

# POŽARA V MONTBLANŠKEM IN TURSKEM PREDORU

## Fires in the Mont Blanc and Tauern Tunnels

Karl Pucher\* UDK 624.19:614.84

### Povzetek

Ko govorimo o varnosti v predorih, nehote pomislimo na požar v montblanškem predoru, na ogenj v turskem predoru in seveda na grozljivo katastrofo v kaprunskem predoru Kitzsteinhorn. Če prebiramo senzacionalistične naslove v časopisih, npr. Vsak drugi predor v Avstriji je nevaren, ki so se pojavljali pred božičem leta 2000, potem lahko razumemo, da se ljudje, ki ne poznajo problematike, vozijo skozi predore z zelo neprijetnim občutkom. Zato se poraja vprašanje, ali je cestni predor nevarnejši kot odprta cesta. Odgovor je pomirjujoč. Obstaja kar nekaj raziskav o varnosti v predorih in vse so prišle do enakega rezultata: možnost, da se zgodi nesreča, je na odprti cesti bistveno večja kot v predoru (Haack, 2000). To je na prvi pogled presenetljivo, vendar je treba upoštevati, da v predoru ni ogrožujočih vremenskih vplivov, kot so močan stranski veter, dež, megla, sneženje in poledica. Poleg tega velja v predoru omejitev hitrosti, in sicer 80 km/h, če promet poteka dvosmerno, in 100 km/h, če promet poteka enosmerno. Poleg tega je pri dvosmernem prometu prepovedano prehitevanje. Sicer pa večina voznikov v predoru načeloma vozi nekoliko previdneje kot na odprti cesti.

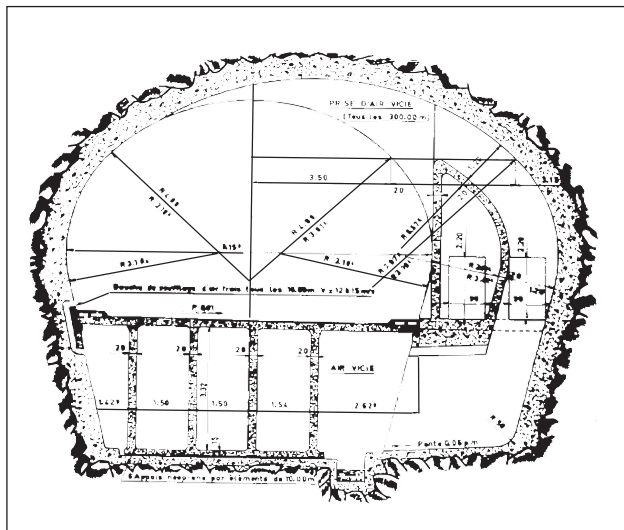
Niti na odprti cesti niti v predorih ni mogoče v celoti preprečiti nesreč. Pri vsem, kar človek ustvari, obstaja določeno tveganje, pa naj gre za vozilo, letalo, most ali predor. Na srečo se večina nesreč, tudi požarov v predorih, konča brez smrtnih žrtev in brez večje materialne škode. Do katastrofalnih požarov pride le redko in še to največkrat zaradi spleta nesrečnih okoliščin.

### Abstract

When speaking of safety in tunnels, one automatically recalls the fires in the Mont Blanc and Tauern tunnels and, of course, the dreadful disaster in the Kitzsteinhorn tunnel in Kaprun. After reading such sensational newspaper titles as Every Second Tunnel in Austria is Dangerous, which appeared before the Christmas of 2000, it is easy to understand why persons who are unfamiliar with the problem feel very uncomfortable driving through tunnels. The question has been raised whether a road tunnel is more dangerous than an open road. The answer is reassuring. Several studies have been conducted on safety in road tunnels and all have arrived at the same conclusion: the probability of an accident occurring is considerably greater on the open road than in a tunnel. This may seem surprising at first, but one should not forget that a tunnel is not exposed to unfavourable weather conditions such as strong side winds, rain, fog, snowfall and sleet. Moreover, the speed limit is set at 80 km/h for two-way tunnels and 100 km/h for one-way tunnels, and passing is prohibited in two-way tunnels. Most drivers normally drive with more caution in tunnels than on the open road. Yet accidents cannot be fully prevented neither on open roads nor in tunnels. All that is man-made carries a certain risk, whether this be a vehicle, aircraft, bridge or tunnel. Fortunately, the majority of accidents, including fires in tunnels, do not claim human lives and do not result in major damage. Catastrophic fires are rare and mostly occur as the result of a series of unfortunate circumstances.

## Požar v montblanškem predoru

Potem ko je od odprtja leta 1965 približno 40 milijonov vozil brez večjih težav prepeljalo skozi 11,6 km dolg predor, se je 24. marca 1999 zgodila huda nesreča.



Slika 1. Prerez montblanškega predora  
Figure 1. Cross-section of Mont Blanc tunnel

Meja med Francijo in Italijo je približno na sredini predora (Revue ...). Promet v predoru je dvosmeren. Ker je nadkritje ponekod debelo skoraj 2500 m, jaška ni bilo mogoče zgraditi. Celotno prezračevanje zato poteka s portalov. Predor ima le dva prezračevalna odseka. Eno polovico predora prezračujejo Francozi, drugo pa Italijani. Svež zrak je v predor speljan pod voziščem, od tu pa se vsakih 10 m skozi odprtine dovaja v vozni prostor (slika 1).

Količina svežega zraka, ki ga dovajajo na km predora, znaša 110 m<sup>3</sup>/s. Odpadni zrak, in če pride do požara, tudi dim odesavajo vsakih 300 m na stropu voznega prostora. Količina odpadnega zraka, ki ga odesajajo na vsak km predora, pa je zelo majhna, približno 35 m<sup>3</sup>/s. Ker dovajajo bistveno več svežega zraka, kot odvedejo odpadnega, vsega dovedenega zraka ne morejo odesati skozi kanal za odpadni zrak. Večji del odpadnega zraka se zato ob normalnem obratovanju širi od sredine skozi vozni prostor in nato skozi portal v ozračje.

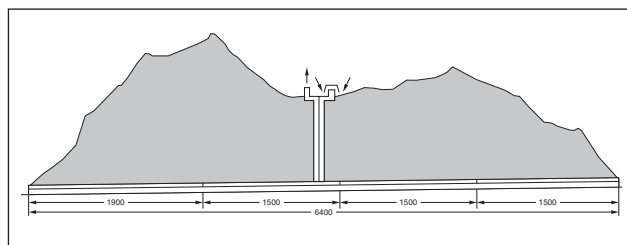
24. marca 1999 je tovornjak hladilnik, naložen z 9 tonami margarine in 12 tonami moke, peljal iz Francije v Italijo (Rapport ...). Kilometer čez sredino predora so nasproti vozeči vozniki opazili, da se iz vozila kadi. Voznika so na to opozarjali s svetlobnimi signali. Voznik je ustavil in kmalu za tem je celotno vozilo zajel ogenj. Dim se je najprej širil proti Italiji. Opozorjena je bila prezračevalna centrala v Italiji, ventilatorje za dovajanje svežega zraka so preklpili na najvišjo stopnjo zmogljivosti. Namen je bil sicer dober, toda v tem položaju je bila to napačna odločitev. Požar so

\* dr., univ. prof. v pokoju, Inštitut za motorje z notranjim zgorevanjem in termodinamiko, Tehniška univerza Gradec, Inffeldgasse 25, A-8010 Gradec

zaznali tudi na francoski strani. Ventilatorje za dovajanje svežega zraka so izklopili, ventilatorje za odvajanje odpadnega zraka pa preklopili na najvišjo stopnjo zmogljivosti. Ker so ventilatorji za dovajanje svežega zraka na italijanski strani delovali z največjo zmogljivostjo, je prišlo do močnega vzdolžnega toka iz Italije proti Franciji. Dim je zapolnil celoten presek predora in se kot prečni stena pomikal proti francoskemu portalu. Večino potnikov v njih je dim očitno popolnoma presenetil, nevarnosti niso prepoznali in so ostali v vozilih. V vozilih je umrlo 29 oseb, 9 oseb je umrlo zaradi požara oz. zato, ker jim zaščitni prostori niso zagotavljali dovolj varnosti, eden od gasilcev je umrl pri gašenju. Zgorelo je 23 tovornih in 10 osebnih vozil.

## Požar v turskem predoru

Le dobra dva meseca po požaru v montblanškem predoru je 29. maja 1999 prišlo do katastrofalnega požara v približno 6,4 km dolgem turskem predoru v Avstriji.

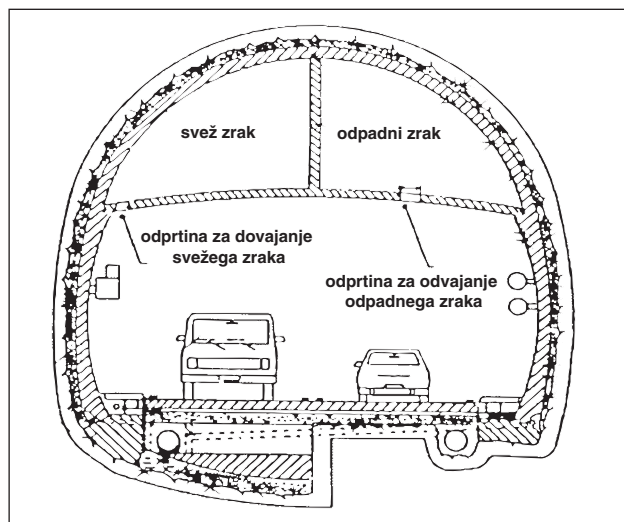


Slika 2. Vzdolžni prerez turskega predora  
Figure 2. Longitudinal cross-section of Tauern tunnel

Turski predor leži na nadmorski višini okoli 1300 m in je najdaljši predor na cesti A 10 od Salzburga proti Beljaku. Predvideni sta dve cevi, trenutno pa uporabljajo le eno, v kateri promet poteka dvosmerno. Drugo cev bodo končali v približno sedmih letih.

Predor ima jašek in štiri prezračevalne odseke. Zunanja prezračevalna odseka prezračujejo s severnega oz. južnega portala, notranja pa po jašku. Slika 3 prikazuje prečni prerez predora (Pucher, 1999).

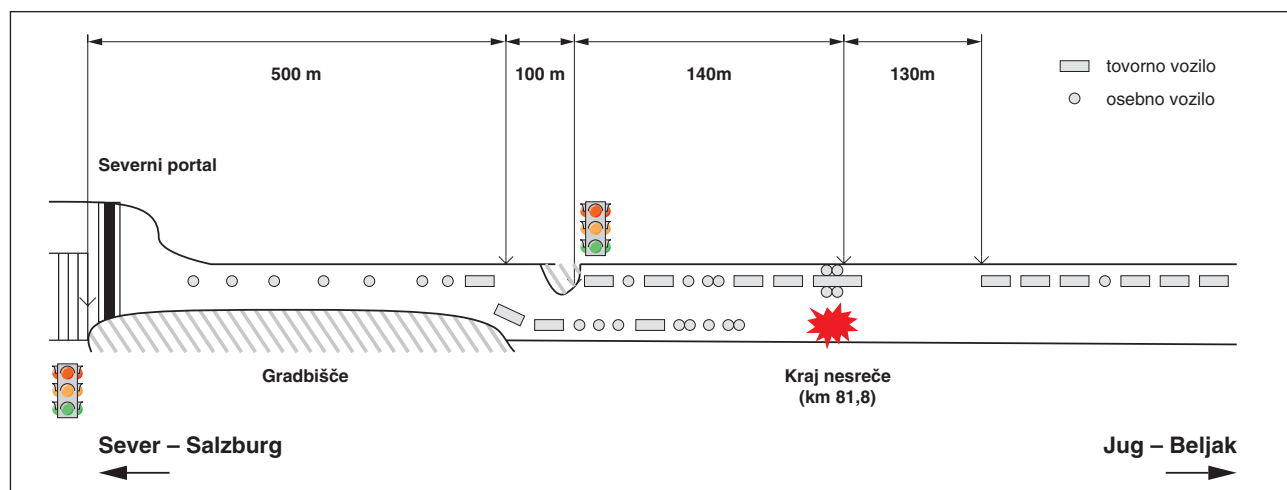
Zračna kanala ležita nad spuščanim stropom. Ko se peljete skozi predor, vidite le spuščeni strop. Vsakih 6 m svež zrak iz kanala dovajajo v vozni prostor, odpadni zrak pa vsakih 6 m sesajo v odvodni kanal. Na km predora lahko dovedejo 196 m<sup>3</sup>/s, odvedejo pa približno 125 m<sup>3</sup>/s odpadnega zraka. Količina odsesanega odpadnega zraka je skoraj štirikrat večja kot v montblanškem predoru.



Slika 3. Prečni prerez predora  
Figure 3. Transversal cross-section of Tauern tunnel

Okoli 5. ure zjutraj je prišlo v predoru, približno 750 m od severnega portala, do grozljivega naleta vozil. Slika 4 shematično prikazuje kraj požara in udeležena vozila.

Zaradi gradbenih del je bil en vozni pas zaprt, tako da je promet od severnega portala v dolžini 500 m potekal le po enem voznem pasu. Tako pred severnim portalom kot tudi pred krajem, kjer je promet potekal po enem voznem pasu, sta bila postavljena semaforja. Na semaforju pri portalu in na semaforju v predoru je gorela rdeča luč. Vozila, ki so se od juga bližala severnemu portalu, so se morala pred semaforjem v predoru ustaviti in nastala je kolona. Na koncu kolone se je ustavilo tovorno vozilo, naloženo s pločevinkami laka. Za njim so se ustavila štiri osebna vozila. Na semaforju pred severnim portalom se je prižgala zelena luč in vozila, namenjena proti jugu, so zapeljala v predor. Ravno ko so se prva proti jugu vozeča vozila bližala s pločevinkami naloženemu tovornemu vozilu, se je drugo tovorno vozilo z veliko hitrostjo zaletelo v štiri stoječa osebna vozila, jih zmečkalo in jih porinilo pod tovorno vozilo, naloženo s pločevinkami laka. Zaradi velikanske sile trčenja so bila štiri osebna vozila popolnoma stisnjena, tovornjaka pa sta z odbijačema zadela drug drugega. Pločevinke so letele po zraku in eksplodirale. Očitno so se ob trku v osebnih vozilih poškodovali rezervoarji za gorivo, ki se je vnelo, in izbruhnil je velik požar.



Slika 4. Središče požara v turskem predoru  
Figure 4. Origin of fire in Tauern tunnel

Sistem za javljanje požara je ogenj zelo hitro odkril in določil njegovo žarišče. Prezračevalni sistem se je samodejno preklapljal na požarno delovanje. Dovod svežega zraka je bil skoraj ustavljen, ventilatorji za odvajanje odpadnega zraka so bili preklapljeni na najvišjo stopnjo zmogljivosti. Tako je bilo mogoče v približno 1800 m dolgem prezračevalnem odseku v odvodni kanal odsesati približno  $1,8 \times 125 = 230 \text{ m}^3/\text{s}$  odpadnega zraka. Prišlo je do plastenja dima, vroč dim pod stropom predora je odtekal proč od ognja, svež zrak pa se je nad vozno površino gibal proti ognju. Na vozišču je nastalo območje brez dima, po katerem so se lahko uporabniki predora rešili s kraja požara. Tako stanje je trajalo 15 do 20 sekund in v tem času se je rešilo približno 80 oseb, deloma z vozili, deloma peš.

Pri naletu vozil je takoj umrlo 8 oseb. Tri so bile najdene mrtve v vozilu. Posebej tragično pri tem je, da je nek moški že ušel z nevarnega območja, potem pa je spet stekel k svojemu vozilu, da bi iz njega nekaj vzel. Ni znano, ali je prišel do svojega vozila. Našli so ga v drugem vozilu skupaj z dvema drugima mrtvima osebama, ki iz nepojasnjenih razlogov nista zapustili svojega novega vozila.

Gasilci so v predor prišli z južnega portala in so lahko najprej pogasili vozila južno od kraja požara. Mimo kraja nesreče jim je uspelo prodreti proti severu do tovornega vozila, naloženega s sadjem. Potem so pred seboj zagledali cisterno. Ker so domnevali, da je v cisterni gorivo in je zato obstajala nevarnost, da pride do eksplozije, v kateri bi najverjetneje vsi gasilci izgubili življenje, so morali končati z gašenjem in se umakniti na jug. Po koncu požara se je izkazalo, da v cisterni ni bilo goriva, temveč le nerljiva snov.

V požaru v turskem predoru je umrlo 12 oseb, 8 od teh zaradi naleta vozila, 3 osebe zato, ker niso zapustile vozila, ena je bila najdena v bližini niše za klic v sili. 16 tovornih vozil in 24 osebnih vozil je popolnoma zgorelo. Požar je trajal 15 ur. Prezračevalni sistem je 15 ur deloval brezhibno.

## Ukrepi za večjo varnost v predoru

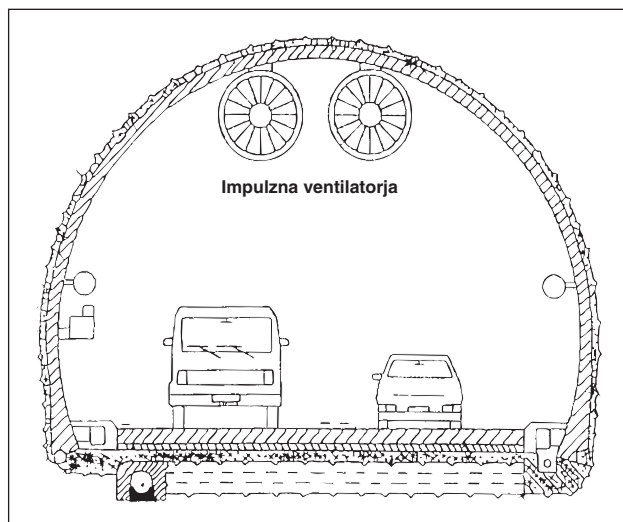
Ukrep, ki ob požaru gotovo najbolj poveča varnost uporabnikov predora, je prezračevalna naprava (Pucher, Die Belüftung ...). Načelno je treba razlikovati med predori, v katerih promet poteka enosmerno, in predori, v katerih promet poteka dvosmerno.

### Vzdolžno prezračevanje pri enosmernem prometu

Predori, v katerih poteka promet enosmerno, so večinoma dvocevni. Vsa vozila v eni cevi vozijo v isti smeri. Zaradi premikanja vozil svež zrak ob vhodnem portalu doteka v predor in se premika vzdolžno skozi vozni prostor (»batni učinek«). Izpušni plini se pri tem razredčijo in nastali odpadni zrak se pri izhodnem portalu dvigne v ozračje. Z impulznimi ventilatorji, nameščenimi na stropu predora, lahko vzdolžni tok še okrepiamo. Ker zrak dovajamo in odvajamo v vzdolžni smeri predora, takšen prezračevalni sistem imenujemo vzdolžno prezračevanje (slika 5).

Če pride do požara v predoru z enosmernim prometom, lahko vozila, ki so med krajem požara in izhodnim portalom, večinoma neovirano odpeljejo iz predora (slika 6).

Vozila, ki se pomikajo proti kraju požara, se morajo ustaviti, ker pa še vedno obstaja vzdolžni tok v smeri vožnje, se dim medtem od vozil pomika v izpraznjeni del predora. To za stoječa vozila običajno ni nevarno. Ker sta poleg tega cevi prečno povezani, se lahko uporabniki predora v sili rešijo tudi v drugo cev. Takoj ko v eni od cevi odkrijemo požar, moramo vhode v obe cevi predora zapreti za



Slika 5. Prečni prerez pri vzdolžnem prezračevanju  
Figure 5. Transversal cross-section at longitudinal ventilation

promet. S tem med drugim zagotovimo, da lahko intervencijska vozila zelo hitro pridejo do kraja požara. Poleg tega moramo poskrbeti za to, da dim ne pride v cev, ki je požar ni prizadel. Vzdolžno prezračevanje lahko pod temi pogoji pri enosmernem prometu uporabljamo tudi za dolge predore.

### Vzdolžno prezračevanje pri dvosmernem prometu

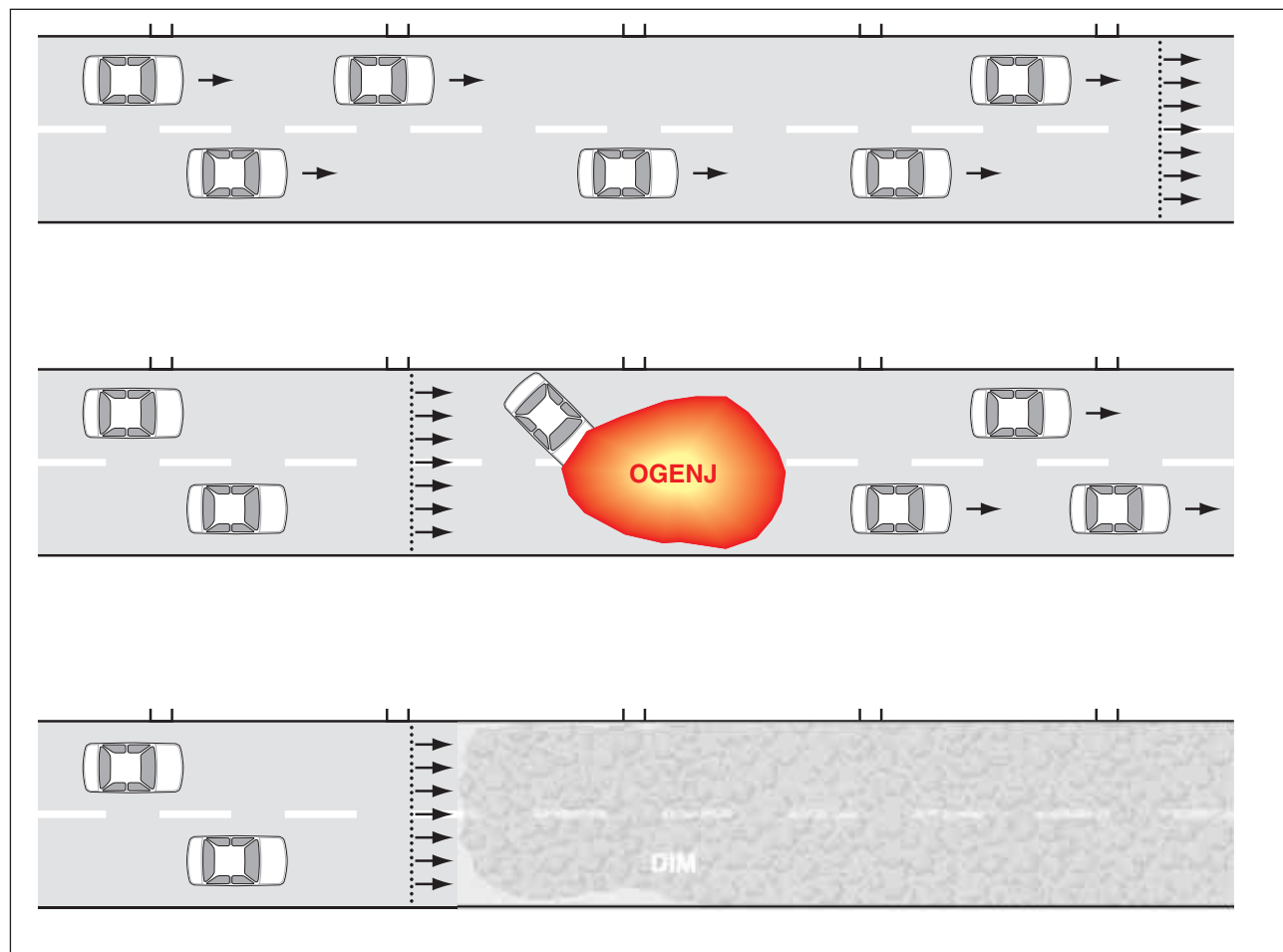
Povsem drugačne so razmere v predorski cevi, v kateri poteka promet dvosmerno. Zračni tok, ki ga pri tem ustvarjajo premikajoča se vozila, se skoraj izniči. Vzdolžno prezračevanje je možno samo z impulznimi ventilatorji. Če pride v predoru z dvosmernim prometom do požara, lahko vozila, ki vozijo od kraja požara proti izhodnemu portalu, zapustijo predor, vozila, ki vozijo proti požaru, pa se morajo ustaviti. Ker po obeh vozniških pasovih vozila vozijo proti požaru, stojijo vozila na obeh straneh kraja požara (slika 7).

Ne glede na to, kam se z impulznimi ventilatorji usmerja dim, je treba računati s tem, da so vozila in potniki v veliki nevarnosti. Predori z dvosmernim prometom, ki so opremljeni z impulznimi ventilatorji za vzdolžno prezračevanje, zato ne smejo biti predolgi, ali pa morajo imeti vzdolž predora enakomerno porazdeljene izhode za umik na varno (reševalni rovi).

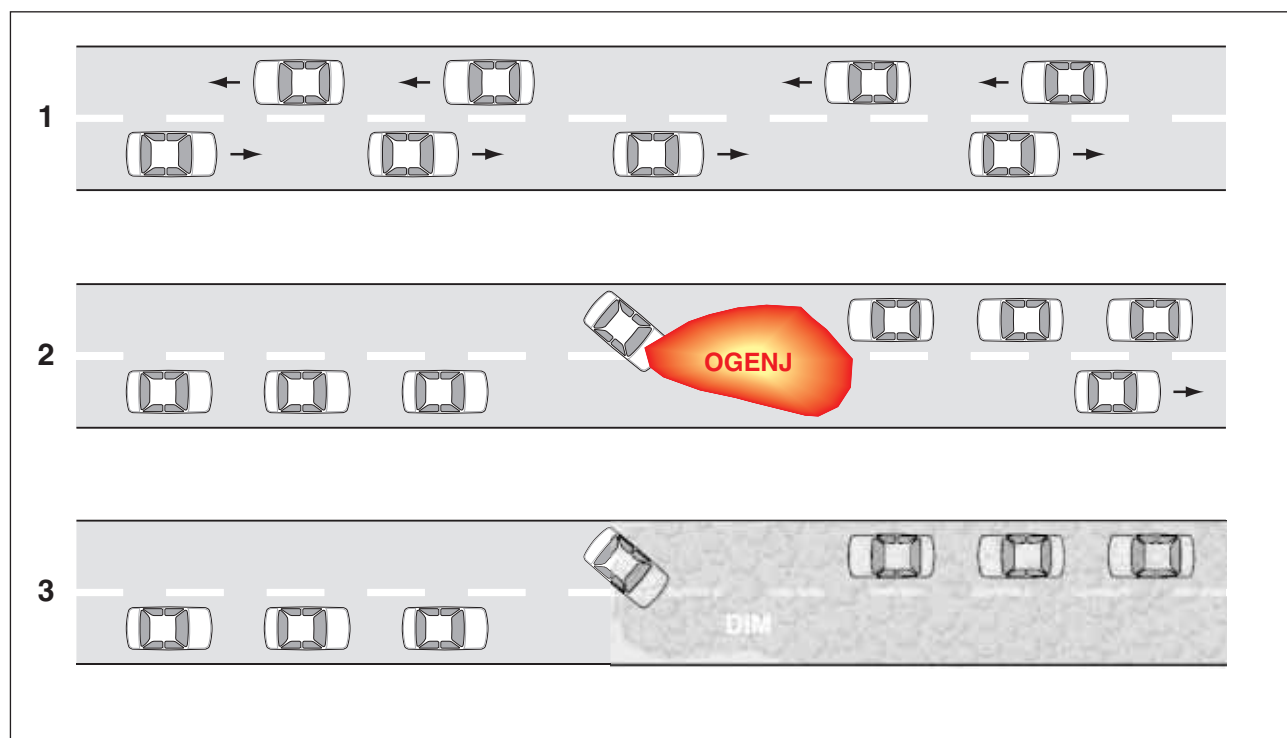
Pri predorih, v katerih je vzdolžna hitrost zraka pri normalnem obratovanju večja od  $1 \text{ m/s}$ , je treba po odkritju požara in preklopu na požarni program takoj začeti upočasnjevati vzdolžno hitrost zraka. Vkloniti je treba le tiste impulzne ventilatorje, ki so daleč proč od žarišča požara, da se prepreči močno vrtnčenje dima. Za vsak predor je torej treba ob upoštevanju položaja žarišča požara sestaviti ustrezen računalniški program, ki omogoča najugodnejše upočasnjevanje dimnega toka.

### Prečno prezračevanje pri požaru

Varnost v predoru z dvosmernim prometom lahko bistveno izboljšamo tako, da dim pri požaru odvajamo skozi poseben kanal. V ta namen v zgornjem delu voznega prostora dodamo spuščeni strop, tako nastali prostor z vertikalno pregradno steno razdelimo na dva dela. Pri normalnem delovanju velik vzdolžni ventilator potiska svež zrak v dovodni kanal, od tu pa ga vsakih 6 m skozi odprtine dovajamo v predor. Odpadni zrak – prav tako prečno na vzdolžno os predora – odsesavamo vsakih 50 do 100 m skozi



Slika 6. V predoru, v katerem poteka promet enosmerno, se dim lahko odvede v tisti del predora, v katerem ni vozil  
 Figure 6. In a one-way tunnel, smoke may be directed to the part of the tunnel where there are no vehicles



Slika 7. V predoru, v katerem poteka promet dvosmerno, dima ni mogoče usmeriti v del predora, v katerem ni vozil  
 Figure 7. In two-way tunnels, smoke cannot be directed to the part of the tunnel where there are no vehicles



velike odvodne lopute iz predora v odvodni kanal, od tu pa ga z vzdolžnim ventilatorjem potiskamo v ozračje. Ker sveži in odpadni zrak dovajamo oziroma odvajamo prečno na vzdolžno os predora, ta prezračevalni sistem imenujemo prečno prezračevanje. Pri normalnem obratovanju so lopute nastavljene tako, da vsaka vsrkava enako količino odpadnega zraka iz predora.

Če nastane v predoru požar, sistem za javljanje požara samodejno zazna ogenj in določi njegov položaj. Ker z napravami za merjenje vzdolžne hitrosti zraka določimo tudi velikost in smer vzdolžne hitrosti na kraju požara, lahko ugotovimo, v katero smer se širi dim. Zato loputo, ki je v smeri gibanja dima najbližja kraju požara, povsem odpremo, vse preostale lopute v tem prezračevalnem delu pa zapremo. Na ta način lahko dim v neposredni bližini kraja požara izsesamo iz predora v odvodni kanal in tako preprečimo, da bi se dim širil naprej po predoru. Slika 8 kaže eno izmed takih loput pri proizvajalcu.



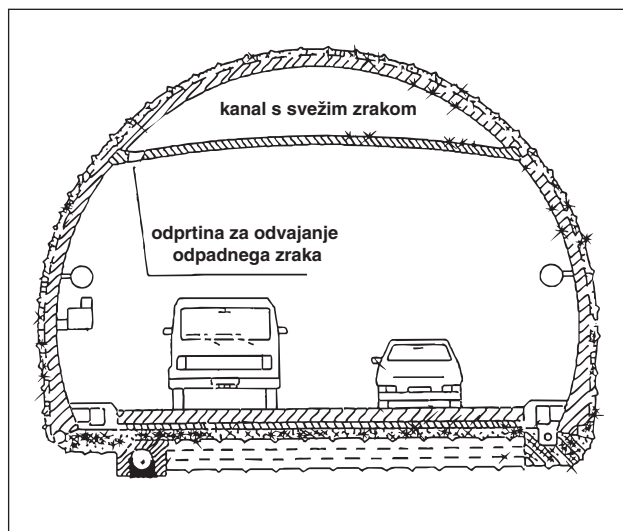
Slika 8. Loputa pri proizvajalcu  
Figure 8. Ventilation flap in manufacturer's facility

## Povratno polprečno prezračevanje

Po požarih v montblanškem in v turskem predoru so bili varnostno pregledani tudi sistemi za polprečno prezračevanje. Končna ugotovitev je bila, da se povratno polprečno prezračevanje, ki se je uporabljalo do zdaj (slika 9), ne sme več uporabljati, ker je čas, ki je potreben za preklon z dovajanja svežega zraka na odvajanje odpadnega zraka, predolg. V prihodnje naj bi izdelovali le sisteme za povratno polprečno prezračevanje z velikimi odvodnimi loputami. Pri povratnem polprečnem prezračevanju je nad voznim prostorom le en odvodni kanal. Svež zrak priteka v predor skozi oba portala.

Pri povratnem polprečnem prezračevanju že ob normalnem obratovanju odpadni zrak iz voznega prostora skozi velike odzračevalne lopute odvajamo v kanal nad spuščnim stropom ter ga nato z odvodnim ventilatorjem potiskamo v ozračje, medtem ko svež zrak pri obeh portalih priteka v predor. Po potrebi lahko tudi ta prezračevalni sistem preklonimo na dovajanje svežega zraka, pri tem pa lahko dovajamo manj svežega zraka, kot odvajamo odpadnega. Pri polprečnem prezračevanju so v predoru večinoma nameščeni impulzni ventilatorji, ki po potrebi ustvarjajo rahel vzdolžni tok tudi v sredinskem delu predora in s tem lahko preprečujejo nastajanje zamaškov z veliko koncentracijo odpadnega zraka.

Velika prednost tega prezračevalnega sistema je v tem, da dim deloma že odvajamo, še preden sistem za javljanje požarov odkrije ogenj. Ko je požar odkrit in je določen njegov položaj, lahko tako kot pri prečnem prezračevanju na



Slika 9. Prečni prerez pri polprečnem prezračevanju  
Figure 9. Transversal cross-section and semi-transversal ventilation

območju požara odpremo eno, dve ali tri lopute, vse druge pa zapremo, s čimer dosežemo koncentrirano odvajanje dima. Impulzne ventilatorje lahko uporabimo tudi za to, da vzdolžno hitrost čez kraj požara zmanjšamo pod 1 m/s.

## Varnost v predorih, daljših od 500 m

V avstrijskih predorih se izvajajo različni varnostni ukrepi:

1. gradbeni ukrepi:
  - odstavní prostor, če pride do okvar vozil (vsakih 250 m),
  - požarne niše (vsakih 250 m, opremljene z ročnim gasilnim aparatom; ko se aparat sname, se samodejno obvesti centrala),
  - hidranti (vsakih 250 m),
  - poti za reševanje:
    - cev z dvosmernim prometom in vzdolžnim prezračevanjem: vsakih 800 m,
    - cev z dvosmernim prometom in prečnim prezračevanjem,
    - dve cevi z enosmernim prometom: približno vsakih 500 m;
2. nadzor nad kakovostjo zraka:
  - sistem za odkrivanje in določanje položaja požara,
  - merjenje koncentracije CO,
  - merjenje koncentracije delcev v zraku (vidljivost),
  - merjenje vzdolžne hitrosti;
3. nadzor nad prometom:
  - videonadzor nad celotnim voznim prostorom,
  - štetje vozil glede na smer in vrsto vozila (osebna, tovarna vozila),
  - merjenje hitrosti;
4. naprave za klic v sili in naprave za obveščanje:
  - niše za klic v sili, ki imajo neposredno zvezo s centralo za upravljanje predora,
  - ozvočenje (zvočniki).

## Ravnanje pri vožnji skozi predor

Za varnost v predoru je pomembno tudi pravo ravnanje uporabnikov predora, kadar pride do požara. Znano je, da je človek velik dejavnik tveganja. Gotovo je treba že v

avtošoli opozoriti na to, kako pravilno voziti skozi predor in kako ravnati, če se sproži požar. Najpomembnejše so te točke:

#### ***Vožnja skozi predor***

- Vozite previdno in upoštevajte omejitve hitrosti (svetlobni signali ob vstopu v predor so namenjeni prav temu).
- Upoštevajte varnostno razdaljo do vozila pred seboj.
- Prižgite luči in vklopite radio (če pride v predoru do nesreče, dobite navodila za nadaljnje ravnanje po radiu).

#### ***Požar v predoru***

- Ustavite se čim dlje od kraja požara, ohranite varnostno razdaljo do vozila pred seboj.
- Če opazite, da se vašemu vozilu približuje črn dim, **takoj** zapustite vozilo (ugasnite motor, ključ pustite v ključavnici za vžig).
- Poskusite doseči pločnik in bežite pred dimom proti portalu, po možnosti v nasprotni smeri, kot je smer zračnega oziroma dimnega toka.

## **Sklepne misli**

Najpomembnejše izsledke je mogoče povzeti v petih točkah:

- možnost nesreče je na odprti cesti bistveno večja kot v cestnem predoru,
- daljši predori morajo biti vedno dvocevni, tako da lahko v vsaki cevi promet poteka enosmerno,

- če pri daljšem predoru najprej zgradimo eno cev, v kateri poteka promet dvosmerno, moramo na območju požara poskrbeti za koncentrirano odvajanje dima s pomočjo odvodnih loput,
- v predoru je zelo veliko naprav in objektov, ki zagotavljajo varnost,
- pri vožnji skozi predor pazite na to, da imate vedno dovolj veliko varnostno razdaljo do vozila pred seboj.

#### **Literatura:**

1. Prof. dr. inž. Alfred Haack, Aktuelle Sicherheitsfragen in Tunnel, Tunnel 5/2000.
2. REVUE GENERALE DES ROUTES ET DES AERODROMES, Numero 427, december 1967, Tunnel Routier du Mont Blanc.
3. Rapport de la mission administratif d'enquete technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc, Juin 1999, Ministere de l'Equipement des Transports et du Logement.
4. Univ. prof. dr. Karl Pucher, Fire in the Tauertunnel, International Tunnel Fire & Safety Conference, Rotterdam, December 1999, Brisk Events, New Technology Events.
5. Univ. prof. dr. Karl Pucher, Die Belüftung eines Tunnels im Brandfall, pred izidom pri Zveznem ministrstvu za promet, inovacije in tehnologijo.