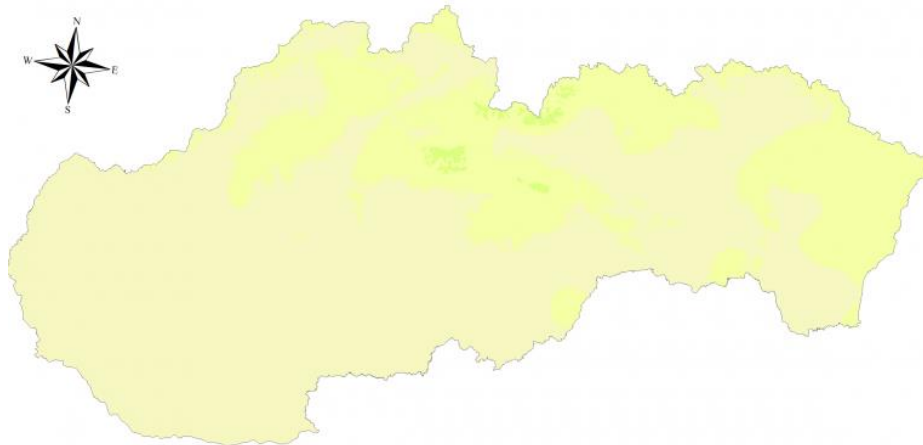
3.1 Vodná energia

K dnešnému dňu sú vodné elektrárne najviac rozšíreným zdrojom elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Je to najmä pre ich účinnosť a spôsob regulácie výkonu. Zdrojom energie vo vodných elektrárnach je potenciálna energia vody, ktorá sa pri dopade na turbínu mení na mechanickú a následne v generátore na elektrickú. Pomimo výroby elektrickej energie je možné využiť vodné elektrárne aj na reguláciu toku, možnosť plavby lodí, zavlažovanie, rybolov či na rekreačné účely.

Na výkon VE má vplyv najmä stav povodia, resp. konkrétnych tokov, na ktorých sú jednotlivé VE alebo Vodné diela (VD) postavené. Stav výšky vodných tokov (a ich prietok) ovplyvňujú atmosférické javy. Úhrn zrážok významne určuje prietok a následné využitie tejto energie na výrobu elektrickej energie. Na mnohých miestach sú stavané zádržné vodné plochy, ktoré sú poistkou práve pred nepriaznivými atmosférickými javmi, v tomto prípade dlhotrvajúcimi suchami.

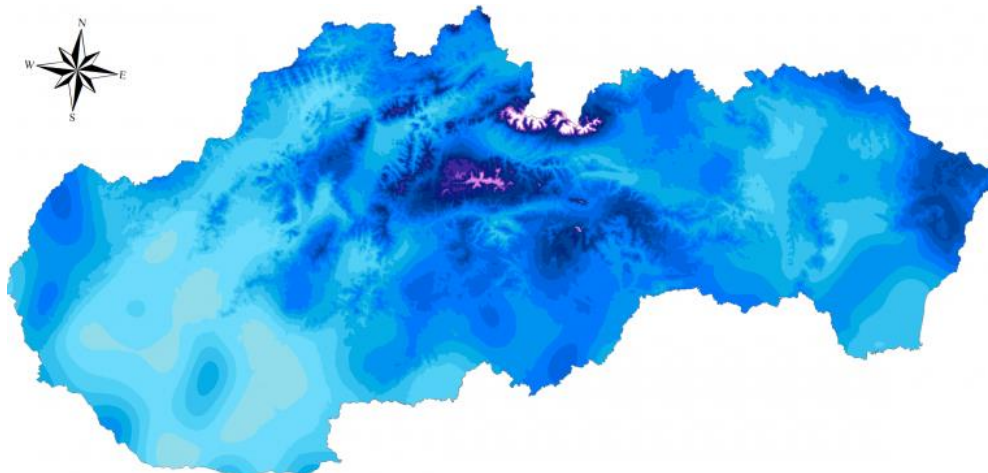
Prirodzene, dopad vyschnutia miestneho potoka na výrobu a pokrytie prevádzky infraštruktúry je fatálny pri malých domácich VE (inštalovaný výkon do 35 kW), avšak rovnaký úbytok vody v rámci veľkej zdrže, na ktoré sú napojené stredné vodné elektrárne, sa prejaví na výkone, behu a výrobe v promile.

Pre porovnanie, v apríli 2020 bol maximálny lokálny úhrn zrážok na Slovensku 45 mm.

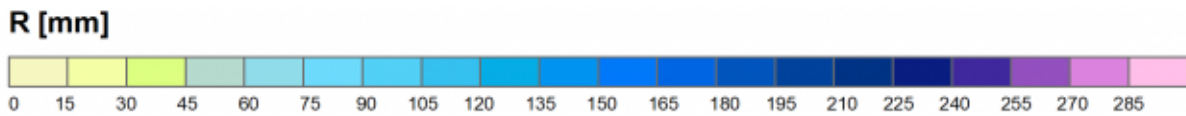


Obrázok 10 - úhrn zrážok za 04/2020

Naopak, v júni 2020 to bolo lokálne cez 250 mm zrážok.



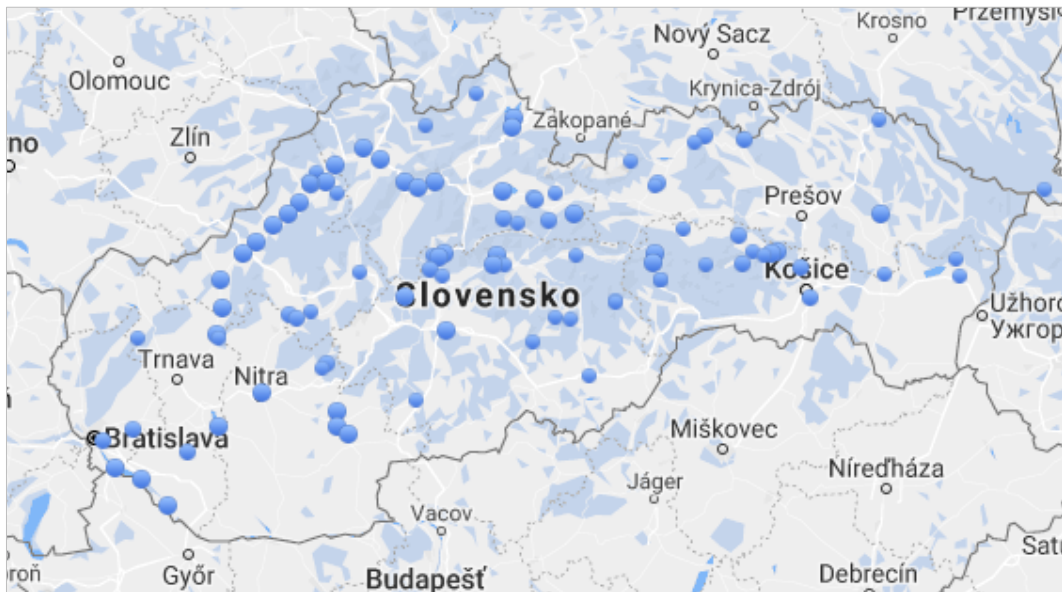
Obrázok 11 - úhrn zrážok za 06/2020



Obrázok 12 - legenda k úhrnu zrážok

Na Slovensku priemerný ročný úhrn zrážok kolíše od menej ako 500 mm v oblasti Galanty, Senca a východnej časti Žitného ostrova do približne 2 000 mm vo Vysokých Tatrách.

VE sa prirodzene budujú hlavne na veľkých riečnych tokoch, pričom prím hrá Považská kaskáda.



Obrázok 13 - Mapa inštalovaných VE všetkých druhov

3.2 Veterná energia

V súčasnosti prakticky všetky väčšie veterné elektrárne dodávajú elektrickú energiu do elektrickej siete. Súvisí to s tým, že výkon jednej elektrárne je obyčajne omnoho väčší, ako je spotreba jedného resp. viacerých odberateľov. Maximálne výkony generátorov poháňaných veternou turbínou sa pohybujú až do 5 MW. Pre rodinné domy a farmy sú to výkony do 20 kW, nad 20 kW sa takmer výhradne používajú pre dodávky energie do verejnej siete. Celková účinnosť veternej elektrárne je asi 40 – 45 %.

Na výkon veternej elektrárne kardinálne vplyva výber lokality, kde je postavená. Ročná priemerná rýchlosť vetra musí byť aspoň 4 m.s⁻¹ vo výške 10 m. Tiež vzdialenosť elektrického vedenia nízkeho alebo vysokého napätia (ak je to možné do 1 km).

Veterné pomery Slovenska sú komplikované nielen v dôsledku zložitej orografie, ale veľkú zásluhu na tom má aj značná premenlivosť počasia v priebehu roka. Dôležitú úlohu zohráva aj homogenita aktívneho povrchu, ktorá určuje jeho drsnosť. Na nížinách západného Slovenska sa priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške 10 metrov nad aktívnym povrchom pohybuje v intervale od 3 do 4 m.s⁻¹, na východnom Slovensku od 2 do 3 m.s⁻¹. V kotlinách je veternosť závislá od ich polohy a uzavretosti, resp. otvorenosti voči prevládajúcim prúdeniam. V otvorenejších kotlinách, napr. v Považskom podolí, Podtatranskej kotline, Košickej kotline sa priemerná ročná rýchlosť vetra pohybuje v intervale od 2 do 3 m.s⁻¹, v uzavretejších kotlinách, kde je i najväčší výskyt inverzií, napr. Zvolenská kotlina, Žiarska kotlina, Žilinská kotlina dosahuje priemerná ročná rýchlosť vetra hodnoty v intervale od 1 do 2 m.s⁻¹, v uzavretých dolinách i menej než 1 m.s⁻¹. Aj v nižších polohách sa vyskytujú exponované lokality s vyšším ročným priemerom rýchlosti vetra ako 4 m.s⁻¹ (Košice, Bratislava). V pohoriach v závislosti od nadmorskej výšky je priemerná ročná rýchlosť vetra 4 až 8 m.s⁻¹.

3.2.1 Vplyvy, ktoré majú dopad na výkon veternej elektrárne a výrobu elektrickej energie

3.2.1.1 Straty znečistením listov turbíny

Znečistenie listov turbíny veternej elektrárne je najčastejšie spôsobené hmyzom, srieňom alebo ľadom. Straty spôsobené znečistením listov hmyzom sa vyskytujú v teplých mesiacoch roka, keď teplota vzduchu neklesá pod bod mrazu. Znečistenie spôsobené hmyzom zvyšuje drsnosť povrchu listov, zvlášť nábehových hrán, čím sa zhoršujú ich aerodynamické vlastnosti. Odstránenie takéhoto znečistenia sa zabezpečuje občasným umývaním listov turbíny v rámci údržby. Straty spôsobené srieňom, inováťou, zľadovatením môžu v konečnom dôsledku zabrániť prevádzke veterných zariadení. Vyskytujú sa v zimnom období v chladnejšom klimatickom pásme, resp. vo väčších nadmorských výškach. Vznik námrazy a ľadu na listoch turbíny veternej elektrárne závisí od vzdušnej vlhkosti, teploty vzduchu a nadmorskej výšky. Hodnoty týchto strát sú 0 – 8 %. V prípade vyšších strát je potrebné takéto lokality vylúčiť. Vytváranie námrazy a ľadu je možné predchádzať aj vykurovaním listov turbíny, čo však prináša nárast energetickej spotreby samotnej elektrárne a komplikuje jej konštrukčné riešenie.

3.2.1.2 Časové straty

Sem patria straty spôsobené skrátením času prevádzky elektrárne v dôsledku plánovanej údržby, poruchy alebo odstávky. Typické hodnoty časových strát sú 3 – 7 %. Ak je veterné zariadenie vystavené extrémnym podmienkam, napríklad arktická klíma a slabá sieť, tak sa táto hodnota úmerne zvyšuje.

3.2.1.3 Rôzne straty

Rôzne straty reprezentujú straty vo výrobe energie, ktoré vznikli z titulu: nábehu a ukončenia generátorovej prevádzky, nárazového vetra, extrémneho vetra.

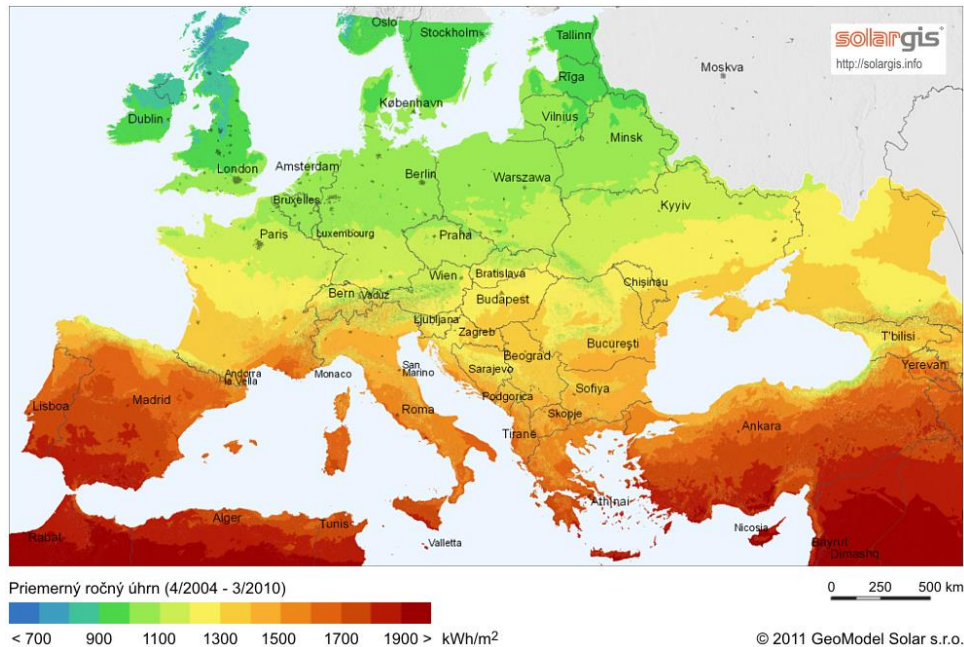


Obrázok 14 - mapa inštalovaných veterných zariadení

3.3 Slniečna energia

Slniečna elektrárň mení energiu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Pre získanie väčšieho výkonu je nutné sériovo paralelne prepojiť viac článkov do tzv. solárneho panelu (vyrábajú sa v niekoľkých výkonových radách od 10 do 300 W). Elektrický výkon dodávaný panelom je závislý na

atmosférických podmienkach a preto musí byť inštalovaný akumulátor energie, aby slnečná elektrárňa mohla dodávať elektrickú energiu aj v období bez slnečného svitu (zamračené, noc). Celková účinnosť slnečnej elektrárne tohto typu je v súčasnej dobe asi 9 %. Budujú sa slnečné elektrárne strechové s výkonom 3 kW a možnosťou pripojenia k sieti, alebo slnečné elektrárne s výkonom 100 – 500 kW, ktoré dodávajú elektrickú energiu do siete.



Obrázok 15 - globálne horizontálne žiarenie



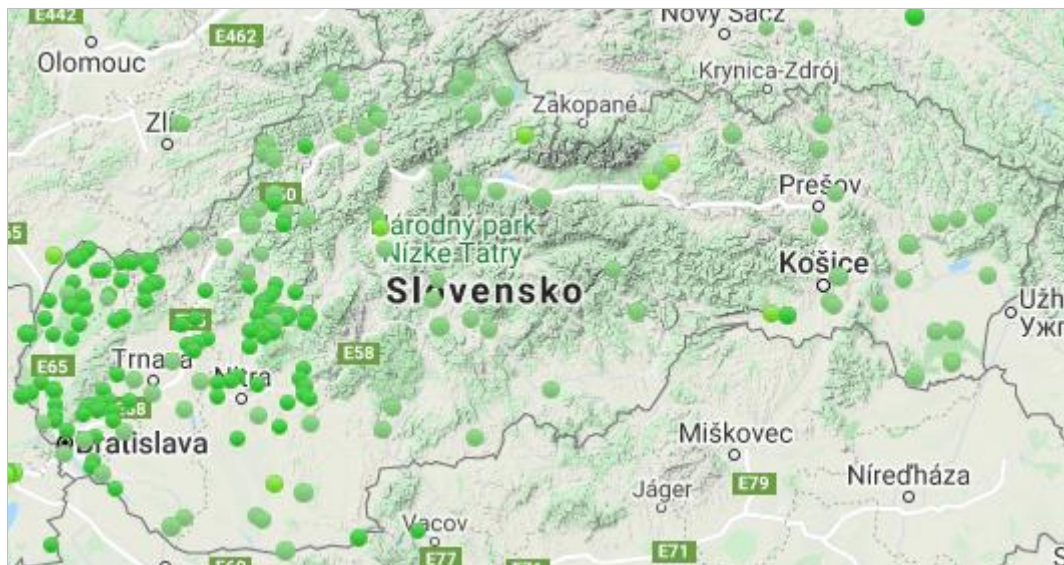
Obrázok 16 - mapa inštalovaných solárnych zariadení

Súčet priameho a rozptýleného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch tvorí globálne žiarenie. Najviac je ovplyvňované dobou trvania slnečného svitu a oblačnosťou. Priemerné ročné sumy globálneho žiarenia sú najvyššie v nížinách - 1200 až 1300 kWh.m-2, v najvyšších polohách východnej časti Tatier je to 1100 až 1200 kWh.m-2, v stredných horských polohách a na krajnom severozápade Slovenska 1050-1100 kWh.m-2, čo je ovplyvnené hlavne zväčšenou oblačnosťou. V kotlinách je globálne žiarenie ovplyvňované inverziami a nízkou oblačnosťou, hodnoty sa pohybujú v intervale 1100 až 1200 kWh.m-2.

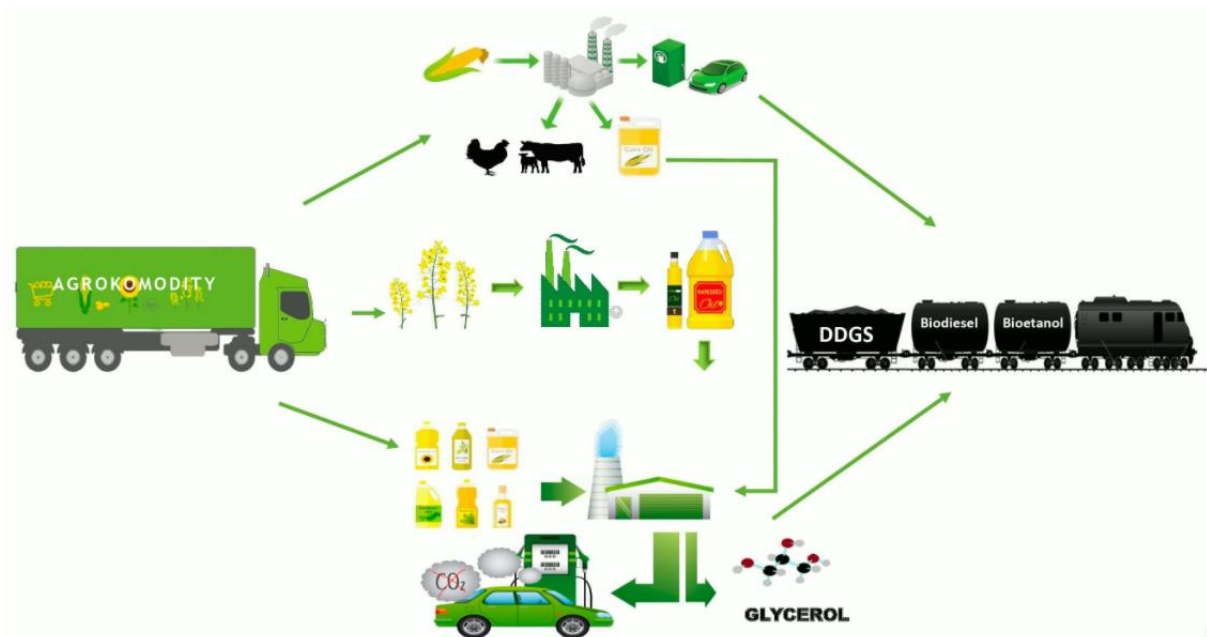
V priemere najslnečnejšou oblasťou je juhovýchodná polovica Podunajskej nížiny s 2 000-2 200 hodinami slnečného svitu za rok (maximálne astronomicky možné trvanie slnečného svitu pre túto oblasť je 4 447 hodín za rok). Značne dlhé trvanie slnečného svitu je typické aj pre vrcholové polohy vysokých horských masívov, napríklad vrcholy východnej časti Vysokých Tatier majú v priemere za rok až 1800 hodín slnečného svitu. Súvisí to jednak s voľným obzorom a jednak s malou oblačnosťou v týchto nadmorských výškach v zime. V horských dolinách a kotlinách severného Slovenska a na krajnom severozápade Slovenska všeobecne klesá doba trvania slnečného svitu v dôsledku zatienenia a väčšej oblačnosti až na 1 400 - 1 500 hodín za rok (napr. Trstená-Ústie nad Priehradou 1052 hodín).

3.4 Biopalivá

Výroba elektrickej energie v bioelektrárňach je podobná ako v tepelných elektrárňach pri spaľovaní fosílnych palív, ale s podstatne nižšími hodnotami emisií oxidu uhličitého (CO₂). Palivom je biomasa alebo biopalivo. Biomasa je organická hmota zámerne produkovaná na energetické účely. Predstavuje najväčší potenciál obnoviteľnej energie. Tvoria ju materiály rastlinného a živočíšneho pôvodu vhodné pre energetické využitie. Pre dosiahnutie maximálneho využitia energie v palive sú uvedené zdroje realizované prevažne ako kombinovaná výroba tepla a elektrickej energie – kogeneračné jednotky. Energetický význam tejto produkcie elektrickej energie je relatívne malý. Podstatne väčší význam má dnes ako ekologický spôsob zneškodňovania odpadov. Z 1 m³ bioplynu sa vyrobí až 1,6 kWh elektrickej energie a asi 3,5 kWh tepelnej energie. Možnosti využitia biomasy na energetické účely predurčujú hlavne jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Veľmi dôležitým parametrom je vlhkosť, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnotu 50 % sušiny je možné považovať za hraničnú medzi procesmi mokrymi (obsah sušiny je menší ako 50 %) a suchými (obsah sušiny je vyšší ako 50 %).



Obrázok 17 - Mapa zariadení vyrábajúcich elektrickú energiu z biomasy



Obrázok 18 - životný cyklus spracovania biopalív

Plodiny ako ozdobnica čínska, trsteník obyčajný, konopa siata, energetický pýr, sida obojpohlavná spĺňajú parametre výhrevnosti a môžu sa použiť ako palivo do tepelných zariadení, nehovoriac o ich pozitívnom dopade na životné prostredie. Pestovanie energetických rastlín má význam aj pri efektívnejšom využití poľnohospodárskej pôdy nižšej bonity. Môžu sa pestovať ako súčasť greeningu do výmery 5 % v rámci výmery poľnohospodárskej pôdy farmára. Podľa súčasných dostupných zdrojov sa výmery energetických rastlín nezvyšujú, majú stagnujúci charakter. Napr. plocha ozdobnice čínskej na Záhorí klesla z výmery 120 ha na 80 ha. V rámci celého Slovenska sa nedá hovoriť o intenzívnom, ale o extenzívnom pestovaní tejto rastliny. Stále je problém s realizáciou produkcie, konkrétne s odbytom brikiet a peliet v ekonomicky výhodných cenách. Medzi nové energetické introdukované rastliny patrí sida obojpohlavná, jej výmera 15 ha je zatiaľ v štádiu overovania a rajonizácie, záleží však na tom, aké bude jej využitie v spracovateľskom priemysle. Pestovanie rastlín na bioetanol, medzi ktoré môžeme zaradiť ozdobnicu čínsku, pýr predĺžený, trsteník obyčajný, je zatiaľ len v teoretickej úrovni. Výmery týchto plodín sú limitované záujmom spracovateľského priemyslu.

Poľnohospodárska pôda na Slovensku podľa evidencie katastra nehnuteľností predstavuje k 1.1.2016 výmeru 2 389 616 ha. Z toho nevyužitá poľnohospodárska pôda predstavuje 464 830 ha. Túto pôdu, ktorá sa nevyužíva na pestovanie plodín pre potravinové účely, by bolo možné využívať prednostne na pestovanie plodín pre účely energetiky. Výmera nevyužívanej poľnohospodárskej pôdy za ostatné roky v SR totižto neustále stúpa. Príčin je viac. Jednou z nich je pokles počtu chovaných hospodárskych zvierat a tým aj pokles potrieb pestovania krmovín pre ich chov. Pestovaním energetických rastlín sa neznižuje úrodnosť pôdy. Po ukončení pestovania tieto rastliny zanechávajú pôdu v dobrom štruktúrnom stave s pozitívnou bilanciou živín. Nehovoriac o zabránení výraznejšej veternej a vodnej erózii, vyparovaniu vody a odnosu živín. Navyše trváce porasty energetických rastlín stabilizujú odtok vody z územia. Z hľadiska hospodárskeho významu sa dokonca odporúča pestovať takého plodiny aj na pôdach s nižšou kvalitou. Pre pestovanie energetických rastlín je tak možné využívať nielen nevyužitú poľnohospodársku pôdu, ale aj pôdu menej kvalitnú napr. okolo ciest alebo pôdu kontaminovanú. V rámci jednotnej poľnohospodárskej politiky EÚ vznikol v súvislosti s dočasným, alebo trvalým nevyužívaním pôdy na poľnohospodársku činnosť (5 %) nový fenomén, a to pestovanie energetických plodín v týchto lokalitách, pretože po biomase ako palive je čoraz väčší dopyt. Poľnohospodári majú teda predpoklad na odbyt energetických plodín a palív z nich vyrobených, a to tak doma, ako aj v okolitých krajinách.

3.5 Geotermálna energia

Elektrickú energiu je možné vyrobiť premenou geotermálnej energie v elektrárňach:

1. hydrotermálnych pomocou geotermálne nahriatej spodnej vode alebo pare,
2. cirkulačných prostredníctvom výmenníkov tepla.



Obrázok 19 - mapa geotermálnych zariadení

V hĺbke 5 km sa všade v zemskej kôre nachádzajú "horúce suché horniny" (Hot Dry Rock - HDR). Tieto predstavujú ohromný energetický potenciál. Metóda získavania tepla je založená na vyvrtaní dvoch vrtov do nepriepustných hornín s vysokou teplotou (150 až 200 °C). Vrtý sa spoja a následne sa do jedného z nich vtláča voda, ktorá sa zohreje a druhým vrtom sa vracia naspäť na povrch. Na Slovensku sa tento systém zatiaľ nevyužíva, pričom existujú asi štyri potenciálne oblasti na takéto použitie.

3.5.1 Spôsob výroby elektrickej energie v geotermálnej elektrárni

Geotermálne elektrárne využívajú tepelnú energiu geotermálnej vody, resp. geotermálnej pary na výrobu elektrickej energie. Z ekonomického hľadiska je výroba elektrickej energie najvýhodnejšia pri teplote geotermálneho zdroja vyššej ako 180 °C. Na základe skupenstva a teploty využívaného geotermálneho tepla existuje niekoľko druhov geotermálnych elektrární. Základné typy sú tieto:

- s prehriatou parou, kde para vychádzajúca z vrtu spolu s vodou po separácii poháňa parnú turbínu s generátorom, alebo je para z vrtu zavedená do parogenerátora (výmenník tepla), kde vyrába paru z povrchovej vody, ktorá následne poháňa parnú turbínu spojenú s elektrickým generátorom. Voda vychádzajúca zo separátora je odvádzaná do riek, alebo (oveľa častejšie a účinnejšie) vrátená cez reinjektážny vrt späť do podzemia. Tým sa súčasne vyvarujeme znečisteniu životného prostredia, zmenší sa pokles tlaku v podzemí a zároveň sa zníži jeho vyprázdňovanie,
- s horúcou vodou, keď geotermálna voda s vysokým tlakom a teplotou sa v expandéri premení na mokrú paru, ktorá poháňa parnú turbínu s generátorom,
- s binárnym cyklom, keď geotermálna voda s teplotou nad cca 130 °C vo výmenníku zohreje kvapalinu s nízkym bodom varu (čpavok, izobután), ktorej para poháňa expanznú turbínu spojenú s elektrickým generátorom.

4 MIKROGRIDY

4.1 Konceptcia mikrogridu

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 potrebám vytvorenia siete mikrogrid. Veľké objemy distribuovaných zdrojov elektrickej energie, 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 mikrogrid sa očakáva, že umožní nie len efektívne postupné dobíjanie elektromobilov, ale aj umožní využitie časti kapacity batérií pripojených elektromobilov pre potreby siete.

Pre dosiahnutie správneho fungovania sietí konceptu mikrogrid sú potrebné akumulčné systémy.

4.2 Vplyv mikrogridu na distribučnú sústavu v prípade jeho paralelnej prevádzky s nadradenou sieťou

4.2.1 Súčasný stav distribučných sústav

Riešenie problematiky zabezpečenia spoľahlivej, kvalitnej a hospodárnej prevádzky distribučnej sústavy z hľadiska integrácie obnoviteľných zdrojov je vysoko aktuálne.

Pripájanie nových zdrojov OZE má v mnohých prípadoch za následok zmenu smeru toku výkonu v 22 kV sieťach. Donedávna za typický smer toku výkonu bol považovaný smer od elektrických staníc 110/22 kV smerom ku odberateľom, ktorí boli napájaní z distribučných transformátorov 22/0,4 kV. Tejto skutočnosti bol prispôsobený aj rozvoj distribučnej sústavy.

Integrácia OZE spôsobuje nielen odklon od tohto typického spôsobu prevádzky, ale nestálosť výroby OZE spôsobuje, že prevádzka distribučných sietí sa stáva zložitejšou. U vybraných OZE dochádza ku nepredvídaným zmenám generovaného výkonu počas dňa, čo môže vyvolávať zmeny smeru toku výkonu aj viackrát za deň.

Hlavným problémom napr. FVE, prípadne veterných elektrární (VtE) je značný vplyv poveternostných podmienok. Prudká zmena klimatických podmienok (slné žiarenie pri FVE a vietor pri VtE) má za následok pomerne rýchlu odozvu na dodávaný výkon. To má samozrejme za následok kolísanie napätia v mieste pripojenia spôsobené prebytkom alebo nedostatkom energie v DS. Príslušné normy povoluujú odchýlku napätia od nominálnej hodnoty v rozmedzí $\pm 10\%$. V prípade, že OZE produkuje viac energie ako sa v danej chvíli spotrebuje, môže dôjsť aj k nárastu napätia mimo dovolenú toleranciu.

Keďže v súčasnej dobe je jedinou možnosťou regulácie napätia v DS prepínanie odbočky distribučného transformátora, je nutné aplikovať do DS reguláciu napätia, ktorá by minimalizovala kolísanie napätia spôsobeného kolísaním výroby z OZE. Samozrejme, použitie regulátorov napätia v DS nemusí byť striktné obmedzené len na riešenie problematiky s výrobou z OZE, ale je možné ich použiť aj na riešenie kolísania napätia spôsobeného častou zmenou odberu, nevyváženej siete, ktorá je spôsobená nerovnomerným rozložením odberu vo fázach, prípadne na riešenie zlepšovania harmonického skreslenia, rýchlych zmien napätia a podobne.

Obmedzenie vplyvov na prevádzku distribučnej siete súvisiacich so zmenou napätových a výkonových pomerov v distribučnej sústave riešia v súčasnosti prevádzkovatelia DS (PDS) stanovením podmienok v svojich technických podmienkach prevádzkovateľov jednotlivých DS (TP PDS). Tieto dokumenty sú záväzné pre všetkých účastníkov trhu s elektrinou na jeho vymedzenom území.

V rámci posudzovania pripojiteľnosti zdroja do distribučnej siete sa bežne vyhodnocuje:

- krátkodobé a dlhodobé poklesy a prerušenia výroby,
- flíker,
- dočasné a prechodné prepätia,
- emisie medziharmonických a harmonických zložiek prúdu (ovplyvňujúce medziharmonické a harmonické zložky napätia v distribučnej sústave),
- dovoľená zmena napätia v uzle pripojenia počas ustáleného stavu,
- dovoľená zmena napätia v uzle pripojenia pri spínaní,
- ovplyvňovanie HDO.

V technických podmienkach prevádzkovateľov DS je problematika pre paralelnú prevádzku zdrojov a akumulčných zariadení s distribučnou sústavou riešená stanovením pravidiel, ktoré platia pre plánovanie, výstavbu, prevádzku a úpravy výrobní elektriny ako aj akumulčných zariadení pripojených k DS NN, VN alebo VVN PDS a výrobní miestnych distribučných sústav pripojených do DS. Prevádzku zariadení na výrobu elektriny v súvislosti s DS môžeme rozdeliť do nasledujúcich troch skupín:

1. Paralelná prevádzka s distribučnou sústavou (známa tiež ako „on-grid“) - výrobnia je trvalo pripojená k distribučnej sústave, od ktorej je závislá (v prípade výpadku napájania z distribučnej sústavy nie je schopná prevádzky). Výrobnia musí spĺňať technické a obchodné podmienky prevádzkovateľa DS a teda je potrebné uzatvorenie zmluvy o pripojení zariadenia na výrobu elektriny do distribučnej sústavy.
2. Hybridné systémy sú zariadenia na výrobu elektriny, ktoré sú schopné paralelnej prevádzky s distribučnou sústavou (on-grid) a taktiež ostrovnej prevádzky (známa tiež ako „off-grid“). Jedná sa o systém paralelne pracujúci s distribučnou sústavou, ktorý sa len prechodne odpája od distribučnej sústavy, hlavne v jej bežnom stave. Takýto systém v čo najväčšej miere využíva energiu vyrobenú napr. fotovoltickými panelmi/veternou turbínou (uskladňuje ju v batériách pre jej využitie v dobe slabého osvetlenia panelov/bezvetria resp. v prípade bežného stavu). Aj tento prípad musí spĺňať technické a obchodné podmienky prevádzkovateľa DS a teda je potrebné uzatvorenie zmluvy o pripojení zariadenia na výrobu elektriny do distribučnej sústavy.
3. Trvalá ostrovná prevádzka bez možnosti paralelnej spolupráce s distribučnou sústavou (známa tiež ako „off-grid“). Ostrovný systém je trvalo mechanicky a elektricky oddelený od distribučnej sústavy bez možnosti pripojiť sa k nej a to nielen z hľadiska fázových vodičov, ale aj z hľadiska neutrálnych, ochranných vodičov a pomocných obvodov. Ako taký nepodlieha žiadnemu schvaľovaniu zo strany prevádzkovateľa DS a teda nie je potrebné uzatvorenie zmluvy o pripojení zariadenia na výrobu elektriny do distribučnej sústavy.

Rastúci podiel energie z obnoviteľných zdrojov si vyžaduje aj jej lepšie uskladnenie resp. presunutie prebytočnej energie v rámci regiónov. Pokiaľ nie je uvedené inak, vzťahujú sa ustanovenia

TP PDS platné pre zariadenia na výrobu elektriny taktiež na elektrické akumulčné zariadenia v režime dodávky elektriny do sústavy.

Integrácia OZE do života spoločnosti prináša zmeny v chovaní odberateľov, z ktorých sa stávajú aj výrobcovia. V súčasnosti však pripájanie OZE môže priniesť zníženie kvality elektriny pre koncového zákazníka. Pracovný poriadok PDS (PP PDS) špecifikuje technické podmienky pripojenia do DS vždy aj so zreteľom na možnosti zhoršenia kvality elektriny v konkrétnom mieste DS, pretože PDS je povinný zabezpečovať distribúciu elektriny všetkým užívateľom DS podľa príslušných technických noriem. Ide najmä o nasledujúce zásady: napr. Vzhľadom na fakt, že v DS sú všetky prvky a zariadenia navzájom galvanicky prepojené, musia byť pre správnu funkciu navzájom elektromagneticky kompatibilné, a to v zmysle Smernice 2014/30/EÚ. Zariadenie alebo prístroj nesmie generovať elektromagnetické rušenie, ktoré by bránilo obvyklému používaniu iných zariadení a musí byť taktiež dostatočne odolné proti rušeniu, ktoré je možné v DS očakávať.

Užívateľ DS, ktorého zariadenie spôsobuje negatívny vplyv na kvalitu napätia v DS v takej miere, že sú prekračované limity stanovené v TP PDS, je povinný ihneď urobiť nápravu alebo ihneď odpojiť takéto zariadenie od DS. Ak tak užívateľ DS neurobí, PDS pristúpi k prerušeniu distribúcie elektriny alebo zariadenie užívateľa DS odpojí od DS.

Integrácia OZE ďalej prispieva aj k tomu, že prenášaný výkon 110 kV vedení je v prevažnej miere menší ako ich prirodzený výkon, a tým 110 kV vedenia sú generátormi jalového výkonu. Hlavným dôvodom málo zaťažených 110kV vedení však je dôsledné dodržiavanie spoľahlivostného kritéria N-1, ktoré vyplýva z rozvoja distribučnej sústavy.

V súčasnosti prebieha inštalácia inteligentných zariadení do vedení 22 kV, napr. reclosery, diaľkovo riadené úsekové odpínače, diaľkovo riadené transformačné stanice 22/0,4 kV a indikátory prechodu poruchového prúdu. Tieto inteligentné zariadenia prinášajú možnosti pre nové prístupy ku riadeniu sietí. DS je schopná rýchlejšie a pružnejšie reagovať na poruchu a rýchlejšie pristúpiť k prípadným potrebným manipuláciám či opravám. Inteligentné zariadenia sú schopné vykonávať určité funkcie automaticky a o tejto svojej činnosti podávať správu okolitým zariadeniam alebo nadradenému riadiacemu informačnému systému. Používajú sa pre automatické riešenie porúch, ktoré pozostáva z lokalizácie miesta poruchy a následnej rekonfigurácie siete.

4.2.2 Modernizácia distribučných sústav

Súčasná sieť umožňuje prenos elektriny len jedným smerom, teda z miesta centralizovanej výroby do miesta spotreby a tomu sú prispôsobené aj platné dokumenty prevádzkovateľov DS.

Legislatívne požiadavky na samotné siete mikrogrid a ich časti vychádzajú zo Smernice Európskeho parlamentu a rady a Rady 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 odporučia, 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.

Pretvorenie v súčasnosti fungujúcej sieti na koncept mikrogrid bude finančne veľmi nákladné. Budovanie sietí typu mikrogrid neprebehne zo dňa na deň. Je to evolučný proces modernizácie elektrizačných sústav, ktorý odráža aj požiadavky a potreby koncových odberateľov.

Tento proces prestavby už však beží a mnohé krajiny rozbiehajú rôzne pilotné projekty, ktoré majú demonštrovať realizovateľnosť a výhodnosť tejto technológie.

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.

Koncept mikrogrid v rámci rozvoja distribučnej sústavy umožňuje riešiť požiadavku na zvýšenie inštalácie OZE v súlade s naplnením environmentálnych cieľov stanovených Európskou komisiou a zároveň eliminovať problémy, ktoré integrácia OZE prináša súčasným prevádzkovateľom distribučných sústav, ktoré boli navrhnuté a konštruované pre koncept centralizovanej výroby elektrickej energie.

Mikrogrid sa zavádza s cieľom umožniť väčšie zapojenie spotrebiteľov do riadenia ich spotreby.

Siete mikrogrid 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 technológií inteligentných sietí.

Hospodárna výroba energie z pomerne ťažšie predikovateľných zdrojov energie vedie k jej využívaniu v mieste výroby, resp. k akumulácii energie do inej formy pre neskoršie využitie, resp. využitie v čase energetických špičiek. Tým vzniká predpoklad, že odberové diagramy budú plochejšie.

Technológie inteligentných sietí umožňujú zmeniť prístup k záťaži v sieti a umožniť jej prevádzkovateľom aktívne zapojenie sa do trhu s elektrickou energiou a do riadenia systému.

Sieť mikrogrid bude mať svoje vnútorné pravidlá fungovania, ale zároveň bude pripojená aj k nadradenej, väčšinou distribučnej, sústave a práve distribučná sústava bude najviac zasiahnutá konceptom mikrogrid.

Použitie inovatívnych digitálnych technológií umožní monitorovať celú sieť a regulovať energetické toky ako prevenciu pred výpadkami, čím sa dosiahne bezchybné zásobovanie elektrinou.

Medzi očakávané prínosy konceptu mikrogrid je možné zaradiť:

- 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 energie 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 užívateľom.
- 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,
- zavedenia 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.

Ako príklad pre nutnosť prebudovania riadiaceho systému centra distribučných sústav v súvislosti so zavádzaním konceptu mikrogrid uvádzame zo súčasne platných TP PDS napr. požiadavky na kooperáciu s riadiacimi a informačnými systémami. Zdroje pripojené do DS s celkovým inštalovaným výkonom 100 kW vrátane a vyšším musia byť diaľkovo ovládané, signalizované a merané z príslušného

nadriadeného elektroenergetického dispečingu v súlade s požiadavkami šandardizácie riadiacich a informačných systémov dispečerských pracovísk a energetických objektov prevádzkovateľov. Pri zdrojoch do 100 kW PDS môže vyžadovať pripojenie výrobné na dispečerský systém riadenia. Požiadavky na pripojenie riadiacich systémov energetických zariadení k dispečerskému riadeniu sa realizujú v zmysle platných zásad PDS.

Technológie inteligentných sietí majú byť nasadené masívne, aby umožnili nástup „novej energetiky“.

Z vyššie uvedených skutočností vyplýva, že distribučná sieť bude musieť v nasledujúcich rokoch prechádzať významnými štrukturálnymi a administratívnymi zmenami a bude potrebné upraviť legislatívne prostredie tak, aby podporovalo rozvoj konceptu mikrogrid.

4.3 Vplyvy sietí mikrogrid na prenosovú sústavu

Prenosová sústava SR je predovšetkým súbor navzájom galvanicky pospájaných technologických zariadení 400 kV, 220 kV a vybraných zariadení 110 kV, prostredníctvom ktorých sa realizuje prenos elektriny od jej výrobcov k jednotlivým odberateľom z prenosovej sústavy SR (PS SR), ako aj cezhraničný prenos elektriny.

Elektrizačná sústava je z technicko-fyzikálneho hľadiska jednotným a komplexným systémom s platnými fyzikálnymi zákonmi. Tento systém kladie vysoké nároky na zaručenie bezpečnej, spoľahlivej a hospodárnej prevádzky elektrizačnej sústavy ako celku. Tradičný pohľad na energetickú sústavu až doteraz bol, že elektrina tiekla jedným smerom od veľkého zdroja cez prenosovú a distribučnú sústavu k odberateľom. V súčasnej dobe dochádza k zásadným zmenám v štruktúre výrobných zdrojov elektrickej energie.

Centralizované výrobné zdroje elektrickej energie sú stále častejšie nahradzované decentralizovanými zdrojmi elektrickej energie, predovšetkým obnoviteľnými zdrojmi elektrickej energie. Dochádza k integrácii obnoviteľných zdrojov elektrickej energie (najmä fotovoltických elektrární) do elektrizačnej sústavy so značným sumárnym inštalovaným výkonom. Obnoviteľné zdroje sú obvykle pripojované do distribučnej sústavy, čo má v extrémnych prípadoch za následok zmenu toku výkonu v miestach pripojenia prevádzkovateľa DS do PS.

Obnoviteľné zdroje sa od konvenčných zdrojov odlišujú predovšetkým horšou možnosťou regulácie výkonu. V mnohých prípadoch počas dňa môžu nastať veľké neočakávané zmeny vyrábaného výkonu. Tieto zmeny spôsobujú problémy súčasným prevádzkovateľom prenosovej a distribučných sústav, ktoré boli navrhnuté a konštruované pre koncept centralizovanej výroby elektrickej energie. Ďalším problémom pre prevádzkovateľov elektrizačnej sústavy je, že nárast či pokles výroby z OZE nie vždy korešponduje s vývojom spotreby elektriny.

EÚ pomáha vytypovaným krajinám spolupracovať na rozvoji lepšie prepojených energetických sietí a poskytuje finančné prostriedky na novú energetickú infraštruktúru. Prepojenejšia energetická sieť umožní lepšie využívanie OZE a prepojenejšia sieť je schopnejšia absorbovať neočakávaný nedostatok a výpadky. Z Nariadenia EÚ 2019/941 o pripravenosti na riziká v odvetví elektrickej energie je možné uviesť: V kontexte vzájomne prepojených trhov a systémov s elektrickou energiou nemožno predchádzanie a riadenie kríz elektrickej energie považovať za čisto vnútroštátnu úlohu. Potenciál účinnejších a menej nákladných opatrení prostredníctvom regionálnej spolupráce by sa mal lepšie využívať. Je potrebný spoločný rámec pravidiel a lepšie koordinované postupy, aby sa zabezpečilo, že členské štáty a ostatní aktéri budú schopní účinne cezhranične spolupracovať v duchu zvýšenej transparentnosti, dôvery a solidarity medzi členskými štátmi.

Rozvoj a výstavba nových vnútroštátnych a medzištátnych prepojení musí byť zosúladené a všetky prepojenia môžu byť budované len do takej miery, aby nedošlo k ohrozeniu bezpečnosti a spoľahlivosti prevádzky ES.

Z pohľadu zaťaženia cezhraničných vedení dochádza vplyvom neplánovaných tranzitných tokov k stavom ohrozujúcim bezpečnú prevádzku sústavy (neplnenie kritéria N-1). Veľkosti objemov

neplánovaných cezhraničných výmen a tranzitných tokov sú spôsobené taktiež nestálosťou výroby elektriny z OZE (najmä výroba elektriny z veterných a fotovoltických elektrární) s vysokým celkovým inštalovaným výkonom na severozápade Európy a jej prenos do ES s importným saldom v strednej a juhovýchodnej Európe, čo spôsobuje zvýšenie nárokov na prenos elektriny na veľké vzdialenosti.

Dobрым koncepčným rozvojovým signálom ohľadom znižovania tranzitných tokov je posilňovanie vnútornej nemeckej PS výstavbou nových 400 kV vedení, čoho následkom by mala byť ďalšia eliminácia kruhových tranzitných tokov, ktoré ohrozujú bezpečnosť prevádzky okolitých PS. Kruhový tok je fyzikálny tok výkonu, ktorý začína aj končí v tej istej regulačnej oblasti a prenáša sa cez inú regulačnú oblasť a spoločne s paralelnými tokmi ovplyvňuje celkové fyzikálne toky výkonu. Paralelné toky sú fyzikálne toky výkonu cez regulačnú oblasť vznikajúce v dôsledku obchodnej výmeny medzi inými regulačnými oblasťami.

Vzhľadom na to, že sú všetky prvky v elektrizačnej sústave vzájomne prepojené a môžu sa navzájom ovplyvňovať, je nevyhnutné vytvoriť pravidlá, ktoré zabezpečia možnosť integrácie decentralizovaných OZE bez negatívneho dosahu na celú elektrizačnú sústavu. Jednotky novej generácie musia spĺňať predpisy siete vydané PPS.

Podstatou podporných služieb je zabezpečovanie vyrovnanej výkonovej bilancie. Na jednej strane stojí výroba elektriny od klasických zdrojov až po obnoviteľné, na druhej sú odberatelia, resp. koneční spotrebitelia. Výroba a spotreba musia byť v rámci prepojenej sústavy v každom momente v rovnováhe. Prístup k podpore obnoviteľných zdrojov zakotvený v zákone č. 309/2009 o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby priniesol na trh s elektrinou novú skupinu výrobcov, ktorí vyrábajú elektrinu nie na základe dopytu, ale prakticky kedykoľvek im to klimatické podmienky umožnia. Zodpovednosť za odbyt vyrobenej elektriny a aj za prípadnú odchýlku od plánu je prenesená v prvom rade na PDS, ktorí majú povinnosť vykupovať elektrinu z OZE, ale v konečnom dôsledku musí vyrovnanú výkonovú bilanciu zabezpečiť PPS.

Fotovoltické elektrárne patria medzi ťažko predikovateľné zdroje elektrickej energie a preto majú významný vplyv na veľkosť objemov podporných služieb. Veterné elektrárne sú svojou variabilitou kývania výkonu podobné FVE. Sumárny inštalovaný výkon vo veterných elektrárnach v SR je však momentálne tak malý, že jeho vplyvom na podporné služby sa PPS nezaobera. PPS analyzuje aj vplyv na PS ostatných typov elektrární využívajúcich obnoviteľné zdroje ako sú biomasa, bioplyn, malé vodné elektrárne a kogeneračné jednotky na základe merania ich dodávky výroby do DS.

Aktuálny vývoj energetiky u nás smeruje k modelu veľkých systémových zdrojov kombinovaných s obnoviteľnými zdrojmi a distribuovanou výrobou energie. Scenáre a varianty pre skúmanie budúceho rozvoja PS SR vymedzujú pravdepodobný vývoj zdrojového mixu v SR a jeho dopad na zaistenie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky ES SR v sledovanom období. PPS musí dokázať adekvátne reagovať na vývoj v zahraničí aj doma tak, aby v každom okamihu bolo zabezpečené bezpečné a spoľahlivé zásobovanie užívateľov PS elektrinou. Túto strategickú úlohu je možné v dlhodobom horizonte naplniť len správnymi rozhodnutiami zameranými na rozvoj PS.

Súčasný celosvetový trend v oblasti využívania obnoviteľných zdrojov energií smerujú k neustále sa zvyšujúcim nárokom na reguláciu OZE a ich hospodárne využívanie a to vedie k budovaniu sietí typu mikrogrid.

Preto riešenie problematiky 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 aktuálne.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že koncept budovania sietí konceptu mikrogrid má na prenosovú sústavu značný vplyv. Od siete mikrogrid sa v budúcnosti očakáva zabezpečenie riadenia výroby a spotreby na úrovni lokálnej distribučnej siete, zabezpečenie bilancie výroby a spotreby s možnosťou akumulácie energie do inej formy pre neskoršie využitie, prípadne zabezpečenie autonómnej ostrovnej prevádzky tejto distribučnej siete.

Prenosová sústava však bude naďalej plniť významnú úlohu pri bezpečnom a spoľahlivom zásobovaní užívateľov PS elektrinou aj v prípade masívneho nasadenia technológií inteligentných sietí.

Bude nevyhnutné otvárať projekty spoločného záujmu PPS a PDS a bude potrebná efektívna a produktívna spolupráca pri riešení ďalšieho posilňovania odolnosti a spoľahlivosti ES.

Určite budú existovať veľkí odberatelia či výrobcovia elektriny, ktorí prostredníctvom svojich elektroenergetických zariadení budú priamo pripojení do PS. Naďalej ostáva potreba medzinárodného tranzitu a taktiež potreby existujúcich resp. nových prevádzkovateľov regionálnych distribučných sústav napr. pri požiadavke o pripojení k prenosovej sústave v prípade problémov so zabezpečením výkonovej bilancie. Rovnako ostáva potreba riešenia mimoriadnych situácií. Dokonca aj zástancovia ostrovných Smart Regiónov hovoria o možnosti vzájomnej výpomoci a obchode jednotlivých Smart Regiónov v prípade nedostatku energetických zdrojov v jednom regióne a prebytku v inom regióne. Rozvoj systémov mikrogrid a s tým spojený presun výroby z veľkých zdrojov do distribučných sietí môže ovplyvniť napríklad aj systémové služby dvoma spôsobmi, a to zmenou potreby podporných služieb (zvýši alebo zníži potrebný objem podporných služieb na zabezpečenie systémovej služby) a zmenou dostupnosti podporných služieb.

Je však otáznym spôsob financovania poskytovania systémovej a podporných služieb a spôsob financovania prevádzky, údržby a rozvoja prenosovej sústavy.

4.3.1 Vplyvy sietí mikrogrid na napätovú stabilitu prenosovej sústavy

Napätová a frekvenčná stabilita prenosovej sústavy súvisí so schopnosťou udržať rovnováhu činných a jalových výkonov (medzi výrobou a spotrebou) a tým aj stabilnú frekvenciu a napätie po rozrušení z daného východiskového ustáleného stavu.

V ES v každom časovom okamihu musí byť dodržaná bilancia činných a jalových výkonov. Bilancia výkonov je závislá od napätia v elektrickej sieti.

Suma jalových výkonov zaťaženia (vrátane vlastnej spotreby elektrární a rozvodní) a jalových strát výkonu v elektrických sieťach sa rovná súčtu generovaných jalových výkonov v elektrárňach, nabíjajúcich výkonov vedení a jalových výkonov kompenzačných zariadení. Táto bilancia sa neustále udržiava vzhľadom na zmenu generovaného jalového výkonu a zmenu spotrebovaného jalového výkonu.

Prenos jalového výkonu v ES je spojený so značnými úbytkami napätia a jalového výkonu, vzhľadom na veľké reaktancie vedení a transformátorov. Bilanciu jalových výkonov je potrebné dodržať pre každý uzol PS zvlášť.

Odhad pracovnej oblasti, v ktorej sa napätová stabilita prenosovej sústavy nachádza, je možné určiť pomocou PU kriviek. PU krivka vyjadruje činný výkon ako funkciu napätia.

Metódu PU kriviek je možné uskutočniť prostredníctvom výpočtu ustáleného stavu siete postupným navyšovaním spotreby vo vybraných uzloch. Za hranicu napätovej stability je potom možné označiť bod s maximálnym zaťažením a prislúchajúce napätie je označované ako kritické napätie. Vzhľadom na to, že v blízkosti hranice napätovej stability dochádza k divergencii iteračných metód (Gauss-Seidlova metóda, Newton-Raphsonova metóda), nie je možné v rámci analýzy jednoznačne vypočítať hranicu napätovej stability. Za hranicu napätovej stability tak môže byť uvažovaný bod s najvyšším vypočítaným zaťažením.

Určenie statických napätových charakteristík zaťaženia výpočtom je spojené s určitými problémami, pretože sú závislé od zostavy spotrebičov, konštrukčných vlastností strojov a pod.

V praxi sa tieto charakteristiky získavajú meraním. V ľubovoľnom uzle zložitej sústavy je možné zmerať závislosť zmien činného výkonu P na napätí U ($Q = \text{konšt.}$) a tiež jalového výkonu Q na napätí U ($P = \text{konšt.}$) pri zmenách zaťaženia.

Kvalita elektrickej energie je charakterizovaná najmä frekvenciou v ES a napätím v uzloch sústavy. Odchýlky týchto ukazovateľov určujú normy, preto pre ich dodržanie v dovolených hraniciach je potrebné ich zabezpečiť reguláciou.

Regulácia napätia v elektrizačnej sústave spadá medzi široké spektrum úloh, ktoré sú riešené v operatívnej prevádzke sústavy. Regulácia napätia je úloha, ktorá zohráva dôležitú rolu z pohľadu stability a bezpečnosti prevádzky elektrizačnej sústavy, kvality dodávky elektriny a v neposlednom rade

optimalizácie prevádzky sústavy. Proces regulácie napätia je možné realizovať rôznymi spôsobmi a za použitia rôznych technických regulačných prostriedkov. Použitie týchto prostriedkov je okrem plnenia technických kritérií viazané tiež požiadavkou na hospodárnosť prevádzky PS, spočívajúcou v minimalizácii celkových činných strát v sústave.

Prevádzkovateľ prenosovej sústavy (PPS) je zodpovedný za to, že prevádzkové napätie bude udržiavané v jednotlivých uzloch PS v definovaných hodnotách. Z tohto dôvodu sa musí postarať o vyrovnanú bilanciu jalového výkonu v jednotlivých častiach siete. Vzhľadom na to, že je nevhodné prenášať jalový výkon na veľké vzdialenosti, táto rovnováha jalového výkonu sa zabezpečuje v rámci príslušnej sieťovej oblasti.

Pre prevádzku PS z pohľadu riadenia napätia platia tieto prevádzkové kritériá:

- a) Napätie v uzloch PS sa má pohybovať vo vnútri povoleného rozsahu 400 kV $\pm 5\%$, 220 kV $\pm 10\%$ a 110 kV $\pm 10\%$ (pre odovzdávacie miesta medzi PS a PDS). Maximálne dovolené napätia v PS sú dané normou, z ktorej vychádzajú požiadavky koordinácie izolácie v PS voči prepätiu, a možnosti udržania požadovaných napätí v sústave a zariadeniach nižších napäťových hladín. Minimálne dovolené napätia v PS vychádzajú hlavne z požiadavky na udržanie požadovaných napätí v sústave a zariadeniach nižších napäťových hladín, zabezpečenia dostatočnej zálohy prevádzky sústavy od napäťového kolapsu a rezervy na prevádzku sústavy v neúplnom zapojení, a umožnenie optimalizácie strát v PS.
- b) Odporúčaný rozsah napätia v hraničných rozvodniach PS (tuzemské) je v jednotlivých prípadoch predmetom dohôd medzi tuzemskou a zahraničnou PS.
- c) Napätie v odovzdávacích miestach medzi PS a PDS je za normálnych prevádzkových podmienok udržiavané na zadanej hodnote v tolerančnom pásme $\pm \Delta U$ [%] s časovou konštantou regulácie T [s]. Konkrétne veľkosti zadaných hodnôt napätí, tolerančného pásma a časové konštanty sú určené pre každé odovzdávacie miesto v spolupráci PS a PDS.
- d) Jalové výkony po spojovacích vedeniach majú byť minimalizované. Odporúčané maximálne hodnoty sú pre vedenie 400 kV : ± 100 MVAR, pre 220 kV : ± 50 MVAR.
- e) Jalové výkony zdrojov jalového výkonu (synchronných generátorov) sa majú pohybovať vo vnútri povoleného regulačného rozsahu (daného prevádzkovým PQ diagramom príslušného zariadenia na výrobu elektriny). Na zariadeniach na výrobu elektriny je potrebné udržiavať dostatočnú rezervu jalového výkonu na zabezpečenie bezpečnej prevádzky ES.

S rozvojom decentralizovaných zdrojov elektrickej energie dochádza k odľahčovaniu siete, čo vedie k problémom s riadením jalových výkonov a napätia v elektrizačnej sústave. Tento jav nie je obecný v každom prevádzkovom okamžiku, ale vyskytuje sa hlavne pri nižších zaťaženiach sústavy. Pri prenose výkonu po vedeniach PS menšom, ako je prirodzený výkon, nabíjací výkon vedenia je väčší ako jalové straty v pozdĺžnej impedancii, čím sa vedenie prejaví ako zdroj jalového výkonu. S ďalším rozvojom prenosovej sústavy a narastajúcim podielom energie z obnoviteľných zdrojov je možné očakávať postupné ďalšie narastanie týchto problémov U/Q, čo si vyžiada potrebu podrobných analýz prevádzkových režimov.

Kvôli vytvoreniu primeranej rezervy jalového výkonu v rámci regulačnej oblasti musia byť uzly prenosovej sústavy prevádzkované na napätiach, ktoré sú dostatočne ďaleko od kritickej hodnoty.

Napätie je dôležitý prevádzkový parameter chodu elektrizačnej sústavy, ktorý má oblastný charakter a v konečnom dôsledku určuje kvalitu dodanej energie u odberateľa. Vzhľadom na to, že koncept mikrogrid prináša ďalšie odľahčenie nielen distribučnej sústavy, ale aj prenosovej sústavy, je potrebná spolupráca PPS a PDS v zabezpečení udržania stanovených úrovní napätia pre jednotlivé úrovne ES. Regulácia napätia v ES sa uskutočňuje na jednotlivých napäťových úrovniach rôznymi prostriedkami. Prevádzkovateľ distribučnej sústavy, v ktorej príslušný mikrogrid bude implementovaný, bude musieť zmeniť technické podmienky pripojenia a prístupu do DS.

4.3.2 Vplyvy sietí mikrogrid na statickú stabilitu veľkých synchrónnych generátorov

Činný výkon dodávaný generátorom do sústavy sa mení podľa požiadavky odberateľov (zaťaženia sústavy). Zmena dodávky výkonu spôsobuje zmenu dodávaného prúdu, čím sa úbytok napätia na reaktancii generátora mení. Zmena úbytku napätia na reaktancii generátora spôsobí zmenu napätia na svorkách generátora. Odchýlky svorkového napätia generátora musia byť v predpísaných medziach. Dodržať svorkové napätie generátora v predpísaných medziach vyžaduje regulovať ho v predpísaných toleranciách. Pomocou budiaceho prúdu sa mení veľkosť fiktívneho budiaceho napätia. Túto reguláciu napätia je potrebné robiť tak, aby napätie na svorkách (resp. napätie v pilotnom uzle ES) bolo konštantné.

Riešenie statickej stability synchrónneho generátora (uhla rotora generátora) spočíva vo vyšetrení stability jedného synchrónneho stroja, resp. skupiny strojov v spolupráci s ostatnou elektrizačnou sústavou.

Posudzovanie statickej stability je vlastne posudzovanie daného ustáleného stavu, t. j. či daný generátor v danom prevádzkovom stave pracuje v oblasti stabilnej prevádzky a či nedôjde pri malých (prevádzkovo bežných) zmenách k strate stabilnej prevádzky elektrizačnej sústavy.

Posúdenie statickej stability synchrónneho stroja je možné sformulovať do splnenia dvoch podmienok: zaťažný uhol $\vartheta < 90^\circ$ a dostatočne veľký koeficient rezervy výkonu, ktorý stanovuje, akú rezervu výkonu je potrebné v prevádzke generátora dodržiavať (vzdialenosť pracovného bodu od maxima vnútornej charakteristiky), aby nedochádzalo k strate stability pri malých zmenách v sústave.

Existuje viacero faktorov ovplyvňujúcich statickú stabilitu synchrónne pracujúcich strojov. Najdôležitejším z nich je samotná prevádzka synchrónneho stroja z pohľadu budenia. Regulátor budenia každého synchrónneho generátora obsahuje strážcu medze podbudenia s nastavenou hodnotou minimálneho budiaceho prúdu, ktorá nespôsobí stratu statickej stability synchrónneho generátora. Vlastnosti regulátora budenia majú na statickú stabilitu veľký vplyv. Pri kvalitnom budiacom systéme je možné generátor prevádzkovať aj za hranicou prirodzenej stability ($\vartheta = 90^\circ$) a hovoríme o tzv. umelej stabilite stroja.

Regulácia budenia je taktiež potrebná na udržanie stability ES v ustálenom stave, ale hlavne pri prechodných, resp. poruchových stavoch v elektrizačnej sústave. V bežnej prevádzke elektrizačnej sústavy dochádza k neustálym zmenám zaťaženia, ktoré ovplyvňujú veľkosť napätia v jednotlivých uzloch. Základným regulačným prostriedkom napätia je práve synchrónny generátor.

Technológie inteligentných sietí majú byť nasadené masívne, aby umožnili nástup „novej energetiky“. Z toho vyplýva, že elektrizačná sústava bude musieť v nasledujúcich rokoch prejsť významnými štrukturálnymi zmenami. Riešenie statickej stability veľkého synchrónneho generátora spočíva vo vyšetrení stability synchrónneho stroja v spolupráci s ostatnou ES, a preto prevádzkovateľmi elektrizačnej sústavy budú vykonávané počítačové simulácie s cieľom zistiť, aký bude vplyv implementácie konceptu mikrogrid na statickú stabilitu veľkých synchrónnych strojov.

4.3.3 Vplyvy sietí mikrogrid na dynamickú stabilitu sústavy

Dynamická stabilita sústavy je definovaná ako schopnosť elektrizačnej sústavy odolávať rýchlym zmenám výkonu alebo parametrov sústavy a schopnosť vrátiť sa do ustáleného stavu po ukončení prechodného deja. Úvahy o dynamickej stabilite sústavy vychádzajú z úvah o dynamickej stabilite generátorov a teda o stabilite uhla rotora synchrónneho generátora. Pre overenie vplyvu implementácie siete mikrogrid na dynamickú stabilitu sústavy je potrebné vykonať sériu simulácií. Základným kritériom dynamickej stability synchrónneho stroja je CCT – kritický čas trvania skratu. K určaniu tohto času je potrebné poznať časový priebeh uhla medzi rotorom a statorom δ a k tomu je potrebné riešiť pohybovú diferenciálnu rovnicu synchrónneho stroja. Je potrebné analyzovať faktory ovplyvňujúce dĺžku trvania CCT:

- veľkosť napätia v uzle vyvedenia výkonu,
- veľkosť skratového výkonu v uzle vyvedenia výkonu,

- podbudenie / prebudenie generátora.

Dynamická stabilita sústavy je tvorená dynamickou stabilitou veľkých synchrónnych strojov. Zásadný vplyv na dynamickú stabilitu synchrónneho stroja má práve hmotnosť a teda zotrvačnosť rotujúcich častí celého ústrojenstva synchrónny generátor – turbína. Z výpočtov kritického času trvania skratu vyplýva, že malé generátory (ako kogeneračné jednotky) pripájané do distribučných sietí majú výrazne horšiu dynamickú stabilitu ako veľké synchrónne generátory pripájané do prenosovej sústavy. Táto nízka zotrvačnosť malých distribuovaných zdrojov sa prejaví aj pri skrate v prenosovej sústave vo forme rýchleho kývania malých generátorov. Napriek krátkosti CCT malých kogeneračných jednotiek nemožno očakávať, že by ohrozili dynamickú stabilitu celej prenosovej sústavy. Faktom však je, že podporou obnoviteľných zdrojov energie a dekarbonizáciou hospodárstva dochádza v prvom rade k odpájaniu jadrových a tepelných elektrární (napr. Energiewende v Nemecku), ktoré predstavujú dynamicky najstabilnejšie zdroje prenosovej sústavy. Navyše otáznou ostáva zabezpečenie dynamickej stability Smart Regiónov založených na malých kogeneračných jednotkách a fotovoltaických elektrárnach.

4.3.4 Rizikové faktory pre prenosovú sústavu

Mikrogrid ako koncepcná zmena prenosu a distribúcie elektriny sa pri jeho širokom zavedení dotkne aj prenosovej sústavy, ktorá je navrhnutá a konštruovaná pre koncept centralizovanej výroby elektrickej energie.

V súvislosti s masívnym nasadením konceptu mikrogrid ostáva otáznou samotná úloha prenosovej sústavy a taktiež aj financovanie chodu a rozvoja prenosovej sústavy. Budú odberatelia zapojení v sebestačných (alebo ostrovných) Smart Regiónoch ochotní platiť poplatok za prenos?

Dôležitú taktiež bude zabezpečenie systémových a podporných služieb. Rozšírená distribuovaná výroba (napr. fotovoltaická) môže spôsobiť navýšenie požadovaného regulačného výkonu. Naopak, pokles inštalovaného výkonu v konvenčných elektrárnach s určitou spôsobí pokles dostupnosti tohto regulačného výkonu.

Veľký rozvoj decentralizovaných zdrojov elektrickej energie a odstavovanie veľkých systémových blokov v prenosovej sústave si vyžiada zmeny v energetickej infraštruktúre.

S rozvojom konceptu mikrogrid zároveň bude dochádzať k ďalšiemu odľahčovaniu ES, čo povedie k problémom s riadením jalových výkonov a napätia v PS.

Pri rozvoji medzištátnych prepojení SR je potrebné mať na pamäti, že je spojený najmä so stavom a vývojom spotreby elektriny v ES SR a inštalovaného výkonu zdrojov elektriny, resp. ich výrobou v ES SR, ako aj so stavom a vývojom ES okolitých štátov, a so záujmami a prístupom ich prevádzkovateľov a s podporou rozvoja medzištátnej výmeny elektriny, resp. obchodu s elektrinou v rámci EÚ a elektricky pričlenených ekonomík. Už v súčasnosti dochádza k vzniku stavov s vysokým napätím v PS, ktorý je priebežne riešený investičnými aktivitami PPS súvisiacimi s dodržaním optimálnych napäťových pomerov v ES SR a vytváraním prijateľnej rezervy jalového výkonu.

K problémom s riadením jalových výkonov a napätia v PS prispievajú aj dodávky jalovej elektriny z vybraných odberných miest PS/DS, ktoré sú vyvolané:

- zásadnými zmenami v štruktúre výrobných zdrojov elektrickej energie,
- faktom, že prenášaný výkon 110 kV vedení je v prevažnej miere menší, ako ich prirodzený výkon, a sú generátormi jalového výkonu, čo je spôsobené dôsledným dodržiavaním spoľahlivostného kritéria N-1,
- zmenou charakteru odberu (nelineárne záťaž, odbery s kapacitným charakterom výkonu, osvetlenie atď.),
- vyšším podielom káblových vedení, ktoré majú väčšiu prevádzkovú kapacitu ako vonkajšie vedenia, a tým generujú väčší nabíjací výkon atď.

Konceptom mikrogrid budú vyriešené len niektoré z vyššie uvedených problémov. Bude potrebná spolupráca PPS a PDS v zabezpečení udržania stanovených úrovni napätia pre jednotlivé úrovne ES a bude potrebné zabezpečiť kompenzáciu reaktančného výkonu.

Zavedenie početných Smart Regiónov do sústavy môže ovplyvniť napäťovú stabilitu sústavy. Preto táto problematika je aktuálna a bude nutné prijať opatrenia, aby nedošlo až k napäťového kolapsu.

Je možné predpokladať, že Smart Región má výrazne nižší príspevok k skratovým prúdom ako akýkoľvek veľký generátor vyvedený do prenosovej sústavy. V prípade výrazného rozšírenia Smart Regiónov v širokom okolí je možné očakávať pokles skratového výkonu v prenosovej sústave. Pokles skratového výkonu ovplyvní a ohrozí dynamickú stabilitu veľkých generátorov a tým aj celej sústavy. Všetky tieto faktory si vyžadujú potrebu podrobných analýz prevádzkových režimov.

4.3.5 Vplyv sietí mikrogrid na odberateľov

Prebiehajúce zmeny v elektrizačnej sústave, zvyšovanie podielu obnoviteľných a distribuovaných zdrojov energie, ako aj požiadavky na zvýšenie energetickej efektívnosti celej elektrizačnej sústavy ako komplexného systému si vyžadujú aktívne zapojenie koncových odberateľov do tvorby a optimalizácie denného diagramu zaťaženia.

Integrácia OZE do života spoločnosti prináša zmeny v chovaní odberateľov, z ktorých sa stávajú aj výrobcovia. Mikrogrid ako koncepčná zmena fungovania distribučných sietí tak zásadne ovplyvní fungovanie koncových odberateľov. Od koncových odberateľov sa očakáva zmena zmysľovania a prispôsobenie vlastných požiadaviek podmienkam a možnostiam sústavy. Od tejto zmeny zmysľovania koncových odberateľov závisí úspech alebo neúspech zavedenia konceptu mikrogrid.

Z tohto pohľadu bude vplyv sietí mikrogrid pravdepodobne najvýraznejší práve na spotrebiteľov. Koncept mikrogrid prináša ekonomický a technický dopad na spotrebiteľa. Miera tohto dopadu a to, či bude pozitívny alebo negatívny, závisí od konkrétnej podoby danej siete mikrogrid a od miery zapojenia koncového odberateľa do tvorby diagramu zaťaženia. Existuje množstvo rozsiahlych publikácií, ktoré sa zaoberajú dopadom mikrogrid na pohodlie a cenu elektriny pre koncových odberateľov. Súčasťou siete typu mikrogrid sú systémy Inteligentnej domácnosti, ktoré napr. umožňujú automatickú reakciu niektorých spotrebičov na zmenu tarify v závislosti na potrebách spotrebiteľa.

S konceptom mikrogrid sa rieši aj problematika elektromobility. Po rozsiahlom rozšírení elektromobilov súčasná sieť nebude schopná plniť svoju funkciu. Od sietí typu mikrogrid sa očakáva, že umožní nie len efektívne postupné dobíjanie elektromobilov, ale aj umožní využitie časti kapacity batérií pripojených elektromobilov pre potreby siete.

Technológie inteligentných sietí majú posilniť postavenie odberateľa, majú poskytovať informácie o spotrebe a výrobe elektriny a priebehu odoberaného výkonu v čase s možným cieľom šetrenia.

Z technického hľadiska pri posudzovaní vplyvov sietí typu mikrogrid na spotrebiteľov je potrebné analyzovať zabezpečenie kvalitnej a spoľahlivej dodávky elektrickej energie pre nich. V súčasnosti pre obmedzenie lokálnych vplyvov distribuovanej výroby na prevádzku DS vydali jednotliví prevádzkovatelia DS podmienky pripojiteľnosti zdrojov do DS. PP PDS špecifikuje technické podmienky pripojenia do DS vždy aj so zreteľom na možnosti zhoršenia kvality elektriny v konkrétnom mieste DS, pretože PDS je povinný zabezpečovať distribúciu elektriny všetkým užívateľom DS podľa príslušných technických noriem.

Mikrogrid prináša do distribučných sietí nové prvky zlepšujúce koncept chránenia a zabezpečujúce presnejšie identifikovanie miesta poruchy a tým menší počet odberateľov postihnutých výpadkom a rýchlejšie odstránenie poruchy.

Špeciálny prípad, s ktorým sa v budúcnosti uvažuje, je ostrovná prevádzka časti distribučnej siete, teda ostrovná prevádzka sebestačného regiónu. Ostrovná prevádzka má k dispozícii len obmedzené množstvo energetických zdrojov, ako aj obmedzený skratový výkon. Prechodom siete do ostrovej prevádzky sa tak významne menia nie len prevádzkové parametre dotknutej siete, ale aj poruchové charakteristiky siete (priebehy a veľkosti skratových prúdov, priebehy napätí pri poruchách a pod). Pre

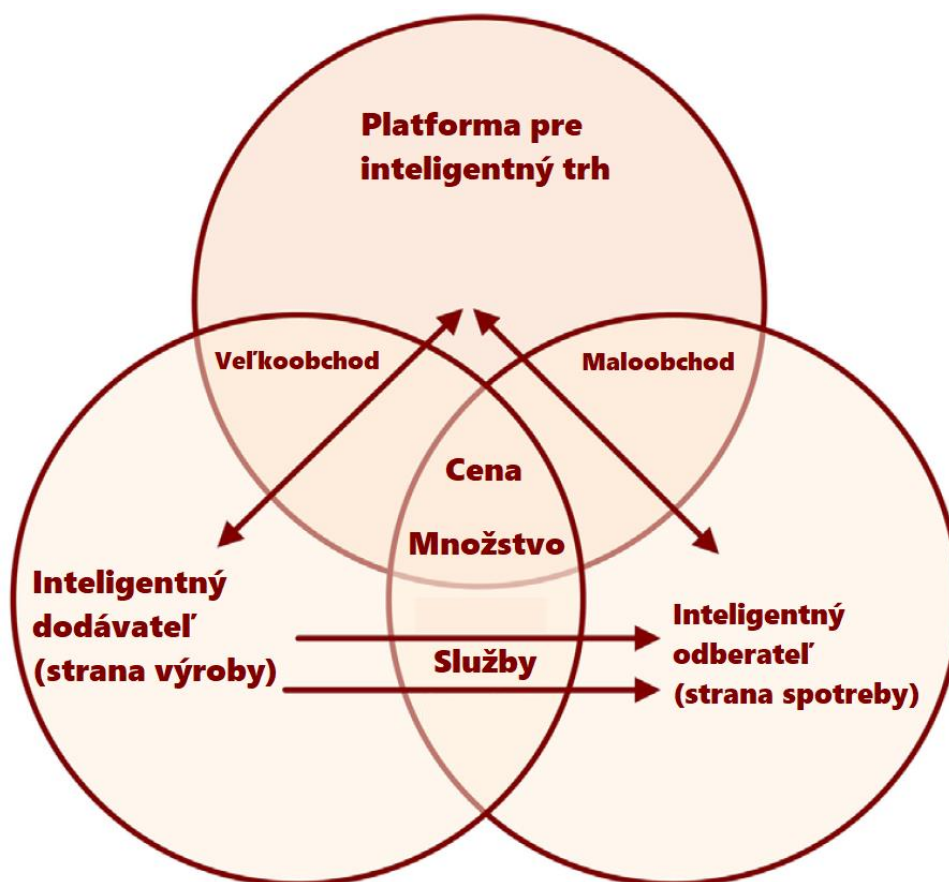
posúdenie prevádzkových parametrov siete je dôležité posúdenie kvality napätia. Z pohľadu kvality dodávky elektrickej energie je možné prevádzku ostrovného regiónu inteligentnej siete označiť za najrizikovejšiu. V takom prípade je potrebné zabezpečiť, aby vzájomná interakcia zdrojov nemala za následok zhoršenie kvality elektrickej energie.

5 INTELIGENTNÉ SIETE

5.1 Vplyv na odberateľa

Odberatelia sú najdôležitejší aspekt každej spoločnosti dodávajúcej energie, pretože sú hlavným zdrojom príjmov. Odberatelia existujú na niekoľkých úrovniach, napríklad rezidencie (najmä domácnosti), priemyselní odberatelia (sú najsignifikantnejší z pohľadu obchodných aktivít) a iní. Typickým príkladom rezidenčného odberateľa je rodinný dom. Typickým príkladom priemyselného odberu je priemyselný park z oblasti výroby automobilov. Pretože priemyselní odberatelia majú najväčší podiel na spotrebe energií, tvoria tak najvýznamnejší zdroj príjmov z celého portfólia odberov.

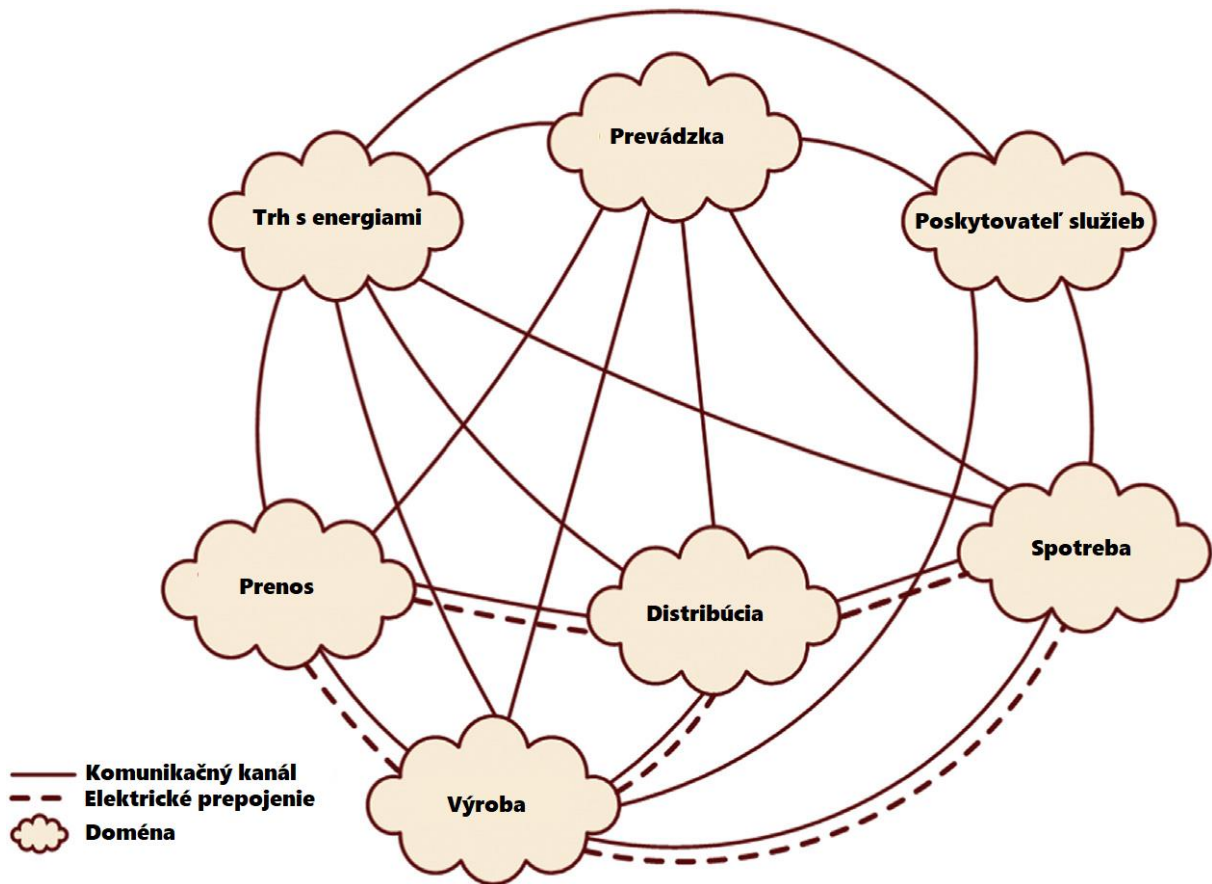
Pre lepšie porozumenie vzájomnej interakcie odberateľa a inteligentných sietí je vhodné rozložiť paradigmu klasickej elektrizačnej sústavy do troch základných pilierov, ktoré priamo ovplyvňujú odberateľa. Pilieri sú zobrazené na obrázku 20.



Obrázok 20 1 - tri piliere inteligentnej siete

Inteligentný odberateľ je vybavený technológiami, ktoré mu umožňujú monitorovať a riadiť jeho spotrebu. Inteligentný dodávateľ je entita (spoločnosť), ktorá zvyšuje efektivitu svojej prevádzky a maximalizuje profit implementovaním nástrojov monitoringu, riadenia a cenotvorby a tiež poskytovaním rôznych energetických služieb a programov. Platforma pre inteligentný trh je štruktúra, ktorá umožňuje integráciu pokročilých technológií, rozhodovacích mechanizmov a informácií za účelom vytvárania ekonomicky efektívnych riešení.

K najcitlivejším bodom inteligentnej siete ako entity patrí odberateľ, dodávateľ energií a trh s energiami. Inteligentné siete umožňujú spoľahlivo čerpať spoločnostiam a odberateľom elektrinu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov energie. Na obr. 21 je zobrazený konceptuálny model inteligentnej siete obsahujúci niekoľko navzájom informačne a galvanicky prepojených domén.



Obrázok 21 - rôzne domény inteligentnej siete

Strana spotreby je najvýznamnejší účastník na trhu s elektrinou a elektrizačná sústava v rámci konceptu inteligentných sietí je mu prispôbená.

V súčasnosti má väčšina spotrebiteľov pasívny prístup k svojej spotrebe. Pri nasadzovaní konceptu inteligentných sietí sa však táto premisa mení a odberatelia budú v oveľa väčšej miere aktívne participovať na trhu s elektrinou. Inteligentná sieť umožňuje odberateľom ovplyvňovať svoju spotrebu v čase a množstve a prevziať zodpovednosť za svoje energetické správanie. Rovnako umožňuje riadenie výroby, ktorá je inštalovaná v odbernom mieste. Ide najmä o fotovoltické elektrárne a kogeneračné jednotky v kombinácii s akumuláciou elektrickej energie.

Riadenie spotreby (ang. Demand-side management) je definované ako schopnosť riadiť spotrebu v odbernom mieste. Pri klasickom riadení bilancie v elektrizačnej sústave je výroba prispôbovaná spotrebe tak, aby bola udržiavaná výkonová rovnováha medzi výrobou a spotrebou. Inteligentná sieť ale zavádza novú paradigmu a umožňuje prispôbovať spotrebu v odberných miestach výrobe. Riadenie spotreby je obvykle súbor sekvencií pokynov a akcií, ktoré modifikujú profil odberateľa za účelom zvýšenia profitu, spoľahlivosti prenosu elektrickej energie alebo zlepšenia optimalizácie prevádzky sústavy.

Manažment riadenia spotreby môže obsahovať dva koncepty a to samotné riadenie spotreby a koncept energetickej efektívnosti. Energetická efektívnosť je koncept, ktorý umožňuje dlhodobé zníženie spotreby energií (najmä elektriny a tepla) pri zachovaní pôvodného správania sa subjektu. Riadenie spotreby môže byť principiálne aplikované na všetky kategórie spotrebiteľov (domácnosti, komerčné a priemyselné subjekty) pomocou rôznych technológií. Na strane spotreby môže byť vykonaných v rámci jej regulácie viacero akcií, ktoré závisia od jej charakteru a dôležitosti. Ide najmä o dočasné zníženie alebo prerušenie odberu elektrickej energie, presun spotreby na inú obchodnú hodinu alebo riadenie úložiska energie/výrobnej jednotky na strane spotreby.

Riadenie spotreby sa stane dôležitou súčasťou budúcich aplikácií konceptu inteligentných sietí. Riadenie spotreby umožní participáciu odberateľov v dynamických cenových tarifách alebo motivačných platbách za účelom optimálnejšej prevádzky sústavy. Dodávatelia energií môžu ponúknuť v rámci riadenia spotreby služby uvedené v tabuľke 3.

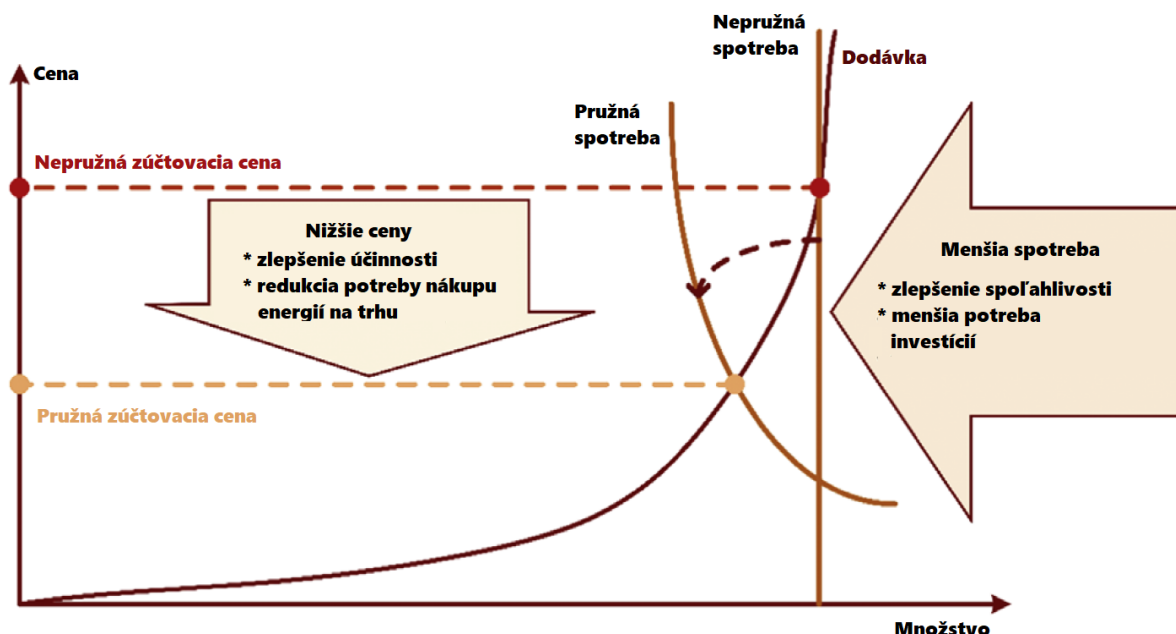
Tabuľka 3 - klasifikácia služieb riadenia spotreby

Riadenie spotreby založené na cene	Riadenie spotreby založené na motivácii spotrebiteľa
TOU (Time of use) – sadzby s dopredu nastavenými cenami v závislosti od hodiny v danom dni.	Priame riadenie spotreby – odberateľ získava motivačnú platbu za to, že umožňuje riadiť svoje energetické zariadenia.
CPP (Critical Peak Pricing) – extra sadzby v čase špičkového zaťaženia a vysokých cien v danej hodine.	Pohotovostné riadenie spotreby – odberateľ získava motivačnú platbu v prípade znižovania svojej spotreby v čase neočakávanej potreby.
RTP (Real Time Pricing) – hodinové sadzby podľa ceny na veľkoobchodnom trhu s elektřinou.	Riadenie spotreby v rámci trhu s kapacitami - odberateľ získava motivačnú platbu v prípade zníženia svojej spotreby a zobchodovania tejto uvoľnenej kapacity.
IBR (Inclining Block Rate) – sadzba rozdelená na dva balíčky. V prípade prečerpania prvého, je cena druhého vyššia.	Prerušenie spotreby – odberateľ dostáva zníženú sadzbu za odber elektriny, ak umožňuje prerušiť procesy závislé na elektrickej energii.
PTR (Peak Time Rebate) – sadzby a tarifa sa menia podľa vývoja cien na veľkoobchodnom trhu. Odberatelia sú motivovaní znižovať svoje zaťaženie počas špičkového zaťaženia.	Podporné služby pre prenosovú sústavu – odberateľ dostáva platbu za redukciu svojho odberu podľa požiadaviek prevádzkovateľa prenosovej sústavy.
	Participácia na trhu – odberateľ ponúka zníženie svojej spotreby na trhu.

Maloobchodné tarify premenlivé v čase, ako sú TOU, RTP a CPP, sú cenovo založené tarify, v ktorých cena korešponduje s nákladmi na výrobu elektriny. Dynamické tarify budú viac motivovať spotrebiteľov k modifikácii svojho energetického správania sa. Odberatelia využívajúci tieto tarify môžu znížiť účty za elektrinu adaptovaním svojho správania a jeho presunutím na obdobie mimo špičiek s nižšími cenami.

Motivačne založené riadenie spotreby splnomocňuje sieťových operátorov redukovať vybraných odberateľov a tí potom získavajú extra platby na základe vopred uzavretých zmlúv.

Riadenie spotreby umožňuje redukovať náklady na udržiavanie točivej rezervy v elektrizačnej sústave prispôbením sa výrobe z obnoviteľných zdrojov energie. Riadenie spotreby umožňuje redukciu potreby udržiavania nákladných výrobných jednotiek, znižuje cenu elektriny a tiež znižuje produkciu emisií CO₂. Tento proces je zobrazený na obrázku 22. V tabuľke 4 sú uvedené benefity a náklady riadenia spotreby.



Obrázok 22 - potenciál riadenia spotreby

Tabuľka 4 - Benefity a náklady služby riadenia spotreby

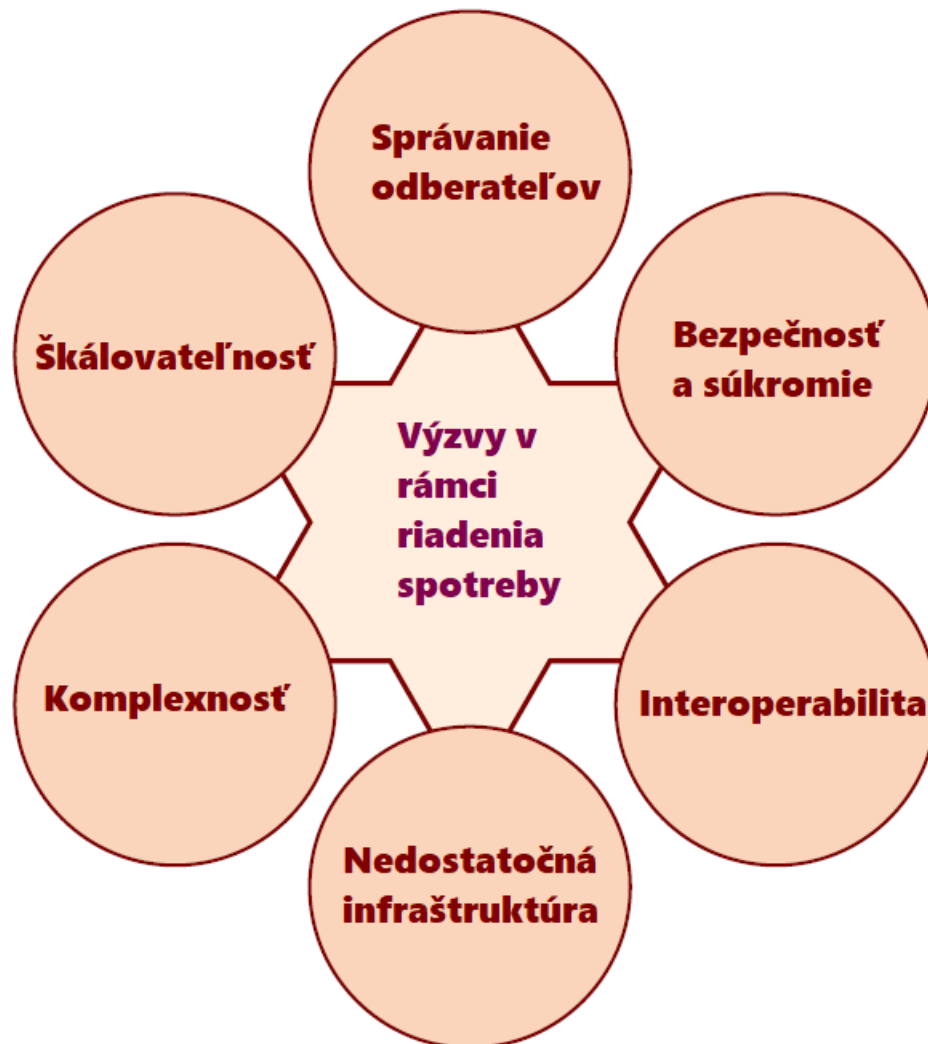
	Odberateľ	Entita riadiaca spotrebu (obchodník s elektrinou, trhový operátor,...)
Benefity	Šetrenie nákladov	Redukcia cien/nákladov
	Redukcia výpadkov napájania	Pokles potrebnej kapacity
	Motivačné platby	
Náklady	Možná redukcia odberateľského komfortu	Zavedenie pokročilej meracej infraštruktúry
	Investícia do prvkov inteligentného riadenia (inteligentné termostaty, komunikačné zariadenia atď.)	Prispôsobenie fakturačného a účtovacieho systému
		Zabezpečenie administratívnych kapacít a náklady na reklamu

Manažment riadenia spotreby môže riadiť energetické požiadavky na strane odberateľa aj energetických spoločností zmenšením nerovnováhy medzi výrobou a spotrebou. Hoci tento koncept nie je nový, jeho praktická implementácia je stále výzvou. Výzvy v implementácii sú graficky zobrazené na obrázku 24 a popísané:

- Nedostatočná infraštruktúra – súčasná komunikačná infraštruktúra, najmä na strane spotreby, nie je schopná dostatočne naplniť požiadavky pre efektívnu aplikáciu riadenia spotreby. Je potrebné zabezpečenie vhodného komunikačného systému.
- Interoperabilita – diverzita rôznych komunikačných technológií, najmä na strane spotreby.
- Bezpečnosť a súkromie – aktivita spotrebiteľa môže byť mapovaná záznamom jeho energetického správania sa. Musia byť zabezpečené dostatočné bezpečnostné protokoly najmä v prípade, ak má prístup k dátam tretia strana.
- Správanie odberateľov – zapojenie spotrebiteľov a zmena ich správania je jedna z najväčších bariér pri implementácii riadenia spotreby.

- Škálovateľnosť – komunikačná infraštruktúra by mala byť schopná obsiahnuť maximálne možné množstvo odberov bez latencie a oneskorenia signálov.
- Komplexnosť – implementácia manažmentu riadenia spotreby si vyžaduje zainteresovanie väčšieho množstva entít.

Hoci odberatelia sú najdôležitejší pilier inteligentných sietí, nemajú často povedomie o technologickom koncepte a možnosti využívania a ich participácia nie je efektívna. Obecné by každá technologická inovácia mala reflektovať dva aspekty. Prvým sú technologické nástroje a druhým je určenie, pre akú entitu je inovácia určená. Treba zvažovať, do akej miery táto entita je schopná akceptovať a adaptovať inováciu v kontexte svojho energetického správania sa.



Obrázok 23 - výzvy v rámci manažmentu riadenia spotreby

Koncept inteligentných sietí transformuje vzťah medzi odberateľom a dodávateľom energie. Vzťah sa mení z jednostranného na obojstranný a dochádza k behaviorálno-vzťahovým zmenám za účelom včlenenia odberateľa do konceptu inteligentných sietí. Participácia a včlenenie spotrebiteľa je podmienené tiež konceptom energetickej efektívnosti, riadenia a flexibility spotreby a udržateľnej výroby na strane odberateľa. Inteligentné energetické správanie zahŕňa dva typy správania: periodické (opakujúce sa) a jednorazové. K periodickému správaniu patria obvykle opakujúce sa činnosti, napríklad vykurovanie alebo varenie. K jednorazovému správaniu patrí rozhodnutie byť súčasťou inteligentných sietí alebo nákup inteligentných spotrebičov. Existuje veľká diverzita faktorov, podľa ktorých sa odberatelia (spotrebiteľia) rozhodujú pre participáciu v inteligentných sieťach. Faktory sú uvedené v tabuľke 5.

Tabuľka 5 - faktory z pohľadu spotrebiteľa

Kategória	Príležitosti	Riziká
Komfort	Komfort (zvýšenie)	Komfort (strata)
Riadenie	Viac energetickej nezávislosti	Strata kontroly nad vlastnými zariadeniami
	Možnosť uplatnenia sa na trhu s energiami	
	Modernejšie riadenie zariadení (napr. pomocou mobilného telefónu)	
Environment	Environmentálne benefity	
Financie	Finančná motivácia	Investičné náklady
	Zníženie účtov za energiu	Zvýšenie účtov za energiu
Prehľadnosť	Transparentnejší prehľad o platbách za energiu	Zvýšenie neprehľadnosti v rámci rôznych služieb a schém v koncepte inteligentných sietí
	Detailnejší prehľad o vlastnom energetickom správaní	Nedostatok kompetencií pre narábanie s novými technológiami a informáciami
		Nedostatok povedomia o koncepte inteligentných sietí a jeho potenciály
Bezpečnosť	Zvýšenie spoľahlivosti dodávky energií	Informačná a kybernetická bezpečnosť

5.2 Vplyv odberateľa na kvalitu elektrickej energie

Adaptácia pokročilých komunikačných a informačných technológií (*ang. ICT*) v konvenčných elektrizačných sústavách sa stáva základom pre nasadenie konceptu inteligentných sietí. Vznik a vývoj inteligentných sietí úzko súvisí s integráciou výroby elektriny v distribučných sústavách, energetickej účinnosťou a spoľahlivou dodávkou elektrickej energie. Pomocou efektívnej integrácie ICT technológií a dátového manažmentu slúžia namerané dáta ako základ „inteligencie“ inteligentných sietí. Existuje 5 technológií, ktoré podporujú ďalší rozvoj a nasadenie:

- integrované komunikačné prostriedky,
- pokročilé zariadenia,
- pokročilé riadiace metódy,
- moderné komunikačné rozhrania,
- rozhodovacie procesy.

Dobrá koordinácia medzi prenosom, distribúciou, distribuovanou výrobou a meracími protokolmi môže zaistiť spoľahlivú dodávku elektrickej energie spotrebiteľom. Napríklad začlenenie distribuovanej výroby do konvenčných elektrizačných sústav vyžaduje inteligentné riadenie a integráciu obojsmerných komunikačných kanálov medzi energetickej spoločnosťou a výrobnou jednotkou. Zahnutie distribuovanej výroby alebo mikrogridov môže znížiť preťaženia v sústavách, uspokojiť lokálny dopyt po elektrine lokálnou výrobou a ponúknuť aj výkonovú rezervu.

Jednou z hlavných charakteristík inteligentných sietí je udržiavanie kvality elektrickej energie na vysokej úrovni. Zvýšenie a udržiavanie kvality napájacieho napätia je teda kľúčová charakteristika.

Podobne aj v koncepte digitálnej ekonomiky je kvalita a dodávka elektrickej energie životne dôležitá charakteristika pre trh s elektrinou. Kvalita elektrickej energie je udržiavaná na stane odberateľov aj výrobcov implementáciou pokročilých technológií pre monitoring a meranie a implementáciou zariadení na korekciu vlnovej formy napätí. Inteligentná sieť dokáže zmierňovať poruchy kvality dodávanej energie a pomocou pokročilého monitorovacieho systému zabezpečiť diagnostiku poruchy.

Z pohľadu využitia vysoká kvalita elektrickej energie indikuje bezproblémovú dodávku vyrábaného výkonu. Stupeň jej kvality môže tiež závisieť od sadzieb za dodávku energie. V inteligentných sieťach sú odberatelia a výrobcovia elektriny na úrovni prenosu a distribúcie schopní odolávať poruchám v kvalite dodávanej elektrickej energie. Pre dosiahnutie čo najlepších cieľov by mali byť v inteligentných sieťach adaptované systémy monitorovania kvality energie a jej zlepšenia a wide-area monitorovanie. Dôležité sú aj mechanizmy pre rýchlu diagnostiku a korekciu odchýlok v kvalite elektrickej energie. Tiež konvenčné ochranné prvky sú nahrádzané digitálnymi ochranami a inteligentnými elektronickými zariadeniami, ktoré sú riadené pomocou SCADA systému.

Z pohľadu rozvoja prenosových a distribučných sústav sú aktivity v oblasti kvality elektrickej energie koncentrované v elektrických staniách a zahŕňajú meranie, záznam udalostí, diaľkové riadenie, monitoring kvality a vyhodnocovanie porúch.

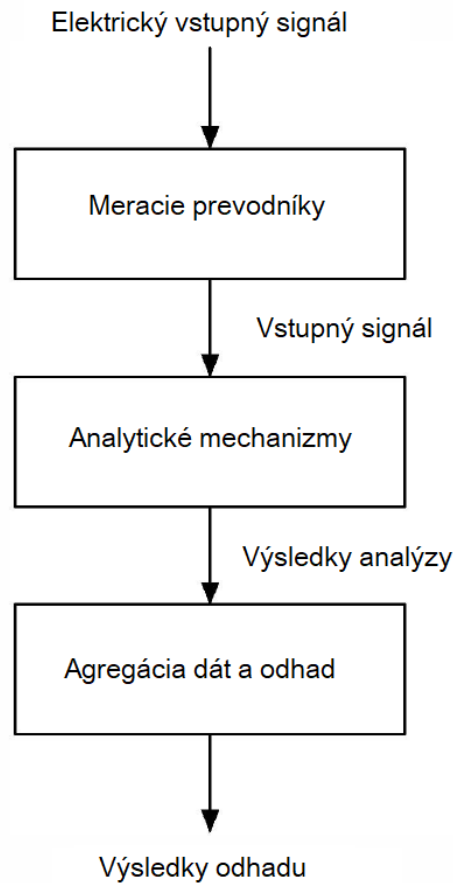
Správnym výberom a aplikáciou kľúčových technológií pre infraštruktúru inteligentných sietí môžu byť poruchy v kvalite elektrickej energie redukované. Rozvoj monitorovania by sa mal zameriavať najmä na nasadenie inteligentných elektromerov a inteligentných elektronických zariadení s funkciou pokročilého monitoringu kvality energie, porúch a prípadne iných anomálií. Na dosiahnutie týchto cieľov je potrebná implementácia:

1. Nasadzovanie inteligentných elektromerov a inteligentných monitorovacích zariadení s pokročilou technológiou monitorovania kvality, pretože bežné inteligentné elektromery umožňujú záznam iba základných elektrických veličín. Pokročilá technológia oproti tomu zahŕňa monitoring, harmonických vyšších rádov, medziharmonických, flíker efektu a vlnových tvarov časového priebehu porúch.
2. Meranie kvality pomocou wide-area monitorovania: dáta získané v reálnom čase pomocou wide-area merania s časovou synchronizáciou poskytujú efektívny prehľad o aktuálnej kvalite v elektrizačnej sústave.
3. Implementácia mechanizmov pre sledovanie zdrojov porúch v kvalite elektrickej energie, aplikácia identifikačných algoritmov: vyhodnocovanie kvality v reálnom čase a identifikovanie pôvodu zdroja porúch pomocou obojsmernej komunikácie za účelom korektných rozhodnutí o náprave stavu.
4. Manažment nameraných dát: dátový manažment a aplikácia metód dátovej vedy na namerané dáta umožňuje identifikovať zdroj a povahu odchýlok kvality elektrickej energie či iné rôzne anomálie.
5. Štandardy kvality energie: Niektoré energeticky efektívne technológie majú negatívny dopad na kvalitu elektrickej energie. Nekontrolovaná implementácia konceptu inteligentných sietí môže nepriaznivo ovplyvňovať štandardy kvality. Podmienky nasadzovania inteligentných sietí by mali byť ošetrené aj legislatívne.

Koncept inteligentných sietí si vyžaduje použitie rôznych techník a metód na vykonanie analýzy a detekcií.

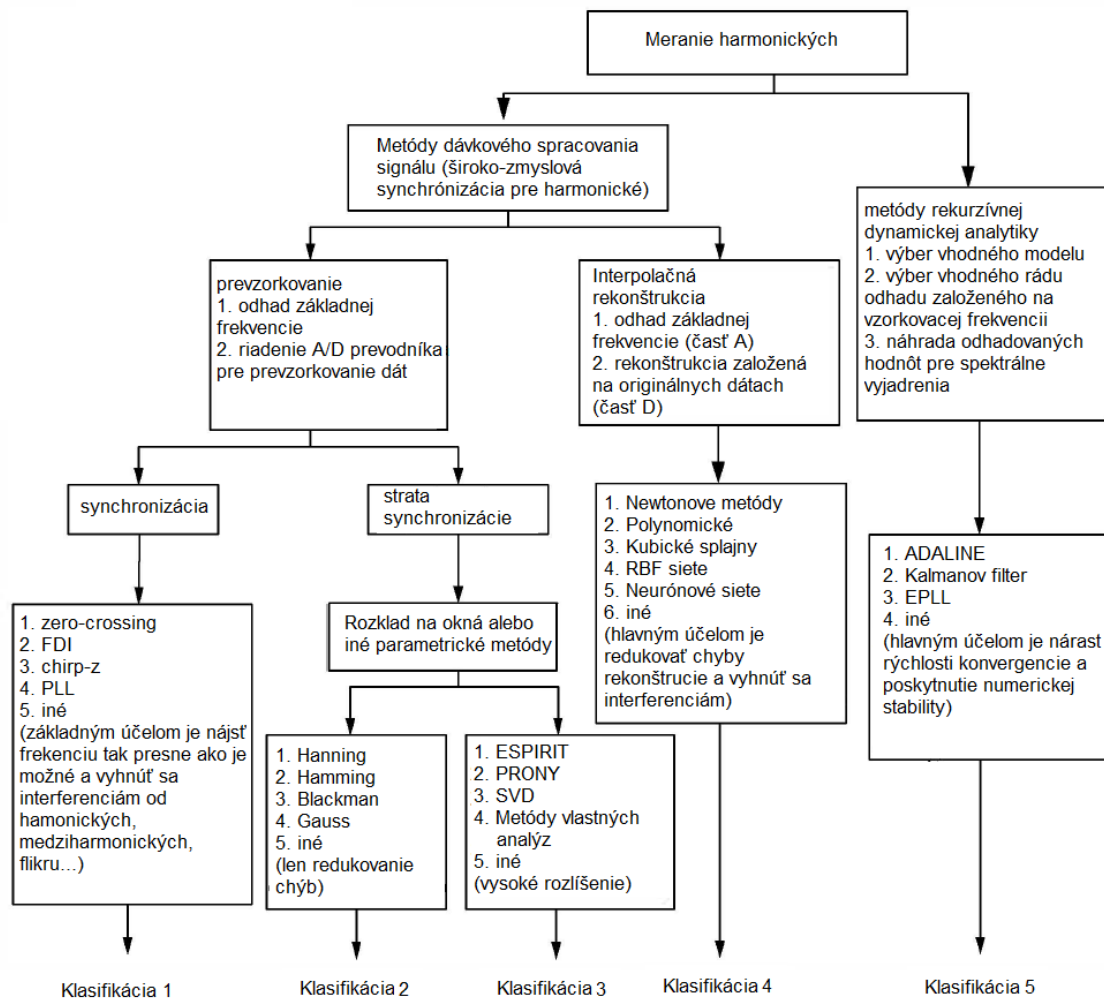
a) Meranie harmonických vyšších rádov

Podľa štandardu IEC 61000-4-30 je procedúra pre vyhodnocovanie stavu elektrizačných sústav uvedená na obrázku 24. Výsledky odhadu kvality sú citlivé na prevodníky a zvolenú metódu analýzy. Časový interval a rozlíšenie je dôležité pre zachytenie trendov a premenlivosti. Nevhodné predfiltrácie mechanizmy a desynchronizácia v analytických metódach môžu spôsobiť abnormálne fázové posuny a stratu dát.



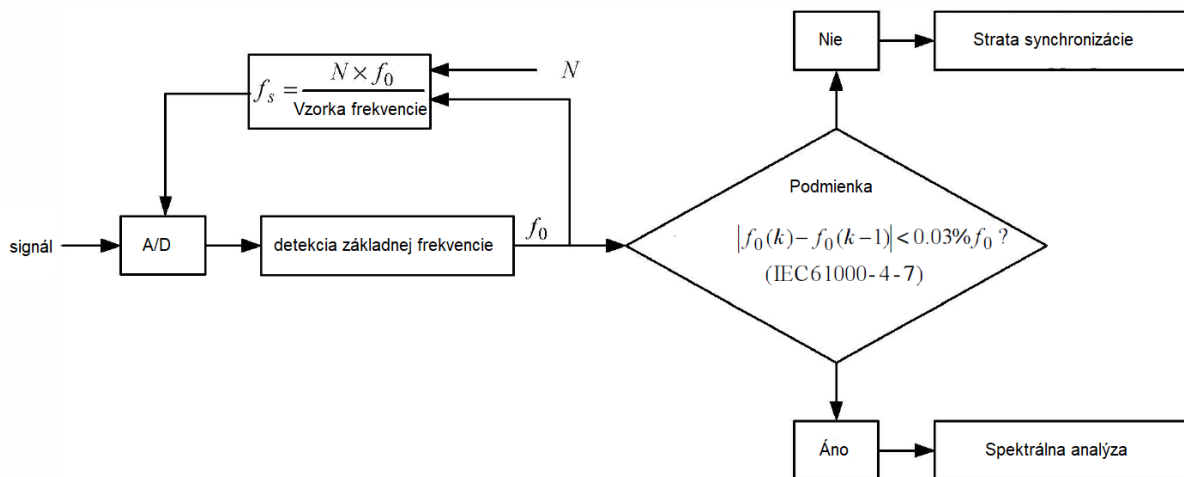
Obrázok 24 - procedúra pre monitorovanie kvality elektrickej energie

Kvôli nerovnováhe medzi spotrebou a výrobou dochádza v elektrizačnej sústave k odchýlkam frekvencie od nominálnej hodnoty. Toto môže viesť k nepresnostiam pri aplikovaní niektorých algoritmov, napríklad rýchlej fourierovej transformácie. Z tohto dôvodu bolo v odbornej literatúre v posledných rokoch navrhnutých niekoľko algoritmov pre riešenie tohto problému. Algoritmy spektrálneho odhadu sú kategorizované na dávkové spracovanie signálu a rekurzívne metódy. Rekurzívne metódy sa vo všeobecnosti považujú za parametrickú techniku, ktorá predpokladá určité charakteristiky v analyzovanom signály. Na obrázku 25 je uvedená zjednodušená klasifikácia metód odhadu na základe synchronizácie základnej frekvencie systému, ktorá vychádza z metód založených na rýchlej fourierovej transformácii a poskytuje návod na výber vhodnej metódy pre aplikáciu, a potom je rozšírená o ďalšie pokročilé techniky.



Obrázok 25 - zjednodušená klasifikácia metód pre odhad harmonických

Klasifikácia 5 na obr. 26 sa používa pre časovo-premenlivé harmonické. V prípade prítomnosti odchýlky frekvencie v elektrizačnej sústave je nutná synchronizácia medzi vzorkovacou frekvenciou a frekvenciou sústavy. Synchronizačné techniky založené na rýchlej fourierovej transformácii môžu byť rozdelené do dvoch kategórií: prevzorkovanie a interpolácia. Pre mechanizmus vzorkovania je prvým krokom odhadnutie základnej frekvencie elektrizačnej sústavy a následné riadenie A/D prevodníka na základe odhadu frekvencie na opätovné vzorkovanie analyzovaného signálu. Na obr. 27 je zobrazený mechanizmus podľa štandardu IEC 61000-4-7.



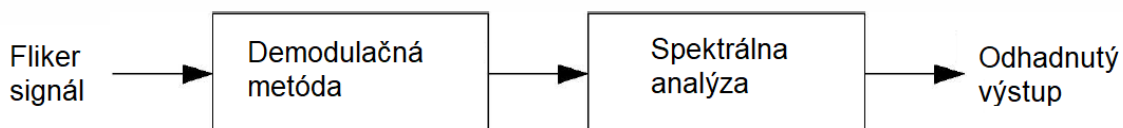
Obrázok 26 - Mechanizmus synchronizácie podľa IEC 61000-4-7

Napät'ové fluktuácie môžu produkovať flicker, ktorý sa prejavuje náhlým kolísaním svetla (blikaním). Moderné elektronické spotrebiče sú tiež citlivé na napät'ové výkyvy. Základom pre vylepšenie kvality napätia sú sledované komponenty napät'ových fluktuácií.

Napät'ová fluktuácia môže byť vyjadrená ako amplitúdovo modulovaný signál nasledovne

$$v(t) = \left[A_0 + \sum_{i=1}^m A_i \cos(\omega_{fi}t + \varphi_{fi}) \right] \cos(\omega_0t + \varphi_0) = A_{En} \cos(\omega_0t + \varphi_0)$$

kde A_0 , ω_0 , φ_0 , A_i , ω_{fi} a φ_{fi} sú amplitúdy, uhlové frekvencie, fázové uhly komponentov základu a flicker efektu. m je očakávaný počet flicker signálov. Pre odhad a vyhodnotenie A_{En} komponentu AM signálu bolo vyvinutých niekoľko metód. Schéma odhadu komponentov flicker efektu môže byť nahrubo rozdelená do dvoch častí.



Pomocou demodulačného bloku je možné oddeliť priebeh normálneho napätia a flicker komponentu. Následne je získaný priebeh poslaný do bloku so spektrálnou analýzou za účelom extrakcie jednotlivých komponentov flickra. Navyše odchýlka základnej frekvencie ovplyvní presnosť celého reťazca. Najpoužívanéjšie techniky pre demoduláciu AM signálu sú filtre, ktoré môžu byť zoskupené do dvoch kategórií:

- Adaptívne filtre
- Neadaptívne filtre

Obvyklé detekčné metódy pre meranie flicker efektu zahrňujú štvorcovú demoduláciu, synchronnú diskretnú waveletovú detekciu, adaptívny lineárny neurón (ADALINE) a vylepšenú fázovo-uzavretú slučku. Prvé dve metódy používajú pasívne filtre za účelom odfiltrovania frekvenčných komponentov vyšších než frekvencia flickra 30 Hz. Avšak obe metódy musia vybrať správnu medznú frekvenciu alebo rád a súčasne správnu veľkosť okna. Na druhej strane ďalšie dve metódy sú založené na okamžitom sledovaní tvaru napätia. Pri dobrých hodnotách parametrov môžu dosiahnuť vysokú presnosť priebehu napätia. V tabuľke 6 sú sumarizované prístupy pre detekciu flickru. Je zrejmé, že každá z metód má svoju silnú aj slabú stránku.

Tabuľka 6 - porovnanie výkonnosti jednotlivých metód

Metóda	Štvorcová demodulácia	Diskrétny wavelet	ADALINE	Vylepšená fázovo-uzavretá slučka (EPLL)
Zvýšenie presnosti pomocou parametrov	slabá	stredná	stredná	dobrá
Robustnosť v rámci odchýlky od základnej frekvencie	Stredná	slabá	stredná	dobrá
Praktickosť založená na nastavení parametrov	Dobrá	stredná	stredná	slabá

b) Detekcia poklesov napätia

Dočasné zmeny v kvalite elektrickej energie, napr. poklesy, sú význačné časom vzniku aj zániku a krátkosťou trvania. Patria sem najmä napäťové poklesy, prepätia a prerušenia. Pozornosť je vo väčšine prípadov venovaná najmä poklesom. Existuje viacero druhov metód zameraných na analýzy udalostí a zmien v kvalite elektrickej energie. Analýzy môžu byť rozdelené do dvoch kategórií a to na detekciu a klasifikáciu. Proces detekcie je dizajnovaný na identifikovanie výskytu porúch a spustenie príslušných automatizačných a ochranných schém. Klasifikačný proces je použitý najmä na identifikovanie typu udalostí podľa rozdielnych znakov poruchy.

Najviac používané detekčné metódy v praxi sú:

Priamy odhad efektívnej hodnoty RMS

Priamy odhad RMS hodnoty veličiny (efektívnej hodnoty veličiny) je založený na definícii udalosti. Detekcia pre výskyt udalostí môže byť určená porovnaním prahových hodnôt podľa štandardu IEEE Std. 1159.1. V rovnakom čase môže byť vykonaná nielen detekcia, ale aj klasifikácia udalosti. Literatúra pozná dve formy zápisu efektívnej RMS hodnoty veličiny. Prvá forma uvažuje pokles veličiny pod dané hranice v prepočte na jeden plný cyklus priebehu a druhá pol cyklu. Prvá je presnejšia, avšak výpočtovo náročnejšia.

ADALINE – detekčná metóda

Adaptívny lineárny element (ADALINE) je adaptívny filter použitý pre odšumenie signálu alebo jeho extrakciu. V posledných rokoch našla táto metóda uplatnenie v štúdiách zameraných na kvalitu elektrickej energie. Oproti odhadu RMS táto metóda sleduje signál rekurzívne. Pretože model odhadu v ADALINE je vyjadrený Fourierovými sériami, špičková hodnota každého sínusového komponentu môže byť získaná metódou gradient descent. Okamžitá hodnota RMS môže byť v každom okamihu získaná zo špičkovej hodnoty odhadovanej amplitúdy.

Horno-priepustný filter

Horno-priepustný filter vykonáva detekciu sledovaním reziduálnych hodnôt medzi analytickým modelom a aktuálnym signálom. Keď udalosť začína alebo končí, vzorky singulárneho signálu môžu spôsobiť významné chyby odhadu v analytickom modeli. Takže časová lokalizácia udalosti môže byť detegovaná presnejšie ako dve vyššie uvedené metódy. Pretože singulárne vzorky sú vysokofrekvenčné signály v porovnaní s normálnymi signálmi, na získanie týchto informácií je možné použiť hornopriepustný filter.

AR, MA a ARMA modely

Modely založené na spektrálnom odhade majú obvykle najlepšie rozlíšenie. Napríklad Pronyho metóda je jedna z lineárnych predikčných metód implementovaných s autoregresným modelom AR. Autoregresný model výkonného signálu je definovaný:

$$y(n) = \sum_{k=1}^P a_k y(n-k) + e(n)$$

kde $e(n)$ je n -tá vzorka náhodného signálu, a_k je koeficient lineárneho predikčného modelu a P je odhadnutý rád autoregresie. Model pohyblivého priemeru MA je tiež známy ako konečný impulzný reakčný filter. Výkonový signál y modelovaný ako proces pohyblivého priebehu je daný

$$y(n) = \sum_{k=0}^Q b_k e(n-k)$$

kde b_k a Q sú koeficienty a odhad rádu modelu. Na druhej strane autoregresný proces kombinovaný s pohyblivým priemerom je známy ako ARMA model. Uvažovaním vstupov a výstupov je model daný súčtom dvoch predchádzajúcich modelov nasledovne:

$$y(n) = \sum_{k=1}^P a_k y(n-k) + \sum_{k=0}^Q b_k e(n-k)$$

Hoci RMS variabilita výkonového signálu môže byť estimovaná pomocou týchto lineárnych modelov, sú potrebné ďalšie kalkulácie, napríklad konštrukcie a riešenie pre Vandermorého maticu v Pronyho metóde. Preto reziduálny estimačný mechanizmus je preferovaný v lineárnych predikčných modeloch pre sledovanie rozdielu medzi výstupom y a aktuálnym signálom.

c) Waveletova analýza

Pretože singulárnymi bodmi sú tie časti, kde sú prítomné diskontinuity signálu, významný singulárny bod je často spojený s náhlou zmenou systému. Waveletová analýza poskytuje viacnásobné rozlíšenie a je účinným nástrojom pre lokalizáciu singulárnych signálov. S dyadickou analýzou štruktúry waveletu môžu byť singulárne signály separované od normálneho signálu. Nevýhodou waveletovej analýzy je fakt, že trpí na interferencie šumových signálov, čo viedlo k návrhu viacerých prístupov pre redukciu tohto nedostatku.

d) Zhrnutie metód

Hoci RMS odhad sa zdá byť efektívny pre detekciu spúšťacích bodov pre ochranné schémy, limitáciou tejto metódy je, že detegované body majú nižšiu presnosť v lokalizácii pozície v časovej doméne. Výhodou tohto algoritmu je, že prahová hodnota poskytuje automatickú klasifikáciu udalostí, ktorá sa dá ľahko určiť podľa definície IEEE Std. 1159.1.

Vzhľadom na adaptívny proces riešenia pri niektorých algoritmoch konvergencia zodpovedajúca parametrom učenia môže interferovať s presnosťou lokalizácie poruchy v časovej doméne. Takýto efekt zhoršuje časové rozlíšenie lokalizácie udalosti. Výhodou metódy ADALINE je, že stanovenie prahovej hodnoty pre klasifikáciu udalostí je jednoduché a pohodlné.

Výhodou hornej priepuste je schopnosť poskytovať presnú časovú pozíciu udalosti, avšak na druhej strane určenie prahovej hodnoty pre extrahovanie priestorovej lokalizácie udalosti nie je jednoduché. Prahová hodnota sa obvykle určuje empiricky. Problémom je tiež interferencia šumových signálov a určenie hraničnej hodnoty frekvencie.

Obvyklý problém pre reziduálne metódy je, že určenie prahovej hodnoty pre automatickú detekciu udalostí je často založené na experimentovaní. Tiež odhad rádu autoregresného modelu alebo modelu pohyblivého priebehu môže byť problematické. Výzvou ostáva aj klasifikácia udalostí. Identifikácia udalostí je takmer nemožná použitím reziduálnych metód a preto sú potrebné prídavné klasifikačné algoritmy.

5.3 Riadenie spotreby

Úvahy nad možnosťou ovplyvnenia množstva spotrebovanej elektriny nie sú novou záležitosťou, ale až súčasný rýchly rozvoj komunikačných a riadiacich prvkov umožňuje postupné zavádzanie technológií, ktoré umožnia odmeňovať zákazníkov za zmenu spotreby v aktuálnom čase. Tento koncept býva obvykle označovaný ako odozva strany spotreby (ang. demand side response) a je vyspelejším variantom v súčasnosti používaného hromadného diaľkového ovládania (HDO).

Väčšina dnešných veľkých elektroenergetických systémov je založená na základnej teórii rovnováhy medzi výrobou a spotrebou, pretože náklady na uloženie veľkého množstva energie sú príliš vysoké. Inak povedané, všetka elektrická energia, ktorá sa v danú chvíľu spotrebováva, sa musí aj v danú chvíľu vyrobiť. Pokrytie spotreby priemyslu a domácností sa tak dosahuje pomocou rozličných energetických zdrojov, ktoré bývajú aktivované podľa veľkosti aktuálnej spotreby (dopytu).

Súčasný systém fungujúci niekoľko desaťročí sa však s nástupom komunikačných technológií a možnosti diaľkového riadenia do budúcnosti významne zmení. Nebude už treba iba prispôbovať výrobu podľa aktuálnej spotreby, ale vďaka finančnej odmene za nižší alebo naopak vyšší odber bude možné ovplyvniť aj správanie samotných spotrebiteľov. Táto úvaha je základom technológie nazývanej „odozva strany spotreby“ a ide o je aktívnu možnosť ovplyvňovať zaťaženie podľa požiadaviek prevádzkovateľov sústav (obvykle ide o prevádzkovateľa prenosovej alebo distribučnej sústavy). Dnes je táto technológia využívaná zriedka a len u vybraných veľkých odberateľov, lebo pre jej spoľahlivé fungovanie je potrebné poznať aktuálnu spotrebu a možnosti jej zníženia. Oproti klasickému HDO ide o metódu, kedy je za zmenu svojej spotreby zákazník odmeňovaný (nie je to však vo forme nižšie ceny elektriny) a primárne má riadenie na starosti zákazník sám, pričom HDO je riadené podľa časových nastavení automatiky prevádzkovateľa distribučnej siete.

Ekonomicky ide pri využití riadenia spotreby o voľbu medzi ohodnotením úžitku zo spotreby energie, alebo jej nevyužitie. Hodnota spotreby je jasne daná hodnotou výstupov, ktoré z tejto spotreby vziđu. Hodnota úspory je potom odvodená na strane prevádzkovateľa systému od ceny za udržanie fungujúceho systému (a tým aj cien vstupných komodít) a na strane spotrebiteľa cenou alternatívneho zdroja energie (ropa, plyn, batérie, ...) alebo veľkosťou prípadných finančných strát za nespotrebovanú energiu.

Odozva strany spotreby má byť podľa plánu ENTSO-E nástrojom pre zabezpečenie systémovej bezpečnosti, spolu napríklad s riadením frekvencie alebo výkonovej primeranosti. K samotným problémom s nedostatočným výkonom dnes dochádza zriedka a väčšinou z dôvodu výpadku niekoľkých významných zdrojov (alebo prenosových vedení), kedy následne nie je dodržané tzv. bezpečnostné kritérium N-1. V budúcnosti s nárastom zdrojov s variabilnou výrobou sa však dá očakávať nárast stavov, počas ktorých bude elektriny silný prebytok a jej ceny záporné, alebo naopak nedostatok a ceny extrémne vysoké. Tieto extrémne pritom majú negatívne dopady na elektrický systém a jeho technickú bezpečnosť.

Riadenie spotreby sa tak má do budúcnosti stať jedným z kľúčových komponentov pre úspešný prechod energetického systému z konvenčných zdrojov k systému s vyšším zapojením OZE. Podľa názoru európskej asociácie prevádzkovateľov prenosovej sústavy (ENTSO-E) sa DSR musí stať súčasťou energetického systému, ak sa má dosiahnuť ambiciózných cieľov európskej energetiky pre roky 2030 a 2050.

Všeobecne sa ako výhody spojené s riadením spotreby uvádzajú zníženie nákladov na energiu pre konečných zákazníkov, zvyšovanie flexibility elektroenergetického systému a zvýšenie konkurencie na trhu s energiami. Prevádzkovatelia prenosových a distribučných sústav môžu technológiu využiť ako ďalšiu možnosť ochrany pred preťažovaním elektrických vedení a tým aj zvýšenie energetickej bezpečnosti, systémovej adekvátnosti a optimálneho využitia infraštruktúry.

Ekonomické výhody zo zavedenia ďalšieho trhového nástroja sú potom predovšetkým zvýšenie konkurencie a likvidity na trhoch alebo ekonomická efektívnosť v prípadoch, keď sú náklady za "nevyrobenú" energiu nižšie, ako cena za dodanú elektrinu zo špičkových elektrární. Výhody plynú aj pre odberateľov energií a spoločnosť ako celok, pretože jednotlivci môžu byť odmenení za zmenu

plánovanej spotreby a celá spoločnosť potom môže ťažiť z napríklad z nižších nákladov na výstavbu potrebnej infraštruktúry a udržiavanie systému.

Technicky sa uvažuje o riadení spotreby, s ktorou bude mať interakciu primárne samotný zákazník, alebo pomocou prednastavenej automatiky. K ďalším možnostiam patrí využitie tretej strany (agregátora) alebo dokonca samotné riadenie prevádzkovateľom systému v prípade ohrozenia sústavy.

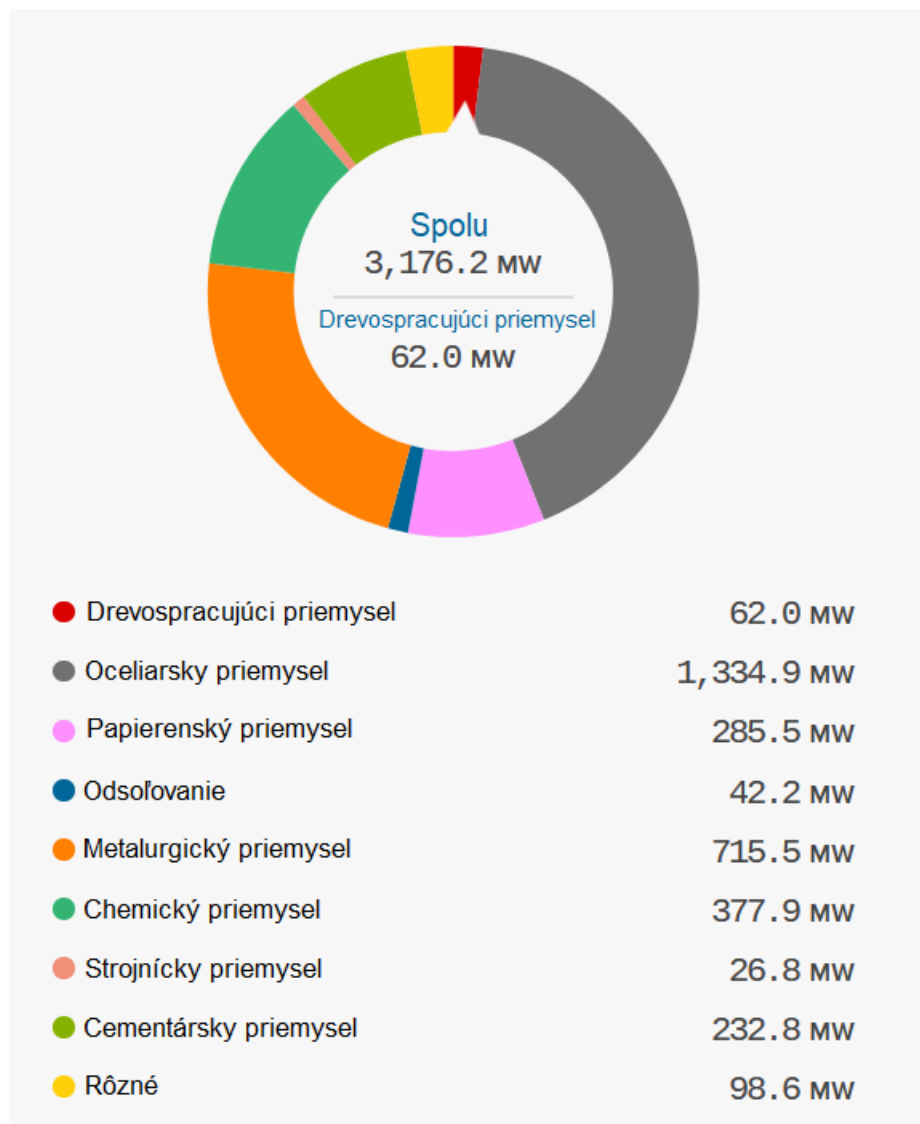
Testovanie riadenia spotreby prebieha na mnohých miestach v celej EÚ aj mimo nej. Zatiaľ nie je stanovený jednotný scenár implementácie technológie ani ekonomické nastavenie a súčasné projekty sú stále ešte vo fáze testovania a výbere najvhodnejších technologických i ekonomických aspektov. Podľa nového návrhu dizajnu trhu s elektrinou by sa riadenie spotreby malo stať ďalším trhovým nástrojom, okrem samotnej výroby, ukladania energie a platieb za kapacity, a tým zvýšiť konkurenciu na trhu i likviditu. Európsky model s elektrinou by tak mal do budúcnosti získať riadenie spotreby ako jednu z možných alternatív nielen voči výrobe, ale predovšetkým kapacitným platbám a poplatkom za batérie.

Trhový model má vychádzať z ocenenia flexibility spotreby. Európsky trh dnes však zlyháva v prenose relevantných cenových signálov (predovšetkým pre výrobcov), vzhľadom k trhovým deformáciám. O možnostiach integrácie riadenia spotreby do trhu s elektrinou prebiehajú diskusie, ktorých sa zúčastňujú napríklad SG Task Force EG3, Európska Komisia, Eurelectric, Sedco a ďalšie zainteresované skupiny (prevádzkovatelia sietí, obchodníci s energiami, záujmové skupiny). ENTSO-E počíta s integráciou priamo do denného, vnútrodeného aj vyrovnávacieho trhu.

Celý koncept je postavený na využití zákazníkmi, ktorí budú mať možnosť reagovať na cenové signály na trhu s elektrinou. To sa dnes však nedeje, pretože väčšina maloodberateľov platí preddavky za elektrinu s fixnou sadzbou za spotrebu v prepočte na jednotku spotrebovanej MWh. Pre využitie riadenia spotreby u zákazníkov na strane nízkeho napätia by tak muselo dôjsť k prechodu na flexibilné platby podľa aktuálnej ceny elektriny, čo môže vyvolať nevôľu, ak by bol systém vynucovaný. Z niektorých členských štátov sa navyše ozývajú názory, že spolu s riadením spotreby je nutné implementovať aj systém nákladných prvkov, ako sú inteligentné elektromery a bez funkčného rámca na ich využitie sa ich inštalácia nevypláca.

ENTSO-E vytipovalo niekoľko kritických oblastí, ktorým by sa mala venovať pozornosť tak, aby bolo možné plnohodnotné využitie riadenia spotreby. Ide o oblasti spadajúce do kompetencií prevádzkovateľov distribučných a prenosových sústav, obchodníkov s energiami aj samotných zákazníkov. Konkrétne sa tiež jedná o spravovanie a odovzdávanie dát, zaistenie bezpečnosti dát, objasnenie rolí a zodpovedností, zaistenie bezpečnosti dodávok elektrickej energie, nastavenie trhových mechanizmov a definovanie jednotného európskeho rámca. Ako pomerne kontroverzné oblasti sa javí snaha zavádzať inteligentné elektromery a problematika nakladania s dátami a ich zabezpečením. Dáta totiž v koncepte riadenia spotreby majú byť (v určitej forme) dostupné všetkým účastníkom trhu, pretože týchto účastníkov ovplyvňujú.

V súčasnosti patrí medzi najrozvinutejšie projekty riadenia spotreby v Európe španielsky model využívaný prevádzkovateľom prenosovej sústavy Red Eléctrica za dozoru Národnej komisie pre trhy a konkurenciu (CNMC). Systém funguje na princípe online aukcií, ktoré zaisťujú trhovú efektívnosť. Na obrázku 27 je uvedený potenciál zníženia spotreby v španielskom priemysle pre dátum 18.12.2019.



Obrázok 27- potenciál zníženia odberu na strane spotreby v Španielsku zo dňa 18.12.2019

V aukciách sú ponúkané produkty zamerané na zníženie spotreby z rôznych oblastí priemyslu, čo systém už vopred predurčuje pre využitie u veľkých odberateľov a nie domácností. Celý systém spolu potom ponúka viac ako 3000 MW teoretického zníženia spotreby, čo zodpovedá niekoľkým menším jadrovým elektrárnam.

5.3.1 Centralizované a decentralizované riadenie

Riadenie spotreby patrí medzi základné piliere inteligentných sietí. Časť funkcií poskytovaných veľkými generátormi ako regulácia frekvencie alebo rôznych odchýlok bude prenesená na stranu spotreby. Riadenie spotreby prináša redukcii špičkového zaťaženia alebo presun spotreby na inú hodinu, čo zlepšuje a optimalizuje prevádzku portfólia výrobní elektriny. Technické aspekty takýchto funkcionalít môžu byť kategorizované na centrálné a decentralizované riadenie v závislosti od miesta rozhodnutia aktivácie riadenia spotreby. Táto podkapitola rieši tieto dve riadiace filozofie, porovnáva ich časové oneskorenie a predikovateľnosť. Podkapitola tiež prezentuje model distribučnej sústavy za účelom demonštrácie oboch riadiacich prístupov.

Pokrok a progres v komunikačných a informačných technológiách otvára príležitosti pre riadenie zdrojov v distribučných sústavách. Väčšina služieb poskytovaných konvenčnými elektrárnami (napr. podporné služby) môže byť čiastočne nahradená reguláciou odberov a pri nižších nákladoch. Navyše, takýmto typom regulácie môže byť redukované špičkové zaťaženie a následne znižovaná potreba

výstavby nových špičkových zdrojov. Koncept riadenia spotreby prispieva k spoľahlivosti, účinnosti a udržateľnosti elektroenergetických systémov. Vďaka týmto benefitom je riadenie spotreby základný pilier inteligentných sietí.

Koncept riadenia spotreby nie je nový a preto bolo v odbornej literatúre navrhnutých niekoľko spôsobov jej riadenia a niektoré boli aj implementované. Príkladmi sú dynamické cenové tarify, implementácia prerušovateľných záťaží, odberatelia ako poskytovatelia podporných služieb a pod. Overenie funkcionalít riadenia spotreby je robené na modifikovanom IEEE 34 prípojnicovom distribučnom systéme so 150 domami vo forme odberov. Odbery zahŕňajú aj klimatizáciu a bojler na ohrev teplej vody.

Koncept riadenia spotreby a príslušných technológií je kategorizovaný do centrálného a decentralizovaného riadenia v závislosti od miesta vzniku riadiaceho povelu. Každý koncept zohľadňuje nasledovné parametre:

- a) Čas oneskorenia – čím kratší, tým lepší. Rýchla reakcia zlepšuje stabilitu distribučnej sústavy a tiež vytvára dobrý predpoklad pre nasadenie rýchlo reagujúcej technológie.
- b) Predikovateľnosť – lineárne predikovateľná odozva spotreby na riadiaci signál je ideálna, pretože redukuje neistotu v prevádzke a potenciálnu nestabilitu v systéme.

Ovládateľnosť a spoľahlivosť sú tiež dôležité faktory pri dizajnovaní technológií.

Federálna regulačná energetická komisia v USA pracuje s piatimi typmi spôsobov regulácie spotreby:

- 1) Typ 1 – Dynamická cenová tarifa – manuálna reakcia na cenový signál
- 2) Typ 2 – Dynamická cenová tarifa – automatická reakcia na cenový signál
- 3) Typ 3 – Priame riadenie záťaže
- 4) Typ 4 – Tarify pre prerušovateľnú záťaž
- 5) Typ 5 – Riadenie spotreby prevádzkovateľom prenosovej sústavy alebo iných energetických entít

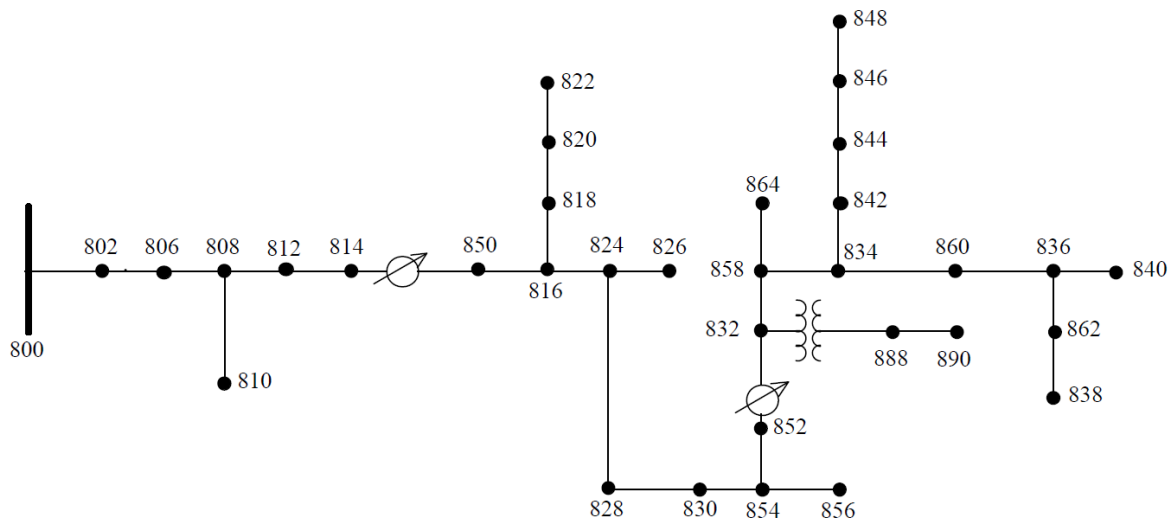
Dynamická cenová tarifa a priame riadenie je univerzálne aplikovateľný koncept, zatiaľ čo Typ 4 a Typ 5 sú určené pre priemyselný odber. Ďalším dôležitým typom riadenia záťaže je autonómne riadenie záťaží, kedy autonómny regulátor záťaže riadi veľkosť odberu podľa odchýlky frekvencie alebo veľkosti napätia. Jedná sa o Typ 6 regulácie spotreby. V závislosti na type záťaže a potreb elektrizačnej sústavy autonómny regulátor nastavuje veľkosť odoberaného výkonu alebo spína záťaž. Napríklad v prípade umývačky riadu alebo sušičky bielizne autonómny regulátor zredukuje vyhrievanie v rámci reakcie na zápornú odchýlku frekvencie. Záťaže, ktoré obsahujú schopnosť akumulácie energie, ako je napríklad bojler na ohrev teplej vody, sú riadené dočasne nastavením ich termostatu pomocou autonómneho regulátora. Takáto krátkodobá regulácia alebo spínanie obvykle nie je poznateľné pre užívateľa. V tabuľke 7 je sumarizácia a kategorizácia riadenia spotreby.

Tabuľka 7 - kategorizácia riadenia spotreby

		Lokalita vzniku povelu	
		Lokálna	centrálna
Lokalita vykonania riadenia	Lokálna	Typ 6	Typ 1 a 2
	Centrála		Typ 3, 4, 5

Distribučná výroba a záťaže na distribučnej úrovni sú obvykle neriadené s výnimkou núdzových stavov napríklad v prípade výskytu abnormálnych hodnôt frekvencie alebo iných havarijných stavov v sústave.

Na obrázku 28 je uvedená topologická schéma distribučnej sústavy, kde prípojnica číslo 800 tvorí rozhranie medzi distribučnou a prenosovou sústavou. Distribučné odbery sú uvedené v tabuľke 8 a 9.



Obrázok 28 - topológia distribučnej sústavy s 34 prípojnami

Pre každú domácnosť je uvažovaný inštalovaný výkon klimatizácie 4 kW a elektrického bojlera 4,5 kW. Na obrázku 29 je uvedený hodinový profil celkového zaťaženia.

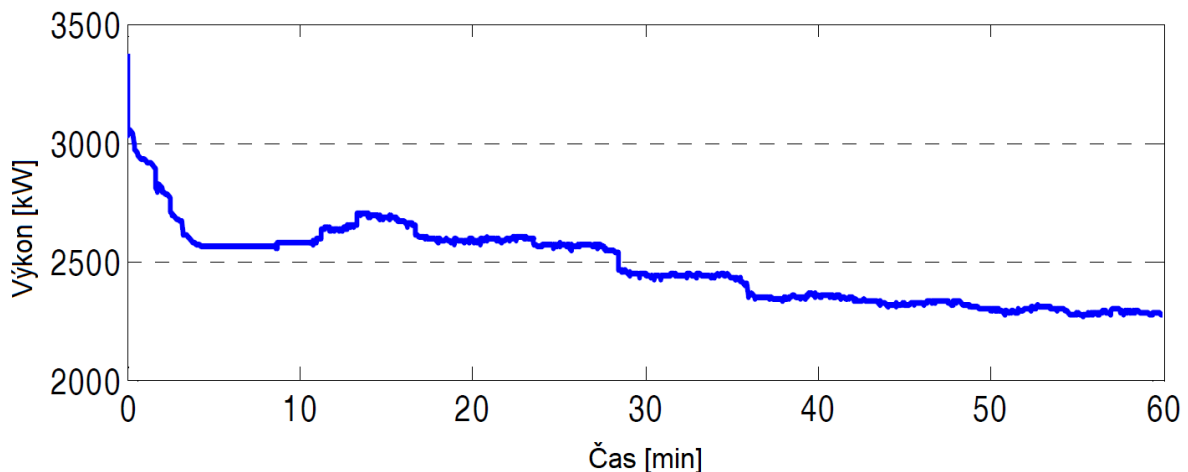
Tabuľka 8 - uzlové zaťaženie

Uzol	Sústredené zaťaženie [kW]	Inštalovaná kapacita na rezidenčnej úrovni [kW]	Počet domov
860	60	150	14
840	27	67,5	6
844	405	405	-
848	60	150	14
890	450	450	-
830	45	112,5	10
Spolu	1 047	1 335	44

Tabuľka 9 - distribuované záťaž

Začiatok	Koniec	Sústredené zaťaženie [kW]	Inštalovaná kapacita na rezidenčnej úrovni [kW]	Počet domov
802	806	55	137,5	12
808	810	16	40	4
818	820	34	85	8
820	822	135	135	-
816	824	5	12,5	2
824	826	40	100	9
824	828	4	10	1
828	830	7	17,5	2
854	856	4	10	2
832	858	15	37,5	4
858	864	2	5	1
858	834	32	80	7
834	860	146	146	-

Začiatok	Koniec	Sústredené zaťaženie [kW]	Inštalovaná kapacita na rezidenčnej úrovni [kW]	Počet domov
860	836	82	205	18
836	840	40	100	9
862	838	28	70	7
842	844	9	22,5	2
844	846	45	112,5	10
846	848	23	57,5	5
Spolu		722	1 383,5	103



Obrázok 29 - Hodinový profil celkového zaťaženia vyjadrený v minútovom rozlíšení

Celková záťaž je reprezentovaná tromi typmi a to klimatizačnými jednotkami, elektrickými bojlermi a agregovanou záťažou, ktorá je reprezentovaná práčkami, umývačkami riadu, chladničkami a pod.

Modelovanie klimatizácie ako záťaže je náročná úloha v rámci presného simulovania energetického správania sa distribučnej sústavy, pretože klimatizačné jednotky predstavujú zdroj jalového výkonu najmä pri spúšťaní a ich spínanie má dopad aj na napäťové pomery. Dopad je významnejší ako počet spínaných jednotiek. Model klimatizácie zahŕňa tepelnú dynamiku domu a motorovú záťaž. Tepelný prenos v dome je modelovaný nasledovne:

$$Q_A - U_A(T_A - T_0) - H_M(T_A - T_M) - C_A \frac{dT_A}{dt} = 0$$

$$Q_M - H_M(T_M - T_A) - C_M \frac{dT_M}{dt} = 0$$

kde Q_A je vyhrievacia/chladiaca kapacita klimatizácie, U_A je vodivosť ekvivalentného tepelného plášťa domácnosti, ktorým sa prenáša teplo z vonkajšieho prostredia do vnútra objektu. T_A je teplota vzduchu v miestnosti a T_0 je vonkajšia teplota. H_M je povrchová vodivosť, C_M predstavuje väčšinou tuhú hmotu v domácnosti, zatiaľ čo C_A je objem vzduchu (oveľa menšie ako C_M); T_M je teplota tuhej hmoty v domácnosti.

Teplota vzduchu v miestnosti T_A môže byť kalkulovaná v reálnom čase a regulátor môže jednoducho udržiavať v miestnosti požadovanú teplotu. Požadovaná teplota je T_{A_set} s pásmom necitlivosti $T_{A_deadband}$. Riadiaca logika má tvar:

$$T_A \geq T_{A_set} + T_{A_deadband} \rightarrow \text{vypnutie klimatizácie}$$

$$T_A \leq T_{A_set} - T_{A_deadband} - \text{zapnutie klimatizácie}$$

Izbová teplota sa pohybuje obvykle od 22 °C do 27 °C. Pásmo necitlivosti je 1 °C.

Model elektrického bojlera je použitý na simuláciu fyzikálneho procesu zmeny teploty vody v nádobe. Fyzikálny prenos tepla je modelovaný ako diferenciálna rovnica prvého rádu:

$$Q_{elec} = mC_p(T_W - T_{inlet}) + UA_{wh}(T_A - T_W) = C_W \frac{dT_W}{dt}$$

kde Q_{elec} je tepelná kapacita rezistora vo forme ohrievacieho telesa v BTU/min, m je tok teplej vody, C_p je tepelná kapacita, T_W je teplota vody, T_{inlet} je teplota prichádzajúcej vody, UA_{wh} reprezentuje tepelnú vodivosť plášťa nádoby, T_a je teplota miestnosti a C_w je tepelná kapacita. Model nepretržite monitoruje aktuálnu teplotu vody a podľa nej spína vyhrievacie teleso. Riadiaca logika má podobné podmienky ako pri klimatizačnej jednotke.

$$T_W \geq T_{W_set} + T_{W_deadband} - \text{vypnutie ohrievania}$$

$$T_W \leq T_{W_set} - T_{W_deadband} - \text{zapnutie ohrievania}$$

Typická teplota osciluje medzi 43 a 54 °C. Pásmo necitlivosti má hodnotu 1 °C.

Hlavným účelom dizajnu riadenia je zaistiť schopnosť a flexibilitu za účelom simulovania rozličných radiacích schém v rámci riadenia spotreby. Sú uvažované tri druhy riadenia spotreby:

a) Regulácia napätia

Logika regulátora napätia je nasledovná. Keď napätie na prípojke objektu (budovy, rodinného domu) klesne pod stanovenú hodnotu V_{low} napríklad 10% pod menovité napätie, regulátor príslušných zariadení vyšle signál vypnutia. Naopak, zapínací signál bude vyslaný iba v prípade návratu hodnoty napätia do povolených hraníc V_{norm} . Správnym odladením rozdielu medzi V_{low} a V_{norm} je možné predísť častým spínaniam.

b) Regulácia frekvencie

Logika regulácie frekvencie je podobná. Keď hodnota frekvencie v bode pripojenia objektu klesne pod vopred definovanú hranicu, dôjde k vyslaniu vypínacieho signálu. V prípade návratu hodnoty frekvencie do normálu dôjde k opätovnému pripojeniu spotrebiča k elektrickej sieti.

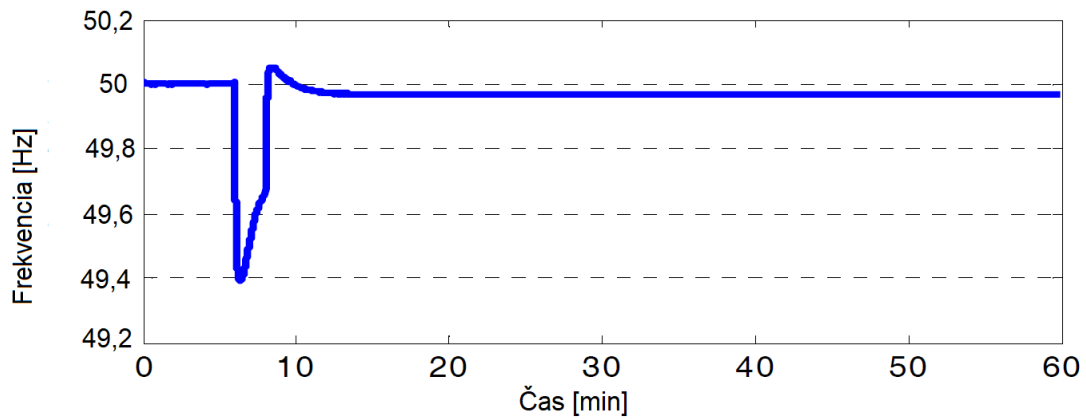
c) Regulácia podľa aktuálnej ceny

Logika regulácie podľa ceny je nastavená tak, že v prípade výskytu vysokých cien elektriny dôjde k vypnutiu klimatizácie alebo ohrevu teplej vody. V tomto prípade je potrebné nastaviť prahovú hodnotu ceny elektriny.

Uvedené prístupy zodpovedajú decentralizovanému riadeniu spotreby. V prípade, ak je splnená podmienka pre aktiváciu zariadení, tieto sú aktivované. V prípade, ak nie je aspoň jedna podmienka splnená, zariadenia sa deaktivujú.

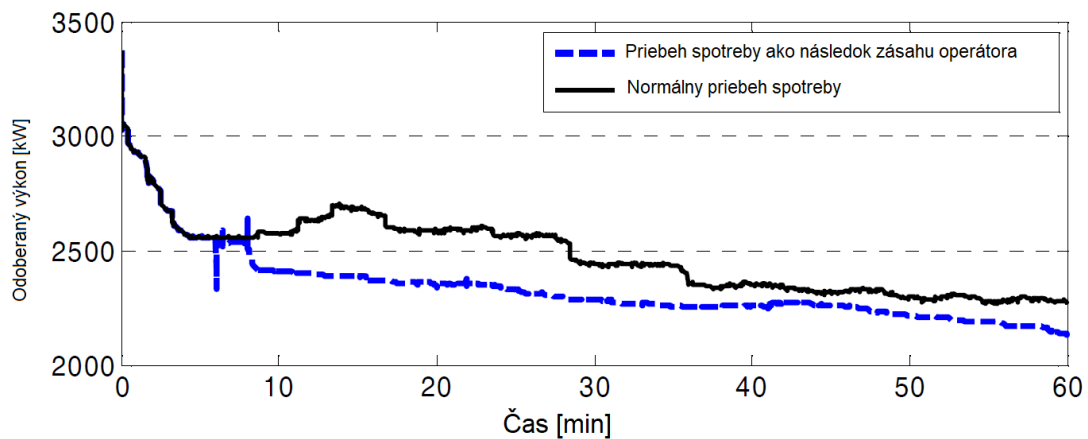
V rámci centrálnej kontroly môžu byť všetky elektrické bojler v danej oblasti riadené jedným signálom.

Na obrázku 30 je zobrazený náhly pokles frekvencie v distribučnej sústave.



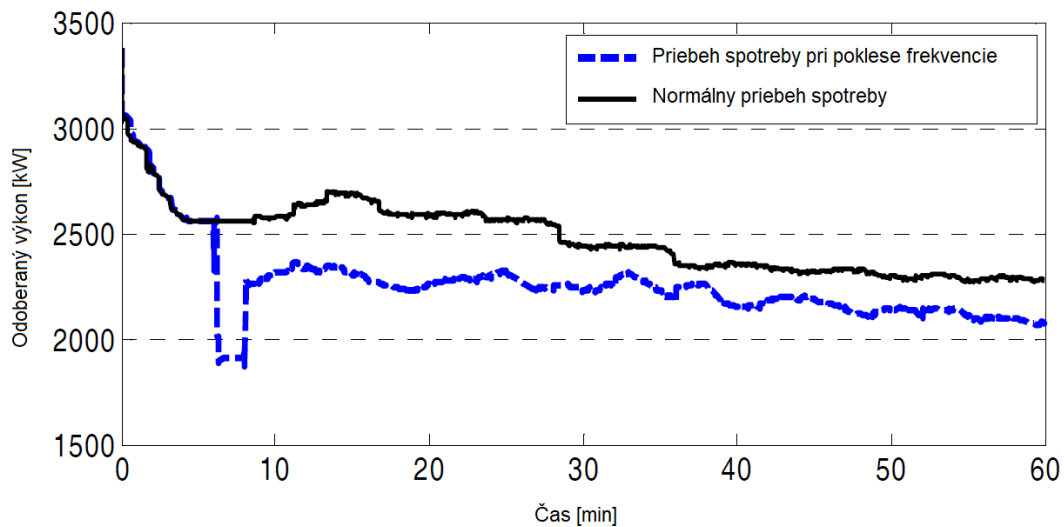
Obrázok 30 - štruktúrna zmena priebehu frekvencie

Centralizované riadenie je simulované ako pokyn od operátora, ktorý vysiela riadiace signály po vzniku udalosti v elektrizačnej sústave. Reakcia spotreby je oneskorená z dvoch príčin. Prvou je vyhodnotenie udalosti a vykonanie rozhodnutia na strane operátora a druhou je oneskorenie v komunikačných cestách. Oneskorenie môže trvať aj 20 sekúnd v komunikačných cestách a 120 sekúnd na strane operátora.



Obrázok 31 - Priebeh a reakcia spotreby skupiny odberov pri centrálnom riadení

Na obrázku 32 je zobrazený priebeh spotreby pri náhlej zmene frekvencie v sústave pri decentralizovanom riadení.

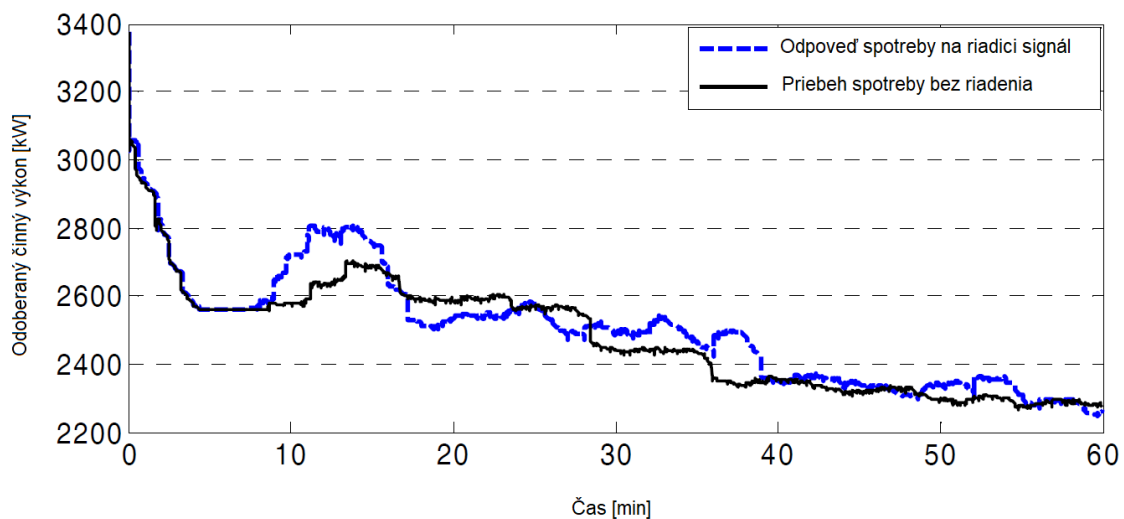


Obrázok 32 - Priebeh a reakcia spotreby skupiny odberov na odchýlku frekvencie pri riadení

Vzhľadom na časové oneskorenie je najoptimálnejšie použiť centrálné riadenie ako doplnok k točivej rezerve v elektrizačnej sústave. Decentralizované riadenie dáva lepšiu kvalitu regulácie a je vhodnejšie na vyrovnávanie odchýlok frekvencie. Príkion klimatizačných jednotiek a elektrických bojlerov je potrebné nastaviť tak, aby jeho veľkosť bola proporcionálna k veľkosti odchýlky frekvencie.

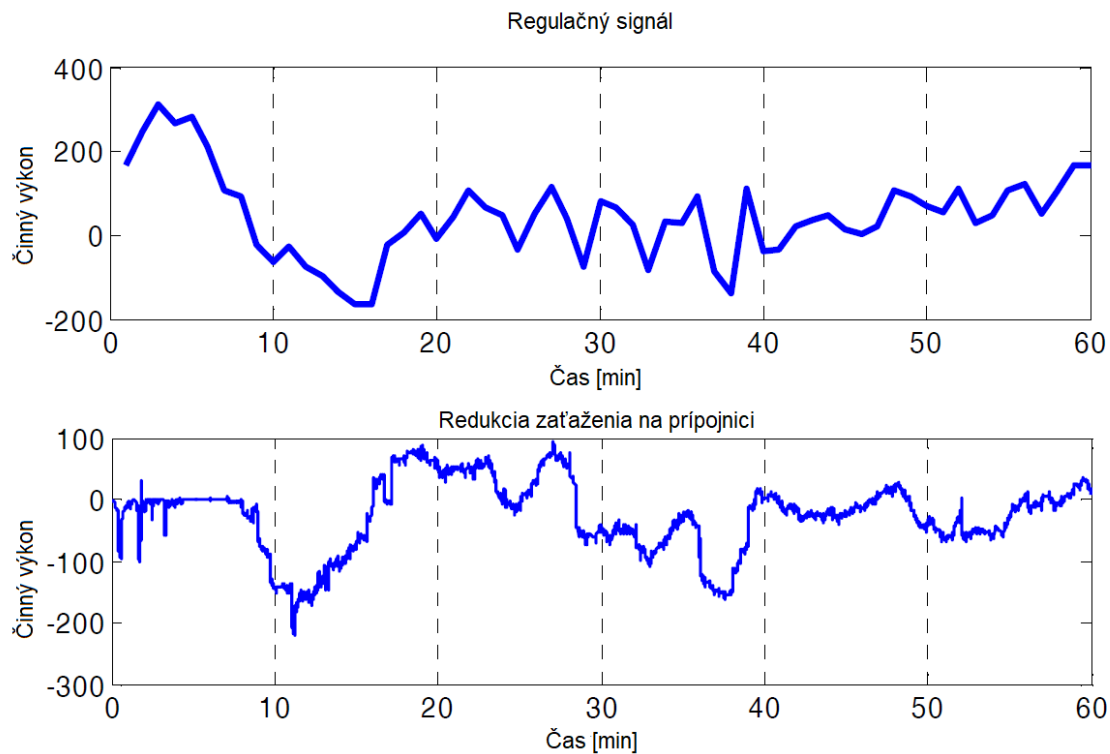
Je možné zachytiť efekt riadenia spotreby v rámci regulácie elektrizačnej sústavy (obr. 33) a jej zaťaženia, kedy je spotreba v časti regulovaná podľa zaťaženia v celej sústave. Riadenie spotreby môže byť použité aj v prípade kompenzácie variability výroby elektriny z veternej elektrárne.

Teplota generovaná klimatizačnými jednotkami a elektrickými bojlermi je riadená proporcionálne k riadiacemu signálu z centrálného regulátora alebo podľa výstupu veternej elektrárne.



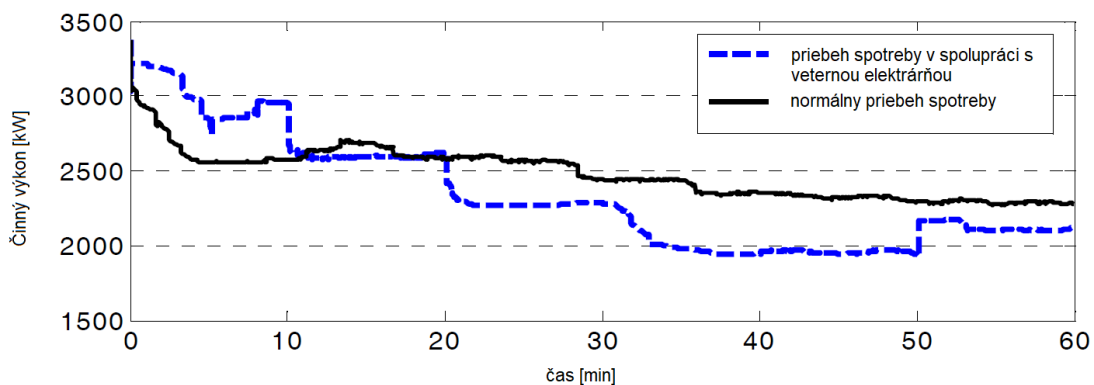
Obrázok 33 - Priebeh a reakcia spotreby skupiny odberov na riadiaci signál nadradenej autority

Na obrázku 34 je zobrazené porovnanie priebehu riadiaceho signálu a redukcia sumárneho zaťaženia na spoločnej prípojnici.



Obrázok 34 - Porovnanie priebehu regulačného signálu a zaťaženia na prípojnici

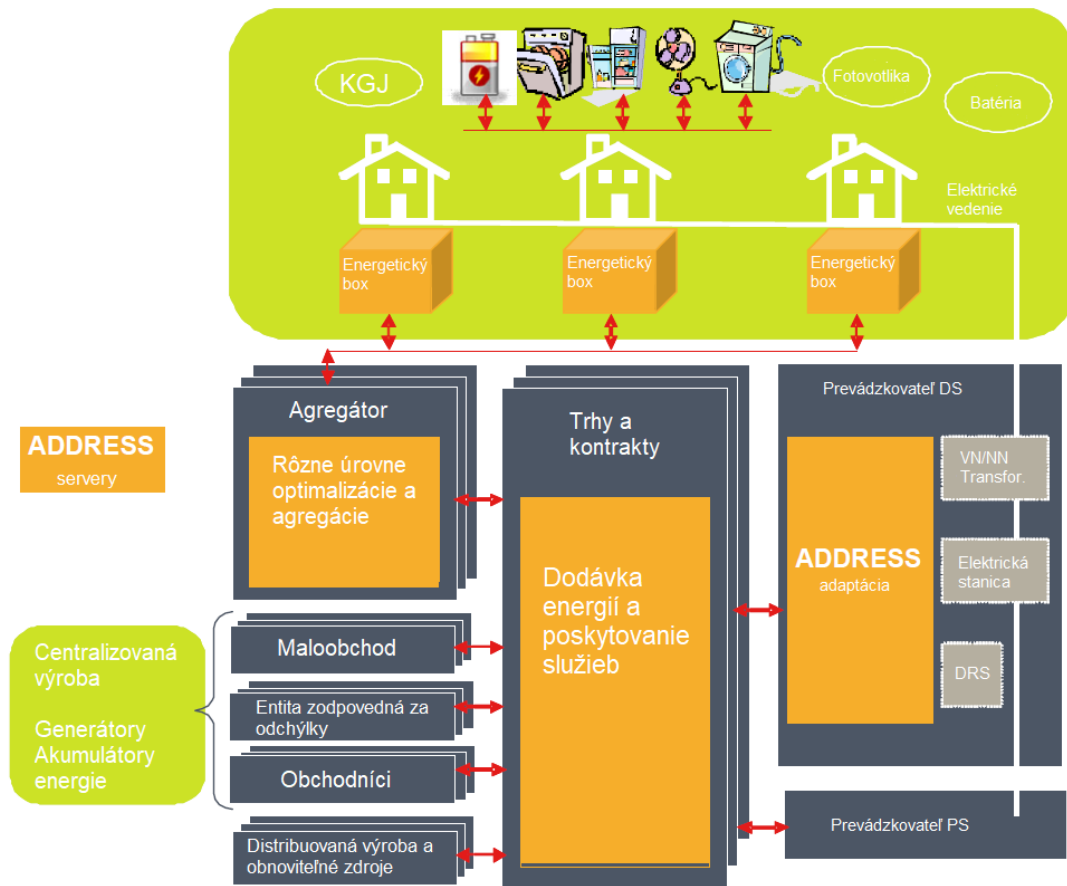
Priebeh reakcie spotreby na fluktuácie z veternej elektrárne je zobrazený na obrázku 35.



Obrázok 35 - Porovnanie priebehu spotreby riadenej podľa výstupu veternej elektrárne a bez riadenia

5.4 Lokálna výroba na strane koncového odberateľa - modelový príklad z projektu ADRESS

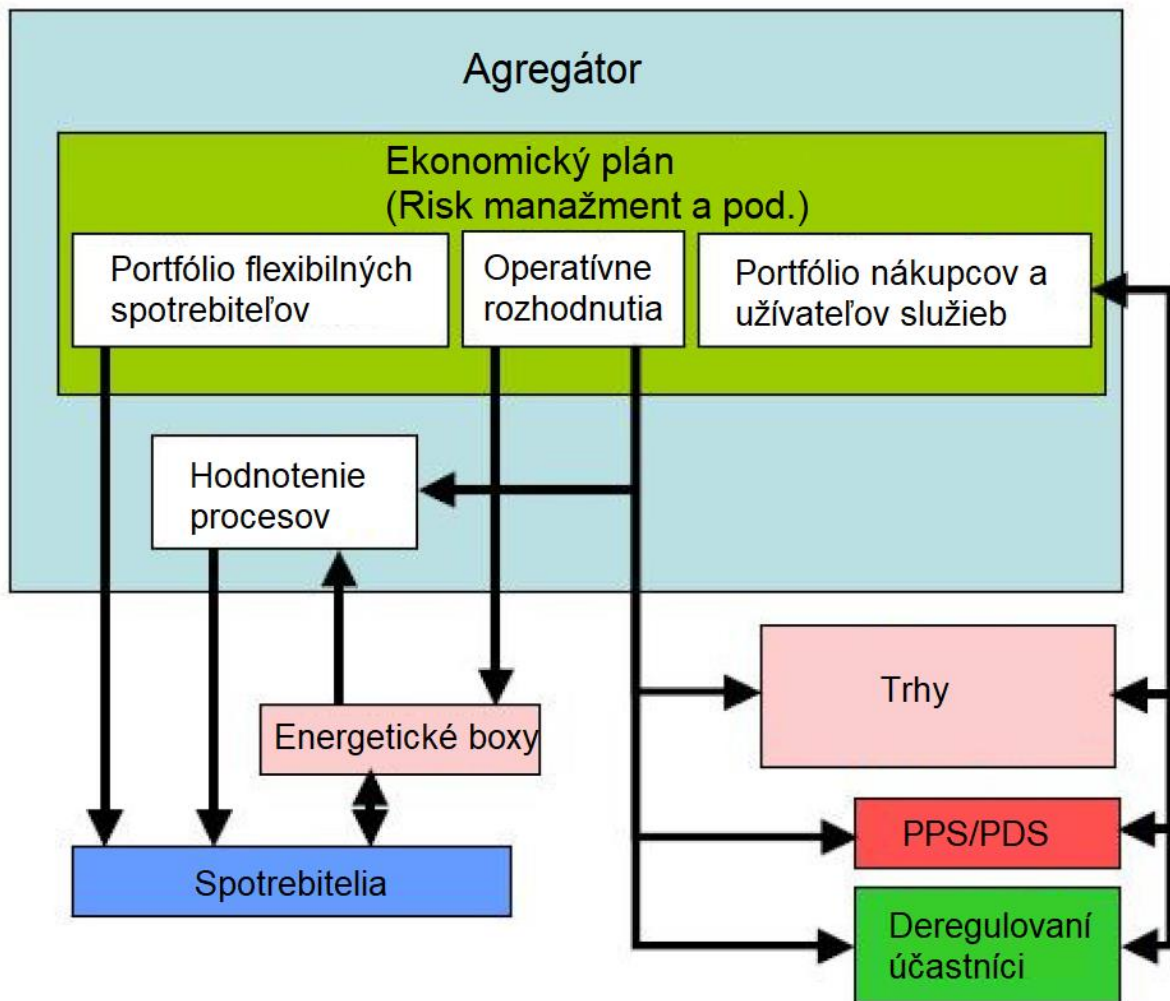
ADRESS je veľký integrovaný výskumno-vývojový projekt spolufinancovaný európskou komisiou založený v rámci siedmeho rámcového programu pre rozvoj „Interaktívnych distribučných energetických sietí“. Projekt ADRESS má svoj pôvod v koncepte aktívnych distribučných sietí s plnou integráciou spotreby a výroby z obnoviteľných zdrojov. Hlavným cieľom projektu bolo umožnenie participácie domácností a menších komerčných spotrebiteľov na trhu s energiami a poskytovanie služieb rôznym účastníkom. Štruktúra je uvedená na obrázku 36 a 37.



Obrázok 36 - Konceptuálna architektúra ADDRESS projektu

Pointou projektu bola aktívna participácia domácností a menších komerčných subjektov (odberateľov) pod záštitou novej trhovej entity – „Agregátora“, ktorého úlohou je využitie flexibility spotrebiteľov a jej ponúknutie na trhu vo forme rôznych služieb. Spotrebiteľia sú poskytovatelia flexibility a sú vo väčšine prípadov pripojení priamo na úroveň nízkeho napätia. Agregátor je kľúčový mediátor medzi spotrebiteľmi, tržmi a inými účastníkmi. Jeho hlavnou úlohou je:

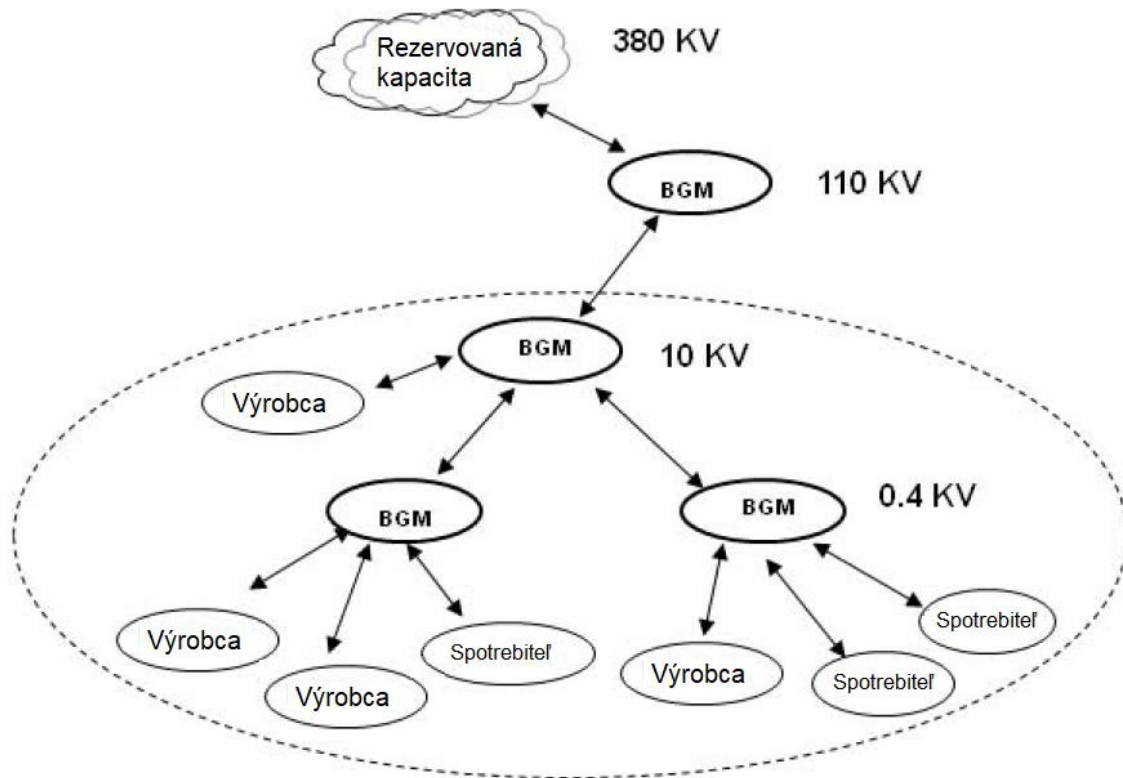
- združovať (agregovať) flexibilitu spotrebiteľov za účelom vytvorenia služieb poskytovaných aktívnou distribučnou sústavou,
- ponúknuť tieto služby trhovým mechanizmom,
- manažovať riziká spojené s trhom s energiami,
- maximalizácia hodnoty flexibility spotreby.



Obrázok 37 - architektúra ADRESS projektu

DEZENT je model energetického trhu a súčasne výsledok výskumno-vývojového projektu nemeckých univerzít. Projekt sa venoval decentralizovanému a adaptívnemu riadeniu zdrojov elektrickej energie pomocou distribuovanej multi-agentnej architektúre v reálnom čase. Riadiaci systém projektu sa zameriava na regionálnu distribučnú sústavu s predominantnou výrobou elektrickej energie pomocou obnoviteľných zdrojov. Architektúra elektrickej siete (obr. 38) je rozdelená na štyri napäťové hladiny:

- NN sieť – 0,4 kV
- VN sieť – 10 kV (Nemecko)
- VVN sieť – 110 kV
- ZVN sieť – 380 kV



Obrázok 38 - Elektrizácia sústava a príslušní agenti

Prosumeri sú účastníkmi na prvých dvoch hladinách. Vyrovnanie medzi dodávkou a spotrebou elektrickej energie je vykonávané pomocou entít (BGM – ang. “Balance group manager”) zodpovedných za odchýlku. BGM je možné vnímať aj ako finančný nástroj, ktorý vyvažuje ponuku a dopyt medzi výrobcou a spotrebiteľom, ktorí majú podobné energetické potreby.

Obchodný deň je diskretizovaný, výsledkom čoho je súbor po sebe nasledujúcich slotov a v jednotlivých prevádzkových slotoch sa páruje ponuka a dopyt. Trvanie slotu musí byť dlhšie ako čas potrebný na odregulovanie odchýlky v systéme. Reakčný čas závisí od veľkosti bilančnej skupiny. Vyrovnanie ponuky a dopytu sa začína nezávisle na sebe pre skupiny na najnižšej úrovni. Ak nie je možné nájsť ponuku pre všetkých zákazníckych agentov v skupine, potom neuspokojený dopyt alebo ponuka sa posielajú do najbližšej vyššej BGM entity a dopyt po regulačnej energii sa rozšíri na túto novú skupinu účastníkov.

Slot v DEZENTE pozostáva z 3 cyklov vyjednávania (vyrovnávania) a predaja alebo nákupu elektriny (za fixné náklady) do a z hlavných výrobných zariadení. Každý cyklus pozostáva z 10 kôl vyjednávania, v ktorých sú ponuky zákazníckych agentov upravené podľa ich vlastných stratégií vyjednávania.

V prípade odberateľa uvažujeme, že A_k a B_k patrí do cenového intervalu, v rámci ktorého je možné vyjednávať/párovať dopyt a ponuku na úrovni k ($1 \leq k \leq 3$). Parameter A_k reprezentuje spodnú hranicu nákladov na elektrinu a B_k hornú hranicu. Ďalej uvažujeme, že S_c je set konečných reálnych hodnôt. Vyjednávacia/párovacia stratégia nastavená spotrebiteľským agentom C je charakterizovaná okrúhlymi zátvorkami vo forme $(s_1, bid(0))$. Hodnota s_1 je vybraná zo setu hodnôt S_c , pokiaľ $bid(0)$ je otváracia ponuka a je vybraná z intervalu $[A_k, \frac{1}{2}(B_k + A_k)]$. Spotrebiteľ tiež uvedie naliehavosť ponuky/dopytu pomocou parametra urg_0 . Všetky tieto premenné charakterizujú gradient ponukovej krivky spotrebiteľa. Po zaokrúhlení n , $n \in [0 - 9]$ neuspokojený spotrebiteľ zvýši svoju ponuku podľa funkcie:

$$bid(n) = -\frac{1}{e^{\frac{urg_0 * n}{s_1} + s_2}} + B_k$$

kde parameter s_2 je určený otváracou ponukou $s_2 = -\log(B_k - bid(0))$. Spotrebiteľ bude participovať v ďalšom vyjednávanom/párovacom kole n s novou hodnotou svojej ponuky $bid(n)$. V prípade výrobcu elektriny je definovaná podobná funkcia ponuky. Navyiac na konci každého intervalu spotrebiteľskí agenti adaptujú svoje vyjednávanie použitím strojového učenia formou odmeňovania (*ang. Reinforcement learning*).

V oblasti strojového učenia sa používajú techniky učenia s odmeňovaním v prípade, kedy inteligentný agent nemá dostatok informácií o prostredí, v ktorom je aplikovaný, a nevie dopredu, ako a s akou dynamikou reagovať a robiť rozhodnutia. Učenie s odmeňovaním môže byť rozdelené do dvoch krokov:

- 1) vykonanie akcie (rozhodnutia),
- 2) získanie odmeny za vykonanú akciu.

Pretože agent nemá presnú informáciu o stave prostredia, voľba a vykonanie akcie je založené na pravdepodobnostnom prístupe podľa distribúcie (pravdepodobnostného rozloženia) predchádzajúcich skúseností. Odmena pridelená za vykonanú akciu je založená na výsledku interakcie s prostredím. Pravdepodobnosti vykonania akcií sú potom modifikované za účelom nárastu dlhodobej odmeny. V prípade modelu energetického trhu DEZENT je nasledovné možné správanie agenta pri vyjednávaní:

- 1) začať návrhom vysokej ponuky a jej následným pomalým rastom,
- 2) začať návrhom nižšej ponuky a jej následným rýchlym rastom,
- 3) kombináciou predchádzajúcich stratégií.

Stratégia číslo 1 zaručuje vyšší zisk v prípade väčšieho množstva klientov a len niekoľkých konkurentov. Stratégia číslo 2 uľahčí hľadanie klienta, nezaručuje však optimálny zisk.

V DEZENT projekte agenti adaptujú svoju vyjednávaciu stratégiu na konci každého slotu. Každý zákazník má set strategických ponúk. Výber stratégie vyjednávaní v ďalšom slotu je vykonaný pravdepodobnostne podľa fixnej pravdepodobnostnej distribúcie definovanej v DEZENTE. Odmena za vyjednávaciu stratégiu je vykonávaná podľa Suttonovej metódy.

V rámci projektu bolo navrhnuté riešenie, ktoré pomáha optimalizovať spotrebu domácností (aj výrobu) a efektívnejšie riadiť náklady na elektrinu. Výzvou je vytvoriť elastický charakter výroby a spotreby za účelom optimalizovania nákladov podľa podmienok na trhu s elektrinou. Prosumer je charakterizovaný schopnosťou prispôbovať svoje energetické správanie počas dňa. Ak je energetická bilancia kladná, potom prosumer pôsobí ako producent elektriny a naopak. Odborné a výrobné profily musia spĺňať nasledovné podmienky:

- energetická bilancia v slotu má hornú a dolnú hranicu,
- suma všetkých energetických bilancií počas dňa musí byť nulová,
- suma všetkých bilancií od začiatku dňa do ľubovoľnej hodiny nesmie prekročiť hornú alebo dolnú hranicu.

Podmienky tiež uvažujú s prítomnosťou akumulátorov elektrickej energie ako sú batérieové systémy, elektromobily, ohrev teplej vody a pod. Vzhľadom na charakter profilov spotreby si prosumer vyberie optimálny profil na základe jednotkových nákladov na energiu, ktoré boli vyjednané v DEZENTE v každom slotu z predchádzajúceho dňa. Ak predpokladáme, že náklady na trhu s energiami v rovnakom slotu z predchádzajúceho dňa majú rovnakú hodnotu, že prostredie pre prosumera je rovnaké a tiež, že algoritmus učenia s odmeňovaním pre systém DEZENT konverguje, je možné sa spoľahnúť na veľkosť nákladov (výsledok rokovania) z predchádzajúceho dňa. Cieľom prosumera je nájsť vhodný profil, ktorý každému slotu priradí spotrebu energie (alebo výrobu) s optimálnymi celkovými nákladmi. Navyše, vždy, keď prosumer vystupuje ako producent elektriny, do riadiaceho algoritmu sa pridávajú ďalšie náklady. Dodatočné náklady sú spôsobené skutočnosťou, že časť skladovanej elektriny pripadne na Joulove straty alebo na straty v transformátoroch. Jedná sa o „prevádzkové náklady“ a charakterizuje ich neefektívnosť skladovania elektriny na strane spotrebiteľa. Spotrebiteľa používajú na plánovanie svojej

spotreby energie (výroby) algoritmus dynamického programovania. Algoritmus riadenia prosumerov má dva vstupy:

- definíciu triedy povolených spotrebiteľských profilov,
- náklady na jednotku energie, ktoré boli výsledkom rokovania DEZENT v každom slotе predchádzajúceho dňa.

Ďalej je definovaný problém s optimalizáciou a navrhovaný algoritmus dynamického programovania, ktorý sa používa na jeho riešenie.

V rámci strojového učenia s odmeňovaním je správanie (adaptácia) prosumera závislá na definícii prostredia. Prostredie pre prosumerov môže mať stochastický charakter a byť každý deň mierne odlišné. Presná informácia o budúcom vývoji nie je nikdy dostupná pre každého prosumera počas vyjednávania v DEZENTE.

Napríklad, každý prosumer môže nezávisle zvýšiť svoju spotrebu počas periódy, kedy je cena elektriny nižšia. Tento efekt bude viesť k nárastu nákladov za elektrinu počas periód, kedy je cena elektriny priaznivá.

Tiež je možné študovať samo-adaptáciu prosumera v nestacionárnom prostredí DEZENTu. V navrhovanom prístupe má spotrebiteľ stanovenú priemernú spotrebu energie a na základe odhadovaných nákladov na energiu na trhu s elektrinou môže zvýšiť alebo znížiť svoju spotrebu energie. Činnosť spotrebiteľa zodpovedá optimalizačnému modelu. Počas simulácií sú náklady na elektrinu pre DEZENT model uvažované ako fixné.

V prvom prípade simulácie mala populácia prosumerov stochastické správanie. Agregovaná spotreba a dodávka bola rozdielna v každom slotе. Pre simuláciu správania sa prosumerov a výrobcov elektriny sú použité dve normálne rozdelenia (Gausove rozdelenia pravdepodobnosti).

V druhej simulácii sú agregované výroby a spotreby dvoch populácií rovnaké. Boli simulované tri dni a výstup je uvedený v tabuľke 10.

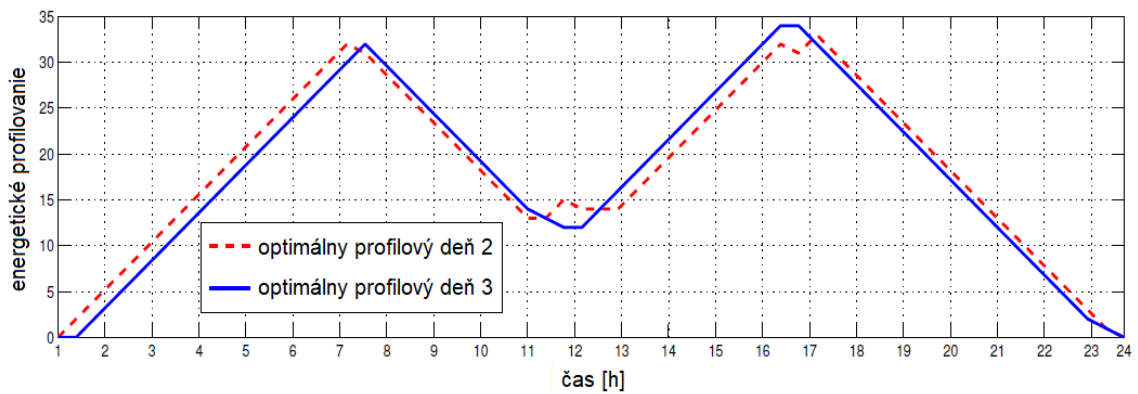
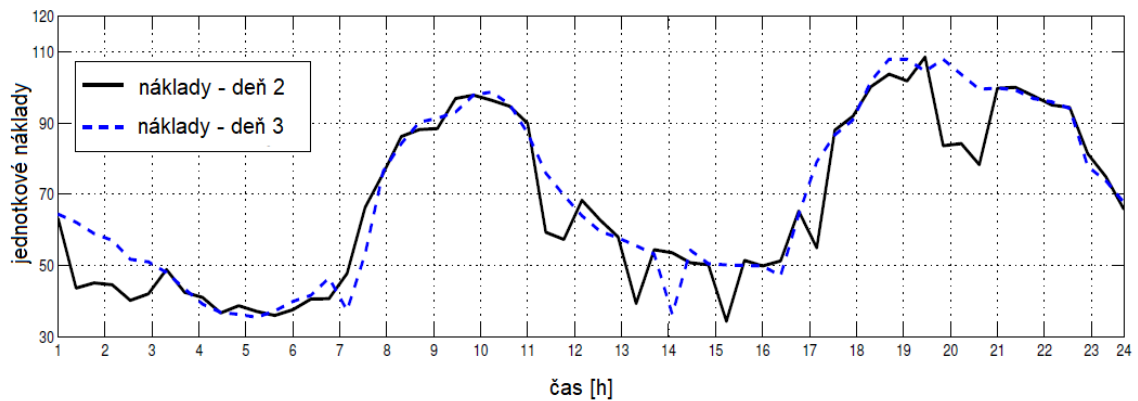
Obrázok 40 sa týka prípadu, v ktorom sa prostredie prosumera správa stochasticky. Dve horné krivky na obrázku predstavujú jednotkové náklady na energiu vyplývajúce z vyjednávania v deň číslo 2 (plná krivka) a v deň číslo 3 (prerušovaná krivka). Rozdiel medzi dvoma krivkami na obrázku je výrazný. Je to spôsobené pomalou mierou konvergencie mechanizmu učenia s odmeňovaním za prítomnosti rýchlych zmien v prostredí, bližšie ku konvergencii v deň číslo 3. Na úrovni profilovania predstavujú dve spodné krivky optimalizované profily založené na nákladoch na elektrinu podľa dvoch horných kriviek. Krivky vykresľujú súčet (od začiatku dňa) navrhovaných bilancií: podľa obmedzení, ktoré sa predpokladali v profiloch prosumerov, nesmie byť súčet bilancií väčší ako určitá hodnota (ale v tejto simulácii je kapacita úložiska energie považovaná za nekonečnú) a malo by sa začínať a končiť na 0. V takom prípade regulátor správne navrhol variácie, ktoré sú oproti wrt. nákladov. Je možné si všimnúť, že optimalizačný krok má pozoruhodný vyhladzujúci efekt na krivke 2. dňa.

Na obrázku 40 je vykreslený rovnaký priebeh, ale pre stacionárne prostredie. Horné krivky na obrázku 40 sú vyhladenejšie ako na obrázku 39, čo naznačuje spätno-väzobnú slučku medzi mechanizmom učenia s odmeňovaním na DEZENT úrovni a riadiacim mechanizmom použitým pre optimalizáciu profilov. V skutočnosti sa denný optimalizačný proces ukazuje ako dostatočný kompromis medzi odhadovanou jednotkovou cenou elektriny v rôznych časových intervaloch a dostupnými hodnotami výkonu. Je možné povedať, že počas učenia s odmeňovaním je agent schopný aktualizovať váhy svojich stratégií vyjednávania podľa množstva energie, ktorú potrebuje. Ďalej kontrolný mechanizmus zohľadňuje náklady na energiu, ktoré sú výsledkom vyjednávania, aby sa určilo, koľko energie ďalej potrebuje.

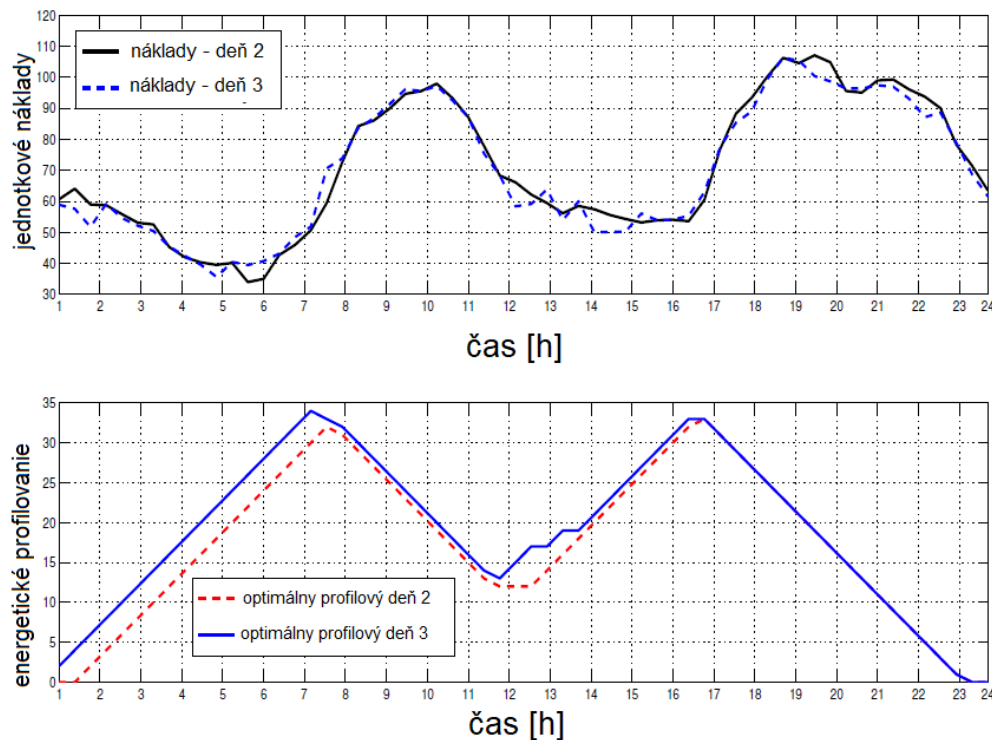
Tabuľka 10 - Nastavenie nestacionárneho prostredia pre DEZENT model

Architektúra	Negociačná úroveň	1
	BGM na úrovni 1	1
	Klienti	15
	Výrobcovia (50 – 350 kW)	10

	Spotrebitelia (50 – 300 kW)	5
Cena elektriny	Počet slotov v dni – 60 slotov (24 dni)	
	Profilové náklady na elektrinu	
Prostredie pre prosumerov	Výrobcovia elektriny: gausove rozdelenie	
	Spotrebitelia elektriny: gausove rozdelenie	
Energetická rezerva	Nekonečná	
	Od 0 do 10	
Regulátor	Kategória profilov spotreby	
	Optimalizácia	
Simulácie	3 dni	
	Test 1: nestacionárne prostredie	
	Test 2: stacionárne prostredie	



Obrázok 39 - test1 - nestacionárne prostredie



Obrázok 40 - Test 2 – stacionárne prostredie

5.5 Vplyv na odberateľa

5.5.1 Dôsledky zavedenia Inteligentných sietí

5.5.1.1 Obchodovanie s elektrickou energiou

Súčasný obchodník, ktorý má vo svojom portfóliu odberateľov elektrickej energie, musí neustále pokrývať ich odberný diagram (ODD). V prípade rastúcich inštalácií OZE na strane odberateľa (tzv. „za elektromerom“) je tento diagram spolu s jeho obchodnými záväzkami voči trhu zaťažený ďalšou neistotou. Vo väčšine prípadov sa elektrina na pokrytí ODD zaisťuje dlhodobými kontraktmi v rámci spravovaného portfólia tak, aby sa čo najviac eliminovalo trhové riziko otvorenej pozície a zároveň sa optimalizovalo aj z pohľadu objemového rizika. Premennivá (tzv. „reziduálna“) časť diagramu vytvára pozíciu na organizovanom krátkodobom spotovom trhu. Tým sú však vyriešené obchodné záväzky v časovom rozpätí, ktoré predchádzajú okamihu dodávky aj o viac ako 24 hod.

Vďaka spomínaným neistotám dochádza k zmene pokrytia ODD, ktoré na strane obchodníka vyústia do vzniku odchýlky, ktorá je v súčasnej dobe riešená centrálnou aktiváciou regulačných služieb zo systému. Momentálny nedostatok prepravných kapacít a ďalšie obmedzujúce podmienky potom spôsobujú vysokú volatilitu cien pri vyrovnávaní odchýlok a v konečnom dôsledku môžu viesť k značnému trhovému riziku. Ak sa i naďalej budeme držať dôsledne existujúceho modelu, ktorý predpokladá riadenie a vyrovnávanie odchýlky z jedného centrálného miesta a rovnakú cenu pre všetky zúčastnené subjekty v danej elektrizačnej sústave, nebude možné využiť všetky synergie, ktoré nám ponúka koncept zahrňujúci tiež využitie SG.

AMM pritom ponúkne obchodníkovi informáciu o stave decentrálnych častí siete v reálnom čase, pričom obchodník naopak môže AMM poskytnúť informácie o okamžitej lokálnej cene elektrickej energie. Takáto cena – smart local price (SLP) potom dokáže byť regulačným kritériom pre riadenie spotreby konečných zákazníkov.

Pre stanovenie tejto ceny však bude nutné vytvoriť lokálny vyrovnávací trh s prítomnosťou viacerých obchodníkov takým spôsobom, aby došlo k stanoveniu spomínanej „smart local price“ a aby navyše nedošlo k rozporu so všeobecne prijímanou a presadzovanou doktrínou liberalizácie a trhového riadenia na platforme Third Party Access (TPA). Ceny by sa totiž mali podľa spomínanej platformy vytvárať za prítomnosti viacerých obchodníkov. AMM by v takom prípade dokonca umožnilo nielen spínanie spotreby podľa potrieb siete, ale tiež možnosť prepínať medzi rôznymi obchodníkmi pôsobiacimi na danom trhu.

Práve cena elektriny, respektíve metodika jej určovania, sa v súčasnosti javí ako osudová pre pokračovanie konceptu SG. Tá totiž bude určujúca pre budúcu ekonomickú efektívnosť celého konceptu z pohľadu koncových zákazníkov. Miera budúcich úspor zákazníkov by totiž mala prevýšiť súčasné výdavky za výskum, vývoj a inštaláciu – research, development & deployment (RD&D). V praxi bude fungovať jednoducho to, že na základe údajov o okamžitej výrobe elektriny z OZE, predikcie najbližšieho vývoja počasia, ceny elektriny z ovládateľných zdrojov a množstva spotrebičov zapnutých v danom okamihu a tiež za podmienok obmedzenia transportnej kapacity lokálnej siete dôjde k stanoveniu lokálnej ceny elektriny tak, aby adekvátne došlo buď k zvýšeniu alebo k zníženiu spotreby.

5.5.1.2 Preferencie obchodného riadenia

Veľmi málo riešeným aspektom je skutočnosť, že riadenie AMM čisto na základe potrieb siete nemusí predstavovať optimálne riadenie z pohľadu minimalizácie ceny elektriny, resp. nákladov konečného spotrebiteľa, čo môže byť hlavným dôvodom pre ignoráciu praktickej realizovateľnosti implementácie SG. Potrebu prenosových aj distribučných sústav je rovnovážna bilancia elektrickej energie umožňujúca ich bezporuchovú ovládateľnosť. Táto potreba výslednej rovnováhy ale nemusí korešpondovať s potrebami obchodníkov ani spotrebiteľov. Aby nedochádzalo k predurčeniu riadenia SG, logickým východiskom je, aby technické potreby prenosových a distribučných sietí stanovili len fiktívne mantinely pre následné trhové riadenie a v rámci takto stanovených mantinelov už môže bez ohrozenia stability siete prebiehať klasická, hoci lokálna trhovú optimalizácia. Snahou by však do budúcnosti malo byť splynutie záujmov obchodníkov a distribučných sústav tak, aby cena (či už lokálna alebo globálna) zodpovedala skutočnému stavu bilancie energie v sieťach. Toto by v budúcnosti mohla umožniť chrbticová akumulácia, ktorá by v prípade potreby sietí zabezpečila aspoň ich krátkodobé vyrovnávanie.

5.5.1.3 Lokálne ceny elektriny

Dôvodom rozpadu cien z globálnych (ktoré by platili v celej rozsiahlej oblasti, napríklad v celej Európe či v celej Českej republike) na lokálne budú práve okrajové podmienky obmedzení transportných kapacít sietí. Tie spôsobia, že sa ceny elektriny budú navzájom líšiť. Trhová časť ceny by bola určovaná na lokálnom vyrovnávacom trhu a okamžitou bilanciou výroby a spotreby v rámci lokálnej siete.

Dá sa predpokladať, že regulovaná časť ceny by aspoň spočiatku zostala rovnaká vplyvom zachovania rovnakého prístupu všetkých zákazníkov. Výroba zo susedných lokálnych sietí či chrbticovej siete by sa do oblasti dostala iba obmedzene. Podobné obmedzenia sa pritom už teraz prejavujú v globálnej miere aj v chrbticových sieťach, kde sa musia takéto situácie riešiť predovšetkým na hraničných profiloch pomocou rôznych systémov pridelovania kapacít.

Tieto aspekty musia byť preto implicitne obsiahnuté aj v konštrukcii budúcich smart taríf. Tie sa budú líšiť v jednotlivých lokálnych oblastiach predovšetkým okamžitou výškou ceny, pričom cenová mapa bude vždy zodpovedať okamžitému stavu siete. Úspešnosť predpokladania cien bude navyše do určitej miery daná úspešnosťou predpovede počasia v lokálnych oblastiach.

V prípade prebytku výroby z lokálnych neovládateľných zdrojov dôjde k poklesu lokálnej ceny elektriny. Takéto zníženie bude znamenať navýšenie lokálne ovládateľnej spotreby elektriny (zapojenie akumuláčnych zdrojov tepla i chladu, aktivácia umývačiek riadu, práčok a nabíjanie elektromobilov, poprípade dobíjateľných hybridných vozidiel, ktoré môžu slúžiť zároveň ako decentrálna akumulácia).

Zároveň môže dôjsť k transportu elektriny z lokálnej oblasti do ostatných oblastí prostredníctvom prietokov do chrbticovej siete.

Vyššie napísané by umožnilo vznik takzvanej nodality cien (ako bola popísaná v súvislosti s SLP) za predpokladu obmedzených prenosových kapacít. Ceny pre celé zákaznícke portfólio by sa teda veľmi silne líšili, a to nielen vplyvom výroby veľkých zdrojov, ale aj vplyvom odozvy lokálnej infraštruktúry zdrojov zapojených do jednotlivých lokálnych sietí. Tento dosah môže byť zmiernený predikciou výroby z decentrálnych zdrojov. Predikovatelnosť by sa dosiahla jednak vďaka presnému zmapovaniu portfólia spotrebiteľov a ďalej i presnou evidenciou všetkých decentrálnych zdrojov.

Lokálny charakter stanovovania cien elektriny zároveň spôsobí diverzifikáciu portfólia obchodníkov. Jednotlivé čiastkové portfólia budú potom riadené nezávisle od ostatných lokálnych portfólií. Ak v inej lokálnej oblasti napríklad vplyvom zvýšenej spotreby a nízkej výroby neovládateľných zdrojov dôjde k výraznému navýšeniu ceny, prebytočná oblasť s nízkou cenou nemusí byť schopná dodávať pod vplyvom obmedzenia do nedostatkovej oblasti elektrinu. Preto nedôjde k zjednoteniu cien a lokálne ceny sa zvýšia. Logicky potom dôjde k odpájaniu spotrebičov podľa nastavených cenových hladín spotrebiteľa.

5.5.1.4 Konkrétne inteligentné tarify a ich využitie v domácnostiach

Tarify spoločne so systémom AMM, ktorý bude schopný obojsmernej komunikácie s obchodným systémom a bude vedieť riadiť domáce spotrebiče, dokážu motivovať časové posúvanie spotreby niektorých spotrebičov podľa potrieb siete, respektíve obchodníkov. Takéto riadenie spotreby je možné pri tých spotrebičoch, ktorých užitočná prevádzka nezávisí od prítomnosti užívateľa. V drvivej väčšine môžeme tieto spotrebiče rozdeliť do dvoch skupín:

- A) Spotrebiče kumulujúce energiu s neskorším vyžitím. Ide o akumulčné vykurovanie, ohrievače vody, chladničky, mrazničky, klimatizácie, elektromobily, dobíjateľné hybridné vozidlá. Je pochopiteľné, že časová flexibilita činností týchto spotrebičov závisí od ich tepelnej nezávislosti voči okoliu. Túto nezávislosť prehlbuje predovšetkým veľmi dokonalá tepelná izolácia.
- B) Spotrebiče, ktorých chod nie je závislý od prítomnosti užívateľov. Do tejto skupiny patria práčky, umývačky, sušičky. Pre chod týchto spotrebičov je potrebná istá minimálna dĺžka cyklu spotreby. Z toho dôvodu závisí i od obchodných predikcií lokálnej ceny elektriny.

Na tomto mieste je potrebné si uvedomiť, že práve úspora platieb za elektrinu predstavuje najvýraznejší prínos implementácie AMM pre koncového zákazníka. Preto by to malo predstavovať aj hlavnú motiváciu pre zavádzanie SG. Vzhľadom na to, že najväčší prínos pre zákazníka bude vychádzať z časového posunu spotreby v odbernom mieste, bude logicky platiť, že miera prínosov pre zákazníka bude tým vyššia, čím väčší bude potenciál úspory – teda časová volatilita cien elektriny pre portfólio konečných zákazníkov.

Ďalej bude tiež platiť, že odberateľ bude mať možnosť nastaviť ceny, za akých bude chcieť spustiť ten či onen odber. Odberateľ bude preto motivovaný nastaviť veľké odbery na nižšiu cenu. V tomto prípade však nemusí dôjsť k realizácii takejto požiadavky z dôvodu nesplnenia kritéria zadanej cenovej úrovne.

Pre obchodníka bude mať takáto situácia nasledujúce dôsledky. Obchodníci budú motivovaní pre zavedenie systému, ktorý by pracoval so značne flexibilnou cenou pre konečných odberateľov. Takýto systém bude musieť komunikovať s inteligentným meraním v mieste spotreby, ktoré zároveň poskytne obchodnému systému informáciu o pripojených spotrebičoch prepnutých do režimu čakania na nižšiu cenovú úroveň, prípadne získa spätnú väzbu o dôsledku vývoja ceny. Táto spätná väzba bude pre obchodníka kľúčovou predovšetkým z pohľadu pádu do odchýlky, pretože poskytne informáciu o odozve jeho portfólia odberateľov na pokles konečnej ceny. Zdá sa byť preto prínosom, aby obchodný systém daného obchodníka umožnil flexibilne predvídať odozvu jeho obchodného portfólia.

6 INTELIGENTNÉ MERANIA

Bežné elektromery ako meracie zariadenia sa menia z jednoduchých technických prístrojov na multifunkčné technické zariadenia s vylepšenou komunikačnou a informačnou kapacitou. Inteligentné elektromery umožňujú automatickú a obojsmernú komunikáciu medzi odberateľom a energetickou spoločnosťou (dodávateľ energií, prevádzkovateľ distribučných sústav, obchodník s elektrinou, dátová centrála a pod.). Zatiaľ čo konvenčné elektromery zobrazujú iba množstvo spotrebovanej elektriny, inteligentné elektromery môžu priamo poslať dáta vopred určenému prijímateľovi. Informácia o spotrebe elektriny je tak k dispozícii v reálnom čase. V súčasnej dobe prevádzkovatelia prenosových sústav zavádzajú inteligentné elektromery za účelom zlepšiť monitoring sietí a položiť základy konceptu inteligentných sietí.

V tejto kapitole je spracovaná téma implementácie inteligentných elektromerov v inteligentných distribučných sieťach a mikrogridoch. Pojednáva tiež o požiadavkách na šírku použitého komunikačného pásma inteligentných elektromerov, latenčné bariéry v sieti inteligentných elektromerov a jej komunikačné pokrytie.

6.1 Inteligentný elektromer – benefity, požiadavky, konfigurácia a monitoring v konceptoch inteligentných elektrických sietí

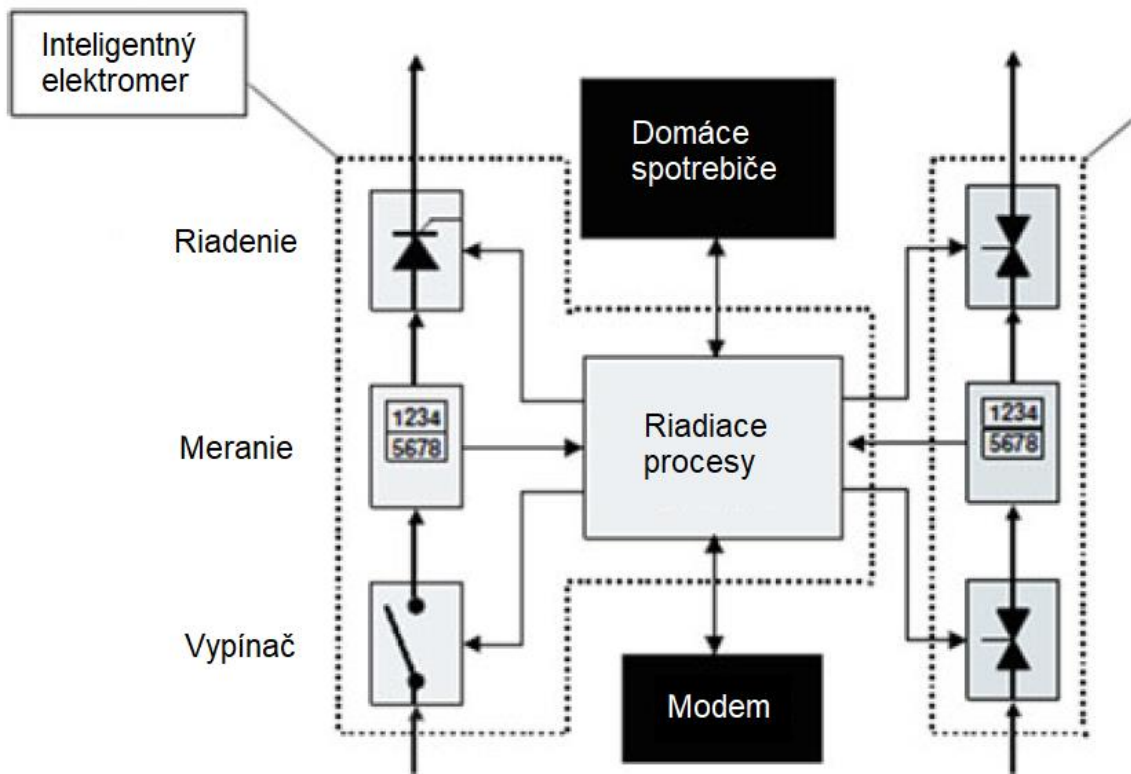
Inteligentné elektromery sú umiestnené na strane odberateľa a zabezpečujú komunikáciu medzi ním a dátovou centrálou. Inteligentný elektromer má nasledujúce schopnosti:

- poskytuje údaje o spotrebe elektriny v reálnom čase a rovnako aj o výrobe elektriny,
- poskytuje prístup k nameraným údajom diaľkovo aj na mieste (lokálne),
- poskytuje vzájomné prepojenie intranetových sietí (firemných sietí) a napríklad distribuovanej elektrárne.

Na meranie spotreby v moderných sústavách sa prakticky uvažuje už iba s inštaláciou inteligentného elektromera. Jeho inteligencia je daná rozšírenou funkcionalitou, ku ktorej napríklad patrí:

- štvorkvadrantové meranie spotreby a výroby elektriny v danom mieste,
- diaľkové vypnutie a zapnutie odberateľa,
- diaľkové riadenie maximálneho množstva odobranej elektriny.

Typická konfigurácia inteligentného elektromera je zobrazená na obrázku 41.



Obrázok 41 – Schematický diagram typickej konfigurácie inteligentného elektromera

Inteligentné elektromery patria k systémom, pri ktorých dochádza k obojsmernej výmene informácií. Takéto systémy následne otvárajú pre účastníkov trhu s elektrinou široké možnosti pre nasadzovanie nových alebo inovatívnych produktov. V energetických spoločnostiach prevláda záujem o využívanie informačno-komunikačných technológií (ang. ICT – „Information and communications technology“) v rámci inteligentného merania za účelom úspor energií a energetickej bezpečnosti. Funkcionality nových meracích systémov sú spájané do skupín pod jedným inteligentným meracím systémom.

Hlavným účelom inteligentného merania v distribučných sústavách je zlepšenie energetickej účinnosti a priamy monitoring spotreby a výroby. Inteligentné elektromery motivujú spotrebiteľov prispôbovať svoje energetické správanie vypínaním spotrebičov počas špičkového zaťaženia. Takýto model je dosiahnutý zvyšovaním energetickej gramotnosti spotrebiteľov, ale aj finančnou motiváciou. Energetická efektívnosť môže byť zlepšovaná práve riadením a prispôbovaním energetickeho správania sa spotreby. Dáta generované inteligentnými elektromermi otvárajú širší rozsah prevádzkových zlepšení, ktoré zahŕňajú monitoring a riadenie spotreby energií. Detailné informácie o správaní sa distribučnej sústavy sprehľadňujú prevádzku sústav a uľahčujú integráciu distribuovaných obnoviteľných zdrojov energie. Široký rozsah príležitostí pre úsporu energie je umožnený práve inštaláciou inteligentných meracích systémov.

Benefity inteligentných elektromerov

Inteligentné distribučné siete požadujú dodržiavať a zlepšovať energetickú bezpečnosť. Koncept výroby elektriny v domácnostiach a lokálnych entitách naštartoval rozvoj a nasadenie nových a obnoviteľných zdrojov energie zahrňujúc pokročilé spôsoby riadenia a monitorovania energie. Implementácia inteligentných elektromerov uľahčuje skokovú transformáciu v produkcii a spotrebe elektrickej energie. Inteligentný elektromer s pokročilými komunikačnými schopnosťami monitoruje využívanie energií a umožňuje spotrebiteľom sa na základe informácií rozhodnúť, v akom množstve a kedy spotrebovať energiu.

Požiadavky inteligentných elektromerov v inteligentných distribučných sieťach

Inteligentný elektromer poskytuje spotrebiteľom schopnosť používať elektrinu efektívnejšie a prevádzkovateľom distribučných sústav a mikrogridov vykonávať efektívnejšiu prevádzku ich sietí. Adaptácia inteligentného merania v inteligentných distribučných sieťach zlepšuje dodávku elektrickej energie v koncepte jej výroby, spotreby, prenosu a distribúcie. Tiež umožňuje presun výroby na stranu spotreby, teda bližšie elektricky aj geograficky k spotrebiteľom. Skrátene tejto vzdialenosti umožňuje spotrebiteľom byť aktívnymi účastníkmi v energeticky podmienenom rozhodovaní.

Význam inteligentného merania je dôležitý pri plánovaní rozvoja zdrojovej základne na celoštátnej úrovni, pretože umožňuje implementáciu distribuovanej výroby elektriny a teda následnú redukciu alebo elimináciu potreby stavať nové centrálné zdroje. Rovnako má vplyv aj na výstavbu vedení, pretože distribuovaná výroba a riadenie spotreby môžu spoločne redukovať amplitúdu prenosu špičkového zaťaženia cez prenosovú a distribučnú sústavu a tým znižovať potrebu výstavby nových sietí. Úroveň spotreby elektriny sa znižuje spolu s generovaním špičkového zaťaženia, ktoré sa presúva na iné hodiny. Inteligentné elektromery pôsobia ako inteligentné uzly v moderných elektrizačných sústavách a mikrogridoch. Inteligentné meranie umožňuje bezpečnú a spoľahlivú prevádzku tokov výkonov z prenosovej sústavy až na úroveň nízkeho napätia a naopak. Z pohľadu prevádzky inteligentné meranie umožňuje celkový manažment a riadenie distribučných sústav. Inteligentná distribučná sieť je viac spoľahlivá a redukuje náklady spotrebiteľov a spoločností pri obnovovaní jej prevádzky po výskyte nepredvídanej udalosti. Nasadenie inteligentného merania umožňuje riadenie komplexných a zložitých distribučných sietí.

Technická konfigurácia inteligentného elektromera

Rapidne zmeny v informačno-komunikačných technológiách dramaticky zmenili potenciál bežných meradiel a zaviedli koncept inteligentného elektromera ako protipól k tradičným, ručne a lokálne odčítavaným meradlám. Tento koncept predstavoval technologickú výzvu aj pre výrobcov analógových elektromerov a poskytovateľov komunikačných sietí.

Súčasnú distribučnú sieť prechádzajú transformáciou a v minulosti neboli dizajnované na súčasnú penetráciu obnoviteľných zdrojov energie. Inteligentný elektromer je základom konceptu inteligentnej domácnosti a koncových technológií. Budúce inteligentné distribučné siete budú automaticky zahŕňať inteligentné meranie pri rozvoji a plánovaní.

Nároky na funkcionálnosť postupne rástli tak, aby bolo možné monitorovať stav elektrických veličín a kvalitu elektriny v distribučných sieťach. Moderné elektromery môžu zaznamenávať až 50 údajov. Údaje sú zobrazené v tabuľke 11.

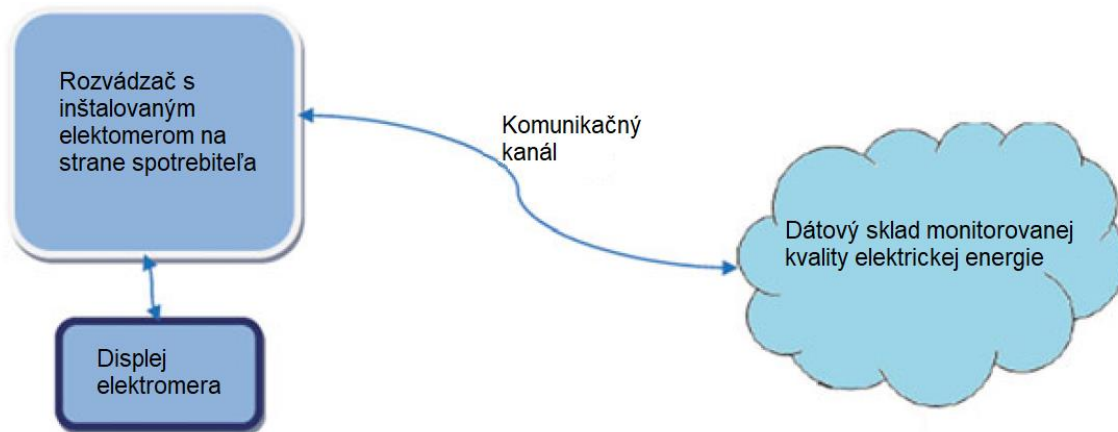
Tabuľka 11 – funkcionálnosť a parametre inteligentného elektromera

Funkcionálnosť	Parametre
Základné merané hodnoty	<ul style="list-style-type: none"> • napätie • prúd • činný výkon • jalový výkon • účinník • frekvencia
Prídavné merané hodnoty	<ul style="list-style-type: none"> • fázový uhol posunu • fázové uhly • napätové harmonické • prúdové harmonické • distorzný prúd • maximálne hodnoty za jednotku času • napätová asymetria
Detekcia/počítanie udalostí	<ul style="list-style-type: none"> • zdanlivá energia • činná energia

Funkcionalita	Parametre
	<ul style="list-style-type: none"> • jalová energia • odoberaný výkon v poslednej meranej perióde • meraná perióda • počítadlo počtu hodín prevádzky
Rozhrania	<ul style="list-style-type: none"> • ethernet • simultánne pripojenia • protokol • optická brána
Vstupy/výstupy	<ul style="list-style-type: none"> • digitálny vstup • digitálny výstup • prevádzkové napätie
Hodiny/kalendár	<ul style="list-style-type: none"> • reálny čas • funkcie kalendára • zimný/letný čas
Displej/prevádzka	<ul style="list-style-type: none"> • displej • indikácia • prevádzka • jazyk

Inteligentný elektromer v kontexte inteligentného merania

Inteligentný elektromer je obojsmerný informačno-komunikačný systém, ktorý je súčasne časťou väčšieho komunikačného ekosystému. Základné prvky sú uvedené na obrázku 42.



Obrázok 42 - Inteligentný elektromer v kontexte merania

Komunikačný systém obsahuje elektromer, komunikačný kanál a dátový sklad, kde sa ukladajú príslušné dáta. Komunikačný kanál zahŕňa široké spektrum možností prenosu dát, napríklad sieť mobilného operátora, rádiové frekvencie, optické vlákna a ich kombinácie. Dátový sklad musí efektívne a bezpečne ukladať namerané dáta zo všetkých komunikačne previazaných elektromerov v danom časovom úseku. Množstvo uložených údajov závisí na charaktere prenášaných dát. Súčasný inteligentné elektromery môžu zaznamenávať parametre meranej elektrickej energie v časovom rozlíšení od 1 minúty. Obvykle však zaznamenávajú hodnoty v 15 minútových intervaloch. Dáta z elektromerov sú najprv posielané do dátového skladu. Najoptimálnejšou možnosťou v reálnej praxi je, aby elektromer reportoval hodnoty meraných veličín v reálnom čase.

Dopad inteligentného elektromera na distribučnú sústavu

Napriek množstvu výhod a širokých možností aplikácie využitia inteligentných elektromerov, adaptácia tejto technológie čelí novým výzvam:

- *komunikačné siete a ich prenosové schopnosti*

Inteligentné elektromery ponúkajú viacero typov komunikačných rozhraní, komunikujú obojsmerne medzi odberným miestom (spotrebiteľom) a príslušnou inštitúciou, pričom poskytujú oveľa širší rozsah informácií než klasické elektromery. Za účelom uľahčenia tejto robustnej komunikácie sú potrebné širokopásmové komunikačné kanály na efektívny prenos dát v digitálnej forme.

- *štandardný komunikačný protokol*

Nedostatočná zhoda v štandardoch komunikačných protokolov pre inteligentné meranie spôsobila, že do praxe bolo nasadených veľké množstvo inteligentných elektromerov s rôznymi funkcionálnymi a komunikačnými modifikáciami. Rešpektovaním medzinárodných štandardov a protokolov je tento problém minimalizovaný. Toto je tiež podmienkou pre budúce vylepšenie inteligentného merania za účelom zavedenia do praxe monitoringu v reálnom čase. Tým sa súčasne zabezpečí hladká implementácie merania v distribučných sústavách v kontexte bezpečnosti, spoľahlivosti a kvality

6.2 Inteligentný elektromer v distribučných sieťach

Inteligentný elektromer je súčasťou modernizácie elektrických distribučných sústav a napĺňa rôzne ciele napríklad:

- automatizáciu distribučných sústav,
- integráciu a nasadzovanie obnoviteľných zdrojov,
- pokročilý monitoring a manažment.

Vytvorenie siete inteligentného merania zahŕňa integráciu rôznych elementov s informačnou infraštruktúrou pripojených do elektrickej siete za účelom poskytovania benefitov pre výrobcov a spotrebiteľov elektrickej energie. Jedná sa o základ budúceho inteligentného elektrického systému, ktorý požaduje obojsmernú komunikáciu a tiež inteligentný komunikačný systém.

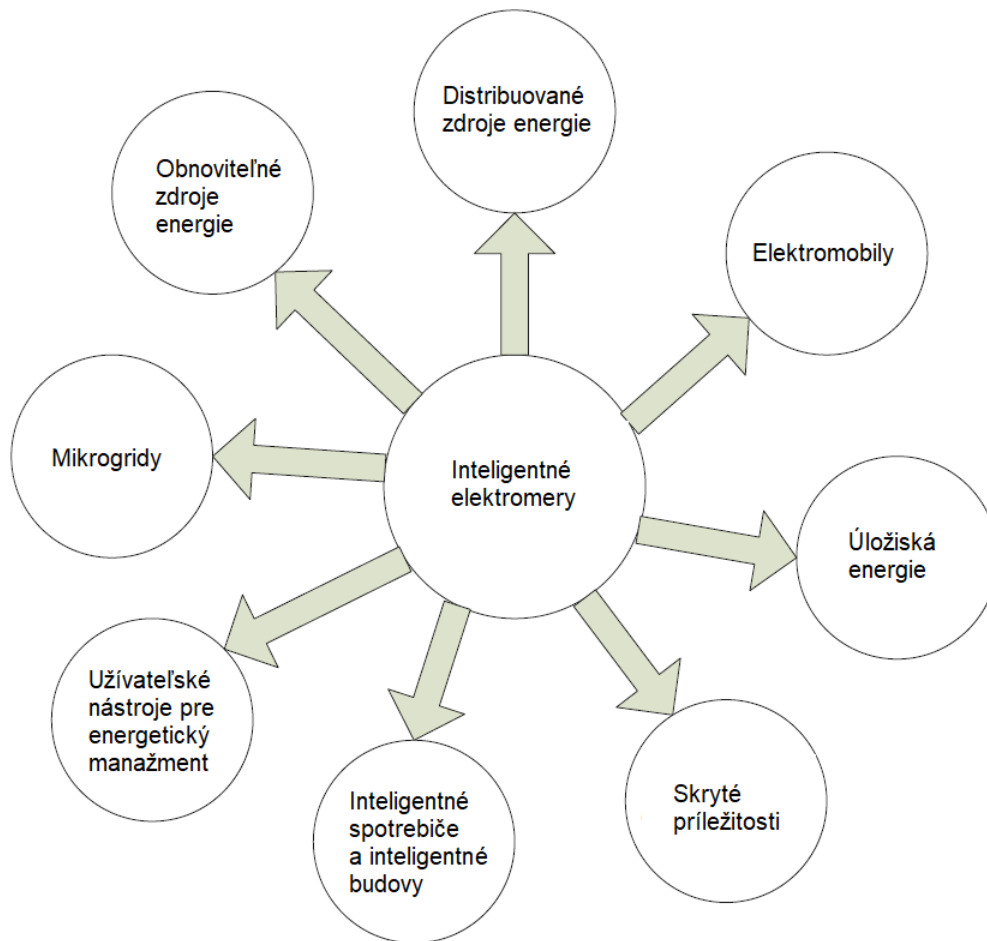
Technológie, zariadenia a komunikačné systémy v jednotlivých distribučných sústavách budú mať mierne odlišné charakteristiky a funkcionality v závislosti od charakteru siete, geografie, klimatických podmienok, vlastníckych vzťahov a obchodných parametrov.

Komponenty inteligentnej siete v distribučnej sústave

Sieť inteligentných elektromerov zahŕňa:

- integrovanú komunikačnú infraštruktúru, ktorá umožňuje komunikáciu a výmenu informácií takmer v reálnom čase,
- inteligentnejšie meracie prístroje zahrňujúce pokročilú meraciu infraštruktúru, ktorá zaznamenáva a poskytuje detailnú informáciu o spotrebe elektriny,
- senzorový a monitorovací systém, ktorý sleduje toky výkonov a prevedenie sieťových prvkov,
- automatické riadenie, ktoré deteguje udalosti v sieti a navrhuje opatrenia na obnovu napájania po výskyte udalostí,
- pokročilé spínacie a ovládacie prvky,
- systémy informačných technológií s integrovanými aplikáciami a dátovou analýzou.

Obrazok 43 popisuje nové príležitosti, ktoré umožňujú inteligentné distribučné siete. V koncepte je prítomný reťazec ďalších technológií a aplikácií, ktoré majú prepojenie na inteligentné meranie, ako je napríklad manažment riadenia energií alebo úložisko elektrickej energie.



Obrázok 43 - Komponenty a príležitosti v systéme inteligentných elektromerov

Charakteristiky inteligentných elektromerov v distribučných sústavách

Nasledujúce body poskytujú ďalšie atribúty charakteristík inteligentných distribučných sietí:

- aktívna participácia spotrebiteľov je umožnená obojsmernou komunikáciou,
- samoliečenie – vďaka inštalácii inteligentných prvkov (elektromery, ovládacie prvky, reclosery) je možné automaticky získať informácie o stave v elektrickej sieti a následne odpínať jej jednotlivé časti. Inteligentné prvky umožňujú procesy automatizovať a vyhľadať miesta poruchy, ktoré sú následne izolované od zvyšku sústavy,
- vytvára priestor pre možnosti výroby a uskladnenia energie na makro a mikro úrovni zavedením konceptu participačných sietí,
- optimalizácia prevádzky a redukovanie prevádzkových a údržbových nákladov,
- zvýšená flexibilita a schopnosť obnovy pri poruchách spôsobených poveternostnými podmienkami.

Z uvedeného vyplýva, že inteligentná sieť je dôležitou časťou reťazca, ktorý zabezpečí udržateľný rozvoj a bezpečnosť budúcich elektrických sietí.

6.3 Úloha komunikačných protokolov a štandardov v inteligentných distribučných sieťach

Komunikačný protokol alebo štandard je systém, ktorý rešpektuje pravidlá pre výmenu informácií medzi dvomi alebo viacerými bodmi (uzlami). Zavedené pravidlá potom uľahčujú komunikáciu medzi elektromerom a dátovou centrárou. Komunikačný systém používa vopred definovaný formát pre výmenu

príkazov, pričom každý príkaz má svoju vlastnú prioritu za účelom definície správnej odpovede alebo reakcie.

Architektúra monitoringu, riadenia a komunikácie inteligentných elektromerov v distribučných sieťach je založená na výraznom vývoji za posledných 30 rokov. Bolo zistené, že rýchlosť rozvoja a implementácia inteligentných sietí pre elektromery závisí na rovnakých protokoloch a štandardoch ako v iných oblastiach priemyselných a telekomunikačných odvetví:

- „end-to-end“ kyberbezpečnosť pre siete obsahujúce inteligentné elektromery: široká komunikačná infraštruktúra nasadená v rámci inteligentných sietí môže potenciálne zvýšiť počet útokov na kybernetickú bezpečnosť dodávok elektrickej energie, čo má za následok zvýšenú kybernetickú ochranu inteligentných sietí. Výber technológie kybernetickej ochrany bude závisieť na príslušnej legislatíve,
- normy vzájomného prepojenia a interoperability pre energetické pripojenie: s postupnou implementáciou konceptu inteligentných sietí sa predpokladá nárast výroby elektrickej energie pomocou mikrozdrojov. Tieto nové mikrozdroje budú patriť k obnoviteľným a nízkouhlíkovým zdrojom elektrickej energie. Súčasnú podmienku pripojenia nových zdrojov budú musieť byť prehodnotené a modifikované v rámci interoperability,
- štandardy dátovej komunikácie na aplikačnej úrovni: tieto štandardy musia byť zavedené do distribučných sietí a umožnia interoperabilitu a technologický pokrok pre uľahčenie reálnej aplikácie konceptu inteligentných sietí.

6.3.1 Komunikačné protokoly

Informatizácia je kľúčový faktor pre rozvoj a expanziu elektrizačných sústav na všetkých napäťových úrovniach a všetkých konceptoch ako sú inteligentné siete, mikrogridy alebo virtuálne elektrárne. Efektívna komunikácia s primeranou redundanciou je životne dôležitý faktor akejkoľvek siete, ktorá komunikačne prepája svoje prvky. Pre účinnú a efektívnu komunikáciu v elektrizačných sústavách sa používajú komunikačné protokoly TCP/IP a DNP3. Tieto protokoly sú kľúčom pre spoľahlivý prenos dát z rôznych prvkov do riadiaceho centra alebo dátovej centrály.

TCP/IP internetový protokol

TCP/IP poskytuje konektivitu medzi prvkami a príslušnými entitami pre široký rozsah sieťových technológií. Obsahuje definované komunikačné protokoly a štandardizovanú aplikačnú podporu. Komunikačné protokoly vznikli ako súčasť výskumných programov rezortu obrany Spojených štátov amerických od roku 1970. Pôvodne sa jednalo o komunikačný protokol určený pre armádne účely. Internetový protokol (IP) je sieťová vrstva, ktorá poskytuje funkčné smerovanie naprieč sieťovou architektúrou a infraštruktúrou. IP používa datagram na komunikáciu v paketovo spínanej sieti. Tiež používa datagramové služby pre prenosový riadiaci protokol (TCP) a užívateľský datagramový protokol (UDP). Tento protokol obsahuje štyri vrstvy:

Vrstva sieťového rozhrania: Táto vrstva je najnižšia úroveň TCP/IP systému. Je zodpovedná za prenos datagramov prostredníctvom fyzického média do finálnej destinácie.

Internetová vrstva: Táto vrstva je zodpovedná za poskytovanie komunikácie medzi dvomi hosťujúcimi entitami (účastníkmi). Paket je zapuzdrený do internetového diagramu, smerovací algoritmus je aktivovaný a datagram je poslaný prostredníctvom vrstvy sieťového rozhrania pre prenos do pripojenej siete.

Transportná vrstva: Táto vrstva je zodpovedná za poskytovanie komunikácie medzi aplikáciami osadenými v hosťovských entitách. Umiestnením identifikačnej informácie v datagrame umožňuje transportná vrstva komunikáciu medzi procesmi. V závislosti od potrieb môže transportná vrstva TCP/IP systému poskytovať buď spoľahlivú službu (TCP) alebo nespoľahlivú službu (UDP). V rámci spoľahlivej služby je príjem datagramu potvrdený cieľovou destináciou.

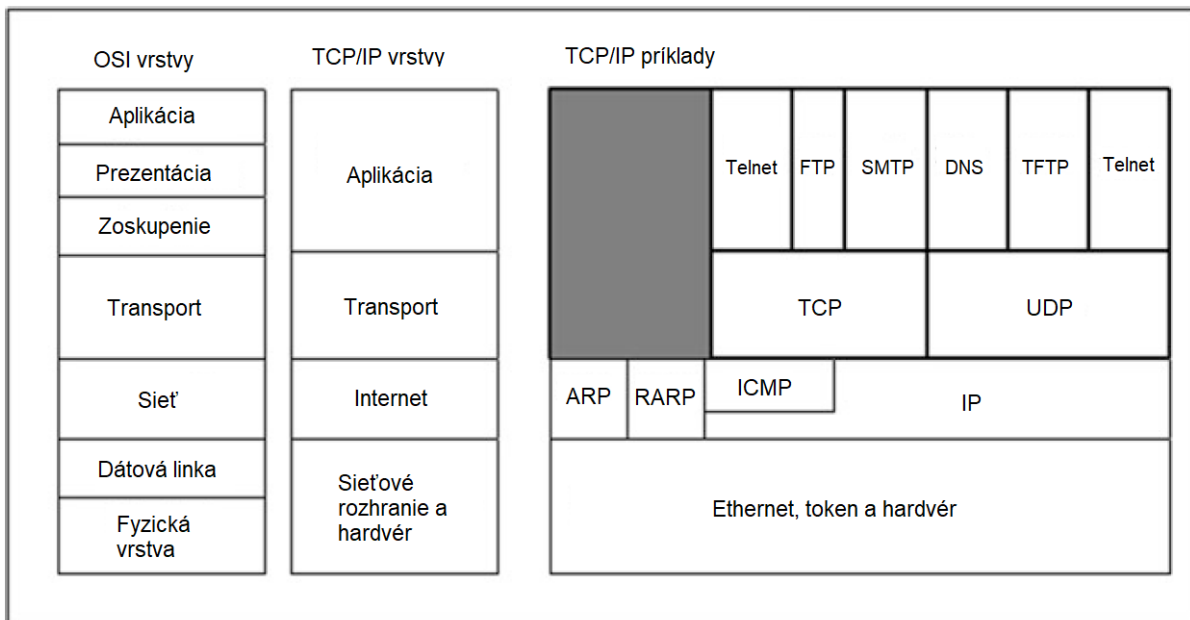
Aplikačná vrstva: Je hierarchicky najvyššie v modeli Internetu a zahŕňa niekoľko aplikácií ako sú Telnet, File Transfer Protocol a Simple Mail Transfer Protocol. Funkcionálne vrstvy TCP/IP a Open System Interconnection (OSI) sú uvedené na obrázku 44.

IP protokol formuje počítačovú sieť priradením IP adresy každému počítaču. Každý IP paket je nosičom IP adresy a obsahuje adresu destinácie a hostiteľskú adresu. Hostiteľská adresa je IP adresa počítača, ktorý odosiela informácie, a hostiteľská adresa je adresa, ktorá získava paket. Tento protokol má aj smerovacie zariadenie, ktoré smeruje údaje z jednej siete do druhej.

Hlavným problémom IP protokolu je, že sa nepokúša rozhodnúť, či pakety smerujú do správnej destinácie, či neschopnosť vykonať nápravu, ak sa tak nedeje. IP protokol preto nezaručuje správne doručenie informácie. V niektorých prípadoch je možné sa vyhnúť tomuto problému, ak sa využije transportný protokol, ktorý má potrebné funkcie. Okrem prenosu dát sa vyžaduje venovanie pozornosti a spoľahlivosti prenosu. Pre distribuované siete je najlepší spôsob prenosu v kombinácii IP a TCP.

Protokoly najvyššej úrovne v rámci zásobníka protokolov TCP/IP sú aplikačné protokoly. Komunikujú s aplikáciami na iných hostiteľoch a sú klientom viditeľným rozhraním pre sadu protokolov TCP/IP. Sada protokolov TCP/IP obsahuje aplikačné protokoly a to:

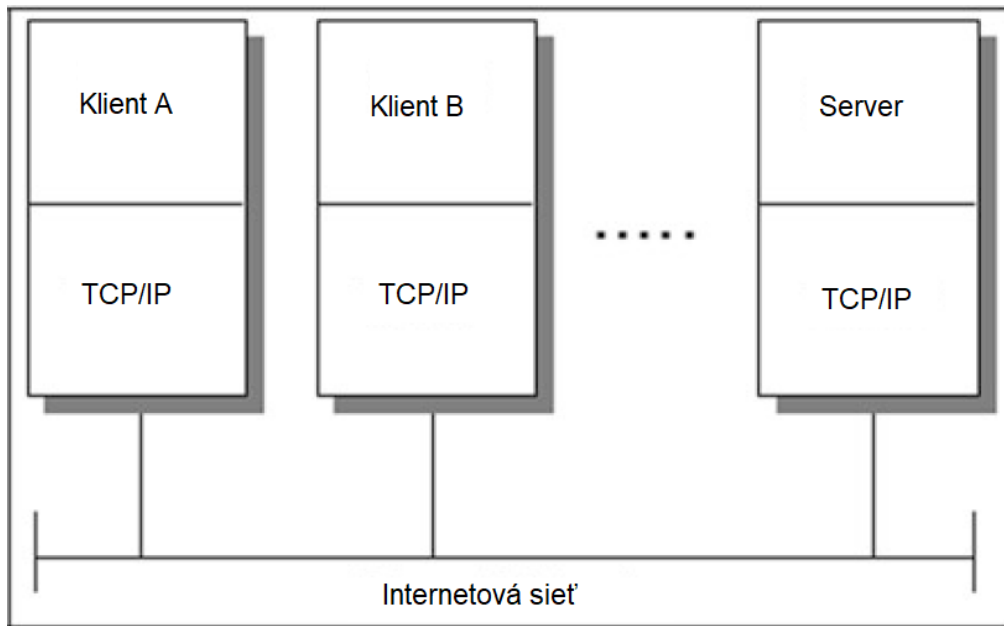
- File Transfer Protocol (FTP),
- Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) ako internetový mailový systém.



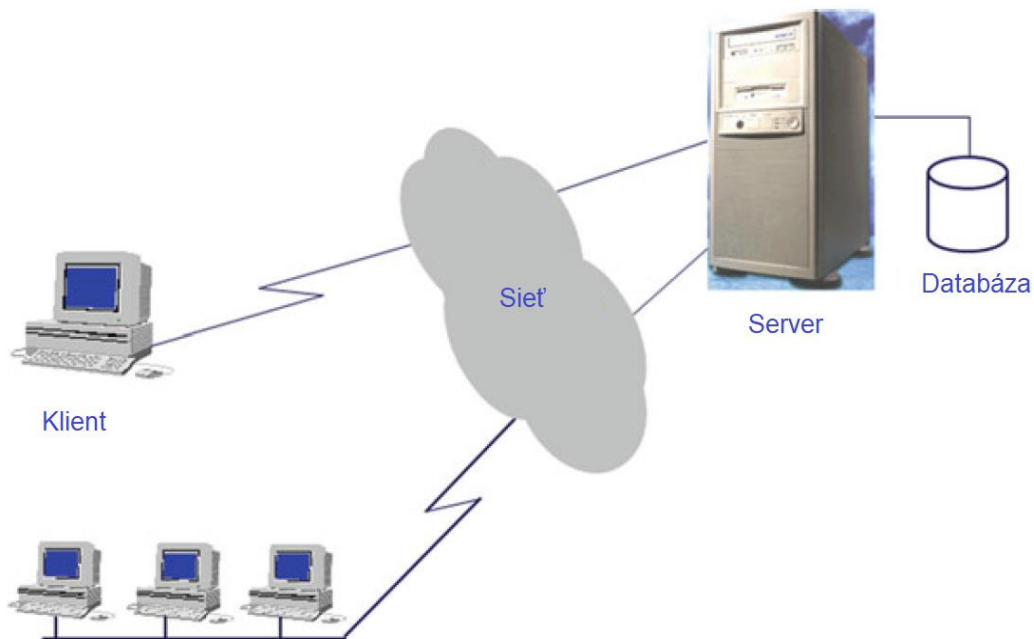
Obrázok 44 - TCP/IP protokoly a funkčné vrstvy

Jedná sa o najviac implementované informačné protokoly. Každá jedna TCP/IP implementácia bude obsahovať menší alebo väčší set aplikačných protokolov. Často je najjednoduchšie urobiť aplikáciu na vrchole TCP, pretože sa jedná o spoľahlivý systém s dobrým prepojením a dobrým ošetrením možného preťaženia. TCP je sieť so vzájomným prístupňovaním (ang. „peer-to-peer“). Aplikácie obvykle používajú klientsky/serverový model pre komunikáciu, ako je zobrazené na obrázku 45.

Server ponúka klientom služby podľa ich požiadaviek. Aplikácie obsahujú klientov aj server a tieto môžu bežať na rovnakých aj rozdielnych systémoch. Užívatelia obvykle tvoria klientskú časť aplikácie, ktorá vytvorí požiadavku na určitú službu a odošle ju na serverovú časť aplikácie pomocou protokolov TCP/IP. Proces je znázornený na obrázku 46.



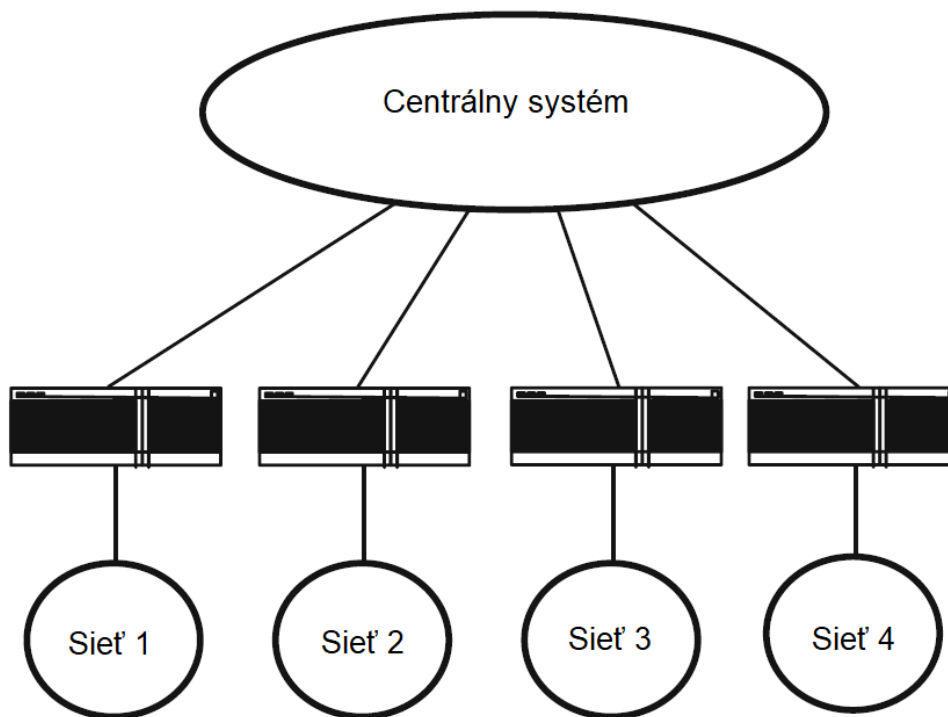
Obrázok 45 - Klientsky/serverový model pre aplikácie



Obrázok 46 - Sieťová architektúra klient/server

Server získava požiadavku, vykoná službu a posieľa späť výsledok vo forme odpovede. Server môže obsluhovať viacero požiadaviek alebo klientov súčasne.

Ak je požiadavka na komunikáciu dvoch účastníkov v dvoch rozdielnych sieťach, zdrojový účastník posieľa pakety do správneho routera (smerovača). Router potom smeruje každý paket cez systém routerov a sieť, pokiaľ nie je dosiahnutý správny koncový účastník. Architektúra smerovania je uvedená na obrázku 47.



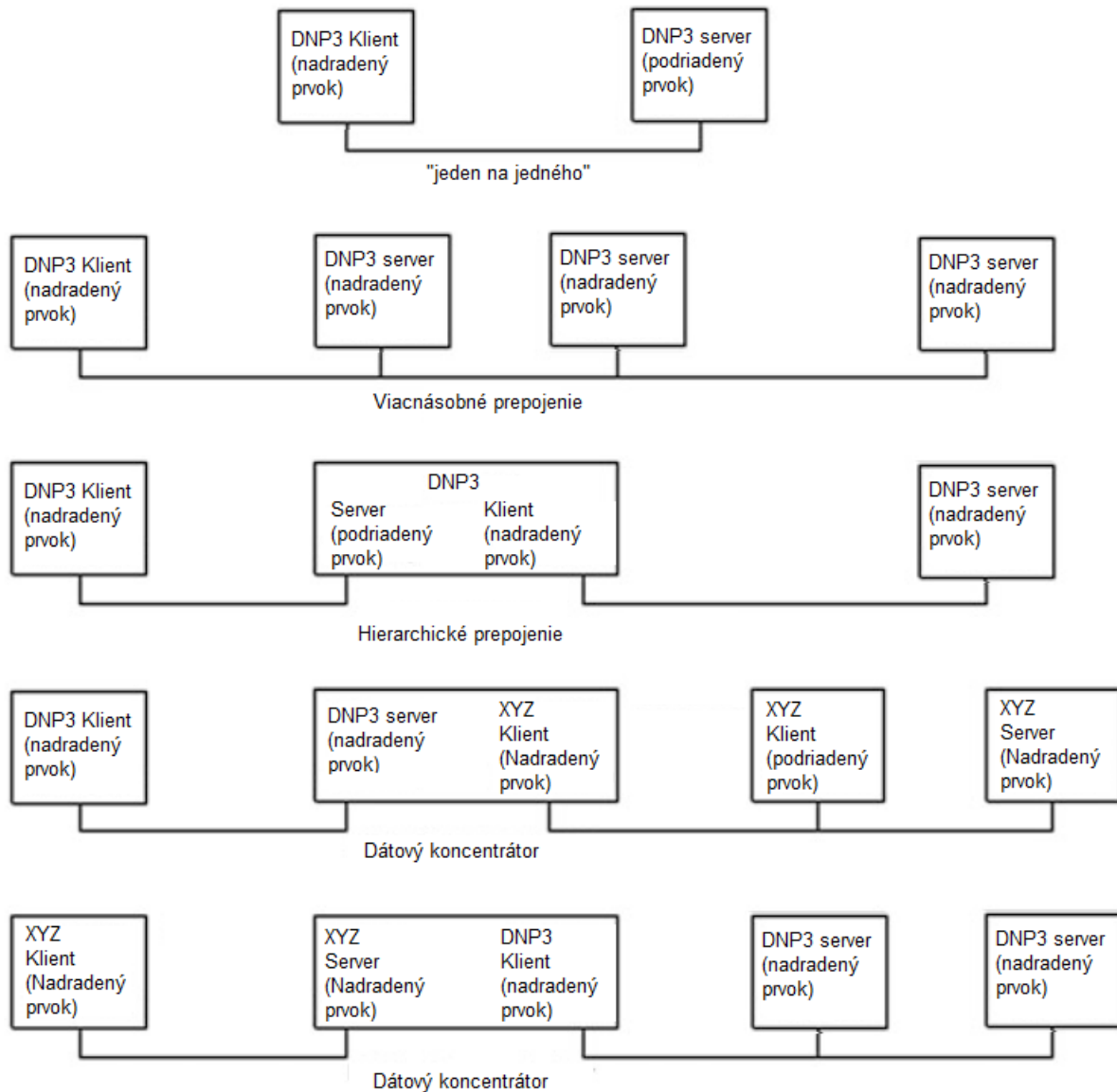
Obrázok 47 - Architektúra smerovania

Tento konečný smerovač preposiela paket na fyzickú adresu cieľového účastníka. Každá sieť funguje ako prepojenie medzi smerovačom a všetkými účastníkmi, ktorí sa v ňom nachádzajú.

Router (smerovač) vyzerá ako štandardný účastník pripojený do siete. Smerovače preposielajú pakety skôr na základe čísla cieľovej siete, ako na základe fyzickej adresy cieľového účastníka. Smerovač vyzerá ako typický hosťiteľ ktorejkoľvek z jeho pripojených sietí. Pretože smerovanie je založené na počte sietí, množstvo informácií, ktoré smerovač vyžaduje, je úmerné počtu sietí, ktoré tvoria internet.

Distribuovaný sieťový protokol (DNP3)

DNP3 protokol je tzv. SCADA protokol, ktorý umožňuje posilať informácie hierarchicky medzi prvkami, ako sú inteligentné elektromery, a nadradenými prvkami, ako je riadiace centrum alebo server. Inteligentný elektromer odpovedá na požiadavku nadradeného prvku, alebo môže aj sám posilať informácie vo forme dát. Uvedený koncept sa používa aj v iných oblastiach mimo elektrizačných sústav. Na obrázku 48 je uvedená príslušná architektúra.



Obrázok 48 - DNP3 architektúra

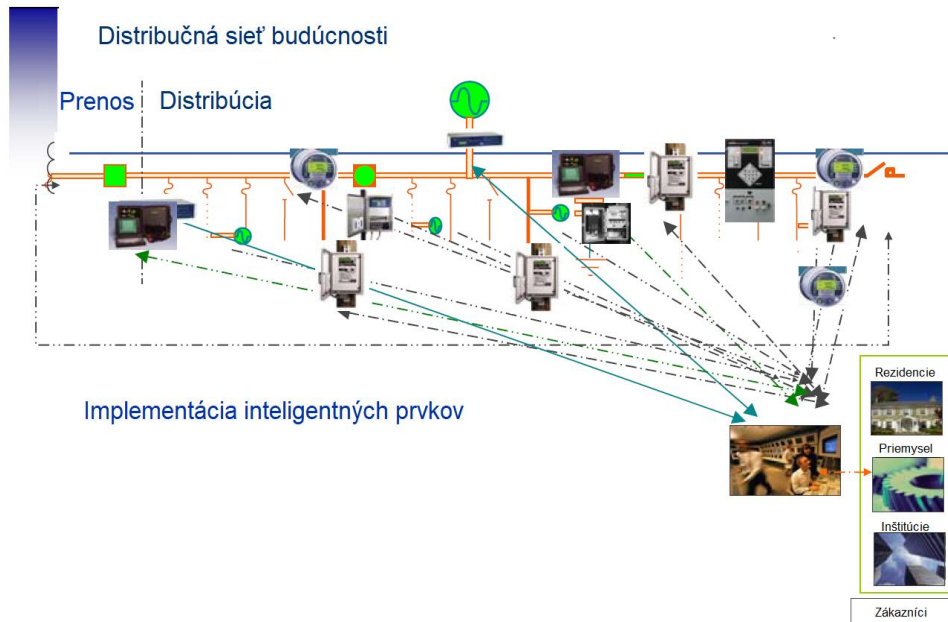
Na vrchu obrázku je uvedený jednoduchý systém „jeden na jedného“ obsahujúci jeden nadradený a jeden podriadený prvok. Druhý typ systému je známy konceptom viacnásobného prepojenia, kedy jeden nadradený prvok komunikuje s viacerými podriadenými prvkami. Nadradený prvok požaduje informácie od prvého podriadeného prvku, potom druhého a podobne. Stredná časť obrázku ilustruje hierarchický systém. Zvyšné dve vrstvy ilustrujú použitie dátových koncentrátorov. Zariadenie môže zhromažďovať údaje z viacerých serverov na pravej strane obrázku a ukladať ich do svojej databázy, kde môžu byť prístupné klientovi hlavnej stanice na ľavej strane obrázku. Tento dizajn sa často využíva v rozvodniach, kde dátový koncentrátor zhromažďuje informácie z lokálnych inteligentných zariadení na prenos do hlavnej stanice. V súčasnosti niektorí dodávatelia používajú na prenos správ DNP3 protokol TCP/IP. Tento prístup umožňuje DNP3 získať výhody internetovej technológie a umožniť aj ekonomicky efektívny zber a kontrolu dát medzi rôznymi zariadeniami.

Komunikačný štandard

Nárast možností pripojení na internet a rozvoj komunikačných sietí v kontexte nasadzovania „wide-area monitoring“ riešení uľahčuje nasadzovanie inteligentného merania v distribučných sústavách. Potenciálnou bariérou je hrozba súvisiaca s inštaláciou týchto nových technológií bez schválených štandardov. Práve zavedenie štandardov a noriem môže znížiť komplikácie a zvýšiť interoperabilitu. Interoperabilita vytvára priestor pre inštalovanie systému inteligentného merania a jej

dôležitosť už bola rozpoznaná v priemyselných aplikáciách. Rozvoj týchto štandardov je dynamický proces, ktorý bude musieť adaptovať nové typy spotrebičov a distribuovanej výroby elektriny.

Obrázok 49 zobrazuje integrovaný distribučný systém založený na štandardoch interoperability, akým je IEC 61850. Komunikačná infraštruktúra musí mať dostatočnú šírku pásma pre podporu tradičných distribučných sietí ako aj hromadné sťahovanie údajov o prevádzke a udalostiach v sieti. Nová infraštruktúra musí byť dostatočne robustná kvôli nárastu požiadaviek na šírku pásma bez degradácie existujúcich komunikačných liniek a protokolov.

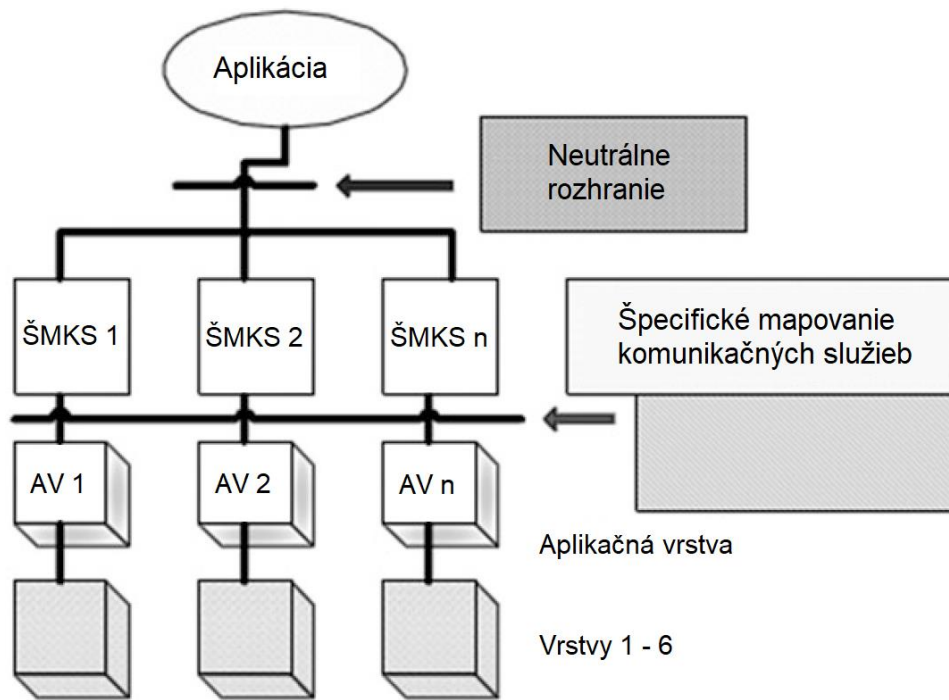


Obrázok 49 - Distribučná sieť so štandardmi interoperability

IEC 61850

Rozvoj IEC 61850 je založený na štandardných komunikačných protokoloch, ktoré umožňujú interoperabilitu rôznych zariadení od viacerých výrobcov. IEC 61850 využíva existujúce štandardy a praxou akceptované komunikačné princípy, ktoré dovoľujú výmenu informácií medzi inteligentnými elektronickými zariadeniami. To umožňuje, aby aplikácie boli dizajnované nezávisle na teórii komunikácie, čo im umožňuje komunikovať s použitím rôznych komunikačných protokolov. Preto poskytuje neutrálne rozhranie medzi aplikačnými objektmi a ich aplikačnými službami, ako je zobrazené na obrázku 50.

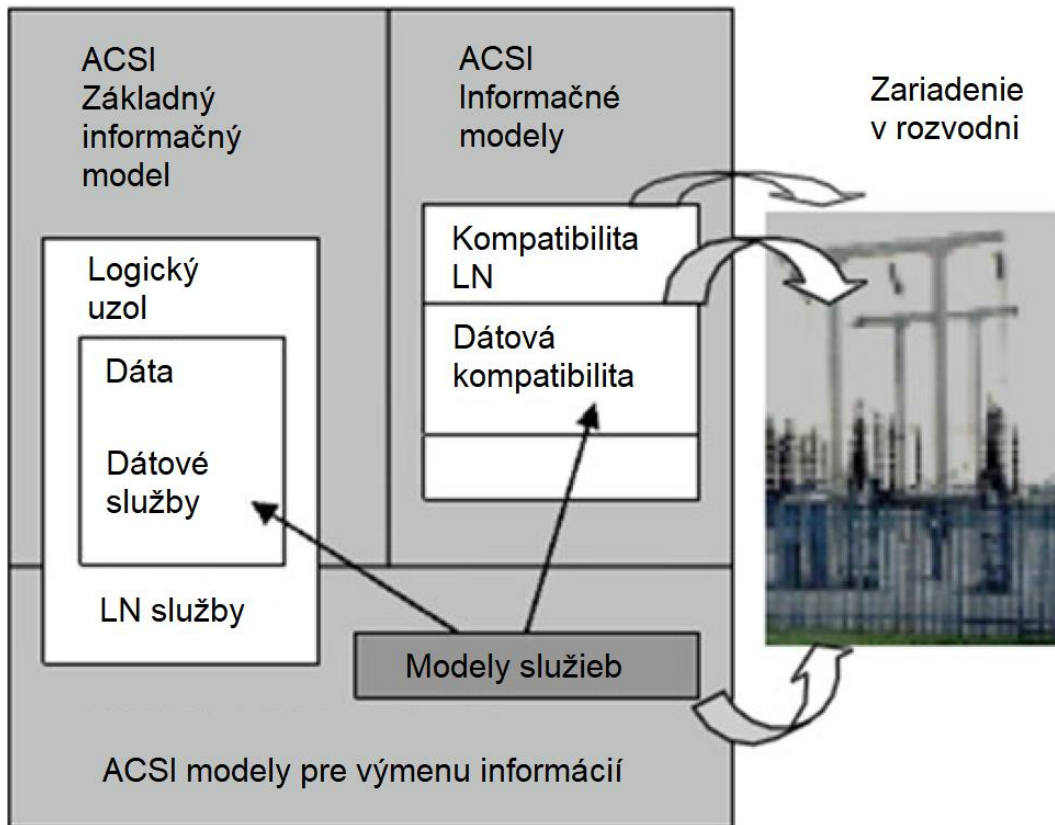
Jednou z najdôležitejších funkcií IEC 61850 je, že zahrňuje kvalitatívne vlastnosti inžinierskych nástrojov, manažment kvality a konfigurácie. To je dôležité, keď energetické spoločnosti plánujú vybudovať automatizované elektrické stanice s využitím inteligentných prvkov od rôznych výrobcov. Komunikácia a výmena dát medzi prvkami je potom bezproblémová.



Obrázok 50 - Referenčný model konceptu

ACSI koncept (ang. „Abstract communication service interface“), voľne preložené ako „abstraktné rozhranie komunikačnej služby“, patrí pod IEC 61850 a je to konceptuálna definícia bežnej komunikácie v prostredí utilít, ktorá popisuje najmä komunikáciu medzi klientom a vzdialeným serverom. Komunikácia môže prebiehať aj medzi aplikáciami inštalovanými v jednom zariadení a inými aplikáciami inštalovanými vo vzdialenom zariadení/serveri. V komunikácii medzi klientom a vzdialeným serverom môže byť implementované riadiace zariadenie, ktoré eviduje a reportuje rôzne udalosti a hlásenia. Cieľom je, aby sa všetky obslužné funkcie vykonávali konzistentne vo všetkých príslušných oblastiach. ACSI definuje a špecifikuje informačný model a služobný model výmeny informácií pre elektrické stanice. Koncept je zobrazený na obrázku 51.

Reprezentáciu fyzického objektu možno označiť ako model objektu. Napríklad merania napätia, prúdu, spotreby energie a účinníka možno ľahko zoskupiť a vytvoriť tak „model merania“. Po štandardizácii je potom možné odosielať informácie zo zariadení bez ohľadu na výrobcu zariadenia. Logický uzol je primárne zložením údajov a súboru údajov a niektorých ďalších služieb. Tieto údaje pozostávajú zo zloženia typu dátového atribútu (DAType), funkčných komponentov (FC) a podmienok spúšťania. Najmenšími entitami na výmenu informácií sú logické uzly, napríklad XCBR. Logické uzly sa potom používajú na zostavenie logických zariadení.



Obrázok 51 - ACSI konceptuálny model

Každá z tried tvoriacich logický uzol pozostáva z niekoľkých blokov. Aj keď ACSI umožňuje samostatným zariadeniam zdieľať údaje a služby, ide iba o protokol abstraktnej aplikačnej vrstvy bez reálnej procedúry odosielania a prijímania dát. Môže byť prevádzkyschopný, iba ak je premietnutý do určitej komunikačnej služby, ako je protokol MMS (Manufacturing Message Specification), model DCOM (Distributed Component Object Model) alebo CORBA (Common Object Request Broker Architecture). Nová komunikačná infraštruktúra (založená na štandardoch interoperability IEC 61850) musí mať dostatočnú šírku pásma na podporu konvenčnej distribučnej siete, ako aj hromadné sťahovanie údajov na podporu pokročilých analýz priebehov a udalostí. Nová infraštruktúra musí byť dostatočne robustná, aby podporovala zvýšené požiadavky na šírku pásma podľa normy IEC 61850 bez toho, aby sa narušila existujúca komunikácia s automatizovanou distribučnou sieťou. Integrácia komplexného inteligentného merania do distribučných sietí predstavuje nové výzvy, pretože na dátovú komunikáciu medzi inteligentným meracím prístrojom a centrálnou stanicou je potrebná dostatočná šírka pásma. Pre distribučnú sieť je nevyhnutné zväziť oneskorenie reakcie a latenciu šírenia.

6.4 Požiadavky na šírku pásma pre distribučnú sieť s inteligentnými elektromermi

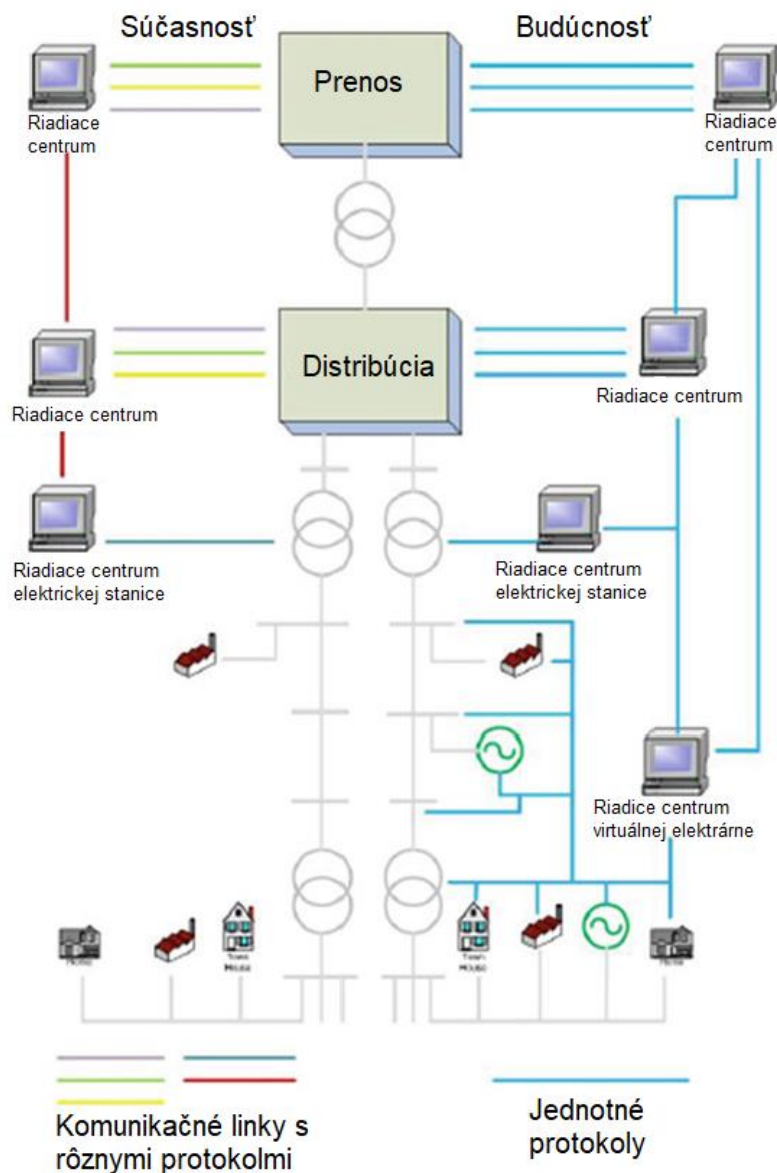
V súčasnej digitálnej dobe poskytujú inteligentné elektronické zariadenia široký rozsah dát a šírka prenášaného pásma preto nemôže byť limitujúci faktor. Širokopásmová sieť je potrebná pre komplexný systémový monitoring a implementáciu aplikácií, ako je napríklad automatizované riadenie, riadenie spotreby alebo monitoring kvality elektrickej energie.

Sieť inteligentných elektromerov potrebuje inteligentnú komunikačnú infraštruktúru vytvárajúcu podmienky pre rýchly a bezpečný tok informácií, čím vzniká základ v distribučných sústavách pre rozvoj digitálnej ekonomiky. Musí tiež ponúkať robustnú, spoľahlivú a bezpečnú komunikáciu pretože inteligentná elektronika a inteligentné elektromery môžu zohrať dôležitú úlohu pri odhade stavu elektrizačnej sústavy. Prenosová rýchlosť komunikačných kanálov v posledných desiatkach rokov narástla exponenciálne, pričom súčasné digitálne ochrany využívajú prenosovú rýchlosť 100 Mbps.

Zmenili sa aj komunikačné protokoly, ktoré migrovali z registrovo založených riešení na textové. Upustilo sa tiež od fyzických rozhraní typu RS-232, ktoré sú nahradené optickými vláknami. Interoperabilita sa stala realitou a súčasné zariadenia sú interaktívne a programovateľné. Podstatnou časťou sa stal zber dát a ich on-line analýza.

6.5 Komunikačné pokrytie distribučnej siete s inteligentnými elektromermi

Manažment funkcií pokročilého merania si bude vyžadovať použitie pokročilej komunikačnej siete, ktorá môže poskytovať dostatočnú úroveň výkonu so zreteľom na šírku pásma a latenciu. Obrázok 52 poskytuje rozšírenie komunikačnej a riadiacej infraštruktúry, ktorá v súčasnosti zahŕňa existujúci distribučný systém. Rozšírenie komunikačného pokrytia na distribučnú sieť môže otvoriť priestor pre ďalšie možnosti automatizácie distribučnej sústavy.



Obrázok 52 - Zavedenie inteligentne komunikačného pokrytia na distribučnú úroveň

7 MODELOVANIE SIETE

7.1 Možnosti modelovania vonkajších vplyvov, resp. podmienky, za akých vonkajšie vplyvy namodelovať

Základnou podmienkou prevádzky ES je spoľahlivá, kvalitná a hospodárna dodávka elektriny spotrebiteľom. Z toho dôvodu je snaha vyvarovať sa všetkým poruchám, výpadkom a generovaniu zvýšených elektrických strát. Za týmto účelom je nutné sledovať a merať elektrické veličiny, ako napr. priebehy prúdov a napätí, prepätia, úbytky napätí, asymetriu napätí vo fázach, vyššie harmonické, zmenu a kolísanie frekvencie napätia a ďalšie. 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.

Vývoj nových ochranných techník vhodných na detekciu porúch v elektrizačných sústavách nevyhnutne vyžaduje presnú simuláciu prechodných dejov týkajúcich sa týchto porúch. 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.

Prebiehajúce zmeny v elektrizačnej sústave, 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.

Problematika narastajúceho počtu mimoriadnych udalostí je v súčasnosti taktiež veľmi aktuálna napr. z dôvodu modernizácie priemyselnej výroby. Dopady týchto mimoriadnych udalostí môžu byť fatálne. Z toho dôvodu je nevyhnutná prevencia a pripravenosť aj v tejto oblasti. Je veľmi dôležité vedieť správne identifikovať riziko a následne predvídať jeho následky.

Elektrizačnú sústavu radíme do kategórie rozľahlých systémov kybernetického typu, lebo:

- a) prepojením jednotlivých článkov nadobúda ES nové vlastnosti, ktoré jednotlivé články samy osebe nemali,
- b) ES zahŕňa veľké množstvo prepojených častí prevádzkovaných na rozľahlom území,
- c) pre ES je typické množstvo spätných väzieb s prenosom a spracovaním.

ES teda predstavuje zložitý fyzikálny systém, v ktorom neustále prebiehajú prechodné deje zabezpečujúce rovnováhu medzi spotrebou a výrobou. Prevádzka ES si preto vyžaduje dôsledný monitoring a riadenie.

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. Pri návrhu vybraných prvkov ES výrobcovia týchto prvkov používajú oveľa detailnejšie ich modely v porovnaní napr. s tým, ak prevádzkovateľ ES v modeloch sleduje odozvy v sústave na zmeny zaťaženia a pod.

Keď je porušená symetria sústavy, prúdy v obvodoch a napätia medzi fázami sa dostávajú do nevyváženého stavu. Popis týchto dejov sa stáva zložitým a neprehľadným. Z toho dôvodu sa využíva pri výpočte rozloženie nesúmerného deja do niekoľko jednoduchších dejov, ktoré podľa princípu superpozície môžeme opäť spojiť do celkového deja.

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 algebraických 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. U zdrojov sa parametre modelu získavajú na základe identifikácie dát z ich rizikovej skúšky. Úlohou identifikácie je zistiť numerickú hodnotu pre parametre takéhoto modelu. Potrebné dáta sa získavajú od výrobcov resp. od prevádzkovateľov sledovaných prvkov ES. Väčšinou sú získané dáta neúplné, týka sa to hlavne generátorových jednotiek, ich budiacich systémov atď., ktoré majú veľký vplyv na prechodné procesy v ES. Preto sa chýbajúce údaje často dopĺňajú dátami získanými meraním počas prevádzky stroja. Existuje viacero metodík ako získať potrebné parametre pre vytvorenie vhodného dynamického modelu výrobných jednotiek, ktorý bude možné považovať za overený. Aj dáta pre ostatné prvky modelov ES sú získavané zo štítkových údajov od výrobcu a následne upresňované dátami získanými ich meraním počas prevádzky prevádzkovateľmi ES. V prípade zložitého priameho merania, hlavne dynamických parametrov vybraných prvkov sústavy, sa parametre stanovujú nepriamo, a to výpočtom.

Na verifikovanie predpokladaného správania sa rôznych elektrických prvkov a začlenených komponentov sa používajú simulácie. Simulácie tiež slúžia aj na testovanie efektívnosti a optimalizáciu riadiacich a kontrolných stratégií. Analýza výsledkov simulácií tiež pomáha odhaliť kritické oblasti už pri návrhu siete alebo jej predpokladanej prevádzke.

Simulácia obecné 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.

Simulačné modely elektrizačných sústav sú uznávaným nástrojom na analýzu ES jednak v ustálených stavoch, ale najmä v prechodných režimoch. Dôvodom je hlavne zložitost' a veľkosť takýchto systémov.

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.

Rozvoj inteligentných sietí v energetike, hlavne vďaka technickému pokroku v rámci telekomunikačných technológií a zariadení, napomáha budovať moderné databázové simulačné prostredia.

7.2 Počítačové simulácie vonkajších faktorov vplývajúcich na stabilitu elektrizačnej sústavy

Stabilita elektrizačnej sústavy predstavuje schopnosť sústavy odolať zmenám v sieti (napr. zmeny napätia, záťaže, frekvencie) a vydržať prechod do normálnych alebo aspoň prijateľných prevádzkových podmienok. V absolútne ustálených podmienkach všetky generátory pracujú synchronne. V prípade zmeny alebo veľkej poruchy sa môžu niektoré stroje začať voči sebe kývať. Tento fenomén nestability môže viesť ku strate synchronizmu elektrizačnej sústavy a následne môže spôsobiť odopnutie generátorov od sústavy, čo ohrozuje dodávku elektrickej energie odberateľom. Preto prevádzkovatelia prenosovej sústavy vykonávajú počítačové simulácie s cieľom zistiť, či problém nestability neohrozuje bezpečnú prevádzku sústavy. Sami určujú frekvenciu implementácie týchto simulácií.

V skutočnosti nie je ľahké identifikovať všetky faktory, ktoré ovplyvňujú spoľahlivosť prenosovej sústavy a vyčíslíť typické interakcie medzi nimi.

Na stabilitu siete vplývajú dve hlavné skupiny faktorov. Sú to:

- topologické danosti elektrizačnej sústavy a v jej rámci najmä prenosovej sústavy,
- pripravenosť PPS na predchádzanie problémom s nestabilitou.

Rozhodujúca topologická danosť siete znamená plnenie kritéria N-1. Kritérium N-1 je pravidlo, podľa ktorého po výpadku jedného prvku ES (vedenie, transformátor, blok a pod.) sú prvky ES, ktoré ostali v prevádzke, schopné prijať zmenu tokov v sústave spôsobenú týmto výpadkom. Na stabilitu vplyva aj rozloženie zdrojov elektriny a odborných miest priamo pripojených na prenosovú sieť, ako aj transformačných uzlov pripájajúcich distribučné sústavy. Vplyv na stabilitu má aj dostatočná kapacita cezhraničných prepojení vzhľadom na očakávané fyzikálne toky elektriny spôsobené importom alebo tranzitom.

Výpočty ustáleného chodu sústavy udávajú rozloženie činných a jalových výkonov a napäťové pomery na všetkých modelovaných prvkoch sústavy a sú používané ako jeden zo vstupov do rozhodovacieho procesu prípravy prevádzky sústavy o realizovateľnosti plánovaného režimu. Vo všetkých etapách prípravy prevádzky sa hľadajú optimálne riešenia prevádzky a vytvára sa potrebný priestor pre údržbu, inováciu a výstavbu energetických diel.

V rámci Ročnej prípravy prevádzky PS sú v rámci počítačových simulácií analyzované:

- základný režim špičky zimného maxima zaťaženia ES SR,
- režim letného minima zaťaženia ES SR,
- bilancie výkonov na jednotlivých transformátoroch 400/110 kV a 220/110 kV,
- nasadenie zariadení na výrobu elektriny s ohľadom na plán opráv zariadenia na výrobu elektriny,
- plán vypínania a uvoľňovania zariadení prenosovej sústavy z prevádzky,
- vývozy, dovozy a tranzity výkonu cez PS z hľadiska prenosových profilov,
- režimy prevádzky prenosovej sústavy, ktoré vyvolávajú obmedzenia vo výrobnej alebo spotrebnej oblasti ES alebo obmedzujú vývozy, dovozy alebo tranzity výkonu pri dodržiavaní bezpečnostného kritéria N-1,
- termíny predpokladaného uvedenia do prevádzky nových vedení, transformátorov a zariadení na výrobu elektriny,
- výpočty skratových pomerov so skladbou zariadení na výrobu elektriny zodpovedajúcou ich nasadeniu v deň zimného maxima a letného minima pri základnom zapojení prvkov prenosovej sústavy,
- režimy prevádzky ES SR vyžadujúce prevádzku zariadení na výrobu elektriny.

V základnom zapojení pracuje sústava s rezervou na výpadok jedného prenosového prvku (kritérium N-1) len približne 1/8 časového fondu roka. Vo zvyšnom čase sa vykonávajú údržbové práce, pričom dochádza k zníženiu spoľahlivosti prenosu elektriny. Aj počas údržbových prác musí byť splnené kritérium N-1 v prenosovej sústave. Počítačové simulácie zohľadňujú aj zmenu konfigurácie sústavy vplyvom preventívnej údržby zariadení. Pre stratu prvku sa systém má vyrovnáť aj s dynamickým reťazcom porúch. Niektoré z týchto reťazcov môžu mať pre ES katastrofické následky. Dynamické simulácie umožňujú identifikovať následky aj takéhoto typu porúch.

Regulácia elektrizačnej sústavy je bezpochyby jednou z najzásadnejších úloh spojených s jej prevádzkovaním. Rieši problematiku okamžitých prevádzkových stavov s cieľom realizovať zámery stanovené prípravou prevádzky pri súčasnom riešení vplyvu nepredvídaných udalostí. Negatívne vplyvy možno čiastočne eliminovať napr. redistribúciou zdrojov na vymedzenom území. Ak sústava disponuje prebytkom výkonov, možno zainteresovať prevádzkovateľov, alebo prijať regulačné opatrenie voči nim, aby dodávali elektrinu z geograficky vymedzených zdrojov. PPS má spracovaný plán obrany proti šíreniu porúch, ktorý zahŕňa aj plán frekvenčného odľahčovania. Riešením dejov elektrickej siete vo vhodnom počítačovom modelovacom nástroji je možné stanoviť preventívne opatrenia proti narušeniu stability.

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 maximálne dostupných objemov podporných služieb,
- pri uvažovaní existujúcich zdrojov elektriny,

- pri súčasných aspektoch riadenia prevádzky ES,
- pri finančnej podpore rozvoja OZE.

Počítačová simulácia všetkých rozhodujúcich iniciačných udalosti 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.

Veľmi dôležitým faktorom, s ktorým počítačové simulácie musia uvažovať a ktorý má podstatný vplyv pri predchádzaní problémov s nestabilitou siete, je schopnosť personálu včas riešiť tieto problémy. To znamená, že je to vplyv ľudského činiteľa (dispečera) na priebeh prechodného javu pri iniciačných udalostiach s dostatočným časom na zásah napr. pri poklese alebo zvýšení frekvencie, pri ovplyvnení doby trvania skratov na vedeniach, skratov na vedeniach v blízkosti generátorov, pri neselektívnom vypínaní ochrán a pod.

Vývoj nových ochranných techník vhodných na detekciu porúch v elektrizačných sústavách nevyhnutne vyžaduje presnú simuláciu prechodných dejov týkajúcich sa týchto porúch. Týmto systémami sú predovšetkým ochrany a nadväzujúce spínacie prístroje. Toto usporiadanie dokáže ohrozený prístroj alebo vedenie vypnúť. Mechanizmy pôsobenia ochrán sa stále vyvíjajú, no problémom zostáva, či dokážu zachytiť všetky stavy smerujúce k poškodeniu zariadenia či ohrozeniu stability sústavy, ale aj či nebudú spôsobovať zbytočné vypínanie. Niektoré ochrany majú lokátor porúch, štandardne bývajú vybavené záznamom veličín pred vypnutím. U PPS sa presadzujú bezobslužné elektrické stanice, čo kladie nároky na rýchle odstraňovanie porúch. Na predchádzanie porúch možno okrem ochrán využiť technické dáta z prevádzky prístrojov v elektrických staniách a dáta o parametroch okolia. Škody v elektrizačnej sústave v prípade, že sa porucha deteguje neskoro, alebo sa zariadenie nepodarí včas vypnúť, bývajú veľké. Ide najmä o deštruktívne účinky skratov.

7.3 Rozsah simulačných modelov elektrizačnej sústavy uvádzaných v sieťových predpisoch

Sieťové predpisy predstavujú balík nariadení Európskej komisie, ktorých cieľom má byť dosiahnutie jednotného európskeho vnútorného trhu s energiami a bezpečného a konkurencie schopného európskeho energetického sektora. Tieto nariadenia boli komplexne analyzované PPS a následne uvedené do praxe. Zámerom podkapitoly nie je vymenovať všetky sieťové predpisy alebo usmernenia v rámci celého balíka nariadení Európskej komisie, ale poukázať na miesto simulačných modelov pri dosiahnutí vyššie uvedeného ich cieľa.

Zo skupiny pre tematickú oblasť „pripojenie do ES“ bolo preanalyzované Nariadenie Európskej komisie 2016/1388, účinné od 7. 9. 2016, kde je stanovený rozsah simulačných modelov v súvislosti s pripojením odberných zariadení a distribučných sústav do elektrizačnej sústavy. Týmto nariadením sa stanovuje sieťový predpis pre pripojenie odberateľov do elektrizačnej sústavy s cieľom stanoviť harmonizované pravidlá o pripojení odberných zariadení a distribučných sústav do elektrizačnej sústavy, aby zabezpečili jasný právny rámec pre pripojenia do sústavy, uľahčili obchod s elektrinou na úrovni Únie, zaistili bezpečnosť sústavy, uľahčili začlenenie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie, zintenzívnili hospodársku súťaž a umožnili účinnejšie využívanie sústavy a zdrojov v prospech spotrebiteľov.

V nariadení sa uvádza, že bezpečnosť sústavy nemožno zaručiť nezávisle od technických schopností všetkých používateľov. Z historického hľadiska predstavujú výrobné zariadenia základný kameň zabezpečovania technických schopností. V tejto súvislosti sa však očakáva, že v budúcnosti

budú významnejšiu úlohu zohrávať odberné zariadenia. Základnými predpokladmi bezpečnosti sústavy sú pravidelná koordinácia na úrovni prenosových a distribučných sústav, primeraná výkonnosť vybavenia pripojeného do prenosových a distribučných sústav, ktoré sú dostatočne spoľahlivé, aby zvládli narušenia, zabránili výraznému rozvratu, alebo aby uľahčili obnovu sústavy po jej rozpade.

Vlastník odberného zariadenia pripojeného do prenosovej sústavy alebo prevádzkovateľ distribučnej sústavy pripojenej do prenosovej sústavy poskytnú správu s výsledkami simulácií pre každé jednotlivé odberné zariadenie pripojené do prenosovej sústavy alebo distribučné zariadenie pripojené do prenosovej sústavy. Vlastník odberného zariadenia pripojeného do prenosovej sústavy alebo prevádzkovateľ distribučnej sústavy pripojenej do prenosovej sústavy vypracuje a poskytne potvrdený simulačný model pre dané odberné zariadenie pripojené do prenosovej sústavy alebo distribučné zariadenie pripojené do prenosovej sústavy.

Rozsah simulačných modelov je stanovený:

- Odberné zariadenia pripojené do prenosovej sústavy a distribučné sústavy pripojené do prenosovej sústavy musia spĺňať vyššie uvedené požiadavky vo vzťahu k simulačným modelom alebo ekvivalentným informáciám.
- Každý PPS môže vyžadovať simulačné modely alebo ekvivalentné informácie, ktoré zobrazujú buď správanie sa odberného zariadenia pripojeného do prenosovej sústavy, alebo distribučnej sústavy pripojenej do prenosovej sústavy, alebo oboch v ustálenom a dynamickom stave.
- Každý PPS stanoví obsah a formát týchto simulačných modelov alebo ekvivalentných informácií. Obsah a formát zahŕňa:
 - a) ustálený a dynamický stav vrátane zložky 50 Hz;
 - b) prechodné elektromagnetické simulácie v mieste pripojenia;
 - c) štruktúrne a blokové schémy.
- Na účely dynamických simulácií musí simulačný model alebo ekvivalentné informácie obsahovať tieto čiastkové modely alebo ekvivalentné informácie: a) reguláciu výkonu; b) reguláciu napätia; c) modely ochrany odberného zariadenia pripojeného do prenosovej sústavy a ochrany distribučnej sústavy pripojenej do prenosovej sústavy; d) rôzne typy odberu, t. j. elektrotechnické vlastnosti odberu; a e) modely meničov.
- Každý príslušný prevádzkovateľ sústavy alebo príslušný PPS stanoví požiadavky na záznamy z odberných zariadení pripojených do prenosovej sústavy alebo distribučných zariadení pripojených do prenosovej sústavy, alebo oboch, s cieľom porovnať reakciu modelu s týmito záznamami.

Príslušný prevádzkovateľ sústavy poskytne vlastníčkovi odberného zariadenia pripojeného do prenosovej sústavy alebo distribučnej sústavy technické údaje a simulačný model siete v takom rozsahu, ktorý je potrebný na vykonanie požadovaných simulácií.

Zo skupiny pre tematickú oblasť „prevádzka ES“ bolo analyzované Nariadenie Európskej komisie 2017/1485, ktorým sa stanovuje usmernenie pre prevádzkovanie elektrizačnej prenosovej sústavy. Po komplexnej analýze PPS tohto nariadenia bol do praxe uvedený dokument PPS: Metodika podľa čl.155 a čl.159, Nariadenia Komisie (EÚ) 2017/1485 Postup predbežného schválenia FCR stanoveného v súlade s článkom 155 a postup predbežného schválenia FRR stanoveného v súlade s článkom 159 Nariadenia Komisie (EÚ) 2017/1485 z 2. augusta 2017, ktorým sa usmerňuje prevádzkovanie elektrizačnej prenosovej sústavy.

Rezervy na zachovanie frekvencie (FCR) sú rezervy činného výkonu, ktoré sú k dispozícii na zachovanie frekvencie sústavy po výskyte nerovnováhy.

Rezervy na obnovenie frekvencie (FRR) sú rezervy činného výkonu, ktoré sú k dispozícii na obnovenie frekvencie sústavy na menovitú frekvenciu a v prípade synchrónnej oblasti, ktorú tvorí viac ako jedna regulačná oblasť, na obnovenie výkonovej bilancie na plánovanú hodnotu.

Záujemcovia o poskytovanie PpS, ktorí doposiaľ neposkytovali PpS alebo im skončila platnosť skôr vydaného certifikátu na FCR/FRR, predložia PPS formálnu žiadosť o predbežné schválenie

FCR/FRR spolu s požadovanými informáciami o potenciálnych jednotkách alebo skupinách poskytujúcich FCR/FRR.

Formálna žiadosť musí okrem iných údajov obsahovať aj komplexný simulačný model potenciálnych jednotiek alebo skupín poskytujúcich FCR/FRR, alebo poskytnutie všetkých parametrov potrebných na vytvorenie simulačného modelu ES SR. Súčasťou parametrov je minimálne dokumentácia, blokové diagramy a parametre v závislosti na použitej technológii (napr. v prípade výrobného zariadenia sú to údaje o alternátore a jeho pohone, použitej regulácii budenia, regulátor otáčok a výkonu a definovanie kritérií na prechod medzi nimi), regulácii napätia. V prípade, ak je inštalovaný výkon potenciálnych jednotiek poskytujúcich FCR/FRR nad 50MVA (samostatne, alebo formou agregácie), tak aj použitý typ a model Power System Stabilizer, modely ochrán, meničov a nesyndronných modulov.

Vyššie uvedené skutočnosti potvrdzujú fakt, že simulačné modely elektrizačných sústav sú uznávaným nástrojom na analýzu ES jednak v ustálených stavoch, ale najmä v ich prechodných režimoch.

7.4 Simulačné modely elektrizačnej sústavy pri zavádzaní konceptu mikrogrid

Produkcia elektrickej energie zažíva veľký prerod. Vo svetovom meradle počet solárnych a veterných elektrární rastie veľkým tempom a tým pokračuje pokles ich ceny. Hlavným hybným faktorom naštartovania tejto zmeny bol na začiatku enviromentálny záujem, ktorý bol podporený politickými iniciatívami. Sú to národné akčné plány pre energiu vyrobenú z OZE jednotlivých členských štátov EÚ. V budúcnosti sa však očakáva, že technológie OZE sa natoľko rozvinú, že dokážu konkurovať bez podpory iným zdrojom vrátane jadrovým.

Správanie decentralizovanej výroby z OZE a zmeny v zaťaženi, ktoré prináša elektromobilita v priebehu dňa, sa ťažko predikujú, pretože závisia na mnohých vplyvoch. Hlavným problémom napr. FVE, prípadne veterných elektrární je značný vplyv poveternostných podmienok. Rapídna zmena klimatických podmienok (slnečné žiarenie pri FVE a vietor pri VtE) má za následok pomerne rýchlu odozvu na dodávaný výkon. To má samozrejme za následok kolísanie napätia v mieste pripojenia spôsobené prebytkom alebo nedostatkom energie v DS. Tieto výkyvy môžu byť aj výrazné a môžu vzniknúť za krátky čas. Výkon veterných parkov sa môže behom niekoľko desiat minút zmeniť až o 90%, výroba solárnymi elektrárnami sa zase mení v menšej miere, ale za pár sekúnd.

Obnoviteľné zdroje sa od konvenčných zdrojov odlišujú predovšetkým horšou možnosťou regulácie výkonu. Pokiaľ je v sieti dostatok elektrární iného typu (fosílnych, vodných a aj nukleárných), ktoré môžu svoju produkciu elektriny zvyšovať a znižovať podľa potreby, nie je to veľký problém. Uvedené elektrárne vyrovnávajú výkyvy spôsobené ťažko predikovatelnou výrobou resp. spotrebou. Plánované odstavovanie veľkých systémových blokov v prenosových sústavách však bude nepriaznivo vplývať na veľkosť potrebného objemu podporných služieb pre dané regulačné oblasti.

Do popredia sa dostávajú otázky ekonomického a pružného skladovania elektrickej energie. Aplikácie na uskladnenie energie nám môžu vo vyššie uvedených prípadoch poskytnúť potrebnú elektrickú energiu, a fungujú ako vyrovnávacie zariadenia medzi stále sa meniacou spotrebou energie a výrobnými kapacitami. Očividným východiskom je aj pre veterné a solárne elektrárne možnosť uloženia svojej energie. Toto už dnes mnohé z nich robia, pričom na to používajú batériové systémy.

Medzi hlavné úlohy výskumu v oblasti elektroenergetiky preto patrí hľadanie čo najefektívnejších a najprogresívnejších metód uskladnenia elektrickej energie. 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.

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

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

Siete typu mikrogrid budú predstavovať zložité útvary s mnohými prvkami. Riešiť takúto sieť pri uvažovaní všetkých parametrov by bola úloha veľmi náročná. Preto bude potrebné pri riešení použiť zjednodušené spôsoby so zanedbaním niektorých skutočností.

Systémové analýzy a simulácie je potrebné smerovať k návrhom takých vnútorných ekonomických a prevádzkových pravidiel pre mikrogrid, ktoré by zabezpečili požadovanú funkcionálnu jednotlivosť súčastí sietí mikrogrid vrátane spotrebiteľov, pri dosiahnutí maximálneho ekonomického zisku.

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

S cieľom minimalizovať riziká spojené so zavádzaním sietí mikrogrid je nutné správne vybudovať celkovú koncepciu mikrogrid a zabezpečiť, aby sa nevytvárali prekážky prechodu na energiu z obnoviteľných zdrojov, zvýšeniu flexibility, uskladňovaniu energie, elektromobilite a riadeniu odberu.

Pre pochopenie správania sa sietí 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.

Budovanie sietí mikrogrid je evolučný proces modernizácie elektrizačných sústav a zvýšenia energetickej efektívnosti celej elektrizačnej sústavy ako komplexného systému. Počítačové simulácie a systémové analýzy v tomto procese majú svoje významné miesto.

Ako sa uvádza v predchádzajúcich kapitolách, na overenie prevádzkových stavov elektrických sústav slúži výpočet ustáleného chodu sústavy. Týmto výpočtami sa kontroluje a testuje, či daná sústava vyhovuje požadovaným štandardom.

Pre ročnú prípravu prevádzky sa výpočty vykonávajú vždy pre krajné prípady možnej prevádzky sústavy. Je to v predpokladaných časových prierezoch zimného maxima a letného minima. Medzi týmito dvoma základnými režimami by sa potom mali nachádzať všetky zostávajúce prevádzkové stavy.

Plánovaný rozvoj inteligentných sietí a zavádzanie nových technológií, predovšetkým zvýšený podiel decentralizovaných zdrojov a rozvoj elektromobility a s ňou spojená ťažšie predikovateľná záťaž sústavy, prináša potrebu uvažovať o tom, či súčasný spôsob výpočtu ustáleného chodu sústavy je dostatočne vypovedajúci s ohľadom na náhodný a premenný charakter výroby nových zdrojov a premenlivých odberov. V súvislosti s rozvojom integrácie decentralizovaných OZE a elektromobility možno s istotou predpokladať, že dôjde k väčšej neistote vstupných dát a následne neistote pri interpretácii výsledkov. To si vyžiada prehodnotiť väčšie množstvo jednotlivých sieťových variantov a celkový výsledok bude potrebné zložiť z týchto čiastkových riešení.

Uvedené problémy možno riešiť ďalším možným spôsobom výpočtu ustáleného chodu siete. Existujúce vstupy do výpočtu, ktoré sú presne špecifikované, možno nahradiť opisom stavu vo forme ich pravdepodobnostného správania. V danom uzle sústavy sa teda namiesto špecifickej hodnoty veľkosti odberu alebo dodávky elektrickej energie využije hustota pravdepodobnosti takého odberu alebo dodávky. Takýto vstup môže nadobúdať záporné aj kladné hodnoty a tým sa presne popíše správanie sa daného odberného miesta (buď pôjde o spotrebu alebo o dodávku elektrickej energie späť do siete). Obmedzenie takejto funkcie potom bude dané veľkosťou vstupného istenia daného odberného miesta.

Rozvoj distribučných sústav, včítanie sietí mikrogrid, musí byť koordinovaný s rozvojom prenosovej sústavy. Musí vychádzať z výsledkov analýz súčasných, ale predovšetkým výhľadových pomerov v ES. Podkladom sú údaje o skutočnom zaťažení a údaje o predpokladanom vývoji zaťaženia

a spotreby, údaje o existujúcich zariadeniach v ES. Ďalej sú to statické údaje o existujúcich a výhľadových prvkoch ES a spolupracujúcich sústavách. Údaje potrebné pre sieťové výpočty ustáleného chodu sietí, skratové výpočty a výpočty dynamického správania sústavy si v súčasnosti prevádzkovatelia DS a PS vzájomne vymieňajú pre časové horizonty 5, 10 a viac rokov.

Prebiehajúce zmeny v elektrizačných sústavách na európskom kontinente, ktorých prevádzkovatelia sú združení v ENTSO-E, kladú ďalšie požiadavky na ich dokonalejšie riadenie. Pre zdokonalenie riadenia ES sa v posledných rokoch začali vo svete ako aj u nás využívať prvky umelej inteligencie. Z doteraz použitých rôznych techník umelej inteligencie je možné uviesť expertné systémy, umelé neurónové siete, neostre množiny (fuzzy logika), heuristické hľadania (genetické algoritmy).

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, vytypovaniu simulačných príležitostí a výberu moderného databázového simulačného prostredia.

8 ZÁVER

V kapitolách predkladaného mílnika sa analyzujú vonkajšie vplyvy a vzájomné interakcie prvkov elektrizačnej sústavy v ustálených a prechodových javoch na dátové štruktúry modelov. K tým najvýznamnejším vonkajším vplyvom a faktorom možno zaradiť faktory ovplyvňujúce skratové pomery v ES, straty v ES, variabilita výroby obnoviteľných zdrojov a ďalšie faktory, ktoré okrem iného ovplyvňujú aj kvalitu elektrickej energie.

Elektrizačná sústava je systém, ktorý kladie vysoké nároky na zaručenie bezpečnej, spoľahlivej a hospodárnej prevádzky elektrizačnej sústavy ako celku. Počítačové simulácie a systémové analýzy pre vyššie uvedené ciele systému majú v ňom svoje významné miesto. Vytváranie simulačných modelov elektrizačnej sústavy je potrebný a veľmi účinný nástroj na analýzu ES jednak v ustálených stavoch, ale najmä v prechodných režimoch.

V súčasnej dobe dochádza k zásadným zmenám v štruktúre výrobných zdrojov elektrickej energie. Centralizované výrobné zdroje elektrickej energie sú stále častejšie nahradzované decentralizovanými zdrojmi elektrickej energie, predovšetkým obnoviteľnými zdrojmi elektrickej energie. Dochádza k integrácii obnoviteľných zdrojov elektrickej energie do elektrizačnej sústavy so značným sumárnym inštalovaným výkonom. Hlavným hybným faktorom naštartovania tejto zmeny bol na začiatku enviromentálny záujem, ktorý bol podporený politickými iniciatívami. V budúcnosti sa však očakáva, že technológie OZE sa natoľko rozvinú, že dokážu bez finančných stimulov konkurovať konvenčným zdrojom energie.

Do popredia sa dostávajú otázky ekonomického a flexibilného skladovania elektrickej energie. Aplikácie na uskladnenie energie nám môžu vo vyššie uvedených prípadoch poskytnúť potrebnú elektrickú energiu a fungujú ako vyrovnávacie zariadenia medzi stále sa meniacou spotrebou energie a výrobnými kapacitami.

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 sietí konceptu mikrogrid. Mílnik poukazuje na vysokú aktuálnosť riešenia problematiky 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.

Obdobne aj regulácia spotreby v inteligentných sieťach bude podľa extrahovaných analýz zastávať stále významnejšiu rolu pri prevádzke a plánovaní rozvoja distribučnej sústavy. Analýza preukázala, že životne dôležitý aspekt rozvoja distribučných sietí budú komunikačno-informačné technológie s vysokou prenosovou rýchlosťou a nízkou latenciou a zjednotenie komunikačných štandardov.

Simulačné modely elektrizačných sústav sú uznávaným nástrojom na analýzu ES. 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. Významné zmeny, ktorými bude musieť prechádzať ES, sa taktiež nezaobídu bez matematického modelovania energetických komponentov v lokálnych energetických sústavách, bez simulácií vytypovaných dejov v nich a simulácií pre zisťovanie ich vplyvu na prenosovú a distribučnú sústavu. To prinesie, vďaka technickému pokroku v rámci telekomunikačných technológií a zariadení, budovanie moderného databázového simulačného prostredia.

Náhodný a premenný charakter výroby nových zdrojov a premenlivých odberov prináša potrebu uvažovať o nových prístupoch k výpočtom ustálených chodov siete, k využívaniu dát a pod. Napríklad existujúce vstupy do výpočtov, ktoré sú 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.

Sieť typu mikrogrid predstavuje zmenu spôsobu riadenia elektrizačnej sústavy, ktorá bola navrhnutá a konštruovaná pre koncept centralizovanej výroby elektrickej energie. Koncept mikrogrid v rámci rozvoja distribučnej sústavy umožňuje riešiť požiadavku na zvýšenú inštaláciu OZE 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.

Riešenie problematiky implementácie sietí mikrogrid má značný vplyv nielen na distribučnú sústavu, ale aj na prenosovú sústavu, a to v súvislosti aj s plánovaným odstavovaním veľkých systémových blokov v prenosových sústavách. Obnoviteľné zdroje sa od konvenčných zdrojov odlišujú predovšetkým horšou možnosťou regulácie výkonu. Pokiaľ je v sieti dostatok elektrární iného typu (fosílnych, vodných a aj nukleárných), ktoré môžu svoju produkciu elektriny zvyšovať a znižovať podľa potreby, nie je to veľký problém. Uvedené elektrárne vyrovnávajú výkyvy spôsobené ťažko predikovatelnou výrobou resp. špecifickou spotrebou, akou je napríklad elektromobilita. Plánované odstavovanie veľkých systémových blokov v prenosových sústavách však bude nepriaznivo vplyvať na veľkosť potrebného objemu podporných služieb pre dané regulačné oblasti.

V rámci míľnika sú v niekoľkých kapitolách zahrnuté aj výstupy a idey z realizovaných výskumných projektov v zahraničí.

Veľký rozvoj decentralizovaných zdrojov elektrickej energie a odstavovanie veľkých systémových blokov v prenosovej sústave si vyžiada zmeny v energetickej infraštruktúre. V súvislosti s masívnym nasadením konceptu mikrogrid v budúcnosti ostáva otáznou samotná úloha prenosovej sústavy a taktiež aj financovanie chodu a rozvoja prenosovej sústavy. S rozvojom konceptu mikrogrid zároveň bude dochádzať k ďalšiemu odľahčovaniu ES, čo povedie k ešte väčším problémom s riadením jalových výkonov a napätia v PS.

Súčasný pohľad na mikrogridy je, že ich budovanie predstavuje evolučný proces modernizácie elektrizačných sústav a zvýšenia energetickej efektívnosti celej elektrizačnej sústavy ako komplexného systému a zároveň predstavuje nevyhnutný prostriedok na dosiahnutie vytýčených environmentálnych cieľov. Pred zmenou konceptu fungovania elektrizačnej sústavy je potrebné riešiť veľa otázok, ale predovšetkým ako zabezpečiť, aby ES pri implementácii sietí mikrogrid bola schopná zabezpečiť rovnakú spoľahlivosť dodávky elektrickej energie, ako súčasný model siete založený na veľkých centralizovaných zdrojoch elektrickej energie. To znamená, že bude potrebné v rámci siete mikrogrid riešiť zabezpečenie dostatočného objemu podporných služieb na zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti elektrizačnej sústavy.

Hlavným kritériom bezpečnej prevádzky prenosovej sústavy sledovaným na všetkých úrovniach prípravy prevádzky aj v samotnej reálnej prevádzke je bezpečnostné kritérium N-1. Bezpečnostné kritérium N-1 možno vyhodnocovať z pohľadu dodržania niekoľkých prevádzkových limitov. Relevantnými sú napäťové limity, skratové prúdy, rezervy jalového výkonu, no najmä limity dovolenej prúdovej zaťažiteľnosti prvkov, ktoré predstavujú najčastejšie situácie neplnenia tohto kritéria.

Najčastejším dôvodom neplnenia bezpečnostného kritéria N-1 sú neplánované toky elektriny cez našu prenosovú sústavu spôsobené aj prebiehajúcimi zmenami v elektrizačných sústavách na európskom kontinente, ktorých prevádzkovatelia sú združení v ENTSO-E. Najhoršie varianty sú neplánované toky elektrickej energie v kombinácii s údržbovými stavmi na kľúčových spojovacích vedeniach. V synchronne prepojenej sústave majú všetky realizované opatrenia pre dodržovanie bezpečnostného kritéria N-1 (čo je povinnosťou každého PPS) vplyv aj na okolitých prevádzkovateľov prenosových sústav. Tento fakt si vyžaduje vykonať veľké množstvo počítačových simulácií a systémových analýz s cieľom stanovenia vyššie uvedených vonkajších vplyvov na bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy.

Prevádzkovatelia združení v ENTSO-E kladú ďalšie požiadavky na dokonalejšie riadenie ES. Pre zdokonalenie riadenia ES sa v posledných rokoch začali vo svete, ako aj u nás, využívať prvky umelej inteligencie. Z doteraz použitých rôznych techník umelej inteligencie je možné uviesť expertné systémy, umelé neurónové siete, neostré množiny (fuzzy logika), heuristické hľadania (genetické algoritmy).

V súčasnosti je potrebné systémové analýzy a simulácie smerovať k návrhom takých vnútorných ekonomických a prevádzkových pravidiel pre sieť typu mikrogrid, ktoré by zabezpečili požadovanú funkcionálnosť jednotlivých súčastí mikrogrid vrátane spotrebiteľov, pri dosiahnutí maximálneho ekonomického zisku.

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

S cieľom minimalizovať riziká spojené so zavádzaním sietí mikrogrid je nutné správne vybudovať celkovú koncepciu mikrogridu so zreteľom na fakt, že vznikajúce siete budú súčasťou elektrizačnej sústavy, ktorá je z technicko-fyzikálneho hľadiska jednotným a komplexným systémom s platnými fyzikálnymi zákonmi.

9 ZDROJE

Použitá literatúra:

2 ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA

- Definícia účinníka
<https://sk.wikipedia.org/wiki/%C3%9A%C4%8Dinn%C3%ADk> (2020-04-28)
- ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE (2016) - Využitie IKT pri riadení distribučných sietí (KEGA 030/ŽU – 4/2014 - Inovácia technológií a metód vzdelávania so zameraním na oblasť inteligentného riadenia elektroenergetických distribučných sietí (Smart Grids))
- HUDEC, J.: Přepětí a elektromagnetická kompatibilita. HAKEL Hradec Králové, 1996
- HASSE, P.: Koncepce ochrany před bleskem a přepětím v souladu s požadavky EMC. Zborník prednášok zo sympózia. Elektromagnet Brno, 1993
- Ing. Roman PONEVÁČ, Ing. Rudolf Huna, Ing. Jana Staroňová, Ing. Vladimír Janove, CSc. - Katedra telekomunikačných systémov, Vojenská akadémia, Liptovský Mikuláš
- Petr MAREČEK – Nové trendy v konceptu smartgrid (2016)

3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

- Vodné elektrárne na Slovensku
https://sk.wikipedia.org/wiki/Zoznam_elektr%C3%A1rn%C3%AD_na_Slovensku (2020-11-24)
- Klimatické podmienky na Slovensku z hľadiska tepelných, veterných a zrážkových podmienok
www.shmu.sk
- Zväz výrobcov elektrickej energie v malých vodných elektrárňach: Mapa obnoviteľných zdrojov energie
<https://zvazmve.sk/2017/12/14/mapa-obnovitelnych-zdrojov-energie/> (2017-12-14)
- Výstupný dokument pre potreby Výskumného projektu Centra excelentnosti II: CEII_AKT5_Milnik1_Sumarny_vystup_v1.6 – kapitola 3 OBNOVITELNÉ A ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE

4 MIKROGRIDY

- 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.
- DESAŤROČNÝ PLÁN ROZVOJA PRENOSOVEJ SÚSTAVY NA ROKY 2020 – 2029
https://content.sepsas.sk/Dokumenty/ProgRozvoj/2019/11/DPR_PS_2020_2029.pdf
- TECHNICKÉ PODMIENKY PRÍSTUPU A PRIPOJENIA, PRAVIDLÁ PREVÁDZKOVANIA PRENOSOVEJ SÚSTAVY, 2020 – 2021
[TP-Dok C_2019_aug_final_okt \(sepsas.sk\)](http://TP-Dok_C_2019_aug_final_okt(sepsas.sk))
- Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy spoločnosti Západoslovenská distribučná, a.s. , 2019
https://www.zsdis.sk/documents/13207/ZSD_Technicke_podmienky_PDS_0419

- Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy - Východoslovenská distribučná, a.s., 2019
[Microsoft Word - 20190401_VSD_Technicke_Podmienky_PDS.docx \(vsds.sk\)](#)
- Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy Stredoslovenská distribučná, a.s., 2019
[Technické podmienky, Dokumenty, Stredoslovenská distribučná, a.s. \(ssd.sk\)](#)
- Prevádzkový poriadok prevádzkovateľa distribučnej sústavy spoločnosti Západoslovenská distribučná, a.s., 2020
[Prevádzkový poriadok - Západoslovenská distribučná, a. s. \(zsdis.sk\)](#)

5 INTELIGENTNÉ SIETE

- ELLABBAN, Omar a Haitham ABU-RUB. Smart grid customers' acceptance and engagement: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, **65**, 1285-1298 [cit. 2020-12-10]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2016.06.021
- CHANG, Gary W., Satish RANADE, Neville R. WATSON a Math H. J. BOLLEN. Monitoring issues and analysis techniques-smart grid aspect of power quality. In: *2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power* [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 673-677 [cit. 2020-12-14]. ISBN 978-1-4673-1943-0. Dostupné z: doi:10.1109/ICHQP.2012.6381182
- Demand Side Response (odezva strany spotřeby). *OENERGETICE.CZ* [online]. [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/demand-side-response-dsr>
- LU, Shuai, Nader SAMAN, Ruisheng DIAO, Marcelo ELIZONDO, Chunlian JIN, Ebony MAYHORN, Yu ZHANG a Harold KIRKHAM. Centralized and decentralized control for demand response. In: *ISGT 2011* [online]. IEEE, 2011, 2011, s. 1-8 [cit. 2020-12-18]. ISBN 978-1-61284-218-9. Dostupné z: doi:10.1109/ISGT.2011.5759191
- MONTANARI, Ugo a Alain Tcheukam SIWE. Prosumers as Aggregators in the DEZENT Context of Regenerative Power Production. In: *2014 IEEE Eighth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems* [online]. IEEE, 2014, 2014, s. 167-174 [cit. 2020-12-18]. ISBN 978-1-4799-5367-7. Dostupné z: doi:10.1109/SASO.2014.30

6 INTELIGENTNÉ MERANIA

- RAHMAN, M. a Amanullah M. T. OO. Smart Meter. ALI, A B M Shawkat, ed. *Smart Grids* [online]. London: Springer London, 2013, 2013-7-17, s. 109-133 [cit. 2021-01-05]. Green Energy and Technology. ISBN 978-1-4471-5209-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4471-5210-1_5

7 MODELOVANIE SIETE

- Prof. Ing. Michal Kolcun, PhD. – Ing. Vojtech Griger: Riadenie prevádzky elektrizačnej sústavy. 1.vyd. Košice: Mercury – Smékal, 288s. 2003. ISBN 80-89061-76-1
- Jaroslav Džmura: Úvod do stability prenosu elektrickej energie, 2012
people.tuke.sk/jaroslav.dzmura/files/uvod_do_spee.pdf
- Prevádzkový poriadok prevádzkovateľa prenosovej sústavy Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s.
[Príloha_0013_2020_E_PP.PDF \(sepsas.sk\)](#)