

Tri piliere Smart Grid

Ing. Jakub Slávik, MSc. Jakub.slavik@sfera.sk	Ing. Martin Holíš, PhD. Martin.holis@sfera.sk	Ing. Ján Poničan Jan.ponican@stuba.sk	Mgr. Matej Sadloň Matej.Sadlon@stuba.sk
--	--	--	--

Abstrakt — V posledných rokoch sa rapidne rozvíjajú technológie spojené s prenosom dát a automatizáciou. Tieto procesy neminuli ani elektroenergetiku kde ich spojenie vytvorilo koncept tzv. Smart Grid.

Kľúčové slová — Smart Grid, decentralizovaná výroba elektrickej energie, elektromobilita

ZÁKLADNÉ PRVKY SMART GRID

Smart grid môžeme definovať ako sieť, ktorá je schopná aktívne integrovať všetkých jej užívateľov za účelom efektívnej, udržateľnej, hospodárnej a bezpečnej dodávky elektrickej energie [1]. Smart grid využíva inovatívne technológie a produkty spolu s inteligentnými meracími, kontrolnými, komunikačnými systémami a samoliečiacimi technológiami za účelom:

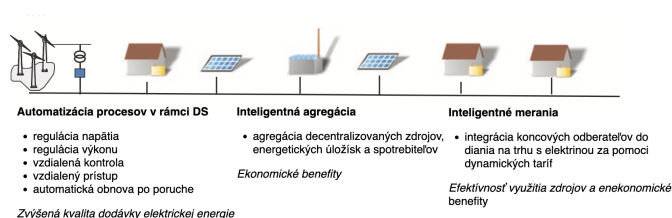
- integrácie všetkých užívateľov a ich požiadaviek,
- uľahčenia pripojenia a prevádzky generátorov všetkých výkonov,
- zvýšenia efektívnosti prevádzky sústavy,
- začlenenía spotrebiteľov do procesu optimalizácie chodu systému,
- informovania spotrebiteľov a ponechania im možnosti výberu pri zabezpečení dodávky elektrickej energie,
- zlepšenia fungovania trhu a služieb,
- zníženia vplyvu systému na životné prostredie,
- zabezpečenia spoľahlivej, kvalitnej a bezpečnej dodávky elektrickej energie.

Smart grid predpokladá využitie technológií ako WAMS, microgrid, virtuálne elektrárne a mnoho ďalších. Zjednodušenie môžeme postaviť fungovanie takýchto sietí na tri základné piliere (Obr.1):

- Automatizácia a vzdialené riadenie siete, ktoré zabezpečujú automatickú reguláciu napätia, výkonu a zvyšujú spoľahlivosť siete za pomoci rýchlejšej obnovy dodávky po poruche.
- Smart agregácia podrozumieva koordináciu decentralizovaných zdrojov, úložísk a diaľkovo riadených záťaží na úrovni distribučnej siete za účelom vyrovnávania výkonovej rovnováhy, účasti na trhu s elektrinou a poskytovania doplnkových služieb či uhlíkových certifikátov.

- Inteligentné meracie systémy zabezpečujúce priamu integráciu a účasť odberateľov na trhu s elektrinou.

Fungovanie siete na týchto pilieroch následne umožňuje prevádzkovateľom distribučných sústav zriadenie vlastných algoritmov zabezpečujúcich automatizáciu a riadenie sústavy so zabezpečením vysokej kvality elektrickej energie aj za predpokladu neustále sa meniaceho zaťaženia spôsobeného širšou integráciou OZE do sústavy a taktiež aplikovať ponuky flexibility na zmluvnej báze za účelom optimalizácie prevádzkových nákladov.



Obr.1. Základné piliere Smart Grid

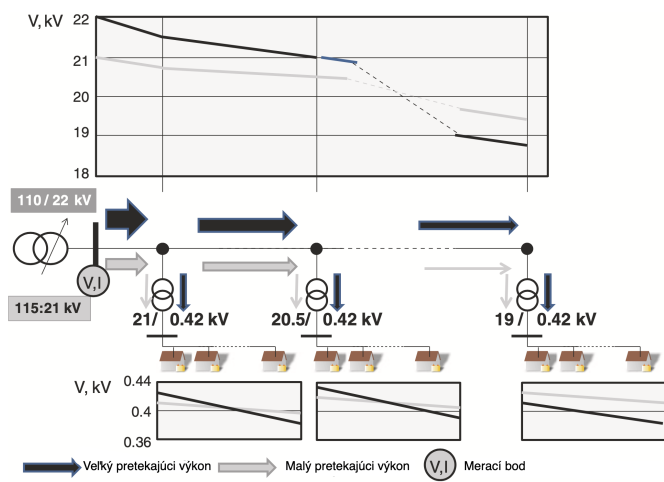
1. PRVÝ PILIER

Prvý pilier Smart grid je definovaný ako „automatizácia a vzdialené riadenie lokálnej distribučnej siete“. Pre dosiahnutie stabilného prvého piliera je potrebné vyriešiť problémy týkajúce sa regulácie napätia a výkonu v smart gride, automatické a vzdialené riadenie sústavy a implementovať nové koncepty ochrán minimálne na úrovni VN.

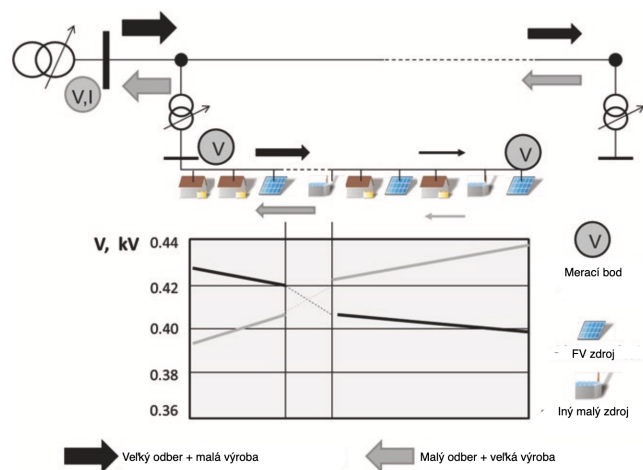
1.1. Regulácia napätia v smart gride

V klasických DS je vo väčšine prípadov napätie regulované za pomoci zmeny odbočky transformátora (Obr.2). Pri plánovaní prevádzky sa vychádza z predpokladaných hodnôt maximálneho a minimálneho zaťaženia – tento princíp však nie je možné aplikovať v prostredí Smart grid nakoľko v týchto sieťach je možný obojstranný tok výkonu. Princíp regulácie na základe maximálneho a minimálneho zaťaženia je preto potrebné nahradiť princípom reagujúcim na stavy „malý odber + veľká výroba“ a „vysoký odber + malá výroba“ (Obr. 3). Pre správne fungovanie algoritmu regulácie napätia je nevyhnutné meranie ako na strane VN (napájací transformátor) tak aj NN. Merania na strane VN sú k dispozícii, problém nastáva na strane NN, kde vo väčšine prípadov nie sú k dispozícii údaje v reálnom čase. Tento problém je možné vyriešiť napr. nasadením IMS alebo zriadením meracích bodov. Z globálneho hľadiska je voľba IMS pravdepodobnejšia

nakoľko jeden z predpokladov Smart grid je zavedenie dynamických taríf pre odberateľov.



Obr.2. Regulácia napätia v klasickej DS [4]



Obr.3. Regulácia napätia v Smart Grid [4]

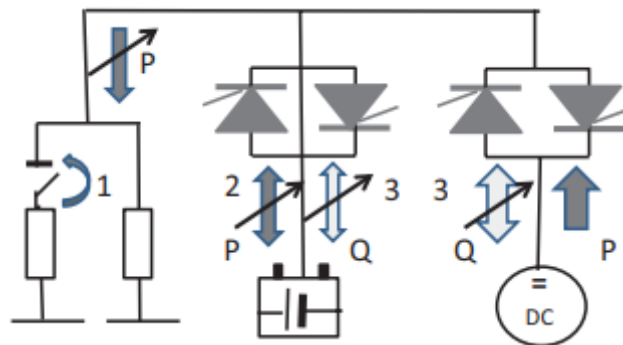
V rámci Smart grid je možné zapojiť do regulácie napätia aj nie celkom štandardné postupy. S predpokladom rastúcej integrácie OZE najmä FV technológií narastajú problémy spojené s lokálnymi prepätiami.

Existuje viacero variantov eliminácie lokálnych prepätí spojených s výrobou z OZE:

- Množstvo vyrobenej energie z OZE je možné do istej miery predikovať (za pomoci neurónových sietí, štatistik,...) následne počas špičiek môže PDS zapnúť nízku tarifu pre odberateľov a generovaný špičkový výkon je spotrebovaný v mieste výroby. Podobné riešenie bolo využité v Nemeckom Mannheime v akcii „Washing with the sunshine“ [6], v rámci ktorej 60% odberateľov zapínalo svoje práčky v režime „odloženého štartu“ v období maximálneho výkonu FV. Takéto riešenie je možné využiť aj automaticky v spojení s technológiami Smart Home a IMS.

- Nasadenie batériových systémov vo vybraných uzloch DS, ktoré sa budú nabíjať z nadbytočnej energie z OZE.
- Nasadenie akumulačných systémov spolu s regulátormi jalového výkonu v mieste výroby.

Je potrebné poznamenať, že všetky tieto metódy vyžadujú vzdialené prístupy do meracích zariadení resp. zdieľanie údajov o stave meraného systému a meraniach a umožňovať diaľkové riadenie.



Obr.4. Možnosti regulácie napätia [4]

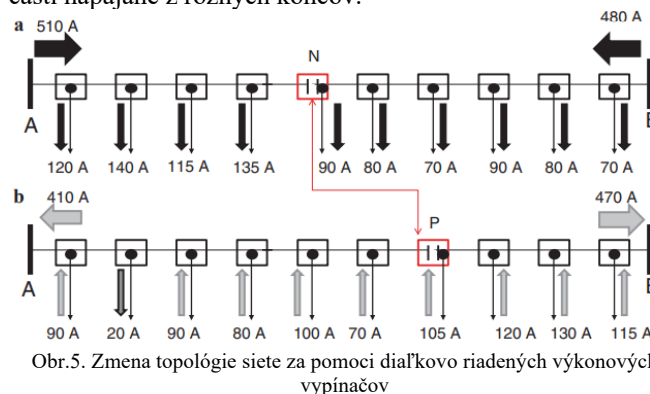
1.2. Regulácia výkonu

Preťaženie siete môže vzniknúť v oboch scenároch:

- „malý odber + veľká výroba“ – preťaženie môže vzniknúť pri náhlom zvýšení výroby z OZE, tok výkonu je v tomto prípade zdola hore
- „vysoký odber + malá výroba“ – napr. večer po návrate z práce a zapojení viacerých áut do nabíjačiek. V tomto prípade je tok výkonu zhora dole.

Tak ako v prípade regulácie napätia aj pri regulácii výkonu je predpokladaný prenos dát v reálnom čase minimálne zo všetkých koncových uzlov siete, následná detekcia preťaženia a zmena topológie siete.

Jednou z možností zmeny topológie siete je rozdelenie výkonu za pomoci diaľkovo riadených výkonových vypínačov rozdeľujúcich výkon konkrétnej vetvy na približne rovnaké časti napájané z rôznych koncov.

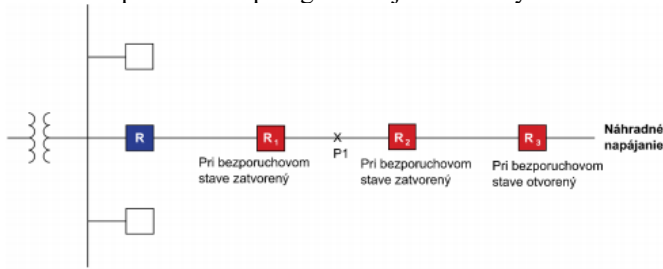


Obr.5. Zmena topológie siete za pomoci diaľkovo riadených výkonových vypínačov

1.3. Automatické obnovenie prevádzky po poruche

Automatické obnovenie prevádzky sústavy po poruche môžeme definovať aj ako schopnosť samoliečenia. Systém sám lokalizuje miesto poruchy a odpojí ho od zvyšku siete, pričom

odpojenie ovplyvní minimálny počet odberateľov. Na odpojenie poruchy je použitý systém recloserov resp. iných diaľkovo monitorovaných a ovládacích prvkov riadených za pomoci automatizovaného systému [3]. Príklad využitia recloserov pri zmene topológie siete je zobrazený na obrázku 6.



Obr.6. Využitie recloserov pri zmene topológie siete [5]

Pri poruche v bode P1 bude komunikácia recloserov nasledovná:

- Vypínač (resp. recloser) v rozvodni zostáva zapnutý, vypnutý je najbližší recloser k miestu poruchy t.j. 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. [5]

1.4. Koncepty ochrán v Smart Grid

Začlenenie decentralizovanej výroby má značný vplyv aj na činnosť ochrán a to najmä na:

- Selektivitu ochrán – doplniteľný skratový prúd spôsobuje problémy pre nadprúdovú a dištančnú ochranu, ktoré môžu pôsobiť oneskorene alebo vôbec ako aj pre lokalizátor poruchy, ktorý nesprávne vyhodnotí miesto poruchy. Nakoľko skratový prúd v sústave s decentralizovanými zdrojmi môže tiecť rôznymi smermi je potrebné používať smerové ochrany.
- Reverzné skratové prúdy – je potrebné odpojiť decentralizovaný zdroj pri poruche v nadradenej napájajúcej sústave.
- Stabilná ostrovná prevádzka – ochrana musí byť schopná detekovať prechod do ostrovného režimu a zabezpečiť stabilnú prevádzku ostrova s distribuovanými zdrojmi pri frekvencii v rozmedzí 47.5 – 51.5Hz
- Vplyv decentralizovanej výroby na automatiku OZ – je potrebné odpojenie zdroja pri predpokladanom využití automatiky OZ.

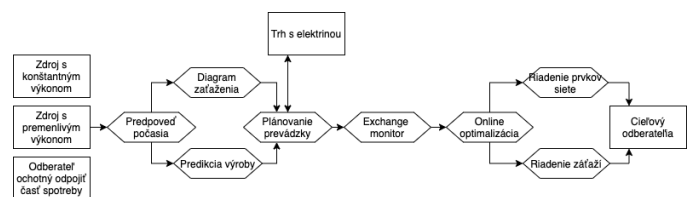
2. DRUHÝ PILIER

Druhý pilier Smart Grid predpokladá využitie Virtuálnych elektrární za účelom agregácie.

2.1. Virtuálna elektráreň

Virtuálna elektráreň dátovo spája viacero menších decentralizovaných zdrojov do jediného celku. Jednotlivé zdroje navzájom zdieľajú údaje o prevádzke a spolu s optimalizačným algoritmom nielen uľahčujú správu týchto zdrojov ale zabezpečujú aj stabilnejšiu dodávku elektrickej energie. Virtuálna elektráreň teda môže vystupovať ako plnohodnotný účastník trhu s elektrinou. Hlavné úlohy virtuálnych elektrární preto môžeme definovať ako:

- Predpoveď, stabilizácia a koordinácia všetkých vstupujúcich objektov, (zdroje, záťaže,...), najmä premenlivých OZE ako veterné a FV elektrárne.
- Plánovanie prevádzky na deň dopredu a účasť na Day-ahead a intraday trhu s elektrinou.
- Monitorovanie všetkých objektov virtuálnej elektrárne a vyhodnocovanie odchýlok od predpokladanej prevádzky.
- Optimalizácia vnútorných procesov a správa jednotlivých zdrojov.



Obr.7. Vnútorné procesy virtuálnej elektrárne

2.2. Úloha riadených záťaží a energetických úložísk

Aktívna integrácia spotrebiteľov do diania v DS je jednou z možností ako pristupovať a realizovať jednotlivé procesy riadenia sústavy. Jednou z možností je ich integrácia v rámci virtuálnych elektrární – v takomto prípade ide o spínanie spotrebičov na základe dohodnutých kontraktov alebo na základe požiadaviek trhu. Druhou možnosťou je integrácia koncových spotrebiteľov za pomoci dynamických taríf za elektrinu. Tento prístup predpokladá ochotu samotných spotrebiteľov aktívne sa zúčastňovať na dianí v sústave alebo použitie technológií smart home.

Medzi riadené záťaže koncových spotrebiteľov môžeme zaradiť: tepelné čerpadlá a akumulčný elektrický ohrev v zimnom období a v letnom období napr. klimatizačné moduly v nákupných centrách či administratívnych budovách, alebo také zariadenia ako umývačky riadu, práčky a pod.

V rámci virtuálnych elektrární zase môžu byť pripojené akumulčné systémy, či už statické, alebo vo forme pripojených elektromobilov a veľkí odberatelia schopní a ochotní v prípade potreby znížiť časť alebo celú svoju spotrebu. Po aplikácii zmluvných vzťahov sa môže daná služba prevádzkovať ako forma primárnej regulácie výkonu.

3. TRETÍ PILIER

Tretí pilier Smart grid predstavujú inteligentné meracie systémy a integrácia užívateľov do prostredia trhu s elektrinou.

3.1. Inteligentné meracie systémy

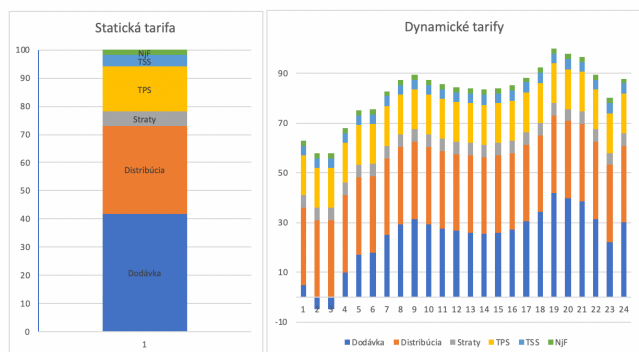
Inteligentné meracie systémy priniesli nové možnosti ako pre dodávateľov elektrickej energie, ktorí môžu v reálnom čase sledovať spotrebu svojich odberných miest a následne na základe nameraných hodnôt modifikovať svoje objednávky na intraday trhu s elektrinou, tak aj pre samotných odberateľov, ktorým priniesli viaceré tarify pre odber elektriny.

Okrem základných funkcií ponúkajú IMS aj doplnkové funkcie:

- Diaľkový odpočet meraní,
- Meranie P,Q,D obojsmerne,
- Zmena tarify,
- Časová synchronizácia meraní,
- Merania napätia a kvality elektrickej energie,
- Diaľkové spínanie zariadenia a i.

3.2. Dynamické tarify

Pod pojmom dynamická tarifa rozumieme prispôsobovanie cien elektriny pre koncových odberateľov na základe aktuálnej trhovej ceny a situácie v sústave. Týmto štýlom bude cena elektriny počas špičiek vyššia ako počas prebytkov energie a naopak ceny elektriny budú v prípade jej prebytku podstatne nižšie, pričom táto cena sa bude meniť v každej stanovenej perióde čo v konečnom dôsledku zabezpečí nižšie náklady a nižší objem potrebných podporných služieb.



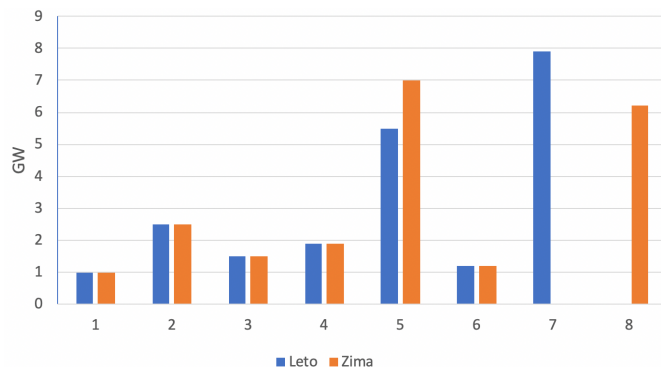
Obr.8. Porovnanie statickej a dynamickej tarify za elektrinu

Existuje niekoľko možností realizácie dynamických taríf:

- Dynamický interval + statická tarifa – časové obdobie kedy platí, že stanovená cena sa počas dňa môže meniť, ale cena elektriny zostáva rovnaká.
- Statický interval + dynamická tarifa – časové obdobia pre jednotlivé tarify zostávajú nemenné, mení sa cena elektriny.
- Dynamický interval + dynamická tarifa – mení sa ako cena elektriny tak aj ich časová platnosť.

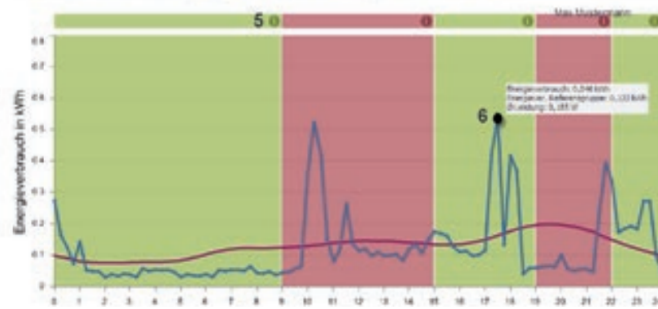
3.3. Vplyv spotrebiteľa

Sumárne výkony vybraných spotrebičov, ktoré môžu koncoví užívatelia využiť v procese svojej integrácie sú zobrazené na obrázku 9 – jedná sa o predpokladané výkony pre rok 2020 pre Nemecko.



Obr.9. Sumárny výkon vybraných typov zariadení v Nemecku pre rok 2020 (1- chladnička, 2- umývačka riadu, 3 – práčka, 4 – sušička, 5 – ohrievanie vody, 6 – chladnička, 7 – klimatizácia, 8 – tepelné čerpadlo, 8 – reštaurácie) [3]

Počas pilotného projektu Web2Energy bolo zapojených 200 odberateľov, ktorým odosieli informácie o aktuálnej platnej tarife, pričom iba 60 odberateľov aktívne reagovalo na zmenu tarify, projekt dosiahol zmenu špičkového výkonu o 14%.



Obr.10. Diagram zaťaženia odberateľa zapojeného do projektu Web2Energy [2]

3.4. Elektromobilita

Širšie využívanie elektromobilov so sebou prináša aj vyššie požiadavky na množstvo dodávanej energie. Riešení daného problému je niekoľko:

- Rozšírenie siete – vyžaduje dodatočné finančné investície
- Riadené nabíjanie elektromobilov [15]

Situáciu v sústave pri riadenom nabíjaní elektromobilov je možné popísať v troch etapách:

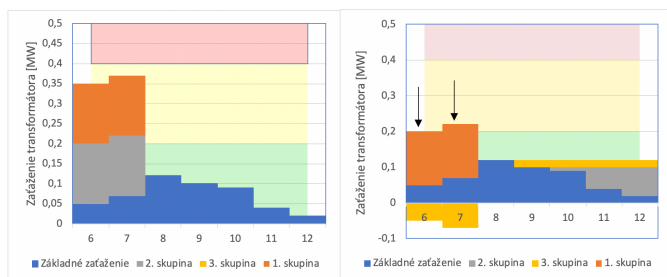
- Červená etapa – jedná sa o situáciu, kedy nárazový nárast odberu spôsobil preťaženie siete. V takejto situácii je PDS oprávnený odpojiť časť odberateľov, poskytujúcich túto službu (protihodnotou môžu byť napr. nižšie poplatky a pod.)

- Žltá etapa – sieť je v kritickom stave, nie je zabezpečené bezpečnostné kritérium N-1. V tejto etape môže PDS aplikovať niektoré trhové mechanizmy ako napr. zmenu tarify za elektrinu
- Zelená etapa – systém je v normálnom prevádzkovom režime.

Z pohľadu potreby využitia svojho elektromobilu môžeme vlastníkov týchto áut rozdeliť na 3 kategórie:

- majitelia, ktorí auto potrebujú nabiť okamžite,
- majitelia, ktorí potrebujú mať auto nabité neskôr ku konkrétnemu času,
- majitelia, ktorých auto je nabité, pripojené do siete a potrebuje ho mať plne nabité k istému času.

Porovnanie neriadeného a riadeného nabíjania elektromobilov s prihliadnutím na typy majiteľov je zobrazené na obrázku 11 (a – jedná sa o neregulované nabíjanie, b – regulované nabíjanie).



Obr.11. Porovnanie riadeného a neriadeného nabíjania elektromobilov [4]

ZÁVER

Inteligentné siete sú považované za siete budúcnosti, treba si však uvedomiť, že do ich reálnej aplikácie je potrebné vyriešiť viaceré technické, administratívne a osvetové kroky, z ktorých niektoré boli popísané v tomto článku. Pri ich správnej implementácii môžu však priniesť značné benefity ako prevádzkovateľom DS tak aj koncovým odberateľom.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf (Február)
- [2] <https://www.web2energy.com/>
- [3] B. Fenn, O. Hopp, M. Ahner, B.M. Buchholz, V. Buehner, A. Doss, N. Hess, W. Wagner, Z.A. Styczynski. Advanced technologies of Demand Side Integration by VPPs and through smart metering in households – Experiences from a lighthouse project. CIGRE 2012, C6-1- 108. Paris, 26th–31st August 2012
- [4] Bernd M. Buchholz Zbigniew A. Styczynski, Smart Grids 2020
- [5] Využitie IKT pri riadení distribučných sietí, 2016
- [6] N. Herrmann, B. Buchholz, S. Gözl. Washing with the sun: Results of a field test for the use of locally generated renewable electricity and load shifting in households. International Journal of Distributed Energy Resources. Vol. 4, Iss.4, ISSN 1614–7138, 2008

PodĎakovanie

„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, kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“