

KLIMATIZACIJA

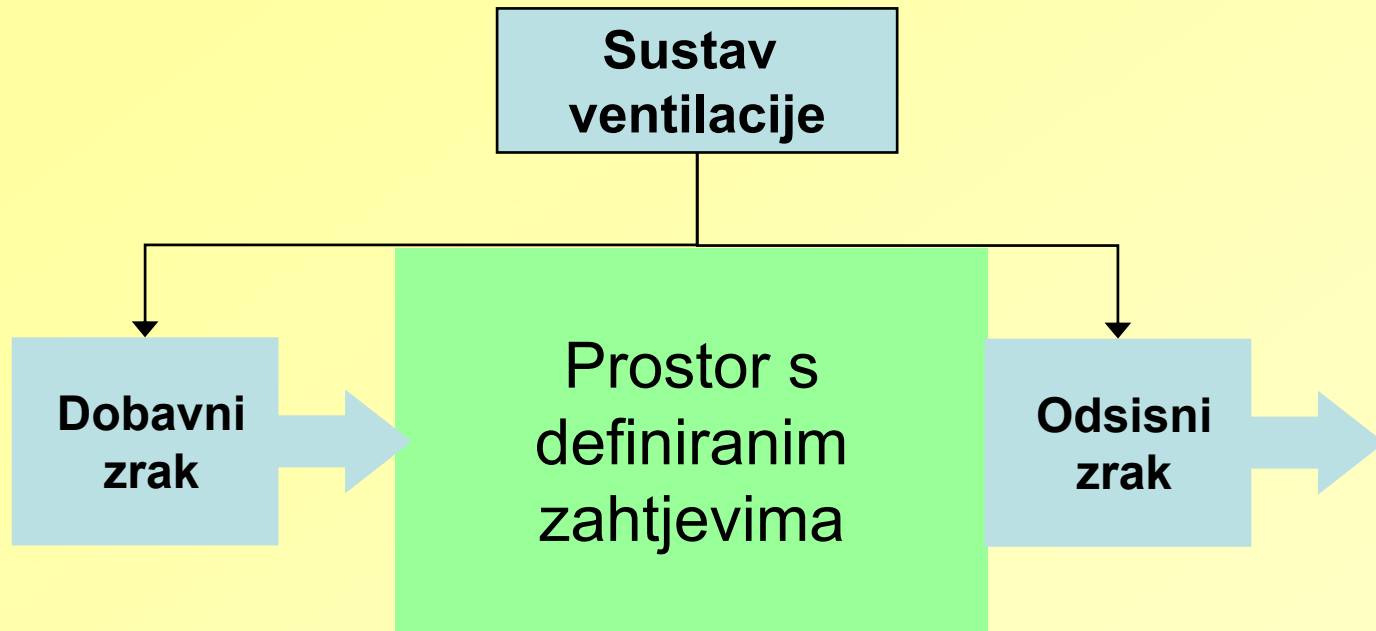
Tema:

- VENTILACIJSKI ZAHTJEVI

Doc.dr.sc. Igor BALEN

Osnovni pojmovi i terminologija

Namjena sustava ventilacije



VENTILACIJA predstavlja *namjerno* ubacivanje zraka iz vanjskog okoliša u građevinu.

Osnovni pojmovi i terminologija

VENTILACIJSKI ZRAK

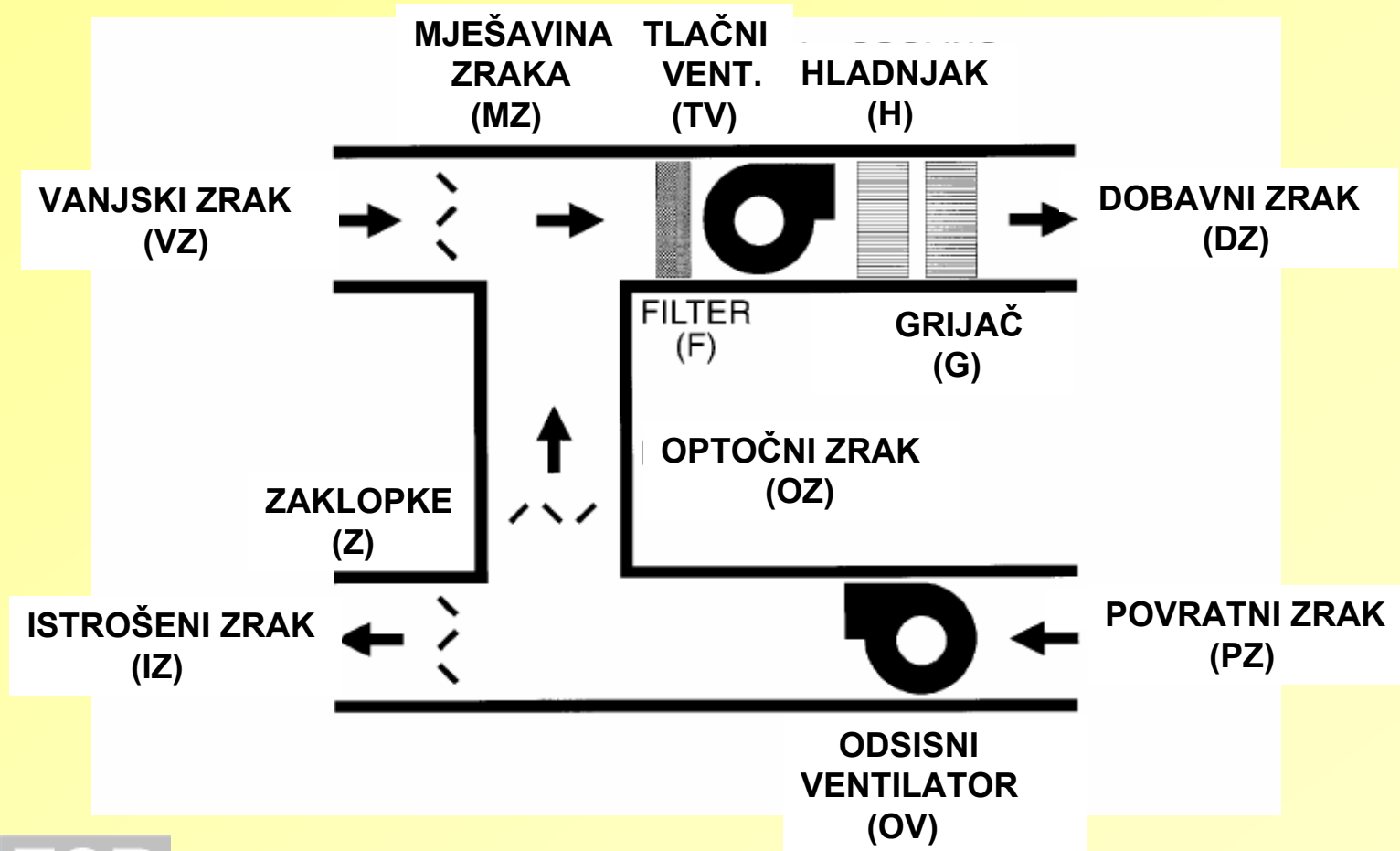
- zrak koji se koristi za ostvarivanje prihvatljive kvalitete unutarnjeg zraka (*eng. IAQ - Indoor Air Quality*) i toplinske ugodnosti (*eng. TC - Thermal Comfort*).

VENTILACIJSKI ZAHTJEVI

- dobava vanjskog zraka (kisika) za disanje ljudi (i/ili životinja)
- kontrola koncentracije zagađivača u zraku prostorije
- pokrivanje toplinskih opterećenja zgrade (održavanje temperature i vlažnosti)
- održavanje jednolikog stanja zraka u zoni boravka

Osnovni pojmovi i terminologija

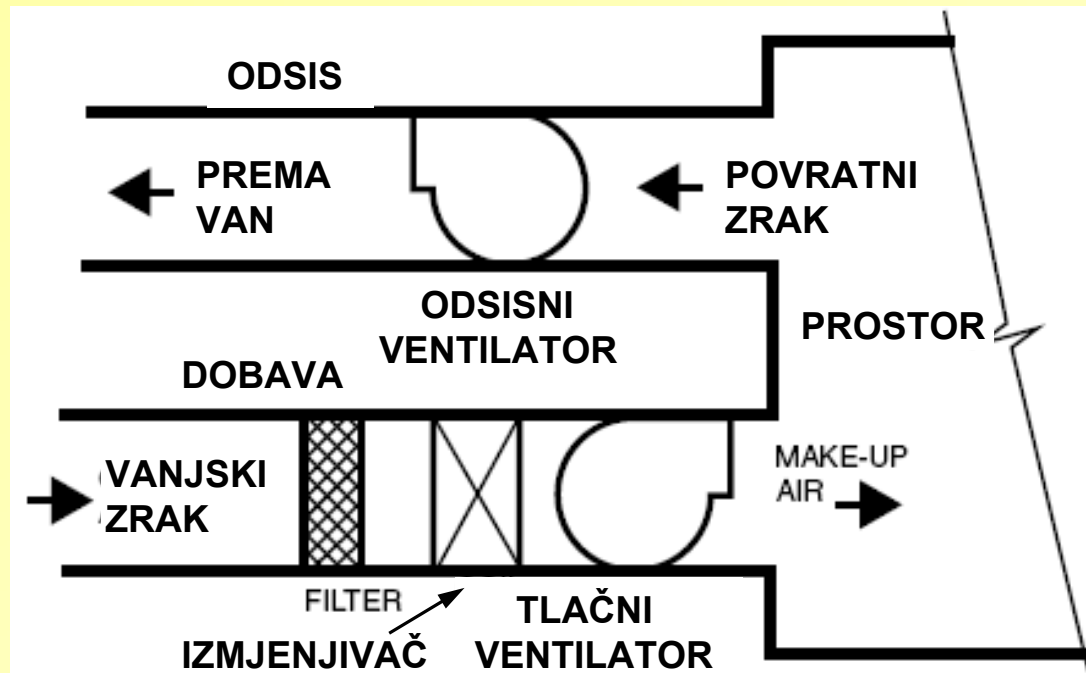
JEDINICA ZA PRIPREMU ZRAKA – priprema zrak za potrebe građevine



Osnovni pojmovi i terminologija

JEDINICA ZA PRIPREMU 100% VANJSKOG ZRAKA

- nema optoka (recirkulacije) povratnog zraka kroz sustav ventilacije
- sav dobavni zrak je kondicionirani vanjski zrak (*eng. MA* - makeup air)
- sav odsis ispušta se direktno u okoliš kao istrošeni (otpadni) zrak
- ventilacijski uređaj koji dobavlja 100% vanjskog zraka umjesto odsisnog zraka naziva se *eng. MAU* - makeup air unit.



Tlak u ventiliranim prostorima

- tlak u ventiliranim prostorima je u većini slučajeva jednak vanjskom atmosferskom tlaku; protok zraka koji se dobavlja prostoru (DZ) obično je jednak protoku zraka odvedenog iz prostora (PZ); takvi prostori nazivaju se *neutralni* ili *uravnoteženi*.
- u sustavima mehaničke ventilacije količine DZ i PZ mogu se, prema potrebi, različito dimenzionirati.
- u tim slučajevima, zgrada može biti:
 - (1) *u pretlaku* (pozitivna) u odnosu prema okolišu – $V_{DZ} > V_{PZ}$
 - određena količina zraka istrujava iz prostora kroz otvore i zatore prema okolnim prostorima ili vanjskom okolišu
 - (2) *u podtlaku* (negativna) u odnosu prema okolišu - $V_{DZ} < V_{PZ}$
 - određena količina zraka se infiltrira u prostor kroz otvore i zatore
- primjeri prostora u pretlaku: učionice, operacijske dvorane, čisti prostori
- primjeri prostora u podtlaku: kuhinje, sanitarni čvorovi, laboratoriji u kojima se radi s otrovnim tvarima.

Tlak u ventiliranim prostorima

- obično se u prostoru održava “blagi” pretlak, ako su tražena razina kvalitete unutarnjeg zraka i kontrola uvjeta kondicioniranog prostora iznad zahtjeva za okolne prostore.
- regulirana razlika tlaka između zraka u prostoru i okolišnjeg zraka (pozitivna ili negativna) ovisi o zahtjevima prostora i obično je $< 13 \text{ Pa}$
- veća razlika tlaka može otežati otvaranje i zatvaranje vrata.

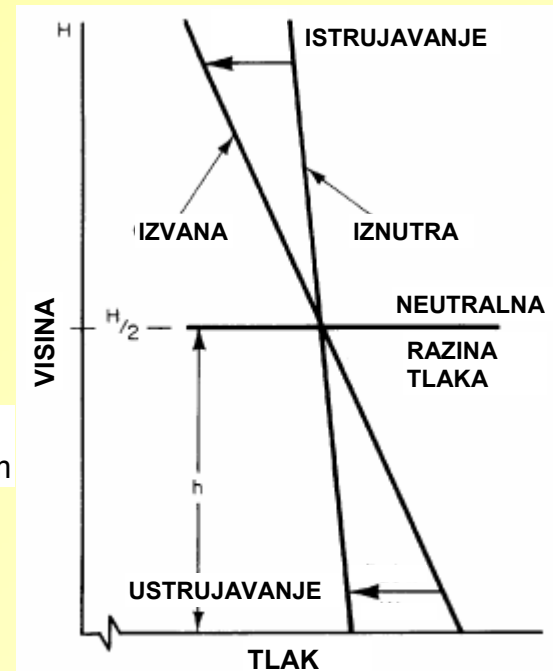
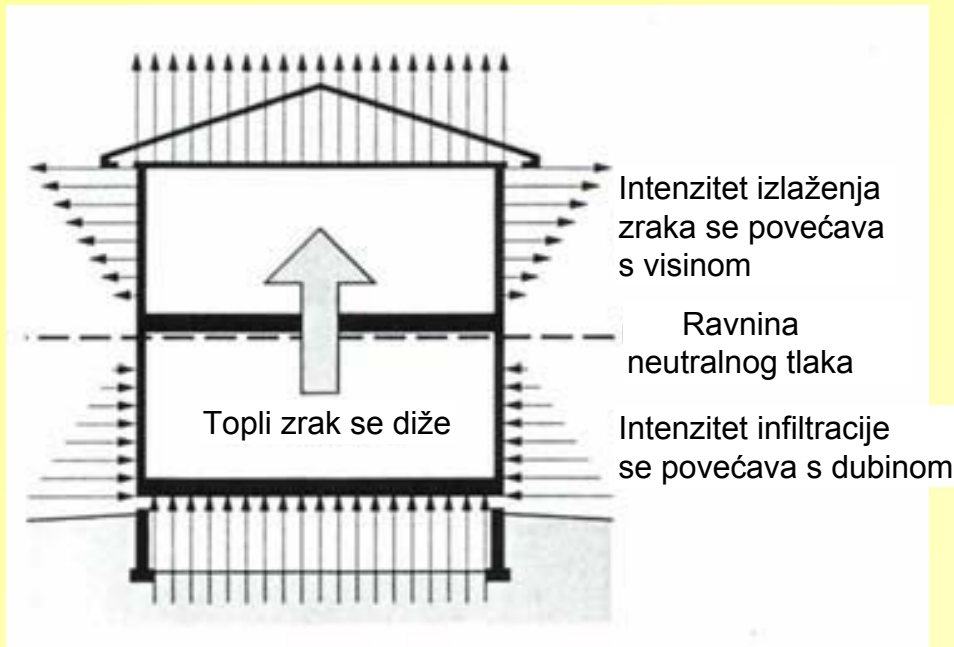
Na razliku tlaka između kondicioniranog prostora i okoliša utječu:

- (a) efekt dimnjaka (uzgona),
- (b) energija vjetra,
- (c) rad sustava tlačne i odsisne ventilacije,
- (d) zrakotijesnost (veličina propusne površine) oplošja zgrade

Tlak u ventiliranim prostorima

EFEKT DIMNJAKA

- pojava kada temperaturna razlika između hladnog vanjskog i toplog unutarnjeg zraka izaziva razliku gustoće između ta dva stupca zraka, koja uzrokuje razliku tlaka između hladnijeg i toplijeg zraka, te strujanje toplijeg zraka prema gore.



EFEKT DIMNJAKA UZ NEUTRALNU RAZINU TLAKA NA POLA VISINE

Tlak u ventiliranim prostorima

EFEKT DIMNJAKA

-ako se zanemare vertikalni gradijenti gustoće, tlak stupca zraka za horizontalni otvor na bilo kojoj vertikalnoj lokaciji dan je izrazom:

$$\Delta p_{st} = (\rho_o - \rho_i) g (H_{NPL} - H) \quad [\text{Pa}]$$

-za visoke zgrade sa dva otvora na različitoj visini na vanjskom zidu, mjereno od donjeg otvora, može se izračunati pozicija neutralne razine:

$$H_{NPL} = \frac{H_o}{1 + (A_1 / A_2)^2 (T_i / T_o)} \quad [\text{m}]$$

ρ_o – gustoća vanjskog zraka [kg/m^3]

ρ_i – gustoća unutarnjeg zraka [kg/m^3]

H_{NPL} – visina neutralne razine tlaka iznad referentne ravnine [m]

H – visina iznad referentne ravnine [m]

T_o – temperatura vanjskog zraka [K]

T_i – temperatura unutar. zraka [K]

H_o – vertikalni razmak između otvora [m]

A_1 – površina donjih otvora [m^2]

A_2 – površina gornjih otvora [m^2]

Tlak u ventiliranim prostorima

EFEKT DIMNJAKA – PROTOK ZRAKA

- protok zraka izazvan efektom dimnjaka kad su površine ulaznog i izlaznog otvora jednake:

$$\dot{V}_{st} = C_D A \sqrt{2g\Delta H_{NPL} (T_i - T_o) / T_i} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

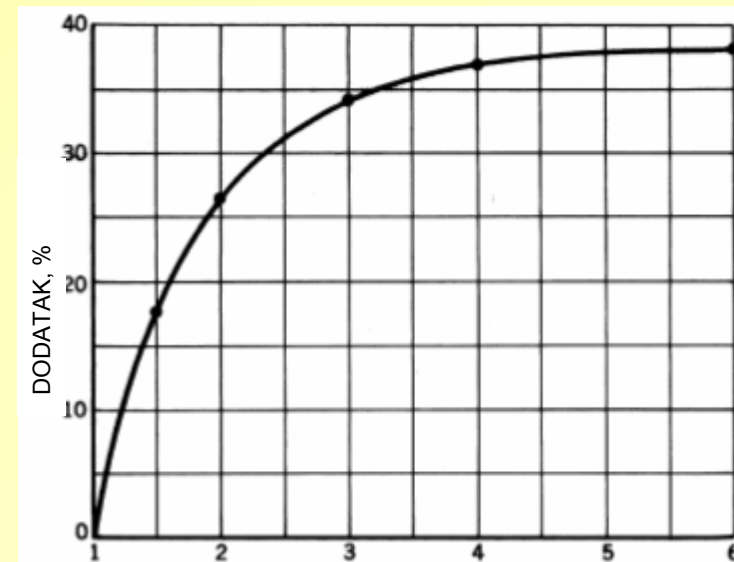
C_D – koeficijent istjecanja za otvor (obično 0.65)

A – slobodna površina ulaznih otvora [m^2]

ΔH_{NPL} – visina od sredine donjeg otvora do neutralne razine (eng. *NPL*) [m]

- povećanjem izlazne površine prema ulaznoj (ili obrnuto) povećava se protok zraka, ali ne proporcionalno sa dodanom površinom.

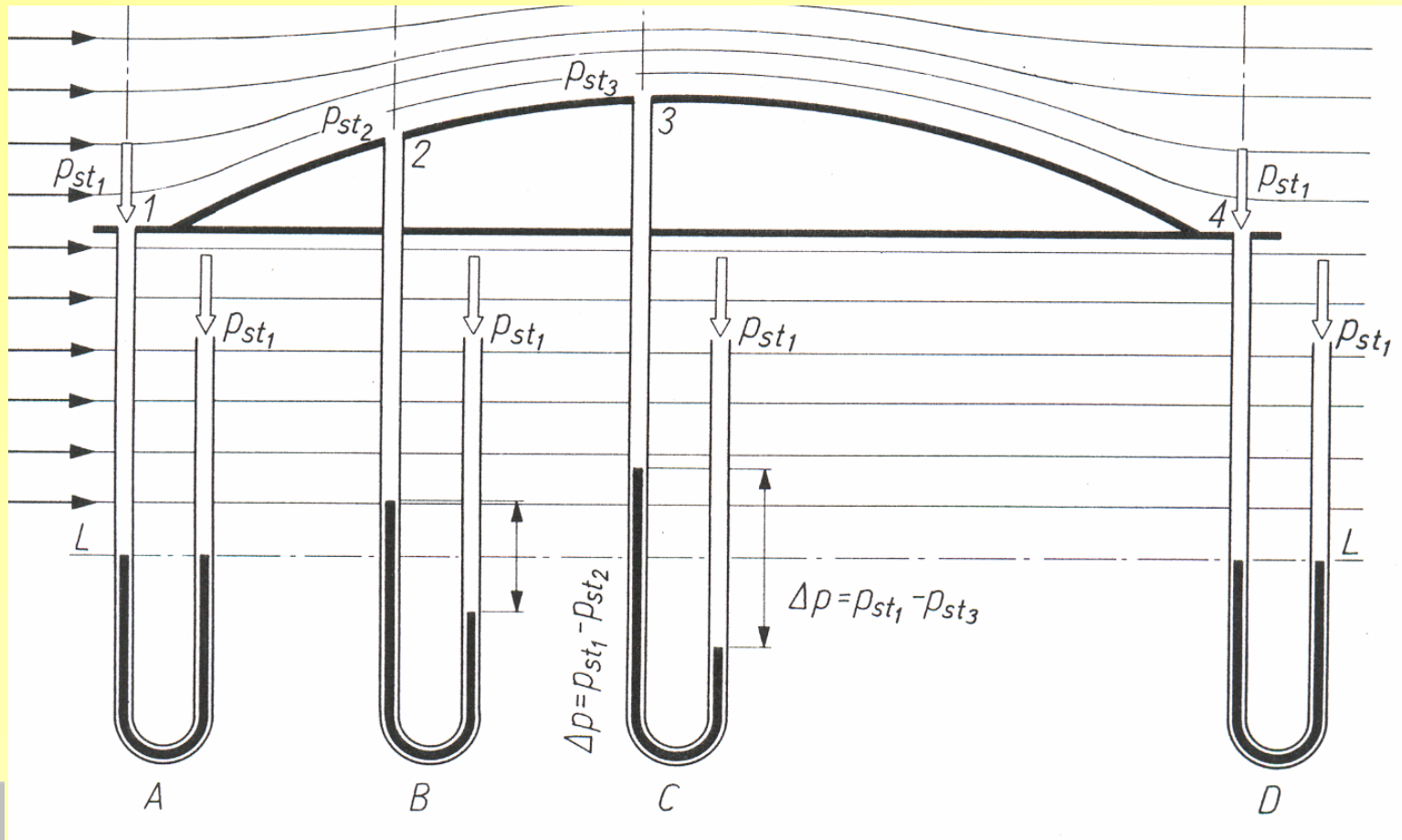
- kada otvori nisu jednake površine, u gornju jednadžbu se uvrštava manja površina i uvećava se za dodatak očitao iz dijagrama (na slici).



Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

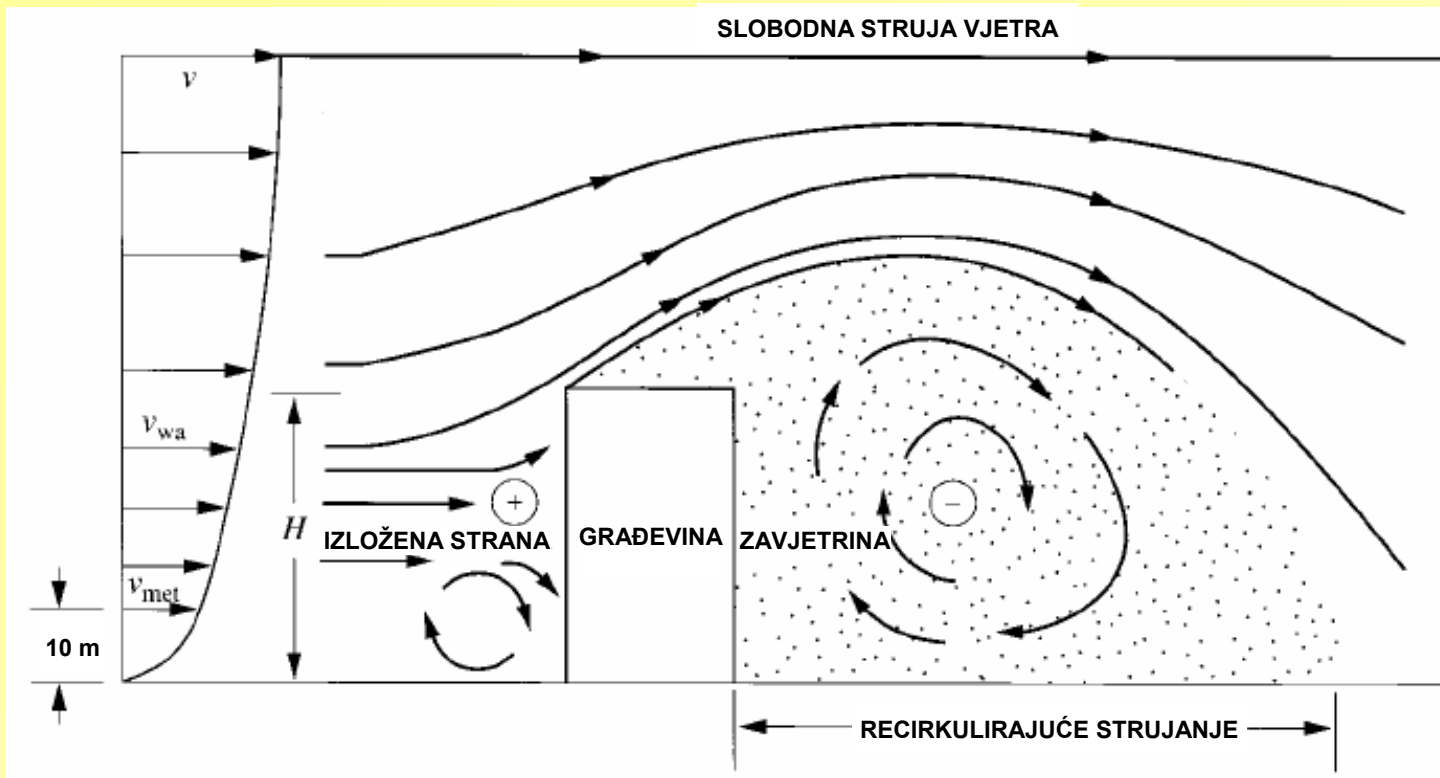
- promjene tlaka pri strujanju zraka oko prepreke:



Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

- strujanje zraka oko građevine:



Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

- tlak vjetra u odnosu prema vanjskom statičkom tlaku na površini zgrade:

$$\Delta p_w = C_p \rho_o \frac{w^2}{2} \quad [\text{Pa}]$$

- brzina naleta vjetra na promatranoj visini se izračunava iz meteorološke brzine vjetra (na visini 10 m), uz korekcije zbog visine i neravnina terena:

$$w = a_o w_{met} \left(\frac{H_w}{H_{met}} \right)^n \quad [\text{m/s}]$$

← eksponent profila brzine

- za gradsko područje: $a_o=0.35$, $n=0.4$
- za prigradsko područje: $a_o=0.6$, $n=0.28$
- za aerodrom: $a_o=1.0$, $n=0.15$

C_p – koeficijent površinskog tlaka vjetra

w – brzina naleta vjetra na izloženoj strani [m/s]

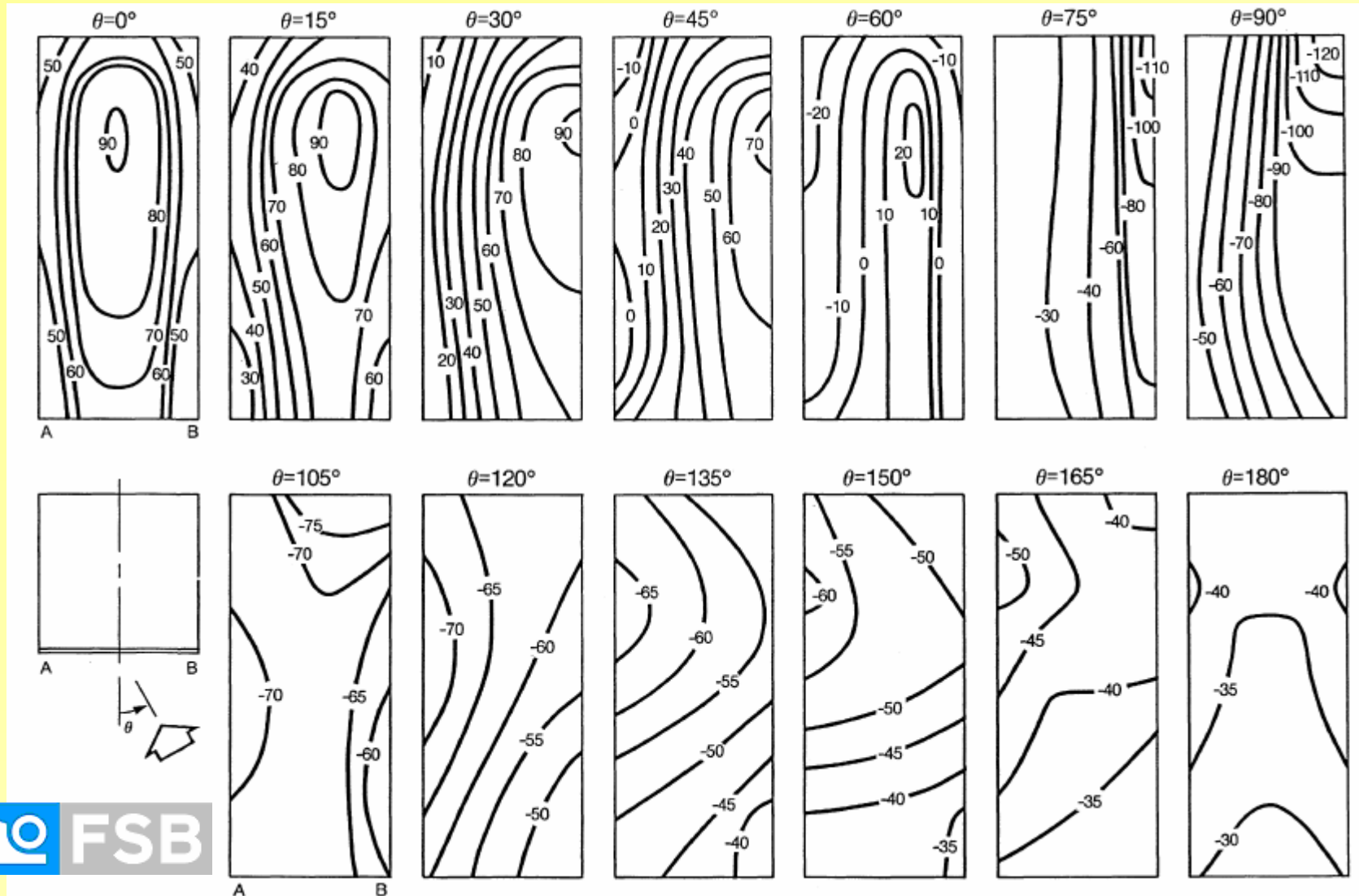
a_o – korekcijski faktor usljed neravnina terena

w_{met} – brzina vjetra prema meteorološkoj stanici [m/s]

Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

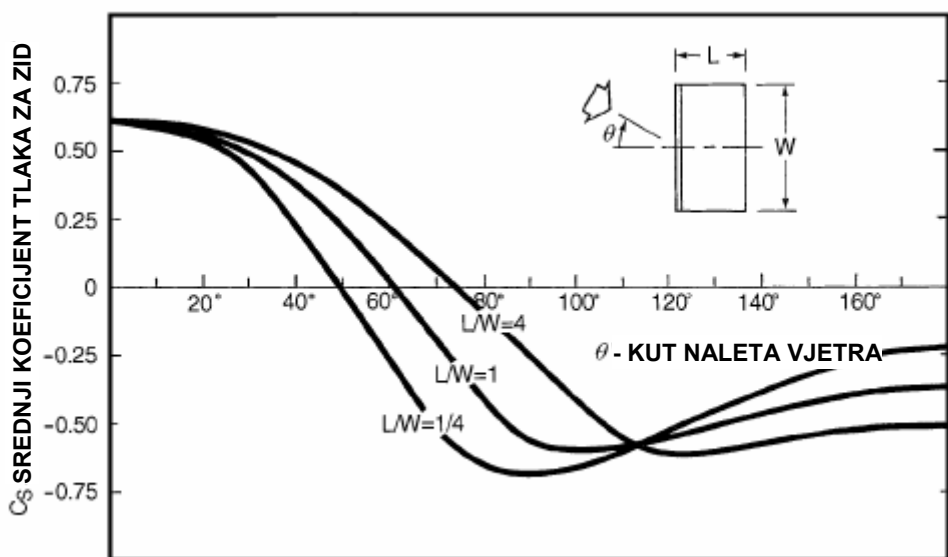
- lokalni koeficijent površinskog tlaka vjetra ($C_p \times 100$) za zid visoke zgrade:



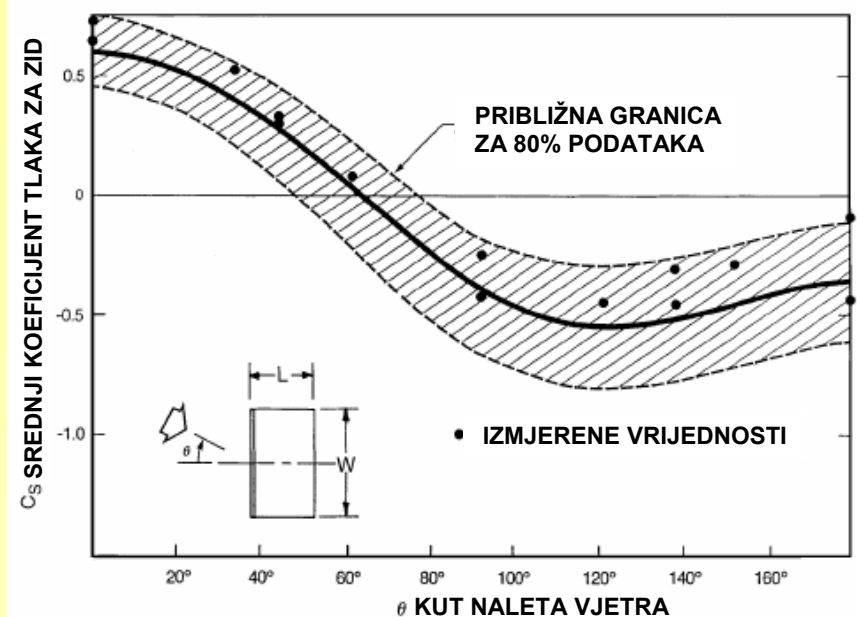
Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

- koeficijent površinskog tlaka vjetra osrednjen po površini C_s :



Za zid visoke građevine



Za zid niske građevine

Ako je smjer vjetra okomit na površinu visoke građevine koja ima omjer širina/dužina $L/W = 4$, prosječne vrijednosti C_p su oko +0.60 na strani izloženoj vjetru, oko -0.5 u zavjetrini i na ravnom krovu, te oko -0.25 na ostale dvije (bočne) strane.

Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA

Utjecaj vjetra na karakteristike tlaka prostora i građevine:

1. Prostorije na strani izloženoj vjetru obično su u pretlaku, a na strani koja je u zavjetrini su u podtlaku u odnosu prema tlaku u hodniku. Preporuka je graditi čiste prostore, poput npr. konferencijskih dvorana, na strani izloženoj vjetru, a laboratorije sa sustavima odsisa otrovnih plinova na strani koja je u zavjetrini.
2. Ulaz vanjskog zraka za sustav prirodne ventilacije bi se trebao nalaziti na strani s pozitivnim koeficijentom površinskog tlaka C_p za prevladavajući smjer vjetra. Izlazi istrošenog zraka trebali bi se nalaziti na stranama gdje je C_p negativan, po mogućnosti na krovu.
3. Tlačni ventilator sustava prisilne ventilacije treba osigurati dovoljan ukupni tlak da se svlada vanjski podtlak na ulazu, a odsisni ventilator da se svlada vanjski pretlak na izlazu zraka. Treba osigurati i alternative za ulaz i izlaz zraka kada je smjer vjetra različit od prevladavajućeg.

Tlak u ventiliranim prostorima

ENERGIJA VJETRA – PROTOK ZRAKA

- protok zraka (samo) usljed vjetra:

$$\dot{V}_w = C_w A w \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

C_w – učinkovitost otvora (C_w je približno 0.5 do 0.6 za okomiti vjetar i 0.25 do 0.35 za dijagonalni vjetar)

A – slobodna površina ulaznih otvora [m^2]

w – brzina vjetra [m/s]

KOMBINIRANE POGONSKE SILE

- ukupni tlak usljed vjetra, efekta dimnjaka i sustava mehaničke ventilacije:

$$\Delta p = \Delta p_{st} + \Delta p_w + \Delta p_I \quad [\text{Pa}] \quad \dot{V} = C_D A \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

tlak koji uravnotežava ustrujavanje i istrujavanje
(uključivo strujanje zraka mehaničkog sustava)

Ventilacijski zahtjevi

VENTILACIJSKI ZAHTJEV PREMA BROJU OSOBA

ASHRAE Standard 62 - preporučeni ventilacijski **minimum** (dobava vanjskog zraka) po osobi za disanje u zatvorenom prostoru za nepušače je 8 L/s

($V_{o,p}=30 \text{ m}^3/\text{h}$) - zadovoljava percepciju mirisa kod $\geq 80\%$ osoba.

- ventilacija po osobi može biti i izdašnija, ovisno o namjeni i aktivnosti u prostoru (preporuke u literaturi); npr. do $100 \text{ m}^3/(\text{h osobi})$ za urede u modernim visokim višekatnicama.

- za uobičajene stambene i poslovne prostore, dobava vanjskog zraka po osobi je u rasponu $V_{o,p}=30-60 \text{ m}^3/\text{h}$ ($>50 \text{ m}^3/\text{h}$ zadovoljava 90% ili više prisutnih).

- u prostorima predviđenim za pušenje, dobava vanjskog zraka mora biti povećana za min. $+20 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi.

- za N osoba u prostoru, minimalni ukupni protok vanjskog zraka je:

$$\dot{V}_o = N\dot{V}_{o,p} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Ventilacijski zahtjevi

VENTILACIJSKI ZAHTJEV PREMA DOPUŠTENJOJ KONCENTRACIJI ZAGAĐIVAČA U ZRAKU

- zagađivači utječu na zdravlje osoba koje borave u prostoru
- zagađivači mogu biti: nebiološke čestice (sintetička i staklena vlakna, produkti izgaranja, prašina, i dr.); bioaerosoli; plinovi i pare koje se stvaraju tijekom industrijskih procesa (ovisno o vrsti procesa), od građevinskih materijala, namještaja, opreme, osoba i njihovih aktivnosti unutar prostora ili uneseni izvana.
- različiti standardi vrijede za industrijske i neindustrijske unutarnje prostore
- dobava vanjskog zraka, potrebna da bi se smanjilo koncentraciju određenog zagađivača zraka u prostoru, može se izračunati iz izraza:

$$\dot{V}_o = \frac{\dot{m}_{con}}{C_i - C_o} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

\dot{m}_{con} – ukupna emisija izvora zagađenja [$\mu\text{g}/\text{h}$]

C_i – unutarnja koncentracija u stacionarnom stanju [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_o – koncentracija u vanjskom zraku [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Ventilacijski zahtjevi

VENTILACIJSKI ZAHTJEV PREMA DOPUŠTENOJ KONCENTRACIJI ZAGAĐIVAČA U ZRAKU

- unutarnja koncentracija zagađivača C_i treba zadovoljavati određene vrijednosti propisane u normama (npr. koncentracija CO u garažama i tunelima)
- koncentracija zagađivača se najčešće izražava u sljedećim jedinicama:
ppm – volumenski udio zagađivača u milijunu volumenskih dijelova zraka
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – mikrograma zagađivača po kubičnom metru zraka

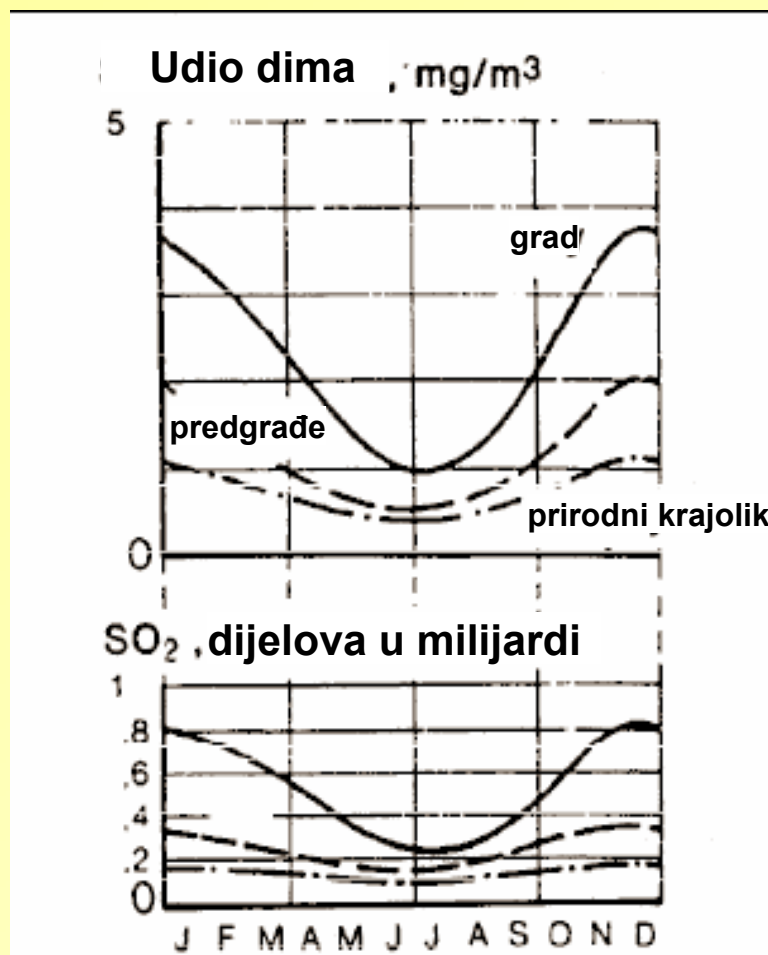
$\text{ppm} = (24.45/M)(1000 \mu\text{g}/\text{m}^3)$; M – relativna molekularna masa zagađivača

- primjer – koncentracija CO_2 u unutarnjim prostorima
unutarnja koncentracija u stacionarnom stanju: 1000 ppm, uobičajena
vanjska koncentracija: 350 ppm, nastali volumen CO_2 po osobi: 18 L/h

$$\dot{V}_{o,p} = \frac{\dot{V}_{con}}{C_i - C_o} = \frac{18/3600}{0.001 - 0.00035} = 7.7 \text{ L/s po osobi}$$

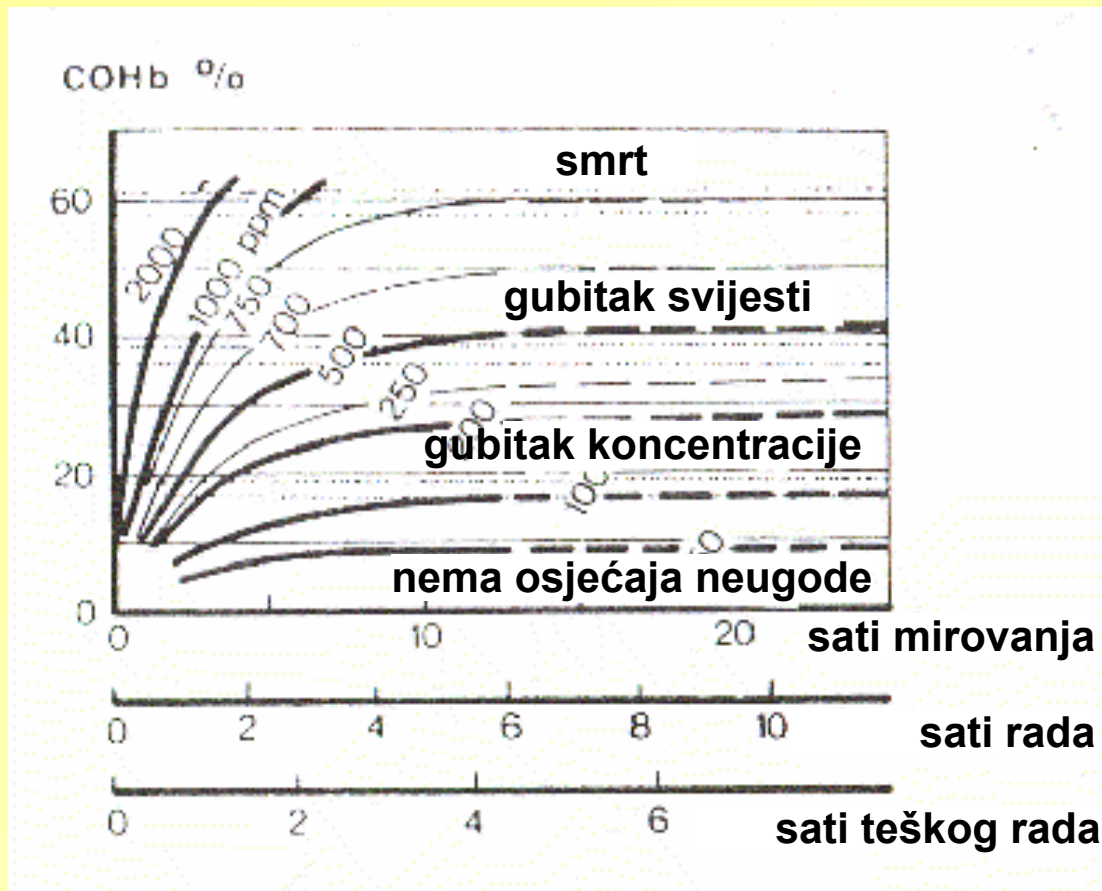
Ventilacijski zahtjevi

UDIO DIMA I SO₂ U OKOLIŠU TIJEKOM GODINE



Ventilacijski zahtjevi

REAKCIJA LJUDI NA UGLJIČNI MONOKSID (CO)



Ventilation requirements

VENTILACIJSKI ZAHTJEV PREMA DOPUŠTENJOJ KONCENTRACIJI ZAGAĐIVAČA U ZRAKU

- uz uravnoteženi sustav ventilacije za pojedini prostor, promjena koncentracije zagađivača u vremenu može se izračunati iz izraza:

$$C_{i,\theta} = \frac{\dot{V}_{con,\theta}}{ACH \cdot V} (1 - e^{-ACH \cdot \theta}) + (C_{i,\theta=0} - C_{s,\theta}) e^{-ACH \cdot \theta} + C_{s,\theta}$$

$C_{i,\theta}$ – koncentracija zagađivača u prostoru uz idealno miješanje [m^3/m^3]

$\dot{V}_{con,\theta}$ – ukupna emisija izvora zagađenja [m^3/h]

ACH – broj izmjena zraka na sat [1/h]

V – volumen prostora [m^3]

θ – vrijeme [h]

$C_{i,\theta=0}$ – početna koncentracija zagađivača u prostoru [m^3/m^3]

$C_{s,\theta}$ – koncentracija zagađivača u dobavnom zraku [m^3/m^3]

Ventilacijski zahtjevi

VENTILACIJSKI ZAHTJEV PREMA BROJU IZMJENA ZRAKA

- broj izmjena zraka na sat (*eng. ACH - Air Changes per Hour*) predstavlja omjer volumena vanjskog zraka koji uđe u prostor u jednom satu prema volumenu (unutarnjeg) prostora V .
- prema tome, protok vanjskog zraka je:

$$\dot{V}_o = ACH \cdot V \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

- ACH ovisi o volumenu prostora, obliku, namjeni, aktivnostima u prostoru...
- kriterij prema broju izmjena za ventilacijske zahtjeve se koristi kada izvori zagađivača nisu određeni; koristi se i kao kontrola proračuna dobavne količine zraka drugim metodama.
- za uobičajene stambene i poslovne prostore, ACH je u rasponu 4-8 h⁻¹.
- za različite tipove prostora, preporučeni ACH se može pronaći u tablicama danim u literaturi.

Iskustveni 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
Radionice za zavarivanje	5...10

Ventilacijski zahtjevi

KOLIČINA DOBAVNOG ZRAKA PREMA IZRAČUNATIM TOPLINSKIM OPTEREĆENJIMA ZA GRIJANJE/HLAĐENJE

- volumenski protok zraka u sustavu ventilacije, pri kojem se održava zahtjevana temperatura, može se izračunati iz rezultata osjetnog toplinskog opterećenja kod hlađenja i/ili grijanja:

Prema osjetnom toplinskom opterećenju kod hlađenja:

$$\dot{V}_{AC} = \frac{q_{s,COOL}}{\rho c_p \Delta t_{AC}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Prema osjetnom toplinskom opterećenju kod grijanja:

$$\dot{V}_H = \frac{q_{s,HEAT}}{\rho c_p \Delta t_H} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

- ako sustav ventilacije radi s konstantnim protokom zraka tijekom cijele godine, izračunavanje korištenjem toplinskog opterećenja kod hlađenja obično daje veći protok zraka budući da je razlika temperatura dobavnog zraka i zraka u prostoriji mnogo manja:

SEZONA HLAĐENJA: $\Delta t_{AC}=3-8(10)^\circ\text{C}$

SEZONA GRIJANJA: $\Delta t_H=10-25^\circ\text{C}$

Ventilacijski zahtjevi

KOLIČINA DOBAVNOG ZRAKA PREMA ZAHTJEVU ZA ODVLAŽIVANJEM
- volumenski protok zraka u sustavu ventilacije, pri kojem se održava zahtjevana relativna vlažnost zraka smanjivanjem sadržaja vlage x , može se izračunati iz latentnog toplinskog opterećenja ili količine ishlapljene vlage:

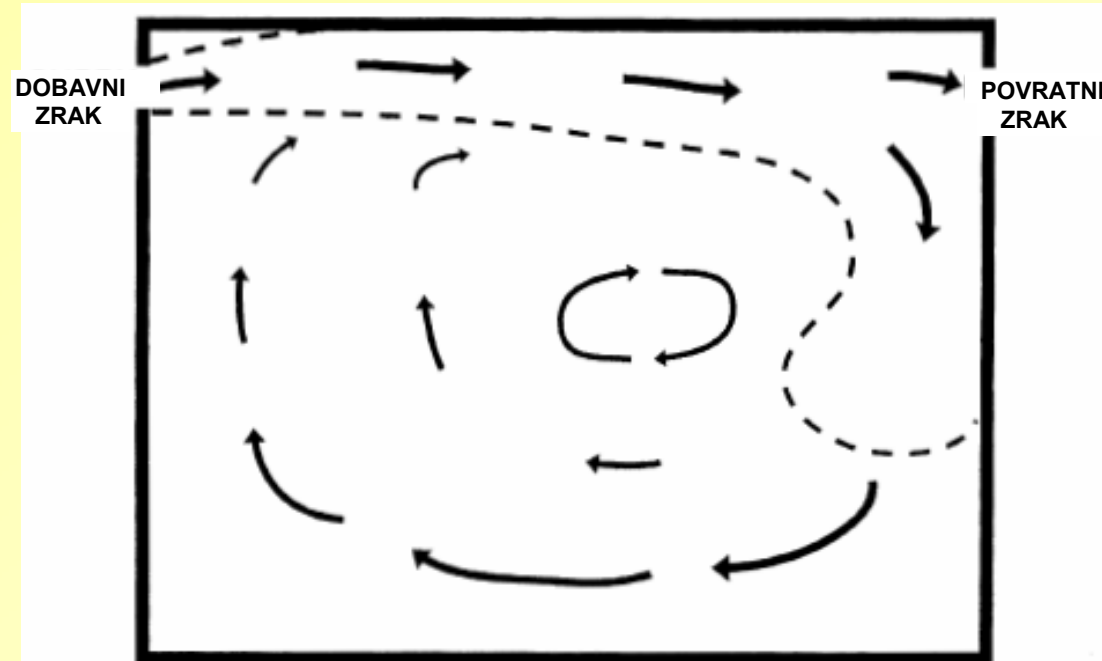
$$\dot{V}_{AC} = \frac{q_l}{\rho r_0 \Delta x_{AC}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad \text{ili} \quad \dot{V}_{AC} = \frac{\dot{m}_w}{\rho \Delta x_{AC}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

- koristi se u slučajevima visokog latentnog opterećenja prostora (npr. ventilacija zatvorenih plivačkih bazena).

Ventilacijski zahtjevi

MIJEŠAJUĆE STRUJANJE ZRAKA U PROSTORU - POVLAČENJE

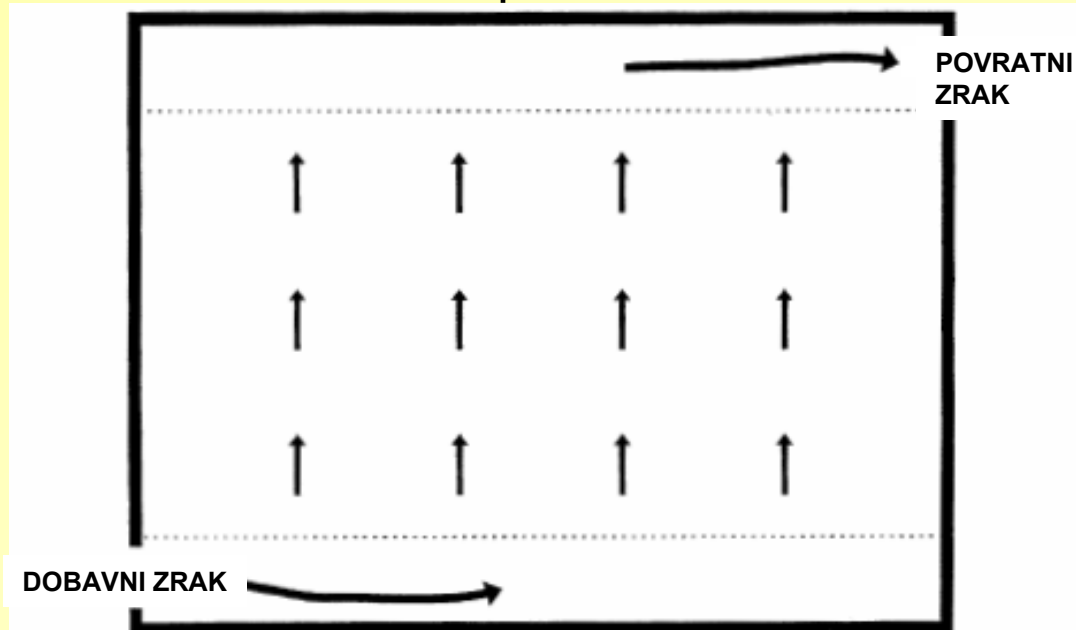
- naziva se i konvencionalno miješajuće strujanje zraka
- kondicionirani zrak se najčešće ubacuje iz dobavnog otvora s brzinama mnogo većim od onih koje su prihvatljive u zoni boravka; mlaz iz difuzora se miješa s postojećim zrakom u prostoru indukcijom, što smanjuje brzinu zraka i ujednačava mu temperaturu.
- uspostavlja se relativno jednolika brzina strujanja, temperatura, vlažnost i kvaliteta zraka u zoni boravka.



Ventilacijski zahtjevi

POPREČNO STRUJANJE ZRAKA U PROSTORU - ISTISKIVANJE

- gibanje zraka unutar prostorije poput potiskivanja stapom
- zrak se dobavlja kroz dobavne otvore malim brzinama strujanja
- otvori su najčešće smješteni u ili blizu razine poda i dobavni zrak se ubacuje neposredno u zonu boravka
- za pravilno funkcioniranje bitno je postojanje stabilnog okomito slojevitog temperaturnog polja
- pogodno za uklanjanje zagađivača nastalih unutar prostora.



Ventilacijski zahtjevi

ZONA BORAVKA (UGODNOSTI)

Izvan ove zone nije potrebno održavati parametre toplinske ugodnosti

