

VARNOST V PREDORIH

Tunnel safety

Marko Polič* UDK 614.8:624.19

Povzetek Abstract

Varnost v cestnih predorih se je znašla v ospredju zanimanja javnosti predvsem po tragičnih nesrečah v več evropskih predorih v zadnjih nekaj letih. Zaradi zaprtega okolja imajo lahko nesreče v predorih, posebno požari, dramatične posledice.

Število nesreč v njih je sicer razmeroma nizko v primerjavi z drugimi deli cestnega okolja, vendar so njihove posledice veliko resnejše. Glavni vzrok nesreč so neustrezno vedenje uporabnikov ceste, neustrezna infrastruktura in upravljanje, okvare vozil in težave s tovorom, npr. kemične reakcije. Nevarnost resnih požarov se je posebno povečala v zadnjih letih zaradi intenzivnejše uporabe predorov in v meddržavnih predorih zaradi pomanjkanja usklajevanja med obema stranema. Resne nesreče so tudi pokazale, da grozi nedomačim uporabnikom večja nevarnost, da postanejo žrtev nesreče zaradi pomanjkljive usklajenosti varnostnih obvestil, komunikacije in opreme. V prispevku so prikazane značilnosti človeškega vedenja med požari. Ljudje so takrat 'nagnjeni k normalnosti', k temu, da ne naredijo ničesar, medtem ko je panika redka. Kot so pokazale raziskave, to velja tudi za predore. Dodatna težava med požarom je slaba vidljivost zaradi dima. Zato se priporoča uporaba usmerjevalnih zvokov pri zasilnih izhodih. Varnost prometnih udeležencev je odvisna tudi od ravnanja osebja v predoru. Zaključujem z napotki za preprečevanje nesreč in blažitev njihovih posledic.

Road tunnel safety came to the attention of the public mainly during the last few years after some tragic accidents in a number of European tunnels. Because of the confined environment, accidents in tunnels, particularly fires, can have dramatic consequences. The number of accidents in tunnels is relatively low in comparison to other road "environments", but their consequences are much more serious. The main causes of accidents are unsafe behaviours on the part of drivers, inadequate infrastructure and operations, vehicle defects and problems with loads such as chemical reactions. The risk of serious fires has significantly increased in recent years due to the increase in use of tunnels and, in international tunnels in particular, a lack of co-ordination between both sides. Moreover, serious accidents have shown that non-native users are at a greater risk of becoming a victim in an accident due to the lack of harmonisation of safety information, communication and equipment. Characteristics of human behaviour in fires are presented. People in fires are 'prone to normalcy', to inaction, while panic is very rare. Studies show that this finding is also valid in tunnels. An additional problem in fires is the low visibility due to smoke. Therefore, the use of directional sounds at emergency exits is recommended. The safety of travelers also depends on actions by tunnel staff. Suggestions for the prevention of accidents and the mitigation of their consequences are given.

Pomembnost varnosti v cestnih predorih

Medtem ko se z nezgodami v cestnem prometu srečujemo že od samega začetka uporabe vozil, so prišle nezgode v cestnih predorih v ospredje zanimanja šele v zadnjih letih, po tragičnih nesrečah v predorih Mont Blanc (39 mrtvih), Tauern (12 mrtvih) in St. Gotthard (11 mrtvih). Ob žrtvah je bila visoka tudi materialna škoda, neposredna 210 milijonov evrov letno in posredna (zaradi zaprtja predora) samo v primeru predora Mont

Blanc 300–400 milijonov evrov letno, da ne omenjamo vpliva na celotno gospodarstvo Evropske skupnosti (ES). V zadnjih letih se je povečala nevarnost uporabe predorov zaradi njihovega staranja, saj je bila večina predorov zgrajena po zastarelih predpisih. Tako bodisi njihova oprema ne ustreza več sodobnim varnostnim spoznanjem bodisi so se prometni pogoji bistveno spremenili od trenutka njihove otvoritve. Spremenili so se tudi uporabniki predorov in povečal obseg njihove uporabe. Obenem na nacionalnih ravneh ni splošnih mehanizmov, ki bi zahtevali od upravljalcev predorov izboljševanje njihove varnosti, ko je predor enkrat predan uporabi. V meddržavnih predorih prihaja do pomanjkljivega usklajevanja med upravljalci iz obeh držav. Resne nezgode so opozorile, da so nedomači uporabniki bolj ogroženi zaradi pomanjkljive usklajenosti varnostnih informacij, komu-

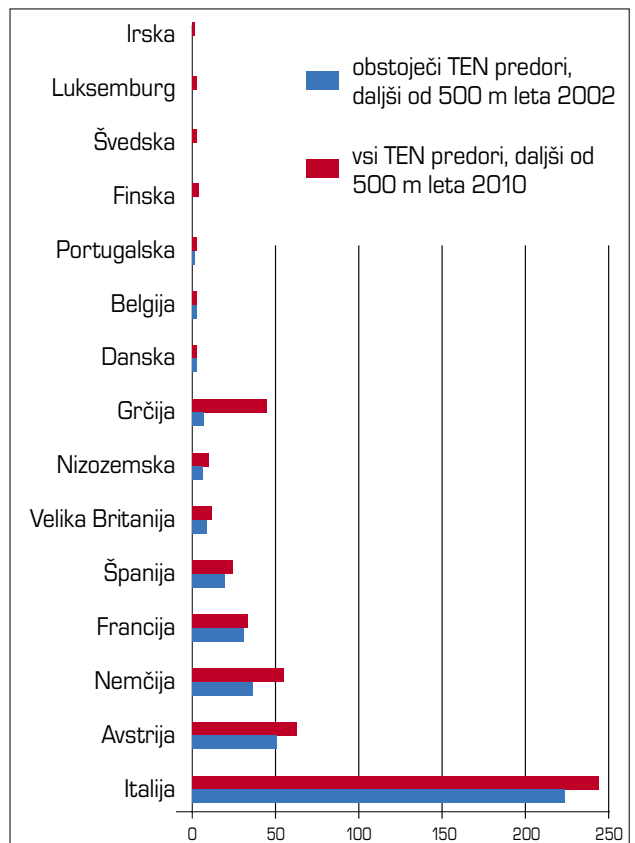
* prof. dr., Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za psihologijo, Aškerčeva 2, Ljubljana, marko.polic@ff.uni-lj.si

nikacij in opreme. Glavni vzroki nezgod so neustrezno vedenje uporabnikov cest, neustrezna infrastruktura in delovanje, okvare vozil in težave s tovari, npr. kemične reakcije. Ključna je odsotnost ukrepanja. Zaradi zaprtosti okolja imajo lahko nezgode v predorih, posebno požari, dramatične posledice. Po drugi strani pa je v predorih manj nezgod kot na odprtih delih ceste, toda kadar se pripetijo v predorih, je dogodke težje nadzorovati celo pri manjših nezgodah (Eurotest 2002). Predori, posebno daljši, namreč niso izpostavljeni neugodnim vremenskim razmeram (npr. dežju, snegu, ledu, vetru ipd.). Čeprav so požari razmeroma pogosti, po mednarodnih statistikah večino požarov na vozilih ne povzročijo nezgode, ampak samovžig vozila ali njegovega tovora predvsem zaradi okvar električnih sistemov ali pregretyh motorjev. Kljub temu je treba povedati, da so požari z najhujšimi posledicami (smrtne žrtve, ranjenci, velika gmotna škoda) nastali predvsem zaradi nezgod (12 od 14 najhujših požarov po svetu), z izjemo požara v predoru Mont Blanc, ki je nastal zaradi samovžiga tovornjaka (Commission of the EC, 2002). Kot je to običajno po različnih nezgodah, so tudi nezgode v predorih spodbudile raziskovanje in ustrezen premislek ter nastanek različnih priporočil, standardov in smernic o strukturni in tehnični opremi ali njenem delovanju, o reševalnih službah, postavile pa so tudi zahteve po ustreznem vedenju uporabnikov cest. V tem prispevku obravnavamo človeško vedenje, povezano z varnostjo v predorih. Pri tem nas predvsem zanimata dve skupini ljudi: uporabniki cest in osebje, odgovorno za morebitno krizno upravljanje v predoru. Glede na to, da obstaja sorazmerno malo raziskav o predorih, bomo skušali uporabiti tudi spoznanja, dobljena v raziskavah v drugih okoljih, kolikor pač ustrezajo vedenju ljudi v predorih.

Cestni predori v Evropi

V Evropi je zaradi konfiguracije zemljišča in nujnih prometnih smeri in povezav zgrajenih veliko cestnih predorov. Z varnostnega vidika so posebno pomembni daljši predori. Zato je Komisija ES predlagala, da naj bodo vsi delujoči predori, daljši od 500 metrov, predori v gradnji ali v načrtovanju in predori, pripadajoči čezevropskemu cestnemu omrežju (Trans-European transport network – TEN) podvrženi novim usklajenim varnostnim zahtevam.

Slika 1 kaže število obstoječih in predvidenih daljših predorov v članicah ES. Število predorov, dolgih med 500 in 1000 metri, je bilo določeno predvsem na podlagi statističnih in drugih virov držav članic. K tem predorom bo treba dodati še predore novih članic, npr. Bolgarije, Slovenije in Slovaške. Očitno je, da se evropske države razlikujejo po številu in dolžini predorov, kar obenem pomeni, da uporabniki cest iz različnih držav niso enako seznanjeni z njihovo uporabo in ustreznim vedenjem v njih. To lahko privede do težav, ko se bodo uporabniki z različnimi t. i. socialnimi normami v prometu srečali na istem kraju.



Slika 1. Število predorov, daljših od 500 m, v članicah ES (EC Memorandum, 2002)

Figure 1. Distribution of tunnels longer than 500 m in EC member states (EC Memorandum, 2002)

Nekaj podatkov o varnosti v predorih

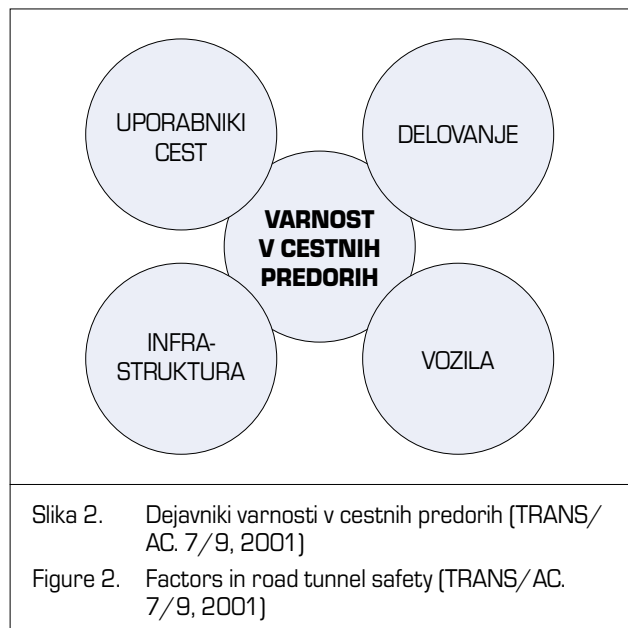
Glede na to, da nas zanima varnost v cestnih predorih, si bomo najprej ogledali nekaj podatkov o stanju varnosti v njih, nato pa še glavne vzroke nezgod. Ta vednost nam bo koristila pri obravnavi ustreznih protiukrepov, ki bi zagotavljali večjo varnost. Celotno situacijo obravnavamo kot sistem, v katerem je človeški dejavnik v interakciji s celotno prometno infrastrukturo. Priporočila skupine izvedencev za varnost v cestnih predorih (TRANS/AC. 7/9, 2001) izrecno upoštevajo štiri glavne dejavnike varnosti (slika 2).

Za prvo informacijo si bomo ogledali izide nedavnega pregleda evropskih predorov (Eurotest 2002), ki pa se ne ubada neposredno z vedenjem uporabnikov cest. Druge poglobljene raziskave nam bodo omogočile vpogled v dejavnike nastanka nezgod v predorih.

V pregledu so ocenjevali naslednje značilnosti: predorni sistem (npr. število cevi), pogoje (npr. osvetlitev), promet in nadzor prometa (npr. eno- ali dvosmerni promet, zastoji, hitrostne omejitve), komunikacijo (npr. zvočniki), zasilne in reševalne poti, požar (npr. oprema za zaščito pred požarom, sistem za preplah), požarno prezračevanje.

vanje in krizno upravljanje (npr. redne požarne vaje). Pregledali so 30 predorov v Evropi. Vrstni red so izračunali na osnovi seznama osmih značilnosti z dodeljenimi točkami v vsaki ter obteženimi glede na pomembnost; »zelo dober« pomeni vsaj 90 % vseh točk in »zelo slab« manj kot 60 % vseh točk (preglednica 1). Ocena možne nevarnosti je temeljila na naslednjih dejavnikih: obseg prometa, delež težkih tovornjakov, nagibi predora, eno- ali dvosmerni promet, gostota prometa ter prisotnost nevarnih snovi na tovornjakih.

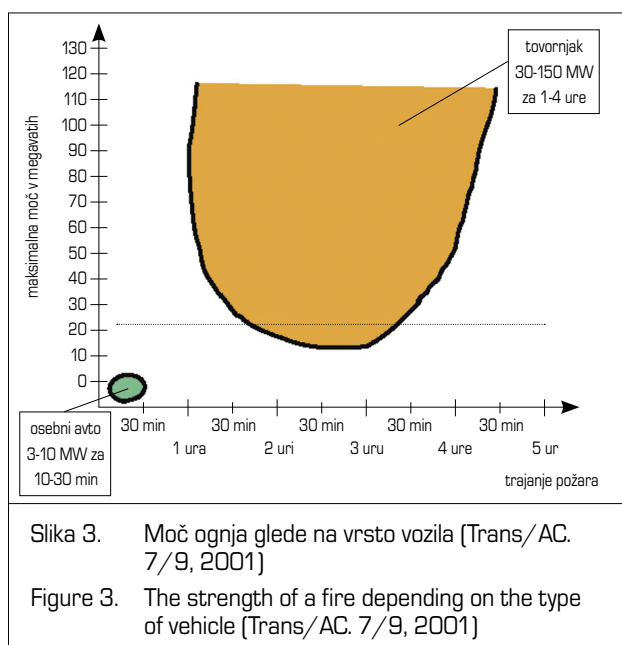
Nasploh razmere niso bile zadovoljive. Posebno slabosti posameznih predorov nam lahko nudijo informacijo o problemih, ki bi jih lahko uporabniki cest imeli med nevarnostjo (npr. ni zvočnikov, prevelika razdalja med zasilnimi izhodi, ni rešilnih poti, telefoni niso zvočno izolirani), ali o možnosti za nastanek nezgod (npr. ni informacije o opazovanju minimalne razdalje, ni nadzora hitrostnih omejitev). Podatki bi nas morali skrbeti, saj čeprav redke, se nezgode v predorih lahko razvijejo v hude



Predor	Država	%	Ocena	Možna nevarnost
Cointe	Belgija	96,2	zelo dober	srednja
Mont Blanc	Francija/Italija	96,2	zelo dober	srednja
Wijker	Nizozemska	95,4	zelo dober	srednja
Britz	Nemčija	86,3	dober	srednja
El Castellot	Španija	84,3	dober	nizka
Bosruck	Avstrija	83,8	dober	srednja
Mersey Kingsway	Velika Britanija	82,3	dober	srednja
Bözberg	Švica	81,8	dober	srednja
Strahov	Češka	80,4	dober	srednja
Pet Hein	Nizozemska	79,2	sprejemljiv	nizka
Rheinufer	Nemčija	78,4	sprejemljiv	srednja
Katschberg	Avstrija	78,9	sprejemljiv	srednja
Gotthard	Švica	78,1	sprejemljiv	zelo visoka
Parpers	Španija	77,6	sprejemljiv	nizka
Maurice Lemaire	Francija	77,2	sprejemljiv	zelo nizka
Leopold II	Belgija	76,4	sprejemljiv	srednja
La Défense	Francija	75,2	sprejemljiv	visoka
Dartford	Velika Britanija	73,9	sprejemljiv	srednja
Lainberg	Avstrija	72,4	sprejemljiv	srednja
El Folgoso	Španija	70,9	sprejemljiv	nizka
Mersey Queensway	Velika Britanija	70,4	sprejemljiv	srednja
Nordkapp	Norveška	70,3	sprejemljiv	nizka
Kappelberg	Nemčija	68,1	slab	visoka
Tyne	Velika Britanija	66,0	slab	srednja
San Salvatore	Švica	65,5	slab	srednja
San Juan	Španija	58,0	zelo slab	srednja
Løvstakken	Norveška	52,6	zelo slab	srednja
Blackwall North	Velika Britanija	52,6	zelo slab	srednja
Blackwall South	Velika Britanija	51,6	zelo slab	srednja
Ljubelj/Loibl	Avstrija/Slovenija	50,4	zelo slab	zelo nizka

Preglednica 1. Rezultati Eurotesta 2002 po vrstnem redu varnosti v predorih

Table 1. Euro-test 2002 results in order of tunnel safety rankings



nesreče. Sprejeti je treba več preprečevalnih ukrepov, tudi nekatere, povezane z vedenjem voznikov (npr: nadzor hitrosti in razdalje).

Požar in povzročena škoda sta odvisna tudi od vrste vozila, ki se je vnelo (slika 3). Požarna obremenitev osebnega avtomobila je veliko manjša kot pri tovornjaku, ki bo gorel dlje in imel večjo požarno moč. Tudi ta vidik je treba upoštevati pri načrtovanju varnostnih ukrepov in na evropski ravni predlagajo upoštevanje požarne moči 30 MW kot osnove za dimenzioniranje prezračevalnih sistemov v predorih. Nakazuje pa se tudi zahtevnost ukrepanja ob različnih požarih.

Nezgode v predorih

Glavne vzroke nezgod v predorih Aty (2002) razvršča v naslednje tri skupine:

- **notranji vzroki** – mehanske ali električne napake na nadzornem upravljalnem sistemu ter na logističnih in opornih sistemih,
- **zunani vzroki** – potresi (nasploh so predori zelo varni pred potresi), poplave, plazovi ipd.,
- **vzroki, povezani s človeškim delovanjem** – obratovalne napake, napake pri vzdrževanju, sabotaže, teroristični napadi itn.

Toda, če si ogledamo dejanske vzroke nezgod v predorih, bi morali omenjeno razvrstitev vsaj doreči, med človeške vzroke dodati prometne nezgode, med notranje (v smislu prometnega sestava) pa vsaj okvare vozil in dejavnike, povezane s tovorom (npr: samovžig) ali motorjem vozila (npr: požar zaradi pregretja motorja). Aty (2002) je tudi prepričan, da predstavljajo predori za mnoge voznike posebne okoliščine, povezane s čustvi nelagodja, izhajajočimi iz vstopanja v temo in skrbjo za lastno varnost. Neustrezno vedenje uporabnikov ceste je glavni vzrok večine nezgod.

Glede na naravo predorov in ugotovitve o pomembnosti vidnega okolja za varno vožnjo je razumljivo, da zagotavljanje varnosti, udobja in gladkega poteka vožnje zahteva skrb za ustrezno vidno okolje. Posebno v predorih sta dojemanje položaja vozila in boljše odkrivanje ovir pred vozilom zelo pomembna, ker se vidna učinkovitost zelo spreminja glede na razlike med razpršitvijo svetlosti cestnih in stenskih površin.

V predorih ni le nujno zagotoviti ustreznih svetlobnih pogojev, ampak tudi doumevanje potovalnega položaja in lahko prepoznavanje razdalje med vozilom in oviro. Zato je svetlost sten v predoru postala pomembna prvina in njihovo čiščenje je v tem smislu zelo učinkovit ukrep. Vse to zniža voznikovo napetost in posledično poveča varnost. V dobrem vidnem okolju po čiščenju sten v predoru lahko jasno opazimo kontrast med cestnimi in stenskimi površinami. Tudi okoliške razmere in potovalni položaj so dostopni v zadostni meri. Stopnja voznikovega osredotočanja na prednjo površino ceste se poveča s 40 % pred čiščenjem na 70 % po njem. Tako se poveča stopnja varnosti in izboljša vidno udobje.

V preglednici 2 je podan pregled požarov v predorih. Očitno je, da so naleti najpogostejši posamični vzrok nezgod. Ker so predori zaprti prostori, požari v njih povzročijo slabo vidljivost in razširitev dima in strupenih plinov vzdolž predora, hiter nastanek visokih temperatur in zmanjšanje ravni kisika v zraku. Obseg škode, povzročene uporabnikom ceste ob požaru v predoru, je torej veliko večji kot na odprti cesti. Bistveno je torej, da se uporabnikom omogoči umik ali rešitev. To pomeni, da mora biti dovolj rešilnih poti in hiter ter učinkovit prezračevalni sistem, posebno v predorih z dvosmernim prometom. Te zahteve veljajo tudi za nezgode brez požarov, pri katerih pride do sproščanja strupenih plinov.

Aty (2002) meni, da varno delovanje predorov med drugim zahteva upoštevanje naslednjega:

- Postavitev prehodov, ki povezujejo delujoči predor z oskrbovalnim predorom, in oblikovanje rešilnih poti za ljudi, ujete v požaru.
- Uvedba transporterjev za težke tovornjake, saj so bili ti vključeni že v več požarov v predorih.
- Ker je posredovalni čas zunanjih reševalnih skupin zelo dolg (tudi več kot uro), ima samoreševanje prednost. Zaposlene je treba usposobiti in vaditi v uporabi razpoložljive gasilne opreme. Vsi morajo imeti na razpolago samoreševalno opremo.
- Na dnu jaškov in na drugih krajih morajo biti postavljeni preživetveni zabojniki, ki imajo neodvisno zalogo zraka. To lahko zagotovi preživetje do prenehanja požara ali prihoda zunanje pomoči.
- Pomembno je zagotoviti varnost uporabnikom predora. Priporoča se, da upravljalci predora izdelajo ustrezen načrt zagotavljanja varnosti. Tako npr. bi bilo treba vsak zaprt tovornjak pregledati pred vstopom v predor, daljši od določene dolžine. Če je treba se vsem zaprtim tovornjakom prepoveda uporaba predorov v obdobjih največje gostote prometa.

Leto oz. datum	Predor, dolžina	Lokacija, država	Vozilo, na katerem se je pojavil požar	Najverjetnejši vzrok požara	Trajanje požara	Posledice		
						Posledice za ljudi	Poskodovana vozila	Strukture in apeljave
1949	na Nizozemskem, 2550 m	New York, ZDA	tovornjak z 11 t karbonsulfida	tovor padel s tovornjaka, eksplozija	4 h	66 poškodovanih, vdihavanje dima	10 tovornjakov, 13 avtomobilov	precejšnja škoda, prek 200 m
1974	Mont Blanc, 11.600 m	Francija, Italija	tovornjak	motor	15 min	1 poškodovan		
1976	križišče BP-A6, 430 m	Pariz, Francija	tovornjak s 16-tonskimi valji poliestrskega filma	visoka hitrost	1 h	12 lahkih poškodb (dim)	1 tovornjak	precejšnja škoda, prek 150 m
1978	Velsen, 770 m	Velsen, Nizozemska	4 tovornjaki in 2 avtomobila	nalet	1 h 20 min	5 mrtvih, 5 poškodovanih	4 tovornjaki, 2 avtomobila	precejšnja škoda, prek 30 m
1979	Nihonzaka, 2045 m	Shizuoka, Japonska	4 tovornjaki in 2 avtomobila	nalet	159 h	7 mrtvih, 1 poškodovan	127 tovornjakov, 46 avtomobilov	precejšnja škoda, prek 1100 m
1980	Kajiwara, 740 m	Japonska	tovornjak s 3600 l barve v 200 kvi nskih posodah	trk v stranski zid in obračanje		1 mrtev	1 tovornjak (4 t), 1 tovornjak (10 t)	precejšnja škoda, prek 280 m
1982	Caldecott, 1028 m	Oakland, ZDA	avtomobil, avtobus in tovornjak s 33.000 l bencina	nalet	2 h 40 min	7 mrtvih, 2 poškodovana	3 tovornjaki, 1 avtobus, 4 avtomobili	precejšnja škoda, prek 580 m
3. 11. 1982	Salang, 2700 m	Mazar-e-Sharif-Kabul, Afganistan	sovjetska vojaška kolona, vsaj 1 tovornjak z bencinom	neznan, verjetno eksplozija mine		več kot 200 mrtvih		
1983	Pecunia Galleria, 662 m	Gènes Savone, Italija	tovornjak, naložen z ribami	nalet		9 mrtvih, 22 poškodovanih	10 avtomobilov	majhna škoda
1986	L'Arme, 1105 m	Nica, Francija	tovornjak s prikolico	zaviranje po prehitri vožnji		3 mrtvi, 5 poškodovanih	1 tovornjak, 4 avtomobili	nekaj opreme uničene
1987	Gumefens, 343 m	Bern, Švica	tovornjak	nalet	2 h	2 mrtva	2 tovornjaka, 1 dostavni avtomobil	neznatna škoda
1990	Røldal, 4656 m	Røldal, Norveška	VW-transporter s prikolico		50 min	1 poškodovan		majhna škoda
1990	Mont Blanc, 11.600 m	Francija, Italija	tovornjak z 20 t bombaža	motor		2 poškodovana	1 tovornjak	nekaj opreme uničene
1993	Serra Ripoli, 442 m	Bologna - Firenze, Italija	avtomobil in tovornjak z zviti papirja	trk	2 h 30 min	4 mrtvi, 4 poškodovani	5 tovornjakov, 11 avtomobilov	majhna škoda
1993	Hovden, 1290m	Høyanger, Norveška	motorno kolo in 2 avtomobila	nalet	1 h	5 poškodovanih v trku	1 motorno kolo, 2 avtomobila	111 m izolacijskega materiala uničenega

1994	Huguenot, 3914 m	Južna Afrika	avtobus s 45 potniki	električna napaka	1 h	1 mrtev, 28 poškodovanih	1 avtobus	precejšnja škoda
10. 4. 1995	Pfander, 6719 m	Avstrija	tovornjak s prikolico	trk	1 h	3 mrtvi, 4 poškodovani	1 tovornjak, 1 dostavni avtomobil, 1 avtomobil	precejšnja škoda
18. 3. 1996	Isola delle Femmine, 148 m	Palermo, Italija	cisterna s tekočim plinom in majhen avtobus	nalet		5 mrtvih, 20 poškodovanih	1 cisterna, 1 avtobus, 18 avtov	precejšnja škoda, predor zaprt 2,5 dneva
24. 3. 1999	Mont Blanc, 11.600 m	Francija, Italija	tovornjak, naložen z moko in margarinno	uhajanje olja in okvara motorja		39 mrtvih	23 tovornjakov, 10 avtov, 1 motorno kolo, 2 gasilni brizgalni	precejšnja škoda, predor ponovno odprt 22. 12. 2001
29. 5. 1999	Tauern, 6401 m	A 10 Salzburg – Spittal, Avstrija	tovornjak, naložen z barvo	nalet: 4 avtomobilov in 2 tovornjakov		12 mrtvih, 49 poškodovanih	14 tovornjakov, 26 avtomobilov	precejšnja škoda
14. 7. 2000	Seljestad, 1272 m	E 134 Drammen – Haugesund, Norveška	na tovornjaku s prikolico, ki je povzročil večkratne trke, je pred trkom nastal požar v strojnici .	nalet, tovornjak s prikolico je porinil avtomobil v 4 avtomobile, ki so se ustavili za drugim tovornjakom	45 min	6 poškodovanih	1 tovornjak, 6 avtomobilov, 1 MC	precejšnja škoda, predor zaprt 1,5 dneva
28. 5. 2001	Prapontin, 4409 m	A 32 Torino – Bardonecchia, Italija	romunski tovornjak, natovorjen s peso	mehanske težave		19 poškodovanih zaradi dima		predor zaprt do 6. 6. v smeri Frejusa [zahod]
6. 8. 2001	Gleinalm, 8320 m	A 9 blizu Gradca, Avstrija	avtomobil	čelni trk tovornjaka in avta		5 mrtvih, 4 poškodovanih		
24. 10. 2001	St. Gotthard, 16.918 m	A 2, Švica	tovornjak	čelni trk 2 tovornjakov	2 dni	11 mrtvih	13 tovornjakov, 4 dostavni avtomobili, 6 avtomobilov	precejšnja škoda, predor zaprt 2 meseca

NESREČE S POŽARI V BLIŽINI CESTNIH PREDOROV

Leto	Predor dolžina	Lokacija država	Vozilo, na katerem se je pojavil požar	Najverjetnejši vzrok požara	Trajanje požara	Posledice		
						Posledice za ljudi	Poškodovana vozila	
17. 10. 2001	Guldborgsund, 460 m	E 47, podmorski predor Falster – Lolland, Nykøbing, Danska	tovornjak in več avtomobilov	nalet v gosti megli, požar se je začel 100 m po predoru		5 mrtvih, 6 poškodovanih	Poškodovana vozila	
							Razdalja od vhoda v predor	
								100 m severno

Preglednica 2. Nezgode s požari v cestnih predorih po svetu (The world's Most Long Tunnel Page)

Table 2. Fire Accidents in the World's Road Tunnels (The world's Longest Tunnel Page)

Posledice	V predoru	Na državnih cestah zunaj predorov
mrtvi	26 (3,5 %)	185 (2,8 %)
zelo hudo poškodovani	13 (1,8 %)	118 (1,8 %)
hudo poškodovani	86 (11,5 %)	655 (9,9 %)
lahko poškodovani	620 (83,2 %)	5643 (85,5 %)
število ubitih ali poškodovanih	745	6601

Preglednica 3. Število poškodovanih in ubitih v predorih in na cestah v Norveški (Amundsen and Ranes, 2000)

Table 3. Number of people injured and killed in tunnels and on national roads in Norway (Amundsen and Ranes, 2000)

Vrsta trka	V predoru	Na državnih cestah zunaj predorov
ista smer	43,3 %	22,2 %
nasprotni smeri	17,2 %	14,3 %
prečkanje in obračanje	1,6 %	23,7 %
vklučeni pešci	1,6 %	8,1 %
vozilo zapustilo cesto	29,8 %	26,3 %
druge vrste nezgod	6,5 %	5,4 %
skupno število nezgod	372	4917

Preglednica 4. Trki v predorih in na odprtih cestah v Norveški glede na vrsto (Amundsen and Ranes, 2000)

Table 4. Crashes in road tunnels and on national roads by accident type in Norway (Amundsen and Ranes, 2000)

Letni povprečni dnevni promet (AADT)	Število predorov	Dolžine (km)	Povprečno vozil/dan	Pot (milijon vozil km/leto)	Trki	Stopnja trkov (trk/milijon vozil km)
0-500	108	83,7	400	11,3	13	0,23
501-1000	167	159,0	800	44,5	40	0,18
1001-5000	206	149,6	2.200	108,5	76	0,14
5001-10000	49	29,8	7.400	78,2	50	0,13
prek 10000	57	38	23.600	324,6	186	0,11
skupaj	587	460,1	4.000	567,1	365	0,13

Preglednica 5. Pogostost in stopnje trkov in AADT (Amundsen and Ranes, 2000)

Table 5. Crash frequencies and rates and AADT (Amundsen and Ranes, 2000)

V norveški raziskavi 587 cestnih predorov (Amundsen and Ranes, 2000), v katerih je bilo v petletnem obdobju (1992-1996) ubitih ali poškodovanih 745 oseb, so ugotovili, da so bili deleži hudo poškodovanih in ubitih v trkih v predoru višji kot v trkih na ostalem delu nacionalnega cestnega omrežja. Toda povprečne stopnje nezgod v predorih so bile nižje od stopenj nezgod na norveških dvopasovnih cestah. To pomeni, da trki v predorih niso pogostejši, da pa je teža nezgod v njih nekaj višja kot nasploh na nacionalnem cestnem omrežju. Ugotovili so tudi, da izboljšana razsvetljava in oblikovanje vhoda v predor pozitivno prispevata k pomembnemu zmanjšanju nezgod pri vožnji skozenj.

Analiza vrste trkov je pokazala, da so deleži čelnih trkov, trkov posameznih vozil in drugih vrst trkov v predorih podobni tistim na ostalem cestnem omrežju. Toda naleti so bili dvakrat pogostejši v predorih kot na odprtih cestah. Porazdelitev trkov v predorih in na cestah kaže preglednica 4.

Delež trkov se zmanjšuje z naraščanjem dolžine predora (preglednica 5). To je pričakovano, saj je delež trkov pri

vhodu v predor višji kot v sredini. Ožji predori (manjše število pasov) imajo večji delež trkov kot širši. Ugotovili so, da se pojavlja večji delež trkov zunaj odprtih predorov na cestah z enosmernim prometom. V teh primerih prevladujejo naleti. Ti so pogosto povezani z velikim obsegom prometa, včasih z zaslepljujočo sončno svetlobo in preblizu skupaj nameščenimi prometnimi signali (Aty, 2002; Amundsen and Ranes, 2000).

Aty (2002) navaja rezultate raziskave prometne signalizacije v predoru bostonske osrednje prometnice Interstate 93. Nizek strop, majhna višina ter vodoravna in navpična ukrivljenost v predoru so zmanjšali razdaljo, s katere so vozniki lahko videli prometne znake. Veliki tovornjaki so preprečevali zaznavo usmerjevalnih znakov. Vozniki, posebno tisti, ki jim predor ni znan, si tako le s težavo pridobivajo potrebna obvestila, da bi odkrili ustreznih izhod. To vodi v frustracijo voznikov in lahko tudi v zmanjšanje varnosti.

Da bi dosegli optimalno raven varnosti, je glavni cilj preprečevanje kritičnih dogodkov, drugi pa zmanjšanje njihovih posledic. V osnovi so prometna pravila, ki veljajo v

predorih, ista kot na odprtih cestah, tj. ohranjanje varne razdalje, upoštevanje hitrostnih omejitev in največjih obtežitev, zaščita vseh tovorov in opozarjanje ostalih uporabnikov ceste ob pojavu motenj in zastojev. Še bolj kot na odprti cesti je priporočljivo, da vozniki v predorih poslušajo radio, da lahko prejmejo prometna poročila kot tudi posebna navodila. Obstaja pa še več dodatnih prometnih pravil, ki veljajo posebej za predore (Aty, 2002):

- Prehitevanje je prepovedano, če obstaja samo en pas v vsako smer.
- Obračanje in vračanje nista dovoljena, razen če to ne zahteva osebje v predoru.
- Luči morajo biti prižgane tudi v razsvetljenih predorih.
- V predoru ni dopustno zaustavljanje, razen v primeru sile, ko je treba motor takoj ugasniti.

Glavne naloge upravljalcev predora so:

- zagotavljanje varnosti uporabnikom in zaposlenim tako v normalnih razmerah (preventiva) kot v primeru nezgode,
- nadzorovanje učinkovitega delovanja naprav (vključno z zračenjem, osvetlitvijo ipd.) med normalnim delovanjem ter njihova ustrezna prilagoditev ob nezgodi,
- ustrezno vzdrževanje vse strukturalne in elektromehanske napeljave.

Človeško vedenje med požarom

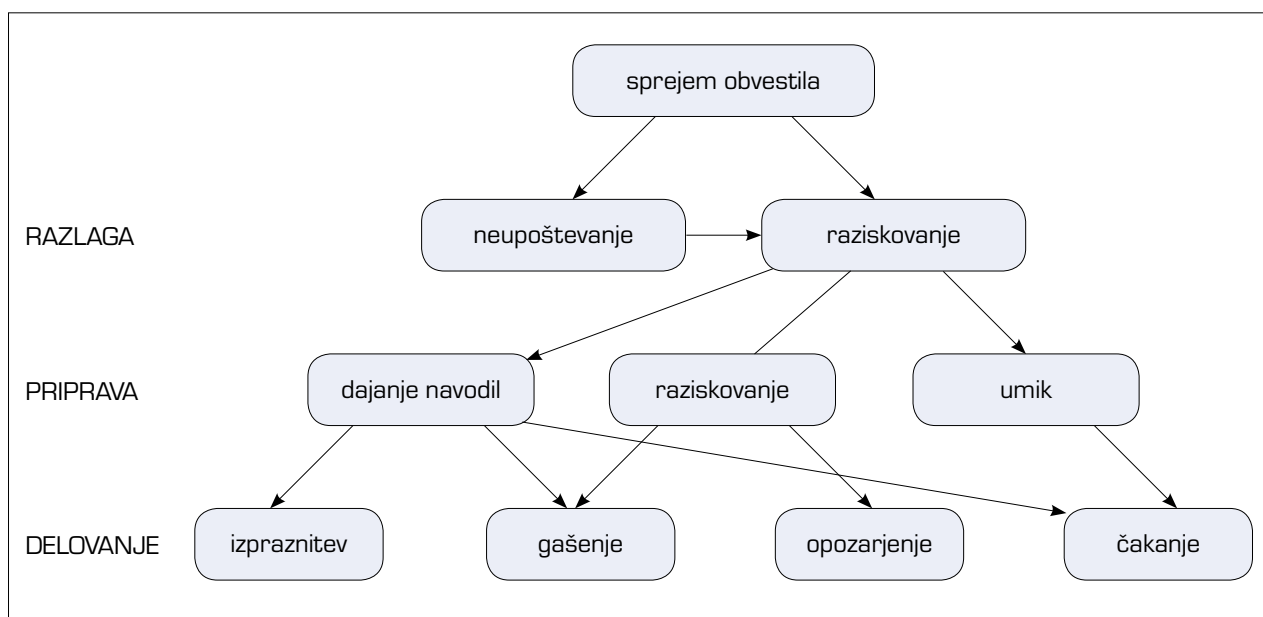
Canter, Breaux and Sime (1980) so v svoji raziskavi požarov pokazali, da ljudje doživljajo požar kot zapleten, hitro se spreminjajoč dogodek, ki je vsaj v začetku običajno zelo dvoumen in nudi malo pozitivnih obvestil za

delovanje. Osebe, soočene s požarom, potrebujejo veliko obvestil, da bi v celoti razumele razmere in se odločile kaj naj naredijo. Canter in sodelavci so odkrili značilna zaporedja dejanj za različne požare in ponudili splošni model teh zaporedij (slika 4).

Posebno pomembne so točke spremembe zaporedja. Pojavljajo se tri take točke:

- prva je neposredno po začetnih znakih, ko se pojavita zaporedji 'raziskovanje' ali 'neupoštevanje' oz. zmotna razlaga;
- druga se pojavi po opažanju dima, ko se začne eno od treh zaporedij 'priprave';
- tretja sledi pojavljanju določene priprave in omogoča izbiro med zaporedji 'čakanje', 'opozarjanje', 'gašenje' in 'izpraznitev'.

Očitno je, da raznolikost možnih dejanj narašča z razvojem zaporedij vedenja. To pomeni, da medtem ko v začetnih stopnjah zaporedja lahko z določeno gotovostjo podamo neke splošne trditve o vedenju ljudi med požari, bodo na kasnejših stopnjah dejanja bolj odvisna od danega okolja. Čeprav niso proučevali požarov v predorih, so te ugotovitve uporabne tudi zanje. Oklevanje na začetku je pokazala tudi raziskava, ki jo je izvedel Boer (2002) o požarih v predorih. Izvedel je celovit raziskovalni projekt o evakuaciji voznikov v predoru s štirimi terenskimi raziskavami, ki nudijo verjetno najbolj konkretna spoznanja o vedenju ljudi med požarom v predoru. Prva raziskava (anketna) je pokazala, da večina udeležencev (60 %) meni, da se bodo lahko umaknili po cesti. Ko so bili enkrat v predoru (terenska raziskava), se jih je le četrtnina umaknila po cesti; ostali so uporabili zasilni izhod. Ko so prišli skozi zasilni izhod v uslužnostno cev, niso vedeli, kaj storiti naprej. Prevladovala je nedejavnost. Ljudje so ostajali v avtomobilih celo, ko je bilo prvih deset povsem ovitih v dim. Le v enem preskusu



Slika 4. Zaporedja človeških vedenj v požarih: povzetek splošnega modela (Canter, Breaux and Sime, 1980).

Figure 4. Sequences of human behaviour in fires: Summary of the general model (Canter, Breaux and Sime, 1980).

je prišlo do spontane izpraznitve, ki se je verjetno porodila v majhni diskusijski skupini. Uradna navodila kot »nevarnost eksplozije« ali »prosim, zapustite predor« so vedno pripeljale do izpraznitve. Ko je enkrat nekaj ljudi šlo skozi vrata zasilnega izhoda, so jim ostali sledili. Vrata so predstavljala ozko grlo rešilne poti, vendar ni bilo (skoraj) nobenih zastojev. V raziskavi z dimom je večina udeležencev zgrešila vrata zaradi dima. Zvočna znamenja so bila učinkovita le z navodilom »nad zasilnimi izhodi so zvočna znamenja«.

Dim, opozarjanje in izpraznitev

Požari v predorih običajno pomenijo tudi prisotnost dima. Če imajo izbiro, se bodo ljudje izogibali hoji skozi dim, toda umikanje pred požarom pogosto poteka skozi območja, napolnjena z dimom. V predorih morajo pogosto v dimu odkriti zasilni izhod. Raziskave vidnosti znakov za izhod in osvetlitve, izvedene s pomočjo opazovanja sobe, napolnjene z dimom, skozi stekleno okno ali z uporabo gledališkega dima, s čemer so se izognili dražejim vplivom dima na oči, so pokazale veliko poslabšanje vidnosti v dimu (sliki 5 in 7). Medtem ko se dim dviga, kadar se pomeša z vročimi plini, njegova gostota ni vedno najnižja blizu tal. Dim teži h gibanju vzdolž stropa, kadar se meša z vročimi, dvigajočimi se plini požara. Ko pa se ti plini hladijo, se dim spusti in lahko napolni celoten prostor. Pospešen prezračevalni sistem in delovanje škropilcev lahko razpršita dim enakomerno po prostorih. V teh pogojih nizka namestitvev znakov za izhod ne pomaga veliko.

Uporaba usmerjevalnega zvoka za označitev izhodov omogoča prepoznavo njihovega položaja, kadar so zakriti. Zvok signala se mora jasno razlikovati od zvoka zvoncev/siren za preplah. V razmerah brez dima uporaba signalnikov za lokalizirajoči usmerjevalni zvok za izpraznitev dodatno opozori na znake za zasilni izhod. Znake ljudje pogosto spregledajo, ker so tako znani in običajno nepomembni. »Zvočni znak za izhod« lokacijskega signalnika dopolnjuje požarni preplah in osvetlitvene sisteme.

Raziskave so pokazale, da lokacijski signalnik lahko skrajša izpraznitveni čas v dimu tudi za 75 % in pri popolni vidljivosti za 35 % (www.soundalert.com/way-finding.htm).

Raziskava, v kateri so uporabili različne svetlobne vire, je pokazala, da v dimu svetloba ne zadostuje. Zato morajo biti v predorih zasilni izhodi opremljeni tudi z zvočnimi signalniki, ki bodo nudili smerno obvestilo o položaju izhoda. Taka oprema odstrani potrebo po prejšnji izkušnji z okoljem, zmanjša oklevanje in ukine napake pri iskanju poti (Withington, 2000). Omeniti je treba, da zvok, da bi bil usmerjevalen, potrebuje vsa tri frekvenčna območja, nizko, srednje in visoko.

Sklenemo lahko, da bo brez vodenja usmerjevalnih zvočnih znakov zaupanje ljudi v smer gibanja nizko, kar bo vplivalo na njihovo hitrost in pripravljenost za umik (po www.dse-web.fsnet.co.uk/human_behaviour.htm). V dimu skušajo ljudje slediti vsakemu znaku, ki ga najdejo. Nekateri so lahko tudi napačni. Zato jim usmerjevalni zvok lahko pomaga. Medtem ko običajni zvočni preplah le pripravi ljudi, jih usmerjevalni zvok tudi vodi. Withington (1999) zato močno zagovarja dodajanje zvoka svetlobnemu sistemu zasilnih izhodov in podaja tudi teoretično osnovo za njihovo uporabo. Obstajajo tri glavne vrste informacije, ki nam omogočajo lokaliziranje zvoka: razlika v jakosti/glasnosti zvoka med obema ušesoma (ID) in razlika v času dospetja zvoka do obeh ušes (ITD) (dvošesna znaka), kot tudi z glavo povezana prenosna funkcija (HRTF), ki se nanaša na učinke zunanjega ušesa na zvok. Za posamezne frekvence so ti znaki prostorsko dvoumni (stožec zamenjave). ITD-znaki so prisotni v zvokih s frekvencami, nižjimi od 1 kHz, ID-znaki izvirajo iz 3 kHz in višjih zvokov, HRTF-znaki pa so učinkoviti pri 1 kHz in višjih zvokih. Večja kot je frekvenčna vsebina, boljša je točnost zvočne lokalizacije.

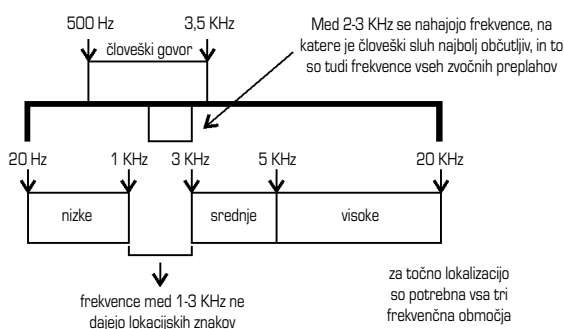
V razmerah, ko je izhod zapleten ali težaven, za obvestila pogosto uporabljajo človeški glas. Neuspeh v razumevanju sporočila nastaja iz več razlogov. Sporočilo, ki ni razumljivo ne bo razumljeno. Prav tako ne bo razumljeno



Slika 5. Raziskava, ki jo je izvedlo Podjetje za raziskavo gradenj v Veliki Britaniji, je z uporabo prostovoljcev v gledališkem (belem) dimu pokazala, kako se v dimu spreminja vidnost različnih izhodnih znakov. Niso upoštevali ne učinkov pravega dima na oči ne strupenosti, vendar raziskava kaže, da nobena od uporabljenih tehnologij v gostem dimu ni vidna na razdalji, večji od 1,5 m (vir: www.soundalert.com/way-finding.htm)

Figure 5. Research carried out by the Building Research Establishment (UK), using volunteers in theatrical (white) smoke illustrates how the visibility of different types of exit signs varies in smoke. It ignores the effects of real smoke or toxicity on the eyes; however, it does illustrate that NONE of these technologies is visible at over 1.5 metres in dense smoke (source : internet: www.soundalert.com/way-finding.htm).

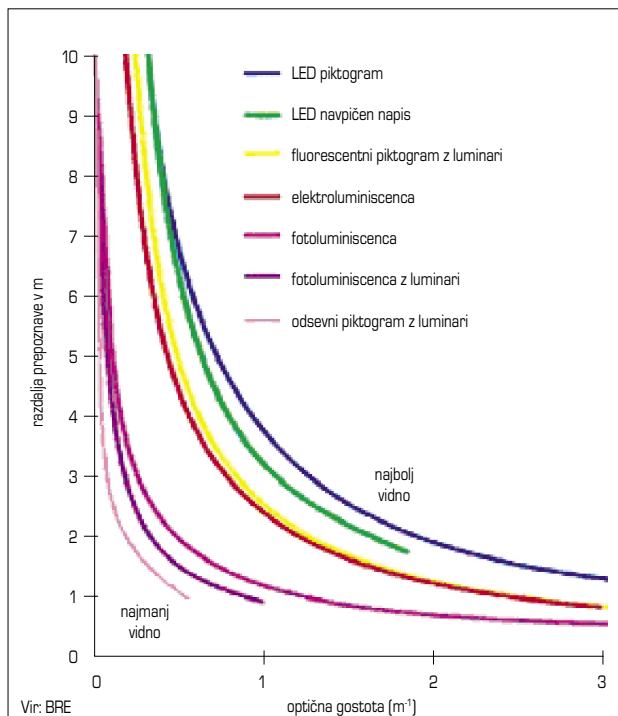
OBSEG ČLOVEŠKEGA SLUHA



Slika 6. Tri frekvenčna območja, potrebna za dobro lokalizacijo (Withington and Lunch, 2002)

Figure 6. Three frequency bands needed for good localization (Withington and Lunch, 2002)

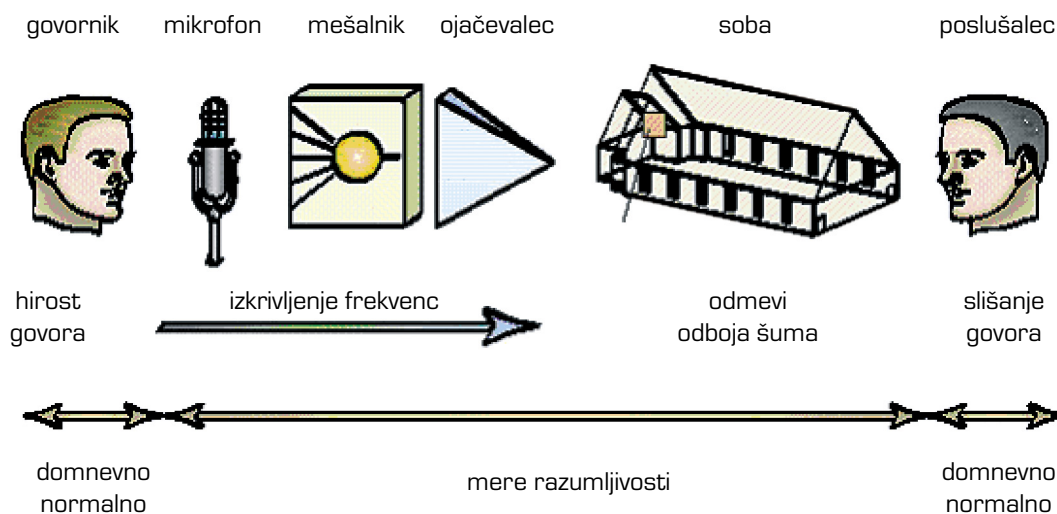
sporočilo v tujem jeziku. Oseba, ki govori hitro ali ima govorno napako, lahko povzroči nerazumevanje sporočila. Celo dobro izgovorjeno razumljivo sporočilo v materinem jeziku bo lahko narobe razumljeno, če ni slišno ali če je prenos do poslušalca izkrivljen. Razumljivost govora je mera njegove učinkovitosti. Merjenje se navadno izraža v odstotku pravilno prepoznane sporočila. Razumljivost govora ne zajema njegove kakovosti. Da bi bil govor razumljiv, mora imeti ustrezno slišnost (raven zvočnega pritiska) in ustrezno jasnost. Jasnost lahko zmanjšajo različna izkrivljanja zaradi opreme ali akustike okolja. Načrtovalci in inženirji imajo največji vpliv na razumljivost govora z izbiro opreme, številom in postavitvijo zvočnikov in močjo, s katero delujejo.



Vir: BRE

Slika 7. Razdalja prepoznavanja pri različnih optičnih gostotah dima. Pri optični gostoti 1 m^{-1} je najboljša tehnologija omogočala vidljivost na zgolj 4 m, medtem ko so bili fotoluminiscenčni znaki vidni na komaj nekaj več od enega metra. (vir: www.soundalert.com/way-finding.htm)

Figure 7. Recognition distance at various optical smoke density. At OD 1 m^{-1} , the best technology was visible at just 4 metres whilst Photoluminescent signs were visible at just over 1 m [source internet: www.soundalert.com/way-finding.htm].



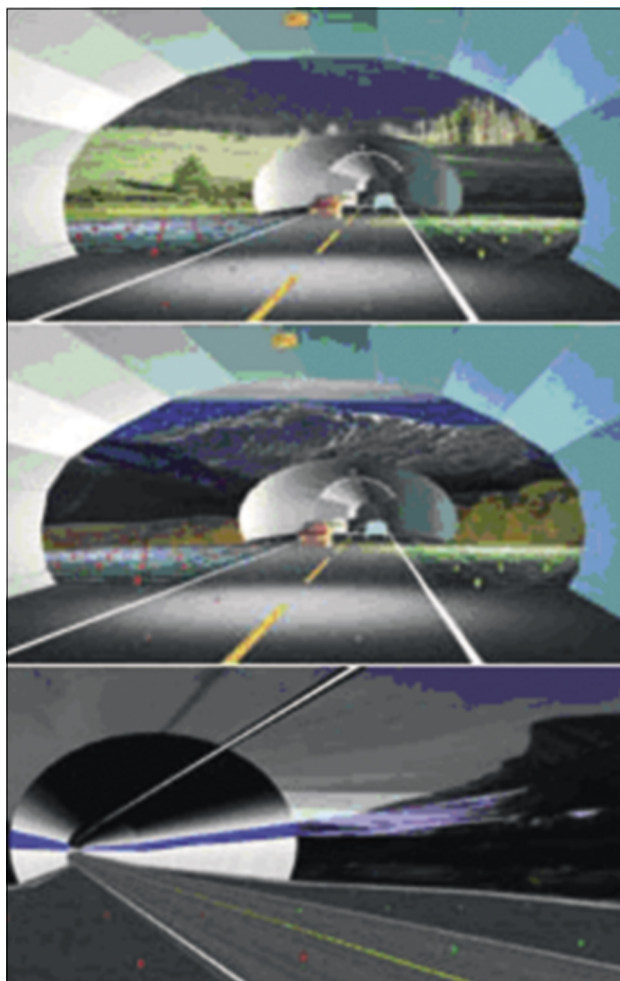
Slika 8. Pot zvočnega signala. Slika kaže vrste napak, do katerih lahko pride na vsaki stopnji v sporočilu. Problemi ali napake imajo kumulativen učinek na razumevanje sporočila (NEMA, fall 2002, No. 16, www.sfpe.org).

Figure 8. Voice Signal Path. The figure shows the types of errors that can be introduced into a message at each stage. Problems or faults have a cumulative effect on understanding the message (NEMA, fall 2002, No. 16, www.sfpe.org).

Vendar je to le del zgodbe. Sporočilo mora biti ne le razumljeno, ampak ga morajo ljudje tudi upoštevati in se po njem ravnati. Opozorila običajno predstavljajo zelo učinkovit ukrep v preprečevanju ali blažitvi resnih posledic nesreče, seveda pod pogojem, da so pravočasna, ustrezno oblikovana in podana. Quarantelli (1984) meni, da je opozorilo veliko več kot linearni prenos sporočila od vira do javnosti. Predvsem mora biti sporočilo jasno, konkretno, zaznano kot ustrezno in mora usmerjati ljudi v to, kaj naj naredijo. Ker odziv na opozorilo vsebuje opredelitev razmer, mora opozorilo povzročiti premik v zaznavi razmer, od varnega k nevarnemu in usmerjati delovanje ogroženih ljudi. Prvi odziv na opozorilo je navadno zanikanje, saj so ljudje nagnjeni k normalnosti. Preplah bo verjetneje ljudem pokazal, da je nekaj narobe, ne bo pa jih mobiliziral za neposredni odziv. Lindell and Perry (1987) sta dognala, da iz literature o nesrečah sledi, da med prejemom opozorilnega sporočila in prilagojevalnim odzivom posredujejo trije koraki: premlevanje (potrditev sporočila in zbiranje obvestil), ocena osebne ogroženosti (bližina, gotovost in ostrina grožnje) in ocena logistike odziva (možnost zaščite, razpoložljiv načrt in družina skupaj). Tudi v primeru predorov moramo te dejavnike upoštevati. Med nezgodami v predorih bodo ljudje opazovali početje drugih uporabnikov ceste ali osebja in to bo lahko močnejši znak za aktivnost od opozorila samega.

Sklepi in priporočila

Čeprav ni bilo veliko raziskav trkov in nesreč v predorih, nam spoznanja obstoječih in mnogih raziskav, narejenih v drugih, tudi neprometnih okoljih, omogočajo nekaj sklepov in ugotovitev, ki lahko prispevajo k večji varnosti v predorih. Tako je treba že pri načrtovanju upoštevati dejavnike, ki bodo po eni strani zmanjšali verjetnost trkov, požarov ipd. po drugi pa – če do njih že pride – olajšali ogroženim pot na varno. Že v izboljšanem vidnem okolju po čiščenju sten predora lahko jasno opazimo kontrast cestnih in stenskih površin. S tem sta zagotovljena varnejša vožnja in izboljšano udobje voznika. Nevarnost trkov pri vходу v predor je petkrat višja kot v sredini zaradi težav, ki jih imajo vozniki pri prilagajanju, posebno podnevi. Pogosto so trki povezani z velikim obsegom prometa in včasih tudi z zaslepitvijo zaradi sonca in preblizu skupaj nameščenimi prometnimi znaki. Zato je treba vhode ustrezno oblikovati (razširiti). Predlogi za povečanje udobja v predorih vključujejo: razširitev predora, oblikovanje predorov v obliki trobente, kjer bi razširili vhod ter izhod in ostale strateške točke v predoru. Predor Laerdal (slika 9) je tako razdeljen na štiri dele, dolge po šest kilometrov (Dragland, 2002), vmesne votline pa so osvetljene tako, da posnemajo sončni vzhod. Če se razmak med lučmi v predoru ujema z ritmom srca med počitkom, ima lahko hipnotičen učinek. Nadpovprečna pogostost naletov opozarja na potrebo po vzdrževanju večje varnostne razdalje. Pomembno je razvedovanje v predoru, npr. poznavanje oddaljenosti od izhoda (vhoda). Morda je pri tem smiselna uporaba različnih barvnih kod.



Slika 9. Rešitve v predoru Laerdal, ki psihološko popravljajo videz predora. Potovanje ne sme biti dolgočasno in enolično. Ustvarjanje določene stopnje pestrosti med vožnjo bo zmanjšalo nevarnost izgube koncentracije pri vožnji in nastanek »slepotе za hitrost«.

Figure 9. Solutions in the Laerdal Tunnel which psychologically correct the view in the tunnel. A trip should not be boring and monotonous. The creation of a degree of variation during a car journey will reduce the risk of the driver losing concentration and becoming "speed blind".

Takojšnje in zanesljivo odkrivanje požarov ter prepoznavanje njihovega točnega položaja sta zelo pomembna v večini predorov, saj požar predstavlja eno največjih groženj varnosti v predorih. Pristojnosti in odgovornosti upravljalcev predora morajo biti jasno opredeljene v obliki pravil. Svojemu osebju morajo nuditi izčrpno specializirano usposabljanje, ki jim bo omogočilo uspešno ukvarjanje s kakršno koli možno nezgodo. Priporočljivo je, da uprava predora izdelava varnostni načrt.

Glede požarov je Boer (2002) prišel do naslednjih sklepov in priporočil: nedejavnost uporabnikov ceste je treba premagati z opozorilom upravljalca predora in/ali predhodno danimi navodili o vedenju med požarom v predoru, ki lahko predstavljajo del usposabljanja voznikov; zasilne izhode je treba opremiti z zvočnimi signali; pripo-

ročljivo je uradno določiti, v kakšnem stanju naj vozniki zapustijo avto (odklenjen, s ključem, s prižganimi lučmi?) in jih s tem seznaniti; oznake v uslužnostnem predoru morajo jasno nakazati, kaj na evakuiranci storijo, ko enkrat vanj vstopijo itn.

V predoru mora biti ustrezen komunikacijski sistem prek zvočnikov ali prek radia (samodejna sprememba frekvence na frekvenco predora). V kolikor zasilni izhodi vodijo v sosednji predor, je ograja na obeh straneh morda rešitev, ki bi preprečila trke med vozili in pešci po zapustitvi ogrožene cevi. Opozorilo ob nevarnosti mora izrecno povedati, za kaj gre (narava grožnje) in kaj je treba storiti. Podati ga je treba brez oklevanja. Opozorila za različne primere morajo biti pripravljena vnaprej in osebje predora mora biti usposobljeno za krizno delovanje. Smiselna je uporaba spremenljivih prometnih znakov, postavljenih v globino na obeh straneh predora, da bi ob nezgodi lahko urejali in preusmerjali prihajajoči promet.

To je le nekaj ugotovitev in napotkov, predvsem pa obstaja še veliko vprašanj, na katera bo treba čim prej odgovoriti, da teh odgovorov ne bodo terjale nove žrtve.

Viri in literatura

1. Amundsen, F. H., Raner, G., 2000. Studies on Traffic Accidents in Norwegian Road Tunnels, *Tunnel Safety, Tunneling and Underground Space Technology*, 15, 1, 3–11.
2. Andersen, T., Paske, B. J., 2002. Fire safety in tunnels and selection of tunnel concept. *Det Norske Veritas*.
3. Aty, M., 2002. Tunnel Safety, Technical Clearinghouse For Auto Clubs (povzeto po medmrežju).
4. Biecheler-Fretel, M. B., Danech-Pajouh, M., 1988. Alcohol, Mobility and Basic Driving Behaviour. V: Rothengatter, J. A., deBruin, R. A. (Eds.), *Road User Behaviour*. Assen: Van Gorcum.
5. Boer, L. C., 2002. Behaviour by motorists on evacuation of a tunnel. TNO Report, TM-02-C034, Soesterberg: TNO (povzeto po medmrežju).
6. Brown, I. D., 1982. Driver Behaviour. V: Chapman, A. J., Wade, F. M., Foot, H. C., (Eds.). *Pedestrian Accidents*, New York: Wiley, 133–168.
7. Cannon-Bowers, J. A., Salas, E. (Eds.), 1998. *Making Decisions Under Stress*. Washington: APA.
8. Canter, D., Breaux, J., Sime, J., 1980. Domestic, Multiple Occupancy, and Hospital Fires. V: D. Canter (Ed.). *Fires and Human Behaviour*. Chichester: Wiley, 117–136.
9. Commission of the European Communities, 2002. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network. Brussels: COM(2002) 769 final (povzeto po medmrežju).
10. Dragland, A., 2002. Comfort in the tunnel (povzeto po medmrežju).
11. European Commission, 2002. *Safety in European Road Tunnels*. Brussels, (povzeto po medmrežju).
12. Eurotest 2002: Tunnel tests (povzeto po medmrežju).
13. Heath, R., 1998. *Crisis Management for managers & executives*. London, Financial Times.
14. Johansson, G., Rumar, K., 1966. Drivers and Road Signs. *Ergonomics*, 9, 57–62.
15. Lindell, M. K., Perry, R. W., 1987. Warning Mechanisms in Emergency Response Systems. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 5, 2, 137–153.
16. OECD, 2001. *Safety in Tunnels*, Paris.
17. Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels, final report, Trans/AC.7/9, 2001.
18. Quarantelli, E. L., 1977. Panic Behavior: Some Empirical Observations. V: Conway, D. J. (Eds.), *Human Response to Tall Buildings*. Stroudsburg: Dowden.
19. Quarantelli, E. L., 1984. Perceptions and Reactions to Emergency Warnings of Sudden Hazards. *Ergonomics*, 30, 511–515.
20. Santos, J. A., 1997. Detection Time of a Leading Vehicle's Motion: Effects of Driving Speed and Road Layout. V: Rothengatter, T., Vaya, E. C. (Eds.) *Traffic & Transport Psychology*. Amsterdam: Pergamon, 113–120.
21. The world's longest Tunnel Page, Serious Fire Accidents in Road Tunnels, (povzeto po medmrežju: http://home.no.net/lotsberg/artiklar/brann/en_tab.html).
22. TNO, 2001. Research into the safety of tunnels (povzeto po medmrežju).
23. Turner, R. H., Killian, L. M., 1972. *Collective Behavior*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
24. Withington, D. 1999. Localisable Alarms. V: Stanton, N. A., Edworthy, J. (Eds.). *Human Factors in Auditory Warnings*. Aldershot: Ashgate, 33–40.
25. Withington, D., 2000. The use of directional sound to improve the safety of auditory warnings. A paper presented at the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, San Diego.
26. Withington, D., Lurch, M., 2002. Directional sound evacuation (povzeto po medmrežju www.directional-soundevacuation.com).
27. Speech Intelligibility, 2002 (povzeto po medmrežju: www.spfe.org).