

## KVANTITATÍVNE HODNOTENIE RIZÍK SPOJENÝCH S PREPRAVOU NEBEZPEČNÝCH LÁTOK

### QUANTITATIVE EVALUATION OF RISKS RELATED TO THE TRANSPORT OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Katarína Mäkká<sup>1</sup>, Darina Stachová<sup>2</sup>, Katarína Kampová<sup>3</sup>

*Anotace: Doprava ako moderný a dynamický segment prechádza neustále prudkým vývojom. Reflektuje tým požiadavky rýchlejšej, efektívnejšej a bezpečnejšej dopravy, na druhej strane prináša so sebou riziko vzniku mimoriadnych udalostí s negatívnymi následkami na život, zdravie obyvateľov a životné prostredie. Hodnotenie dôsledkov nehôd z mobilných zdrojov rizika bolo doteraz v Európskej únii riešené iba okrajovo. Problematika posudzovania a hodnotenia mobilných zdrojov rizík nie je upravená zákonom a preto nie je vytváraný dostatočný tlak na riadenie a znižovanie rizík. Cieľom predkladaného príspevku je poukázať na skutočnosť, že preprava nebezpečných látok, z hľadiska charakteru prepravovaného materiálu, predstavuje v prípade vzniku mimoriadnej udalosti osobitné nebezpečenstvo predovšetkým pre ľudí. Uniknuté toxické alebo horľavé látky môžu ohroziť život a zdravie mnohých obyvateľov. Prínosom článku je aj praktický príklad podrobného hodnotenia rizík prepravy nebezpečných látok cestnou dopravou.*

*Kľúčové slová: hodnotenie rizík, mimoriadna udalosť, preprava nebezpečných látok, mobilný zdroj rizika.*

*Summary: Transport as a modern and dynamic segment is constantly developing rapidly. It reflects the demands of faster, more efficient and safer transport, on the other hand it brings with it the risk of emergency events with negative consequences for the life, health of the population and the environment. The assessment of the consequences of mobile accident hazards has been solved in the European Union marginally. The issue of assessing and evaluating mobile sources of risk is not regulated by law and therefore there is insufficient pressure to manage and reduce risks. The aim of the present contribution is to point out that the transport of dangerous substances, in terms of the nature of transported material, presents a special hazard in the event of an emergency, especially for humans. Leaked toxic or flammable substances may endanger the life and health of many people. The contribution of this article is also*

---

<sup>1</sup> Ing. Katarína Mäkká, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 513 6857, E-mail: [Katarina.Makka@fbi.uniza.sk](mailto:Katarina.Makka@fbi.uniza.sk).

<sup>2</sup> RNDr. Darina Stachová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 513 6857, E-mail: [Darina.Stachova@fbi.uniza.sk](mailto:Darina.Stachova@fbi.uniza.sk)

<sup>3</sup> Ing. Katarína Kampová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Tel.: +421 513 6698, E-mail: [Katarina.Kampova@fbi.uniza.sk](mailto:Katarina.Kampova@fbi.uniza.sk)

*a practical example detailed assessment of risks related to the transport of hazardous substances by road.*

*Key words: risk assessment, emergency event, transport of dangerous substances, mobile risk source.*

## ÚVOD

Cestná doprava nadobúda vďaka rozvoju motorizácie a cestnej siete stále väčší význam v dopravnom systéme vyspelých krajín. Jedným z trendov posledných desaťročí je výrazný nárast intenzity cestnej premávky. Približne 1,8 miliónov ton benzínu spotrebujú automobily s benzínovým motorom v Slovenskej republike, osobné automobily so vznetovým motorom a nákladné automobily spotrebujú ešte ďalších 2,3 miliónov ton nafty ročne (1).

Trend rastu prepráv produktov medzi miestami produkcie, ďalšieho spracovania a spotreby sa dotýka aj prepravy produktov, ktoré sa označujú ako nebezpečné tovary, nebezpečné náklady alebo nebezpečné látky. Trasy prepráv sú vedené priemyselnými aglomeráciami a objekty pre ich skladovanie a výdaj sú situované v oblastiach, ktoré sú husto osídlené obyvateľstvom. Dopravné nehody spojené s únikom nebezpečných látok sa vyskytujú čoraz častejšie a môžu predstavovať vážne ohrozenie pre obyvateľstvo alebo spôsobiť znečistenie životného prostredia. Denne sme prostredníctvom rôznych médií informovaní o nehodách v oblasti cestnej dopravy a ich rôznymi dôsledkami – počtom zranených a usmrtených osôb, uniknutých množstvách nebezpečných látok, škodách na majetku a životnom prostredí.

## 1. MIMORIADNE UDALOSTI PRI PREPRAVE NEBEZPEČNÝCH LÁTKOK

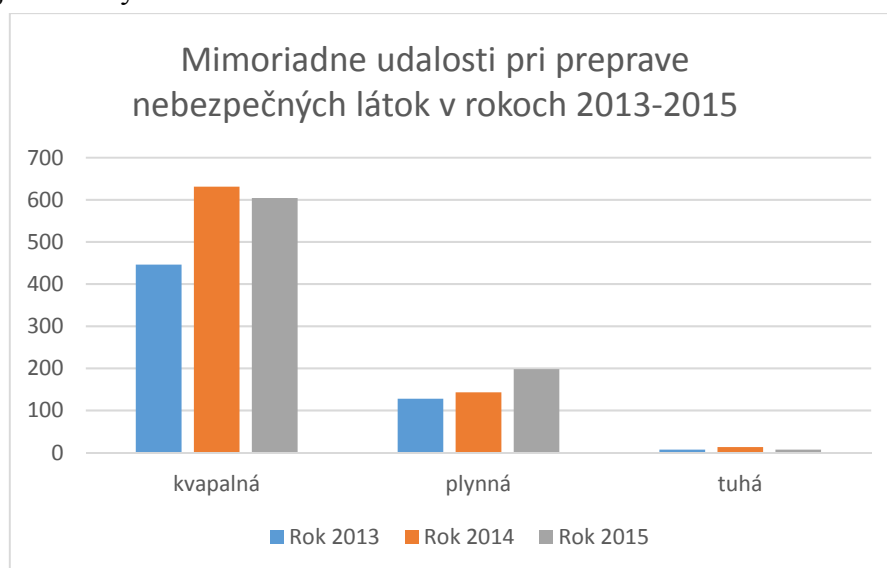
Na Slovensku je zaevidovaných pod OKEČ 6024 cestná nákladná doprava 17 439 subjektov. Z uvedeného množstva sa zaoberá prepravou nebezpečných vecí približne 5 200 prepravcov. Napriek tomu, že v Slovenskej republike neexistujú presné štatistické údaje o objemoch alebo prepravných výkonoch súvisiacich s prepravou nebezpečných vecí, odhaduje sa, že nebezpečné veci predstavujú až 30% z celkového objemu nákladnej dopravy na dlhé vzdialenosti a na kratšie vzdialenosti (do 100 km) až 60% z celkového objemu nákladnej dopravy. Na cestnú dopravu pripadá cca 70%, železnicu cca 10% a zvyšok na ostatné druhy dopravy. Až okolo 80% z prepravovaných nebezpečných vecí pripadá na horľavé kvapaliny, ktoré sú prepravované cisternovými dopravnými a prepravnými prostriedkami (1).

Dlhodobé štatistické údaje z rôznych krajín sa zhodujú v tom, že najčastejšou príčinou dopravných nehôd je človek asi v 85 % prípadoch, dopravná cesta je primárnou príčinou v 10 % prípadoch a dopravný prostriedok je zdrojom nehôd približne 5 % prípadoch. Často sa na vzniku nehôd podieľa viacero faktorov súčasne (2).

Najväčší podiel na vzniku havárií a nehôd v doprave majú havárie a dopravné nehody s únikom kvapalných nebezpečných látok. Kritické faktory v tejto oblasti sú:

- **Človek** – únava, nepozornosť, arogantná jazda, nedostatok skúseností, nedostatočná kvalifikácia, nedodržovanie predpisov o preprave, skladovaní a manipulácii s nebezpečnými látkami, podcenenie rizika, vykazovanie ekonomických úspor (svojevoľné skrátenie prepravnej trasy).
- **Dopravný prostriedok** – nezodpovedajúci technický stav, nedostatočná vybavenosť vozidla predpísanými prostriedkami (napr. chýbajúci hasiaci prístroj), mechanické a technické poruchy, zlyhanie bezpečnostných systémov, únava a skryté chyby konštrukčných materiálov.
- **Dopravná cesta a prostredie** – poveternostné podmienky, stav komunikácie, veľký počet áut na komunikáciách, stúpajúce rýchlostné limity, nedostačujúce resp. chýbajúce dopravné značenie (3).

Prehľad počtu mimoriadnych udalostí pri preprave NL cestnou dopravou v SR v rokoch 2013-2015 je uvedený na obrázku 1.



Zdroj: Autori

Obr. 1 - Počet mimoriadnych udalostí s výskytom nebezpečných látok

## 2. KVANTITATÍVNE HODNOTENIE RIZÍK

V súčasnosti sa odhad následkov nehôd mobilných zdrojov rizík vykonáva pomerne sporadicky, použitím jednoduchých matematických modelov a rôznych simulačných programov (4). Takto získané výsledky poskytujú len údaje o nebezpečných zónach po uvoľnení a rozptýlení nebezpečných látok v okolí miesta vzniku havárie.

Vzhľadom na skutočnosť, že 80% prepravovaných nebezpečných látok po cestách tvoria horľavé kvapaliny, rozhodli sme sa vykonať detailné hodnotenie rizík spojených s únikom pohonných látok počas ich prepravy v cisternovom vozidle. Chceme poukázať na skutočnosť, že preprava nebezpečných látok môže predstavovať významný zdroj rizika v vzniku prípade mimoriadnej udalosti spojenej s únikom nebezpečných látok.

Na kvantitatívne hodnotenie rizika bude využitá metodika CPR 18E Holandská metodika CPR 18E známa ako „Purple Book“. Metodika je uznávaným prístupom pre komplexné hodnotenie rizika a obsahuje dve časti – hodnotenie rizík stacionárnych zariadení a hodnotenie prepravy nebezpečných látok. Používa sa na určovanie rizík pri prevádzkovaní, manipulácií, preprave a skladovaní nebezpečných látok. Kvantitatívne hodnotenie rizík metódou CPR 18E pozostáva z vykonania nasledujúcich krokov:

1. Určenie zdrojov nebezpečenstva a havarijných scenárov
2. Určenie frekvencie porúch pre technologické zariadenia pri preprave nebezpečných látok
3. Kvantifikácia celkových frekvencií havarijných scenárov
4. Stanovenie spoločenského rizika.

## 2.1 Určenie zdrojov nebezpečenstva a havarijných scenárov

Prvým krokom pri stanovení negatívnych následkov mimoriadnej udalosti spojených s prepravou nebezpečných látok je určenie zdrojov nebezpečenstva.

Tab. 1 - Zdroje nebezpečenstva

Zariadenie	Objem [m <sup>3</sup> ]	Nebezpečná látka	Množstvo látky [kg]
automobilová cisterna	30	benzín	24 000

Zdroj: Autori

Pri určovaní najnepriaznivejšej situácie, pri ktorej je účinkami explózie, toxicity alebo požiaru uniknutých nebezpečných látok ohrozený najväčší počet osôb a v najväčšom rozsahu ohrozené životné prostredie, sa vychádza z odhadu a stanovenia havarijných scenárov (5). Pri výbere možných havarijných scenárov sa vychádza z: predpokladaného úniku maximálneho množstva jednotlivých nebezpečných látok, najväčšej plochy požiaru, možného ohrozenia okolia výbuchom a sálavým teplom a z počtu ohrozených osôb v dotknutých priestoroch (6). V procese prepravy nebezpečných látok bol ako významný identifikovaný havarijný scenár: „Pri preprave benzínu na trase dlhej 170 km vedúcej cez mestskú časť došlo k dopravnej nehode, ktorá mala za následok porušenie plášťa cisterny, úniku celého prepravovaného množstva a následnému požiaru uniknutého benzínu.“

## 2.2 Určenie frekvencie porúch a pravdepodobností

Na stanovenie frekvencie porúch pre automobilovú cisternu v procese prepravy boli použité odhady reprezentatívnych udalostí úniku nebezpečných látok z metódy „Purple Book“ vid' tabuľka 2,3.

Tab. 2 - Frekvencie úniku pre rôzne typy komunikácií

Typ komunikácie	Frekvencia úniku [/vozidiel. km]	
	Pretlakové	Atmosférické
Diaľnice	$4,32 * 10^{-9}$	$8,38 * 10^{-9}$
Mimo mesto	$1,22 * 10^{-8}$	$2,77 * 10^{-8}$
Mesto	$3,54 * 10^{-9}$	$1,24 * 10^{-8}$

Zdroj: Purple book

Tab. 3 - Pravdepodobnosť okamžitého vznietenia prepravných jednotiek mimo podniku

Zdroj (výtok)	Pravdepodobnosť okamžitého vznietenia
Cestná cisterna (kontinuálny)	0,1
Cestná cisterna (jednorazový)	0,13

Zdroj: Purple book

### 2.3 Kvantifikácia celkových frekvencií havarijných scenárov

Celková frekvencia havarijného scenára bola určená ako súčin frekvencie poruchy a pravdepodobnosti okamžitého vznietenia a je uvedená v tabuľke 4.

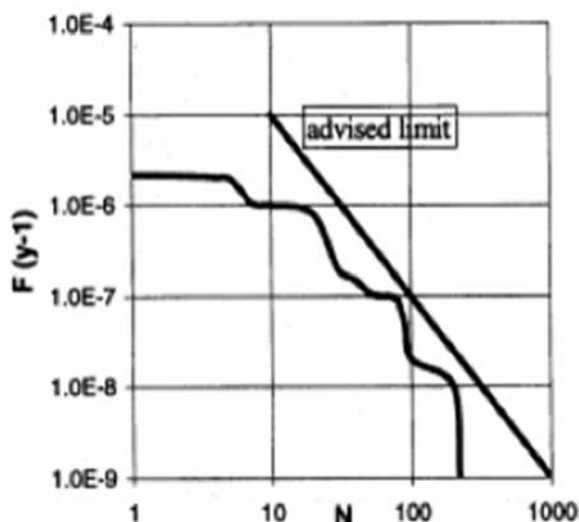
Tab. 4 - Celková frekvencia havarijného scenára

Frekvencia poruchy (F)	$1,24 * 10^{-8}$ vozidiel. km*170 km
Pravdepodobnosť okamžitého vznietenia (P)	0,13
Celková frekvencia havarijného scenára ( $F_c = F * P$ )	$2,74 * 10^{-7}$ vozidiel

Zdroj: Autori

### 2.4 Stanovenie spoločenského rizika

Spoločenské riziko je definované ako vzťah medzi počtom smrteľných prípadov pri havárii a pravdepodobnosťou toho, že tento počet nebude prekročený (7). Nie je ľahké stanoviť kritéria prijateľnosti pre spoločenské riziko. V Európe je obvykle akceptovaná konvencia vypracovaná v Holandsku. Používané kritéria prijateľnosti spoločenského rizika sú uvedené na obrázku 2.



Zdroj: Purple book

Obr. 2 - Krivka spoločenského rizika. Os x predstavuje počet smrteľných prípadov, os y frekvenciu udalostí za rok.

#### 2.4.1 Odhad prítomnosti obyvateľstva

Pre výpočet spoločenského rizika je dôležité odhadnúť prítomnosť obyvateľstva. Prítomnosť obyvateľstva sa počas 24 hodín mení, je odlišná v dennú a nočnú dobu (8). Pre potrebu prípadovej štúdie sa uvažuje denná doba. Pri výpočte spoločenského rizika sa predpokladá, že časť obyvateľstva sa nachádza vo vnútri budov, preto metodika Purple book stanovuje podiely obyvateľov nachádzajúcich sa vo vnútri  $f_{pop,in}$  a okolí budov  $f_{pop,out}$ . Základné hodnoty týchto parametrov sú uvedené v tabuľke 5. Hodnoty platia pre obytné a priemyselné plochy, pokiaľ nie sú dostupné iné informácie.

Tab. 5 - Podiely prítomnosti obyvateľov vo vnútri a okolí budov

Doba	$f_{pop,in}$	$f_{pop,out}$
Denná doba	0,93	0,07
Nočná doba	0,99	0,01

Zdroj: Purple book

Modelovanie únikov a prejavov havarijného scenára ukázalo, že v prípade triedy stability ovzdušia F dosah smrteľných následkov na obyvateľstvo v prípade požiaru v okolí 66 m od miesta úniku, čo predstavuje plochu 1,4 ha. Pri odhadovanej hustote obyvateľstva 80 ľudí/ha (podľa vyhlášky MŽP č.489/2002 v znení neskorších predpisov) je počet osôb na zasiahnutej ploche cca (1,4 ha x 80 ľudí/ha) 112 ľudí (9).

V prípade požiaru sa predpokladá, že ľudia vo vnútri budovy sú chránení pred tepelnou radiáciou. Smrteľné ohrozenie osôb sa predpokladá v okolí 66 metrov od miesta požiaru, čo predstavuje počet ľudí nachádzajúcich sa mimo budov vid' tabuľka 6 (9).

Tab. 6 - Odhad počtu ľudí vo vnútri a mimo budov

Havarijný scenár	Počet ľudí vo vnútri budov	Počet ľudí mimo budov	Celkom
požiar	104,16	7,84	112

Zdroj: Autori

Počet smrteľne ranených v prípade modelovanej mimoriadnej udalosti počas dňa bol stanovený na 8 osôb.

Spoločenské riziko pre vybraný havarijný scenár bolo určené z matice pravdepodobnosti a následkov (obrázok 2). Pre analyzovanú činnosť bola stanovená dvojica čísel – celková frekvencia havarijného scenára a počet smrteľných prípadov. Spoločenské riziko pre obyvateľstvo bolo odhadnuté kombinovaním obidvoch hodnôt. V prípade modelovanej mimoriadnej udalosti spadá do oblasti prijateľného rizika.

## ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo poskytnúť praktický príklad posudzovania rizík spojených s prepravou nebezpečných látok z hľadiska pravdepodobného výskytu nehody. Predložená modelová situácia predstavuje podrobné kvantitatívne hodnotenie rizík prepravy nebezpečných látok cestnou dopravou, čo je základným predpokladom znižovania a riadenia rizík. Výsledky modelovej situácie by mohli byť použiteľné aj pre rôzne štúdie spoločenského a environmentálneho rizika týkajúce sa náhodného uvoľnenia nebezpečných látok do ovzdušia, ak sa majú navrhnuť opatrenia na prevenciu alebo zmiernenie následkov.

Vzhľadom na rastúci počet prepravovaných nebezpečných látok a prípravu právnych predpisov o prevencii nehôd súvisiacich s ich prepravou bude musieť byť táto problematika riešená detailnejšie.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- (1) *Ročenka dopravy, pôšt a telekomunikácií 2016.*
- (2) LEITNER, B., LUSKOVA, M., TITKO M.: Modelovanie dopadov straty funkčnosti mostného objektu na dopravnú obslužnosť. In: *Transport means 2017: proceedings of the 21st international scientific conference: September 20-22, 2017 Juodkrante, Lithuania. Part I. - Kaunas: Kaunas University of Technology, 2017. s. 86-91. ISSN 1822-296X.*
- (3) SVETLÍK, J., VELAS.A. Požiarna bezpečnosť vozidiel v statickej doprave. In: *Transport means 2017 : proceedings of the 21th international scientific conference. Juodkrante, Lithuania. Part II. 2017. s. 636-639. ISSN 1822-296X.*
- (4) LUSKOVA, M., BUGANOVA, K., LEITNER, B.: Zvyšovanie bezpečnosti kritickej infraštruktúry v sektore doprava. In: *Social science, education and human science SEME: 2nd international conference, Bangkok, Thailand. Lancaster: Destech Publications, 2016, s. 224-228. ISBN 978-1-60595-336-6.*
- (5) LOVECEK, T., RISTVEJ, J. AND SIMAK, L. Hodnotenie účinnosti ochranných systémov objektov kritickej infraštruktúry. In: *Journal of Homeland Security and Emergency Management. Vol. 7, Issue 1, Aritckle number 34. 2010.*

- (6) JELŠOVSKÁ, K. Analýza environmentálnych konfliktov. In: *Proceeding of NATO Advanced Research Workshop on Managing Global Environmental Threats to Air, Water and Soil - Examples from South Eastern Europe*. Ljuljana, Slovenia.2010, s.365-377.
- (7) KAMPOVÁ, K., LOVEČEK, T. Uncertainty in quantitative analysis of risks impacting human security in relation to environmental threats. In: *Understanding and managing threats to the environment in South Eastern Europe. - Dordrecht: Springer*. ISBN 978-94-007-0610-1. 2011. s. 249-363.
- (8) *Guidelines for Quantitative Risk Assessment*, Purple Book, CPR 18E, TNO, The Hague 1999, s. 237.
- (9) MÄKKÁ, K, SVENTEKOVÁ, E. Risk evaluation by transport of dangerous substances. In: *Transport means 2014: proceedings of the 18th international conference*. Kaunas University of Technology, Lithuania. 2014. s. 308-311. ISSN 1822-296X.