

KLIMATIZACIJA

Tema: - SUSTAVI VENTILACIJE

Doc.dr.sc. Igor BALEN

Zašto ventilirati?

Glavne potrebe:

1. Dovođenje vanjskog zraka (kisika) u zatvoreni unutarnji prostor,
2. Razrjeđivanje koncentracije zagađivača u zraku – dobava vanjskog zraka može ovisiti o koncentraciji zagađivača – ranije *MAK* (njem. *Maximale Arbeitsplatz Konzentration*) – danas *AGW* (njem. *Arbeitsplatzgrenzwert*) (nastali CO₂ pri disanju, duhanski dim, miris znoja, tehnološka isparenja...),
3. Uklanjanje zagađivača iz prostora (parkirne garaže, cestovni tuneli, laboratoriji, radionice...),
4. Uklanjanje topline i vlage iz prostora (zatvoreni bazeni, kuhinje...),
5. Uspostavljanje željene razdiobe zraka unutar prostora.

Osnovni zahtjevi kod projektiranja sustava ventilacije

- (a) zrak u prostoru treba biti čist – bez mirisa, prašine i ostalih nečistoća
- (b) temperatura i relativna vlažnost u unutarnjem prostoru trebaju zadovoljavati proračunske uvjete prema namjeni i aktivnostima u prostoru
- (c) dobavna struja zraka mora sadržavati udio vanjskog zraka

Osnovni pojmovi

Osjetna toplina

$$Q_S = V_{KL} \rho c_p (t_i - t_{UB})$$

- promjena temperature

Latentna toplina

$$Q_L = V_{KL} \rho r_0 (x_i - x_{UB})$$

- promjena vlažnosti

Proračun toplinskog opterećenja kod grijanja

DIN 4701, EN 12 831, ...

Proračun toplinskog opterećenja kod hlađenja

CLTD/SCL/CLF, RTS, TETD/TA, TFM, ...

Infiltracija i ventilacija – razlike?

INFILTRACIJA – dotok vanjskog zraka u zgradu kroz zazore i ostale nenamjerne otvore, te kroz vanjska vrata pri ulaženju i izlaženju iz zgrade → propuštanje.

VENTILACIJA – namjerno dovođenje određene količine vanjskog zraka u zgradu kroz projektirane otvore → namjera regulirane distribucije zraka.

Broj izmjena zraka

- govori o količini zraka koja ventilacijom ulazi u zgradu (izmjenjeni zrak unutar volumena zgrade tijekom jednog sata)

Stanje	ACH [h⁻¹]
Zatvoreni prozori i vrata (infiltracija)	0-0,5
Prozor otvoren na kiper	0,3-1,5
Napola otvoren prozor	5-10
Širom otvoren prozor	10-15
Otvoreni prozori i vrata na suprotnim zidovima	do 40

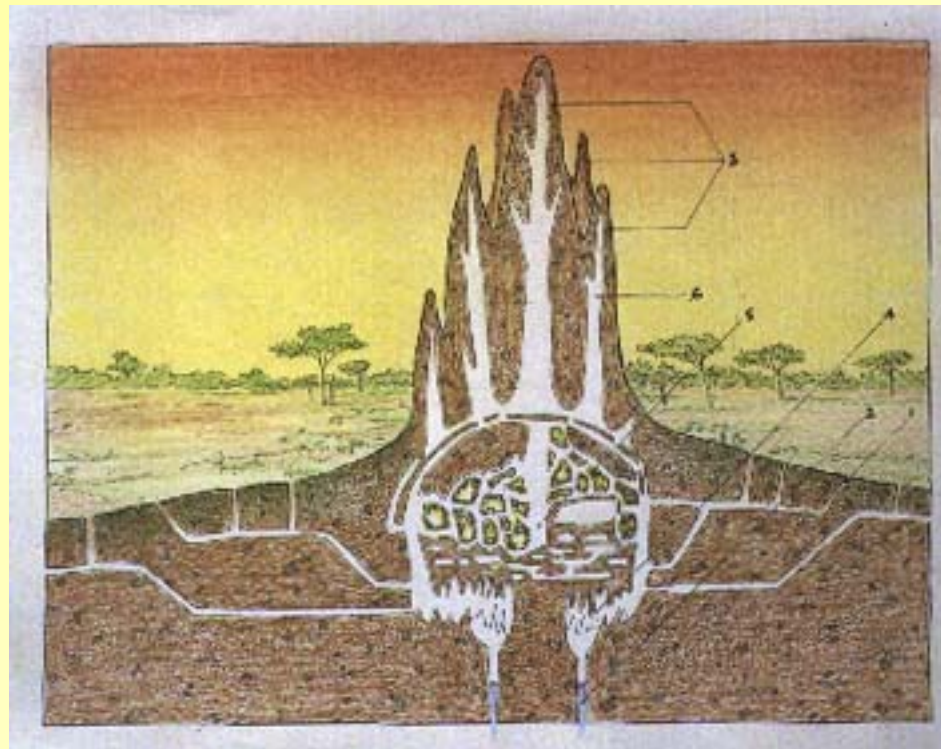
Podjela sustava ventilacije prema načinu strujanja

1. Prirodna ventilacija
2. Prisilna (mehanička) ventilacija

OBAVEZNA DOBAVA VANJSKOG ZRAKA! - sustav bez dobave vanjskog zraka – recirkulirajući sustav → nije sustav ventilacije!

Ventilacija u prirodi

Termitnjak



Prirodna ventilacija

- pokretana prirodno i/ili umjetno dobivenim razlikama tlaka – bez ventilatora.

Prednosti:

- mali investicijski troškovi
- jednostavno održavanje
- jeftina pogonska energija
- mala brzina strujanja zraka i niska razina buke – ugodnost

Nedostaci:

- slaba učinkovitost
- slaba mogućnost upravljanja
- ovisnost o vremenskim uvjetima

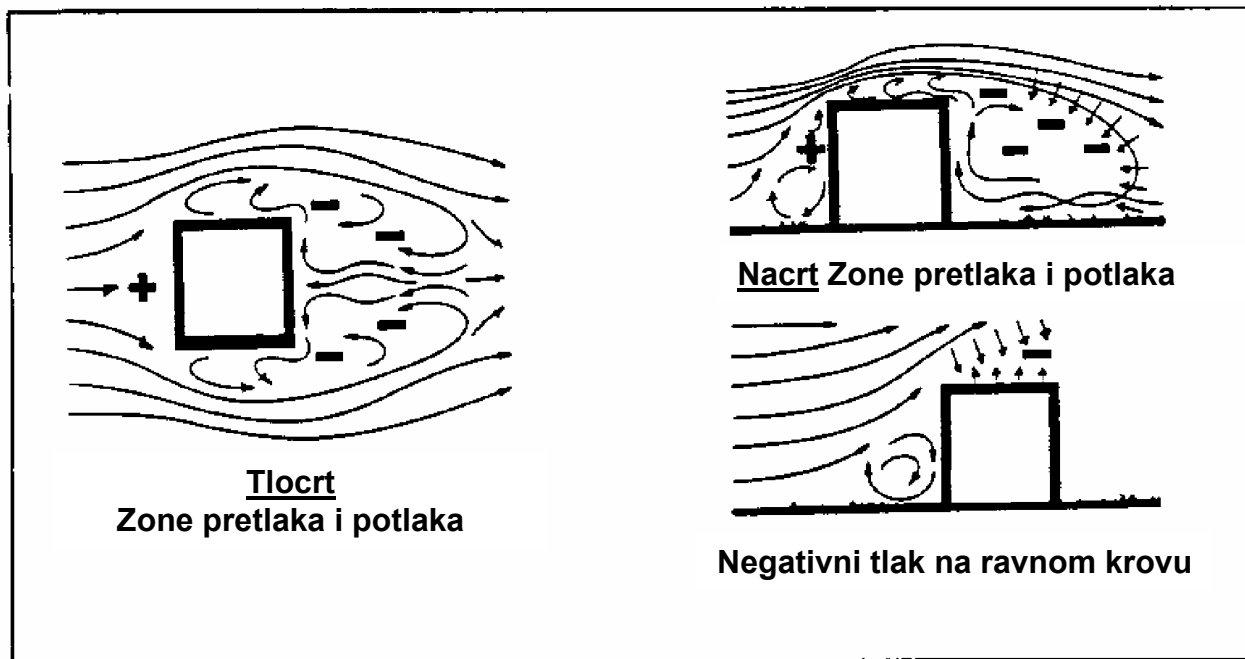
Pogonska sila:

- energija vjetra
- efekt dimnjaka

Gore spomenute pogonske sile mogu djelovati zasebno ili zajedno.

Energija vjetra

- strujanje zraka kroz ulazne ventilacijske otvore uzrokovano vjetrom usljed pretvorbe dinamičkog tlaka vjetra u statički tlak
- na strani zgrade izloženoj vjetru postoji pozitivna razlika tlaka između unutarnjeg i vanjskog prostora, a negativna razlika tlaka je na strani koja je u zavjetrini → izaziva ulaz zraka u zgradu



Energija vjetra

- ulazi zraka bi trebali biti usmjereni direktno u smjeru prevladavajućeg vjetra

- povoljni smještaj izlaza:

(1) na strani zgrade u zavjetrini, točno nasuprot ulazima

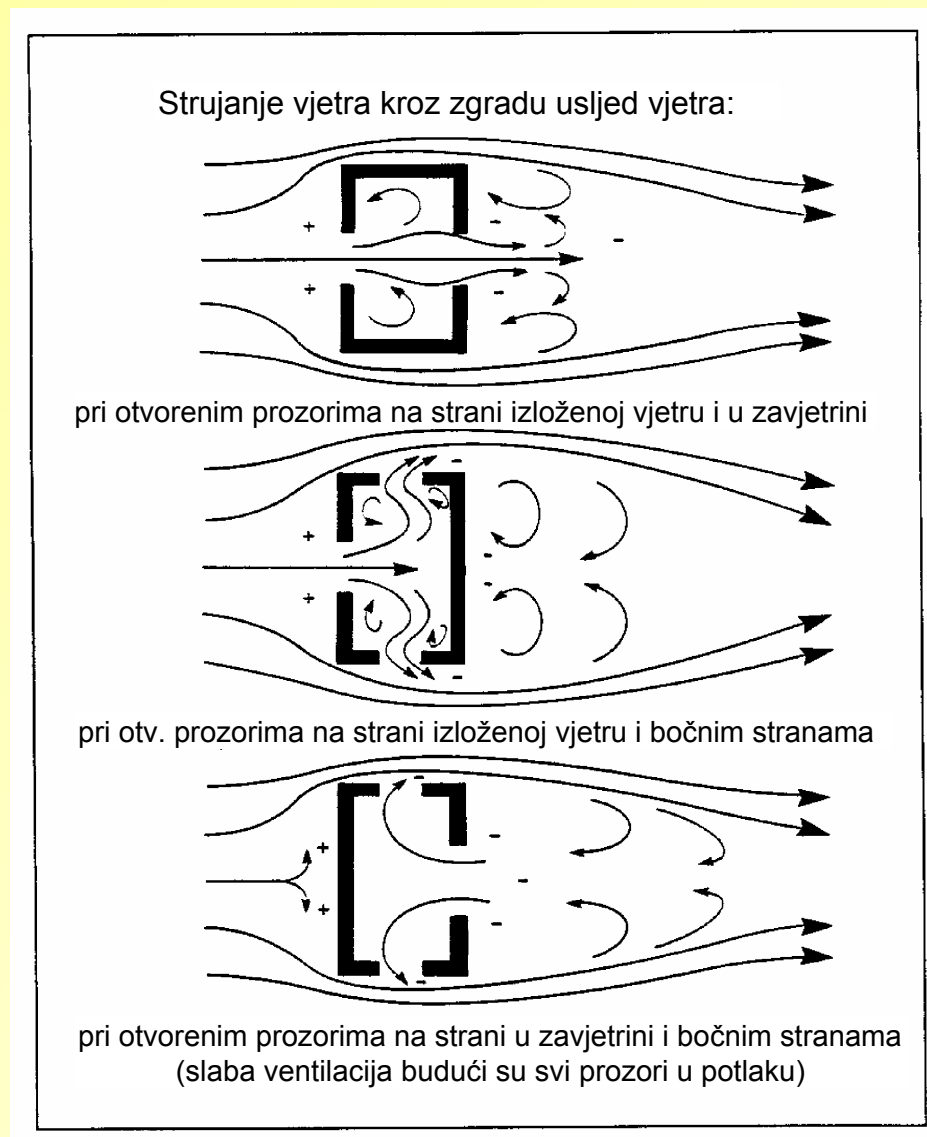
(2) na krovu, u području potlaka izazvanog diskontinuitetom u strujanju vjetra

(3) na bočnim stranama gdje se pojavljuju zone potlaka

(4) u tavanском prostoru na strani u zavjetrini

(5) putem dimnjaka

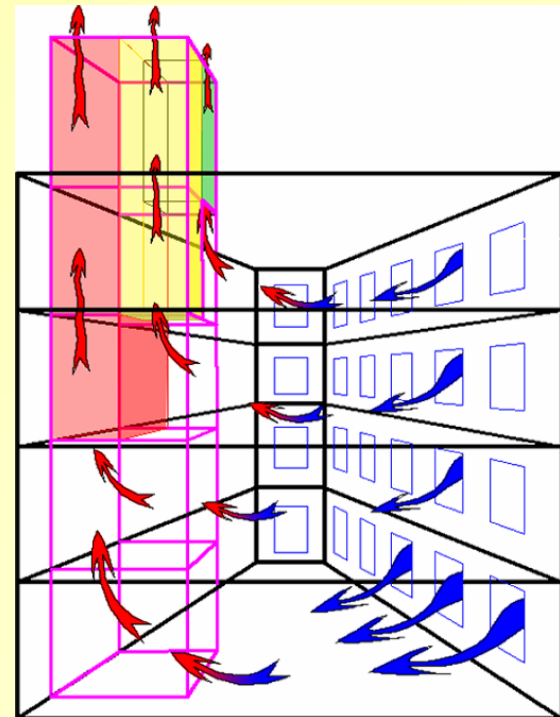
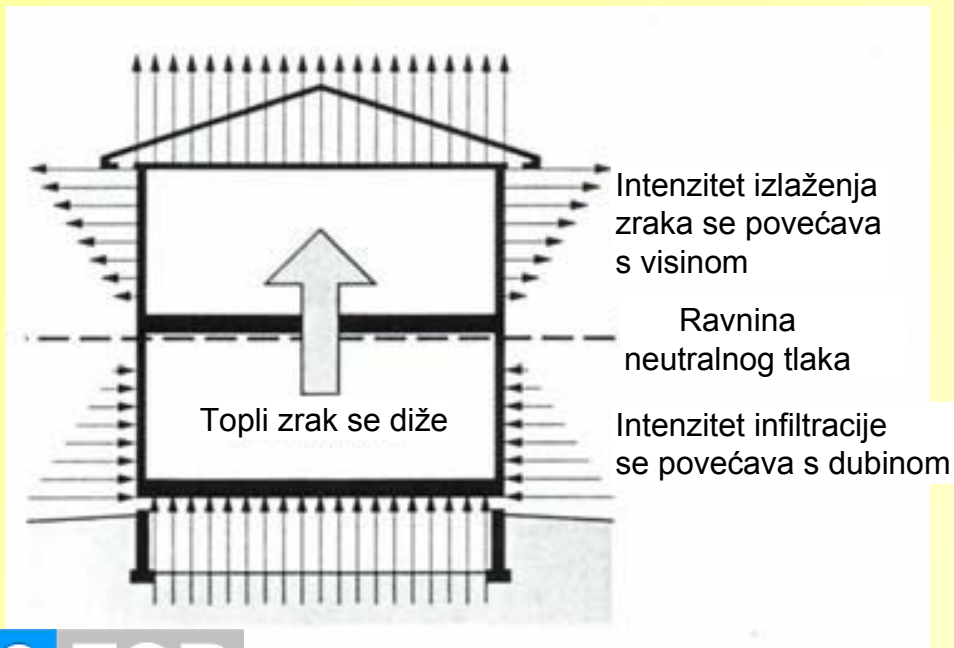
(6) preko krovnih ventilatora



Efekt dimnjaka

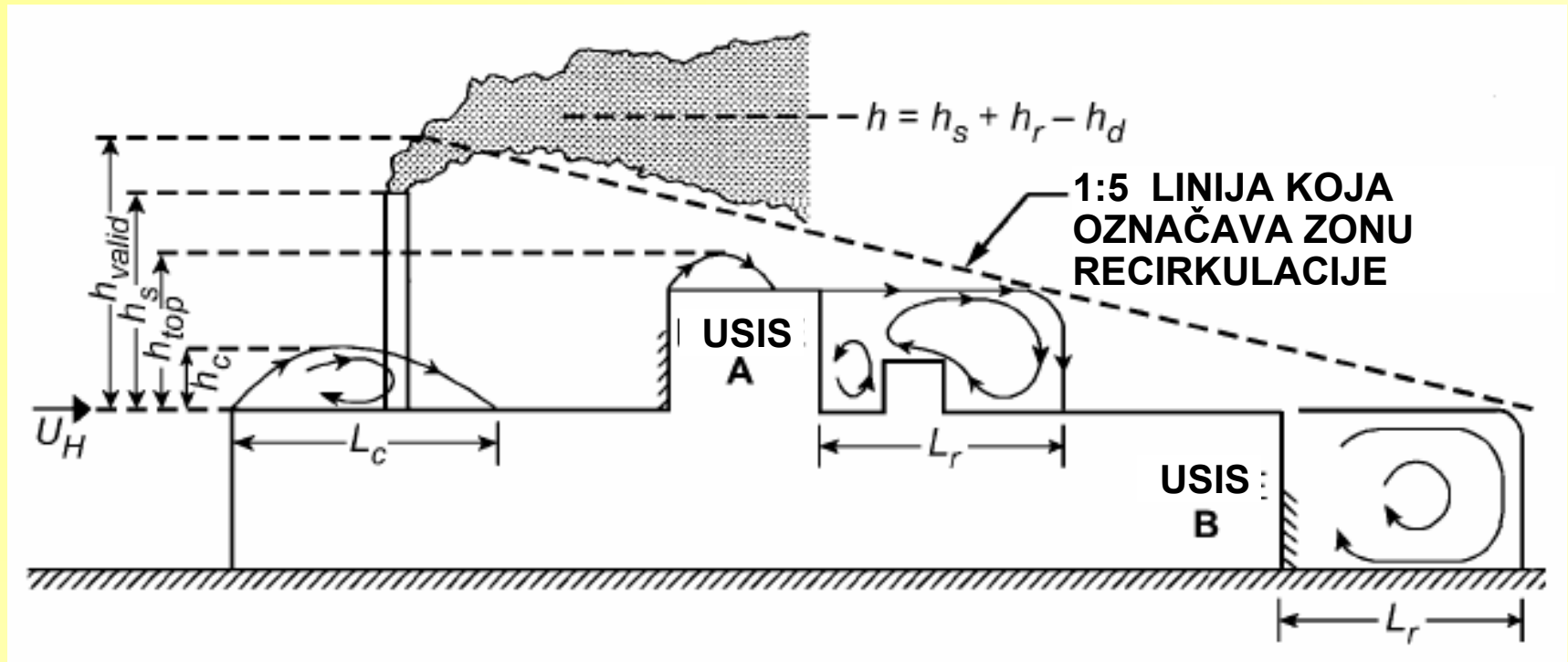
- strujanje zraka kroz zgradu izazvano razlikom temperatura između unutrašnjosti i vanjskog okoliša (gustoća toplijeg zraka je manja pa on struji prema gore)
- kada je unutrašnji zrak topliji od vanjskog, donji dio zgrade je u potlaku, a gornji u pretlaku prema okolišu
- raspoloživi tlak:

$$\Delta p_{UZG} \geq \Delta p_{KAN} \rightarrow (\rho_o - \rho_i) gH \geq \sum Rl + \sum Z$$

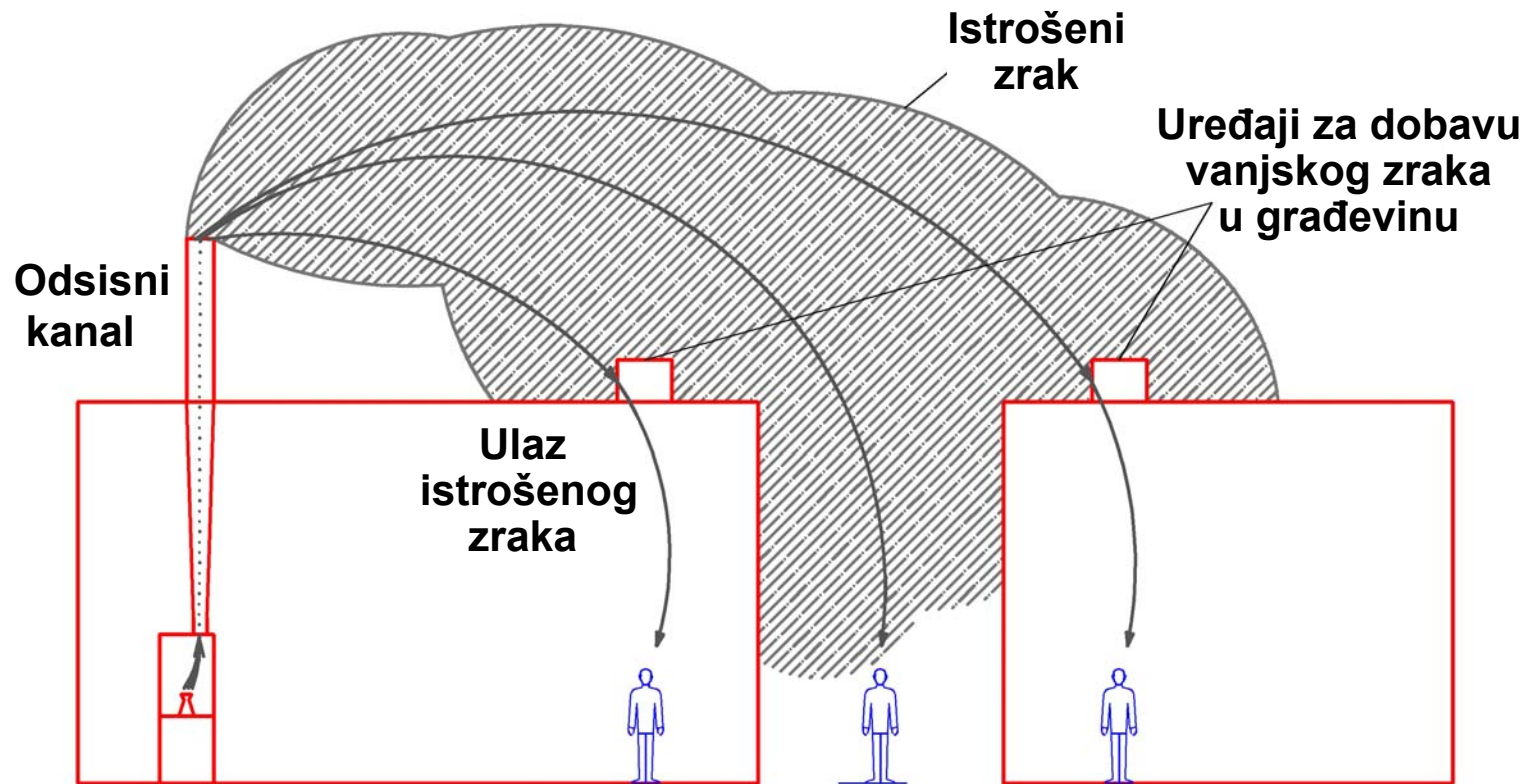


Visina dimnjaka

- područje recirkulacije strujanja i udaljenost između ispuha i usisa

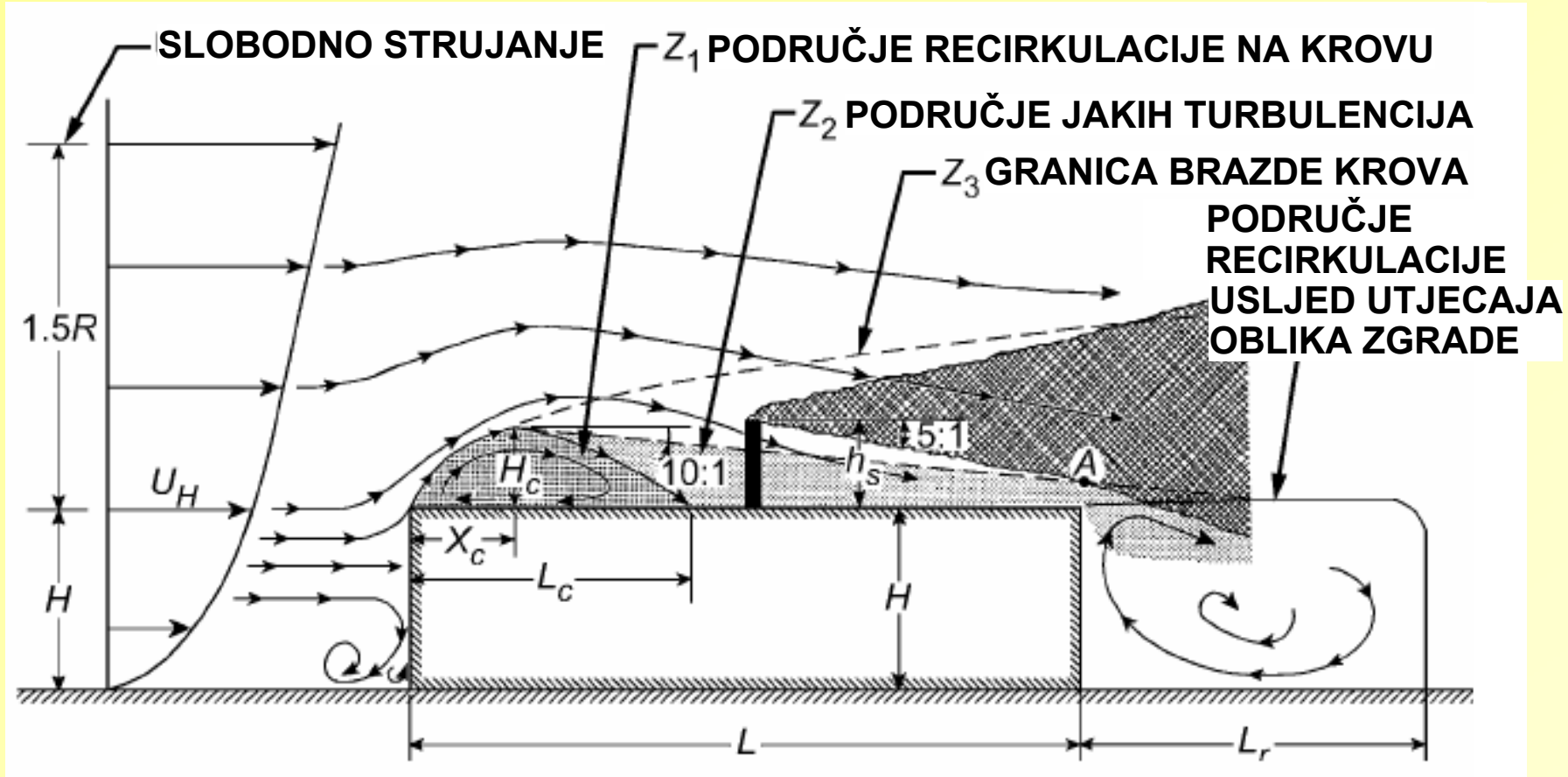


Visina i položaj dimnjaka - rizik recirkulacije istrošenog zraka



Visina dimnjaka

- potrebna visina dimnjaka da bi se izbjegla kontaminacija



Visina dimnjaka

- potrebna visina dimnjaka da bi se izbjegla kontaminacija – proračun:

$$H_c = 0.22 R \quad X_c = 0.5 R$$

$$L_c = 0.9 R \quad L_r = 1.0 R$$

$$\text{where : } R = B_s^{0.67} B_L^{0.3}$$

- granica brazde krova – gornja granica Z_3 :

$$Z_3 / R = 0.28(X / R)^{1/3}$$

H_c – visina područja recirkulacije [m]

X_c – položaj [m]

L_c – duljina recirkulacijske zone [m]

L_r – duljina recirkulacijske
šupljine [m]

R – razmjerna duljina zgrade [m]

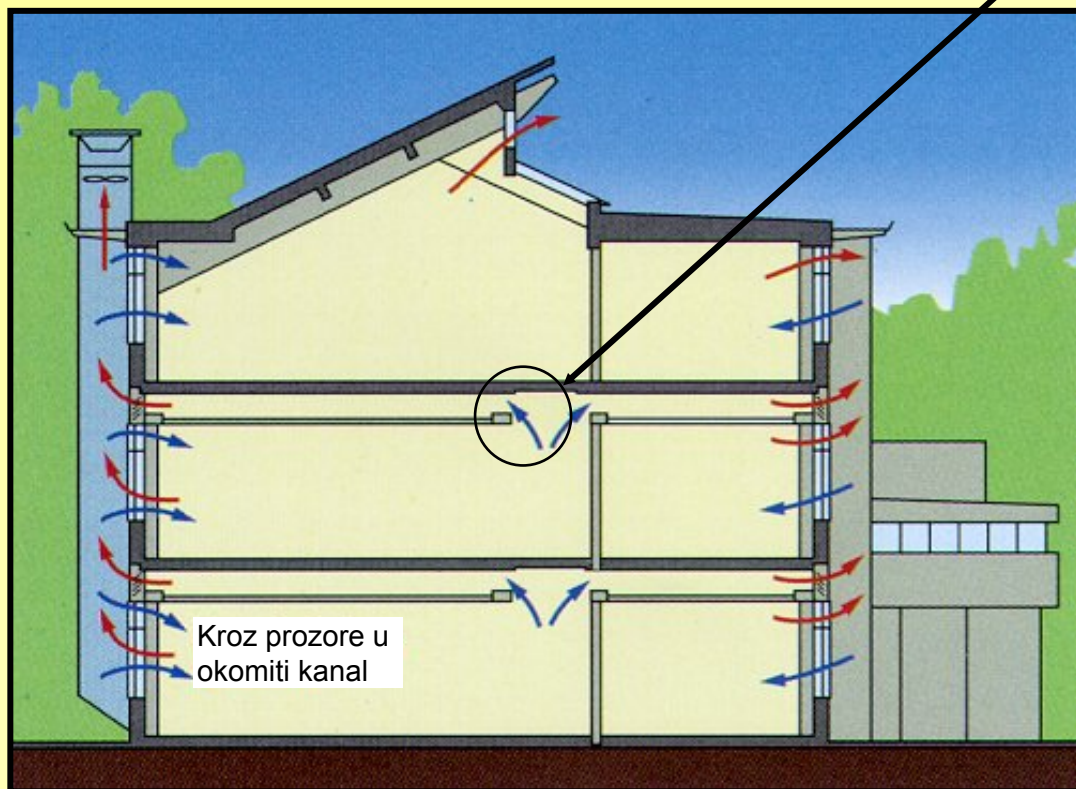
B_s – manja dimenzija vjetru izložene strane
(visina ili širina) [m]

B_L – veća dimenzija vjetru izložene strane [m]

X – udaljenost od vjetru izloženog ruba
krova na kojem se stvara zona
recirkulacije [m]

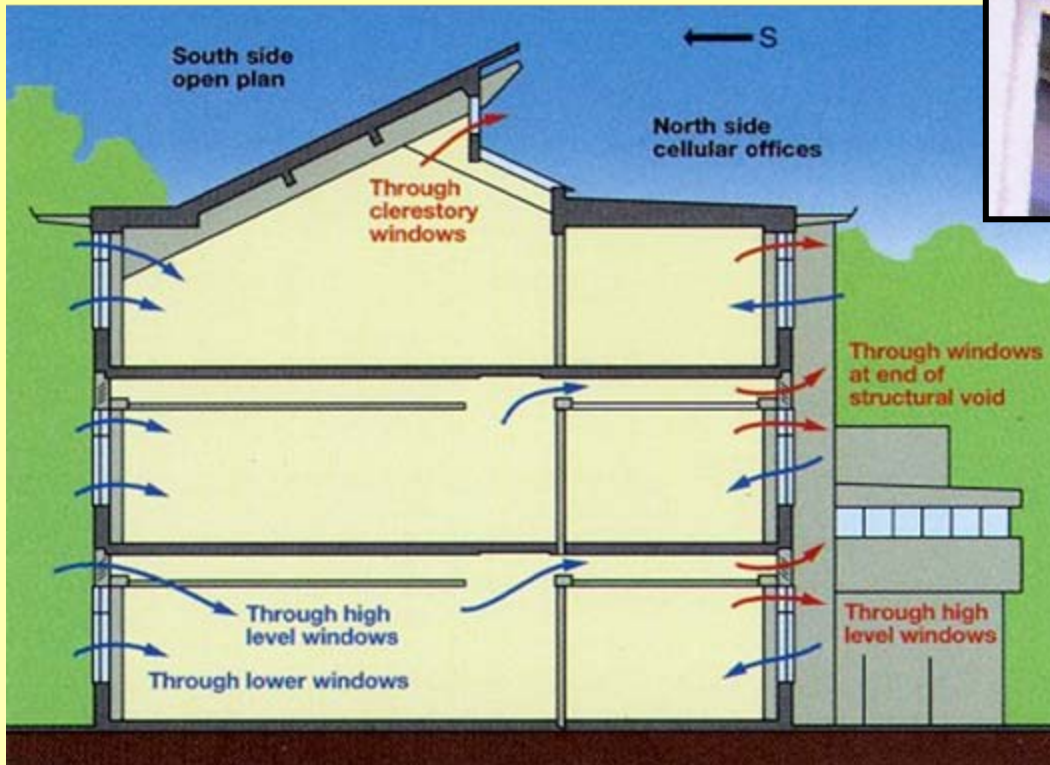
Prirodna ventilacija uzrokovana kombiniranim pogonskim mehanizmima

- npr. hibridni sustavi ventilacije – kombinacija prirodne i mehaničke ventilacije
- primjer – ventilacija okomitim kanalom u vrućem ljetnom danu bez vjetra
- ventilator u kanalu radi povremeno



Prirodna ventilacija uzrokovana kombiniranim pogonskim mehanizmima

- primjer – poprečna ventilacija u vjetrovitom ljetnom danu



Mehanička ventilacija

- prisilno strujanje zraka usljed rada ventilatora

Prednosti:

- ne ovisi o vremenskim uvjetima
- velik izbor opreme
- dobra mogućnost regulacije
- pojednostavljen proces projektiranja sustava

Nedostaci:

- veliki investicijski troškovi
- velika potrošnja energije
- recirkulacija zraka
- problem buke

Mehanička ventilacija

1. Tlačna ventilacija – prostor u pretlaku

- soba
- učionica

2. Odsisna ventilacija – prostor u podtlaku

- kuhinja
- toalet
- kupaonica

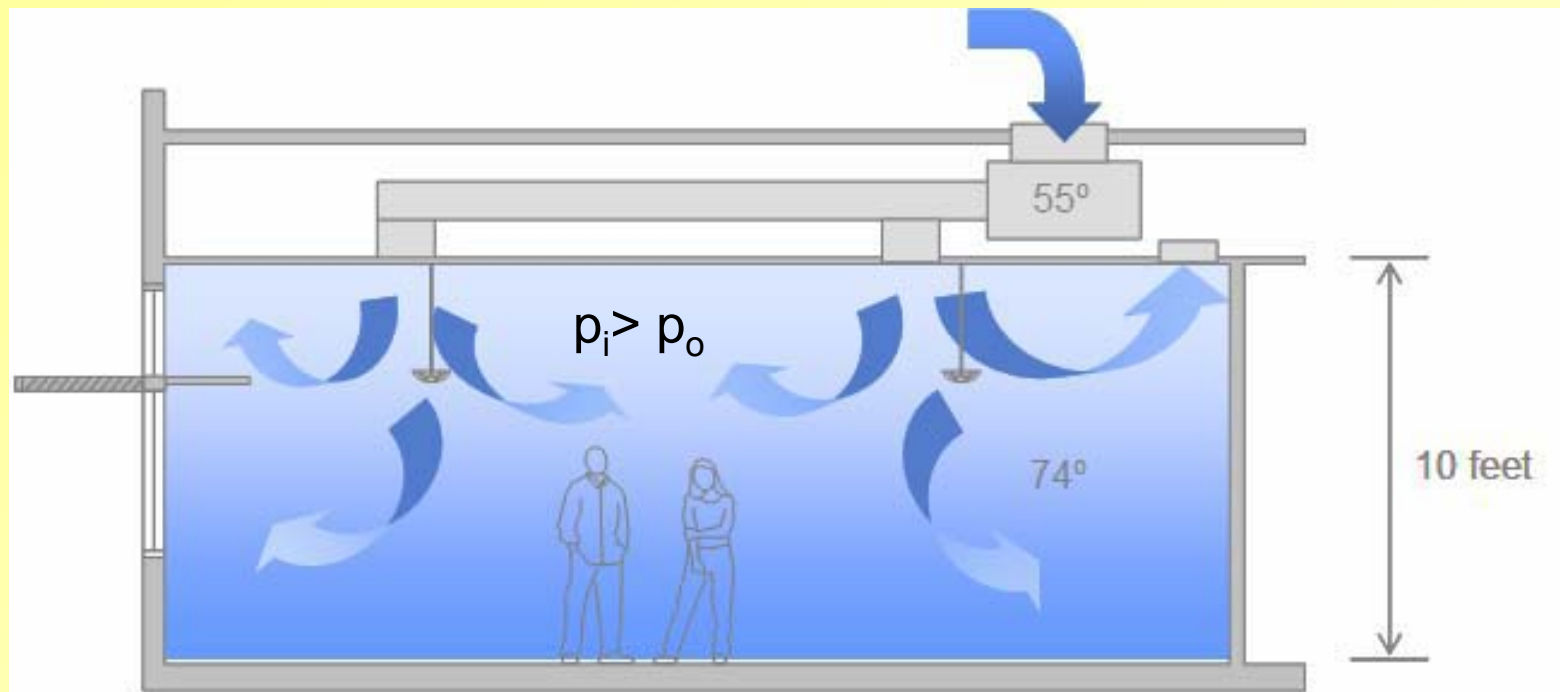
3. Tlačna i odsisna ventilacija

- komforna ventilacija
- industrijska ventilacija



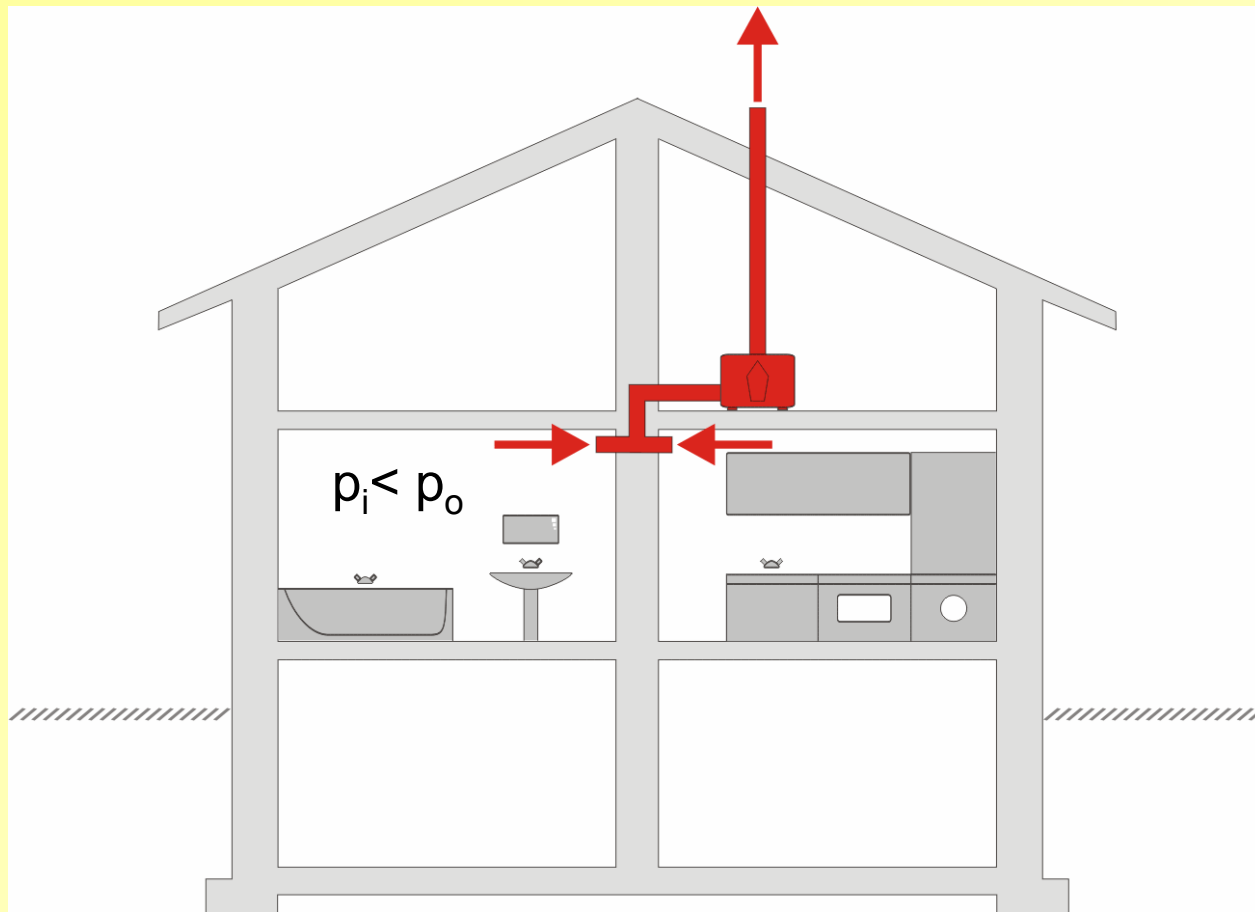
Mehanička ventilacija

1. Tlačna ventilacija – unutarnji tlak je viši od vanjskog tlaka



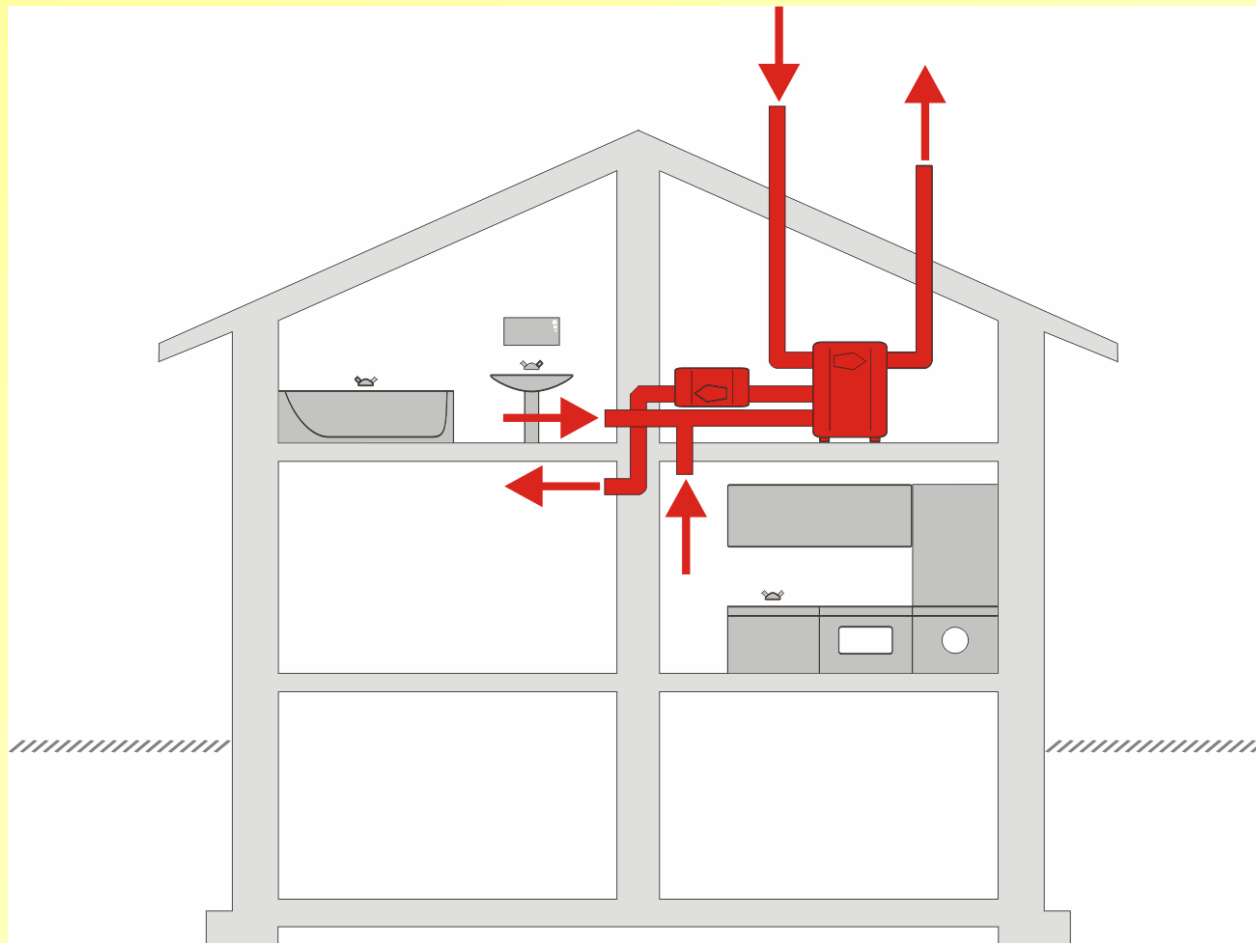
Mehanička ventilacija

2. Odsisna ventilacija – unutarnji tlak je niži od vanjskog tlaka



Mehanička ventilacija

3. Tlačna i odsisna ventilacija – unutarnji tlak može biti viši, jednak ili niži od vanjskog tlaka, ovisno o protocima na tlačnoj i odsisnoj strani



Mehanička ventilacija

Podjela prema mjestu pripreme zraka:

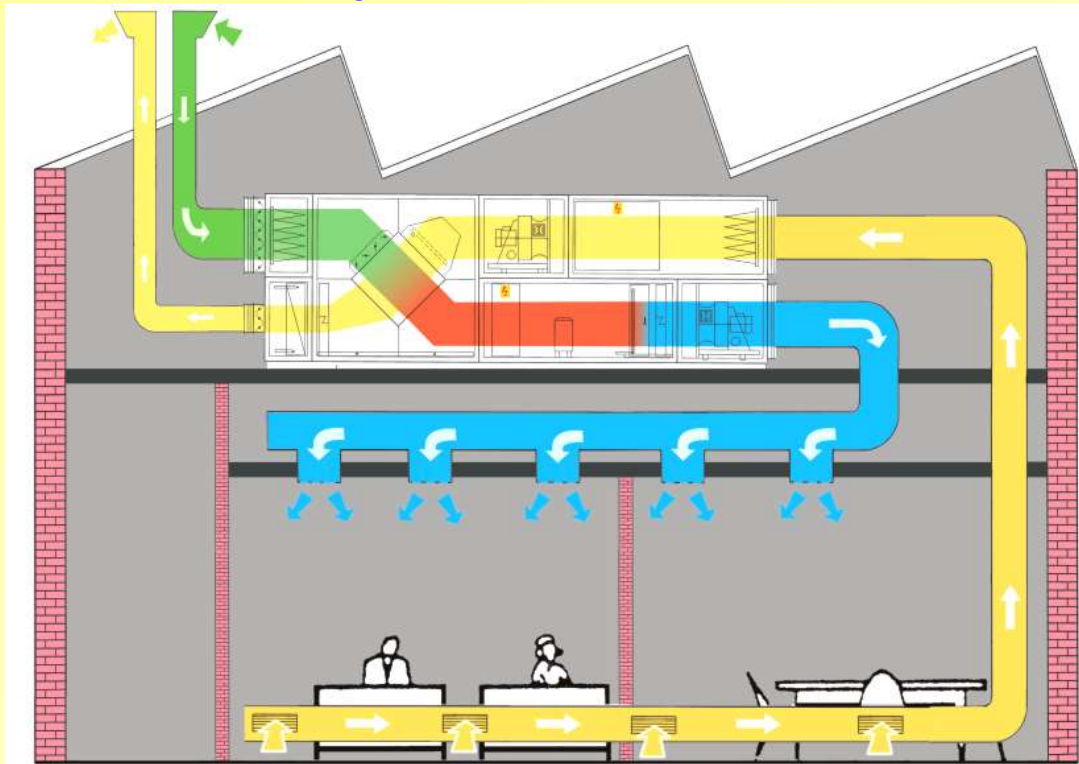
1. Sustav centralne ventilacije

- priprema zraka vrši se na jednoj centralnoj lokaciji, a zatim se zrak distribuira u prostore

2. Decentralizirani (lokalni) sustav ventilacije

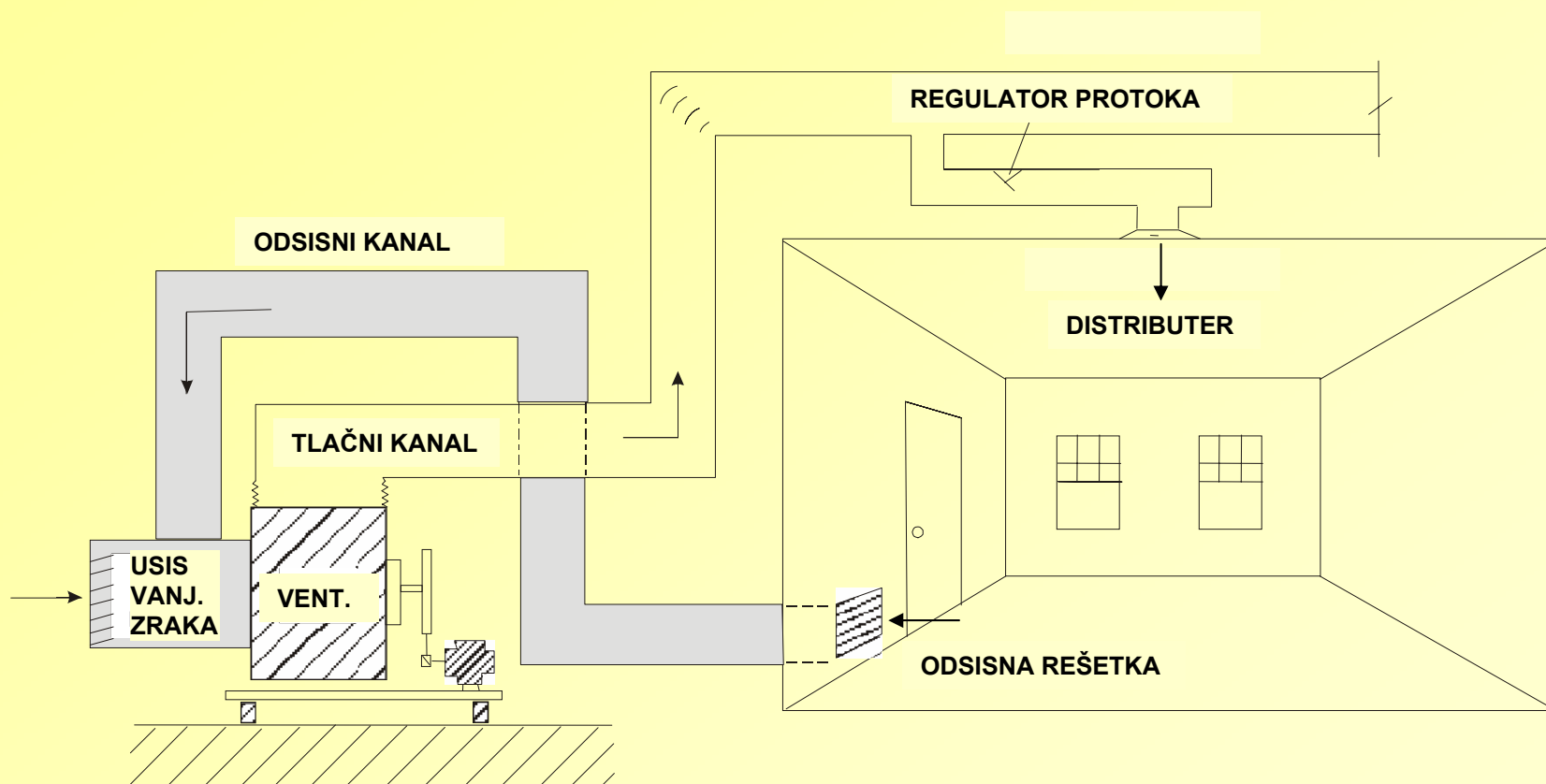
- priprema zraka vrši se za svaki prostor/zonu zasebno

Sustav centralne ventilacije



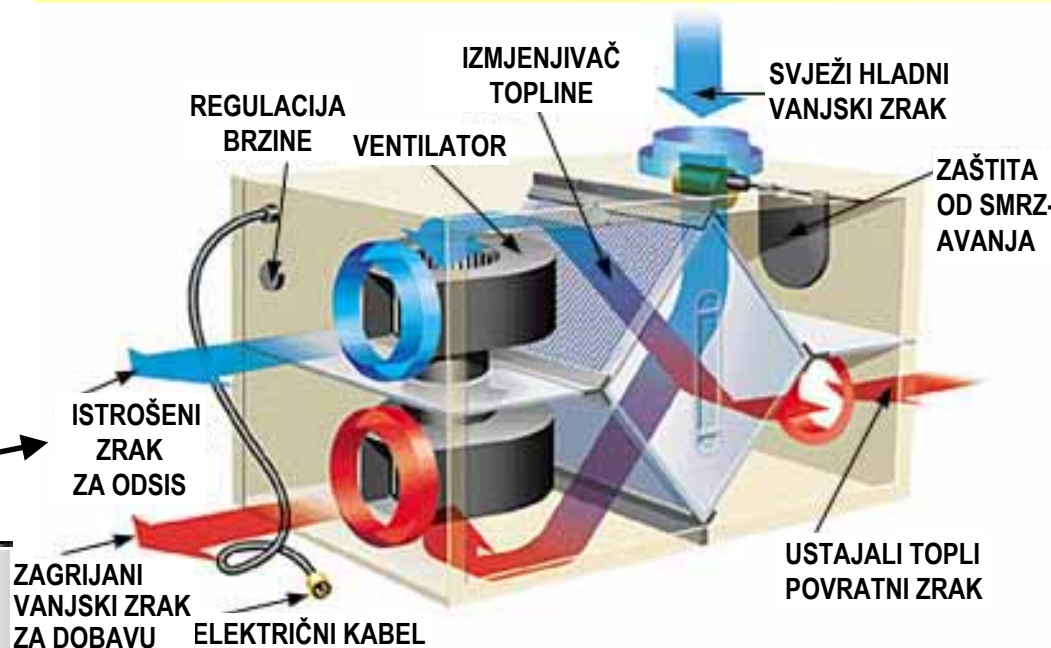
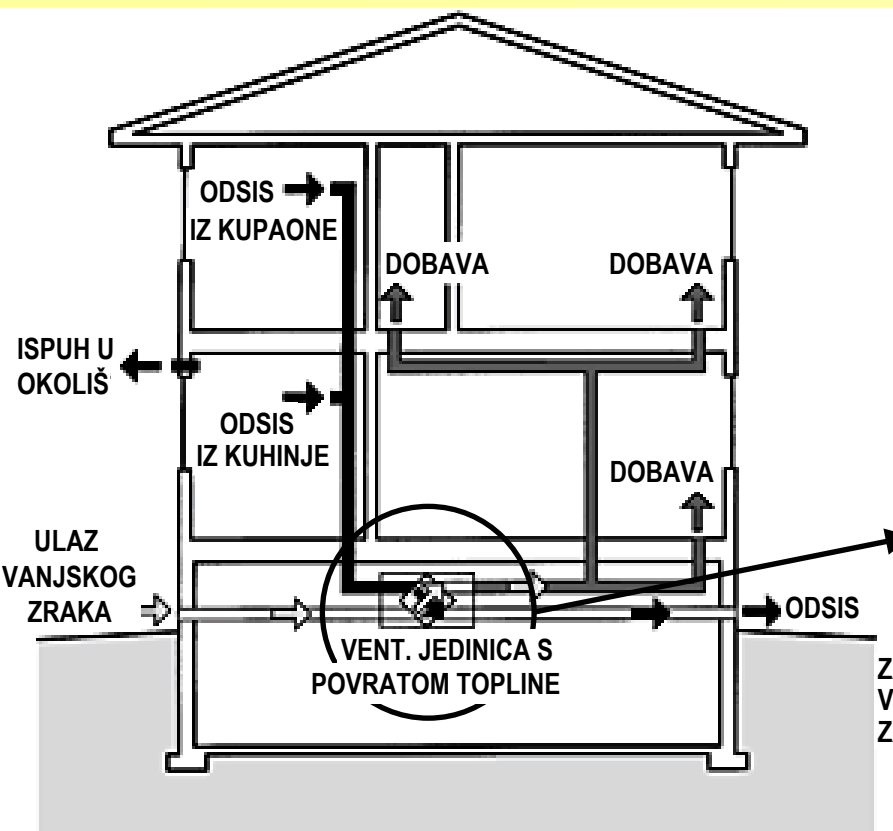
Mehanička ventilacija

– osnovni elementi sustava centralne ventilacije

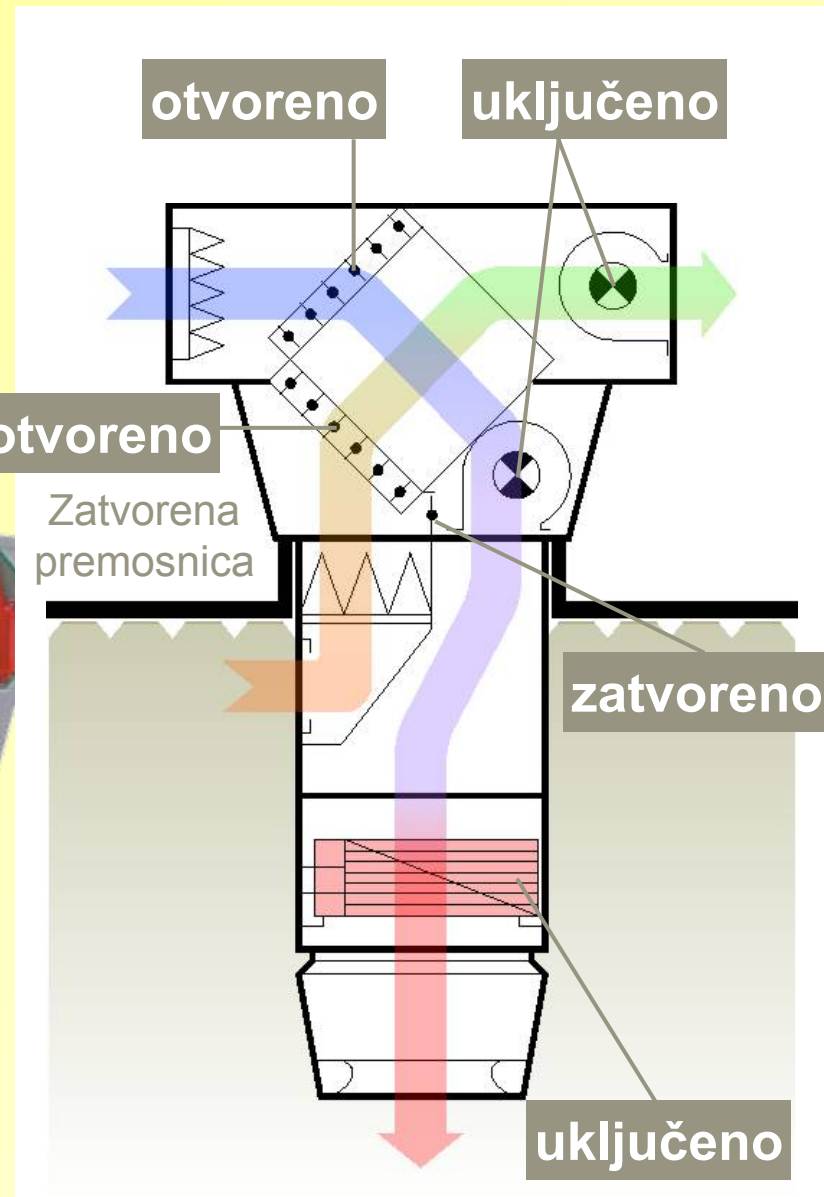
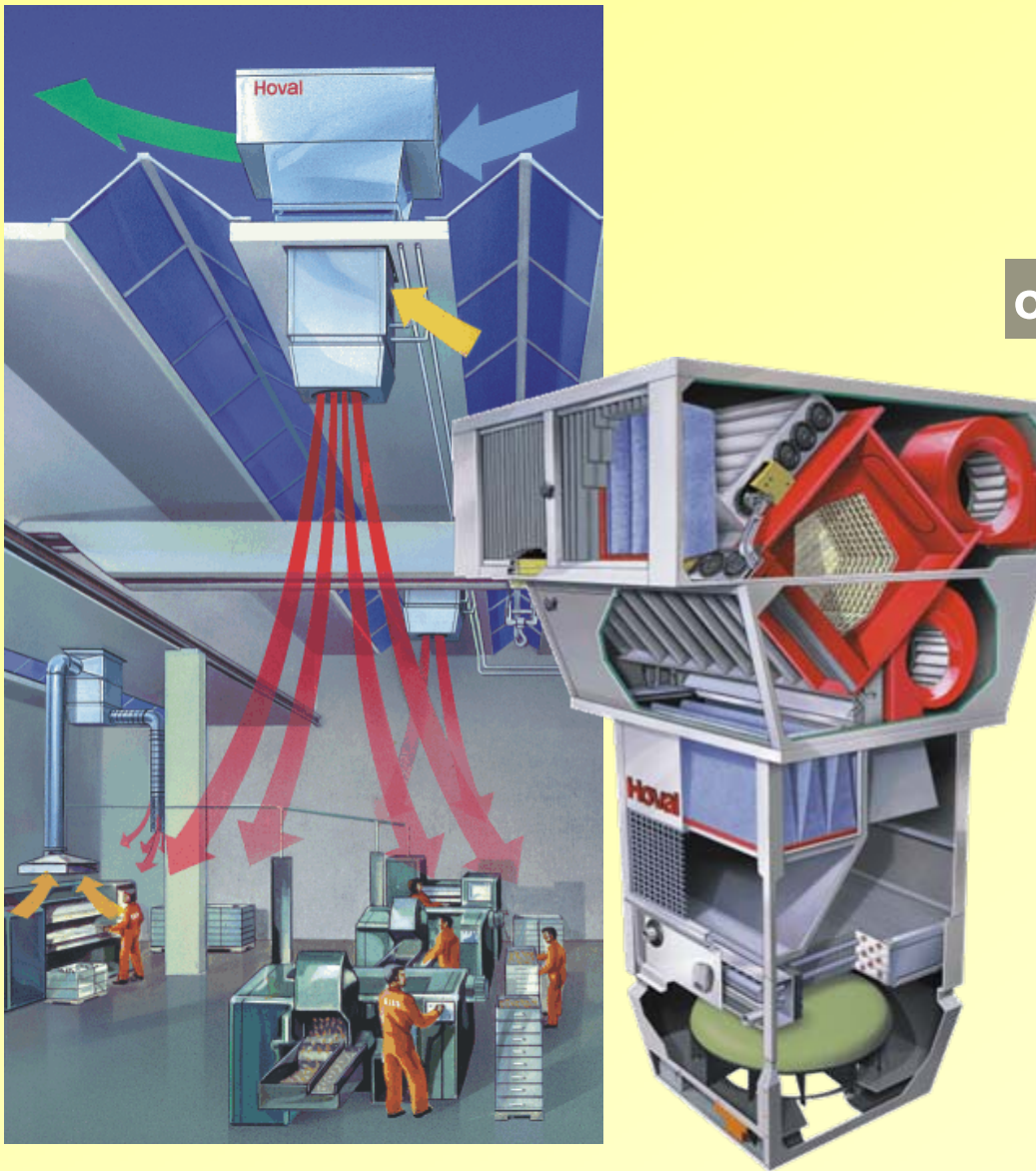


Mehanička ventilacija

– sustav centralne ventilacije za stambene prostore s povratom topline



Decentralizirani sustav ventilacije

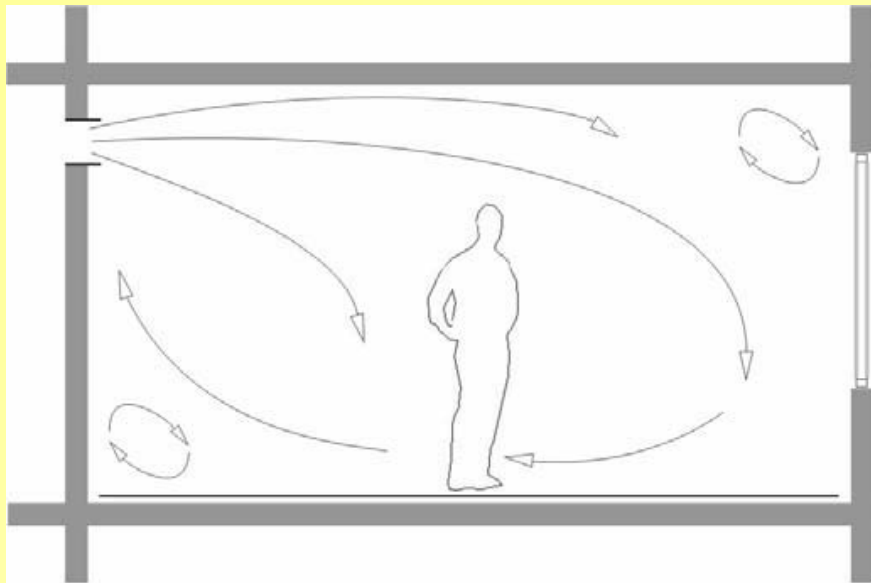


Empirijski broj izmjena zraka po satu za različite vrste prostora

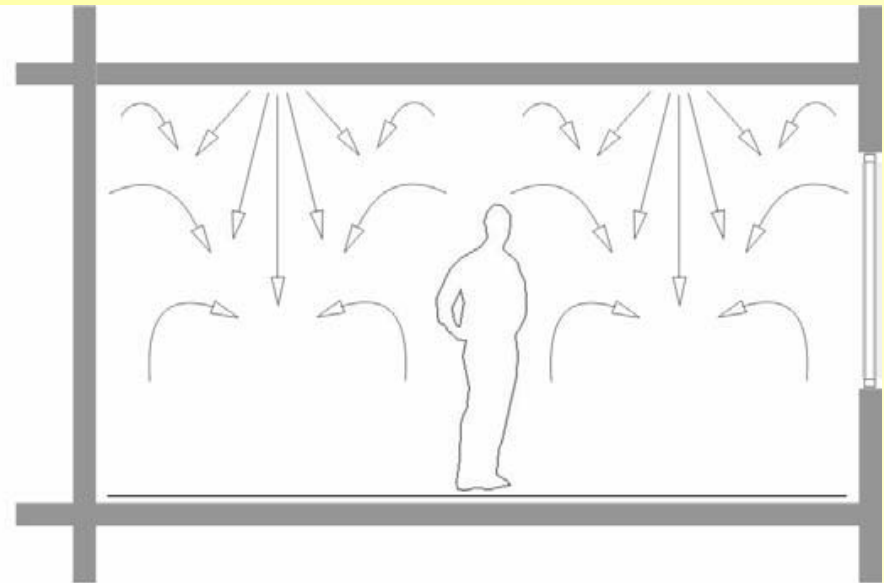
Vrsta prostora	ACH [h⁻¹]
Ured	3...6
Knjižnica	3...5
Restoran	6...8
Dućan	4...8
Kazalište, kino dvorana	4...6
Lakirnica	20...50
Operacijska dvorana	15...20
Skladište	4...6
Garderoba	3...6
Zatvoreni bazen	3...6
Laboratorij	8...15
Konferencijska dvorana	5...10

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

Sustav s miješajućim strujanjem – povlačenje struje zraka u prostoriji



Tangencijalno



Difuzno

Prednosti:

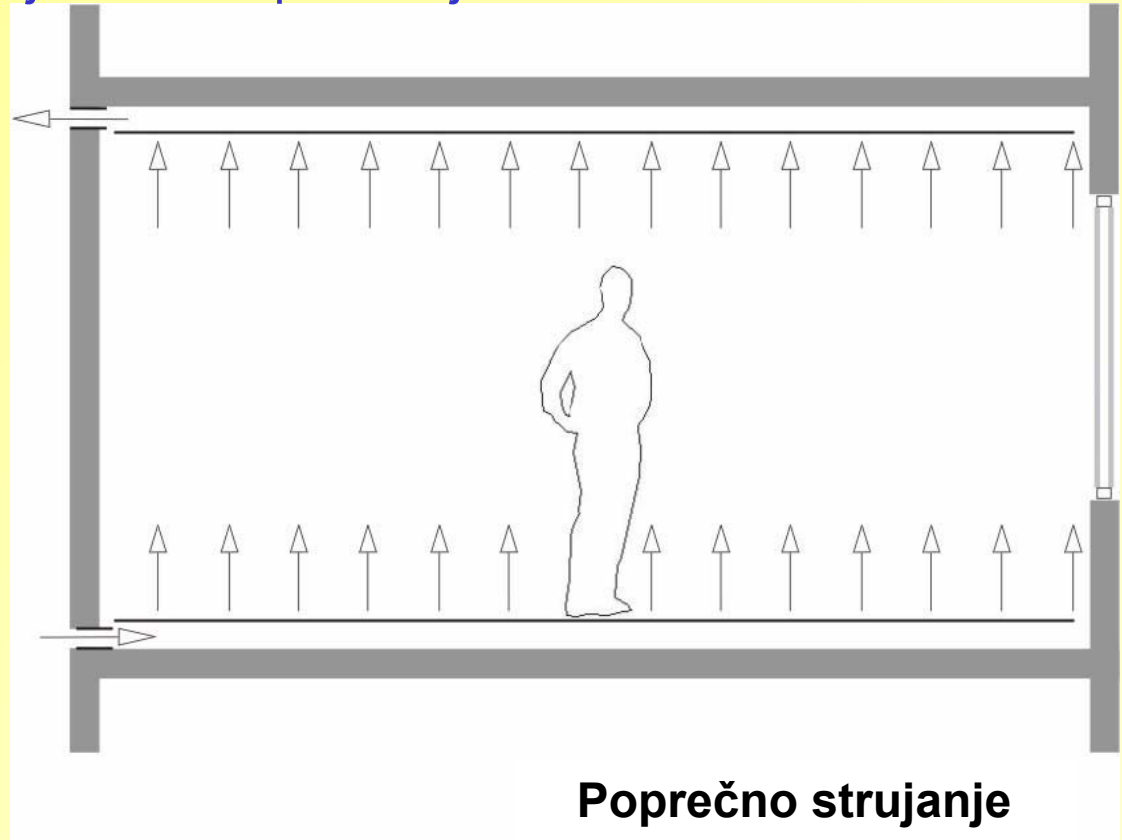
- pogodno za grijanje i hlađenje
- efekt indukcije omogućuje veći Δt_{UB}
- jednolika razdioba temperature
- prilagodljivo glede smještaja istrujnih otvora

Nedostaci:

- veća potrošnja energije za hlađenje
- mogućnost pojave propuha
→ treba voditi računa o brzinama strujanja zraka u zoni boravka

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

Sustav s
poprečnim strujanjem
- potiskivanje zraka iz
prostorije



Prednosti:

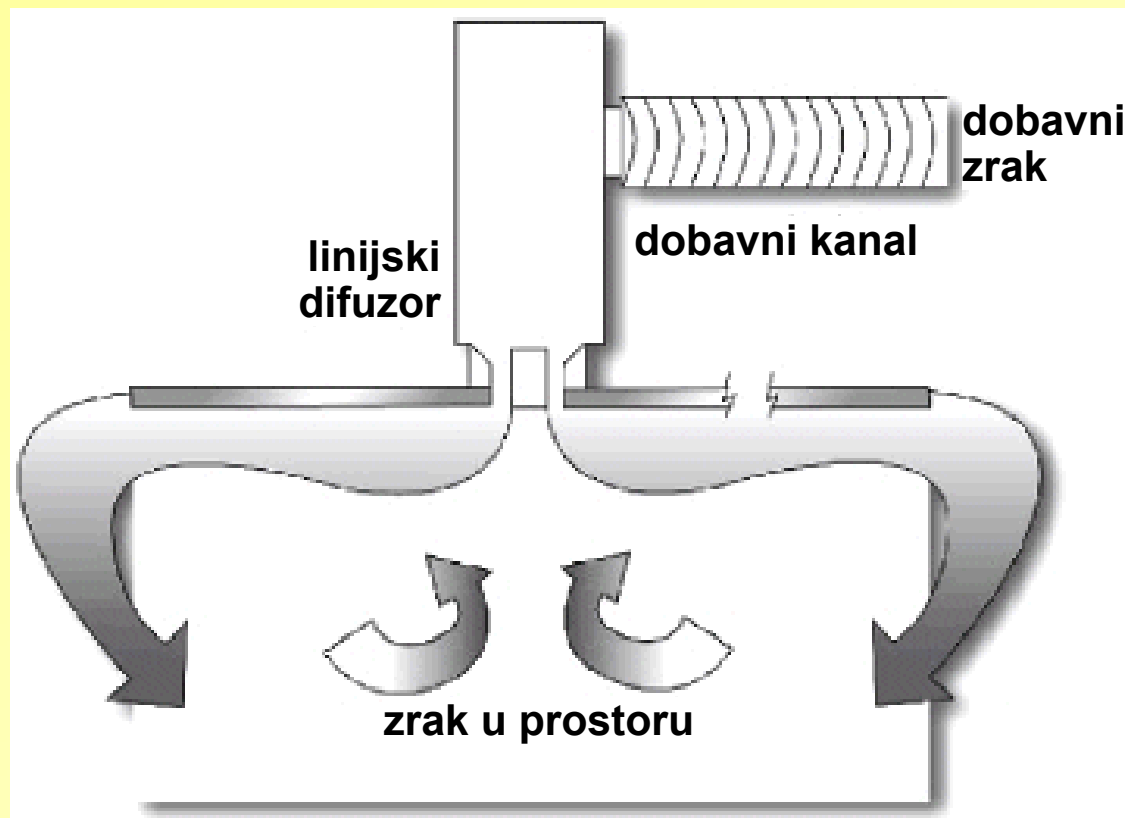
- učinkovita ventilacija
- manja potrošnja energije za hlađenje
- pogodno za hlađenje visokih prostora
- mala brzina strujanja u zoni boravka

Nedostaci:

- veliki volumen zraka u cirkulaciji
- smanjenje upotrebljive površine poda
- velik gradijent temperature po visini
- nepovoljno za veće kapacitete grijanja

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

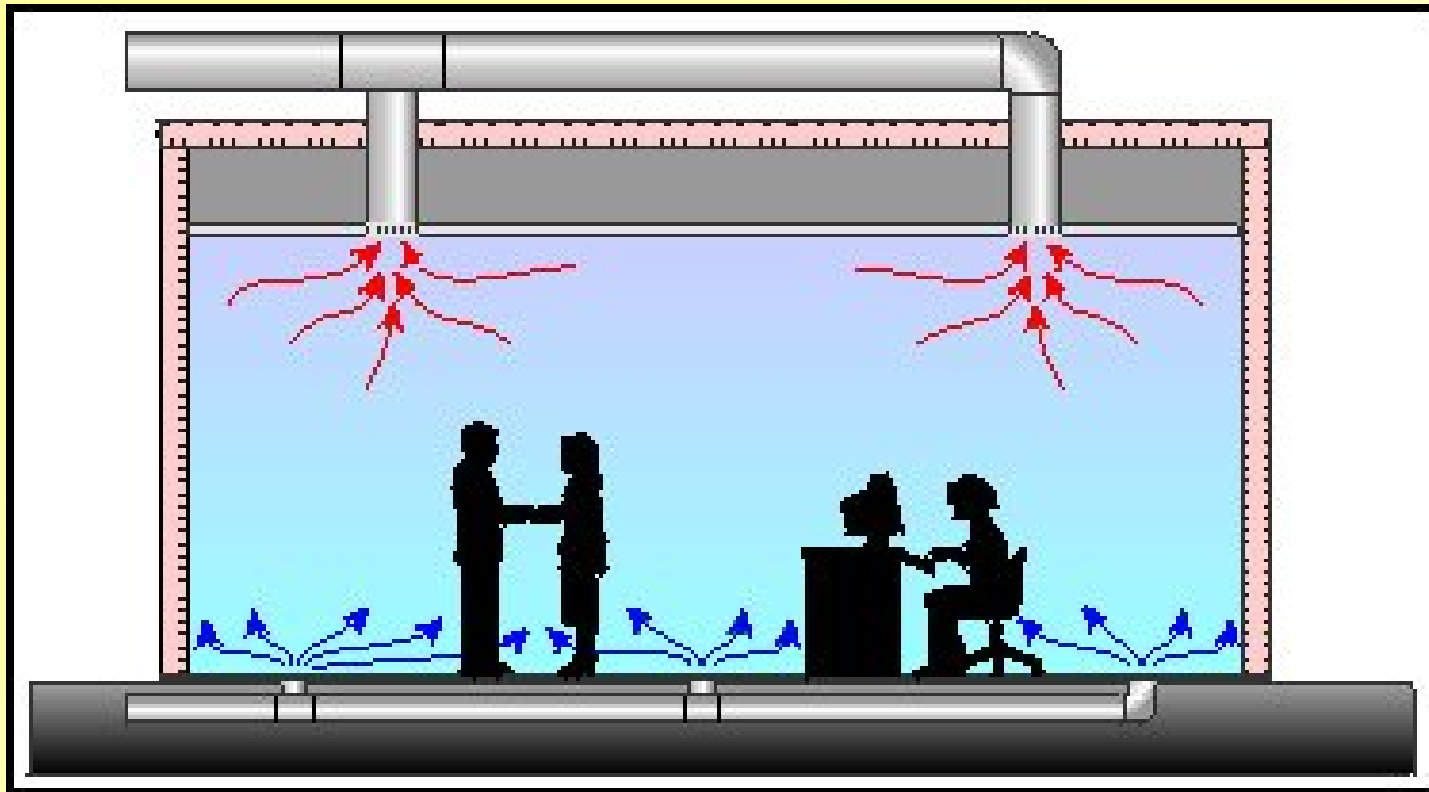
Površinski mlaz (Coanda efekt) – zrak struji držeći se površine



- pogodno u situacijama kada nije poželjan “prebrz” ulaz hladnog zraka u zonu boravka

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

- sustav ventilacije s poprečnim strujanjem u uredima – dobava zraka kroz pod, odsis kroz spušteni strop



Poprečna ventilacija

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

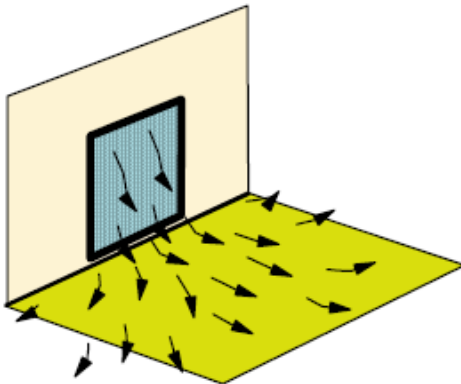
- sustav ventilacije s poprečnim strujanjem – dobava zraka pri podu iz zidnog distributera, odsis pri stropu



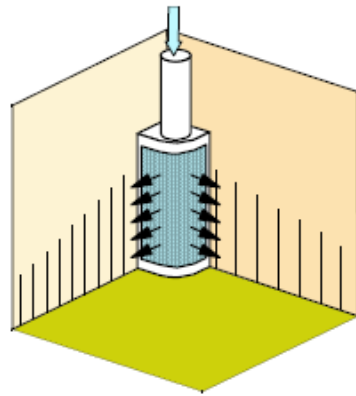
Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

- sustav ventilacije s poprečnim strujanjem – osnovni tipovi distributera

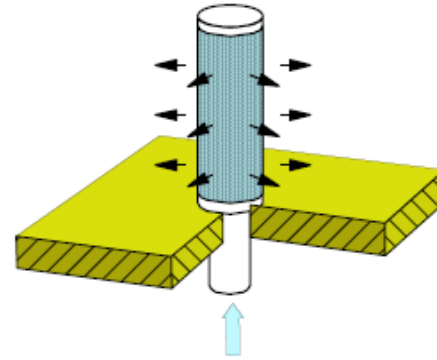
Ravni zidni



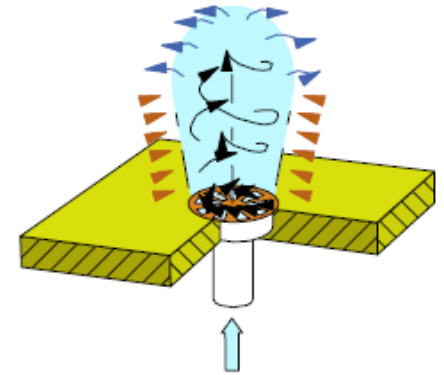
Kutni



Okrugli slobodni

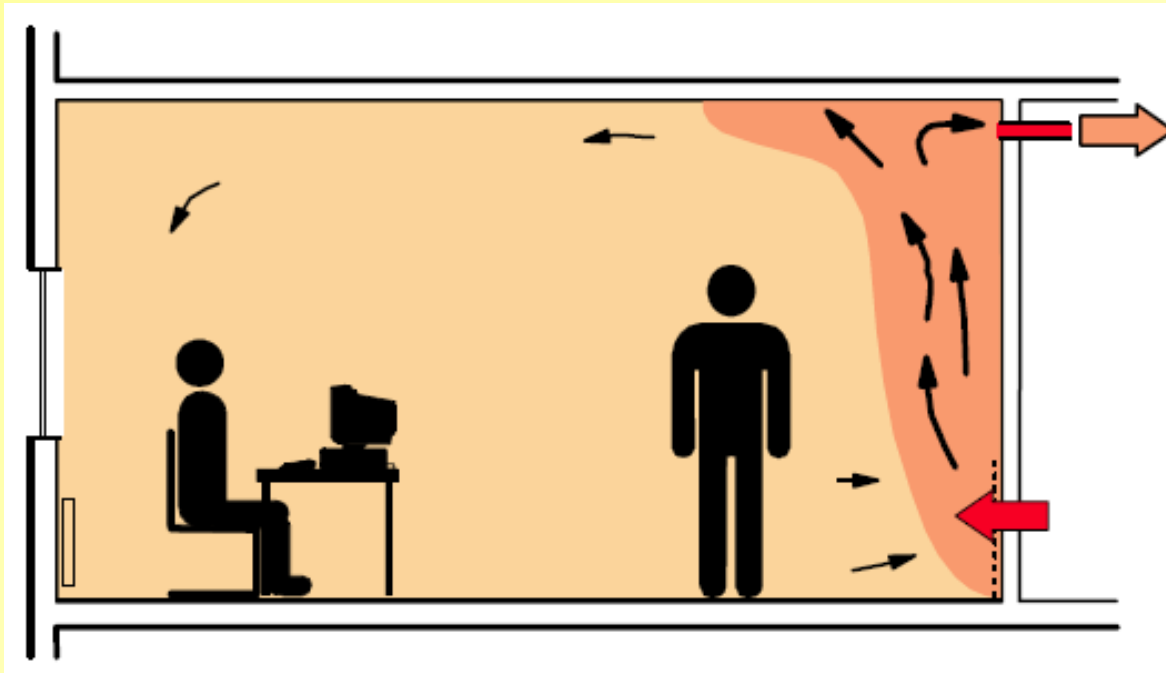


Podni



Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

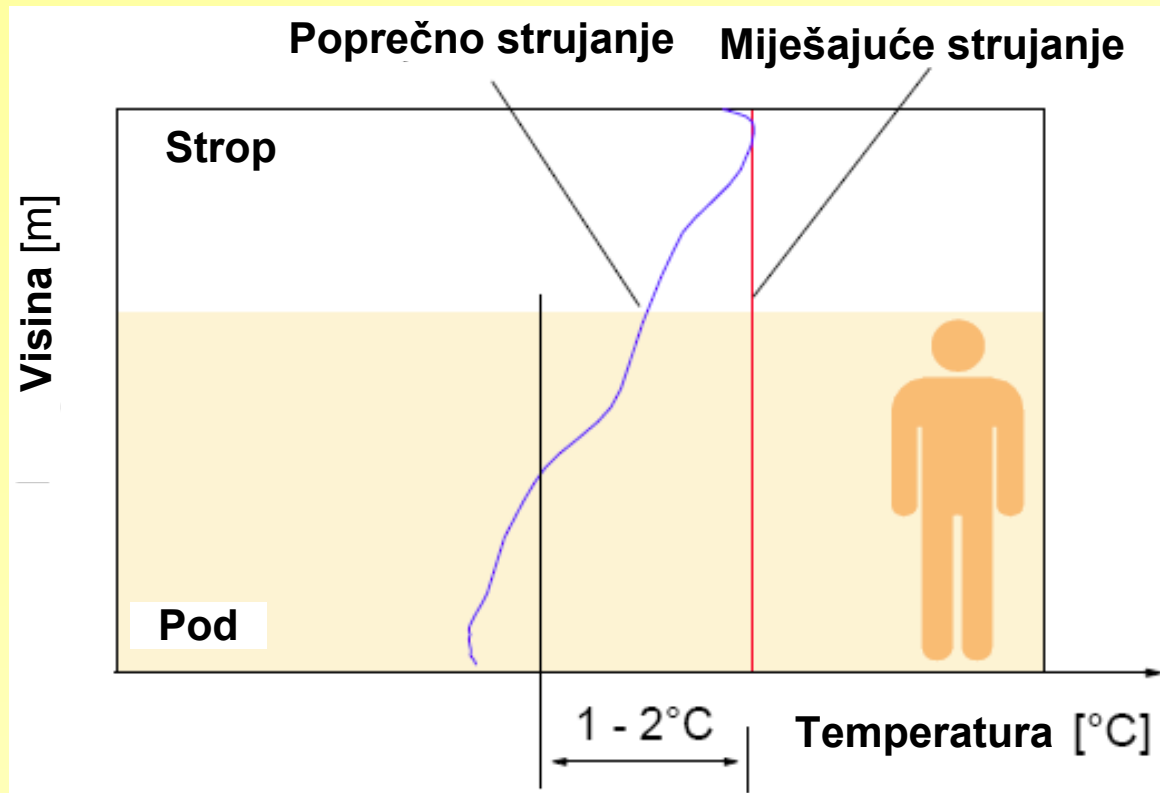
- sustav ventilacije s poprečnim strujanjem – nije pogodan za dovođenje zraka povišene temperature u svrhu grijanja s većim toplinskim učinkom



- preporučuje se pokrivanje transmisijskih gubitaka zasebnim sustavom grijanja

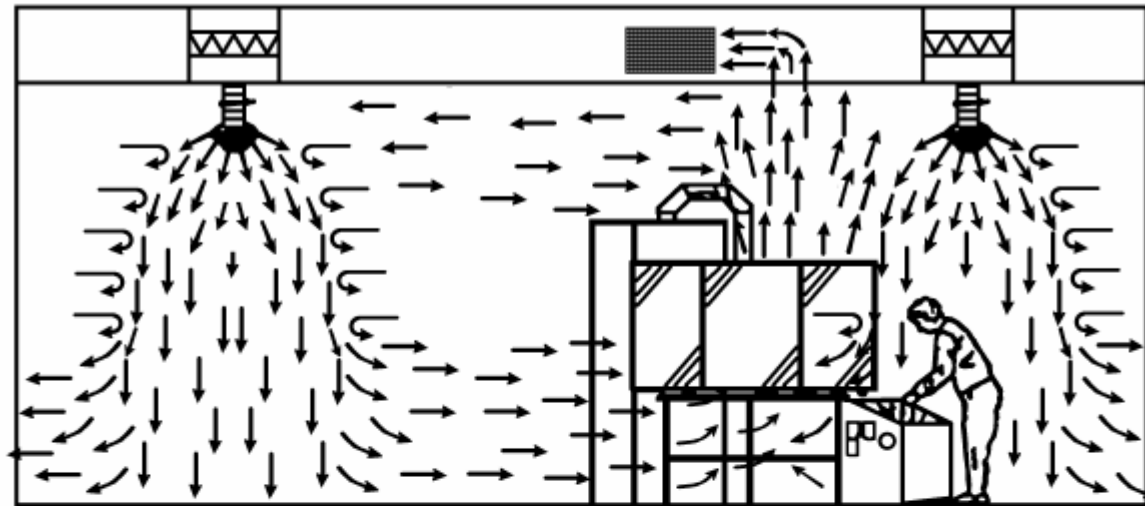
Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

- sustav ventilacije s poprečnim strujanjem – gradijent temperature po visini za prostore do 3 m je 1-2°C, a za visoke prostore 3-4°C



Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

- lokalni sustavi ventilacije za industrijsko okruženje



A. ZRAČNI TUŠEVI



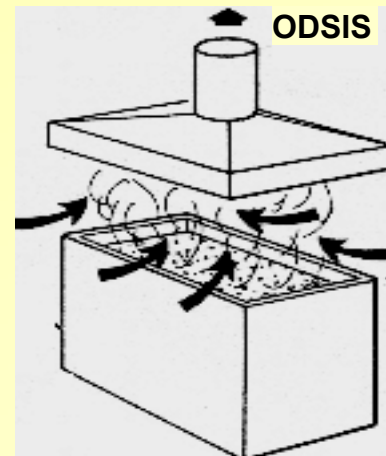
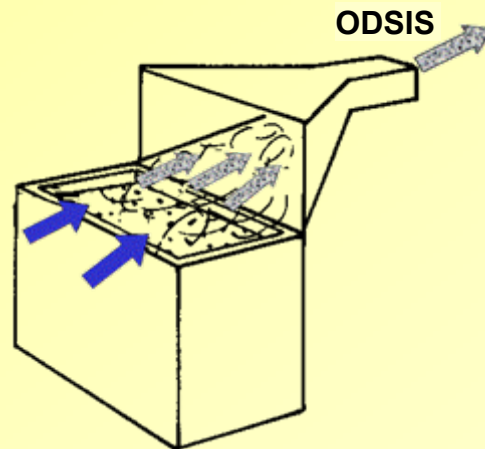
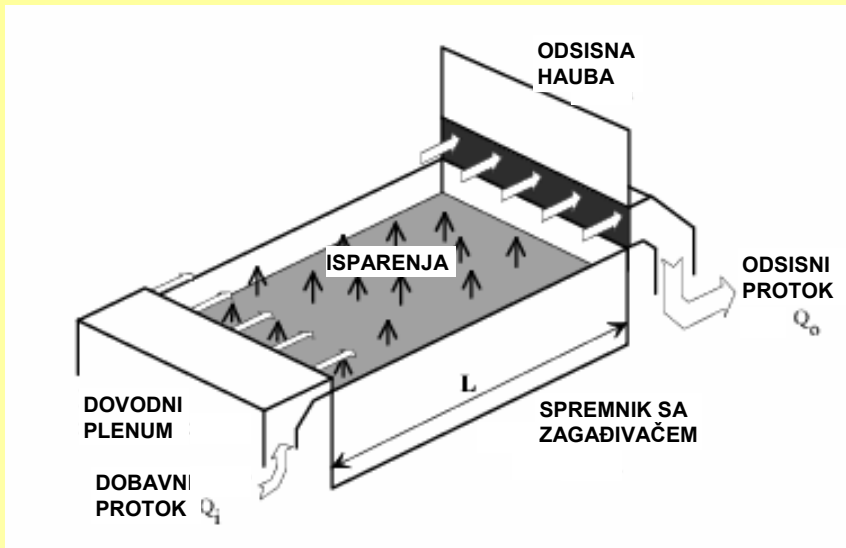
B. ZRAČNE OAZE S
HORIZONTALNOM DOBAVOM ZRAKA



C. ZRAČNE OAZE S
VERTIKALNOM DOBAVOM ZRAKA

Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

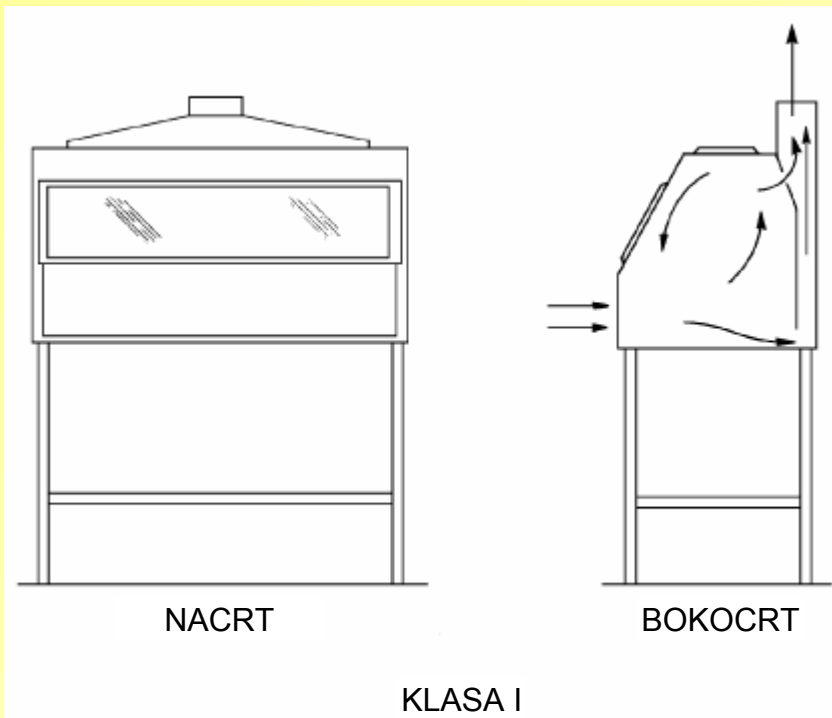
- lokalni sustavi odsisa



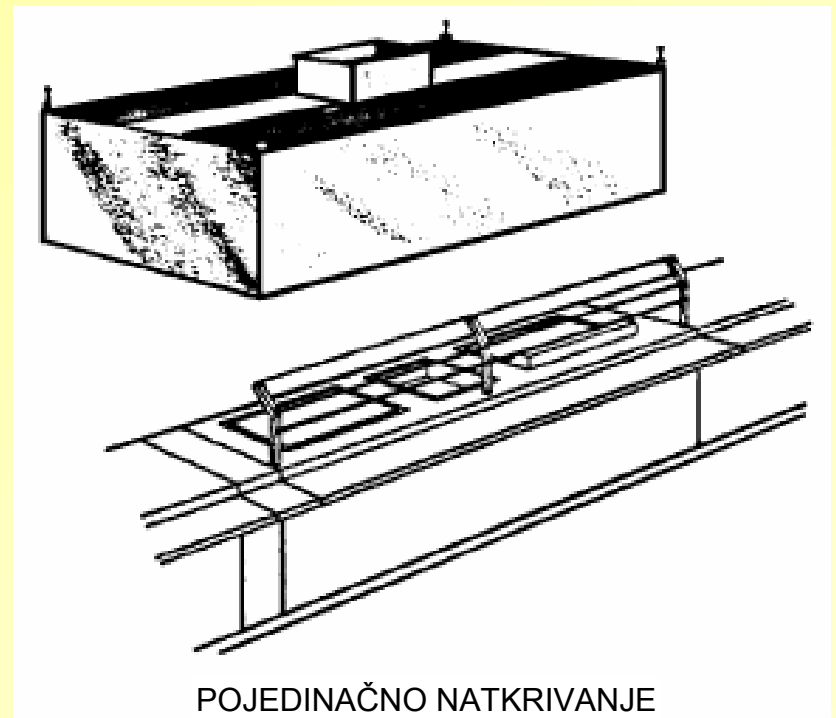
Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

- lokalni sustavi odsisa

Biološki kabinet

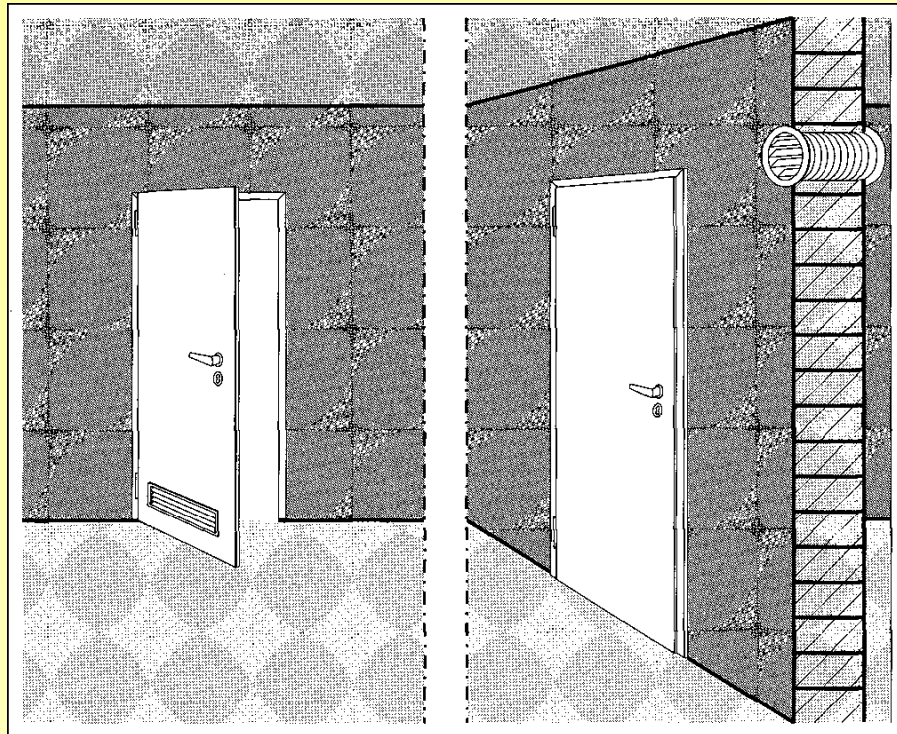


Kuhinjska napa

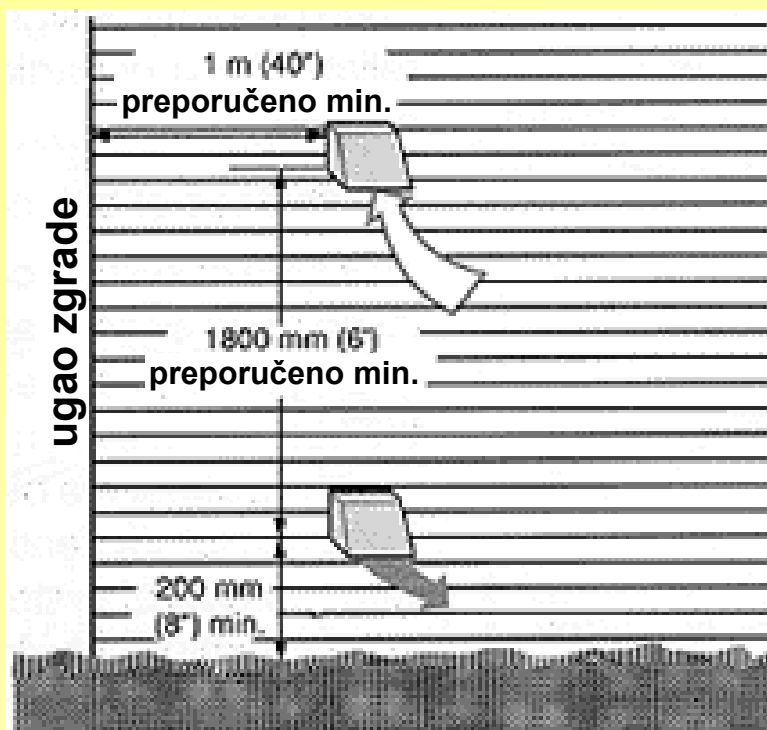


Osnovni principi distribucije zraka u prostoriji

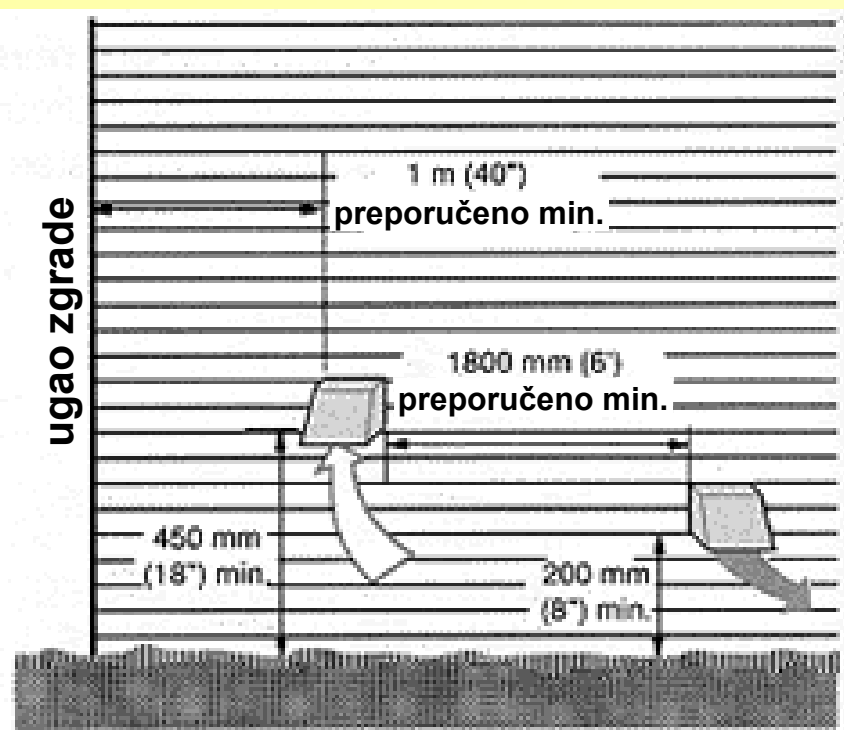
- mogući položaj otvora za prestrujavanje zraka kod odsisne ventilacije



Preporuke za smještaj vanjskih ulaznih/izlaznih otvora



a) Vertikalni razmaci između ulaznih i izlaznih otvora



b) Horizontalni razmaci između ulaznih i izlaznih otvora

Mehanički sustavi ventilacije - oprema



Pročišćavanje zraka

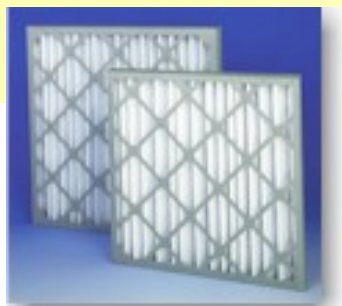
- filter – dio opreme koji uklanja čestice zagađivača iz ventilacijskog zraka.
- povećava razinu ugodnosti, ali povećava i troškove pogona i održavanja sustava.
- smještanje filtera u klima jedinicu → ne samo pročišćavanje zraka, nego i zaštita ostalih uređaja od nakupljanja nečistoća; za posebne prostorije s najvišim standardima čistoće zraka (operacijske dvorane, laboratoriji, čisti prostori, proizvodnja elektronike...) zadnji stupanj filtracije se smješta na ulazu zraka u prostoriju.
- zadržavanje čestica $\approx 0,1-500\mu\text{m}$
- tri važne osobine:
 1. visoka efikasnost – sposobnost uklanjanja čestica iz struje zraka
 2. veliki kapacitet zadržavanja prašine – određena količina prašine koju filter zraka može zadržati u pogonu
 3. mali otpor strujanju zraka – pad statičkog tlaka na filteru

Pročišćavanje zraka

- osnovna podjela filtera prema **EUROVENT**, **EN779**, **EN1822**:

1. Grubi filter – prefilter (Eurovent klasa EU1...EU4)
2. Fini filter – drugi stupanj filtracije (Eurovent klasa EU5...EU9)
3. Apsolutni (HEPA/ULPA) filter – završni stupanj filtracije (Eurovent klasa EU10...EU17)

Grubi filter – zadržavanje krupne prašine (čestice većeg promjera) – koristi se kao prefilter ili u prostorima s manjim zahtjevima za čistoćom zraka.

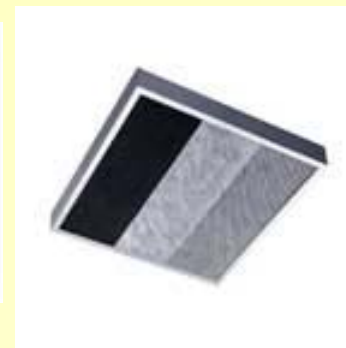


Pročišćavanje zraka

Fini filter – zadržavanje fine prašine (čestice manjeg promjera) – koristi se kao drugi stupanj filtracije, smješta se u struji zraka iza grubog filtera, čest je u komfornoj ventilaciji i klimatizaciji.



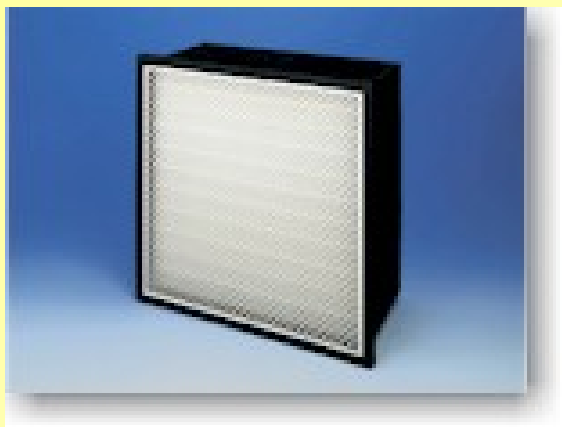
- apsorpcijski filteri – uklanjanje mirisa



Pročišćavanje zraka

Apsolutni (HEPA/ULPA) filter – zadržavanje najfinije prašine (lebdeće čestice vrlo malog promjera) završni stupanj filtracije, smješta se u struji zraka iza finog filtera, najčešće na ulazu zraka u prostoriju.

- koristi se samo u prostorima s najvišim standardima čistoće zraka.



Povrat topline

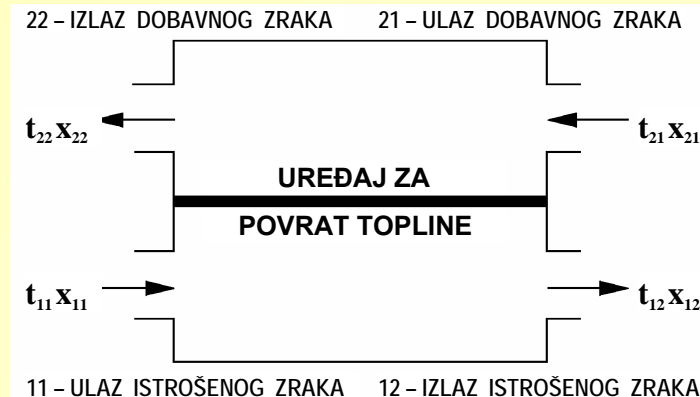
- sustavi povrata topline – omogućuju djelomični povrat toplinske energije sadržane u istrošenom zraku.
- povrat topline zrak-zrak – smanjuje entalpiju dobavne struje zraka tijekom toplog vremena, a povećava ju tijekom hladnog vremena prijenosom topline između struja dobavnog i istrošenog ventilacijskog zraka.

1. Uređaji za povrat osjetne topline – promjena temperature
2. Uređaji za povrat ukupne topline – promjena temperature i vlage

Ocjena učinkovitosti:

- stupanj povrata topline Φ – povrat osjetne topline
- stupanj povrata vlage Ψ – povrat latentne topline (povrat vlage)
- pad tlaka Δp
- povrat se najčešće određuje na strani dobavnog zraka:

$$\Phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \quad \Psi_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$$



1. Povrat osjetne topline

Pločasti izmjenjivač

Kružni cirkulacijski sustav



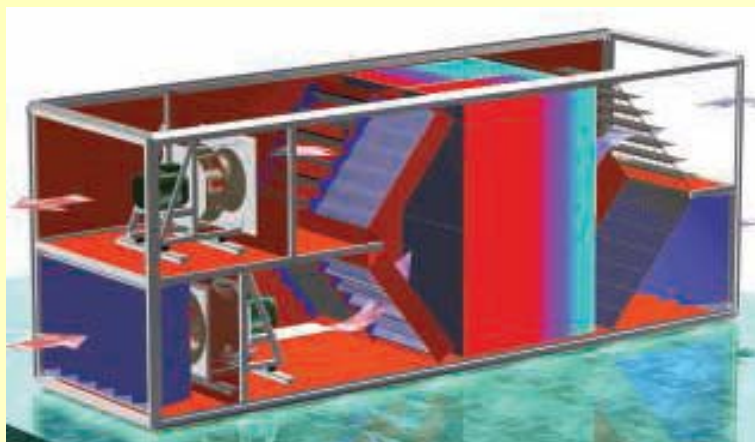
Izmjenjivač s toplinskim cijevima



2. Povrat ukupne topline

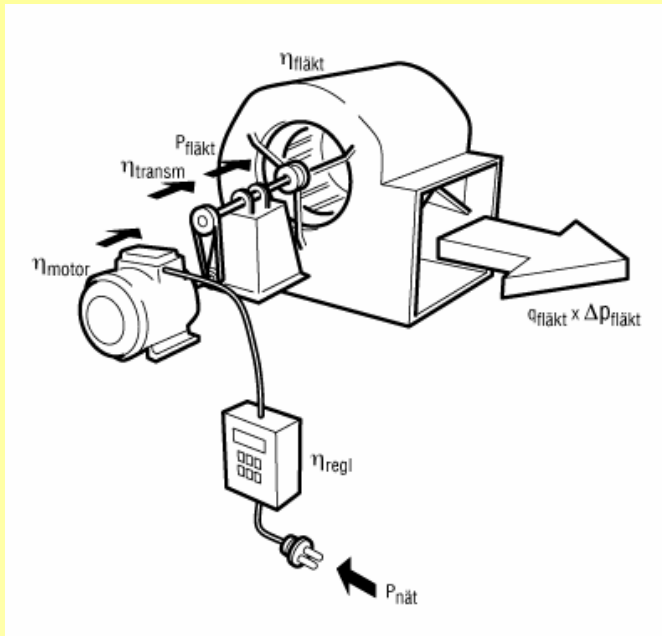
Rotirajući regenererator

Akumulacijske ploče



Distribucija zraka

- ventilator – uređaj za dobavu i odsis ventilacijskog zraka



- tlak ventilatora:

$$\Delta p_{VENT} = \Delta p_{STAT} + \Delta p_{DIN} \geq \Delta p_{INT} + \Delta p_{EXT}$$

- električna energija potrebna za pogon ventilatora:

$$P_{EL} = \frac{\dot{V}_{KL} \Delta p_{VENT}}{\eta_{VENT} \cdot \eta_{TRANSM} \cdot \eta_{MOT} \cdot \eta_{REG}}$$

η_{TOT}

0,3-0,8

- zagrijavanje struje zraka usljed rada ventilatora:

$$\Delta t = \frac{\Delta p_{VENT}}{\rho c_p \eta_{TOT}}$$

Distribucija zraka

- ventilatori – osnovni tipovi



CENTRIFUGALNI
(RADIJALNI)
VENTILATOR



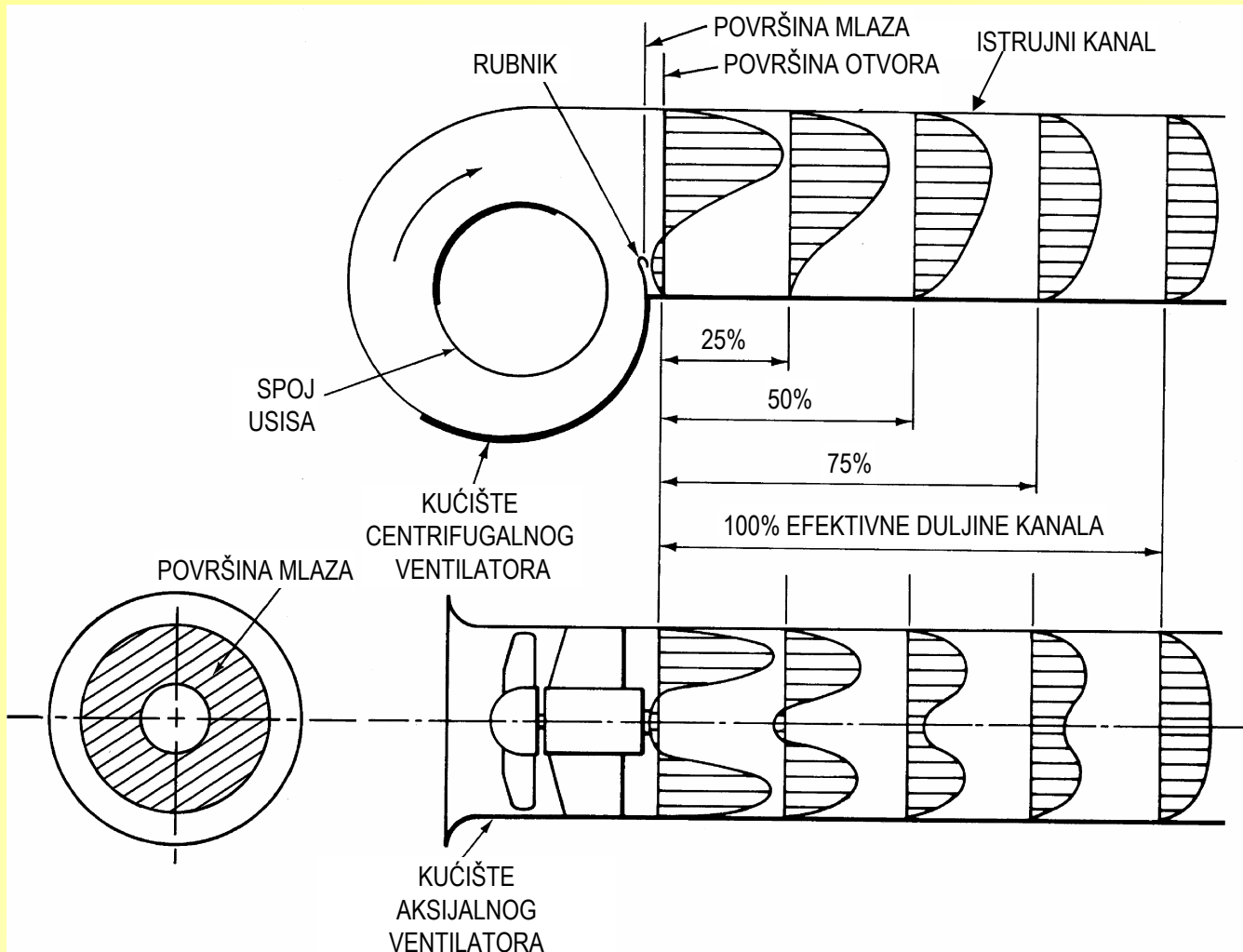
AKSIJALNI
VENTILATOR



KANALSKI
VENTILATORI



Distribucija zraka



za $w \leq 13m/s$:

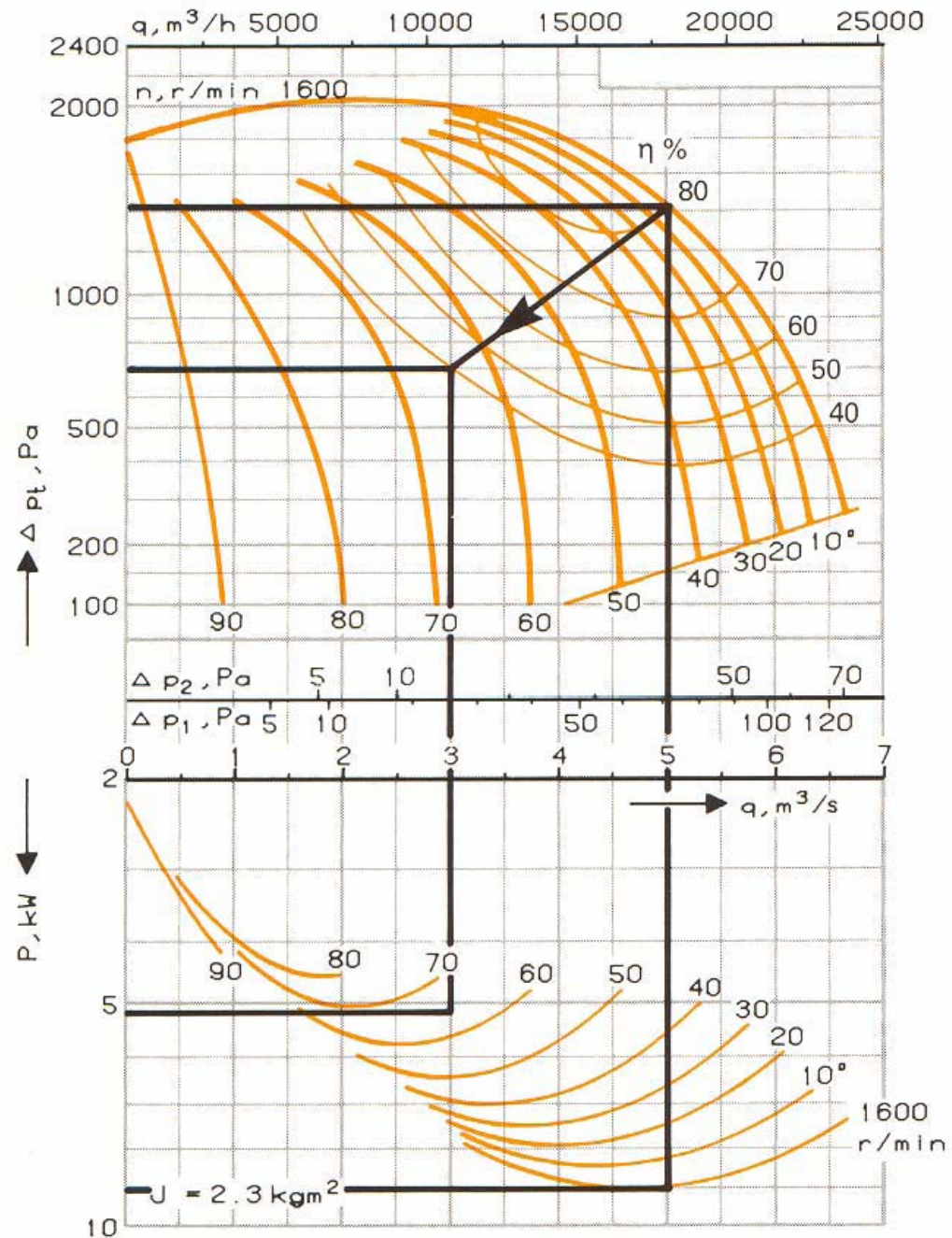
$$L_e = \frac{\sqrt{A_o}}{350}$$

za $w > 13m/s$:

$$L_e = \frac{w\sqrt{A_o}}{4500}$$

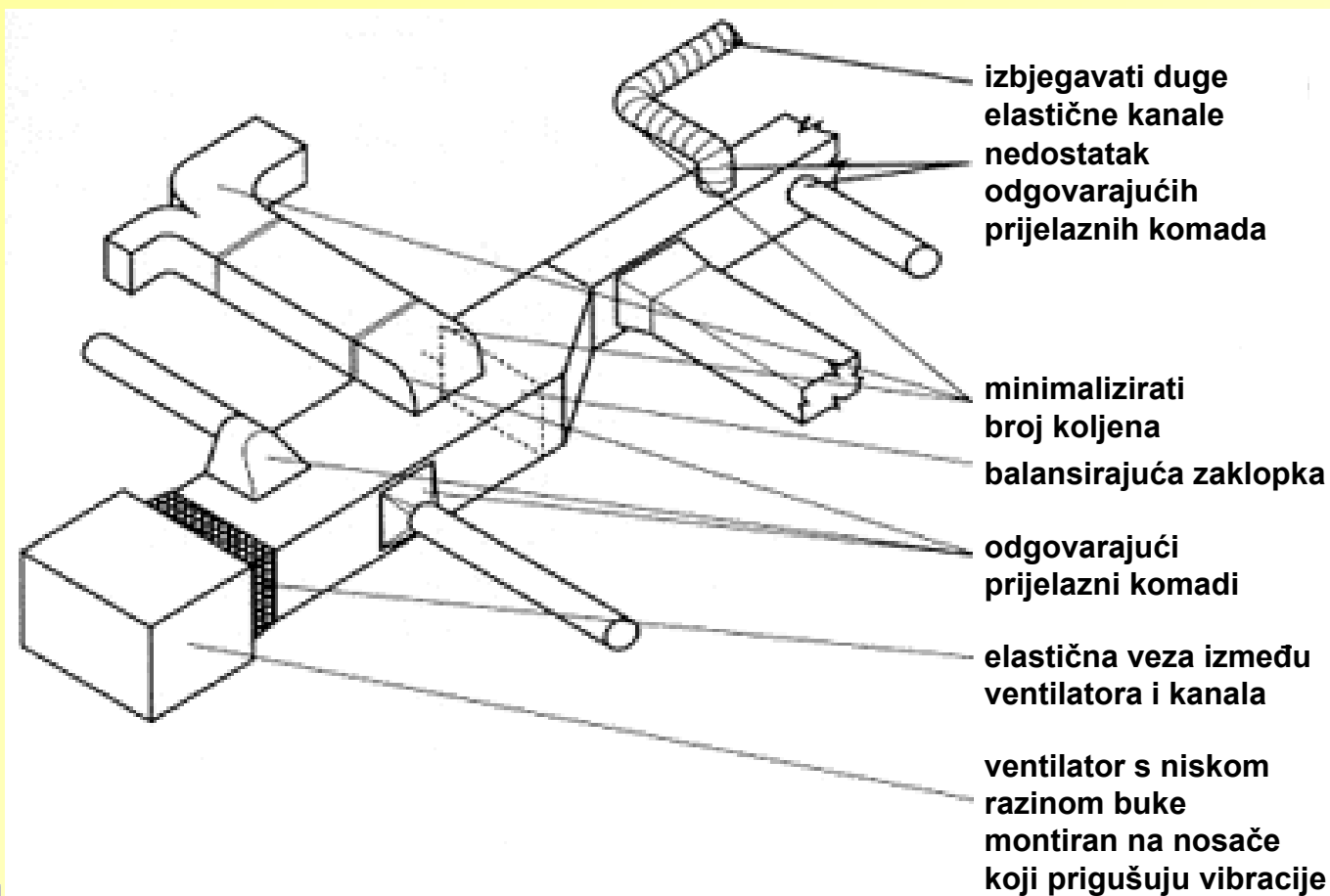
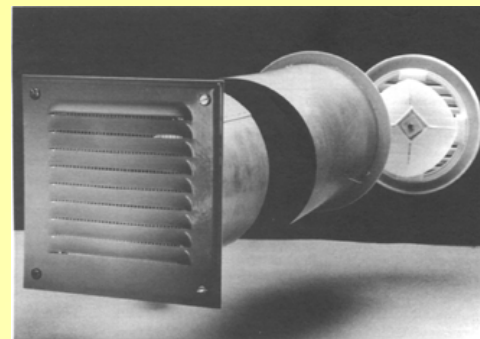
Distribucija zraka

- dijagram karakteristike ventilatora



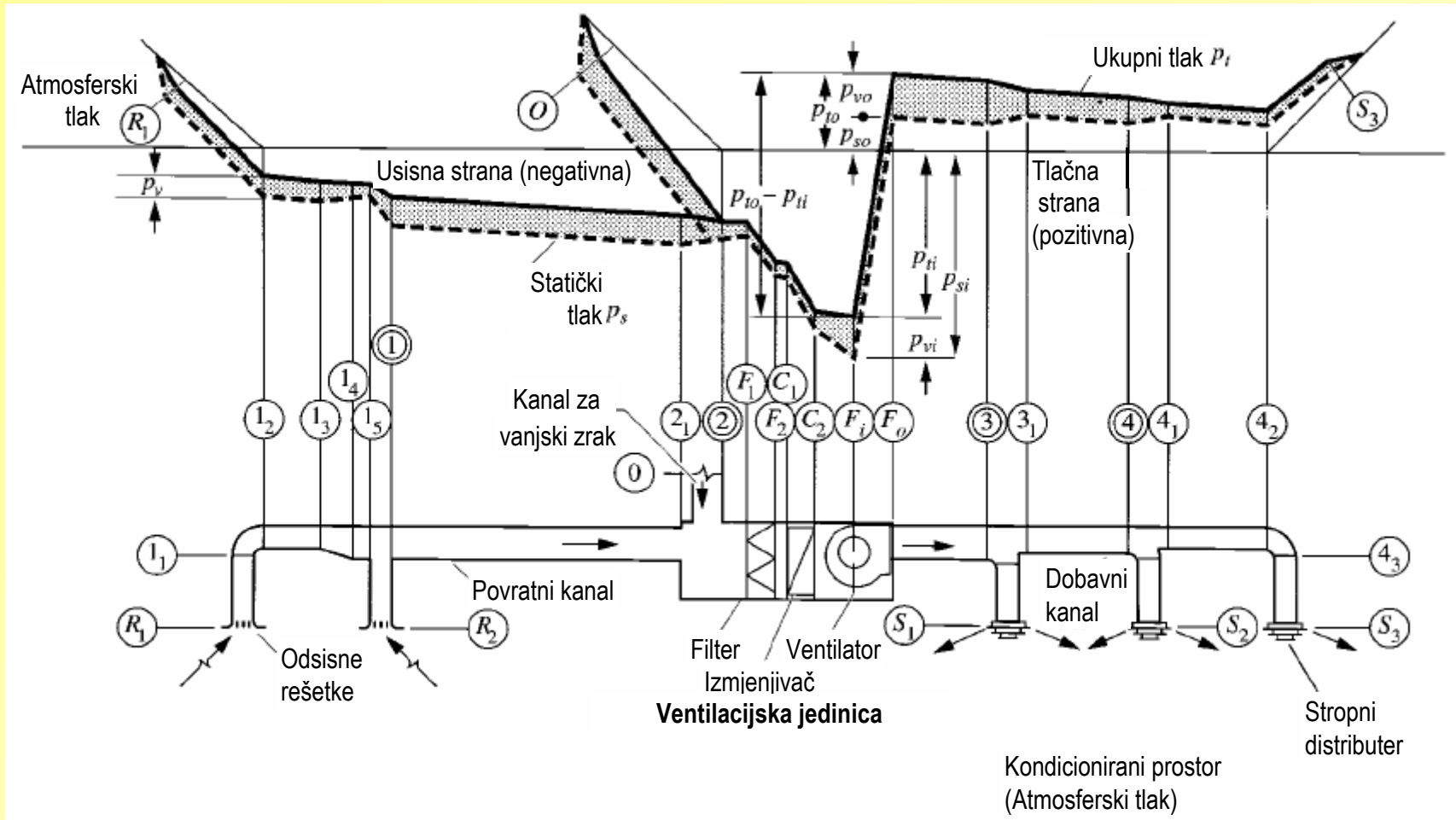
Distribucija zraka

- projektiranje kanala
- opće preporuke pri projektiranju kanala:



Distribucija zraka

- projektiranje kanala



Oprema za distribuciju zraka

- izlazne/odsisne rešetke
- distributeri
- perforirani strop



Oprema za distribuciju zraka

Dobavni otvori za zrak



Odsisni otvori za zrak





