

Návrh výpočtovej metodiky nasadenia inteligentných zariadení v budovách

¹Martin HALKO, ²Dušan MEDVEĎ

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

¹martin.halko@student.tuke.sk, ²dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá súčasným stavom a výhodami inteligentných zariadení, popisom vhodných metodík pre nastavovanie smart zariadení, návrhom výpočtovej metodiky, ktorej úlohou je zefektívniť využitie inteligentných zariadení vďaka ich optimálnemu nastaveniu.

Kľúčové slová — inteligentné zariadenia, inteligentné systémy, inteligentná domácnosť, inteligentné vykurovanie, optimalizácia, optimalizačné algoritmy

I. ÚVOD

Inteligentné systémy a optimalizačné algoritmy sú témou súčasnosti a budúcnosti, keďže sa deň čo deň vyvíjajú a zdokonaľujú. Inteligentné systémy je v dnešnej dobe možné využiť takmer všade. Sú to systémy, ktorých úlohou je riadiť, regulovať, monitorovať a komunikovať. Užívateľovi prinášajú množstvo výhod a pocit pohodia. Optimalizačné algoritmy sa stali taktiež súčasťou každodenného života, no obrovské množstvo ľudí ich vôbec nepozná aj napriek tomu, že sú tak často využívané. Je to možno tým, že najčastejšie sa využívajú v oblasti techniky a matematiky a to ľuďmi s vysokoškolským vzdelaním pre výpočty najvhodnejších kombinácií či pomerov. Ich výsledky sa ale týkajú takmer nás všetkých.

Využitie inteligentných systémov a optimalizačných algoritmov súčasne, poskytuje možnosť efektívneho riadenia systému, ktoré môže viesť k nemalým úsporám nákladov spojených s prevádzkou budov. Návratnosť investícií je však závislá od veľkostí úspor, ktoré môžeme týmto spôsobom dosiahnuť.

II. SÚČASNÝ STAV A VÝHODY INTELIGENTNÝCH ZARIADENÍ

Inteligentné zariadenia so sebou prinášajú obrovské množstvo výhod a komfortu pri monitorovaní či riadení našich domácností, hotelov, spoločností, obchodných centier a mnohých iných budov, či priestorov. Najväčšou výhodou je znižovanie nákladov, ktoré sú potrebné na prevádzku budovy. Ďalšou z veľkých výhod je napríklad prehľad o spotrebe energií na osvetlenie, vykurovanie, chladenie, prevádzku jednotlivých elektrických zariadení a taktiež pohodlné ovládanie ktorejkoľvek časti domácnosti pomocou jedného zariadenia a to napríklad pomocou smartfónu. S výhodami a komfortom prichádza aj zodpovednosť a preto musia výrobcovia zabezpečiť bezpečnosť svojich systémov tak, aby zabránili ľahkému zneužitiu zariadení a dát získaných pomocou týchto systémov, ku ktorým má mať prístup iba majiteľ alebo prevádzkovateľ objektu.

V súčasnosti sa inteligentné zariadenia využívajú takmer v každej oblasti priemyslu alebo domácnosti. Najčastejšie sa s nimi môžeme stretnúť pri výrobe, hoteloch, obchodných centrách, distribúcii elektrickej energie a za posledné roky sa objavuje čoraz väčšie množstvo domácností, ktoré tieto inteligentné systémy využívajú. Základné inteligentné systémy sú:

- *Inteligentná elektroinštalácia* (osvetlenie; zásuvky; tienenie; video vrátnik; zabezpečovací systém)
- *Inteligentná vzduchotechnika* (klimatizácia; vykurovanie; rekuperácia vzduchu a vetracie systémy)
- *Inteligentné roboty*
- *Inteligentné meracie zariadenia*

III. ROZDELENIE VHODNÝCH METODÍK A TEORETICKÝ POPIS VYBRANEJ METODIKY

Tak ako existuje veľké množstvo optimalizačných, minimalizačných a maximalizačných úloh, existuje aj mnoho metodík, pomocou ktorých sa dajú dané úlohy riešiť. Pre zvolenie správnej metódy je potrebné najprv správne určiť problém, ktorý je potrebné riešiť a jeho parametre. Výber metodiky závisí najmä od druhu problému. Najčastejšie ide o optimalizačné problémy výrobných procesov ako napríklad optimálne zostavenie výrobných plánov pre výrobu produktov, maximalizácia využitia materiálu na rezanie, minimalizácia nákladov na výrobu či prevádzku zariadení alebo minimalizácia nákladov na prevádzku budov.

Pokiaľ už máme problém definovaný a poznáme všetky podrobnosti potrebné k riešeniu daného problému, môžeme prejsť k výberu metódy riešenia. Metódy riešenia je možné rozdeliť do viacerých skupín:

- *Evolučné algoritmy* (Samo-organizujúci sa migračný algoritmus (SOMA); Diferenciálna evolúcia)
- *Expertné systémy* (Diagnostické; Plánovacie; Hybridné)
- *Lineárne programovanie* (Grafické riešenie; Bázické riešenie; Simplexová metóda)

A. SOMA: Samo-organizujúci sa migračný algoritmus

SOMA je algoritmus, ktorý existuje a používa sa od roku 1999. Jeho činnosť je založená na geometrických princípoch. SOMA algoritmus pracuje s populáciami podobne ako genetické algoritmy a výsledok po jednom evolučnom cykle je totožný s genetickými algoritmi či diferenciálnou evolúciou. To znamená, že ho je možné zaradiť medzi evolučné algoritmy napriek faktu, že behom jeho chodu nie sú vytváraní noví potomkovia, ako pri ostatných evolučných algoritmoch. Pokiaľ by sme hľadali biologickú analógiu, tak by sa dal tento algoritmus prirovnať skôr k háremovej tvorbe potomkov v stáde, ako ku klasickému výberu rodičov z populácie. Presnejšie zaradenie je medzi memetické algoritmy [1].

Pôvodná myšlienka, ktorá viedla k jeho vytvoreniu, spočíva v napodobnení správania sa skupiny inteligentných jedincov, ktorí kooperujú pri riešení spoločného problému, ako je napríklad hľadanie potravy. SOMA od svojej základnej verzie pokročila vďaka niekoľkým významným zmenám až do dnešnej podoby, kedy sa svojou robustnosťou, v zmysle nájdenia globálneho extrému, vyrovná algoritmom ako je diferenciálna evolúcia [1].

Tento algoritmus, ktorý pracuje rovnako ako ostatné evolučné algoritmy s populáciou jedincov, bol vyvinutý na princípoch, ktoré je možné odpozorovať v prírode a ktorými sa v sociálno-biologickom prostredí riadia inteligentní jedinci, ktorí kooperujú na riešení spoločného problému. Na rozdiel od ostatných evolučných algoritmov neprebíha v ňom tvorba nových jedincov filozofiou kríženia rodičov, ale je založený na kooperatívnom prehľadávaní priestoru možných riešení daného problému. Vzhľadom na to, že vlastné jadro SOMA nekopíruje už zmienené evolučné princípy, ale riadi sa princípmi vychádzajúcimi zo spolupráce inteligentných jedincov migrujúcich v priestore možných riešení tak, ako ich biologickí partneri po krajine, bol pre evolučný cyklus známy ako "Generácia" zvolený názov "Migračné kolo". Príklady takéhoto správania je možné nájsť v reálnom svete. Ide napríklad o mravce, včely, vlky a podobne [1].

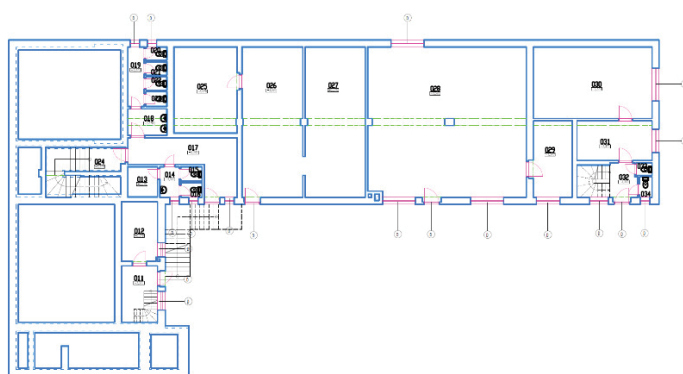
Vzhľadom na to, že hlavná myšlienka algoritmu SOMA nie je založená na princípe evolúcie ako takej, ale je založená na už zmienenom princípe "svorky", nie je klasifikovaný ako algoritmus evolučný, ale takzvaný memetický. V prípade, že pre výpočet nových pozícií sú použité evolučné princípy na úrovni genómu, sú tieto algoritmy nazývané ako genetické. Vlastnosť samoorganizácie u SOMA algoritmu plynie z faktu, že jedinci sa ovplyvňujú navzájom behom hľadania lepšieho riešenia, čo častokrát vedie k tomu, že v priestore možných riešení vznikajú skupiny jedincov, ktoré sa rozpadajú či spájajú, putujú cez prehľadávaný priestor. Inými slovami si skupina jedincov sama organizuje vzájomný pohyb jedincov [1].

IV. ZVOLENÁ METODIKA A POPIS OBJEKTU

V našom prípade sa budeme venovať výpočtu optimálnej hodnoty vnútornej teploty pre budovu obecného úradu pomocou SOMA algoritmu, ktorá bude následne nastavená v regulačnom systéme. Najprv budeme potrebovať vstupné údaje o budove. Taktiež je potrebné brať ohľad na požiadavky spojené s takzvanou „Tepelnou pohodou“, ktoré sú uvedené vo vyhláske 99/2016 Z.z.; 9 227/2019 Z.z.; 355/2007 Z.z. Taktiež potrebujeme vytvoriť účelovú funkciu, pomocou ktorej budeme vypočítavať potrebnú energiu na ročné vykurovanie a zároveň minimálne ročné náklady na vykurovanie.

Prečo práve SOMA algoritmus? SOMA algoritmus sme vybrali práve vďaka jeho základnej vlastnosti a to, že dokáže prepočítať veľké množstvo kombinácií za pomerne krátky čas.

Zvolenou budovou je obecný úrad v obci Veľká Franková.



Obr. 1 Pôdorys budovy – 1. podlažie

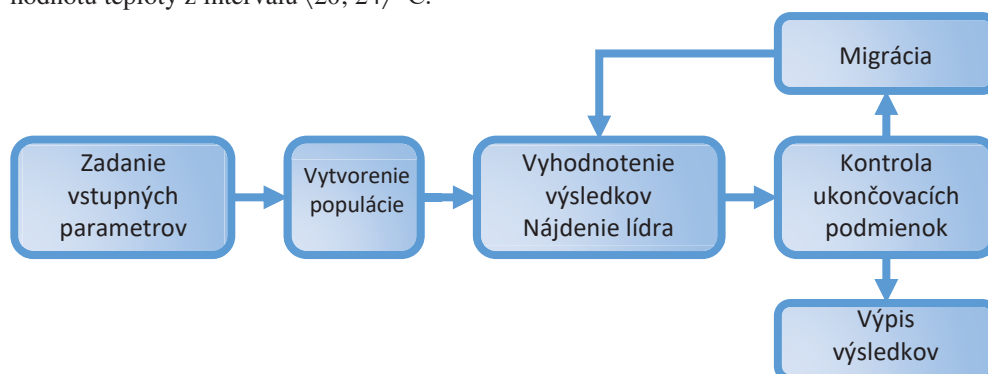


Obr. 2 Nákres budovy

Tabuľka 1
 Tabuľka hodnôt tepelných strát

Tepelné straty objektu					
Konštrukcia	Plocha (m ²)	Straty (kWh/m ² /rok)	Vykurovacie obdobie	Straty objektu (kW)	Kotol (kW)
Zvislé steny	1259,502	74,22	231 dní	31,938	39,923
Strop	460,733				
Podlaha	460,733				
Okná	135,684				
Dvere	58,71				
Spolu	2375,362				

Podľa spomínanej legislatívy sa nachádzame v triede činnosti 1 podskupine „a“, pre ktorú platí, že minimálna prípustná teplota je 20 °C a maximálna prípustná teplota je 26 °C. Minimálna optimálna teplota je 20 °C a maximálna optimálna teplota je 24 °C, čo pre nás znamená, že pre nastavenie teploty na regulačnom systéme a minimalizáciu nákladov na vykurovanie hľadáme hodnotu teploty z intervalu [20; 24] °C.



Obr. 3 Zjednodušená bloková schéma princípu SOMA algoritmu

V. VYTVORENIE ÚČELOVEJ FUNKCIE

Účelová funkcia je v tomto prípade cenovou funkciou, keďže pomocou nej sú počítané ročné náklady na vykurovanie budovy. Pomocou SOMA algoritmu sú najprv náhodne generované hodnoty teploty „ t_{is} “, ktorénásledne nastavíme na termostate. Postupným porovnávaním výsledných nákladov jedinci putujú k tej hodnote teploty, pri ktorej sú náklady na vykurovanie najnižšie. Následne jedinci migrujú a sú porovnávaní navzájom medzi sebou dovtedy, kým nie je splnená aspoň jedna ukončovacia podmienka. Výsledná hodnota funkcie po ukončení všetkých migrácií je najnižšou možnou hodnotou ročných nákladov na vykurovanie a hodnota *the_best_value* predstavuje hodnotu teploty t_{is} , pri ktorej sú náklady minimálne.

$$f_{\text{cost}}(t_{is}) = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot 24 \cdot dW \cdot \frac{d(t_{is} - t_{es})}{t_{is} - t_e} \cdot c \quad [\text{€/rok}]$$

t_i [°C]	hodnota vnútornej teploty	e_i [-]	tepelné straty infiltráciou a postupom
t_{es} [°C]	priemerná vonkajšia teplota počas vykurovacieho obdobia	e_t [-]	zníženie teploty mimo pracovnej doby
t_e [°C]	minimálna vonkajšia teplota počas vykurovacieho obdobia	e_d [-]	doba vykurovania počas týždňa
d [-]	počet dní vykurovacieho obdobia	η_o [-]	účinnosť regulácie
dW [kW]	tepelné straty objektu	η_r [-]	účinnosť rozvodu vykurovania
		c [€/kWh]	cena plynu

VI. INICIALIZÁCIA PARAMETROV

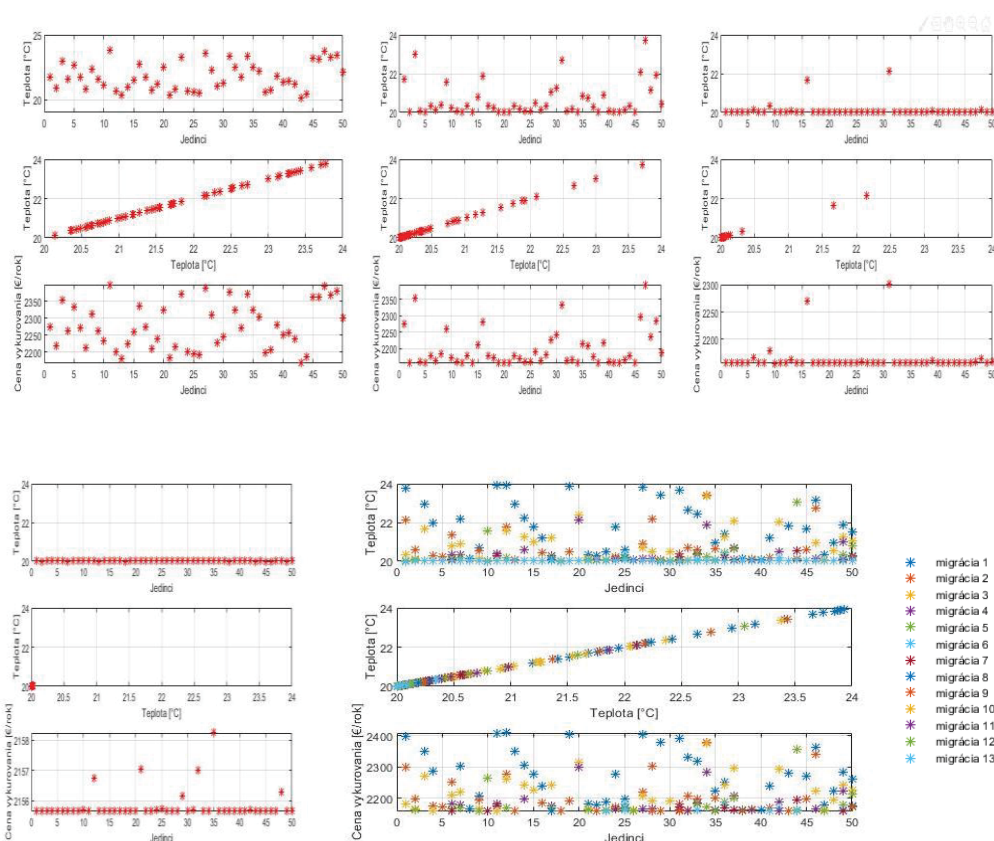
- dimension = 1 Počet dimenzií volíme 1, optimalizujeme jednu premennú.
- Step = 0.11 Krok volíme 0.11 pre dôkladné prehľadane hyperplochy.
- PRT = 0.1 PRT parameter volíme 0.1.
- PopSize = 50 Počet jedincov, volíme (štandardne) 50.
- PathLength = 1.8 Dĺžku trasy volíme 1.8, experimentálne zvolená tak, aby bol dobre viditeľný vývoj jedincov a ich putovanie.
- Migrations_Max = 100 Maximálny počet migrácií algoritmu (ukončovacia podmienka).
- FEs_Max = 10000-dimension Maximálny počet vyhodnotení algoritmu (ukončovacia podmienka).
- $d = 231$ Počet dní vykurovacieho obdobia závislý od lokality.
- $t_{es} = 3.8$ Priemerná vonkajšia teplota počas vykurovacieho obdobia [°C].
- $t_e = -15$ Minimálna vonkajšia teplota počas vykurovacieho obdobia [°C].
- $dW = 31.938$ Tepelné straty objektu [kW].
- $e_i = 0.85$ Tepelné straty infiltráciou a postupom – volí sa 0.8 až 0.9. Keďže tento parameter nepoznáme volíme priemer 0.85.
- $e_t = 0.8$ Zníženie teploty mimo pracovnej doby – volí sa 0.8 až 1. Teplotu znižujeme maximálne efektívne a volíme 0.8.
- $e_d = 0.8$ Počet pracovných dní v týždni $7/7 = 1$, $6/7 = 0.9$, $5/7 = 0.8$. Pracovná doba je pondelok až piatok, takže volíme 0.8.
- $n_o = 1$ Možnosti regulácie – volí sa 0.9 (tuhé palivo) až 1 (plyn). Používame plynový kotol, tak volíme 1.
- $n_r = 0.96$ Účinnosť rozvodu vykurovania – volí sa 0.95 až 0.98. Keďže ide o staršiu budovu a staršie rozvody volíme 0.96.
- $c = 0.0469$ Cena plynu [€/kWh].
- VarMin = 20 Minimálnu hodnotu vnútornej teploty volíme 20 °C.
- VarMax = 24 Maximálnu hodnotu vnútornej teploty volíme 24 °C.

VII. VYPOČÍTANÉ HODNOTY

Tabuľka 2

Výsledné hodnoty pre stav bez znižovania teploty a so znižovaním teploty mimo pracovnej doby a cez víkendy

	bez znižovania teploty	so znižovaním teploty
Počet migrácií	12	12
Doba výpočtu [s]	0,0888	0,0536
Vnútorná teplota [°C]	20	20
Znížená vnútorná teplota [°C]	–	16
Ročná spotreba plynu [m ³ /rok]	6803,909	4354,502
Ročná spotreba energie [MWh/rok]	71,817	45,963
Cena [€/rok]	3368,20	2155,65



Obr. 4 Prehľad migrácií

VIII. POROVNANIE ROČNÝCH NÁKLADOV NA VYKUROVANIE

Tabuľka 3

Porovnanie spotreby energie a ročných nákladov na vykurovanie s možnými riešeniami

Kalendárny rok Možné riešenia	Ročná spotreba energie [MWh/rok]	Cena [€/rok]
2017	141,749	9 569,13
2018	138,286	9 335,36
2019	132,751	8 961,72
2020 (Po zateplení bez regulácie)	79,796	3 368,2
2020 (Po zateplení s reguláciou)	45,963	2 155,65

IX. VÝPOČET INVESTÍCIE

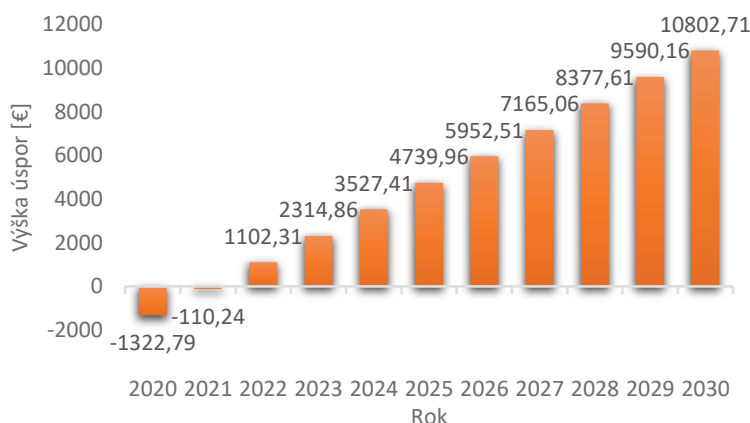
Motorický ventil je bezdrôtový (napájanie 2 AA batérie), komunikuje bezdrôtovo s centrálnou jednotkou pomocou rádio-frekvenčného signálu ZigBee 2,4 GHz, takže nie sú potrebné stavebné zásahy či realizácia novej kabeláže a v prípade potreby sa dá signál zosilniť s minimálnymi stavebnými úpravami alebo aj bez nich, ak sa použijú bezdrôtové zosilňovače signálu. Počet motorických ventilov vychádza z počtu regulovaných vykurovacích telies.

Tabuľka 4
Investičné náklady

Zariadenie	Jednotková cena [€]	Počet kusov [ks]	Suma [€]
Vitocontrol	240	1	240
Motorický ventil	53,38	43	2295,34
Spolu			2535,34

X. NÁVRATNOSŤ A ÚSPORY

Pre zriadenie inteligentného systému regulácie je potrebná investícia vo výške 2 535,34€. Na tomto grafe si môžete všimnúť, že návratnosť investície je pomerne rýchla a to už na prelome druhého a tretieho roku používania tohto systému. Ak by bol systém inštalovaný v roku 2020, tak do roku 2030 by mohol zabezpečiť úsporu nákladov na vykurovanie až do výšky 10 800€.



Obr. 5 Graf návratnosti v jednotlivých rokoch prevádzky

XI. ZÁVER

Možností využitia inteligentných systémov a optimalizačných algoritmov je viacero. Tak, ako to bolo prakticky znázornené pri vykurovaní, je možné takúto kombináciu využiť nielen pri vzduchotechnike, ale aj v iných oblastiach, ako je výroba, zdravotníctvo, potravinárstvo, logistika a podobne. V každom odvetví ako inteligentné systémy, tak aj optimalizačné algoritmy, prinášajú obrovské množstvo výhod ako napríklad urýchlenie výrobných procesov, minimalizáciu nákladov, minimalizáciu vzniku odpadového materiálu, presnejšiu a rýchlejšiu (efektívnejšiu) diagnostiku technických zariadení, ale aj v zdravotníctve – diagnostiku pacientov, optimalizovanie logistiky, maximalizáciu ziskov a podobne.

Plynové kotly sú jednou z dobrých volieb na vykurovanie, vďaka dobrej dostupnosti plynu a možnostiam regulácie. V tomto príspevku bolo preukázané, že spolupráca inteligentných zariadení a optimalizačných algoritmov, je veľmi účinná. Úlohou optimalizačnej časti tejto spolupráce je vyhodnotiť, aká konfigurácia systému je najvhodnejšia vzhľadom na stanovené kritériá a úlohou inteligentných zariadení je následné riadenie, a regulácia systému tak, aby bola výsledná konfigurácia udržiavaná na vypočítaných (optimálnych) hodnotách.

Ďalším faktorom je fakt, že využitie niektorých smart zariadení nie vždy prináša úsporu energií alebo rýchlu návratnosť investície, ale aj napriek tomu sa používajú a to preto, že poskytujú určitý komfort. Sú to napríklad zariadenia, ktoré v podstate slúžia iba na zapínanie a vypínanie zariadení na základe hlasových povelov (okrem tejto funkcie žiadnu inú nemajú). Preto, ak chceme ušetriť a aby sa nám investícia vrátila, je potrebné vedieť, čo chceme, čo potrebujeme, respektíve aký inteligentný systém a optimalizačný (resp. minimalizačný / maximalizačný) algoritmus je pre riešenie nášho problému vhodný. V tomto príspevku bol použitý SOMA algoritmus, pre jeho jednoduchosť a rýchlosť výpočtu, pomocou ktorého bolo vypočítané nastavenie inteligentného regulačného systému vykurovania na základe určitých kritérií (pracovná doba) pre minimalizovanie nákladov na vykurovanie.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporený grantom VEGA 1/0372/18 a tiež 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] Zelinka, I., „*Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*“, Praha: BEN 2002. ISBN 80-7300-069-5.
- [2] Haľko, M., „*Návrh výpočtovej metodiky nasadenia inteligentných zariadení v budovách*“, Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2020.