

Inteligentné siete

¹Maksym OLIINYK, ²Michal KOLCUN, ³Michal IVANČÁK

¹²³Katedra elektroenergetiky (KEE), Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická
Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

¹maksym.oliinyk@student.tuke.sk, ²michal.kolcun@tuke.sk, ³michal.ivancak@tuke.sk

Abstract — Tento príspevok sa zaoberá popisom vplyvu koncepcie inteligentnej siete na prevádzku elektrickej siete. Cieľom príspevku je preskúmať prevádzku elektrickej siete s hromadnou implementáciou fotovoltických elektrární, ako aj vznik možných problémov. V článku je opísaný súčasný stav v oblasti inteligentných sietí ako aj technológie, ktoré sú potrebné pre vytvorenie a prevádzku sietí novej generácie. V ďalšej časti je opísaný model energetického systému v programe Neplan. Posledná časť článku obsahuje analýzu programových výpočtov. Záverom je hodnotenie výsledkov a odporúčania pre praktické využitie.

Kľúčové slova — inteligentná sieť, inteligentné meracie systémy, inteligentný elektromer, obnoviteľné zdroje elektrickej energie.

I. ÚVOD

Zavádzanie nových systémov prináša nové podmienky fungovania v elektroenergetike ako sociálnej a na klienta orientovanej štruktúry. Do popredia sa dostávajú nové témy ako: vonkajšie problémy, vrátane ekologických výziev, taktiež zvýšenie nárokov na technologický a inštitučný stav odvetvia. Spoločnosť systémov určila vo väčšine vyspelých krajín prechod na modernú elektroenergetiku na základe inovatívnej organizačnej a technologickej platformy „Smart-grid“.

Nasadzovanie takýchto systémov so sebou prináša aj zmenu v prevádzke a riadení siete, nakoľko dochádza k zvýšenému dopytu v oblasti energetických služieb, z pohľadu množstva ako aj kvality, mení sa status spotrebiteľa na aktívny subjekt organizačného a hospodárskeho vzťahu. V systémoch tohto typu vznikajú nové požiadavky spoločnosti, týkajúce sa ekologického, sociálneho a inštitučného vzťahu energetiky.

Energetický systém založený na koncepte inteligentných sietí je jediný energetický komplex, kde sú objekty ovládané diaľkovo a systémovo prijaté riešenie slúži na zníženie nadbytočných požiadaviek, na minimálne rezervy výkonu a dátových kapacít.

Európa dnes čelí výberu najefektívnejších spôsobov transformácie odvetvia elektroenergetiky, ktorej základom by mal byť inovatívny vývoj vedcov, vynálezcov a výrobcov.

II. SÚČASNÝ STAV V OBLASTI INTELIGENTNÝCH SIETÍ

Inteligentné siete (Smart Grid) sú automatizovaný systém, ktorý nezávisle monitoruje a distribuuje toky elektrickej energie, aby bola dosiahnutá maximálna hodnota energetickej účinnosti. Vo svete, kde sa ochrana prírodných fosilných zdrojov stala jednou z hlavných priorít, je dôležité nájsť lacné a účinné spôsoby, ako znížiť ich používanie.

Podľa názoru Európskej komisie, ktorá sa zaoberá vývojom technologickej platformy v oblasti energetiky, inteligentná sieť môže byť opísaná v nasledujúcich aspektoch [1]:

- Flexibilita - sieť sa musí prispôsobiť potrebám spotrebiteľov.
- Dostupnosť - sieť by mala byť prístupná pre nových užívateľov, ako nové pripojenie k sieti môžu slúžiť jednotlivé generujúce zdroje.
- Spoločnosť - sieť musí zaručiť, bezpečnosť a kvalitu dodávok elektriny v súlade s požiadavkami digitálneho veku.
- Hospodárnosť – využitie inováčných technológií pri stavbe inteligentnej siete (Smart Grid) v spojení s efektívnym riadením a kontrolou siete.
- Inteligentné siete používajú vysoký počet náročných technológií a majú množstvo smerov rozvoja. V tabuľke č. 1 sú predstavené priority pre rôzne regióny vo vývoji inteligentných sietí.

TABUĽKA 1
 Priority národných projektov inteligentných sietí (Smart Grid)

Región	Prvá úroveň dôležitosti	Druhá úroveň dôležitosti	Tretia úroveň dôležitosti
Tichooceánsky región	Rozložená (decentralizovaná) automatizácia	Software pre sieťové operácie	Modernizácia elektrickej siete
Čína	Rozložená (decentralizovaná) automatizácia	Infraštruktúra AMI	Modernizácia elektrickej siete
Európa	Software pre sieťové operácie	Analýza údajov	Infraštruktúra AMI
Latinská Amerika	Modernizácia elektrickej siete	Infraštruktúra AMI	Rozložená (decentralizovaná) automatizácia
Severná Amerika	Analýza údajov	Software pre sieťové operácie	Rozložená (decentralizovaná) automatizácia

A. Projekty inteligentných sietí v Európe

Použitie inteligentných sietí (Smart Grid) je prioritou pri vývoji elektrických sietí v Európe. Skutočné masové uplatnenie technológií inteligentných sietí umožňuje nie len lepšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ale vedie aj k optimalizácii nákladov na energiu a prevádzku elektrizačnej sústavy, teda aj zvýšenie konkurencieschopnosti energetických spoločností. V súčasnosti v Európe existuje 503 projektov. Investične náklady sú 3,7 mld. [2].

B. Inteligentné siete v USA

Vláda Spojených štátov schválila program rozvoja inteligentných sietí v roku 2009. Bude zrealizovaných viac ako 407 projektov v 44 štátoch, investične náklady budú približne 338-476 miliárd dolárov. Takmer 7 miliárd \$ bude pridelených na pilotné projekty. Odhadované rozloženie investícií [3]:

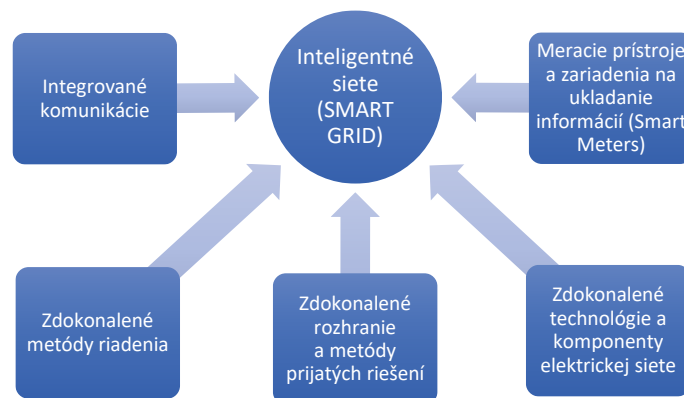
1. Modernizácia zariadení elektrických staníc a elektrických vedení o 19-24%
2. Rozvoj distribučných sietí 69-71%
3. Zákaznícky systém 7-10%

C. Inteligentné siete v Kanade

Kanada je svetovým lídrom vo vývoji inteligentných sietí. Provincie Alberta a Ontário plánujú mnoho miliardových investícií na modernizáciu distribučných sietí. Celková kapacita výroby elektrickej energie v Kanade je 133 GW, vodné elektrárne generujú asi 77 GW. Ďalšie obnoviteľné zdroje generujú okolo 5 GW. Energetické spoločnosti v nasledujúcich 10-15 rokoch plánujú zmodernizovať 80% generujúcich kapacít. Podľa správ Natural Resources Canada, investície do inteligentných sietí v krajine, sa zvýšia z 520 miliónov \$ v roku 2011 na 2,1 miliardy \$ v roku 2020, v súčasnosti existuje 72 projektov a ich počet sa bude zvyšovať. [4].

III. TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ INTELIGENTNÝMI SIEŤAMI

Koncepcia inteligentných sietí sa zameriava nie na modernizáciu určitých technológií a zariadení, ale na revíziu princípov vývoja a tvorby nových, inovatívnych technických zariadení pre elektroenergetiku. Mala by poskytovať úplnejšie uspokojenie požiadaviek spotrebiteľov a iných zainteresovaných strán prostredníctvom významnej zmeny fyzických a technologických charakteristík a funkčných vlastností všetkých zložiek energetického systému [5].



Obr. 1 Základné smery rozvoja technológií pri budovaní inteligentných sietí [5]

Meracie prístroje a zariadenia na ukladanie informácií zahŕňajú predovšetkým inteligentné merače a inteligentné snímače.

Zdokonalené metódy riadenia: distribuované inteligentné riadiace systémy a analytické nástroje na podporu komunikácie na úrovni objektov energetického systému, ktoré pracujú v reálnom čase, umožňujúce implementáciu nových algoritmov a techník riadenia energetického systému vrátane riadenia jeho aktívnych prvkov.

Zdokonalené technológie a komponenty elektrickej siete: Flexibilné alternatívne prúdové prenosové systémy (FACTS), DC prenos, supravodivé káble, mikrosiete, polovodičová výkonová elektronika, skladovanie elektrickej energie atď'.

Zdokonalené rozhranie a metódy prijatých riešení - technológie a nástroje, ktoré umožňujú transformáciu údajov získaných z rôznych objektov siete do informácií na rozhodovanie.

Integrované komunikácie, ktoré umožňujú prvkom štyroch prvých skupín zabezpečiť vzájomné prepojenie a interakciu, čo je v skutočnosti inteligentná sieť ako technologický systém.

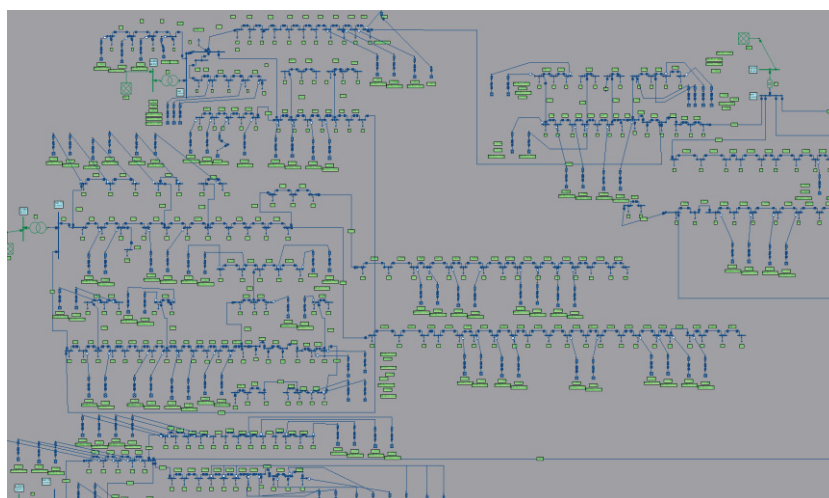
IV. NÁVRH MODELU DEDINY POMOCOU URČENÉHO SOFTVÉRU

Model dediny bol vytvorený v programe NEPLAN, kde bola namodelovaná sieť, pričom boli uvažované viaceré scenáre prevádzky tejto sústavy:

- a) scenár bežnej prevádzky siete, bez využitia OZE a ostatných prvkov inteligentnej siete,
- b) scenár prevádzky siete s integrovanými obnoviteľnými zdrojmi.

Model obce obsahuje:

1. 5 transformátorov
2. 375 domov (zaťaženie)
3. 188 solárnych elektrární
4. elektrické vedenia



Obr. 2 Model dediny programe Naplan

V. ANALÝZA NAVRHNUTÉHO MODELU

Prevádzka mikrosiete si vyžaduje veľmi zložitý postup a dôslednú analýzu. Model umožňuje

pridávanie uzlov a ďalšie rozširovanie namodelovanej siete. Pri analýze prevádzky sme sa zamerali na vplyv obnoviteľných zdrojov na sústavu, vplyv pripojenia fotovoltaiických systémov do jednotlivých bodov napojenia v sústave NN. Pri modelovaní týchto vplyvov sme vychádzali zo štyroch základných scenárov, ktoré odzrkadľujú súčasnú sieť a predpoklad siete budúcnosti. Hlavným predmetom výskumu je vplyv obnoviteľných zdrojov energie na sieťové parametre.

Predpokladané sú hlavné scenáre:

1. Solárne elektrárne budú inštalované na strechách 0% domov.
2. Solárne elektrárne budú inštalované na strechách 10% domov.
3. Solárne elektrárne budú inštalované na strechách 25% domov.
4. Solárne elektrárne budú inštalované na strechách 50% domov.

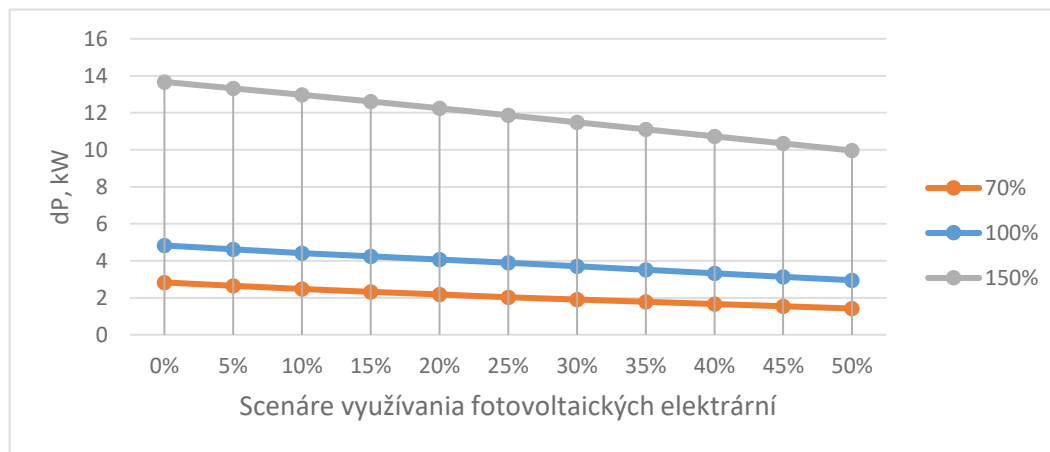
Analýza parametrov siete bude pozostávať z nasledujúcich položiek:

1. Analýza strát činného a jalového výkonu.
2. Analýza skratových prúdov.
3. Analýza napätia v sieťových bodoch.

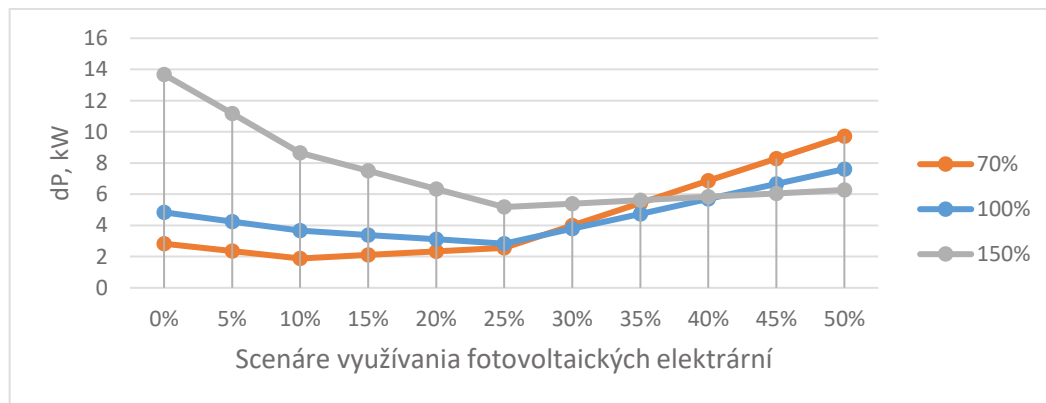
Pre analýzu sa používajú 2 typy fotovoltaiických elektrární. Prvá možnosť pozostáva z kombinácie 2 fotovoltaiických panelov, druhá možnosť z kombinácie 12 panelov.

A. Analýza strát činného a jalového výkonu

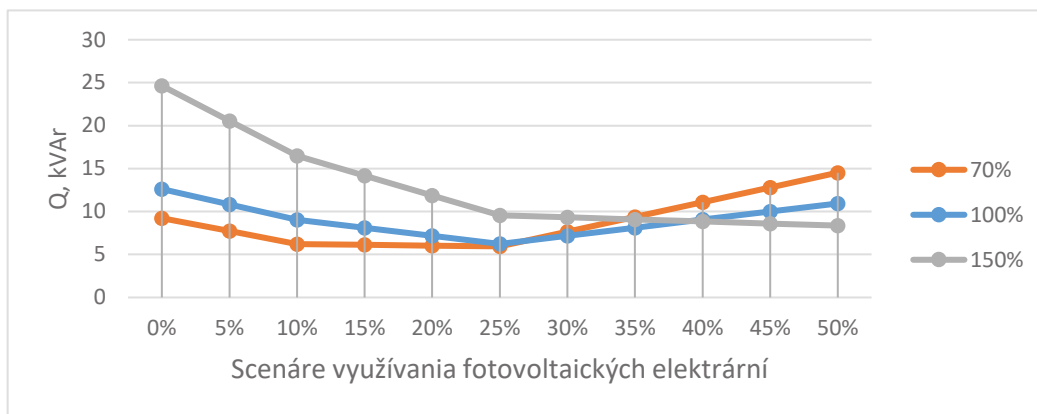
Program Neplan umožňuje používať iba statické hodnoty zaťaženia. Pre vytvorenia modelu boli použité maximálne hodnoty elektrického zaťaženia prevzaté z grafu ročného zaťaženia, tieto hodnoty sú označené, ako **100% zaťaženie**. Väčšinu času je sieť zaťažená na 70-80% od maximálnych hodnôt, z tohto dôvodu bola k analýze pridaná verzia so **70% zaťaženia**. V budúcnosti je možné, že počet obyvateľov v obci porastie, rovnako, ako je možné predpokladať aj to, že technologický pokrok bude napredovať. Tým pádom treba predpokladať, že sa zvýši počet elektrických spotrebičov, čo znamená, že hodnoty zaťaženia vzrastú. Pre tento prípad je znázornená verzia so zvýšenou záťažou, ktorá bude označená, ako **150% zaťaženie**.



Obr. 3 Straty činného výkonu v sieti (2 PV)



Obr. 4 Straty činného výkonu v sieti (14 PV)



Obr. 5 Straty jalového výkonu v sieti (14 PV)

Ako je zrejmé z grafov na obr. 3 - 5, pri použití fotovoltaiických elektrární prvého typu, boli straty podstatne znížené. Pri použití fotovoltaiickej elektrárne druhého typu je možné vidieť ako sú prvé straty znížené, ale vzniká prebytok vyrobenej energie, ktorá sa začína tiecť v opačnom smere, hodnoty strát začínajú narastať. V niektorých prípadoch sa straty značne zvýšili. Tento spôsob fungovania siete nie je ekonomicky prijateľný. Možným východiskom z tejto situácie je použitie zariadenia na akumuláciu elektrickej energie.

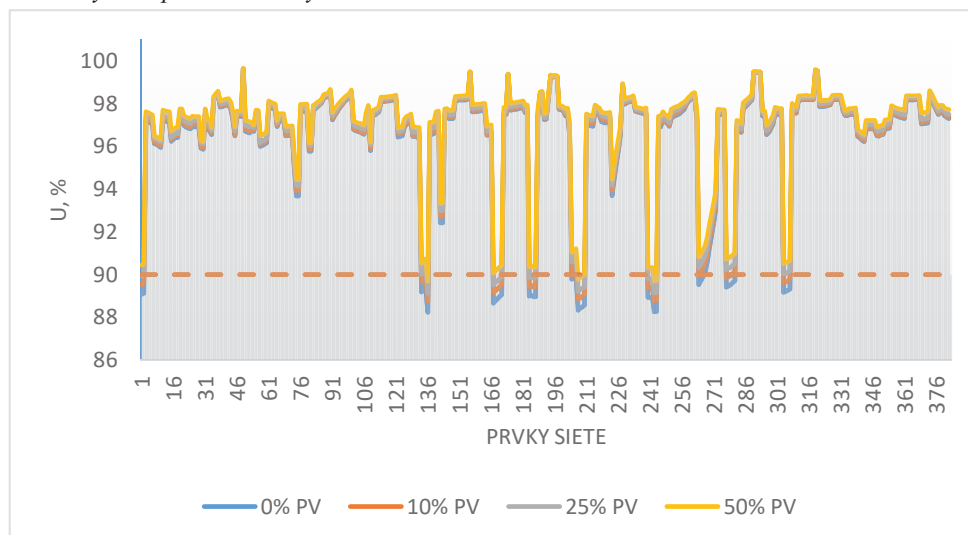
B. Analýza skratových prúdov

V tejto časti sú vypočítané skratové prúdy v sieti obce. V dôsledku skratu dochádza k narušeniu neprerušeného napájania spotrebičov, čo vedie k poruchám a zlyhaniu zariadenia. Preto je potrebné pri výbere prúdových prvkov a prístrojov počítať nielen s prípadom bežnej prevádzky, ale aj v prípade predpokladanej núdzovej prevádzky, ktorá môže byť spôsobená skratom. Výpočet sa vykonáva pre najnebezpečnejší režim núdzového stavu - trojfázový skrat. Výsledky výpočtov sú uvedené v tabuľke č.2.

TABUĽKA 2
 Výsledky výpočtu skratových prúdov v sieti

Miesto skratu	0% PV $I_{K''}, kA$	2 PV			14 PV		
		10%	25%	50%	10%	25%	50%
		$I_{K''}, kA$	$I_{K''}, kA$	$I_{K''}, kA$	$I_{K''}, kA$	$I_{K''}, kA$	$I_{K''}, kA$
L-7391	7,498	7,504	7,511	7,523	7,531	7,575	7,672
bod 24	7,708	7,711	7,714	7,72	7,722	7,749	7,79
L9374	4,009	4,01	4,011	4,013	4,016	4,024	4,04
vv4	6,279	6,283	6,289	6,299	6,313	6,354	6,418
5	5,074	5,075	5,077	5,081	5,086	5,101	5,126

C. Analýza napätia v sieťových bodoch



Obr. 6 Napätie v sieťových bodoch

Podľa technických noriem sa napätie spotrebičov v normálnom režime elektrického systému nesmie líšiť o $\pm 10\%$ menovitého napätia. Vo variante 150% zaťaženia sa objavujú body, v ktorých napätie znižuje viac ako je prípustná hodnota. Zvýšením počtu fotovoltaických panelov sa zníži počet bodov siete, v ktorých je napätie pod prípustnou hodnotou. Zlepšenie dosiahlo 84,62%. Masívne zavedenie fotovoltaických elektrární môže zlepšiť napätie v celej sieti. Samozrejme treba poznamenať, že tieto zlepšenia sú možné len za dobrých meteorologických podmienok. Vyššie je možné vidieť graf, ktorý jasne ukazuje zlepšenie hodnoty napätia v každom bode siete.

VI. ZÁVER

Najaktívnejšie technológie inteligentných sietí sa používajú v Európe, Číne, USA a v Japonsku. V súčasnosti sa implementuje veľa projektov, nie všetky z nich vykazujú pozitívne výsledky, dokonca negatívne výsledky sa objavujú aj v nových štúdiách. Pre vytvorenie inteligentnej siete, je potrebné použiť veľký počet technológií. Pri analýze technológií používaných inteligentnými sieťami je možné skonštatovať, že v súčasnosti je najdôležitejšie zavedenie komunikačných technológií, ako aj inteligentných meracích systémov. Tieto technológie sú základom pre ďalšiu etapu nahradenia starých sietí novými.

V praktickej časti bol vytvorený model skutočnej dediny. Podľa výsledkov výskumu modelu možno vyvodit' nasledovné závery: použitie fotovoltaických elektrární v malých množstvách pozitívne ovplyvňuje prevádzkové režimy siete:

1. Zníženie výkonových strát;
2. Zlepšenie hodnôt napätia u spotrebiteľov;
3. Zníženie zaťaženia vedení a transformátorov.

Nárast výkonu a počtu fotovoltaických elektrární spôsobuje negatívne aspekty použitia, ako napríklad:

1. Zvýšenie skratových prúdov;
2. Energetické toky, ktoré začnú prúdiť do systému;
3. Zvýšenie strát výkonu s nadbytočnou energiou.

Nevýhody možno taktiež pripísať závislosti od meteorologických podmienok. Inštalácia takýchto malých elektrární však nie je centralizovaná, predpokladá scenár, v ktorom sa ľudia začnú aktívne zaujímať o svoje malé elektrárne nehl'adiac na ostatné. V tomto prípade je potrebné používať zariadenia na akumuláciu elektrickej energie, inteligentné meracie systémy a veľké množstvo automatizačných nástrojov, ktoré v budúcnosti vytvoria plnohodnotnú inteligentnú sieť.

POĎAKOVANIE

Túto vedeckú prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

REFERENCES

- [1] European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future [Online]. Luxembourg, European Communities, 2006. [Dátum: 7. Máj 2018.] Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf ISBN 92-79-01414-5
- [2] Smart Grid Portal: Smart Grid Projects. [online]. EURELECTRIC/JRC, 2014. [Dátum: 8. Máj 2018.] Dostupné na internete: https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/project_maps_28_
- [3] Austrian Institute of Technology, Smart Grids – 2014. [Dátum: 9. Máj 2018.] Dostupné online: <http://www.ait.ac.at/departments/energy/research-areas/energy-infrastructure/smart-grids/?L=1>.
- [4] Hiscock J. Smart Grid in Canada 2014 [Online]. [Dátum: 10. Máj 2018.] Dostupné na internete: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/SmartGrid_e_acc.pdf ISSN: 2369-3363
- [5] Kobets B., Volkova I. *Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid.* — М.: ИАЦ Энергия, 2010, ISBN 978-5-98420-075-2