

PREZRAČEVANJE

Zapiski iz predavanj

dr. M. K.

23.10.2006

1.

PRENOS TOPLOTE

Prenos toplote je skupni pojem za prenos toplote s prevodom, konvekcijo in sevanjem.

Prevod toplote : toplota se znotraj telesa z intermolekularnim delovanjem prenese iz atoma na atom. Atomi se nahajajo v stanju mirovanja.

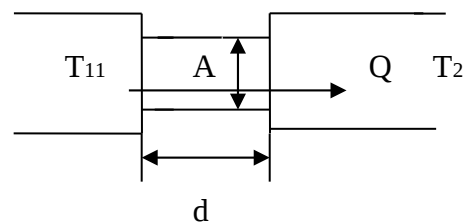
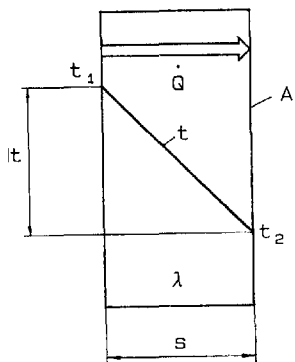
Konvekcija : toplota se prenaša iz gibajočega medija (tekočine ali plina) na trdno telo ali nasprotno npr. iz zraka na zid . Atomi so v stanju gibanja.

Sevanje : to je prenos toplotne energije s elektromagnetnim valovanjem. Prenos iz enega na drugo telo se odvija brez materialnih nosilcev.

1.1. PREVOD TOPLOTE

- prenos toplotnega toka iz toplega na hladno telo preko stične ploskve.

1.1.1. Raven zid



- prevod toplote je odvisen od razlike temperatur ΔT med toplim in hladnim telesom, lastnosti materialov (toplotne prevodnosti λ materiala), površine A in dolžine d .

a) Toplotni pretok oziroma gostota toplotnega pretoka skozi raven, enoslojni zid :

$$\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \quad \rho = \frac{\dot{Q}}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

ΔT – razlika temperatur (K) (če razlike v temperaturi ni, prenos ni mogoč)

λ - koeficient toplotne prevodnosti (W / m K)

ρ - gostota toplotnega pretoka (W / m²)

Q - toplotni pretok (W)

A - površina (m²)

d (s) - debelina sloja (m)

b) Toplotni pretok skozi raven, večslojni zid (zid, izolacija, omet):

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\Delta t_1}{\frac{s_1}{\lambda_1}} = \frac{\Delta t_k}{\frac{s_k}{\lambda_k}} = \frac{\Delta t_n}{\frac{s_n}{\lambda_n}} = \frac{\Delta t}{\left(\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} \right)} \text{ u W/m}^2$$

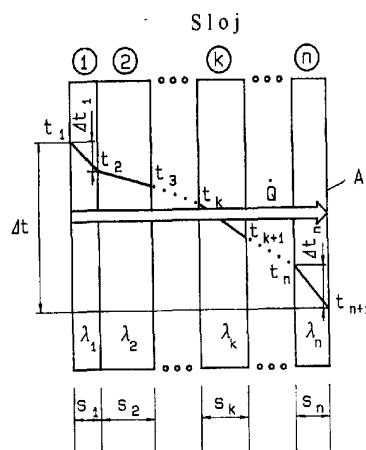
in je skozi vse plasti vedno enak (spreminja se samo temperatura)

Tok temperature v ravnem večslojnjem zidu moramo izračunati za vsak sloj posamezno :

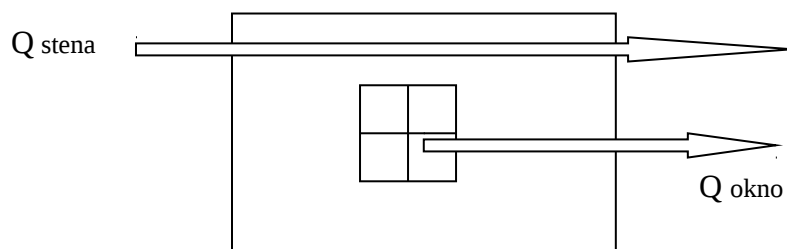
$$\Delta t_k = t_k - t_{k-1} = \dot{q} \frac{s_k}{\lambda_k} \text{ u K, npr.: } \Delta t_1 = t_1 - t_2 = \dot{q} \frac{s_1}{\lambda_1}.$$

Temperature na stičiščih slojev se izračuna po postopku :

$$t_{k+1} = t_k - \dot{q} \frac{s_k}{\lambda_k} \text{ u } ^\circ\text{C, npr. } t_2 = t_1 - \dot{q} \frac{s_1}{\lambda_1}.$$



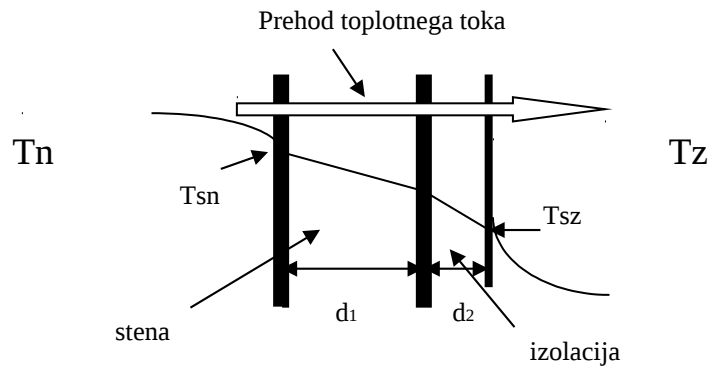
c) Če pa imamo npr. v zidu vdeleno okno, računamo toplotni pretok posebej skozi zid in posebej skozi okno



1. naloga

Kakšna bo temperatura na stičišču med zunanjim delom opeke in izolacijo T_v , če imamo podatke :

$d_1 = 30 \text{ cm}$ (debelina zidu – opeke), $\lambda_1 = 0.6 \text{ W / m K}$ (toplotna prevodnost opeke),
 $d_2 = 7.5 \text{ cm}$ (debelina izolacije), $\lambda_2 = 0.04 \text{ W / m K}$ (toplotna prevodnost opeke),
 zunanja temperatura $T_z = -18 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura zunanje stene $T_{sz} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$
 notranja temperatura $T_n = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura notranje stene $T_{sn} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$



Potek računanja :

$$q = \frac{T_{sn} - T_{sz}}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}} = \frac{34 \text{ K}}{\frac{0.3 \text{ m}}{0.6 \text{ W/mK}} + \frac{0.075 \text{ m}}{0.04 \text{ W/mK}}} = 14.31 \text{ W/m}^2$$

1. način :

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{d_1}{\lambda_1}} = \frac{T_{sn} - T_v}{\frac{0.3}{0.6}} \implies \frac{q \cdot 0.6}{0.3} = T_{sn} - T_v \implies$$

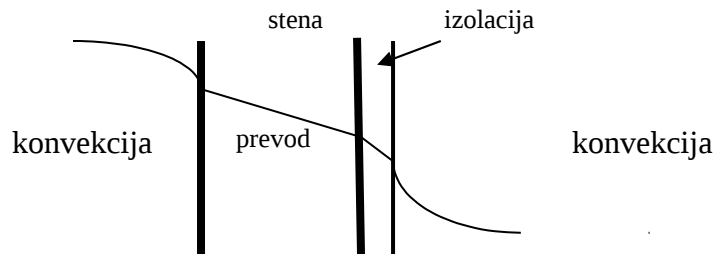
$$\implies T_v = T_{sn} - \frac{14.31 \text{ W/m}^2 \cdot 0.3 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} = 19 \text{ }^\circ\text{C} - 7.15 \text{ }^\circ\text{C} \approx 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. način :

$$q = \frac{(T_v - T_{sz}) \cdot \lambda_2}{d_2} \implies T_v = \frac{q \cdot d_2}{\lambda_2} - T_{sz} \approx 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

1.2. KONVEKCIJA

Prestavlja naslednji možen način prenosa toplote. Toplota prehaja iz medija (tekočina, plin) na steno (hiše, cevi, radiatorja, itd). Ta medij prinaša ali odnaša toploto (vedno iz toplejšega v hladnejše).



$$Q = \dot{\alpha}_k \cdot A \cdot \Delta t \quad (W) \qquad q = \frac{\dot{Q}}{A} = \dot{\alpha}_k \cdot \Delta t = \dot{\alpha}_k \cdot (t_w - t_f) \quad (W/m^2)$$

Δt – sprememba temperature (K)

t_w – temperatura zraka (°C)

t_f – temperatura fluida (°C)

$\dot{\alpha}_k$ – koeficient konvekcije oziroma koeficient prehoda (lastnost medija) (W/m² K)

A – površina (m²)

q – gostota toplotnega pretoka (W/m²)

$\dot{\alpha}_k$ je funkcija velikega števila spremenljivk (od hitrosti , temperature, toplotne prevodnosti , viskoznosti, lastnosti zidu, grelnih ali gladilnih površin, oblike pretoka (laminarno ali turbulentno)).

Obstajajo velike razlike med konvekcijskim prenosom toplote pri prisilnim in prostim pretokom, ker prosti pretok nastane kot posledica razlik v gostoti fluidov (plina ali tekočine) z različnima temperaturama. Običajno se v praksi opredeljuje konvekcijski prenos toplote po teoriji podobnosti oziroma po Nuseltovih enačbah .

Števila podobnosti :
(brez dimenzijska števila)

Reynoldsono število :
(pri pretokih)

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Nuseltovo število :
(velja za cevi)

$$Nu = \frac{\alpha_K l}{\lambda}$$

Prandtlovo število :

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{v}{\lambda} \rho c_p = \frac{\eta c_p}{\lambda}$$

Nuseltovo število izhaja iz Reynoldsovega in Prandlovega števila :

$$Nu = c \cdot Re^x \cdot Pr^y$$

Pomen oznak :

- α_k – koeficient konvekcije oziroma koeficient prehoda (lastnost medija) (W/m² K)
- d – karakteristična dimenzija (premer, dolžina plošče) (m)
- v – hitrost (m/s)
- λ – toplotna prevodnost oziroma koeficient prevodnosti snovi (W/m K)
- ν – kinematična viskoznost (m²/s)
- η – dinamična viskoznost (Pa • s)
- α – temperaturna prevodnost $\alpha = \lambda / (c_p \cdot \rho)$ (m²/s)
- c_p – specifična toplotna kapacitivnost (J/ kg • K)
- Δt – sprememba temperature (K)

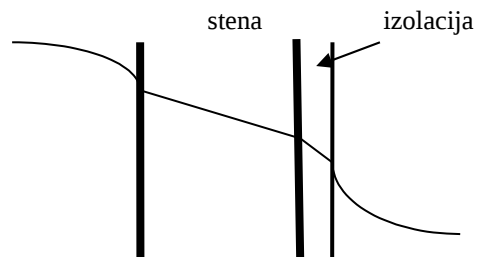
1.3. PREHOD TOPLOTE

Kadar se iz fluida na fluid, ki jih ločuje trdna stena, prenese toplota zaradi temperaturne razlike, tedaj govorimo o prehodu toplote.

Za ravno steno velja :

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta t \text{ (W)}$$

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} = k \cdot \Delta t \text{ (W/m}^2 \text{)}$$



Prehod toplote dobimo pri konvekciji skozi notranjo steno, prevodu skozi zid in ponovno konvekcijo skozi zunanjo steno .

Pomen oznak :

- \dot{Q} – toplotni tok (W)
- k – koeficient toplotne prevodnosti (W/m² K)
- A – površina (m²)
- q – gostota toplotnega pretoka (W/m²)
- Δt – sprememba temperature (temperatura na notranji strani stene – temperatura na zunanji strani stene)(K)
- t – temperatura (°C)

Za izračun koeficienta prehoda toplote k vzamemo koeficient prehoda toplote z notranje in zunanje stani. Za fluid, ki prepušča gibanje, npr. zrak velja, da je $\alpha = \alpha_k + \alpha_s$, za fluid, ki pa gibanja ne prepušča, npr. voda, pa velja, da je $\alpha = \alpha_k$.

Za ravno steno velja :

$$1/k = 1/\alpha_n + 1/\alpha_z + \sum d_i / \lambda_i$$

- α_n – koeficient toplotne prestopnosti notranje stene
- α_z – koeficient toplotne prestopnosti zunanje stene

2. naloga

$\alpha_n = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (običajno se vzame ta vrednost)

$\alpha_z = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (po standardu DIN 4701 – standard za računanje centralnega ogrevanja)

$d_{\text{zidu1}} = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$ $\lambda_{\text{opeke1}} = 0.75 \text{ W/m K}$ (ometa ne štejemo)

Zanima nas vrednost koeficienta toplotne prestopnosti **k** ?

Primerjamo vrednosti :

$\lambda_{\text{opeke2}} = 0.6 \text{ W/m K}$, $d_2 = 0.3 \text{ m}$

$\lambda_{\text{izolacije}} = 0.75 \text{ W/m K}$, $d_3 = 7.3 \text{ m}$

Potek računanja :

a) **$1/k = 1/\alpha_n + 1/\alpha_z + d_{\text{zidu1}} / \lambda_{\text{opeke1}}$**

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{8 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{1}{25 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{0.60 \text{ m}}{0.75 \text{ W/m K}} = 0.965 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{k \approx 1.04 \text{ W/m}^2 \text{ K}}$$

b) **$1/k = 1/\alpha_n + 1/\alpha_z + d_{\text{zidu2}} / \lambda_{\text{opeke2}} + d_{\text{zidu3}} / \lambda_{\text{izolacije}}$**

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{8 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{1}{25 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{0.30 \text{ m}}{0.60 \text{ W/m K}} + \frac{0.075 \text{ m}}{0.04 \text{ W/m K}} = 2.54 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{k = 0.39}$$

c) Za votlaka brez izolacije velja, da je **$k = 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$**

TRANSMISIJSKI IZRAČUN

1. Δt Najprej ugotovimo kakšno temperaturo želimo imeti v prostoru (razlika med notranjo in zunanjo temperaturo)

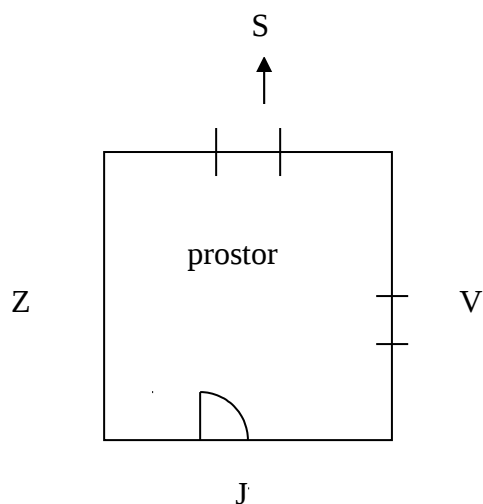
2. k_i

a) Kakšno sestavo stene in kakšno izolacijo bomo uporabili (izračun koeficienta toplotne prehodnosti k – za stropove, za stene, za tla nad zemljo)
- če je vlaga oziroma voda, se vzame večja vrednost za k
- če imamo suh prostor pa je vrednost k lahko manjši

b) Kakšna bo sestava oken in vrat (izračun koeficienta toplotne prehodnosti k - predstavljajo najšibkejši člen v stavbi)
- pri oknu (lahko je termopan, dvojno izolirano, prostor med stekli napolnjen z plinom, pri taki izvedbi je k približno $3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

3. prezračevanje

Kakšno bo področje, kjer bo stal objekt (ali je na vetrovnem predelu itd.)
- za vsako steno objekta moramo posebej izračunati prenos toplote



- če je stena obrnjena proti severu **S** dodamo + 5 % **izračuna**

- če je stena obrnjena proti jugu **J** vzamemo - 5 % **izračuna**

- za stene, ki gledajo proti vzhodu **V** ali zahodu **Z** pa **ni dodatka**

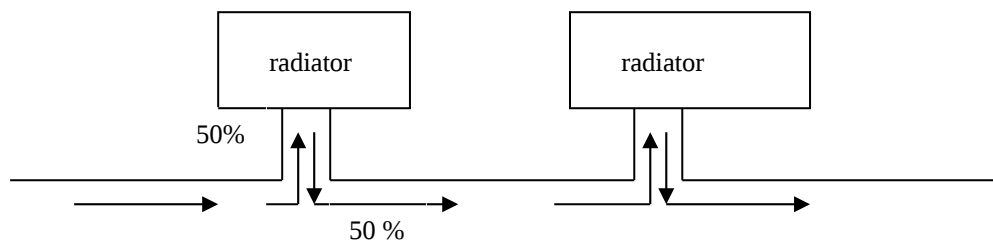
Upoštevamo :

- smer neba
- način kurjenja (reducirano kurjenje – grejemo stalno, vendar ponoči nastavimo na nižjo temperaturo). Dodatek na kurjavo je + 7 % izračuna.
- če je prekinitev daljša, moramo uporabiti večje radiatorje
- k izračunu za ogrevanje so včasih dodali še 10 % zaradi izgub v cevovodih

Ko vse to izračunamo, lahko rečemo, da smo določili potrebno količino energije za ogrevanje. Sedaj lahko izberemo ustrezne radiatorje. Velja namreč, da jih načeloma postavimo ob zunanjo steno, pod oknom, nad radiatorjem vsaj 15 cm prostora zaradi kroženja zraka, cevi naj nebi bile vzdane zaradi lažjega vzdrževanja.

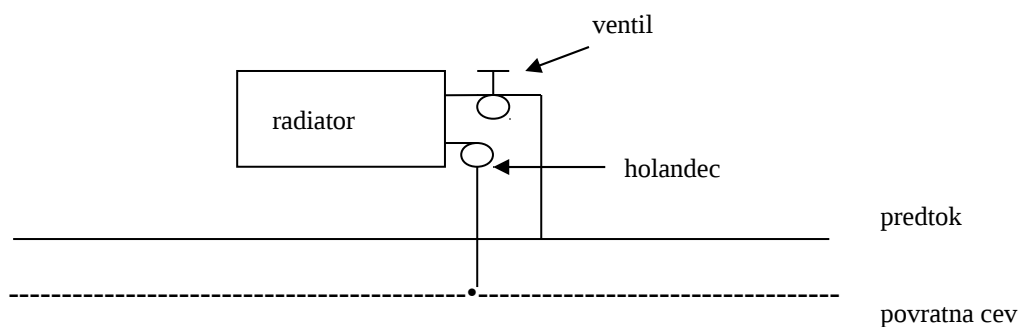
VRSTA INSTALACIJ

1. ENOCEVNI SISTEM

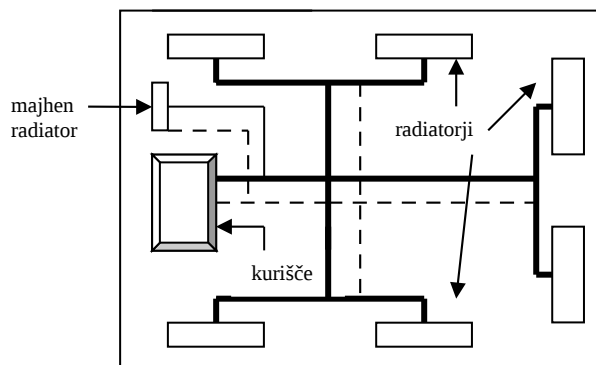


Pri enocevni sistemih kroži topel zrak iz enega radiatorja v drugi, ki sta med seboj zaporedno vezana. Slabost tega sistema je v tem, ker se del tople vode v posameznem radiatorju potroši in gre voda v drugi radiator z nižjo temperaturo. Da odpravimo ta problem vgradimo večji naslednji radiator .

2. DVOCEVNI SISTEM



Prednost tega sistema je v tem, da kroži topla voda po vseh radiatorjih z enako temperaturo, ki znaša med 70 °C do 90 °C. Radiatorski sistem vzame toploto kolikor jo potrebuje.

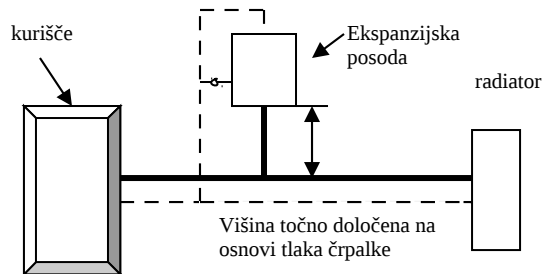


- radiatorji naj bi bili povezani v zvezda vezavo
- na najvišjih mestih radiatorja nameščeni ventili za prezračevanje (padec navzdol)
- vezavo manjšega radiatorja na instalacijo blizu kurišča se **odsvetuje**

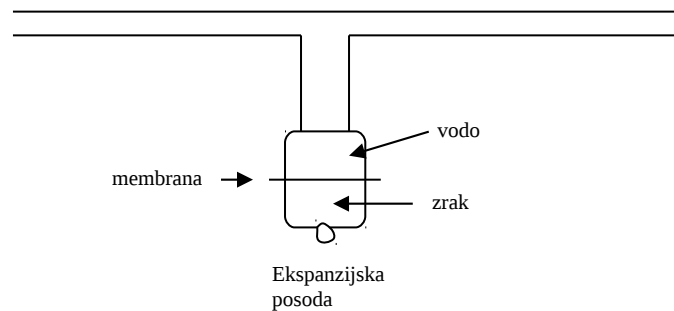
EKSPANZIJSKA POSODA

Poznamo odprti in zaprti sistem.

Pri odprtem sistemu je ekspanzijska posoda na točno določeni višini v odvisnosti od potrebnega tlaka v črpalki.



Zaprti sistem :



* za povprečno enostanovanjsko hišo ($\approx 200 \text{ m}^2$ prostornine) se uporablja kurišče(kotel) od 10 do 15 kW

* pri končnem izračunu potrebne količine energije s upoštevanimi dodatki, je priporočljivo upoštevati le 60 % vrednosti končnega izračuna, kajti običajno ne ogrevamo vseh prostorov hkrati, pa tudi upoštevana zunanja temperatura le redko doseže $-18 \text{ }^\circ\text{C}$

3. naloga

Radiator ima temperaturo 55 °C in skupno površino 3,4 m². Koliko toplote oddaja v okolico s konvekcijo, če je temperatura zraka 22 °C in koeficient prestopnosti 8 W/m² K ?

$$T_r = 55 \text{ °C}$$

$$A = 3,4 \text{ m}^2$$

$$T_z = 22 \text{ °C}$$

$$\alpha_k = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$Q = \alpha_k \cdot A \cdot \Delta t \quad \Delta t = T_r - T_z$$

$$Q = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 3,4 \text{ m}^2 \cdot (55 \text{ °C} - 22 \text{ °C}) = 897,6 \text{ W} \approx \mathbf{0,90 \text{ kW}}$$

4. naloga

Kolikokrat bi se povečalo oddajanje toplote radiatorja v prejšnji nalogi, če bi ustvarili okrog radiatorja umetno gibanje zraka s povprečno hitrostjo 2,0 m/s in predpostavili, da je delež koeficienta vsiljene konvekcije $\beta = 12 \text{ W s}^{1/2} / \text{m}^{3/2} \text{ K}$?

$$n = \frac{\alpha + \beta \sqrt{v}}{\alpha} = 1 + \frac{\beta}{\alpha} \sqrt{v} = 1 + \frac{12 \text{ W s}^{1/2} / \text{m}^{3/2} \text{ K}}{8 \text{ W/m}^2 \text{ K}} \sqrt{2 \text{ m/s}} = 3,12$$

5. naloga

Vzemi, da ima radiator v nalogi 3. omejeno in konstantno moč 900 W. Kolikšna bi bila temperatura zunanje površine radiatorja, če bi ustvarili okrog radiatorja umetno gibanje zraka, kot je to v nalogi 4 ?

$$T_r = 55 \text{ °C}$$

$$A = 3,4 \text{ m}^2$$

$$T_z = 22 \text{ °C}$$

$$\alpha_k = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$P = 900 \text{ W}$$

$$T_{zr} = ?$$

Koeficient prestopnosti α_k se je zaradi gibanja zraka povečal za faktor $n = 3$ (izračun iz naloge 4.), kar pomeni, da je :

$$\alpha_k = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 3 = \mathbf{24 \text{ W/m}^2 \text{ K}}$$

$$Q = \alpha_k \cdot A \cdot \Delta t \quad \Longrightarrow \quad \Delta T = Q / A \cdot \alpha_k$$

$$\Delta T = 900 \text{ W} / 3,4 \text{ m}^2 \cdot 24 \text{ W/m}^2 \text{ K} = \mathbf{11 \text{ K}}$$

Ker je radiator zaradi umetnega gibanja zraka oddal v zrak 11 K toplote, moramo k temperaturi zraka prišteti to oddano toploto. Tako znaša temperatura zunanje površine radiatorja zaradi gibanja zraka :

$$T_{zr} = T_z + \Delta T = 22 \text{ °C} + 11 \text{ °C} = \mathbf{33 \text{ °C}}$$

6. naloga

Izračunaj toplotni tok skozi kvadratni meter stene, ki jo sestavljata dve plasti (λ/d)₁ = 1,2 in (λ/d)₂ = 0,43 W/m² K, če je temperatura zraka znotraj 20 °C in zunaj 6 °C in je koeficient prestopnosti α_k znotraj 8,1 in zunaj 23,3 W/m² K !

$$(\lambda/d)_1 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$(\lambda/d)_2 = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\alpha_z = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\alpha_n = 23,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\dot{Q} = ?$$

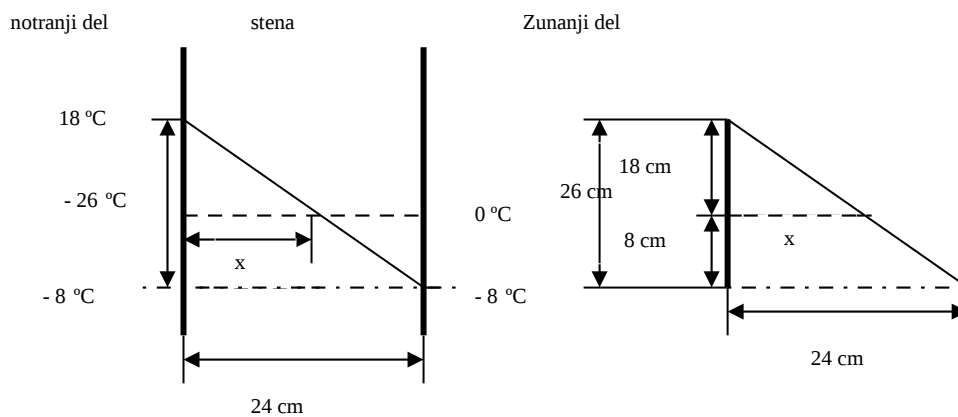
$$\left(\frac{d}{\lambda}\right) = \left(\frac{d}{\lambda}\right)_1 + \left(\frac{d}{\lambda}\right)_2 = \frac{1}{1,2 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{1}{0,43 \text{ W/m}^2\text{K}} = 3,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R = \frac{\left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_z} + \frac{d}{\lambda}\right)}{S} = 3,32 \text{ K/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_n - T_z}{R} = \frac{14 \text{ K}}{3,32 \text{ K/W}} = 4,2 \text{ W}$$

7. naloga

Homogena zunanja stena zgradbe z debelino 24 cm ima na notranji površini temperaturo 18 °C, na zunanji površini pa -8 °C . Kako globoko v steni, merjeno od notranje strani, je temperatura 0 °C ?



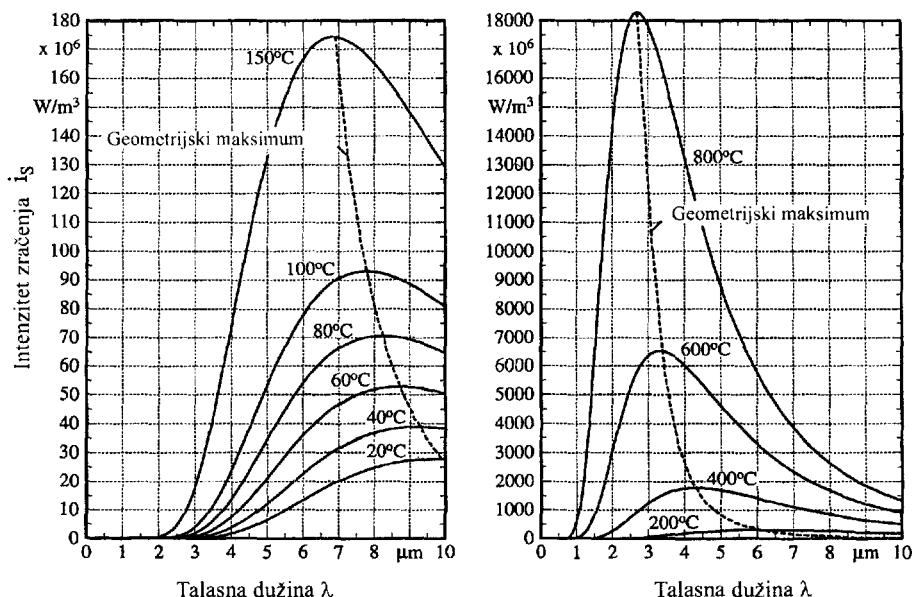
Po enačbi za geometrijske like, izračunamo razdaljo x :

$$\frac{26}{24} = \frac{18}{x} \implies x = 24 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} / 26 \text{ cm} = \mathbf{16,6 \text{ cm}}$$

1.4. SEVANJE

Toplotno sevanje (temperaturno oziroma infrardeče sevanje) se emitira in absorbira s strani trdnih teles, tekočin in nekaterih plinov. Pravzaprav, gre za elektromagnetno valovanje v območju valovnih dolžin med 0.8 do 800 μm (svetloba se nahaja med 0.4 do 8 μm).

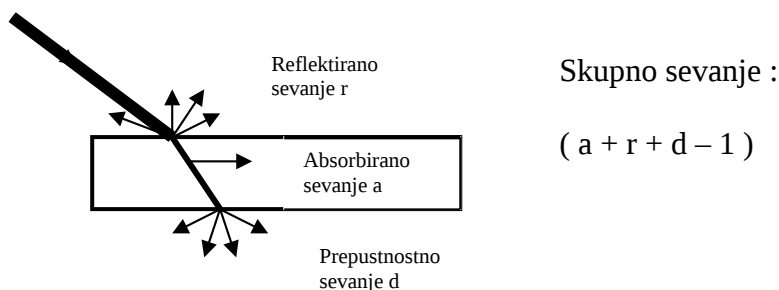
Jakost sevanja (gostota toplotnega pretoka na enoto valovne dolžine) se povečuje z višanjem temperature in v odvisnosti od vrednosti maksimalne valovne dolžine (Planckov zakon sevanja)



Intenzivnost sevanja črnega telesa po Planckovem zakonu sevanja

Z naraščanjem temperature se jakost sevanja pomika proti manjšim valovnim dolžinam (Vinov zakon sevanja).

Žarki, ki padajo na telo, so lahko absorbirani (stopnja absorpcije a), reflektirani (stopnja refleksije r) ali prepustnostni (stopnja prepustnosti d).



Možna porazdelitev sevanja (hrapava površina povzroča difuzno sevanje)

1.4.1. ŠTEFAN – BOLCMANOV ZAKON – STOPNJA EMISIJE

Skupna energija sevanja (emisija) črnega telesa znaša :

$$\dot{E}_s = \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad (W), \quad j_s = E_s / A = \sigma \cdot T^4 \quad (W/m^2)$$

Pomen oznak :

E_s - skupna energija sevanja (W)

T - absolutna temperatura (K)

A - emitirana površina (m²)

j_s - toplotni tok (skupna energija sevanja po enoti površine) (W/m²)

σ - konstanta sevanja (Bolcmanova konstanta sevanja) = $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m² K

Najbolj seva črno telo, emisijski koeficient ϵ je 1 ($\epsilon = 1$). Črno telo tako kot dobro oddaja toploto tako jo tudi dobro sprejema (sončni kolektorji so zato obarvani z črno barvo).

Realno sevno telo emitira manj energije. Za sivo sevno telo velja stopnja emisije **manjša od 1** ($\epsilon < 1$).

$$\dot{E} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad (W), \quad j = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (W/m^2)$$

Stopnja emisije ϵ nekaterih materialov :

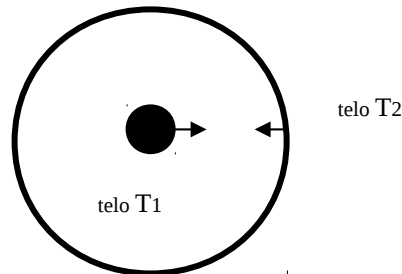
Materija	Temperatura °C	ϵ	Materija	Temperatura °C	ϵ
Metali			Nemetali		
Aluminijum, gladko valjani polirani	170 100	0,049 0,12	Papir	0 93	0,92 0,94
Hrom, polirani	150	0,071	Beton, hrapav	0 do 93	0,94
Bakar, polirani	20	0,038	Opeka, rdeča	0 do 93	0,93
oksidirani	130	0,73	Gips	20	0,82
Gvozdci i čelik, polirani do vis. sjaja	177	0,066	Staklo	20	0,87
Gvozdeni lim, rdečo nardali jako zardali	20 19	0,62 0,67	Drvo, hrast bukva	0 do 93 70	0,90 0,91
Čelični lim, debeo, hrapav oksidni sloj	24	0,78	Glina, pečena	70	0,86
Liveno gvozdce, tečno	1300	0,29	Voda, led, slana	0	0,92
Nikl, poliran	100	0,053	Premazi		
			Uljna boja, bela	93	0,94
			crvena	93	0,97
			crna	93	0,92
			zelena	93	0,95
			Premaz grejnih tela	100	0,93
			Aluminijumbronzna	100	0,3

- Človeško telo ima emisijski koeficient ϵ okoli 0.96.
- Bela barva pa najmanj seva

1.4.2. PRENOS SEVANJA

Dve telesi oddajata vsako svojo energijo ena proti drugi. Absolutna temperatura predstavlja razliko temperatur obeh teles na četrto potenco .

cev in njen ovoj :



$$j = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{T_2^4 - T_1^4}{\text{↑ absolutna temperatura}}$$

Količina toplote, ki se s telesa T1 prenese na njegov ovoj T2 znaša :

$$\dot{Q} = C_{1,2} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \cdot A_1 \quad (\text{W}), \quad \dot{\rho} = \dot{Q} / A_1 = C_{1,2} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \quad (\text{W/m}^2)$$

Pomeni oznak :

- \dot{Q} - količina toplote (W)
- \dot{q} - gostota toplotnega pretoka (W/m²)
- A - površina (m²)
- T - absolutna temperatura (K)
- C_{1,2} - koeficient sevanja (W / m² K⁴)

Posebni primeri : $j = C_{1,2}$

a) $A_1 \approx A_2$ (npr. majhna razdalja med notranjo cevjo in ovojem)

$$C_{1,2} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4)$$

b) $A_1 \ll A_2$ (npr. grelna cev v velikem prostoru)

$$C_{1,2} = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_1 \quad \text{W/(m}^2 \text{ K}^4).$$

c) vzporedne zelo velike plošče $A_1 = A_2$

$$C_{1,2} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4)$$

8. naloga

Izračunaj toplotni tok, ki ga seva Zemlja v vesolje, če vzameš povprečno temperaturo površja 12 °C, Koeficient absorpcije 0.95 in radij Zemlje 6370 km ter zanemariš sevanje in refleksijo oblakov in ozračja!

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T_z = 0,95 \cdot 5,67^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \cdot \pi \cdot (6,37^6)^2 \text{ m}^2 \cdot 285^4 \text{ K}^4 = 18 \cdot 10^{10} \text{ MW}$$

9. naloga

Izračunaj, koliko toplote seva gol človek v okolico, če je $T_{\text{kože}} = 31 \text{ °C}$, cela površina telesa $1,9 \text{ m}^2$, Efektivna sevalna površina 85 %, koeficient emisivnosti je 0.98 in Stefanova konstanta je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$?

$$\begin{aligned} T_{\text{kože}} &= 31 \text{ °C} \\ S &= 1,9 \text{ m}^2 \\ \varepsilon &= 0,98 \\ \sigma &= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \\ \dot{Q} &=? \end{aligned} \quad \begin{aligned} \frac{\dot{Q}}{S} &= \varepsilon \sigma T^4 \Rightarrow \dot{Q} = \varepsilon \sigma T^4 S \\ \dot{Q} &= 0,98 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4} \cdot (304 \text{ K})^4 \cdot 1,615 \text{ m}^2 = 766 \text{ W} \end{aligned}$$

10. naloga

Koliko toplote zgublja človek s površino $1,8 \text{ m}^2$ s sevanjem, če je povprečna temperatura površine obleke 27 °C in temperatura sevanja okolice 21 °C ? Vzemi, da je koeficient absorpcije približno 1.0!

$$A = 1,8 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{obleke}} = 27 \text{ °C} = 300 \text{ K}$$

$$T_{\text{okolice}} = 21 \text{ °C} = 294 \text{ K}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{obleke}}^4 - T_{\text{okolice}}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \cdot 1,8 \text{ m}^2 \cdot (300 \text{ K}^4 - 294 \text{ K}^4) = 64,17 \text{ W}$$

11. naloga

7. Koliko toplote seva radiator z efektivno površino $1,2 \text{ m}^2$ in s temperaturo 55 °C v okolico, ki ima srednjo temperaturo sevanja 21 °C ? Vzemi absorpcijski koeficient radiatorja 0,90! Primerjaj sevanje z oddajanjem toplote v s konvekcijo, če je $\alpha = 8,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$! Kolikšna je celotna moč, s katero radiator ogreva okolico?

$$(\dot{Q}_R = 251 \text{ W}; \dot{Q}_C = 326 \text{ W}; P = 577 \text{ W})$$

$$A = 1,2 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{radiatorja}} = 55 \text{ °C} = 328 \text{ K}$$

$$T_{\text{sevanja}} = 21 \text{ °C} = 294 \text{ K}$$

$$\varepsilon = 0,90$$

$$\alpha = 8,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$P = ? \text{ in } Q_{\text{radiatorja}} = ?$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{radiatorja}} &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{radiatorja}}^4 - T_{\text{sevanja}}^4) \\ Q_{\text{r.}} &= 0,90 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \cdot 1,2 \text{ m}^2 \cdot (328 \text{ K}^4 - 294 \text{ K}^4) \\ Q_{\text{radiatorja}} &= 251,2 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{konvekcija}} &= \alpha_k \cdot A \cdot \Delta T = \alpha_k \cdot A \cdot (T_{\text{radiatorja}} - T_{\text{sevanja}}) \\ Q_{\text{konvekcija}} &= 8,0 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 1,2 \text{ m}^2 \cdot (328 \text{ K} - 294 \text{ K}) \\ Q_{\text{konvekcija}} &= 326,4 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P = Q_{\text{radiatorja}} + Q_{\text{konvekcija}} = 251,2 \text{ W} + 326,4 \text{ W} = 577,6 \text{ W}$$

2. VLAŽEN ZRAK

Vlažen zrak je zmes suhega zraka in vode (termodinamika zmesi kisika dušika, vodne pare).
 Pri vlažnem zraku razlikujemo tri področja :

- nenasičen vlažen zrak (tu je primanjkljaja vode)
- nasičen vlažen zrak s kapljevitim kondenzatom (temperatura nad 0 °C – vlažen zrak poleti (rosa, megla) ; mrzel avto v topel prostor, kar privede do zarositve zunanjih šip avtomobila)
- nasičen zrak z trdnim kondenzatom (temperatura zraka pod 0 °C – v zimskem času je zrak blizu nasičenja $\approx 90\%$ vlaga, vsa voda odstranjena, tak zrak ne sprejema več vlage, nastaja ivje, svež)

- pri preobrazbi vlažnega zraka se v splošnem **masa suhega zraka m** zraka ne spreminja, spremeni pa se volumen suhega zraka
- količina vlage v zraku m_w pa se zaradi kondenzacije ali uparjanja spremeni
- za opis sestave vlažnega zraka vpeljemo vsebino vlage ali **vlačnost x**

$$x = m_w / m_{zr} \text{ (masa vode / masa zraka)}$$

- pri vrednosti $x = 0$ je zrak suh, pri $x = \infty$ je zrak čista voda (ali para)
- stanje vlažnega zraka lahko opišemo s naslednjimi veličinami :
 - temperaturo **T**
 - celotnim tlakom **p**
 - vlačnostjo **x**

Normalni zrak vsebuje manj ali več količine vodne pare v nevidni obliki z določenim parcialnim tlakom. Količino pare, ki jo lahko sprejme zrak, je odvisna od temperature. Višja kot je temperatura, večja je količina pare. Pri maksimalni količini vodne pare je tlak vodne pare enak tlaku vrelišča pri ustrezni temperaturi. Kadar se nabere več vodne pare kot je potrebno pri stanju nasičenja, tedaj se višek pare spusti v obliki megle (najdrobnejše kapljice vode).

Čist zrak, brez vodne pare, je sestavljen iz velikega števila komponent (dušika – 78%, kisika – 21 %, žlahtni plini, ogljikovega dioksida, itd).

V termodinamičnih izračunih v tehniki prezračevanja, se lahko, v območju temperature in tlaka, vzame čist zrak kot en homogen plin (suh zrak) **L**, kateri z vodno paro **D** tvori dvokomponentno zmes idealnega plina. Pri tem velja :

- **p_L** = parcialnem tlaku suhega zraka (absolutni)
- **p_D** = parcialni tlak vodne pare (absolutni)
- **skupni zračni tlak** (stanje barometra) : $p = p_L + p_D$
- **enačba stanja za suh zrak :** $p_L \cdot V = m_L \cdot R_L \cdot T$
- **enačba stanja za vodno paro :** $p_D \cdot V = m_D \cdot R_D \cdot T$
- **vsebina vode x** (definicija) : $x = \frac{m_D}{m_L} = \frac{p_D}{p_L} = \frac{R_L}{R_D}$

Komponenta	Simbol	Molarna masa M kg/kmol	Gasna konstanta R J/(kg K)
Suh vazduh	L	28,96	287,1
Vodena para	D	18,02	461,4

- tu veljajo znane relacije :

$$x = 0,6222 \frac{p_D}{p_L}; \quad p_D = \frac{x}{0,6222 + x} p; \quad p_L = \frac{0,6222}{0,6222 + x} p.$$

2.1. RELATIVNA VLAŽNOST IN TOČKA ROSIŠČA

Pod pojmom **relativna vlažnost** označujemo razmerje med parcialnim tlakom vodne pare in tlakom nasičenja vodne pare v določenem času :

$$\phi = \frac{\text{parcialni tlak vodne pare}}{\text{tlak nasičenja vodne pare v določenem času}} = \frac{p_w(T)}{p_{\text{nas}}(T)} = \frac{p_w(T)}{p_{\text{nas}}(T)}$$

Vrednosti za relativno vlažnost se nahajajo **med vrednostnima 0 in 1**.

- pove nam, koliko vlage lahko zrak še sprejme
- relativno vlažnost merimo z meritvijo temperatur :
 - **temperatura vlažnega termometra TVT** (bučko, ovita z vato, ki je namočena z vodo, premikamo in s tem ustvarjamo gibanje zraka okoli nje, dokler temperatura termometra ne pade tako nizko, da se več ne spreminja . Tedaj lahko rečemo, da smo dosegli temperaturo vlažnega termometra). Pri TVT je temperatura konstantna pri določenem tlaku .
 - **temperatura suhega termometra TST** (temperatura v prostoru merjena z navadnim termometrom

2.2 GOSTOTA IN SPECIFIČNI VOLUMEN

Gostota vlažnega zraka ρ je masa zmesi v odnosu z volumnom . Enota je **kg** zmesi na kubični meter **m³** :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m_L + m_D}{V} = \rho_L + \rho_D = \frac{p_L}{R_L T} + \frac{p_D}{R_D T} \\ \rho &= 0,00348 \frac{p_L}{T} + 0,00217 \frac{p_D}{T} \quad \text{u kg}_{\text{smeše}} / \text{m}^3 \quad \text{sa } p_L, p_D \text{ u Pa} \\ \rho &= 0,348 \frac{p_L}{T} + 0,217 \frac{p_D}{T} \quad \text{u kg}_{\text{smeše}} / \text{m}^3 \quad \text{sa } p_L, p_D \text{ u hPa } (\equiv \text{mbar}) \\ \rho &= 0,348 \frac{p}{T} - 0,132 \frac{p_D}{T} \quad \text{u kg}_{\text{smeše}} / \text{m}^3 \quad \text{sa } p, p_D \text{ u hPa} \end{aligned}$$

- vlažen zrak je lažji od suhega zraka
- za specifični volumen v velja :

$$v = 1 / \rho$$

- v Mollierovem diagramu je specifični volumen podan na 1 kg suhega zraka . Enota je **m³/kg** suhega zraka. Iz tega sledi, da je :

$$\begin{aligned} v &= \frac{V}{m_L} = \frac{1}{\rho_L} = \left(\frac{x}{0,6222} + 1 \right) R_L \frac{T}{p} \\ v &= 287,1 \left(\frac{x}{0,6222} + 1 \right) \frac{T}{p} \quad \text{u m}^3 / \text{kg}_{\text{suvog vazduha}} \quad \text{sa } p \text{ u Pa} \end{aligned}$$

V območju nasičenja se lahko upošteva , da sta $x = x_s$, ker je volumen kapljične tekočine ali kristala ledu zanemarljiv.

Za p in v se lahko uporabljajo različne definicije. Tako npr., če imamo izmerjen volumski pretok, iščemo pa masni za zmes zrak-para, tedaj se uporablja ρ ($m_G = V \cdot \rho$).

Nasprotno, če se spremembo stanja vlažnega zraka dobi z izračunom, bi se moral tudi masni pretok suhega zraka nanašati na volumski pretok V , tedaj se uporablja v ($V = m \cdot v$)

- tudi specifični volumen v je reduciran na maso suhega zraka : 1 – suh zrak
 x - vlaga, ki je poleg
 $v_{1+x} = V / m_{zr}$ (volumen za vlažen zrak = volumen / masa suhega zraka)

- ta se razlikuje od običajne definicije specifičnega volumna :

$$v = V / m_{zr} + m_w \quad (\text{volumen za vlažen zrak} = \text{volumen} / \text{masa suhega zraka} + \text{masa vode})$$

Točka rosišča je tista temperatura, do katere se mora vlažen zrak ohladiti do nasičenja ; pod njo nastaja kondenzacija.

Razlika točke rosišča je razlika med temperaturo zraka in točko rosišča. Primanjkljaj nasičenja je razlika med tlakom nasičenja in parcialnim tlakom vodne pare.

Tlak nasičenja p_s se lahko vzame iz spodnje tabele :

Tabela 1.3.4-1 Pritisak pare p_s , sadržaj vode x_s , specifična entalpija h_s , gusitina Q_s i specifična v_s zasičenog vazduha pri $p = 1000$ hPa (prema aproksimativnim jednačinama za p_s)

t °C	p_s hPa	x_s g _w /kg _{t,L}	h_s kJ/kg _{t,L}	Q_s kg _{t,L} /m ³	v_s m ³ /kg _{t,L}
-20	1,03	0,64	-18,6	1,38	0,728
-19	1,13	0,71	-17,4	1,37	0,730
-18	1,25	0,78	-16,3	1,36	0,733
-17	1,37	0,85	-15,1	1,36	0,736
-16	1,50	0,94	-13,8	1,35	0,739
-15	1,65	1,03	-12,6	1,35	0,742
-14	1,81	1,13	-11,4	1,34	0,745
-13	1,98	1,23	-10,1	1,34	0,748
-12	2,17	1,35	-8,8	1,33	0,751
-11	2,37	1,48	-7,4	1,33	0,754
-10	2,59	1,62	-6,1	1,32	0,757
-9	2,83	1,77	-4,7	1,32	0,760
-8	3,09	1,93	-3,3	1,31	0,764
-7	3,37	2,11	-1,8	1,31	0,767
-6	3,68	2,30	-0,3	1,30	0,770
-5	4,01	2,51	1,2	1,30	0,773
-4	4,37	2,73	2,8	1,29	0,776
-3	4,76	2,97	4,4	1,29	0,779
-2	5,17	3,24	6,1	1,28	0,783
-1	5,62	3,52	7,8	1,28	0,786
0	6,11	3,82	9,6	1,27	0,789
1	6,57	4,11	11,3	1,27	0,792
2	7,05	4,42	13,1	1,26	0,796
3	7,58	4,75	14,9	1,26	0,799
4	8,13	5,10	16,8	1,25	0,802
5	8,72	5,47	18,8	1,25	0,806
6	9,35	5,87	20,8	1,24	0,809
7	10,01	6,29	22,9	1,24	0,812
8	10,72	6,74	25,0	1,23	0,816
9	11,47	7,22	27,3	1,23	0,819
10	12,27	7,73	29,6	1,22	0,823
11	13,12	8,27	32,0	1,22	0,827
12	14,01	8,84	34,4	1,22	0,830
13	14,96	9,45	37,0	1,21	0,834
14	15,97	10,10	39,7	1,21	0,838
15	17,04	10,79	42,4	1,20	0,842
16	18,17	11,51	45,3	1,20	0,846
17	19,36	12,29	48,3	1,19	0,849
18	20,62	13,10	51,4	1,19	0,853
19	21,96	13,97	54,6	1,18	0,858
20	23,37	14,89	58,0	1,18	0,862
21	24,85	15,86	61,5	1,17	0,866
22	26,42	16,89	65,1	1,17	0,870
23	28,08	17,98	69,0	1,16	0,875
24	29,82	19,13	72,9	1,16	0,879
25	31,66	20,35	77,1	1,15	0,884
26	33,60	21,63	81,4	1,15	0,889
27	35,64	23,00	85,9	1,14	0,894
28	37,79	24,43	90,7	1,14	0,899
29	40,05	25,96	95,6	1,14	0,904

(Nastavak tabele: Pritisak pare p_s , sadržaj vode x_s , specifična entalpija h_s , gusitina Q_s i specifična v_s zasičenog vazduha pri $p = 1000$ hPa (prema aproksimativnim jednačinama za $p_s(t)^*$)

t °C	p_s hPa	x_s g _w /kg _{t,L}	h_s kJ/kg _{t,L}	Q_s kg _{t,L} /m ³	v_s m ³ /kg _{t,L}
30	42,42	27,56	100,8	1,13	0,909
31	44,92	29,26	106,2	1,13	0,914
32	47,54	31,06	111,8	1,12	0,920
33	50,30	32,95	117,8	1,12	0,926
34	53,19	34,95	124,0	1,11	0,931
35	56,22	37,07	130,5	1,11	0,937
36	59,41	39,30	137,3	1,10	0,944
37	62,75	41,65	144,4	1,10	0,950
38	66,25	44,14	151,9	1,09	0,957
39	69,91	46,77	159,8	1,09	0,964
40	73,76	49,55	168,0	1,08	0,971
41	77,78	52,48	176,7	1,08	0,978
42	81,99	55,57	185,7	1,07	0,986
43	86,40	58,84	195,3	1,07	0,994
44	91,00	62,29	205,3	1,06	1,002
45	95,82	65,94	215,9	1,06	1,010
46	100,86	69,79	227,0	1,05	1,019
47	106,12	73,87	238,7	1,04	1,028
48	111,62	78,17	251,0	1,04	1,038
49	117,36	82,73	263,9	1,03	1,048
50	123,35	87,54	277,6	1,03	1,058
51	129,60	92,64	292,0	1,02	1,069
52	136,12	98,04	307,2	1,02	1,081
53	142,92	103,75	323,2	1,01	1,093
54	150,01	109,81	340,2	1,00	1,105
55	157,4	116,22	358,1	1,00	1,118
56	165,1	123,03	377,1	0,99	1,132
57	173,1	130,25	397,1	0,99	1,146
58	181,4	137,92	418,4	0,98	1,161
59	190,1	146,08	441,0	0,97	1,177
60	199,2	154,75	464,9	0,97	1,194
61	208,6	163,98	490,3	0,96	1,212
62	218,4	173,81	517,4	0,95	1,231
63	228,5	184,30	546,2	0,95	1,251
64	239,1	195,50	576,8	0,94	1,272
65	250,1	207,46	609,6	0,93	1,295
66	261,5	220,27	644,6	0,93	1,318
67	273,3	234,00	682,1	0,92	1,344
68	285,6	248,73	722,2	0,91	1,371
69	298,3	264,57	765,3	0,90	1,400
70	311,6	281,62	811,7	0,90	1,431
71	325,3	300,01	861,7	0,89	1,464
72	339,6	319,89	915,6	0,88	1,500
73	354,3	341,43	974,0	0,87	1,539
74	369,6	364,82	1037,4	0,86	1,581
75	385,5	390,28	1106,3	0,85	1,627
80	473,6	559,82	1564,2	0,81	1,926
85	578,1	852,55	2352,9	0,76	2,437
90	701,2	1460,08	3987,0	0,71	3,489
95	845,3	3400,97	9202,7	0,64	6,834

2.3. ABSOLUTNA VLAŽNOST

Vsebina vode x se pogostoma opisuje kot **absolutna vlažnost** x . Kadar se pomešata 1 kg suhega zraka in

x kg pare, tedaj dobimo **maso zmesi (1 + k) kg** . Tedaj pravimo, da je absolutna vlažnost vrednosti x kg vode na kg suhega zraka (izražena je najpogosteje v **g vode / kg suhega zraka**).

- količino vlage nenasičenega vlažnega zraka lahko navedemo tudi kot **absolutno vlago** :

$$\rho_w = m_w / V \text{ (gostota vode = masa vode / volumen)}$$

- pri vsaki temperaturi je absolutna vlaga največja, če je zrak nasičen. Drugače povedano, masa vode je največja tedaj, ko je zrak nasičen se pravi ko je poln vode. V tem primeru sta :

$$\rho_w = \rho_{nas} \text{ (parni tlak vode = parni tlak nasičenja)}$$

Pri računanju z vlažnim zrakom se priporoča uporabo mase 1 kg suhega zraka kot primerjalna vrednost ; tej masi se dodajo spremenljive vrednosti vodne pare .

Absolutna vlažnost nasičenja zraka ($\varphi = 1$ oziroma 100 %) se označuje z x_s . Redkeje uporabljena vrednost je **stopnja nasičenja ψ** :

$$\psi = x / x_s$$

Področje in mejne vrednosti :

Suh zrak $x = 0$ $\varphi = 0$

Vlažen zrak :

- nenasičen $0 < x < x_s$ $0 < \varphi < 1$
- nasičen $x = x_s$ $\varphi = 1$
- prenasičen $x > x_s$ -

Kadar je $x > x_s$ je delež x_s v **parni**, delež $x - x_s$ pa v **tekoči fazi (megli)**, ali pri $t < 0^\circ\text{C}$, je v **trdni fazi (ivje, sneg)**. Vrednosti x_s se lahko vzamejo iz prejšnje tabele, vrednosti za **pp** in **x** pa iz spodnje tabele .

Tabela 1.3.4-2 Vrednosti stanja vlažnega vzduha pri 1000 hPa: pritisek pare p_w in hPa sadržaj vode x in g/kg spec. entalpija h in kJ/kg (osnov za proračun kao u tabeli 1.3.4-1)											(Nastavak tabele: Vrednosti stanja vlažnega vzduha pri 1000 hPa: pritisek pare p_w in hPa sadržaj vode x in g/kg spec. entalpija h in kJ/kg (osnov za proračun kao u tabeli 1.3.4-1))											(Nastavak tabele: Vrednosti stanja vlažnega vzduha pri 1000 hPa: pritisek pare p_w in hPa sadržaj vode x in g/kg spec. entalpija h in kJ/kg (osnov za proračun kao u tabeli 1.3.4-1))													
relativna vlažnost φ u %											relativna vlažnost φ u %											relativna vlažnost φ u %													
t / °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	t / °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	t / °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
0	p_w	0,61	1,22	1,83	2,44	3,05	3,66	4,27	4,89	5,50	6,11	17	p_w	1,94	3,87	5,81	7,74	9,68	11,6	13,6	15,5	17,4	19,4	34	p_w	5,32	10,6	16,0	21,3	26,6	31,9	37,2	42,5	47,9	53,2
	h	0,95	1,90	2,86	3,81	4,77	5,72	6,68	7,64	8,60	9,56		h	2,91	5,82	8,73	11,64	14,55	17,46	20,37	23,28	26,19		h	8,27	16,54	24,81	33,08	41,35	49,62	57,89	66,16	74,43	82,70	
1	p_w	0,66	1,31	1,97	2,63	3,28	3,94	4,60	5,25	5,91	6,57	18	p_w	2,06	4,12	6,19	8,25	10,3	12,4	14,4	16,5	18,6	20,6	35	p_w	5,62	11,2	16,9	22,5	28,1	33,7	39,4	45,0	50,6	56,2
	h	1,01	2,02	3,03	4,04	5,05	6,06	7,07	8,08	9,09	10,10		h	3,13	6,26	9,39	12,52	15,65	18,78	21,91	25,04	28,17		h	9,58	19,16	28,74	38,32	47,90	57,48	67,06	76,64	86,22	95,80	
2	p_w	0,71	1,41	2,12	2,82	3,53	4,23	4,94	5,64	6,35	7,05	19	p_w	2,20	4,39	6,59	8,78	11,0	13,2	15,4	17,6	19,8	22,0	36	p_w	5,94	11,9	17,8	23,8	29,7	35,6	41,6	47,5	53,5	59,4
	h	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	9,90	11,0		h	3,27	6,54	9,81	13,08	16,35	19,62	22,89	26,16	29,43		h	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
3	p_w	0,76	1,52	2,27	3,03	3,79	4,55	5,30	6,06	6,82	7,58	20	p_w	2,34	4,67	7,01	9,35	11,7	14,0	16,4	18,7	21,0	23,4	37	p_w	6,27	12,5	18,8	25,1	31,4	37,6	43,9	50,2	56,5	62,7
	h	1,21	2,42	3,63	4,84	6,05	7,26	8,47	9,68	10,89	12,10		h	3,41	6,82	10,23	13,64	17,05	20,46	23,87	27,28	30,69		h	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5	63,0	73,5	84,0	94,5	105,0	
4	p_w	0,81	1,63	2,44	3,25	4,06	4,88	5,69	6,50	7,32	8,13	21	p_w	2,49	4,97	7,46	9,94	12,4	14,9	17,4	19,9	22,4	24,9	38	p_w	6,62	13,2	19,9	26,5	33,1	39,7	46,4	53,0	59,6	66,2
	h	1,31	2,62	3,93	5,24	6,55	7,86	9,17	10,48	11,79	13,10		h	3,65	7,30	10,95	14,60	18,25	21,90	25,55	29,20	32,85		h	11,0	22,0	33,0	44,0	55,0	66,0	77,0	88,0	99,0	110,0	
5	p_w	0,87	1,74	2,62	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97	7,85	8,72	22	p_w	2,64	5,28	7,93	10,6	13,2	15,9	18,5	21,1	23,8	26,4	39	p_w	6,99	14,0	21,0	28,0	35,0	41,9	48,9	55,9	62,9	69,9
	h	1,41	2,82	4,23	5,64	7,05	8,46	9,87	11,28	12,69	14,10		h	3,89	7,78	11,67	15,56	19,45	23,34	27,23	31,12	35,01		h	11,5	23,0	34,5	46,0	57,5	69,0	80,5	92,0	103,5	115,0	
6	p_w	0,93	1,87	2,80	3,74	4,67	5,61	6,54	7,48	8,41	9,35	23	p_w	2,81	5,62	8,42	11,2	14,0	16,8	19,7	22,5	25,3	28,1	40	p_w	7,38	14,8	22,1	29,5	36,9	44,3	51,6	59,0	66,4	73,8
	h	1,47	2,94	4,41	5,88	7,35	8,82	10,29	11,76	13,23	14,70		h	4,04	8,08	12,12	16,16	20,20	24,24	28,28	32,32	36,36		h	12,0	24,0	36,0	48,0	60,0	72,0	84,0	96,0	108,0	120,0	
7	p_w	0,98	1,97	2,95	3,93	4,91	5,89	6,87	7,85	8,83	9,81	24	p_w	2,99	5,98	8,97	11,9	14,9	17,9	20,9	23,9	26,9	29,9	41	p_w	7,78	15,6	23,3	31,1	38,9	46,7	54,4	62,2	70,0	77,8
	h	1,53	3,06	4,59	6,12	7,65	9,18	10,71	12,24	13,77	15,30		h	4,24	8,48	12,72	16,96	21,20	25,44	29,68	33,92	38,16		h	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0	112,5	125,0	
8	p_w	1,04	2,08	3,12	4,16	5,19	6,23	7,26	8,29	9,32	10,35	25	p_w	3,17	6,33	9,50	12,7	15,9	19,2	22,5	25,8	29,1	32,4	42	p_w	8,20	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	57,4	65,6	73,8	82,0
	h	1,59	3,18	4,77	6,36	7,95	9,54	11,13	12,72	14,31	15,90		h	4,41	8,82	13,23	17,64	22,05	26,46	30,87	35,28	39,69		h	13,0	26,0	39,0	52,0	65,0	78,0	91,0	104,0	117,0	130,0	
9	p_w	1,07	2,14	3,22	4,29	5,36	6,43	7,50	8,58	9,65	10,7	26	p_w	3,36	6,72	10,1	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	30,3	33,6	43	p_w	8,64	17,3	25,9	34,6	43,2	51,8	60,4	69,0	77,6	86,2
	h	1,64	3,28	4,92	6,56	8,20	9,84	11,48	13,12	14,76	16,40		h	4,61	9,22	13,83	18,44	23,05	27,66	32,27	36,88	41,49		h	13,5	27,0	40,5	54,0	67,5	81,0	94,5	108,0	121,5	135,0	
10	p_w	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	10,17	11,30	27	p_w	3,56	7,12	10,6	14,2	17,8	21,4	25,0	28,6	32,2	35,8	44	p_w	9,10	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0
	h	1,69	3,38	5,07	6,76	8,45	10,14	11,83	13,52	15,21	16,90		h	4,81	9,62	14,43	19,24	24,05	28,86	33,67	38,48	43,29		h	14,0	28,0	42,0	56,0	70,0	84,0	98,0	112,0	126,0	140,0	
11	p_w	1,18	2,36	3,54	4,72	5,90	7,08	8,26	9,44	10,62	11,80	28	p_w	3,76	7,52	11,3	15,1	18,9	22,7	26,5	30,3	34,0	37,8	45	p_w	9,58	19,2	28,7	38,3	47,9	57,5	67,1	76,7	86,3	95,9
	h	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50		h	5,01	10,02	15,03	20,04	25,05	30,06	35,07	40,08	45,09		h	14,5	29,0	43,5	58,0	72,5	87,0	101,5	116,0	130,5	145,0	
12	p_w	1,24	2,48	3,72	4,96	6,20	7,44	8,68	9,92	11,16	12,40	29	p_w	3,96	7,92	11,88	15,84	19,80	23,76	27,72	31,68	35,64	39,60	47	p_w	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	h	1,81	3,62	5,43	7,24	9,05	10,86	12,67	14,48	16,29	18,10		h	5,21	10,42	15,63	20,84	26,05	31,26	36,47	41,68	46,89		h	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	
13	p_w	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03	10,32	11,61	12,90	30	p_w	4,16	8,32	12,48	16,64	20,80	24,96	29,12	33,28	37,44	41,60	49	p_w	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5	63,0	73,5	84,0	94,5	105,0
	h	1,87	3,74	5,61	7,48	9,35	11,22	13,09	14,96	16,83	18,70		h	5,41	10,82	16,23	21,64	27,05	32,46	37,87	43,28	48,69		h	15,5	31,0	46,5	62,0	77,5	93,0	108,5	124,0	139,5	155,0	
14	p_w	1,34	2,68	4,02	5,36	6,70	8,04	9,38	10,72	12,06	13,40	31	p_w	4,36	8,72	13,08	17,44	21,80	26,16	30,52	34,88	39,24	43,60	51	p_w	11									

$$H = m_{zr} \cdot h_{zr} + m_w \cdot h_w \text{ (entalpija zraka + entalpija vode)}$$

• če reduciramo entalpijo vlažnega zraka na maso suhega zraka, dobimo :

$$h_{1+x} = H / m_{zr} = h_{zr} + x \cdot h_w \text{ (kJ / kg)}$$

Pomen oznak :

H – entalpija pomnožena s maso (kJ)
h - entalpija brez upoštevanja mase (kJ/kg)
 h_{1+x} – entalpija zraka in vode (kJ/kg)
 m_{zr} – masa zraka (kg)
 m_w – masa vode (kg)
 h_{zr} – entalpija zraka (kJ/kg)
 h_w - entalpija vode (kJ/kg)

• pri 0 °C velja, da sta entalpiji zraka in vode enaka ($h_{zr} = h_w$)

• posamezne vrednosti : (h_L pomeni entalpija zraka ; h_D pa entalpijo vodne pare)

$$h_L = c_{p,L} \cdot t = 1,01 \cdot t \quad \text{u kJ/kg} \quad t \quad ^\circ\text{C} \quad \text{- temperatura zraka}$$

$$c_{p,L} \quad \text{kJ/(kg K)} \quad \text{- specifična toplotna vrednost suhega zraka}$$

$$h_D = r_o + c_{p,D} \cdot t$$

$$= 2501 + 1,86 \cdot t \quad \text{u kJ/kg K} \quad r_o \quad \text{kJ/kg} \quad \text{- specifična toplotna vrednost izparevanja na trojni točki}$$

$$c_{p,D} \quad \text{kJ/(kg K)} \quad \text{- specifična toplotna vrednost vodne pare}$$

• entalpija zmesi (v odnosu na 1 kg suhega zraka) :

- nenasičen in nasičen zrak ($0 \leq x \leq x_s$) :

$$h = h_{zr} + x \cdot h_w = 1.01 \cdot t + x \cdot (2501 + 1.86 \cdot t) \text{ (kJ/kg suhega zraka)} - \text{ po zgornji tabeli 1.3.4.2.}$$

- preveč nasičen zrak ($x > x_s$ in $t > 0$ °C) s tekočo meglo :

$$h = 1.01 \cdot t + x_s \cdot (2501 + 1.86 \cdot t) + (x - x_s) \cdot 4.19 \cdot t \text{ (kJ/kg suhega zraka)}$$

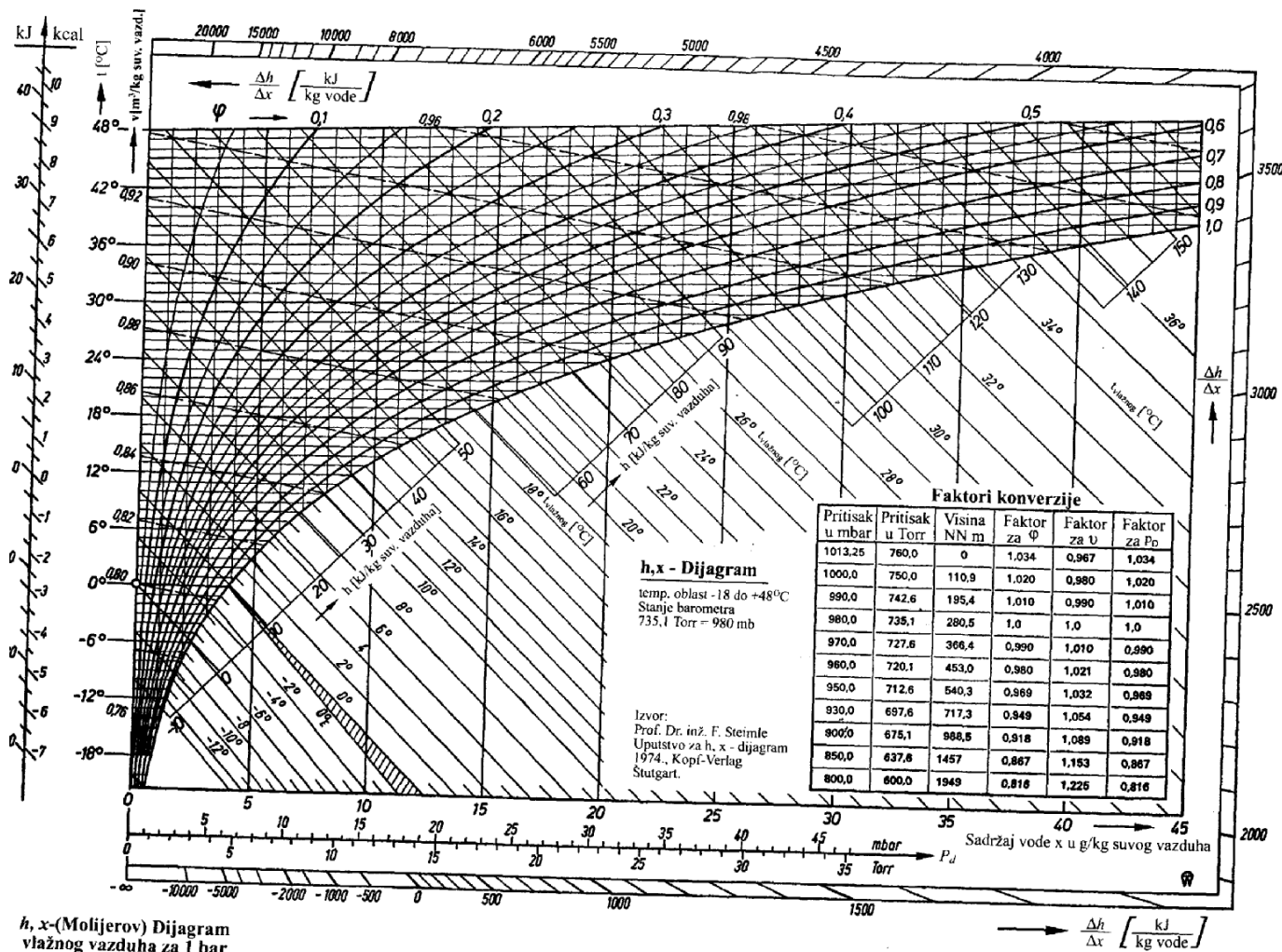
tekoča megla : masa $x - x_s$; parcialna entalpija $h_{\text{vode}} = (x - x_s) \cdot c_w \cdot t = (x - x_s) \cdot 4.19 \cdot t$

- preveč nasičen zrak ($x > x_s$ in $t < 0$ °C) s ledeno meglo :

$$h = 1.01 \cdot t + x_s \cdot (2501 + 1.86 \cdot t) + (x - x_s) \cdot (-344 + 2.09 \cdot t) \text{ (kJ/kg suhega zraka)}$$

ledena megla : parcialna entalpija $h_{\text{led}} = (x - x_s) \cdot (-r_{\text{topljenca}} + r_{\text{led}}) = (x - x_s) \cdot (-344 + 2.09 \cdot t)$

2.5. MOLLIEROV h_x DIAGRAM ZA VLAŽEN ZRAK PRI TLAKU 1 BAR



h, x - (Molijerov) Dijagram
vlažnog vazduha za 1 bar

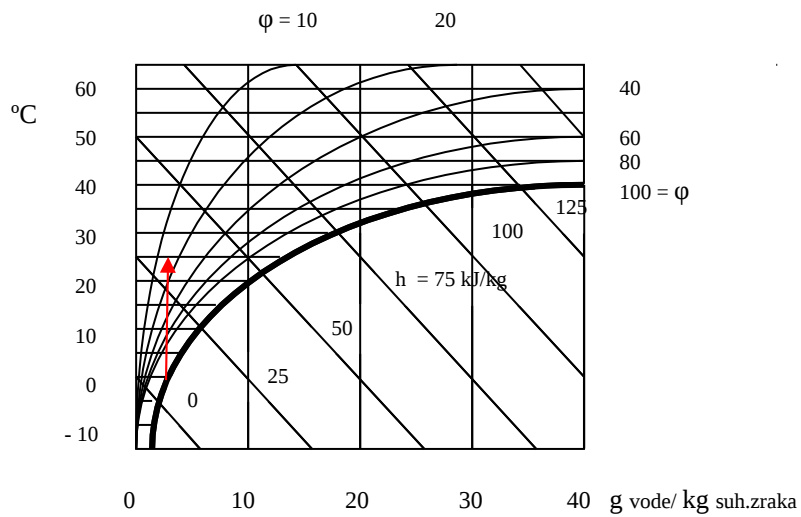
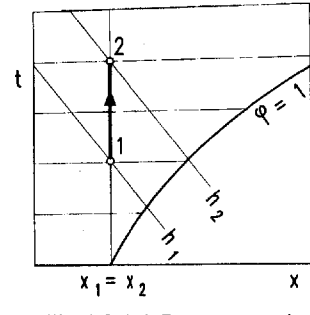
Mollierjev h,x diagram je namenjen za lažje računanje z vlažnim zrakom in preglednejše prikazovanje sprememb stanja. To je koordinatni sistem premaknjen za 90° v levo, ki ima na abscisni osi s padcem navzdol vrednost x, na ordinatni osi pa vrednost h. Za lažje odčitavanje x vrednosti obstaja še vodoravna pomožna os. V diagramu imamo prikazano krivuljo nasičenja $\varphi = 1,0$ oziroma 100 %, katera ločuje področje nenasičenega zraka (nad krivuljo) od področja nasičenega zraka (področje megle, pod krivuljo). **Izoterme** (krivulje konstantnih temperatur) v nenasičenem področju in pri temperaturi večji od 0 °C so ravne črte z blagim vzponom, ki se na krivulji nasičenja obrnejo na desno dol (izoterme megle), pri čemer gredo skoraj vzporedno z črtami konstantne entalpije h. Poleg tega se vidijo tudi krivulje enake relativne vlažnosti zraka φ , enake gostote ρ in/ali enakega specifičnega volumna v.

2.5.1. SPREMEMBE STANJA VLAŽNEGA ZRAKA

2.5.1.1. GRETJE

Sprememba stanja se dogaja na krivulji konstantne vlažnosti $x = \text{konstantna}$ (konstantna vlažnost) v smeri navzgor: (vлага ostane konstantna, relativna vlažnost pade za 25 % - zrak smo osušili)

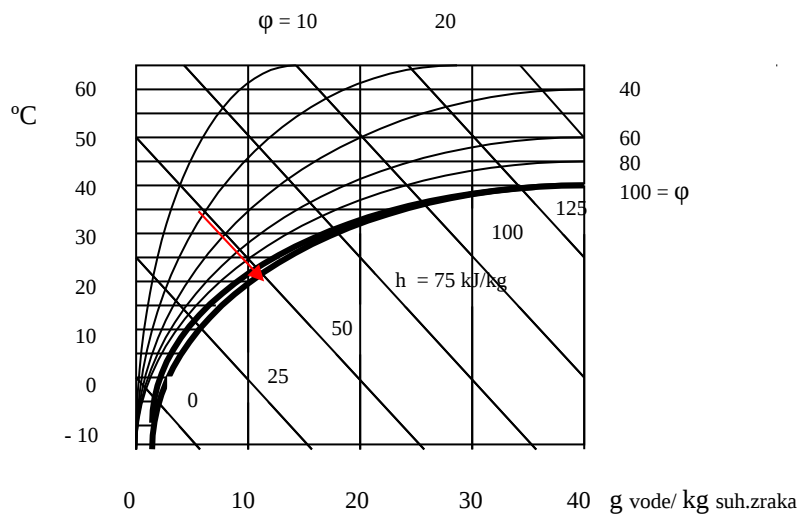
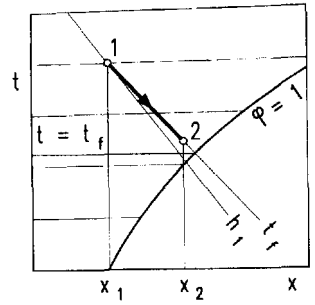
$$h_2 = h_1 + q_{zu} ; x_2 = x_1 \quad (q_{zu} \text{ pomeni dovedena specifična toplotna vrednost})$$



2.5.1.2. ADIABATNO VLAŽENJE

Taka sprememba stanja nastaja zaradi vlaženja z vodo, pri čemer daje izključno zrak potrebno toploto za izparevanje. To je npr. primer z komoro za vlaženje zraka, pri katerem se vodo razpršuje in se ne dovaja toplote iz okolice.

Temperaturo vode, ki nastaja v toku tega postopka se imenuje **temperatura po vlažnem termometru**, katera se z veliko absorpcijo prikazuje s pomočjo vlažnega termometra, ki se nahaja v zraku. Isto temperaturo imenujemo tudi mejna temperatura hlajenja, ker je ta najnižja temperatura do katere se voda s nenasičenim zrakom lahko ohladi

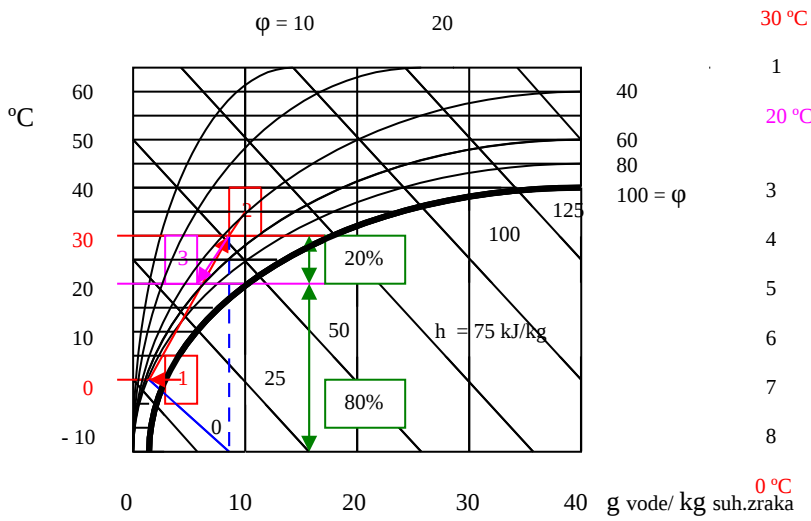
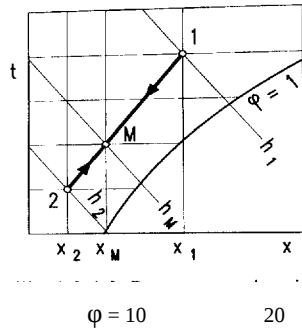
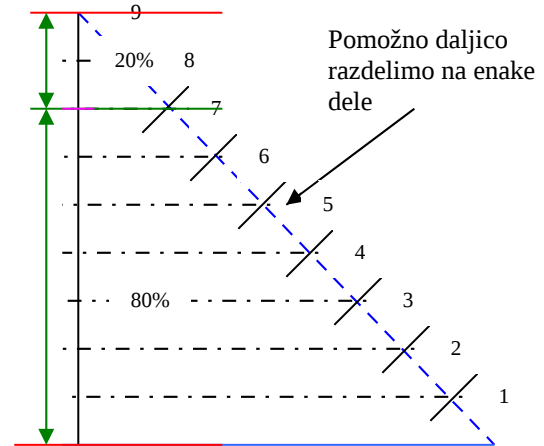


2.5.1.3. MEŠANJE

Z mešanjem dveh količin zraka m_1 in m_2 s stanjem 1 in 2, dobimo novo količino M s stanjem v točki 3, ki se nahaja na ravni liniji med točkama 1 in 2.

$$h_M = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2}; \quad x_M = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

Odnos dolžin : $\frac{1M}{2M} = \frac{m_2}{m_1}$



2.5.1.4. HLAJENJE

- a) Temperatura ohlajene površine se nahaja pod točko rosišča, v točki KF . Sprememba stanja zraka v idealnem primeru se lahko predstavi kot mešanica zraka, kateri se ohlaja (točka 1) in mejnega zraka s temperaturo ohlajene površine (točka KF), pri čemer mejni sloj vsebuje nasičeni zrak s temperaturo ohlajene površine, katera je vzeta kot konstanta. Zato se točka mešanja nahaja na ravni liniji, katera združuje te točke stanja. Sprememba stanja je predstavljena v skrajni točki 2. Govorimo o mokrem hlajenju.
- b) Temperatura ohlajene površine površinskega hladilnika se nahaja nad točko rosišča zraka (točka KF'). V tem primeru se izvaja suho hlajenje vzdolž linije ($x = \text{konstantna}$) do skrajne točke 2' brez doseganja točke rosišča.

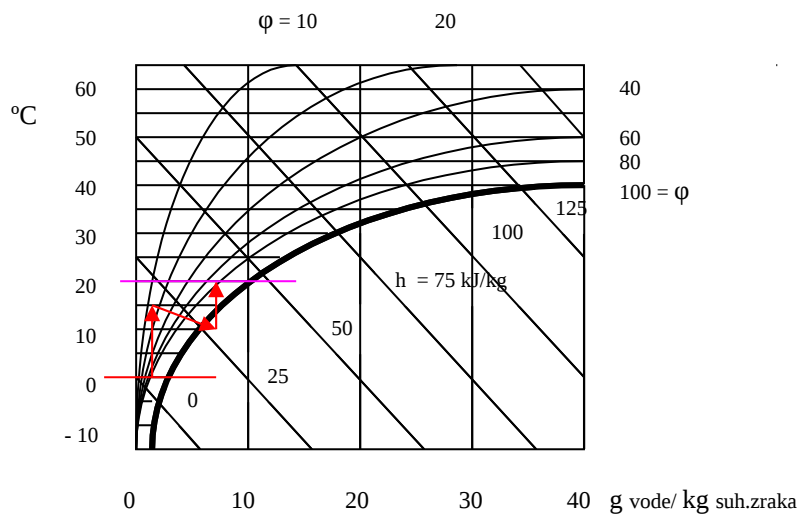
2.5.1.5. ROŠIČNA REGULACIJA

Zrak iz npr. 0 °C segrevamo z predgrelecem na 16 °C, nato moramo zrak predvlažiti, nakar ga z dogrelcem ogrejemo na 20 °C .

Če želimo vzdrževati konstantno temperaturo, je pomembno vedeti kolikšno število izmenjav zraka imamo. Pri 5x izmenjavi zraka na uro bomo težko dosegli konstantno temperaturo.

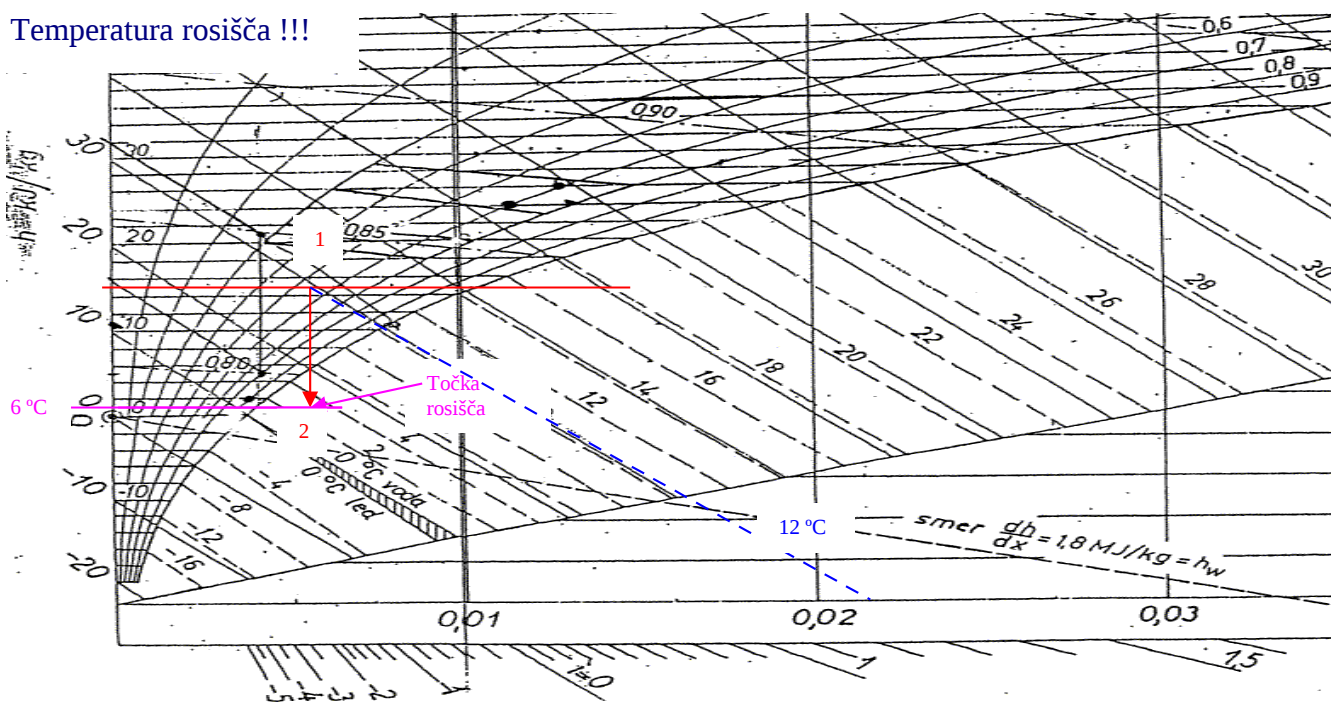
Ljudje občutimo, da nekaj piha pri hitrosti zraka 0.2 m/s (to je sorazmerno nizka hitrost).

Pri višji temperaturi zraka pri enaki hitrosti, se manj čuti preprih.



12. naloga Temperatura zraka znaša $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in imamo relativno vlažnost $\varphi = 40\%$. Zanima nas rosiščna temperatura ?

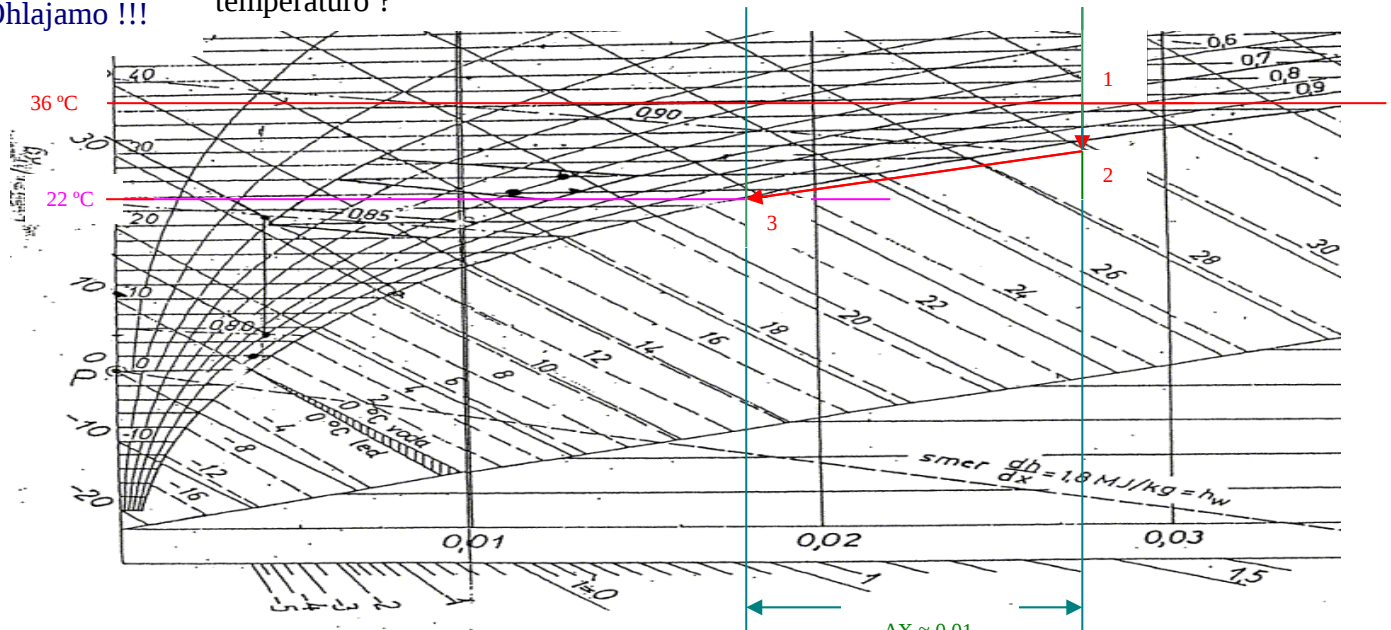
Temperatura rosišča !!!



Temperatura rosišča je pri $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (točka 2), temperatura vlažnega termometra pa je $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (točka 3).

13. naloga Temperatura zraka znaša 36 °C in imamo relativno vlažnost ϕ 70 %. Temperaturo v prostoru želimo imeti 22 °C. Koliko vlage se bo izločilo iz zraka, ko bomo dosegli želeno temperaturo ?

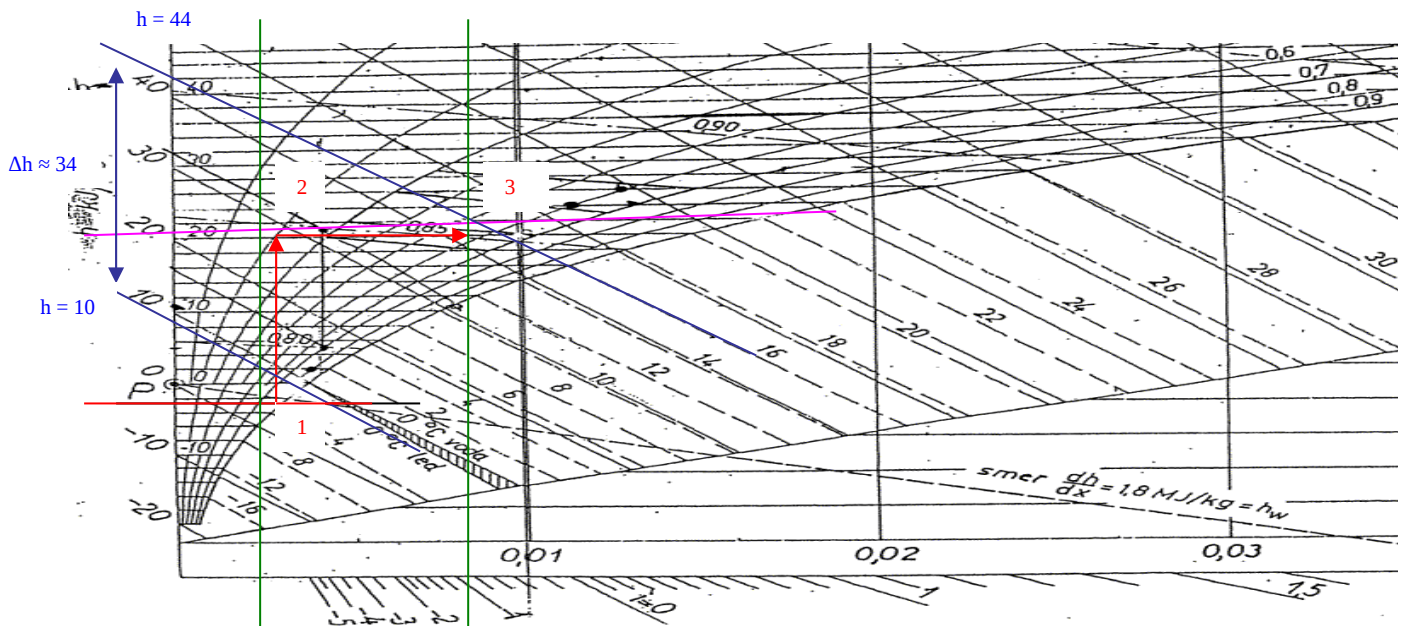
Ohlajamo !!!



Iz zraka se bo izločilo (ΔX) okoli 0.01 kg/kg vode.

14. naloga Temperatura zraka znaša 0 °C in imamo relativno vlažnost ϕ 70 %. Pripeljemo zrak, ga ogrejemo na 22 °C. Koliko ga moramo ogreti in navlažiti, da dobimo želeno temperaturo 22 °C in relativno vlažnost ϕ 50 % ?

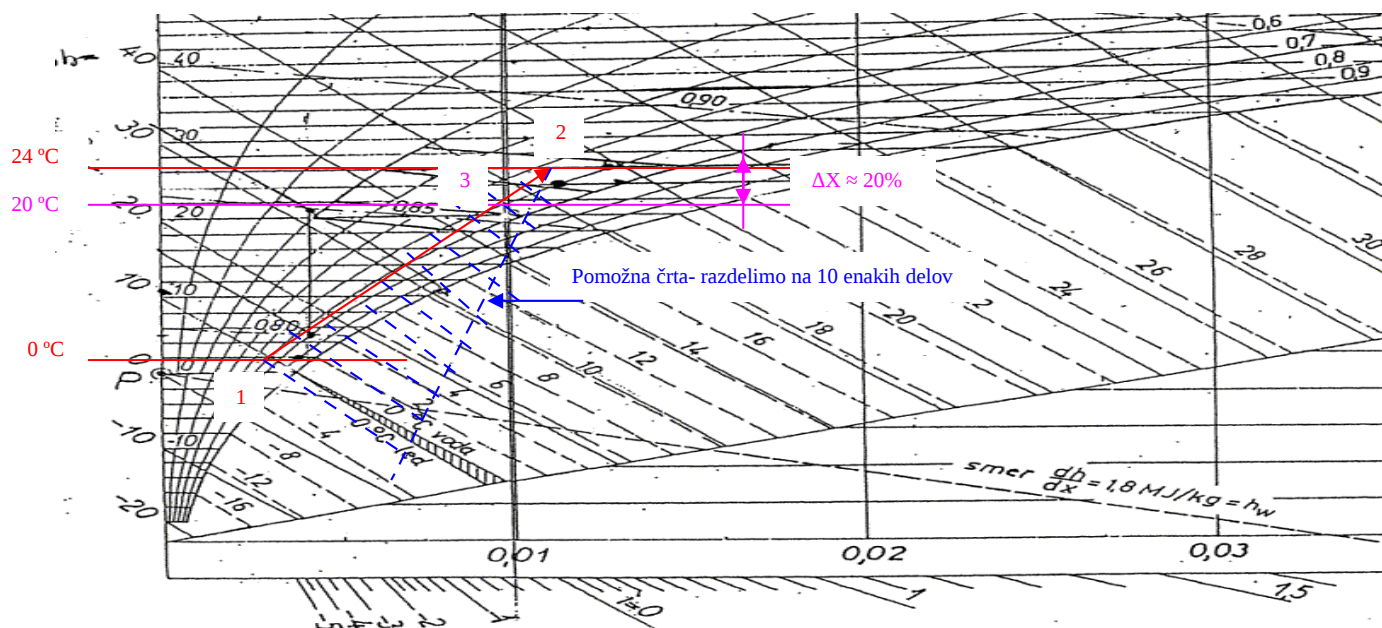
Grejemo !!!



Navlažiti ga moramo ($\Delta X \approx 0.006$) okoli 0.006 kg/kg oziroma 6 g/kg, dovesti pa moramo 34 kJ/kg toplote.

15. naloga V prostoru imamo temperaturo zraka 24 °C z relativno vlažnostjo $\phi = 60$ %. Zunanji zrak znaša 0 °C pri vlažnosti $\phi = 90$ %. Vpihovati želimo v prostor zrak s temperaturo 20 °C. Koliko svežega zraka bomo morali uporabiti za doseg želenega cilja ?

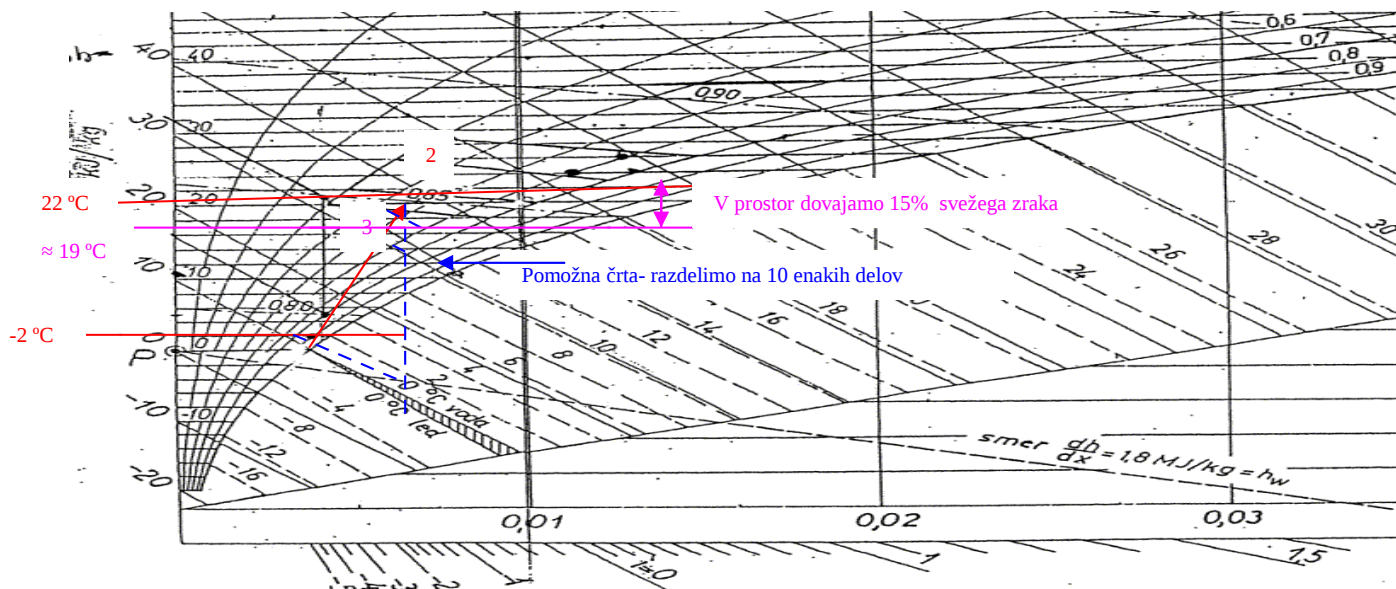
Mešanje dveh zrakov !!!



Potrebovali bomo približno 20 % svežega zraka

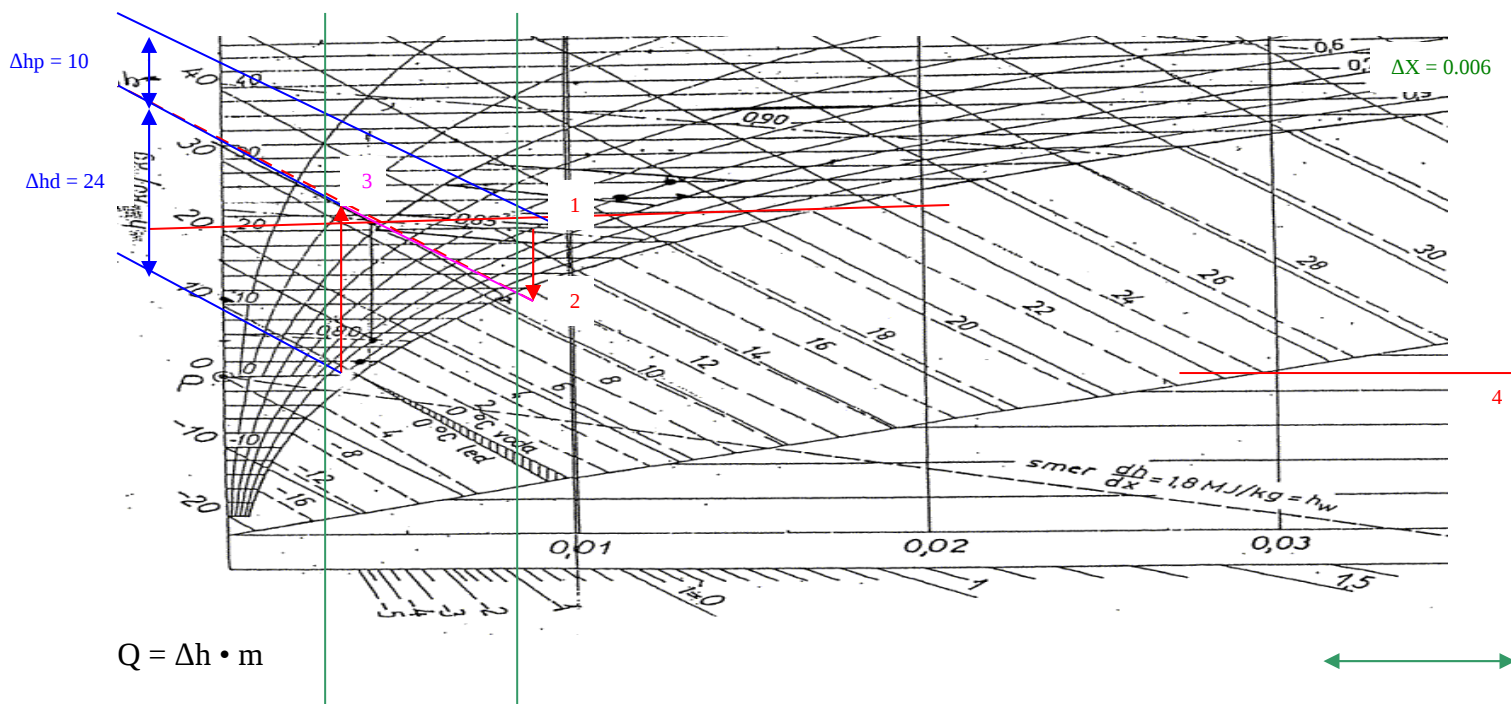
16. naloga Temperatura v prostoru znaša 22 °C z relativno vlažnostjo 40 %. Temperatura zunanjega zraka znaša -2 °C z relativno vlažnostjo 100 %. V prostor dovajamo 15 % svežega zraka. Kako močan mora biti grelec, da v prostor pihamo zrak s temperaturo 19 °C

Mešanje dveh zrakov !!!



Zraka ni potrebno nič ogrevati, saj z 15 % dovedenega zraka dosežemo temperaturo vpihovanega zraka ravno 19 °C, toliko pa ga tudi želimo.

17. naloga Temperatura v prostoru znaša 23 °C z relativno vlažnostjo 50 %. Temperatura zunanjega zraka znaša 2 °C z relativno vlažnostjo 70 %. Zanima nas koliko moramo imeti moč predgrela, kolikšno moč ogrela in koliko vode moramo dovesti ?



Iz diagrama odčitamo $\Delta h_p = 24 \text{ kJ/kg}$ (eltalpija predgrela) in $\Delta h_d = 10 \text{ kJ/kg}$ (eltalpija dogrela) in vstavimo v enačbo vrednosti in izračunamo :

$$P_p = \frac{\Delta h_p \cdot \dot{V} \cdot \rho}{3600 \text{ s}} = \frac{24 \cdot 10^3 \text{ J(Ws)} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3}{3600 \text{ s}} = \mathbf{8 \text{ W}}$$

$$P_d = \frac{\Delta h_d \cdot \dot{V} \cdot \rho}{3600 \text{ s}} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ J(Ws)} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3}{3600 \text{ s}} = \mathbf{5 \text{ W}}$$

Dovesti moramo 0.06 kg/kg oziroma 6 g/kg vode .

3.0. UDOBJE ČLOVEKA

Človeško telo, kot tudi ptice in sesalci imajo skupno to, da ohranjajo svojo telesno temperaturo približno konstantno v vseh stanjih zunanjega zraka in pri kakršnemkoli lahkem ali težkem delu. Po zakonih o toploti, obstaja ravnotežje med toploto, ki se ustvarja v telesu in toploto, ki jo telo oddaja, ki pa je v telesu shranjena. To ravnovesno temperaturo, ki znaša $37\text{ °C} \pm 0.8$, je dosežena s posredovanjem krvi, katera kroži skozi vse dele telesa. To pa uravnava center za toploto, ki se nahaja v malih možganih. Čutni organi tega reguliranja so končiči in živci v koži (termoreceptorji), kateri delujejo delno na notranje ustvarjanje toplote a delno na zunanje oddajanje toplote telesa.

Pri fiziološkem reguliranju temperature s druge strani ,delujejo skupaj številni dejavniki tako, da bi se zunanje izločanje toplote prilagodilo telesni temperaturi.

Izločanje toplote se izvaja lahko na več načinov :

- s konvekcijo toplote iz površine telesa v zrak
- prevajanjem toplote na površinah, katere se dotikajo ena drugo (stopala in zadnjica)
- sevanjem toplote iz površine telesa na sosednje površine
- dihanjem
- izločanjem in vnašanjem hrane, difuzijo in drugo (predstavljajo samo 2-3 % skupnega izločanja)

Kadar se sobna temperatura spusti pod mejo ugodja, to je , ko je preveč hladno, tedaj se žile pod kožo skrčijo, koža postane bleda in suha , temperatura kože se zniža in s tem se poveča oddajanje toplote v zrak, in to s konvekcijo, kot tudi s sevanjem in izparevanjem (koža se naježi in nastane drgetanje). Kadar se zunanja temperatura spusti še nižje, nastane močan občutek hladu, ki pri dolgotrajni nizki temperaturi povzroči zamrznitev.

Standarda ISO 11079 in ISO 15743 predpisujeta določanje občutka hladu in delo v hladnem okolju.

Telo v stanju mirovanja ima najvišjo temperaturo kože. Pri povečanem delu se temperatura zmanjša ,kar omogoča hitrejše odvajanje toplote iz telesa. Če, s druge strani, temperatura zraka prekorači mejo ugodnosti, tedaj bo več krvi prešlo v zunanje krvne poti , koža se pordeči, površinska temperatura kože se

poviša in s tem tudi oddajanje toplote v okoljski zrak s izparevanjem in konvekcijo. V kolikor ta razbremenitev toplote ne zadostuje, da bi se telo dovolj ohladilo, se aktivirajo zleze za izločanje potu v koži, telo se začne potiti (to je izloča vodo), s tem se doseže ohladitev kože. Če oddajanje toplote kljub močnemu potenju še ni dovolj, tedaj bo nastopilo stanje akumulacije toplote, katera povzroči neprijetne občutke, glavobol, utrujenost in na koncu izrazite okvare zaradi vročine (šok, vročinske krče).

Z izparevanjem 1 litra vode telo izgubi 2400 kJ energije.

Na naše udobje vplivajo :

- primarni vplivi (vplivajo na prenos toplote in na človekovo udobje)
- sekundarni vplivi

Faktorji :

- telesna temperatura (z odvajanjem toplote – konvekcijo, kondukcijo, znojenjem, oddajanjem vlage iz telesa
- metabolizem (» kurjava telesa » dela bolj, če fizično delamo)
- fiziološka regulacija temperature
- zaznavanje temperature
- toplotna izolacija – oblačila

Delovni pogoji :

- težko fizično delo – nižje temperature v prostoru
- lažje fizično delo - višje temperature v prostoru

3.1. MERILA TOPLOTNEGA UDOBJA

- **merilo PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) – procent nezadovoljnih v prostoru
 - merilo pomeni odstotek ljudi v prostoru, ki z okoljem niso zadovoljni
 - 5 % ljudi je takih, ki z okoljem niso zadovoljni (najbolj ugodne razmere)
 - zadovoljimo se s tem, da dosežemo, da je 90 % zadovoljnih, 10 % nezadovoljnih
 - merilo lahko določimo na dva načina :
 - analitično iz parametrov delovnega okolja
 - z anketiranjem

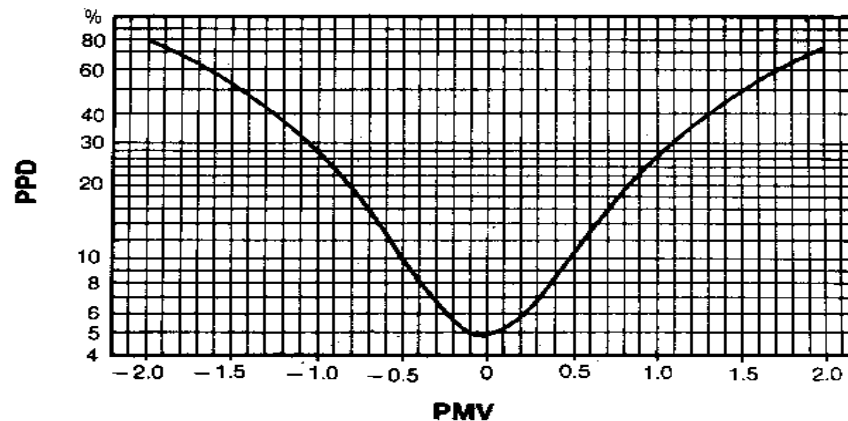
- **merilo PMV** (Predicted Mean Vote) – kako se bo izrekla večina ljudi
 - pomeni, kako se bo o stanju okolja izrekla večina ljudi v prostoru
 - cone udobja :

+3 (vroče), +2 (toplo), +1 (rahlo toplo), 0 (nevtrarno),
-1 (rahlo hladno), -2 (hladno), -3 (mrzlo) .

- svoje občutke bodo označili na sedem točkovni lestvici udobja med +3 in -3
- za izračun potrebujemo podatke o delovnem okolju, obleki ljudi ter naporu, ki so mu ljudje izpostavljeni
- podatki o delovnem prostoru so merljivi, medtem ko so ostali podatki bolj subjektivnega značaja, povezani z večjimi negotovostmi
- merilo PMV izračunamo z pomočjo algoritma, ki je priložen standardu in ki ga lahko dobimo v

obliki programa

- za poenostavljeno oceno potrebujemo **operativno temperaturo** in **diagram iz standarda**



Pričakovano relativno število nezadovoljnih v %
v odvisnosti od vrednosti PMV

Toplotna bilanca in oddajanje telesne toplote je odvisna od nekaterih faktorjev :

- osebni faktorji :
 - obleka (toplotna izolacija I_{cl} , prepustnost vodne pare)(0-2 clo = 0 do 0.310 m² °C/W)
 - aktivnost (delo)(metabolizem $M = 0.8$ do 4 met = 46 do 232 W/m²)
- faktorji okolice :
 - temperatura zraka t_a (10 do 30 °C)
 - srednja temperatura sevanja t_r (temperatura zidov okoljskega prostora)(10-40 °C)
 - hitrost zraka v_a (0 do 1m/s)
 - vlažnost (absolutna , tlak vodne pare)(0 do 2700 Pa)

Če je oddajanje toplote večje kot je proizvedena toplota (pri aktivnosti), temperatura kože in telesa se znižata in v tem primeru mora biti **čas dela omejen** . Za izračun pogojev primernih za delo in omejitve časa dela v takem prostoru se uporabljajo predpisi po **ISO 11079** .

V primeru kadar je oddajanje toplote manjše od proizvedene , se povečuje znojenje in s tem temperatura telesa, zato je potrebno, da se **omeji čas dela**. Za sprejemljive pogoje in omejitve dolžine prisotnosti za ta primer se lahko uporablja **DIN EN ISO 7933**.

- če sedi, oddaja približno **1 met = 58.2 W/m²** (metabolizem)
- povprečna površina človekove kože S_{DU} znaša **1.8 m²**
- potemtakem, človek oddaja = 1.8 m² • 58.2 W/m² = **105 W** toplote **P** (individualne lastnosti človeka)

3.2. PROSTORSKA IN ČASOVNA NEENAKOST

- razlika v temperaturi med glavo in nogami naj bi bila manjša od 3 °C
- razlika srednje sevalne temperature z ene strani in druge strani telesa manjša od 10 °C
- veliki in hitri cikli povzročajo neugodje
- počasne spremembe $dT/dt < 0.5$ °C/h so veliko manj obremenjujoča
- preprih (lokalno gibanje zraka)

$$T_u = SDv / \bar{v} \quad (\text{turbulenca } T_u - \text{ hitro mešanje zraka }) \\ (SDv - \text{ standardna deviacija hitrosti })$$

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_a - 0.05)^{0.62} \cdot (3.14 + 0.37 \cdot SDv_a)$$

- v prostorih z prisilno ventilacijo je T_u med 0.3 do 0.6, kar omeji hitrost zraka pod 0.2 m/s v hladnih okoljih

3.3. OPERATIVNA TEMPERATURA

- če je hitrost gibanja zraka manjši od 0.2 m/s je potemtakem

$$T_o = \frac{T_a + \overline{T_r}}{2}$$

- pri večjih hitrostih zraka postane konvekcijski prenos toplote večji od sevalnega in T_o se približa T_a

- za globus termometer s premerom krogle med 15 in 20 cm je $T_o = T_g$

3.4. NEUDOBJE V TOPLEM IN VLAŽNOST KOŽE

- v toplem okolju z aktivnostjo nad **1.2 met se začne znojenje**
- osebe se redko počutijo udobno, če je vlažnost kože večja od 25 %

3.4.1. NIZKA VLAŽNOST / VISOKA VLAŽNOST

- zgornja meja udobja je pogojena s temperaturo vlažnega termometra (18 – 20 °C)

3.4.2. VROČE OKOLJE

- standard SIST EN 27243
- za izračun WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) potrebujemo :

- temperaturo naravnega vlažnega termometra (brez ventilatorja)
- temperaturo globus termometra
- temperaturo okolja

$$WBGT = 0.7 \cdot T_{NVT} + 0.3 \cdot T_g \quad (\text{za notranjost})$$

$$WBGT = 0.7 \cdot T_{NVT} + 0.2 \cdot T_g + 0.1 \cdot T_a \quad (\text{za zunaj})$$

3.4.3. HLADNO OKOLJE

- hladilnice, cestarji, gradbeni delavci, ...
- analitične metode računanja zahtevane toplotne izolacije, ki jo zagotavljamo z obleko I_{reg}

3.4.4. IZRAČUN WIND CHILL TEMPERATURE WCI

$$t_{ch} = 33 - WCI/25,5 \quad (^\circ C)$$

temperatura manjša od 0 °C

$$kcal/h = 1.163 W$$

3.4.5. IZRAČUN WIND CHILL INDEKSA

$$WCI = 1.16 \cdot (10.45 + 10 \sqrt{v_a - v_a}) \cdot 33 - t_a \quad (W/m^2)$$

Primer :

$$T_a = - 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_a = 100 \text{ km/h} = 27 \text{ m/s}$$

$$WCI = 1.16 \cdot (10.45 + 10 \sqrt{v_a - v_a}) \cdot 33 - t_a$$

$$WCI = 1.16 \cdot (10.45 + 10 \sqrt{27 - 27}) \cdot 33 - 10$$

$$WCI = 1.16 \cdot (10.45 + 52 - 27) \cdot 43$$

$$WCI = 1766 \text{ W/m}^2$$

$$t_{ch} = 33 - WCI/25,5$$

$$t_{ch} = 33 - 1766/25,5 = - 36,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.5. MERITVE

- standardi za :

- metabolizem	SIST EN 8996
- obleka	SIST EN 9920
- <u>instrumenti in meritve</u>	SIST EN 7726
- meritve na parametrih	ISO EN 9886
- subjektivne meritve	ISO EN 10551
- standard zdravniških pregledov	ISO DIS 12894

- merilno območje
- natančnost
- odzivni čas

3.6. BILANCA

Metabolizem + delo = ± kondukcija ± konvekcija ± sevanje ± energija ± akumulacija

$$M + W = \pm K \pm C \pm R \pm E \pm S$$

- Kondukcija K pomeni sprejem ali oddaja toplote
- Metabolizem M pa presnova (oksidacija) hrane

* 1 dm³ O₂ = 1 liter O₂ = 20,6 – 20,8 kJ

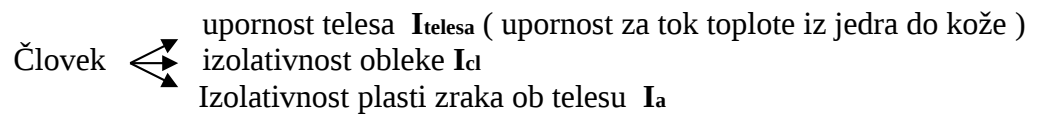
$$M = \frac{\dot{V}_{O_2} (\text{dm}^3 / \text{min}) \cdot 344 (\text{W})}{\dots} \quad (\text{W/m}^2)$$

SDU

* $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$, pri sedečem delu, kjer ni pretiranega gibanja. Človek pri tekem delu oddaja približno 105 W energije.

3.6.1. PREVAJANJE TOPLOTE IN IZOLATIVNOST OBLEKE

- za človeka :



$$1 \text{ clo} = 0.55 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

- **izolativnost obleke I_{cl}** , ki zagotavlja toplotno udobnost, pri človeku, ki sedi v mirujočem položaju
- v zimskem času naj bi bila izolativnost obleke **0.9 clo**
- v poletnem času pa okoli **0.5 clo**

- **upornost telesa I_{telesa}** v hladnem okolju naj bi znašala **0.6 clo**
- v vročem okolju pa **0.075 clo**

$$I_{\text{cl}} = 0.75 \cdot \sum I_{\text{cl},i} + C$$

* $C = 0.012 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W} = 0.08 \text{ clo}$

3.6.2. ODDAJANJE S SEVANJEM

$$R = \varepsilon \cdot \sigma \cdot f_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cl}} (T_a^4 - T_r^4)$$

Pri čemer velja :

T_a – temperatura obleke

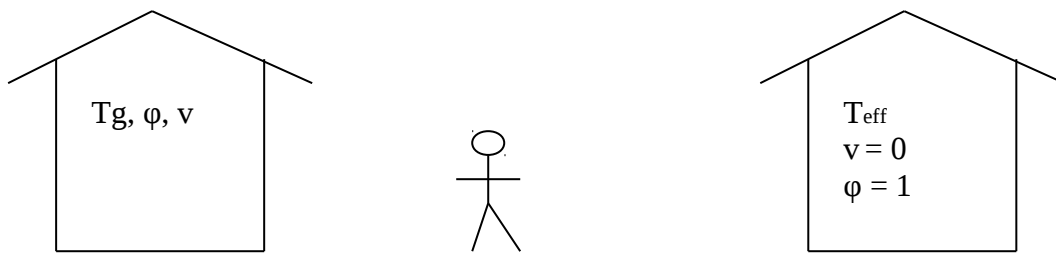
T_r - temperatura sevanja okolice

ε - emisivnost (črno telo ima največjo emisivnost) :

- oblečen v črno obleko $\varepsilon = 0.95 - 0.96$
- golo telo $\varepsilon = 1$

f_{eff} – faktor površine efektivne radiacije :

- za sedeči položaj $f_{\text{eff}} = 0.696$
- za stoječi položaj $f_{\text{eff}} = 0.725$



- v eni stavbi imamo temperaturo globus termometra T_g , relativno vlažnost ϕ hitrost gibanja zraka, ki jih lahko poljubno spreminjamo
- v drugi stavbi pa imamo efektivno temperaturo T_{eff} , hitrost gibanja zraka je 0 in relativna vlažnost je 1
- ko človek pri prehodu iz enega v drugi prostor ne občuti nobene razlike, tedaj smo dobili pravo vrednost za efektivno temperaturo

Odnos med PMV in PPD se izraža iz naslednje enačbe :

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2)}$$

18. naloga (12 naloga na strani 21)

Delavec opravlja srednje težko delo, ki zahteva 2.3 met. Izračunaj metabolizem v W , če je površina delavca 1.8 m^2 !

$$S_{DU} = 1.8 \text{ m}^2$$

$$M = 2.3 \text{ met (W)}$$

$$M (w) = 58,2 \text{ w/ m}^2 \cdot M \cdot S_{DU}$$

$$M (w) = 241 \text{ w}$$

19. naloga (14 naloga na strani 22)

Oceni po diagramu in izračunaj po *Du Boisovi* enačbi površino telesa delavca, katerega velikost je 1.77 m in telesna masa 81 kg.

h = 1.77 m
m = 81 kg

a).
$$A_{DU} = 0.202 \cdot m^{0.425} \cdot h^{0.725}$$

$$A_{DU} = 0.202 \cdot 81^{0.425} \cdot 1.77^{0.725}$$

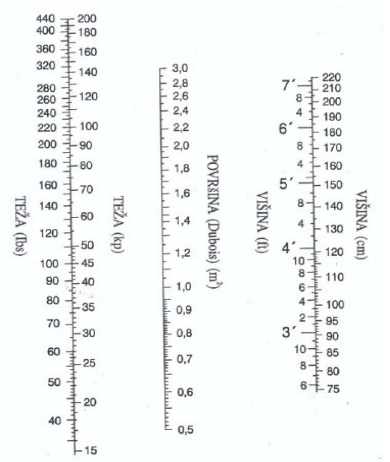
$$A_{DU} = 1.94 \text{ m}^2$$

b).
$$A_{DU} = 0.202 \cdot m^{0.425} \cdot h^{0.725}$$

$$A_{DU} = 0.202 \cdot 92^{0.425} \cdot 1.83^{0.725}$$

$$A_{DU} = 2.14 \text{ m}^2$$

Nomogram za odčitavanje *duBoisove* površine telesa



20. naloga (15 naloga na strani 22)

Delavec s površino telesa $A_{DU} = 1.8 \text{ m}^2$ opravlja delo, ki zahteva napor 1.6 met. Poraba 1 litra kisika za presnovo ustreza v povprečju energiji 20.3 kJ. Oceni minutno ventilacijo dihanja delavca v l/min, če vdihani zrak vsebuje 21 vol.%, izdihani pa 17 vol.% kisika !

$A_{DU} = 1.8 \text{ m}^2$

$M = 1.6 \text{ met}$

1 liter kisika znaša 20.3 kJ

vdih = 21 vol.% kisika

izdih = 17 vol.% kisika

vdih = 21 vol.% kisika

izdih = 17 vol.% kisika

4 vol.% porabimo za metabolizem, ki je enak volumskemu pretoku 4 %

$$M = \frac{V_{O_2} (\text{dm}^3/\text{min}) \cdot 344 \text{ w}}{S_{DU}}$$

$$V_{O_2} (\text{dm}^3/\text{min}) = \frac{M \cdot S_{DU}}{344 \text{ w}} = \frac{1.6 \cdot 58.2 \text{ W/m}^2 \cdot 1.8 \text{ m}^2}{344 \text{ w}}$$

$$V_{O_2} (\text{dm}^3/\text{min}) = 0.487$$

$$V (\text{min}) = \frac{0.487}{4\%} \cdot 100\% = 12.171 / \text{min} \quad (\text{dihov človeka v 1 minuti - vdihov in izdihov})$$

21. naloga (18 naloga na strani 22)

Delavec opravlja delo, ki zahteva 1.0 met pri temperaturi 21 °C in hitrost gibanja zraka 0.2 m/s. Oceni po diagramih po Fangerju potrebno izolativnost obleke v clo, da bodo toplotne razmere za delavca udobne !

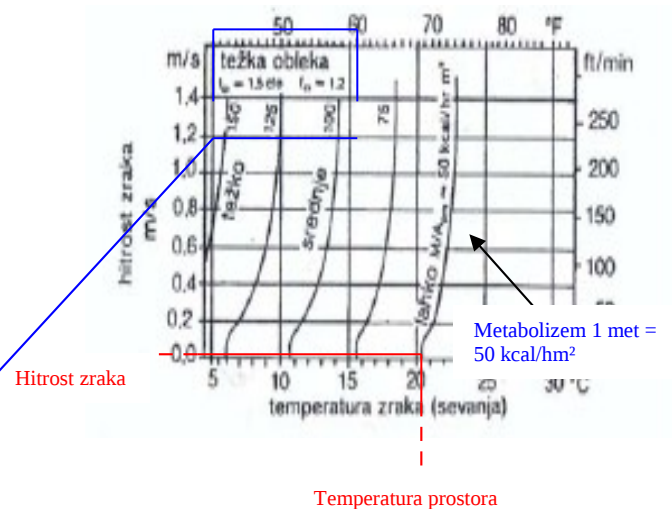
$M = 1.0 \text{ met}$

1 kcal/ hm² je enaka 1.163 W

$T = 21 \text{ °C}$

$v = 0.2 \text{ m/s}$

$$\frac{58.2 \text{ W/m}^2}{1.163 \text{ W}} = 50 \text{ kcal/hm}^2$$



Podatke razberemo iz diagrama na strani 69, četrti spodnji diagram :

- potrebujemo težko obleko 1.5 clo, da se bo delavec počutil udobno

22. naloga (19 naloga na strani 22)

Rudar s površino telesa 1.8 m^2 dela v rudniku pri temperaturi zraka in globus termometra $T_z = T_g = 28 \text{ }^\circ\text{C}$. In potrebuje za delo napor, ki ustreza 2.5 met. Delavec je nad pasom gol. Naravna vlažna temperatura je $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Izračunaj po enačbi T_{WBGT} in oceni, ali sme delati rudar neprekinjeno brez odmorov !

$$A_{\text{DU}} = 1.8 \text{ m}^2$$

$$T_z = T_g = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$M = 2.5 \text{ met}$$

$$T_{\text{NVT}} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

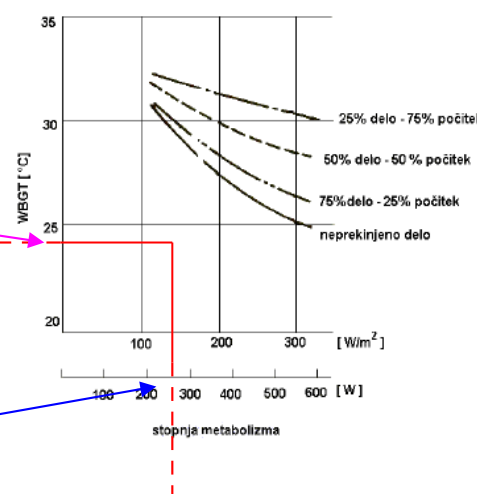
$$T_{\text{WBGT}} = 0.7 \cdot T_{\text{NVT}} + 0.3 \cdot T_g$$

$$T_{\text{WBGT}} = 0.7 \cdot 26 \text{ }^\circ\text{C} + 0.3 \cdot 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{WBGT}} = 26.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$$

$$2.5 \text{ met} \cdot 58.2 \text{ W/m}^2 = 145.5 \text{ W/m}^2$$



Izračun je pokazal, da je rudar v območju neprekinjenega dela, kar pomeni, da lahko dela neprekinjeno ves delovni čas.

23. naloga (25 naloga na strani 23)

Poslovnež nosi nizke čevlje, kratke nogavice, kratke spodnje hlače, lahke srajco z dolgimi rokavi, lahke dolge hlače, lahek telovnik, kravato in lahek suknjič. Izračunaj s pomočjo tabele povprečno izolativnost obleke v clo !

Moška oblačila	I_{Clo} (clo)
Majica brez rokavov	0,06
T-majica	0,09
Kratke spodnje hlače, slip	0,05
Debeli majica z dolgimi rokavi	0,10
Dolge spodnje hlače	0,10
Lahka srajca s kratkimi rokavi	0,14
Lahka srajca z dolgimi rokavi	0,22
Debeli srajca s kratkimi rokavi	0,22
Debeli srajca z dolgimi rokavi	0,29
(za kravato ali polovratnik dodati še 5 %)	
Lahki telovnik (tip western)	0,15
Debeli telovnik	0,29
Lahke hlače	0,26
Debele hlače	0,32
Lahki pulover	0,20
Debeli pulover	0,37
Lahki suknjič	0,22
Debeli suknjič	0,49
Kratke nogavice	0,04
Dokolenke	0,10
Sandali	0,02
Nizki čevlji	0,04
Visoki čevlji, škornji	0,08

Nizki čevlji	0.04
Kratke nogavice	0.04
Kratke spodnje hlače	0.05
Lahka srajca z dolgimi rokavi + kravata	0.23
Lahke dolge hlače	0.26
Lahek telovnik	0.15
Lahek suknjič	<u>0.22</u>
	0.99

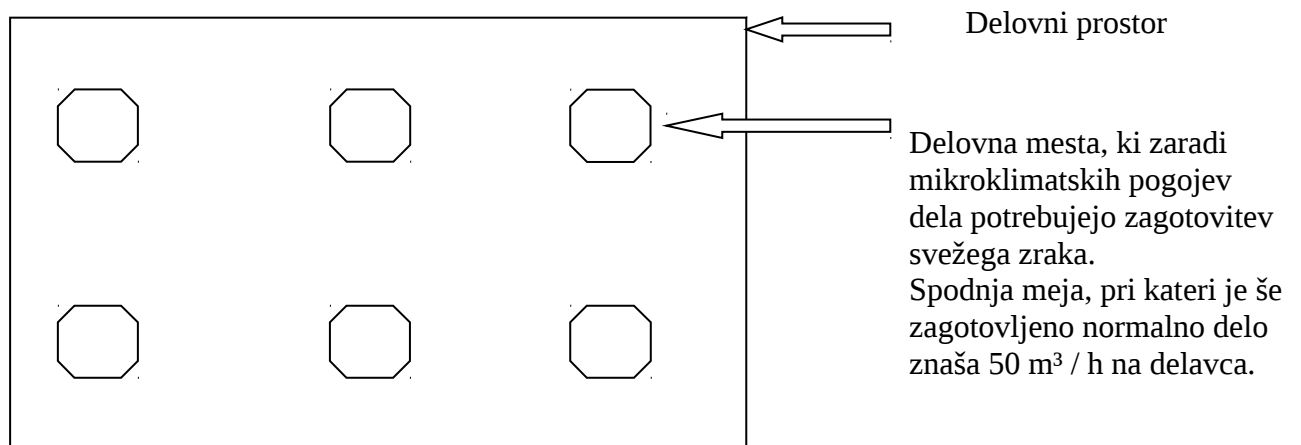
Izračun :

$$I_{cl} = 0.75 \cdot \sum I_{cl,i} + 0.08$$

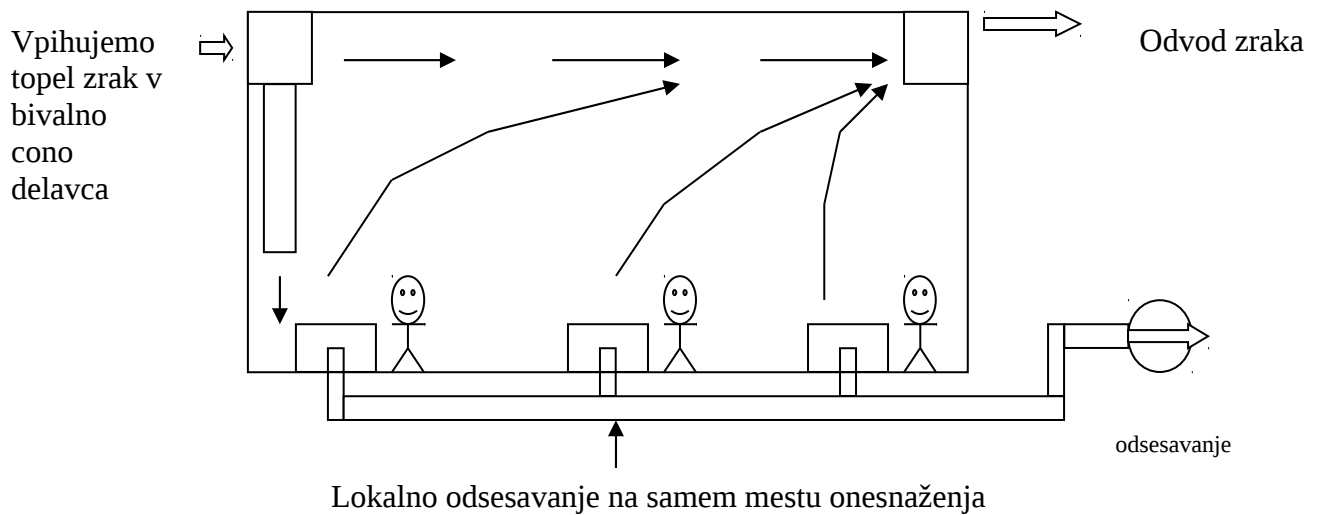
$$I_{cl} = 0.75 \cdot (0.04 + 0.04 + 0.05 + 0.23 + 0.26 + 0.15 + 0.22) + 0.08 = \mathbf{0.82 \text{ clo}}$$

Povprečna izolativnost obleke je 0.82 clo.

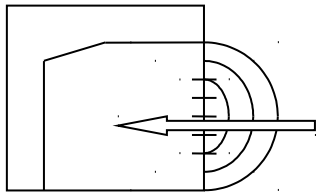
4.0. OSNOVE IZRAČUNA PREZRAČEVALNE TEHNIKE



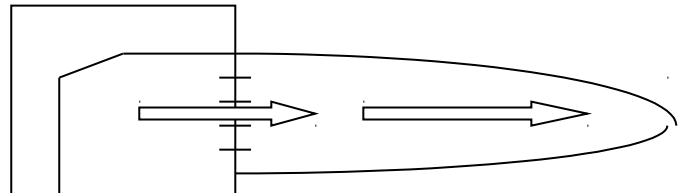
Prerez prostora :



- splošno prezračevanje
- lokalno prezračevanje (običajno odsesujemo pri stropu ; če odsesujemo pri tleh, s tem dvigujemo prašne delce v delovno cono delavcev). Pri tleh odsesujemo v primeru lokalnega odsesavanja na samem viru onesnaženja .

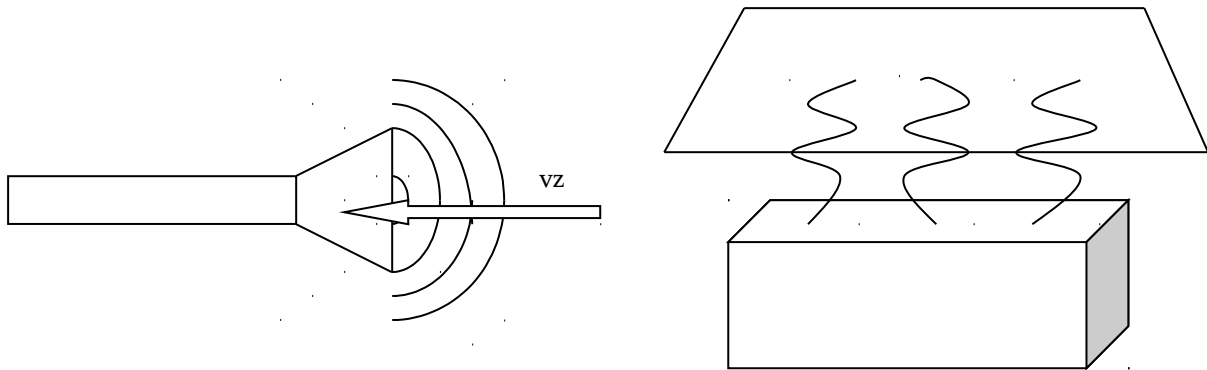


Odsesavanje zraka (podtlak)
deluje na krajši razdalji
(običajno v bližini del. mesta)

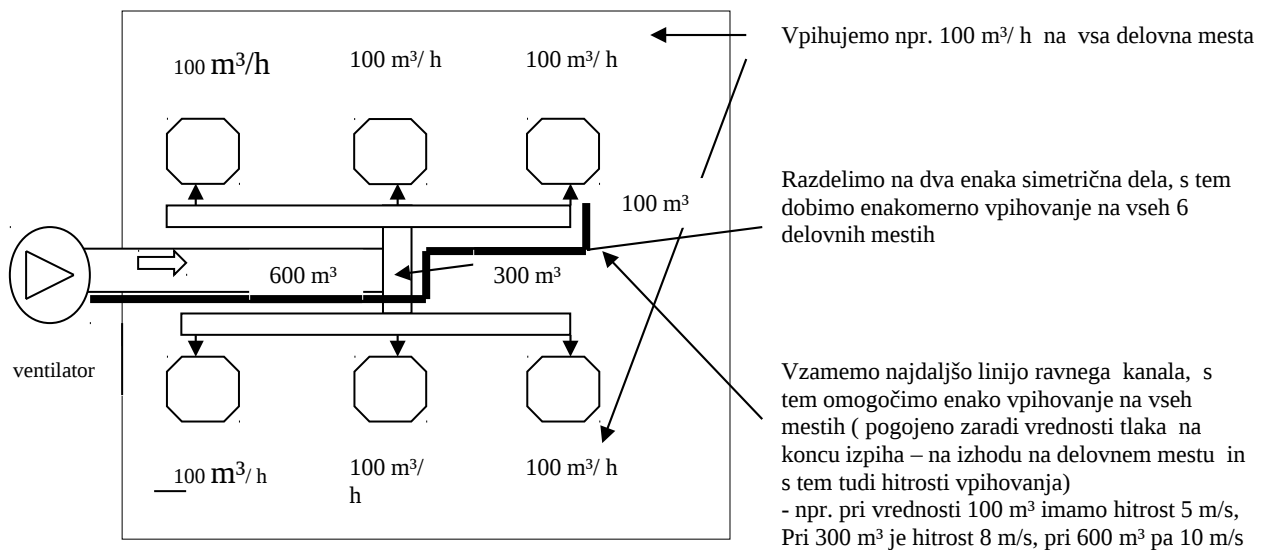


Vpihovanje zraka (nadtlak)
ima daljši doseg delovanja

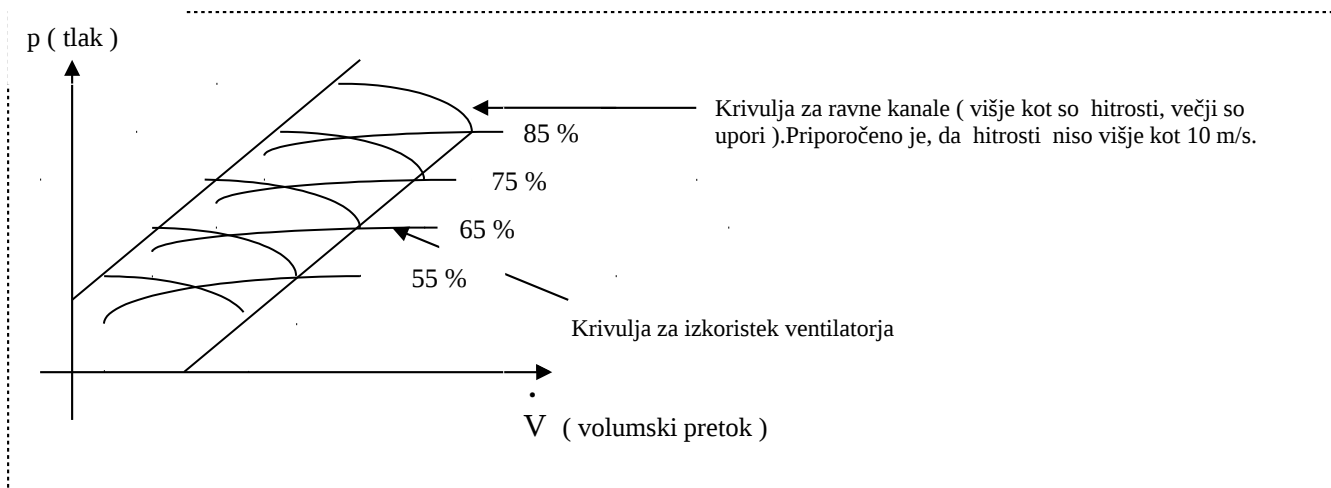
- pomemben podatek pri izračunu je **hitrost** v_z na ustju zajema onesnaženega zraka :



- zajemna hitrost v_z naj bi bila med 20 m/s do 30 m/s
- vsi lesni prahovi sodijo med karcinogene (rakotvorne), ob preveliki koncentraciji lahko povzročajo eksplozivno zmes. Filtre, ki se jih uporablja za prečiščevanje prahov (običajno so to vrečasti filtri) so zato ozemljeni, ker je nevarnost statične elektrike, ki lahko povzroči iskro in s tem vžig eksplozijske zmesi praha.
- hlapi organskih topil so običajno težji od zraka in se zato nabirajo pri tleh . V takih primerih je potrebno izvesti odsesavanje pri tleh.
- pri hlapih, ki pa so lažji od zraka, pa je potrebno odsesavati pri vrhu stropa. Nevarnost pri teh izvedbah je neposredna bližina električne razsvetljave, ki lahko povzroči eksplozijo.



ak p v odvisnosti od volumskega pretoka V : za določitev izkoristka ventilatorja



- dimenzije opreme izbiramo glede na hitrost
- izmenjava zraka na uro ni predpisana (podana so le priporočila)
- za izračun kakšno opremo bomo vgradili, je pomemben podatek padec tlaka Δp
- podatki, ki so pomembni za določitev količine vstopnega zraka so :
 2. vstopna odprtina
 3. ravni kanali
 4. lokalni upori , koeficient upora cevi ζ (zeta) (kanali, kolena, zožitve, razširitve)
- tu velja kontinuiteta enačba (kolikor vstopi zraka toliko tudi iztopi)
- za ravne kanale vzamemo za padec tlaka Δp najdaljši ravni kanal oziroma najdaljšo linijo
- lokalni upori so za različne oblike različni :

- za koleno : 90° je $\zeta = 1.3$
 60° je $\zeta = 0.8$
 45° je $\zeta = 0.4$
- loke r/d : 0.5 je $\zeta = 1.0$
 1.0 je $\zeta = 0.35$

Potek izračuna :

1. Iz znanih podatkov za dolžino kanala in želene izmenjave zraka na uro izračunamo **volumski pretok V**
2. Iz podane **hitrosti v** in **pretoka V** izračunamo potrebno **površino** kanala **A**
3. Iz znanih podatkov izračunamo **hidravlični premer d_h**
4. Določimo vrsto materiala kanala (običajno je pocinkana pločevina), v tabeli za hrapavost cevi odčitamo **hrapavost ε** in s pomočjo izračunanega **hidravličnega premera d_h** izračunamo **relativno hrapavost ε/d**
5. Iz vrednosti **hidravličnega premera d_h** in podane **hitrosti v** izračunamo **Reynoldsovo število Re** (lahko pa iz produkta **v • d_h** iz Colebrookovega diagrama odčitamo vrednost za Re pri vrednosti za zrak 20°C – tu je že upoštevana kinematična viskoznost ν)
6. Kjer se sekata vrednost **Re** oziroma **v • d_h** in krivulja za **relativno hrapavost ε/d** , tam odčitamo vrednost za **koeficient upora λ**
7. Izračunamo vrednosti za tlake za ravno cev, tlake za vstopno odprtino in tlake za lokalne upore, da dobimo vrednost za **padec tlaka Δp = Δp_{RC} + Δp_{vstopni} + Δp_{lokalni}**
8. Iz izračunanih vrednosti tlakov lahko predvidimo kakšen izkoristek ventilatorja bomo uporabili in izračunamo še kako močan ventilator bomo potrebovali **P_{el}** :

$$P_{el} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}}{\eta} \quad (W)$$

η – izkoristek ventilatorja
Δp – padec tlaka (Pa)

24. naloga :

Hočemo prezračevati predavalnico, ki ima dimenzije : (12 X 20 X 5) m. Dovajamo zrak preko kanala kvadratne oblike in v katerem hitrost ne presega 10 m/s. Vstopna odprtina je opremljena z prirobnico, na kanalu so tri kolena, prvo z kotom 90°, druge dve pa z kotom 45°. Kanal je iz pocinkane pločevine.

Izračunaj : potrebno količino zraka, padec tlaka in moč elektromotorja oziroma ventilatorja ?

Podatki iz tabel :

- koleno 90° ima koeficient upora ζ = 1.3
- koleno 45° ima koeficient upora ζ = 0.4
- vstopni koeficient ustja cevi (prirobnica) k = 0.49
- hrapavost cevi ε (za pocinkano pločevino) ε = 0.15 mm

- Iz priporočil za izmenjavo zraka v prostoru za predavalnice (6 do 9 x na uro) vzamemo, da bomo imeli izmenjavo 6 x na uro.

- Poznamo hitrost v = 10 m/s
- poznamo vrednost za gostoto zraka ρ = 1.2 kg/m³

*** vsakič, ko spremenimo premer cevi in s tem količino zraka v cevi moramo izračunati nov koeficient upora λ .**

1. Izračunamo dani **volumen V** $V = (12 \times 20 \times 5) \text{ m} = \mathbf{1200 \text{ m}^3}$
2. Izračunamo **pretok V** $\dot{V} = V \cdot \text{št. izmenjav zraka} = 1200 \text{ m}^3 \cdot 6 = \mathbf{7200 \text{ m}^3/\text{h}}$
3. Izračunamo potrebno **površino A** $A = \dot{V} / v = 7200 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s} \cdot 10 \text{ m/s} = \mathbf{0.2 \text{ m}^2}$
4. Izračunamo hidravlični premer d_h (za kvadrat)

$$d_h = a \quad \Longrightarrow \quad \sqrt{A} = a = 447 \text{ mm} \approx \mathbf{450 \text{ mm}}$$

5. Izračunamo relativno **hrapavost ϵ/d** $\epsilon/d = 0.15 \text{ mm} / 450 \text{ mm} = 0.00033 = \mathbf{3.3 \cdot 10^{-4}}$
6. Izračunamo vrednost **$v \cdot d$** $v \cdot d = 10 \text{ m/s} \cdot 0.450 \text{ m} = \mathbf{4.5}$
7. Iz diagrama odčitamo vrednost za koeficient upora λ

$$\lambda \approx \mathbf{0.02}$$

8. Izračunamo tlake :

- $\Delta p_{RC} = \lambda \cdot l/d \cdot \rho v^2/2 = 0.02 \cdot 20\text{m}/0.45\text{m} \cdot 1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot (10 \text{ m/s})^2 / 2 = \mathbf{53.3 \text{ Pa}}$

- $\Delta p_{vstopni} = (1+k) \cdot \rho v^2/2 = (1 + 0.49) \cdot 1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot (10 \text{ m/s})^2 / 2 = \mathbf{89.3 \text{ Pa} \approx 90 \text{ Pa}}$

- $\Delta p_{lokalni} = (\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3) \cdot \rho v^2/2 = (1.3 + 0.4 + 0.4) \cdot 1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot (10 \text{ m/s})^2 / 2 = \mathbf{126 \text{ Pa}}$

- Skupni padec tlaka $\Delta p = \Delta p_{RC} + \Delta p_{vstopni} + \Delta p_{lokalni} = 53.3 \text{ Pa} + 90 \text{ Pa} + 126 \text{ Pa} = \mathbf{269.3 \text{ Pa} \approx 270 \text{ Pa}}$

- Izračunamo moč ventilatorja :

$$Pa = \text{N/m}^2$$

$$W = \text{Nm/s}$$

$$P_{el} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}}{\eta} = \frac{270 \text{ N/m}^2 \cdot 7200 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s}}{0.8} = 675 \text{ Nm/s} = \mathbf{675 \text{ kW}}$$

5.0. MERILNA TEHNIKA

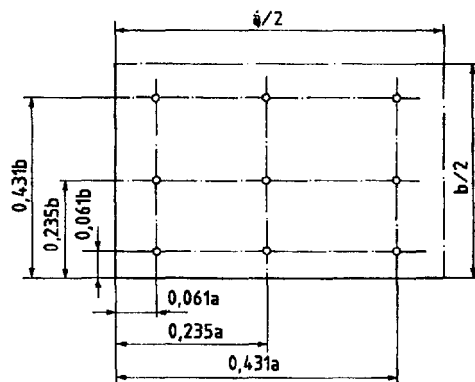
Sestavni deli merilne naprave so v glavnem :

- sprejemnik
- občutljivi element (npr. vzmetna cev na manometru)
- merilni ali računski sistem
- kazalni sistem (kazalec, skala, ekran)

5.1. MERJENJE PRETOKA (s pomočjo povprečne hitrosti – skozi cev ali kanal)

• za pravokotne preseke :

- površino se razdeli na ustrezno število, hitrost pa se meri v določenih točkah. Zelo primerno je pravilo » log 36 točk », pri katerih se hitrost meri v 36 točkah in nato se izračuna aritmetično povprečno hitrost. Dobljeno vrednost pomnožimo z presekom kanala in dobimo volumski pretok.

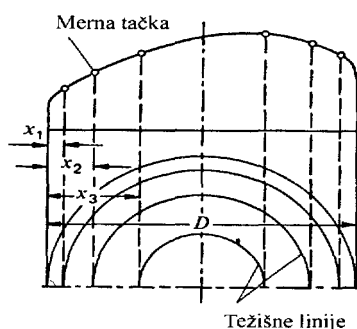


- merimo
- seštejemo
- delimo s števili

• za krožne preseke :

- površino kroga se razdeli na nekaj , po površini enakih krožnih obročev in se miri hitrost na težiščni črti (**postopek z težiščno črto**). Povprečna hitrost je aritmetična povprečna vrednost. Za npr. 5 površinskih delov zidov cevi merilnih točk so podani v spodnji tabeli.
- druga metoda je **log-linearni postopek**, katerega se uporablja pri večjem vplivu mejnih plasti na povprečni presek. Pri merjenju v krožnem preseku, na najmanj dva medsebojna vzporedna prereza, potrebno je 3 do 5 merenj na enem radiju po krožnem segmentu.

V sredini kanala je največja hitrost



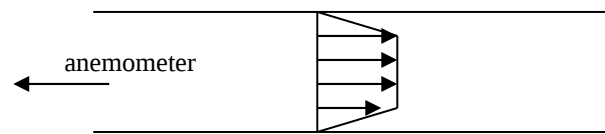
- laminarni tok (tokovnice so vzporedne) $Re < 2320$

x/D na 5 mernih mesta	x_1/D	x_2/D	x_3/D	x_4/D	x_5/D
	0,026	0,082	0,146	0,226	0,342

merilni instrumenti :

- (U – cev)

- turbulentni tok » digitalne vetrnice »
do 10 m/s - večje
od 10,15 m/s do 50 m/s - manjše



Trapezna porazdelitev

5.2. MERJENJE HITROSTI

- naprava za merjenje po zastojnem tlaku
- te naprave merijo zastojni tlak v toku. Zastojni tlak ali dinamični tlak je tisti tlak, katerega se dobi pri popolnem spreminjanju energije hitrosti v tlak (v toku zraka) :

$$\text{zastojni tlak } p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad \Longleftrightarrow \quad w = \sqrt{2 \cdot p_d / \rho} \quad (\text{m/s})$$

pri čemer pomeni :

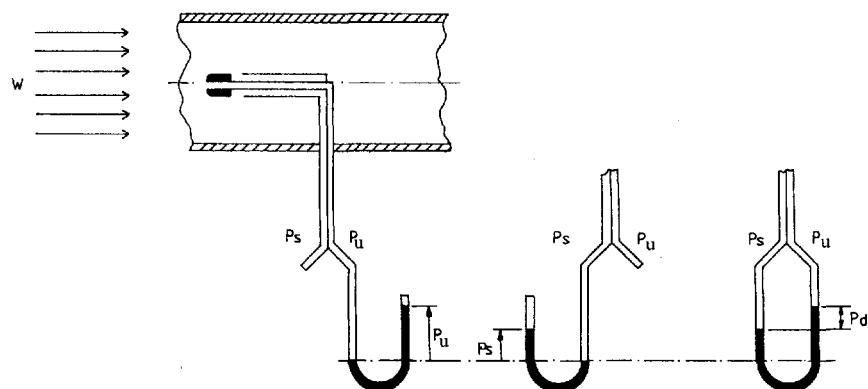
w – hitrost (m/s)
ρ - gostota (kg/m³)

- najenostavnejša zastojna naprava je **Pitotova cev** , to je spredaj odprta kljukasta cev.

Najpogosteje se uporablja **zastojna cev po Prantlu** , katera meri tudi statični tlak pretoka (na površini cevi).

Zastojna cev ima zaradi tega dve merjeni odprtini : ena se nahaja na sprednjem delu zastoje cevi, ki je usmerjen proti pretoku in služi za merjenje skupnega tlaka :

$$p_u = p_s + p_d \quad (\text{totalni tlak} = \text{statični tlak} + \text{dinamični tlak})$$



Opredelitev hitrosti z merjenjem tlaka s pomočjo Prantlove zastoje cevi

Druga odprtina v obliki prereza, je postavljena vertikalno proti toku in meri samo statični tlak **p_s** (statični tlak je majhen pri velikih hitrostih).

Dinamični ali zastojni tlak je razlika med obema tlakoma :

$$p_d = p_u - p_s$$

Njegovo vrednost dobimo s povezavo obeh koncev zastoje cevi z obema krakoma manometra po zgornji sliki na prejšnji strani.

Za zrak pri atmosferskem tlaku velja približno :

$$w = \sqrt{2 \cdot p_d / \rho} = \sqrt{2 \cdot p_d / 1.20} = 1.3 \cdot \sqrt{p_d} \quad (\text{m/s})$$

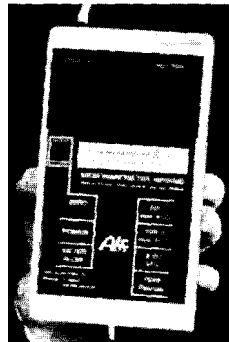
Za določitev volumskega pretoka pri večjih kanalih, je potrebno na nekaj mestih izmeriti hitrost in poiskati povprečno vrednost, ali pa uporabiti zastožno sondo za direktno odčitavanje povprečne vrednosti.



Sonda za pretok (Lambrechtova sonda)

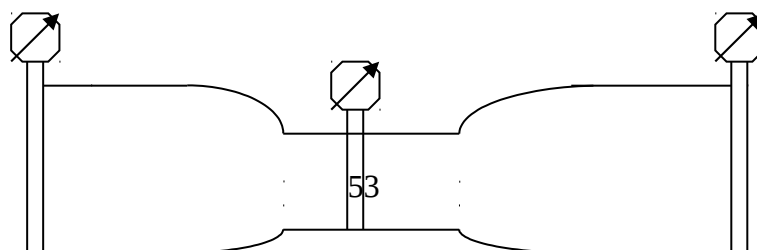
Zastojne naprave vključujejo tudi sonde za pretok za direktno odčitavanje vrednosti hitrosti, se pravi, preko zastojnega tlaka direktno pokažejo kakšna je hitrost .

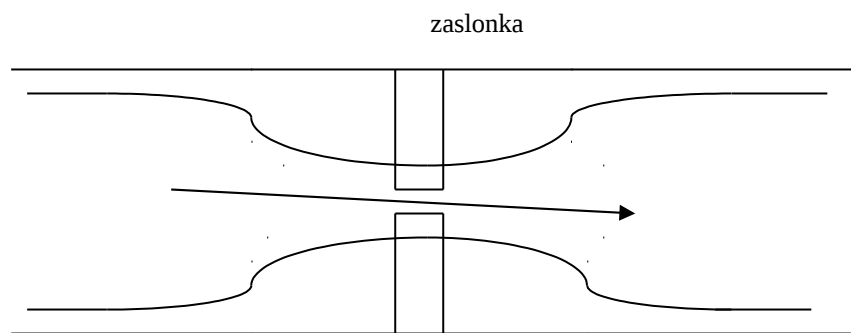
Digitalni manometer z računalnikom pokaže rezultate direktno v m/s .

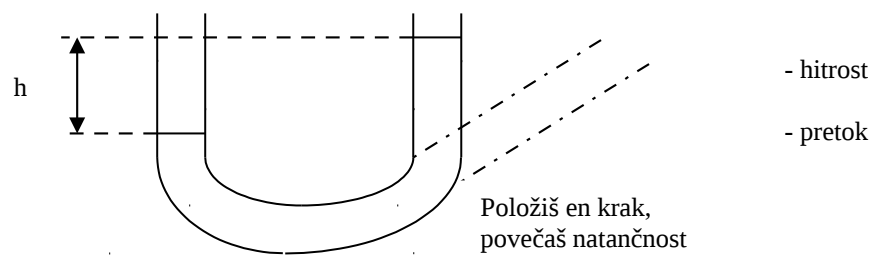


ročni digitalni mikromanometer z baterijskim napajanjem

Pilot – Prandtlova cev : manometer, prirejen za merjenje tlaka v tekočinah ali plinih







U - cev