

Marek Pavlík

## Matematický model obchodnej stratégie pre trh s elektrinou

Článok sa venuje tvorbe obchodnej stratégie pre trh s elektrinou. Vytvorenie stratégie bolo vykonané na báze genetických algoritmov. Vstupom do procesu tvorby stratégie boli technické indikátory RSI a %W. Celkovo bolo vytvorených 1200 stratégií. Po vytvorení boli stratégie otestované na testoch robustnosti – celkovo tri testy robustnosti, test zamiešania obchodov, test vynechania obchodov a test zmeny parametrov. Týmito testami prešli iba dve stratégie z celkového počtu 1200. Jedna z nich bola vybraná ako finálna podoba obchodnej stratégie pre trh s elektrinou.

Kľúčové slová: genetické algoritmy; liberalizácia; burza

The article deals with the building of the trading strategy for the electricity market. A strategy was carried out based on genetic algorithms. Input into the building strategy were the technical indicators RSI and W%. Overall, 1200 was created strategies. After creating strategies were tested for robustness test - a total of three robustness test, resampling test, skip trade test and change parameter test. Only two strategies of total 1200 passed through these tests. The one of them was selected as the final version of the trading strategy for the electricity market. **(Mathematical model of trading strategy for the electricity market)**

Keywords: Genetic algorithms; liberalization; exchange

### I. ÚVOD

Obchodovanie s elektrinou sa za posledné roky pretransformovalo do viac sofistikovanejšej činnosti. Nakoľko sa s elektrinou obchoduje na rôznych energetických burzách, účastníci trhu s elektrinou upriamujú svoju pozornosť na jej cenu, s čím súvisí hľadanie rôznych matematických modelov pre predikciu vývoja ceny elektriny. V súčasnosti predikčné systémy fungujú na rôznych princípoch – neurónové siete, genetické algoritmy a pod. Každý z nich s určitou pravdepodobnosťou dokáže určiť budúci vývoj ceny elektriny, nie však presnú cenu elektriny. Tá závisí od rôznych faktorov. Z toho dôvodu je značne komplikované určiť jej presnú cenu. Podľa dokumentu [1] Úradu pre reguláciu sieťových odvetví URSO, cenu elektriny môžu ovplyvniť najviac nasledovné tri faktory:

1. Rast priemyselnej produkcie v eurozóne, znamenajúci vyšší dopyt po elektrine. Pre rok 2013 a 2014 málo pravdepodobný scenár. Výraznejšie oživenie ekonomického rastu v eurozóne je možné očakávať až v rokoch 2015 a 2016.

2. Výrazný výpadok dodávky elektriny spôsobený haváriou elektrárne s vysokým inštalovaným výkonom (napr. jadrová elektrárňa). Málo pravdepodobná udalosť, ktorú nie je možné vylúčiť a ktorá by spôsobila výrazný nárast ceny elektriny. Cena elektriny by sa po stabilizácii trhu s elektrinou v priebehu troch až šiestich mesiacoch vrátila na pôvodnú hodnotu (viď prípad „havária elektrárne Fukušima“).

3. Postupné vyradovanie atómových elektrární v Nemecku z činnosti. Vyradovanie atómových elektrární bolo síce avizované, ale nakoľko ide o technicky a časovo náročný proces, nie je pravdepodobné, že v uvedených rokoch dôjde k vyradeniu viac ako jednej atómovej elektrárne. V tom prípade sa zopakuje scenár podľa bodu 2., ale s menšími dôsledkami (plánované zníženie produkcie elektriny) [1].

Okrem týchto faktorov môže cenu elektriny ovplyvniť množstvo ďalších nepredvídaných udalostí, ktoré nie je možné dopredu predikovať. Obchodníci, ktorí sledujú tieto faktory sa vo všeobecnosti

nazývajú fundamentálni obchodníci. Existuje ešte druhá skupina obchodníkov, technickí obchodníci, ktorí sledujú rôzne technické indikátory. Tieto z pohľadu štatistiky dokážu s určitou pravdepodobnosťou predikovať budúci vývoj ceny elektriny.

### II. TECHNICKÍ OBCHODNÍCI A TECHNICKÉ INDIKÁTORY

Technickí obchodníci predikujú budúci vývoj ceny elektriny na základe rôznych technických indikátorov, ktoré reprezentujú matematický model. Matematický model technického indikátora je vypočítaný z historických cien elektriny s určitou periódou. Perióda definuje z koľkých historických cien je technický indikátor vypočítaný. Ak má indikátor napríklad periódu 10, technický indikátor je počítaný z posledných 10 cien dozadu, vrátane aktuálnej. Technický indikátor je možné aplikovať na rôzne časové úseky – na hodinový graf resp. denný graf a iné. Potom perióda 10 reprezentuje výpočet hodnoty technického indikátora z posledných 10 hodín, resp. 10 posledných dní.

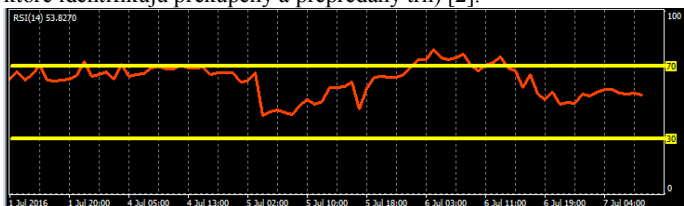
Technických indikátorov existuje veľké množstvo a preto v tomto článku budú popísané len tie, s ktorými sa bude ďalej uvažovať.

Indikátor RSI (Relative Strength Index) patrí medzi základné indikátory technickej analýzy a označuje sa ako indikátor sily trhu. Priebeh indikátora a teda jeho hodnota sa zobrazuje v rozpätí 0 až 100. Základná vlastnosť indikátora RSI je, že poukazuje na oblasti „prekúpenia“ a „prepredania“ danej komodity. Hodnota tohto indikátora sa počíta na základe (1):[2][3]

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

kde RS je priemerný zisk alebo priemerná strata. Tiež je možné RS definovať ako priemer vzrastu ceny za n dní/priemer poklesu ceny za n dní. Vzrastom a poklesom ceny sa rozumie rozdiel dnešnej ceny oproti včerajšej cene (pokiaľ je stratégia aplikovaná na denný graf). Ak dnešná cena je vyššia ako včerajšia, ich rozdiel sa ráta do priemeru v čitateli RS. Ak cena je nižšia ako včerajšia, ich rozdiel sa ráta do priemeru v menovateli. Priemer strát je tiež vždy vyjadrený ako

pozitívna hodnota. Zvyčajne sa používa nastavenie indikátora s periódou 9, 14 alebo 25 dní. Na Obr.1 je zobrazený priebeh indikátora RSI s periódou 14 (červený priebeh) a tiež hranice 30 a 70 (žlté čiary, ktoré identifikujú prekúpený a prepredaný trh) [2].



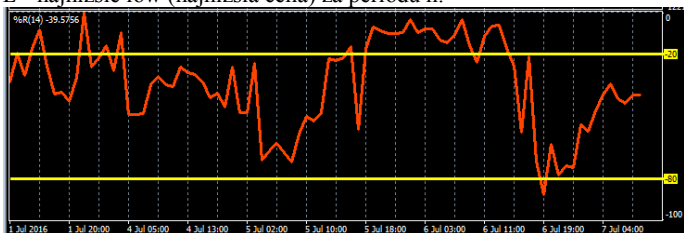
Obr. 1. Priebeh indikátora RSI s periódou 14

Ďalším uvažovaným indikátorom je %R (alebo tiež %W). Tento indikátor je dynamický indikátor, ktorý taktiež určuje kedy je trh prekúpený alebo prepredaný. Jeho autorom je Larry Williams. Hodnoty, medzi ktorými sa %R pohybuje sú 0 až -100. U hodnôt 0 až -20 hovoríme o prekúpenom trhu, hodnoty -80 až -100 hovoria o prepredanom trhu. Pohľad na indikátor %R je možné vidieť na Obr.2, kde oranžový priebeh reprezentuje priebeh indikátora a žlté čiary reprezentujú hranice prekúpenosti a prepredanosti.

Vzorec pre výpočet je nasledovný [3][3][4]:

$$\%R = \frac{H - C}{H - L} \cdot 100 \quad (2)$$

kde:  $H$  - najvyššie High (najvyššia cena) za periódu  $n$ ,  $C$  - close a  $L$  - najnižšie low (najnižšia cena) za periódu  $n$ .



Obr. 2. Pohľad na indikátor %W s periódou 14

### III. TVORBA OBCHODNÝCH STRATÉGIÍ NA BÁZE GENETICKÝCH ALGORITMOV

Ako už bolo skôr spomenuté, technickí obchodníci obchodujú na základe vyhodnotenia stavu technického indikátora, alebo viacerých technických indikátorov. Nájsť ale správnu kombináciu viacerých indikátorov aj s ich periódami je časovo náročné. Najprv je potrebné navrhnuť novú stratégiu (Obr.3).



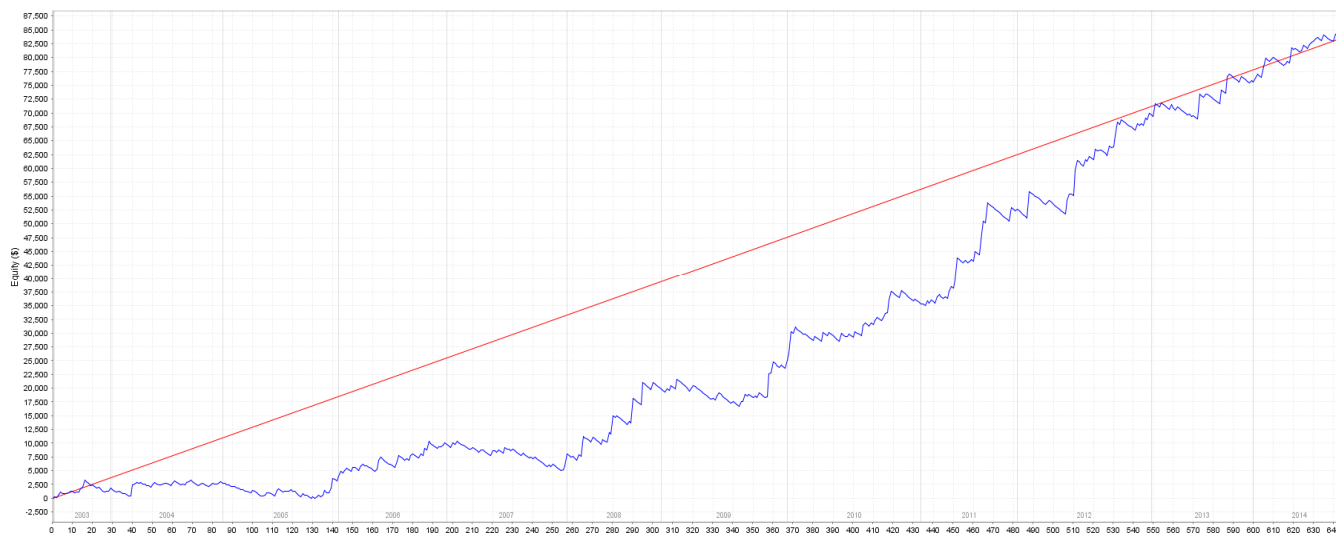
Obr. 3. Postup návrhu stratégie

Ak sa nová stratégia navrhuje ručne, je návrh náhodný - napríklad za vstupné signály pre nákup elektriny sa zvolí indikátor CCI s periódou 14 a %W s periódou 20. Otestovanie tejto stratégie na historických dátach trvá niekoľko týždňov až mesiacov. Až po tomto otestovaní je možné určiť, či je stratégia zisková alebo nezisková a tým zvýšiť pravdepodobnosť, že bude zisková aj v budúcnosti. Ak je nezisková, celý proces tvorby ziskovej stratégie sa opakuje znova [4][6].

Pri návrhu stratégie, popísanej v tomto článku, bol navrhnutý genetický algoritmus v programe StrategyQuant. Návrh stratégie v programe StrategyQuant funguje tak, že sa nadefinujú vstupy. Pri fundamentálnych stratégiách by vstupy boli rôzne ekonomické a technické ukazovatele. Pri technických stratégiách sú vstupom technické indikátory, operátory, jednoduché podmienky a pod. Pod pojmom operátor sa rozumie napríklad matematický operátor vyšší, nižší, vyšší než, nižší než a pod. Pod pojmom jednoduché podmienky sa rozumie presné definovanie podmienok pre technický indikátor. Pri stavbe stratégie boli vybrané dva technické indikátory a to RSI a %W.

Genetická analýza funguje na princípe vzorkovania a následného využitia genetického vývoja, kde cieľom je nájdenie najziskovejšej kombinácie. Genetické algoritmy pri hľadaní riešenia postupujú tak, že v prvom kroku vygenerujú niekoľko stovák náhodných kombinácií pre daný problém. Tieto kombinácie sa nazývajú populáciou. Keď je dosiahnutá požadovaná veľkosť populácie (1. Generácia), genetický algoritmus začne hodnotiť, ktorá kombinácia je najvhodnejšia pre dosiahnutie sledovaného cieľa. 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. 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 [6].

Výsledkom generovania stratégií je niekoľko tisíc stratégií, ktoré vykazujú na historických dátach zisk (Obr.4, kde stratégia od roku 2005 po koniec roka 2014 vykazuje zisk 85000€/MWh, čiže na jeden kontrakt). Takýchto stratégií genetický algoritmus vytvorí za niekoľko hodín pomerne veľké množstvo. Avšak reálne nasadenie takýchto stratégií do reálneho trhu by nebolo správne. Je to z toho dôvodu, že tieto stratégie sú síce ziskové, ale na historických dátach a na historickej štruktúre trhu. Taktó vytvorené stratégie a ich zisk by mohla ovplyvniť práve neznáma budúcnosť. Preto je potrebné tieto stratégie otestovať na testy robustnosti. Testy robustnosti slúžia na to, aby bola stratégia otestovaná na neznámu budúcnosť, ktorá môže vzniknúť v reálnom trhu. Pomocou testov robustnosti sa namodeluje zmena trhu, ktorá predstavuje pre stratégiu neznámu budúcnosť. Testami robustnosti sa mení štruktúra trhu, jeho volatilita, čím sa dosiahnu zmeny, ktoré sa približujú nepredvídaným okolnostiam, ktoré v budúcnosti môžu vzniknúť.



Obr. 4. Celkový zisk stratégie – equity krivka

#### IV. TESTY ROBUSTNOSTI

Vzhľadom na to, že vytvorené stratégie sú stavané na známe historické dáta, je potrebné ich otestovať na dátach, s ktorými genetika v procese tvorby stratégie nepracovala. Na to slúžia testy robustnosti. Pomocou historických dát je možné simulovať zmeny v štruktúre trhu.

Prvým testom robustnosti je test na zamiešanie obchodov - resampling. Podstatou testu je náhodne zamiešanie obchodov, pričom sa vytvorí nová equity krivka (krivka zisku). Pri testovaní sa nastavuje pravdepodobnosť zamiešania. Pri testovaní bola použitá pravdepodobnosť 20%, čo znamená, že pätina obchodov sa prehodí na iné miesto, čím sa zmení tvar equity krivky a aj celkový zisk. Toto prehodenie nie je uskutočnené postupne podľa poradia obchodov ale náhodne. Postupne sa vymažú tie stratégie (spomedzi všetkých vytvorených), ktoré vykazujú stratu, alebo tie, ktorých equity krivka nemá rastúci trend ale pohybuje sa mierne v zisku. Z 1200 vytvorených stratégií týmto testom prešlo iba 485 stratégií. Ostatné boli zmazané, nakoľko neboli schopné reagovať na zmenu v štruktúre trhu.

Ako druhý bol vykonaný test robustnosti – test vynechania obchodu. Tento test bol vykonaný už iba na tých stratégiách, ktoré prešli prvým testom. Pri tomto teste sa nastaví hodnota, ktorá definuje, koľko percent z uskutočnených obchodov sa vynechá. Hodnota bola znova nastavená na 20%, čo znamená, že pätina z uskutočnených obchodov bude vynechaná. Znova je to náhodná pätina obchodov. Môžu to byť ziskové ale aj stratové obchody. Vyhodnotenie tohto testu bolo vykonané obdobne ako test zamiešania obchodov. Zmazali sa tie stratégie, ktoré vykazovali stratu a aj tie, ktorých equity krivka nemá rastúci trend ale pohybuje sa mierne v zisku. Zo 485 stratégií (po prvom teste) ich týmto testom prešlo len 112 stratégií.

Posledným testom bol test na zmenu parametrov stratégie. Tento test sa vykonáva preto, aby sa zamedzilo tomu, že stratégia je presne vytvorená na historické dáta a na ich postupnosť. Pri tomto teste sa nastavujú dva parametre testu – pravdepodobnosť a maximálna zmena. Pravdepodobnosť bola nastavená na hodnotu 20%, čo reprezentuje pravdepodobnosť s akou sa budú parametre meniť. Hodnota maximálnej zmeny bola nastavená na hodnotu 30%, čo reprezentuje, že hodnota parametra technického indikátora sa bude meniť až do 30%. Hodnoty parametrov môžu byť napríklad hodnota periódy, čo značne ovplyvní aj vstupy do obchodov a teda aj počet

obchodov. Týmto testom sa teda môže počet obchodov oproti originálu stratégie značne navýšiť alebo aj znížiť. Spomedzi týchto troch testov je tento najzložitejší a najprísnejší. Týmto testom prešli iba dve stratégie zo zvyšných 112 stratégií. Keďže obe stratégie sú založené na podobnom princípe a podobných technických indikátoroch, bola vybraná iba jedna z nich, ktorá dosahuje najvyšší pomer zisk/drawdown. Drawdown je najväčšia séria strát počas funkčnosti stratégie. Z pôvodných 1200 vytvorených stratégií bola vyhodnotená jedna stratégia, ktorá je pomerne robustná a ktorá dokáže reagovať aj na budúce nepredvídané zmeny v trhu. Jej zdrojový kód je zobrazený na Obr.5.

Na zdrojovom kóde je možné vidieť vstupné podmienky (entry conditions) a presné definovanie vstupnej požiadavky (entry orders) ako aj výstupnej požiadavky (exit orders). Ako vstupná podmienka je pri tejto stratégii prekriženie indikátora %W s periódou 49 a indikátora CCI s periódou 19. Výstupnou podmienka je, ak indikátor RSI s periódou 40 má hodnotu vyššiu ako 50. Celkovo bolo za históriu dát uskutočnených 853 obchodov s celkovým ziskom 68 222€/MWh – teda na jeden kontrakt.

```

Pseudo Source Code of 27_04_201624_04_2016Strategy 1.122
with parameter names.

Generated by StrategyQuant version 3.8.1
Generated at Thu Jul 07 07:00:00 GMT 2016

Tested on elektrina, H1, 31.12.2004 - 01.01.2014
Spread: 2.0, Slippage: 10.0, Min distance of stop from price: 5.0
=====
== Entry conditions
=====
LongEntryCondition = (Williams%R(49) Crosses Below CCI(19))

=====
== Entry orders
=====
-- Long entry
if LongEntryCondition is true {
    if No position is open then Buy on open at Market;
    Stop Loss = 4 pips;

    // Move SL to BE (on close)
    Move Stop Loss to Entry price when in profit at least 5 pips;
}

=====
== Exit orders
=====
-- Long exit
if MarketPosition is Long {
    if Long Term RSI(40) > 50 {
        Close position at market;
    }
}

```

Obr. 5. Zdrojový kód stratégie

## V. ZÁVER

Tento článok pojednáva o návrhu ziskovej obchodnej stratégie aplikovateľnej na prostredie trhu s elektrinou. Na vytvorenie stratégie bolo použitý program StrategyQuant. Je potrebné poznamenať, že tvorba jednej stratégie a jej overenie na historických dátach trvalo približne 0,5 až 3 sekundy. Ako sa v článku spomína, ručne by tento proces trval niekoľko týždňov až mesiacov. Na tvorbu stratégie boli použité technické indikátory RSI a %W. V prvom kroku bolo vytvorených 1200 stratégií. Na týchto vytvorených stratégiách boli vykonané testy robustnosti – test zamiešania obchodov, test vynechania obchodov a test na zmenu parametrov – aby sa vylúčila preoptimalizácia stratégie, čo by znamenalo, že stratégia je presne optimalizovaná na historické dáta, ale na budúcich dátach by nemusela byť zisková. Nastavenie testov robustnosti bolo zvolené tak, aby sa príliš logika samotnej stratégie nezmenila. Testy robustnosti poukazujú práve na tieto preoptimalizované stratégie. Týmto tromi testami robustnosti v konečnom dôsledku prešli iba dve stratégie z celkového počtu 1200 stratégií. Keďže obe fungovali na podobnom princípe, vybrala sa tá, ktorá mala najvyšší pomer zisk/drawdown. Celý zdrojový kód je zobrazený v príspevku.

Je potrebné poznamenať, že v budúcnosti by bolo vhodné podrobiť túto stratégiu ďalším testom robustnosti, hlavne na Walk Forward test, ktorý je značne komplikovaný a prísny test. Týmto testom sa testujú optimálne nastavenia parametrov s tým, že sa testujú znova na historických dátach avšak iným, sofistikovanejším spôsobom. Walk Forward test je značne komplikovaný a preto tento článok tento test nepopisuje, čo by mohlo byť predmetom budúceho výskumu. V súčasnosti je aktuálny aj ďalší test robustnosti a to test na iný trh. Vytvorená stratégia na trhu s elektrinou sa otestuje na inom trhu, ktorý

s nim koreluje. Napríklad trh s plynom. Týmto testom by sa simulovala iná, avšak podobná štruktúra trhu akým je elektrina.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantov FEI č. FEI-2015-6 Vplyv elektromagnetického poľa na vlastnosti materiálov.

## LITERATÚRA

- [1] Analýza vývoja cien do roku 2016 v segmente teplo a elektrina, Úrad pre reguláciu sieťových odvetví URSO, Bratislava, 2012, cit:[2.4.2017], Dostupné na: [http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/IS\\_IU\\_Vyvoj%20cien%20EaT%20do%202016.pdf](http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/IS_IU_Vyvoj%20cien%20EaT%20do%202016.pdf)
- [2] I. Chemišinec, M. Marvan, J. Nečesaný, T. Sýkora and J., Tuma, *Obchod s elektrinou*. Praha: CONTE spol. s.r.o., 2010, Model obchodu s elektrinou. ISBN 978-80-254-6695-7.
- [3] C. Strickland, L. Clewlow, *Energy Derivatives: Pricing and Risk Management*, London, England: Lacima Publications, 2000. 262s. ISBN 0-9538896-0-2.
- [4] P. Dean, *The RSI Pro: The Core principles*, 2010, cit:[21.1.2014], dostupné na: <http://www.cabafx.com/trading-ebooks-collection/newpdf/The%20RSI%20Pro%20The%20Core%20Principles.pdf>
- [5] O. Hartman et. al., *Začínáme na burze: Jak uspět při obchodování na finančních trzích: akcie, komodity a forex*. Brno: BizBooks, 2013. 236 s. ISBN 978-80-265-0033-9.
- [6] Genetické algoritmy [online]. 2016 Dostupné na: [http://www.financnik.cz/komodity/fin\\_home/trading-a-geneticke-algoritmy-otazky-odpovedi.html](http://www.financnik.cz/komodity/fin_home/trading-a-geneticke-algoritmy-otazky-odpovedi.html).

## ADRESY AUTOROV

Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [marek.pavlik@tuke.sk](mailto:marek.pavlik@tuke.sk)