

Marek Pavlík, Matej Rafaelis, Martin Kanálik, Dušan Medveď, Peter Kurimský

Využitie genetických algoritmov pri stavbe stratégií aplikovaných na prostredie trhu s elektrinou

Z pohľadu obchodovania je elektrina komoditou, s ktorou sa obchoduje na energetickej burze. Preto sa upriamuje pozornosť najmä na jej cenu. Pre budúci vývoj ceny je možné použiť rôzne nástroje, väčšinou technické indikátory. Najprv je ale potrebné otestovať funkčnosť technického indikátora na historických dátach. Testovanie je časovo náročné, preto sa tento proces urýchľuje rôznymi metódami - neurónové siete, genetické algoritmy a pod. Tento príspevok sa zaoberá testovaním obchodných stratégií na báze genetických algoritmov. Príspevok navrhuje dva testy robustnosti, zamiešanie obchodov a vynechanie obchodov a poukazuje na správne vyhodnotenie týchto testov.

Kľúčové slová: liberalizácia trhu s elektrinou, burza, automatické obchodné systémy

In terms of trading electricity is a commodity traded on the power exchange market. Therefore it draws particular attention to its price. For the future price development can use a variety of tools, most of the technical indicators. Firstly but need to test the functionality of technical indicators on historical data. Testing is time-consuming, so the process is accelerated by several following methods - neural networks, genetic algorithms, and so on. This paper deals with testing trading strategies based on genetic algorithms. The paper suggests two tests of robustness: resampling trade and skip trade, and show correct evaluation of these tests. (Use of genetic algorithms in the creating strategy applied to the electricity market)

Keywords: liberalization of the electricity market, stock exchange, automated trading systems

I. ÚVOD

Liberalizácia trhu s elektrinou značne ovplyvnila prístup účastníkov trhu k tejto komodite. Príchodom liberalizácie sa musela distribúcia a dodávka oddeliť, čo sa nazýva unbundling.

Požiadavka na vykonanie unbundlingu bola legislatívne vyjadrená smernicou 2003/54/ES o pravidlách spoločného trhu s elektrinou v júni 2003. Smernica 2003/54/ES nariadila najneskôr od 1. júla 2007 vykonať právny unbundling. Vďaka zmenám v legislatíve sa úplne oddelili monopolné činnosti (elektrické vedenia – prenos a distribúcia elektriny) a činnosti, v ktorých pôsobí konkurencia (výroba a obchod s elektrinou), do samostatných firiem. V roku 2007 sa na Slovensku rozdelili aj tradiční dodávatelia elektriny (ZSE, SSE a VSE) na firmy zabezpečujúce distribúciu a firmy predávajúce elektrinu.

So vzrastajúcim dopytom po elektrine rastie aj záujem o poznanie vývoja ceny elektriny na energetických burzách. Obchodníci s elektrinou nasadzujú rôzne predikčné systémy, ktoré sú na báze technických indikátorov, neurónových sietí alebo genetických algoritmov. Snažia sa vytvoriť automatický obchodný systém (AOS), ktorý dokáže určiť, kde sa cena nachádza a tiež aký bude jej ďalší vývoj. Vytvoriť funkčné obchodné systémy na báze manuálneho využitia technických indikátorov nie je v súčasnosti problém. Niektoré z výsledkov boli publikované v [1][2][3]. Nájdenie ziskovej stratégie a jej otestovanie je značne časovo náročné a ani to nie je zárukou ziskovej stratégie v budúcnosti. Jednou zo súčasne dostupných možností je využitie genetických algoritmov, ktorým je venovaný tento príspevok.

II. OBCHODOVANIE S ELEKTRINOU

Ak si uvedomíme, že elektrina je v súčasnosti obchodovanou komoditou ako iné komodity na svetových trhoch, vyplývajú z toho podobné skutočnosti. Trh s elektrinou je značne zložitý vďaka tomu,

že elektrina je neskladovateľná a výrobcovia musia približne poznať nasledujúci vývoj ceny elektriny v rámci jedného roku, dňa ale aj hodiny. Preto sa na trhu s elektrinou rozlišuje mnoho cien. Elektrina sa na spotovom trhu obchoduje buď v rámci dňa (intraday) alebo na nasledujúci deň (day-ahead). Obchodovanie na intradenom trhu dopĺňa obchodovanie na trhu day-ahead a pomáha zaistiť nevyhnuté vyrovnanie medzi dodávkou a požiadavkou elektrickej energie. Rovnovážny stav medzi ponukou a dopytom je zachovávaný predovšetkým na trhu Day-Ahead, avšak nečakané vplyvy počasia alebo odstavenie elektrární s veľkým výkonom môže spôsobiť nerovnováhu. Toto odklonenie od rovnovážneho stavu vyrovnávajú účastníci nákupom a predajom elektriny na intradenom trhu. Pod pojmom spotová cena elektriny je myslená okamžitá cena elektriny pre každý časový okamih v danom odbornom mieste. Ďalšie rozdelenie ceny je podľa času dodávky elektriny na BASE LOAD (dodávka počas celého dňa), PEAK LOAD (dodávka v čase dennej špičky). Existuje aj možnosť obchodovať dodávku v čase OFF-PEAK (v čase mimo špičky). Cena elektriny na spotovom trhu potom výrazne kolíše s blížiacou sa dobou dodania. Obchodovanie na spotovom trhu sa môže realizovať s periódou jednej hodiny alebo 15 min [4].

III. TYPY OBCHODNÍKOV

Na to, aby bolo možné položiť základ pre tvorbu stratégie, je potrebné charakterizovať dva základné typy obchodníka, ktorý sa na základe svojej charakteristiky rozhoduje ako bude ich predikčný model vyzeráť.

Prvým typom obchodníkov sú fundamentálni obchodníci. Fundamentálny obchodník predpokladá vývoj ceny elektriny na základe informácií o trhu, firme a komodite získaných prostredníctvom TV, rádia a internetu, ktoré by mohli znamenať zmenu ceny elektriny a vyvodit' z nich závery. Tento štýl obchodovania si vyžaduje istú prax a cit pre trh. Je taktiež veľmi

časovo náročný pretože je potrebné sledovať všetky faktory, ktoré ovplyvňujú trh. Veľkým problémom je zlyhanie ľudského faktoru pri analyzovaní fundamentov, pretože časová a psychická náročnosť tohto obchodovania môže spôsobiť mylné rozhodnutie obchodníka. Druhým typom obchodníka sú technickí obchodníci. Technický obchodník na rozdiel od fundamentálneho predpokladá cenový vývoj na základe technických indikátorov a ich vzájomného porovnávania. Technická analýza je založená na predpoklade, že cena je odrazom všetkých fundamentov. Tento spôsob obchodovania spočíva v pretransformovaní obchodníkových myšlienok do programového kódu. Výhodou technickej analýzy je, že je nenáročná na čas a je možné obchodovať 24 hodín denne. Takisto pri technickej analýze odpadá emočná stránka, ktorá niekedy môže spôsobovať problémy, nakoľko naprogramovaný kód obchoduje podľa presne stanovených pravidiel a neovplyvňuje ho ľudský faktor. Idea technickej analýzy je založená na predpoklade že vývoj ceny v sebe zahŕňa všetky dostupné informácie a preto tento štýl obchodovania nie je schopný reagovať na nečakané dianie na trhu. Tak isto sa pri technickej analýze vynára otázka či je možné všetko naprogramovať [5].

Ďalej sa už tento článok venuje tvorbe ziskových stratégií na báze genetických algoritmov s použitím technických indikátorov. Technických indikátorov existuje značné množstvo a preto budú ďalej popísané len niektoré. Vo všeobecnosti je ich ale možné rozdeliť na smerové indikátory, oscilačné, indikátory volatility, indikátory objemu a špeciálne indikátory. Smerové indikátory poukazujú na to, či existuje trend a aký je silný. Medzi takéto indikátory patria kľzavé priemery MA, parabolický SAR, ADX alebo MACD. Tieto indikátory sa vyznačujú tým, že ich grafická závislosť sa nachádza v cenovom grafe. Oscilátory patria medzi indikátory, ktoré oscilujú okolo stredu, ktorý je väčšinou nula. Podstatou týchto indikátorov je ukázať silu a veľkosť pohybu, a preto sa zvyknú nazývať aj indikátory sily. Medzi tieto indikátory patria napr. MOM, RSI, CCI, %W a mnoho ďalších. Indikátory volatility zachytávajú volatility tzn. veľkosť zmeny ceny. Tu patria indikátory ATR alebo Bollingerové pásma. Indikátory objemu pomáhajú rozpoznať aj malé zmeny v objeme na trhu, ktoré často predurčujú zmenu smeru pohybu ceny. Taktiež poskytujú informácie, ktoré sa dajú najlepšie využiť tesne pred koncom trendu. Špeciálne indikátory sú indikátory, ktoré v sebe zahŕňajú model viacerých technických indikátorov. Viac informácií o technických indikátoroch je možné nájsť v [6][7].

Každý indikátor má svoje matematické vyjadrenie a ma nastavenú periódu. Perióda je počet hodnôt naspäť v historických dátach, z ktorých sa hodnota indikátora počíta. Kľzavý priemer (Moving average) je definovaný ako:

$$MA(n) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

kde n je sledovaná perióda technického indikátora (počet hodnôt naspäť), P je cena elektriny v danom časovom úseku periódy.

Exponenciálny kľzavý priemer EMA (Exponential Moving average) je definovaný ako:

$$EMA(n) = EMA_{n-1} + \frac{2}{n+1}(P_n - EMA_{n-1}) \quad (2)$$

kde P_n je aktuálna cena v danom časovom úseku periódy.

Indikátor MOM (momentum) je možné vyjadriť podľa vzťahu:

$$MOM(n) = P_n - P_{n-x} \quad (3)$$

Pričom P_n je cena v danom časovom úseku periódy a P_{n-x} je aktuálna cena – priemerná cena zo zvolených cien v perióde.

Indikátor RSI (Relative Strength Index) je možné vyjadriť vzťahom:

$$RSI(n) = 100 - \frac{100}{1 + RS} \quad (3)$$

kde RS je súčet kladných cenových zmien za dané časové obdobie/súčet záporných cenových zmien za dané časové obdobie.

IV. GENETICKÉ ALGORITMY AKO NÁSTROJ PRE TVORBU STRATÉGIÍ

Tak ako už bolo skôr spomenuté, vytvoriť ziskovú stratégiu nie je tak náročné. Nakoľko sa stratégia vytvára na historických dátach, je otázne, či bude funkčná aj na reálnom trhu v budúcnosti. Tento proces môže byť pomerne zdĺhavý, nakoľko stratégia môže byť založená na kombinácií napríklad 5 indikátorov a pre každý z nich je potrebné nastaviť správne parametre periódy. Každý z parametrov môže mať aj 50 rôznych možností nastavenia. Aj keď by išlo len o pomerne jednoduchú stratégiu pre nájdenie správnej kombinácie by bolo potrebné testovať cez 300 000 000 kombinácií (Obr.1).

Použité prvky	Možnosti nastavenia	Počet kombinácií	50 ⁵ =312 500 000
Moving Average	50	Počet hodín pri 1komb/s	86 806
Relative Strength Index	50	Počet rokov	10
Money Flow Index	50		
Stpo-Loss	50		
Take-Profit	50		

Obr. 1. Testovanie obchodnej stratégie pomocou technických indikátorov

Druhou možnosťou je využitie genetickej analýzy, tá je schopná vyriešiť vyššie popísaný problém za niekoľko hodín. Genetická analýza ako taká funguje na princípe vzorkovania a následného využitia genetického vývoja, kde cieľ je nájdenie najúčinnejšej kombinácie. Genetické algoritmy pri hľadaní riešenia postupujú tak že v prvom kroku vygenerujú niekoľko tisíc náhodných kombinácií pre daný problém, ktoré sa nazývajú populácia. Keď je dosiahnutá požadovaná veľkosť populácie (1. Generácia) genetický algoritmus začne hodnotiť, ktorá kombinácia je najvhodnejšia pre dosiahnutie sledovaného cieľa na základe predom určených vyhodnocovacích parametrov. Genetický algoritmus vyčlení kombinácie s najväčším potenciálom a začne vytvárať ďalšiu generáciu a to tak že kríži medzi sebou vybrané kombinácie a snaží sa ich vylepšiť. Zároveň genetický algoritmus vytvára nové kombinácie, pretože každá generácia musí mať rovnaký počet populácie.[8][9].

Genetické algoritmy pre analýzu ceny využívajú poznatky z genetického vývoja a ide o čisto automatické vytvorenie stratégie. Využíva sa kríženie a mutácia pričom sa kladie dôraz na zachovanie robustnosti a zmysluplnosti stratégie. V prvom kroku genetické algoritmy najskôr náhodne vytvoria niekoľko kombinácií indikátorov a ich nastavení, tieto kombinácie sa nazývajú populácia. Keď genetický algoritmus dosiahne požadovaný počet populácií (je vytvorená tzv. generácia) určí z nich tie kombinácie, ktoré najviac vyhovujú zadaným parametrom pre ich hodnotenie. V ďalšom kroku genetický algoritmus prechádza k vytvoreniu ďalšej generácie, v ktorej dochádza ku kríženiu a mutácii vyhovujúcich kandidátov z predošlej generácie, súčasne však vytvárajú nové populácie pretože každá generácia má stanovené rovnaké množstvo populácií. Tento proces sa opakuje kým genetická analýza nedosiahne zadaný počet generácií. V Tab.1 je znázornený príklad ako by mohla vyzerať 1. generácia.

TABUĽKA I
Využitie GA pri vytváraní obchodnej stratégie – 1. generácia

Číslo populácie	Použité prvky	
	MA - Moving Average	RSI - Relative Strength Index
1	10	14
2	26	18
3	15	21
⋮	⋮	⋮
99	60	11
100	49	28

GA môže vytvoriť cez 20 000 rôznych stratégií, ktoré spĺňajú nastavené parametre hodnotenia a je ich potreba ďalej filtrovať. Filtrácia sa uskutočňuje pomocou testov robustnosti, ktoré spočívajú v zmene charakteristiky vývoja trhu (zmena volatility, poradia obchodov, atď.). Výsledkom filtrácie sú stratégie so stúpajúcimi equity krivkami (krivkami ziskov).

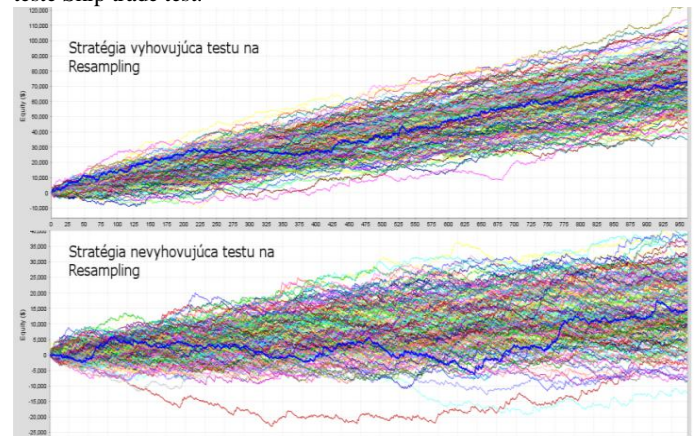
Stratégie tvorené GA sú vytvorené na historických dátach. Celé obdobie historických dát sa rozdelí na dve časti. Prvých 70% sa nazýva In sample dáta a zvyšných 30% sa nazýva out of sample dáta. V prvej časti (In sample) sa vytvára stratégia pomocou GA, ktorá zvyšných 30% dát nevidí a teda nepozná budúcu štruktúru. Ak sa vytvorí zisková stratégia, GA otestuje túto stratégiu na zvyšných 30% dát a až keď tam bude stratégia zisková, považuje sa celkovo za ziskovú stratégiu. Až táto stratégia postupuje ďalej k testom robustnosti.

V. NÁVRH TESTOV ROBUSTNOSTI

Tvorba stratégií bola vykonaná v programe Strategy Quant, avšak popis tvorby nie je predmetom tohto príspevku. Program vytvorí približne 5000 ziskových stratégií za približne 5 hodín. Avšak ako už bolo niekoľkokrát spomenuté, stratégie sa vytvárajú na historických dátach a teda nie je to zárukou kvalitnej stratégie do budúcnosti. Zvýšiť percento úspešnosti stratégie v budúcnosti je možné pomocou testov robustnosti. V tomto príspevku budú popísané len niektoré testy robustnosti a to konkrétne test zamiešania obchodov (resampling) a test vynechania obchodov (skip trade).

Test zamiešania obchodov spočíva v tom, že sa s určitou pravdepodobnosťou zamieša poradie obchodov, ktoré boli vygenerované na historických dátach. Tým sa otestuje, či postavená stratégia bude zisková aj napriek tomu, že sa zmení poradie obchodov. Nakoľko na budúcich dátach je mála pravdepodobnosť, že sa budú historické obchody opakovať (kvôli tomu, že sa trh neustále mení), je tento test robustnosti naozaj dôležitý a náročný. Navyše pri tomto teste sa nastavuje aj počet simulácií. To znamená, koľkokrát sa zopakuje ten istý proces zamiešania obchodov. Pri každom opakovaní sa zamieša vždy náhodné poradie obchodov. Výsledkom sú potom grafy jednotlivých simulácií. Pre účely tohto príspevku bol nastavený počet simulácií na hodnotu 200. Na Obr.2 je možné vidieť výsledok z testu robustnosti pre stratégiu, ktorá týmto testom prešla (hore) a ktorá týchto testom neprešla (dole). Na oboch grafoch je možné vidieť graf ziskov pre 200 rôznych simulácií pre test zamiešania obchodov. Ak sa porovnajú trendy ziskov, je možné vidieť, že na hornom grafe výsledky zo všetkých 200 simulácií rastú. Na dolnom grafe je ale možné vidieť, že množstvo simulácií z celkového počtu 200 je skôr stratových, alebo ide do strany (pohybuje sa niekde v okolí nuly). Pri tomto teste nie je dôležitý aký zisk simulácie dosiahli, ale

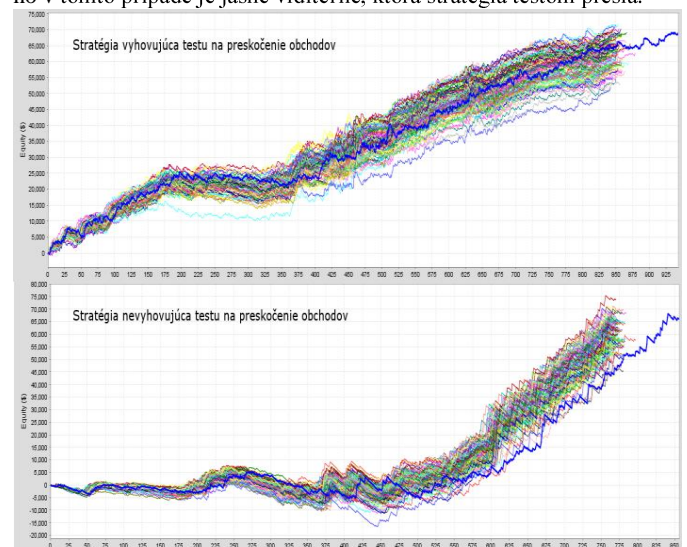
o to, ako simulácie reagujú na tento test. Podobne je to aj pri ďalšom teste Skip trade test.



Obr. 2. Výsledky testu robustnosti - Resampling

Druhým testom je test pre vynechanie obchodov (skip trade test). Tento test spočíva v tom, že sa náhodne vynechá určité percento obchodov z celkového počtu. Tento test sa vykonáva preto, aby sa stratégie otestovali na náhodné udalosti, ktoré pri reálnom obchodovaní môžu vzniknúť, napríklad strata internetového pripojenia, strata napájania elektrickej siete a pod. Pri tomto teste bola nastavená hodnota 10%, čo znamená, že sa náhodne vynechá 10% obchodov z celkového počtu. Znamená to, že stratégia na historických dátach vytvorí napríklad 200 obchodov a týmto testom sa vynechá 20 obchodov. Takto sa vykoná jedna simulácia a program Strategy Quant vytvorí týmto spôsobom 200 rôznych simulácií na vynechanie obchodu. Pri tomto teste bola zadaná pravdepodobnosť vynechania obchodu 10%, čo značí že zo 100 obchodov 10 program vynechá. Pri tomto teste bol počet simulácií nastavený znova na hodnotu 200 simulácií.

Na Obr.3 je možné vidieť výsledok stratégie, ktorá týmto testom prešla (hore) a výsledok stratégie, ktorá testom neprešla (dole). Na oboch grafoch je možné vidieť, že so vzrastajúcim počtom obchodov rástol aj zisk a to pre oba stratégie. Avšak na dolnom grafe je možné vidieť, že značné obdobie (približne 70%) bol zisk takmer nulový a stratégia negenerovala zisk. Preto táto stratégia neprešla týmto testom robustnosti. Pri rozhodovaní je to skôr subjektívne posúdenie, no v tomto prípade je jasne viditeľné, ktorá stratégia testom prešla.



Obr. 3. Výsledky testu robustnosti – skip trade test

VI. ZÁVER

Tento príspevok sa zameriava na tvorbu obchodných stratégií na báze genetických algoritmov a následnou aplikáciou na trh s elektrinou. Samotná tvorba stratégií nie je v tomto príspevku obsiahnutá nakoľko je to dosť obširná téma. Príspevok poukazuje na možnosti vytvorenia stratégií pre trh s elektrinou pomocou technických indikátorov. Vytvorenie stratégie nie je problematické, no testovanie tejto stratégie je časovo náročné. Klasické manuálne testovanie na niekoľkoročných dátach trvá niekoľko hodín, no aj tak je to stále výsledok na historických dátach. Na to, aby sme dvihli percento úspešnosti navrhutej stratégie v budúcnosti, je potrebné navrhnuť testy, ktoré nasimulujú „budúcnosť v trhu“. Príspevok navrhuje dva základné testy robustnosti, ktoré pomocou historických dát navodia neznámu budúcnosť. Prvým navrhovaným testom bol test zamiešania obchodu (resampling), ktorý náhodne zamieša obchody. Stratégia bola vytváraná na kontinuálnych historických dátach a preto stratégia, ktorá týmto testom prejde má vysokú pravdepodobnosť, že ju budúci vývoj trhu nezaskočí. Druhým testom robustnosti popísaný v tomto príspevku bol test na vynechanie obchodov (skip trade), ktorý podobne ako test na zamiešanie obchodov vytvára nie minulý historický vývoj ceny, ale simuluje budúci vývoj na trhu.

Len tieto dva testy robustnosti ešte sú zárukou úspešnej stratégie, ale ich úspešnosť sa týmito testami zásadne zvýši. Pre priblíženie, ak v programe vytvoríme 5000 stratégií, týmito testami ich prejde len približne 30 až 100. Avšak je potrebné sa zaoberať aj ďalšími testami, ktoré ešte zvýšia percento úspešnosti vytvorenej stratégie a ešte viac nasimulujú „neznámu budúcnosť v trhu“.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla na základe podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA MŠVVaŠ SR č. projektu 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály.

LITERATÚRA

[1] M. Pavlík, M. Kolcun, "Predikcia ceny elektriny na burze PXE použitím RSI a MACD indikátorov," In: Energetika. Vol. 64, no. 5 (2014), p. 279 - 281. - ISSN 0375-8842.

- [2] M. Pavlík, "Pohľad na cenu elektriny na burze PXE," In: Elektro. Vol. 24, no. 6 (2014), p. 42-43. - ISSN 1210-0889.
- [3] M. Pavlík, M. Kolcun, "Analýza ceny elektriny na burze PXE," In: EE časopis. Roč. 20, č. 3 (2014), s. 14-16. - ISSN 1335-2547.
- [4] Trh s elektrickou energiou v Európe, [online]. [cit. 2016-02-07] vyd. 2007. Dostupné na internete: https://www.pxe.cz/pxe_downloads/Info/pxe_analyza.pdf
- [5] Sprivodca technickou analýzou na forexe I. [online]. [cit. 2016-03-11], 2016, Dostupné na internete: <http://www.trimbroker.com/dokumenty/TRIMBroker-technicka-analyza-v1-101217.pdf>
- [6] P. Podhajský, T. Nesnídal, "Jak se stát intradenním finančníkem," Centrum finančního vzdělávání, 288 s., ISBN: 978-80-903874-4-7.
- [7] P. Podhajský, T. Nesnídal, "Kompletní průvodce úspěšného finančníka," Centrum finančního vzdělávání, 344 s., ISBN: 978-80-903874-5-4.
- [8] J. Saebi, H. Ghasemi, S. Afsharnia, H. Rajabi Mashhadi, "Imperialist Competitive Algorithm for reactive power dispatch problem in electricity markets," 20th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2012), Tehran, 15-17 May 2012, IEEE, pp. 433 - 437, ISBN: 978-1-4673-1149-6.
- [9] A. Guerreiro, J. Saraiva, J. C. Sousa, V. T. Mendes, "Operation planning of hydro stations using genetic algorithms considering their impact on the electricity market prices," 11th International Conference on the European Energy Market (EEM14), 28-30 May 2014, Krakow, IEEE, pp. 1 - 6, ISSN: 2165-4077.

ADRESY AUTOROV

Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk

Matej Rafaelis, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, matej.rafaelis@student.tuke.sk

Martin Kanálik, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, martin.kanalik@tuke.sk

Dušan Medveď, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dusan.medved@tuke.sk

Peter Kurimský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, peter.kurimsky@tuke.sk