

Ventilacija laboratorija

Aleksandar Janković*

Zbog specifičnosti delatnosti kao i rada sa hemikalijama, u laboratorijama se mora obezbediti propisna ventilacija. Procesi koji se odvijaju pri hemijskim reakcijama izazivaju razvijanje raznih otrovnih gasova, para i prašine. Rad sa arsenom, berilijumom, olovom, kadmijumom, hromom, živom i drugim elementima, isparenja svih vrsta rastvora kao i radioaktivnih zračenja opasna su za osoblje u laboratorijama. Da bi se sprečilo nastajanje opasne koncentracije gasova, nije dovoljno samo provetravati prostorije nego i vršiti lokalna odsisavanja štetnih gasova na mestu samog nastajanja i tako ih uklanjati iz prostorije.

U tabeli 1. date su maksimalne dozvoljene koncentracije gasova u radnoj prostoriji.

Tabela I.

Pre nego što se počne proračun

štetni gasovi i pare rastvora	MDK cm ³ /m ³	MDK pri dužem delovanju
Amonijak	50	100
Ugljen-monoksid	100	160
Sumpor-dioksid	10	20
Etil-alkohol	1000	2500
Benzol	50	500
Etil-hlorid	200	400
Hloroform	280	600
Metil-alkohol	200	400
Metilen-hlorid	100	500
Trihlor-etilen	150	200

instalacije za provetravanje odnosno klimatizaciju laboratorija, potrebno je dobro upoznati se sa uređajima i opremom u laboratorijama, svrhom laboratorije, vremenom i načinom

rada u njoj a, svakako, i sa finansijskim ograničenjima projekta.

Provetravanjem se u laboratorijama postiže:

- 1) odstranjivanje štetnih mirisa i dima koji su nastali pri hemijskim reakcijama;
- 2) odvođenje viška toplote prenesene spolja na laboratoriju ili proizvedene unutra od mehaničke ili električne opreme, osvetljenja, hemijskih (endotermnih) reakcija ili od ljudi koji rade u laboratoriji;
- 3) odstranjivanje prašine koja se stvara u prostoriji;
- 4) eliminisanje mirisa u opitnim laboratorijama sa životinjama;
- 5) odstranjivanje radioaktivnih čestica iz vazduha;
- 6) snabdevanje dovoljnom ko-

ličinom svežeg vazduha osoblja koje radi u malim unutrašnjim i mračnim komorama.

zahtevaju mnogo veće izmene vazduha nego druge prostorije.

BILANS ZAGADIVANJA

Štetne materije mogu promeniti koncentraciju vazduha u prostoriji, tako da dolazi u pitanje funkcija prostorije. Da bi se provetravanje prostorije izvelo ispravno, postavlja se bilans zagadivanja.

U vremenskom intervalu dt na sobni vazduh prelazi količina štetnog vazduha $K \cdot dt$, a za isto vreme sa otpadnim vazduhom napušta prostoriju količina vazduha $L \cdot kdt$.

Pod pretpostavkom da u prostoriji vlada ravnomerna koncentracija štetnih gasova i da se zanemaruje apsorpcija preko zidova, važi bilans:

$$(K - L \cdot k)dt = V \cdot dk$$

Sređivanjem jednačine dobija se:

$$dt = \frac{V \cdot dk}{K - L \cdot k}$$

V — zapremina prostorije (m³)

L — količina vazduha koja se odvodi sistemom za provetravanje m³/h.

Ako se desna strana izraza za dt podeli i u brojiocu i u imeniocu sa L i izvrši integracija, sledi:

$$\int_0^t dt = \int_{k_1}^{k_2} \frac{V}{L} \frac{dk}{\frac{K}{L} - k} \quad \text{zamenom}$$

$$n = \frac{L}{V} \quad \text{dobija se}$$

$$nt = \int_{k_1}^{k_2} \frac{dk}{\frac{K}{L} - k};$$

$$nt = -\ln\left(\frac{K}{L} - k\right) \Big/_{k_1}^{k_2}$$

Dakle, provetravanje laboratorija, naročito hemijskih, prva je pretpostavka za dobre radne uslove. Rad sa hemikalijama, razvijanje otrovnih gasova i njihovo prenošenje na sobni vazduh,

* Aleksandar Janković, dipl. ing.,
»Energoprojekt« — Biro za instalacije,
Beograd,
Njegoševa 84; stan: Novi Beograd,
Nehruova 172

a odavde.

$$\frac{K/L - k_2}{K/L - k_1} = e^{-nt}$$

Konačno se dobija krajnja vrednost koncentracije štetnih gasova u vazduhu za jedno određeno vreme t:

$$k_2 = \frac{K}{L} (1 - e^{-nt}) + k_1 e^{-nt}$$

Pošto kl predstavlja koncentraciju vazduha na ulazu u prostoru u trenutku uključivanja provetravanja, drugi član u prethodnoj jednačini može se zanemariti, ako se vrši stalno obnavljanje vazduha u laboratoriji. Prema tome i prvi član teži nuli čim se prostoriji ne predaje ni kakva količina štetnih materija. Izraz u zgradi $(1 - e^{-nt})$ sa po-rastom eksponenta asimptotski teži ka 1.

Tako se dobija za $nt \geq 5$ da je

$$k_2 = \frac{K}{L}$$

Odavde se dobija količina vazduha za provetravanje iz odnosa maksimalno dozvoljene koncentracije štetnih sastojaka i koncentracije otpadnog vazduha.

Pri stalnom provetravanju:

$$L = \frac{K}{k_2} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Pri povremenom provetravanju:

$$L = \frac{K}{k_2} - k_1 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Uticaj štetnih gasova na rad postrojenja za provetravanja ogleda se u velikoj mogućnosti odstupanja specifične težine ovih gasova prema sobnom vazduhu. U prostoriji će doći do koncentracije gasova ispod plafona ili iznad poda a ubrzo će doći i do mešanja sa sobnim vazduhom, zbog zračnog isticanja i difuzije. Ako je npr. zapreminska koncentracija gasa 5%,

specifične težine 4 kg/m^3 a specifična težina vazduha $1,2 \text{ kp/m}^3$, tada se može računati sa mešavinom specifične težine $1,34 \text{ kp/m}^3$. Naravno, pri podu se stvara smeša sa većom koncentracijom štetnih gasova.

MOGUĆNOSTI PROVETRAVANJA LABORATORIJA

Laboratorije se mogu provetravati prirodnim i veštačkim putem pomoću prozora, vrata i vazdušnih šahtova. Ovakvo provetravanje najčešće ne zadovoljava i zato se primenjuje mehanička ventilacija da bi se koncentracija štetnih gasova održala u dozvoljenim granicama.

Postrojenje za provetravanje se najčešće izvodi tako da je centrala za pripremu vazduha smeštena u podrumu a jedinice za odsisavanje otpadnog vazduha u potkrovlju.

Glavni zadatak postrojenja za provetravanje je stalno obnavljanje sobnog vazduha pripremljenim vazduhom. U mnogim slučajevima je potrebno prostoriju držati pod natpritisom ili potpritisom u odnosu na susedne prostorije i okolinu. U prvom slučaju to je neophodno da bi se sprečila nepoželjna strujanja vazduha ka unutrašnjosti prostora, a u drugom slučaju da bi se sprečilo prenošenje mirisa i štetnih gasova od prostorije do prostorije.

U laboratorijama je potrebno stalno obnavljati vazduh da bi se sve nečistoće sobnog vazduha (gasovi, pare, prašina) odstranile dovođenjem svežeg vazduha, tako da ne deluju štetno na zdravlje osoblja ili da ne ometaju radni proces. Isto tako potrebno je odvoditi i višak toplote koja se razvija u laboratoriji bilo od osoblja ili od hemijskih reakcija i drugih izvora toplote.

Osnovni propisi koji se odnose na probleme grejanja i ventilacije laboratorija su VDI propisi (VDI-Richtlinie 2051).

Broj izmena vazduha

Za izračunavanje broja izmena vazduha u jednoj laboratoriji postoji više računskih pokazatelja:

- sadržaj CO_2 ,
- najviša dozvoljena temperatura u prostoriji,
- održavanje određene vlažnosti,
- održavanje najviše dozvoljene koncentracije štetnih gasova.

Iz praktičnih razloga, pri projektovanju postrojenja za provetravanje koriste se podaci iz iskustva.

U hemijskim laboratorijama broj izmena vazduha određen je preko broja i veličine ugrađenih kapela (digestora) ako ove nisu direktno snabdevene vazduhom i ako ne rade nezavisno od odnosa vazduha u prostoriji.

Broj izmena vazduha za pojedine laboratorije je dat u ta-beli 2.

Na slici 1 prikazano je postrojenje za provetravanje jedne foto-hemijske laboratorije. Klima-centrale za pripremu vazduha smeštene su u podrumu. Pripremljeni vazduh se pomoću glavnih horizontalnih vodova i vertikalnih kanala, koji su prethodno predviđeni i ugrađeni u građevinske elemente, dovodi do pojedinih spratova i preko perforisane tavanice ubacuje u laboratorije.

Otpadni vazduh se odsisava 80% preko digestora, 10% ispod tavanice i 10% iznad poda. Odsisavanje otpadnog vazduha vrši se po spratovima a ventilatori su smešteni u potkrovlju. Svež

Tabela 2.

Fizičke laboratorije	3—8	izmena/h
Hemijske laboratorije	6—20	„
Biološke laboratorije	5—10	„
Medicinske laboratorije	5—10	„
Industrijske laboratorije	25—30	„
Magacini hemikalija	5—10	„
Prostorije sa životinjama	4—20	„
Digestor	200—300	„

vazduh se uzima iznad I sprata i preko zajedničkog šahta vodi do pojedinih centrala. Postrojenje je izvedeno pod blagim natpritiskom, da bi se sprečilo prodiranje spoljnog neprečišćenog vazduha u prostorije. Zbog neznatnih hemijskih nečistoća u ovom slučaju ne vrši se prečišćavanje otpadnog vazduha pre napuštanja odsisnog ventilatora. Ali, o ovom problemu prečišćavanja otpadnog vazduha treba voditi računa u drugim vrstama laboratorija.

PRIPREMA VAZDUHA ZA PROVETRAVANJE

U laboratorijama se pretežno primenjuju centralna postrojenja za pripremu vazduha. U ve-likim zgradama ceo sistem se deli na zone prema stranama sveta ili po spratovima. Danas su u primeni jednokanalna i dvo-kanalna vazдушna postrojenja. Instalacija kod jednokanalnog sistema niskog pritiska najčešće je u primeni, ali u cilju smanjenja potrebnog prostora za mrežu kanala ova postrojenja se izvode i kao sistemi visokog pritiska, pri čemu početne brzine u kanalima iznose 20—25 m/s.

Dvokanalno postrojenje se sastoji iz jednog kanala sa toplim i jednog kanala sa hladnim vazduhom. Svaka laboratorija ima priključke na oba kanala a u mešačkoj kutiji se vrši mešanje

vazduha za svaku laboratoriju prema specifičnim uslovima i zahtevima.

Ovaj sistem je znatno skuplji od prethodnog i primenjuje se samo lamo gde pojedine laboratorije imaju veoma različito toplotno i rashladno opterećenje, pa se vazduh mora dovoditi u

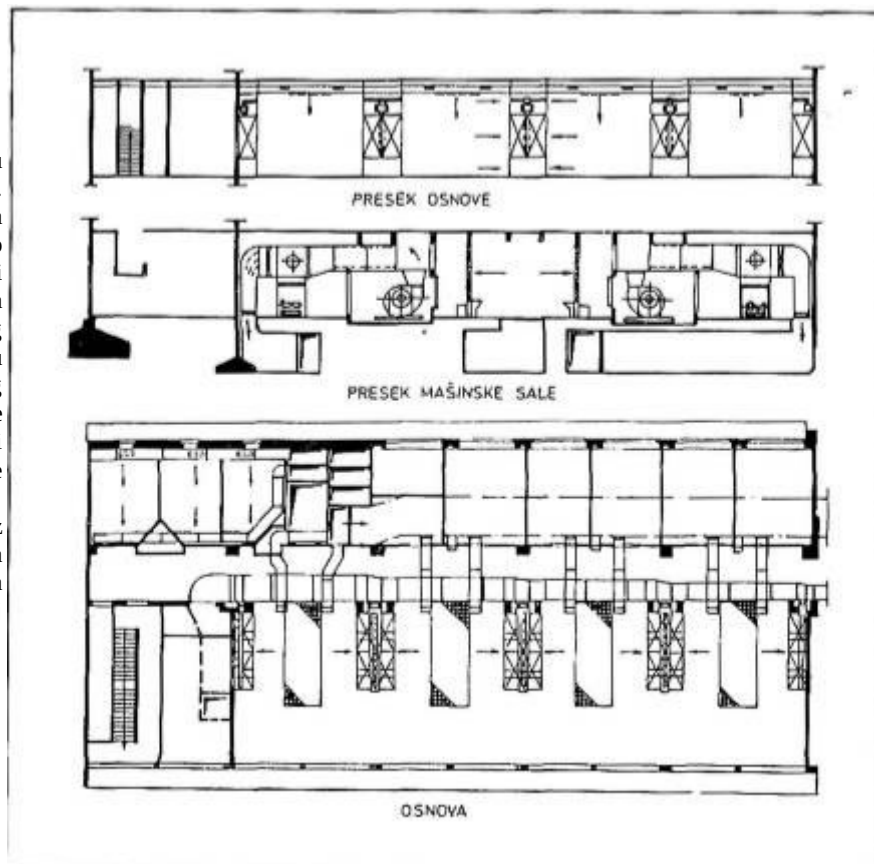
Sl. 1 — Dispozicija kanala za jednu

prostorije sa različitim temperaturama.

Međusobni raspored klima-centrala za pripremu vazduha i odsisnih jedinica veoma je različit i zavisi od konkretnih uslova. Šema rasporeda dovodnih i odvodnih kanala u kombinaciji sa lokalnim odsisavanjem data je na slici 2.

Brzina vazduha u kanalima ne sme prelaziti 10 m/s. Za brzine kretanja do 7 m/s vazдушna kretanja su bešumna, što pokazuje tabela 3.

Dozvoljeni nivo bude kreće se na oko 50 fonova. Razvođenje vazduha u prostorijama vrši se preko perforisane tavanice, kroz zidne rešetke, ispod prozora i fotohemijsku laboratoriju



sl. Izlazni otvori pripremljenog vazduha moraju imati mogućnost regulisanja izlazne brzine i pravca vazdušne struje. U hemijskim laboratorijama brzina isticanja vazduha treba da iznosi 1—2 m/s, jer kod većih brzina može doći do osećaja promaje. U laboratorijama za bakteriološke i hemijske radove, u sterilnim prostorijama kao i u laboratorijama za ispitivanje materijala, potrebno je izbegavati veće izlazne brzine. Brzine isticanja ovde su znatno niže i iznose oko 0,5 m/s.

Tabela 3.

Brzina strujanja vazduha	Buka
2 m/s	12 fonova
4 m/s	24
6 m/s	32
8 m/s	36
12 m/s	44

OTPADNI VAZDUH

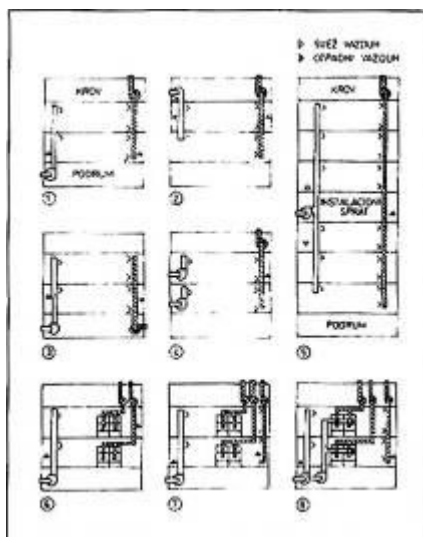
Postrojenja za odsisavanje otpadnog vazduha mogu se izvesti na više načina:

- centralno odsisno postrojenje koje se sastoji iz mreža kanala, na koje su priključene sve prostorije, i odsisnog ventilatora;
- decentralizovano postrojenje, pri čemu svaka prostorija ili grupa prostorija ima sopstvene odvodne kanale i ventilator koji radi nezavisno od ostalih; ovaj sistem se najčešće sreće u laboratorijama.

U višespratnim zgradama, zbog problema smeštaja velikog broja odvodnih kanala, prednost se daje centralnom sistemu. Kod centralnog sistema odsisavanja u zajedničkom kanalu mešaju se gasovi iz više različitih digestora,

Sl. 2 — Moguće varijante vođenja kanala

1. Postrojenje za dovodenje vazduha u podrumu, odsisavanje na krovu; 2. Oba postrojenja na krovu; 3. Oba postrojenja u podrumu; 4. Posebno dovodenje vazduha na svakom spratu; odsisavanje zajedničko; 5. Postrojenje za dovodenje vazduha u instalisanim spratu; odsisno postrojenje na krovu; 6. Postrojenje za dovodenje u podrumu, otpadni vazduh se odvodi isključivo preko digestora; 7. Isto kao pod 6, uz delimično odsisavanje otpadnog vazduha preko posebno kanala; 8. Dva sistema za dovodenje i odvođenje vazduha za prostorije i digestore.



što može izazvati pojavu udara i reakcija. U ovakvom slučaju potrebno je predvideti eksplozivni otvor za razblaživanje nastale koncentracije gasova.

Otpadni vazduh koji sa sobom nosi razne štetne gasove, pre ne-go što se ispusti u atmosferu, mora se u mnogim slučajevima pročistiti.

Sve ovo zavisi od važećih propisa koji se odnose na zagađenost gradskog vazduha. Ovaj vazduh se mora pročistiti tako da se neutralizuje, a koncentracija gasova dovede na dozvoljeni no-vi u gradskoj atmosferi. U cilju prečišćavanja otpadni vazduh se

prevodi preko filtera, ispiraća ili apsorpcionih tornjeva.

Kanali za otpadni vazduh mogu biti suvi, na ispiranje i sa ubrizgavanjem vode. Pod normalnim uslovima radi se o suvim kanalima. Za kanale kod kojih postoji opasnost od korozije i stvaranja kora i skrama, predviđa se mogućnost ispiranja (ovo je slučaj kod odvoda perhlorne kiseline).

Kanali koji se mogu ispirati sadrže na najvišem mestu jedan otvor kroz koji se prilikom čišćenja zidova kanala ubrizgava voda. U najnižoj tački postrojenja skuplja se propali kondenzat.

Odvodni kanali se grade od vatrootpornih i koroziono postojanih materijala. Na raspolaganju su sledeći materijali:

- čelični lim sa korozionom zaštitom,
- azbestni cement sa zaštitnim slojem,
- keramika otporna na kiseline,
- šamot iznutra glaziran i
- veštački materijali.

Kod manjih korozivnih zahteva može se primeniti i čelični lim sa površinskom zaštitom (npr. lakirani premaz fenolne smole — fenitol). Kanali od azbestnog cementa nisu postojani na kiseline i zato se moraju zaštititi specijalnim premazima, hladnim ili vrelim bitumenom itd. Od veštačkih materijala primenjuju se: PVC, tvrdi i polimerizovan, ND-polietilen, polipropilen itd.

Za odsisavanje korozionog laboratorijskog vazduha primenjuju se ventilatori od materijala postojanog na koroziju. Prema VDI propisima 2051, postrojenja za odsisavanje vazduha oprema-u se sa dva paralelno uključena ventilatora, da bi pri zastoju, opravci ili drugim radovima drugi ventilator mogao da preuzme transportovanje vazduha.

PODELA NA ZONE I REGULISANJE POSTROJENJA ZA PROVETRAVANJE

Prilikom podele na zone kod postrojenja za provetranje laboratorija mogu biti merodavni: broj izmena vazduha, toplotno ili rashladno opterećenje i podela na zone koja se može vršiti prema radnom vremenu, smeni, dnevnom ili noćnom pogonu. Kao primer neka posluži jedan institut u kome se na jednoj strani zgrade nalaze laboratorije a na drugoj prostorije sa životinjama za ispitivanje.

Dok se laboratorije klimatizuju samo za dnevni pogon, u prostorijama sa životinjama potrebna je trajna klimatizacija.

Ravnoteža između dovedenih i odvedenih količina vazduha postiže se regulisanjem dovodnih i odvodnih ventilatora. Brzina ventilatora za dovođenje vazduha automatski se uključuje u zavisnosti od broja uključenih odsisnih ventilatora. Ako se uključi prvi odsisni ventilator istovremeno se uključuje dovodni ventilator na najmanji broj obrtaja. Količina svežeg vazduha u ovim uslovima odgovara učinku 10—12 odsisnih ventilatora. Ako se sada pokrene 13. odsisni ventilator, automatski se uključuje dovodni ventilator na veći broj obrtaja.

SPECIJALNE LABORATORIJE

Ovde spadaju laboratorije u kojima su uslovi, koji se postavljaju postrojenjima za provetranje, mnogo stroži nego u drugim laboratorijama. Među specijalne laboratorije spadaju i medicinsko-biološke, radioaktivno-hemijske laboratorije i druge sterilne prostorije. O ovakvim slučajevima neophodno je filtriranje i svežeg i otpadnog vazduha, kako bi se sprečilo

prenošenje zaraznih patogenih klica i radioaktivnih čestica.

U laboratorijama u kojima se radi sa visoko infektivnim materijalom (virusne laboratorije), otpadni vazduh se takođe mora filtrirati, tako da se preko kanala ne može preneti nijedna klica. Vazduh se obično pre izlaska u atmosferu propušta kroz jedan parni registar na 100°C, čime se uništavaju zarazne čestice. Otpadni vazduh iz radioaktivno-hemijskih laboratorija prevodi se pre-ko filtra da bi se deliци radio-aktivnih materija odvojili iz vazduha i tako sprečila kontaminacija okoline. Filtri se mogu ugrađivati u digestore ili odvodne kanale pojedinačno ili centralno u okviru celog postrojenja za provetranje.

Slika 3. prikazuje primer ugradnje filtera u digestor i odvodne kanale. U ovakvim slučajevima se mora obezbediti bezopasna zamena i uništavanje filtra. Pri projektovanju radioaktivnih laboratorija u celoj zgradi je potrebno održavati potpritisak od oko 2—3 mmVS u odnosu na atmosferu. U opitnim ćelijama potrebno je održavati potpritisak od 10 do 30 mmVS. U svim radnim prostorijama mora se garantovati 10—20 izmena/čas, da bi se koncentracija radioaktivnih čestica uvek održavala na dozvoljenom nivou.

Sterilizacija je poseban oblik filtriranja vazduha. Postoji više načina sterilizacije vazduha a najčešće se koristi prevođenje vazduha preko uljnih filtera, vodene zavese u klimakomorama, postavljanje ultravioletnih lampi u kanale za vazduh.

Kod sterilnih prostorija radi određivanja bakteriološkog dejstva provetranja primenjuje se pojam *efektivne izmene vazduha*, koja se izračunava na sledeći način:

$$k = \frac{(\log N_1 - \log N_2) \cdot 138}{t}$$

gde je:

k = efektivna izmena vazduha na čas,

N_1 = koncentracija bakterija na ulazu vazduha u prostoriju,

N_2 = koncentracija bakterija na ulazu,

t = vremenski period od ulaza vazdušne struje do napuštanja prostorije.

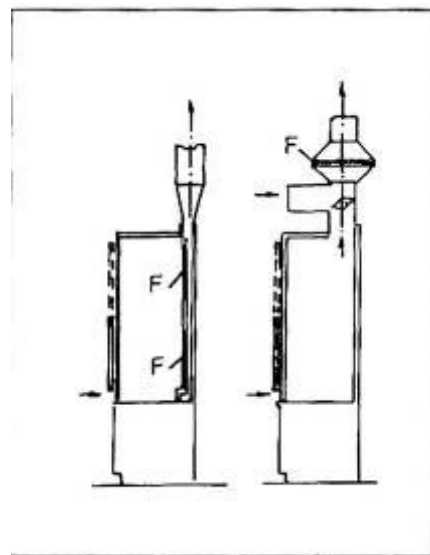
Vrednost k govori koja stvarna izmena vazduha treba da se ostvari da bi se dostigla ista koncentracija bakterija.

Ispitivanja su pokazala da se sa 12—15 puta većom stvarnom izmenom vazduha može postići 30—40 puta veća efektivna izmena.

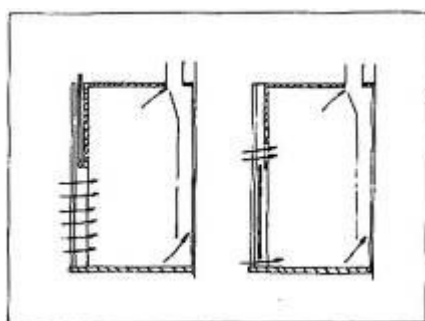
DIGESTORI

Digestori ili kapele su sve vrste odvoda za odsisavanje štetnih gasova i mirisa koji se razvijaju prilikom raznih procesa i reakcija.

Sl. 3.



Sl. 4 — Način delovanja by-pass otvora pri otvorenom i zatvorenom pomičnom šiberu



Za dobro provetravanje potrebno je da hude garantovana izmena vazduha. Prema VDI smernicama odsisna količina vazduha po metru odsisne dužine treba da iznosi 600 m³/h (ili 400—450 izmena vazduha na čas). Međutim u praksi se pokazalo da broj izmena, 200—300 na čas, potpuno zadovoljava.

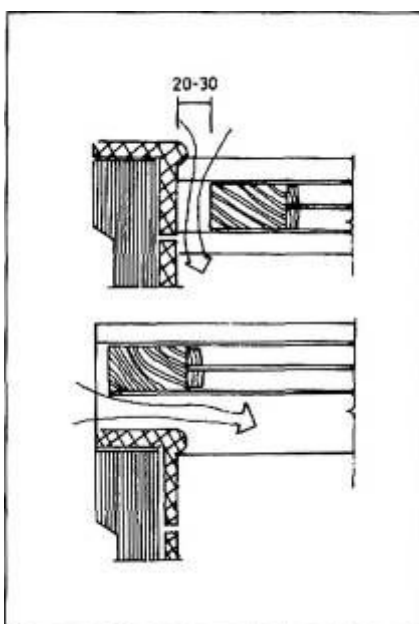
Brzina vazduha u glavnim kanalima digestora treba da iznosi 6—8 m/s. U laboratorijama je poželjno da svaki digestor ima sopstveni odsisni kanal sa ventilatorom na krovu za svaki kanal posebno.

Kod odsisavanja sa zagrevanih kada (odeljenja galvanizacije) potrebno je da se količina odsisanog vazduha poveća za 50% po metru odsisne dužine.

Kanale za odvođenje vazduha u digestorima potrebno je po mogućstvu postavljati samo vertikalno, tako da se kondenzat koji je pao može lako odvesti. Zajednički zbirni kanali za više digestora postavljaju se po pra-vilu vodoravno. Ako je građevinski izvodljivo, vertikalno vođenje sa pojedinačnim kanalima je povoljnije.

Ulazna brzina vazduha u odvodni kanal i brzina kretanja vazduha u odvodni kanal i brzina kretanja vazduha u kanalu su veličine koje utiču na učinak digestora. Ulazna brzina vazduha

Sl. 5 — Horizontalni ili vertikalni nastup vazduha iz prostorije u digestor



odnosi se na ulazni otvor u digestor na prednjoj strani, pri delimično ili potpuno zatvorenom pomoćnom šiberu. Svi pokazatelji se odnose na delimično ili potpuno zatvoren pomični šiber (sl. 4). Pri takvom položaju šibera ulazna brzina vazduha treba da iznosi 0,75—1 m/s, što garantuje da se gasovi iz digestora ne mogu vratiti u laboratoriju. Vazduh iz prostorije može ulaziti horizontalno ili vertikalno. Ispitivanja su pokazala da se pri vertikalnom ulaženju vazduha (odozdo) javljaju povoljniji uslovi nego pri horizontalnom nastupu vazduha (sl. 5).

SPECIJALNA ODSISAVANJA

Ovde spadaju direktno projektovani digestori. Ovi digestori rade nezavisno od odnosa vazduha u prostoriji i priključeni su na svoj sopstveni sistem dovođenja vazduha. Kao najbolje rešenje

ovde se pokazao digestor sa uduvavanjem svežeg vazduha preko cele širine radnog stola iznad radnog otvora.

Direktno provetravani digestori primenjuju se u sledećim slučajevima:

1. Dovođenje vazduha u području radnog otvora, stvarajući vazдушnu zavesu, tako da i pri otvorenom šiberu digestor može da radi ne ometajući cirkulaciju vazduha u prostoriji.
2. Direktno provetravanje u malim laboratorijama ako se povećana vazдушna potrošnja digestora ne može pokriti iz prostorije.
3. Iz ekonomskih razloga preporučuje se direktno provetravanje digestora u klimatizovanim prostorijama, pošto se klimatizovani vazduh ne odsisava preko digestora a broj izmena vazduha u laboratoriji i digestora ne zavise jedan od drugog.

LITERATURA

- [1] RIETSCHEL, RAIS, *Heiz und Lufungstechnik*.
- [2] *** *Air Conditioning, Heating, Ventilating, Guide*.
- [3] KAMPER, *Die Heiz und Lufungsanlagen in den verschiedenen Gebäudearten*.
- [4] SCHRAMM, WERNER, *Chemische und biologische laboratorien* (Planung, Bau, Einrichtung), 1969.
- [5] *Luftung von Laboratorien*, VDI — Richtlinie 2051.
- [6] *Gesundheits-Ingenieur*, Heft 1, 1971.