

Neki od aerodinamičkih problema koji se javljaju pri mimoilaženju vozova u tunelu

Mirjana Puharić, dipl.inž.¹⁾

Obrađeni su neki od aerodinamičkih nestacionarnih fenomena, koji se javljaju sa povećanjem brzine kretanja vozova u tunelima. Date su fluktuacije pritisaka nastale kao posledica udarnih talasa i refleksije udarnih talasa o zidove tunela, merenih na zidovima tunela i na vozovima, kao i unutar vozova koji se mimoilaze u tunelu.

Ključne reči: Vozovi velikih brzina, tuneli, mimoilaženje vozova.

Uvod

VOZ u kretanju pomera za sobom vazduh i deformiše sredinu kojom se kreće. Ako se voz, pri tome, kreće konstantnom brzinom na otvorenoj pruzi, oblik strujanja je nezavisan od vremena, fenomeni su stacionarni. Kada se voz kreće brzinom koja nije konstantna ili kada je njegova neposredna okolina modifikovana prisustvom mimoilazećeg voza ili bilo kojom preprekom duž pruge (pešak, vozilo, most, zgrada, tunel itd.), strujanje vazduha varira sa vremenom, fenomeni su nestacionarni.

Nestacionarna aerodinamika izučava efekte vazдушnih talasa, koji se javljaju kada se voz kreće u blizini fiksne instalacije, kao što je zid, most ili druge infrastrukture, kada prolazi kroz tunel ili se mimoilazi sa drugim vozom na otvorenoj pruzi ili u tunelu. U ovom slučaju, treba odrediti interakciju između voza i njegove okoline i definisati granice bezbednosti i komfora [1-8].

Promene pritisaka u tunelu prilikom mimoilaženja vozova

Promene pritisaka, koje se javljaju pri mimoilaženju vozova u tunelu, su velike i izazivaju zamor stakala prozora i vrata, dodatna opterećenja konstrukcije i neugodne promene pritisaka na bubnoj opni putnika.

Kod mimoilaženja vozova na otvorenoj pruzi, svi fenomeni se posmatraju u odnosu na dva parametra koji se menjaju nezavisno. To su:

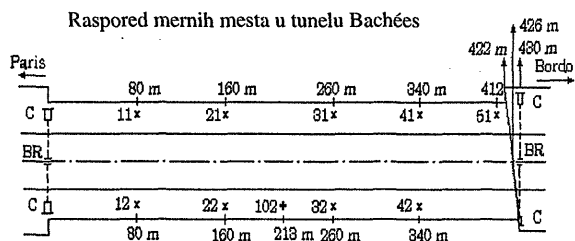
- međusobno rastojanje i
- odnos brzina dva vozila.

Mimoilaženje vozova u tunelu je mnogo kompleksnije od slučaja vožnje kroz tunel kada nema mimoilaženja [8]. Promene pritisaka u trenutku mimoilaženja su znatne, a pri određenim uslovima brzine kretanja vozova, dužine kompozicije, a posebno vremenske razlike pri ulasku vozova u tunel, dolazi do prekomernog opterećenja.

Za prva proučavanja aerodinamičkih pojava pri mimoilaženju vozova u tunelima, izabran je dvokolosečni tunel

Bachées u kojem je omogućena brzina mimoilaženja vozova 200 km/h. Za mimoilaženje su odabrani turbovoz RTG i elektrovoz BB22200 sa vagonom-laboratorijom i kompozicijom vagona Corail, čiji se broj može menjati za ispitivanja uticaja dužine vozova [3].

U tunelu Bachées, na zidovima je postavljeno devet uređaja za merenje statičkog pritiska, na sl.1 označenih sa x. Sa C su označeni fotoelementi, a sa BR reflektori svetla. Sistemi sa fotoelementima omogućavaju veliku tačnost određivanja momenta ulaza i izlaza nosnog i repnog dela RTG, kao i momenta susretanja i brzina oba voza.



- x - raspored davača statičkog pritiska
- C - fotoelement
- BR - svetlosni reflektor

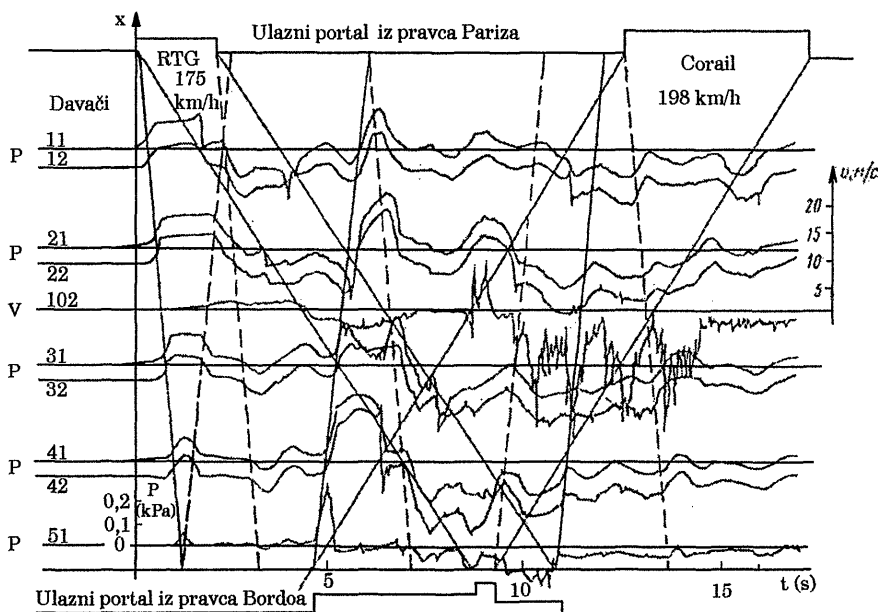
Slika 1. Raspored mernih mesta u tunelu Bachées

Na sl.2 su dati rezultati dobijeni u momentu susreta RTG ($V=175$ km/h) i Corail ($V=198$ km/h) u tunelu Bachées. Signali, dobijeni od fotoelemenata postavljenih na krajevima tunela, daju trajektoriju ulaza i izlaza nosnih i krajnjih delova oba voza, na osnovu kojih se određuje međusobni položaj vozova u tunelu.

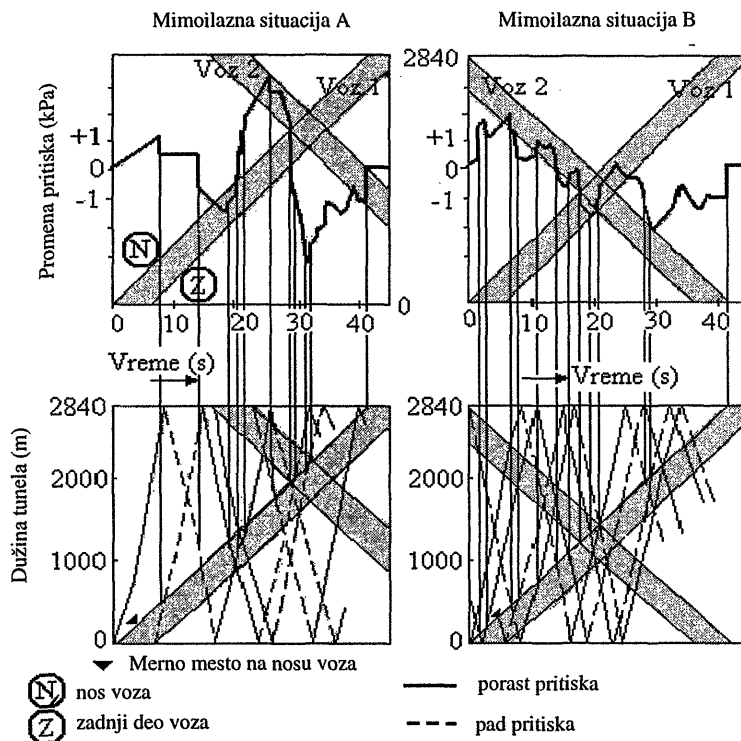
Izvršena ispitivanja pokazala su zavisnost amplituda posmatranih pojava od nekoliko parametara:

- dužine tunela L_t i površine poprečnog preseka tunela A_t ,
- brzine i dužine oba voza,
- razlika u vremenu ulaska vozova u tunel i
- tipa voza (dužine L_v , površine poprečnog preseka A_v , oblika nosnog i repnog dela).

¹⁾ Vojnotehnički institut VI,1 11000 Beograd, Katanićeva 15



Slika 2. Raspodela pritiska merena pri mimoilaženju vozova RTG i Coral u tunelu Bachées



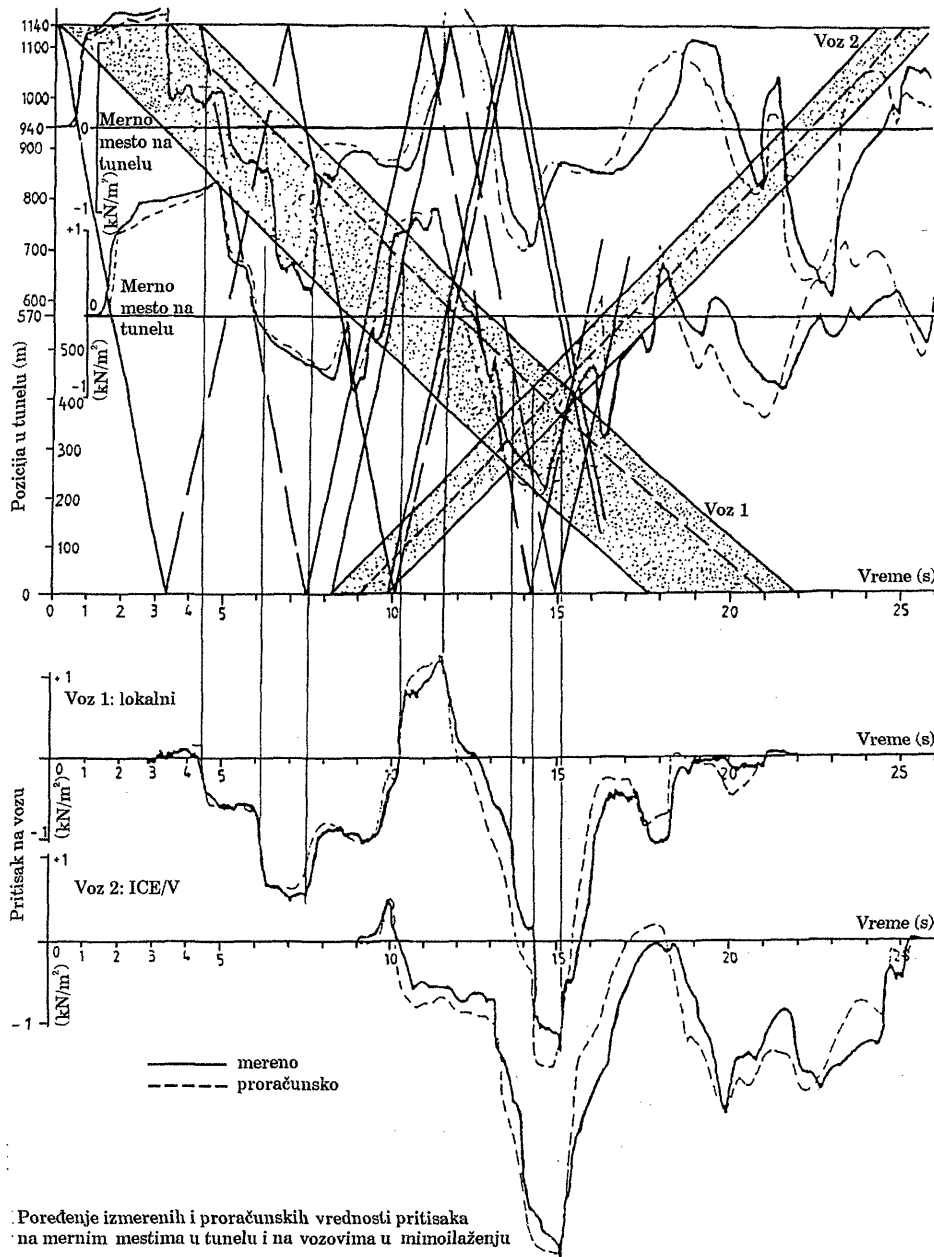
Slika 3. Promena pritiska na nosu voza pri mimoilaženju sa drugim vozom u tunelu dužine 2840 m

Na sl.3 su prikazana dva ekstremna slučaja promene pritiska merena na nosu voza 1 pri mimoilaženju sa drugim vozom u tunelu dužine 2840 m. Na apscisi je dato vreme u sekundama, a na ordinati promena pritiska u kPa. Na levoj strani je prikazana mimoilazeća situacija A, a na desnoj mimoilazeća situacija B, koje se razlikuju samo po trenutku ulaska vozova u tunel. U slučaju A, voz 2 ulazi u tunel 17 sec nakon voza 1 na kome se vrši merenje, a u slučaju B voz 1 ulazi u tunel u trenutku kada je zadnji kraj voza 2 prošao kroz izlazni portal. Promene pritiska su veće u mimoilazećoj situaciji A, koja i jeste primer ekstremnog ili tzv. kritičnog mimoilaženja. Na donjem delu slike prikazani su talasi povišenog "—" i talasi sniženog "- - -" pri-

tiska, koji u preseku sa linijom prednjeg (nosnog) dela voza daju talase povišenja i sniženja pritiska.

Na sl.4 su prikazane izmerene promene pritiska na mernim mestima u tunelu i na vozovima, kroz tunel NBS Hanover-Virzburg.

U tunelu su se mimoišli jedan lokalni i jedan brzi voz ICE/V. Na gornjem delu slike su date promene pritiska na mernim mestima u tunelu, a na donjem delu slike promene pritiska na vozovima. Na dijagramu su date proračunske vrednosti i vrednosti izmerene u realnim uslovima. Sa približavanjem brzini zvuka u tunelu se rasprostiru talasi koji izazivaju promenu pritiska. Ti talasi su prikazani na gornjem delu slike i to: punom linijom "—" talasi poviše-



Brzi voz ICE/V



Slika 4. Raspodela pritiska na zidu tunela i na vozovima koji se mimoilaze u tunelu

nog, a isprekidanom linijom "----" talasi sniženog pritiska. Presek ovih linija sa linijom mernog mesta na tunelu predstavlja tačku promene pritiska.

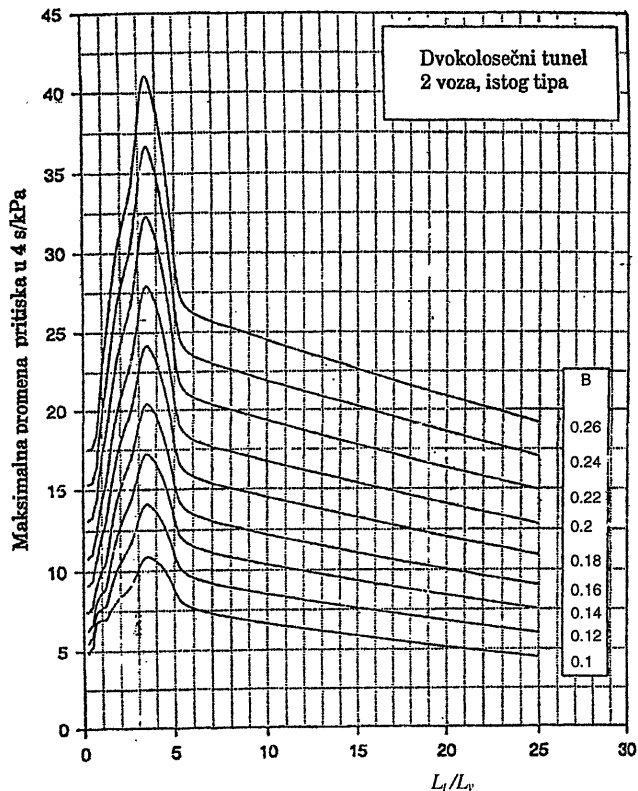
Za proračun je korišćen jednodimenzionalni računarski program, koji je koristio sledeće ulazne podatke: geometrijske podatke za tunel i vozove, brzine kretanja, vreme ulaska u tunel, kao i razne koeficijente koji su rezultati ranijih iskustava.

Na sl.4 se vidi dobro slaganje između proračunskih i merenih vrednosti pritiska, kako na mernim mestima na tunelu, tako i na mernim mestima na vozu.

Vidljivo je, takođe, da u momentu kritičnog mimoilaženja, tj. u trenutku koji se na dijagramu vidi kao presek trajektorija vozova, dolazi do veoma velike promene pritiska na oba voza. Na lokalnom vozu, ta promena je $\approx 4,8$ kPa, a traje 3,5 sec. Promene pritiska znatno premašuju visoke zahteve za komfor, što je zahtevalo njihovu redukciju.

U Japanskim državnim železnicama (JNR) razvijena su aerodinamička hermetička vozila, što je prihvaćeno i kod Nemačke državne železnice (DB). Takođe su razvijeni uklopni elementi u putničkim vagonima, tj. izvedeno je naknadno zaptivanje postojećih putničkih vagona.

Na sl.5 su dati propisani granični pritisci pri mimoilaženju dva voza istog tipa u dvokolosečnom tunelu, za brzinu kretanja voza 350 km/h. Na ordinati je data maksimalna promena pritiska u kPa za vreme 4 sec. Na apscisi je dat odnos dužine tunela i voza L_t/L_v . B je odnos površine poprečnog preseka voza prema površini poprečnog preseka tunela: $B=A_v/A_t$.



Voz velikih brzina, brzina 350 km/h

Slika 5. Maksimalna promena pritiska u trajanju 4 sec

Na sl.6 su dati propisani granični pritisci pri mimoilaženju dva voza različitog tipa u dvokolosečnom tunelu. Jedan od vozova je brzi voz, koji se kreće brzinom 250 km/h, a drugi je standardni savremeni putnički voz koji se kreće brzinom 220 km/h.

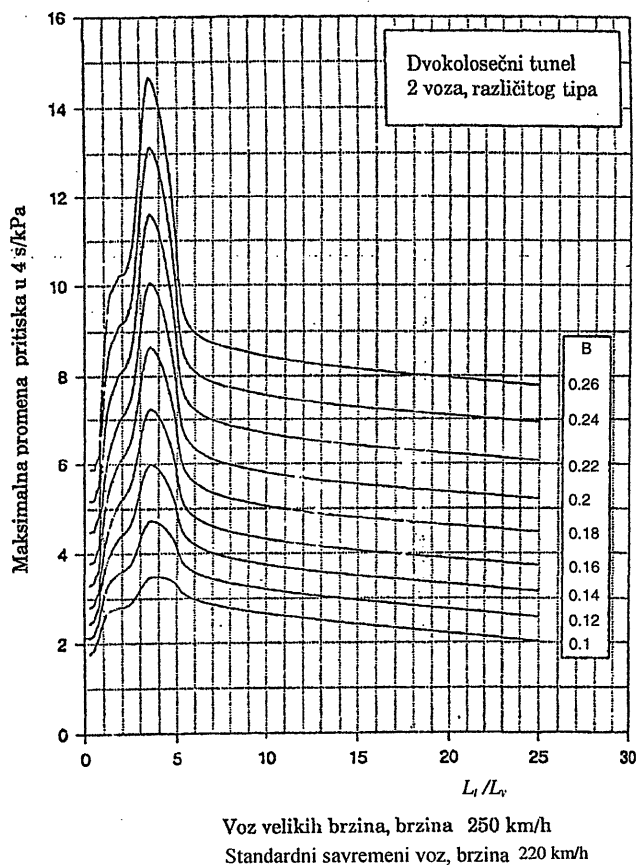
Prikazani dijagrami se mogu koristiti kao preporuka za određivanje površine poprečnog preseka tunela zavisno od tipa i gabarita voza (dužina i površina poprečnog preseka), brzine kretanja vozova kroz tunel i dozvoljenih pritisaka u tunelu. Pravim izborom oblika i površine poprečnog preseka tunela, kao i oblika nosnog profila voza, smanjuje se snaga udarnog talasa koji stvara voz i na taj način se poboljšava komfor i bezbednost putnika.

Na sl.7 je data raspodela unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska merenog na jednom hermetički izrađenom vagonu, kao i upoređenje sa merenjima na jednom nezaptivenom vagonu. Merenja su izvršena pri mimoilaženju voza na kome je meren pritisak, a koji se kretao brzinom 200 km/h, i mimoilažećeg voza, koji se kretao brzinom 280 km/h.

Promene pritisaka za nezaptiveni vagon, naročito u trenutku kritičnog mimoilaženja, su velike i ne zadovoljavaju uslove komfora putnika. Kod zaptivenih vagona promene unutrašnjih pritisaka su znatno blaže i zadovoljavaju uslove komfora putnika. Razlika unutrašnjih i spoljašnjih pritisaka izaziva dodatno opterećenje konstrukcije.

Posebnu pažnju treba obratiti na nezaptivene teretne vgone. Veći deo vozila i tereta u teretnom saobraćaju nije

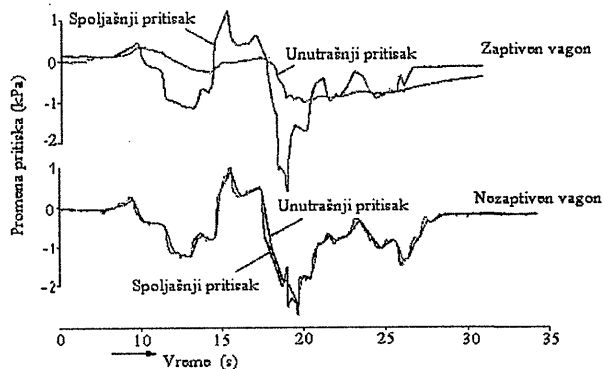
aerodinamički zaptiven, što znači da ne postoji bitna razlika između spoljašnjeg i unutrašnjeg pritiska.



Voz velikih brzina, brzina 250 km/h

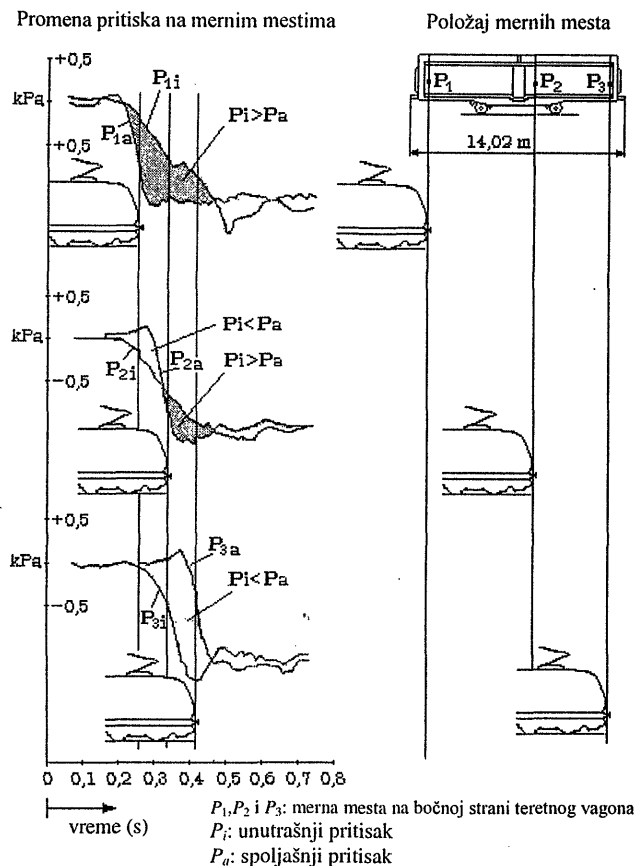
Standardni savremeni voz, brzina 220 km/h

Slika 6. Maksimalna promena pritiska u trajanju 4 sec



Slika 7. Raspodela unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska na vagonu pri mimoilaženju u tunelu

Na sl.8 je prikazan slučaj mimoilaženja brzog voza sa teretnim vozom u tunelu NBS. Merenje unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska je izvršeno u tri merne pozicije na jednoj strani teretnog vagona. Tačkama P_1 , P_2 i P_3 , na desnoj strani slike, su označena merna mesta na teretnom vagonu. Na levoj strani slike su date raspodele unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska u tim mernim mestima. Na slici se vidi da je na mernom mestu P_1 unutrašnji pritisak na teretnom vagonu veći od spoljašnjeg. Na mernom mestu P_2 , do trenutka kada nos voza dođe do mesta P_2 , unutrašnji pritisak je manji od spoljašnjeg, a nakon prolaska nosa voza pored mernog mesta, unutrašnji pritisak postaje veći od spoljašnjeg. Na mernom mestu P_3 , unutrašnji pritisak na teretnom vagonu je manji od spoljašnjeg pritiska.



Slika 8. Promena pritiska na teretnom vagonu pri mimoilaženju sa brzim vozom u tunelu

Razlika pritiska, kada je unutrašnji pritisak manji od spoljašnjeg, nije problematična, jer prouzrokovane sile deluju iz unutrašnjosti prema spoljašnjosti. Nasuprot tome, vredne pažnje su sile usmerene u obrnutom pravcu, kada je unutrašnji pritisak veći od spoljašnjeg. Ovaj slučaj se na slici vidi na prednjem delu teretnog vagona, zbog čega zatvarajući elementi na vratima, pokretni zidovi i krovovi, moraju biti tako izrađeni da izdrže naprezanja koja nastaju usled promena pritiska. Vagoni i teret labilne izrade, kao što su pokretni zidovi i krovovi, cerade, skele i sl., su osetljivi na razliku unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska.

Zaključak

Fluktuacije pritiska nastale kao posledica udarnih talasa i refleksije udarnih talasa o zidove tunela izazivaju dodatna opterećenja konstrukcije vozova. Merenja raspodele pritiska na zidovima tunela i na vozovima, kao i unutar vozova koji se mimoilaze u tunelu, pokazala su zavisnost amplituda posmatranih pojava od:

- dužine tunela L_t i površine poprečnog preseka tunela A_t ,
- brzina oba voza i
- tipa voza (dužina vozova L_v , površine poprečnog preseka A_v , oblika nosnog i repnog dela).

Promene pritiska, na vozovima koji se mimoilaze u tunelu, su velike i ne zadovoljavaju uslove komfora putnika. Izradom zaptivenih vagona promene unutrašnjih pritiska su znatno blaže, ali razlika unutrašnjih i spoljašnjih pritiska izaziva dodatno opterećenje konstrukcije.

Posebnu pažnju treba obratiti na teretne vagonne labilne izrade, kao što su pokretni zidovi i krovovi, cerade, skele i sl., koji su osetljivi na razliku unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska.

Literatura

- [1] MARCEL, B. L'aérodynamique des trains. *Revue générale des chemins de fer.* - février 1971, p.80-96.
- [2] MARTY, P., AUTRUFFE, H. Études aérodynamiques instationnaires liées à la circulation des trains à grande vitesse. *Revue générale des chemins de fer.* juin 1973, p.371-381.
- [3] LANCIEN, D. et al. L'aérodynamique de la grande vitesse en tunnels. *Revue générale des chemins de fer.* 7/8, 1987, p.5-21.
- [4] ...L'aérodynamique de la grande vitesse et tunnels. Seminar "Grande vitesse" (HGV -seminar) - Berlin, 12.-14. november 1990, sekcija B.
- [5] ARTH, P. *Querschnittsgestaltung für tunnel (Bestimmung der inneren Tragwerksbegrenzung).* Seminar MUNCHEN, 15.10.1997, L NGT 26.
- [6] ARTH, P. *Ergebnisbericht zur untersuchung des "sonic boom"-phenomens auf hgv-strecken - maßnahmen zur vermeidung des "sonic boom".* Seminar MUNCHEN, 16.5.1997, L NGT 26 Tu.
- [7] *Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations.* International Union of Railways - 1.1.1995, UIC-code 779-11, volume VII - Way and Works.
- [8] PUHARIĆ, M. Neki aerodinamički problemi koji se javljaju pri kretanju vozova kroz tunel. *Naučnotehnički pregled,* 1999, vol.49, no.4, p.33-38.

Rad primljen: 25.10.1999.god.