

Porovnanie zariadení pre akumuláciu elektrickej energie pre domácnosť

¹Branislav VANGOR, ²Dušan MEDVEĎ

¹² Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

¹branislav.vangor@student.tuke.sk, ²dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — V súčasnosti narastá čoraz viac spotreba elektrickej energie. Obnoviteľné zdroje nám ponúkajú množstvo energie najmä počas dňa, keď to najmenej potrebujeme. Akumuláciou vieme túto energiu uložiť v rôznych formách a využiť neskôr keď ju potrebujeme. Tento článok sa venuje popisu vybraných možností akumulácie energie a porovnaniu či sú vhodné pre použitie v domácnosti.

Kľúčové slová — akumulácia elektrickej energie, akumulčné systémy, batérie;

I. ÚVOD

V posledných rokoch stúpla spotreba energie po celom svete a to najmä v ekonomicky vyspelých krajinách, ako aj v rozvojových krajinách. V rámci zvýšenia spotreby, enormne narástol dopyt po elektrickej energii. Ďalším významným faktorom je zvyšovanie počtu obyvateľstva a zvyšujúca sa životná úroveň, ktorá súvisí s ekonomickým rastom. Veľká časť spotreby energie je pokrytá z fosílnych energetických zdrojov, pritom ich dostupný potenciál sa značne znižuje, ich cena zase rastie nepretržite a stále rýchlejším tempom. Postupne narastá úloha alternatívnych energetických zdrojov ako sú napríklad obnoviteľných zdrojov energie. Okrem toho čelíme v dôsledku využívania fosílnych palív s environmentálnymi problémami už teraz. Výroba elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie je pomerne ťažko predikovateľná a kolíše počas dňa. Hoci je v obnoviteľných zdrojoch veľký potenciál, nevieme ho dostatočne využiť. Toto je jednou z hlavných nevýhod výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie, preto je potrebné sa zaoberať čoraz viac myšlienkou akumulácie elektrickej energie. Možnosti akumulácie energie sú rôzne, pričom nie je možné akumulovať priamo elektrickú energiu, ale ju ukladať ako neelektrickú energiu, ktorú v budúcnosti využijeme ako elektrickú energiu.

II. AKUMULÁCIA ENERGIE

Elektrická energia sa využíva vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Ľudstvo sa stalo závislé od jej aktuálnej ponuky. V elektrárňach, kde sa elektrická energia vyrába, sa pomocou prenosovej a distribučnej sústavy prenáša k miestu spotreby a k spotrebiteľom. Elektrárne musia svoju výrobu prispôbovať aktuálnej spotrebe. Uskladnenie elektrickej energie vo väčších množstvách je ťažké. Ukladanie energie obsahuje premenu energie z foriem, ktoré sa ťažko skladujú, na pohodlnejšie alebo ekonomicky uskladniteľné formy. Žiadna akumulácia nie je bezstratová, pri každom druhu akumulácie dochádza k určitým stratám energie. Akumuláciou elektrickej energie na inú formu a jej spätné využitie vo forme elektrickej energie umožňuje skutočnosť, že už nie je potrebné dodržiavať rovnováhu medzi výrobou a spotrebou elektrickej energie.

Akumulácia energie je taký proces, v priebehu ktorého určitý druh energie sa ukladá za účelom jeho využitia na vykonávanie užitočnej práce v budúcnosti. Pre tento účel je v súčasnosti možné využiť širokú škálu akumulčných zariadení, ktoré keďže slúžia na ukladanie energie, zvyknú sa označovať aj pojmom energetické úložiská.

Energiu treba uskladňovať v zásade v dvoch prípadoch. V prvom prípade je k dispozícii zdroj energie, ktorý ale nemá dostatočný výkon na pokrývanie energetických nárokov určitého dynamického procesu rýchleho priebehu. Iným prípadom je, keď energia nie je k dispozícii v takom množstve, ako to vyžaduje odberateľ.

Dopyt po elektrickej energii sa mení v rôznych časoch, má rôznu dennú, týždennú, ročnú, či sezónnu charakteristiku.

Pre skladovanie elektrickej energie môžu byť vhodné rôzne typy energií:

- **Mechanická**
 - stlačený vzduch (CAES)
 - zotrvačníky
 - prečerpávacie vodné elektrárne
- **Elektrická**
 - superkapacitor (EDLC)
 - magnetické supravodiče (SMES)
- **Tepelná**
 - uloženie merného tepla
 - uloženie latentného tepla
- **Elektrochemická**
 - vodík (palivový článok)
 - tradičné akumulátory (Pb, NiCd, NiMh)
 - moderné akumulátory s vnútornou akumuláciou (Li ion, NaS)
 - moderné prietokové kyselinové akumulátory (VRB, ZnBr)

Pre jadrovú elektráreň, ktorá je finančne nákladná, je najlepšie, aby pracovala na konštantnom výkone. V noci, keď odberatelia spotrebujú asi polovicu energie ako počas dňa, sa výkon elektrárni musí upravovať. Počas noci máme prebytok elektrickej energie, a preto je táto nočná elektrina lacnejšia. Prebytočný výkon v sústave pomáha spotrebovať prečerpávacia elektráreň, ktorá čerpá vodu z dolnej nádrže do hornej nádrže.

Batérie patria v súčasnosti k často využívaným prostriedkom pre ukladanie energie. Elektrická energia sa v týchto zariadeniach mení na chemickú. Následne, sa uložená chemická energia mení na elektrickú. Batéria sa skladá z jedného alebo viacerých elektrochemických článkov [1].

Využívanie batérií sa postupne obmedzovalo. Avšak vďaka novým technológiám a materiálom, batérie sa začínajú opäť používať. V elektrochemických článkoch sa na rozdiel od kondenzátorov energia uchováva vo forme chemickej zlúčeniny a nie ako kladné a záporné elektrické náboje v kondenzátore. Nabíjanie a vybíjanie je v porovnaní s kondenzátormi pomalšie, ale hustota energie môže byť až trikrát väčšia [2].

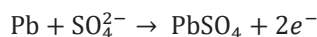
III. MOŽNOSTI AKUMULÁCIE

A. Elektrochemické spôsoby akumulácie

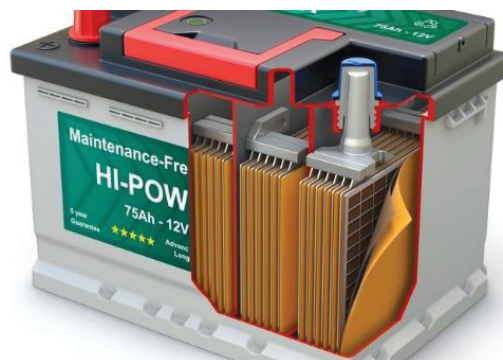
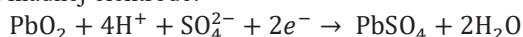
1) Olovený akumulátor

Olovený akumulátor bol vyvinutý v roku 1859. Patrí medzi najstaršie a najčastejšie používané elektrochemické zariadenia. Olovený akumulátor pozostáva z olovených elektród a elektrolytu. Elektrolyt tvorí vodou riedená kyselina sírová H_2SO_4 v koncentrácii 35 %. Elektrolyt môže byť nasiaknutý do vaty zo sklenených vlákien (AGM batéria) alebo vo forme gélu (gélková batéria). V nabitom stave aktívnu hmotu zápornej elektródy tvorí olovo a kladnej elektródy oxid olovičitý PbO_2 . Vybíjaním sa aktívna hmota elektród mení na síran olovnatý PbSO_4 a elektrolyt je ochudobnený o kyselinu sírovú a obohatený o vodu. Pri vybíjaní sa teda znižuje koncentrácia elektrolytu a pri nabíjaní narastá [3], [4].

Chemická reakcia na zápornej elektróde:



Chemická reakcia na kladnej elektróde:



Obr. 1 Olovený akumulátor v reze

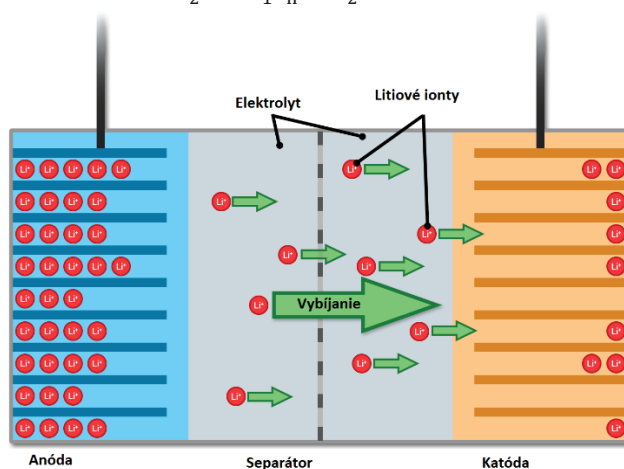
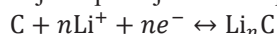
2) Lítium-iónový akumulátor

Prvé lítiové batérie boli použité pre elektroniku, v súčasnosti sa používajú v elektrických vozidlách. Využívajú sa v širokom spektre aplikácií na uloženie energie, od batérií s niekoľkými kWh v obytných systémoch až po sústavy batérií na poskytovanie doplnkových služieb. Lítium-iónové bunky sa vyrábajú vo valcovom alebo obdĺžnikovom tvare. Tieto bunky sú spájané do modulov v sérii alebo paralelne [5].

Katóda je vyrobená z oxidu kovu lítia, ako je napríklad LiMO_2 a LiCoO_2 , anóda je vyrobená z grafitového uhlíka. Elektrolyt je tvorený bezvodnou organickou kvapalinou, ktorá obsahuje rozpustené lítiové soli, napríklad LiClO_4 . V súčasnosti sa vyrábajú v dvoch variantoch a to Li-ion a Li-pol [1].

Na slovenskom trhu sa najčastejšie používajú práve Li-ion batérie (87%), iba 8% používa novší typ Li-pol, ktoré majú nižší objem a hmotnosť.

Reakcie, ktoré prebiehajú na kladnej a zápornej elektróde počas nabíjania/vybíjania:



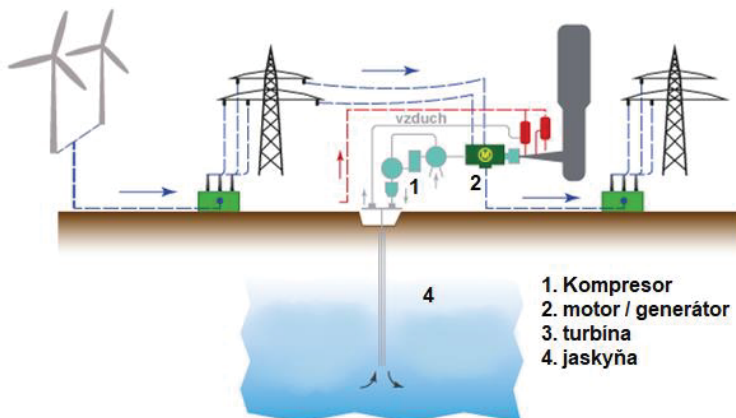
Obr. 2 Princíp činnosti Li-ion akumulátora

Lítiovo-polymérové akumulátory sú najnovším typom, majú vylepšenú technológiu jadra, z tohto dôvodu sú tenšie a ľahšie pri zachovanej kapacite. Majú ale vysokú cenu, preto sa používajú iba pri špičkovej elektronike. Do bežných mobilov či notebookov sa nepoužívajú, pretože ich použitím by došlo k zvýšeniu cien daných elektronických zariadení (hodnota batérie predstavuje 5 až 20 % z ceny zariadenia).

B. Mechanické spôsoby akumulácie

1) Stlačený vzduch

Skladovanie elektrickej energie stlačeným vzduchom (CAES – compressed air energy storage) je jeden z možných spôsobov, ako uložiť elektrickú energiu pre potrebu v inom čase. V čase nízkeho dopytu sa elektrická energia odoberá a ukladá formou stlačeného vzduchu, ktorého potenciálna energia je potom v čase špičky premieňaná naspäť do elektrickej formy a následne využívaná, čo umožňuje doceliť uspokojenie dopytu.



Obr. 3 Schéma CAES

Princíp činnosti je podobný ako u prečerpávacích vodných elektrární. Rozdiel je iba v médiu, s ktorým pracujú. V čase malého odberu sa v zariadení CAES vzduch alebo iný plyn ukladá pod tlakom do jaskyne alebo iného tlakového zásobníka. Ak chceme využiť naakumulovanú energiu, stlačený vzduch sa zahrieva a v expanznej turbíne expanduje, kde roztočí turbínu, ktorá je na spoločnom hriadeľi s generátorom. Na uloženie väčšieho množstva energie slúžia ako zásobníky opustené bane či iné vhodné skalné útvary. Pre uskladnenie menšieho množstva energie sa používajú tlakové nádoby. Ak je podzemný zásobník prepojený s vodnou hladinou na povrchu zeme, je to z dôvodu udržania konštantného tlaku v zásobníku [5], [6].

IV. POROVNANIE ZARIADENÍ PRE AKUMULÁCIU

Na porovnanie zariadení bol vytvorený jednoduchý program v prostredí MS Excel. Titulnú stranu programu pre zadávanie vstupných informácií môžeme vidieť na Obr. 4. Pre určenie jednotlivých zariadení bol zvolený rodinný dom, blízko Košíc. Úžitková plocha domu je 105,6 m². V dome je priemerná denná spotreba elektrickej energie 5 kWh. Na ohrev teplej úžitkovej vody, vykurovanie a varenie, je použitý zemný plyn. Elektrická energia v dome je využívaná na osvetlenie a chod ostatných bežných spotrebičov v domácnosti. Akumulácia elektrickej energie bude zabezpečená z fotovoltaickej elektrárne (FVE). V programe je možnosť zvoliť si z dvoch ponúkaných výkonov 1,5 kWp a 2,3 kWp pre FVE. Program na základe zvolenej možnosti určí cenu za zvolenú fotovoltaickú elektráreň. Tlačidlom „Ukáž údaje FVE“ je možné si pozrieť základné údaje fotovoltaiky. V ďalšom kroku si užívateľ vyberá z možností dlhodobé a krátkodobé využitie uloženej energie. Následne si už môže vybrať akumulčné zariadenie zo zoznamu, ktorý je závislý od jeho výberu v predchádzajúcom kroku. Po zvolení zariadenia, si používateľ môže zobrazit' technické údaje akumulčného zariadenia a informácie pre užívateľa kliknutím na tlačidlo „Technické údaje“.

Program na výpočet akumulčných zariadení	
Legenda Vybrať hodnotu z rolovacieho menu Prepojenie na iný hárok Importované hodnoty z iných buniek	
Typ budovy	Rodinný dom
Z čoho budeme akumulovať	Fotovoltaika
Fotovoltaický systém	HYBRID
Denná spotreba [kWh]	5
Maximálny výkon panelov [kWp]	1,5
Cena s DPH za FVE [€]	3614
Technické údaje FVE	Ukáž údaje FVE
Čas využitia	Dlhodobé využitie
Akumulačné zariadenie	LiFePO4 2,4kWh
Technické údaje zariadenia	Technické údaje

Obr. 4 Ukážka titulnej strany programu pre určenie akumulčného zariadenia

Ukážka technických údajov a informácií pre používateľa je znázornená na Obr. 5. Informácie pre užívateľa obsahujú informatívne časy počas, ktorých dokáže zariadenie dodávať elektrickú energiu pre domácnosť a čas, za ktorý sa zariadenie nabije. Tieto časy majú iba informatívny charakter, pretože čas, ktorý dokáže zariadenie zásobovať domácnosť elektrickou energiou je vypočítaný pre celkové vybitie zariadenia. Nie je vhodné zariadenia vybiť na 100 %. Výrobca zariadenia udáva počet cyklov pri určitom vybití. Ak sa tento údaj prekročí, klesá životnosť zariadenia. Tento vypočítaný údaj je iba ukazovateľ, aké množstvo energie dokáže zariadenie uchovať pre človeka neznaleho tejto problematiky. Čas, ktorý je potrebný k nabitíu je vypočítaný pre optimálne podmienky výroby elektrickej energie z fotovoltaickej elektrárne, vtedy je

dosiahnutý maximálny nabíjací prúd, ktorý je závislý od použitej fotovoltiky. Ideálne podmienky máme dosiahnuté počas slnečných letných dní.


[Návrat na úvodnú stranu](#)

Technické špecifikácie BMZ ESS X Li-Ion 48V 186Ah 10kWh

Všeobecné vlastnosti	ESS X
Energia (menovitá/reálna)	10,6 kWh/8,05 kWh
Menovité napätie	54 V
Maximálne napätie	61,5 V
Minimálne napätie	45,0 V
Kapacita (menovitá/reálna)	186,3 Ah/ 149,1 Ah
Maximálny prúd pri nabíjaní	90 A
Maximálny prúd pri vybíjaní	300 A (3 sekundy)
Maximálny výkon vybíjania	18 kW
Hmotnosť	99 kg
Rozmery ŠxVxH (mm)	638 x 421 x 487
Komunikácia SMA	CAN
Hĺbka vybitia	80%
Počet cyklov	5000



INFORMÁCIA PRE POUŽÍVATEĽOV:

- Teplota článkov pri vybíjaní: 2 ° C do 45 ° C
- Teplota článkov pri nabíjaní: 2 ° C do 45 ° C
- Odporúčaná teplota akumulátora: 10 ° C do 25 ° C
- Samovybíjanie článkov: cca 2% ročne
- Maximálny počet paralelne spojených akumulátorov: 12 (povinný dodatočné vybavenie)
- Trieda krytia: IP 21
- Označenie CE: áno
- UN test 38.3: áno

Cena **4300 € bez DPH**
5160 € s DPH

Informácie pre užívateľa



Kapacita použitej batérie je rovná 10 kWh

Doba použiteľnosti pri 100% nabití: **1 deň 14 hodín***

Doba nabíjania na plnú kapacitu: **6 hodín 30 minút****

Výhody:
 Veľmi vysoká hustota energie - 200 Wh / kg. .
 Relatívne vysoká kapacita s malým objemom a hmotnosťou.
 Takmer žiadne samovybíjanie (do 5%).
 Nemá pamäťový efekt.
 Životnosť 5000 nabíjajúcich cyklov.

Nevýhody:
 Nebezpečenstvo výbuchu alebo vznietenia pri nesprávnom používaní
 Vadí jej úplné vybitie.
 Recyklácia je zatiaľ veľmi obtiažna a nákladná.

* počítané s hodnotou DOD 80%, kedy výrobca udáva Životnosť 5000 cyklov
** uvedený údaj má iba informačný charakter, počítalo sa s maximálnym prúdom nabíjačky, ktorý je dosiahnutý iba pri optimálnych podmienkach

Obr. 5 Ukážka technických údajov a informácii pre užívateľa

Pri použitých akumuláčnych zariadeniach bola pri niektorých typoch uvedená kapacita batérie v ampérhodinách, pri iných bola uvedená energia vo watthodinách. Pri výpočte bolo preto potrebné počítať s energiou a pri iných typoch, bolo potrebné uvažovať s kapacitou batérie. Preto bolo potrebné prepočítavať jednotlivé hodnoty.

A. Príklad prepočtu kapacity batérie na množstvo uloženej energie

Pre výpočet času využitia bolo potrebné poznať uloženú energiu v batérii. Ako príklad je nižšie uvedený výpočet pre olovený akumulátor 230 Ah s napätím 12 V.

Postup výpočtu:

$$230 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 2760 \text{ Wh} = 2,76 \text{ kWh} \quad (1)$$

B. Príklad prepočtu uloženej energie na kapacitu batérie

Pre výpočet doby nabíjania akumuláčného zariadenia bolo potrebné poznať jeho kapacitu. Ako

príklad je nižšie uvedený výpočet pre batériu LiFePO₄ s energiou 3,6 kWh a napätím 48 V.

Postup výpočtu:

$$\frac{3600 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 75 \text{ Ah} \quad (2)$$

Ak je známe množstvo uloženej energie a kapacita akumuláčného zariadenia, je možné stanoviť dobu, počas ktorej dokáže domácnosť fungovať z akumuláčného zariadenia. Priemerná uvažovaná denná spotreba elektrickej energie v domácnosti je 5 kWh. Príklad, pre olovený akumulátor 230 Ah, 2,76 kWh, 12 V:

$$t_{\text{využitia}} = \frac{2,76 \text{ kWh}}{5 \text{ kWh}} = 0,552 \text{ dňa} = 13 \text{ h } 15 \text{ min} \quad (3)$$

Prepočet energie na kapacitu akumulátora bol dôležitý práve pre výpočet času nabíjania akumuláčného zariadenia. Príklad je uvedený pre olovený akumulátor 230 Ah a nabíjanie bude prebiehať z FVE 1,5 kWp, kde je nabíjací prúd 40 A.

$$t_{\text{nabíjania}} = \frac{(Q \cdot 1,4)}{I_{\text{nab}}} = \frac{(230 \text{ Ah} \cdot 1,4)}{40 \text{ A}} = 8,05 \text{ h} = 8 \text{ h } 3 \text{ min} \quad (4)$$

kde: Q kapacita akumulátora [Ah]

I_{nab} prúd nabíjačky [A]

V. ZHRNUTIE

Tento príspevok sa zaoberal akumuláciou elektrickej energie v rôznych formách. Vo vytvorenom programe je umiestnených spolu 11 zariadení pre akumuláciu energie: olovený akumulátor 230 Ah, AGM akumulátor 230 Ah, li-ion akumulátor v troch možnostiach 6,8 kWh, 8,5 kWh a 10 kWh. Nasleduje zotrvačnickové úložisko, vanádiová redoxová batéria rôznych výkonov a množstvom energie, ktoré dokážu uložiť energiu s nasledovným využitím (P, E) 5 kW 20 kWh, 5 kW 40 kWh, 10 kW 75 kWh. Ako posledné zariadenie je použitý lítium železo fosfátový akumulátor 2,4 kWh a 3,6 kWh. Pri výbere akumuláčného zariadenia je potrebné prihliadať nielen na cenu daného zariadenia, ale aj na životnosť akumuláčného zariadenia. Ako príklad uvádzame olovený akumulátor, kde výrobca udáva 400 cyklov pri 40 % vybití a li-ion akumulátor ponúka až 5000 cyklov pri 80 % vybití. Batéria typu li-ion je v porovnaní s oloveným akumulátorom značne drahšia, li-ion akumulátor stojí v priemere 31 eur za 1 Ah kapacity, pričom olovený akumulátor stojí iba 1,4 eura za 1 Ah kapacity. Li-ion akumulátor má až 12-krát väčší počet cyklov ako olovený akumulátor. Ako najlepšie zariadenie zo všetkých vychádza vanádiová redoxová batéria, ktorá umožňuje vybitie až 100 %, ale vyžaduje si väčšiu investíciu oproti iným zariadeniam. Vo vytvorenom programe vyšlo ako nevhodné zotrvačnickové úložisko z dôvodu, že je potrebné vstupné napätie 400 V AC a zariadenie dokáže dodávať elektrickú energiu iba 15 až 30 sekúnd. Vývoj ide stále dopredu a teda aj technológie akumulácie elektrickej energie sa posúvajú stále dopredu. Čo v dnešnej dobe nie je možné zaobstarať pre určité bezpečnostné riziká (napr. supravodivé magnetické akumulovanie, ktoré je náročné na chladenie), p pár rokov môže byť bežne dostupné v menších výkonoch, ktoré budú vhodné pre použitie aj v domácnosti.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] Kolcun, M., Vojtek, M., „Výskum rôznych možností využitia energetických úložísk v elektrizačnej sústave“. 1. vydanie Košice: TUKE, 2018. ISBN 978-80-553-2711-2.
- [2] Murtinger, K. „Ukládání elektřiny z fotovoltaických a větrných elektráren“, 2011. [online] [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: <<https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektřiny-z-fotovoltaických-a-větrných-elektráren.aspx>>.
- [3] National natural science foundation of China, „Progress in Natural Science: Materials International“. 2011. [online] [cit. 2020-05-18]. Dostupné: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100200710800381X>>.
- [4] „Olovený akumulátor“. [online] [cit. 2020-05-18]. Dostupné na internete: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BDakumul%C3%A1tor>>.
- [5] Energieportal, „Skladovanie energie – všetko, čo potrebujete vedieť o uskladňovaní elektriny“. [online] [cit. 2020-05-20]. Dostupné na internete: <<https://www.energie-portal.sk/Dokument/skladovanie-energie-vsetko-co-potrebuje-vediet-o-uskladnovani-elektřiny-104204.aspx>>.
- [6] Petro, Š., „Dôvody a možnosti akumulácie elektrickej energie v súvislosti s rozšírením obnoviteľných zdrojov energie a porovnanie dostupných technológií“ [online] [cit. 2020-05-19]. Komárno: Projektstav Komárno s.r.o., 2013. Dostupné na internete: <<http://www.gesc.sk/wp-content/uploads/2014/09/Dovody-a-moznosti-akumulacie-elektrickej-energie-v-suvistlosti-s-rozsirenim-obnovitelnych-zdrojov-energie-a-porovnanie-dostupnych-technologii.pdf>>.
- [7] Vangor, B., „Porovnanie zariadení pre akumuláciu energie pre domácnosť“, Bakalárska práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2020.