

# Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (III)

## Komplexní pohled na vytápění průmyslových hal v soustavách CZT

20.3.2006 | Ing. Miroslav Kotrbatý | RECENZOVANÝ

**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 Všeobecně

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 tepelně technické soustavy včetně zdroje tepla a sítě. Díky rozměrům průmyslových halových objektů a působících fyzikálních zákonů se vytvářejí zóny, které vyžadují samostatný rozbor. Z tohoto rozboru se musí vycházet v návrhu vhodné otopné soustavy. Cílem musí být: optimální pracovní prostředí v zóně pobytu člověka s minimální energetickou náročností celé soustavy.

### 2.00 Zóny vlivu na řešení otopných 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 ochlazování 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.

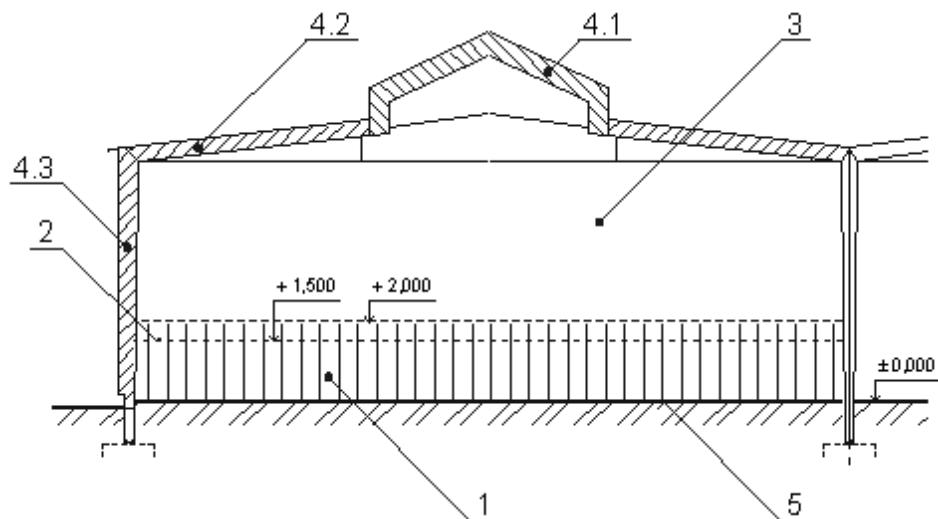
$$t_g = \frac{t_i + t_s}{2} \quad (\text{°C}) \quad (1)$$

$$t_g = \frac{\frac{\alpha_s}{\alpha_k} t_i + t_s}{2} \quad (\text{°C}) \quad (2)$$

kde:

$t_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	- teplota výsledná
$t_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	- teplota vzduchu
$t_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	- teplota sálavá (okolních ploch)
$a_s$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	- součinitel přestupu tepla na povrchu těla sáláním
$a_k$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	- součinitel přestupu tepla na povrchu těla konvekcí

Rovnice (1) platí za předpokladu, že se jedná o klidný 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 "druhotnou otopnou plochu" a to jak v kladném (při sálavém vytápění), tak i záporném (při teplovzdušném vytápění) slova smyslu.



Obr. 1 - Zóny vlivu na řešení otopných soustav v průmyslové hale

1 - zóna pobytu člověka ( $\pm 0,0 \div + 2,0 \text{ m}$ )	4 - zóna energetické náročnosti objektu
2 - rovina hodnotících kritérií prostředí ( $+ 1,5 \text{ m}$ )	5 - druhotná "otopná" 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 ( $0,3 \div 0,5 \text{ K/m}$  při sálavém a  $1 \text{ K/m}$  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 střechou (4.2) a stěnami (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 otopné soustavy vytápění, které ve svém principu dodávky tepla zde zajišťují nižší teplotu vzduchu.

## 3.00 Teplovzdušné x sálavé vytápění průmyslových hal

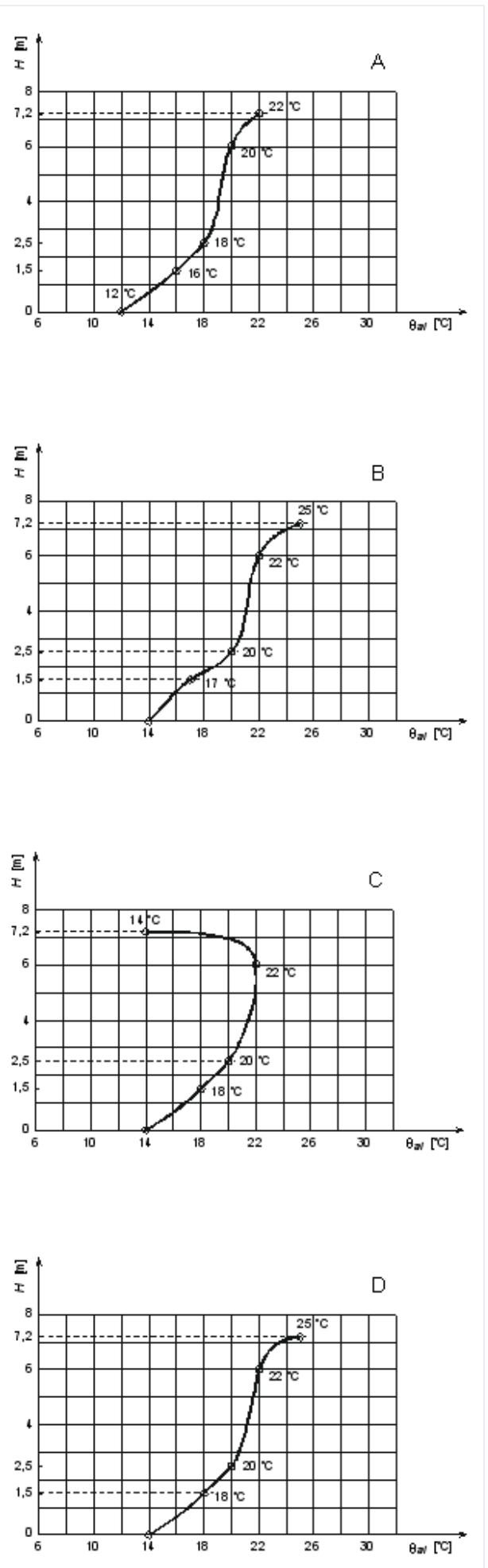
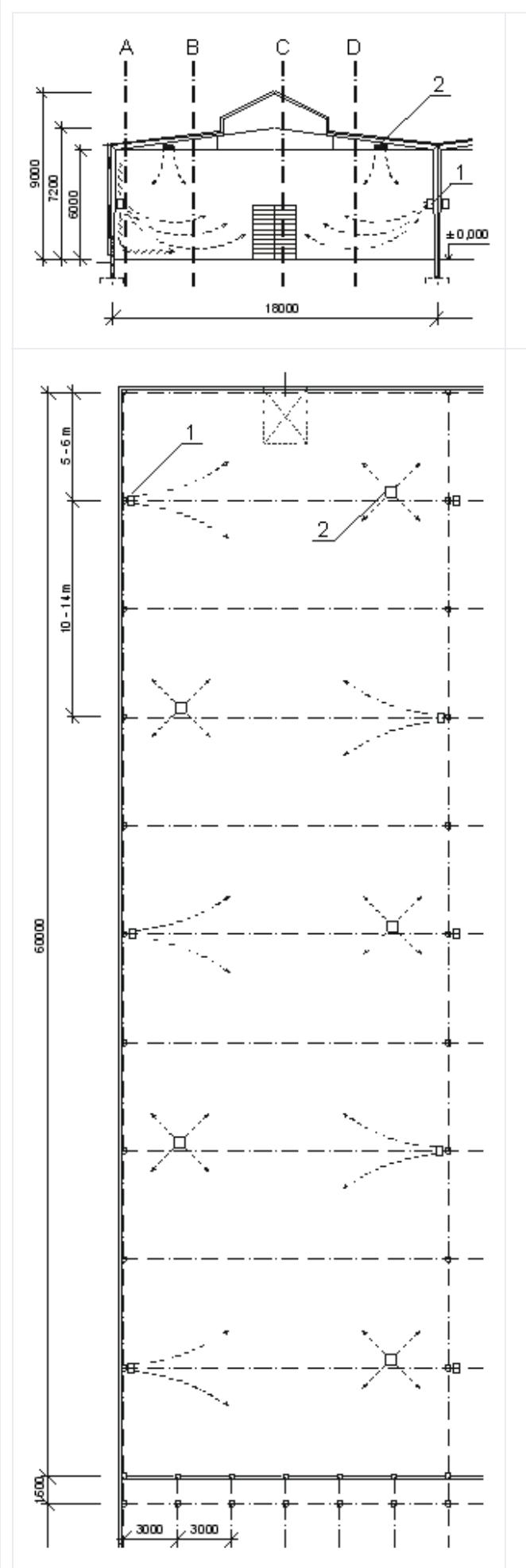
V současné době se pro vytápění velkoprostorových objektů navrhují buď nástenné teplovzdušné soupravy, nebo zavěšené sálavé panely. Jako otopná látka se používá teplá nebo horká voda, případně pára. Z pohledu dvou zásadních požadavků: **dosažení optimálních podmínek v pracovním prostředí při minimální 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 nástenných teplovzdušných souprav je použit příklad - vytápění krajní výrobní.

## 3.10 Nástenné teplovzdušné soupravy

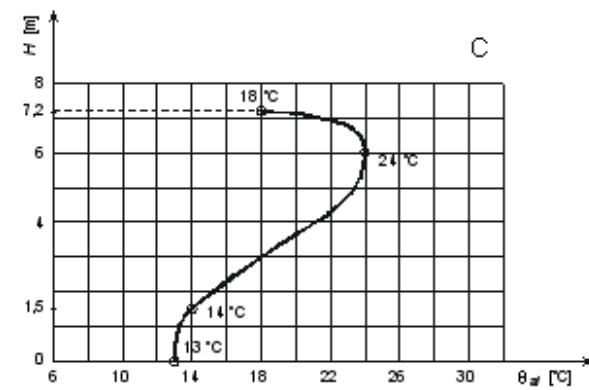
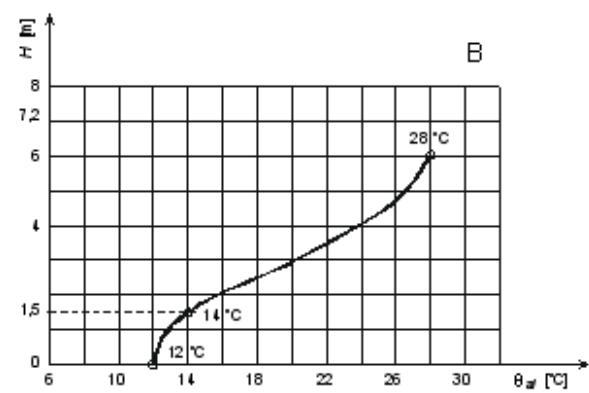
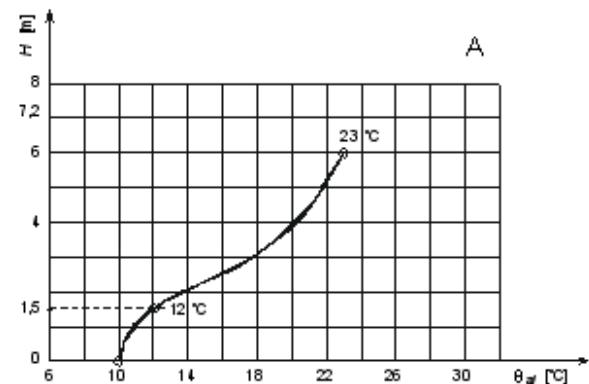
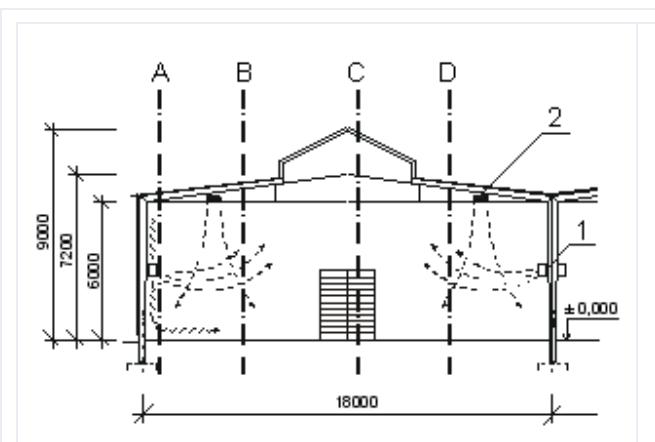
Lodě, průmyslové haly o rozměrech  $60\text{m} \times 18\text{m} \times 6\text{m}$  (pod vazník). Jelikož nástenné teplovzdušné soupravy pracují na principu - konstantní průtok vzduchu a změna jeho teploty v závislosti na měnící se teplotě venkovní (ekvitemní regulace) ==> čím je venkovní teplota nižší, 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 stavů:

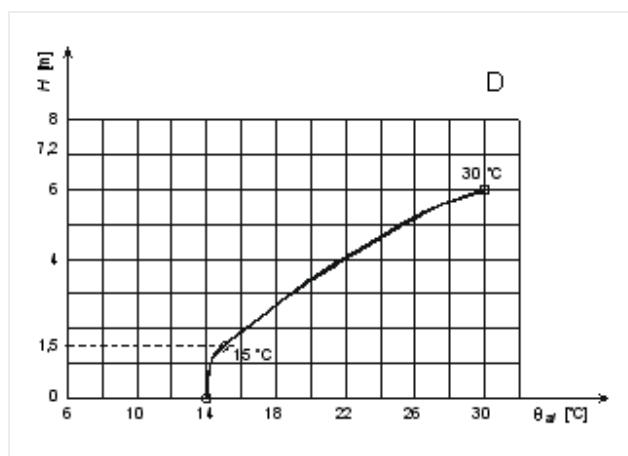
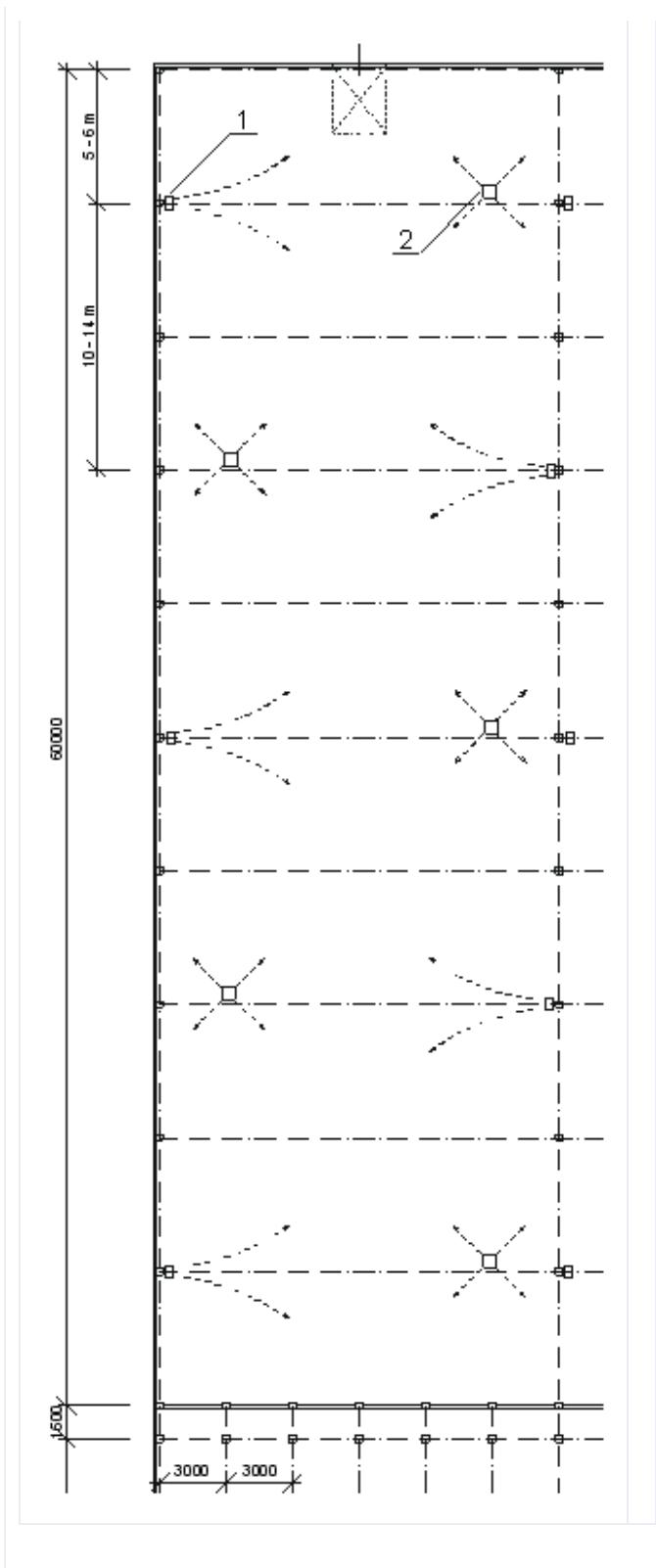
**1** - při venkovních teplotách  $t_e = +12 \text{ }^{\circ}\text{C} \div -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Obr. č. 2)

**2** - při venkovních teplotách  $t_e = -3 \text{ }^{\circ}\text{C} \div -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Obr. č. 3)



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





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

### 3.11 Provozní stav 1 - ( $t_e = +12^\circ\text{C} \div -3^\circ\text{C}$ )

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 posléze obrací vzhůru a stoupá ke střešnímu pláště. Teploty vzduchu dosahované v různých částech haly jsou rozmanité a jsou ovlivňovány jak teplotním gradientem, tak i různě teplými, či chladnými plochami chraničícími 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 ochlazovaná stěna a okna. Ochlazovaný vzduch na těchto plochách proudí k podlaze, která je rovněž chladná. Teplota vzduchu při podlaze dosahuje kolem  $12^{\circ}\text{C}$ . Teplota v referenčním bodě - 1,5m nad podlahou se pohybuje v rozmezí  $14^{\circ}\div 16^{\circ}\text{C}$ . Teplota vzduchu po výšce objektu stoupá v hodnotě cca 1 K/m. Pod střešním pláštěm má cca  $20^{\circ} \div 22^{\circ}\text{C}$ .

#### **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. Mírně se zvedá teplota vzduchu nad podlahou. Pod střešním pláštěm se teploty pohybují kolem  $20^{\circ} \div 22^{\circ}\text{C}$ .

#### **Řez C - prostory pod světlíkem**

Teplota podlahy se stejně jako v předchozím řezu pohybuje kolem  $14^{\circ}\text{C}$  a vyrovnává se s teplotou vzduchu. Ve výši 1,5m nad podlahou stoupá na požadovanou hodnotu  $t_i = 18^{\circ}\text{C}$ . 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 ( $t_i = 24^{\circ} \div 26^{\circ}\text{C}$ ) a tím vyšších tepelných ztrát.

### **3.12 Provozní stav 2 - ( $t_e = -3^{\circ}\text{C} \div -15^{\circ}\text{C}$ )**

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 proudu vzduchu má za následek jeho rychlé stoupání pod střešní pláště. Dochází k absurdní situaci - teplota vzduchu v zóně pobytu člověka klesá a pod střešním pláštěm stoupá - enormě 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 hospodárnost 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 roztečích  $10\text{m} \div 14\text{m}$  s ohledem na zajištění rovnoměrné dodávky tepla po celé ploše objektu. Tento požadavek vede k použití malých jednotek, které však mají menší výkon a tím také i menší dosah ( $10\text{m} \div 14\text{m}$ ). Řešení je uvedeno ve obou variantách s šírkou haly 18m. Ventilátory přivádějí vzduch do oblasti, kam nedosáhne proud vzduchu ze soupravy.

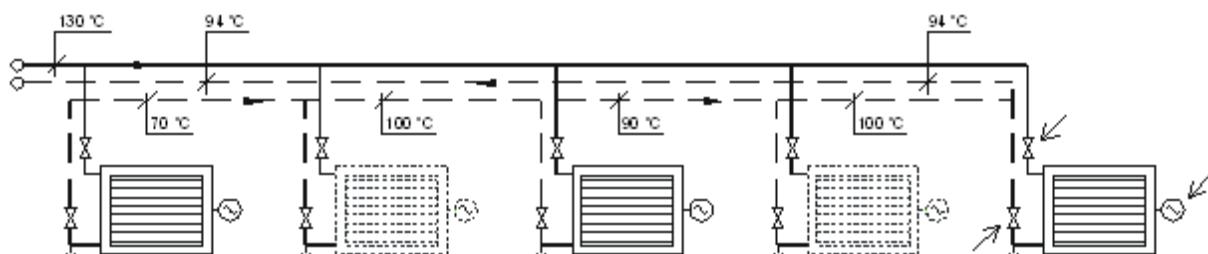
### **3.13 Odstavování jednotek z provozu ==> nepříznivý vliv na teplotu**

## zpětné vody primáru

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

Pozn.: Při prováděných měření jsme na pracovištích před jednotkami naměřili rychlosť proudění v rozmezí  $1,8 \div 3,2 \text{ m/sec}$ . 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 teploty media jasně ukazují jak se zvyšuje teplota zpátečky za soupravou, která byla odstavena z provozu bez uzavření průtoku media. Toto řešení je standartní provedení tepelně technických soustav s nástěnnými soupravami. Místo požadovaného teplotního rozdílu  $130^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$  se teplotní rozdíl změnil na  $130^\circ\text{C}/94^\circ\text{C}$ , což je v hlubokém rozporu s požadavkem na hospodárný provoz teplárny.

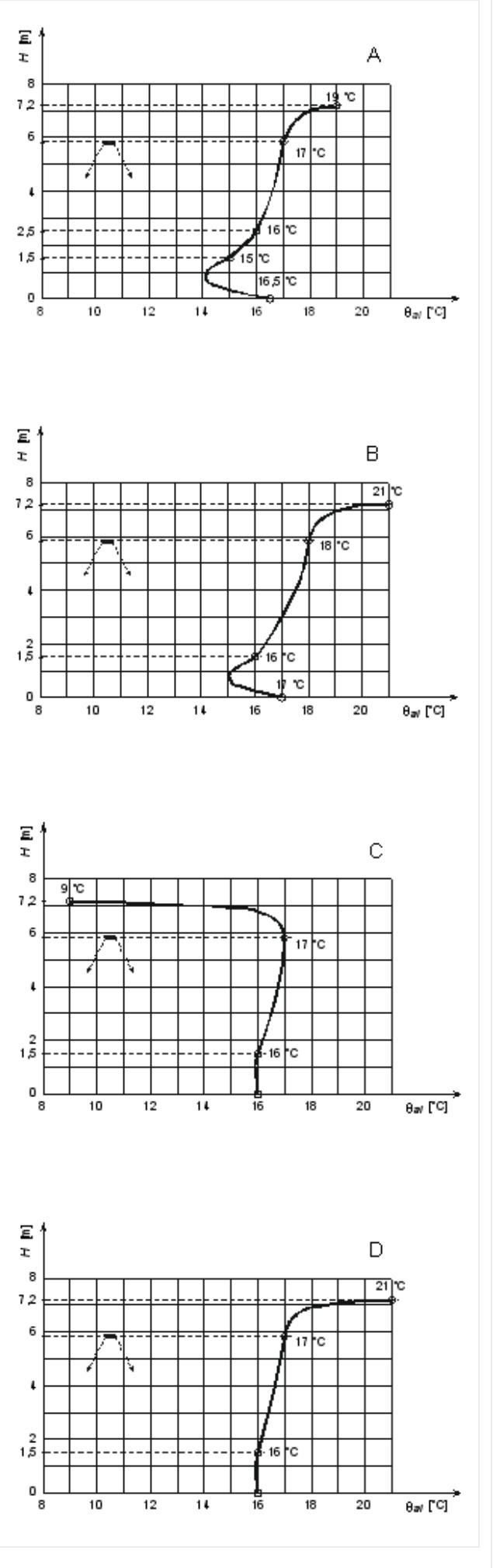
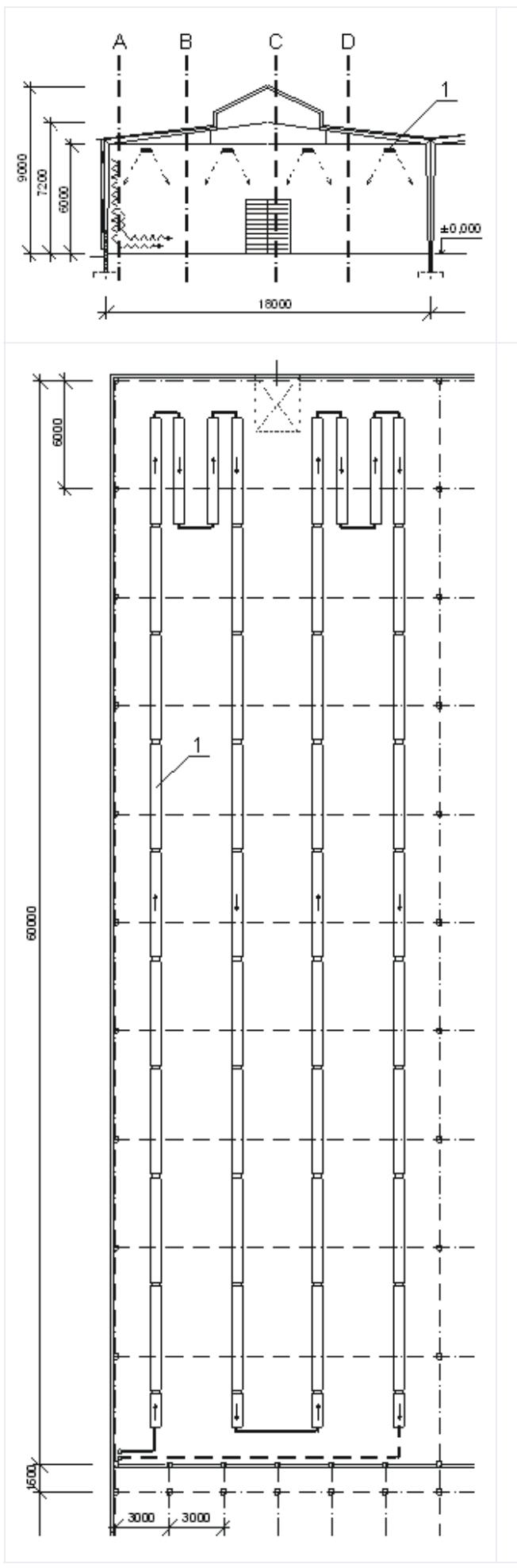


Obr. 4 - Teplota vratné vody při odstavení dvou nástěnných teplovzdušných souprav z provozu ze skupiny pěti jednotek

## 3.20 Zavěšené sálavé panely

Stejně tak jako v předchozím případě, i pro posouzení vhodnosti vytápění sálavými panely poslouží rovněž 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 vzhůru. Tento princip zcela mění teplotní podmínky v celém prostoru objektu.

Sálavé panely sestavené do pásů (1) jsou rozmístěny tak, aby byla tepelná energie dodávána na celou plochu podlahy rovnoměrně a v odpovídající výši - v souladu s tepelnými ztrátami dané plochy a blízkého okolí (př.: stěny, okna atp.). Ve zvoleném příkladu pásy teplejší (přívod media:  $130^\circ\text{C}$ ) začínají u venkovní stěny, zpětná voda o nižší teplotě ( $70^\circ\text{C}$ ) 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 ( $18^{\circ}\text{C}$ ), 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 ( $t_i = +15^{\circ}\text{C}$ ). Sálavá složka je vyšší ( $t_s = 20^{\circ} \div 21^{\circ}\text{C}$ ) díky teplejším pásum u venkovní stěny (voda  $130^{\circ}\text{C}$ ). Vzhůru až do roviny panelů pak teplota vzduchu stoupá ( $g = 0,3 \div 0,5 \text{ K/m}$ ). Nad rovinou panelů se pak vlivem jejich konvekční složky vytvoří teplejší "polštář" v rozmezí cca  $2 \div 3\text{K}$ .

#### Řez B - vzdálenost cca 3m od venkovní stěny

V této části objektu 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  $1\text{ K}$  vyšší.

#### Řez C

Jelikož tento prostor je již poměrně daleko od venkovní stěny, teplota podlahy stoupá na  $18^{\circ} \div 20^{\circ}\text{C}$ . V oblasti pobytu člověka se zcela vyrovnává teplota po výšce člověka (doloženo měřením v konkrétních případech). Nad úrovní této zóny - v zóně neutrální se teplotní gradient pohybuje v rozmezí  $0,3 \div 0,5 \text{ K/m}$ . V prostoru světlíku teplota vzduchu klesá 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 nástěnné soupravy 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 velice proměnné a mnohdy nedostatečné mikroklimatické podmínky v zóně pobytu člověka na straně jedné a vysoké teploty vzduchu pod střechou na straně druhé jsou jednak přičinou vysokých tepelných ztrát a tím vysoké energetické náročnosti objektu.

Naproti tomu sálavé vytápění udržuje zcela optimální podmínky v zóně pobytu člověka a podstatně snižuje tepelné ztráty střechou ==> nízká energetická náročnost. Uvedená fakta potvrzují výsledky z garančních měření, kde se po rekonstrukci otopných soustav (nástěnné soupravy -> sálavé panely) dosahují nižší

spotřeby tepla o 35 ÷ 40 %. Nutno konstatovat, že k takto zásadně rozdílným hodnotám přispívají další technické detaily v návrzích sálavých panelů, kterým bude věnována pozornost v dalších částech této publikace.

**Datum:** 20.3.2006

**Autor:** Ing. Miroslav Kotrbatý [všechny články autora](#)