

OPERATIVNA STRATEGIJA UZDUŽNE REVERZIBILNE VENTILACIJE TUNELA U UVJETIMA POŽARA

Doc*. dr. sc. Miodrag Drakulić, dipl. ing. stroj.

CTP Projekt d.o.o., Zagreb

*Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Općenito o sustavu uzdužne ventilacije

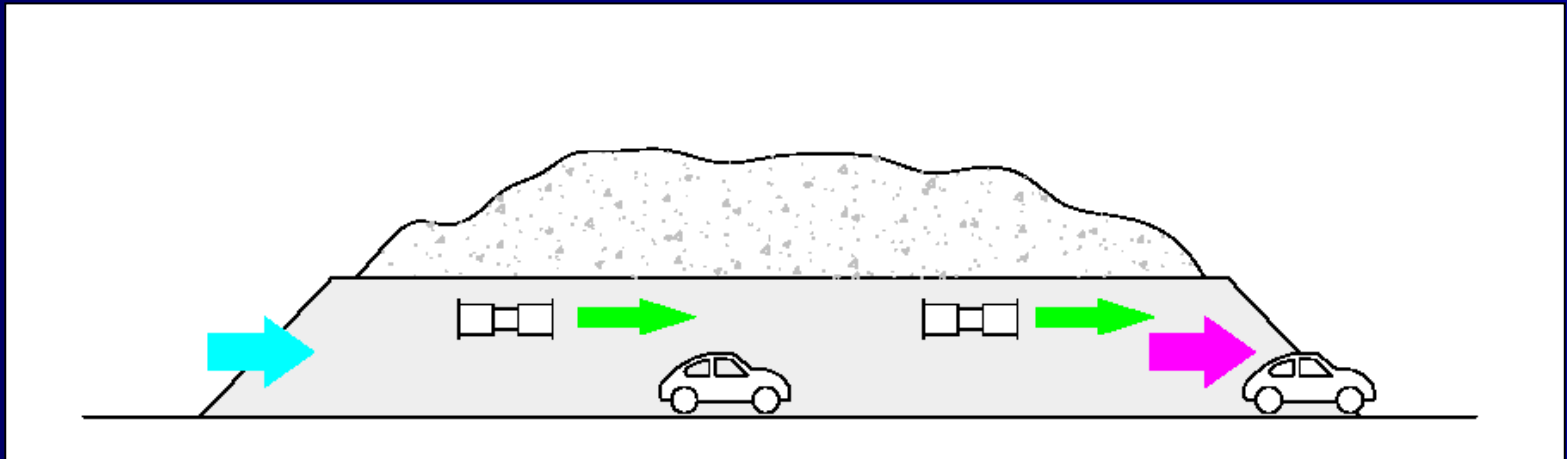
- Temeljna karakteristika ovog tipa ventilacije je da se dominantno strujanje zraka u tunelu, uvjetovano radom ventilacijske opreme, poklapa s uzdužnom osi tunela. Pri tome čist (nezagađen) zrak ulazi na jednom portalu tunela i struji slobodno kroz cjelokupni poprečni presjek tunelske cijevi, bez posredstva zasebnih ventilacijskih kanala, prema izlaznom portalu.

Klasifikacija sustava uzdužne ventilacije

■ Tipovi uzdužne ventilacije

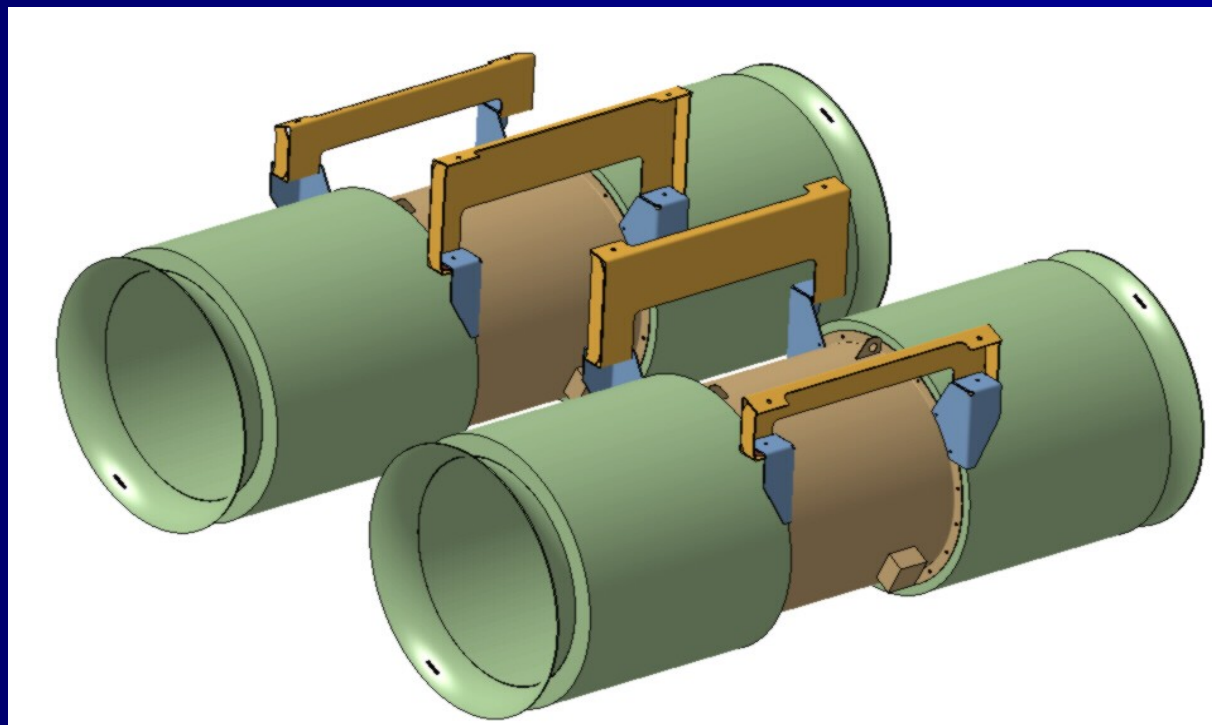
- a) uzdužna ventilacija s impulsnim aksijalnim ventilatorima;
- b) serijska uzdužna ventilacija s vertikalnim oknom (šaftom);
- c) uzdužna ventilacija sa Saccardo mlaznicom.

Uzdužna ventilacije s impulsnim reverzibilnim ventilatorima



Slika 1. Shematski prikaz sustava uzdužne (longitudinalne) ventilacije s impulsnim aksijalnim ventilatorima

Uzdužna ventilacije s impulsnim reverzibilnim ventilatorima

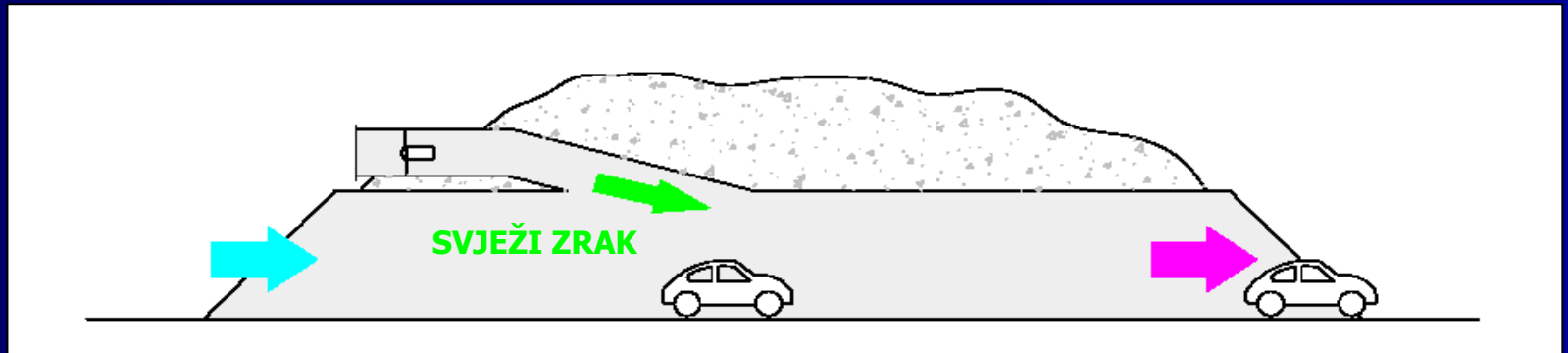


Slika 2. 3D prikaz sklopa ovjesne konstrukcije i ventilatorske baterije s obostranim cilindričnim prigušivačima buke

Serijska uzdužna ventilacije s impulsnim reverzibilnim ventilatorima

- Tunel se izvođenjem vertikalnog okna (šahta) ili više njih, ustvari dijeli na više manjih tunela u nizu. Serijska uzdužna ventilacija je u pogledu zaštite od požara, kao i razdiobe plinskih polutanata u zraku unutar tunelske cijevi mnogo kvalitetnije ali i skuplje tehničko rješenje od standardne uzdužne ventilacije.

Uzdužna ventilacije sa Saccardo mlaznicom



Slika 3. Shematski prikaz sustava uzdužne (longitudinalne) ventilacije sa Saccardo mlaznicom

Zadaće sustava uzdužne ventilacije

REDOVNI POGON

- Kontrola plinskih polutanata CO i NO_x unutar dozvoljenih granica
- Kontrola krutih čestica zbog održavanja propisane vidljivosti
- Kontrola razdiobe polutanata u predportalnim zonama

UVJETI POŽARA

- Osigurati putnicima povoljne uvjete za evakuaciju
- Osigurati interventnim ekipama (vatrogasci, spasilačke službe i dr.) pravovremeni pristup unesrećenima, te sigurno i efikasno gašenje požara
- Očuvati statičku stabilnost građevine (uvjetno)

Provedivost postavljene zadaće sustava uzdužne ventilaciju u uvjetima požara

Da li je sustav ventilacije u stanju s raspoloživim pogonskim resursima i izvedbenom konfiguracijom uspješno odgovoriti na postavljene zadaće?



Da, ali samo uz postojanje **konzistentne operativne strategije** koja podrazumijeva sinergijsko djelovanje s ostalim sustavima tunela i aktivno upravljanje razdiobom dima u svim fazama požarnog incidenta!

Operativna strategija u uvjetima požara

Oblikovanje induktivnim pristupom



Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza rezultata, informacija i opažanja

- Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava:
 - a) stratifikacija dima
 - b) odimljavanje i u vezi s njim tzv. "*kritična brzina*"
 - c) povratno strujanje dima, tzv. "*backlayering*"
- Vremenska rasčlana požarnog incidenta
(faze požara, kauzalitet faza, vremenski slijed)
- Fizikalne karakteristike požara
(karakteristični parametri požara, vremenska ovisnost HRR)

Operativna strategija u uvjetima požara

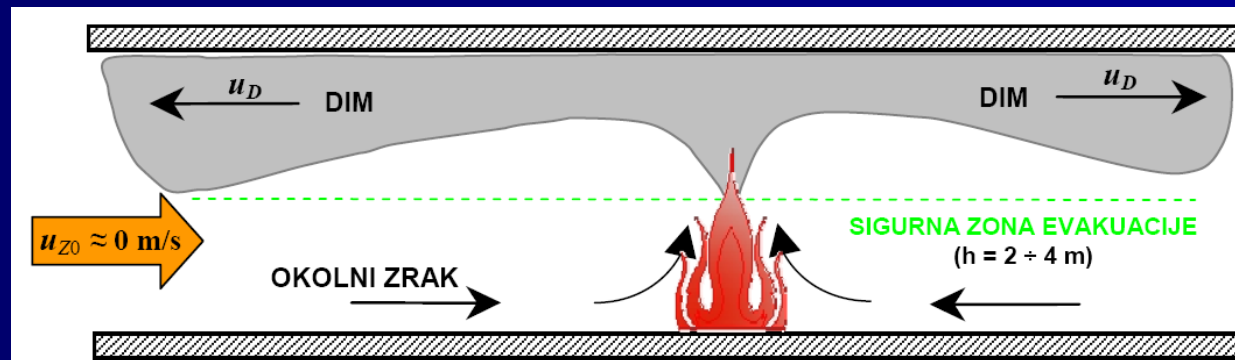
Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Stratifikacija (1)

Idealni uvjeti za stratifikaciju: $u_z = 0$, nagib (niveleta) = 0%

- $u_D \approx 2$ m/s za požare ≥ 20 MW
- $u_D \approx 4$ m/s za požare ≥ 50 MW

$$u_D = k \cdot \sqrt{g \cdot D_h \frac{T_D - T_0}{2 \cdot T_D}}$$



Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Stratifikacija (2)

Razvoj stratifikacije dima u inicijalnoj fazi požarnog testa ($u_z = 0,7$ m/s)

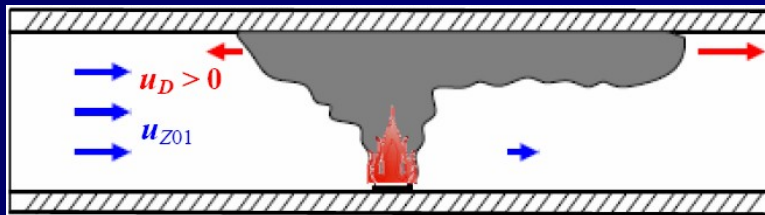


Tunel Sveti Rok, 16.12.2003., izvor: **Brodarski institut**

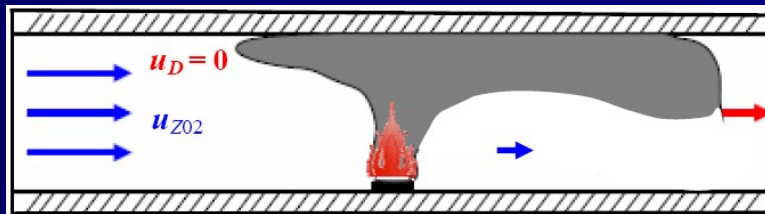
Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

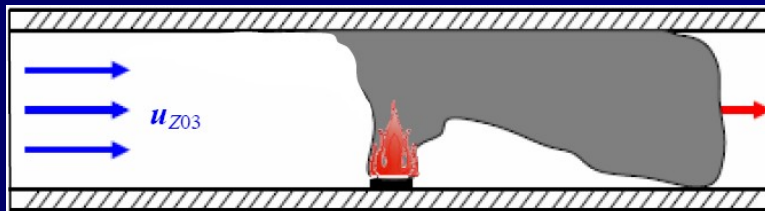
Odimljavanje i kritična brzina (1)



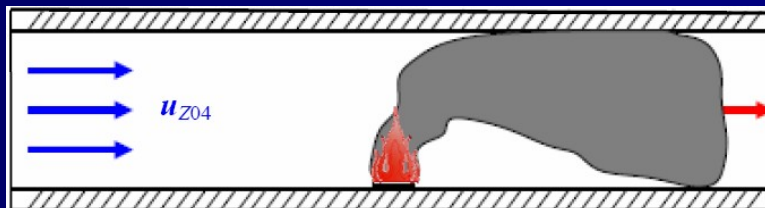
$$u_{Z01} \ll u_C$$



$$u_{Z02} < u_C$$



$$u_{Z03} = u_C$$



$$u_{Z04} > u_C$$

Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Odimljavanje i kritična brzina (2)

Odimljavanje s nadkričnom brzinom



Tunel Sveti Rok, 02.02.2004., izvor: **Brodarski institut**

Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Odimljavanje i kritična brzina (3)

- Kritična brzina (u_C) definira se kao minimalna uzdužna brzina strujanja zraka, usrednjena po poprečnom presjeku tunela, kod koje je onemogućeno povratno strujanje dima, tj. kod koje je dužina zone povratnog strujanja dima jednaka nuli.

$$u_C = K_1 K_2 \left(\frac{gQH}{\rho_0 T_D c_p A} \right)^{1/3}$$

$$K_1 = Fr_c^{-1/3}$$

$$K_2 = 1 + 0,037(nagib)^{0,8}$$

$$T_D = \frac{Q}{\rho_0 \cdot c_p \cdot A \cdot u_C} + T_0$$

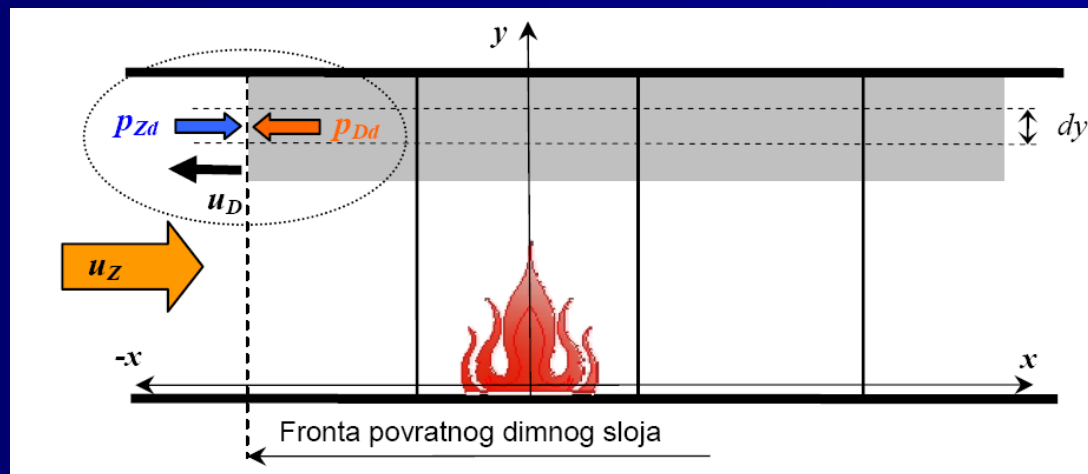
Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Povratno slojevito širenje dima ("backlayering") (1)

Hipotetski model povratnog strujanja dima sveden na djelovanje dinamičkih tlakova na zamišljenoj graničnoj plohi zračnog i dimnog sloja:

$$P_{Dd}(y) = \frac{1}{2} \rho_D \cdot u_D(y)^2 > P_{Zd}(y) = \frac{1}{2} \rho_Z \cdot u_Z(y)^2$$

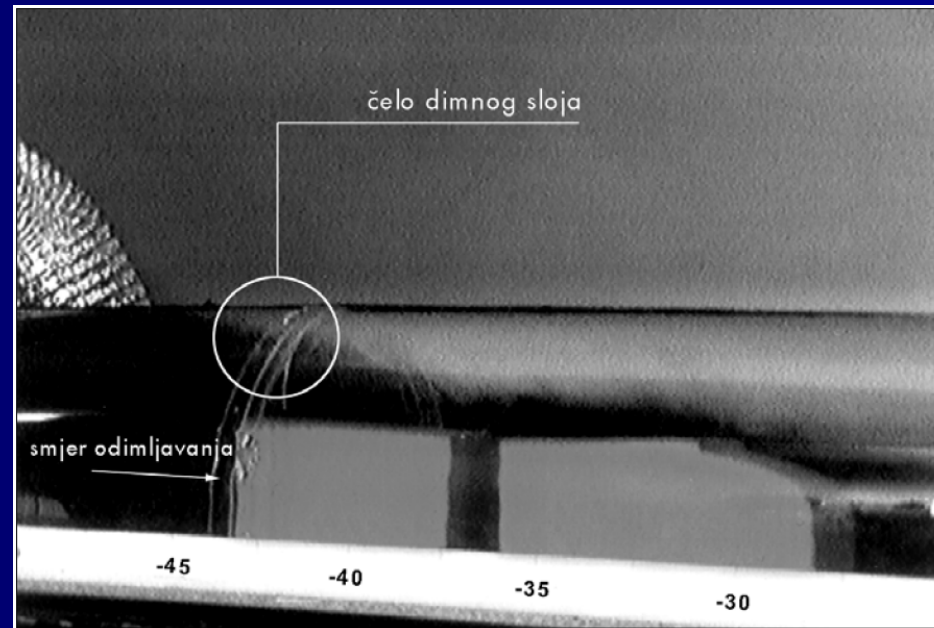


Operativna strategija u uvjetima požara

Analiza temeljnih aerodinamičkih pojava

Povratno slojevito širenje dima ("backlayering") (2)

Vizualizacija povratnog strujanja dima u stanju dinamičke ravnoteže
($u_D = 0 \rightarrow$ čelo dimnog sloja miruje!)



Modelska ispitivanja tunela Sveti Rok, siječanj 1998.,
izvor: **Brodarski institut**

Operativna strategija u uvjetima požara

Vremenska rasčlana požarnog incidenta

Faze požara (1)

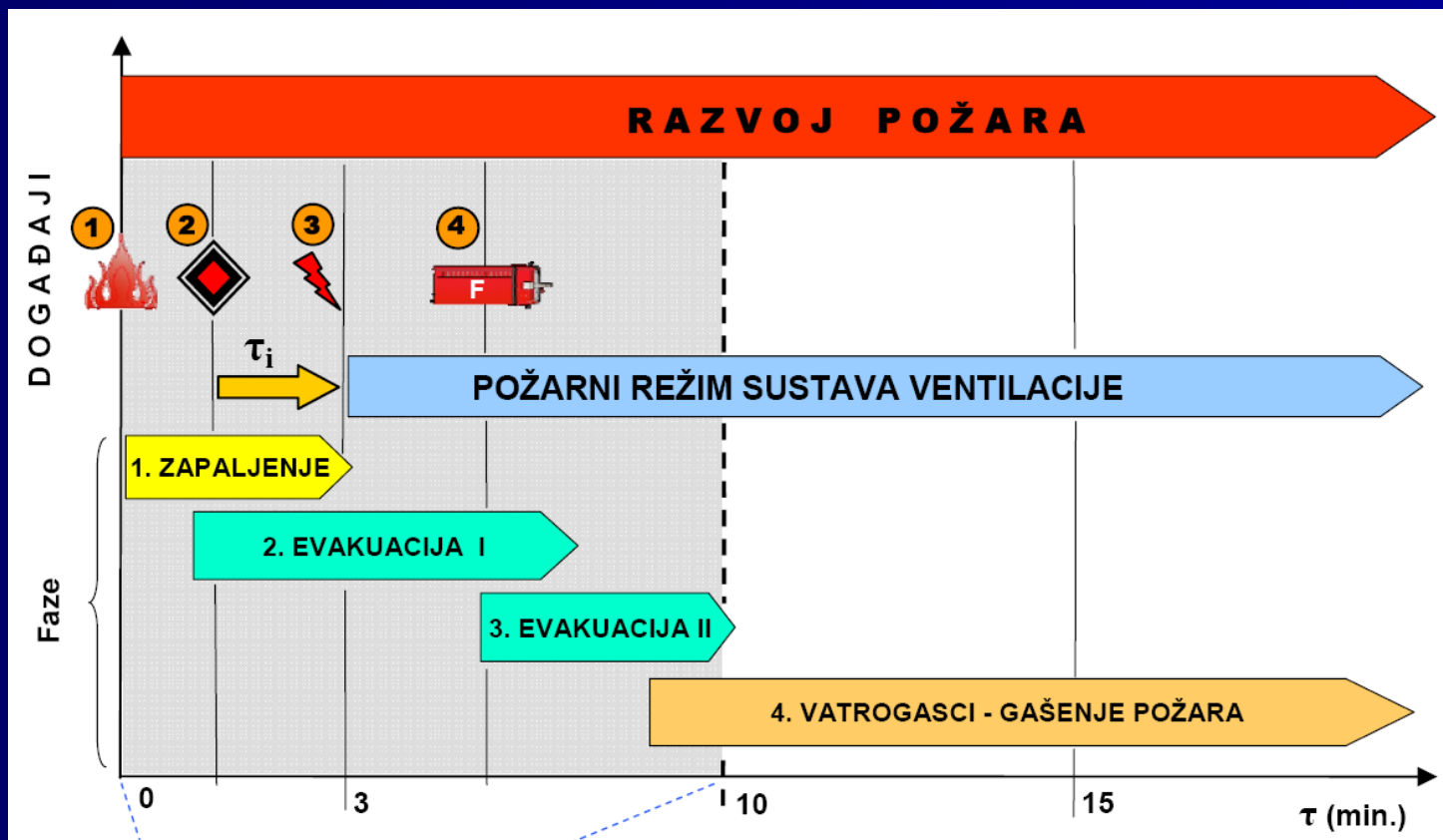
Faze požarnog incidenta:

- **1. Faza:** Zapaljenje
- **2. Faza:** Evakuacija I (samospašavanje)
 - **T₁:** Vrijeme shvaćanja opasnosti (osvješćivanje),
(*engl. „awareness time“ ili također izraz „detection phase“*)
 - **T₂:** Vrijeme reagiranja,
(*engl. „reaction time“ ili također izraz „alarm phase“*)
 - **T₃:** Vrijeme kretanja,
(*engl. „movement time“ ili također izraz „action phase“*)
- **3. Faza:** Evakuacija II (spašavanje uz asistenciju)
- **4. Faza:** Gašenje požara (vatrogasna intervencija)

Operativna strategija u uvjetima požara

Vremenska rasčlana požarnog incidenta

Faze požara (2)



Operativna strategija u uvjetima požara

Reprezentativni požarni scenariji

1) Požarni incident u dvocijevnom tunelu s:

- a) istosmjernim tekućim prometom;
- b) istosmjernim prometom u uvjetima zagušenja/zastoja;
- c) dvosmjernim prometom u jednoj cijevi, druga cijev nije u funkciji (fazna izgradnja, rekonstrukcija, održavanje).

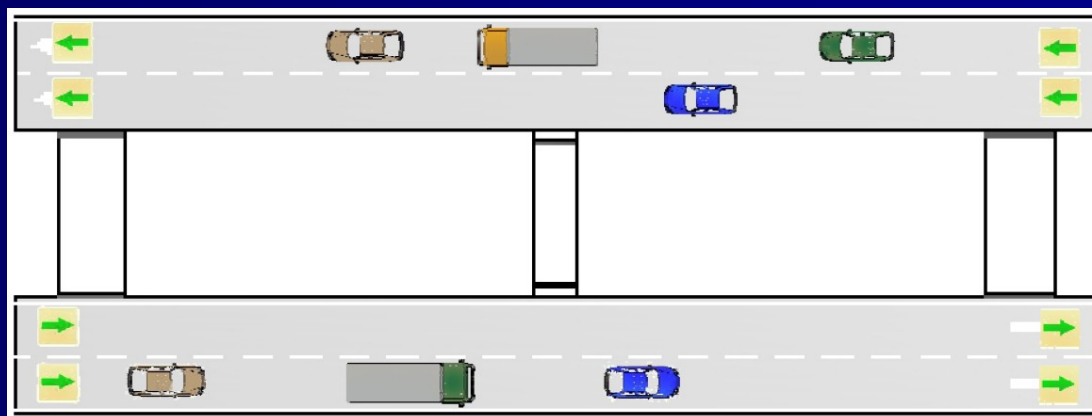
2) Požarni incident u jednocjevnom tunelu s:

- a) dvosmjernim tekućim prometom;
- b) dvosmjernim prometom u uvjetima zagušenja/zastoja.

Operativna strategija u uvjetima požara

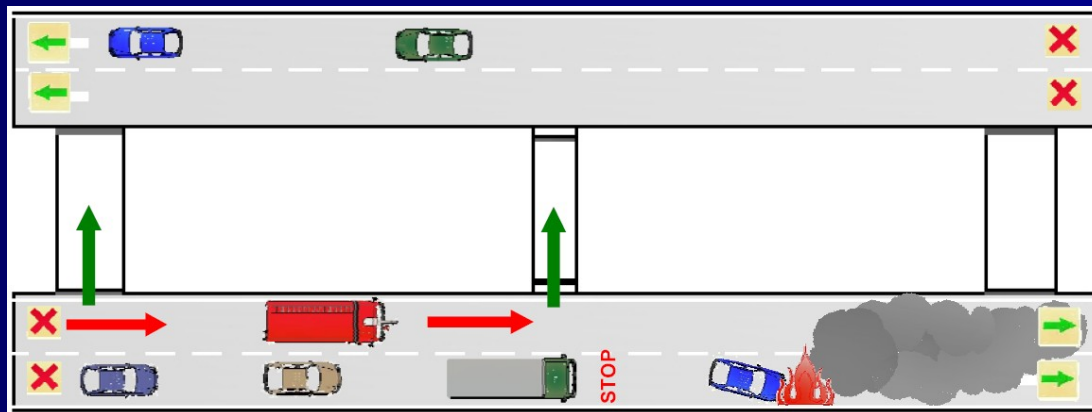
Reprezentativni požarni scenariji

Dvocijevni tunel – istosmjerni tekući promet



a)

Stanje prometa prije pojave požara



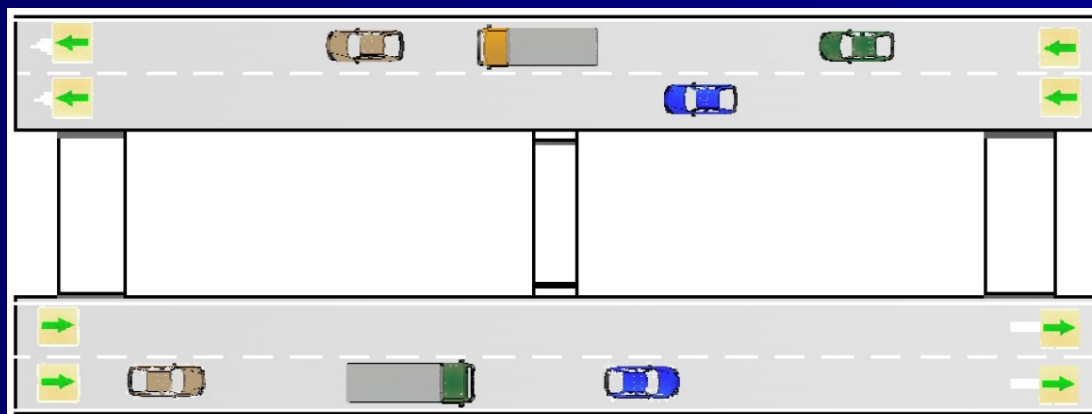
b)

Stanje prometa neposredno nakon pojave požara

Operativna strategija u uvjetima požara

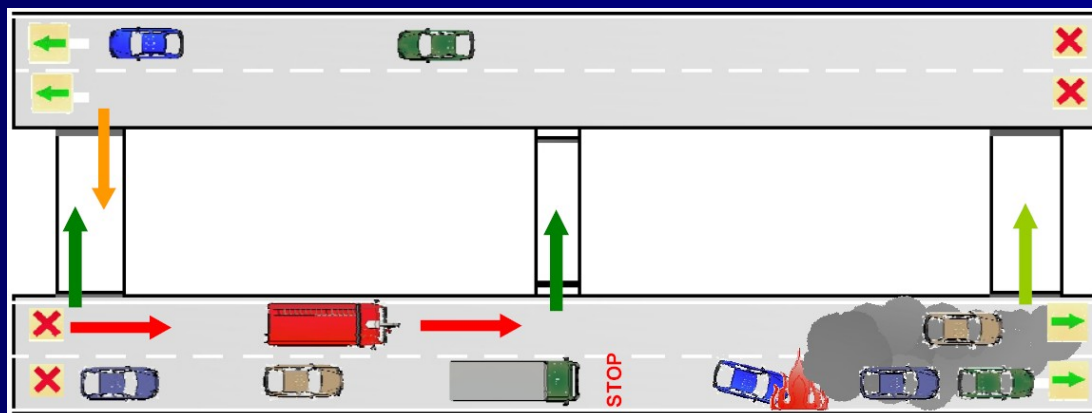
Reprezentativni požarni scenariji

Dvocijevni tunel – istosmjerni promet u uvjetima zastoja



a)

Stanje prometa prije pojave požara



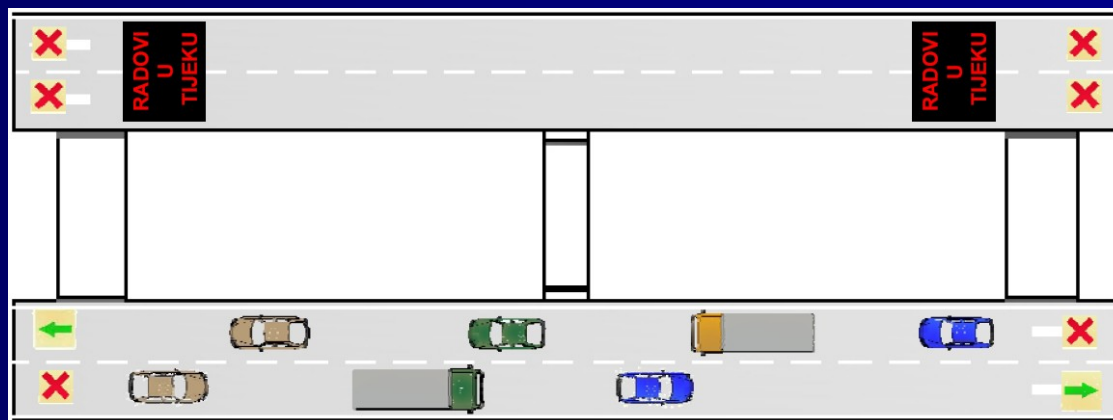
b)

Stanje prometa neposredno nakon pojave požara

Operativna strategija u uvjetima požara

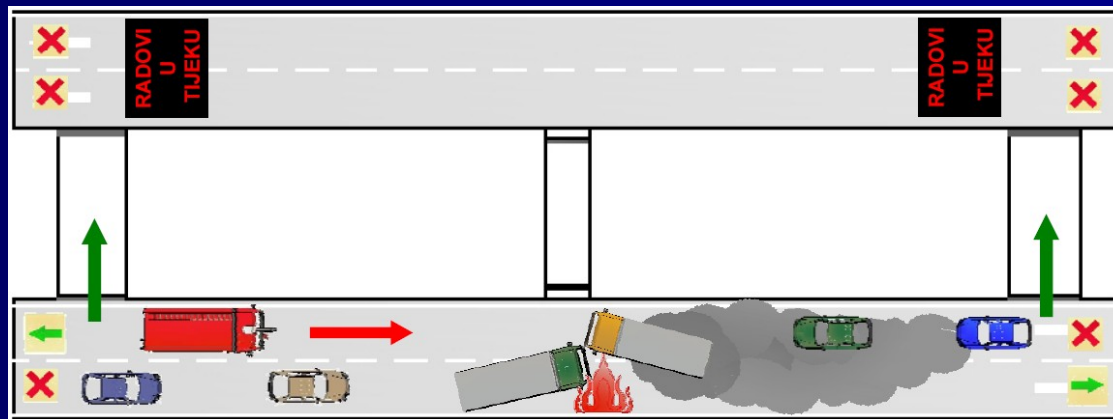
Reprezentativni požarni scenariji

Dvocijevni tunel – dvosmjerni tekući promet



a)

Stanje prometa prije pojave požara



b)

Stanje prometa neposredno nakon pojave požara

Operativna strategija u uvjetima požara

Vremenska rasčlana požarnog incidenta

Optimalne forme razvoja i propagacije dima

Faze požarnog incidenta i optimalne forme razvoja i propagacije dima

Red. broj	FAZE POŽARNOG INCIDENTA	ISTOSMJERNI PROMET ³³		DVOSMJERNI PROMET	
		Zagušen	Protočan	Zagušen	Protočan
1.	ZAPALJENJE	-	-	-	-
2.	EVAKUACIJA I (Samospašavanje)	Stratifikacija	Kontrolirano odimljavanje u smjeru prometa	Stratifikacija	Stratifikacija
3.	EVAKUACIJA II (Spašavanje uz asistenciju)	Stratifikacija	Kontrolirano odimljavanje u smjeru prometa	Stratifikacija	Stratifikacija
4.	GAŠENJE POŽARA (Vatrogasci)	Kontrolirano odimljavanje u smjeru prometa		Kontrolirano odimljavanje prema nalogu vatrogasaca	

Operativna strategija u uvjetima požara

Sinteza (1)

Karakteristike operativne strategije:

- logička dosljednost,
- jednoznačnost;
- prepoznatljiva strukturiranost postupaka;
- konzistentnost postupaka, te
- opća primjenjivost.

Operativna strategija u uvjetima požara

Sinteza (2)

Upravljanje sustavom ventilacije:

- **ručno - daljinsko upravljanje**
i
- **automatsko upravljanje određenim sekvencama rada**

Operativna strategija u uvjetima požara

Sinteza (3)

Automatske sekvence rada sustava ventilacije

POŽARNI AKCIDENT:

- **PODPROGRAM 1:** smirivanje (stabilizacija) uzdužnog strujanja zraka u uvjetima požara, u granicama $u=1\div 1,5$ m/s.
- **PODPROGRAM 2:** odimljavanje tunela nakon smirivanja (stabilizacije) zračne struje i potvrđenog završetka evakuacije putnika, u granicama $u=3\div 5$ m/s.

REDOVNI POGON:

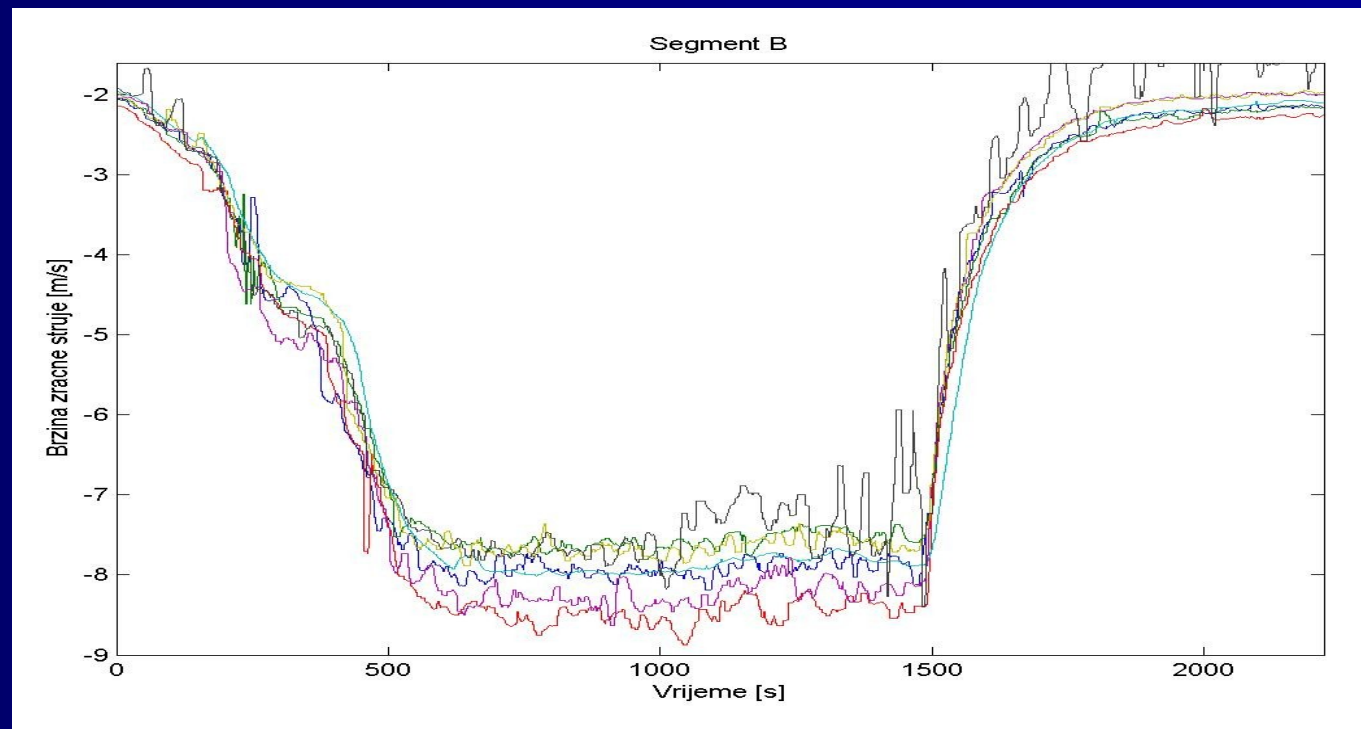
- **PODPROGRAM 3:** redukcija brzine zračne struje u uvjetima redovnog pogona, u granicama $u=2\div 3$ m/s.

Operativna strategija u uvjetima požara

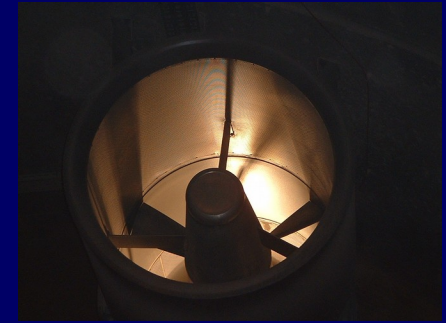
Implementacija

Pogonske karakteristike i stanje opreme

Prikaz rezultata mjerenja 7 kombiniranih senzora
brzine i smjera strujanja



Zaključak



- Navedena problematika sigurnosti i zaštite putnika u tunelima, kao kapitalnim objektima cestovne infrastrukture, ima izuzetan značaj u prometnom, gospodarskom, sociološkom i opće društvenom pogledu.
- Sustavi ventilacije cestovnih tunela, svojim specifičnim djelovanjem na razvoj i razdiobu dima, imaju jednu od odlučujućih uloga u postupcima evakuacije putnika, te intervencije vatrogasnih i spasilačkih ekipa, ali isto tako i na sam proces požara uopće.
- Na taj način je u svakoj fazi požarnog incidenta aktivnim djelovanjem ventilacijskog sustava omogućeno postizanje optimalnih uvjeta za evakuaciju putnika, te intervenciju interventnih službi.
- Ovdje izložena operativna strategije jedna je od mogućih interpretacija djelovanja sustava uzdužne ventilacije u uvjetima požara i kao takva podložna je trajnoj provjeri u realnim eksploatacijskim uvjetima, kao i konstruktivnoj znanstvenoj kritici.

Zahvaljujem Vam na pažnji