

Úsporné větrání tělocvičny



Ústav techniky prostředí

Economic Ventilation in Gymnasium

Recenzent
 Ing. Zdeněk Lerl

V souladu s ústředním tématem konference „Kvalitní prostředí minimálními energetickými nároky“ nabízím účastníkům informaci o realizovaném větrání tělocvičny Sokola Hanspaulka. Budova z roku 1941 byla po navrácení majetku sokolům v roce 1998 postupně revitalizována. O změně koksově kotelnou na plynovou a dosažených úsporách byly informace publikovány v [1]. Výměna rozpadajících se oken v roce 2006 za moderní těsná vyloučila možnost přirozeného větrání infiltrací venkovního vzduchu okenními spárkami. Otevírání oken v zimě není vhodné kvůli nebezpečí prochladnutí cvičenců, a proto bylo nainstalováno nucené větrání jednotkou se zpětným využitím tepla v odváděném vzduchu k ohřevu přiváděného čerstvého vzduchu.

Klíčová slova: ZTZ – zpětné získávání tepla, rotační regenerační výměník tepla

I offer the information concerning the implemented ventilation of the gymnasium in Sokol Hanspaulka to participants of the conference "Minimal Energy Demands for Quality Environment" in accordance with the central subject thereof. The building that was built in 1941 was revitalized step by step after the property restitution to Sokol in the year 1998. The information concerning the replacement of the coke boiler room with a gas boiler room, and savings achieved was published in [1]. The replacement of fragmenting windows with modern tight windows in the year 2006 excluded the possibility of the natural ventilation with the outside air infiltration through window slots. Opening windows in the winter period is not suitable because of the danger that gymnasts could get chilled. Therefore, the forced ventilation using the unit with the exhausting air heat recovery for heating the supplied fresh air was installed there.

Key Words: heat recovery (ZTZ in Czech), rotating regenerative heat exchanger

ÚVOD

Zvolený způsob větrání s rotačním regeneračním výměníkem umožňuje využití přes 80 % odpadního tepla. Vzduch přivádí textilní hadicová výústka vedená nad okny po celé délce tělocvičny. Přiváděný chladnější vzduch klesá k podlaze přirozenou konvekcí a větrá cvičební plochu, aniž nastane průvan.

Zvolené řešení bylo investičně únosné, dostupné s využitím grantu i méně movitým vlastníkům tělocvičny; celkový náklad byl 166 600 Kč. Využití zařízení v zimě přináší úspory tepla, jednotka nemá dohříváč, avšak deficit tepelného příkonu, který je cca 5 kW při venkovní teplotě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokryje snadno otopná soustava.

Větráný prostor

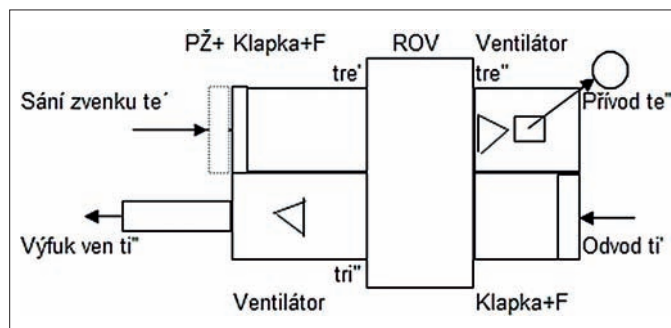
Tělocvična má půdorys $L \times B = 20 \times 7\text{ m}$, výšku $H = 7\text{ m}$ (plochu 140 m^2 , objem 980 m^3). K umístění jednotky byl zvolen prostor na balkonu s využitím okna k napojení na venkovní prostor (odpadlo neschůdné jednání se stavebním odborem MČ, který nepovoluje vstup fasádou). Prostor pro jednotku byl uzavřen lehkými příčkami se zabudováním přívodu vnitřního vzduchu k jednotce přes tlumič hluku.

Tělocvična je používána k aktivitám členů TJ Sokol Praha – Hanspaulka. Jednota má na 900 členů všech věkových kategorií. Nejvyšší obsazení je ženskými oddíly, maximálně 50 cvičenkami.

Větrací jednotka

V rámci výběrového řízení (realizace byla podpořena grantem Magistrátu hl. m. Prahy) byla sestavena technická specifikace pro poptávku. Požadována byla dodávka kompaktní větrací jednotky se ZTZ s parametry:

Vzduchový výkon $2000\text{ m}^3/\text{h}$ při externím přetlaku na straně větracího vzduchu 170 Pa , účinnost ZTZ min. 80 % v zimě, s protimrazovou ochranou, bez dohříváče, bez obtoku výměníku ZTZ, s filtry větracího i odváděného vzduchu. Možnost plynulé regulace průtoku vzduchu (čidlem CO_2 nebo kvality). Jednotka bude umístěna do stísněného prostoru, který je délkově omezen.



Obr. 1 Sestava jednotky – půdorys: přívod – protidešťová žaluzie, klapka, filtr, rotační regenerační výměník tepla, přiváděcí ventilátor napojený výfukem na textilní výústku; odvod vzduchu – klapka, filtr, rotační regenerační výměník, ventilátor, výfukový nástavec.

Byly obeslány firmy, které vyrábějí nebo dodávají VZT jednotky: ATREA, Multi-VAC, Elektrodesign Ventilátory, Janka, Alteko, CIC Jan Hřebec, VTS Clima a REMAK.

Struktura zkoumaných podmínek v nabídkách zahrnovala otázky: Cena – je kompletní? Je vč. DPH? – Kompletnost – Nabídka montáže – Vhodnost rozměrů pro prostor, který je k dispozici – Účinnost ZTZ – Externí tlak na přívodu – Hlučnost – Hmotnost.

Z výběrového řízení byla vybrána jednotka Janka – Lennox KLM 02 s rotorem citelného tepla KASTT, s hlavními parametry: průtoky $2000\text{ m}^3/\text{h}$ při dopravním tlaku ventilátorů 500 Pa , externím tlaku 170 Pa , filtry kapsovémi F5 s tlakovou ztrátou 164 Pa , v ceně $98\,500\text{ Kč}$ bez DPH. Cena byla nízká, protože projekt, dopravu, montáž, včetně elektroinstalace zajistili členové jednoty svépomocí. Od původního požadavku regulovatelnosti výkonu jsme odstoupili; rotor je možné zastavit v teplém období. Sestava jednotky je v obr. 1 a 2.

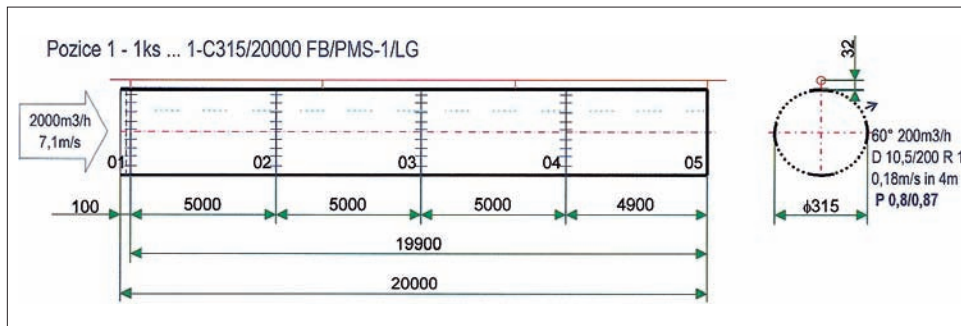
Ze sestavy jednotky vyplývá, že celý příkon motoru přiváděcího ventilátoru se využije na dohřev přiváděného vzduchu. Příkon motoru ventilátoru je dán jeho vzduchovým výkonem $V \cdot \Delta p$ a celkovou účinností $\eta = \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_p$ danou součinem účinností ventilátoru, motoru a převodu. Dohřev vzduchu prací ventilátoru



Obr. 2 Pohled na stranu jednotky pro odvod vzduchu



Obr. 3 Textilní vyústka je vedená nad okny (1,3 m od oken), přívod vzduchu je směřován šikmo vzhůru do prostoru



Obr. 4 Konstrukce použité textilní vyústky; mikroporovance v úhlu 60° ve směru 2. hodiny je doplněna otvory 10,5 mm ve skupinách po 5 (v délce 0,8 m s roztečí 0,87 m) k odklonění proudu ke středu tělocvičny. Vyústka je sestavena ze čtyř dílů spojených zipem.

V této účinnosti je zahrnuto ohřátí v rotoru a vyvolané příkonem motoru přívaděčného ventilátoru podle rovnice (2) o $\Delta t_v = 1,2$ K.

Mikroklimatické podmínky pro cvičící byly ověřeny měřením teploty, rychlosti a stupně turbulence v podélné a příčné ose tělocvičny podle obr. 5. Výsledky jsou v obr. 6 a 7.

$$\Delta t_v = \frac{\Delta p}{\eta \cdot \rho \cdot c_p} \quad [K]. \quad (2)$$

Odváděcí ventilátor byl umístěn za rotorem, aby se zamezilo přísávání odváděného vzduchu netěsnostmi v rotoru do vzduchu větracího [2]. Činnost jednotky byla ověřena měřením.

VÝSLEDKY OVĚŘENÍ FUNKCE

Vzduchový výkon byl stanoven měřením anemometrem na vstupech a výstupech jednotky. Větší tlaková ztráta na přívodu venkovního vzduchu (o potřebný tlak 170 Pa pro vzduchovod) ovlivnila nerovnoměrnost průtoků $V_p/V_o = 2290/2710 = 0,845$, která vytváří podmínky pro dobrou účinnost ZZT.

Průtoky jsou také ovlivněny stupněm zanesení filtrů prachem. Provozní zkušenost ukazuje na podstatně rychlejší zanesení filtru odváděného vzduchu než filtru venkovního. Je neuvěřitelné jak velký je úlet jemných vláken z oděvů. Odpor čistých filtrů (F5) 167 Pa se na konci použitelnosti zvyšuje na 300 Pa. Díky této skutečnosti je použití stejných výkonů obou ventilátorů opodstatněné.

Měření teplot uvnitř jednotky je problematické. Zejména za rotorem je teplotní pole nevyrovnané. Je možné dobře stanovit tepelnou účinnost celé jednotky z hodnot teplot na vstupu a na výstupu. Protože $C_i > C_e$, je menší z tepelných kapacit průtoků $C_{min} > C_e$, a účinnost jednotky je dána poměrem rozdílů teplot (obr. 1)

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_{max}} = \frac{Q_R + Q_v}{Q_{max}} = \frac{C_e(t''_e - t'_e)}{C_{min}(t'_i - t'_e)} = \frac{\Delta t_e}{\Delta t'} = 0,96. \quad (3)$$

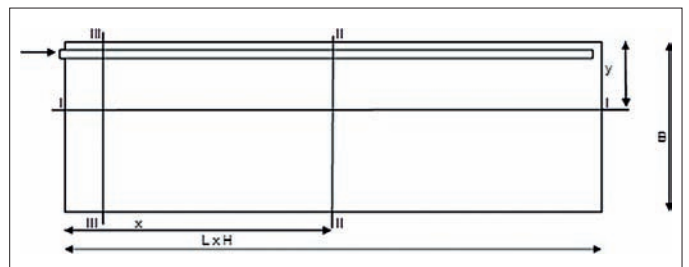
Průběh rychlostí v řezu III-III ukazuje na dominantní účinek přirozené konvekce na šíření proudu vzduchu v prostoru (max. rychlost ve vzdálenosti $y = 2,5$ m od oken). Teploty jsou téměř vyrovnané. Distribuce se blíží zaplavování, nedochází k míšení přiváděného vzduchu v celém prostoru.

Zobrazeny jsou také hodnoty PD stanovené podle modelu Fanger, rovnice (4). Průběhy křivek ukazují na vyrovnané teploty, poměrně malé, ale pocítované rychlosti a zanedbatelné nebezpečí průvanu. Příjemný vjem větrání je pocítován subjektivně čichem.

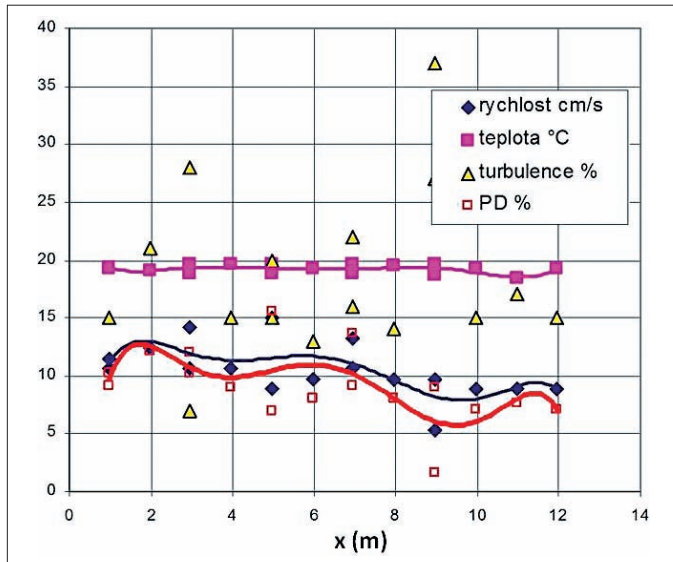
$$PD = DR = (34 - t) \cdot (v - 0,05) \cdot (0,37 \cdot Tu + 3,14) [\%]. \quad (4)$$

Dávka větracího vzduchu $2290/50 = 46 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$ je dostatečná, vzhledem k tomu, že početné cvičení trvá jen jednu hodinu.

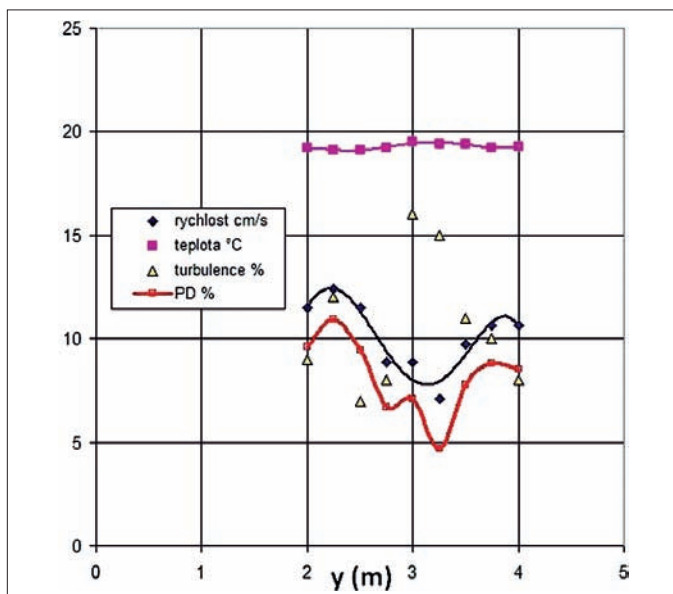
Hlučnost instalovaného zařízení byla kontrolována zvukoměrem s oktavovým filtrem A. Po vyzdění čelní stěny na balkoně byla v sále naměřena nejvyšší hodnota hladiny akustického tlaku $L_{pA} = 54$ dB. Přípustná maximální hodnota je $L_{pA \text{ max}} = 60$ dB (základní hodnota 40 + korekce 20 dB). Zařízení tedy vyhovovalo předpisům. Přesto však po zabudování jednotky do prostoru balkonu byla hlučnost hodnocena nepříznivě, zejména při cvičení žen, které končí relaxační částí, za doprovodu uklidňující hudby. Proto byla jednotka obestavěna také příčkou na balkoně a odváděný vzduch



Obr. 5 Půdorys tělocvičny s rovinami, ve kterých bylo zjišťováno mikroklima



Obr. 6 Měření podél tělocvičny v rovině I-I, od okna y=4 m, 1 m nad podlahou, $t_g=7,7\text{ }^\circ\text{C}$



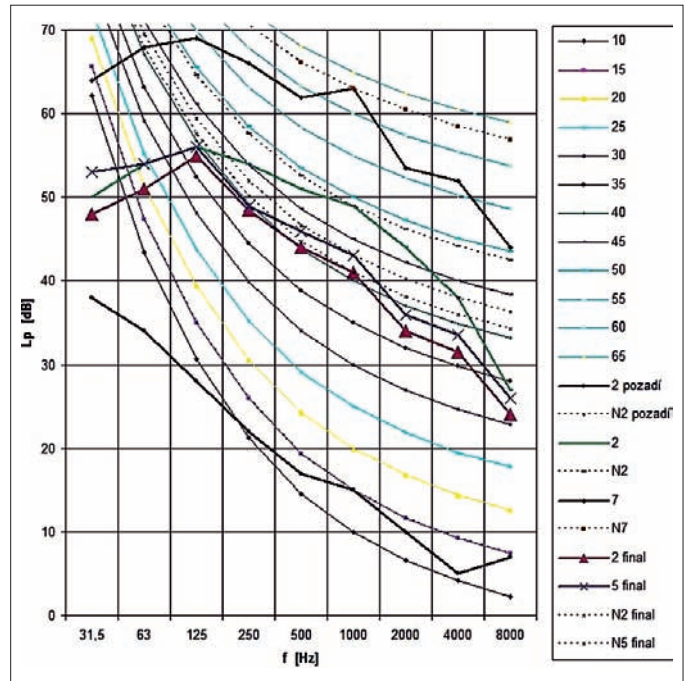
Obr. 7 Měření pod vyústkou, rovina III-III, kolmo k oknům, x=3 m od balkónu, 1 m nad podlahou, $t_g=7,7\text{ }^\circ\text{C}$

je k ní přiváděn přes tlumiče hluku. Finální naměřená hladina akustického tlaku $A L_{pA} = 49\text{ dB}$ je vyhovující. Tlumiče hluku byly navrženy tak, aby příliš nezatěžovaly tlakovou ztrátou ventilátor pro odvod vzduchu (vstup, tření, výstup – celkem 25 Pa). Tlumiče byly sestaveny ze čtyř paralelních hadic Sonodec 180 mm o délce 0,75 m.

Ovládání chodu jednotky je svedeno do prostoru tělocvičny a tlačítka jsou přístupná vedoucím cvičebních hodin. Přepínání větrání s rotorem v chodu a s vypnutým motorem je umožněno správcí objektu spínačem na rámu jednotky pod uzamčením na balkoně podle klimatických poměrů.

ZÁVĚR

Záměr instalovat nucené větrání, které je investičně únosné i pro méně movitého investora, a které bude provozně úsporné, se podařilo realizovat. Zkušenosti z tříletého provozu tyto závěry potvrzují. Výkonnost je při plném obsazení plochy tělocvičny na mezi přípustné hodnoty dávky větracího vzduchu na osobu. Díky využití přirozené konvekce bez směšování v celém objemu prostoru se dostává čistý venkovní vzduch, přiváděný textilní vyústkou, do dýchací zóny cvičenců.



Obr. 8 Hladiny akustického tlaku v oktávových pásmech, naměřené v místě II (1 m nad podlahou v sále ve vzdálenostech $x = 10\text{ m}$ a $y = 3,5\text{ m}$), $N = 49\text{ dB}$, hladina akustického tlaku $A L_{pA} = 54\text{ dB}$ při pozadí $N = 15$, $L_{pA} = 24\text{ dB}$. Vyneseno je také měření 1 m před středem jednotky – v místě 7 – s hodnotami $N = 63$, $L_{pA} = 68\text{ dB}$. Příznivý účinek příčky na balkoně, která uzavřela jednotku do komory, ukazuje měření v místě 2 final ($N = 41\text{ dB}$, $L_{pA} = 48\text{ dB}$). Největší hluk je uprostřed sálu 5 m od oken, v místě 5 final ($N = 43\text{ dB}$, $L_{pA} = 49\text{ dB}$).

Použité zdroje:

- [1] Hemzal, K., – Mareš, J., Zkušenosti z plynofikace kotelny. In: Vytápění, větrání, instalace. 2001, roč. 10, č. 1, s. 2–5. ISSN 1210–1389
- [2] Hemzal, K., Účinnost rotačních výměníků tepla ovlivněná netěsnostmi. In: Vytápění, větrání, instalace. 2006, roč. 15, č. 5, s. 228–232. ISSN 1210–1389.

Kontakt na autora: Karel.Hemzal@fs.cvut.cz

Seznam označení

c_p	měrná tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
t	teplota	[°C]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
V	objemový průtok	[m ³ .h ⁻¹ , m ³ .s ⁻¹]
v	rychlost	[m.s ⁻¹]
C	tepelná kapacita průtoku (= $\rho \cdot V \cdot c_p$)	[W.K ⁻¹]
Q	tepelný tok	[W]
B, H, L	rozměry tělocvičny (výška, šířka, délka)	[m]
θ	účinnost (regenerace tepla, jednotky)	[-]
η	účinnost mechanická	[-]
$PD = DR$	procento nespokojených v důsledky průvanu	[%]
Tu	stupeň turbulence	[%]
P	příkon motoru ventilátoru	[W]
L_{pA}	hladina akustického tlaku A	[dB]
x, y	souřadnice měřících míst v tělocvičně	[m]

Indexy označuj

e, i	vzduch venkovní (větrací), vnitřní (odváděný)
r	rotor
$'$, $''$	vstupní, výstupní stav (na rotoru, na jednotce)
j	jednotku
v	ventilátor
m	motor
p	převod (zde klínovým řemenem).