

doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD.

Akumulácia elektrickej energie v elektrickej sieti

Príspevok vysvetľuje dôvody akumulácie elektrickej energie, hlavne v súvislosti s narastaním inštalovaného výkonu v obnoviteľných zdrojoch, poukazuje na možnosti dostupných technológií akumulácie a porovnáva ich na základe vybraných charakteristických ukazovateľov, ako napr. množstvo naakumulovanej energie, čas vybíjania, hustota energie, investičné náklady, účinnosť akumulačného cyklu a pod.

Kľúčové slová: obnoviteľné zdroje; akumulácia elektrickej energie; prečerpávacie vodné elektrárne; chemické technológie; nechemické technológie

I. ÚVOD

Akumulácia energie je taký proces, v priebehu ktorého určitý druh energie sa ukladá za účelom jeho využitia na vykonávanie užitočnej práce v budúcnosti. Energia môže byť v princípe potenciálna (napr. chemická, gravitačná či elektrická) alebo kinetická (napr. tepelná).

Budík ukladá potenciálnu energiu (v tomto prípade mechanickú energiu, uloženú do natiahnutej pružiny), galvanický článok ukladá chemickú energiu ľahko premeniteľnú na elektrickú energiu. Nádrž vodnej elektrárne ukladá potenciálnu energiu vody pre také prípady, keď prítok rieky je nedostatočný na pokrytie spotreby. Vo fosílnych palivách je uložená koncentrovaná slnečná energia naakumulovaná po tisícročiach.

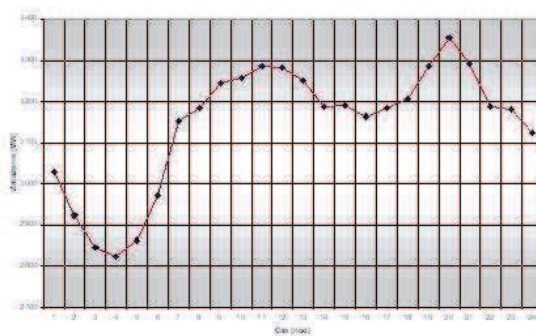
Energiu treba akumulovať v zásade v dvoch prípadoch. Ak je k dispozícii zdroj energie, ktorý nemá dostatočný výkon na pokrývanie energetických nárokov určitého dynamického procesu rýchleho priebehu, treba najprv akumulátor pomaly nabiť, potom počas relatívne krátkeho času (počas vybíjania) bude schopný dodávať požadovaný výkon. Iným prípadom je, keď energia nie je k dispozícii v takom množstve, ako to vyžaduje odberateľ. V takomto prípade je výhodné v čase zníženej odberu ukladať nadbytočnú energiu do akumulátora, aby bola k dispozícii v čase keď spotreba je väčšia ako výroba.

II. MOŽNOSTI POUŽITIA AKUMULÁTOROV ENERGIE V ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVE

Zaťaženie elektrizačnej sústavy je značne kolísavé počas dňa aj počas roka. V noci je nižšie, ráno postupne stúpa a predpoludním dosiahne prvé maximum, ktoré po popoludňajšom poklese spravidla nasleduje druhá, večerná špička (obr.1). Podobne sa mení aj zaťaženie počas týždňa: od pondelka sa zvyšuje, spravidla v stredu dosiahne maximum a potom pozvoľna klesá až do nedele, kedy je minimálne (obr.2). V miernom podnebnom pásme býva zaťaženie sústavy spravidla väčšie v zimnom období, hoci s postupným rozširovaním klimatizácie aj v extrémnych letných horúčavách môžu vzniknúť špičky v spotrebe elektriny (obr.3).

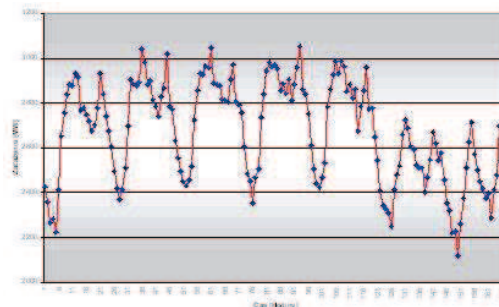
Elektrická energia je vo svojej podstate neskladovateľná, čo znamená, že výroba a spotreba sa musia realizovať súčasne. Mohli by sme povedať, že elektrická energia nie je výrobcom dodávaná, ale zákazníkom odobieraná. Čiže existuje určité monopolné postavenie odberateľa, ktorému sa dodávateľ, samozrejme v závislosti od svojich technických obmedzení, podriaďuje. V prípade väčšiny tovarov existuje objednávka, čakacia doba, preprava tovaru a vydanie tovaru. Pri dodávke elektriny toto všetko neexistuje. Výroba v elektrárnach musí okamžite sledovať zaťaženie siete. Možnosti regulácie výkonu

jadrových elektrární sú obmedzené, výkon dodávaný konvenčnými tepelnými elektrárnami, používajúcimi na výrobu elektriny parné kotly a parné turbíny, je možné iba relatívne pomaly meniť. Ešte oveľa horšia je situácia pri použití veterných elektrární, výkon dodávaný ktorými je determinovaný aktuálnou rýchlosťou vetra, či slnečných elektrární, výkon ktorých zase závisí od počasia, ročného obdobia či je to cez deň alebo v noci, pričom spotreba elektriny býva väčšia práve v čase zníženej intenzity slnečného žiarenia.



Obr.1 Priebeh denného diagramu zaťaženia.

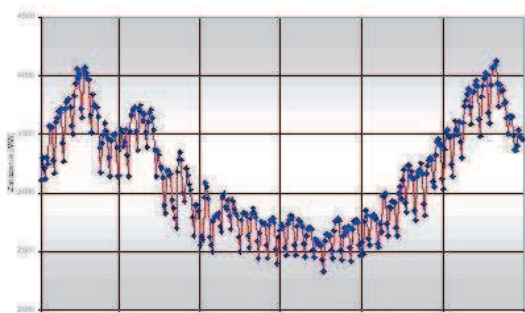
Na zmenu zaťaženia elektrizačnej sústavy reagujú najpružnejšie vodné elektrárne – vodné turbíny sa dajú spúšťať a odstaviť rýchlo, ich výkon je možné dobre regulovať. V tých krajinách, medzi ktoré patrí aj Slovensko, kde vodné elektrárne pokrývajú veľkú časť spotreby elektriny, je oveľa jednoduchšie a lacnejšie inštalovať a prevádzkovať slnečné a veterné elektrárne, pretože vodné elektrárne dokážu relatívne jednoducho kompenzovať ich rapsodické dodávky. Vodnú elektráreň spravidla budujú spolu s vodnou nádržou, ktorá okrem požadovaného spádu a výkonu turbín zároveň umožní aj akumuláciu potenciálnej energie vody.



Obr.2 Priebeh týždenného diagramu zaťaženia.

Naopak, v tých krajinách, v ktorých je malý hydroenergetický potenciál sú dve možnosti na riešenie problému: treba inštalovať také

elektrárne, ktoré sa dajú rýchlo spúšťať i odstaviť, alebo treba použiť akumulátory energie. Využitie slnečnej i veternej energie sa takto výrazne zdražie, pretože do ceny vyrobenej elektriny treba započítať aj investičné a prevádzkové náklady týchto elektrární – obyčajne s plynovými turbínami, či dieselovými agregátmi. Účinnosť týchto dobre regulovateľných elektrární je samozrejme tiež najväčšia pri ich menovitej prevádzke, v prípade čiastočného zaťaženia výrazne klesá, čo spôsobuje zvýšenie ceny vyrobenej elektriny.



Obr.3 Priebek ročného diagramu zaťaženia.

Určitým spôsobom ukladania energie je aj ukladanie fosílnych palív, ale aj takéto riešenie spôsobuje zvýšenie výrobných nákladov elektriny i skutočné straty: uhlie na skládke sa napr. postupne znehodnocuje oxidáciou.

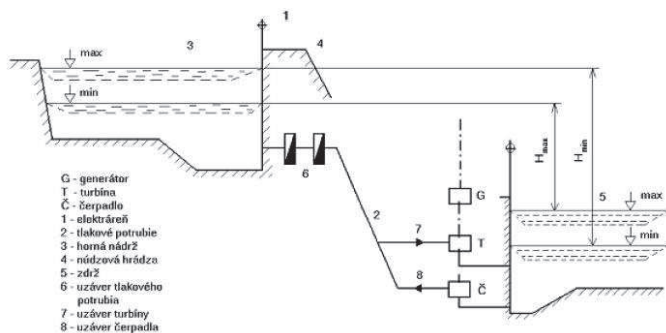
Možnosti nasadenia akumulácie energie sa v zásade riadia napätňovou hladinou.

Prepojená elektrizačná sústava sama o sebe predstavuje istý druh akumulátora, nakoľko stochastické zmeny zaťaženia jednotlivých zákazníkov neprebiehajú súčasne, môžu pôsobiť vzájomne proti sebe a takto sa môžu eliminovať.

Energia „ušetrená“ pri nízkom zaťažení jedným odberateľom, môže byť predaná blízkeho odberateľovi v čase vysokého zaťaženia. Týmto spôsobom možno odložiť, či časovo posunúť výstavbu alebo rekonštrukciu vedenia, či elektrickej siete.

Prečerpávacie vodné elektrárne (PVE)

Princíp PVE je jednoduchý. Majú svoju dolnú a hornú vodnú nádrž prepojenú potrubím, do ktorého sú zaradené vodné turbíny a čerpadlá. Pri prebytku elektrickej energie v sieti čerpadlá čerpajú vodu z dolnej nádrže do vyššie položeného horného nádrže. Elektrická energia sa tak mení v hnacom elektromotore najprv na kinetickú energiu prúdiacej vody a potom na jej potenciálnu energiu – v hornej nádrži. Tam je pripravená, aby v prípade potreby spätným prietokom poskytla výkon vodným turbínám.



Obr. 4 Principiálne usporiadanie prečerpávacej vodnej elektrárne.

Existuje niekoľko variantov, dolná nádrž je obyčajne zriadená za hrádzou priatočnej vodnej elektrárne na riečnom toku, a horná nádrž, s ktorou je spojená cez niekoľko tlakových potrubí, je vybudovaná spravidla na blízkom vrchole. Spády dosahujú 100-500 m, dolná nádrž môže s výhodou slúžiť aj ako zásobník chladiacej vody pre chladiace veže tepelných alebo jadrových elektrární. Väčšie PVE používajú trojstrojové usporiadanie, dnes sa často používa dvojstrojové usporiadanie.

Tepelná akumulácia energie

Z klasických spôsobov akumulácie energie má relatívne najvyššiu účinnosť tepelná akumulácia – účinnosť PVE je 0,50 až 0,75, účinnosť elektrární s akumuláciou stlačeného vzduchu je 0,39 až 0,52 a účinnosť elektrární s tepelnou akumuláciou dosahuje 0,60 až 0,88.

Teplu možno akumulovať v samotnom zdroji tepla (v akumulačnej nádrži), v napájačoch a miestnych rozvodoch horúcej a teplej vody a u odberateľov tepla (v zásobníkoch teplej vody, vo vyrovnávacích akumulátoroch na konci parovodov, v murive a pod.)

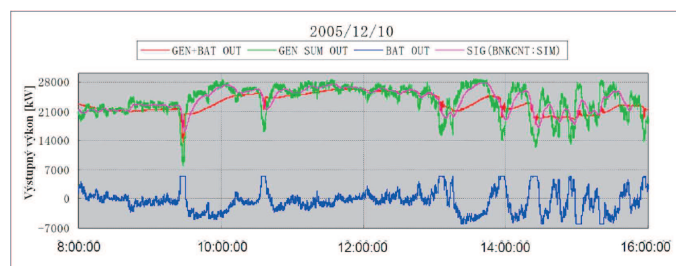
Množstvo akumulovaného tepla závisí na akumulačnom priestore (priemer a dĺžka rozvodu horúcej a teplej vody) a na zvýšení teploty vody v privodnom a spätnom potrubí.

Pomocou dopravného oneskorenia a akumulácie tepla v napájačoch možno riešiť sfázovanie tepelnej a elektrickej špičky [5].

III. NOVÉ TRENDY V AKUMULÁCIÍ ELEKTRICKEJ ENERGIE

V súčasnosti možno uvažovať o šiestich perspektívnych technológiách akumulácie elektrickej energie, ktoré majú potenciál stať sa najdôležitejšími hráčmi na trhu s akumuláciou elektrickej energie. Jedná sa o PVE, zásobníky stlačeného vzduchu, batérie, zotrvačníky, supravodivé magnetické cievky a elektrochemické kondenzátory (superkondenzátory).

PVE patria medzi klasické, najrozšírenejšie a najviac prepracované riešenia, boli opísané v predchádzajúcej kapitole. Princíp činnosti, možnosti, výhody a nevýhody ďalších technológií boli podrobnejšie analyzované v práci [6]. Keďže náplňou nasledujúcej kapitoly bude ich porovnanie na základe vybraných charakteristických ukazovateľov, ako napr. množstvo naakumulovanej energie, čas vybíjania, hustota energie, investičné náklady, účinnosť akumulačného cyklu a pod., v tejto kapitole bude uvedená aspoň ich stručná charakteristika.



Obr.5 Priebek výstupného výkonu veterného parku s inštalovaným výkonom 30 MW s podporou VRB prietokových batérií s výkonom 4 MW.

Elektrochemické akumulátory

Najbežnejšími príkladmi elektrochemických technológií skladovania elektrickej energie sú: olovené akumulátory, sodíkovosírové akumulátory (NaS), prietokové batérie vanádové redoxné (VRB), resp. zinkovo-brómové (ZnBr), niklovo-kadmiové

akumulátory (NiCd), niklovo-metalhydridové akumulátory (NiMH), lítiové iónové akumulátory (Li-ion) a vodíkové články.

Modrá krivka na obr. 5 znázorňuje priebeh nabíjania a vybíjania VRB prietokovej batérie 4 MW podporujúcej veterný park s inštalovaným výkonom 30 MW (Japonsko, Sapporo 2005). Zelená krivka znázorňuje produkciu energie veternými turbínami, červená krivka zobrazuje spoločný výstupný výkon veterného parku a VRB batérií, fialová je zaťaženie siete.

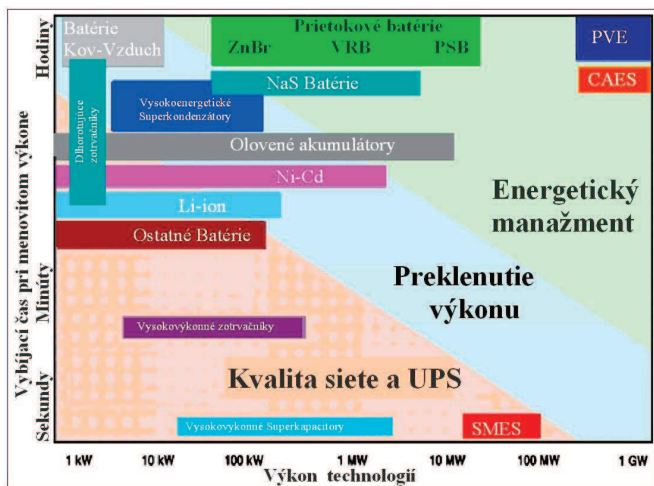
Nechemické technológie akumulácie

Najbežnejšími príkladmi nechemických technológií skladovania elektrickej energie sú PVE, podzemné zásobníky stlačeného vzduchu (CAES), zotrvačníky, superkapacity a supravodivé magnetické akumulátory (SMES).

IV. POROVNANIE JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ AKUMULÁCIE ELEKTRICKEJ ENERGIE

Každá technológia akumulácie má určité vnútorné obmedzenia alebo nevýhody, preto praktické a úsporné využitie majú len pri ohraničenom rozsahu aplikácií. Najdôležitejšími parametrami jednotlivých technológií je dĺžka trvania dodávky naakumulovanej energie, jej množstvo a výstupný výkon (obr.6). Na základe týchto hodnôt môžeme rozdeliť technológie akumulácie do troch základných skupín podľa účelu:

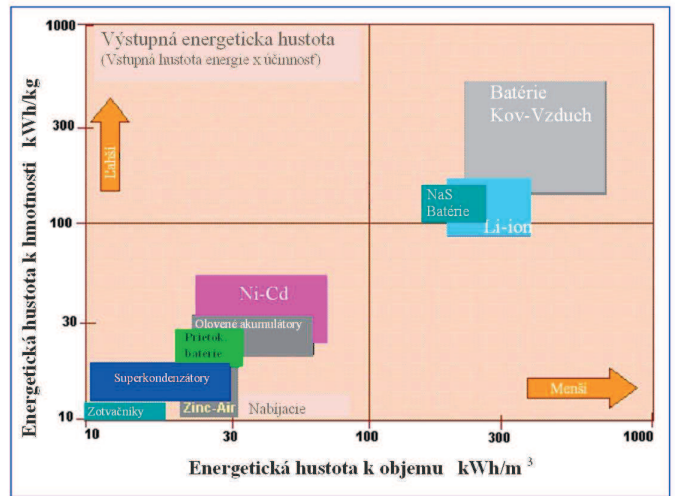
1. Na zabezpečenie kvality elektrickej energie – energia uložená v týchto aplikáciách sa používa len na pár sekúnd alebo menej, aby bola zabezpečená kontinuita kvality siete,
2. Na premostenie dodávky energie – energia uložená v týchto aplikáciách slúži na zabezpečenie kontinuálneho prechodu od jedného zdroja energie na iný,
3. Na hospodárenie s energiou – akumulácia v týchto aplikáciách sa používa na optimalizáciu výroby a spotreby elektrickej energie. Príkladom je vyrovnanie denného diagramu zaťaženia, čo zahŕňa skladovanie energie v čase jej prebytku za nízku cenu a zhodnocovanie podľa potreby počas špičky.



Obr. 6 Typický výkon a čas vybíjania uvažovaných akumuláčnych technológií s uvedením možnosti ich využitia.

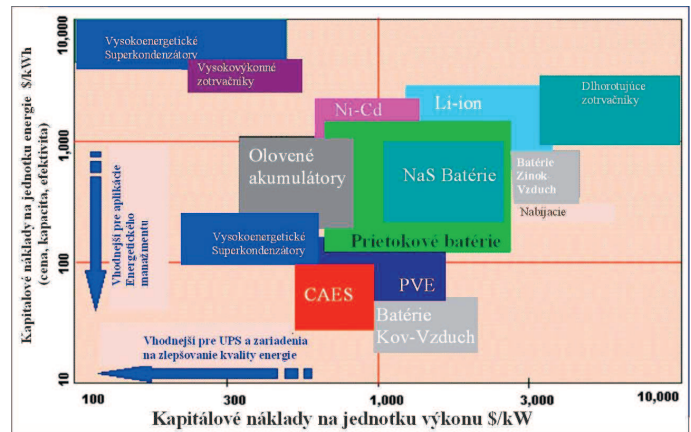
Vo väčšine aplikácií zohráva veľkosť a hmotnosť veľmi dôležitú úlohu, najmä v doprave a v mobilnej komunikácii. Hmotnosť a objem sú buď absolútnym limitom alebo dôležitým faktorom pre použitie

tohto systému. Hustota energie odráža rozdiely medzi jednotlivými výrobcami a modelmi výrobkov (obr. 7).



Obr. 7 Energetická hustota jednotlivých akumuláčnych technológií vzhľadom na hmotnosť a objem jednotiek.

Investičné náklady spojené s takýmto typom skladovania elektriny sú dôležitým ekonomickým parametrom a majú vplyv na celkové náklady jej výroby. Pri analýze nákladov treba brať do úvahy celkové náklady na systém, vzhľadom na jeho životnosť a náklady spojené s výskumom. Napríklad, olovené batérie sú pomerne lacné, no nemusia byť nevyhnutne najlacnejším variantom pre hospodárenie s energiou, vzhľadom na ich relatívne nízku životnosť (obr. 8).



Obr. 8 Porovnanie kapitálových nákladov na jednotku výkonu a energie.

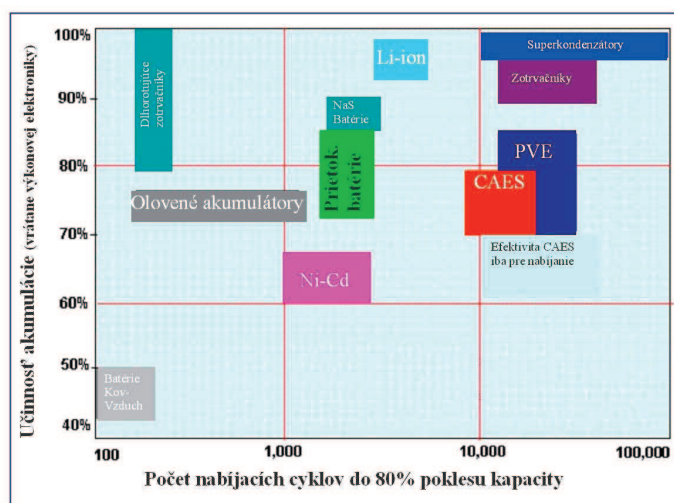
Účinnosť a počet nabíjajúcich cyklov počas životnosti sú veľmi dôležité parametre, ktoré treba zväžiť spolu s ostatnými parametrami pri výbere vhodnej akumuláčnej technológie.

Obidva tieto parametre ovplyvňujú celkové náklady na akumuláciu. Nízka účinnosť zvyšuje náklady na akumuláciu, lebo len časť naakumulovanej energie môže byť využitá znova. Malý počet cyklov takisto zvyšuje celkové náklady na skladovacie zariadenie, kvôli častejšej výmene akumuláčného média (obr. 9).

Na zhodnotenie celkových nákladov na akumuláciu pri použití jednotlivých akumuláčnych technológií najlepšie poslúži porovnanie nákladov na tzv. životný cyklus zariadenia.

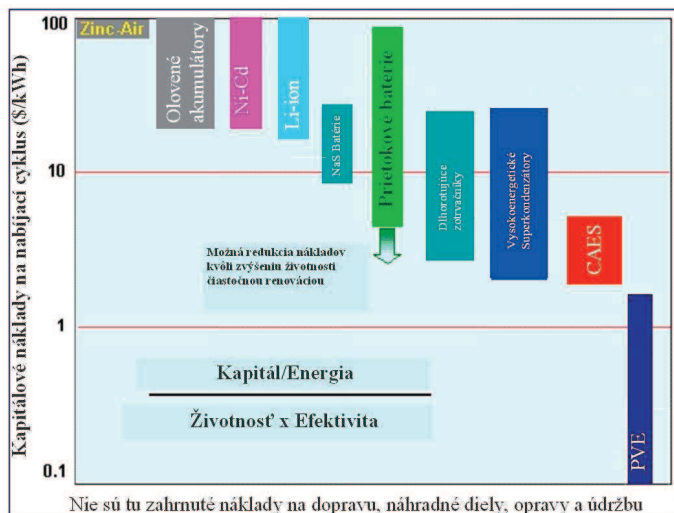
Graf na obr. 10 ukazuje kapitálovú zložku týchto nákladov, s prihliadnutím k životnému cyklu a efektívnosti akumulácie. Pre

komplexnejšie zhodnotenie nákladov životného cyklu, je potrebné tiež zväziť náklady na údržbu a opravy, na vyradenie z používania, výmenu a ďalšie náklady, ktoré sú spojené s prevádzkou a nie sú vopred predvídateľné.



Obr. 9 Porovnanie účinnosti akumulácie a počtu nabíjajúcich cyklov.

Ďalšou perspektívnou technológiou je akumuláciu elektrickej energie do vodíka. Bola navrhnutá výroba vodíka elektrolyzou vody v kombinácii s vodíkovými palivovými článkami. Účinnosť elektrolyzy je v súčasnosti okolo 0,7, účinnosť palivových článkov je 0,5, takže efektívnosť celého cyklu akumulácie je v najlepšom prípade 0,35. Pretože je to hlboko pod účinnosťou iných technológií akumulácie, vodíkovými palivovými článkami sme sa v tomto príspevku nezaoberali.



Obr. 10 Celková ekonomická efektívnosť akumuláčnych technológií.

V. ZÁVER

Téma akumulácie elektrickej energie sa v poslednom čase stáva predmetom diskusií na rôznych vedeckých a environmentálnych fórach. Hlavnou príčinou týchto debát je zvyšujúca sa celosvetová spotreba energií a z nej vyplývajúce znižovanie zásob fosílnych palív. Výskumy v oblasti hľadania nových zdrojov lacnej energie pre uspokojenie potrieb ľudstva, ako náhrady za doteraz používané fosilne

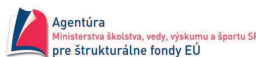
palivá, zatiaľ nedosiahli uspokojivé výsledky. Preto minimálne v najbližších 20 rokoch budú fosilne palivá a jadrová energia naďalej hlavným energetickým zdrojom.

Jedným zo spôsobov, ako zmenšiť podiel tradičných, neobnoviteľných zdrojov na celkovej výrobe a spotrebe energie je využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Spoľahlivý a cenovo dostupný spôsob akumulácie elektrickej energie je základným predpokladom pre využitie OZE v odľahlých lokalitách, s cieľom integrácie do elektrizačnej sústavy a rozvojom budúceho decentralizovaného systému dodávok elektrickej energie. Akumulácia energie má kľúčovú úlohu v úsilí spojiť budúcnosť udržateľných dodávok energie s týmto štandardom kvality poskytovaných technických služieb a produktov, ktorý sa vyžaduje a v súčasnosti je aj bežný pri využívaní klasických zdrojov energie.

Prioritnou úlohou výskumu v oblasti elektroenergetiky sa v súčasnosti stáva hľadanie čo najefektívnejších a najprogressívnejších metód akumulácie elektrickej energie, na čo okrem iných cieľov slúži aj tento projekt.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] P. Denholm, et al., "The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation," *NREL/TP-6A2-47187*, January 2010, p. 61.
- [2] L. Dickerman, et al., "Challenges of Electricity Storage Technologies," *APS Physics*, May 2007, p. 27.
- [3] S. Isser, "Electricity storage white paper," Austin, January 2010, p. 17.
- [4] S. M. Kaplan, "Electric Power Storage," *CRS*, 2009, p. 35.
- [5] M. Kubín, "Energetika," *Perspektivy-strategie-inovace*, JME, 2002, p. 544.
- [6] A. Mészáros, "Možnosti akumulácie elektrickej energie z OZE," in: *Proc. Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny z obnoviteľných energetických zdrojov 2011*, pp. 25-28. ISBN 978-80-553-0736-7.
- [7] R. Peters, - L. O'Malley, "Storing Renewable Power," *Pembina Institute*, June 2008. p. 47. ISBN 1-897390-15-7.
- [8] J. Polívka - Z. Vostracký, "Akumulace energie je strategickým úkolem pro výzkum," in: *Proc. Elektroenergetika 2009*, pp. 184-190. ISBN 978-80-553-0401-4.

ADRESY AUTOROV

Alexander Mészáros, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04120, Slovenská republika, Alexander.Meszaros@tuke.sk