

**Ing. Christian Schulze**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**Rozšírené možnosti analýzy zásobovania budov energiou pomocou  
evolučných algoritmov**

**na získanie** akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor,  
PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:** **Elektroenergetika**  
**v študijnom odbore** 5.2.30 Elektroenergetika

**Miesto a dátum:** Bratislava, 2015



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA  
V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

**Ing. Christian Schulze**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**Rozšírené možnosti analýzy zásobovania budov energiou pomocou  
evolučných algoritmov**

**na získanie**                      akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor,  
PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:**  
Elektroenergetika

**Miesto a dátum:** Bratislava, 2015

**Dizertačná práca bola vypracovaná** v externej forme doktorandského štúdia

**Na:** Ústav elektroenergetiky a aplikovanej  
elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky  
a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

**Predkladateľ:** Ing. Christian Schulze  
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej  
elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a  
informatiky, Slovenská technická univerzita v  
Bratislave

**Školiteľ:** prof. Ing. František Janíček, PhD.  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

**Oponenti:** Ing. Jozef Holjenčík, PhD., Ústav pre reguláciu  
sieťových odvetví SR  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
prof. Ing. Juraj Altus, PhD., Žilinská univerzita v Žiline,  
Elektrotechnická fakulta,  
Katedra výkonových elektrických systémov

**Autoreferát bol rozoslaný:** 21.7.2015

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná:** 26.8.2015 o 8:30 h

**Na** Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita v  
Bratislave, Ilkovičova 3

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec  
dekan FEI STU

## Obsah

Tézy a ciele dizertačnej práce	6
1. Úvod	7
1.1 Globálna problematika zásobovania energiami ako východiskový bod pre optimalizačné analýzy v oblasti technických zariadení budov	7
1.2 Konvenčný postup na optimalizáciu zariadení na zásobovanie energiami pre budovy	8
2 Analýza parametrov zariadenia ako základ optimalizácie	10
2.1 Zhromaždenie hlavných údajov	10
2.2 Limitujúce faktory v procesoch optimalizácie zariadení na zásobovanie energiami pre budovy	12
2.3 Možnosti skombinovania rôznych koncepcií zariadenia	12
2.4 Optimalizačný model v technike budov	13
3 Praktický príklad analýzy zariadenia na zásobovanie teplom pre viacúčelovú športovú budovu	14
3.1 Zhromaždenie údajov o zásobovaní budovy teplom	14
3.2 Vybrané technológie na optimalizáciu zásobovania teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu	15
3.3 Dôvody výberu uvedených technických možností na optimalizáciu zásobovania teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu	16
4. Evolučné Algoritmy	18
4.1 Princíp fungovania evolučných algoritmov (EA)	19
4.2 Postup optimalizačnej metódy s použitím technických výpočtových prostriedkov	20
5 Pokus o optimalizáciu zariadenia na zásobovanie teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu (1. séria testovacích výpočtov)	22
5.1 Modelovanie skúmaného systému na zásobovanie teplom	22
6. Analýza výsledkov optimalizačného pokusu (1. séria optimalizačných výpočtov)	24
7. Pokusy na zvýšenie kvality optimalizácie	26
7.1 Objasnenie	26
7.2 Vyhodnotenie sérií výpočtov	26
8. Spracovaný program na optimalizáciu nákladov ako pomôcka v procesoch projektovania v oblasti technických zariadení budov	29
8.1 Uplatnenie na často sa vyskytujúci optimalizačný problém v oblasti projektovania zariadení na zásobovanie teplom	29
8.2 Nákladové a časové úspory v spracovaní projektu	30
8.3 Výsledok uplatnenia programu na optimalizáciu nákladov	31
9 Zhrnutie a výhľad	31
9.1 Zistenia k výsledkom výpočtov	31
9.2 Záverečná poznámka	32
K najdôležitejším výsledkom dizertačnej práce patria tieto	34
Zoznam Literatúry	35
Publikácie Autor	36

## **Tézy a ciele dizertačnej práce:**

1. Preskúmanie zariadenia na zásobovanie teplom s pomocou evolučných algoritmov so zohľadnením aktuálnych nákladových analýz za účelom dosiahnuť smerodajné výsledky výpočtov.
2. Štandardizácia prezentačných výsledkov pred začiatkom stavebných prác v oblasti zásobovania energiami pre budovy.
3. Overenie praktického uplatnenia modelu evolučných algoritmov s demonštráciou na praktickom príklade so zámerom širšieho uplatnenia modelu v projektových kanceláriách

## 1. Úvod

### 1.1 Globálna problematika zásobovania energiami ako východiskový bod pre optimalizačné analýzy v oblasti technických zariadení budov

Rastúce zdražovanie fosilných zdrojov energií a zároveň ich pretrvávajúce používanie na širokej báze sú záťažou pre životné prostredie, ako aj pre svetovú ekonomiku. Táto skutočnosť sa v uplynulom prvom desaťročí tretieho tisícročia výrazne prejavila až po úroveň koncových spotrebiteľov energií.

Početné rámcové právne predpisy s environmentálnym rozmerom, ktoré podnecujú rozvoj rôznych oblastí výskumu v oblasti technickej ochrany životného prostredia, sú výsledkom doterajších snáh dospieť k ekologicky únosnému a udržateľnému zásobovaniu energiami.

To je osobitne významné pre obyvateľstvo rozvinutých industrializovaných krajín, pretože konaním týchto krajín sa často riadia a nasledujú ho spoločnosti v rastových a rozvojových ekonomikách.

Je pritom potešiteľné, že v poslednom čase sa ďalej rozvinuli koncepcie energetického zlepšenia jestvujúcich zariadení na zásobovanie energiou pre budovy, čím sa v súčasnosti zohľadňujú optimalizačné koncepcie novo projektovaných zariadení na zásobovanie energiami v technike budov na rozdiel od minulosti už v projektovej fáze.

Z titulu medzičasom už právne záväzných predpisov v štátoch Európskej únie v tejto oblasti, ktorých účelom je dosiahnuť opatrenia na úsporu energií už vo fáze tvorby koncepcie budov rôznej konštrukcie a s rôznymi spôsobmi využitia, sa analýzami stavebno-fyzikálnych vlastností určili hodnoty spotreby primárnych zdrojov energií.

To umožnilo nielen znížiť prevádzkové náklady, ale najmä tiež podstatne zredukovať emisie škodlivín z vykurovacích systémov budov a straty tepelnej energie.

Poznatok, že silná spotreba zdrojov energií v uplynulých desaťročiach poškodila prírodu i ľudstvo, podnietil a podnecuje ďalšie snahy o optimalizáciu v projektovaní a optimalizácii systémov zásobovania energiami pre budovy.

## **1.2 Konvenčný postup na optimalizáciu zariadení na zásobovanie energiami pre budovy**

Vďaka moderným analytickým metódam a vývoju zlepšených technických meracích postupov sa zároveň získali aj hlbšie poznatky o opatreniach na energetickú optimalizáciu v oblasti techniky budov. Aj napriek z toho plynúcim možnostiam optimalizovať zásobovanie energiami pre budovy už v skorých fázach projektovania sa často nedarí splniť cieľ optimálne fungujúceho energetického systému budovy.

Chyby v projektovaní zariadení, prípadne ponechanie zastaranej techniky v jestvujúcich zariadeniach sú často príčinou, že nedostatky v systémoch zásobovania energiami pre budovy sa často zistia až neskôr. Z dôvodu značných výkyvov cien za dodávku fosílnych zdrojov energií, ktoré sú základom najmä v starších systémoch zásobovania energiami pre budovy, začalo byť pre prevádzkovateľov týchto zariadení z ekonomických príčin čoraz dôležitejšie nechať si na zistenie možností úspor energií analyzovať svoje jestvujúce zariadenia.

Optimalizačné opatrenia v oblasti energií s dlhodobým efektom sú v prípade jestvujúcich zariadení pritom často spojené so značnými viacnákladmi.

Vzhľadom na aktuálne zákony v Nemecku sú aj v záujme prevencie neúmerne rýchlej straty hodnoty budov stále častejšie potrebné opatrenia na energetické úspory budov. Na smerodajné určenie vhodných opatrení na úsporu energií a ich následné zahrnutie do projektovania je vždy potrebné zohľadniť veľký počet rámcových parametrov. Vo vzťahu k energetickej optimalizácii zariadení na zásobovanie energiou pre budovy je preto nevyhnutné skúmať prevádzkové vlastnosti daného zariadenia. Na základe z toho získaných výsledkov možno nielen usudzovať na energetické prevádzkové vlastnosti zariadenia, ale tiež predbežne určiť prvé opatrenia na trvalú optimalizáciu. Významným aspektom prevádzky zariadení na zásobovanie energiou pre budovy je predovšetkým výška prevádzkových nákladov pre užívateľa zariadenia.

Prevádzkové náklady by sa mali pre prevádzkovateľa zariadenia držať na čo najnižšej úrovni, pričom by mali byť vždy dostupné prostriedky na úhradu nákladov na potrebné energie.

Na splnenie týchto požiadaviek musí byť v hľadaní vhodných optimalizačných opatrení prakticky pre všetky druhy zariadení na zásobovanie energiami pre budovy východiskovým základom výška prevádzkových nákladov.



Energetickými analýzami, ktoré ponúkajú a vykonávajú technické firmy v oblasti projektovania zariadení, možno predbežne určiť opatrenia na optimalizáciu nákladov na energie a tieto predložiť prevádzkovateľom zariadení. V energetickej analýze sa skúmajú a navzájom porovnávajú dovedejšie rámcové podmienky prevádzkovania zariadenia, spotreba zdrojov energií a náklady na ich zabezpečenie, a prevádzkové náklady na celé zariadenie.

Ďalší krok v energetickej analýze zariadení na zásobovanie energiami je výpočet vznikajúcich nákladov na zásobovanie teplom pre technicky zmysluplné možnosti riešenia týchto zariadení v podobe jednotlivých väčších či menších súčastí zariadenia, so zohľadnením obstarávacích, prevádzkových a údržbových nákladov.

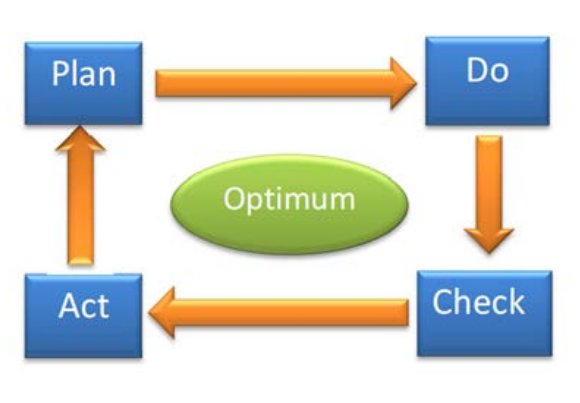
Na to nadväzuje porovnanie výsledkov výpočtov pre možné riešenia optimalizácie zariadenia v ohľade prevádzkových nákladov.

Porovnaním očakávaných nákladov na inú možnosť riešenia zariadenia s nákladmi na jestvujúce zariadenie v prevádzke sa ako optimum určí lepšie riešenie na základe kritéria najnižších základov.

Na základe výsledku tejto výpočtovej optimalizácie možno potom dať prevádzkovateľovi zariadenia odporúčania v ohľade úprav či rozšírenia jestvujúceho zariadenia. Takéto optimalizačné koncepcie následne možno zrealizovať napríklad v rámci „energetického kontraktingu“.

Využívanie modelov financovania v rámci energetického kontraktingu je častým spôsobom financovania na účely optimalizácie zariadení na zásobovanie energiou v prípade jestvujúcich budov.

Všetky optimalizačné koncepcie majú vo všeobecnosti v zásade zhodnú následnosť jednotlivých krokov (pozri Obr. 1, strana 6). Pritom je dôležité, aby sa v záujme splnenia cieľa, ktorým je zistenie optimálneho riešenia, opierali jednotlivé čiastkové kroky o patričné informácie dostatočnej kvality. Preto je vždy potrebné overovať vierohodnosť a aktuálnosť vstupných parametrov, ktoré sa používajú v optimalizačnej analýze zariadení na zásobovanie energiami.



Obr. 1: Princíp cyklu v optimalizácii zariadení [1]

Tento cyklus zodpovedá PDCA cyklu v manažmente v zmysle normy ISO 50001. Cieľom cyklu je trvalé zlepšovanie v efektívnom využívaní energií.

## 2 Analýza parametrov zariadenia ako základ optimalizácie

### 2.1 Zhromaždenie hlavných údajov

Na realizáciu optimalizovanej koncepcie zásobovania energiami sú základnými krokmi systémová analýza a preskúmanie parametrov zariadenia.

V tomto procese je potrebné zhromaždiť poznatky o aktuálnych parametroch jestvujúceho zariadenia na zásobovanie energiou a tieto zohľadniť vo všetkých analytických skúmaníach. Prítom sa navzájom porovnávajú technické parametre zariadenia a jeho reálne fyzikálne vlastnosti v praxi. Charakteristické parametre zariadenia na zásobovanie teplom, ktoré je predmetom optimalizácie, zahŕňajú jeho príspevok k zabezpečeniu potrebného objemu dodávok energie, a stavebné rozmery čiže úžitková plocha, ktorú zaberá toto zariadenie.

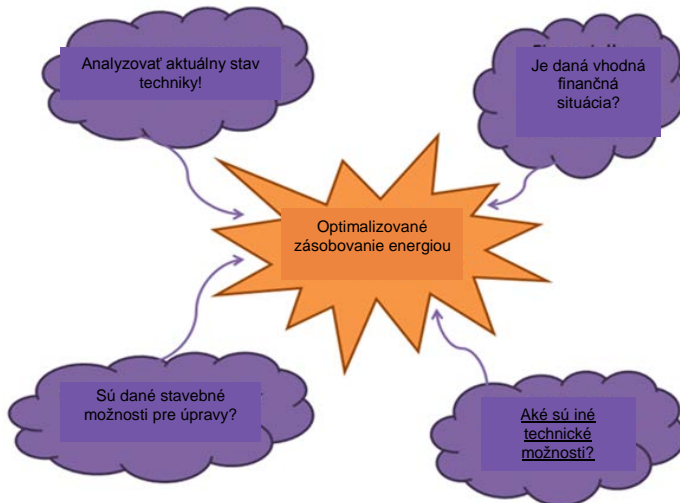
Tieto parametre slúžia ako základné východiskové údaje na určenie možností optimalizácie pre dané konkrétne zariadenie v smere zlepšenia jeho účinnosti a zníženia prevádzkových nákladov.

Zavedením požiadaviek zo zákona, ktoré na technické zariadenia na zásobovanie energiou pre budovy v Nemecku už dlhšie kladie tamojšie nariadenie o úspore energií (Energieeinsparverordnung, EnEV) alebo zákon o zásobovaní energiami

(Energieeinspeisegesetz, EEG), pribudlo ako významná požiadavka v optimalizácii jestvujúcich a v projektovaní nových zariadení využitie obnoviteľných energií.

Toto využitie je v Nemecku značne uľahčené silnou podporou zo zákona pre riešenia na báze energií z obnoviteľných zdrojov. Na určenie vhodnej optimalizačnej koncepcie zo širokého spektra možností technického riešenia takýchto zariadení je však v rámci projektovania potrebné zistiť, ktorý spôsob optimalizácie je vo vzťahu k danému zariadeniu prínosný vzhľadom na sledovaný cieľ optimalizácie.

Často sú výsledkom analýz za účelom optimalizácie zariadení rôznorodé výsledky.



Obr.2: Problematika rozhodovacieho procesu v procesoch energetickej optimalizácie [Schulze]

Prevádzkovateľ zariadenia tak musí riešiť rozhodnutie vybrať z rôznych koncepcií rozšírenia alebo prestavby zariadenia.

Keďže týmto prevádzkovateľom často chýbajú príslušné technické znalosti, ide pre nich o neľahkú rozhodovaciu situáciu, ktorú často nemôže ihneď vyriešiť ani energetický poradca s patričnými znalosťami v oblasti optimalizačných opatrení a opatrení na úsporu energií. V optimalizácii treba totiž zohľadňovať rôzne aspekty a zistenia (Obr. 2).

## **2.2 Limitujúce faktory v procesoch optimalizácie zariadení na zásobovanie energiami pre budovy**

Konečné rozhodnutie je v neposlednej miere tiež otázkou celkovej finančnej situácie prevádzkovateľa zariadenia. Podstatným aspektom v realizácii úprav či rozšírenia zariadenia sú pritom priestorové a štrukturálne možnosti danej stavby na takéto opatrenia.

Ďalej je potrebné zodpovedať otázku, nakoľko možno optimalizovať jestvujúce zariadenie rôznymi konkrétnymi metódami.

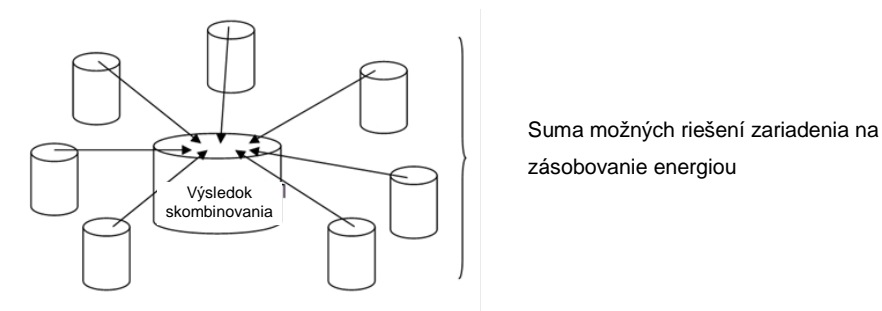
Na začiatok skúmania možností optimalizácie určitého zariadenia na zásobovanie energiou treba, ako sa už uviedlo, navzájom korelovať hodnotenie aktuálnej spotreby energií a priebežných prevádzkových nákladov vo vzťahu k štrukturálnym vlastnostiam a veľkosti budovy. Na účely analýzy a preskúmania technického systému, akým je zásobovanie energiou pre budovu, je potrebné pomocou matematických vzťahov popísať fyzikálne a technické vlastnosti celkového systému na zásobovanie energiou.

## **2.3 Možnosti skombinovania rôznych koncepcií zariadenia**

Z výpočtu a zohľadnenia fyzikálnych a technických rámcových parametrov, ktoré je potrebné stanoviť pre vybrané možnosti realizácie zariadenia, možno zistiť potrebné objemy investičných prostriedkov a stavebné požiadavky pre daný navrhovaný spôsob riešenia zariadenia. Možno konštatovať, že komplexnosť energetickej optimalizácie, ktorá je predmetom tohto výpočtu, sa odvíja tiež od požiadavky užívateľa zariadenia mať k dispozícii zariadenie na zásobovanie energiou s pružnou koncepciou na pokrytie požadovanej potreby energií v každom okamihu.

Ďalej v práci pojednané optimalizačné skúmania na báze algoritmických výpočtov o možnostiach skombinovania rôznych technických riešení zariadenia (Obr. 3) sa podajú na príklade hľadania riešenia v zmysle ekologického a ekonomického optima hospodárenia s energiou pre zariadenie na zásobovanie teplom pre modelovú viacúčelovú budovu.

Možno konštatovať, že zistenie potreby energie pre zariadenie na zásobovanie energiou pre budovu treba vždy vykonať vo fáze projektovania budovy. Zároveň predstavuje tento údaj východiskový bod v hľadaní možností technickej optimalizácie zariadenia.



Obr. 3: Model problematiky kombinačného hľadania výsledku v optimalizačnom procese [Schulze]

#### 2.4 Optimalizačný model v technike budov

V analýze energetických tokov v spracovaní energetickej bilancie budovy sa medzičasom osvedčili viaceré kroky, ktoré preto obvykle využívajú poradcovia v oblasti energetiky budov.

Tieto kroky v analýze zahŕňajú:

1. Určenie hraníc systému
2. Určenie požadovaného spôsobu využitia v rámci hraníc systému
3. Určenie fyzikálnych veličín na stanovenie využiteľnej energie systému
4. Stanovenie skúmaného časového intervalu
5. Určenie rámcových podmienok
6. Výpočet energetických tokov

Postupné zhromaždenie údajov k jednotlivým krokom v analýze je pomôcka, ktorá sa osvedčila najmä v prvej predbežnej analýze jestvujúceho zásobovania energiou danej budovy.

Na riešenie otázky o možnostiach skombinovania rôznych technických riešení v zariadení (podľa Obr. 3 na str. 8) však popísaný postup analýzy zariadenia na zásobovanie energiou pre budovu sám o sebe nestačí.

Pre potreby hľadania optima v podobe vylepšeného zariadenia na zásobovanie energiou treba často ku každej jednotlivej technickej možnosti riešenia tohto zariadenia vykonať rozsiahle výpočty.

Takýto postup by bol časovo náročný a jeho výsledkom by bolo primárne len vzájomné porovnanie jednotlivých možností optimalizácie zariadenia na zásobovanie energiou. Nedáva však priamo odpoveď na otázku, či je možná, respektíve nakoľko technicky náročná je optimalizácia určitého komplexného zariadenia na zásobovanie teplom pre budovu.

### **3 Praktický príklad analýzy zariadenia na zásobovanie teplom pre viacúčelovú športovú budovu**

V predchádzajúcich častiach predstavené základné teoretické úvahy sa ďalej vysvetlia na príklade analýzy konkrétneho projektu. Predmetom skúmania je jestvujúca budova, ktorá sa používa od roku 2000. Prvá predbežná analýza situácie v zásobovaní teplom pre túto budovu sa vykonala v roku 2009. Táto viacúčelová budova slúži v nasledujúcej diskusii v predkladanej práci ako testovací objekt za účelom vysvetliť použitie evolučných algoritmov na optimalizáciu zariadenia na zásobovanie teplom. Pritom sa zhromaždili a ako východiskové podmienky pre energetickú analýzu použili všetky relevantné základné údaje o zariadení a jeho kontexte.

Cieľom optimalizácie, ktorý sa vysvetlí v nasledujúcom praktickom príklade analýzy, je zníženie ročných nákladov na zásobovanie teplom. Podrobnejšie skúmania čo sa týka štrukturálneho a stavebno-technického zhodnotenia budovy sa podávajú vo vlastnej práci.

#### **3.1 Zhromaždenie údajov o zásobovaní budovy teplom**

V prípade budovy, ktorá je predmetom analýzy, ide o viacúčelovú športovú budovu, ktorá, ako sa uviedlo v predchádzajúcej časti, sa skúmala na báze jestvujúcich nákladov na zásobovanie energiou so zreteľom na dodávku tepla.

Predmetná viacúčelová športová budova, ktorú vidno na nasledujúcich obrázkoch, sa používa ako sídlo jedného veslárskeho klubu.



Obr. 4: Viacúčelová športová budova v mestskej časti Neukölln v Berlíne [Schulze]

Zásobovanie skúmanej budovy teplom bolo v čase predbežnej analýzy zásobovania energiami riešené propánom, ktorý sa skladoval vo v zemi uloženej tlakovej fľaši a odtiaľ sa plynovým potrubím privádzal do nízkoteplotného vykurovacieho kotla.

Zistený výkon tohto jestvujúceho vykurovacieho kotla bol 91,1 kW. Ročná potreba tepelnej energie pre budovu v súčasnosti predstavuje 89.000 kWh (táto hodnota bola uvedená vo vyúčtovaní dodávateľa propánu). Ročné náklady na dodávku propánu predstavovali v roku 2009 5609 €.

V uplynulých troch rokoch konštatoval prevádzkovateľ zariadenia neustály rast cien za dodávku propánu.

Ako ekonomické protiopatrenie v očakávaní ďalšieho zvyšovania cien v ďalších rokoch požiadal prevádzkovateľ o analýzu zariadenia na zásobovanie teplom. Účelom bolo preskúmať možnosti optimalizácie zásobovania teplom a predložiť možné riešenia.

### **3.2 Vybrané technológie na optimalizáciu zásobovania teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu**

Pred rozhodnutím v prospech energetickej optimalizácie súčasného zariadenia na zásobovanie teplom pre skúmanú budovu je potrebná analýza, aké iné možnosti technického riešenia si želá užívateľ budovy a či sú tieto realizovateľné technicky únosným spôsobom.

Kľúčovými aspektmi v tomto rozhodovaní sú pritom lokálne podmienky, ako je napríklad poloha budovy, praktické možnosti dodávky palív a vlastnosti pozemku, na ktorom stojí budova. Ďalší dôležitý bod je potrebné skladovanie palív, ako napríklad dreva v prípade zariadenia na kúrenie drevom. Nie každé technicky realizovateľné riešenie zariadenia pritom zároveň vyhovuje aj požiadavkám na optimálne prevádzkovateľný systém. Solitérna poloha budovy umožňuje prístavky jej prípadných ďalších častí. Tieto možnosti majú zásadný význam napríklad v rozhodnutí o použití zariadenia na kúrenie drevom.

Príkladacie zariadenie, ktoré by bolo potrebné v prípade kúrenia drevom vo forme stružlín, by sa dalo bez problémov zrealizovať v podobe prístavby k existujúcej budove, keďže to umožňuje jej priestorová dispozícia. V každom prípade sú k tomu na pozemku k dispozícii potrebné priestory na zásobníky a skladovanie, ako aj prízjazdová cesta s dostatočnými rozmermi na dovoz palív typu palivového dreva či stružlín.

Ako výsledok skúmania možností optimalizácie v súčinnosti s užívateľom budovy vzišli ako východiskový základ pre optimalizáciu zariadenia na zásobovanie teplom tieto technické možnosti výroby tepla:

- Pripojenie na mestské plynárenské rozvody
- Vykurovací kotol
- Solárne kolektory
- Zariadenie s tepelnými čerpadlami
- Biomasa (spaľovanie dreva)

### **3.3 Dôvody výberu uvedených technických možností na optimalizáciu zásobovania teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu**

Výber vyššie uvedených a v základných rysoch popísaných technických možností sa riadil kritériom zmyslupnej praktickej realizovateľnosti. Všetky v predchádzajúcej časti uvedené technické možnosti sú technicky zrealizovateľné. V ohľade plánovaného pripojenia na mestské plynárenské rozvody zemného plynu mesta Berlín pôvodne sa týkajúceho komerčného pozemku v blízkom susedstve skúmanej budovy už vyslovilo vedenie športového klubu príslušnú požiadavku na budúceho



nájomcu komerčného pozemku o bližšie informácie od mestského dodávateľa plynu vo veci predĺženia plynovej prípojky na pozemok skúmanej budovy.

Ako alternatívne technické možnosti sa vedenie športového klubu vyslovilo pre solárny ohrev a technológiu tepelných čerpadiel.

V ďalšom priebehu konzultácií si vedenie športového klubu vyžiadalo informácie o využití spaľovania dreva, ktoré určilo ako ďalšiu technickú možnosť na optimalizáciu nákladov na zásobovanie teplom pre skúmanú budovu.

Dodatočne sa dohodli samostatné analýzy o použití kusového dreva a drevených peliet, čo dáva na účely optimalizácie spolu šesť možností riešenia zásobovania teplom.

Tento počet variantov na výber, ktoré možno považovať za premenné, predstavuje vzhľadom na použitie evolučných algoritmov určitý problém. Použiteľné výsledky by samozrejme mohla vynieť aj aplikácia evolučného algoritmu na problém s príliš malým počtom premenných, v odbornej literatúre sa však poukazuje na to, že pre takéto problémy s príliš malým počtom premenných nie je použitie evolučných algoritmov účelné.

Znamenalo by to privysoké náklady a prácu na súvisiace programovanie, čiže kvalitný výsledok a riešenie by bolo možné rýchlejšie dosiahnuť s konvenčnými postupmi skúmania [2]. Preto je dôležité posudzovať konečný cieľ v podobe optimálne pracujúcich technických zariadení vždy z pohľadu širšej ponuky technicky zmysluplných možností riešenia. Pritom neslobodno zabúdať ani na v budúcnosti očakávateľné náklady na údržbu, ako aj vedľajšie náklady z prevádzky zariadenia. Úlohou je vytvoriť zo všetkých týchto rámcových podmienok analyzovateľný model, aby tak bolo s použitím evolučných algoritmov možné zmysluplne vykonať analýzu v smere optimalizácie nákladov. Táto téma sa podrobne pojednáva v časti 5 a v nadväznej diskusii výsledkov analýz z predkladanej práce.

Na porozumenie princípu a podstate fungovania evolučných algoritmov sa v nasledujúcich častiach podávajú vysvetlenia niektorých záležitostí z oblasti evolučných algoritmov.

#### 4. Evolučné Algoritmy

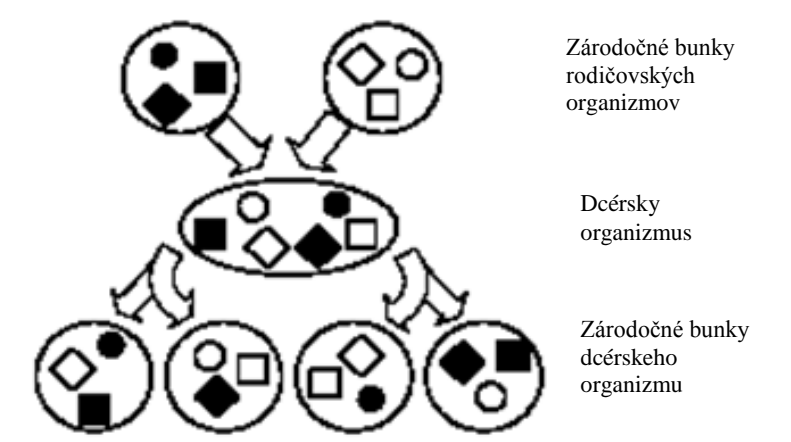
Pred popisom a vysvetlením procesu hľadania optimalizácie zariadenia na zásobovanie teplom pre skúmanú viacúčelovú budovu je potrebné najprv v základných rysoch predstaviť štruktúru a princípy evolučných algoritmov.

Podstata fungovania evolučných algoritmov je založená na princípe v prírode sa vyskytujúcich základných zákonov evolúcie. Evolúcia popisuje vývoj života na základe predpokladu existencie jednotlivca v rámci ekosystému.

Evolučnými procesmi v prírode sa vyvinuli formy života, ktoré sú schopné lepšie narábať s uplatňujúcimi sa životnými podmienkami v určitom biotope. Možno to chápať tak, že na organizmy v určitom biotope pôsobí ekologický tlak. Takýto výrazný tlak na organizmy v danom biotope, na ktorý tieto musia reagovať, predstavujú napríklad klimatické zmeny. Výsledkom je nastavenie na výsledné nové životné podmienky v biotope organizmu [3].

To znamená, že nasledujúce generácie vykazujú zlepšené vlastnosti oproti predchádzajúcej generácii (pozri Obr. 5).

Z tohto prírodného evolučného modelu sa vyšlo vo vývoji evolučných algoritmov, ktoré sa vytvorili na riešenie komplexných matematických problémov.



Obr. 5: Kríženia prvkov v optimalizačnom pokuse [4]

#### 4.1 Princíp fungovania evolučných algoritmov (EA)

Ako sa uviedlo, v prírode nepretržite prebieha optimalizácia jednotlivcov v populácii, ktorá sa odvíja od zmien v životných podmienkach.

Výsledkom tejto optimalizácie je vývojový proces, ktorý obvykle prebieha po veľa generácií. Najlepšie dlhodobé vyhladky na prežitie majú pritom jednotlivci, ktorí sa dokážu rýchlo prispôsobiť novým životným podmienkam.

Tento postupný optimalizačný vývoj sa technickými výpočtovými prostriedkami imituje s použitím evolučných algoritmov.

S pomocou evolučných algoritmov možno vykonávať testovacie výpočty, ktorých výsledky možno nadväzne analyzovať vo vzťahu k vopred konkrétne zadefinovanému problému.

Využitie evolučných algoritmov na riešenie určitého problému je vhodné najmä tam, kde požadovaný výsledok nemožno zistiť inými známymi spôsobmi. Použitie evolučných algoritmov tak môže byť zmysluplnou možnosťou najmä v situáciách, kde vzhľadom na zložitosť problému možno rátať s časovo i na prácu náročnejším procesom skúmania [2].

Najprv sa inicializuje východisková populácia. Ide o výsledky prvého predbežného pokusu o optimalizáciu, ktoré sa popíšu pomocou matematickej funkcie.

Táto funkcia, tiež označovaná ako cieľová funkcia, predstavuje výpočtovú metódu, ktorá vedie k cieľu optimalizačného úsilia. Riešenie cieľovej funkcie sa označuje ako hodnota cieľovej funkcie. Táto hodnota sa vyhodnotí podľa cieľového kritéria. Po výpočte počiatočnej populácie sa z nej vypočíta nasledujúca „generácia“ riešení. Tento proces, čiže rekombinácia výsledkov výpočtov, imituje kríženie jednotlivcov v prírode (Obr. 5, strana 14).

V tejto rekombinácii sa s použitím evolučného algoritmu pokračuje dovtedy, kým sa dosiahne definované kritérium ukončenia pre najlepšie riešenie.

Kritériom ukončenia môže byť napríklad počet generácií, ktoré sa majú vytvoriť.

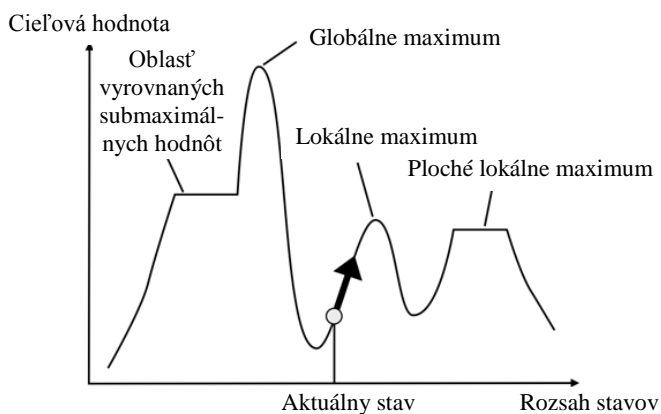
Priebeh hľadania optima určitého cieľového kritéria sa realizuje s použitím operátorov. Tie predstavujú nastavovacie nástroje evolučného smerovania ku konečnému výsledku.

V pokusoch o zistenie optima pomocou evolučných algoritmov nemusí dosiahnuť výsledok nevyhnutne predstavovať konečné optimum. Pomocou ďalších overovacích pokusov s iným a poučenejším nastavením optimalizačných operátorov možno dosiahnuť zlepšený výsledok optimalizácie.

Vzhľadom na skutočnosť, že, ako sa uviedlo, predstavuje použitie evolučných algoritmov stochastický vyhľadávací proces, treba pre výsledky jednotlivých sérií výpočtov analyzovať, či sa uspokojivo dosiahol cieľ optimalizácie. Na vyslovenie záverov v tomto smere sa v časti 7 predkladá výsledková tabuľka s výsledkami výpočtov.

Na základe vyhodnotenia výsledkových tabuliek, ktoré podávajú čiastkové výsledky optimalizačných pokusov, možno zistiť, za akých umelo vytvorených podmienok sa pre evolučný vývoj výsledkov dosiahne hľadané optimum.

Na základe toho možno vyhodnotiť aktuálny stav optimalizačného procesu. Grafické znázornenie na Obrázku 6 ukazuje rôzne fázy hľadania optimálneho maxima.

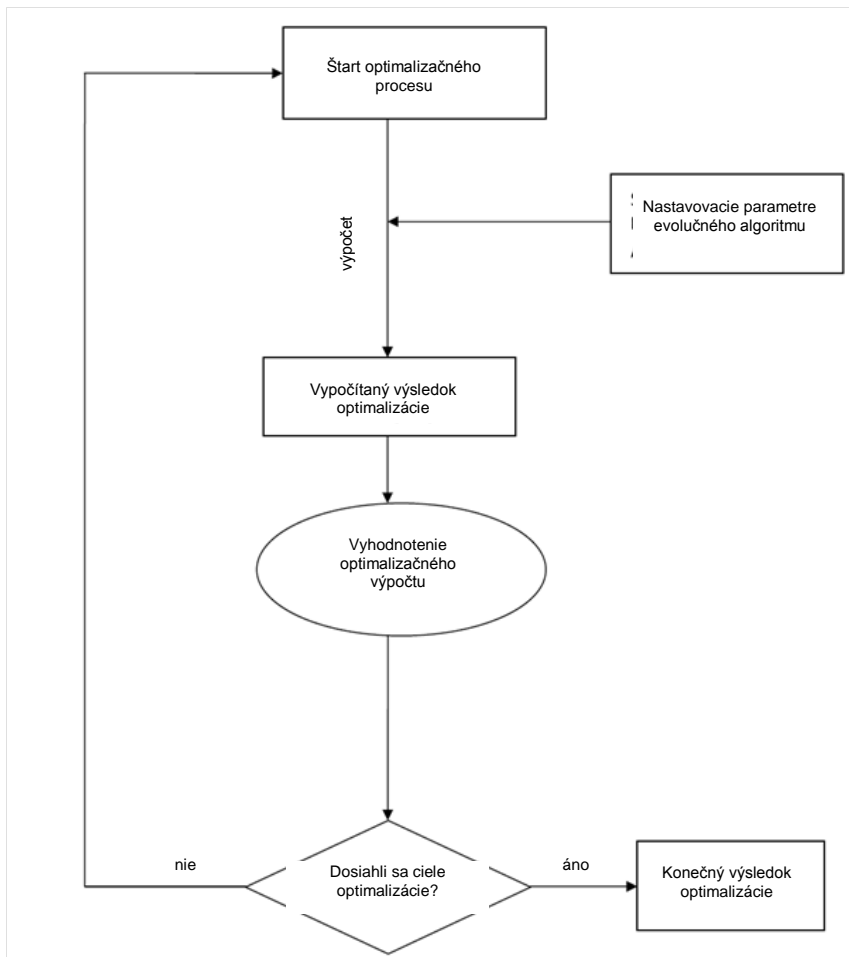


Obr. 6: Priebeh stochastického vyhľadávacieho procesu s použitím evolučného algoritmu [5]

#### 4.2 Postup optimalizačnej metódy s použitím technických výpočtových prostriedkov

V metodike optimalizačných pokusov, ktorá je popísaná a vysvetlená v časti 5 predkladanej práce, sa uplatňuje postup čiže sled krokov uvedený na nasledujúcom obrázku.

K metodike optimalizačného procesu v zmysle obrázku 7 možno uviesť, že nejde o prostý výpočtový proces s použitím výpočtovej techniky. Zásadná v uplatnení optimalizačného výpočtového programu je spoluúčasť užívateľa. Užívateľ je do tohto procesu neustále zapojený, čo je podčiarknuté potrebou vyhodnotenia získaného výsledku optimalizácie. V konečnom dôsledku treba vyhodnotiť technickú realizovateľnosť a zmysluplnosť optimalizačného výpočtu.



Obr. 7: Metodika optimalizačného procesu s použitím evolučných algoritmov  
[Schulze]

## **5 Pokus o optimalizáciu zariadenia na zásobovanie teplom pre skúmanú viacúčelovú športovú budovu (1. séria testovacích výpočtov)**

### **5.1 Modelovanie skúmaného systému na zásobovanie teplom**

Evolučné algoritmy, ktoré sú predurčené vo vytvorených programoch, využívajú v procese hľadania riešenia, ktorý sa teoreticky popísal v časti 4, takzvanú sadu nástrojov (toolbox).

Sada nástrojov obsahuje príslušné algoritmy, ktoré sú pripravené na použitie ako funkcie riešenia vo forme jednotlivých programov v sade. Sada sa nainštaluje z externého dátového nosiča na počítač, ktorý sa použije na analýzu, a aktivuje sa programom MATLAB.

Na výpočtovú analýzu musí byť vždy umožnený technický prístup evolučného algoritmu k zadanému modelu zariadenia na zásobovanie teplom pre skúmanú športovú budovu, ktorá je popísaná v časti 3.

Všeobecný rámec optimalizačnej analýzy pomocou evolučných algoritmov tvorí voľný výber spomedzi zmienených možností technického riešenia v zmysle časti 3.2 a programátorsky zadaná úloha získať ako hľadané nákladové optimum celočíselné výsledky v zadanom rozsahu. Príslušné modelové hranice jednotlivých možností technického riešenia, ktoré je potrebné zdefinovať na zahájenie algoritmickej výpočtov, sú v našom optimalizačnom príklade skúmanej budovy:

- požadovaný ročný energetický výkon zariadenia na zásobovanie teplom,
- investičné a prevádzkové náklady jednotlivých možností technického riešenia zariadenia,
- zvolené doby odpisovania jednotlivých technických riešení zariadenia.

Pred zahájením procesu vyhľadávania optimalizovaného riešenia však treba zdefinovať cieľovú funkciu.

Cieľová funkcia je zadaná požiadavka, ktorú musí výsledok splniť, čo sú konkrétne v zmysle predchádzajúcich častí predkladanej práce najnižšie náklady na zabezpečenie zásobovania skúmanej budovy teplom.

Ak sa v procese vyhľadávania optimalizovaného riešenia dosiahnu najnižšie náklady oproti doterajším nákladom na zásobovanie teplom, logicky to znamená, že sa našlo optimum.

Inými slovami to značí, že sa našiel taký variant skombinovania technických prvkov zariadenia, ktorý znamená nižšie náklady na ročné zásobovanie teplom ako doterajšie jestvujúce riešenie zariadenia. V súčasnosti musí spoločenstvo užívateľov skúmanej viacúčelovej budovy platiť za dodávku tepla na báze propánu ročne 5600 €. Analogicky mesačným nákladom na nájomné to pri celkovej čiastke 5600 € ročne znamená mesačnú nákladovú záťaž vo výške 466,67 €

V hľadani nákladovo prijateľnejšieho technického riešenia zariadenia na zásobovanie teplom musí alternatívne riešenie zároveň splniť požiadavku na celkový ročný tepelný výkon 89.000 kWh.

Do evolučného algoritmu je preto v procese optimalizácie zásobovania teplom potrebné vložiť túto požiadavku ako ďalšie cieľové kritérium.

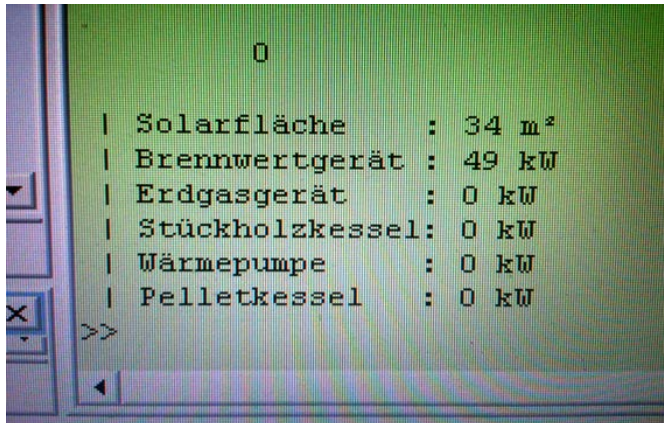
Evolučný algoritmus pritom musí dosiahnuť celkovú optimalizáciu premenných. Optimalizačné premenné vo vzťahu k technickým možnostiam riešenia pre popísanú viacúčelovú budovu, ktorá je predmetom skúmania, sú definované takto:

Premenná a) =	Ročné množstvo energie zo slnečných kolektorov v kWh
Premenná b) =	Ročné množstvo energie z vykurovacích kotlov v kWh
Premenná c) =	Ročné množstvo energie zo zemného plynu s jestvujúcim nízkoteplotným vykurovacím kotlom v kWh
Premenná d) =	Ročné množstvo energie z kusového dreva v kWh
Premenná e) =	Ročné množstvo energie z tepelného čerpadla v kWh
Premenná f) =	Ročné množstvo energie z drevených peliet v kWh

Súhrn týchto premenných v spojitosti so zmiernenými vymedzeniami hraníc modelu pre jednotlivé možnosti technického riešenia, ktoré sú definované cenami potrebných investícií, za údržbu a za dodanú jednotku energie (v eurách za kWh) spolu dáva výpočtový model optimalizácie.

Výstup konečného výsledku práce programu je v podobe matice, ktorá podáva prehľad spôsobov technického a kapacitného riešenia zariadenia a pri ktorom je dané optimálne riešenie zásobovania teplom.

Celkový výsledok vývojového procesu, ktorý sa popísal a priblížil v tejto časti, je vytvorenie programu na optimalizáciu nákladov, ktorý poskytne návrh na optimalizované zariadenie na zásobovanie teplom (Obr. 8, strana 20).



Obr. 8: Výstup výsledkov v komunikačnom okne programu MATLAB [Schulze]  
(výkonové a kapacitné hodnoty v rámci jedného riešenia: solárne panely, vykurovací kotol, zariadenie na zemný plyn, vykurovací kotol na kusové drevo, tepelné čerpadlo, vykurovací kotol na pelety)

## 6. Analýza výsledkov optimalizačného pokusu (1. séria optimalizačných výpočtov)

Výpočet pomocou evolučných algoritmov ukázal v spojení s popísanými nákladovými a energetickými charakteristikami jednotlivých technických možností riešenia, že vytvorený program na optimalizáciu nákladov umožňuje zistiť, ktorá možnosť ponúka najnižšiu úroveň nákladov na zásobovanie teplom.

Ako najlepšia koncepcia zásobovania teplom sa po spracovaní a výstupe celkovo 800 riešení javí kombinácia technických možností solárneho ohrevu a vykurovacieho kotla. Kapacitné riešenie tohto kombinovaného zariadenia v zmysle obrázku hore vyzerá takto:

- Solárny systém s celkovou plochou solárnych panelov 34 m<sup>2</sup>
- Vykurovací kotol s výkonom 49 kW (tepelný výkon)

Mesačné náklady na toto optimalizované zariadenie na zásobovanie teplom by predstavovali 452,92 €, čiže spolu ročné náklady vo výške 5435,04 €



Doterajšia cena za dodávku energie, ako sa uviedlo vyššie, dosahuje 5600 € ročne, čo znamená ročnú úsporu 164,96 €.

Tento výsledok pre mesačné náklady na dodávku energie vo vzťahu k skúmanej viacúčelovej športovej budove je priemerná hodnota nákladov, ktorá sa zistila zo spolu desiatich testovacích výpočtov vykonaných ihneď po dokončení programu na optimalizáciu nákladov.

Ako najlepší medzivýsledok sa výpočtom zistili mesačné náklady 433,50 €, a to na kombinované zariadenie z týchto položiek:

- Solárny systém s celkovou plochou solárnych panelov 31 m<sup>2</sup>
- Vykurovací kotol s výkonom 49 kW (tepelný výkon)

Na základe tohto výsledku možno zistené hodnoty z tejto prvej série testovacích výpočtov použiť na optimalizáciu nákladov na dodávku energií ako východiskové údaje pre ďalšie rešerše.

Celkovo možno z doterajších zistení konštatovať, že spracovaný výpočtový program v doterajšej podobe je v zásade použiteľný na výpočet optimalizácie nákladov na zariadenia na zásobovanie teplom pre budovy. Výsledky výpočtov, ktorých hodnoty možno použiť na vytvorenie zostavy potrebných komponentov, sú použiteľné pre ďalšie skúmania, ich význam je však predovšetkým ako podklad pre diskusie o ďalších krokoch v projektovaní.

Technická zrealizovateľnosť vypočítaného výsledku optimalizácie by sa vždy mala ešte raz zvážiť vzhľadom na stavebné podmienky v danom prípade. Ďalej je v plánovaní možností rozšírenia či výmeny jestvujúcich technických zariadení potrebné zohľadňovať tiež budúce potreby riešenia vnútorných i vonkajších priestorov budovy a pozemku. To umožní realizovať ďalšie projektové kroky smerom k technickej implementácii cieľným spôsobom.

Na základe dosiaľ vypočítaného výsledku však nie je možné vysloviť konečný záver v tom zmysle, či zistená kombinácia zariadení predstavuje optimum vzhľadom na dané stavebné a energetické rámcové parametre skúmanej viacúčelovej budovy.

## **7. Pokusy na zvýšenie kvality optimalizácie**

### **7.1 Objasnenie**

V zmysle diskusie k princípom fungovania evolučných algoritmov a ich prejavov vo výpočtoch (pozri časť 4) by malo byť možné úpravami nastavovacích parametrov efektívne ovplyvňovať výsledok výpočtu nákladovej optimalizácie.

Modifikáciou týchto nastavovacích parametrov sa dosahuje umelá zmena rámcových podmienok optimalizačnej analýzy, ktorá môže mať prípadne efekt zmien vo výsledku výpočtov.

Na tento účel sa v ďalšom postupe nastavujú rôzne hodnoty nastavovacích parametrov na približovacom princípe, aby sa tak postupne zistil smer k cieľovej optimalizácii. Táto krivka smerom k optimalizácii sa zisťuje na základe vykonania spolu 20-tich testovacích výpočtov s odlišnými hodnotami nastavovacích parametrov. Hodnoty úprav týchto parametrov sa najprv postupne znižujú a následne znovu zväčšujú.

Ako ďalší krok sa v štyroch ďalších testovacích výpočtoch taktiež postupne znižuje vyhľadávací rozsah, ktorý sa pôvodne zadefinoval od nuly až do milióna výsledkových hodnôt. Vypočítané výpočtové rady vo výsledku z celkovo 24 jednotlivých výpočtov by tak mali priniesť ďalšie poznatky o zvýšení kvality optimalizácie vo výpočtoch nákladovej optimalizácie.

### **7.2 Vyhodnotenie sérií výpočtov**

Testovacie výpočty s rôznymi hodnotami nastavovacích parametrov vykazujú v ohľade nákladovej optimalizácie premenlivé výsledky, ako to podáva obrázok na predchádzajúcej strane. Výsledky testovacích výpočtov na zvýšenie kvality optimalizácie zjavne vykazujú výkyvy. Na zvýraznenie tohto faktu sa v príslušnej testovacej sérii vypočítal priemer všetkých vypočítaných mesačných čiastok nákladov a tieto sa zostavili do porovnávacieho diagramu.

Podľa tohto výsledku dosiahol najvyššiu kvalitu optimalizácie testovací výpočet číslo 12 (pozri Obr. 9 na strane 24). Pri bližšom skúmaní však zistené kombinácie zariadení v rámci možných technických riešení z ekonomického hľadiska nie sú ideálne. Tento záver sa núka zo skúmania absolútne najlepšej (najnižšej) hodnoty mesačných nákladov na energiu.

Ako najlepšia hodnota mesačných nákladov v zmysle optima nákladov na energiu sa vypočítala čiastka 430,90 €. Táto sa pomocou programu na optimalizáciu nákladov zistila pre zariadenie tvorené kombináciou 35 m<sup>2</sup> plochy solárnych panelov a vykurovacieho kotla s tepelným výkonom 49 kW.

Tento výsledok sa zistil v nasledujúcich testovacích výpočtoch:

- Testovací výpočet č. 5 pri 6. výsledkovom výpočte
- Testovací výpočet č. 11 pri 8. výsledkovom výpočte
- Testovací výpočet č. 16 pri 6. výsledkovom výpočte

Na ďalšie spresnenie v hľadaní najlepšej miery optimalizácie sa na účely ďalšieho výberu použili hodnoty priemerných nákladov z týchto troch sérií testovacích výpočtov.

Zistili sa tieto hodnoty priemerných nákladov:

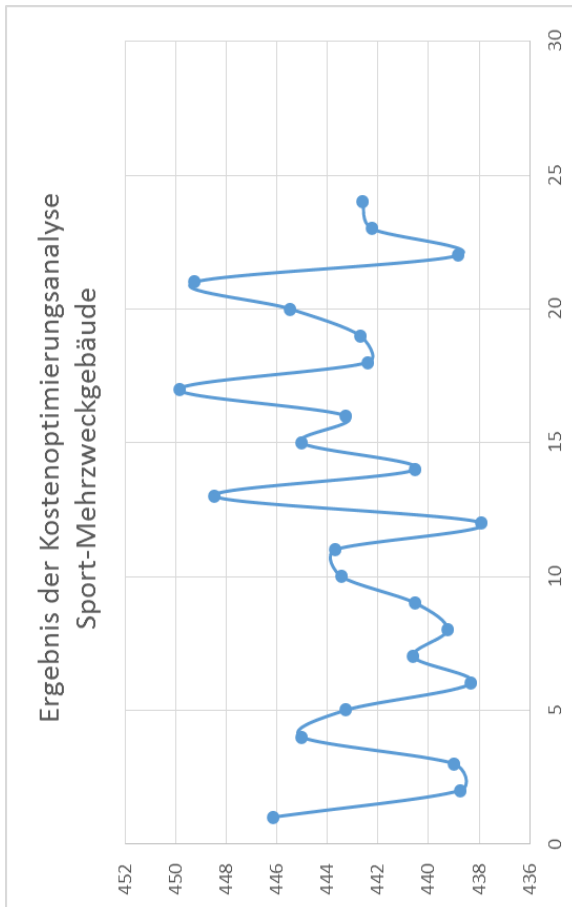
- Testovací výpočet č. 5: 443,27 €
- Testovací výpočet č. 11: 443,67 €
- Testovací výpočet č. 16: 443,27 €

Z tohto výsledku možno konštatovať, že optimum v rámci programu na nákladovú optimalizáciu vzišlo z testovacích výpočtov č. 5 a 16.

Zistilo sa, že úpravami evolučných nastavovacích parametrov treba v záujme relevantných záverov o splnení cieľa optimalizácie vykonať komplexnú analýzu sérií testovacích výpočtov v ohľade zlepšenia kvality optimalizácie.

V analýze výsledkov sa ďalej tiež zistilo, že z výpočtov sa získali aj výsledky, ktoré technicky ani po ekonomickej stránke nedávajú zmysel. Ako príklad možno uviesť tie výsledky, z ktorých vyplynula ako optimálna kombinácia zariadení solárny systém s vykurovacím aj nízkoteplotným kotlom, alebo kapacitne poddimenzované zariadenia. Z toho je zrejmé, že výpočet nákladovej optimalizácie na báze použitého výpočtového modelu síce nedáva dokonale presný výsledok optimalizácie, možno však rozpoznať tendencie sérií hodnôt smerom k optimalizácii, ktorú možno ďalej analyzovať vo vzťahu k stavebným podmienkam a možnostiam danej budovy.

Výsledok analýzy na optimalizáciu nákladov  
pre viacúčelovú športovú budovu



Obr. 9: Vyhodnotenie série testovacích výpočtov v zmysle zlepšenia kvality optimalizácie [Schulze]

Osa X: Počet testovacích výpočtov

Osa Y: Priemerné mesačné náklady na zásobovanie teplom

Dosiaľ získané poznatky naznačujú, že popísanú analytickú metódu možno využiť ako pomôcku pre poradcov v oblasti energií a projektových inžinierov.

## **8. Spracovaný program na optimalizáciu nákladov ako pomôcka v procesoch projektovania v oblasti technických zariadení budov**

Práca inžinierov v oblasti projektovania a koncipovania systémov technických zariadení budov je v súčasnosti obor činnosti, ktorého typickou súčasťou je spracovanie veľkých objemov informácií.

Jednak je pritom potrebné analyzovať želania stavebníka a architekta v ohľadoch priestorového riešenia a vybavenia budovy, a jednak pritom náklady nesmú prekročiť rámec, ktorý vymedzil stavebník. Na nájdenie najlepšieho technického riešenia podľa stavebníkom určených požiadaviek treba obvykle rátať s nezanedbateľnými časovými nákladmi na konštruktívne projektové práce. Projektový inžinier musí často súbežne pracovať na viacerých podobne formulovaných projektových dopytoch v rámci rôznych projektov.

Často sa stáva, že výsledky projektovania bývajú za takýchto pracovných podmienok nižšej kvality, čo zase ide obvykle na konto chýb v projektovaní.

Vytvorený program na nákladovú optimalizáciu môže v tejto súvislosti priniesť úsporu času v spracovaní stručných energetických analýz a tým znížiť pracovnú záťaž projektových inžinierov.

### **8.1 Uplatnenie na často sa vyskytujúci optimalizačný problém v oblasti projektovania zariadení na zásobovanie teplom**

Vzhľadom na potrebné projektovania pri novostavbe príkladového viacbytového obytného domu sa zistením možností optimalizácie domového zariadenia na zásobovanie teplom poverila technická projektová kancelária v oblasti technických zariadení budov.

Vzhľadom na zamýšľanú žiadosť o pôžičku z prostriedkov štátnej podpory, ktorú v Nemecku poskytuje za predpokladu splnenia určitých kritérií štátom vlastnená banka KfW-Bank, sa stavebník rozhodol overiť splnenie týchto kritérií na nárokovanie podpory (<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/index-2.html>).



Obr. 10: Príkladový viacbytový obytný dom na vykonanie analýzy [Schulze]

V tejto súvislosti treba uviesť, že zásadným predpokladom pre možnosť nárokovat' si a v konečnom dôsledku aj dostať od banky KfW-Bank takúto pôžičku z prostriedkov štátnej podpory je využitie energií z obnoviteľných zdrojov ako doplnku ku konvenčnému zásobovaniu danej stavby energiami.

## 8.2 Nákladové a časové úspory v spracovaní projektu

Z rýchleho zistenia nákladového optima na zásobovanie energiami, ktoré možno v projektovaní zariadenia na zásobovanie teplom pre budovu ihneď začleniť do projektovania, plynú výhody tak pre užívateľa či vlastníka zariadenia, ako aj pre projektového inžiniera. Týmto spôsobom možno zohľadniť konštrukčne a kapacitne správne navrhnuté komponenty zariadenia už vo fáze predbežného plánovania zariadenia. To umožňuje včas v ďalšom projektovaní zohľadniť potrebné miesta a priestor na väčšie súčasti zariadenia, ako je napríklad vykurovací kotol, zásobníková nádrž na teplú vodu, veľkosť plôch solárnych panelov atď. Možno tak predísť chybám v projektovaní a tým usporiť čas a náklady na náročné a komplexné zmeny v projektoch. Ak je zariadenie na zásobovanie teplom už od začiatku pokiaľ možno čo najlepšie optimalizované, umožňuje to udržať prevádzkové a údržbové náklady pre prevádzkovateľa zariadenia v ďalších rokoch na ekonomicky únosnej úrovni.

Tieto súvislosti jasne dokladajú, že využitie pomoci v projektovaní napríklad formou programu na optimalizáciu nákladov je mimoriadne užitočné a potenciálne zaujímavé pre projektové kancelárie venujúce sa projektovaniu technických zariadení budov.

### **8.3 Výsledok uplatnenia programu na optimalizáciu nákladov**

Využitie spracovaného programu na optimalizáciu nákladov bolo pre projektového inžiniera podľa jeho vlastného vyjadrenia skutočne pomocou v projektovaní, a to najmä v ohľade časovej náročnosti spracovania projektu.

Po krátkom zaškolení do programu a jeho funkcií dokázal zodpovedný projektový inžinier samostatne na účely výpočtu optimalizácie zadávať zistené východiskové údaje, ako potrebný tepelný výkon kúrenia pre plánovanú budovu, ako aj príslušné náklady na obstaranie a údržbu zariadenia. Tu treba zároveň podotknúť, že zistené východiskové údaje pre výpočet možno zadávať len do príslušných riadkov programu na optimalizáciu nákladov. Ide o nevyhnutnosť, ktorej zmyslom je zabrániť významnému poškodeniu funkčnosti programu.

Táto skutočnosť znamená, že nie je zaistená správnosť zadávania údajov, čo môže predstavovať zdroj chýb, ktorý v práci s programom na optimalizáciu nákladov neslobodno podceňovať.

## **9 Zhrnutie a výhľad**

### **9.1 Zistenia k výsledkom výpočtov**

Pokus o optimalizáciu zásobovania tepelnou energiou s pomocou evolučných algoritmov v prvej sérii testovacích výpočtov ukázal, že v komplexnej problematike optimalizácie zariadení na zásobovanie teplom môže hľadanie optimalizácie nákladov na energiu výrazne skrátiť potrebný čas na určenie riešenia oproti jednotlivým výpočtom pre rôzne varianty zariadenia. Výhodou je, že spracovaný program na optimalizáciu nákladov na energiu, ako je popísaný v časti 5 predkladanej práce, možno použiť pre rôzne podobne koncipované zariadenia na zásobovanie energiou.

To umožňuje analyzovať riešený problém optimalizácie v oblasti vyhodnotenia zásobovania teplom pre budovu a nájsť najlepší variant zariadenia ako optimálne riešenie zásobovania teplom už vo fáze predbežného plánovania budovy.

Treba však mať na pamäti, že výsledky optimalizačných výpočtov v časti 7 treba považovať len za naznačenie tendencie smerom k optimalizačnému cieľu. To znamená, že každý výsledok treba následne podrobiť analýze a vyhodnotiť z technického a ekonomického hľadiska. Okrem týchto výhrad má tento postup na optimalizáciu nákladov potenciál uplatnenia v praxi.

Popri použití spracovaného programu na optimalizáciu nákladov možno tento analytický postup v budúcnosti uplatniť aj v spracovaní stručných energetických analýz.

Možno tak rýchlo spracovať a stavebníkovi či architektovi predložiť technické návrhy optimálne nakoncipovaného zariadenia na zásobovanie energiou. Takto optimalizovaná koncepcia riešenia zariadenia môže byť užitočná najmä ako východiskový základ ďalšej argumentácie a skúmania v ohľade zlepšenia jestvujúcich zariadení, alebo aj v koncipovaní a kapacitnom plánovaní rôznych súčastí zariadenia.

Ďalej by mohlo byť v procesoch zisťovania nákladového optima v oblasti nákladov na energie do budúcnosti užitočné rozšíriť model zásobovania energiou v dosiaľ skúmanom pojatí na celkový model energetickej bilancie, ktorého súčasťami by boli napríklad analýza zásobovania teplom a analýza zásobovania elektrinou.

To by umožnilo celkovú analýzu zásobovania energiami.

Táto otázka sa už skúma v nadväznom projekte. Možnosti ďalšieho rozvoja a uplatnenia týchto úvah sú momentálne predmetom diskusie v jednej pracovnej skupine.

## **9.2 Záverečná poznámka**

V predkladanej práci popísaný a spracovaný program na optimalizáciu nákladov má v praxi svoje silné aj slabé stránky.

Jednak možno programovým modelovaním vybraných technických parametrov zariadenia spolu s aplikáciou evolučných algoritmov časovo skrátiť hľadanie optimálneho riešenia a tým znížiť tak nároky na potrebnú prácu, ako aj súvisiace náklady. To je potenciálne užitočné najmä pre projektové kancelárie so zameraním na technické zariadenia budov, keďže tak možno dosiahnuť lepšiu hospodárnosť v spracovaní energetických analýz.

Na druhej strane však treba mať na pamäti, že získané výsledky výpočtov z programu na optimalizáciu nákladov vždy treba kriticky skúmať a overovať v ohľadoch technickej a ekonomickej realizovateľnosti. Užívateľ programu na



optimalizáciu nákladov je tak vždy povinný vykonať nadväznú analýzu a ešte raz si preskúmať stavebné podmienky a danosti budovy, v ktorej sa má zhotoviť novo plánované či na optimalizáciu čakajúce zariadenie na zásobovanie teplom. Posúdenie, či určité zariadenie pracuje po energetickej stránke s optimálnymi nákladmi, je v zodpovednosti technika či inžiniera, ktorý vykonáva nákladovú optimalizáciu a následne vyhodnocuje jej výsledky.

Zároveň však pritom platí, že výlučné a konečné rozhodovacie slovo v oblasti tvorby a koncepcie projektu má vlastník či architekt budovy. Konečným výsledkom tejto tvorby preto môžu byť napokon odlišné koncepcie technického riešenia zariadení, ktoré sa nie celkom zhodujú s výsledkom výpočtu a vyhodnotenia optimalizácie nákladov na zásobovanie energiami.

Napokon platí, že uplatnením ani ďalším zdokonalením analytických metód sa nedosiahne definitívne a konečné riešenie.

Ak sa v predkladanej práci popísané optimalizačné skúmanie v širšej miere uplatní v projektovej praxi, budú nasledovať ďalšie snahy spracovať výkonné metódy optimalizačnej analýzy. To by bol znovu dôkaz evolučného vývoja.

Optimalizácia systémov na zásobovanie energiami pre budovy predstavuje dôležitú súčasť zlepšenia v efektívnom využívaní energií.

Uvádzané optimalizačné postupy sa stanú neoddeliteľnou súčasťou energetického hospodárstva všetkých rozvinutých krajín.

K najdôležitejším výsledkom dizertačnej práce patria tieto:

- Konvenčný postup na optimalizáciu zariadení na zásobovanie energiami pre budovy
- Analýza parametrov zariadenia ako základ pre optimalizačné snahy
- Praktický prípad analýzy zariadenia na zásobovanie teplom pre vybranú viacúčelovú športovú budovu
- Analýza parametrov zariadenia ako základ pre optimalizačné snahy
- Evolučné algoritmy
- Pokus o optimalizáciu zariadenia na zásobovanie teplom pre vybranú viacúčelovú športovú budovu
- Analýza výsledkov optimalizačného pokusu
- Spracovaný program na optimalizáciu nákladov ako pomôcka v projektových prácach v oblasti technických zariadení budov

**Uvedené výsledky znamenajú, že sa splnili tézy dizertačnej práce, ktoré sa predložili pri dizertačnej skúške:**

1. Preskúmanie zariadenia na zásobovanie teplom s pomocou evolučných algoritmov so zohľadnením aktuálnych nákladových analýz za účelom dosiahnuť smerodajné výsledky výpočtov.
2. Štandardizácia prezentačných výsledkov pred začiatkom stavebných prác v oblasti zásobovania energiami pre budovy.
3. Overenie praktického uplatnenia modelu evolučných algoritmov s demonštráciou na praktickom príklade so zámerom širšieho uplatnenia modelu v projektových kanceláriách.

Téma dizertačnej práce priamo súvisí s mimoriadne dôležitými otázkami praxe energetického hospodárstva.

Realizuje sa optimalizácia alternatívnych zdrojov energií s výsledkom lepšej efektívnosti energetického hospodárstva. Zároveň sa tak tiež vytvárajú predpoklady pre efektívnu ochranu životného prostredia.

## Zoznam literatúry

- [1] Planung der elektrischen Energieverteilung - Technische Grundlagen. Available on internet: [www.siemens.de/tip-cs.de](http://www.siemens.de/tip-cs.de)
- [2] POHLHEIM H.: Evolutionäre Algorithmen. Heidelberg: Springer-Verlag. 1999, 1.Auflage, ISBN 3-540-66413-0
- [3] SCHIEWER U.: Lehrbrief Struktur und Funktion von Ökosystemen. Universität Rostock , Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung, 2005
- [4] NIEMEYER G.: Evolutionäre Algorithmen und ihre Anwendung Seminararbeit in Neuroinformatik. Münster, Westfälische Wilhelms-Universität, 2004
- [5] ReTest – Genetische Algorithmen, Internetpublikation. Im internet: <http://www.retest.de/ressourcen/genetische-algorithmen/>
- [6] Arbeitsgemeinschaft –Lernfähige Systeme: Evolutionäre Algorithmen. Im internet: <http://www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=237>
- [7] JANÍČEK F., DARUĽA I., GADUŠ J., REGULA E., SMITKOVÁ M., POLONEC Ľ., ĽUDVÍK J., KUBICA J., MICHALÍK M., BINDZÁR M.: Obnoviteľné zdroje energie 1 : Technológia pre udržateľnú budúcnosť. 2.uprav a dopl.vyd. Pezinok : Renesans, 2009. 174 s. ISBN 978-80-89402-04-5.
- [8] JANÍČEK F., TOMIŠ I., KOVAL' P., DARUĽA I., ŠEDIVÝ J., ŠULC I.: The Potential of Renewable Energy Sources and Their Possible Involvement in the Production of Electricity in Slovakia. In Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. Z. 64, Nr. 336 (2010), p.55-57. ISSN 1429-1533.

## Publikácie autora

- [1] Schulze, Christian:  
Optimization of heat.Energy-Supply with use of Evolutionary Algorithms  
Volume of Abstracts of the 1st International Scientific Conference OZE 2010  
ISBN 978-80-89402-21-2
  
- [2] Schulze, Christian:  
Photovoltaics - A Technology be appealed in Germany Volume of Abstracts of  
the 11th International Scientific Conference EEE 2012  
ISBN 978-80-89402-49-6
  
- [3] Schulze, Christian - Janíček, František:  
Desertec - in Northern Mexico; An Opportunity for an Innovative Power  
Supply Newspaper article for the journal "Acta Universita" of the University in  
Guanajuato; Mexico  
ISSN 0188 – 6266
  
- [4] Sarac, Vasilija - Atanasova-Pacemska, Tatjana - Minovski, Dragan  
Cogelja, Goran - Smitková, Miroslava - Schulze, Christian:  
Optimized and Numerical Models of Electromechanical Devices Couples with  
Computation of Performance Characteristics; Article for the journal of  
Electrical Engineering No1; Volume 66, 2015  
ISSN 1335 - 3632