

PREZRAČEVANJE SREDNJE VELIKIH GARAŽ

VENTILATION OF MIDDLE LARGE CLOSED CAR PARKS

dr. ir. Fabien van Mook
Adviesburo Nieman, Utrecht, Nizozemska

Strokovni članek
UDK: 697.92

Članek je bil objavljen v Zborniku Svetovne zveze gradbenikov esperantistov za leto 2008, Jarkolekto de TAKE 2008, Wintzenheim – Francija. Iz esperanta v slovenščino ga je prevedel Dorde Obradović, univ. dipl. inž. grad., Trg Dušana Kvedra 13, 2000 Maribor.

Povzetek | Članek opisuje kriterije in sisteme za prezračevanje garaž, od 400 m² (20 avtomobilov) do 2000 m² (100 avtomobilov). Prezračevalni kriteriji, podani tukaj, se nanašajo na strupene pline, ki jih izpuščajo avtomobili z notranjim izgorevanjem in s tem vplivajo na zdravje ljudi v garažah. Običajno pretok določajo koncentracije ogljikovega monoksida, dovoljenega po normah Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) ali po normah posameznih držav. Če je koncentracija CO dovolj nizka, je tudi koncentracija ostalih strupenih plinov enako nizka. Prednosti in pomanjkljivosti naravnega sistema prezračevanja za garaže so obdelane posebej po skupnem pretoku zraka in po učinkovitosti premika notranjega zraka. Oblika garaže in dober raspored odprt in šob v fasadnih stenah za dovod in odvod zraka z ventilatorji zelo vpliva na notranji pretok zraka. Poleg tega so produkti onesnaženja lahko zmanjšani s preudarnim rasporedom parkirnih mest in voznim redom v garaži. Zato koncept garaž ne sme biti podcenjen s strani arhitektov in inženirjev. Z malo več truda pri zasnovi konstrukcije arhitekt lahko omogoči naravno prezračevanje, ki prihrani mehanična sredstva in denar.

Summary | The paper describes the requirements and the systems for the ventilation of (closed) car parks, from 400 m² (20 cars) to 2000 m² (1000 cars). The ventilation requirements described here are due to the noxious gases emitted by cars with combustion engines and thus to the benefit of the health of people inside car parks. Usually, ventilation rates are determined by allowable carbon monoxide concentrations, recommended by the World Health Organization or national standards. If CO concentrations are kept low enough, the concentrations of other noxious gases will also be low enough. The advantages and the disadvantages of naturally and mechanically ventilated car parks are discussed, especially in terms of the overall ventilation rate and the efficiency of the internal air displacements. The shape of a car park and a good distribution of the supply/exhaust fans or the openings in the façades are very important to the internal air displacements. Moreover, the production of pollutants can be reduced by a good design of the parking places and a simple routing. Therefore, the task of the overall design of a car park should not be underestimated by architects and civil engineers. With careful design of the building, the architect can enable natural ventilation that can save mechanical means and money.

1 • UVOD

Pri projektiranju garaž in remiz je treba predvideti učinkovito prezračevanje. V odvisnosti od velikosti garaže oziroma števila avtomobilov je treba upoštevati naslednje štiri zahteve. Prvič – zrak mora vedno ostati dovolj čist, čeprav avtomobili spuščajo škodljive snovi v notranji zrak. Drugič – paziti moramo na koncentracijo neprijetnih vonjav in škodljivega zraka v bližini garaž, kjer umazani zrak spuščamo iz garaže. Tretjič – poskrbeti je treba za odstranitev ognja in dima v primeru, da avto zagori. Četrto – skrbeti moramo za koncentracije eksplozivnih plinov, posebej če v garažah parkirajo vozila, ki vozijo na tekoči plin.

V primerjavi z ostalimi prostori v stavbi ima prezračevanje garaž nekatere posebnosti. Na splošno prezračujemo prostore iz različnih razlogov: zaradi zdrave sestave notranjega zraka, vlažnosti, suspenzije in uravnavanja notranje temperature. Konkretno gre pogosto za odstranitev vonjav, pare, dima, izparevanj in prahu. Vsi ti razlogi so skoraj enako pomembni v navadnih stanovanjskih prostorih in pisarnah. V garažah pa je pomemben razlog skrb za zdravo sestavo zraka. Določene koncentracije snovi, ki jih avtomobili z motorji z notranjim izgorevanjem proizvajajo in izpuščajo, so precej strupene za ljudi. Olajševalna okoliščina za garaže je,

da se ljudje v njih precej krajše zadržujejo. V stanovanjskih prostorih in pisarnah so nivoji sprejemljivih koncentracij enakih strupenih snovi precej nižji.

V tem članku bom obravnaval le prvo od štirih omenjenih zahtev in se koncentriral na sprejemljive koncentracije škodljivih snovi in prezračevalne sisteme in njihovo učinkovitost.

Ob tem naj poudarim, da se ta članek ne nanaša na garaže vseh velikosti. V svoji inženirski praksi se ukvarjam s srednje velikimi garažami za avtomobile. Velikost teh garaž znaša med 400 m² (20 vozil) in 2000 m² (100 vozil). Tukaj bom torej govoril predvsem o teh, vendar bom s pomočjo mednarodne literature poskusil razširiti spoznanja na mednarodno raven. Ne bom obravnaval garaž in remiz, ne garaž za le nekaj avtomobilov, ne servisov.

2 • KRITERIJI ONESNAŽENOSTI

Avtomobili z bencinskim ali dizelskim motorjem izpuščajo pet primarnih in dve sekundarni strupeni snovi. Primarne snovi nastajajo pri samem sežigu: ogljikov monoksid (CO), ogljikov dioksid (CO₂), dušikov oksid (NO), dušikov dioksid (NO₂), žveplov dioksid (SO₂), različne plinaste organske spojine (POS), suspenzijski svinec in druge suspenzije z delci, manjšimi od 10 mikronov. Sekundarne snovi nastajajo v reakcijah primarnih snovi v zraku: ozon (O₃), dušični oksidi (NO_x) in druge POS. Strupeni so CO, NO_x, SO₂ in svinec. Od sto nastalih POS se benzen (C₆H₆) šteje za posebej kancerogenega.

Čeprav je v garažah najbolj strupen NO₂, se v praksi kontrolira skoraj izključno koncentracijo CO. Maksimalni sprejemljivi koncentraciji CO in NO₂ sta praktično enaki, vendar je proizvedena koncentracija CO znatno višja v garažah zaradi majhnih hitrosti vozil. Zato običajno sledi pravilo, da je koncentracija ostalih snovi varna, če je koncentracija CO pod sprejemljivo mejo.

CO je nedražeč plin brez barve, vonja in okusa. Njegov strupen učinek se izraža v tem, da se lahko veže namesto kisika v krvi in drugih telesnih tekočinah in povzroča zadušitev. Učinek CO se ugotavlja z nivojem karboksihemoglobina (COHb) v krvi. Ko nivo COHb doseže 60 %, človek izgubi zavest, več kot 80 % povzroča smrt. Do 10 % človek komaj opazi njegov vpliv. Svetovna zdravstvena

organizacija (SZO) priporoča nivo COHb, ki je nižji od 5 % za zdrave ljudi in nižji od 2,5 % za slabotne osebe in nosečnice (SZO, 1999).

Preglednica 1 kaže dovoljeno izpostavljenost človeka v določenem času in določeni koncentraciji CO, do katerih nivo COHb doseže 2,5 % med zmernim delom in med srednje težkim delom. Težavnost dela vpliva na izmenjavo plinov in pljučih: med težkim delom človek hitreje diha in izmenjava plina CO je hitrejša.

Iz priporočil SZO in iz preglednice 1 sklepamo, da koncentracija CO v garažah ne bi smela presegati 100 mg/m³ za tiste ljudi, ki se tam zadržujejo le kratek čas. Navadno je potreb-

nih 15 minut za uvoz, vožnjo do parkirnega mesta, parkiranje in izhod iz garaže (ali obratno). Za delavce v garaži (čuvaji, vratarji, serviserji) morajo biti pogoji strožji, na primer 10 mg/m³ v conah, kjer se delavci zadržujejo maksimalno 8 ur.

Preglednica 2 prikazuje standarde nekaterih držav za koncentracijo CO v garažah. Le standardi Kanade in AASHRAE (ZDA) dovoljujejo koncentracije, ki se ujemajo s priporočili SZO. Ostali prikazani standardi torej dovoljujejo precej višje koncentracije. Razlogov ne poznam, verjetno standardni slonijo na starih navadah ali starih spoznanjih o CO. Še leta 1979 je Svetovna zdravstvena organizacija priporočala maksimalni nivo COHb v krvi 5 %, kar je pomenilo približno dvojno dovoljeno koncentracije CO v zraku za enako trajanje izpostavljenosti.

koncentracija	maksimalni čas izpostavljenosti
100 mg/m ³ (87 ppm)	15 min
60 mg/m ³ (52 ppm)	30 min
30 mg/m ³ (26 ppm)	1 h
10 mg/m ³ (9 ppm)	8 h

Opomba: 1 ppm (parts per million (by volume)) = en liter v milijonu litrov. 1 ppm CO = 1,15 mg/m³ pri 25 °C in 101,3 kPa.

Preglednica 1 • Koncentracije CO v zraku, ki v krvi ne povzročajo višjega nivoja COHb od 2,5 % med zmernim in srednje težkim delom (SZO, 1999)

norma/država	čas izpostavljenosti	koncentracija	drugo pravilo
ASHRAE (ZDA)	8h	9 ppm	7,6 l/(s m ²)
	1 h	35 ppm	
ICBO (ZDA)	8 h	50 ppm	
	1 h	200 ppm	
Kanada	8 h	30 ppm	
Finska	8 h	30 ppm	2,7 l/(s m ²)
	5 min	75 ppm	
Francija	maksimum	200 ppm	165 l/(s avto)
	20 min	100 ppm	
Nemčija	30 min ali 1 h	100 ppm	1,6–3,3 l/(s m ²)
Japonska	–		6,4–7,6 l/(s m ²)
Nizozemska	8 h	25 ppm	3 l/(s m ²)
	30 min	120 ppm	
V. Britanija	8 h	50 ppm	6–10 l,0/h
	15 min	300 ppm	

Opomba 1a: Krarti in Ayari sta prvič objavila preglednico leta 1999. Februarja 2001 so jo ponovno objavili s popravki (v članku *Ventilation for enclosed parking garages* v žurnalu ASHRAE, str. 52–55). Verjetno sta avtorja popravila tabelo v poznejši izdaji. Tukaj so podatki iz leta 2001, razen za Nizozemsko. O nizozemskih standardih sta bila avtorja obakrat napačno obveščena.

Opomba 2a: Enota l/(s m²) se nanaša na volumen zraka, izmenjan v eni sekundi po kvadratnem metru tal. Enota l/h predstavlja izmenjavo zraka; pomen glej v tekstu.

Preglednica 2 • **Maksimalna koncentracija CO v zraku po standardih v nekaterih državah.**
Eventualna druga pravila se nanašajo na minimalni pretok zraka.

3 • PROIZVODI ONESNAŽEVANJA

Količina in sestava onesnaževalcev, ki jih avtomobili proizvajajo in spuščajo v zrak, je odvisna od mnogih faktorjev, ki jih lahko razvrstimo na naslednji način:

- zvrst vozila po velikosti, teži, letu izdelave, izrabljenosti, notranjem sistemu shranjevanja in razvodu bencina ter izpušnem sistemu plinov;
- vozni pogoji, tj. topel in hladni start, hitrost vožnje, tovor, cestni ovinki (horizontalni in vertikalni) ter obnašanje voznika;

- lastnosti goriva po tipu (bencin, dizel/olje itd), vsebnost kisika, benzena in svinca;
- okoljski pogoji, tj. nadmorska višina (zračni pritisk in koncentracija kisika), zračna vlažnost in temperatura.

Ta raznolikost se odraža na različne številke, ki jih priporočajo za izračun količine CO, ki ga en premikajoči se avtomobil proizvede v garaži. Podatki ASHRAE so predstavljeni v preglednici 3. Na Nizozemskem se pogosto

računa z 0,35 m³ CO na uro (= 6,71 g/min). V nemških standardih sem videl 0,6 m³/h (= 11,5 g/min). Po Krarti in Ayari (1999) se v Franciji računa s povprečno vrednostjo med 28,8 in 34,5 g/min. (Za preračun sem vzel za prostorninsko maso CO 1,15 kg/m³.) Razlika med številkami čudi in si je ne znam razložiti. S temi številkami urnega nastajanja CO, z dolžino poti in povprečno vozno hitrostjo lahko izračunamo, koliko CO en avto spušča za vožnjo od vhoda do parkirnega mesta ali obratno.

4 • PREZRAČEVALNI PRETOK

Prezračevalni pretok je količina zraka, ki se izmenja v enoti časa. Količina zraka se navadno izraža s prostornino.

Minimalno potreben prezračevalni pretok (Q_{\min} (m^3/s)) celotne garaže je odvisen od nastajanja CO (P (kg/s)), od dane maksimalne koncentracije CO (C_{maks} (kg/m^3)) in od koncentracije CO v (C_v (kg/m^3)) v vnesenem (zunanjem) zraku:

$$Q_{\min} = P / (C_{\text{maks}} - C_v).$$

Običajno se Q_{\min} računa dvakrat:

- (a) na osnovi konične ure, ko se največ avtov premika ali stoji v vrsti v garaži in je C_{maks} enak $30 \text{ mg}/\text{m}^3$ (glej tabelo 1),
 (b) na osnovi daljšega časa (na primer 8 ur ali celega dneva) za izračun povprečne situacije, ko je C_{maks} enak $10 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Tako dobimo dva nivoja prezračevalnega pretoka. V prezračevalnem sistemu, kjer je pretok reguliran, sta ta dva nivoja obvezni minimalni

in maksimalni pretok. V prezračevalnem sistemu brez avtomatske regulacije (na primer pri naravnem prezračevalnem sistemu) se mora udeležiti vsaj maksimalni pretok.

Pogosto se prezračevalna količina izraža z izmenjavo zraka (n), določeno z:

$$n = 3600 Q / V,$$

kjer je Q = pretok v m^3/s in V = volumen garaže v m^3 . Enota n je 1,0/h. Izmenjavo zraka si lažje predstavljamo, ker kaže, kolikokrat se v eni uri celotna vsebina zraka garaže izmenja z zunanjim zrakom

5 • PREZRAČEVALNI SISTEM

Prezračevalni sistem mora zadovoljiti dva pogoja:

- ustvariti minimalen pretok za objekt kot celo leto,
- v vsakem posameznem delu objekta zadostno razredčiti onesnažen zrak s svežim zrakom.

Drugi pogoj je obdelan v nadaljevanju.

Po eni strani prezračevalne sisteme razlikujemo po načinu izzivanja premikanja zraka:

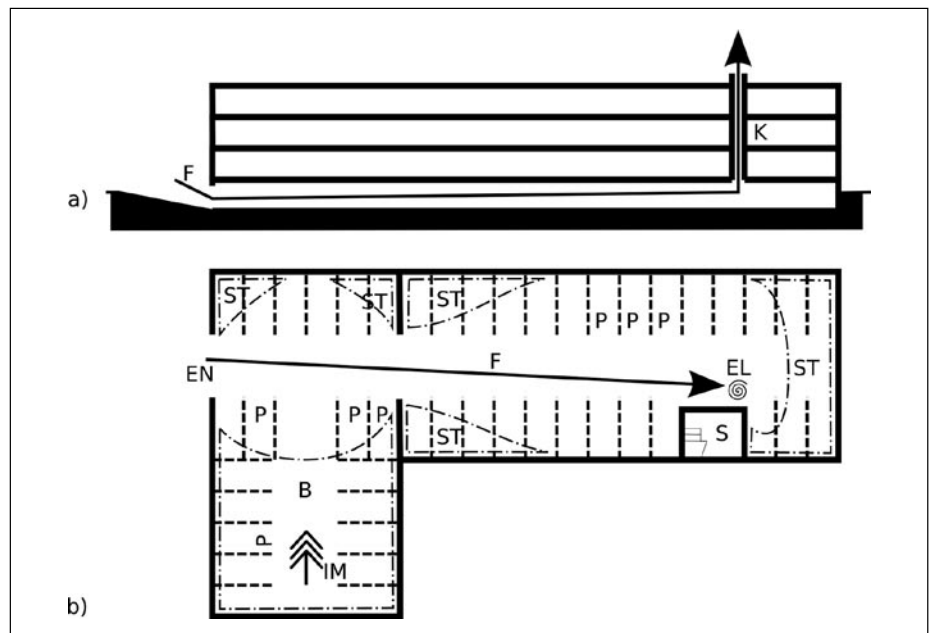
- naravni sistem: notranji zrak se izmenjuje z zunanjim samo z odprtini v fasadi in strehi. Premikanje izzivajo temperaturne razlike in veter;
- polnomehaniziran sistem: zrak se dovaja in odvaja samo z ventilatorji;
- mehaniziran sistem: zrak se dovaja z odprtini v fasadi in strehi, odvaja pa z ventilatorji ali obratno. Ta sistem je sestavljen iz polovice naravnega in polovice polnomehaniziranega sistema.

Po drugi strani jih razlikujemo po tem, ali uporabljajo mehanično pomoč ali ne. Sistem z mehanično pomočjo je polnomehaniziran ali mehaniziran sistem (ali nekoč celo naravni sistem) z impulznim ventilatorjem, s katerim se notranji premiki in/ali mešanje zraka spodbujajo. Navadno se impulzni ventilatorji vključijo le v primeru povečane koncentracije onesnaževalca.

Pri prezračevalnih sistemih v garažah višina garaže ne igra velike vloge. V nasprotju s koncertnimi dvoranami ali visokimi saloni relativno mala višina garaž (2,4 m) in relativno horizontalna tla ne dovoljujeta specifičnega in stalnega toka zraka. Zrak torej teče v glavnem horizontalno.

sezona	izpust toplega motorja		izpust hladnega motorja	
	1991	1996	1991	1996
poletje (32 °C)	2,54	1,89	4,27	3,66
zima (0 °C)	3,61	3,38	20,74	18,96

Preglednica 3 • Produkt CO v g/min za avtomobile s hitrostjo od 8 km/h (ocene po ASHRAE v 1995; (Krarti, Ayari, 1999)).



Slika 1 • Vertikalni prerez (a) in tloris (b) primerne garaže z mehaniziranim prezračevalnim sistemom. Posamezna parkirna mesta so označena s P; stopnišče s S. Zrak vstopa skozi odprtino/vrata garaže (EN) in se spušča z ventilatorjem v kanalu (K) skozi rozeto v stropu (EL). Glavni tok zraka je označen z veliko puščico (F); cone z zastajanjem zraka s pikčasto črto (ST). Cona B bi bila velika cona zastajanja, če bi ne bilo impulznega ventilatorja (IM, glej tudi sl. 2), zaradi katerega se zrak v coni B meša tudi z zrakom v glavnem toku.

6 • POLNOMEHANIČNI IN MEHANIČNI SISTEMI

Prednost polnomehaničnega ali mehaničnega sistema je gotovost prvega pogoja (ustvarjanje minimalnega pretoka), če sta tip in vrst ventilatorjev pravilno izbrana in če lahko vedno delujejo brez prekinitve elektrike itd.

Druga prednost je, da je z ventilatorjem mogoče spreminjati in regulirati pretok zraka odvisno od koncentracij CO, izmerjenih na različnih mestih v garaži.

V mehaničnih sistemih je treba paziti, da so odprtine dovolj velike, da ostanejo vedno odprte, drugače obstaja tveganje, da bo hitrost zraka v odprtinah prevelika ali da ventilatorji ne obvladajo celotno razliko zračnega pritiska zaradi zaprek v celotnem sistemu (tj. odprtih, volumna same garaže in eventualnih šob in kanalov).

Primer mehaniziranega sistema prezračevanja je prikazan na sliki 1.

Za drugi pogoj (zadostno prezračevanje v vsakem posameznem delu garaže) ne obstajajo konkretne velikosti niti jasni standardi.

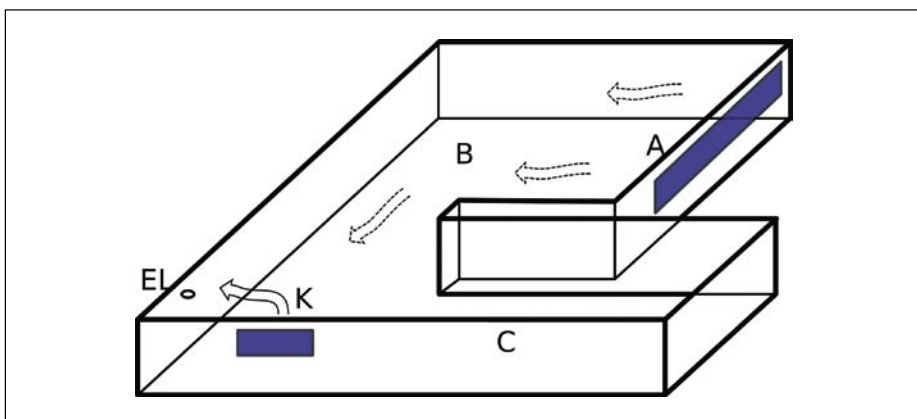
Drugi pogoj se razvija po logiki in izkušnjah. Ključna pojma v zvezi s tem sta zastoj in kratki tok. Zrak seveda teče po najlažji poti (najkrajša pot) od mesta vtoka do mesta izpusta. Pri polnomehaniziranih sistemih so ta točno določena. Za prvo oceno si lahko predstavljamo, da gre največja količina zraka po tej lahki poti, majhen del zraka pa se premika ob straneh.

Glavni tok lahko zaradi svoje moči in vrtnčenja povleče stranski zrak. Obstaja možnost zastajanja na stranskih mestih, če so ta dlje od glavnega toka ali pa so za zaprekami (stene itd.). Če gre glavni tok skozi majhen del garaže, govorimo o kratkem toku (primerjaj s kratkim stikom v elektrosistemih).

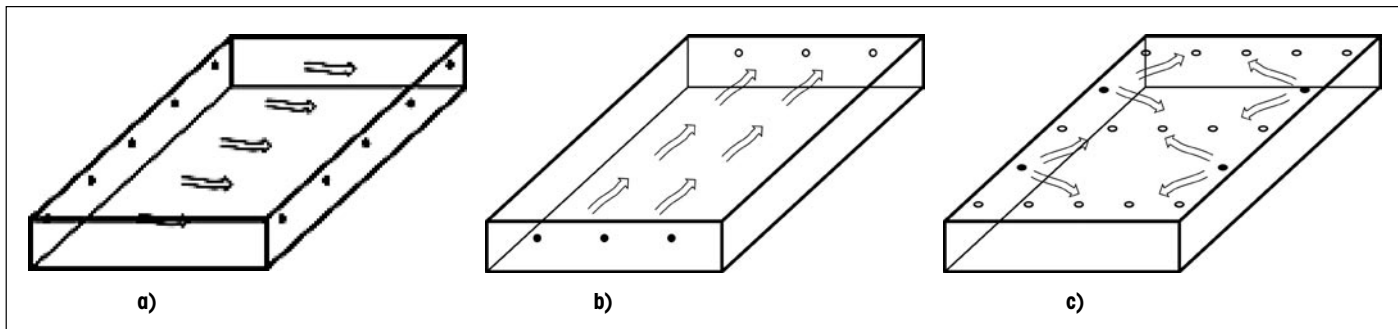
Na sliki 1b so cone zastajanja označene s ST. Cona B je velika površina zastajanja brez



Slika 2 • Impulzni ventilator. Ta tip je skoraj kratki kanal. V sredini se nahaja ventilator, ki sesa zrak iz garaže skozi šobo na enem koncu in piha skozi šobo na drugem koncu (glej sliko). Izvor: Firma Novenco na spletu – brandveilig.com.



Slika 3 • Poševna projekcija lokala z mehaničnim prezračevalnim sistemom. Z ventilatorjem (EL) se zrak odvaja. Skozi odprtini A in K se zrak dovaja. Prezračevalni sistem slabo deluje, ker se splošni pretok v coni B zmanjšuje zaradi kratkega toka med K in E in ker zrak zastaja v coni C zaradi pomanjkanja odprtine na tem mestu.

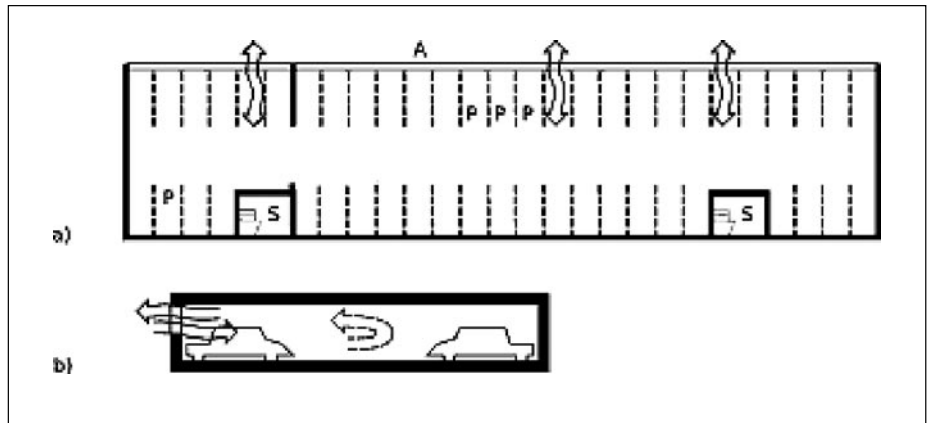


Slika 4 • Trije principi prezračevanja sistemov po premikanju zraka, z drugo besedo po razporedu mest vtoka (črni krogi) in mest izpusta (beli krogi) v lokalu: (a) prečno prezračevanje, (b) vzdolžno prezračevanje in (c) križno prezračevanje.

datnih sredstev. Tu svetujemo impulzni ventilator za mešanje zraka v coni B z glavnim zračnim tokom na mestu vtoka (EN) do mesta izpusta (EL).

V drugem primeru, na sliki 3, je prikazan kratki tok. Odprtina pri K je zelo blizu točki EL, kjer z ventilatorjem zrak dovajamo v lokal. Ker je odprtina K dovolj velika, gre zrak zelo lahko skozi. Zato je tok od K proti EL dosti daljši kot tok od A proti EL. Med K in EL nastaja kratki tok.

Razpored mest vtoka in iztoka zraka torej določa izpolnitev drugega pogoja. Idealna razporeditev je mogoča le v enostavnem florisu garaže, na primer pravokotnem florisu. V praksi je to pogosto nemogoče iz različnih razlogov. Na primer oblika florisa je nerodna, ker jo smatrajo za nepomembno. Ali pa ni mogoča postavitve prezračevalne naprave ali vertikalnih kanalov na idealno mesto zaradi pomanjkanja prostora v zgornjih etažah.



Slika 5 • Floris (a) in vertikalni prezek (b) primerne garaže z naravnim prezračevanjem. Nekatera parkirna mesta so označena s P in stopnišče s S. Zrak vstopa in izstopa skozi odprtine v eni vzdolžni fasadi (a).

7 • NARAVNI SISTEMI

Prednost naravnega sistema je, da ne zahteva stroškov vzdrževanja niti (električne) energije: izmenjava notranjega in zunanjega zraka je odvisna samo od vetra in temperaturne razlike med notranjostjo in zunanjostjo. Drugi faktor je učinek zračnega stolpa, ki vpliva tudi na tok zraka skozi dimnik.

Oba faktorja je težko oceniti. Včasih delujeta v nasprotju. Veter se veliko in naključno spreminja. Notranja temperatura ni odvisna le od termičnih lastnosti sten in ne le od lokalne temperature tal, temveč tudi od izmenjave toplote s prezračevanjem in zunanje temperature. Če se temperaturna razlika poveča, se poveča prezračevalni pretok, če se potem notranja temperatura približa zunanji, se prezračevalni pretok zmanjša. Nastaja ciklična interakcija. Ker je točen izračun z aerodinamičnim modelom ali s simulacijo z vetrnim tunelom težek in zamuden, raje uporabimo preproste enačbe in predpostavke, s katerimi ocenimo minimalne prereze odprtín.

Obstajajo različni pristopi k izračunu prezračevalnega pretoka, tukaj pa bom prikazal enačbo, ki predpostavlja le učinek zračnega stolpa in določene temperaturne razlike. Originalno enačbo priporoča (Aynsley, 1977) in sem jo prepisal za eno veliko odprtino:

$$Q = 0,12 * A/2 * \sqrt{(H/2 * \Delta T)},$$

kjer je A = neto ploščina odprtine v m², H = višina odprtine v m in ΔT = temperaturna razlika v K.

Na primer, če ima garaža ploščino tal 67,50 * 16 m² (sprejme 50 avtomobilov), višino 2,4 m in eno odprtino z neto ploščino 40 m² in višino 1,0 m, je prezračevalni pretok Q enak 2,4 m³/s pri temperaturni razliki 2 K. Prezračevalni pretok ustreza izmenjavi zraka 3,4/h. Če predpostavimo (ali sklepamo), da je to minimum – ker je temperaturna razlika v povprečju večja in zaradi vetra nastaja močnejše prezračevanje –, je treba le preverjati ali Q zadostuje za zadovoljevanje Q_{min} . Bruto prerez odprtín vključno z rešetko je na primer 40/0,6 = 67 m² (faktor 0,6 predstavlja del, skozi katerega zrak lahko prosto teče med zaprekami in robovi delčkov odprtine. Če je višina 1,0 m, pomeni, da se polna odprtina razprostira po celotni dolžini ene fasade primerne garaže (slika 5). Očitno so v naravno prezračevanih garažah nasploh potrebne velike odprtine.

Pri naravnih prezračevalnih sistemih razlikujemo enostransko in dvostransko (prečno) prezračevanje. Slika 5 prikazuje enostransko prezračevanje. V takšnem sistemu gre zrak notri in ven skozi odprtino/-e v eni fasadi. V primeru brez vetra, in če je notranja temperatura višja od zunanje, zrak povprečno teče

skozi zgornji del odprtine iz garaže ter skozi spodnji del v garažo (slika 5b). V povprečju se na določeni oddaljenosti od fasade oba toka združita v delno vzvratno kroženje.

Slika ta primer prikazuje v sredini garaže, vendar je to mesto v glavnem odvisno od vertikalne dimenzije odprtine in od proporcev prereza garaže. V dejanskem vetru premikanje avtomobilov in temperaturne razlike med prvo in drugo stranjo povzročata dodatne premike zraka v garaži. V primeru vetra tudi dimenzije odprtine vplivajo na recirkulacijo in mešanje v garaži: čim večja je odprtina, tem globlja sta recirkulacija in mešanje, vendar ti pojavi niso natančno proučeni. Ocenimo torej lahko, ali je drugi pogoj (zadostno prezračevanje v vsakem delu garaže) pri enostranskem naravnem prezračevanju v konkretnem projektu dovolj udejanjen. (O tem na Nizozemskem ne obstajajo konkretni standardi.)

Idealno dvostransko prezračevanje je prečno in vzdolžno prezračevanje (sliki 4a in 4b). Ta dva tipa sta ugodnejša, saj je znano, da celo minimalen veter spodbudi pretok od ene skozi drugo fasado. Torej ta sistem zagotovo deluje bolje. Razen te prednosti v primerjavi z enostranskim prezračevanjem so odprtine lahko tudi manjše (manjša širina A ali višina H). Za prvo oceno lahko uporabimo zgoraj omenjeno formulo za Q, s tem da odprtine v eni fasadi služijo le polovici garaže (z drugimi besedami: zadovoljijo le polovico Q_{min}) pri predpostavki čistega učinka zračnega stolpa.

8 • SKLEP

V inženirski praksi se pogosto srečamo z malomarnostjo ali brezbržnostjo pri prezračevanju garaž. Vodje projekta in arhitekti na primer menijo, da je v kleti ali polkleti preprosto projektirati srednje veliko garažo ter zato podcenjujejo nujna prezračevalna sredstva. V tem članku sem obravnaval enega izmed vidikov, t.j. koncentracije škodljivih snovi v zraku v garaži. Izračun minimalno

potrebnega pretoka sloni na maksimalno sprejeti koncentraciji ogljikovega monoksida. Cilj prezračevalnega sistema je priskrbeti ta minimalni prezračevalni pretok in se izogniti zastajanju in kratkim tokom notranjega zraka.

Sklepamo lahko, da bi dobro prezračevanje bilo lažje, če bi bencinski in dizelski motorji izpuščali manj škodljivih snovi, ali še lažje, če

bi se avtomobili premikali na elektriko in vodik. Tudi vloge arhitekta ne smemo podcenjevati. Z ugodnim razmeščanjem parkirnih mest in s preprostim voznim redom v garaži je mogoče omejiti vožnjo in produkte onesnaževanja. Oblika garaže in dober raspored odprtih in šob za vtok in izpust zraka sta zelo pomembna za premikanje zraka v garaži. Z malo več truda pri načrtovanju garaže in umestitvi garaže v odnosu na fasade celotne zgradbe bi arhitekt lahko omogočil naravno prezračevanje, ki lahko privarčuje mehanična sredstva in denar.

9 • LITERATURA

Aynsley, R. M., Melbourne, W., Vickery, B. J., Architectural Aerodynamics, London: Applied Science Publishers, 1977.

Krarti, M., Ayari, A., Overview of Existing Regulations for Ventilation System Requirements for Enclosed Vehicular Parking Garages, ASHRAE Transaction, 105, 2. del, 18–26, 1999.

WHO, Environmental Health Criteria 13: Carbon Monoxide, Geneva, Svetovna zdravstvena organizacija, 1979.

WHO, Environmental Health Criteria 213: Carbon Monoxide (Second Edition), Geneva, Svetovna Zdravstvena Organizacija, 1999.

[Http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_213/en/index.html](http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_213/en/index.html); objava s popravkom od 30. novembra 2004.