

Daniel Pál, Ľubomír Beňa, Dušan Medved', Marek Pavlík, Zsolt Čonka, Michal Kolcun

Používanie optimalizačných algoritmov na výpočet vybraných ukazovateľov v sieti

Abstrakt: V tejto publikácii sú pomocou optimalizačných algoritmov vypočítané vybrané ukazovatele siete. V prvej kapitole je vysvetlená definícia inteligentných sietí rôznymi energetickými inštitúciami. Následne je uvedený spôsob na zníženie strát v sieti, ktorý bol využitý v tejto publikácii. V ďalšej kapitole sú vysvetlené jednotlivé optimalizačné algoritmy s bližším zameraním na SOMA algoritmus. V záverečnej časti publikácie sú vyhodnotené výsledky, ktoré boli získané pomocou enumeratívnej metódy a SOMA algoritmu. Výsledky boli porovnávané podľa rôznych kritérií kvôli určeniu výberu vhodnej optimalizačnej metódy.

Kľúčové slová: inteligentné siete; optimalizácia; optimalizačné metódy

Abstract: In this publication, selected network parameters are calculated using optimization algorithms. The first chapter explains how the various institutions define smart grids. The following chapter explains how to reduce network losses used in this publication. The next chapter explains optimization algorithms. The SOMA algorithm is explained in more detail. The final part of the publications evaluates the results obtained using the enumerative method and the SOMA algorithm. The results were compared according to different criteria in order to select the best method by which the best results are obtained. **(Use of optimization algorithms for calculation of preferred network parameters)**

Keywords: smart grids; optimization; optimization methods

I. ÚVOD

V 21. storočí sa s inteligentnými technológiami môžeme stretnúť vo všetkých oblastiach, stali sa súčasťou nášho života. Nachádzajú sa medzi nimi napr. Smartphones (mobilné telefóny), Smart Clock (inteligentné hodiny), Smart Lamps (inteligentné lampy), Smart Camery (inteligentné kamery), Smart Fridges (inteligentné chladničky) a mnohé iné. Technológie sa neustále rozvíjajú, vyvíjajú sa nové technologické zariadenia, ktorých cieľom je zlepšenie a uľahčenie života a úkonov v každodennom živote vo všetkých oblastiach.

II. INTELIGENTNÉ SIETE

Všeobecne zadefinovanie inteligentnej siete je pomerne problematické, nakoľko každý štát, každý kontinent má k tejto problematike iný prístup. Z hľadiska posudzovania Európskej komisie, inteligentnú sieť je možné opísať na základe nasledujúcich hľadísk:

- flexibilita – reaguje na požiadavky spotrebiteľov,
- dostupnosť – do siete je možné pripojiť všetky nové zdroje, vrátane obnoviteľných,
- spoľahlivosť – zaisťuje bezpečnosť a kvalitu dodávky elektrickej energie v každom okamihu,
- hospodárnosť – efektívne riadenie siete [1].

Podľa amerického úradu elektriny (The Office of Electricity) inteligentné siete charakterizujú nasledujúce body:

- vyššia efektivita pri prenose elektrickej energie,
- nižšie straty,
- rýchlejšia obnova siete v prípade poruchy,
- zníženie prevádzkových a riadiacich nákladov – zníženie cien energie pre spotrebiteľov,
- bezpečnosť – odolnosť siete voči fyzickému alebo kybernetickému zásahu,
- integrácia obnoviteľných zdrojov energie [2].

Medzinárodná energetická agentúra (IEA – International Energy Agency) definuje inteligentnú sieť ako systém, ktorý používa digitálne technológie na monitorovanie a riadenie prepravy elektriny zo všetkých zdrojov výroby tak, aby vyhovoval meniacim sa požiadavkám koncových používateľov na elektrickú energiu [3].

III. MOŽNOSTI ZNÍŽENIA STRÁT

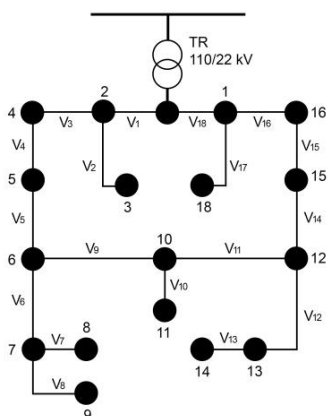
Pri náraste podielu obnoviteľných zdrojov energie a pomocou inteligentných technológií sa centralizovaná schéma mení na decentralizovanú výrobu elektrickej energie. Vďaka obnoviteľným zdrojom energie je v súčasnosti ekonomicky výhodné vyrábať elektrickú energiu priamo na mieste spotreby. V elektrickej sieti sa preto čoraz častejšie objavujú nové zdroje a nové technológie s ohľadom na rozvoj informačných technológií. Vzniká potreba novej komunikácie medzi týmito komponentami. Z elektrickej siete po týchto zmenách vzniká inteligentná sieť (SMART GRID).

Téma inteligentných sietí je v dnešnej dobe čoraz aktuálnejšia, keďže elektrickú energiu je potrebné využívať čo najefektívnejšie. Energiu je potrebné prenášať od výroby až do miesta spotreby s najmenšími možnými stratami. Podiel obnoviteľných zdrojov sa zvyšuje postupne na celom svete, a preto je viac ako nevyhnutné zaviesť elektrický systém, ktorý môže súčasne spĺňať podmienky bezpečnosti a spoľahlivosti. Jednou z možností je použitie technológií SMART, ktoré zabezpečia, aby boli sledované všetky parametre, ktoré sú dôležité z hľadiska prevádzky.

Pre zabezpečenie stálej dodávky elektrickej energie a kvalitatívnych ukazovateľov pri prijateľných vstupných nákladoch je potrebné minimalizovať straty, ktoré vznikajú pri prenose elektrickej energie. Jednou z možností na zníženie strát je náhrada veľkých elektrární väčším počtom malých elektrární, ktoré by boli rozptýlené v sieti. Vznikla by takzvaná distribuovaná generácia, pomocou ktorej by vyrobená elektrická energia bola spotrebovaná hneď v blízkosti výroby, a preto by ju nebolo potrebné prenášať do vzdialenejších oblastí, čím by sa následne znížili aj straty vznikajúce pri prenose. Stopercentnú účinnosť nie je možné dosiahnuť, straty vzniknú vždy, ale je ich možné minimalizovať. Príspevok je zameraný na využívanie distribúovanej výroby elektrickej energie [4].

IV. RIEŠENÁ ELEKTRICKÁ SIEŤ

Schéma elektrickej siete používanej v enumeratívnej metóde a aj v SOMA algoritme je znázornená na Obr. 1. Elektrická sieť sa skladá z 18 uzlov, ktoré sú spravidla odberovými uzmi. Do ostatných uzlov je možné umiestniť elektrárne a pomocou navrhnutých algoritmov je možné vypočítať ich výkony.

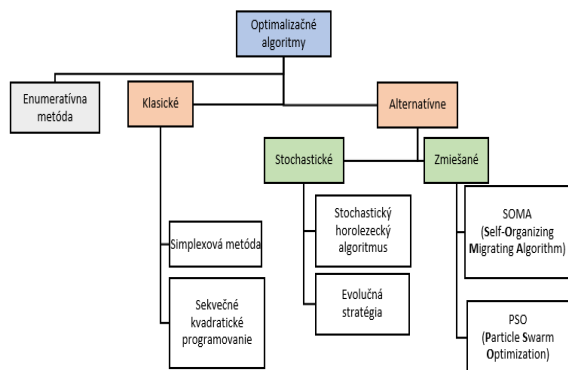


Obr. 1 Schéma elektrickej siete

V. OPTIMALIZAČNÉ METÓDY

Na optimalizáciu vybraných ukazovateľov v sieti je možné používať optimalizačné algoritmy - optimalizačné metódy. Úlohou optimalizačných metód/algoritmov je určenie minima resp. maxima v určitej populácii, kde pomocou vhodných kombinácií variantov dokáže nájsť najlepšiu a vyberá buď najmenšiu/najväčšiu hodnotu z nich. Tieto algoritmy sú zvyčajne používané tam, kde klasické výpočtové metódy nedosiahnu požadovanú presnosť alebo ich použitie pre daný typ úlohy nie je možné z hľadiska náročného zadenovania potrebných výpočtových parametrov riešiť.

Optimalizačné algoritmy je možné kategorizovať na základe niekoľkých kritérií. V článku boli optimalizačné algoritmy rozdelené na 4 podskupiny na základe toho, či sa jedná o klasické metódy alebo o nové algoritmy. Každá metóda má špecifické vlastnosti, na základe ktorých je treba zvoliť vhodnú metódu pri riešení konkrétnej úlohy tak, aby bola dosiahnutá požadovaná kvalita a presnosť. Spomínané rozdelenie algoritmov je možné vidieť na Obr. 2.



Obr. 2 Optimalizačné algoritmy [5]

V príspevku boli používané 2 metódy na riešenie vybraných ukazovateľov v sieti:

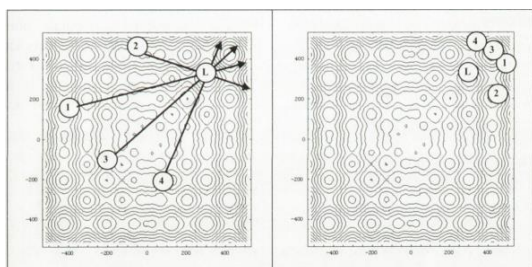
- Enumeratívna metóda - v tejto metóde dochádza k výpočtu všetkých kombinácií, ktoré sa vyskytujú pri riešení danej optimalizačnej úlohy. Vzhľadom na to, že vypočíta všetky možné kombinácie variantov v problematike, výpočtový čas je veľmi dlhý, preto sa daná metóda odporúča iba pri riešení jednoduchých úloh v prípadoch, keď sa nepoužíva veľa parametrov. Pri zložitejších úlohách sa výpočtový čas na ukončenie metódy môže pohybovať od niekoľkých hodín až po niekoľko dní, komplikovanejšie príklady však vyžadujú ešte podstatne dlhší čas [5].
- SOMA algoritmus - algoritmus je vysvetlený v nasledujúcej kapitole.

VI. SAMO-ORGANIZUJÚCA SA MIGRAČNÝ ALGORITMUS

SOMA (Samo-Organizujúca sa Migračný Algoritmus) patrí medzi optimalizačné algoritmy. Ako všetky ostatné algoritmy, aj tento algoritmus má výhody a nevýhody. Výhodou je rýchly výpočtový čas a možnosť riešenia viacerých typov optimalizačných úloh. Nevýhodou je zložitejší algoritmus oproti enumeratívnej metóde. SOMA algoritmus pri svojej práci využíva rôzne riadiace a ukončovacie parametre. Nevhodné nastavenie týchto parametrov môže spôsobiť veľkú nepresnosť získaných výsledkov.

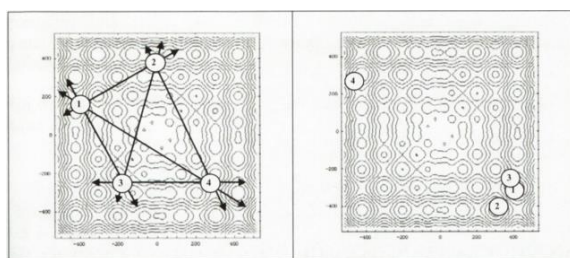
SOMA algoritmus môže pracovať podľa rôznych stratégií založených na tom, ako sa jedinci pohybujú k iným. V článku sú vysvetlené 2 možnosti.

- Všetci k jednému - Všetci k jednému (AllToOne) je najčastejšie používanou SOMA stratégiou a bola používaná aj v tejto práci. Po vytvorení počiatočnej populácie si jedinci navzájom vyberú toho najlepšieho, ktorý sa stane vodcom (LEADER). Počas migrácií sa ostatní jedinci začnú pohybovať smerom k vodcovi pomocou krokov. Hodnota kroku je zadenovaná v parametroch SOMA. Ak pri pohybe smerom k vodcovi nájde lepšiu hodnotu účelovej funkcie, vtedy hodnotu jedinca uloží do pamäte a jedinec sa vráti na pôvodné miesto. S takým postupom sa jedinec prejde svoju celú dĺžku cesty a po skončení jedinec ide na najlepšie miesto, ktoré bolo uložené v pamäti. Tento postup sa opakuje s každým jedincom, po skončení si navzájom opäť vyberajú najlepšieho, ktorý bude novým vodcom [5], [6]. Celý proces sa opakuje dovtedy, kým nie je splnený minimálne jeden ukončovaci parameter. Môže byť dosiahnutý počet migračných cyklov alebo rozdiel medzi najlepším a najhorším jedincom bude menší, ako ukončovaci parameter „chyba“. Princíp tejto stratégie je možné vidieť na Obr. 3.



Obr. 3 Princíp stratégie všetci k jednému [5]

B. Všetci ku všetkým - Rozdiel v porovnaní s predchádzajúcou stratégiou spočíva v tom, že po vygenerovaní počiatočnej populácie si jedinci navzájom nevyberajú vodcu, ale každý jedinec bude rovnocenný. Všetci jedinci sa budú pohybovať ku všetkým jedincom (AllToAll) pomocou preddefinovaného kroku. Pri pohybe počas migračného kola jedinci sledujú, či sú vlastné aktuálne hodnoty účelovej funkcie lepšie alebo horšie v porovnaní so štartovacími pozíciami. Ak nájdu lepšieho, tak pozíciu uložia do pamäte a vrátia sa do svojej počiatočnej polohy. Po absolvovaní celej dĺžky cesty jedinci aktualizujú svoje pozície na základe toho, čo majú v ich pamäti. Celý proces sa aj v tomto prípade opakuje dovtedy, kým aspoň jeden ukončovaci parameter nebude splnený [5], [6]. Výhodou tejto stratégie je vyšší predpoklad nájdenia globálneho extrému vplyvom migrácie jedincov. Nevýhodou je výpočtová náročnosť, na nájdenie najlepšieho jedinca v populácii je potrebný dlhší čas. Princíp stratégie všetci ku všetkým je možné vidieť na Obr. 4



Obr. 4 Princíp stratégie všetci k všetkým [5]

VII. POROVNANIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV PODĽA ALGORITMOV

Porovnanie dosiahnutých výsledkov je veľmi dôležité, lebo pomocou tohto je možné určiť, ktorý algoritmus je najvhodnejší na riešenie konkrétnej úlohy. Aby bolo možné nájsť najlepšiu metódu, výsledky výpočtu boli porovnávané podľa rôznych kritérií. Porovnanie enumeratívnej metódy a SOMA algoritmu boli uskutočnené podľa:

- podľa vetvových činných strát,
- podľa vetvových prúdov,
- podľa zložitosti prípravy súboru Matlab,
- podľa výpočtového času.

A. Porovnanie podľa činných strát

V Tabuľke I je uvedené porovnanie činných strát súčasného stavu s dvomi navrhnutými algoritmi. Je jednoznačne zrejme, že pomocou distribuovanej výroby je možné znižovať činné straty v sieti. Pre jednoduchšiu viditeľnosť v Tabuľke I boli zelenou farbou vyznačené vetvy, v ktorých dochádzalo k zlepšeniu strát oproti súčasnému stavu. Farba červená predstavuje zhoršenie strát v porovnaní so stratami v súčasnosti. V mnohých prípadoch nastal pokles strát, čo následne malo vplyv aj na zníženie celkových činných strát v sieti. V danom prípade sa jedná o 2,04 percentné zníženie celkových strát navrhnutými algoritmi vzhľadom k súčasnému stavu. Je možné vidieť aj to, že medzi navrhnutými algoritmi, medzi enumeratívnym a SOMA algoritmom nie sú rozdiely, v oboch prípadoch v rovnakých vetvách nastalo zlepšenie alebo zhoršenie stavu.

TABUĽKA I
Porovnanie podľa vetvových činných strát

Číslo vetvy	Činné straty v sieti [MW]		
	súčasný stav	enumeratívna metóda	SOMA algoritmus
1	0,196	0,192	0,192
2	0,006	0,006	0,006
3	0,056	0,055	0,055
4	0,024	0,023	0,023
5	0,067	0,067	0,067
6	0,05	0,049	0,049
7	0,005	0,005	0,005
8	0,008	0,008	0,008
9	0,001	0,001	0,001
10	0,003	0,003	0,003
11	0	0,001	0,001
12	0,02	0,019	0,019
13	0,007	0,007	0,007
14	0,031	0,03	0,03
15	0,013	0,012	0,012
16	0,067	0,065	0,065
17	0,037	0,037	0,037
18	0,34	0,334	0,334
Celkové straty	0,932	0,913	0,913

B. Porovnanie podľa vetvových prúdov

Porovnanie bolo vykonané aj podľa vetvových prúdov. Bolo vyšetované, že v súčasnosti alebo v nových prípadoch sú lepšie vetvové prúdy a aké sú rozdiely, ak prípad bol vyriešený pomocou enumeratívnej a SOMA algoritmu. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, zlepšenie a zhoršenie je vyznačené v Tabuľke III. Existujú vetvy, v ktorých sú lepšie hodnoty, napr. vetva č. 1, kde jej pôvodná hodnota bola 209 A, ale pomocou jalového výkonu sa jej hodnota znížila na 207 A. Opačným výsledkom je zhoršenie, ako to vyplýva z Tabuľky III v prípade vetvy č. 10 alebo vetvy č. 11.

TABULKA II
Porovnanie podľa vetvových prúdov

Číslo vetvy	Vetvové prúdy [kA]		
	súčasný stav	enumeratívna metóda	SOMA algoritmus
1	0,209	0,207	0,207
2	0,031	0,031	0,031
3	0,125	0,123	0,123
4	0,083	0,081	0,081
5	0,108	0,108	0,108
6	0,091	0,091	0,091
7	0,028	0,027	0,027
8	0,039	0,039	0,039
9	0,015	0,015	0,015
10	0,026	0,029	0,028
11	0,009	0,012	0,012
12	0,066	0,065	0,065
13	0,041	0,041	0,041
14	0,092	0,091	0,091
15	0,067	0,065	0,065
16	0,134	0,131	0,131
17	0,08	0,080	0,080
18	0,29	0,287	0,287

C. Porovnanie podľa zložitosti prípravy súboru Matlab

V predposlednom prípade boli porovnané iba navrhnuté algoritmy z hľadiska zložitosti prípravy súboru Matlab. V prípade enumeratívnej metódy, ako aj v prípade SOMA algoritmu bolo nevyhnutné v prvom rade pochopiť ich funkčnosť, prehodnotiť, akými výhodami a nevýhodami disponujú, akým spôsobom sa zdefinujú premenné a mnohé iné činitele. Po realizácii prípravných úkonov bolo potrebné odvodiť cieľovú funkciu, následne cieľovú funkciu aplikovať na konkrétny algoritmus. Najprv bola aplikovaná na enumeratívnu metódu a následne na SOMA algoritmu.

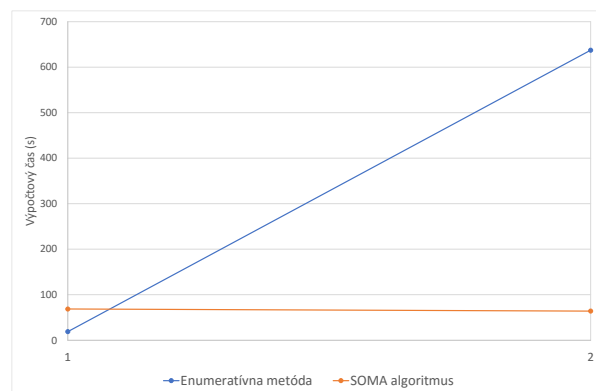
V enumeratívnej metóde dochádza k výpočtu veľkého počtu kombinácií. Nevýhoda spočíva v náročných požiadavkách na veľkosť siete a počet premenných, čo má vplyv na riešenie úloh v prípade väčších sietí, kde je riešenie úloh časovo zdĺhavé. Prednosťou metódy je jej jednoduchosť, čo si však vyžaduje opakovanie niektorých cyklov. Celý program na báze enumeratívnej metódy bol napísaný v programe Matlab takmer 2 600 riadkami kódu. Čo sa týka skonštruovania programu, kódy používané v programe sú veľmi jednoduché, čo je zrozumiteľné a zvládnuteľné aj pre menej skúsených programátorov.

Pochopiť fungovanie SOMA algoritmu je pomerne zložité, vyžaduje neustále štúdium pomerne veľkého množstva literatúry s aktuálnymi zmenami. V prípade pochopenia často vzniká problém súvisiaci s aplikovaním cieľovej funkcie na SOMA algoritmus. Proces si vyžaduje nastavenia parametrov, používanie rozličných obmedzení. V prípade úspešného a správneho nastavenia všetkých požadovaných parametrov programu na báze SOMA algoritmu, ktorý bol vytvorený na základe 1 200 riadkov kódu, je jeho používanie výhodnejšie v porovnaní enumeratívnu metódou, v porovnaní s ktorou sa jedná o 2,16 násobné zníženie počtu riadkov. Na druhej strane sú v tomto prípade používané zložitejšie cykly a príkazy.

D. Porovnanie podľa výpočtového času

Výpočtový čas je dôležitým parametrom, ktorý určuje, či navrhnuté algoritmy je alebo nie je možné používať aj v reálnom živote a v reálnych podmienkach. Ako príklad je možné uviesť situáciu, kedy dispečer siete nemôže čakať veľmi dlhú dobu na to, aby zistil, aký výkon má nastaviť. Musí rozhodovať veľmi rýchlo, preto treba používať veľmi kvalitné programy.

Algoritmus, ktorý bol navrhnutý pomocou enumeratívnej metódy má nižšie výpočtové časy v porovnaní s algoritmom SOMA v prípade, ak sa v sieti nachádza iba jeden regulačný uzol. V prípade, ak je vyhľadaný iba 1 výkon, vtedy výpočtový čas je 18 sekúnd. V prípade SOMA algoritmu výpočtový čas je 68 sekúnd, čo má za následok, že pomocou SOMA výpočet trvá 3,7 násobok dlhšie. V prípade nárastu počtu regulačných uzlov, počtu hľadaných výkonov sa prejavili prínosy SOMA algoritmu, výpočtový čas SOMA algoritmu sa skracoval. Výhodnosť SOMA algoritmu sa prejavuje pri zvýšenom počte regulačných uzlov, kedy sa rozdiely zvyšujú. Porovnanie podľa výpočtového času je možné vidieť na Obr. 5.



Obr. 5 Porovnanie podľa výpočtového času

VIII. ZÁVER

Hlavným cieľom tohto príspevku bolo predstaviť optimalizačné algoritmy, ktoré je možné používať pri riešení úloh vyskytujúcich sa pri prevádzke siete. Pomocou optimalizačných algoritmov je možné nájsť optimálnu hodnotu výkonov distribuovanej výroby, nájsť optimálne miesto pripojenia malých elektrární, s ktorými je možné ovplyvniť výkonové straty v sieti. Ako bol ukázané v príspevku, rovnako enumeratívna metóda aj SOMA algoritmus majú výhody a nevýhody. Vždy treba vybrať tú metódu, ktorá je najideálnejšia pre riešenie problematiky. Výsledky ukázali, že v tomto prípade najideálnejšie je používať program na báze SOMA algoritmu, keďže výsledky výpočtov sú skoro totožné – na základe porovnania rôznych kritérií ako porovnanie podľa vetvových prúdov, podľa činných strát, podľa zložitosti prípravy, ale výpočtový čas SOMA algoritmu je 10-násobne nižší, ak sú už vyhľadané 2 miesta na pripojenie. V prípade hľadania viac miest alebo v prípade hľadania výkonov týchto elektrární, rozdiely by sa ešte zvýraznili. Aj v tomto prípade je možné vidieť, že čím viac parametrov vstupuje do výpočtu, tým viac sa prejavujú výhody nových optimalizačných algoritmov, v tomto prípade výhody SOMA algoritmu.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576.

LITERATÚRA

- [1] European SmartGrids Technology Platform, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future. Belgium, 2006, str. 38. ISBN: 92-79-01414-5.
- [2] What is the Smart Grid? [online]. [cit. 2021-09-30]. Dostupné na internete: https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
- [3] Chapter 4 – Smart Grid [online]. [cit. 2021-10-10]. Dostupné na internete: https://www.eria.org/RPR_FY2015_No.20_Chapter_4.pdf
- [4] L. I. Dulă, M. Abrudean, D. Bică, „Optimal Location of a Distributed Generator for Power Losses Improvement“ in Procedia Technology. Elsevier Ltd. 2016, Volume 22, pp. 734-739. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316000335>
- [5] I. Zelinka, „Umělá inteligence v problémech globální optimalizace“. BEN – technická literatura, Praha 2002. ISBN 80-7300-069-5.
- [6] Zelinka I. (2004) SOMA — Self-Organizing Migrating Algorithm. In: New Optimization Techniques in Engineering. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 141. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39930-8_7

ADRESY AUTOROV

Ing. Daniel Pál, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, daniel.pal@tuke.sk
doc. Ing. Lubomír Beňa, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, lubomir.bena@tuke.sk
doc. Ing. Dušan Medved', PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, dusan.medved@tuke.sk
Ing. Marek Pavlík, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk
Ing. Zsolt Čonka, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, zsolt.conka@tuke.sk
Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10, Slovenská Republika, michal.kolcun@tuke.sk