

Návrh a kontrola teplovzdušného vytápění a větrání filmového studia

The air heating and ventilation of film studio

Ing. Tomáš ŠPIREK,
Ing. Jan SCHWARZER
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav
techniky prostředí

Príspevok sa zabyvá analýzou stavu prostredia za promenných provozních podmínek a řešením teplotních a rychlostních polí ve filmovém atelieru při použití teplovzdušného vytápění a větrání. Energetické simulace sloužily k ověření teploty vnitřního vzduchu v pobytovém pásmu osob; pro vyšetření stratifikace teplotních a rychlostních polí byla použita numerická metoda CFD.

Klíčová slova: přerušované vytápění, počítačová simulace, filmový atelier

Recenzent
Ing. Václav Šimánek

The paper deals with the analysis of indoor environment in unstable conditions and with the temperatures and velocities fields in film studio by using of the air heating and ventilation. The energy simulations were used for verification of indoor air temperature distribution in occupancy zone; for investigation of the temperature stratification and velocities fields was applied numerical method CFD.

Key words: discontinue heating, computer simulation, film studio

Při návrhu vytápění a větrání ve filmovém studiu se projektant setká s mnoha nezvyklými požadavky a potřebami, které musí jeho navržené zařízení splnit. Jsou to například časté provozní změny a proměnné vnitřní podmínky (natáčecí scény mají odlišné požadavky na vnitřní prostředí).

Při vlastním návrhu úpravy stavu prostředí v atelieru dospěl projektant k rozhodnutí, že náročné podmínky provozu (nedostatek prostoru – umístění osvětlovací a kamerové techniky, možnost výskytu překážek – kulisy) může splnit teplovzdušné vytápění a větrání. V atelieru byly navrženy dva vzduchotechnické systémy, z části vzájemně propojené.

Projektovaný objekt filmového studia je bezokenní, vnitřní prostor je rozdělen demontovatelnými příčkami na tři ateliery. Atelier A má půdorysnou plochu 30 000 m², ateliery B a C mají každý půdorysnou plochu 15 000 m².

V zimním období se teplý vzduch přivádí vertikálně pod stropem umístěnými anemostaty fy. Trox typ VDR 800 (obr. 1 – zařízení č. 1). Vzduch je odváděn mířkovými výstřiky umístěnými pod stropem (obr. 1 – zařízení č. 3).

V letním období se přivádí tepelně neupravený venkovní vzduch vertikálními kanály v obvodových stěnách (obr. 2), kde vstupuje do pobytového pásma osob. Vzduch se odvádí výstřiky pod stropem, zařízení č. 2 (obr. 1). Při potřebě zvýšené intenzity větrání (natáčecí scény s použitím dýmu atd.) se zapíná zařízení č. 3. Toto řešení umožní podstatně zvýšit intenzitu větrání oproti zimnímu provozu. Shodně byla navržena VZT zařízení v atelieru B a C.

Při skutečném provozu filmového atelieru se střídají natáčecí sekvence (vzduchotechnika je z hlukových důvodů vypnuta) s přestávkami v natáčení (vzduchotechniku lze zapnout).

Pro teoretický výpočet větrání a vytápění pro zimní období byla stanovena denní tepelná ztráta objektu prostupem 346 kW a nuceným větráním 333 kW při výpočtových podmínkách $t_i = 18\text{ °C}$, $t_{ev} = -15\text{ °C}$.

Vnitřní tepelné zisky jsou řádově shodné s tepelnou ztrátou větráním, ale jejich rozložení po ploše objektu je silně závislé na vnitřním provozu. Instalovaný výkon osvětlovací techniky je $Q_{osvět} = 1\text{ MW}$; pro výpočet se uvažuje součinitel současnosti používání světel 0,3.

Všechny tři ateliery mají stejný provozní režim. Vnitřní příčky mezi ateliéry jsou demontovatelné a tak vzniká prostor pro variantní využívání prostoru objektu ateliérů.

Ateliery budou provozovány celoročně. Ateliery A, B, C budou pronajímány společně nebo samostatně dle požadavků nájemců. A denní režim je rozdělen na 24 hodin, každá hodina je rozdělena na dva třicetiminutové úseky.

Časový úsek 1 – natáčecí čas, vzduchotechnická zařízení nejsou v provozu (nesmí být překročena hladina akustického tlaku A 25 dB).

Časový úsek 2 – čas na vytápění nebo na odvod tepelné zátěže, vzduchotechnická zařízení jsou v provozu.

Každý objekt má samostatné vzduchotechnické zařízení, které je navrženo na podmínky samostatného i společného provozu.

Požadovaná teplota vnitřního vzduchu je v topné sezóně $t_i = 18\text{ °C}$. Pro výpočet tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 se uvažovala oblastní teplota $t_e = -15\text{ °C}$. Atelier A je navrhován na pobyt 300 osob, ateliery B, C na pobyt 150 osob/atelier (navržené větrání venkovním vzduchem vyhovuje hygienickým požadavkům).

Pro výpočet letního provozu platí podmínka, že teplota vzduchu v pracovní oblasti uvnitř atelieru nesmí přesáhnout teplotu venkovního vzduchu o více než 5 K.

Při výpočtu (klasickou) denostupňovou metodou byla spotřeba tepla stanovena na hodnotu **9,2.10⁵ MJ za rok**. Výpočet spotřeby tepla s využitím tepelné kapacity objektu (software ESP-r) poskytl hodnotu **8,3.10⁵ MJ za rok**.

Z pracovního režimu vyplývá, že v době vytápění (časový úsek 2) se akumuluje teplo do stěn. Jako akumulační hmota se uvažuje podlaha (těžká stěna) stěny objektu a strop (středně těžké stěny).

Konstrukce podlahy je dána specifickou úlohou stavby – filmový atelier. První vrstva podlahy je tvořena dlažbou z dřevěných špalků o tloušťce 20 cm. Tato konstrukce umožňuje opětovné ukotvení kulís do podlahy. Pod špalkovou dlažbou je betonový základ.

CÍLE ŘEŠENÍ

- ❑ V simulačním software ESP-r posoudit změny stavu prostředí při různých provozních situacích (zátáp, chladnutí prostoru při přerušovaném vytápění, změna teploty v hale při dlouhodobém přerušování vytápění, aj.).
- ❑ V simulačním software Fluent posoudit rozložení teploty a rychlosti proudění vzduchu v ateliéru.

SIMULACE V PROGRAMU ESP-r

Řešili jsme pět samostatných simulací v programu ESP-r. Každá simulace popisovala jiný provozní stav. Cílem energetických simulací bylo popsat reálné chování celé budovy během průběhu roku.

V ESP-r byl vytvořen zjednodušený třírozměrný model budovy (obr. 3) a definovány vlastnosti stěn: složení stěn, součinitel tepelné vodivosti použitých materiálů, měrná tepelná kapacita, hustota materiálu. Simulován byl stav při propojení všech ateliérů (příčky mezi ateliéry A a B, B a C jsou demontovány).

Simulace číslo 1

Modelování celoročního průběhu teploty vnitřního vzduchu, bez uvažování vnitřních zdrojů tepla (zisků od lidí, světel) a bez vytápění. Jedná se o stav, kdy se ateliéry dlouhodobě neprovozují.

Z průběhu teploty vnitřního vzduchu vyplývá, že i při dlouhodobých nízkých venkovních teplotách hala vychladne pouze na teplotu $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a to i v době, kdy se teplota venkovního vzduchu pohybuje pod hodnotu $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dle referenčního klimatického roku).

Simulace číslo 2

Modelování celoročního průběhu teploty vnitřního vzduchu s uvažováním vnitřních zdrojů, tzn. zisky od 600 osob a světel, bez vytápění, s dodávkami hygienického minima vzduchu pro osoby.

Výsledek simulace je znázorněn na obr. 5. Na grafu je zřejmý posun teplot vnitřního vzduchu k vyšším hodnotám (proti simulaci č. 1) a tedy i nárůst dnů, kdy nemusíme vytápět. Tepelné ztráty jsou hrazeny vnitřními zisky. V letním období (oproti simulaci č. 1) se teplota vnitřního vzduchu značně zvyšuje.

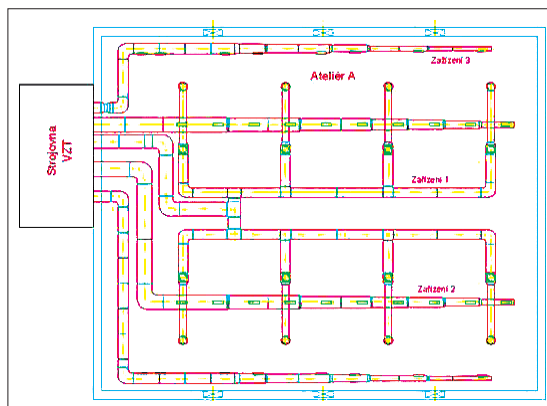
Simulace číslo 3

Tato simulace měla ověřit zda zvolený provozní režim splní provozní podmínku, dle které vnitřní teplota vzduchu při zimním extrému nepoklesne při zvoleném pracovním režimu o 2 K, tzn. rozdíl teplot při časovém úseku 1 – natáčecí čas a při časovém úseku 2 – čas na vytápění nebude činit **více než 2 K**. Tuto podmínku definoval investor po diskuzi s projektantem jako potřebnou pro zachování tepelné pohody.

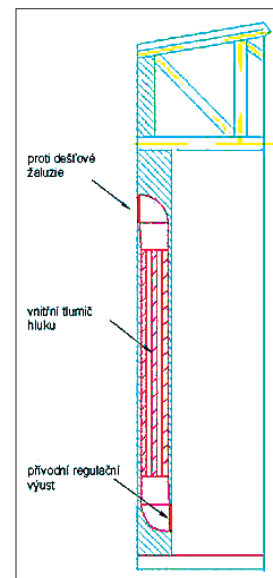
Simulováno bylo 6. února v nejmraznější den roku (dle referenčního klimatického roku). Graf na obr. 6 ukazuje, že předpoklad byl splněn – kolísání teploty vnitřního vzduchu při přerušovaném vytápění není vyšší než 2 K.

Simulace číslo č. 4

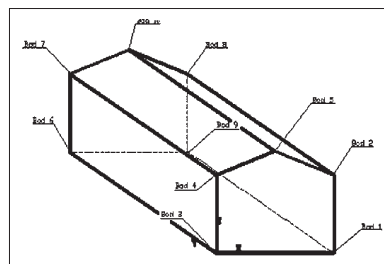
Simulace poskytla informaci za jak dlouho bude objekt vytopen při extrémně nevhodných podmínkách: objekt není až do 5. února vytápěn, vytápět se začne od 6. února. Z obr. číslo 7 vyplývá, že vyhřátí haly na konstantní teplotu



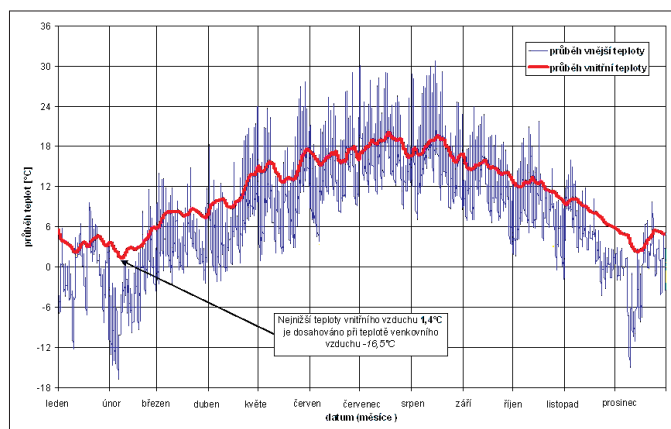
Obr. 1 – VZT zařízení v ateliéru A



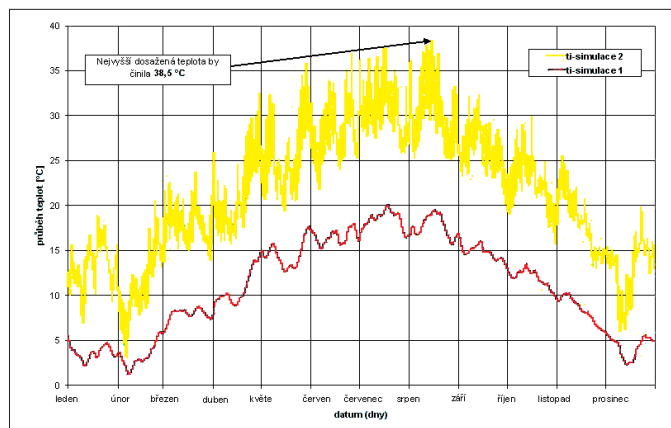
Obr. 2 – Schéma přívodu vzduchu v letním období



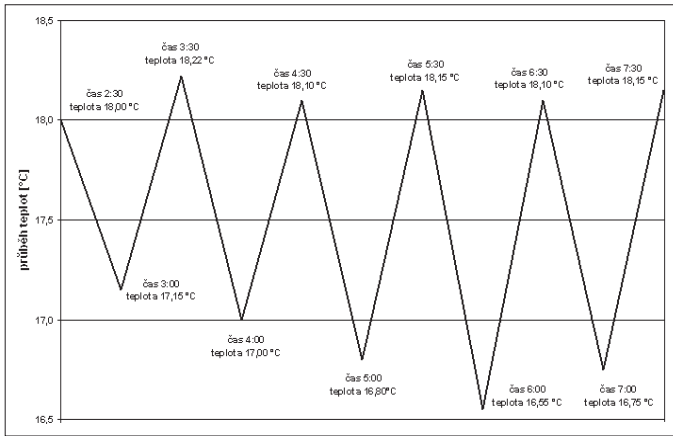
Obr. 3 – Třírozměrný model objektu v ESP-r



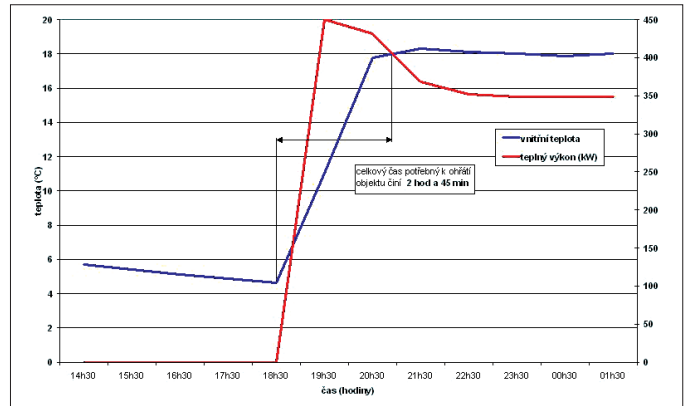
Obr. 4 – Simulace 1 – Průběh teploty vnitřního vzduchu, bez uvažování vnitřních zdrojů tepla a vytápění



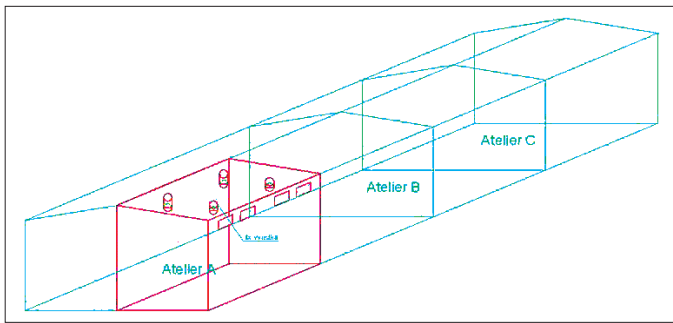
Obr. 5 – Průběh teploty vnitřního vzduchu, s uvažováním vnitřních tepelných zisků, bez vytápění



Obr. 6 – Simulace 3 – Průběh teploty vnitřního vzduchu při přerušovaném vytápění



Obr. 7 – Simulace 4 – Průběh teploty vnitřního a venkovního vzduchu při vytápění haly po dlouhodobé odstavce



Obr. 8 – Poloha modelu v objektu

18 °C trvá 2 hodiny a 45 minut při maximálním výkonu VZT jednotek a při 100% cirkulaci přiváděného teplého vzduchu.

SIMULACE V PROGRAMU FLUENT

Příklad byl řešen simulačním programem Fluent. Snahou simulace bylo popsat teplotní a rychlostní pole, která vznikne při teplovzdušném vytápění. Protože celý objekt je geometricky podobný, řešila se pouze reprezentativní část atelieru A, viz obr. 8.

Atelier A má půdorysné rozměry 42 x 96 m a výšku 18,1 m. Doba výpočtu simulačním programem byla zkrácena využitím geometrické podobnosti sledovaného prostoru. Střední podélná vertikální rovina v hale je rovinou souměrnosti, lze proto uvažovat jenom jednu vymezenou část viz obr. 9.

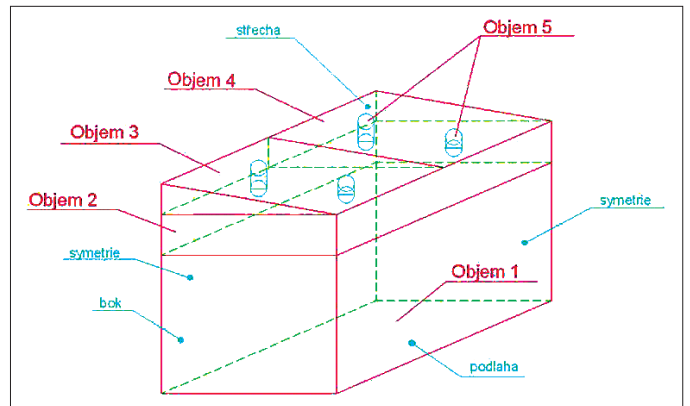
Pro atelier A byla vypočtena tepelná ztráta 129 kW, pro dodávku tepla trvajících pouze 0,5 h (časový úsek 2 – čas na vytápění) se počítalo s dvojnásobnou hodnotou. Objemový průtok vzduchu 15,4 m³/s byl stanoven pro pokrytí tepelné ztráty přiváděným vzduchem o zvolené teplotě 33 °C. Celkový počet použitých přírodních výustí v atelieru A byl 16. Protože se jedná o rovnotlaké větrání, respektive vytápění, tak platí rovnost pro přívod a odvod vzduchu.

Rozměry modelu jsou šířka 21 m, hloubka 24,25 m, výška od 14,5 do 18,1 m. Objem modelu je 1/2 objemu atelieru A.

Objem modelu je rozdělen na dílčí objemy zasíťované hexagonální sítí. V modelu jsou umístěny 4 přírodní výustě fy Trox typ VDR 800.

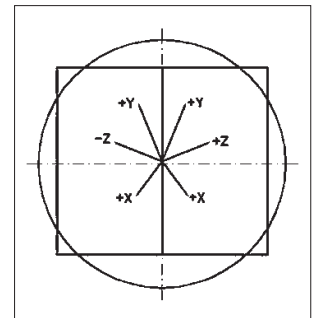
Plocha kruhového anemostatu je nahrazena plochou čtvercovou tak jak to ukazuje obr. 10. Náhrada umožnila zkrátit čas výpočtu.

Plocha anemostatu byla zachována S = 0,348 m² a je rozdělena na dvě stejné části, na pravou a levou část. Výtoková rychlost vzduchu z anemostatu činila

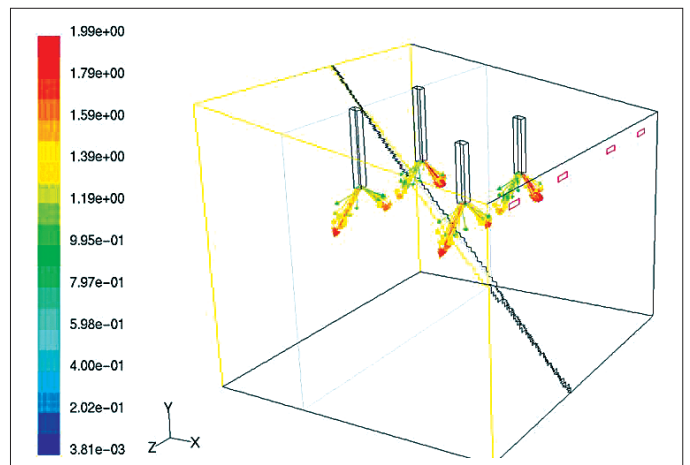


Obr. 9 – Model objektu v programu Fluentu

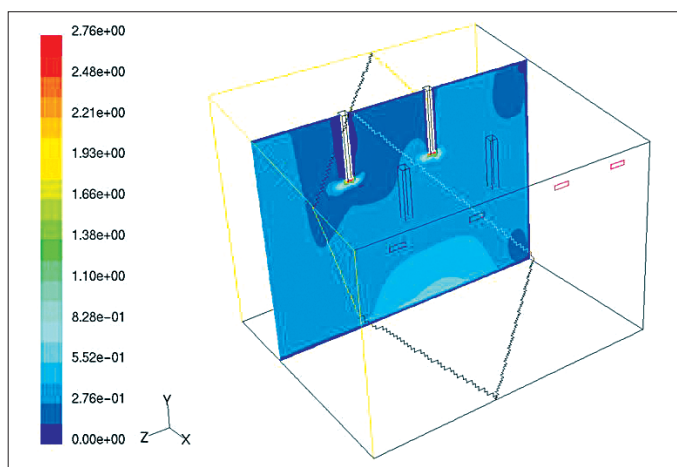
2,76 m/s a musela být rozdělena do směru x, y, z. Rozdělení rychlostí do směru vycházelo z požadavku nastavit úhel mezi naváděcími lopatkami anemostatu a vodorovnou rovinou na hodnotu 30°.



Obr. 10 – Náhrada kruhové plochy za čtvercovou plochu



Obr. 11 – Vektory rychlostí vzduchu proudícího z anemostatů



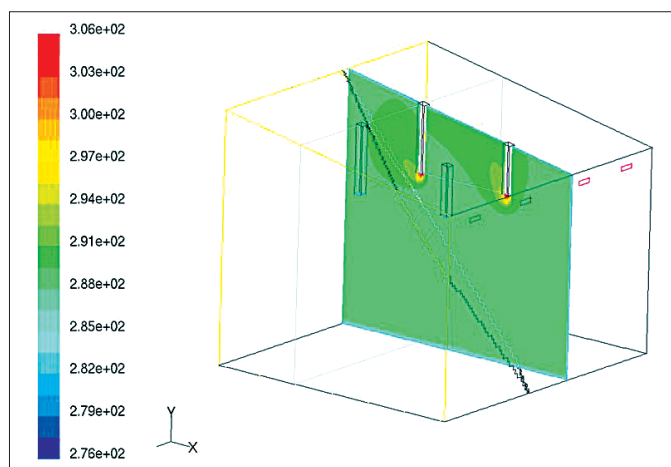
Obr. 12 – Rozložení rychlosti vzduchu v objektu (podélný řez veden v ose anemostatu)

telem přestupu tepla na vnější straně $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$, vnější teplotou $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, tloušťkou stěny $\delta = 0,15 \text{ m}$ a ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti materiálu $\lambda = 0,177 \text{ W/mK}$. Podlaha je definována povrchovou teplotou $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vnitřní stěny jsou charakterizovány tím, že podmínky za stěnou jsou shodné jako v navrhovaném modelu.

Příváděcí výustě jsou definovány složkovými rychlostmi vzduchu, odváděcí výustě jsou definovány pouze jako otvor.

Návrh teplovzdušného větrání a vytápění filmového studia se ukázal jako řešitelný problém, ověřování správné funkce vzduchotechnického systému proběhlo celkem ve dvou simulačních programech. Prvním výpočtem v programu ESP-r se podařilo namodelovat některé provozní stavy budovy a vzduchotechnického zařízení. Výpočtem v programu Fluent, bylo simulováno skutečné proudění v atelieru A a zjištěno rozložení teploty v pásmu pobytu osob.



Obr. 13 – Rozložení teplot vzduchu v atelieru A (podélný řez veden v ose anemostatu)

Teplota vnitřního vzduchu v kontrolním bodě 1,6 m nad podlahou vyšla $16,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Rychlosti proudění vnitřního vzduchu v pobytovém pásmu se pohybují od $0,01$ do $0,6 \text{ m/s}$.

Kontakt na autora: e-mail: spirek@centrum.cz

Téma bylo zpracováno v diplomové práci.

Použité zdroje:

- [1] Softwarové vybavení ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí – programy Fluent, ESP-r
- [2] ŠPÍREK, T.: *Návrh a kontrola teplovzdušného vytápění a větrání filmového studia*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 2002
- [3] Projektová dokumentace firmy C-KLIMA Praha s.r.o. ■

*** Olejové minivytápění**

Na veletrhu SHK v Essenu představil Institut pro hospodárné vytápění olejem (IWO) v Hamburku „nejmenší olejové vytápění na světě“. Je to skříňka 16 cm vysoká a hluboká a 50 cm dlouhá.

Zařízení bylo koncipováno pro použití v nízkoenergetických a pasivních domech, jako topný registr pro kontrolované větrání obytných místností se zpětným získáváním tepla.

Institut chce tímto způsobem představit alternativní vklad do vytápění místností v novostavbách s velmi malou potřebou tepla.

Exponát předvedený na veletrhu vychází ze stacionárního vytápění, používaného v automobilech. Topný registr o hmotnosti 4,5 kg pracuje ve čtyřech stupních mezi 1 a 4 kW. V kombinaci tohoto mini-olejového vytápění s běžnou centrální větrací jednotkou lze, kromě dodatečné úspory energie, dosáhnout optimálního komfortního větrání, tvrdí odborníci IWO.

Ve srovnání s elektrickým dotápěním vychází zde potřeba primární energie výrazně nižší. Tlumiče minimalizují vývin hluku před a za agregátem, jakož i při nasávání spalovacího vzduchu.

CCI 5/2004

(Ku)

*** Nové topné prvky Schniewindt**

K veletrhu AICHEM 2003 připravila firma C. Schniewindt nové topné prvky pro elektrické vytápění s novým těsněním GISO a pro vyšší hustoty výkonu, vybavené integrovaným termočlánekem.

Pro lepší utěsnění topných patron bylo použito nového způsobu těsnění GISO namísto stávajících silikonových těsnění proti vnikání vlhkosti a snižování izolačního odporu.

O podstatě těsnění GISO výrobce neuvádí bližší informace, jedná se však těsnicí materiál z vlastního vývoje, založený na nových keramických materiálech. Dalším zlepšením pro zvýšení životnosti je použití lepších typů nerezavějících ocelí s vyšší žárupevností a žáruvzdorností na pláště topných patron. Nové topné elementy o průměru 32 mm se nabízí ve dvou výkonech 15 a 25 kW s napětím 500 V pro lepší životnost.

Nové topné elementy mají vestavěný integrovaný termočlánek, jenž umožňuje přesnou regulaci výkonu a postižení vrstvy usazenin na jejich povrchu pro snížení výkonu, prevenci vzniku kritických míst a včasné očištění.

Použití nových plášťových trubek z materiálu s vyšší žárupevností umožnilo zvýšení hustoty výkonu z $5,6$ na $9,4 \text{ W/cm}^2$ přičemž nedochází ke kritickému přehřívání trubek, které teplotnosné médium není schopno odvést, s následkem propálení, krátkých spojení a nebezpečí požáru.

C. Schniewindt KG, Neuenrade, 2003.

(AB)