

HVAC – smrtiaca zbraň

Simulácia šírenia kontaminantu v prostredí ContamV3

Systémy HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning – vykurovania, ventilácie a chladenia) majú zabezpečiť príjemné prostredie vnútorných priestorov, t. j. primeranú teplotu a kvalitu vzduchu. Systém vzduchotechniky sa však môže za pár sekúnd stať nebezpečnou zbraňou. Smrtiaca látka vložená do časti vzduchotechniky sa jednoducho distribuuje do celej budovy a následky tohto rozptýlenia môžu byť smrteľné pre všetkých užívateľov budovy. Je preto evidentné, že zneužitie systému vzduchotechniky predstavuje veľmi nebezpečnú hrozbu budov.

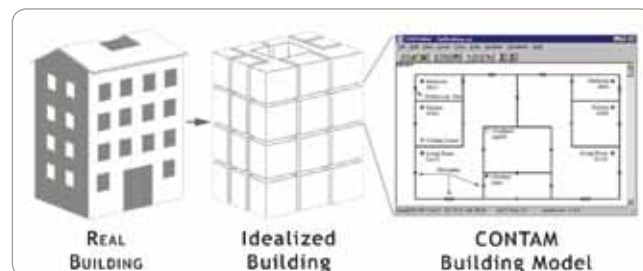
Vnútri budov trávime až deväťdesiat percent svojho života. Preto nám musí záležať na tom, aby budova pôsobila priaznivo na našu fyzickú i psychickú pohodu. Málo svetla môže prispieť k vzniku depresí, nedostatočná výmena vzduchu spôsobuje vznik a množenie alergénnych či dráždivých látok spôsobujúcich problémy s dýchaním. Vzťah k bývaniu odráža náš vzťah k sebe samému, ako aj vzťah k prírode. V prípade systému HVAC je preto dôležité, aby sa dosiahla predpísaná kvalita vnútorného prostredia vzduchu. Existuje mnoho simulačných softvérov na modelovanie subsystému HVAC, ktoré umožňujú overenie vlastností navrhovaného systému a vytvorenie scenárov a algoritmov riadenia podľa výsledkov simulácií. Rovnako nám umožňujú simulovať tok a rozptyl rôznych plyných látok v budove.

ContamV3

Contam je simulačný nástroj používaný na analýzu teploty a prúdenia vzduchu vo viacerých zónach alebo v komplexe budov. Sleduje koncentráciu a šírenie kontaminantu v budove, napr. CO₂

v závislosti od pohybu osôb v budove. Contam pozostáva z dvoch komponentov: zo samotného GUI a z prostriedku na simuláciu. V GUI sa dá pomocou mnohých nástrojov reprezentovať dispozícia budovy. Do budovy potom možno zakresliť potrubia a jednoduché vedenie riadiaceho systému. Rovnako možno vytvoriť ikony reprezentujúce cesty prúdenia, odpad, ale aj obyvateľov.

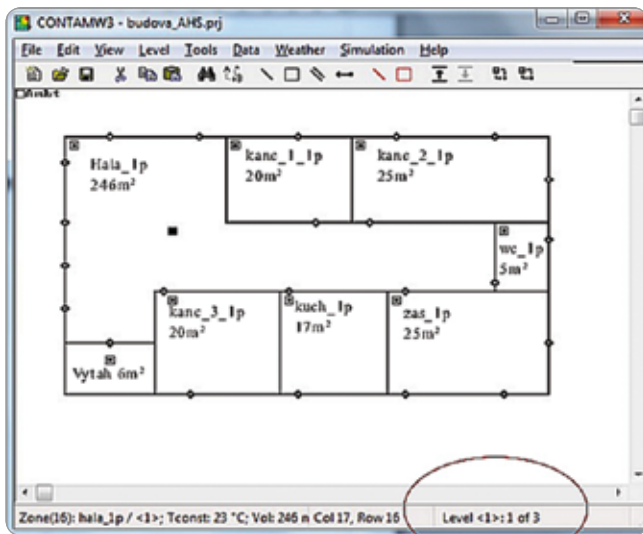
Princíp tvorenia projektu vidno na obr. 1.



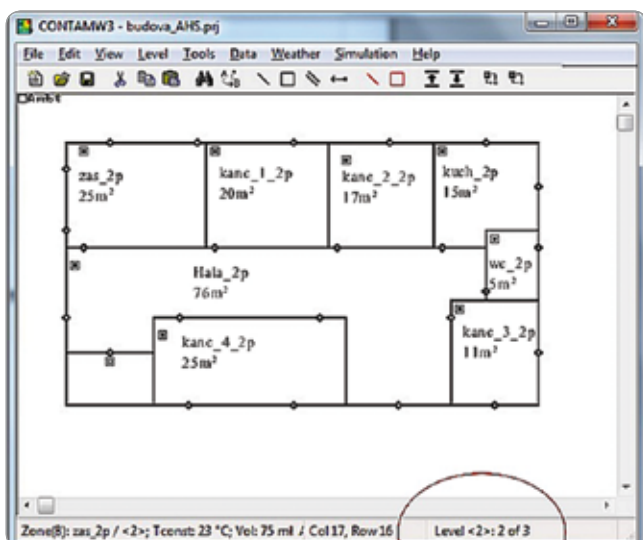
Obr. 1 Proces tvorby modelu pre ContamV3

Návrh budovy

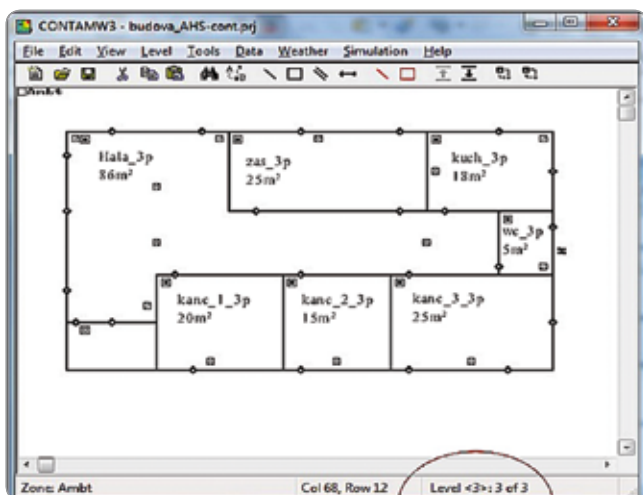
Predpokladajme trojposchodovú budovu, kde má každé z podlaží rozlohu 200 m². V budove sídlia tri firmy, každá na jednom poschodí. Na každom z poschodí sa nachádzajú kancelárie, kúpeľňa s WC, zasadačka a kuchynka, pričom hala je dostatočne veľká na posekanie alebo recepciu. (Tento koncept je s miernymi modifikáciami prebraný z reálne fungujúcej dispozície budovy.)



Obr. 2 Prvé poschodie budovy



Obr. 3 Druhé poschodie budovy



Obr. 4 Tretie poschodie budovy

V dolných rohoch obrázkov budovy je vyznačené poschodie. Každá z miestností (zón) má svoje meno a rozlohu. Názvy miestností súvisia s ich využívaním a poschodím, na ktorom sa nachádzajú. V budove boli použité okná a dvere z knižnice ASHRAELA. Vybrané modely najlepšie reprezentujú reálne hodnoty (hodnoty škárových prievzdušností a pod.).

AHS

AHS je skratka pre Air-Handling systém, čiže vetrací systém. Zvolili sme rovnotlakový model, to znamená, že odsávame rovnaký objem, ako privádzame, keďže budova v tomto projekte má celkový objem cca 1 800 m³ (3 x 3 m x 200 m²). Intenzitu výmeny vzduchu sme zvolili 0,5/h, čo predstavuje prietok vzduchu budovou 900 m³/h a tomu zodpovedá prietok 1,8 m³/h na 1 m² pri rozlohe vetranej časti cca 500 m². Prepočtom závislosti prietoku na m² sa vyhneme možným komplikáciám s nedostatočnou dodávkou čerstvého vzduchu do obývaných miestností, nakoľko rozloha miestnosti obmedzuje možný počet osôb v miestnosti. Filtrovanie vzduchu pomocou filtrov môžeme nastaviť v AHS jednotke aj v jednotlivých prívodoch a odvodoch vzduchu. Zvolili sme prečisťovanie v AHS jednotke, a to dvomi filtrami. Pre čerstvý vzduch citlivejší, označený KB_MERV-6, a pre recyklovaný priepustnejší, KB_MERV-3. Filtre sú ďalšie z prvkov a možností knižnice Contamu.

Každému z použitých AHS v projekte treba nastaviť plán funkčnosti. V našom projekte bolo vytvorených niekoľko variantov a na sledovanie rôznych šírení kontaminantu. Do každej vetranej miestnosti bola umiestnená buď prívodná jednotka SUPPLY (kancelárie, hala, zasadačka), alebo odvodová jednotka RETURN (wc, hala), alebo oboje (kuchynka). V miestnostiach ako kancelárie a pod. sa použitím len prívodných jednotiek zabezpečilo neprenikanie pachov z okolitých priestorov, pričom rozdiely v tlaku sa vyrovnávajú pomocou netesností dvier a okien. Presne opačný princíp je použitý v kúpeľni s wc, kde sa odsávaním zabráni šíreniu odoru von z miestnosti.

Keďže ide o zjednodušený model, netreba si predstaviť prívody a odvody ako regulárne klimatizačné jednotky. Touto formou môžeme reprezentovať napríklad aj model, v ktorom je použitá jedna centrálna klimatizačná jednotka vháňajúca potrebný objem vzduchu do potrubia v budove. Týmto potrubím sa potom vzduch rozvádza do jednotlivých miestností, kde je vo výstúpkách regulovaný podľa objemového prietoku vzduchu. Použitím klapiiek bez ventilátorov na reguláciu prietoku sa zníži hlučnosť aj finančná náročnosť systému.

Kontaminant

Ako kontaminant bol vybraný fosgén. Plyný fosgén je vysoko toxická chemická látka, ktorá sa používala ako chemická zbraň počas prvej svetovej vojny. Jeho toxicita spočíva v tom, že alkyluje biomolekuly obsahujúce sulfhydrylové a aminové funkčné skupiny (napríklad proteíny, lipoproteíny a enzýmy), čím narušuje bunkové membrány, čo sa po inhalácii fosgénu prejavuje obvykle pomaly, po latencii 2 – 48 (!) hodín toxickým opuchom pľúc. V koncentrácii viac ako 0,01 mg. min. l⁻¹ (2,45 ppm) spôsobuje podráždenie očí a dýchacích ciest, hodnota Lct50 (pravdepodobné usmrtenie 50 % populácie vystavenej kontaminantu) sa udáva okolo 3,2 mg. min. l⁻¹ (777 ppm).

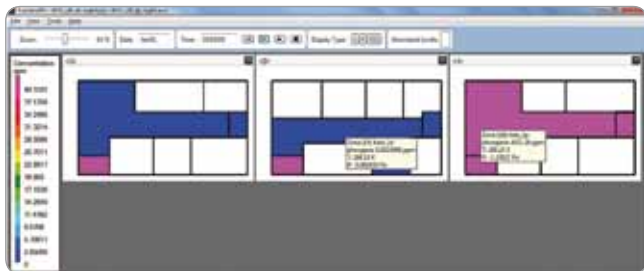
V našom prípade ide o jednorazové uvoľnenie 5 kg tohto plynu. Toto množstvo predstavuje približne 1,177 m³ = 1 177 litrov tohto plynu, čo je značne veľké množstvo. Výbuch bomby so stlačeným plynom znamená reálnu možnosť kontaminácie vzduchotechniky a pri takomto množstve kontaminantu budú namerané hodnoty lepšie merateľné.

Simulácia

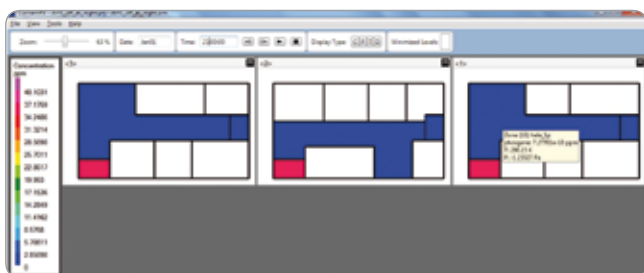
Dynamické výsledky simulácie sú viditeľné cez Contam Result Viewer, kde možno sledovať postupné šírenie kontaminantu po budove. V prvom modeli bolo AHS navrhnuté s výmenou vzduchu len počas prevádzky (6:30 – 20:30) a čiastočne mimo nej, pričom v nočných hodinách sa AHS vypne úplne. Na obr. 5 vidieť, že koncentrácia fosgénu na 1. poschodí je veľmi vysoká, nakoľko už 777 ppm je smrteľná koncentrácia. Na druhom poschodí je

koncentrácia 0,0323 ppm, t. j. pod hranicou vplyvu na ľudský organizmus (2,45 ppm). V tomto prípade by nastala okamžitá smrť všetkých, ktorí by sa v čase výbuchu nachádzali v hale na 1. poschodí. Vetracie priestory, ako je kancelária, zasadačka a kuchynka, je navrhnuté tak, aby sa kontaminant do týchto priestorov nedostal. Ďalší nedostatok je viditeľný v rámci zle navrhutej výťahovej šachty (môže predstavovať aj schodisko). Na tieto priestory sa často zabúda a pritom sa v nich kontaminant zdržuje najdlhšie, pretože sa odvetrá len prirodzenou cestou.

O 21:00 (obr. 6) je koncentrácia v obytných priestoroch na hodnotách neohrožujúcich život, avšak po vypnutí AHS počas noci sa koncentrácia opäť zvýšila v dôsledku prirodzeného vetrania šachty, kde je kontaminant nahromadený, čím sa následne zamorí celá budova.



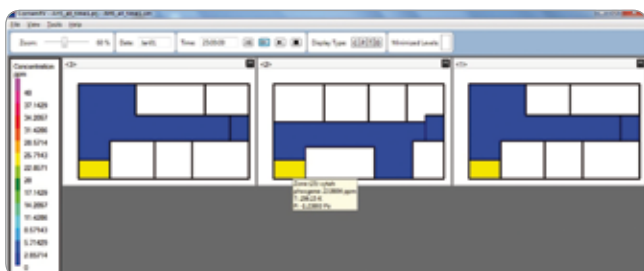
Obr. 5 Koncentrácia fosgénu po výbuchu



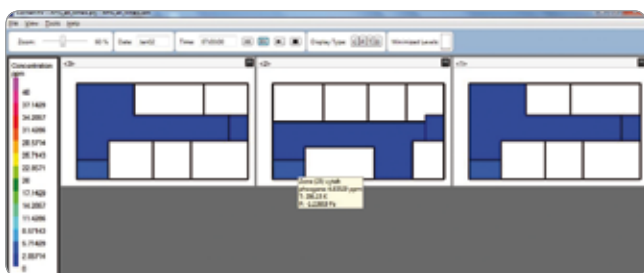
Obr. 6 Koncentrácia fosgénu 12 hodín po výbuchu – 1. model

V druhom prípade sme počas noci AHS nevypli úplne, ale znížilo sa množstvo privádzaného čerstvého vzduchu. Mimo prevádzky sa teda vymieňa vzduch len čiastočne, čím sa urýchlil proces odvetrania kontaminantu. Celkovo to však nemá veľký význam, pretože kontaminant sa i tak rozšíri do celej budovy.

Podľa výsledkov z predchádzajúcich simulácií bol navrhnutý tretí systém AHS, kde sa vymieňa vzduch neustále a v plnom objeme (pri maximálnom výkone).



Obr. 7 Koncentrácia fosgénu 14 hodín po výbuchu – 2. model



Obr. 8 Koncentrácia fosgénu 22 hodín po výbuchu – 3. model

Touto formou sme zabezpečili, že nedôjde k neželanému rozšíreniu kontaminantu počas noci. Namiesto toho systém pracuje bez prestávky, čím sa počas noci zníži koncentrácia fosgénu na bezpečné hodnoty v celej budove. Už na druhý deň je budova kompletne plne obývateľná bez potreby ďalších obmedzení.

Využitie simulačných výsledkov

Využitím simulačných nástrojov pri návrhu vetracích systémov predídeme možným komplikáciám vo funkčnosti budúceho systému, optimalizujeme prietok jednotlivých vetracích zariadení a výstiek. Po dokončení úplnej verzie programu ContamV3 bude mať tento program mnoho foriem využitia pri návrhu HVAC a AHS systémov vrátane možnosti implementácie senzorickeho systému vhodného umiestnenia prvkov HVAC a AHS až po ich nadimenzovanie a zadefinovanie čo najlepších vlastností. V prípade návrhu AHS pre budovu v stave plánovania možno túto stavbu na základe výsledkov simulácií prispôbiť tak, aby sa v čo najväčšej miere zefektívnila jej prevádzka a zvýšila kvalita vnútorného prostredia vzduchu a v neposlednom rade aj bezpečnosť voči zneužitiu AHS.

Zistenia, ku ktorým dospejeme počas simulácie, sú základným kameňom pri návrhu riadenia vetracích systémov. Vieme prednastaviť správanie systému pri nečakaných udalostiach a vytvoriť tak viacero scenárov prevádzky.

Záver

Výsledkom prezentovaného experimentu je funkčný model, na ktorom možno sledovať správanie AHS a šírenie rôznych objemov kontaminantu budovou. Takéto modely nám umožňujú ľahšie rozhodovanie pri vytváraní reálnych systémov aj pri voľbe ich prevádzky v rôznych nečakaných situáciách. Za opodstatnené riešenie sa určite nepovažuje nepretržitý chod AHS, ale regulácia jeho chodu vzhľadom na využitie budovy. V čase, keď sa v budove nikto nenachádza, je zbytočné a finančne nákladné budovu vetrať, podľa čoho bol navrhnutý prvý model. Avšak v prípade nebezpečenstva (kontaminácie) bolo zistené, že najvhodnejším riešením je tretí model (maximálny výkon AHS). Preto je vhodné každý AHS doplniť o senzorický systém, ktorý po detekcii nebezpečných látok v ovzduší prepne medzi prvým a tretím scenárom, čo z hľadiska funkčnosti znamená nepretržité vetranie len v prípade núdze.

Literatúra

- [1] SZÉKYOVÁ, M. – FERSTL, K. – NOVÝ, R. 2004. Vetracie a klimatizácia. Bratislava: Jaga group 2004. 422 s. ISBN 80-8076-000-4.
- [2] Klimatizačné zariadenia. Dostupné na internete: <<http://www.efilip.sk/default.aspx?contentID=1280>>.
- [3] Phosgene. Aktualizované 3. 5. 2011. Dostupné na internete: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Phosgene>>.

Ing. Stanislav Števo, PhD.

stanislav.stevo@stuba.sk

Bc. Mosná Veronika

mosna.veronika@gmail.com

Slovenská technická univerzita v Bratislave

Fakulta elektrotechniky a informatiky