

Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (III) Komplexní pohled na vytápění průmyslových hal v soustavách CZT

Datum: 20.3.2006
Autor: Ing. Miroslav Kotrbatý

Průmyslové halové objekty mají svá specifika, která vyžadují samostatný rozbor. Cílem musí být optimální pracovní prostředí v zóně pobytu člověka s minimální energetickou náročností celé soustavy.

1.0 Všeobecné

Tvorba pracovního prostředí v průmyslové hale - velkoprostorovém objektu - musí vycházet z komplexního pohledu na danou problematiku. Není to jen otázka řešení mikroklimatických podmínek, ale i vliv této činnosti na energetickou náročnost samotného objektu, stejně tak následně i vliv na hospodárnost celé tepelné technické soustavy včetně zdroje tepla a sítě. Díky rozměrným průmyslovým halovým objektům a působících fyzikálních zákonů se vytvářejí zóny, které vyžadují samostatný rozbor. Z tohoto rozboru se musí vycházet v návrhu vhodné topné soustavy. Cílem musí být: optimální pracovní prostředí v zóně pobytu člověka s minimální energetickou náročností celé soustavy.

2.00 Zóny vlivu na řešení topných soustav v průmyslové hale

2.01 Zóna pobytu člověka (obr.č.1 - poz 1)

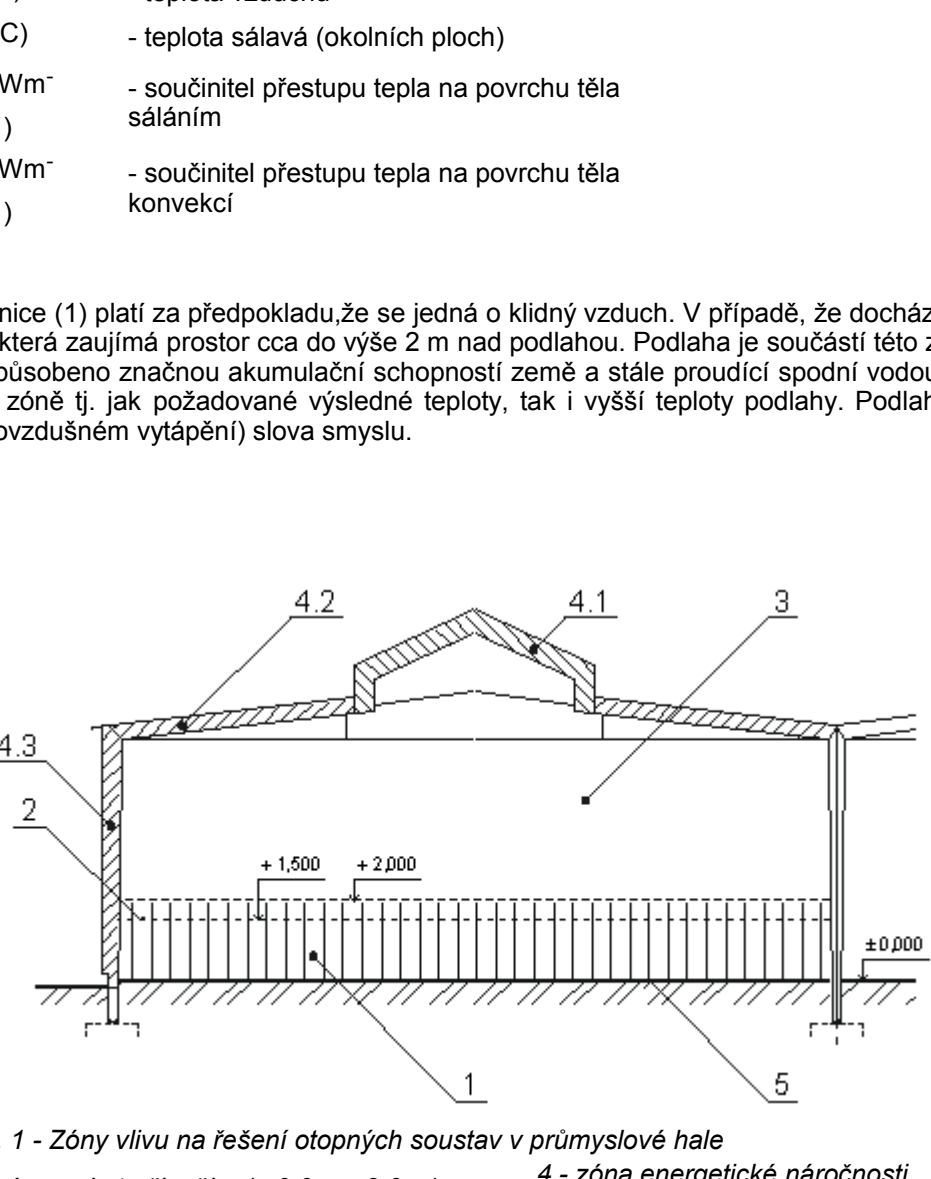
Mikroklimatické podmínky velmi ovlivňují činnost v pracovním procesu. Souvisejí přímo s problémem dodržení tepelné rovnováhy člověka, která je nutná pro dosažení předepsaného pracovního výkonu. Množství tepla, vznikajícího při látkových přeměnách v těle, závisí na více vlivech. Nejvýznamnější z nich je fyzická námaha, kterou člověk vyvíjí při své činnosti. Čím je větší pracovní zátěž, tím vydává větší množství tepla. Stav, při kterém je dosaženo rovnováhy a dochází k suchému ochlazení lidského těla, se označuje jako tepelná pohoda. Jsou-li teploty vzduchu a okolních ploch nižší, než teploty potřebné pro dosažení rovnováhy, dochází k pocitu chladu. Tepelná rovnováha se dosáhne při odpovídající výsledné teplotě t_g . Zachycuje jak vliv teploty vzduchu a rychlosti proudění, tak i vliv všech okolních sálajících ploch.

$$t_g = \frac{t_j + t_v}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$t_g = \frac{t_j + \frac{c_k}{c_v} t_v}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

- kde:
- t_j ($^\circ\text{C}$) - teplota výsledná
 - t_v ($^\circ\text{C}$) - teplota vzduchu
 - t_s ($^\circ\text{C}$) - teplota sálavá (okolních ploch)
 - c_v ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) - součinitel přestupu tepla na povrchu těla sáláním
 - c_k ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) - součinitel přestupu tepla na povrchu těla konvekcí

Rovnice (1) platí za předpokladu, že se jedná o křidný vzduch. V případě, že dochází k proudění vzduchu, je zapotřebí uvažovat vliv přestupních součinitelů. Člověk se při své činnosti pohybuje v zóně (1), která zaujímá prostor cca do výše 2 m nad podlahou. Podlaha je součástí této zóny a má na tepelnou pohodu výrazný vliv. Rostlý terén pod podlahou dosahuje konstantní teploty okolo $+10^\circ\text{C}$, což je způsobeno značnou akumulační schopností země a stále proudící spodní vodou. Velice důležitým činitelem je zvolený způsob vytápění. Jeho cílem by mělo být dosažení optimálních teplot v celé této zóně tj. jak požadované výsledné teploty, tak i vyšší teploty podlahy. Podlaha (5) prakticky tvoří "druhou topnou plochu" a to jak v kladném (při sálavém vytápění), tak i záporném (při teplovzdušném vytápění) sbova smýšlu.



Obr. 1 - Zóny vlivu na řešení topných soustav v průmyslové hale
1 - zóna pobytu člověka ($\pm 0,0 + 2,0$ m) 4 - zóna energetické náročnosti objektu
2 - rovina hodnotících kritérií prostředí (+ 1,5 m) 5 - druhotná "topná" plocha
3 - neutrální zóna

2.02 Neutrální zóna (3)

Tato zóna a v ní dosahované teploty přímo neovlivňují mikroklimatické podmínky v zóně pobytu člověka, avšak teplotní gradient v tomto pásmu ($0,3 + 0,5 \text{ K/m}$ při sálavém a 1 K/m při teplovzdušném vytápění) má podstatný vliv na energetickou náročnost objektu, neboť se podílí na zvyšování teploty vzduchu pod střešním pláštěm.

2.03 Zóna energetické náročnosti objektu (4,1;4,2;4,3)

Velice důležitou zónou jsou prostory, které jsou v přímém kontaktu s vnějším opláštěním objektu, a to jak střešnou (4.2) a stěnnými (4.3), tak hlavně se světlíky (4.1) a okny. Čím vyšší je teplota vzduchu v těchto zónách, tím jsou větší tepelné ztráty a energetická náročnost objektu. Přednost by měly dostat takové topné soustavy vytápění, které ve svém principu dodávají tepla zde zajišťují nižší teplotu vzduchu.

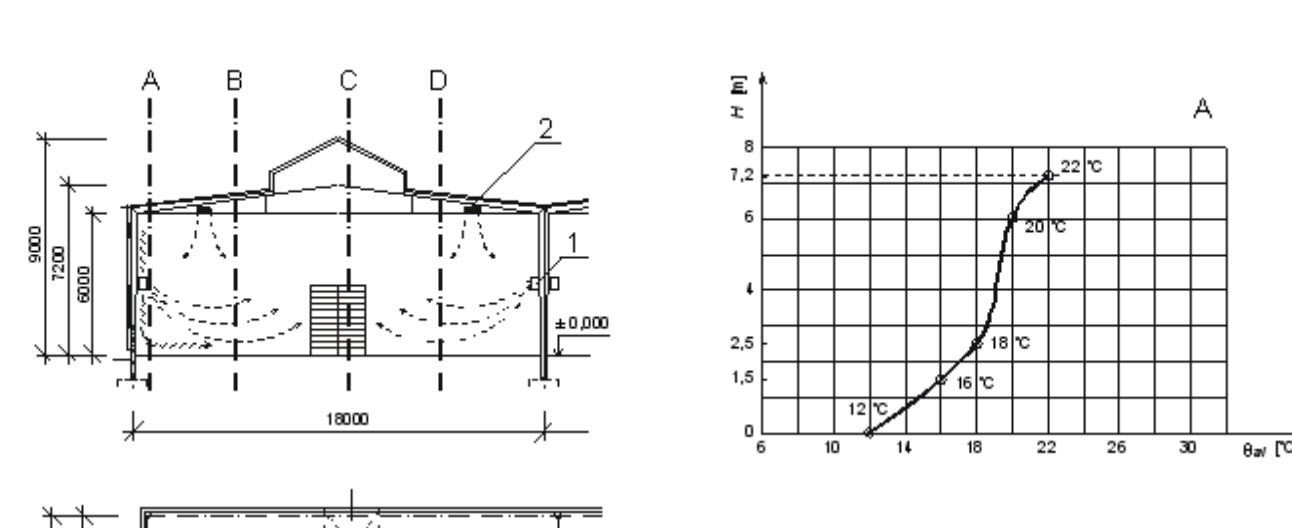
3.00 Teplovzdušné a sálavé vytápění průmyslových hal

V současné době se pro vytápění velkoprostorových objektů navrhuje buď nástěnné teplovzdušné soupravy, nebo zavěšené sálavé panely. Jako topná látka se používá teplá nebo horká voda, případně pára. Z pohledu dvou zásadních požadavků: **dosažení optimálních podmínek v pracovním prostředí při minimální energetické náročnosti** je zapotřebí provést důkladný rozbor obou principů dodávky tepla do vytápěného prostoru. Pro tento rozbor byly použity jak teoretické práce, tak i výsledky měření na skutečně provedených zařízeních. Pro posouzení nástěnných teplovzdušných souprav je použit příklad - vytápění krajní výroby.

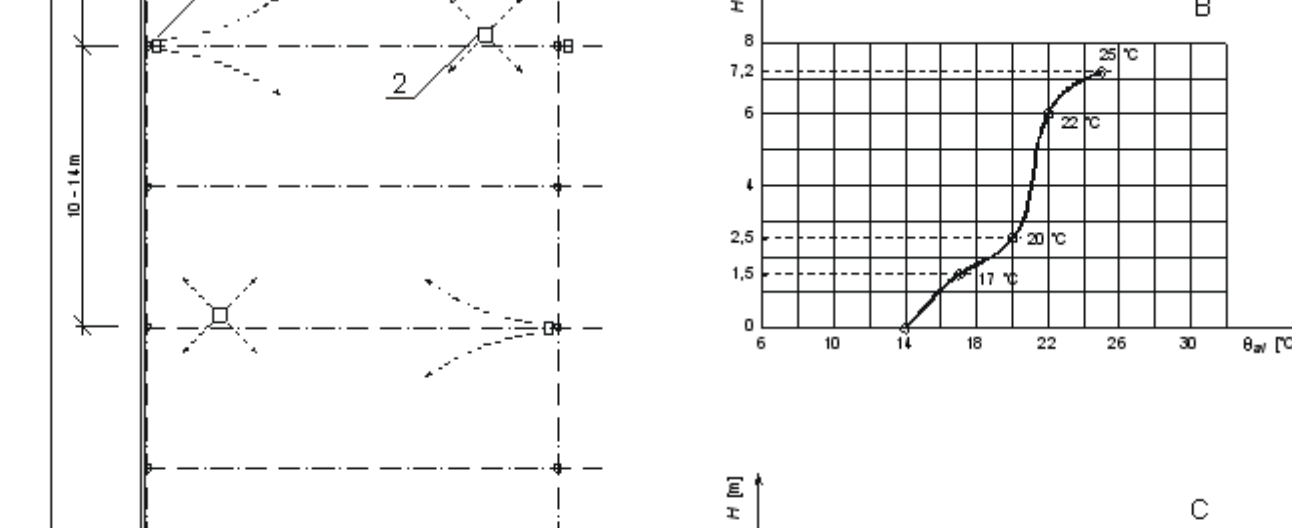
3.10 Nástěnné teplovzdušné soupravy

Loď, průmyslové haly o rozměrech 60m x 18m x 6m (pod vazník). Jelikož nástěnné teplovzdušné soupravy pracují na principu - konstantní průtok vzduchu a změna jeho teploty v závislosti na měnění se teplotě venkovní (ekvitermní regulace) ==> čím je venková teplota nižší, tím je větší tepelná ztráta a stoupá i teplota otopné vody, ale také teplota vypouštěného vzduchu ze soupravy. Dochází ke změně obrazu proudění ve vytápěném prostoru. Proto byly pro názornost zvoleny dva provozní stavy:

- 1 - při venkových teplotách $t_{\text{ve}} = +12^\circ\text{C} + -3^\circ\text{C}$ (Obr. č. 2)
- 2 - při venkových teplotách $t_{\text{ve}} = -3^\circ\text{C} + -15^\circ\text{C}$ (Obr. č. 3)



Obr. 2 - Stoupání teploty vnitřního vzduchu po výšce objektu při teplotách venkovního vzduchu $t_{\text{ve}} = +12^\circ\text{C} + -3^\circ\text{C}$ - vytápění nástěnnými teplovzdušnými soupravami



Obr. 3 - Stoupání teploty vnitřního vzduchu po výšce objektu při teplotách venkovního vzduchu $t_{\text{ve}} = -3^\circ\text{C} + -15^\circ\text{C}$ - vytápění nástěnnými teplovzdušnými soupravami

3.11 Provozní stav 1 - ($t_{\text{ve}} = +12^\circ\text{C} + -3^\circ\text{C}$)

Při tomto provozním stavu nástěnné soupravy přivádějí vzduch o nižší teplotě odpovídající požadavku na dodávku tepelné energie. Obraz proudění zajišťuje přívod do pracovní oblasti. Proud vzduchu se posílá obrátit zhuřu a stoupá ke střešnímu pláští. Teploty vzduchu dosahované v různých částech haly jsou rozmanité a jsou ovlivňovány jak teplotním gradientem, tak i různými teploty, či chladnými plochami ohraničujícími objekt. Byly zvoleny čtyři řezy, kde jsou ukázány průběhy teplot vzduchu po výšce objektu.

Řez A - v blízkosti venkovní stěny

Na tento profil má podstatný vliv venkovní ochlazená stěna a okna. Ochlazovaný vzduch na těchto plochách proudí k podlaze, která je rovněž chladná. Teplota vzduchu při podlaze dosahuje kolem 12°C . Teplota v referenčním bodě - 1,5m nad podlahou se pohybuje v rozmezí $14^\circ\text{C} + 16^\circ\text{C}$. Teplota vzduchu po výšce objektu stoupá v hodnotě cca 1 K/m . Pod střešním pláštěm má cca $20^\circ + 22^\circ\text{C}$.

Řez B - vzdálenost cca 3m od venkovní stěny

V této části je již částečně omezen vliv venkovní stěny když ještě působí "jazyk" chladného vzduchu při podlaze proudící od venkovní stěny. Mimě se zvedá teplota vzduchu nad podlahou. Pod střešním pláštěm se se teploty pohybují kolem $20^\circ + 22^\circ\text{C}$.

Řez C - prostory pod světlíkem

Teplota podlahy se stejně jako v předchozím řezu pohybuje kolem 14°C a vyrovnává se s teplotou vzduchu. Ve výši 1,5m nad podlahou stoupá na požadovanou hodnotu $t = 18^\circ\text{C}$. Zajímavý průběh teploty nastává v prostorách světlíku. Podle kvality zasklení jeho povrchová teplota klesá a teplota vzduchu v jeho okolí klesá rovněž.

Řez D - prostor uvnitř haly

V zóně pobytu člověka jsou teplotní podmínky obdobné jako v řezu C, avšak pod střešním pláštěm dosahují vysokých hodnot ($t = 24^\circ + 26^\circ\text{C}$) a tím vyšších tepelných ztrát.

3.12 Provozní stav 2 - ($t_{\text{ve}} = -3^\circ\text{C} + -15^\circ\text{C}$)

Zvýšený požadavek na dodávku tepla do vytápěného prostoru se projevuje tím, že se zvyšuje teplota otopné vody a následně i teplota vypouštěného vzduchu z nástěnné soupravy (1). Toto zvýšení teploty proudí vzduchu má za následek jeho rychlé soustředění pod střešní plášť. Dochází k absurdní situaci - teplota vzduchu v zóně pobytu člověka klesá a pod střešním pláštěm stoupá - enormně se zvyšují tepelné ztráty. Orientační průběhy teplot vzduchu po výšce objektu jsou v příslušných řezech (A,B,C,D) znázorněny na obr.č.3.

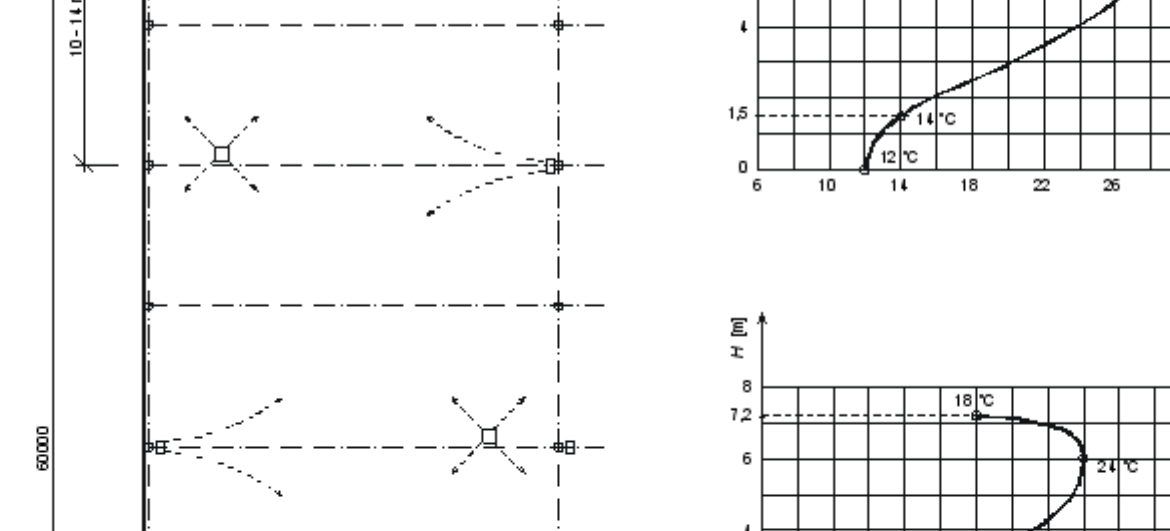
Aby se zvýšila podstatně provozu této otopné soustavy je vhodné instalovat do prostoru "teplého polštáře vzduchu" pod střešním pláštěm ventilátory (2) a tím využít přivedené teplo pro zvýšení teploty vzduchu při podlaze. Ventilátory mají i další funkci. Nástěnné soupravy musí být instalovány v maximálních rozezcích $10\text{m} + 14\text{m}$ s ohledem na střešní rovnoměrné dodávky tepla po celé ploše objektu. Tento požadavek vede k použití malých jednotek, které však mají menší výkon a tím také i menší výkon a tím také i menší výkon (10m + 14m). Řešení je uvedeno ve dvou variantách s šířkou haly 18m. Ventilátory přivádějí vzduch do oblasti, kam nedosáhne proud vzduchu ze soupravy.

3.13 Odstavování jednotek z provozu ==> nepřiznivý vliv na teplotu zpětné vody primáru

V teplotních soustavách je jednou z podmínek "vrácení zpětné vody primáru" o co nejnižší teplotě. Při plném provozu dosahují vlny všech složek soustavy a regulaci výkonu změnou teploty media, neboť se dá tento požadavek splnit. V mnoha případech se však v reálném provozu stává (ověřeno v praxi při prováděných měřeních), že někdy si o vlastní volu odstaví nástěnnou soupravu z provozu, neboť ho přímo na pracovišti obtěžuje proud vzduchu vystupující z tohoto zařízení.

Pozn.: Při prováděných měřeních jsme na pracovištích před jednotkami naměřili rychlost proudění v rozmezí $1,8 + 3,2 \text{ m/sec}$. V takovém prostředí nelze pracovat.

Na obr.č.4 je znázorněno pět nástěnných souprav připojených na soustavu s teplotním rozdílem $130^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$. Dvě soupravy z pěti jsou odstaveny z provozu. Uváděné množství dodávky tepla je vzhledem ke zrychlení zpětné vody za soupravou, která byla odstavena z provozu bez uzavření průtoku media. Toto řešení je standardní provedení tepelné technické soustavy s nástěnnými soupravami. Místo požadovaného teplotního rozdílu $130^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ se teplotní rozdíly změnil na $130^\circ\text{C}/94^\circ\text{C}$, což je v hlubokém rozporu s požadavkem na hospodárny provoz teplotní soustavy.

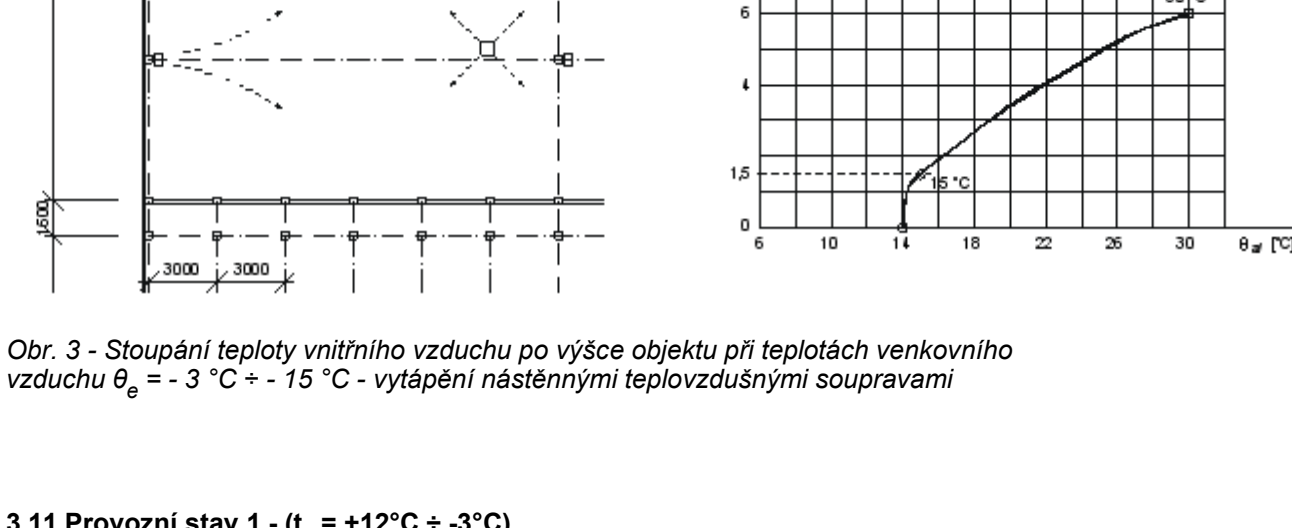


Obr. 4 - Teplota vratné vody při odstavení dvou nástěnných teplovzdušných souprav z provozu ze skupiny pěti jednotek

3.20 Zavěšené sálavé panely

Stejně tak jako v předchozím případě, i pro posouzení vhodnosti vytápění sálavými panely použijeme příklad (obr.č.5). Při sálavém vytápění je zcela odlišný princip dodávky tepla. Tepelná energie dopadá na podlahu, kterou zahřívá, zvyšuje její teplotu a od ní se teprve ohřívá vzduch. Pak teprve stoupá zhuřu. Tento princip zcela mění teplotní podmínky v celém prostoru objektu.

Sálavé panely sestavené do pásů (1) jsou rozmištrány tak, aby byla tepelná energie dodávána na celou plochu podlahy rovnoměrně a v odpovídající výšce - v souladu s tepelnými ztrátami dané plochy a blízkostí okolí (př.: stěny, okna atp.). Ve zvoleném příkladu pásy teplejší (přívod media: 130°C) začínají u venkovní stěny, zpětná voda o nižší teplotě (70°C) končí u vnitřní výrobní lodi. Pásy jsou zapojeny za sebou. V jednotlivých řezech probíhají teploty vzduchu po výšce přibližně v následujících hodnotách.



Obr. 5 - Stoupání teploty vnitřního vzduchu po výšce objektu - vytápění haly sálavými panely

Řez A - v blízkosti venkovní stěny

Díky působení sálavé složky panelů se ohřívá podlaha (18°C), takže vzduch těsně u podlahy má již poměrně vysokou teplotu. Nad touto teplejší vrstvou však teplota vzduchu vlivem chladného proudu vzduchu padajícího podél stěny k podlaze klesá. Ve výši 1,5m má již teplotu odpovídající požadavku tepelné pohody ($t = +15^\circ\text{C}$). Sálavá složka je vyšší ($t_s = 20^\circ + 21^\circ\text{C}$) díky teplejším pásům u venkovní stěny (voda 130°C). Vzhůru až do roviny panelů pak teplota vzduchu stoupá ($g = 0,3 + 0,5 \text{ K/m}$). Nad rovinou panelů se pak vlivem jejich konvekční složky vytvoří "poišť" v rozmezí cca $2+3\text{K}$.

Řez B - vzdálenost cca 3m od venkovní stěny

V této části je již částečně omezen vliv chladného proudu vzduchu vzniklého na venkovní stěně. Průběh teploty vzduchu po výšce objektu téměř paralelně sleduje průběh v řezu A. Její hodnoty jsou cca o 1 K vyšší.

Řez C

Jelikož tento prostor je dostatečně daleko od venkovní stěny, teplota podlahy stoupá na $18^\circ + 20^\circ\text{C}$. V oblasti pobytu člověka se zcela vyrovnává teplota pod střešním pláštěm (doloženo měřeními v konkrétních případech). Nad úrovní této zóny - v zóně neutrální se teplotní gradient pohybuje v rozmezí $0,3 + 0,5 \text{ K/m}$. V prostoru světlíku teplota vzduchu v závislosti na kvalitě zasklení.

Řez D - prostor uvnitř haly

Téměř stejný průběh a podmínky při podlaze jako v řezu C, avšak pod střešním pláštěm teplota stoupá vlivem konvekční složky panelů.

ZÁVĚR

Porovnání nástěnných souprav x sálavé panely z hlediska principu dodávky tepla

Po provedeném rozboru principů obou soustav vytápění velkoprostorových objektů lze konstatovat, že otopná soustava s nástěnnými teplovzdušnými soupravami neplní v plném rozsahu požadovanou funkci. Dosahuje teploty proměnlivé a mnohdy nedostatečné mikroklimatické podmínky v zóně pobytu člověka na straně jedné a vysoké teploty vzduchu pod střešnou na straně druhé jsou jednak příčinou vysokých tepelných ztrát a tím vysoké energetické náročnosti objektu.

Naproti tomu sálavé vytápění udržuje zcela optimální podmínky v zóně pobytu člověka a podstatně snižuje teplotní ztráty soustavy ==> nízká energetická náročnost. Uvedeně k takto potvrdzují výsledky z garancí měření, kde se po rekonstrukci otopných soustav (nástěnné soupravy + sálavé panely) dosahuje nižší spotřeby tepla o 35 + 40 %. Někdo konstatovat, že k takto vysokým rozdílným hodnotám přispívají další technické detaily v návrzích sálavých panelů, kterým bude věnována pozornost v dalších částech této publikace.