



TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



Electrical Engineering and Informatics IX



Proceedings of
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

ISBN 978-80-553-2713-6

Electrical Engineering and Informatics IX
Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic

Date of publication: July 2018 Language: English, Slovak
Printing: 50 pieces CD Pages: 771

Editorial board chairman: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.

Proceedings reviewers: Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.
prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.
prof. Ing. Ján Kollár, CSc.
prof. Ing. Dušan Levický, CSc.
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.
prof. Ing. Linus Michaeli, DrSc.
prof. Ing. Ján Mihalík PhD.
prof. Ing. Ján Paralič PhD.
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Bystrík Dolník
assoc. prof. Ing. Peter Drotár, PhD.
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.
assoc. prof. Ing. Juraj Gazda, PhD.
assoc. prof. Ing. Zdeněk Havlice, CSc.
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.
assoc. prof. RNDr. Dušan Olčák, CSc.
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.
assoc. prof. Ing. Slavomír Šimoňák, PhD.
assoc. prof. Ing. Martin Tomášek, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

Analýza konkurencieschopnosti elektrární na biomasu

¹Andrej ORÉMUŠ, ²Alexander MÉSZÁROS

^{1,2} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

¹andrej.oremus@student.tuke.sk, ²alexander.meszaros@tuke.sk

Abstrakt — Hlavnou témou článku je porovnanie ekonomickej efektívnosti tepelných elektrární spaľujúcich biomasu s tepelnou elektrárnou spaľujúcou uhlie. Cieľom článku bolo analyzovať vstupné parametre, ktoré ovplyvňujú výsledky porovnania, uviesť použitú metodiku a bližšie interpretovať závery, ktoré sa získali pri ekonomickom porovnávaní. V ekonomickej analýze sa porovnávajú dve skupiny elektrární na biomasu s elektrárnou spaľujúcou uhlie, skupiny sú odlišné najmä pôvodom používaného paliva a umiestnením samotných prevádzok. Výrobná cena elektriny pochádzajúcej z uhoľnej elektrárne sa porovnáva s výrobnou krivkou skupiny elektrární spaľujúcich biomasu, čím sa určí ekonomicky zdôvodniteľný podiel výroby elektrickej energie z biomasy.

Kľúčové slová — elektráreň; výrobná krivka; biomasu; ekonomická analýza

I. ÚVOD

Ekonomická analýza konkurencieschopnosti zariadenia na biomasu v porovnaní s elektrárnou spaľujúcou uhlie, bola vykonaná ako citlivostná analýza výrobné ceny elektriny, vyrobenej v elektrárni spaľujúcej uhlie s uvažovaním troch výrobných cien:

1. bez zohľadnenia lokálnych a globálnych externých nákladov (C),
2. so zohľadnením len lokálnych externých nákladov a napokon (C_{LENV}),
3. so zohľadnením lokálnych aj globálnych externých nákladov (C_{GENV}).

Takto stanovená cena sa potom porovnávala s výrobnou krivkou zdrojov spaľujúcich biomasu rozdelených podľa ďalej uvedených pravidiel do dvoch scenárov.

Charakteristické body, body prenutia istej ceny a výrobné krivky, teda ekonomicky zdôvodniteľné podiely výroby zariadení spaľujúcich biomasu, pre analyzované scenáre, v každom scenári sú stanovené v závislosti od ceny uhlia, výšky globálnych externých nákladov (teda ceny emisií oxidu uhličitého), a výšky lokálnych externých nákladov.

Výber zariadení, vhodných pre analýzu, a ich zatriedenie do dvojice scenárov sa odvíjalo od spôsobu získavania paliva, formy paliva a okruhu hlavných odoberateľov vyrábanej elektrickej a prípadne aj tepelnej energie.

II. POROVNÁVANÉ ELEKTRÁRNE

A. Elektráreň spaľujúca uhlie

Výpočet pre tepelnú elektráreň spaľujúcu uhlie prebiehal nasledovne: Výpočet cien označených ako C, C_{LENV} a C_{GENV} pre istý scenár, istú cenu uhlia, istú cenu emisií oxidu uhličitého a istú výšku lokálnych externých nákladov a následné spracovanie týchto cien tvorí jeden beh simulácie, ktorej výsledky sa neskôr analyzovali. Pod pojmom scenár sa myslí určitá skupina zariadení na výrobu elektriny prostredníctvom spaľovania biomasy. [1]

Každý beh simulácie je označený jednoznačným identifikátorom ktorý má nasledujúci formát:

Poradové číslo behu simulácie – Scenár – Cena uhlia – Cena emisií CO₂ – Cena lokálnych externých nákladov, napríklad: 20-A-150-10-2.

Parametre tepelnej elektrárne sú uvedené v tabuľke 1. Hrubo vyznačené parametre sú predmetom citlivostnej analýzy.

Tabuľka 1
 Vstupné parametre pre hodnotenie tepelnej elektrárne [2]

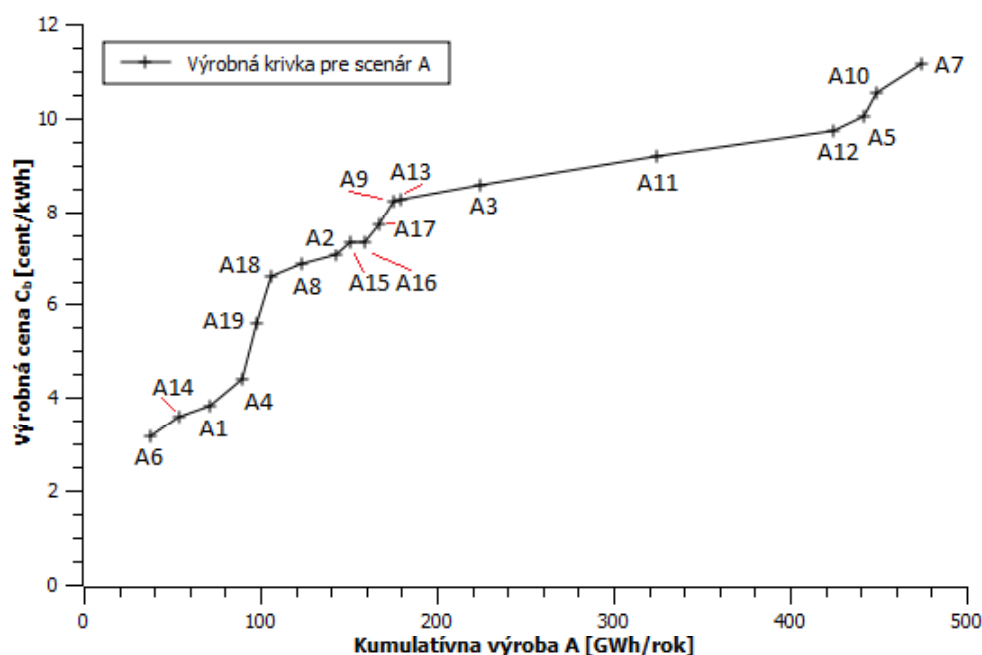
Parameter (p.)	Skratka p.	Hodnota p.	Jednotka
Investičné náklady	N_i	1312	€/kW
Doba využitia maxima	τ	6570	h
Výhrevnosť paliva	Q_{pal}	30	GJ/t
Cena paliva	C_{pal}	40	€/t
Cena tepla	C_Q	1,33333333	€/GJ
Merná spotreba tepla	Q_t	11,2	MJ/kWh
Doba životnosti	T_z	20	rok
Pomerne náklady (mzdové, údržbové a ostatné)	n_p	0,04	-
Emisný faktor	f_e	98,2803	kg CO ₂ / GJ
Merná cena CO₂	C_{CO_2}	5	€/t
Lokálne externé náklady	n_{lok1}	2	€/MWh

Po vykonaní výpočtov, v každom jednom výpočte (behu simulácie), teda pre určitý scenár, určitú cenu uhlia, určitú cenu emisií oxidu uhličitého a určitú výšku lokálnych externých nákladov, sa porovnávajú s výrobnou krivkou pre daný scenár (pozri bod B. a C.) nasledovné výsledky: výrobná cena bez zohľadnenia globálnych a lokálnych externých nákladov C , výrobná cena so započítaním lokálnych externých nákladov C_{LENV} a výrobná cena so započítaním lokálnych a globálnych externých nákladov C_{GENV} . Pričom za lokálne externé náklady sa považujú náklady spojené s ochranou pred pôsobením škodlivých látok ako sú napr. SO_x, NO_x, popolček, v bezprostrednom a širšom okolí zariadenia, kým za globálne externé náklady sa považujú náklady spojené s ochranou pred pôsobením oxidu uhličitého na globálne zmeny klímy. [2]

B. Skupina elektrární spaľujúcich biomasu A

Skupina elektrární označená ako Scenár A obsahuje 19 rozličných zariadení na výrobu elektrickej energie, prípadne aj tepla, spaľujúcich ako palivo biomasu.

Zariadenia spravidla zriadené pre iný predmet činnosti, ako je výroba elektriny a tepla, palivovo sebestačné, pokrývajúce sčasti, alebo hlavne vlastnú spotrebu, dodávajúce prípadné prebytky elektrickej energie do siete, tepelnú energiu dodávajúce do technologického procesu, menšieho inštalovaného výkonu, v ktorých vzniká biomasa pri ich hlavnom technologickom procese a táto sa ďalej významnejším spôsobom neupravuje (piliny, hoblíny) sú zaradené do vyššie spomenutého scenára A. Na obrázku 1 je zobrazená výrobná krivka pre scenár A. [2]

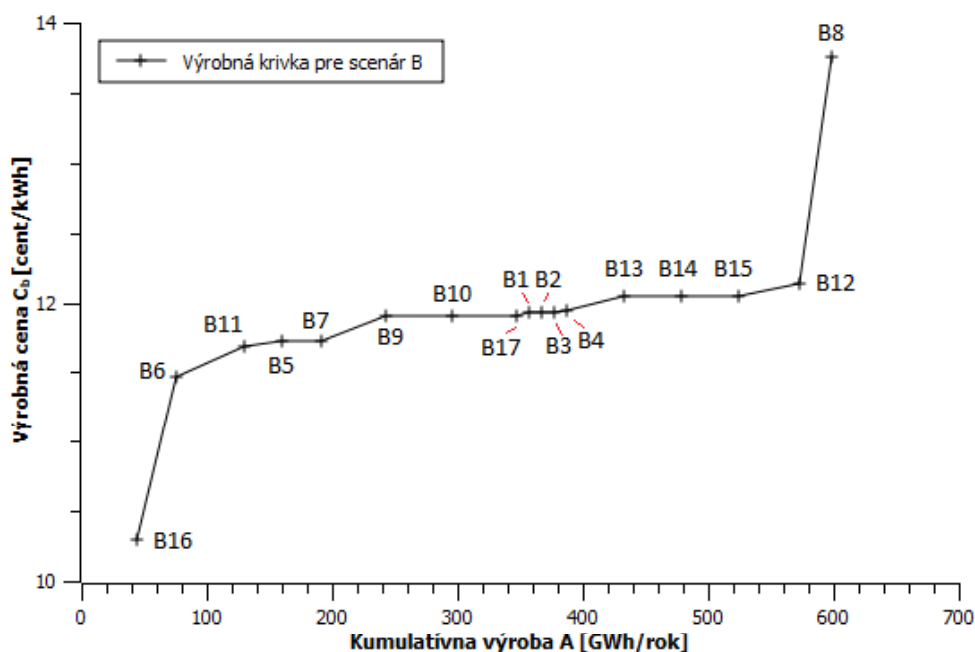


Obr. 1 Výrobná krivka pre scenár A

C. Skupina elektrární spaľujúcich biomasu B

Skupina elektrární označená ako Scenár B obsahuje 17 rozličných zariadení na výrobu elektrickej energie, prípadne aj tepla, spaľujúcich ako palivo biomasu.

Zariadenia spravidla zriadené pre predmet činnosti, ktorým je výroba elektriny a tepla, spravidla závislé od dodávky paliva, pokrývajúce vlastnú spotrebu a dodávajúce elektrickú prípadne aj tepelnú energiu do ich rozvodných sietí, väčšieho inštalovaného výkonu, nútené nakupovať biomasu na trhu v jej vhodných formách (pelety, brikety, drevné uhlie) významne odlišných od jej primárnej formy (piliny, hobliny) sú zaradené do vyššie spomenutého scenára B. Na obrázku 2 je zobrazená výrobná krivka pre scenár A. [2]



Obr. 2 Výrobná krivka pre scenár B

III. APLIKÁCIA METÓD PRI ANALÝZE

Citlivostná analýza sa vykonáva s ohľadom na predpoklad možných zmien na globálnom trhu, napríklad ceny uhlia, nákladov spojených so znižovaním emisií oxidu uhličitého a ostatných skleníkových plynov a výšky lokálnych externých nákladov.

Aktuálna cena emisií sa v roku 2017 pohybovala v intervale približne 4 - 9 €/t CO₂, a predpokladá sa že táto sa zvýši na 40 - 50 €/t CO₂ v roku 2040. Po tomto roku sa v dlhodobom horizonte očakáva, že by táto cena mohla dosiahnuť a aj prekročiť interval 70 - 80 €/t CO₂, nárast tejto ceny a jeho strmosť bude pravdepodobne závisieť od dovtedajšej úspešnosti v znižovaní emisií oxidu uhličitého, teda na rozvoji a používaní technológií pre zachytávanie a uskladňovanie oxidu uhličitého, väčšom zastúpení jadrovej energie v energetickom mixe, na zvyšovaní energetickej účinnosti výroby a spotreby energie a aplikácii rôznych iných nových technológií. [3]

Vykonávaná analýza, s ohľadom na citlivosť výrobných nákladov tepelnej elektrárne spaľujúcej uhlie, skúmala citlivosť týchto nákladov na 4 rôzne ceny uhlia (40, 100, 125, 150 €/t), 6 rôznych cien emisií oxidu uhličitého (5, 10, 15, 20, 30, 50 €/t CO₂) a 5 rôznych výšok lokálnych externých nákladov (2, 5, 15, 30, 50 €/MWh). Literatúra totiž poskytuje širokú škálu hodnôt lokálnych externých nákladov od 1,6 €/MWh do 52 €/MWh. [3], [4] Spolu sa počas analýzy preskúmalo 240 rôznych kombinácií, teda 120 rôznych kombinácií pre scenár A a 120 rôznych kombinácií pre scenár B.

Každý jeden z 240 behov analýzy sa porovnával s výrobnou krivkou pre príslušný scenár a určil sa objem výroby a nasaditeľný výkon elektrární spaľujúcich biomasu tak, aby tento bol ekonomicky zdôvodniteľný. Za taký stav sa považuje nasadenie tých elektrární spaľujúcich biomasu, ktoré v daných trhových podmienkach vyrábajú elektrickú energiu lacnejšie než elektrárne spaľujúca uhlie.

Pomocou aplikovania vyššie uvedenej metodiky pre scenáre A a B, bolo možné, na základe výsledkov zväziť a porovnať tieto scenáre a formulovať zodpovedajúce závery.

IV. VÝSLEDKY POROVNÁVANIA

Porovnávanie napríklad pre beh číslo 1 prebiehalo nasledovne: Cena C (ktorá sa rovná 4,2786 cent/kWh) sa porovná s výrobnou krivkou pre scenár A, zistí sa, že lacnejšiu elektrinu vyrábajú prvé tri elektrárne, štvrtú už nemožno z ekonomických dôvodov nasadiť (vyrába drahšie). Na Obr.3 je toto porovnanie znázornené oranžovou čiarou. Teda prvé tri elektrárne vyrábajú kumulatívnu výrobu $Q_{ECON} = 71,69$ GWh/rok a ich celkový inštalovaný výkon je v súčte $P_{ECON} = 10,5$ MW.

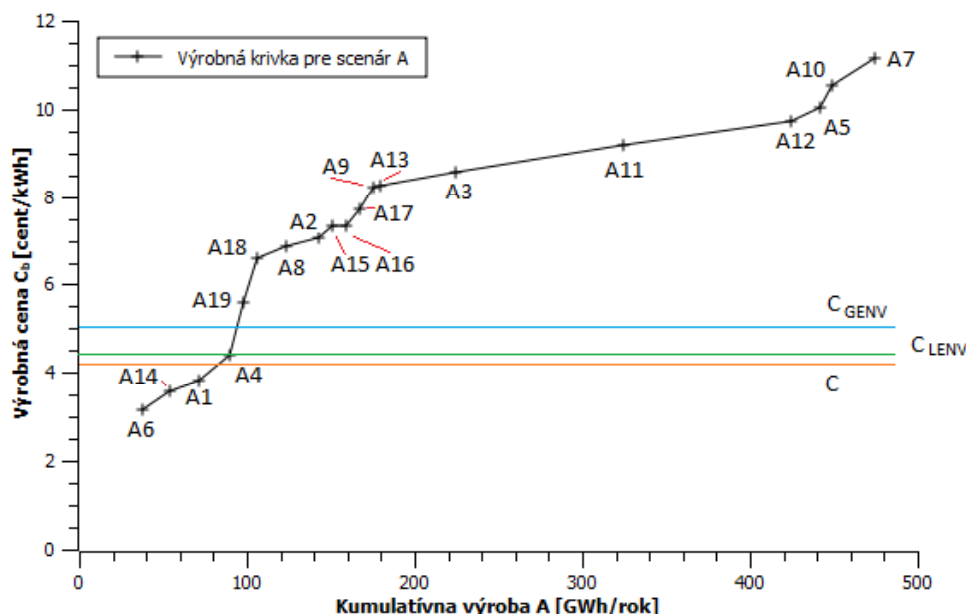
Cena C_{LENV} (ktorá sa rovná 4,4786 cent/kWh) sa porovná s výrobnou krivkou pre scenár A, zistí sa že lacnejšiu elektrinu vyrábajú prvé štyri elektrárne, piatu už nemožno z ekonomických dôvodov nasadiť (vyrába drahšie). Na Obr.3 je toto porovnanie znázornené zelenou čiarou. Teda prvé štyri elektrárne vyrábajú kumulatívnu výrobu $Q_{LENV} = 89,49$ GWh/rok a ich celkový inštalovaný výkon je v súčte $P_{LENV} = 14$ MW.

Cena C_{GENV} (ktorá sa rovná 5,0290 cent/kWh) sa porovná s výrobnou krivkou pre scenár A, zistí sa že lacnejšiu elektrinu vyrábajú prvé štyri elektrárne, piatu už nemožno z ekonomických dôvodov nasadiť (vyrába drahšie). Na Obr.3 je toto porovnanie znázornené modrou čiarou. Teda prvé štyri elektrárne vyrábajú kumulatívnu výrobu $Q_{GENV} = 89,49$ GWh/rok a ich celkový inštalovaný výkon je v súčte $P_{GENV} = 14$ MW. Teda oproti predchádzajúcej cene C_{LENV} sa nezmenilo, čo sa týka nasadenia elektrární nič.

Príklad zobrazenia výsledkov pre beh číslo 1 je uvedený v tabuľke 2, ceny sú pre väčší počet desatinných miest, umožňujúci presnejšie porovnávanie uvedené v cent/kWh, kumulatívne výroby sú uvedené v GWh/rok a kumulatívne výkony v MW.

Tabuľka 2
 Výsledky ekonomickej analýzy pre beh číslo 1

Identifikátor behu	C	C_{LENV}	C_{GENV}	Q_{ECON}	Q_{LENV}	Q_{GENV}	P_{ECON}	P_{LENV}	P_{GENV}
1-A-40-5-2	4,2786	4,4786	5,0290	71,69	89,49	89,49	10,5	14	14



Obr. 3 Porovnávanie výrobných cien s výrobnou krivkou pre beh číslo 1

K interpretácii výsledkov možno poznamenať že elektrárne patriace do scenára A spaľujú drevný odpad vznikajúci v technologickom procese, teda majú nízke palivové náklady, nízke celkové náklady, rýchlu návratnosť investície a vysokú mieru konkurencieschopnosti a to pre niektoré obnoviteľné zdroje energie aj bez im priznanej podpory. [5]

K interpretácii výsledkov možno ďalej poznamenať že elektrárne patriace do scenára B spaľujú rôzne upravené formy biomasy, pričom sú plne závislé od jej kúpy. Tieto zariadenia majú teda vysoké palivové náklady. Tieto zariadenia majú aj vysoké prevádzkové a údržbové náklady z dôvodu že sa jedná o zložitejšie prevádzky, vyšších výkonov, zriadené len za účelom výroby elektrickej energie a tepla. [5]

V. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Vykonaná analýza poukazuje na istú, ekonomicky zdôvodniteľnú využiteľnosť výroby elektrickej energie v zariadeniach na využívanie biomasy na energetické účely, najmä ak sa pridržia scenára A, a to najmä v zariadeniach ktoré majú nulové alebo veľmi nízke palivové náklady, teda pravdepodobne využívajú technologický alebo iný odpad. Scenár B je v súčasnosti, teda pri nízkych cenách uhlia a nízkych externých nákladoch, z dôvodu vysokých palivových nákladov pravdepodobne bez podporných mechanizmov takmer nepoužiteľný. Prevádzkové náklady a náklady na údržbu sú u zariadení v scenári A ale aj B takmer rovnaké, približne 100 tisíc eur na megawatt výkonu a rok. Avšak miera využívania závisí aj od stanovených cieľov, ktoré sa majú dosahovať využívaním biomasy na energetické účely. Odhliadnuc od finančnej stránky môže ísť o: ochranu životného prostredia, diverzifikáciu energetických zdrojov, spoľahlivosť dodávky energie, výskum a vývoj energetických zariadení, regionálny a miestny rozvoj a rozvoj zamestnanosti.

Z vykonanej ekonomickej analýzy vyplýva na základe výsledkov skutočnosť, že kombinovaná výroba elektrickej a tepelnej energie (kogenerácia) z biomasy je veľmi výhodným spôsobom výroby energie z obnoviteľných zdrojov, najmä pre svoju vysokú spoľahlivosť, ak teda zariadenie má sklad paliva na určitý počet dní neprerušovanej prevádzky. Nevyužitie možnosti a potenciál biomasy je potrebné dostatočne využívať, na výrobu elektrickej a tepelnej energie, avšak pri zachovaní ekonomicky zdôvodniteľných nákladov alebo pri využití podporných mechanizmov. Zmeny v cene uhlia sú určované trhovými procesmi, teda je potrebné dôsledne aplikovať reálne hodnoty lokálnych a globálnych externých nákladov aby boli takéto zariadenia pri svojej prevádzke konkurencieschopné.

Analýza poukazuje na to, že v prostredí rozvinutého trhu s biomasou existujú isté korelácie s fluktuáciou priemerných cien fosílnych palív a vplyv majú aj vysoké náklady zariadení ktoré využívajú biomasu na energetické účely, dlhodobo teda bude potrebné zabezpečovať primerané podporné mechanizmy, ekonomické aj administratívne, za cieľom udržania záujmu investorov, s cieľom umožniť im návratnosť investície a dosiahnuť primeraný zisk. Tu je najspoľahlivejší systém podpory zaručenou výkupnou cenou, pretože ide o inštrument ktorý je na rozdiel od iných podporných mechanizmov (najmä sústavy zelených, obchodovateľných certifikátov), najtransparentnejší, spoľahlivý a prijateľný pre finančné inštitúcie. Potrebné finančné prostriedky sa vyzbierajú špecifickým doplatkom na faktúre za elektrickú energiu, ktorý platia všetci odberatelia elektrickej energie, týmto mechanizmom sa umožňuje plnenie výberu a rozdeľovanie podpôr a realizácia stanovených cieľov vo výrobe elektrickej energie v zariadeniach využívajúcich biomasu na energetické účely.

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] A. Mészáros, *Ekonomika elektroenergetiky*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2013, 206 s. ISBN 978-80-553-1512-6
- [2] *The needed development of new Power Plants and facilities in Croatia in the period 2001-2020*. Zagreb: Energetski institut Hrvoje Požar, 2001. 81 s.
- [3] *Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskog razvitka RH*. Zagreb: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, 2008. 123 s. [cit. 2018-6-27] Dostupné na internete: <http://www.mzoi.hr/doc/prilagodba_i_nadogradnja_strategije_energetskog_razvoja_republike_hrvatske.pdf>
- [4] „Strategija Energetskog Razvitka: Ulazni podaci za vrednovanje razvoja energetskog sustava“, Podloge za prilagodbu i nadogradnju. In: *Narodne Novine, službeni list Republike Hrvatske*. vyd. 130/2009, dokument 3192. 70 s.
- [5] A. Orémuš, *Analýza legislatívnej podpory a ekonomické hodnotenie vybraných technológií OZE*. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2018. 119 s.

Electrical Engineering and Informatics IX

Proceedings of the
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Edition I, 771 pages
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

ISBN 978-80-553-2713-6