

Výskumno-vývojová činnosť Centra obnoviteľných zdrojov energie (COZE) ako príspevok k využívaniu energie vetra na Slovensku

Kudelas Dušan a Rybár Radim¹

Research and development as contribution of the Renewable Energy Sources Centre to the wind energy utilization in Slovakia

The expected development of renewable energy sources utilization was not reached in last years in Slovakia. This is caused by some barriers. These barriers decrease the easiness of investments into the Renewable energy sources utilization. We recognize specific barriers for each of renewable energy sources and general barriers for all renewable energy sources. Activities of the Renewable Energy Sources Centre help to eliminate both specific and general barriers in Slovakia. The main activities are: a realization of research projects, working out expertises and feasibility studies, information of public about principals and specifics of the wind energy utilization. How the Renewable Energy Sources Centre encourages of the utilization wind energy can be demonstrated on one of the research projects: The designing a stable standpoint with a sufficient storage tank of wind energy, possibly of compressed air. The wind energy serves as a primary resource when it powers the compressor, which fills the pneumatic accumulator (storage tank of compressed air). The compressed air is at a time of peak endurance consumed from pneumatic accumulators for the work of pneumatic engine, which powers the generator and the produced electric energy is being supplied to the public network.

Key words: wind energy, accumulation storage, energy supply, peak endurance

Úvod

V posledných rokoch nebol na Slovensku dosiahnutý očakávaný rozvoj využívania obnoviteľných zdrojov energie (OZE), čo je spôsobené existenciou určitých bariér. Tieto bariéry znižujú ochotu investovať do projektov na využívanie OZE. Bariéry sú analyzované na dvoch úrovniach. Prvá úroveň identifikuje špecifické bariéry, ktoré bránia rozvoju využívania konkrétneho druhu OZE. Druhá úroveň analyzuje bariéry, ktoré obmedzujú rozvoj využívania obnoviteľných zdrojov energie ako celku, pričom je ich možné rozdeliť na trhové, technologické, informačné a legislatívne bariéry [6].

Špecifické bariéry rozvoja veternej energie sú najmä:

- nedostatočná znalosť veterných klimatických podmienok (intenzita vetra a jeho časová a geografická variabilita),
- silná závislosť od veterných klimatických podmienok,
- neznalosť dopadov vysokého podielu výroby elektrickej energie na fluktuácie v energetickej sieti,
- problémy percepcie (vnímania) súvisiace najmä s vizuálnou zmenou prostredia, nedostatočná informovanosť o hygienických a environmentálnych dopadoch prevádzky veterných parkov.

A) Trhové bariéry

Jednou z bariér pre skutočný rozvoj využívania OZE sú tzv. trhové bariéry, ktoré odrádzajú podnikateľské subjekty a aj obyvateľov od investícií do zariadení využívajúce OZE [6]. Jedná sa predovšetkým o:

1. chýbajúce dlhodobé stabilné podmienky v systéme výkupných cien vyrobenej elektriny z OZE,
2. neexistenciu podporných opatrení pre investíciu obyvateľstva do využívania OZE.

B) Technologické bariéry

Súčasný stav vývoja technológií pre využívanie OZE neumožňuje všetky obnoviteľné zdroje energie využívať v plnom rozsahu. Väčšina z moderných technológií sa nachádza v štádiu uvádzania na trh, kedy ich investičná náročnosť je stále veľmi vysoká. Vysoká investičná náročnosť súvisí aj s tým, že tieto technológie sú dovážané zo zahraničia [6]. Ako základné bariéry je treba uviesť:

1. technologický vývoj zariadení využívajúcich OZE,
2. nedostatočná štruktúrovanosť distribučných sietí a nepripravenosť rozvodných podnikov na začlenenie OZE do štruktúr distribučných sietí,
3. závislosť využívania OZE od prírodných podmienok.

¹ Ing. Dušan KUDELAS, PhD., Ing. Radim RYBÁR, PhD., TU v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav podnikania a cestovného ruchu, Park Komenského 19, 042 00 Košice, dusan.kudelas@tuke.sk, radim.rybar@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 14. 4. 2007)

C) Informačné bariéry.

Tieto bariéry súvisia najmä s problematickou komunikáciou, preto sem možno zaradiť predovšetkým:

1. nedostatočnú informovanosť obyvateľstva o výhodách a nevýhodách OZE,
2. nedostatočné uplatňovanie nových poznatkov v praxi a vzdelávaní,
3. chýbajúce regionálne koncepcie na využívanie OZE.

D) Legislatívne bariéry.

1. napriek formálnym deklaráciám o význame OZE v SR neexistujú stabilné podmienky definujúce výkupnú cenu elektrickej energie,
2. chýba povinnosť vykupovať elektrickú energiu z OZE.

Aktivity Centra obnoviteľných zdrojov energií

Centrum obnoviteľných zdrojov energií, ako súčasť Ústavu podnikania a cestovného ruchu Fakulty BERG TU Košice, v rámci veternej energetiky napomáha eliminovať spomínané špecifické bariéry svojimi činnosťami a aktivitami, ktorými sú najmä:

- realizácia výskumno-vývojových úloh a projektov,
- vypracovanie odborných štúdií a štúdií využiteľnosti,
- odborné posúdenia projektov,
- informovanie verejnosti o princípoch a špecifikách využívania veternej energie.

Medzi nosné výskumno-vývojové úlohy a projekty COZE v oblasti veternej energetiky patria:

- realizácia plne funkčného technologického celku pre výrobu elektrickej energie z nízko-potenciálnych rýchlostí vetra,
- vývoj veterného zariadenia pracujúceho na tlakovo – vztlakovom princípe,
- vývoj veterných zariadení využívajúcich usmernené prúdenie vetra.

Jednou z grantových úloh riešených na pracovisku, bola realizácia plne funkčného technologického celku pre výrobu elektrickej energie z nízko-potenciálnych rýchlostí vetra. Tento projekt pozostával z nasledovných častí:

1. Analýza veternosti lokality ako zdroja energie,
2. Identifikácia relevantnej frakcie prúdenia pre účely akumulácie spôsobu využívania,
3. Návrh koncepcie konverzného-akumulácie generácie zariadenia,
4. Posúdenie technologicko-energetickej funkcie navrhnutého zariadenia.

Možnosti získavania plošných údajov o veterných klimatických podmienkach na Slovensku sú pre COZE značne limitované, napriek tomu pri realizáciách projektov a štúdií v každej lokalite sa venujeme analýze jej veternosti, z toho dôvodu, že pred návrhom každého spôsobu využívania veternej energie je potrebné analyzovať a kvantifikovať rýchlosť a smer prúdenia vetra, ako najdôležitejších parametrov možností jeho využitia vo veternej energetike. Znamená to: určiť priemernú rýchlosť vetra, stanoviť funkciu rýchlosti vetra (hustotu pravdepodobnosti výskytu vetra) a parametre Weibullova rozdelenia k, A, znázorniť ročný chod rýchlosti vetra. Ako príklad je možné uviesť analýzu veternosti lokality (mesta Košice a jeho okolia) ako energetického zdroja. K dispozícii sme mali hodinové údaje o rýchlosti a smere vetra. Nadmorská výška meracieho stanoviska je 205 m n.m. Výška anemometra (zariadenia na meranie rýchlosti a smeru vetra) je 13,7 m nad zemským povrchom.

Smer vetra má z pohľadu využívania veternej energie významný vplyv na výber vhodnej lokality a voľbu vhodného veterného zariadenia. Prúdenie vetra z určitého smeru je definované:

- smerom gradientového vetra (typom počasia),
- orografickým skreslením.

V strednej Európe prevláda prúdenie zo severozápadu až západu, lokalita Košíc je charakteristická severojužným prúdením. Spracovanie meraní rýchlosti vetra má obvykle charakter zostavenia tabuľky početnosti rýchlosti vetra a rozdelenia početnosti výskytu v triednych intervaloch. Dáta boli roztriedené a zaradené do tried so šírkou triedy $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Celkovo bolo do spracovania zaradených 43 787 údajov.

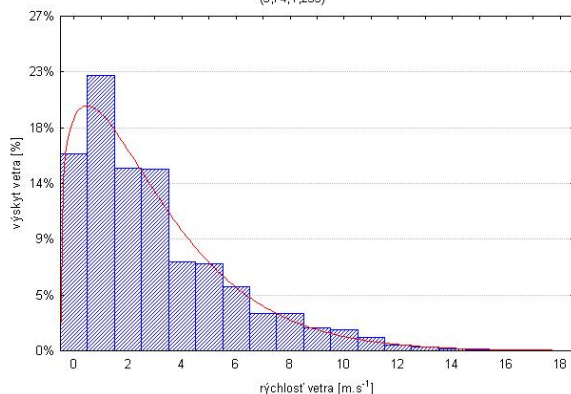
Zostrojený bol histogram početnosti z hodinových rýchlostí vetra, pre ktorý bola vypočítaná teoretická krivka Weibullova rozdelenia (obr.1). Výpočtom metódou maximálnych pravdepodobností boli získané hodnoty veľkostného ($A = 3,71\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a tvarového parametra ($k=1,24$). Práve parametre weibullova rozdelenia sú základné charakteristiky, ktoré odhadujú energetický zisk z veterných turbín a teda charakterizujú veternosť lokality. Parameter k je viac závislý na charaktere miestnej klímy, drsnosti terénu a uvažovanej výške nad

terénom. Hodnota parametra k je zvyčajne 1,0 - 3,0, nižšie hodnoty ako 1,5 popisujú nárazový a premenlivý vietor, parameter A je závislý na strednej rýchlosti vetra.

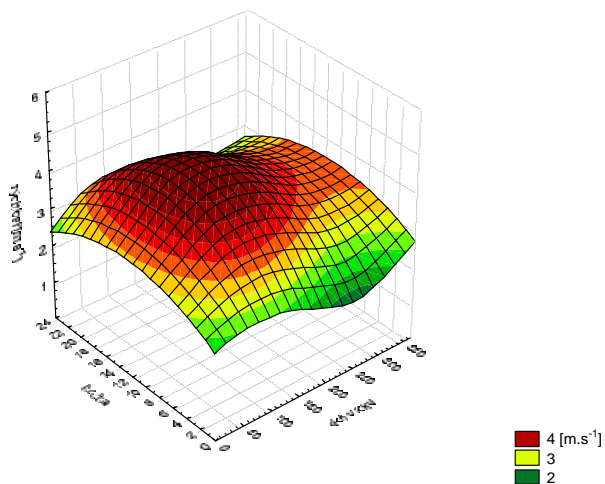
Z hodinových rýchlostí vetra za sledované obdobie boli zostrojené 3D povrchové grafy, ktoré reprezentujú denný priebeh hodinových rýchlostí vetra v jednotlivých mesiacoch.

Uvedené 3D grafické zobrazenie (obr.2) vyjadruje priebeh hodinových rýchlostí vetra počas roka, pričom boli použité údaje za obdobie piatich rokov kde pomocou metódy najmenších štvorcov boli vyjadrené charakteristické hodnoty rýchlosti vetra reprezentujúce každý základný element grafu.

Histogram početnosti hodinových rýchlostí vetra s preloženým Weibullovým rozdelením s parametrami (3,74;1,235)



Obr. 1. Histogram početnosti hodinových rýchlostí vetra.
Fig. 1. Histogram of hourly wind speed frequency.



Obr. 2. 3D graf hodinových rýchlostí vetra počas roka.
Fig. 2. 3D diagram of hourly wind speed during a year.



Po analýze veternosti, vzhľadom na podmienky prúdenia (nárazovité, turbulentné prúdenie s hraničnou rýchlosťou vetra) a možnosti Centra obnoviteľných zdrojov energie bolo navrhnuté a skonštruované nasledovné zariadenie.

V prvej fáze sa na základe analýzy jednotlivých veterných agregátov vznikla požiadavka aplikácie pomalobežného veterného motora typu Savonius, resp. mnoholopatkového veterného motora s horizontálnou osou otáčania. Vytipované zariadenia sa vyznačujú pre aplikáciu vhodnými charakteristikami, ako sú nízka štartovacia rýchlosť, vysoký krútiaci moment v pásme nízkych otáčok a maximálna účinnosť korelovaná s oblasťou rýchlosti vetra, s ktorými sa v aplikácii uvažuje. Navrhnutý a skonštruovaný bol tzv. Savoniov rotor (obr. 3).

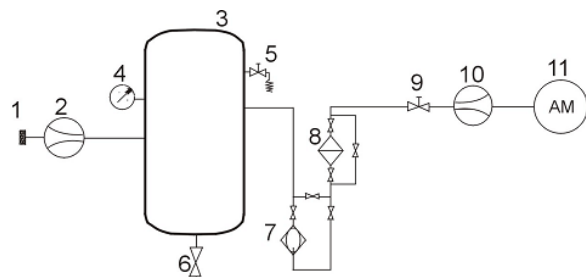
Obr. 3. Savoniov rotor v Centre obnoviteľných zdrojov.
Fig. 3. Savonius rotor in the Renewable Energy Sources Centre.

V rámci riešenia predmetnej problematiky v COZE v Košiciach bolo zostavené skúšobné pneumatické akumulčné zariadenie, ktoré sa skladá z kompresora, vzduchovej nádoby, pneumatického motora a asynchrónneho motora. Parametre akumulčného zariadenia predstavujú limitujúci prvok z pohľadu časového harmonogramu tak fázy nabíjania, ako aj vybíjania zásobníka. V procese návrhu funkčného zariadenia pre účely laboratórneho experimentu bol vybraný vzduch ako akumulčné médium. Energetický obsah akumulátora je potom daný svojim objemom (objem vzdušníka), tlakom stlačeného vzduchu a jeho teplotou. Konštrukcia laboratórneho zariadenia umožnila realizovať pokusy a merania s akumulátorom charakterizovaným objemom 4 m^3 , a maximálnym prevádzkovým tlakom vzduchu $0,8 \text{ MPa}$.

Návrh konveržno-generačnej časti zariadenia vyplýval z charakteru použitého akumulčného média, a z požiadaviek kladených na spôsob výroby elektrickej energie. Na základe optimalizačnej selekcie podľa

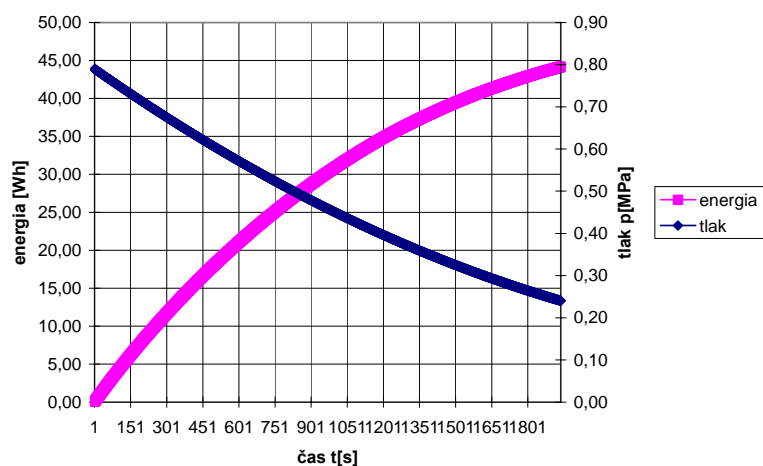
vopred určených kritérií bol vo funkcii zariadenia premieňajúceho energiu stlačeného vzduchu na mechanickú prácu použitý pneumatický lopatkový motor. Vo funkcii generátora elektrickej energie bol použitý trojfázový asynchrónny motor prevádzkovaný pri nadsynchrónnych otáčkach, s výkonom 0,75 kW.

Vytvorením funkčného laboratórneho modelu (obr. 4) boli vytvorené podmienky pre realizáciu prevádzkových experimentov, s cieľom získavania údajov a dát pre stanovenie prevádzkovo technických charakteristík a definíciu relevantných parametrov navrhovaného zariadenia, potrebných pre objektívne posúdenie funkčnosti a proporcionálnej dimenzionalizácie vo vzťahu k energeticky relevantným aplikáciám.



Obr. 4. Schéma laboratórneho modelu: 1 – filter, 2 – kompresor, 3 – tlaková nádob, 4 – manometer, 5 – poistný ventil, 6 – odkalovací ventil, 7 – vymrazovací sušič, 8 – mikrofilter s odvádzaním kondenzátu, 9 – regulačný ventil, 10 – pneumatický motor, 11 – asynchrónny motor

Fig. 4. A scheme of laboratory model: 1 – filter, 2 – compressor, 3 – pressure vessel, 4 – manometer, 5 – safety valve, 6 – blow valve, 7 – cooler dryer, 8 – microfilter with a condensate venting, 9 – regulating outlet, 10 – pneumatic motor, 11 – asynchronous motor



Skonstruované zariadenie je vlastne prvé riešenie takéhoto typu, bolo potrebné overiť predpoklady, získať dáta. Sledovali sa parametre na výstupe. Parametre tlakov boli merané a zaznamenávané analógovo. Elektrické veličiny boli merané a zaznamenávané digitálne a hodnoty výkonu aj analógovo (obr. 5).

Obr. 5. Časová závislosť pokles tlaku vzduchu v tlakovej nádobe a množstva vyprodukovanej energie vyjadrený (kumuláta).

Fig. 5. Time dependency of pressure decreasing in a pressure vessel and the cumulated amount of produced energy

Okrem určenia energetického návrhu zariadenia pre spomínané parametre bol vykonaný aj energetický návrh veterného rotora a kompresora pre rôzne časy naplnenia zásobníka s rôznym objemom a tlakom.

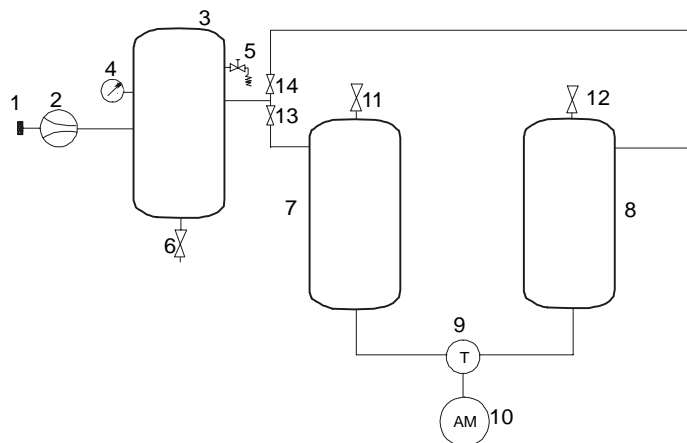
Zvyšovaním objemov tlakových nádob (tlakových akumuláčnych systémov) a úrovne maximálneho pracovného tlaku pneumaticko-akumuláčnych zariadení je možné dosiahnuť na základe nameraných, a teda experimentálne získaných údajov, dosiahnuť kapacitu energetického systému, ktorá môže predstavovať relevantnú alternatívu nárazníkového akumuláčného energetického systému v reálnych priemyselných aplikáciách.

Snaha zvýšiť účinnosť celého zariadenia vyústila do voľby iného pracovného média v procese energetickej konverzie (stlačený vzduch – mechanická energia). Pri voľbe pracovného média sme brali do úvahy predovšetkým jeho schopnosť preniesť obsiahnutú energiu na pracovné plochy (lopatky) energetickej konvertora. Zvyšovaním hmotnostného toku pracovného média sa zvyšuje jeho energetický obsah. Zmene použitého pracovného média zodpovedá aj zmena energetickej konvertora, ktorým je vhodná vodná turbína.

Návrh riešenia vychádza z konceptu využitia energie vetra s pneumatickou akumuláciou energie, analogicky ako v predošlom prípade. Veterné zariadenie, využívajúce energiu veterného prúdenia, poháňa kompresor, ktorý slúži na nabíjanie pneumatického akumulátora. Stlačený vzduch zo zásobníka slúži na vytlačenie pracovného média, ktorým je voda poháňajúca vodnú turbínu. V tomto procese prúdi pracovné médium z plnej nádrže, v ktorej bol vyvedený pretlak do prázdnej nádrže rovnakého objemu so zavzdušnením. Obeh kvapaliny medzi nádobami prebieha v uzavretom vratnom cykle, čo znamená, že hydraulická časť je v neustálom pohotovostnom, resp. prevádzkovom režime (obr. 6).

Ďalšou z aktivít COZE je rozpracovanie štúdie „Možnosť aplikácie veterných zariadení koncepcie Off Shore vo vnútrozemských podmienkach“. Štúdia je zameraná na možnosť implementácie veterných elektrární do štruktúr energetiky v nadväznosti na jestvujúce hydroenergetické diela, kde na základe identifikovaných špecifik podmienok využívania veternej energie na Slovensku a pri zohľadnení skúseností z krajín s vyspelou veternou energetikou sa ukazuje možnosť využitia veterných zariadení koncepcie Off-Shore umiestnených v akumuláčnych nádržiach vodných diel. Samotná idea vychádza z energeticky pozitívneho charakteru prúdenia vetra nad vodnou hladinou. Veterná energetika je založená na využívaní obnoviteľného

zdroja energie – energie vetra. Disponuje značným potenciálom, avšak vyznačuje sa relatívne nízkou energetickou hustotou v prízemnej časti atmosféry a značne variabilným charakterom tak v čase, ako aj priestore. Rozšírením tejto koncepcie môžu byť možnosti akumulácie energie v podobe potenciálnej energie vody v nádrži.



Obr. 6. Schéma akumuláčného zariadenia. 1 – filter, 2 – kompresor, 3 – tlaková nádoba, 4 – manometer, 5 – poistný ventil, 6 – odkaľovací ventil, 7, 8 – zásobníky vody, 9 – vodná turbína, 10 – asynchrónny generátor, 11, 12 – zavzdušňovací ventil, 13, 14 – uzatvárací ventil
Fig. 6. A Scheme of the accumulation equipment: 1 – filter, 2 – compressor, 3 – pressure vessel, 4 – manometer, 5 – safety valve, 6 – blow valve, 7, 8 water storage, 9 – water turbine, 10 – asynchronous motor, 11, 12 – vacuum valve, 13, 14 – throttle

Ako príklad využitia koncepcie Off Shore po zohľadnení orografických, hydrometeorologických a poveternostných podmienok by mohla byť napr. Zemplínska Širava.

Zvýšenie efektivity koncepcie Off Shore je jednou z možností rozvoja veternej energetiky na Slovensku. Dosiachnutie synergie je možné inštaláciou a prevádzkou veterného zariadenia v systéme s iným regulačným zdrojom, napr. s vhodne situovanou vodnou elektrárnou, kde veterné zariadenie môže prispieť k zvýšeniu akumuláčnej – regulačnej funkcie hydroenergetického diela.

Navrhované riešenie sleduje nasledovné ciele:

- zvýšenie výroby a uplatnenia elektrickej energie na báze OZE,
- využitie zmeny tvaru rýchlostného profilu vetra nad povrchom s nízkou drsnosťou,
- takmer nulový záber poľnohospodársky využiteľnej pôdy,
- možnosť synergického využitia vodných a veterných elektrární, so zacielením na zosilnenie regulačnej funkcie vodnej elektrárne, čím veterné zariadenie prispieje k zvýšeniu akumuláčnej a regulačnej schopnosti hydroenergetického diela, optimalizáciou M – dňových prietokov.

Ďalšou z grantových úloh je napr. vývoj veterných zariadení pracujúcich na tlakovo vztlakovom princípe. Využijú sa pritom výhody rozličných typov rotorov. Pri nízkych rýchlostiach vetra by zariadenie pracovalo ako Savoniov rotor (rozbeh pri nízkych rýchlostiach vetra, využiteľnosť všesmerného a turbulentného prúdenia) a pri zvýšení rýchlosti vetra zmenou tvaru listov by zariadenie bolo v prevádzke ako rotor typu Darrie (trojnásobná účinnosť v porovnaní so Savoniovým rotorom).

Záver

Funkcia Centra obnoviteľných zdrojov energie a odborne erudovaná činnosť jeho pracovníkov prispieva k eliminácii bariér pri využívaní veternej energie. Niektoré z bariér sa eliminujú len lokálne (znalosť klimatických podmienok), avšak grantové výskumno-vývojové úlohy sú do značnej miery zamerané na riešenie problémov a elimináciu práve silnej závislosti od veterných klimatických podmienok a neznalosti dopadov vysokého podielu výroby elektrickej energie na fluktuácie v energetickej sieti. V rámci odborného pedagogického pôsobenia a tiež odborných konzultácií COZE tiež prispieva k zvyšovaniu vedomostí širšej verejnosti.

Literatúra – References

- [1] Horbaj, P.: Prehľad emisií v SR a v susediacich štátoch. *Energetika*. roč. 49, č. 6 (1999), s. 190-192. ISSN 0375-8842.
- [2] Šefer, J. I.: Využití energie větru. *SNTL, Praha, 1991*.
- [3] Šimko, V., Kováč, D., Kováčová, I.: Teoretická elektrotechnika I, *Košice, Elfa, 2000, ISBN 80-88964-34-2*.
- [4] Rybár, P. – Sasvári, T.: Zem a zemské zdroje. *Vydavateľstvo Štrotfek, Košice, 1998*.
- [5] Rybár, R., Kudelas, D., Fischer, G.: Alternatívne zdroje energie III – Veterná energia. *Dočasná vysokoškolská učebnica. Edičné stredisko/AMS, Košice, 2004, ISBN 80-8073-144-6*.
- [6] Stratégia vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v SR, MH SR, 2006.