

Efektívne vykurovania hál (1)

Vykurovanie veľkoobjemových priestorov je v praxi pre ich prevádzkovateľov v porovnaní s vykurovaním bežných obytných priestorov spravidla energeticky a finančne výrazne náročnejšie. Je to napriek faktu, že priemyselné priestory bývajú vykurované na podstatne nižšie teploty a po dobu podstatne kratšiu ako obytné alebo kancelárske priestory. Príčinou je, že vykurovacie systémy navrhované do veľkoobjemových priestorov nezohľadňujú všeobecne známe fyzikálne zákony a zanedbávajú špecifiku vysokých priestorov.

Podstatná časť energie a teda nákladov sa vynakladá na ohrev tej časti priestoru, ktorá nie je prevádzkovateľom reálne využitá, no táto z hľadiska vynaložených nákladov zbytočne spotrebuje ich podstatnú časť.

Poznanie a eliminácia tohto fenoménu vedie k energeticky úsporným systémom a k výraznému zníženiu nákladov na zabezpečenie požadovaného teplotného komfortu.

Vysoké náklady nie sú v mnohých prípadoch iba dôsledkom horších izolačných vlastností priemyselných budov pôvodných konštrukcií.

Snahy riešiť zníženie nákladov iba zateplením objektu bez riešenia primárnej efektivity vykurovacieho systému ako takého vedie síce k zníženiu nákladov na vykurovanie, ale dosiahnutá návratnosť vynaložených nákladov vedie zvyčajne k rozčarovaniu prevádzkovateľa.

V nasledovnom článku sa budeme venovať základným fyzikálnym princípom šírenia tepla, ich porovnaním, porovnaním dostupných technických systémov, princípom návrhu úsporných vykurovacích systémov a princípom efektívneho riadenia vykurovania.

Teoretické východiská

Najprv si skúsme objasniť, čo je to vlastne teplo, a ako ho človek pociťuje. Teplota hmoty je jedným z prejavom jej energie, akým je napríklad tepelné kmitanie molekúl hmoty.

Táto energia sa môže v zásade šíriť tromi spôsobmi:

1. konvekciou – prúdením,
2. kondukciou – vedením,
3. elektromagnetickým vlnením – sálaním.

Prvý a druhý spôsob šírenia tepelnej energie využívajú práve konvekčné teplovzdušné vykurovacie systémy. V tomto prípade sa tepelná energia vzduchu zohriateho od konvektorov alebo teplovzdušných výmenníkov šíri do priestoru postupným odovzdávaním energie – tepla, pričom sa samotný zdroj tepla ochladzuje. Nevyhnutnou podmienkou takéhoto šírenia tepla je hmotné prostredie, pretože odovzdávanie energie – tepla prebieha bezprostredným dotykom molekuly hmoty s vyššou teplotou molekule hmoty s nižšou teplotou. Človek vo vykurovanom priestore sa stáva súčasťou takejto tepelnej výmeny a teplo pociťuje ako bezprostrednú tepelnú energiu okolitého vzduchu a premetov, ktorých sa dotýka. Je zrejmé, že pre konvekčne vykurovaný priestor platí pravidlo, podľa ktorého teplota vzduchu t_v (zohriateho konvektormi) je vyššia (maximálne rovná) než teplota okolitých predmetov t_p (ktoré sa majú od neho zohriať).

Tretí spôsob šírenia tepelnej energie – sálaním si väčšinou ani neuvedomujeme, a pritom sa s ním stretávame dennodenne. Je to spôsob, akým slnko odovzdáva tepelnú energiu povrchu Zeme, od ktorého sa následne ohrieva vzduch. V tomto prípade nejde o odovzdávanie tepla vedením – konvekciou, ale elektromagnetickým vyžarovaním určitej vlnovej dĺžky. Energia elektromagnetického vyžarovania sa mení na teplo až po dopade vlnenia na povrch predmetov, ktoré túto energiu absorbujú. Platí tu fyzikálna symetria medzi vyžarovaním a pohlcovaním energie čierneho telesa. Ak teleso zohrievame, začne emitovať elektromagnetické vlnenie – energiu, do svojho okolia. Ak je táto energia pohľtená iným telesom, spôsobí to jeho zohriatie. Táto vlastnosť je využívaná pri sálavom vykurovaní, keď sálavé vykurovacie telesá – žiariče, ktoré sú umiestnené v určitej výške nad podlahou, emitujú elektromagnetické vlnenie, to s veľmi malými stratami prechádza vzduchom a po dopade na podlahu je ňou pohlcované, čo má za následok zvýšenie teploty podlahy a predmetov, na ktoré vlnenie dopadá. Od takto zohriatej podlahy sa následne zohrieva vzduch. Vplyv sálavého vykurovania na človeka je podobný ako v prírode. Možno to prirovnáť

prechádzke slnečným jarným dňom. Teplota vzduchu ešte nie je vysoká, ale vplyv slnečných lúčov už zohrieva zem a človek ich pociťuje ako príjemné teplo. Je zrejmé, že pre sálavý ohrev platí pravidlo, podľa ktorého je teplota predmetov t_p vyššia (maximálne rovná) ako teplota vzduchu t_v .

(Pozn. rovnosť medzi teplotou vzduchu a predmetmi v oboch prípadoch platí len vo veľmi dobre tepelne izolovaných priestoroch. V praxi sa v priemyselnej výstavbe s podobnými priestormi stretávame len veľmi zriedka a týmto prípadom sa v ďalšom nebudeme zaoberať).

Uvedené vlastnosti možno zobrazit' na príklade priemyselnej haly nasledovne:

Prenos tepla konvekciou: $t_v > t_p$
Prenos tepla sálaním: $t_v < t_p$

Aby sme mohli porovnať účinnosť konvekčného a sálavého vykurovania v typickej priemyselnej hale, skúsime analyzovať požiadavky na stav tepelnej pohody človeka a energetickú náročnosť oboch systémov vykurovania.

Stav tepelnej pohody človeka

Tepelnú pohodu je možné definovať ako pocit človeka vo vykurovanom priestore, v ktorom sa cíti príjemne. Na tepelný pocit a tým pohodu človeka vplyva niekoľko faktorov, z ktorých najdôležitejšie sú:

- teplota vzduchu v interiéri t_i (°C)
- teplota okolitých plôch interiéru t_o (°C)
- rýchlosť prúdenia vzduchu v interiéri w (ms⁻¹)
- tepelný odpor odevu R_c (m².K.W⁻¹)
- úroveň aktivity človeka Q (W)
- relatívna vlhkosť prostredia ϕ_i (%)

Teplota vnútorného vzduchu obvykle patrí k prvým kritériám posúdenia tepelného stavu vykurovaného priestoru, ktoré spolu s rýchlosťou prúdenia vzduchu rozhodujú o konvekčnom odovzdávaní tepelného toku človeka do interiéru. Pri bežných interiéroch vykurovaných na teplotu 18 až 20°C je pritom prípustný pohyb vzduchu do 0,1 ms⁻¹. Ideálne vykurovanie by malo zabezpečiť také vertikálne rozvrstvenie vzduchu v interiéri, v ktorom by teplota vo výške hlavy stojaceho človeka (cca 1,7 m nad podlahou) bola asi o 2°C nižšia, ako v oblasti členkov nôh (cca 0,1 m nad podlahou).

Významný vplyv na tepelnú pohodu človeka má účinná teplota okolitých plôch interiéru. Teplota týchto plôch, ktoré bezprostredne pôsobia na človeka by mala byť taká, aby absolútna hodnota rozdielu teploty okolitých plôch a teploty vzduchu bola maximálne 7°C pri telesnom pokoji človeka, a maximálne 10°C pri fyzickej práci človeka. Aritmetický priemer účinnej teploty okolitých plôch a teploty vzduchu v interiéri t_i môžeme definovať ako vnútornú teplotu v miestnosti. Meria sa guľovým teplomerom v strede miestnosti, vo výške 1 m nad podlahou, čo zodpovedá ťažisku stojaceho človeka. Je obvykle predpisovou hodnotou pre návrh vykurovacej technológie do priestoru.

Keď sa vlhkosť vzduchu v interiéri nachádza v rozmedzí 35 až 70%, nemá výrazný vplyv na pocit tepelnej pohody človeka, pretože práve obsah vodnej pary v ovzduší určuje intenzitu odparovania vody z tela človeka.

Ostatné faktory ovplyvňujúce prioritnú tepelnú pohodu v interiéroch je možné priradiť do pojmu širších mikroklimatických podmienok, ktoré môžu byť charakterizované:

- obsahom prachových častíc v ovzduší,
- mikroorganizmami, respektíve baktériami,

- plynmi, parami a zápachmi rôzneho druhu,
- obsahom iónov v ovzduší.

Požiadavky na spotrebu energie

V minulosti, hodnotenie spotreby energie na vykurovanie priemyselných objektov nebolo v príslušných technických normách stanovené, ani odporúčané.

V súčasnosti sú kritéria na spotrebu tepla pre vykurovanie priemyselných objektov určené.

Spotrebu energie na vykurovanie priemyselných budov možno hodnotiť na základe tepelnej charakteristiky objektu q_o . Ak platí $q_o \leq q_o^N$, sú objekty vyhovujúce, v opačnom prípade sú nevyhovujúce.

Normatívna tepelná charakteristika q_o^N pre výrobné priemyselné objekty definuje prevádzky:

1. s veľmi ľahkou a ľahkou prácou – tab. riadok A,
2. so stredne ťažkou a ťažkou prácou – tab. Riadok B.

q_o^N (W.m ⁻³ .K ⁻¹)	Obostavaný priestor V.10 ³ (m ³)									
	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120
A	1,18	1,04	0,94	0,87	0,81	0,78	0,75	0,73	0,73	-
B	1,48	1,31	1,18	1,10	1,02	0,97	0,89	0,85	0,84	0,84

Pri výpočte spotreby tepla a tepelnej charakteristiky budov sa vychádza z:

- tepelných strát stanovených normou pre teplotu vonkajšieho vzduchu
- obostavaného priestoru priemyselných objektov

Pri priemyselných budovách sa zahŕňa do tepelnej charakteristiky tepelná strata objektu a ďalej len tepelná strata vyvolaná infiltráciou vplyvom vetra.

Tepelnú charakteristiku budovy možno stanoviť zo vzťahu:

$$q_o = Q_b \cdot (V \cdot \Delta t)^{-1} = Q_b \cdot [V \cdot (t_i - t_e)]^{-1} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1})$$

kde:

q_o – tepelná charakteristika budovy (W.m⁻³.K⁻¹)

Q_b – tepelná strata budovy (W)

$\Delta t = (t_i - t_e)$ – rozdiel teploty vnútorného a vonkajšieho vzduchu (K)

V – obostavaný priestor budovy (m³)

Rozdelenie vykurovacích systémov pre priemyselné objekty.

Priemyselný vykurovací systém musí spĺňať širšie komplexné požiadavky, ktoré sú charakterizované:

1. Energetickou náročnosťou,
2. Ekonomickou efektívnosťou
3. Ekológiou

Vykurovacie systémy principiálne rozdeľujeme podľa:

a) zdroja tepla na

- centrálné (kotelňa na tuhé, kvapalné, plyné palivo),
- decentrálné (priamovýhrevné vykurovacie zariadenia)

b) distribúcie tepla

- vodné (horúcovodné, teplovodné, nízkoteplotné),
- parné (stredotlaké, nízkotlaké)
- teplovzdušné

c) prenosu tepla

- konvekčné (vykurovacie telesá, teplovzdušné jednotky, vetracie a klimatizačné jednotky)
- sálavé, ktoré možno rozdeliť na:
 - svetlé (žiariče)
 - tmavé (žiariče)
 - supertmavé (žiariče, vodné sálavé panely)

Voľba vykurovacieho systému ako takého v prevažnej miere závisí:

- od voľby zdroja tepla a ním spojenej palivovej základne,
- spôsobu distribúcie tepla,
- charakteru vykurovaného priestoru, a tým v konečnom dôsledku
- spôsobu prenosu tepla v hale.

Vzhľadom na vyššie uvedené požiadavky (Energia, Ekonomika, Environmentalistika), technické riešenia vykurovacích systémov musia reagovať na požiadavky užívateľa, garantovať splnenie mikroklimatických podmienok pre človeka a garantovať vysokú kvalitu prevádzky vo vykurovanej hale.

Z uvedeného je zrejmé, že napriek nevyhnutnosti riešiť tieto problémy komplexne, dominantným sa stáva práve spôsob odovzdávania tepla z vykurovacieho telesa alebo plochy do vykurovaného interiéru haly, teda buď vykurovací systém konvekčný, alebo sálavý.

Rozdielny fyzikálny princíp transferu tepla a hmoty pri konvekčnom a sálavom vykurovaní si vyžaduje, aby pri výpočte potreby tepla na vykurovanie boli zohľadnené všetky fyzikálne zákony, ktoré charakterizujú odovzdávanie tepla konvekciou a sálaním.

Konvekčný vykurovací systém

Spôsob výpočtu.

Dôležité – Pri konvekčnom vykurovaní je teplota okolitých plôch tu nižšia ako teplota vzduchu t_v . t_u je tým nižšia od teploty t_v , čím je menšia tepelnoizolačná schopnosť stavebných konštrukcií vytvárajúcich interiéru a čím je nižšia vonkajšia teplota t_e .

Celková tepelná strata objektu Q_c sa rovná súčtu tepelnej straty prechodom konštrukciou Q_p a tepelnej straty vetraním Q_v :

$$Q_c = Q_p + Q_v$$

Tepelná strata prestupom stenami sa určí zo základnej tepelnej straty Q_o pripočítaním prírážiek podľa vzťahu:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2)$$

p_1 – prírážka na vyrovnanie vplyvu chladných stien,

p_2 – prírážka na urýchlenie zákuru.

Základnú tepelnú stratu konštrukciou objektu Q_o vypočítame ako súčet tepelných strát jednotlivými prvkami konštrukcie:

$$Q_o = \sum [k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e)]$$

k_j – súčiniteľ prechodu tepla j-tou stavebnou konštrukciou (W.m⁻².K⁻¹)

S_j – j-tá ochladzovaná plocha stavebnej konštrukcie (m²)

Tepelná strata pri prirodzenom vetraní sa počíta z rovnice:

$$Q_v = \rho \cdot c \cdot V \cdot h^{-1} \cdot (t_i - t_e) / 3600$$

ρ – hustota vzduchu (kg.m⁻³)

c – špecifická tepelná kapacita vzduchu (J.kg⁻¹.K⁻¹)

V – vykurovaný objem objektu (m³)

h^{-1} – hodinová výmena vzduchu v objekte (h⁻¹)

V miestnostiach vyšších ako 4 m je nutné počítať so stúpaním teploty vzduchu, a tým aj výpočtovej teploty t_i s výškou miestnosti h. Počíta sa s teplotným gradientom

$$\Delta t / \Delta h = 0,3 \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$$

Potreba tepla na vykurovanie pomocou centrálného vykurovacieho systému je vyššia o 5 až 15% ako potreba decentrálného vykurovacieho systému. Uvedené percentuálne zvýšenie predstavuje korekcia na straty v rozvodoch.

Sálavý vykurovací systém

Spôsob výpočtu

Dôležité – Pri sálavom vykurovaní je teplota vzduchu t_v nižšia ako teplota okolitých plôch tu. Potom t_v je tým nižšia od teploty t_u , čím je menšia tepelnoizolačná schopnosť stavebných konštrukcií vytvárajúcich interiéru a čím je nižšia vonkajšia teplota t_e .

Pozn. Platí tu opačná nerovnosť ako pri konvekčnom vykurovaní!

Výpočet potreby tepla na určenie tepelného príkonu infražiaričov vychádza zo sústavy troch lineárnych rovníc tepelnej rovnováhy interiéru. Pri uvažovaní iba jedinej ochladzovanej plochy, podlahy S_c je celková hustota žiarivého toku q_c (W.m⁻²) vyžiarovaná infražiaričmi a dopadajúca na ochladzovanú plochu podlahy S_c daná vzťahom:

$$Q_c = (1 - \varepsilon) \cdot \varphi_c \cdot \eta_s \cdot Q_p / S_c \quad (\text{W.m}^{-2})$$

Neznáme veličiny – celková hustota žiarivého toku q_c (W.m^{-2}), priemerná teplota vnútorného vzduchu t_v ($^{\circ}\text{C}$) a teplota osálanej pôdorysnej plochy t_c ($^{\circ}\text{C}$) sa počítajú z troch rovníc tepelnej rovnováhy vykurovaného priestoru vrátane človeka v ňom, nasledovne:

1. rovnica tepelnej bilancie osálanej pôdorysnej plochy S_c :

$$q_c = q_{sc} + q_{kc} + q_{ec} \quad (\text{W.m}^{-2})$$

$$q_c = \alpha_{sc} \cdot (t_c - t_l) + \alpha_{kc} \cdot (t_c - t_v) + \Lambda_c \cdot (t_c - t_{ec}) \quad (\text{W.m}^{-2})$$

2. rovnica tepelnej bilancie vnútorného vzduchu:

$$\rho \cdot c \cdot (V/S_c) \cdot (t_v - t_c) = \alpha_{kc} \cdot (t_c - t_v) \quad (\text{W.m}^{-2})$$

3. rovnica tepelnej pohody pre človeka v tvare pre infražiariče:

$$t_v + 0,5 \cdot t_c + 0,5 \cdot t_l + q_c / 5,25 = 2 \cdot t_{te} \quad (^{\circ}\text{C})$$

v tejto rovnici treba ešte určiť intenzitu osálenia ľudského tela q_r , zo vzťahu:

$$q_r = q_c \cdot (\varphi_r / \varphi_c)$$

Z uvedenej sústavy rovníc sa vypočítajú neznáme veličiny: teplota t_c , teplota t_v a celková hustota žiarivého toku q_c .

Z už známej hustoty žiarivého toku q_c sa vypočíta celkový tepelný príkon žiaričov Q_p :

$$Q_p = q_c \cdot S_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot 1 \cdot \varphi_c \cdot 1 \cdot \eta_s^{-1} \quad (\text{W})$$

kde:

- ε – pomerná pohltivosť vzduchovej vrstvy
- α – súčiniteľ prestupu tepla (SPT)
- α_{sc} – SPT sálaním z povrchu podlahy
- α_{kc} – SPT na povrchu ochladzovanej plochy konvekciou
- φ_c – pomer osálenia pôdorysnej plochy S_c žiaričmi
- φ_r – pomer osálenia ľudského tela
- η_s – sálavá účinnosť žiariča (udáva výrobca)
- t_c – povrchová teplota plochy S_c žiaričmi
- t_l – stredná povrchová teplota stien
- t_v – priemerná teplota vzduchu v interiéri
- t_{ec} – teplota zeminy pod nepodpivničenou podlahou hál
- t_{te} – výsledná teplota v pracovnej oblasti
- S_c – ochladzovaná plocha podlahy
- Λ_c – priemerná tepelná priepustnosť plôch spodnej časti priestoru

Elektromagnetické žiarenie

Žiarenie je prenos elektromagnetickej energie vo forme vln s priečnou vibráciou vzhľadom k smeru ich šírenia. Svoj pôvod má v dodaní energie, alebo vo vzburdení častice. Návrat takto vzburdených častíc do základnej energetickej hladiny je sprevádzaný emisiou fotónov žiarenia.

Excitačný proces sa môže líšiť a jeho prejav môže byť rôzny. Ak excitácia pochádza od zrážok s molekulami, ktoré charakterizujú teplotu telesa, žiarenie je označované ako tepelné. Žiarenie teda môže mať korpuskulárny, ako aj vlnový charakter. Kvantové vlastnosti – korpuskulárne sú charakteristické pre krátkovlnné žiarenie a vlnové pre dlhovlnné žiarenie.

Elektromagnetické žiarenia rôznych druhov sú si podobné, líšia sa však od seba vlnovou dĺžkou a účinkami.

Tepelné žiarenie je definované ako tá časť spektra, ktorá je charakterizovaná vlnovými dĺžkami od 10^{-7} m do 10^{-4} m. Elektromagnetické žiarenie z tejto oblasti sa nazýva sálanie. Do tejto oblasti patrí aj svetlo s rozsahom $3,9 \cdot 10^{-7}$ do $7,8 \cdot 10^{-7}$ m.

Väčšina tuhých a tekutých látok vyžaruje pri všetkých vlnových dĺžkach od 0 do nekonečna a má úplné spektrum žiarenia. Tuhé látky majú spojité spektrum. Vyžarovanie závisí od druhu látky telesa, jeho teploty a povrchu.

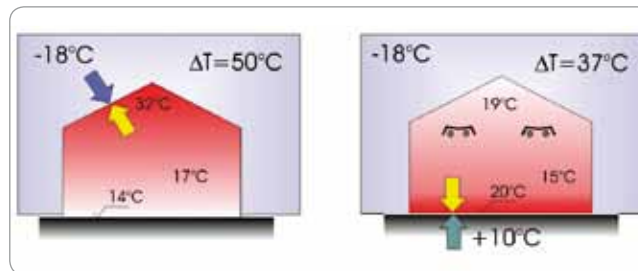
Žiarenie telies s rastúcou teplotou prudko stúpa, pričom sa mení i spektrum vyžarovaných vln. Spolu so vzrastom hustoty žiarivého toku sa jeho maximum spektrálnej hustoty presúva do oblasti kratších vlnových dĺžok. (Uvedená závislosť je známa ako Wienov posunovací zákon). Teda, zvyšuje sa veľkosť vyžiarenej energie pri krátkych vlnách. Z toho dôvodu pri vysokých teplotách prevažuje

žiarenie nad konvekciou a vedením. Pri nízkych teplotách je tomu naopak. Na samotnom žiarení sa zúčastňujú len veľmi tenké vrstvy pri povrchu telesa.

Teplo šírené sálaním sa na rozdiel od šírenia tepla vedením a prúdením najviac približuje svojimi parametrami tepelným účinkom prirodzeného slnečného žiarenia. Slnečné žiarenie dopadajúce na zemský povrch má spektrálny rozsah od $260 \cdot 10^{-9}$ do $3000 \cdot 10^{-9}$ m, čo znamená že spektrum obsahuje ultrafialové, viditeľné a infračervené žiarenie. Žiarenie infražiarivých môže prebiehať ako vo viditeľnej (svetle infražiarivých), tak i v infračervenej časti spektra (tmavé a supertmavé infražiarivých).

Z doteraz uvedeného je zrejmé, že rozdielny fyzikálny princíp prenosu tepla vyžaduje rozdielny spôsob prístupu k výpočtu a návrhu vykurovacej sústavy. Takisto aj účinok a pôsobenie vykurovacieho systému na tepelnú pohodu človeka, ako i energetickej náročnosť bude rozdielna.

Skúsme porovnať tepelné podmienky vytvárané centrálnym paro (vodo) – teplovzdušným vykurovacím systémom a sálavým vykurovacím systémom.



Pri konvekčnom vykurovaní sa tepelná energia dodáva do priestoru haly konvekčnými telesami a teplovzdušnými výmenníkmi. Zdrojom tepla býva energia pary(vody) dodávanej pomocou rozvodov centrálnym zdrojom – kotolňou.

Pri tomto druhu vykurovania je tepelná pohoda zabezpečovaná zohriatym vzduchom prúdiacim od výmenníkov a konvekčných telies. Pretože primárnym teplonosným médium je horúca para (voda), i tento zohriaty vzduch je pomerne horúci. Avšak, čím je vzduch teplejší, tým je redší a jeho stúpavosť rýchlejšia. To spôsobí, že objem haly sa začína ohrievať teplým vzduchom zhora nadol, pričom v podstrešných častiach haly dosahuje najvyššiu teplotu. Pritom strecha haly so svetlíkmi, technologickými a vetracími otvormi býva obvykle najväčšou plochou haly s najhoršími tepelnoizolačnými vlastnosťami.

Uskutočnené merania ukazujú, že pod strešným plášťom sú teploty 25°C až 30°C , pričom pri podlahe, kde sa pohybuje človek nie je spravidla vôbec zaistená tepelná pohoda. Studená podlaha a nízke teploty vzduchu sú príčinou toho, že už pri vonkajšej teplote -5°C až -15°C je výsledná teplota vzduchu v pobytovej zóne človeka len 10°C až 0°C .

Zdroje:

Dalimír Wiedermann "O sálavom vykurovaní"

Kalús, D.: Plynové infražiarivých, 1996, Thermotech, s.r.o.

Pokračovanie v nasledujúcom čísle.