

НЯКОИ АСПЕКТИ НА БЕЗОПАСНОСТТА ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ПЪТНИ ТУНЕЛИ

Николай Пашов¹

SOME ASPECTS OF SAFETY IN THE EXPLOITATION OF ROAD TUNNELS

Nikolay Pashov¹

Abstract:

Road tunnel safety is determined with a digital model and the measures influencing its size are analyzed. The safety potential and the risk related to it are presented. Determined is the scope of the risk-related events, as well as its management. The results from studying the potential danger indicator are presented.

Keywords:

Road Tunnel Safety, Risk, Potential Danger.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Тунелните съоръжения трябва да отговарят на особени изисквания за сигурност на транспорта и експлоатацията. Директивите на ЕС за изграждане и експлоатация на тези съоръжения съдържат основни нормативи, указания и критерии за изграждане на пътни тунели, както и за тяхната експлоатация [1, 2].

С нарастване на техническите възможности в съвременното строителство на тунелите се наблюдава тенденция към увеличаване дължината и броя на транспортните съоръжения. В последните години се наблюдава нарастваща честота на катастрофите и пожарите, при които в повечето случаи са засегнати и тунелните съоръжения. Необходимостта от подобряване безопасността в пътни тунели, се основава на:

- нарастващата дължина на тунелните съоръжения;
- нарастване на броя на автомобили с голяма вместимост и товароносимост;
- нарастваща се пожарната опасност при транспортиране на товари и нарастване на транспортния трафик;
- транспортиране на опасни товари, както и значителния дял на транспортиране на леснозапалителни (ЗТ) и горими течности (ГТ) и газове.

¹ Николай Пашов, докторант, катедра „Строителство на сгради и съоръжения“, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“, 9007 Варна, *e-mail*: n.pashov@hydrostroy.com;

Nikolay Pashov, Ph.D. Student, Department of Construction of Buildings and Facilities, Faculty of Architecture, Varna Free University „Chernorizets Hrabar“, Varna, Bulgaria; *e-mail*: n.pashov@hydrostroy.com.

Цел на разработката

Определяне възможните минимални големини на параметрите, осигуряващи безопасност на пътните тунели; оценяване безопасността на пътен тунел с числен модел и анализ на мерките, влияещи върху големината му.

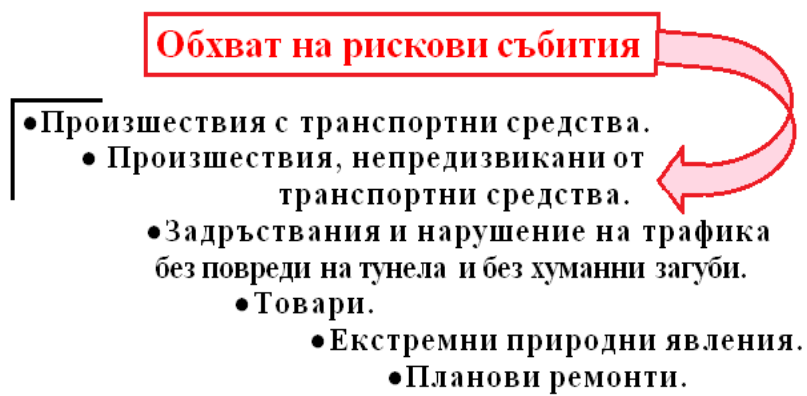
2. ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА ЗА ОЦЕНКА ЗА БЕЗОПАСНОСТ НА ПЪТНИ ТУНЕЛИ. ЧИСЛЕН МОДЕЛ НА ОЦЕНКАТА.

Оценка за безопасността на тунела и числен модел за нея могат да се получат от потенциала на безопасността, рисковия потенциал, коефициента на потенциалната опасност, коефициента на сигурност [5].

а) Потенциал на безопасност. Той е сума от численото представяне на показатели, които са обобщени в 8 категории. Всеки показател се точкува. Те са: система на тунела (тежест:14%); осветление и ел. снабдяване (тежест:8%); трафик и контрол на трафика (тежест:17%); комуникации (тежест:11%); евакуационни пътища при аварии (тежест:13%); пожарозащита (тежест:18%); вентилация (тежест:11%); управление при аварийни ситуации. (тежест: 8%).

Изложеното показва, че потенциалът на безопасност отразява наличието на всички конструктивни и организационни показатели в представените категории, като с най-голямо влияние за потенциала на безопасност са пожарната защита, трафика и системата на тунела.

б) Рисков потенциал на тунел. Той показва възможността за възникване на произшествия и възможния обхват (фиг. 1).



Фигура 1. Обхват на рискови събития

в) Показател за потенциалната опасност G. Показателят за потенциална опасност G е непосредствено свързан с класа на опасност на тунела. Различават се четири класа на опасност[5]:

Клас на опасност I: Тунели с нисък (незначителен) трафик.

Клас на опасност II: Двупосочни тунели с умерен трафик.

Клас на опасност III: Тунели с тежък трафик и допълнителни опасности.

Клас на опасност IV: Тунели с много тежък трафик и допълнителни опасности.

Големината на потенциалната опасност G е:

$$G = MSV \cdot g_R \cdot g_k \cdot g_g, \quad (1)$$

където: MSV е часова интензивност на трафика; g_R е посока на трафика; g_k е наличие на конфликтни точки; g_g е превоз с опасни товари. Изчислената ($G/1000$) по (1) се сравнява с данните от табл. 1 и табл. 2. Ако не се постигне необходимият коефициент на сигурност "S" за съответния клас, трябва да се приемат допълнителни мерки.

Таблица 1. Класове на опасност и потенциална опасност G (съгласно Норма RVS)

№	Клас на опасност	Потенциална опасност G
1	I	1 до 1,000
2	II	1,001 до 2,500
3	III	2,501 до 10,000
4	IV	Над 10,000

Таблица 2. Необходим коефициент на сигурност S (по RVS)

Потенциална опасност G	Минимална стойност на коефициента на сигурност S
1 до 1,000	1
1,001 до 2,500	5
2,501 до 10,000	10
над 10,000	25

г) **Определяне на коефициента “S” на сигурност.** Коефициентът на сигурност съдържа мерки, които свеждат размера на щетите за хора и материалните щети до минимум. В случай, например на пожар [5] ”S” се определя:

$$S = S_R \cdot S_w \cdot S_B, \quad (2)$$

където: S_R са мерки за подобряване на димоотвеждането. S_w са мерки за намаляване опасността за хората при евакуация, S_B са мерки, подобряващи експлоатацията.

Определяне S_R на мерките за подобряване на димоотвеждането:

$$S_R = R_Q + R_A, \quad (3)$$

където: R_Q е компонента на напречното сечение: $R_Q = H/5$. H е макс. височина в тунела [m]. R_A е компонента на изсмукване на дима: $R_A = R_{AP} + R_{AV}$

$R_{AP} = 1 + 800/a$. “a” е разстоянието [m] между системите за димоотвеждане.

$R_{AV} = 1 + V/80$. V е количеството [m^3/s] на извежданите продукти на горене.

Определяне S_w на мерките за намаляване на потенциалната опасност за хората при евакуация от тунела:

$$S_w = W_f + W_e, \quad (4)$$

където: W_f са компоненти на пътя за евакуация:

$$W_f = 2 - F; \quad (5)$$

F е дължина на евакуационния път [km]; W_e са компоненти на пътя за спасителния екип.

$$W_e = 1,5 - 0,1 \cdot L, \quad (6)$$

където: L е дължина на пътя, които трябва да изминат автомобилите на спасителния екип вътре в тунела в km (разстояния между достъпни пожарозащитени зони)

Определяне S_B на компонентите, подобряващи експлоатационните показатели на тунела:

$$S_B = 1 + \sum B_i, \quad (7)$$

където B_i характеризират експлоатационни показатели.

3. БЕЗОПАСНОСТ НА КОНСТРУКЦИЯТА НА ПЪТЕН ТУНЕЛ

Безопасността на конструкцията на пътен тунел се определя от:

а) Тунелна облицовка. Ролята ѝ за безопасността се изразява в:

- предпазва тунелния изкоп от ерозия и изветряване;
- поема създалия се при прокопаването планински натиск и да запази проектното светло напречно сечение на тунела;
- предотвратява проникването на подземни води в тунела;
- предотвратява потъването на теренната повърхност над тунела;
- осигурява стабилно окачване и закрепване на всички инсталации в тунела;
- създава равна и гладка вътрешна повърхност на свода и стените на тунела.

б) Хидроизолиране и отводняване на пътния тунел. Хидроизолационните и отводнителните системи отчитат следните възможни физически въздействия:

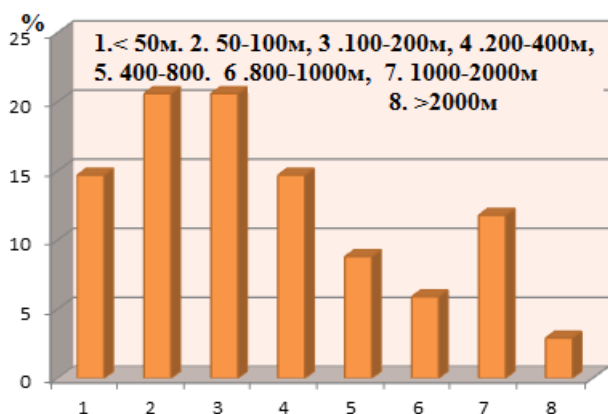
- проникналата в облицовката вода може да замръзне при ниски температури и да причини повреди;
- подземните води може да повлияят на поведението на масива по време на строителството и по - късно при експлоатацията;
- подземните води може да окажат силово въздействие върху облицовката.

в) Дренажна и отводнителна система на пътния тунел. Служи за събиране и отвеждане на дренирани подземни води и на вода от експлоатацията.

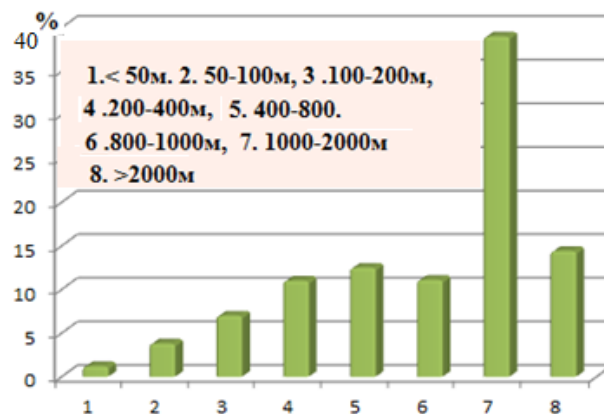
4. АНАЛИЗИРАНЕ ТЕХНИЧЕСКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ПЪТНИТЕ ТУНЕЛИ В Р. БЪЛГАРИЯ И СЪСТОЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА ИМ.

4.1. Технически параметри на пътните тунели

По републиканските пътища на страната ни са изградени 34 бр. тунели с обща дължина 16560 m, 6377 m от които съвпадат с трансевропейската пътна мрежа на територията на Р. България. Най-дългият от тях е тунелът „Витиня“ на АМ „Хемус“ с дължина 1125 m. Групирането на тунелите по брой и по обща дължина по групи в [%] спрямо всичките, е посочено на фиг. 2 - а, б. [3, 4].



Фигура 2а.



Фигура 2б.

Под ръководството на АПИ и ОПУ е извършена проверка и оценка за установяване на състоянието на тунелите по републиканските пътища (през периода 02.2017г.). Тунелите са оценени въз основа анализ на риска в следните степени: много висок риск; висок риск; съществен риск; умерен риск; нисък риск - фиг. 3а, б.

Констатираните повреди в тунелите, които са основание за определение на степените на рискове, могат да бъдат типизирани както следва:

1. Разрушена облицовка;
2. Наличие на теч;
3. Неработещо осветление;
4. Наличие на корозия;
5. Напукани и разхлабени скални късове;
6. Неработеща вентилация;
7. Други повреди (липсва аварийна станция).



Фигура 3а.



Фигура 3б.

На фиг.4 са дадени % на дължините за съответните степени на риск.



Фигура 4. % на дължините



Фиг.5. Определяне на безопасността

4.2. Определяне потенциала на безопасност на тунела

Той е сума от точкувани показатели, обобщени в 8 категории - фиг. 5, всяка с коефициент на тежест от потенциала на безопасност.

4.3. Определяне на рисковия потенциал

Вземат се предвид показателите и техните оценки - табл. 3. Посочени са варианти на рисков фактор при случаи на отделно изпълнени показатели за еднопосочно и двупосочно движение. В последния случай специфичният рисков фактор е по-висок с една степен спрямо еднопосочното.

Таблица 3. Определяне на рисковия потенциал

№	Показатели на рисковия фактор	Оценка					
		макс	посоки на движение				
			еднопосочно	двупосочно			
1	Тип движение в тунела - еднопосочно или двупосочно	1/8	1	8			
2	Годиш. обем на трафика (интензитет на движението и дължина)	8	5	6			
3	Бр. камиони преминаващи през тунела на ден	8	3	4			
4	Транспорт на опасни товари	5	2	2			
5	Плътност на трафика (автомобили на ден и лента за движение)	5	3	2			
6	Максимален надлъжен наклон на тунела	3	2	2			
7	Допълнителни рискове, свързани с напречното сечение, дължината на участъка с голям наклон преди входа	3	1	2			
Специфичен фактор на риска			17	26			
	много нисък	нисък	среден	висок	много висок	среден	висок
точки	<9	(10 -14)	(15 – 21)	(22 -28)	>29		

4.4. Определяне потенциалната опасност G и коефициента на сигурност S за тунели в Р. България по Директива RVS – (табл.4, табл. 5 и табл.6.)

Таблица 4. Определяне потенциалната опасност G и коефициента на сигурност S

Изчисление на потенциалната опасност G					
№	Наименование на показателите	Показатели		Общ показател	
1	g _R – транспорт: (g _{RR} =1,0); (g _{RM} =1,5)	1,0	1,5	мин. 1	макс. 1,8
2	g _K – конфликтни точки: (g _O =1,0);(g _{KVH} =1,2)	1,0	1,2		
3	g _G – транспорт на опасни товари; (g _{G-10} =1,0).	1,0	1,0		
I	Тунел „Витиня“ L=1195 m; S=86 m ² ; H=7,8 m				
I.1	MSV актуално, бр	3870		3870	
	Потенциална опасност G	клас на опасност III.		3,87	6,97
I.2	MSV прогноза (актуално • 1,3) бр	5030		5030	
	Потенциална опасност G прогноза	клас на опасност III.		5,03	9,06
II.	Тунел“Траянова врата” L= 685 m; S=78 m ² ; H=7,4 m				
II.1	MSV актуално	10900		10900	
	Потенциална опасност G	клас на опасност IV.		10,90	19,62
II.2	MSV прогноза (актуално • 1,3)	14170		14170	
	Потенциална опасност G прогноза	клас на опасност IV.		14,17	25,51

Таблица 5. Определяне потенциалната опасност G и коефициента на сигурност S

№	Изчисление на коефициента на сигурност: $S = S_R \cdot S_w \cdot S_b$		
П.2	Тунел „Витиня“ L=1195 m; S=86 m ² ; H=7,8 m		
			мин макс
	S _R – мерки за подобряване на димоотвеждането		
1	Компонент моментно състояние	$R_Q = H/5$ H(m): 7,80 m	1,56
2	Компонент	$R_{AP} = 800/A$ [A=0,0(m) A=600(m)]	0 1,3
3	Компонент	$R_{AV} = 1 + V/80$ [V=80,0(m ³) ; V=60,0(m ³)]	1,75 2
S _R	Образуване на дим:	$S_R = R_Q + R_A$ $R_A = R_{AP} + R_{AV}$	3,31 4,86
	S _w – мерки за подобряване на евакуацията		
1	Аварийен изход	$W_f = 2,0 - F$ F=1,195(km); F=0,600(km)	0 1,4
2	Дълж. на пътя на спасит. екип	$W_e = 1,5 - 0,1 \cdot L$ [L(km): 1,2; 0,6]	1,38 1,44
S _w	Подобряване на евакуацията	$S_w = W_f + W_e$	1,38 2,88
	S _b – мерки за повишаване сигурността при експлоатация		
1	Наличие на охрана или система за контрол	(B _w : 2,0)	2
2	Наличие на място за достъп /влизане/	(B _a : 0,5)	0 0,5
3	Наличие на видео наблюдение	(B _u : 0,5)	0,5
4	Наличие на с/ма за контрол на задръстванията	(B _{st} : 0,5)	0,5
5	Наличие на с/ма за откриване на опасни товари	(B _G : 1,0)	0 1
6	Възможност за извеждане на опасни товари.	(B _D : 0,5)	0 0,5
7	Наличие на пожарен пост на всеки вход	(B _O : 1,0)	1
8	Наличие на автом. с/ма за пожароизвестяване	(B _V : 1,0)	0 0,5
9	Наличие на с/ма за откриване начало на пожара	(B _S : 0,5)	0,5
SB	Повишаване сигурността при експлоатация	$SB = 1 + \sum B_i$	5,5 8,0
	Коефициент на сигурност S		клас III: 10
			10,19 15,74

Таблица 6. Определяне потенциалната опасност G и коефициента на сигурност S

№	Изчисление на коефициента на сигурност: $S = S_R \cdot S_w \cdot S_b$		
II.2	Тунел „Траянова врата“ L= 685 m; S=78 m ² ; H=7,4 m		
			мин макс
	S _R – мерки за подобряване на димоотвеждането		
1	Компонент моментно състояние	RQ=H/5 H(m): 7,4	1,48
2	Компонент	R _{AP} =800/A [A:0,00(m) A=340(m)]	0 2,35
3	Компонент	R _{AV} =1+V/80 [V:80,0(m ³) V:160,0(m ³)]	2 3
S _R	Образуване на дим:	S _R =R _q +R _A R _A =R _{AP} +R _{AV}	3,48 6,83
	S _w – мерки за подобряване на евакуацията		
1	Аварийен изход	W _f = 2,0 -F F(km):0,685 F(km):0,342	1,315 1,658
2	Дълж. на пътя на спасит. екип	W _e =1,5-0,1*L[L:0,69-0,35(km)]	1,43 1,46
S _w	Подобряване на евакуацията	S _w = W _f +W _e	2,75 3,12
	S _b – мерки за повишаване сигурността при експлоатация		
1	Наличие на охрана или система за контрол	(B _w : 2,0)	2
2	Наличие на място за достъп /влизане/	(B _a : 0,5)	0 0,5
3	Наличие на видео наблюдение	(B _u : 0,5)	0,5
4	Наличие на с/ма за контрол на задръстванията	(B _{st} : 0,5)	0,5
5	Наличие на с/ма за откриване на опасни товари	(B _G : 1,0)	0 1
6	Възможност за извеждане на опасни товари.	(B _D : 0,5)	0 0,5
7	Наличие на пожарен пост на всеки вход	(B _o : 1,0)	1
8	Наличие на автом. с/ма за пожароизвестяване	(B _B : 1,0)	0 1
9	Наличие на с/ма за откриване начало на пожара	(B _s : 0,5)	0,5
SB	Повишаване сигурността при експлоатация	SB=1+ ΣBi	5,5 8,5
	Коефициент на сигурност S		Клас IV: 25
			11,73 18,45

Резултатите от изследването показват:

1. Предложено е проверката и оценката на спазването на минималните изисквания за безопасността да се извърши чрез основния показател за потенциалната опасност G и коефициента на сигурност S на пътни тунели.

2. За тунел „Витиня“ при посочените показатели $g_R \cdot g_k \cdot g_g = 1$ и 1,8, при актуален трафик MSV=3870 бр. и прогнозен MSV=5030 бр. е определен клас на опасност III (съответстващите потенциални опасности G са посочени в табл. 3.14). Изискваните минимални стойности на коефициента на сигурност са $S = 2,501$ до 10,000. Определените големина на коефициента на сигурност са S (табл.3.15: $S = 10,19$ и $15,74$) удовлетворяват изискванията. Тунелът надвишава изискванията на Директива RVS-S=10 [6].

3. За тунел „Траянова врата“ при посочените показатели $g_R \cdot g_k \cdot g_g = 1$ и 1,8, при актуален трафик MSV=10900 бр. и прогнозен MSV=14170 бр., е определен клас на опасност IV (съответстващите потенциални опасности G са посочени в табл. 3.14). Изискваните минимални стойности на коефициента на сигурност са $S > 25$. Определените големина на коефициента на сигурност са S (табл. 3.16: $S = 11,73$ и $18,45$) не удовлетворяват изискванията. Тунелът не изпълнява изискванията на Директива RVS - коефициент $S > 25$ [6].

Управлението на безопасността на тунела, с цел изпълнение на изискването, може да се проведе в две направления:

- управление потенциалната опасност G в посока намаляване ограничение MSV и намаление параметрите $g_R \cdot g_k \cdot g_g$
- управление коефициента на сигурност S в посока подобряване на мерките на димоотвеждане, евакуация и експлоатация.

ИЗВОДИ

1. Анализирани са цифров модел за безопасност на пътни тунели с отчитане на мерките, влияещи върху потенциала на безопасността, рисковия потенциал, коефициента на потенциалната опасност и коефициента на сигурност на тунела.
2. Като основни характеристики за опасностите в тунелите, са приети брой на тунелните тръби, дължина на тунела, интензивност и посоката на движение.
3. Проведено е изследване на безопасността на тунели в Р.България. Предложен е числен модел на оценката за безопасност с участие на потенциала на безопасността, на рисковия потенциал, на коефициента на потенциална опасност и на коефициента на сигурност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директива 2004/54/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 29 април 2004 г. относно минималните изисквания за безопасност за тунелите по Трансевропейската пътна мрежа.
- [2] Наредба №1 от 04.04.2007 г. за мин. изисквания за безопасност в тунелите.
- [3] Наредба №РД-02-20 21.12.2015 г. за технически правила и норми за проектиране на пътни тунели.
- [4] Димитров В., Доклад за състоянието на тунелите по РПМ, Агенция “Пътна инфраструктура“, Институт по пътища мостове, 14.02.2017г. (в отговор на заповед № РД -11-93 от 07.02.2017 г.
- [5] МРРБ, Агенция“Пътна структура“ Състояние на тунелите по републиканските пътища, 04.16.167/14.02.2017 г.
- [6] Стоянов Д.,Пожарна безопасност на тунели, Fplus, София, 2016 г.
- [7] Requisitos Minimos Seguridad en Tunneles, Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo.