

Vysoké učení technické Brno
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Ing. Bohumír Garlík, CSc.

**Analýza optimalizačních algoritmů a návrh optimalizace
energetických systémů inteligentních budov**

Analysis of optimization algorithms and design optimization of energy
systems, intelligent buildings

HABILITAČNÍ PRÁCE
SILNOPROUDÁ ELEKTROTECHNIKA A ELEKTROENERGETIKA



Brno 2013

Klíčová slova

Optimalizace, optimalizační algoritmy, technická optimalizace, stochastické algoritmy, simulované žihání, modelování, inteligentní budovy, energetika budov, integrovaný řídicí systém.

Key words

Optimization, optimization algorithms, technical optimization, stochastic algorithms, simulated annealing, modeling, intelligent buildings, building energy management, integrated control system.

Habilitační práce je uložena v oddělení výzkumu a vědy, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně, Technická 3058/10, 616 00 Brno

Obsah

	ŽIVOTOPIS.....	4
1	ÚVOD.....	5
2	OPTIMALIZACE V SIMULAČNÍM MODELOVÁNÍ.....	7
2.1	OPTIMALIZAČNÍ METODY.....	10
2.2	ZÁVĚRY Z TESTOVÁNÍ STOCHASTICKÝCH ALGORITMŮ.....	11
3	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAVRŽENÉ OPTIMALIZAČNÍ METODY RESPEKTUJÍCÍ RŮZNÉ ZPŮSOBY AKCEPTOVÁNÍ PODMÍNKE VYROVNANÉ ENERGETICKÉ BILANCE – PRAKTICKÉ APLIKACE.....	12
3.1	EXPERIMENT.....	15
3.2	ZÁVĚR.....	18
4	IDENTIFIKACE TYPOVÝCH DENNÍCH DIAGRAMŮ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE ZALOŽENÉ NA ZÁKLADĚ SHLUKOVÉ ANALÝZY VÍCEROZMĚRNÝCH DAT NEURONOVOU SÍTÍ.....	19
4.1	ZÁVĚR.....	21
5	TESTOVÁNÍ ALGORITMŮ NA APROXIMACÍCH FUNKCÍ.....	22
6	ZÁVĚR.....	22
7	LITERATURA.....	23

Životopis



Jméno, příjmení

Bohumír Garlík, Ing. CSc.

Datum narození

20. března 1943

Místo narození

Drahanovice, okr. Olomouc

Národnost

Česká

Kontakt

E-mail: bohumir.garlik@fsv.cvut.cz

Telefon: 603434163, 224357117

Vzdělání

1982 – 1987

CSc. externí a účelová vědecká příprava ve Středisku výpočetní techniky, Československé akademie věd v Praze (dnes Ústav informatiky AV ČR). Kandidátská disertační práce byla obhájena na téma: *Problémově orientované počítačové komplexy a jejich prognostika na středních školách*“, kandidátská disertační práce byla obhájena v listopadu 1987 ve vědním oboru „*Výpočetní technika*“

1971 – 1976

Ing. dálkové studium na Elektrotechnické fakultě ČVUT v Praze. Diplomová práce byla obhájena na téma: *Bezkontaktní ovládání automatiky svěšovacího zařízení ve válcovně*“. Studijní obor „*Technická kybernetika – řídicí technika*“

1978 – 1979

Postgraduální studium v oboru „učitelství pro střední školy II.cyklu“ se specializací „doplňkové pedagogické studium pro elektroinženýry“ na Přírodovědecké fakultě, UP v Olomouci

Zájmy

elektroenergetika se zaměřením na optimalizaci a řízení energetických systémů v inteligentních budovách a výzkumná práce s tímtéž zaměřením na Výzkumném ústavu inteligentních budov v Brně.

Pedagogická praxe

1975 – 1980

odborný učitel na SPŠ a UŠ (Prostějov a Brno)

1980 – 1984

vedoucí kabinetu elektrotechniky a výpočetní techniky na Krajském pedagogickém ústavu v Brně

1984 – 1988

samostatný vědecký pracovník elektrotechniky a výpočetní techniky VÚOŠ Praha, pracoviště Olomouc

1998 - 2001	odborný asistent Katedry teoretické kybernetiky a matematické informatiky, Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci
2006 – dosud	odborný asistent katedry Technických zařízení budov, Fakulty stavební ČVUT v Praze
2013 – dosud	vědeckovýzkumný pracovník Ústavu elektroenergetiky, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně

1 ÚVOD

Habilitační práce řeší problematiku **optimalizace inteligentního elektrizačního systému - soustavu mikro-sítě** (se začleněním obnovitelných zdrojů energie) ve smyslu optimálního řazení zdrojů elektrické energie za účelem vyrovnané energetické bilance.

To byl také důvod pro formulování optimalizační metody, především jejího výběru, v prostředí analýzy vhodných optimalizačních algoritmů. V mnoha **technických oborech**, tzn. i v elektroenergetice, se velmi rozšířilo používání evolučních výpočetních metod, např. neuronových sítí a evolučních algoritmů. Zabýváme-li se globální optimalizací, často se používá metoda algoritmů genetických. Ovšem z matematického hlediska jsou tyto algoritmy pouze zástupci stochastických optimalizačních algoritmů. Stochastické algoritmy mají určitou výhodu, která spočívá v tom, že neznáme aktuálně optimalizovanou funkci (účelovou funkci) a přitom jsme schopni nalézt hodnotu této funkce v libovolném bodě bez větších problémů.

Z výsledků testování pro účely technické optimalizace dosahuje genetický algoritmus relativně dobrých výsledků, ale v mediánové charakteristice je horší než simulované žihání. **Simulované žihání dosahuje nejlepších výsledků např. pro malé hodnoty N -volání účelové funkce** a je tedy pro tuto funkci nejvhodnějším algoritmem. Ale o tom bude zmínka v závěru těchto spisů.

Definováním systému optimalizace (optimalizačních metod) určíme, co nepatří nebo patří do tohoto nazíracího schématu (tzn. které optimalizační metody a algoritmy jsou nejvhodnější). Za tímto účelem byla provedena **analýza optimalizačních metod a optimalizačních algoritmů prostřednictvím „testování algoritmů na aproximacích funkcí a analytických funkcích“** v prostředí MATLABu [83] v kontextu s ověřením funkčnosti navržené optimalizační metody. Na základě těchto výsledků a provedeného experimentu v reálném prostředí může být do budoucna považován **metodický postup** optimalizace technických systémů, vyjádřený vzorovým řešením našeho experimentu, jako návod řešení **optimalizace inteligentních energetických systémů**.

Prvním zaměřením habilitační práce je problematika úspor energií v systému řazení obnovitelných zdrojů elektrické energie, při jejím zásobování na platformě distribuované elektrické energie elektrické mikro-sítě fiktivního městečka inteligentních budov. K řešení uvedeného problému je obecně popsána technická optimalizace - užitá **optimalizační heuristická technika simulovaného žihání**, která je podrobena a podpořena experimentem v procesu specializovaného počítačového programu, kterým je diskutován výpočetní experiment demonstrující optimalizační úlohu. Tento experiment byl prověřen praktickým srovnáním (formou

studie) se současně funkčním optimalizačním systémem řízení zdrojů v podmínkách ČEZ a.s. Praha a byl velmi, velmi pozitivní.

Další zaměření habilitační práce je situováno do oblasti řešení **identifikace typových diagramů spotřeby elektrické energie založené na základě shlukové analýzy vícerozměrných dat neuronovou sítí**. Je navržena a ověřena metodika predikce zátěžových profilů neuronovou sítí, která byla rovněž prakticky ověřena v podmínkách ČEZu a.s. v souvislosti s výše uvedeným experimentem. Výstupy této predikce zátěžových profilů mohou být použity pro řešení optimalizace vyrovnané výkonové bilance v procesu aplikace optimalizačního matematického výpočtu našeho experimentu, jako vzorového doporučení. Za tímto účelem jsou formulovány obecné matematické definice dopředné umělé neuronové sítě a souvisejících pojmů, dále pak jsou formulovány diferenciální rovnice popisující učení a vybavování neuronové sítě ve spojitém čase včetně jejich rozboru spolu s přechodem na rovnice diferenční popisující učení a vybavování neuronové sítě v diskrétním čase.

Dále je v práci uveden matematický popis samoorganizující se neuronové sítě užitě pro shlukovou analýzu vícerozměrných dat s následnou demonstrací její efektivity na příkladu identifikace typových denních diagramů spotřeby elektrické energie komplexu inteligentních budov sdružených v elektrické mikro-síti pro typický pracovní den a den pracovního volna na základě její roční historie, kde zmíněné typové denní diagramy mohou být užity pro predikci spotřeby elektrické energie. Uvedený experiment byl zpracován v počítačovém programu Artint © 2010.

V neposlední řadě se habilitační práce zabývá úvodem do automatického řízení řízení zdrojů založené na výsledku optimalizace účelové funkce. Na této odborné úrovni se budeme hlouběji zabývat ve vědeckovýzkumné činnosti na Ústavu elektroenergetiky VUT FEKT v Brně v souvislosti se zapojením do grantu TAČR, včetně aplikace komplexní optimalizace energií v inteligentní budově (budovách).

Poznámka – citace stěžejních aplikačních výstupů habilitační práce:

- a) **Analýza a ověření funkčnosti navržené optimalizační metody** při optimalizaci účelové funkce energetického systému - vyrovnané energetické bilance (aplikační jádro habilitační práce), podpořena výsledkem experimentu – výstupy z programu (za tímto účelem byl zpracovaný software) ve formě tabulek, dále pak původní publikací v mezinárodním impaktovaném časopise „Energy and Buildings“ [93].
- b) Navržená **metodika predikce zátěžových profilů** neuronovou sítí byla prakticky ověřena rovněž v podmínkách našeho experiment, následně byla publikována v mezinárodním vědeckém časopise „Neural Network World“, Internacional Journal on Non-Standard Computing and Artificial Intelligence [95].
- c) Nově byl v této HP definován **pojem “Inteligentní budova” (IB) a “Vyjádření procesu modelu a struktury inteligentní budovy”**. Poznámka: V těchto vědeckých spisech se o tomto výstupu nezmiňujeme, pouze obrázkovou formou (obr. 4 a obr. 5).
- d) **Byla provedena analýza a testování optimalizačních algoritmů** [83] s následnou syntézou, která byla uplatněna při technické optimalizaci energetických systémů se závěry pro praktické aplikace.

2 OPTIMALIZACE V SIMULAČNÍM MODELOVÁNÍ

Matematická úloha optimalizace je formalizací nalezení takových hodnot proměnných, pro které daná **účelová funkce** (nákladová funkce, kriteriální funkce) nabývá minimální nebo maximální hodnoty. Pojem maximální a minimální hodnota funkce velmi spolu souvisí a jsou dokonce spolu provázané.

Optimalizační úlohy se vyskytují prakticky všude v běžném životě, kde se vybírá z více možností to nejlepší řešení, nejlépe v dané ohraničené oblasti. V komplikovanějších zadáních pak existují vztahy mezi jednotlivými proměnnými a tak je v těchto případech nalezení řešení složitější.

Matematická formulace optimalizace [47]:

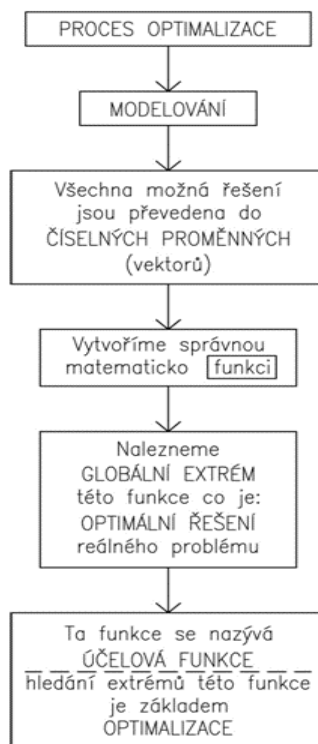
Mějme funkci $f: M \rightarrow \mathbb{R}$. Nalezněte prvek $x^* \in M$ takový, že pro každé $x^* \in M$ je $f(x^*) \leq f(x)$, popř. $f(x^*) \geq f(x)$, tj. hledáme minimum resp. maximum funkce $f(\mathbf{x})$ na množině M .

Poznámka: Lze hledat vždy minimum. Hledání maxima funkce $f(\mathbf{x})$ lze převést na hledání minima funkce $-f(\mathbf{x})$; M - množina všech přípustných řešení; f - kriteriální (též účelová funkce). Většinou je $M \subseteq \mathbb{R}^n$; tj. $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ kde $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathbb{R}$

Nyní si ukážeme proces optimalizace, obr. 1.

Postup optimalizace:

- Reálný optimalizační problém \rightarrow tvorba modelu
- Stanovení kriteriální funkce
- Aplikace vhodné optimalizační metody – algoritmu

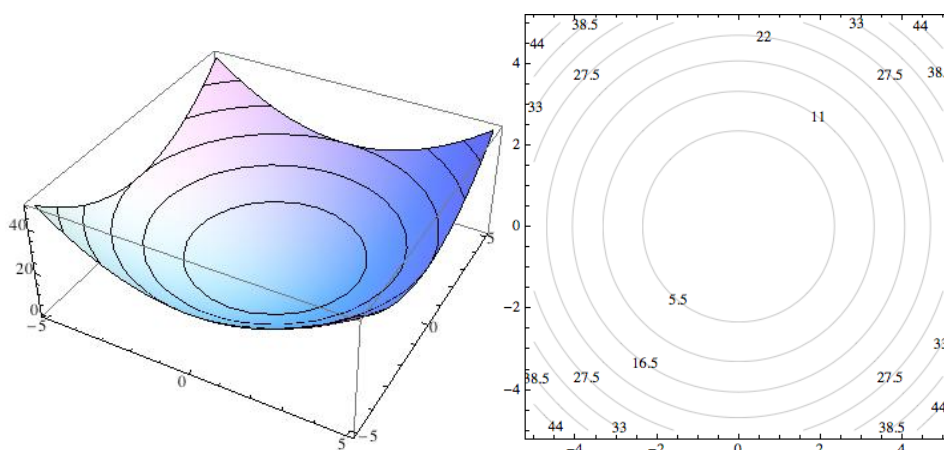


Obr. 1. Postup (proces) optimalizace (Převzato [1])

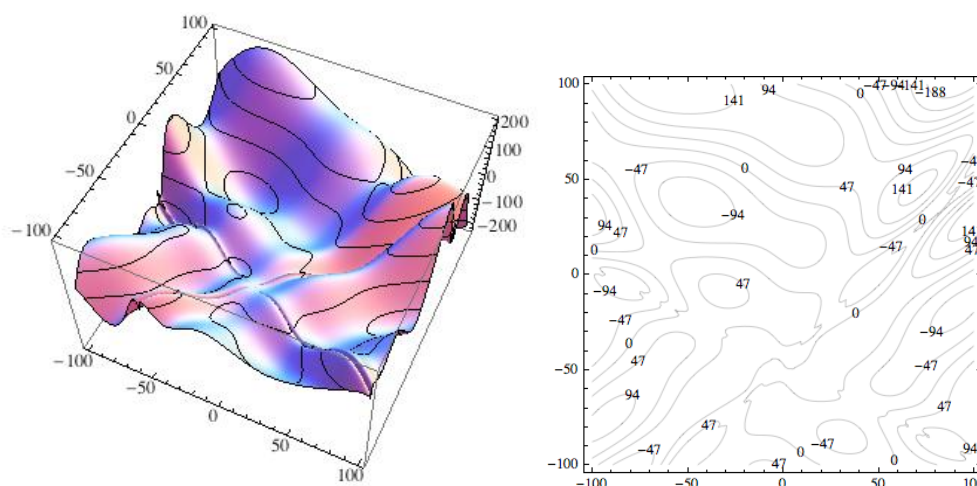
Účelová funkce je provázána se svou oblastí možných řešení. Oblast řešení účelové funkce musí být zcela přesně vyhodnocena (je to složitá záležitost, vyžaduje zkušenosti tvůrce) a vzápětí musí být formalizována do číselného tvaru.

Na každou **účelovou funkci** lze nahlížet jako na **geometrický problém**, v jehož rámci se hledá nejnížší (minimum) či nejvyšší (maximum) pozice na ploše ležící v $(N+1)$ - rozměrném prostoru, pro kterou se někdy používá výraz „**hyperplocha**“ či „**prostor možných řešení**“ daného problému. Počet **dimenzí** N je dán **počtem optimalizovaných argumentů účelové funkce**. Má-li optimalizovaná funkce např. **šest argumentů** (nezávisle proměnných), pak se hledá extrém na **šestirozměrné ploše v sedmirozměrném prostoru**, kde sedmá dimenze je návratová hodnota účelové funkce.

Pro představu **funkce s jedním extrémem (globálním)** a jedním globálním extrémem, jenž je obklopen mnoha extrémů lokálními se podíváme na obr. 2 a obr.3

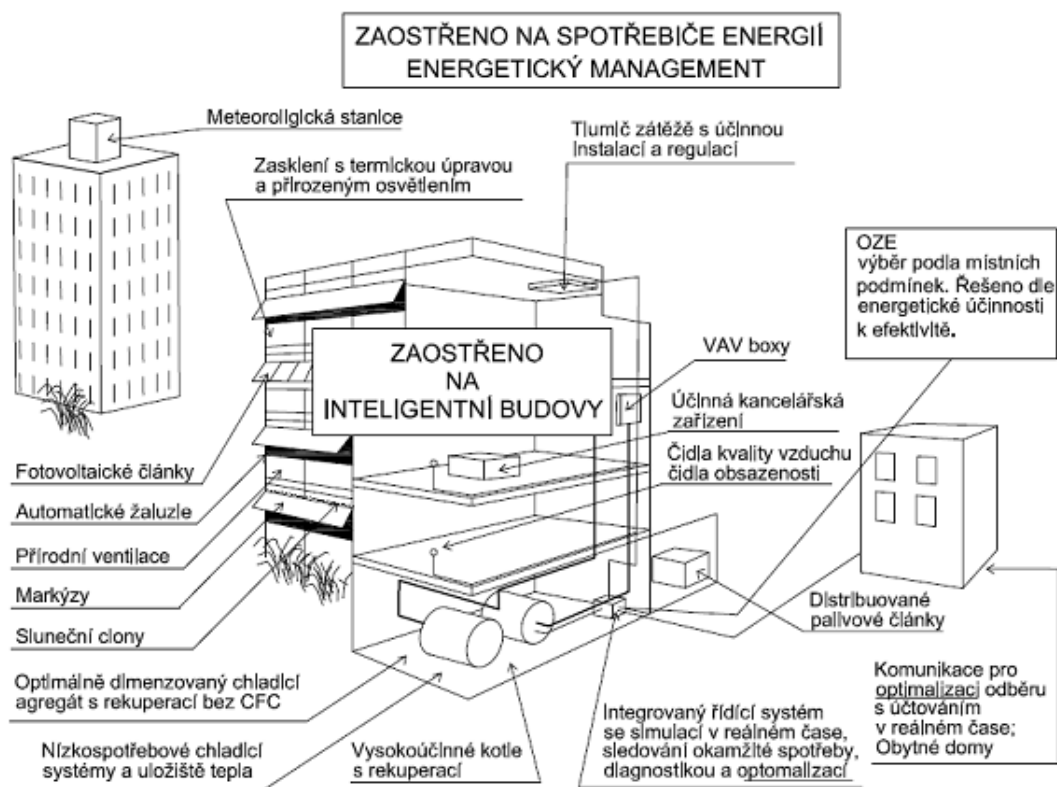


Obr. 2. Unimodální účelová funkce s globálním extrémem na souřadnicích (0, 0) (Převzato z [101])



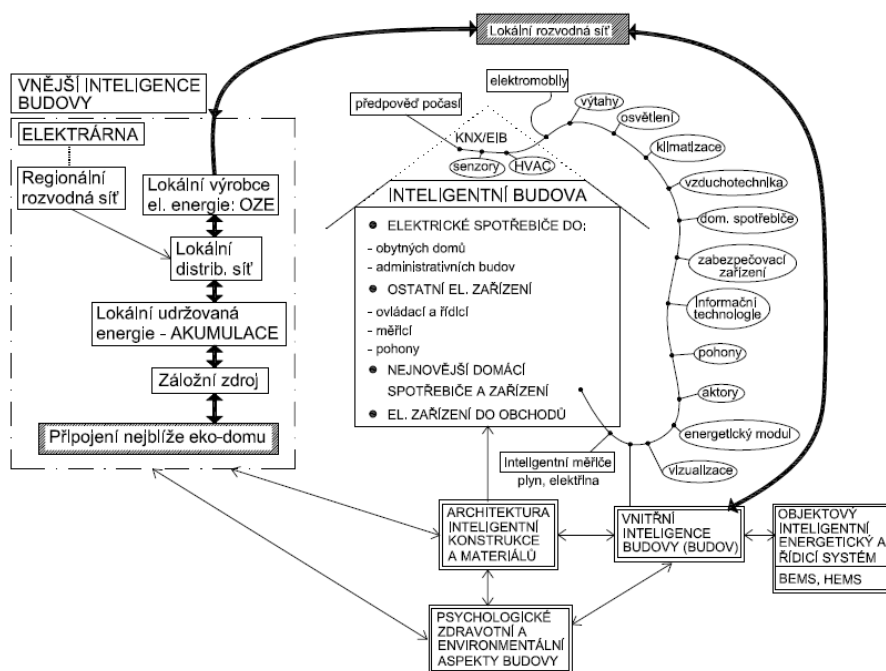
Obr. 3. Mutimodální účelová funkce (Převzato z [20])

Jestliže si prohlédneme obr. 4, který znázorňuje proces tvorby inteligentní budovy, můžeme pochopit **význam procesu optimalizace** při řešení dnes nejvíce diskutovaného problému úspor energií v budovách a to komplexně včetně prediktivního řízení (integrováný řídicí systém budovy se simulací v reálném čase).



Obr. 4. Význam procesu optimalizace při tvorbě inteligentní budovy (Převzato z [1])

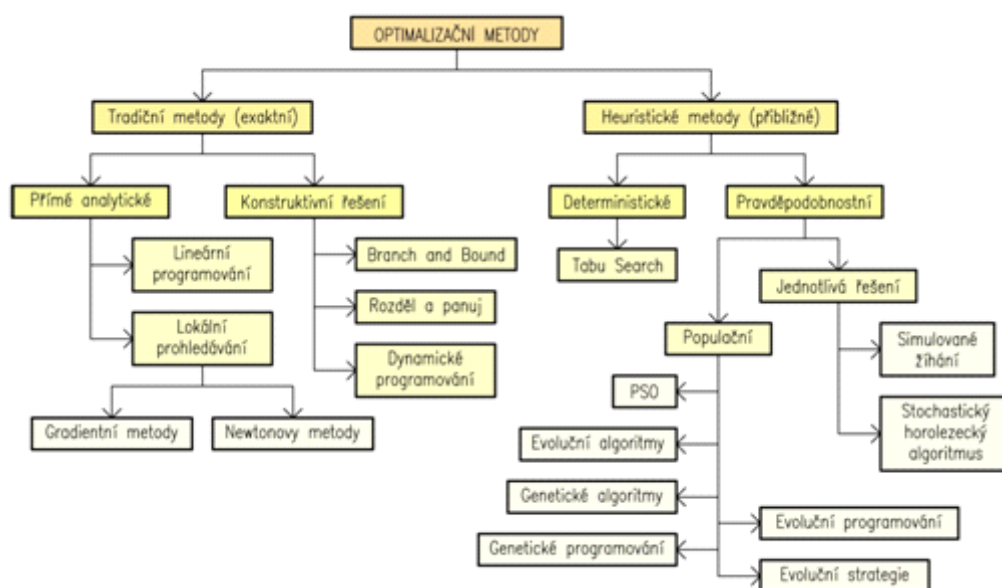
Jde vlastně o řešení **vnější inteligence budovy**, jak je rovněž zřejmé na obr. 5, jakožto nezastupitelného aspektu návrhu inteligentních budov (vyplývající z definice IB) jako celku nebo komplexu výstavby inteligentních budov.



Obr. 5. Vyjádření procesu modelu a struktury inteligentní budovy. (Převzato z [1])

2.1 OPTIMALIZAČNÍ METODY

Při řešení optimalizačních úloh si lze vybrat z celého spektra optimalizačních metod, které se rozpadá podle způsobu řešení **optimalizační úlohy** do dvou kategorií, tj. **tradiční** (konvekční) resp. **heuristické metody**, obr. 6.



Obr. 6. Optimalizační a heuristické algoritmy (Převzato [20])

Rozdílná povaha matematických vlastností **optimalizačních úloh** vyvolala potřebu **specializace algoritmů** na specifické kategorie problémů sdílejících společné charakteristiky. Těmito společnými charakteristikami mohou být například konvexnost, konkávnost, derivovatelnost, nelineárnost, spojitost funkce nebo potřeba přesného vyjádření výsledků funkce. Kromě hledání **globálních extrémů** jsou základní charakteristiky každého z algoritmů využitelné také při hledání **lokálního optima**. **Hlavní optimalizační podobory** jsou rozlišovány podle vlastností účelové funkce. Těmi jsou zejména charakteristiky prohledávaného prostoru a vlastnosti omezujících podmínek.

Určité **nedostatky matematických modelů** (tradiční metody optimalizace) **ukazují**, že **reálný optimalizační problém je složitou disciplínou, zatímco matematické odhady původního případu vždy nemusejí být uspokojivé**. Díky tomuto jevu je na vzestupu koncept black box optimalizace, kde je k dispozici jen malé množství informací týkajících se dané úlohy a funkční hodnoty budoucích řešení jsou získávány pomocí skrytého složitého postupu. [18]

K řešení takovýchto optimalizačních úloh se používají převážně následující **optimalizační algoritmy**:

- **deterministické algoritmy**
- **stochastické algoritmy**

Deterministické algoritmy vyžadují často omezující předpoklady, které těmto metodám umožňují podávat **efektivní výsledky**. Těmito předpoklady jsou:

- problém je lineární,
- problém je konvexní,
- prohledávaný prostor možných řešení je malý,

- prohledávaný prostor možných řešení je souvislý,
- účelová funkce je pokud možno unimodální (má pouze jeden extrém),
- mezi parametry účelové funkce nejsou nelineární interakce,
- jsou dostupné informace o gradientu apod.,
- problém je definován v analytickém tvaru

Výsledkem deterministických algoritmů je pak jediné řešení.

Na základě toho, co jsme uvedli při zhodnocení deterministických algoritmů, se nám jeví závěr, že pro náš experiment nejsou tyto algoritmy nejvhodnější. Nejsou vhodné pro **technickou optimalizaci** z následujících důvodů:

- většinou jde o metody lokální (výjimku tvoří například simplexová metoda), **nás však zajímá globální optimalizace**
- deterministické algoritmy potřebují **velký počet volání účelové funkce** (nad 500)

Velkou **výhodou stochastických algoritmů** je, že nám **umožňují** bez dalších modifikací **pracovat s funkcemi typu "černá skříňka"**, tedy s funkcemi, které **neumíme analyticky popsat**, ale jsme schopni pouze **vyhodnotit funkční hodnotu** v libovolném bodě.

Ze stochastických algoritmů jsou pak v habilitační práci **analyzovány** stochastické verze: **horolezecký algoritmus, čistě náhodné prohledávání, simulované žihání, topografická optimalizace, víceúrovňový algoritmus jednoduchého propojení** (dále jen **MLSL - Multi-Level Single Linkage**) a stochastické Pijavského tunelování (dále jen **SPT**).[83]

K analýze a porovnání jednotlivých metod **využijeme výpočetních výsledků při testování** metod uvedených v [32] a [83] (kromě stochastického horolezeckého algoritmu a SPT, které v [32] uvedeny nejsou). Vybereme zde také nejlepší kandidáty pro **technickou optimalizaci**, které následně implementujeme a **otestujeme** na analytických funkcích a také na funkcích aproximovaných pomocí neuronových sítí z reálných dat [83].

Simulované žihání je podle výpočetních výsledků jedním z nejlepších stochastických optimalizačních algoritmů. Z literatury ([32]) plyne, že ze dvojice MLSL a topografické optimalizace je vhodnější použít algoritmus MLSL. Na základě předběžného testování na analytických funkcích a na základě testování uvedeného v [34] a [83] nejsou však MLSL dále testovány, neboť v těchto testech dosáhl algoritmus MLSL vždy stejných nebo horších výsledků než simulované žihání (a navíc výpočet trval delší dobu). **SPT pro technickou optimalizaci není vhodné.** Dále se tedy v habilitační práci podrobně zabýváme následujícími metodami:

1. čistě náhodné prohledávání
2. stochastický horolezecký algoritmus
3. simulované žihání

2.2 ZÁVĚRY Z TESTOVÁNÍ STOCHASTICKÝCH ALGORITMŮ

Při testování algoritmů čistě náhodného prohledávání (jako porovnávací algoritmus), simulovaného žihání, stochastického horolezeckého algoritmu a genetického algoritmu, vyplývá, že evoluční algoritmy představují profesionální přístup k optimalizaci. Není ovšem možné je upřednostňovat pouze kvůli jejich jednoduchosti. Některé tradiční stochastické algoritmy mohou být totiž srovnatelné s evolučními algoritmy, případně mohou být i lepší. Pokud řešíme optimalizační úlohu, je vždy nutné získat co nejvíce informací o problému, který chceme řešit. Měli bychom znát podstatu problému, mít dobré zkušenosti z jeho dosavadního fungování, měli bychom znát jeho fyzikální, technické a ekonomické vlastnosti a poté formulovat a upřesňovat

optimalizovanou funkci s ohledem na dokonalé znalosti matematické optimalizace při formalizování a definování účelové funkce. Poté přistoupíme k rozhodnutí, který algoritmus k hledání optima použít. Především je dobré zjistit, jaký charakter má účelová funkce (zda je spojitá, přibližně konstantní, přibližně lineární, atd.), jaký je její definiční obor (například genetické algoritmy jsou schopny optimalizovat funkce, jejichž některé složky jsou diskrétní), má-li mnoho lokálních extrémů (pak je lepší použít globální algoritmus, např. simulované žíhání), nebo pouze jedno globální optimum (pak je lepší použít genetický algoritmus nebo nějaký lokální algoritmus, např. stochastický horolezecký), vzít v úvahu, jaká je možnost paralelizace úlohy, kolik máme k dispozici sdružených volání účelové funkce (pokud je tento počet malý, je lepší zvolit genetický algoritmus nebo stochastický horolezecký algoritmus) atd. Jsou však i situace, kdy většinu z těchto informací nejsme schopni zjistit a přesto musíme vybrat konkrétní algoritmus. Při analýze, při studiu a ověřování funkčnosti vybraných optimalizačních algoritmů v procesu jejich testování nám vychází z hlediska našeho problému zvolit simulované žíhání, které se jeví jako nejuniverzálnější algoritmus.

3. OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAVRŽENÉ OPTIMALIZAČNÍ METODY RESPEKTUJÍCÍ RŮZNÉ ZPŮSOBY AKCEPTOVÁNÍ PODMÍNEK VYROVNANÉ ENERGETICKÉ BILANCE – PRAKTICKÁ APLIKACE

V této kapitole jako původního jádra habilitační práce je formulována optimalizační úloha řazení obnovitelných zdrojů elektrické energie, distribuovaných v elektrické mikro-síti fiktivního městečka tvořeného komplexem inteligentních budov jak rezidenčního či kancelářského charakteru, tak charakteru širokého spektra občanské vybavenosti.

K řešení uvedené úlohy je obecně popsána užitá optimalizační heuristická technika simulovaného žíhání (její výběr byl zdůvodněn v předchozím textu). Specializovaným počítačovým programem pak je proveden a diskutován výpočetní experiment demonstrující optimalizační úlohu.

Úloha řazení zdrojů elektrické energie je optimalizační úloha minimalizace celkových nákladů na výrobu objemu elektrické energie, daného predikcí její spotřeby uvažovaného období vzorkovaného např. po hodinách, tj. plán řazení zdrojů a jimi generovaných výkonů pokrývajících predikovanou spotřebu v každé hodině daného období.

Optimalizační úlohu lze obecně matematicky vyjádřit následovně:

$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R} \quad f(\vec{x}_0) = \min_{\vec{x} \in \Omega} f(\vec{x}) \quad \Omega \subset \mathbb{R}^n \quad (1)$$

$f(\vec{x}_0) = \min_{\vec{x} \in \Omega} f(\vec{x})$ - funkční předpis (jak má funkce pracovat), kde funkce f má v bodě \vec{x}_0 funkční hodnotu $[\min_{\vec{x} \in \Omega} f(\vec{x})]$; Kde \vec{x}_0 je argument funkce, tj. řetězec „*nezávisle proměnných*“ a $[\min_{\vec{x} \in \Omega} f(\vec{x})]$ je funkční hodnota, kterou nazýváme „*závisle proměnnou*“.

\mathbb{R}^n - množina všech uspořádaných n-tic reálných čísel: $n=10$ (n -různých výkonů)

\mathbb{R} - množina reálných čísel

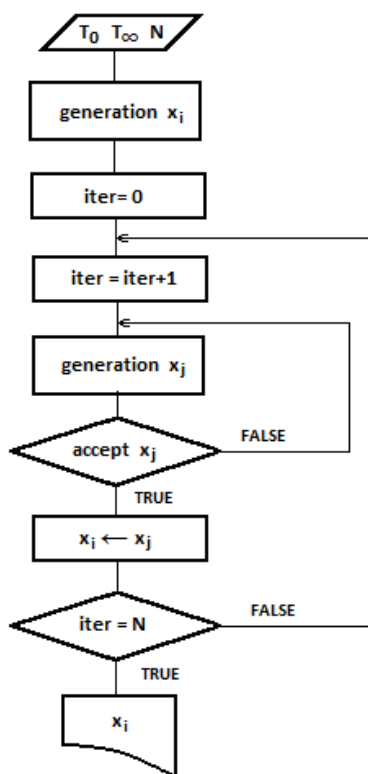
$f(\vec{x}_0)$ - funkce f má v bodě \vec{x}_0 funkční hodnotu $[\min_{\vec{x} \in \Omega} f(\vec{x})]$

kde \bar{x}_0 je optimum, přičemž Ω vymezuje oblast přípustných řešení danou provozně-technickými parametry zdrojů a f představuje nákladovou funkci (účelovou funkci) danou součtem provozních a najížděcích nákladů zdrojů integrovaných přes dané období:

$$f(\vec{x}(t)) = \sum_t \sum_i (A_i P_i + B_i P_i^2) x_i(t) + C_i x_i(t)(1 - x_i(t-1)) \quad (2)$$

Náš výpočetní experiment je obecně matematicky vyjádřen vztahem (1) a účelová funkce (objektivní funkce, nebo také nákladová funkce) je navržena řešením optimalizace vztahu (2). Matematické vyjádření účelové funkce (2) respektuje to, že zdroje elektrické energie pracují pouze na jmenovitý výkon, nejsou zde žádné požadavky na jejich výkonové možnosti v nějakém definovaném výkonovém rozsahu (pak bychom vycházeli z jiného vyjádření účelové funkce a současně by se akceptovali jiná omezení této účelové funkce). Jedná se tedy v našem případě o složenou funkci, kdy některé nezávislé proměnné jsou spojité a jiné binární.

Náš experiment z matematického hlediska je úlohou celočíselného programování, speciálně bivalentního. Proto její řešení bude orientováno na heuristickou pravděpodobnostní metodu – **simulovaného žihání** obr. 7.



Obr. 7. Vývojový diagram simulovaného žihání. (Převzato z [1])

Nákladová funkce (2) nebo též účelová funkce je členěna na:

- a) $(A_i P_i + B_i P_i^2) x_i(t)$ – provozní náklady
- b) $C_i x_i(t)(1 - x_i(t-1))$ – najížděcí náklady

kde $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ – index zdroje (v našem experimentu je celkem N -zdrojů elektrické energie složených z OZE); $N=10$ zdrojů.

$t \in \{1, 2, \dots, T\}$, je čas, v našem případě čas plánovaného režimu řazení zdrojů, což je $T=24$ hod (časový režim je plánován po hodinách)

$P_i(t)$, je výkon i -tého zdroje v čase t

P_i , je jmenovitý výkon ***i-tého*** zdroje, tzn., že je po celou sledovanou dobu stejný (doba je v našem případě nastavena na 24 hod)]

$x_i(t)$ je stav *i-tého* zdroje v čase *t* (v našem případě: a) je v provozu → tomu přiřadíme „1“ nebo b) je odstaven → tomu přiřadíme „0“)

A_i, B_i, C_i , - jsou nákladové koeficienty. Jednotky nákladových koeficientů jsou:

- A_i – nákladový koeficient [Kč/MW]
- B_i – nákladový koeficient [Kč/MW²]
- C_i – nákladový koeficient [Kč]
- N resp. T – je počet zdrojů v mikro-síti, resp. počet časových řezů uvažovaného období nasazení zdrojů

Přípustné řešení naší nákladové funkce je obecně vymezeno rovnicí:

$$\sum_i P_i x_i(t) = C(t) \tag{3}$$

kde $C(t)$ - představuje predikci spotřeby v příslušné hodině uvažovaného období.

$\sum_i P_i x_i(t)$ - představuje celkovou výrobu elektrické energie (součet všech výkonů přes všechny zdroje elektrické energie) v čase *t*.

Pak můžeme napsat rovnici, která vyjadřuje, co je naším cílem. Upravíme vztah (3) a dostaneme vztah pro omezující podmínku nákladové funkce

$$g(\vec{x}(t)) = \sum_i P_i x_i(t) - C(t) = 0 \tag{4}$$

Omezující podmínka (3) a po její úpravě (4), může být přijata pro přímé začlenění do cílové funkce ***f*** g , například následujícími způsoby (5) resp. (6)

$$fg(\vec{x}) = f(\vec{x}) + w g^2(\vec{x}) \approx \min. \tag{5}$$

$$fg(\vec{x}) = f(\vec{x}) - w \mu(g(\vec{x})) \tag{6}$$

$f(\vec{x})$ - účelová (nákladová funkce)

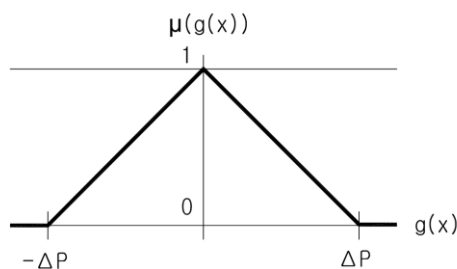
$w g^2(\vec{x})$ – penalizace nevyžádané dodávky

kde *w* je váha funkce $g^2(\vec{x})$ nebo také váha stavu (5) a (6)

jinými slovy představuje *w* váhu stavu zdroje

μ je fuzzy číslo nula obr. 8.

Striktně dodržaná podmínka vyrovnané energetické bilance bude těžko dosažitelná, proto připustíme k této podmínce „rozšířenou“ množinu přípustných řešení. Připustíme tedy malou přípustnou odchylku spotřeby od výroby a to ΔP (max. přípustná odchylka rovnováhy), viz obr. 8, odvozený vztahem (7).



Obr. 8. Fuzzy číslo – je vyjádřením vztahu (7). (Převzato z [1])

$$\mu(g(\vec{x})) = (\Delta P - |g(\vec{x})|)/\Delta P \quad g(\vec{x}) \in \langle -\Delta P, \Delta P \rangle \tag{7}$$

$$\mu(g(\vec{x})) = 0$$

$$g(\vec{x}) \notin \langle -\Delta P, \Delta P \rangle$$

Funkce $g(x)$ je vymežující podmínka pro řešení minima nákladové funkce.

3.1 EXPERIMENT

V uvedeném experimentu je komplex budov napájen elektrickou energií z deseti zdrojů. Náklady, vlastnosti a technická omezení, jsou uvedeny v tab. I.

Tab.I: Parametry zdrojů					
UNIT	State	Pn	A	B	C
	[off/on]	[kW]	[CZK/MW]	[CZK/MW ²]	[CZK]
Biomass1	0	500	300	0,20	679
Biomass2	0	200	290	0,25	232
Biomass3	0	200	250	0,25	221
Wather1	1	200	215	0,30	231
Wather2	1	200	210	0,35	237
Wather3	1	200	205	0,40	173
Wind1	0	100	200	0,50	168
Wind2	1	100	190	0,50	122
Wind3	1	100	180	0,55	128
Cogener	1	200	170	0,20	103

Cílem experimentu je návrh na řazení zdrojů pro typický pracovní den, u něhož předpovědi hodinové spotřeby jsou k dispozici, viz obr. 9. (spojitý graf obr. 9 je sestaven z historických dat spotřeby elektrické energie - po hodinách na celý den)



Obr. 9. Předpokládaný denní diagram spotřeby. (Převzato z [1])

Parametry optimalizačního algoritmu (simulované žihání) T_0 resp. T_∞ resp. N byly nastaveny na hodnoty 10^0 , resp. 10^{-6} resp. 10^5 pro experiment. Mechanismus pro nastavení počáteční teploty byl

na základě jeho odhadu prodlení a následné zvýšení až do hodnoty, kdy v prvních cca deseti procentech iterací, jsou přijímány téměř všechny odchylky, což je analogické k ohřevu objektu při žihání.

Mechanismus pro nastavení počtu iterací byl založen na jejich výchozí odhad a následné postupné jeho zvýšení až na hodnotu tak, že jeho další zvýšení nevedlo k významnému snížení konečných výrobních nákladů na požadovaný objem energie.

Výpočet hodnoty objektivní funkce (6) je uveden v části zdrojového kódu počítačového programu ve Fortranu [fragment programu optimalizace – zdrojový text části programu, kde se vypočítá hodnota objektivní (účelové) funkce]:

```

DO J=2,NT+1
C
C TOTAL COST CALCULATION
C
F(J) = 0.0
DO I=1,NG
IJ=(I-1)*(NT+1)+J
F(J) = F(J) + (A(I)*P(IJ)+B(I)*P(IJ)**2)*X(IJ) + C(I)*(1-X(IJ-1))*X(IJ)
ENDDO
C
C FUZZY DEVIATION CALCULATION
C
G(J) = 0.0
DO I=1,NG
IJ=(I-1)*(NT+1)+J
G(J) = G(J) + P(IJ)*X(IJ)
ENDDO
G(J) = G(J) - LOAD(J)
IF (ABS(G(J)) .LE. DEVIATION) THEN
G(J) = (DEVIATION - ABS(G(J))) / DEVIATION
ELSE
G(J) = 0.0
ENDIF
C
C OBJECTIVE FUNCTION CALCULATION
C
FG(J) = F(J) - W*G(J)
ENDDO

```

kde NT resp. NG je počet hodin, resp. zdrojů energie.

Výsledné návrhy jednotek závazků jsou uvedeny v tab. II-IV (vyjadřují tři plány nasazení zdrojů na určitý den, kde v nulové variantě je omezující podmínka (3) splněna tak, že každý náhodný návrh řešení, kdy součet dodávek nepřekročí předpokládané zatížení, je automaticky odmítnut, a v první, resp. druhé variantě se používá objektivní funkce ve tvaru (5) resp. (6).

Tabulka vychází za předpokladu, že VÝROBA je větší než SPOTŘEBA

Tab.II: Jednotkový závazek "0"

Parametry																													
Date: 25-01-2013 Time: 15:26:38																													
počáteční teplota					Konečná teplota					Počet iterací					Vých.nákl.[CZK]					Opt.nákl.[CZK]					Úspora[CZK]				
1.000000					0.000001					1000					4729.452					4604.388					125.064				
Výsledek																													
Supply	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Biomass1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Biomass2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Biomass3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Wather1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Wather2	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Wather3	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Wind1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Eind2	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Wind3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Cogener	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Total [kW]	900	900	900	900	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	900	900	900	900	900	900	900	900					
Load [kW]	854	839	823	815	825	912	926	927	938	936	950	950	929	925	921	915	894	875	897	896	897	889	875	868					
Diff [kW]	46	61	77	85	75	88	74	73	62	64	50	50	71	75	79	85	6	25	3	4	3	11	25	32					

Tabulka vychází ze vztahu (5) - akceptace omezujících podmínek

Tab. III: Jednotný závazek "1"

Parametry																													
Date: 25-01-2013 Time: 15:29:25																													
Poč.teplota					Konečná teplota					Počet iterací					Vých.nákl.[CZK]					Opt.nákl.[CZK]					Úspora[CZK]				
1.000000					0.000001					1000					4729.452					4145.234					584.218				
Výsledek																													
Supply	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Biomass1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Biomass2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Biomass3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Wather1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Wather2	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Wather3	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Wind1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Wind2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Wind3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Cogener	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
Total [kW]	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900					
Load [kW]	854	839	823	815	825	912	926	927	938	936	950	950	929	925	921	915	894	875	897	896	897	889	875	868					
Diff [kW]	-54	-39	-23	-15	-25	-112	-126	-127	-138	-136	-50	-50	-29	-25	-21	-15	6	25	3	4	3	11	25	32					

Tabulka vychází ze vztahu (6) - akceptace omezujících podmínek způsobem Fuzzy číslo "0"

Tab. IV: Jednotný závazek "2"

Parametry																									
Date: 25-01-2013 Time: 15:31:14																									
Poč.teplota	Konečná teplota					Počet iterací					Vých.nák.[CZK]					Opt.nák.[CZK]					Úspora[CZK]				
1.000000	0.000001					1000					4729.452					4342.300					387.152				
Výsledek																									
Supply	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Biomass1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Biomass2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Biomass3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wather1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Wather2	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Wather3	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Wind1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wind2	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Wind3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cogener	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Total																									
[kW]	900	800	800	800	800	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	
Load																									
[kW]	854	839	823	815	825	912	926	927	938	936	950	950	929	925	921	915	894	875	897	896	897	889	875	868	
Diff																									
[kW]	46	-39	-23	-15	-25	-12	-26	-27	-38	-36	-50	-50	-29	-25	-21	-15	6	25	3	4	3	11	25	32	

3.2 ZÁVĚR

Ze srovnání Tab. II-IV vyplývá, že nejmenší odchylky od nulové výkonové bilance bylo dosaženo ve druhé variantě, při využití fuzzy modelu odchylky (4), největší odchylky od nulové výkonové bilance bylo naopak dosaženo v první variantě. Jako referenční náklady zahrnující náklady na spotřebu elektrické energie v posuzovaném období byly zvoleny náklady neustále pracujících zdrojů energie, tj. 4 730 Kč. Tab. V ukazuje maximální odchylky od nulového výkonu bilance výkonu v kW a velikosti odchylky vůči regionálním dodavatelům elektrické energie v kW, včetně celkových nákladů na energie zdrojů integrovaných do mikro-sítě v Kč za celý plánovaný den.

Tab.V: Přehled výsledků

	0	1	2
Variant			
Deviation	85	140	50
Balance	1225	-875	-275
Costs	4605	4145	4340

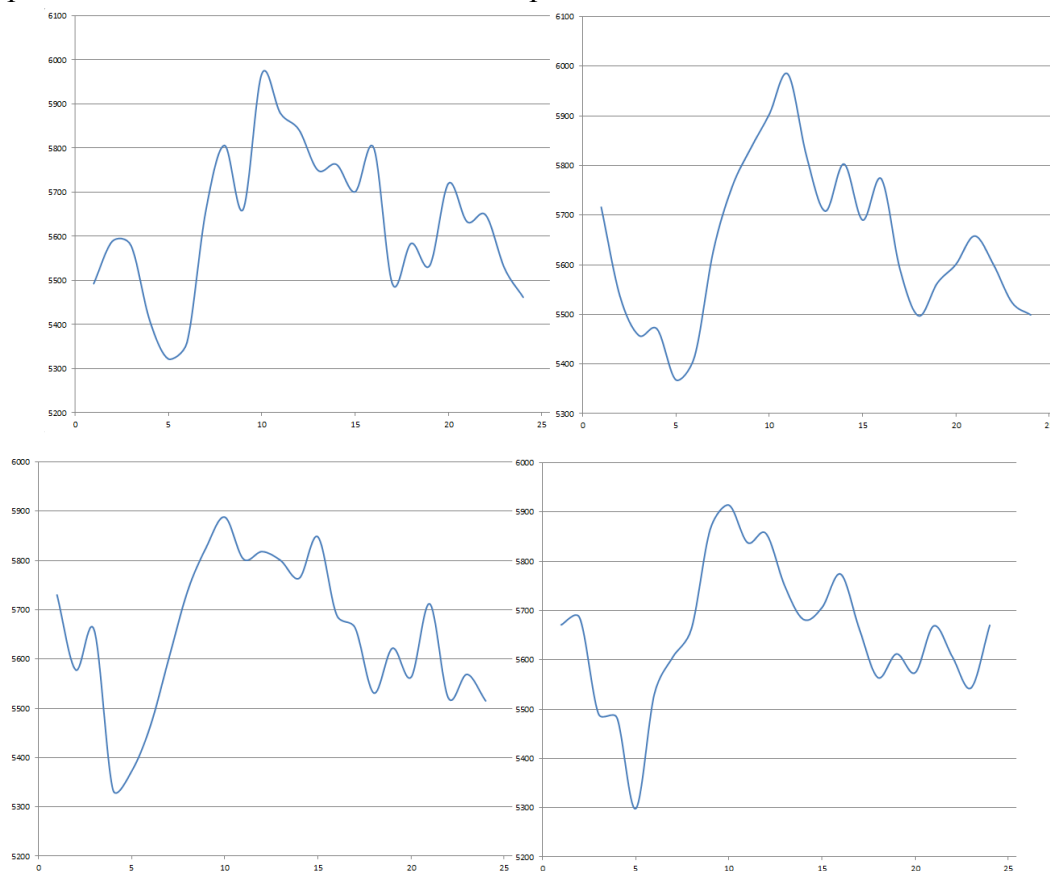
Z hlediska požadavku energetické soběstačnosti komplexu inteligentních budov vyplývá, že jako nejlepší způsob akceptování omezujících podmínky (3) se jeví její fuzzy formulace. Není žádoucí vyrovnávat bilanci na úkor regionálního distributora elektrické energie, a to ani v jednom ze dvou směrů.

4. IDENTIFIKACE TYPOVÝCH DENNÍCH DIAGRAMŮ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE ZALOŽENÉ NA ZÁKLADĚ SHLUKOVÉ ANALÝZY VÍCEROZMĚRNÝCH DAT NEURONOVOU SÍTÍ

Cílem tohoto experimentu je identifikace typových denních diagramů hodinových spotřeb elektrické energie komplexu inteligentních budov sdružených v elektrické mikro-síti pro pracovní den uprostřed pracovního týdne, tj. středu, a den pracovního volna, jednak před dnem pracovního volna a jednak před pracovním dnem, tj. sobotu a neděli, a to na základě zaznamenané roční historie hodinových spotřeb elektrické energie zmíněného komplexu.

Z důvodu měřitelnosti efektivity užití metody shlukové analýzy byla roční historie hodinových spotřeb elektrické energie uměle namodelována, to proto, aby identifikovaný typový denní diagram bylo možné porovnat s nějakým standardem. Jako výchozí standardy denních diagramů hodinové spotřeby byly použity charakteristické hodinové průběhy spotřeby výše uvedených tří dnů, kde každá hodinová spotřeba každého z nich byla náhodně modifikována pomocí generátoru náhodných čísel s normálním rozdělením pravděpodobnosti, a to tolikrát, kolikrát bylo třeba k naplnění roční historie hodinových spotřeb, tj. středa dvě stě šedesátkrát a sobota spolu s nedělí dva a padesátkrát, čímž bylo namodelováno tři sta šedesát čtyři denních diagramů, viz ukázka zdrojového textu v jazyce Fortran k tomu užitého počítačového programu:

Na příložených obrázcích jsou vybrány vždy čtyři příklady náhodně namodelovaných denních diagramů soboty (obr. 10), neděle a středy jsou uvedeny v habilitační práci. Zde je neuvádíme pro omezení rozsahu tohoto vědeckého spisu.



Obr. 10. Příklad diagramu náhodného modelování soboty. (Převzato z [1])

Takto namodelovaná roční historie hodinových spotřeb elektrické energie, tj. obdélníková matice o 364 řádcích a 24 sloupcích představující vícerozměrná data, pak tvoří tréninkovou množinu během adaptivní dynamiky předkládanou kompetičnímu modelu umělé neuronové sítě po jednotlivých dnech, tj. vstupech sítě, určených 24 atributy. Topologie užití sítě je tedy tvořena dvěma vrstvami neuronů, vstupní resp. výstupní o 24 resp. 225 neuronech, tj. výstupní vrstva je zorganizovaná do čtvercové mřížky o rozměru 15 krát 15. Míra plasticity během adaptace sítě exponenciálně klesala z výchozí hodnoty 1 na konečnou hodnotu 0,005 a řád okolí gain neuronu během adaptace sítě exponenciálně klesal z výchozí hodnoty 7 na konečnou hodnotu 0, tj. okolí gain neuronu výchozího řádu pokrylo celou mřížku výstupní vrstvy sítě a ke konci adaptace sítě degenerovalo pouze na gain neuron.

Po průběhu adaptace sítě se během aktivní dynamiky, po opětovném předložení tréninkových vzorů, vykreslila Kohonenova mapa (obr. 11), z které lze vyčíst tři dobře separovatelné shluky, dva méně mohutné, zřejmě odpovídající sobotě resp. neděli, a jeden mohutnější, zřejmě odpovídající středě. Mapu lze interpretovat jako mapu krajiny s vyznačenou nadmořskou výškou každého místa, kde každý ostrov představuje shluk denních diagramů a jeho nejvyšší vrchol, na obrázku vyznačen červeným kroužkem, představuje prototyp, který daný shluk reprezentuje, tj. typový denní diagram příslušného období, přičemž mapu je třeba chápat jako rozvinutý povrch glóbu, tj. horní resp. levý okraj plynule navazuje na dolní resp. pravý okraj.

Neurony s nulovou četností excitace odpovídají váhovým vektorům, které k žádnému předloženému vzoru tréninkové množiny nebyly nejbližší, tj. během adaptivní dynamiky nedoputovaly dostatečně blízko ke shlukům tréninkových vzorů. Pomocí vstřícného šíření můžeme během aktivní dynamiky z konfigurace naučené sítě extrahovat potřebné váhové vektory, tj. hledané typové denní diagramy, uvedené na obrázcích, které jsou uvedeny v habilitační práci.

0	0	0	0	0	0	1	3	1	3	6	2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4	3	5	2	1	3	0	0	0
4	3	3	0	0	0	2	2	2	3	0	1	0	0	0
1	5	2	0	0	0	1	1	6	2	5	2	0	0	0
2	5	1	0	0	0	7	3	3	1	2	2	0	0	0
1	7	0	0	0	0	5	1	4	2	7	2	0	0	0
0	12	0	0	0	2	5	1	8	0	3	3	0	0	0
0	6	0	0	0	0	0	3	6	0	1	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	0	2	5	0	2	0	0	0
0	2	0	0	0	1	1	3	0	0	6	2	0	0	0
0	7	0	0	0	0	8	3	1	2	1	7	0	0	0
1	6	2	0	0	1	1	2	2	2	4	2	3	0	0
0	10	1	0	0	0	10	7	2	5	3	7	0	0	0
1	13	4	0	0	1	5	2	0	0	2	2	0	0	0
0	4	1	0	0	0	0	7	0	3	1	3	0	0	0

Obr. 11. Kohonenova mapa. (Převzato z [1])

Ačkoli jednotlivé denní diagramy roční historie (obr. 10 – náhodné modelování soboty) až neděli a středu zde neuvádíme, jsou vzájemně poměrně odlišné, dokonce čtvrtý příklad sobotního denního diagramu (obr. 10) svým charakterem spíše odpovídá nedělnímu průběhu spotřeby elektrické energie, pak typové denní diagramy jsou si s příslušnými standardy (sobota, neděle a středa) značně podobné, což svědčí o velmi dobré efektivitě užití metody shlukové analýzy.

V tab. 6 je obsaženo numerické porovnání typových denních diagramů s příslušnými standardy, jejich průměrná resp. maximální odchylka činí cca 0,2% resp. 0,5%.

Saturday			Sunday			Wednesday		
TDD	standard	difference	TDD	standard	difference	TDD	standard	difference
[kW]	[kW]	[%]	[kW]	[kW]	[%]	[kW]	[kW]	[%]
5650	5648	0,04	5473	5475	0,04	5941	5937	0,07
5600	5602	0,04	5424	5439	0,28	5842	5833	0,15
5507	5523	0,29	5340	5346	0,11	5756	5725	0,54
5453	5441	0,22	5314	5302	0,23	5696	5668	0,49
5341	5362	0,39	5235	5240	0,10	5724	5738	0,24
5411	5438	0,50	5259	5275	0,30	6323	6341	0,28
5599	5586	0,23	5361	5360	0,02	6447	6441	0,09
5749	5746	0,05	5518	5534	0,29	6449	6446	0,05
5815	5813	0,03	5652	5648	0,07	6534	6525	0,14
5894	5873	0,36	5754	5776	0,38	6513	6509	0,06
5903	5885	0,31	5824	5800	0,41	6600	6607	0,11
5822	5833	0,19	5703	5706	0,05	6642	6605	0,56
5764	5744	0,35	5664	5649	0,27	6451	6462	0,17
5759	5742	0,30	5661	5659	0,04	6444	6429	0,23
5735	5740	0,09	5669	5665	0,07	6397	6404	0,11
5744	5735	0,16	5644	5659	0,27	6383	6365	0,28
5612	5613	0,02	5564	5555	0,16	6202	6214	0,19
5578	5570	0,14	5545	5546	0,02	6082	6081	0,02
5596	5591	0,09	5591	5583	0,14	6227	6236	0,14
5611	5581	0,54	5586	5588	0,04	6244	6233	0,18
5637	5631	0,11	5627	5624	0,05	6252	6238	0,22
5606	5610	0,07	5640	5659	0,34	6193	6182	0,18
5565	5566	0,02	5572	5579	0,13	6083	6081	0,03
5528	5538	0,18	5735	5751	0,28	6038	6033	0,08
	MEAN=	0,20		MEAN=	0,17		MEAN=	0,19
	MAX=	0,54		MAX=	0,41		MAX=	0,56

Tab. 6. Typový denní diagram vs. Standard. (Převzato z [1])

4.1 ZÁVĚR

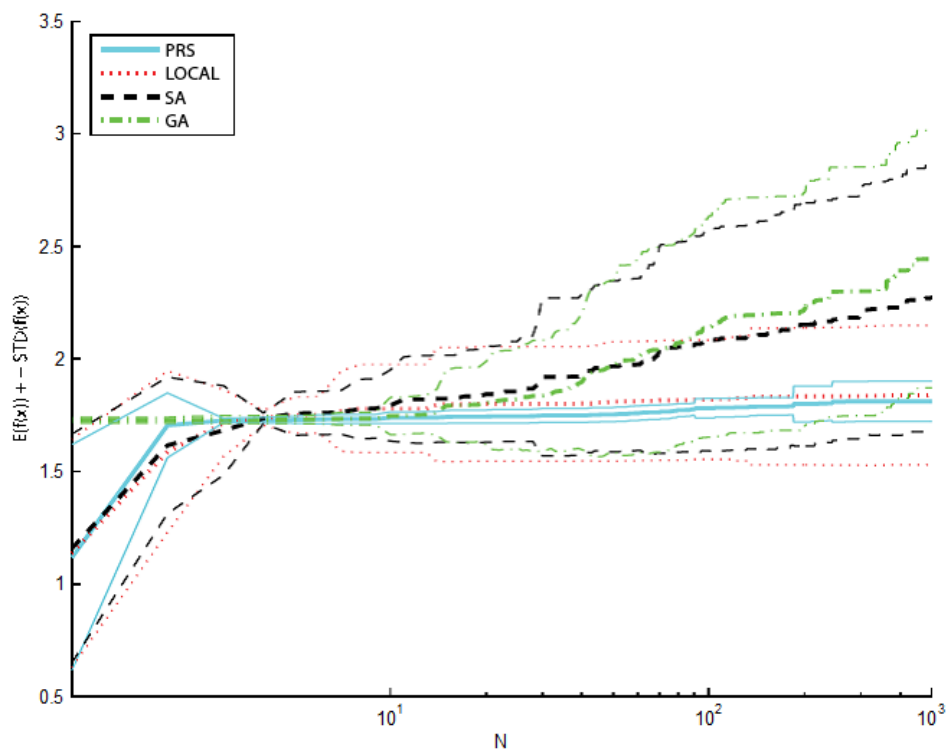
Z uvedeného matematického popisu (blíže v habilitační práci) a provedeného experimentu plyne, že v tomto případě užitá metoda shlukové analýzy zřejmě splňuje pět obecně formulovaných atributů ideální metody:

- Metoda nevyžaduje od uživatele žádné apriorní informace (např. počet shluků),
- Metoda identifikuje shluky libovolných tvarů a hustoty obsažených objektů,
- Metoda není citlivá na pořadí předkládaných pozorování objektů,
- Metoda je robustní vůči odlehlým pozorováním objektů,
- Metoda je schopna analyzovat soubor velkého počtu pozorování o velkém počtu proměnných během jednoho předložení,

a jak lze vyčíst z Kohonenovy mapy je zároveň hierarchická, neboť v rámci každého shluku jsou na mapě zjevně patrné i podshluky v něm obsažené.

5. TESTOVÁNÍ ALGORITMŮ NA APROXIMACÍCH FUNKCÍ

Příklad: MLP1 (Převzato z [1] a [83])



- PRS - náhodné prohledávání
- LOCAL - stochastický horolezecký algoritmus
- MLSL - víceúrovňový algoritmus jednoduchého propojení
- SA - simulované žihání

Poznámka: Simulované žihání vykazuje nejlepší hodnoty. Proto jsme se na něj v našem experimentu zaměřili.

6. ZÁVĚR

Z testů na analytických funkcích, lze vyhodnotit, že obecně při porovnávání algoritmů simulovaného žihání, stochastického horolezeckého algoritmu a genetického algoritmu s algoritmem čistě náhodným prohledáváním se jeví jako nejlepší stochastický horolezecký algoritmus. O něco horší je genetický algoritmus a nejhůře na tom je algoritmus simulované žihání (čistě náhodné prohledávání neuvažujeme, neboť jde pouze o porovnávací algoritmus).

Pokud se však jedná o **simulované žihání**, pak jeho přednosti jsou při hledání **globálního extrému**, lokální extrémy je schopen obcházet. Tuto okolnost pokládáme pro náš experiment za velmi přijatelnou variantu. Další velkou výhodou algoritmu **simulovaného žihání** je, že při vyšších hodnotách N -iterací vykazuje spolu se stochastickým horolezeckým algoritmem postupně zlepšující úroveň funkční hodnoty. Genetické algoritmy se v určitém okamžiku při zlepšování funkční hodnoty zastaví a poté algoritmus předčasně konverguje (pravděpodobně je to způsobeno tím, že v populaci převládnu pouze jedinci určitého druhu).

Z testů na aproximacích funkcí, bylo zjištěno, že genetický algoritmus dosahuje celkem dobrých výsledků zejména u hodnot 0.9kvantilu, ale v mediánové charakteristice je horší než simulované žihání. Naopak **simulované žihání u této funkce dosahuje nejlepších výsledků i pro malé hodnoty N -iterací**, a je tedy pro tuto funkci nejvhodnějším algoritmem.

Závěrem v této části habilitační práce můžeme konstatovat, že jsou někdy situace, kdy nejsme schopni zjistit potřebné informace za účelem výběru konkrétního optimalizačního algoritmu. Takové situace v praxi často nastávají, přesto musíme zvolit vhodnou, lépe řečeno nejlepší cestu při volbě optimalizačního algoritmu. V takovém případě můžeme vyhodnotit z výsledků testování a matematického rozboru, že jako nejlepší z algoritmů popisovaných v této práci je algoritmus **simulované žihání**. Navíc se nám jeví algoritmus simulovaného žihání jako **nejuniverzálnější algoritmus**.

Proto byl náš experiment podroben řešením na algoritmu simulovaného žihání a v praxi byl ověřen a byl vyhodnocen se závěrem: **velmi přijatelný a fakticky použitelný, např. v podmínkách definovaného energetického systému ČEZ a.s. Praha**. Z matematického popisu a provedeního experimentu zátěžových charakteristik plyne, že v tomto experimentu byla užitá metoda shlukové analýzy, která splňuje všechny atributy ideální metody. Výsledky našeho experimentu byly publikovány v prestižních imputovaných časopisech. [93] a [95]

7. LITERATURA

- [1] Archiv autora
- [2] GARLÍK, B.: *Intelligentní budovy*, BEN, Praha 2013, 348 stran, ISBN 978-80-7300-440-8
- [3] GARLÍK, B.: *Zásady provádění elektroinstalací při realizaci budov dle principu trvale udržitelné výstavby*, Vydání NSC Brno, www.stavebnicentrum.cz, pro projekt EdUR CZ.1.07/3.2.04/02.0024, Brno 2012, 95 stran, ISBN 978-80-87665-28-2
- [4] GARLÍK, B.: *Navrhování inteligentních budov a jejich automatizace dle principů trvale udržitelné výstavby*, Vydání NSC Brno, www.stavebnicentrum.cz, pro projekt EdUR CZ.1.07/3.2.04/02.0024, Brno 2012, 99 stran, ISBN 978-80-87665-13-8
- [5] MASTNÝ, P. a kol.: *Navrhování systému s využitím obnovitelných zdrojů energie pro budovy dle principů trvale udržitelné výstavby*, Vydání NSC Brno, www.stavebnicentrum.cz, pro projekt EdUR CZ.1.07/3.2.04/02.0024, Brno 2012, 89 stran, ISBN 978-80-87665-4
- [6] GREENWOOD, CHRIS, *Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency*, Global trends in sustainable energy investment 2009, ISBN 978 92 807 3038
- [7] New ERA for electricity in Europe, Distributed generation, ISBN 92-894-6262-0, 29 str., www.smartgrids.eu,
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie*, Vydavatelství odborného tisku Profi Press s.r.o., Jana Masaryka 2559/56b, Praha, 2012, ISBN 978-80-86726-48-9
- [9] US Department of Energy (2003). Grid 2030: A national vision for the next 100 years, 2009, www.oe.energy.gov
- [10] KRBEK, J., POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky zřizování a provoz*. Vydal GAS s.r.o. Praha, 1. Vydání, Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9

- [11] *US Department of Energy (2003). Grid 2030: A national vision for the next 100 years, 2009,*
- [12] <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7864-inteligentni-rozvodne-site>
- [13] <http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola1.htm>
- [14] is.muni.cz/th/210916/pravf_m/DIPLOMOVA_PRACE_Pravni_uprava_vvyroby_elektriny_z_obnovitelnych_zdroju.d..
- [15] <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7864-inteligentni-rozvodne-site>
- [16] International Energy Agency, *World Energy Outlook, 2009*, ISBN: 978-92-64-08624-1, 650 str.
- [17] SPALL, J. C. *Introduction to Stochastic Search and Optimization*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [18] BOROS, E., HAMMER, P. L. *Discrete optimization: The state of the art*. Amsterdam: Elsevier Science, 2003.
- [19] (<http://arg.vsb.cz/data/Vyuka/BIV-AUI.pdf>)+knihka zakoupit
- [20] ZELINKA, I.: *Evoluční výpočetní techniky, Principy a aplikace*. Praha 2008, ISBN/EAN 80-7300-218-3/9788073002183, 536 stran
- [21] HORST, R., PARDOLOS, P. M. *Handbook of global optimization*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [22] JABLONSKÝ, J.: *Operační výzkum*. Professional Publishing, 2002, Praha.
- [23] VANECKOVÁ, E.: *Ekonomicko-matematické metody*. ZF JU, skripta, 1996 České Budejovice.
- [24] LEPŠ, M.: *Single and Multi-objective Optimization in Civil Engineering with Applications*. [Disertační práce Ph.D.]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2005. 106 s.
- [25] MÍKA, S. (1997). *Matematická optimalizace*. Vydavatelství ZCU, Plzeň.
- [26] TÖRN, A., ŽILINSKAS A. (1989). *Global Optimization*, Lecture Notes in Computer Science, No. 350, Springer.
- [27] SPALL J. C. (2003). *Introduction to Stochastic Search and Optimization*, Wiley-Interscience.
- [28] MINÁŘ, PETR. *Distribuované výpočty s využitím technologie ActionScript*. Brno, 2009. 79 s. Vedoucí diplomové práce Radomil Matoušek. VUT FSI ÚAI.
- [29] <http://arg.vsb.cz/data/Vyuka/04%20BIV%20Evoluce%20-%20UcFce.pdf>
- [30] DRÉO J., PÉROWSKI A., SIARRY P., TAILARD E., *Metaheuristic for Hard Optimization: Methods and Case Studies*, Springer – Verlag, ISBN 3-540-23022, 2005
- [31] ZELINKA, I. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-7300-069-5.
- [32] ÖZDAMAR, L.; DEMIRHAN, M. Experiments with new stochastic global optimization search techniques. *Computers and Operations Research*, 27:841-865, 2000.
- [33] DEKKERS, A.; AARTS, E. *Global optimization and simulated annealing*. *Mathematical Programming*, 50:367-393, 1991.
- [34] ŠTEFKA, D. *Systém pro studium genetických algoritmů v kontextu tradičních stochastických optimalizačních metod*. Výzkumný úkol. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra matematiky, 2004. Dostupné z WWW: <<http://home.tiscali.cz/davidstefka>>.

- [35] JURA P.: *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*, VUTIUM, Brno 2003, ISBN 80-214-2261-0 (CS)
- [36] BACHER, P. *Energie pro 21. století*. Přeložil RNDr. Jiří Grospietsch. Praha : Agentura KRIGL, 2003. ISBN 80-902403-7-2.
- [37] CENK, Miroslav, et al. *Obnovitelné zdroje energie*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha : FCC PUBLIC s.r.o., 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [38] HOLATA, M. *Malé vodní elektrárny / projektování a provoz*. Praha : Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [39] KLOZ, Martin; MOTLÍK, Jan, aj. *Využívání obnovitelných zdrojů : právní předpisy s komentářem*. Praha : Linde Praha, a.s., Právnícké a ekonomické nakladatelství a knihkupectví, 2007. ISBN 978-807201-670-0.
- [40] MOTLÍK J., ŠAMÁNEK L., aj. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR*. Praha : ČEZ, a.s. 2007. ISBN 978-80-239-8823-9.
- [41] MURTIGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika. Elektrina ze slunce*. 2. vyd. Brno : ERA group spol. s r. o., 2008. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [42] MUSIL, P. *Globální energetický problém a hospodářská politika – se zaměřením na obnovitelné zdroje*. Praha : C.H.Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-112-3.
- [43] *Obnovitelné zdroje energie a skupina ČEZ*. Praha : ČEZ, 2006?.
- [44] QUASCHNING, V. *Obnovitelné zdroje energií*. Přeložil Ing. Václav Bartoš. Praha : Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [45] ŠTURMA, P. *Mezinárodní dohody o ochraně investic a řešení sporů*. 2. vyd. Praha : Linde Praha, a.s., 2008.
- [46] <http://samba.fsv.cuni.cz/~koubek/IES-FSV%20UK/UCEBNI%20TEXTY/02-OPTIMALIZACE.pdf>
- [47] www.math.fme.vutbr.cz/download.aspx?id_file=3439
- [48] bulletin-am.cz/index.php/vam/article/download/29/14
- [49] HOUCK, C.R.; JOINES, J.A.; KAY, M.G. *The Genetic Algorithm Optimization Toolbox (GAOT) for Matlab v5* [online]. North Carolina State University [cit. 25. 4. 2005], Dostupné z WWW: <<http://www.ie.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot/>>.
- [50] JARNÍK, M. *Integrální počet II*. Praha: Academia, 1984.
- [51] NORKIN, V.I.; PFLUG, G.C.; RUSZCZYNSKI, A. A branch and bound method for stochastic global optimization. *Mathematical Programming*, 83A:425{450, 1998.
- [52] OBITKO, M. *Introduction to genetic algorithms* [online] [cit. 25. 4. 2005]. Dostupné z WWW: <<http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga>>.
- [53] OBITKO, M. *Genetické algoritmy: Matrice života v počítačích* [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.scienceworld.cz>>, 14. 03. 2001.
- [54] OBLOW, E.M. SPT: A stochastic tunneling algorithm for global optimization. *Journal of Global Optimization*, 20:195{212, 2001.
- [55] ŠTEFKA, D. *Studium genetických algoritmů v kontextu tradičních stochastických optimalizačních metod*. Rešeršní práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra matematiky, 2003. Dostupné z WWW: <<http://home.tiscali.cz/davidstefka>>.
- [56] TVRDÍK, J. *Algoritmus řízeného náhodného prohledávání a alternující heuristiky* [online]. Katedra informatiky a počítačů, Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity.

Časopis:Automa,1/2002.Dostupné

z www:<http://www.automa.cz/automa/2002/au010254.htm>.

- [57] TÖRN, A.; ALO, M.; Viitanen, S. Stochastic global optimization: Problem classes and solution techniques. *Journal of Global Optimization*, 14:437{447, 1999.
- [58] UŽÁK, M.; KOŠČÁK, J. *Genetické algoritmy a nastavovanie parametrov neurónových sietí* [online]. Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Technická Univerzita Košice [cit.25.42005].Dostupné ww:<http://neuron.tuke.sk/alumni/cogsci/23/Koscak_Uzak.do%>
- [59]N. METROPOLIS: Equations of State Calculations by Fast Computing Machines, *Journal of Chemical Physics*, 21(6):1087-1092, 1953
- [60]URL:http://powertown.no/wp-content/uploads/2011/11/SmartGrid_Ueberblick_ohneLegende.jpg, ©2010 ABB, Deutsche Telekom (translated)
- [61]BIOGAS HANDBUCH, Gruhdlagen-Planung-Betrieb Landwirtschaftlicher Biogasaulagen, Verlag Wirz AG, Aarau, 1984, 200 str. ISBN 3-85983-028-7
- [62]ASHRAE Fundamentals Handbook, 2001
- [63]A. H. MANTAWY, Y. L. Abdel-Magid, and S. Z. Selim, "Unit commitment by Tabu search", *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Dist.*, vol. 145, no. 1, pp.56 -64 1998
- [64]A. H. MANTAWY, Y. L. ABDEL-MAGID, AND S. Z. SELIM, "A simulated annealing algorithm for unit commitment", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, pp.197 -204 1998
- [65]A. H. MANTAWY, Y. L. ABDEL-MAGID, AND S. Z. SELIM, "Integrating genetic algorithms, Tabu search and simulated annealing for the unit commitment problem", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, pp.829 -836 1999
- [66]A. I. COHEN AND M. YOSHIMURA, "A branch- and -bound algorithm for unit commitment", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-102, pp.444 -451 1983
- [67]C. K. PANG, G. B. SHEBLE, AND F. ALBU, "Evaluation of dynamic programming based methods and multiple area representation for thermal unit commitments", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-100, pp.1212 -1218 1981
- [68]C. LI, R. B. JOHNSON, AND A. F. SVOBODA, "A new unit commitment method", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, pp.113 -119 1997
- [69]GARLÍK, B.*Směry systémového řešení budov z hlediska jejich technického zařízení* In: Stavebnictví. 2010, roč. 2010, č. 11-12/10, s. 30-33. ISSN 1802-2030.
- [70]GARLÍK,B.*Energetika a inteligentní budovy*, In: Energetika. 2011, roč. 61, č. 8-9, s. 512-517. ISN 0375-8842
- [71]GARLÍK, B.*Inteligentní budovy (1. část)*, In: Elektro. 2012, roč. 2012, č. 4, s. 6-8. ISSN 210-0889
- [72]Garlík, B.*Inteligentní budovy (2. část)*, In: Elektro. 2012, roč. 2012, č. 5, s. 6-10. ISSN 1210-0889
- [73]Garlík, B. *Inteligentní budovy (3. část)*, In: Elektro. 2012, roč. 2012, č. 8-9, s. 60-65. ISSN 1210-0889
- [74]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (4. část – 1. díl)* In: Elektro. 2012, roč. 2012, roč. 2012, č. 12, s. 9-11. ISSN 1210-0889
- [75]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (4. část – 2. díl)* In: Elektro. 2013, roč. 2013, č. 1, s. 17-9. ISSN 1210-0889

- [76]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (4. část – 3. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23. Č. 2, s. 10-12. ISSN 1210-0889
- [77]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (4. část – 4. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23, č. 3, s. 76-79. ISSN 1210-0889
- [78]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (5. část)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23, č. 4, s. 4, ISSN 1210-0889
- [79]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (6. část – 1. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23, č. 5, s. 4 ISSN 1210-0889
- [80]GARLÍK, B. - PECHOVÁ, P. *Inteligentní budovy (6. část – 2. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23, č. 6, s. 13-16. ISSN 1210-0889
- [81]GARLÍK, B. - PECHOVÁ, P. *Inteligentní budovy (6. část – 3. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 23, č. 7, s. 10-14. ISSN 1210-0889
- [82]GARLÍK, B. *Inteligentní budovy (4. část – 2. díl)* In: *Elektro*. 2013, roč. 2013, č. 1, s. 17-19. ISSN 1210-0889
- [83]ŠTEFKA, D.: *Alternativy k evolučním optimalizačním algoritmům*, Diplomová práce. ČVUT Praha, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra matematiky, 2005, Praha
- [84]ŠTEFKA, D.: *Systém pro studium genetických algoritmů v kontextu tradičních stochastických optimalizačních metod*. Výzkumný úkol. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra matematiky, 2004. Dostupné z WWW: <<http://home.tiscali.cz/davidstefka>>.
- [85]BOYD, S. – VANDENBERGHE, L: *Convex Optimization*. Cambridge University Press. Dostupné na <http://www.stanford.edu/~boyd/cvxbook/> [cit. dne 2. 1. 2007], ISBN 0-521-83378-7.
- [86]CLARKE, D. W., MOHTADI, C., TUFFS, P. S. *Generalized Predictive Control – Part 1, The Basic Algorithm*. Automatica., Vol 23, No. 2, 1987
- [87]BALATĚ, J. *Automatické řízení, 2. Přepřacované vydání, BEN*, Praha 2004, 642 stran, ISBN 978-80-7300-355-5
- [88]ŠKRABÁNEK, P. *Industrial controllers based on the model predictive control technology. In Proceeding of 7th International Carpathian control conference*, Rožnov pod Radhoštěm, 29-31.5. 2006. Ostrava: VŠB Ostrava, 2006, s. 553. ISBN 80-248-1066-2
- [89]UŽÁK, M.; KOŠČÁK, J. *Genetické algoritmy a nastavovanie parametrov neurónových sietí [online]*. *Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Technická Univerzita Košice [cit. 25.4.2005]*. Dostupné z WWW: <http://neuron.tuke.sk/alumni/cogsci/source/23/Koscak_Kolesar_Uzak.do%c>.
- [90]BAOTIC, M., CHRISTOPHERSEN, F. J., MORARI, M. *Constrained Optimal Control of Hybrid Systems With a Linear Performance Index. IEEETrans. On Automatic Control*, 51 (12): 1903-1919, December 2006.
- [91]MACKI, J., STRAUSS, A. *Introduction to Optimal Control Theory*. New York: Springer-Verlag, 1982. ISBN 0-387-90624-X
- [92] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34290
- [93]GARLÍK, B., KRÍVAN, M., *Renewable energy unit commitment, with different acceptance of balanced power, solved by simulated annealing*. *International Journal of Energy and Buildings*, www.elsevier.com/locate/enbuild. 2013. svazek 67C ISSN 0378-7788

- [94] <http://www.transformacni-technologie.cz/principy-vyroby-elektřiny-a-tepla-v-domacnostech.html#491>
- [95] GARLÍK, B., KŘIVAN, M., *Identification of type daily diagrams of electric consumption based on cluster analysis of multi-dimensional data by neural network*. Neural Network World, Internacional Journal on Non-Standard Computing and Artificial Intelligence, www.nmw.cz, 2013, Volume 23, str. 271-283, ISSN 1210-0552
- [96] GROSSBERG, S., *The Adaptive Brain*, North-Holland 1987
- [97] KOHONEN, T., *The Self-Organizing Map*, IEEE 78(9) 1464-1480 1990
- [98] HECHT-NIELSEN, R., *Counter-propagation networks*, Appl. Opt. 26(23) 4979-4984 1987
- [99] HOPFIELD, J., J., *Artificial Neural Networks*, IEEE Circuits & Devices 4, 3-10 1988
- [100] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0677:FIN:CS:PDF>
- [101] <http://arg.vsb.cz/data/Vyuka/04%20BIV%20Evoluce%20-%20UcFce.pdf>

ABSTRAKT

V rámci habilitační práce je řešena problematika optimalizace při její implementaci v procesu systémového řešení inteligentních budov. Integrovaný řídicí systém budovy se simulací v reálném čase a sledování okamžité spotřeby energií není možný akceptovat bez technické a ekonomické diagnostiky, modelování a optimalizace.

Teoretická část práce je zaměřena na analýzu - rozbor a zkoumání optimalizačních metod v procesu řešení vnější inteligence budovy. Postupujeme didakticky a to rozkladem námi definovaného matematického systému – optimalizace - na jednodušší podsystémové oblasti a to: výběrem zainteresovaných oblastí z numerické matematiky, matematické analýzy, aplikovaná matematika, teorie množin, teorie grafů a matematické logiky s cílem pochopení teorie optimalizace až k její praktické aplikaci.

Cílem této práce je popsat základní vlastnosti stochastických algoritmů, včetně algoritmů genetických, testování algoritmů na analytických a aproximačních funkcích s vyhodnocením závěrů pro uplatnění při technické optimalizaci. V této práci se zabýváme především takzvanou technickou optimalizací, kdy neznáme přímo optimalizovanou funkci, ale jsme schopni získat hodnotu optimalizované funkce v libovolném bodě (například měřením určité veličiny). Stochastické optimalizační algoritmy mají tu výhodu, že i s takovými funkcemi dokážou efektivně pracovat.

Důkazem plnění cíle práce je pak prezentace výsledků výzkumu a nových postupů s cílem snížit náklady na energie budovy a její optimalizované spotřeby. Tento experiment byl publikován v časopise „Energy and Buildings“ - mezinárodní vědecký impaktovaný časopis věnovaný výzkumu využívání energie a účinnosti v budovách, a rovněž prezentován na mezinárodní konferenci v Bělehradě 21-23 duben 2013.

V habilitační práci je uveden matematický popis samo organizující se neuronové sítě užitá pro shlukovou analýzu s následnou ukázkou její efektivity na příkladu identifikace typových denních diagramů spotřeby elektrické energie komplexu inteligentních budov sdružených v elektrické mikro-síti pro typický pracovní den a den pracovního volna na základě její roční historie, kde zmíněné typové denní diagramy mohou být užity pro predikci spotřeby elektrické energie. Uvedený příklad – experiment byl zpracován v počítačovém programu Artint © 2010 a

publikován v [95] časopise Neural Network World, Internacional Journal on Non-Standard Computing and Artificial Intelligence.

V aplikační části práce je představena spojená optimalizační metoda globálního prohledávání – simulované žihání (patřící mezi stochastické optimalizační algoritmy) - pro řešení stěžejního problému vnější inteligence budovy – optimalizace spotřeby energií.

V závěru aplikační části habilitační práce bude zhodnocena její aplikační část

ABSTRACT

In this habilitation, the optimization in its implementation in the process of system solutions for intelligent buildings is addressed. Integrated building control system with real-time simulation and monitoring of instantaneous power consumption is not acceptable without technical and economic diagnostics, modeling and optimization.

The theoretical part of this work is focused on the analysis - analyzing and exploring optimization methods in the process of resolving external intelligence of a building. We proceed didactically by decomposing our defined mathematical system - optimization – into simpler subsystems, namely: selecting the relevant areas of numerical mathematics, mathematical analysis, applied mathematics, set theory, graph theory and mathematical logic in order to understand optimization theory up to its practical application.

The aim of this work is to describe the basic properties of stochastic algorithms, including genetic algorithms, by testing the algorithms with analytical and approximation functions and the evaluation of findings for application in technical optimization. In this work, we are focused on the so-called technical optimization, when we do not know the optimized function directly, but we are able to get a value of the optimized function at any point (for example, by measuring certain variables). Stochastic optimization algorithms have the advantage that even with such functions they can work effectively.

The proof of reaching the objective of this work is the presentation of research results and new practices with the aim to reduce energy costs of the building and its optimized consumption. This experiment was published in the journal "Energy and Buildings" - imputed international scientific journal devoted to the investigation of the use of energy and efficiency in buildings and also presented at the international conference in Belgrade April 21 to 23, 2013.

In habilitation is the mathematical description of self-organizing neural network used for cluster analysis with subsequent sample of its effectiveness as an example of identification of the type daily diagrams of electric energy consumption of complex intelligent buildings associated in the electric micro grid namely for a typical work day and a day off on the basis of its annual history where mentioned type daily diagram can be used to predict the power consumption. Next example was processed in the computer program Artint © 2010, journal Neural Network World, Internacional Journal on Non-Standard Computing and Artificial Intelligence.

In the application part, the continuous global search optimization method is introduced - simulated annealing (belonging to stochastic optimization algorithms) - to solve a core problem of external intelligence of a building - energy consumption optimization.

In conclusion, the application of the habilitation thesis will be evaluated by the application of.