

# Ventolado de mezgrandaj garaĝoj kaj aŭtoremizoj

Fabien VAN MOOK

publikiĝis en *Jarkolekto de TAKE 2008*  
(Wintzenheim, Francio: TAKE, 2008, paĝoj 19–30)

## Enkonduko

Kiam oni konceptas garaĝon aŭ aŭtoremizon, oni zorgu pri ĝia taŭga ventolado. Depende de ĝia kapacito laŭ nombro de aŭtoj kaj do ĝia amplekso, oni konsideru du ĝis kvar punktojn. Unue, la aero en ĝi restu ĉiam sufiĉe pura malgraŭ tio ke pro aŭtoj malsanigaj substancoj estas lasataj en la internan aeron. La dua konsidero rilatas al la koncentritecoj de malagrablaj odoroj aŭ malsanigaj substancoj en la aero en la proksimo de la garaĝo, kie do la (malpura) aero estas ellasata ekster la garaĝo. La tria konsidero pri la ventolado rilatas al forigo de varmo kaj fumo en la okazo de brulo de aŭtoj. Kvare, oni atentu pri internaj koncentritecoj de eksplodemaj gasoj, specife se oni akceptas en garaĝo aŭtojn en kiuj oni bruligas likvan petrolan gason.

Kompare al ventolado de aliaj spacoj en konstruaĵoj, ventolado de garaĝoj havas kelkajn specifaĵojn. Ĝenerale oni ventolas spacojn pro diversaj kialoj, nome por sana konsisto de la interna aero el gasoj, humido kaj suspensiaĵoj, kaj por adapto de la ena temperaturo. Konkrete temas ofte pri forigo de odoroj, vaporoj, fumo, haladzoj kaj polvoj. Ĉiuj ĉi motivoj gravas je pli-malpli meza nivelo ĉe ordinaraĵoj en loĝejoj kaj oficejoj. Sed en garaĝoj la motivo por sana konsisto de la aero tre gravas ĉar certaj koncentritecoj de la substancoj kiujn aŭtoj kun eksplodmotoro produktas kaj eligas, estas sufiĉe venenaj por homoj. Sed plifaciliga cirkonstanco ĉe garaĝoj estas ke en ili homoj sufiĉe mallonge restas; en ordinaraĵoj de loĝejoj kaj oficejoj la margenoj kaj niveloj de la akcepteblaj koncentritecoj de la samaj venenaj substancoj estus pli malgrandaj.

En tiu ĉi artikolo mi traktos nur la unuan el la kvar menciitaj konsideroj kaj koncentriĝos je la akcepteblaj koncentritecoj de la malsanigaj substancoj kaj je ventolaj sistemoj kaj iliaj efikoj.

Krome, tiu ĉi artikolo ne temas pri ĉiaj garaĝoj. En mia inĝeniera praktiko mi traktas kutime mezgrandajn garaĝojn en kiuj oni deponas aŭtojn. Iliaj kapacitoj varias inter 20 aŭtoj (ĉirkaŭ 400 m<sup>2</sup>) kaj 100 aŭtoj (2000 m<sup>2</sup>). Do, proksimume pri ili mi ĉi tie parolos, sed mi provos pere de internacia literaturo etendi la sciindaĵojn al internacia kampo. Ne traktataj estos remizoj aŭ ŝedoj por nur kelkaj aŭtoj, nek aŭtoriparejoj.

## Kriterioj pri poluaĵoj

Aŭtoj kun benzinmotoro aŭ dizelo eligas kvin unuarangajn kaj du duarangajn poluaĵojn. La unuarangaj produktiĝas rekte el brulo: karbona monoksido (CO), karbona dioksido (CO<sub>2</sub>), azota monoksido (NO), azota dioksido (NO<sub>2</sub>), sulfura dioksido (SO<sub>2</sub>), diversaj volatilaj (gasiĝemaj) organikaj kombinaĵoj (v.o.k.), suspensia plumbo kaj aliaj suspensiaĵoj malpli grandaj ol 10 mikrometrojn. La duarangaj poluaĵoj estiĝas pro reakcioj de la unuarangaj en la aero: ozono (O<sub>3</sub>), azotaj oksidoj (NO<sub>x</sub>) kaj pluaĵoj v.o.k..

Venenaj estas CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> kaj plumbo. El la centoj da produktitaj v.o.k. oni konsideras precipe benzenon (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) kanceriga.

Kvankam NO<sub>2</sub> plej venenas, oni konsideras en garaĝoj preskaŭ nur koncentritecojn de CO. La maksimume akcepteblaj koncentritecoj de CO kaj NO<sub>2</sub> pli-malpli similas, sed la produktita koncentriteco de CO estas signife pli alta en garaĝoj pro la malgrandaj veturaj rapidoj. Tial oni kutime sekvas la regulon ke la koncentritecoj de la ceteraj substancoj estas sekuraj se la koncentriteco de CO estas sub la akceptebla koncentriteco.

CO estas gaso sen koloro,odoro, gusto nek irito. Ĝia venena efiko rilatas al tio ke ĝi facile sidiĝas anstataŭ oksigeno en la sango kaj aliaj histoj kaj rezultas al sufokiĝo. La efikon de CO oni konstatastas per la nivelo de karboksihemoglobino (COHb) en sango. Kiam la nivelo de COHb atingas 60%, homo perdas konscion; pli ol 80% kaŭzas morton. Je 10% homo apenaŭ rimarkas efikon. La

Monda Organizaĵo pri Sano (MOS) rekomendas ke la nivelo de COHb estu malpli ol 5% por sanaj plenkrekuloj kaj malpli ol 2,5% por malplifortuloj kaj gravedulinoj (MOS 1999).

Tabelo 1 prezentas la eksponeblon de homo dum certa tempo en certa koncentriteco de CO, ĝis kiuj la nivelo de COHb en sango atingas 2,5% dum maldura kaj mezdura laborado. La duro de la laboro ja influas la interŝanĝon de gasoj en la pulmoj: kiam oni pli dure laboras, oni pli spiras kaj do pli forte interŝanĝas la gason CO.

El la rekomendoj de MOS kaj el tabelo 1 oni konkludu ke la koncentriteco de CO en garaĝo ne superu  $100 \text{ mg/m}^3$  por tiuj homoj kiuj nur mallonge tie restadas. Kutime oni bezonas maksimume 15 minutojn por enveturo, veturo al parkfako, iro el la aŭto kaj promeno al elirejo de la garaĝo (aŭ inverse). Por tiuj kiuj laboras en garaĝo (gardistoj, pordistoj, riparistoj), la kondiĉoj multe pli severu, ekzemple  $10 \text{ mg/m}^3$  en la zonoj kie laboranto vere restadas maksimume 8 horojn.

Tabelo 2 listigas de kelkaj landoj normojn pri CO-koncentritecoj en garaĝoj. Nur la normoj el Kanado kaj de ASHRAE (Usono) permesas koncentritecojn kiuj proksime kongruas al la rekomendoj de MOS. La ceteraj normoj listigitaj do permesas multe pli altajn koncentritecojn. La motivojn mi ne konas, sed supozeble la normoj baziĝas je malnovaj kutimoj aŭ je malnovaj scioj pri CO. En 1979 MOS ja ankoraŭ rekomendis nivelon de COHb en sango de maksimume 5%, kio rezultigis al permeso de proksimume duoble pli altaj CO-koncentritecoj en aero por la sama ekspona daŭro.

Tabelo 1: Koncentritecoj de CO en aero, kiuj kaŭzas ne pli altan nivelon de COHb en sango ol 2,5% dum maldura kaj mezdura laboro (MOS 1999).

koncentriteco	maksimuma ekspona daŭro
$100 \text{ mg/m}^3$ (87 ppm)	15 min
$60 \text{ mg/m}^3$ (52 ppm)	30 min
$30 \text{ mg/m}^3$ (26 ppm)	1 h
$10 \text{ mg/m}^3$ (9 ppm)	8 h

Noto: 1 ppm (parts per million (by volume)) = unu litro en miliono da litroj. 1 ppm da CO egalas al  $1,15 \text{ mg/m}^3$  ĉe 25 gradoj C kaj 101,3 kPa.

Tabelo 2: Maksimumaj koncentritecoj de CO en aero, laŭ kelkaj landaj normoj. Eventuala kroma aŭ alia regulo rilatas al minimumuma ventola spezo.

normo/lando	ekspona daŭro	koncentriteco	kroma/alia regulo
ASHRAE (Usono)	8 h	9 ppm	$7,6 \text{ L/(s m}^2)$
	1 h	35 ppm	
ICBO (Usono)	8 h	50 ppm	
	1 h	200 ppm	
Kanado	8 h	13 ppm	
	1 h	30 ppm	
Finlando	8 h	30 ppm	$2,7 \text{ L/(s m}^2)$
	15 min	75 ppm	
Francio	plafono	200 ppm	$165 \text{ L/(s aŭto)}$
	20 min	100 ppm	
Germanio	30 min aŭ 1h	100 ppm	$1,6\text{-}3,3 \text{ L/(s m}^2)$
Japanio	-	-	$6,4\text{-}7,6 \text{ L/(s m}^2)$
Nederlando	8 h	25 ppm	$3 \text{ L/(s m}^2)$
	30 min	120 ppm	
Britio	8 h	50 ppm	6-10/h
	15 min	300 ppm	

Noto 1a: Krarti kaj Ayari publikigis unuafoje la tabelon en 1999. En februaro 2001 ili republikigis ĝin kun modifoj (en artikolo "Ventilation for enclosed parking garages" por ASHRAE Journal, paĝoj 52-55). Supozeble la aŭtoroj korektis la tabelon en la posta publikigo. Ĉi tie do aperas la informoj el 2001, krom pri Nederlando. Pri la Nederlanda normo la aŭtoroj estis ambaŭfoje malĝuste informitaj.

Noto 2a: La unuo  $\text{L/(s m}^2)$  rilatas al la volumeno de aero interŝanĝita en unu sekundo por unu kvadrata metro da planko areo. La unuo 1/h reprezentas la ventolan indicon; vidu ĝian difinon en la teksto.

## Produkto de poluaĵoj

La kvanto kaj konsisto de poluaĵoj kiujn aŭto produktas kaj igas en aeron, dependas de multaj faktoroj, kiuj povas esti klasifikitaj jene:

\* speco de veturilo laŭ grando, maso, fabrika jaro, eluziĝo, interna konserva kaj distribua sistemo de benzino, kaj eliga sistemo de gasoj;

\* veturaj kondiĉoj, t.e. varma kaj malvarma starto, vetura rapido, ŝarĝo, vojaj kliniĝoj (horizontalaj kaj vertikalaj) kaj ŝofora konduto;

\* karakterizaj de la brulaĵo, laŭ tipo (benzino, dizeloleo ktp), oksigena, benzena kaj plumba enhavo;

\* ĉirkaŭajaj kondiĉoj, t.e. altitudo (aerpremo kaj oksigena koncentriteco), aerhumido kaj temperaturo.

Tiu granda vario respugliĝas en diversaj nombroj kiujn oni rekomendas por kalkuli la kvanton de CO kiun unu veturanta aŭto produktas en garaĝo. La datumoj de ASHRAE estas reprezentitaj en tabelo 3. En Nederlando oni ofte kalkulas kun 0,35 m<sup>3</sup> da CO hore (= 6,71 g/min). En Germana normo mi vidis la nombron 0,6 m<sup>3</sup>/h (= 11,5 g/min). Laŭ Krarti kaj Ayari (1999) oni kalkulas en Francio kun averaĝo inter 28,8 kaj 34,5 g/min. (Por transkalkuloj mi uzis volumenmason de CO de 1,15 kg/m<sup>3</sup>.) La diferenco inter la nombroj mirigas, sed ne klarigeblas de mi.

Per tiuj supre menciitaj nombroj de la hora CO-produkto kaj per la vojlongo kaj la averaĝa vetura rapido oni povas kalkuli kiom da CO unu aŭto eligas por iri de enirejo al parkfako, aŭ inverse.

## Ventola spezo

Per “ventola spezo” oni indikas la kvanton da aero interŝanĝita en tempa unuo. La kvanton da aero oni kutimas esprimi per volumeno.

La minimume bezonata ventola spezo ( $Q_{bez}$  m<sup>3</sup>/s) de la tuta garaĝo dependas de la CO-produkto ( $P$  kg/s), de la akceptita maksimuma CO-koncentriteco ( $C_{maks}$  kg/m<sup>3</sup>) kaj de la CO-koncentriteco ( $C_e$  kg/m<sup>3</sup>) de la enlasata (ekstera) aero, laŭ:

$$Q_{bez} = P / (C_{maks} - C_e).$$

Kutime oni kalkulas  $Q_{bez}$  dufoje: (a) je bazo de la pinta horo kiam plej multe da aŭtoj veturas aŭ vicumas en la garaĝo kaj do  $C_{maks}$  egalas al 30 mg/m<sup>3</sup> (vidu tabelon 1), (b) je bazo de longa periodo (de ekzemple 8 horoj aŭ tuta tago) por kalkuli averaĝan situacion ĉe kiu  $C_{maks}$  egalas al 10 mg/m<sup>3</sup>. Tiel oni havas du nivelojn de la ventola spezo. Ĉe ventola sistemo per kiu la ventola spezo estas reguligata, tiuj du niveloj estas la realigendaj minimuma kaj maksimuma ventolaj spezoj. Ĉe ventola sistemo sen aŭtomata reguligado (ekzemple ĉe natura ventola sistemo) oni certigu ke la alta nivelo almenaŭ realiĝas.

Ofte oni esprimas la ventolan kvanton da aero per “ventola indico” ( $n$ ), difinita per:

$$n = 3600 * Q/V,$$

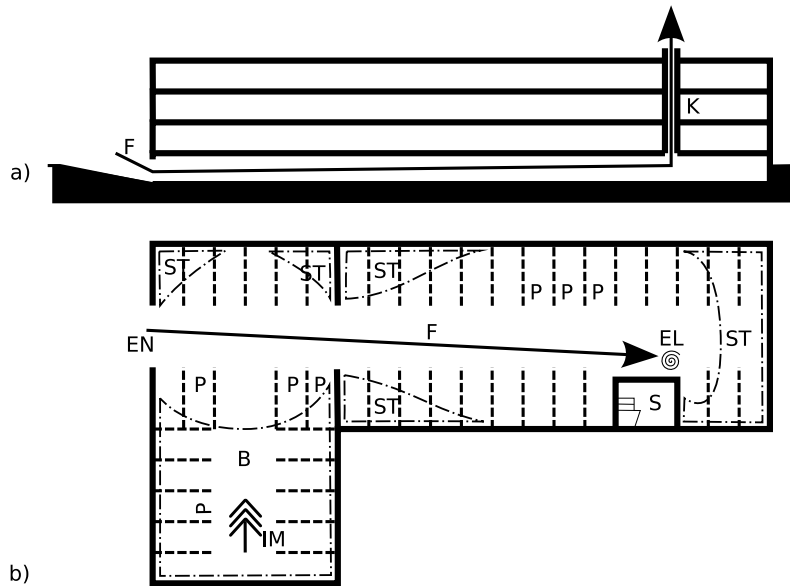
kun  $Q$  = ventola spezo en m<sup>3</sup>/s, kaj  $V$  = volumeno de la garaĝo en m<sup>3</sup>. La unuo de  $n$  estas 1/h. Ventola indico ofte pli facile imageblas per nia menso, ĉar ĝi indikas kiomfoje en horo la tuta volumeno de garaĝo estas interŝanĝita kun ekstera aero.

## Ventola sistemo

Taŭgas ventola sistemo unue se per ĝi oni realigas la minimuman ventolan spezon por la lokalo kiel unu tuto, kaj due se per ĝi oni realigas en ĉiuj unuopaj partoj de la lokalo sufiĉan diluon de poluaĵoj per freŝa aero. La duan kondiĉon mi traktos poste. Oni distingas ventolajn sistemojn en garaĝoj unuflanke laŭ la principo de la kaŭza forto de aermovoj:

Tabelo 3: Produkto de CO en g/min pro aŭtoj kun rapido de 8 km/h (taksoj laŭ ASHRAE en 1995; Krarti kaj Ayari 1999).

sezono	eligo de varma motoro		eligo de malvarma motoro	
	1991	1996	1991	1996
somero (32 gradoj celsiaj)	2.54	1.89	4.27	3.66
vintro (0 gradoj celsiaj)	3.61	3.38	20.74	18.96



Figuro 1: Vertikala sekco (a) kaj plano (b) de ekzempla garaĝo kun meĥanika ventola sistemo. Kelkaj parkfakoj estas indikitaj per P; ŝtuparo per S. Aero estas enlasata tra la apertaĵo en la aŭtopordo (EN) kaj ellasata per ventolilo en la aerdukto (K), pere de orifiko en la plafono (EL). La ĉefa aerfluo estas indikita per granda sago (F); zonoj kun stagnado de aero per strekpunkta linio (ST). Zono B estus granda stagna zono se ne ekzistus impulsventolilo (IM, vidu ankaŭ figuron 2), pro kiu la aero en la zono B miksiĝas, ankaŭ kun la aero en la ĉefa fluo.

- \* natura sistemo: nur per apertaĵoj en fasadoj kaj tegmentoj interna aero estas interŝanĝita kun ekstera aero. La kaŭzaj fortoj estas temperaturaj diferencoj kaj vento;
- \* plenmeĥanika sistemo: nur per ventoliloj aero estas enlasata kaj ellasata respektive. Nur ventoliloj kaŭzas aeron moviĝi en lokalon kaj el la lokalo;
- \* meĥanika sistemo: per apertaĵoj en fasadoj kaj tegmentoj aero estas enlasata kaj per ventoliloj aero estas ellasata, aŭ inverse. Tia sistemo do iel konsistas el duono de natura sistemo kaj el duono de plenmeĥanika sistemo.

Aliflanke oni distingas ilin laŭ ekzisto aŭ ne de meĥanika asisto. Sistemo kun meĥanika asisto estas plenmeĥanika aŭ meĥanika sistemo (aŭ foje eĉ natura sistemo) kun impulsventoliloj per kiuj la internaj tramoviĝoj kaj/aŭ miksiĝoj de aero estas instigitaj. Kutime impulsventoliloj nur estas funkciigataj se mezuritaj koncentritecoj de poluaĵoj tro grandas.

Oni ne distingas ventolajn sistemojn laŭ la alto de garaĝo. Male al ekzemple koncertejoj aŭ aliaj altaj salonoj, la ĝenerala malalto de ĝaraĝoj (2,4 m) kaj la relative horizontala etendiĝo ne permesas specifan kaj konstantan vertikalan fluon de la aero. La aero do fluas precipe horizontale.

## Plenmeĥanikaj kaj meĥanikaj sistemoj

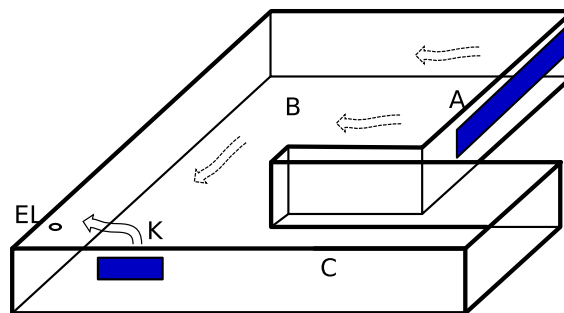
Avantaĝo de plenmeĥanika aŭ meĥanika sistemo estas la certa pri la unua kondiĉo (la realigo de la minimuma ventola spezo), se la tipo kaj speco de la ventoliloj estas ĝuste elektitaj kaj se ili povas ĉiam funkcii sen interrompo de elektro k.s.. Alia avantaĝo estas ke per ventoliloj eblas variigi kaj reguligi la ventolan spezon laŭ la CO-koncentriteco mezurita en pluraj lokoj en la garaĝo.

En meĥanikaj sistemoj oni atentu ke apertaĵoj sufiĉe grandas kaj ĉiam (r) estas malfermitaj, alioĉaze oni riskas ke aera rapido en la apertaĵoj tro grandas aŭ ke la ventoliloj ne venkas la tutan aerpreman diferencan pro la obstrukcoj en la tuta sistemo (t.e. apertaĵoj, volumeno de la garaĝo mem kaj eventualaj orificoj kaj aerduktoj).

Ekzemplo de meĥanika ventola sistemo en garaĝo en kelo de konstruaĵo estas bildigita en figuro 1. Por la dua kondiĉo (la sufiĉa ventolado en ĉiu unuopa parto de la garaĝo) ne ekzistas konkretaj grandoj nek tre klaraj normoj. Oni evaluas la duan kondiĉon precipe laŭ logiko kaj sperto. Ŝosilnocioj ĉirilate estas stagnado kaj kurtfluado. Aero kompreneble fluas laŭ plej facila vojo (la plej mallonga vojo) de la loko kie ĝi estas enlasata, al la loko de ellasado. Ĉe plenmeĥanikaj kaj meĥanikaj sistemoj tiuj lokoj estas ja klare difinitaj. Per la unua takso oni povas imagi ke la plej granda kvanto da aero iras laŭ tiu facila vojo, kaj malgranda parto de la aero iras laŭ la flankoj. Krome, pro siaj "fortoj" kaj turbulo la ĉefa fluo povas ankaŭ kuntreni flankan aeron. Oni riskas



Figuro 2: Impulsventolilo. Tiu ĉi tipo konsistas kvazaŭ el mallonga aerdukto. Meze en ĝi troviĝas la ventolilo kiu suĉas aeron el la garaĝo per la orifiko de unu ekstremaĵo kaj blovas per la orifiko de la alia ekstremaĵo (videbla en la bildo). Fonto: firmao Novenco en retejo brandveilig.com.



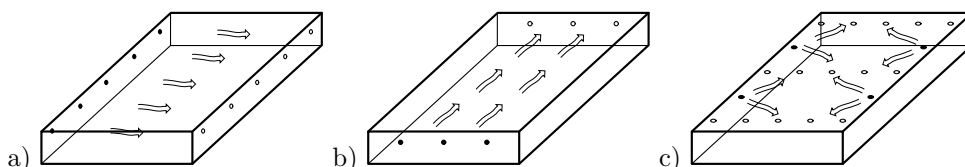
Figuro 3: Oblikva projekcio de lokalo kun meĥanika ventola sistemo. Per ventolilo (EL) aero estas ellasata. Per apertajoj ĉe A kaj K aero estas enlasata. La ventola sistemo malbone funkcias ĉar la ĝenerala tramoviĝo en zono B malgrandas pro la kurtfluo inter K kaj EL, kaj ĉar aero stagnas en zono C pro manko de tieaj apertajoj.

stagnadon de la flankaj lokoj, se ili tro foras de la ĉefa fluo aŭ se ili troviĝas malantaŭ obstakloj (vandoj ktp). Se la ĉefa fluo trairas nur malgrandan parton de la garaĝo, oni parolas pri kurtfluado (komparu kun kurtcikvito en elektraj sistemoj).

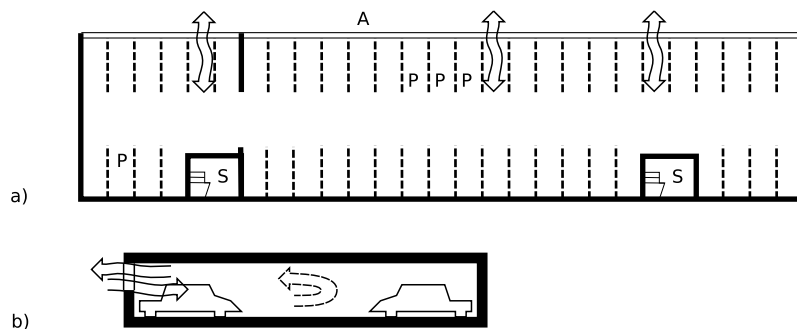
La ekzemplo de figuro 1b montras stagnajn zonojn per ST. Zono B estus granda stagna areo sen kromaj rimedoj. Tie impulsventolilo estas konsilata por miksiĝo de la aero en zono B kun la ĉefa aerfluo de la enlasejo (EN) ĝis la ellasejo (EL).

Per alia ekzemplo, en figuro 3, estas bildigita kurtfluado. La apertajo ĉe K tro proksimas al la punkto EL kie per ventolilo aero estas lasata el la lokalo. Krome la apertajo ĉe K sufiĉe grandas kaj aero povas facile trairi. Tial la fluo de K al EL estas tre multe pli granda ol la fluo de A al EL. Inter K kaj EL okazas do kurtfluo.

La distribuo de enlasejoj kaj ellasejoj do determinas la plenumon de la dua kondiĉo. Idealaĵn distribuojn de ili oni povas realigi nur en simpla plano de garaĝo, ekzemple en preskaŭ rektangulaj planoj (figuro 4). En praktiko tio ofte ne eblas pro diversaj kialoj. Ekzemple la planformo de garaĝo estas “kaprica” ĉar oni konsideras ĝin negrava aŭ restspaco. Aŭ oni ne povas lokigi ventolilon aŭ vertikalan aerdukton je ideala pozicio pro manko de spaco en superaj etaĝoj.



Figuro 4: Tri principaj ventolaj sistemoj laŭ la tramoviĝo de aero, alivorte laŭ la distribuo de enlasejoj (nigraj cirkloj) kaj ellasejoj (blankaj cirkloj) en lokalo: (a) laŭlarĝa ventolado, (b) laŭlonga ventolado kaj (c) disa ventolado.



Figuro 5: Plano (a) kaj vertikala sekco (b) de ekzempla garaĝo kun natura ventolo. Kiel en figuro 1, kelkaj parkfakoj estas indikitaj per P kaj ŝtuparo per S. Aero estas enlasata kaj ellasata tra la apertaĵoj en unu laŭlonga fasado (A).

## Naturaj sistemoj

Avantaĝo de natura sistemo estas ke ĝi ne kostas bontenadon nek (elektran) energion: la interŝanĝo de la interna kaj ekstera aero dependas nur de vento kaj de temperatura diferenco inter la interno kaj ekstero. La dua faktoro estas nomita aerstaka efiko kaj ĝi ankaŭ rezultas al aera fluo tra hejtita kamentubo ekzemple.

Ambaŭ faktoroj estas malfacile takseblaj. Ili povas foje kontraŭefiki. Vento varias multe kaj laŭhazarde. Kaj la interna temperaturo rezultas ne nur de la varmokonservemo de la vandoj ktp kaj ne nur de la temperaturoj de lokaloj kaj grundo kiuj limas garaĝon, sed ankaŭ de la interŝanĝo de la varmo per ventolado kaj do de la ekstera temperaturo. Se la temperatura diferenco pligrandiĝas, la ventola spezo pligrandiĝas, sed sekve la interna temperaturo proksimiĝas al la ekstera temperaturo kaj la ventola spezo malpligrandiĝas. Jen cikla interago. Ĉar ekzaktaj kalkulado per aerodinamika kampa modelo aŭ simulado per ventotunelo malfacilas kaj rabas tempon, oni preferas uzi simplajn ekvaci(ar)on kaj supozojn, per kiu oni taksas la minimumajn areojn de apertaĵoj.

Ekzistas diversaj alpaŝoj al la simpla kalkulo de la ventola spezo, sed mi montras unu ekvacion supozante nur aerstakan efikon kaj certan temperaturan diferencon. La origina ekvacio estas rekomendita de Aynsley k.a. (1977, je paĝo 185) kaj mi ĝin transskribis por unu granda apertaĵo:

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

kun  $A$  = neta aero de la apertaĵo en  $m^2$ ,  $H$  = alto de la apertaĵo en m, kaj  $\Delta T$  = temperatura diferenco en K.

Ekzemple se garaĝo havas plankan areon de  $67,50 * 16 m^2$  (enhavas 50 aŭtojn), alton de 2,4 m kaj unu apertaĵon kun neta areo de  $40 m^2$  kaj alto de 1,0 m, la ventola spezo  $Q$  egalas al  $2,4 m^3/s$  ĉe temperatura diferenco de 2 K. La ventola spezo korespondas al ventola indico de 3,4/h. Se oni povas supozi (aŭ rezoni) ke tio ĉi estas minimumo —ĉar la temperatura diferenco averaĝe pli grandas kaj pro vento estiĝas ĉiam plia ventolado—, oni nur devos kontroli ĉu  $Q$  sufiĉas por realigi  $Q_{bez}$ .

La malneta areo de la apertaĵo inkluziva de krado estas ekzemple  $40/0,6 = 67 m^2$ . (La faktoro 0,6 reprezentas la parton tra kiu aero povas libere flui inter obstrukcoj kaj randoj de la apertaĵaj eroj.) Kun alto de 1,0 m tio signifas ke la plena apertaĵo etendiĝas je la tuta longo de unu fasado de la ekzempla garaĝo (figuro 5). Evidente estas bezonataj grandaj apertaĵoj ĝenerale en nature ventolitaj garaĝoj.

Ĉe naturaj ventolaj sistemoj oni distingas unuflankan kaj duflankan (transan) ventoladon. Figuro 5 montras unuflankan ventoladon. En tia sistemo aero eniras kaj eliras per apertaĵo(j) en unu fasado. En la okazo sen vento, kaj se la interna temperaturo superas la eksteran, aero fluas averaĝe per la supra parto de la apertaĵo el la garaĝo kaj per la malsupra parto en la garaĝon (figuro 5b). Averaĝe en iu distanco de la fasado ambaŭ fluoj ligiĝas en parta recirkulado. La figuro montras tion meze de la garaĝo, sed tiu loko precipe dependas de la vertikala dimensio de la apertaĵoj kaj de la proporcioj de la sekco de la garaĝo. En realo vento, moviĝoj de aŭtoj kaj temperatura diferencoj inter unua kaj aliaj flankoj kaŭzas kromajn moviĝojn de la aero en la garaĝo. En la okazo de vento, ankaŭ la dimensioj de la apertaĵo influas la recirkuladon kaj miksiĝon en la garaĝo: ju pli grandas la apertaĵo des pli profundas la recirkulado kaj miksiĝo. Bedaŭrinde mankas ekzaktaj scioj pri tiuj fenomenoj. Do oni povas malfacile taksu ĉu la dua kondiĉo (la sufiĉa ventolado en ĉiu unuopa parto de la garaĝo) estas sufiĉe realigata ĉe unuflanka natura ventolado en konkreta projekto. (Ĉirilate

ne ekzistas konkreta normo en Nederlando.)

Duflanka ventolado ideale estas laŭlarĝa aŭ laŭlonga ventolado (figuroj 4a kaj 4b). Ĝin oni preferas, ĉar oni scias ke eĉ malmulta vento kaŭzas trafluon de unu fasado al la transa fasado. Tia sistemo do pli certe bone funkcias. Krom tiu ĉi avantaĝo kompare al unuflanka ventolado, apertajoj povas malpli grandi (malpli granda  $A$ ) aŭ malpli alti (malpli granda  $H$ ). Por unuagrada takso oni povas uzi la saman supre menciitan formulon pri  $Q$ , sed la apertaj(ar)o en unu fasado nur devas “servi” duonon de la garaĝo (alivorte efiki por duono de  $Q_{bez}$ ), ĉe la supozo de pura aerstaka efiko.

## Konkludo

En inĝeniera praktiko oni ofte renkontas malzorgemon aŭ malatenton pri ventolado de garaĝoj. Projektogvidantoj kaj arĥitektoj ekzemple pensas ke en la kelo aŭ duonkelo sub loĝdomo oni povas facile projekti mezgrandan garaĝon kaj sekve subtaksas la necesajn ventolajn rimedojn. En tiu ĉi artikolo mi traktis unu el la konsideroj, nome tiun pri la koncentritecoj de malsanigaj substancoj en la aero en garaĝo. La kalkulo de la minimume realigenda ventola spezo baziĝas sur la maksimume akceptita koncentriteco de karbona monoksido. La celo de la ventola sistemo estas certigi tiun minimuman ventolan spezon, dum stagnado kaj kurtfluado de la interna aero estu evititaj.

El ĉio ĉi estas unue konkludate ke la zorgo pri la bona ventolado kompreneble faciligis se benzinmotoroj aŭ dizeloj malpli eligus poluaĵojn aŭ des pli se aŭtoj antaŭenmoviĝas per elektro aŭ hidrogeno. Due, la rolo de la arĥitekto ne estu subtaksata. Per bona dislokigo de parkfakoj kaj per simpla, mallonga itinero ene de garaĝo oni povas limigi la veturadon kaj do produktadon de poluaĵoj. Plue la formo de garaĝo kaj la bona dislokigo de apertajoj kaj orifitacoj por en- kaj ellasado de aero gravegas por taŭga tramoviĝo de la aero en la garaĝo. Foje, kun iom pli da peno pri la konceptado de la formo kaj lokigo de garaĝo rilate al la fasadoj de la tuta konstruaĵo, arĥitekto povus ebligi naturan ventoladon, kiu ŝparus meĥanikajn rimedojn kaj monon.

## Literaturo

R. M. Aynsley, W. Melbourne & B. J. Vickery (1977). “Architectural aerodynamics”, London: Applied Science Publishers.

M. Krarti & A. Ayari (1999). “Overview of Existing Regulations for Ventilation System Requirements for Enclosed Vehicular Parking Garages”, en: “ASHRAE Transactions”, vol. 105, parto 2, paĝoj 18-26.

MOS (1979). “Environmental Health Criteria 13: Carbon Monoxide”, Genevo: Monda Organizaĵo pri Sano.

MOS (1999). “Environmental Health Criteria 213: Carbon Monoxide (second edition)”, Genevo: Monda Organizaĵo pri Sano, [http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc\\_213/en/index.html](http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_213/en/index.html), republikigaĵo kun la korektoj de la 30a de novembro 2004.

## Noto pri la aŭtoro

Fabien van Mook (1971) finstudis en la fako de konstrufiziko en 1996 en la Tehnologia Universitato de Eindhoven (NL). De 1996 ĝis 2003 en la sama universitato li esploris la kvantigon de pluvo sur fasadoj per mezurado kaj komputila simulado. Aktuale li laboras en konsila inĝeniera buroo pri konstrufiziko, kie li traktas precipe ventoladon kaj fajron en garaĝoj en loĝdomoj. Fabien esperantistiĝis en 1992 kaj aktivis pri konstruista terminologio ene de TAKE ekde 1994.