

POČÍTAČOVÉ MODELOVANIE INTELEKTUÁLNYCH BUDOV

V príspevku sa autori zaoberajú problematikou inteligentných budov a možnosťami ich trojdimenzionálneho (3D) modelovania vo virtuálnej realite ako SW podpore pri ich projektovaní. Na dvoch príkladoch (experimentoch) prezentujú simuláciu osvetlenia a vykurovania.



Experiment E1 na simuláciu osvetlenia má za úlohu preukázať funkčnosť vytvoreného modelu a určiť energetickú bilanciu jednotlivých variantov osvetlenia. Výsledky simulácie odpovedali predpokladom, teda energeticky najmenej náročný bol variant osvetlenia, kedy sa zapína tá žiarovka, kde je prítomný „avatar“ – bod resp. pohybujúca sa postava vo virtuálnej realite, cez ktorý sa akoby pozeráme. Pre nami definovaný systém sme dosiahli viac ako 90 % úspory elektrickej energie. Taktiež experiment preukázal, že na základe merania cez pohyb avatara je možná simulácia a modelovanie procesu v reálnom čase, založené na princípoch ukladných dynamických systémov.

Experiment E2 na simuláciu vykurovania ukazuje ako pomocou genetického algoritmu (optimalizačná metóda) a tepelných dejov navrhnuť optimálny vykurovací systém podľa zvoleného kritéria. Navrhnuté systémy vykurovania v porovnaní s reálnym riešením vykazujú vždy lepšie výsledky v rámci zvolených kritérií, t. j. či už v rámci kompaktnosti rozmerov alebo dosiahnutia tepelnej pohody.

Výhoda virtuálnych modelov spočíva v ich univerzálnosti a finančnej nenáročnosti. Navrhnuté modely môžu byť jednoducho upravené a aktualizované presne podľa užívateľských predstáv bez toho, aby boli nenávratne poškodené. Finančnú náročnosť charakterizuje ich SW podstata, investície nesmerujú totiž do materiálov a techno-

lógií, ale do vývoja softvéru, teda do duševného vlastníctva, čo zvyšuje atraktivnosť tejto problematiky v informačnej spoločnosti.

Osvetlenie patrí medzi neoddeliteľnú súčasť budovy. Vhodným spôsobom automatizácie môžeme zvýšiť komfort bývania a riadením denného a umelého osvetlenia môžeme významnou mierou prispieť k úsporám elektrickej energie pri osvetľovaní. Práve overenie energetickej náročnosti rôznych variantov osvetlenia chodieb činžiaku sleduje experiment E1.

Spotreba energie určenej na vykurovanie a chladenie sa rovná približne 60 % z celkovej spotrebovanej energie budovy [1], preto si táto oblasť zaslúži čo najväčšiu pozornosť, či už z hľadiska úspor alebo softvérových možností ako podpory pre túto oblasť. Experiment E2 demonštruje použitie softvérových prostriedkov v rámci návrhu, optimalizácie a riadenia vykurovacej sústavy rodinného domu.

Simulácia osvetlenia – E1

Z dôvodu množstva výhod je simulácia realizovaná v produkte Matlab [2], resp. simulačnom programe Simulink. Základným kameňom VR toolbox-u je blok – VR Sink, do ktorého je vložený VRML objekt (získaný z 3D MAX Studia – zjednodušením modelu vytvoreného v ArchiCAD-e, obr. 1 vľavo). Keďže simulujeme činžiak s 8 poschodiami a prízemím (na jednom poschodí sú 3 svetlá), budeme mať v tomto bloku 27

vstupov. Ďalším a najdôležitejším vstupom je pozícia avatara, resp. pozícia objektu, s ktorým sa bude pri simulácii hýbať. Model sme rozšírili ešte o jeden vstup (Sun – predstavuje osvetlenie modelu), teda máme celkovo 29 vstupov do bloku VR Sink (obr. 1 vpravo).

Zadefinovali sme 3 režimy (módy) osvetlenia:

- A – vždy je zapnutá len tá žiarovka, kde sa nachádza avatar
- B – zapnuté je celé poschodie, resp. poschodie kde je avatar
- C – zapnuté sú všetky svetlá (klasický systém)

Výsledok simulácie

Pri simulácii sa teda môžeme prechádzať po virtuálnom dome. Počas tohto prechádzania sa automaticky vyhodnocujú (energetická náročnosť) varianty osvetlení A, B, C a variant užívateľa (pretože má možnosť zapínať – vypínať svetlá, meniť režimy osvetlení). Teda výsledok simulácie demonštruje graf obr. 2, z ktorého je zrejma energetická náročnosť jednotlivých variantov.

Návratnosť

Ak poznáme celoročné prevádzkové náklady „starého“ systému (CN_{old}), celkové náklady na zavedenie nového systému (ZN) a pomer energetickej náročnosti K ($K = E_{old} / E_{New}$) ľahko určíme návratnosť podľa:

$$\text{Návratnosť} = \frac{ZN \times K}{CN_{old} \times (K - 1)} \quad (1.1)$$

Simulácia vykurovania – E2

Pomocou genetického algoritmu (uni-verzálna numerická prehľadavacia – optimalizačná metóda [3]) hľadáme optimálne rozmery vykurovacích telies daného objektu. Matematické modelovanie fyzikálnych procesov (v rámci vykurovania) využíva 3D model objektu, ktorý je verifikovaný a kalibrovaný podľa reálneho objektu. 3D model objektu je vytvorený v programe CATIA V5 ([4]) a simulácia tepelných dejov v Comsol Multiphysics [5].

Vo zvolenom objekte je 7 vykurovacích telies. Predpokladajme, že vzdialenosť každého radiátora od steny je pevne zvolená, resp. nepredstavuje stupeň voľnosti v procese návrhu. Čo do umiestnenia sú stupne voľnosti uvažované len ako pozície (umiestnenie) radiátorov vždy len v jednom smere (popri stene danej miestnosti). Ďalší stupeň voľnosti predstavuje typ a rozmer radiátora. Jednotlivé rozsahy uvádza tab. 1 (pre prípad konštrukčnej dĺžky 60 cm).

Kvalita riešenia je daná zhodou výsledkov simulácie a predpísaného kritéria, resp. zhodou teplôt v meraných bodoch a predpísanej teploty v jednotlivých miestnostiach, teda v obývacích miestnostiach 20 °C (TOI = 293K), chodbe 16 °C (TCH = 289K) a kúpeľni 24 °C (TK = 297K), podľa vzťahu 10.1, kde parameter β určuje aký dôraz sa bude klásť pre dosiahnutie riešenia s minimálnymi konštrukčnými rozmermi.

Fitness je určená podľa vzťahu:

$$Fit(i) = \sum_{s=1}^m \left(\sum_{k=1}^{n(s)} b_u [\theta_s(k,s) - \theta_p(s)] + \beta x \sum_{k=1}^{n(s)} b_o [\theta_s(k,s) - \theta_p(s)] \right) \quad (1.2)$$

kde:

b_o, b_u – Boolovské koeficienty > 1 ak je nasledujúci výraz > 1

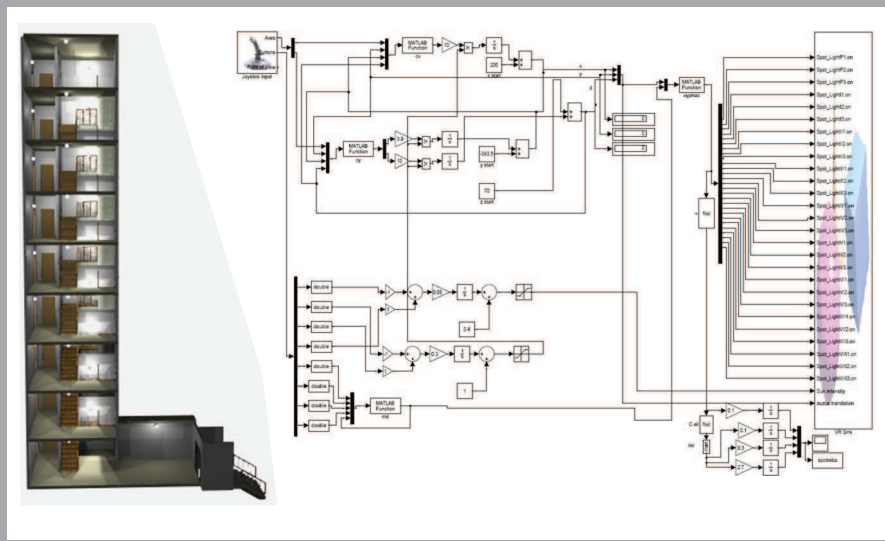
θ_p – Požadovaná teplota v miestnosti

$\theta_s(k,s)$ – Teplota v bode k v miestnosti s

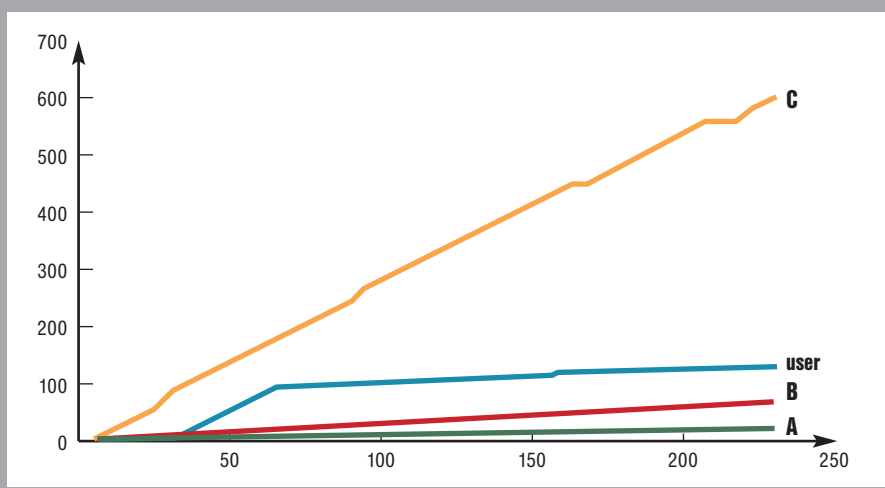
θ_{avr} – Priemerná teplota miestnosti

Genetický algoritmu našiel optimálny návrh (rozmery a umiestnenie) vykurovacieho systému podľa kritéria dosiahnutia predpísanej teploty v miestnosti. Kvalitatívne je toto riešenie v porovnaní s reálom veľmi podobné. Ako je vidieť z obr. 3 rozloženie teplôt sa veľmi nelíši, pričom riešenie vykazuje mierne horšie výsledky z hľadiska homogenity teplôt v miestnostiach. Hodnota fitness najlepšieho riešenia GA bola 52,336 pričom ak vyhodnotíme rovnakým spôsobom reálne riešenie, dostaneme hodno-

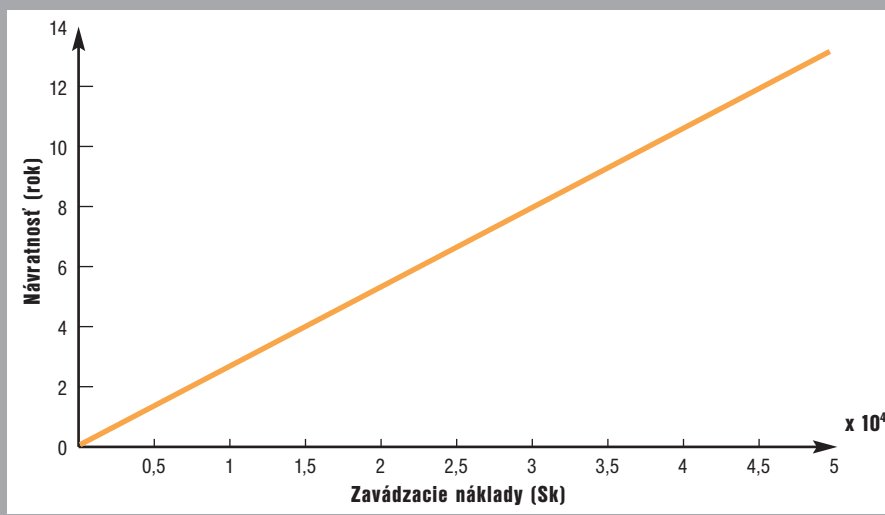
Obr. 1 3D model chodieb činžiaku (vľavo), schéma simulácie osvetlenia vo VR (vpravo)



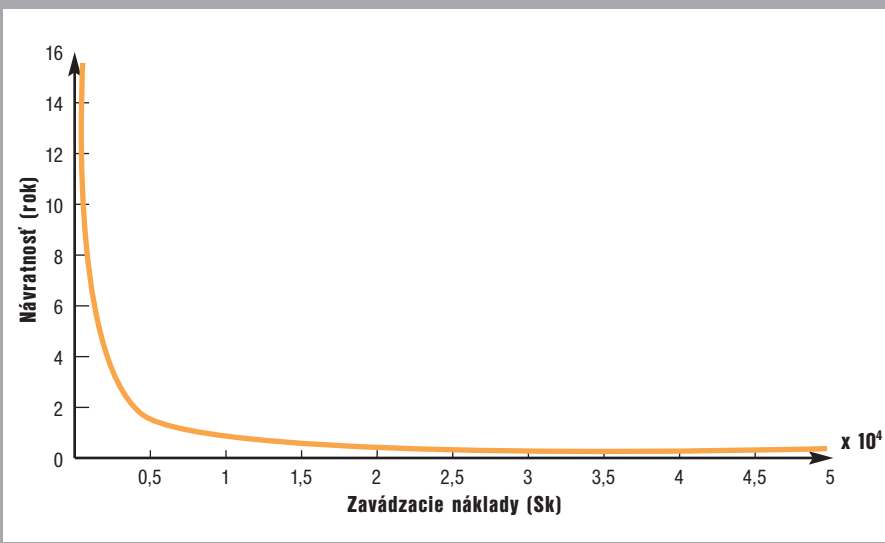
Obr. 2 Energetická náročnosť jednotlivých variantov osvetlenia



Obr. 3a Závislosť návratnosti od zavádzacích nákladov pri $CN_{old} = 4000, K = 20$



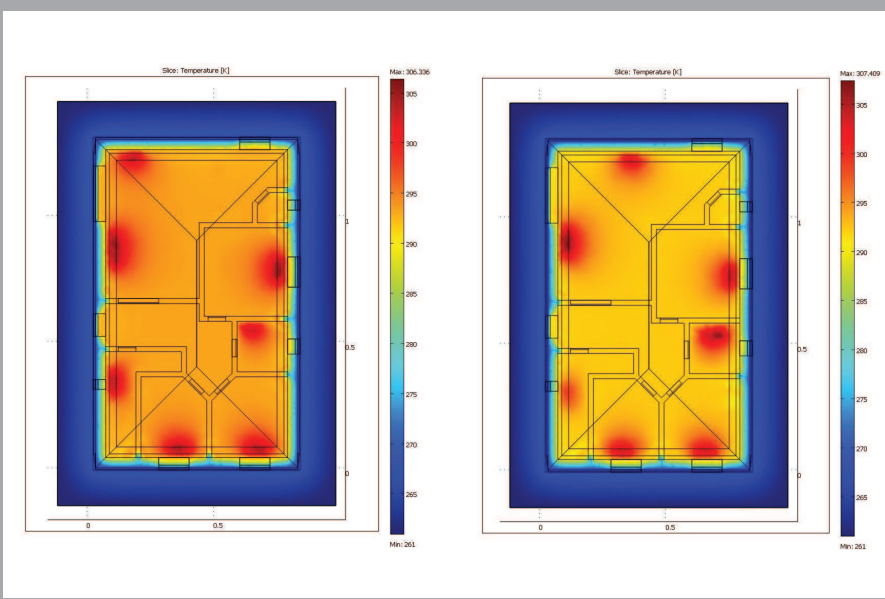
Obr. 3b Závislosť návratnosti od ročných nákladov pri ZN = 15000, K = 20



Tabuľka 1 Porovnanie reálneho a novo navrhnutého riešenia

	GA Variant A				Reálne riešenie			
	typ [6]	výška	dĺžka	pozícia	typ	výška	dĺžka	pozícia
Rad. 1	22K	50	60	0.265	21K	60	80	0.3
Rad. 2	33K	60	100	0.846	22K	60	130	0.8
Rad. 3	22K	60	60	0.336	22K	60	60	0.15
Rad. 4	22K	60	80	0.725	22K	60	90	0.74
Rad. 5	33K	50	70	0.657	22K	60	70	0.61
Rad. 6	22K	60	80	0.289	22K	60	90	0.32
Rad. 7	22K	60	80	0.618	22K	60	90	0.63

Obr. 4 Vykurovací systém navrhnutý GA – VarA (vľavo), reálne riešenie (vpravo)



ty 49,767. Je zrejmé, že podľa pevne zvoleného kritéria dosiahnutia teplôt v miestnosti je z tohto pohľadu reálne riešenie predimenzované.

Vytvorením SW nástrojov pre podporu simulácie a návrhu vo virtuálnej realite sa vniesla nová kvalita do projektovania IB, kde pomocou nich bude možné zvýšiť efektivitu projektantov. Zavedenie možnosti spätnej väzby (vizualizácia projektu + modelovanie a ich následná modifikácia) významne zvýši a umožní optimalizáciu v procese projektovania. Takto vytvorený projekt zabezpečí vyššiu hodnotu vytvoreného diela.

Experiment 1 ukázal, že najvýhodnejšie z pohľadu spotreby elektrickej energie je použitie variantu osvetlenia, pri ktorom je vždy zapnutá len tá žiarovka, kde sa nachádza človek (z pohľadu simulácie). V porovnaní s najhorším variantom môžeme dosiahnuť až 90 % úspory elektrickej energie. Taktiež experiment preukázal, že je možné meranie procesu v reálnom čase.

Experiment 2 demonštruje návrh vykurovacieho subsystému pomocou genetického algoritmu. Pri kritériu najmenších rozmerov (fitness podľa 1.2) je nájdené riešenie kompaktnjšie na úkor tepelnej pohody (v porovnaní s reálnym riešením).

Na záver môžeme s istotou konštatovať, že zvolený prístup (procedúra genetického algoritmu s využitím preporenia softvérových zvolených prostriedkov) je schopný kvalitne navrhnuť systém vykurovania rodinného domu pri splnení predpísaného kritéria komfortu ako aj efektívne zhodnotiť energetickú náročnosť rôznych riešení osvetlenia objektu, preto je jasné, že SW podpora je dnes už neoddeliteľnou súčasťou pri procese návrhu IB.

Ing. Alexandra Šlezárová,
Doc. Ing. Igor Hantuch, PhD.,
Ing. Stanislav Števo
FEI STU v Bratislave

Literatúra:

- [1] Budiaková M.: *Energeticky úsporné budovy, A-Projekt, 2003, Bratislava*
- [2] Foltin. M.: *Matlab, www.spoterus.sk, 2009, ISSN 1338-0087*
- [3] Sekaj I., *Evolučné výpočty a ich využitie v praxi, IRIS, 2005, Bratislava*
- [4] Števo S.: *Catia V5, www.spoterus.sk, 2009, ISSN 1338-0087*
- [5] Comsol: *FEMLAB 3, Heat Transfer Module, Model Library, Comsol AB., 2004*
- [6] Radiátory KORAD,
<http://www.uskorad.sk/>