

Využitie solárnych vzduchových kolektorov pri vykurovaní a vetraní posluchárni TU v Košiciach

Peter Tauš, Radim Rybár, Marcela Taušová

Úvod

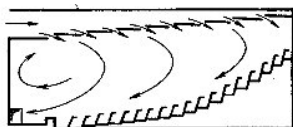
Vhodnou oblasťou využitia vzduchových kolektorov sú budovy vybavené vzduchotechnickými zariadeniami. V areáli TU v Košiciach je niekoľko objektov vybavených vzduchotechnikou, ktorá sa väčšinou využíva na vetranie veľkých posluchární. Použitie vzduchových kolektorov poskytuje viac možností hospodárneho využitia teplovzdušného vykurovania a vetrania posluchární v zimnom období, prípadne chladenia v letnom období. Vhodnými objektmi sú posluchárne P-24, P-25, P-26 v hlavnej budove a budova združených posluchární.

Vetranie zhromažďovacích miestností

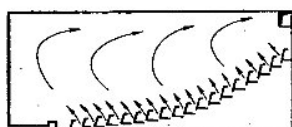
Prevádzkové priestory týchto budov sú charakteristické tým, že sa tu zhromažďuje značný počet ľudí na pomerne krátky čas. Do tejto skupiny patria divadlá, koncertné sály, kiná, posluchárne, športové haly, výstavníka, zasadacie miestnosti a pod. Vyznačujú sa tým, že hlavnú časť záťaže tvorí produkcia tepla a vlhkosti ľuďmi. Vonkajšia záťaž býva pomerne menšia. Zariadenia sa dimenzujú podľa maximálneho počtu osôb. Bežne sa privádza 30 až 50 m³.h⁻¹ čerstvého vzduchu na jednu osobu. Klimatizácia v týchto priestoroch zabezpečuje takmer vždy aj vykurovanie. Aby bola prevádzka hospodárna, musí byť zariadenie schopné pracovať čiastočne alebo úplne s cirkulačným vzduchom [3].

Pokiaľ ide o rozvod vzduchu, rozlišujeme dve základné koncepcie: prívod vzduchu v horných častiach a odvádzanie pod sedadlami a naopak, prívod pod sedadlami a odvádzanie v horných častiach miestnosti (obr. 1).

V poslednom čase je tendencia používať skôr druhú alternatívu. Zdôvodňuje sa to tým, že lepší duševný stav človeka býva pri chladnejšom vzduchu v oblasti výšky hlavy než naopak, a že znehodnocovanie vzduchu človekom je spojené s produkciou tepla a teplý znehodnotený vzduch má tendenciu stúpať hore. Vetranie veľkých miestností treba v každom prípade riešiť individuálne s prihliadnutím na miestne podmienky, napr. tvar a veľkosť priestoru či na rozmiestnenie osôb v zhromažďovacích miestnostiach.



a) s prívodom vzduchu zhora



b) s prívodom vzduchu zdola

Obr.1 Vetranie zhromažďovacích miestností

Skúškami sa preukázalo, že výsledky výučby môžu byť narušené nevhodnými tepelnými pomermi. Príliš vysoká teplota vzduchu spôsobuje predčasnú únavu poslucháčov, nízka teplota a pocit chladu odvádzajú pozornosť od výkladu. Dôležité je aj dodržanie relatívnej vlhkosti vzhľadom na možnosť nepríjemného vysušovania dýchacieho ústrojenstva pri prednášaní. Experimentálne sa skúšali aj zariadenia zaisťujúce sterilitu vzduchu, aby sa zamedziло šíreniu infekcií v prechodných ročných obdobiach. Zariadenia v školách musia pracovať bezhlučne – hlukové číslo ISO N 30 – N 35. Dimenzuje sa obvykle podľa počtu miest v posluchárni, na jedno miesto sa privádza 20 až 30 m³.h⁻¹ čerstvého vzduchu (podľa veku poslucháčov, spodná hranica platí pre najmenšie deti).

Aktuálny stav vykurovania

Hlavná budova – pavilón B

Vykurovanie posluchární je riešené systémom ústredného vykurovania pomocou 24 ks dvojradových panelových vykurovacích telies PD 4. Tepelný výkon jedného vykurovacieho telesa je 2,748 kW (dĺžka telesa 2 040 m). Tepelný výkon pre jednu poslucháreň je 21,984 kW. Celkový tepelný výkon súčasného systému vykurovania posluchární je 65,952 kW.

Tepelné straty hradí vzduchotechnické zariadenie s médiom teplotou vodou 90/70 °C. Miestnosti nemajú prirodzené vetranie, preto ich treba vetrať umelo. Vzduchotechnické zariadenie pre posluchárne P-24, P-25, P-26 má slúžiť na vetranie miestností a v zimnom období na teplovzdušné vykurovanie. Vetranie zabezpečujú dva ventilátory, pričom jeden zabezpečuje prívod vetracieho vzduchu a druhý odvod znečisteného vzduchu z posluchární.



Obr.2 Podlahové odsávacie otvory v posluchárni P 26



Strojovňa vzduchotechniky je umiestnená v suteréne. Vzduch prichádza zvonku cez pevnú žalúziu, cez ohrievač vzduchu a ventilátorom upravený vzduch sa dopravuje do jednotlivých posluchární. Vzduch sa z miestnosti odsáva štrbinami pod sedadlami (obr. 2). Časť vzduchu sa odvádza pod pódium. Počet miest na sedenie v jednej posluchárni je 200. Množstvo vzduchu na jednu osobu je $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Posluchárne sú tri. Celkový výkon zariadenia je teda $30\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, t. j. na jednu poslucháreň $10\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Výmena vzduchu v posluchárňach za hodinu je asi 5-násobná; použije sa maximálne 50 % cirkulačného vzduchu. Minimálna teplota v miešacej komore pri vonkajšej teplote $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ je $+3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Výpočet solárnych systémov

Teplovzdušné solárne vykurovanie a vetranie

Vzduchové kolektory vykazujú rad predností oproti kvapalinovým kolektorom. Počas chladnejších zím nemôžu zamrznúť, letný chod naprázdno nie je problematický. Korózne problémy sú menšie, takže môžu byť použité jednoduchšie a lacnejšie materiály na ich konštrukciu a výrobu.

Aj napriek tomu nenašli vzduchové kolektory také uplatnenie ako kvapalinové, o čom svedčí aj absencia slovenských výrobcov. Na rozdiel od kvapalinových kolektorov, kde možno pri pomerne malom rozdieli medzi teplotami kvapaliny vstupujúcej a vystupujúcej z kolektora počítať so stálou strednou teplotou absorpčnej plochy t_A , treba pri vzduchových kolektoroch počítať so zvyšovaním teploty vzduchu prúdiaceho kolektorom [1].

Ak prúdi kolektorom s rovnakou šírkou stály prietok vzduchu, platí pre úsek dx rovnica:

$$pI \cdot dx - kt \cdot dx = Mc \cdot dt \quad (1)$$

t. j. teplo privedené absorbovaným slnečným žiarením ($pI \cdot dx$) zmenšené o teplo odvedené do okolia ($kt \cdot dx$) sa rovná teplu odovzdanému vzduchu prúdiacemu kolektorom ($Mc \cdot dt$).

Riešením rovnice (1) sa odvodí vzťah pre priebeh teploty vzduchu v kolektore:

$$t_x - t_v = (t_1 - t_v) \cdot e^{\frac{kb}{M \cdot c} x} + \frac{pI}{k} \left(1 - e^{\frac{kb}{M \cdot c} x} \right) \quad (2)$$

kde pI je merný tepelný tok prechádzajúci transparentnou vrstvou kolektora ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),

p – pomerná priepustnosť transparentnej vrstvy,

I – intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),

$k = k_1 + k_2$ – súčtová hodnota súčiniteľov prestupu tepla vrstiev na prednej a zadnej strane kolektora ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$), (k_2 sa obvykle zanedbáva),

b – šírka kolektora (m),

c – merná tepelná kapacita vzduchu $c = 1\,010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,

M – hmotnostný prietok vzduchu telesom kolektora ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$),

t_1 – teplota vzduchu privádzaného do kolektora ($^\circ\text{C}$),

t_v – teplota okolitého vzduchu.

Užitočný výkon kolektora s dĺžkou l (m) je:

$$Q' = M \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad [W] \quad (3)$$

a jeho účinnosť:

$$\eta = \frac{Q'}{I \cdot b \cdot l} \quad (4)$$

Návrh solárnych systémov pre posluchárne P-24, P-25, P-26

Podľa vzťahu (3) je užitočný výkon vzduchového kolektora bežne dostupného na trhu $1363,5 \text{ W}$ pri rozdieli teplôt $\Delta t = 45$, čo je priemerný rozdiel teplôt určený dlhodobými meraniami na kolektoroch radu MISTRAL pri priemernej vonkajšej teplote $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Podľa technickej správy vykonávacieho projektu, vypracovaného rudným projektom Praha (júl 1967) je pre vzduchotechniku posluchární potrebný tepelný výkon 257 kW . Z uvedeného vyplýva, že pre jednu poslucháreň by bolo na zabezpečenie plného tepelného výkonu potrebných 63 ks solárnych vzduchových kolektorov typických rozmerových radov $2 \times 1 \text{ m}$. Pri cene jedného kolektora $18\,800,- \text{ Sk}$ by teda investičné náklady len na nákup kolektorov predstavovali sumu $1\,200\,000,- \text{ Sk}$ na jednu poslucháreň [4].

Ak dosadíme do vzťahu (3) údaje dosiahnuté meraním na vzduchovom kolektore nemeckej výroby TWIN SOLAR 8.0, dostaneme výkon viac ako 3-násobný, konkrétne $4\,242 \text{ W}$. Teda pre požadovaný tepelný výkon by bolo potrebné nainštalovať 20 ks takýchto kolektorov. Pri cene jedného kolektora $220\,000,- \text{ Sk}$ to predstavuje sumu $4\,400\,000,- \text{ Sk}$ na jednu poslucháreň, teda približne štvornásobnú oproti českému produktu [5].

Ak by sme postupovali podľa údajov o maximálnom prietoku pre jednotlivé kolektory, tak pre požadovaný prietok vzduchu udaný v technickej správe na jednu poslucháreň $10\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ by bolo potrebné inštalovať 111 ks teplovzdušných kolektorov MISTRAL. Pri spomínanej cene jedného kolektora by teda investičné náklady predstavovali sumu $2\,100\,000,- \text{ Sk}$ na jednu poslucháreň.

Iné výsledky sme dosiahli s kolektorom Twinsolar s prietokom vzduchu $350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, potrebných by bolo teda 29 kolektorov, pričom by investičné náklady dosiahli výšku až cca $6\,400\,000,- \text{ Sk}$.

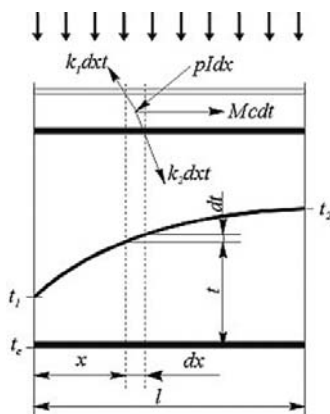
Umiestnenie vzduchových kolektorov

Vzhľadom na profil strechy, ako vidieť na obr. 4, nemožno umiestniť sústavu vzduchových kolektorov na celú plochu, čo by bol ideálny prípad. Pri takejto inštalácii je podstatne jednoduchšia montáž samotných kolektorov, ich zapojenie do jedného vzduchotechnického celku a v konečnom dôsledku aj údržba solárneho vzduchotechnického systému. V našom prípade treba rozvrhnúť sústavu vzduchových kolektorov tak, aby vyhovovala pôdorysnej ploche svetlíkov a zároveň zamedzovala tieneniu kolektorových radov predchádzajúcimi radmi.

Pristúpili sme preto k opačnému postupu návrhu vzduchových solárnych systémov ako doplnku k vykurovaniu a vetraniu posluchární:

1. Vymedzili sme plochu vhodnú na inštaláciu vzduchových kolektorov spĺňajúcu uvedené podmienky.
2. Vypočítali sme počet kolektorov, ktoré možno na určenú plochu inštalovať.
3. Určili sme stupeň solárneho pokrytia vykurovania v zimnom období a vetrania v letnom období.

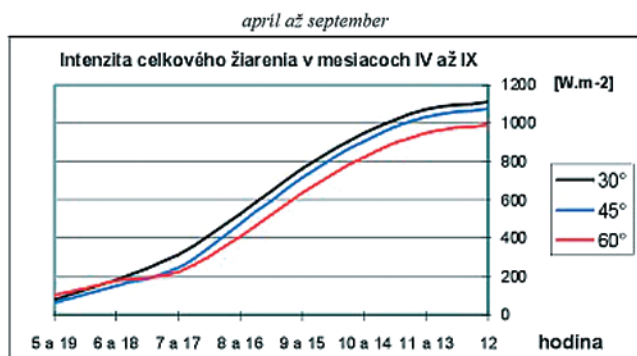
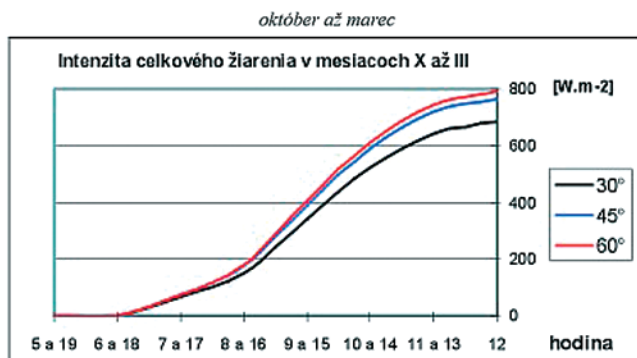
Podmienku využitia pôdorysnej plochy možno vyriešiť veľmi jednoducho, nakoľko vzduchové kolektory možno spájať do série aj



Obr.3 Schéma pre výpočet vzduchových kolektorov



Obr.4 Pohľad na využitelnú časť strechy posluchární



Obr.5 Intenzita celkového slnečného žiarenia na plochu pod uhlom 30, 45 a 60°

paralelne. Pri sériovom zapojení je počet kolektorov v sérii obmedzený na 8 ks, po prekročení tohto počtu dochádza k degradácii účinnosti vzduchových kolektorov. V prípade veľkých kolektorových plôch je výhodnejšie sériovo-paralelné zapojenie kolektorov.

Vzduchové kolektory umiestnené na streche budú mať uhol sklonu 45°. Je to najvhodnejší uhol sklonu oslnenej plochy a ročná hodnota intenzity slnečného žiarenia je najvyššia, čo vidieť na nasledujúcich grafoch (obr. 5).

Tienenie kolektorov

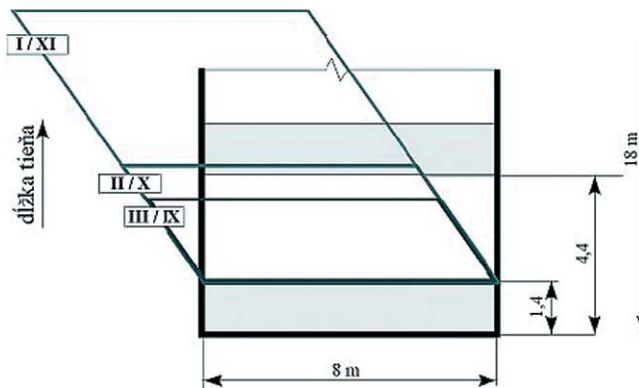
Pri navrhovaní umiestnenia kolektorov sa treba venovať priebehu tieňov. Jedným zo základných predpokladov pri umiestňovaní slnečných kolektorov je, že kolektory si navzájom nebudú tieniť. Tento problém je aktuálny, ak uvažujeme s viacerými radmi kolektorov za sebou a preto, je nevyhnutné poznať charakteristiku tieňov.

Dimenzovanie kolektorov treba robiť rozvážne a je zbytočné predimenzovať systém v zimnej prevádzke, keďže bude slúžiť len ako doplnkové vykurovanie v zimných mesiacoch. Solárne systémy sú dimenzované na prechodné obdobie, čím sa zabezpečí vykurovanie v chladnejších dňoch, ale aj vetranie v letných mesiacoch.

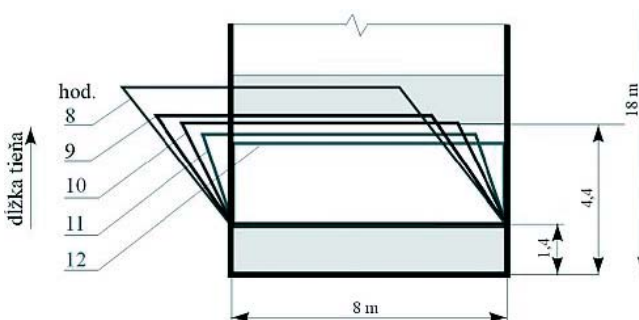
Veľmi dôležitá je vzdialenosť kolektorových radov medzi sebou. Kolektory treba rozmiestniť tak, aby nedochádzalo k tieneniu nasledujúceho kolektorového radu. Zvolili sme teda vzdialenosť kolektorových radov 3 m. Z toho vyplýva, že medzi 8. a 9. hodinou už nedôjde k tieneniu kolektorov v mesiacoch marec – september (obr. 6).

Navrhovaný solárny systém možno použiť aj pre krajné prípady (február, október), keď sú kolektory čiastočne tienené v ranných a večerných hodinách; v týchto mesiacoch však solárny systém bude slúžiť len na doplnkové vykurovanie a požadovaný tepelný výkon pre jednotlivé posluhárne zabezpečia primárne vykurovacie zdroje.

Na obr. 7 je znázornený priebeh tieňov od predchádzajúceho radu kolektorov so sklonom 45° o 9. hod. v jednotlivých mesiacoch obdobia september – marec. Tento obrázok potvrdzuje dôležitosť



Obr.6 Denný priebeh tieňov kolektorového poľa za uvedené mesiace o 9:00 hod

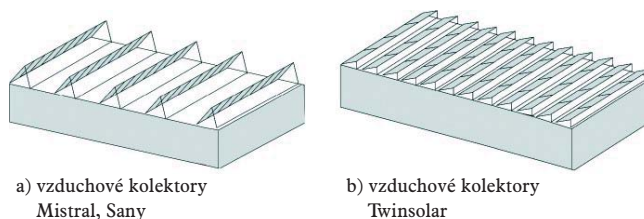


Obr.7 Dĺžky tieňov v závislosti na čase v mesiaci február a október v dopoludňajších hodinách

správneho dimenzovania solárneho systému z hľadiska solárneho pokrytia. Ak by sme sa rozhodli zabezpečiť solárne pokrytie v mesiacoch november – január, v prípade väčšieho kolektorového poľa, čo je aj náš prípad, by rozmery tohto poľa, resp. vzdialenosti jednotlivých radov kolektorov, boli neúnosne veľké, čo na jednej strane zvyšuje nároky na priestor, na strane druhej investičné náklady spojené s prepojením jednotlivých kolektorových radov.

Uvedené skutočnosti platia pre vertikálne umiestnené kolektory s rozmermi 2 x 1 m (Mistral, Sany). V tomto prípade možno pri rešpektovaní rozmerov svetlíkov (18 m x 8 m) na streche budovy umiestniť na jeden svetlík 5 kolektorových radov (obr. 8a). V jednom rade je zapojených 8 vzduchových kolektorov, t. j. 40 kolektorov na jednom svetlíku. Pre čiastočné zatienenie strechy sú využiteľné len tri svetlíky (obr. 4), čo predstavuje 120 kolektorov, ktoré zabezpečia prietok vzduchu 10 800 m³.h⁻¹.

Variabilita sklonu teplovzdušného kolektora Twinsolar je zabezpečená osadeným ventilátorom, ktorý zabezpečí dostatočný prietok ohriateho vzduchu pri akomkoľvek sklone kolektora, vodorovné umiestnenie nevynímajúc. Kolektory teda možno umiestniť na strechu pod menším uhlom, prípadne aj vodorovne. Zmenšením uhla sklonu dochádza k skráteniu tieňov kolektorových radov, čím by bolo možné zmenšiť vzdialenosti medzi jednotlivými radmi a efektívnejšie využiť plochu strechy. V tomto prípade možno pri rozmeroch kolektora 8 x 1 m na strechu inštalovať až 12 kolektorových radov (kolektorov) (obr. 8b). Pri využití troch svetlíkov to predstavuje možnosť inštalácie až 36 kolektorov Twinsolar 8.0, čiže prietok 12 600 m³.h⁻¹.



Obr.8 Návrh umiestnenia kolektorových radov

Záver

Z opísaných skutočností vyplýva množstvo solárneho pokrytia vykurovacieho vzduchového systému posluchárni P-24, 25, 26.

V prípade inštalácie vzduchových kolektorov MISTRAL alebo SANY, vzhľadom na ich takmer zhodné technické parametre, možno zabezpečiť ohrev 10 800 m³ vzduchu za hodinu, čo predstavuje 36 % z celkového požadovaného pokrytia pri investičných nákladoch na kolektory na jednu poslucháreň cca 2 250 000 Sk.

O niečo väčší výkon môžeme dosiahnuť použitím kolektorov TWINSOLAR 8.0, ktoré dokážu zabezpečiť 12 600 m³ vzduchu za hodinu, čo je 42 % požadovaného množstva, pričom náklady by boli podstatne vyššie – cca 6 300 000 Sk. Treba však zohľadniť fakt, že pri inštalácii tohto typu vzduchového kolektora odpadajú náklady na vzduchové pohonné jednotky, ktoré v súčasnosti predstavujú nezanedbateľnú položku vzduchotechnických systémov. V našom prípade je však vzduchotechnický systém už zavedený, tieto typy kolektorov preto nenachádzajú uplatnenie, nevynímajúc vysoké investičné náklady.

Možno teda konštatovať, že výsledkom aplikácie solárnych vzduchových kolektorov na vybrané posluchárne by bolo podstatné zníženie spotreby energie na vykurovanie v zimnom období, samozrejme, za predpokladu priaznivého slnečného počasia. V letnom období, keď je intenzita slnečného svitu značne vyššia, možno takisto dosiahnuť efektívne vetranie posluchárni, navyše takýto systém funguje automaticky, teda v čase intenzívneho oslnenia pracuje s maximálnou účinnosťou, čím zamedzí rastu teploty v posluchárňach.

Takéto zariadenia môžu mať v budúcnosti väčší význam a otvoria nový trh, pretože trend budov so stále nižšou spotrebou energie robí veľké pokroky. Legislatíva v oblasti energetického a tepelno-technického zabezpečenia budov si použitie vzduchotechnických zariadení v budúcnosti viac-menej vynúti, čím sa vytvárajú predpoklady na širšie využívanie solárnej energie v teplotovzdušnom vykurovaní.

Literatúra

- [1] CIHELKA, J. a kol.: Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL, Praha 1985,
- [2] HALLER, A. a kol.: Solární energie, využití při obnově budov. Grada, Praha 2001, ISBN 80-7169-580-7.
- [3] HORBAJ, P., LUKÁČ, P., MIKOLAJ, D.: Zásobovanie teplom. TU SJF Košice, 2005.
- [4] www.ekosolaris.cz
- [5] www.grammer-solar.de
- [6] www.tzb-info.cz

Ing. Peter Tauš

Centrum obnoviteľných zdrojov energie
e-mail: peter.taus@tuke.sk

Ing. Radim Rybár, PhD.

Katedra podnikania a manažmentu
e-mail: radim.rybar@tuke.sk

Ing. Marcela Taušová

Katedra podnikania a manažmentu
e-mail: marcela.tausova@tuke.sk

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií
Ústav podnikania a cestovného ruchu
Park Komenského 15, 042 00 Košice

45

