

Problematika klimatizovanja bioskopskih dvorana

Milorad Džodžo *

Problematika klimatizacije korisnog prostora bioskopskih dvorana zauzima posebno mesto u istraživanjima na području grejanja, ventilacije i klimatizacije. Stoga će u ovom prikazu u osnovnim crtama biti izložena neka dosadašnja iskustva i rezultati postignuti na klimatizaciji bioskopskih dvorana. Ova se iskustva dobrim delom mogu koristiti i u klimatizaciji ostalih dvorana (pozorišnih, koncertnih, kongresnih, sportskih i drugih) s tim što svaka vrsta dvorane ima i izvesnih specifičnih problema.

Ispred bioskopskih dvorana (gledališta) obično se nalazi predvorje sa foajeima (tip I); ako nema predvorja, onda postoje razvodni hodnici (tip II).

Bioskop može da bude sa normalnim ili sa širokim ekranom (film od 35 mm), u poslednjem slučaju i sa širokoformatnim filmom (film od 55, 65 ili 70 mm), sa jednokanalnim ili višekanalnim (stereofonskim) ozvučavanjem.

U zavisnosti od ovih faktora, dolazi se do podataka o korisnoj površini i zapremini zgrade samostalnih bioskopa sa jednom salom koji su između ostalog interesantni i za termotehničara (v. tabelu 1 [1]). Kao što se u tablici vidi, zapremina zgrade kreće se u granicama od 15 do 23 m³ po jednom gledaocu. Vrednosti u zgradama važe za bioskope sa širokoformatnom projekcijom i uvedenom klimatizacijom i one su, kako vidimo, veće od normalnih, jer oba faktora (i širokoformatna projekcija i klimatizacija sa razvodnom mrežom) doprinose povećanju zgrade. Ako u zgradi postoje i odeljenja za bife, klub i sl., onda se vrednosti iz tablice povećavaju.

Na osnovu tabele 1 vidi se da granica između širokoformatnih i klimatizovanih bioskopa i onih običnih leži na dvoranama sa cca 600 posetilaca. Treba napomenuti da se izvode i znatno veće bioskopske dvorane nego što je navedeno u tablici (do 4 000 gledalaca, rekordno 6 000).

Površina same bioskopske dvorane za bioskope tipa I i II iznosi oko 0,9 m² (kod sezonskih bioskopa 0,85 m²), a zapremina 5—10 m³ po gledaocu.

Bioskopske aktivnosti kreću se od održavanja 2 do 7 predstava dnevno (i u popodnevnom i večernjim časovima, ponekad a u prepodnevnom) do održavanja samo jedne predstave dnevno ili čak samo jedne do dve predstave sedmično.

Pri tome se standardna »tehnologija« održavanja bioskopske predstave svodi na puštanje posetilaca u predvorje sale desetak minuta pre početka predstave, davanje predstave (obično u jednom potezu, kod dužih filmova sa pauzom i izlazom posetilaca u predvorje) i izlaz posetilaca. Odstupanja od ovog standarda idu s jedne strane u krajnost da se posetioci puste u predvorje znatno pre početka filma tu im se čak priređuju manji koncerti, modne revije, izložbe i sl. i, s druge strane, u krajnost da predvorja i hodnika uopšte nema nego posetioci bez obzira na početak predstave ulaze takoreći sa ulice u salu, gledaju film napuštaju salu kad hoće (neki bioskopi u SAD). Prva krajnost nalaže da se predvorju pokloni veća pažnja u termotehničkom pogledu nego što je slučaj kod standardne tehnologije, dok druga krajnost, zbog stalnog aktiviranja ulaznih i izlaznih vrata same bioskopske sale, donosi s sobom dodatne termotehničke probleme u rešavanju glavne sale.

U ovom članku će pre svega biti obrađena problematika bioskopa sa standardnom tehnologijom bioskopskih aktivnosti.

FAKTORI KOJI UTIČU NA TOPLOTNO OPTEREĆENJE

Budući da su dobici toplote od osoba jedno od najvećih opterećenja ikoje se pojavljuje u skupnim dvoranama, uzorak zauzetosti dvorane ljudima je veoma važan. Na slici 1 [2] prikazane su krive tipičnog uzorka zauzetosti i rashladnog opterećenja subotom i nedeljom (kad je poseta pojačana) kod bioskopa koji i inače imaju veliku posetu. Ove krive predstavljaju neku idealizovanu sredinu sačinjenu na bazi podataka koji su uzeti iz nekoliko bioskopskih kuća u raznim krajevima SAD i važe za tamošnje životne navike. Krive pokazuju da se vršno opterećenje na uređaj za klimatizaciju postiže između 20 i 21 čas. Ovo vršno opterećenje se događa u vreme niže spoljne temperature vazduha i kada su afekti zračenja sunca svedeni skoro na nulu, što znači da skoro celokupno opterećenje potiče samo od osoba.

Generalno, uzorak zauzetosti treba da bude određen na osnovu načina korišćenja sale. Budući da taj način znatno varira od slučaja do slučaja, mora se veoma dobro proceniti opterećenje koje potiče od osoba. Maksimalni mogući kapacitet sedećih posetilaca je dobra osnova za ovu

* Milorad Džodžo, dipl. ing., *Energoprojekt*, Beograd. Zeleni Venac 18.

Tabela 1.

Broj sedišta u bioskopskoj dvorani	Korisna površina zgrade po posetiocu m ²		Zapremina zgrade po posetiocu m ³	
	Tip I	Tip II	Tip I	Tip II
do 200	2,7	2,2		12,0
300				
400	2,5	2,0	15,0	13,0
600	2,4(3)	1,9(2,5)	16,0 (20,0)	14,0 (17,0)
800	2,3(2,9)	1,8(2,4)	18,0(21,0)	15,0(18,0)
1200	(2,7)	(2,2)	(22,0)	(19,0)
1 600	(2,6)	(2,1)	(23,0)	(20,0)

procenu. Pri svemu ovome mora se povesti računa i o različitom mogućem rasporedu zauzetih sedišta, kako bi se postigli uglavnom jednaki uslovi pri raznim varijantama korišćenja sale.

Toplota od sunčevog zračenja i transmisiona toplota mogu imati izvesnog udela u toplotnom opterećenju, što zavisi od vremena u toku dana kada postoji vršno opterećenje. Kod bioskopa toplotno opterećenje od sunca i transmisije obično se može zanemariti u proračunu opterećenja. Budući da se vršno opterećenje događa između 20 i 21,30 časova, ova toplota je mala, izuzev u slučaju kad sala ima velike spoljne zidove okrenute zapadu.

Opterećenje usled osvetljenja je skoro nula za vreme prikazivanja filma u bioskopima. Viši nivo osvetljenja je za vreme čišćenja, a onda je zgrada skoro prazna. Projektant treba da utvrdi koji nivo osvetljenja će postojati pri maksimumu zauzetosti sale.

Visoke tavanice kod mnogih bioskopa omogućuje da se usled **obrazovanja slojeva vazduha različitih temperatura** (raslojavanje vazduha) održavaju idealni uslovi u prostoru koji zauzimaju ljudi, a da se pri tome ne hladi cela zapremina prostorije. Na taj se način smanjuje opterećenje opreme, jer ponajveći deo toplog vazduha ispod tavanice nikad ne dođe u situaciju da učestvuje u opterećenju klimatizacionog postrojenja.

Da bi se postiglo raslojavanje (tj. ustajalost slojevito složenog toplog vazduha iznad tavanice), dovodi i odvodi vazduha moraju se držati relativno nisko. Jer, kada se oni postavljaju na tavanicu ili na bočne zidove blizu tavanice, hladi se cela zapremina prostorije pa se tako ne postiže ušteda na račun raslojavanja.

U slučaju postavljanja odvoda na bočnim zidovima, transmisija toplote kroz površinu zida 1,5 m iznad ovih odvoda može da se ne uzima u obzir. Tada treba uzeti u obzir samo efekat zračenja usled visoke temperature zidova i tavanice. Zato se u ovom slučaju za ove površine usvaja 33% normalno izračunatog opterećenja [2].

U slučajevima kad se osvetljavanje sale vrši na nivou tavanice, tada ne treba uzeti u obzir celokupno opterećenje usled osvetljenja. U opterećenje ulazi samo efekat zračenja a to je oko 50% toplotnog opterećenja fluorescentnih svetiljki i

65% toplotnog opterećenja električnih sijalica sa užarenim vlaknom i sijalica sa živinom parom [2].

Efekat prethlađenja je važan kod bioskopskih dvorana. Naime, s jedne Strane u krivoj opterećenja postoje bregovi i doline; s druge strane, teška konstrukcija zgrade i velika količina materijala ugrađenog u sedišta imaju veliku moć akumulacije toplote; imajući u vidu ove dve stvari, nameće se ideja da se korišćenjem pomenute akumulacione moći postigne izvesno ujednačavanje (niveisanje) krive opterećenja i na taj način smanji vršno opterećenje.

Zavisno od uslova, nakon uključivanja klimatizacionog uređaja može biti potreban jedan čas rada, da bi se temperatura pomenutih masa suzila na projektnu temperaturu. Za vreme ovog obaranja temperature zatvoren je dovod svežeg vazduha i radi se samo sa recirkulacionim. Ako ima dovoljno vremena, da se dodatnim radom od još približno jednog časa obavi potpuno prethlađivanje zgrade i nameštaja na temperaturu 1 — 1,5°C ispod temperature, dozvoljene pri vršnom opterećenju, onda se na račun rashladnog efekta uskladištenog u strukturu zgrade i nameštaja ovim prethodnim hlađenjem značajno smanjuje vrednost vršnog opterećenja koje docnije nastupa. Jer, u prikazanoj situaciji, prethodno ohlađene mase apsorbiraju izvestan deo toplote koja se docnije razvija, te se za vreme vršnog opterećenja temperatura vazduha u prostoriji diže upravo do vrednosti određenih projektom [2]. Na ovaj način oprema za klimatizaciju može da se odabere za kapacitet manji nego što je vršno opterećenje.

Efekat prethlađenja može se primenjivati čak i ako predstave idu jedna za drugom i ako puno poseti prethodi manja posećenost. Da je to ostvarljivo, vidi se iz slike 1, gde postoji period manjeg opterećenja pre svakog vršnog opterećenja u toku dana. Ovaj efekat može se racionalno koristiti samo ako vršno opterećenje traje manje od 2 časa [4].

Da bi se izbegao svaki nesporazum u vezi sa prethlađenjem, projektant mora unapred obavestiti investitora i objasniti mu da će, u početku zauzimanja sale temperatura biti takva da će mnogi ljudi osećati blagu hladnoću, s tim da će potom temperatura kontinualno rasti u toku trajanja predstave.

Sl. 1. Kriva zauzetosti za bioskope

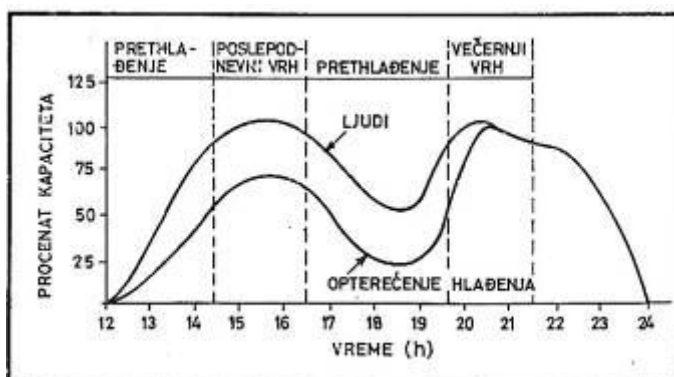


Tabela 2. Temperatura površine hladnjaka na osnovu projektnih uslova u 20h

Spoljna projektna temperatura [°C]				Faktor obilaska BF	Projektna unutrašnja temperatura suvog termometra u °C i relativna vlažnost											
15 h		20 h			23,8 °C			24,4 °C			25,0 °C			25,5°C		
Suvog termo.	Vlažn. termo.	Suvog termo.	Vlažn. termo.		55%	60%	65%	55%	60%	65%	55%	60%	65%	55%	60%	65%
Temperatura površine hladnjaka [°C]																
40,5	24,4	36,6	23,3	8,8 0,3	11,6 8,8	14,4 12,2	8,3 15,0	8,3 8,8	11,6 12,7	14,4 15,0	8,8 9,4	12,2 13,3	15,0 15,5	7,7 8,8	12,2 13,3	15,0 16,1
37,7	25,5	33,8	24,4	0,1 0,3	7,7 3,8	11,1 10,5	13,8 13,8	6,6 4,4	11,6 10,5	13,8 13,8	6,6 5,0	11,6 11,1	14,4 14,4	5,0	11,1 11,6	14,4 14,4
35,0	25,5	31,1	24,4	0,1 0,3	6,6	10,5 8,8	13,8 12,7	6,1 —	11,1 8,3	13,8 13,3	3,3 —	10,0 8,8	13,8 13,8	4,4	10,5 8,8	13,8 13,8
35,0	23,8	31,1	22,7	0,1 0,3	7,7 5,0	11,1 11,1	13,8 13,8	7,2 6,1	11,6 11,1	13,8 14,4	7,2 6,6	11,6 11,6	14,4 15,0	5,5 2,7	11,6 12,2	14,4 15,0
33,8	23,8	30,0	22,7	0,1 0,3	7,7 3,8	11,1 10,5	13,8 13,8	6,6 4,4	11,6 10,5	13,8 13,8	6,1 —	12,2 11,1	14,4 14,4	5,0	11,1 11,6	14,4 14,4
32,2	21,1	28,3	20,0	0,1 0,3	8,8 8,8	11,6 12,7	13,8 15,0	8,3 10,0	11,6 13,3	14,4 15,5	8,3 10,0	11,6 13,3	14,4 15,5	7,2 10,0	12,2 13,3	15,0 16,1

Prethlađenje je najbolje primenjivati kad se prostori-ja retko koristi za vreme najtoplijeg dela dana, u kom slučaju obezbeđivanje punog kapaciteta za tu retku upotrebu nije ekonomski opravdano.

Budući da vršno opterećenje u 20 časova nastaje uglavnom na račun toplote koju odaju prisutni ljudi, postavljena je pojednostavljena metoda za procenu opterećenja bioskopskih dvorana (Carrier) [2]. Ona se odnosi samo na glavne dvorane, dok naldleštva službenika bioskopa, predvorje sa foajeima, prostorije za odmaranje i projekcione kabine treba proračunati na normalan način.

Za pojednostavljenu metodu proračuna opterećenja bioskopske dvorane potrebni su sladeći podaci: položaj bioskopa, spoljni projektni uslovi, broj sedišta (i mesta za stajanje, ako postoje), minimalna količina spolnjeg vazduha po osobi prilikom vršnog opterećenja i unutrašnji projektni uslovi. Kad raspoložemo ovim podacima, onda se može odraditi i ukupna količina rashlađenog i ovlaženog vazduha korišćenjem tablica i dijagrama za malo proračuna.

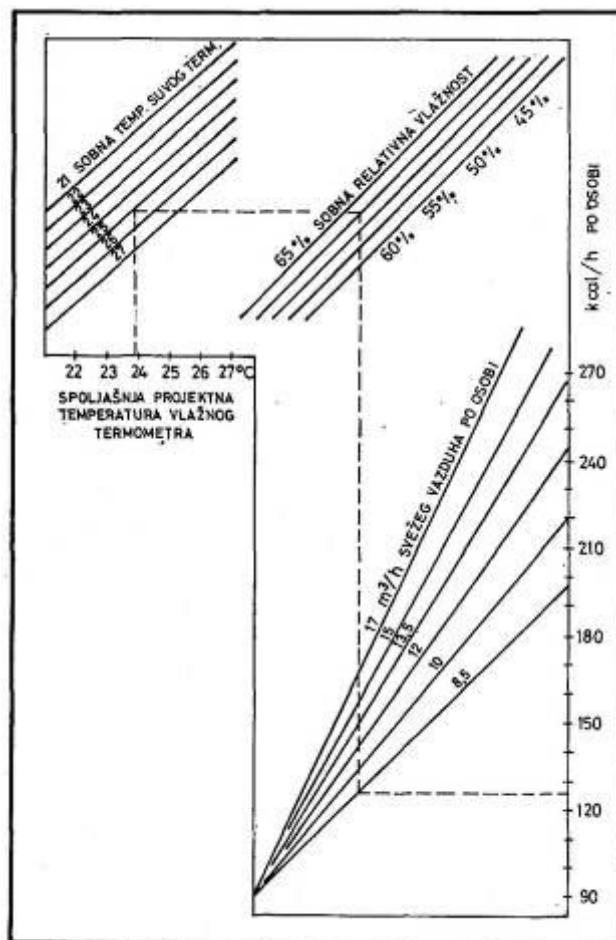
Prvi korak u proračunu je da se prema sl. 2. nađe rashladni kapacitet koji je potreban po jednom posetiocu. Dijagram na slici 2. je baziran na opterećenju od ljudi i na opterećenju od spolnjeg vazduha. Neznatno opterećenje od osvetljenja i opterećenje usled sunca i transmisije se poništavaju prethodnim hlađenjem. Ako su pomenuta opterećenja od sunca i transmisije velika, što može biti slučaj kad postoji neki širok zid okrenut prema zapadu, vrednosti koje se dobijaju iz dijagrama treba da budu povećane. Ovaj dijagram se može koristiti i kad postoje izvesne sumnje u pogledu vremena vršnog opterećenja. Pomenuti dijagram je baziran na podacima odavanja toplote odraslih ljudi.

Primer. Treba odraditi ukupno rashladno opterećenje za bioskopsku salu, kada je spoljna projektna temperatura vlažnog termometra u 20h 23,9°C. Temperatura suvog termometra

U prostoriji je 25°C. Relativna vlažnost u sali je 60%. Po posetiocu se uvodi 8,5 m³/h svežeg vazduha. Broj posetilaca je 1 000.

Rešenje. Nad apscisom dijagrama na sl. 2. za spoljnu projektnu temperaturu vlažnog termometra od 23,9°C povučemo vertikalnu do krive temperature suvog termometra u prostoriji od 25°C.

Sl. 2. Dijagram za ocenjivanje hlađenja za bioskope



Zatim povlačimo horizontalu do krive za 60% relativne vlažnosti u prostoriji. Posle vertikalom idemo nadole, do krive za 8,5 m³/h svežeg vazduha po osobi i najzad povlačimo horizontalu nadesno da bismo na ordinati pročitali ukupno rashladno opterećenje od 126 kcal/h po posetiocu. Ukupno rashladno opterećenje bioskopske sale tada iznosi: 126 kcal/h po osobi X 1000 osoba = 126 000 kcal/h.

Ukupna količina odvlaženog vazduha (količina vazduha koja prolazi preko hladnjaka, plus obilazni vazduh koji se meša sa ohlađenim iza hladnjaka) nalazi se prema jednačini:

$$\dot{V} = \frac{Q_{mos} \cdot \text{Broj ljudi}}{\rho \cdot C_p \cdot (1 - BF) \cdot (t_u - t_H)}$$

gde je:

ρ [m³/kg] — srednja gustina vazduha,

C_p [kcal/kg°C] — specifična toplota vazduha,

Q_{mos} [kcal/h] — osetna toplota po osobi (iz tabele 3)

t_u [°C] — sobna temperatura (projektna temperatura suvog termometra za salu),

t_H [°C] — temperatura površine hladnjaka (iz tabele 2),

BF — faktor obilaska (by-pass factor).

ZAHTEVI ZA ODRŽAVANJEM POVOLJNIH USLOVA SREDINE

U bioskopskim salama postoje zahtevi u pogledu slike, osvetljenja, tona, vidljivosti, vazduha i udobnosti sedenja. Pri projektovanju i izvođenju, svi ovi zahtevi moraju biti u potpunosti zadovoljeni, da bi sala stekla željeni nivo privlačnosti kad publike — do čega je investitoru svakako veoma mnogo stalo.

Inženjer termotehnike je odgovoran pre svega za ostvarenje zahteva u pogledu vazduha, a u određenoj meri i u pogledu sprečavanja buke.

Ako investitor drukčije ne zahteva, usvojena zimska projektna temperatura može biti 18°C, s tim da se ona može kretati i do 22°C. Leti se projektna temperatura obično kreće u granicama od 24 do 26°C. Kada se koristi efekat prethlađenja, tada se termostat obično podesi za 1 — 1,5°C ispod projektne temperature, da bi se na taj način postiglo potrebno prethlađenje.

Projektna relativna vlažnost može da bude u granicama od 40 do 60% bez nelagodnosti za ljude, ukoliko je povezana sa granicama temperature suvog termometra od 18 do 26°C. Na račun velikog udela opterećenja koje potiče od ljudi, imamo veliki udeo latentne toplote. Zbog toga je u mnogim slučajevima nemoguće održavati relativnu vlažnost ispod 55—60% bez ponovnog zagrevanja. Kako je dogrevanje često neekonomično i nepraktično u ovim primenama (npr. leti kada toplana ne radi i kad je potrebno predvideti električni grejač), bolje je da se postrojenje projektuje za nižu temperaturu suvog termometra, da bi se na taj način postigla ista efektivna temperatura. Za ovakve situacije sugerise se projektna temperatura od 25°C pri suvom termometru i relativna vlažnost od 60%, za maksimalnu ekonomičnost pri zadovoljavajućim uslovima [2].

Ako je u nekim slučajevima potrebno dogrevanje da bi se održala relativna vlažnost na podesnom nivou za vreme maksimalne zauzetosti sale, onda se u tu svrhu može upotrebiti topli gas rashladnog medijuma ili topla voda iz kondenzatora.

Treba obratiti pažnju na zidove dvorane i to naročito kad se oni graniče sa atmosferom. Usled niske temperature unutrašnjih površina i

Tabela 3. Osetna toplota po osobi na osnovu projektnih uslova za 20 h

		Unutrašnja projektna temperatura suvog termometra °C															
Spoljna projektna temperatura suvog termometra °C	Spoljni vazduh po osobi m ³ /h	23,8 °C				24,4 °C				25,0 °C				25,5 °C			
		0,05	0,1	0,2	0,3	0,05	0,1	0,2	0,3	0,05	0,1	0,2	0,3	0,05	0,1	0,2	0,3
		Faktor obilaska BF															
		Osetna toplota po osobi kcal/h															
36,6	8,5	59,5	61,0	64,3	67,5	58,0	59,5	62,5	70,0	56,9	58,9	63,2	67,5	54,9	56,9	61,0	65,0
	12,75	69,2	62,7	67,3	71,8	58,7	61,0	65,5	65,5	56,2	57,4	60,5	63,5	54,2	55,7	58,5	61,2
	17	61,0	64,3	70,5	76,8	59,5	62,5	68,5	74,6	57,4	60,5	66,0	71,6	55,7	58,5	63,7	69,0
33,8	8,5	59,2	60,5	62,7	65,0	57,7	58,7	61,0	63,2	55,7	56,9	59,0	61,0	53,9	54,9	56,9	58,9
	12,75	59,7	61,7	65,3	68,8	58,2	59,9	63,5	67,0	56,4	57,9	61,2	64,5	54,4	55,9	59,9	62,0
	17	60,5	62,7	67,8	72,8	58,7	61,0	65,8	70,5	56,9	58,9	63,5	68,0	54,9	56,9	61,0	65,0
31,1	8,5	59,0	59,7	61,5	63,2	57,2	58,2	59,7	61,2	55,4	56,2	57,7	59,2	53,7	54,2	55,7	57,0
	12,75	59,2	60,7	63,2	65,8	57,7	59,0	61,2	63,5	55,9	56,9	59,2	61,5	54,2	55,7	58,5	59,0
	17	59,7	61,5	65,0	68,5	58,2	59,7	63,0	66,3	56,2	57,7	60,7	63,7	54,2	55,7	58,5	61,2
30,0	8,5	58,7	59,5	61,0	62,5	57,2	57,7	59,2	60,7	55,2	55,9	57,2	58,5	53,4	53,9	55,2	56,4
	12,75	59,2	60,2	62,5	64,8	57,4	58,5	60,5	62,5	55,7	56,4	58,5	60,2	53,6	54,7	56,2	57,7
	17	59,5	61,0	64,0	67,0	57,7	59,2	62,0	64,8	55,9	57,2	59,5	61,7	53,9	55,2	57,2	59,2
28,3	8,5	58,5	58,9	60,2	61,5	56,9	57,4	58,5	59,5	55,2	55,4	56,4	57,4	53,4	53,7	54,2	54,7
	12,75	58,7	59,7	61,2	63,0	57,2	57,9	59,2	60,5	55,2	55,9	57,2	58,5	53,4	53,9	54,9	55,9
	17	59,0	60,2	62,2	64,5	57,4	58,5	60,2	62,0	55,4	56,4	57,9	59,5	53,6	54,2	55,7	57,2

zračenja koje stoga usledi, ovi zidovi direktno utiču nepovoljno na osećaj ugodnosti, a pored toga dolazi i do prenošenja toplote konvekcijom sa tih zidova što remeti željenu sliku strujanja u sali.

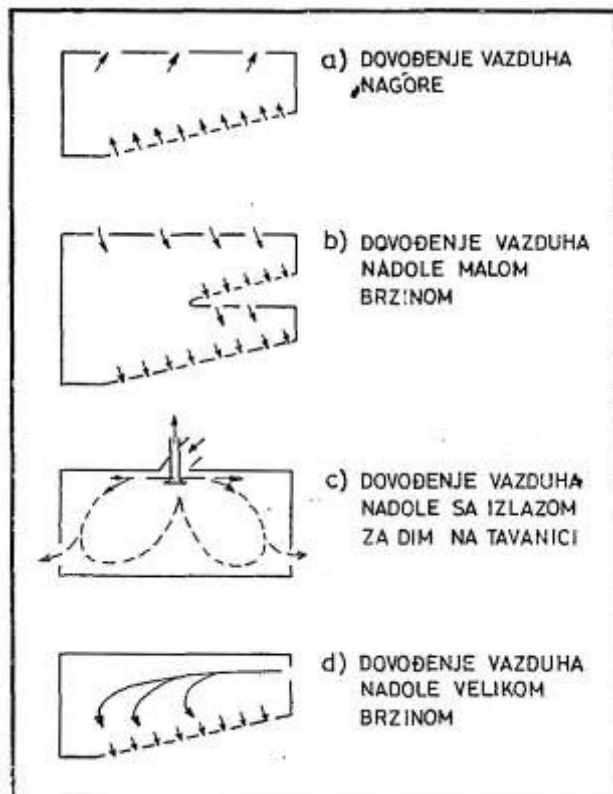
Zimi niska temperatura unutrašnje površine ovih zidova dovodi do nedozvoljenog hlađenja vazduha koji se nalazi uz njih. Tada uzgonsko strujanje od zone boravka ljudi nije u stanju da se suprotstavi padanju tog ohlađenog vazduha, pa se posetioci u sedištim neposredno uz zidove neće ugodno osećati. Zbog toga je potrebno takve zidove dobro toplotno izolovati.

Kod mnogih primena je količina potrebnog svežeg vazduha u projektu veća nego što su stvarne potrebe, pa se onda u toku korišćenja količina vazduha redukuje. Usvajanje veće količine spoljnog vazduha od stvarno potrebne dovodi do povećanja troškova. Za primenu o kojoj je ovde reč količina svežeg vazduha od $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi predstavlja prihvatljivo rešenje. Međutim, propisi mogu zahtevati više.

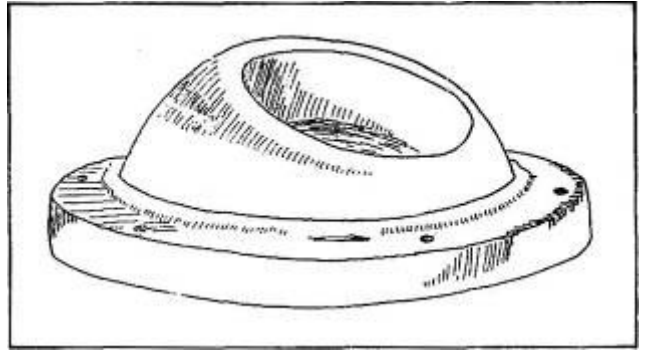
Velika zapremina prostorije i relativno retko korišćenje zgrade, kao i činjenica da je u sali po pravilu zabranjeno pušenje, čine mogućim da se prihvati navedena količina svežeg vazduha po osobi iako ona u poređanju sa nekim drugim primenama može izgledati mala. Dovođenje svežeg vazduha se može povećati i na račun intervala između popodnevnog i večernjeg vršnog opterećenja.

Kanali za dovod spoljnog vazduha moraju da budu tako dimenzionisani da se može ostvariti ulaz od 100% količine spoljnog vazduha. Na račun ovoga može se, kada je to potrebno,

Sl. 3. Načini dovođenja vazduha



Sl. 4. Otvor za ubacivanje vazduha sa mogućnošću promene pravca



provetriti sala u potpunosti, a sem toga spoljni vazduh se može koristiti za hlađenje sale u vremenu između dve predstave kako bi se umanjili troškovi pogana.

Pogodno je da u gledalištu vlada izvestan nadpritisak, tako da vazduh pri otvorenim vratima izlazi iz sale a ne ulazi u nju. Ovo je naročito važno kada su uz gledalište smeštene prostorije u kojima se puši ili iz kojih mogu da dopru razni mirisi (bife i sl.).

Sistem za klimatizaciju treba da je tih. Zato pri biranju opreme, postavljanju vazdušnih kanala i izboru rešetki treba voditi računa o mogućim izvorima vibracija i zvuka. Nekad je potrebno zgradu zaštititi i od spoljne buke (ulice, metroa, letelica).

NAČINI DOVOĐENJA I ODVOĐENJA VAZDUHA

Najznačajniji problem klimatizacije bioskopa je da se nađe takav način dovoda i odvoda klimatizovanog vazduha koji zadovoljava optimalne parametre u zoni boravka ljudi. Treba ostvariti pogodne brzine nastrujavanja i odgovarajuća temperaturna stanja klimatizovanog vazduha u zoni boravka bez obzira na položaj sedišta. Pri tome treba voditi računa o varijabilnim faktorima kao što su: oscilacije stanja spoljašnjih parametara vazduha; promenljivost toplotinog opterećenja od ljudi i ostalih izvora toplote; raspored tih opterećenja. Pri rešavanju zadataka javljaju se velike teškoće. Međutim, najčešće se ceo problem svodi na pitanje načina dovođenja vazduha.

Postavlja se, naime, pitanje da li dovoditi vazduh odozdo ili ga dovoditi odozgo a odvoditi ga u najnižim slojevima, tj. u zoni boravka ljudi. U nastojanju da se ova osnovna dilema reši, uporedo sa teorijskim analizama vrše se i eksperimentalna istraživanja, kao na već izvedenim dvoranama, tako i na modelima uz primenu zakona sličnosti.

Zahteve za finijom raspodelom dovodnog vazduha za svakog posetioca najbolje ispunjava uvođenje vazduha nagore ispod sedišta (sl. 3, a). Veličina dovodne rešetke je tako određena da omogućuje uvođenje vazduha u količini potrebnoj jednom posetiocu ($25 - 35 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi) brzinama do $0,2 \text{ m/s}$ [5]. Temperature vazduha

Tabela 4.

Karakteristike	Nadole	Nagore
Vertikalna promena temperature		
Od stopala do glave Iz-nad nivoa glave	Zanemarljiva 4—8°C	3—8 °C, niže temperature na nivou stopala Zanemarljiva
Dozvoljena promena temperature (variranje)	Reda oko 1—3 °C	Manje strogi zahtevi nego za način nadole, ali mnogo osetljiv na promaju u nivou nožnog članka
Uzorak kretanja vazduha	Prostrane međusobno pobuđujuće optičajne struje, možda prijatnije nago kod dovođenja na gore jer je veće kretanje vazduha u nivou glave	Vrlo često laminarno dovođenje; bolje odstranjuje duvanski dim
Ulazne temperature	15°C najniži optimum	19,5 °C najniži optimum
Buka	—	Zvuk od vazduha ima više izgleda da bude čujan
Održavanje	—	Potrebno je redovno čišćenje rešetki za ubacivanje
Broj otvora za ubacivanje	Može se upotrebiti mali broj otvora	Potrebno je upotrebiti veliki broj malih otvora

koji se leti dovodi više su u odnosu na način dovođenja vazduha nadole, jer se vazduh dovodi u neposrednu blizinu posetioca i postoji opasnost od promaje. Ovaj način je naročito pogodan ako je u sali dozvoljeno pušenje, jer efikasno odstranjuje dim (što je takođe važno i u slučaju požara).

Nedostaci se ogledaju u tome što je potrebno redovno čistiti dovodne rešetke. Takođe, dolazi do vrtloženja prašine i čestica tekstila sedišta i odela, a veća je i mogućnost da zvuk od vazduha bude čujan za posetioce. Pored toga veće su i temperaturske razlike od nivoa stopala do nivoa glave.

Vazduh se može dovoditi kroz stub stolice specijalne konstrukcije, kroz rešetke u stepeničastom parteru ili kroz specijalnu vrstu tapisona. Vazduh se može odvoditi kroz tavanicu ili kroz otvore u bočnim zidovima. Ovo poslednje rešenje je naročito pogodno za bioskopske dvorane, jer se njime odstranjuju lebdeće čestice i dim (ukoliko je u sali dozvoljeno pušenje) iz zone projekcionog zraka čime se sprečava krvarenje slike na ekranu, dok je za ostale skupne dvorane prihvatljivije pravo rešenje (manja buka).

Uvođenje vazduha malim brzinama nadole (izvorno provetravanje) (sl. 3, b) omogućava finu raspodelu vazduha podesnim postavljanjem dovodnih i odvodnih otvora za vazduh.

Postrojenja za izvorno provetravanje zahtevaju uopšte uzev prostranu mrežu kanala (izuzev kod ubacivanja kroz perforisanu tavanicu). Njihovo područje primene su bioskopi sa malom visinom, sa balkonima ili sa osnovama za koje su

neprihvatljive velike daljine bacanja mlazeva vazduha. Kad je dovodni vazduh hladniji od unutrašnjeg, on će kao hladniji i pri neznatnim ulaznim brzinama propadati i pri tome će postići utoliko veće brzine padanja ukoliko uvođenje vazduha obavljamo na većoj visini. Znači da ovaj način treba izbeći u salama sa velikim visinama da ne bi došlo do pojave promaje.

Kao najpovoljniji elementi za dovođenje vazduha ovde se ističu anemostati koji onemogućavaju fino mešanje dovodnog i unutrašnjeg vazduha na kratkom putu. Uprkos zadovoljavajućem stepenu mešanja koji se njima postiže kod njih je ograničeno rastojanje od poda na oko 4 — 5 m.

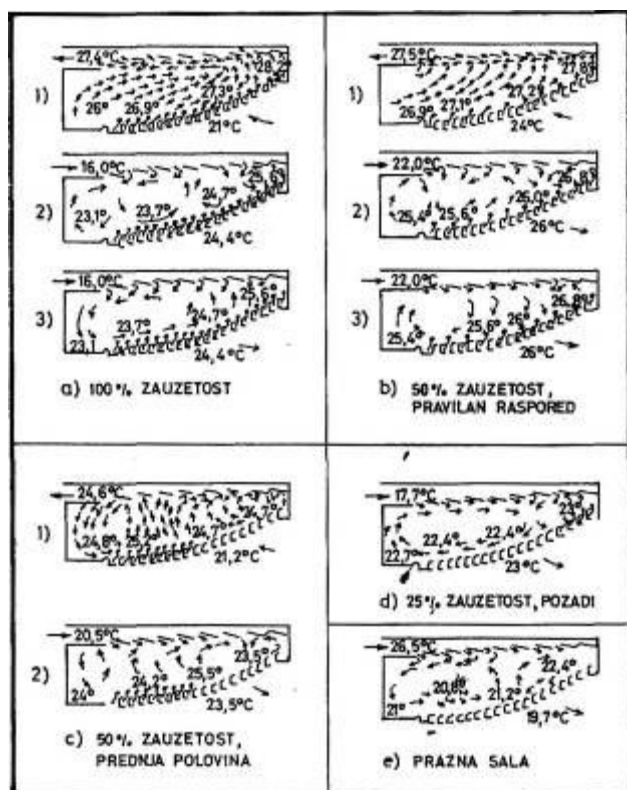
Mogu se upotrebiti i otvori za ubacivanje vazduha kojima se može menjati pravac ubacivanja. Tako se može postići odgovarajuće podešavanje (sl. 4).

Jedan od načina dovođenja vazduha je i postavljanje trake rešetki na određenoj visini bočnih zidova (ne više od 3 — 5 m) duž dvorane.

Rešetke za odvođenje vazduha iz prostorije locirane ispod sedišta ili na niskom nivou oko sedišta mogu obezbediti pogodnu distribuciju vazduha sa minimumom promaje. Kada su izlazi ispod sedišta, onda brzine vazduha ne smeju biti velike jer to može izazvati promaju i buku. Kod malih balkona ubacivanje preko zidova sa strane a odvođenje iz centralnog prostora za sedenje može da zadovolji. Međutim, veći balkoni će zahtevati nešto ubačenog vazduha i preko tavanice sa odvođenjem ispod sedišta.

Dovođenje vazduha nadole kroz perforiranu tavanicu daje finu raspodelu vazduha. Međutim, projektovanje ovog načina raspodele vazduha nije uvek moguće, jer zahteva posebno konstrukciono rešenje tavanice, budući da prostor između perforiranih ploča i tavanice predstavlja u stvari kanal kojim se vazduh dovodi. Radi pravilnog rasporeda isticanja vazduha postavlja se zahtev za velikom površinom preseka ulaza vazduha u ovaj prostor (vertikalno rastojanje između prave i perforisane tavanice treba da je što veće) u odnosu na površinu tavanice. Međutim, ovaj zahtev se retko može u potpunosti zadovoljiti. Zato se moraju na neki prikladan način odstraniti smetnje koje potiču zbog ograničenja površine preseka ulaza vazduha.

Sl. 5. Uzorci kretanja vazduha za načine dovođenja vazduha nadole i nagore u amfiteatru za predavanja; temperature su merene u nivou glava



Uvođenje vazduha kroz perforisanu tavanicu je zgodno ako je tavanica visoka 3 — 5 m i ako postoje zahtevi za velikom količinom vazduha. Ubacivanjem vazduha kroz perforisanu tavanicu postiže se visok stepen indukcije. Troškovi za rešetke i kanale su smanjeni.

Kada je dozvoljeno pušenje, potrebno je predvideti odvođenje vazduha i u gornjem delu sale (sl. 3,c) da bi se odstranio dim. U ovom slučaju odvodnik u gornjem delu sale ispušta odvođeni vazduh u atmosferu pomoću posebnog ventilatora, dok se odvodnici na nižem nivou uključuju u recirkulacionu struju vazduha. Međutim, dok je ovo rešenje pogodno za većinu skupnih dvorana, za isključivo bioskopske sale nije

podesno, jer dim upada u projekcioni zrak i kvari sliku na ekranu.

Uvođenje vazduha nadole velikom brzinom (mlazno provetravanje), sl. 3,d, je veoma pogodno u dvoranama bez balkona.

Ubacivanje vazduha obavlja se sa zadnjeg zida nizom brizgaljki usmerenih ka prednjem (ekranskom) zidu. Dok brzine isticanja vazduha iz brizgaljki iznose 6 — 10 m/s, brzine mlazeva pri dostizanju ekranskog zida treba da budu manje od 0,2 m/s. Jer, tu se mlaz povija nadole i dolazi u zonu boravka posetilaca, pa bi veće brzine vazduha izazivale osećaj promaje.

Međutim, kod mlazeva velikih dometa postoji mogućnost pada mlaza pre dostizanja ekranskog zida sa izazivanjem osećaja promaje u zoni pada i nedovoljnom provetrenošću sale od te zone do ekrana, budući da se odvodne rešetke obično nalaze u zadnjem zidu ili ispod sedišta. Pri pravilnom funkcionisanju sistema u celoj zoni boravka formira se povratna struja brzine ispod 0,2 m/s usmerena u lice posetilaca — što je veoma povoljno sa gledišta ugodnosti.

Da bi se obrazovala dobra zona mešanja između ubacivanog hladnog vazduha i vazduha u sali, potrebno je da mlazevi struje na što većoj visini. Međutim, radi pravilnog strujanja mlazevi ne smeju da se suviše približe tavanici (rastojanje treba da iznosi bar 1 — 1,5 m).

Očigledno je da bi ovakvo mlazno provetravanje bilo krajnje nepodnožno za gledaoce na balkonu (kojima bi mlazevi strujali takoreći iznad glave), pa se ono i ne primenjuje kod sala sa balkonima.

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA I UPOREĐENJE NAČINA DOVOĐENJA VAZDUHA NADOLE I NAGORE

Korišćenje eksperimentalnih iskustava stečenih na već izvedenim objektima ima smisla ako dobivene rezultate treba primeniti na uglavnom slične objekte. Primena podataka sa izvedenog na identičan ili sličan objekat je najefikasnije i najjeftinije rešenje.

Ispitivanje na modelima ima za cilj da se usvoji rešenje koje će dati najpovoljnije uslove ugodnosti. Da bi rezultati ispitivanja bili upotrebljivi, treba postići što vernije imitiranje: 1) geometrijskog oblika prostora dvorane prostorom modela; 2) izvora toplote od ljudi uz pretpostavku da se ovo opterećenje menja po rasporedu i po broju ljudi; 3) opterećenja od osvetljenja po rasporedu; 4) oblika i rasporeda otvora za dovođenje i odvođenje vazduha iz sale; 5) svih ostalih izvora toplote.

Odmah se može videti da se modelskim istraživanjem ne mogu zadovoljiti svi ovi zahtevi i to pre svega zbog malih dimenzija modela koji se upotrebljavaju.

Sve dotle dok razlika temperatura ubačenog vazduha i temperature u dvorani ne igra bitnu ulogu (izotermno strujanje), strujna slika kod ispitivanja na modelu zavisice pre svega od inercijalnih sila vazduha koji se kreće i sila otpora

trenja između nailazeće struje i mirujućeg vazduha u prostoriji. Da bi se strujanja poklapala, Reynoldsovi brojevi za model i dvoranu treba da su jednaki, tj. treba da bude:

$$Re_{mod} = Re_{orig.}$$

pri čemu je:

$$Re = \frac{V_o \cdot l}{\nu}$$

gde su:

V_o — početna brzina mlaza u ulaznom otvoru,
 l — karakteristična dimenzija otvora,
 ν — kinematska viskoznost fluida.

Ako na oblik strujanja utiče temperaturna razlika (neizotermno strujanje), na strujnu sliku bitno će uticati razlike u temperaturi odnosno gustoci vazdušne mase koja se ubacuje u prostoriju u odnosu na masu vazduha u prostoriji. To znači da tada Arhimedove uzgonske sile znatno utiču na strujnu sliku.

Tada se može očekivati isto strujanje u modelu i originalnoj geometrijski sličnoj dvorani ako je zadovoljen uslov jednakosti Arhimedovog broja:

$$Ar_{mod} = Ar_{orig.}$$

pri čemu je:

$$Ar = \frac{g H \Delta T}{v_o^2 Tu} = Fr \frac{\Delta T}{Tu} = \frac{g \frac{\Delta T l^3}{Tu v}}{v_o^2 \cdot l^3} = \frac{Gr}{(Re)^2}$$

gde su:

g — ubrzanje zemljine teže,
 V_o — ulazna brzina ubacivanog vazduha,
 T_u — temperatura vazduha u prostoriji [°K],
 T_v — temperatura uočenog delića zapremine vazduha [°K],
 $\Delta T = T_v - T_u$
 H — visina prostorije,
 v — brzina uočenog delića zapremine vazduha usled termičkog uzgona,
 Fr — Froudeov broj,
 Gr — Grashoffov broj,
 Re — Reynoldsov broj.

Arhimedov broj zgodno povezuje izlaznu brzanu vazduha sa temperaturnom razlikom ubačenog i sobnog vazduha, što su dva važna projektna činioca u klimatizaciji, a pored toga on u određenoj meri odražava i geometriju prostorije (figurisanje visine H).

Vredno je pomenuti različite oblike Arhimedovog broja, jer se svi oni mogu primeniti pri ispitivanju. Na primer, ako je toplotno opterećenje prostora:

$$Q = \dot{V} \rho C_p \Delta T$$

i ukoliko se za srednju sobnu brzinu usvoji:

$$\bar{v} = \dot{V} / A$$

gde je A = površini poda, onda dobijamo:

$$Ar = \left(\frac{g H Q}{\dot{V} \rho C_p T_u} \right) / \left(\frac{\dot{V}}{A} \right)^2 = \left(\frac{g}{\rho C_p T_u} \right) \left(\frac{H Q A^2}{\dot{V}^3} \right)$$

S druge strane važi $3600 \cdot V = n \cdot A \cdot H$, gde je n broj izmena vazduha na čas; ako je pri tome ϵ = odnos slobodne površine tavanice kroz koju izlazi vazduh prema ukupnoj površini tavanice, onda je:

$$\bar{v} = \frac{V}{\epsilon A} = \frac{n \cdot H}{3600 \cdot \epsilon}$$

pa dobijamo:

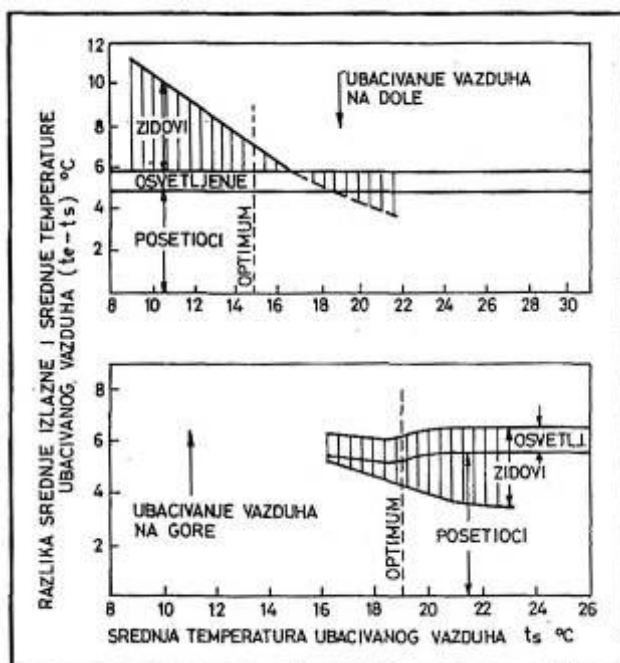
$$Ar = \frac{g H \Delta T}{\bar{v}^2 T_u} = \frac{3,6^2 \times 10^6 \cdot g \Delta T \cdot \epsilon^2}{T_u H \cdot n^2}$$

Postoji još čitav niz drugačijih oblika Arhimedovog broja, u zavisnosti od veličina čiji smo uticaj hteli da uočimo i eksperimentalno ispitamo.

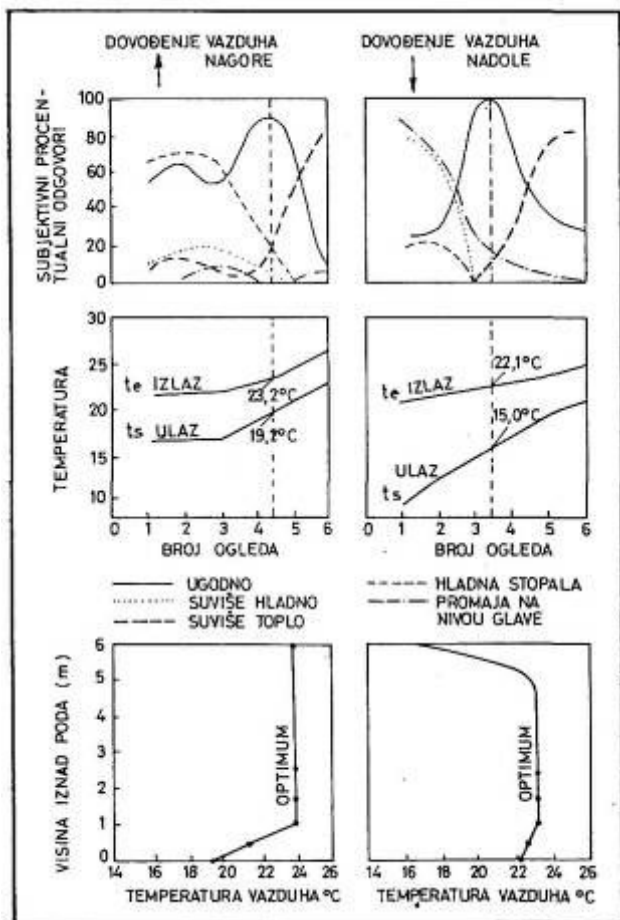
Treba reći da su mnogobrojna istraživanja pokazala da je važnije da su vrednosti Ar broja modela i originala jednake da bi strujanja bila slična, nego da su vrednosti Re broja iste. Znači da uzgonske Arhimedove sile (uzgonsko delovanje od zone boravka i propadanje hladnog ubačenog vazduha) imaju veći uticaj na oblik strujanja od inercijalnih sila vazduha koji se kreće i sila otpora trenja između nailazećeg i mirujućeg vazduha u prostoriji.

Na osnovu ispitivanja Linkea [3] sprovedenih u amfiteatru sa 500 mesta. upoređivani su uzorci vazdušnog kretanja i raspodele temperatura pro

Sl. 6. Podela toplotnog opterećenja na različite izvore toplotnih gubitaka i dobitaka (proporcionalnog sa $t_e - t_s$) i utvrđivanje optimalnog polja t_s za ugodnost



Sl. 7. Subjektivni osećaj i raspored temperatura



uzrokovanih klimatizovanim vazduhom koji je ubacivan sa nivoa tavanice ili sa nivoa poda.

Slika 5. pokazuje merenja temperature i vazdušnih strujanja za različite stepene popunjenosti, ali pri konstantnom broju izmena vazduha na čas (9,1 izmena, što odgovara 37 m/h po osobi kada je zauzetost potpuna). Vazduh ubačen sa nivoa poda daje uzorak podjednagog vazdušnog strujanja kroz auditorijum (sl. 5,a,l) i samo kad je popunjenost koncentrisana na prednjem delu auditorijuma (sl. 5,c,l) ovaj uzorak je razbijen zbog konvekcione strujanja koje potiče od ljudi.

Kad se vazduh ubacuje kroz tavanicu a izvlači na nižem nivou, strujanje vazduha nije više tako jasno zavisno od dovođenja vazduha i temperaturskih razlika između podijuma i pozadine auditorijuma, a uz to i hladniji vazduh preostaje u oblasti podijuma. Usled smanjene visine u pozadini auditorijuma, toplotno opterećenje od ljudi ima veći uticaj na ubačeni vazduh. Kao što se može i očekivati, temperaturske razlike mnogo su manje kada je posećenost manja. Pravac optičajnih struja mnogo zavisi i od pravca kojim vazduh napušta otvore (sl. 5,a,2).

Slika 6. pokazuje odnos između razlike srednjih temperatura izlaznog i ulaznog vazduha (ukazujući na opterećenje grejanja ili hlađenja) i srednje temperature ubačenog vazduha. Vazduh ubačen na nivou tavanice najpre obavlja razmenu

toplote sa zidovima. Kada su temperature ulaznog vazduha niže i kada je temperatura zida oko 17°C tada vazduh prima toplotu. Pri temperaturama ubačenog vazduha višim od temperature zidova gubiće se toplota kroz zidove i usled toga će temperatura vazduha padati dok on silazi do zone zauzete ljudima. Razmena toplote zavisi još i od toplote koju vazduh dobija od osvetljenja i posetilaca. Kad se vazduh ubacuje sa nivoa poda, ulazna temperatura vazduha mora biti viša nego kod dovođenja nadole kako bi bila izbegnuta promaja u zoni stopalo — koleno.

Linke je vršio i eksperimente koji pokazuju kakav uticaj ima sve ovo na osećaj ugodnosti. U eksperimentima je učestvovalo 5 žena i 20 muškaraca normalno obučanih za zimsko doba; spoljna temperatura je bila 10°C. Oni su bili zamoljeni da glasaju o uslovima čije su kombinacije bile: ugodno, suviše hladno, suviše toplo, promaja na nivou glave, hladno na nivou stopala. Slika 7. pokazuje da su najbolji uslovi bili postignuti upotrebljavanjem vazduha ubačenog sa tavanice sa 15°C.

Za način dovođenja vazduha nagore temperatura ubačenog vazduha potrebno je da bude 19,2°C i čak onda 20% prisutnih osećać hladnoću na nivou stopala. Pri temperaturi ubačenog vazduha od 19,2°C sa dovođenjem vazduha nadole, 75% prisutnih oseća da je suviše toplo.

Na sl. 7. vidi se da će se za dovođenje vazduha nagore pri temperaturama vazduha koji se ubacuje od 17 do 21°C skoro uvek najmanje 60% posetilaca osećati ugodno. Isti rezultat se pri dovođenju vazduha nadole može postići za manje odstupanje od optimalne temperature. Međutim, treba uočiti da će pri dovođenju vazduha nagore pri nižim temperaturama ubačivanja velik broj posetilaca osećati hladnoću na stopalima. Zato pri ovakvom načinu dovođenja vazduha treba vazduh koji izlazi iz rešetki u stepeničastom parteru usmeriti u vertikalnom pravcu. Horizontalna komponenta brzine je onda manja (manje je onda strujanje preko stopala).

Mnogi daju prednost načinu dovođenja vazduha nadole, ali postoje i uspešno primenjeni načini dovođenja vazduha nagore. Osobine načina dovođenja vazduha nadole i nagore upoređene su i tabelarno (tabela 4).

Pored ovoga može se reći da je način dovođenja vazduha nagore investiciono i eksploataciono skuplji. (Međutim, kod ovog načina se lakše postiže ušteda na račun ustajalosti toplog vazduha ispod tavanice. Ako se ovo primeni, troškovi mogu biti smanjeni.

Kod rešenja sa strujanjem vazduha nadole veoma je važno da se za slučaj požara predvidi mogućnost strujanja vazduha nagore (preklopnici u dovodnim i odvodnim kanalima). Ovo je potrebno radi efikasnog odvođenja dima koji bi zagušio posetioce i primenjuje se uprkos izvesnom rasplamsavanju vatre, koje se time postiže. Stoga se kod postrojenja bez odsisnog ventilatora predviđa ugradnja specijalnog ventilatora za odvođenje dima.

Napomena uz tabelu 2. Tablica je bazirana na projektnim uslovima za 20 h, za faktor obilaska 0,1 i 0,3 i za protok spoljnog vazduha $12,75 \text{ m}^3/\text{h}$ po posetiocu. Gde nisu date nikakve vrednosti temperature površine hladnjaka, biće potrebno ponovno zagrevanje, da bi se održali dati uslovi. Tablica je dovoljno tačna za opseg dovodenja svežeg vazduha u granicama od 17 do $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ po posetiocu i za faktore obilaska od 0,05 do 0,35. Treba koristiti najbliži faktor obilaska ili interpolirati između prikazanih vrednosti.

Projektni uslovi za 20 h odgovaraju projektnim uslovima za 15 časova u slučaju kada je dnevna promena temperature do 11°C . Tablica se može koristiti i za dnevne opsege temperature između 8°C i 14°C za navedene uslove za 15 h.

LITERATURA

- [1] IRSKII.G. L.: *Sovremennii kinoteatr*, »Iskusstvo«, Moskva, 1976
- [2] STROCK, CLIFFORD and KORAL, RICHARD: *Handbook of air conditioning, heating and ventilating*, »Industrial Press«, New York, 1965
- [3] CROOME, D. J., GALE & ROBERTS, B. M.: *Air-conditioning and ventilation of buildings*, »Pergamon press«, 1975 (poglavlje 11)
- [4] ASHREA Handbook — and Product Directory — 1974, Applications
- [5] MARKOVIĆ, NIKOLA: *Grejanje i klimatizacija bioskopskih i pozorišnih dvorana*, »KGH« br. 4/1973.
- [6] RAOS, BRANKO: *Klimatizacija kazališnih i koncertnih dvorana*, II seminar o KGH, SMEITS, 1971.