

# POSÚDENIE BEZPEČNOSTI NÚDZOVÉHO TUNELOVÉHO ZÁLIVU Z HĽADISKA GEOMETRICKEJ AGRESIVITY

## THE ASSESSMENT OF THE EMERGENCY TUNNEL BAY FROM THE POINT OF VIEW GEOMETRIC AGGRESSIVITY

VERONIKA ADAMOVA<sup>1</sup>, TIBOR KUBJATKO<sup>2</sup>, ANDREJ VELAS<sup>3</sup>,

**Abstract** – The article is focused on the assessment of geometric aggressiveness of the tunnel structural element, namely the emergency bay. In terms of the theoretical background and approach to the issue of parking areas in tunnels, the priority was based on the standard STN 73 7507 and Government Regulation no. 344/2006. The analysis part of the safety assessment is based on a simulation of the impact of a passenger vehicle on the parking area wall. The first simulation points to the devastating effects on a passenger vehicle when it hits a perpendicular wall of the emergency bay. The second simulation points to the different behavior of the vehicle when it hits the structurally safer design of this element. Individual cases of traffic accidents were simulated using numerical simulation calculation. The selected method and tools refer to the PC-Crash software program, using its finite element method module. The aim is to increase the level of road safety in tunnels and thereby contribute to eliminating the negative consequences of the accident.

**Keywords** – emergency bay, safety, traffic accident, simulation, finite element method

### ÚVOD

Potreba zaoberať sa problematikou bezpečnosti tunelov vyplýva okrem iného aj zo skutočnosti, ktorá hovorí o prevádzkovaní týchto stavieb ako o rizikovejšej oblasti v porovnaní s cestnými komunikáciami. Dôvod rizikovosti tohto typu stavieb veľmi úzko súvisí najmä s obmedzenými dopravnými plochami, absenciou denného svetla, ako aj obmedzením množstva vzduchu. Ďalším faktorom zvyšujúci rizikovosť tunelov je malý počet únikových východov. Vo všeobecnosti sa bezpečnosť tunelov reguluje a riadi celým radom opatrení, rôznymi zákonmi, vyhláškami, smernicami, technickými normami, rôznymi odporúčaniami, predpismi a postupmi. Tento bezpečnostný a legislatívny rámec sa úzko dotýka samotnej stavebnej konštrukcii tunela a jeho prvkov, geometrie tunelov, použitých bezpečnostných zariadení, dopravného značenia, riadenia premávky, školení a spôsobu komunikácie zainteresovaných strán (užívatelia, manažment incidentov, poverené orgány a pohotovostné služby). [1]

Príspevok je zameraný na bezpečnostné posúdenie konštrukčného prvku, ktorým je núdzový záliv. Z hľadiska požiarnej bezpečnosti cestných tunelov tvoria tieto núdzové zálivy, jeden z najdôležitejších bezpečnostných stavebných opatrení. Na základe ich vysokej bezpečnostnej priority je potrebné venovať pozornosť posúdeniu vhodnosti a bezpečnosti tohto tunelového prvku.

### 1. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU NÚDZOVÝCH ZÁLIVOV V TUNELOCH

Projektovanie nových tunelov na cestných a miestnych komunikáciách je v súlade so slovenskou technikou normou STN 73 7507. Táto norma odkazuje v podkapitole 4.6 Bezpečnostné stavebné prvky, časť 4.6.3 na núdzové zálivy. V tejto časti normy sú obsiahnuté informácie o tomto konštrukčnom prvku v zmysle ich návrhu a umiestnenia. Samotné navrhnutie núdzových zálivov je v značnej miere determinované dĺžkou tunela. Zvyčajne sa konštruje na základe posúdenia 2 základných hľadísk, a to technicko-ekonomické posú-

<sup>1</sup> Ing. Veronika Adamová, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul. 1.mája 32 010 26 Žilina, +421 513 6660

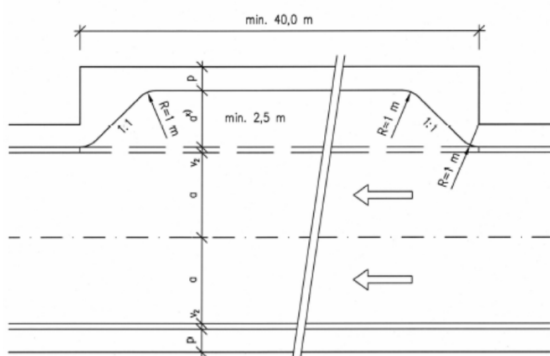
<sup>2</sup> Ing. Tibor Kubjatko, PhD., Ústav súdneho inžinierstva, Ul. 1.mája 32 010 26 Žilina, +421 513 6947

<sup>3</sup> doc. Ing. Andrej Veľas, PhD., Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul. 1.mája 32 010 26 Žilina, +421 513 6650

denie a druhým hľadiskom je dĺžka tunela. Spravidla sa konštruujú pri dĺžke tunela väčšej než 700 m. [2]

Nariadenie vlády č. 344/2006 Z. z. ustanovuje, aby v nových obojsmerných tuneloch, ktorých dĺžka prevyšuje 1500 m a zároveň, ktorých intenzita premávky je vyššia ako 2 000 vozidiel na jeden jazdný pruh a nie sú k dispozícii núdzové pruhy, bol vybavený takýto tunel núdzovými zálivmi v takej vzdialenosti, ktorá nebude presahovať dĺžku 1 000 m. V prípade už existujúcich tuneloch, za rovnakých podmienok, sa musí pristúpiť k efektívnemu posúdeniu uskutočniteľnosti zriadenia tohto bezpečnostného prvku. V prípade, že núdzový záliv nie je možné vystavať, napr. z najrôznejších dôvodov – neprimerané náklady, stavebné charakteristiky tunela, núdzová odstavná plocha môže absentovať, zároveň však musí byť splnená podmienka, že rozdiel vyvýšených častí a riadnych jazdných pruhov od celkovej šírky tunela bude predstavovať šírku jedného jazdného pruhu. Ak nie je možné vybaviť už existujúce tunely núdzovým pruhom ani núdzovým zálivom, je nutné prijať dodatočné, zosilnené bezpečnostné opatrenia. [3]

Ich rozmiestnenie sa pohybuje vo vzájomnej vzdialenosti 500 až 750 m. Norma stanovuje ich situovanie na pravú stranu v prípade jednosmerného jazdného pruhu, v prípade obojsmerného sa umiestňujú naproti sebe tak, aby bolo zabezpečené vhodné a bezpečné otáčanie vozidiel. Šírka tohto prvku sa pohybuje od 2,5 – 3 m, v závislosti od miestnych, zberných a obslužných komunikácií. V plnej šírke zálivu – 3 m je jeho dĺžka najmenej 40 m (Obrázok 1.). [2]



Obrázok 1.: Núdzový záliv [2]

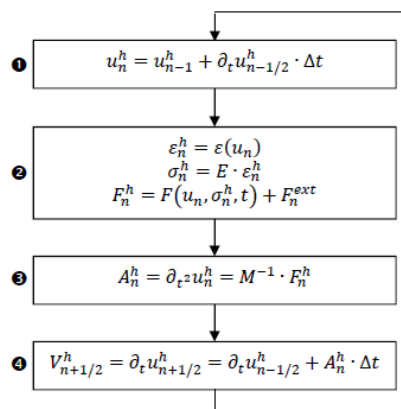
Zálivy sa konštruujú tak, aby boli napájané na priebežný jazdný pruh vjazdovým a aj výjazdovým klinom v pomere 1:1 (šírka k dĺžke). Ďalej norma upravuje zabezpečenie proti nárazu do kolmých stien zálivu použitím vyvýšených betónových zvodidiel. [2]

## 2. METÓDY A POUŽITÉ NÁSTROJE

V rámci posudzovania bezpečnosti konštrukčného stavu núdzového zálivu bol použitý program PC-Crash. PC-Crash je softvérový nástroj, ktorý sa používa na rekonštrukciu a simuláciu nehodových dejov. PC-Crash obsahuje niekoľko výpočtových modelov vrátane: výpočtového modelu zrážky prostredníctvom metódy impulzov a hybnosti, tuhostný model výpočtu zrážky, model kinetiky pre realistickú simuláciu trajektórií pohybu vozidiel, ako aj jednoduchý kinematický model pre analýzu časovo-priestorových súvislostí. Okrem vyššie uvedených výpočtových modulov súčasťou PC-Crash sú aj modul viactelesového systému, modul metódy konečných prvkov, ako aj možnosť importu a práce s 3D mračnom bodov, ktoré bolo získane prostredníctvom 3D laserového skenovania, resp. fotogrametrickými metódami. [4]

Metóda konečných prvkov je založená na predpoklade, že riešenie komplexných problémov mechaniky kontinua je možné realizovať prostredníctvom väčšieho (ale konečného) počtu riešení založených na veľmi jednoduchej geometrii konečných prvkov a materiálových vlastností týchto prvkov. Konečné prvky by mali mať nasledovné vlastnosti: presná reprezentácia komplexnej geometrie, možnosť popísania špecifických fyzikálnych javov v rámci prvku, kombinácia riešení v rámci každého konečného prvku je realizovaná takým spôsobom, že riešenie cez všetky konečné prvky je platné pre celú doménu záujmu. [4]

Modul metódy konečných prvkov v programe PC-Crash používa explicitnú schému pre výpočet napätí, deformácií a posunutí. Táto metóda môže byť použitá k riešeniu lineárnych a nelineárnych nestálych dynamických problémov vrátane úloh súvisiacich s kontaktom medzi dvomi telesami. Postupnosť krokov použitej explicitnej integračnej schémy je znázornená na nasledujúcom Obrázku 2. [4]

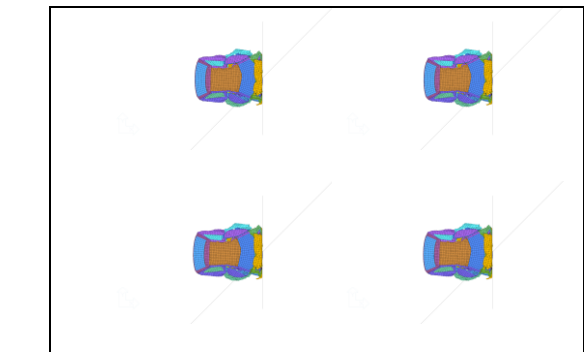
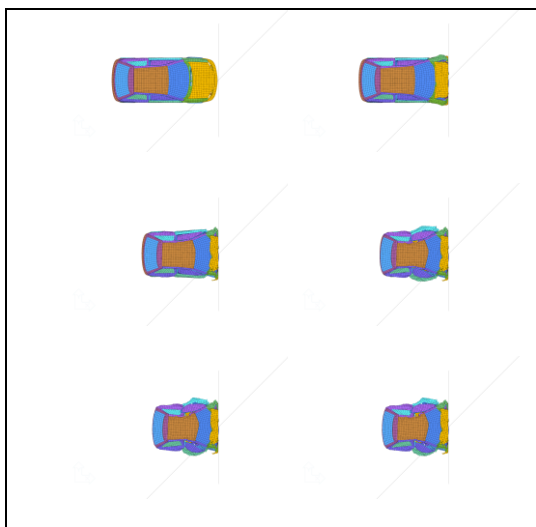


Obrázok 2.: Explicitná integračná schéma metódy konečných prvkov [4]

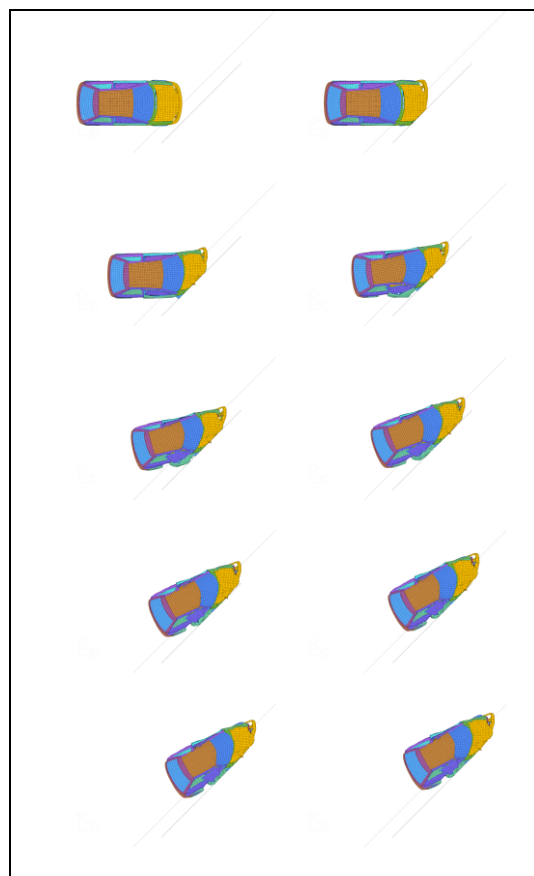
V prvom kroku sú vypočítané posunutia uzlov  $u_{nh}$  pre daný časový krok a následne je vykonaný výpočet deformácií v uzloch  $e_{nh}$ . Materiálové zákonitosti medzi napätím a deformáciou sú následne použité pre určenie vzťahov medzi napätím a deformáciou a v druhom integračnom kroku sú vypočítané napätia. Na základe interných a externých síl v uzloch sú vypočítané uzlové zrýchlenia  $A_{nh}$  (krok 3). V poslednom integračnom kroku sú na základe uzlových zrýchlení vypočítané uzlové rýchlosti  $v_{nh}$  ako aj posunutia uzlov. Tieto kroky sú opätovne vypočítané pre celý časový interval záujmu.

### 3. SIMULAČNÉ POSÚDENIE NÁRAZU OSOBNÉHO AUTOMOBILU DO TELESÁ NÚDZOVÉHO ZÁLIVU

Na simulačné posúdenie geometrickej agresivity telesa núdzového zálivu bol použitý model vozidla Geo Metro z databázy vozidiel programu PC-Crash. Pri výpočte bolo uvažované s dvomi variantmi nárazu. Pri prvom variante model vozidla naráža rýchlosťou 100 km/h pod uhlom  $90^\circ$  a s plným prekrytím do pevnej nedeformovateľnej bariéry. Tento variant predstavuje situáciu kedy vozidlo opustí jazdný pruhu a naráža do náprotivnej steny núdzového zálivu (pri jeho skutočnom geometrickom vyhotovení). Pri druhom variante model vozidla naráža rýchlosťou 100 km/h pod uhlom  $45^\circ$  a s plným prekrytím do pevnej nedeformovateľnej bariéry. Tento variant predstavuje situáciu kedy vozidlo opustí jazdný pruhu a naráža do náprotivnej steny núdzového zálivu (pri jeho optimalizovanom geometrickom vyhotovení). Na obr 3 je znázornený priebeh nárazu v rámci prvého variantu v čase kroku 0,02 s počas časového intervalu 0,2 s. Na obr 4 je znázornený priebeh nárazu v rámci druhého variantu v čase kroku 0,02 s počas časového intervalu 0,2 s.

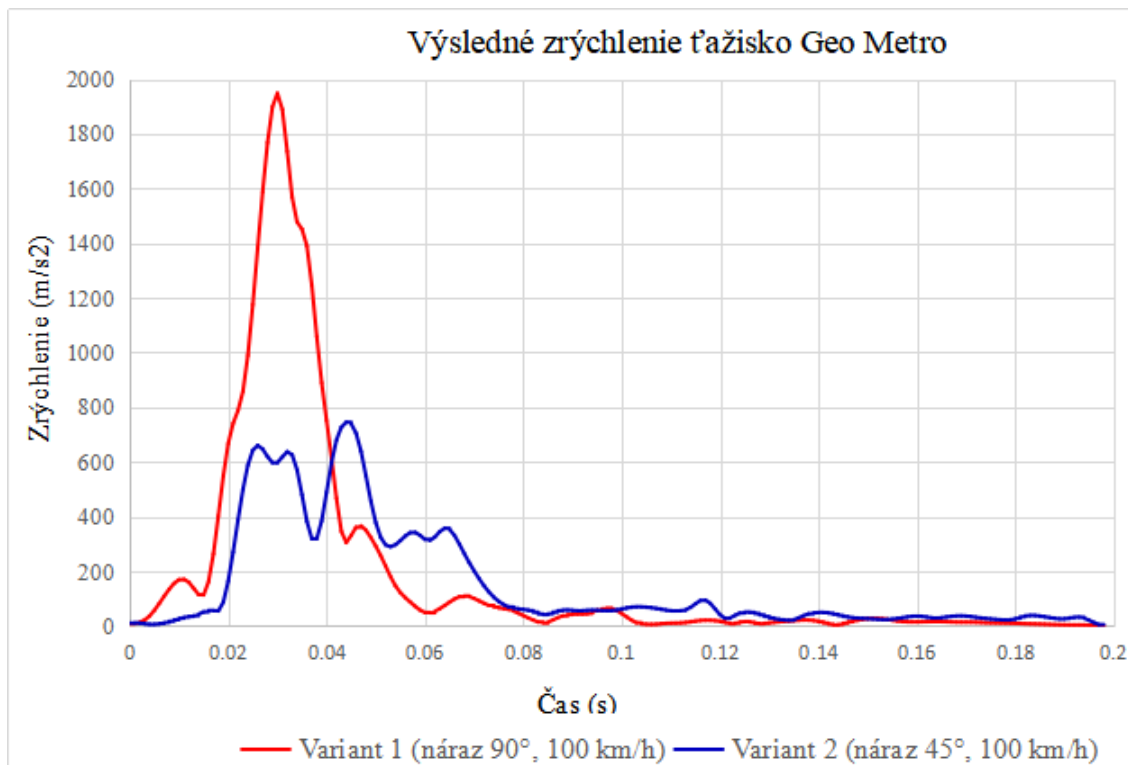


Obrázok 3.: Priebeh simulácie nárazu OA do pevnej nedeformovateľnej bariéry rýchlosťou 100 km/h, pod uhlom  $90^\circ$  a s plným prekrytím



Obrázok 4.: Priebeh simulácie nárazu OA do pevnej nedeformovateľnej bariéry rýchlosťou 100 km/h, pod uhlom  $45^\circ$  a s plným prekrytím

Na Obrázku 5. je znázornený graf časového priebehu výsledného zrýchlenia/spomalenia ťažiska vozidla pre prvý variant simulovaného nárazu (nárazová rýchlosť 100 km/h, plné prekrytie, uhol nárazu  $90^\circ$ ) ako aj pre druhý variant simulovaného nárazu (nárazová rýchlosť 100 km/h, plné prekrytie, uhol nárazu  $45^\circ$ ).



Obrázok 5.: Časový priebeh výsledného zrýchlenia vozidla

Z grafu na obrázku 5 je zrejmé, že v prípade nárazu vozidla do náprotivnej strany núdzového zálivu v jej štandardnom geometrickom vyhotovení (kolmo na os vozovky) by zaťaženie interiéru vozidla bola na úrovni skoro 200 g (1948 m/s-2). V prípade jednoduchšej stavebnej úpravy náprotivnej strany núdzového zálivu, ktorá by spočívala v sklonení tejto strany na uhol 45° k osi vozovky by došlo za rovnakých podmienok nárazu k redukcii zaťaženia interiéru vozidla na úroveň cca 75 g (745 m/s-2). T.j. zaťaženie interiéru vozidla by bolo viac ako 2,5 násobne menšie ako v prípade nárazu do kolmej náprotivnej strany núdzového zálivu.

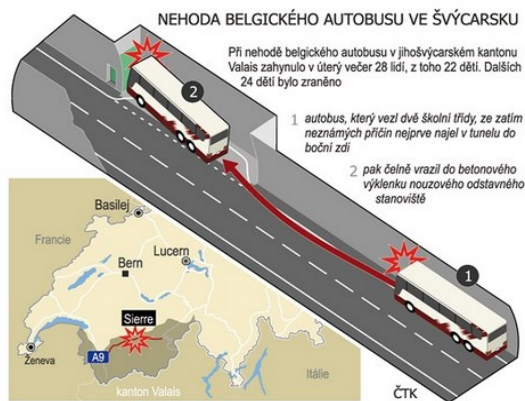
#### 4. REÁLNY PRÍPAD

Bezpečnosť v tuneloch je možné považovať za jednu z veľmi dôležitých faktov, ktorý treba zohľadňovať pri ich samotnom projektovaní a výstavbe. Je potrebné dôkladne preskúmať všetky potenciálne kolízne body, ktoré by mohli mať za následok materiálne škody, ohrozenie života a zdravia osôb a životného prostredia. V súčasnosti je konštrukcia núdzových zálivov navrhnutá spôsobom, ktorý ustanovuje norma STN 73 7507. Norma neodkazuje na možné konštrukčné bezpečnostné riešenie, okrem vyvýšených betónových zvodidiel, ktoré by optimalizovali výšku škôd a následkov.

Reálny prípad dopravnej nehody v tuneli, pri ktorej došlo k nárazu autobusu do kolmej steny núdzového zálivu je na *Obrázku 6.* a *Obrázku 7.*



Obrázok 6.: Nehoda belgického autobusu vo Švajčiarsku



Obrázok 7.: Ilustračný materiál dopravnej nehody belgického autobusu vo Švajčiarsku

Bezpečnostný konštrukčný prvok, ktorý je prioritne určený ako zariadenie zachraňujúce život, spôsobilo v tomto konkrétnom prípade dopravnú nehodu s katastrofálnymi následkami, kedy došlo k usmrteniu 28 osôb.

## ZÁVER

Na základe bezpečnostného posúdenia núdzových zálivov prostredníctvom aplikovania numerického simuláčného výpočtu bol preukázaný deficit tohto konštrukčného prvku tunela. Deficit spočíva v nezabezpečení možnej vyššej úrovne bezpečnosti konštrukčného prvku a v možnosti jeho navrhnutia tak, aby boli minimalizované škody a ujmy na zdraví, majetku a životnom prostredí. Výsledky riešenia skúmaného problému za použitia modulu metódy konečných prvkov, ktorý je zároveň súčasťou programu PC-Crash preukázali, že aktuálne stavebné riešenie je nevyhovujúce. Návrh na možné zvýšenie účinnej bezpečnosti v prípade vzniku dopravnej nehody v zmysle nárazu do steny zálivu spočíva v zmene konštrukcie tohto prvku z 90° na uhol 45° (viď. Obrázok 3 a Obrázok 4). Rozsiahle devastačné účinky na vozidlo boli preukázané autentickým príkladom dopravnej nehody, kedy pri náraze autobusu do steny odstavného plochy tunela zomrelo 28 ľudí.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol vypracovaný za podpory projektu Smart tunnel: Telematická podpora pri mimoriadnych udalostiach v dopravných tuneli, č.p.:APVV-17-0014.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] MARASOVA, D., V. TARABA, P. GREDEL., 2010. Legislatíva a jej požiadavky na bezpečnosť. In: Acta Montanistica Slovaca. Roč. 15, č. 1, str. 9-13. Dostupné z: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2010/s1/3marasova.pdf>
- [2] STN 73 7507 Projektovanie cestných tunelov.
- [3] Nariadenie vlády SR č. 344/2006 Z.z. z 24. mája 2006 o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti.
- [4] Operačný a technický manuál k programu PC-Crash. 2018. 12.0. DSD GmbH, Linz, Rakúsko.