

# URČENÍ RIZIKA PŘESTUPNÍHO UZLU VEŘEJNÉ DOPRAVY PŘI ÚNIKU NEBEZPEČNÉ LÁTKY V OKOLÍ

## DETERMINING THE RISK OF TRANSPORT HUB CAUSED BY RELEASE OF DANGEROUS SUBSTANCE IN THE NEIGHBOURHOOD

Štěpánka Doleželová<sup>1</sup>, Libor Krejčí<sup>2</sup>

---

*Anotace: Článek popisuje metodický postup určení počtu cestujících v přestupních uzlech veřejné hromadné dopravy pro stanovení rizikovosti uzlu při úniku nebezpečné látky v okolí. Počet cestujících v přestupním uzlu je určen na základě počtu a obsazenosti vozidel veřejné hromadné dopravy obsluhující přestupní uzel, průměrné doby čekání na dopravní spoj, čas na přestup a další vlivy. Metodický postup je ověřen na vybraném uzlu při úniku nebezpečné látky – amoniaku. Postup umožní kvantifikovat počet ohrožených osob v případě nehody a následně přizpůsobit zásah integrovaného záchranného systému.*

*Klíčová slova: přestupní uzel, riziko, nebezpečná látka.*

*Summary: This article describes a methodology for determining the number of passengers in public transport hubs for assessing the risk of the hub in caused by release of dangerous substance in the neighbourhood. The number of passengers in the transport hub is determined by the number and occupancy of public transport vehicles serving the transport hub, the average waiting time for the transport link, the time to transfer and other influences. The methodology is validated at the selected transport hub for the release of the dangerous substance – ammonia. The procedure will enable to quantify the number of people at risk in the event of an accident and then justify the intervention of the integrated rescue system.*

*Key words: transport hub, risk, dangerous substance.*

### ÚVOD

Veřejná hromadná doprava (VHD) a individuální doprava (ID) ve většině případů využívá stejnou dopravní infrastrukturu. Případné dopravní nehody vozidel ID tak do určité míry ovlivňují i cestující využívající VHD, a to i v případě pokud dopravní prostředek VHD není do dopravní nehody přímo zapojen. Specifickým případem jsou dopravní nehody nákladních vozidel. Statisticky jsou relativně méně četné, ale vzhledem k samotnému charakteru nákladních vozidel s nejzávažnějšími následky v počtu zraněných a usmrcených (1).

---

<sup>1</sup> Ing. Štěpánka Doleželová, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Lišeňská 33a, 636 00 Brno, Tel.: +420 541 641 746, E-mail: [stepanka.dolezelova@cdv.cz](mailto:stepanka.dolezelova@cdv.cz)

<sup>2</sup> Ing. Bc. Libor Krejčí, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 541 641 745, E-mail: [libor.kr@centrum.cz](mailto:libor.kr@centrum.cz)

Potenciálně nejzávažnější dopady mají nehody při přepravě nebezpečných věcí. Jsou to látky, které mohou povahou své nebezpečnosti ohrozit osoby, životní prostředí či prvky dopravní infrastruktury. Řadíme zde výbušné látky, plyny, hořlavé kapaliny, toxické látky, žíravé látky, radioaktivní látky a další druhy nebezpečných věcí (2). Mezi nejzávažnější nehody s rozsáhlým dopadem patří nehody s únikem toxického plynu (např. chlór, amoniak apod.). Takové nehody ohrožují životy a zdraví obyvatel v okruhu několika stovek metrů v závislosti na množství uniklé látky a meteorologických podmínkách (3).

V článku je popsán metodický postup určení počtu cestujících v přestupních uzlech veřejné hromadné dopravy pro stanovení rizikovitosti uzlu při úniku nebezpečné látky v okolí. Do výpočtu budou zahrnuti cestující VHD, kteří se do uzlu či z uzlu přemisťují zónou ohrožení s využitím ID. Dále budou započítáni aktuální uživatelé VHD, kteří prostředkem VHD přijíždějí zónou ohrožení do uzlu VHD, cestující projíždějící přes uzel VHD a cestující, kteří vyjíždějí z uzlu VHD zónou ohrožení. Naopak bude abstrahováno od individuální motorové a nemotorové dopravy v okolí uzlu bez návaznosti na využití VHD, okolního obyvatelstva a VHD, která se může v zóně ohrožení náhodně vyskytovat bez návaznosti na průjezd přes sledovaný uzel VHD. Při ověření metodického postupu bude pracováno s hypotézou dopravní nehody cisternového vozidla s únikem nebezpečného toxického plynu (amoniaku), ke které došlo v blízkosti přestupního uzlu VHD – Brno, Stará Osada.

## 1. PŘESTUPNÍ UZLY VEŘEJNÉ HROMADNÉ DOPRAVY

Problematika navrhování přestupních uzlů VHD je upravena normou ČSN 73 6425-2 – Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – Část 2: Přestupní uzly a stanoviště (4). Norma je zaměřena na optimální návrhy přestupních uzlů z hlediska potřeb cestujících s ohledem na velikost a důležitost přestupních uzlů. Kromě návrhů komunikací pro chodce, nástupišť, příjezdových, odjezdových a manipulačních stání, se norma zabývá také individuální automobilovou dopravou. Norma uvádí související právní předpisy a další technické normy a technické podmínky, které se vztahují k řešení přestupních uzlů.

Norma ČSN 73 6425-2 definuje přestupní uzel jako místo, ve kterém je umožněn cestujícím přestup mezi více než dvěma linkami veřejné osobní dopravy pro jeden směr jízdy nebo mezi různými druhy dopravy. Jedná se o místa, kde se stýkají především linky městské autobusové, trolejbusové a tramvajové dopravy. Do přestupního uzlu městské linkové osobní dopravy může být přivedeno i metro, lanová dráha nebo přívoz a může být využíván také příměstskou dopravou zahrnutou v integrovaném dopravním systému (4).

Uspořádání přestupního uzlu ovlivňuje dobu, kterou v něm při přestupech, nástupech a výstupech do a z vozidel VHD stráví cestující. Uspořádání určuje nejen kapacitu uzlu, ale i chování cestujících (nástup a výstup, doba pěších přesunů mezi jednotlivými spoji a vyčkávání cestujících na příjezd spoje na příslušném nástupišti), (5).

Základními podmínkami jsou:

- uspořádání nástupišť,
- charakteristika přesunu v rámci přestupní vazby (délka přesunu, jeho přímočarost, překonávané spády a propustnost cesty), (6).

Maximální časové ztráty pohybu cestujících v přestupním uzlu jsou uvedené v tabulce 1.

Tab. 1 - Doporučené časové ztráty pohybu cestujících v přestupním uzlu

Doporučené časové ztráty [s]		Městská linková osobní doprava	Silniční linková osobní doprava	Železniční doprava	Individuální mot. doprava – parkoviště typu K+R	Individuální mot. doprava – parkoviště typu P+R
Městská linková osobní doprava		1,0 (2,0)*	2,0 (3,0)*	4,0 (5,5)*	0,5 (1,5)*	4,0 (6,0)*
Silniční linková osobní doprava		2,0 (3,0)*	1,5 (2,5)*	4,5 (6,0)*	2,0 (3,0)*	5,0 (8,0)*
Železniční doprava		4,0 (5,5)*	4,5 (6,0)*	2,5 (4,0)*	3,0 (4,0)*	5,0 (8,0)*
Individuální mot. doprava – parkoviště typu K+R		0,5 (1,5)*	2,0 (3,0)*	3,0 (4,0)*	-	-
Individuální mot. doprava – parkoviště typu P+R		4,0 (6,0)*	5,0 (8,0)*	5,0 (8,0)*	-	-
	- hodnoty v tabulce platí pro pozemní městskou linkovou osobní dopravu, - pro výpočet časových ztrát se uvažuje rychlost pěší chůze 1,2 m/s, - hodnoty uvedené v tabulce jsou uvedené pro přestup mezi středy nástupišť, * viz článek 5.4.					

Zdroj: (4)

Všechny výše uvedené charakteristiky přestupních uzlů a časové ztráty ovlivní počet osob, které se v uzlu a jeho okolí nacházejí.

## 2. METODIKA VÝPOČTU

Pro výpočet počtu cestujících v přestupním uzlu VHD a jeho okolí zahrnujícího zónu ohrožení, budou cestující rozděleni do čtyř kategorií. Kritérium pro volbu kategorií je podle fáze přepravního procesu, během které budou přítomni ve sledovaném uzlu či blízkém okolí.

Fáze přepravního procesu v přestupním uzlu:

- nástup viz kapitola 2.1,
- přestup viz kapitola 2.2,
- výstup viz kapitola 2.3,
- průjezd viz kapitola 2.4.

## 2.1 Nástup

$$N_j^N = \frac{n_j^N - \sum_{k=1}^n n_{kj}}{2} + \frac{(t_p + t_{od})}{\frac{60}{S_j}} \cdot \left( n_j^N - \sum_{k=1}^n n_{kj} \right) \quad ((1))$$

Kde:  $N_j^N$  počet ohrožených cestujících nastupujících v uzlu na linku  $j$  [osob],  
 $n_j^N$  průměrný počet cestujících nastupujících v uzlu do spoje linky  $j$  [osob],  
 $n_{kj}$  průměrný počet cestujících přestupujících z linky  $k$  na linku  $j$  [osob]  
 $t_p$  průměrná doba přemístění cestujících zónou ohrožení do uzlu [min],  
 $t_{od}$  průměrná doba odjezdu spoje linky  $j$  z uzlu zónou ohrožení [min],  
 $S_j$  počet spojů v uzlu na lince  $j$  za hodinu [ $hod^{-1}$ ].

$$N^N = \sum_{j=1}^n N_j^N \quad (2)$$

## 2.2 Přestup

$$N^{Př} = \sum_{k=1}^n \left( \frac{n_{j,k}^{Př} \cdot S_j}{2 \cdot S_k} + \left( \frac{t_{př}}{\frac{60}{S_j}} + \frac{t_{od}}{\frac{60}{S_k}} \right) \cdot n_{j,k}^{Př} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{n_{k,j}^{Př} \cdot S_k}{2 \cdot S_j} + \left( \frac{t_{př}}{\frac{60}{S_k}} + \frac{t_{od}}{\frac{60}{S_j}} \right) \cdot n_{k,j}^{Př} \right) \quad (3)$$

Kde:  $N^{Př}$  počet ohrožených cestujících kteří přestupují v přestupném uzlu [osob],  
 $n_{j,k}^{Př}$  průměrný počet cestujících přestupujících z linky  $j$  na linku  $k$  [osob],  
 $n_{k,j}^{Př}$  průměrný počet cestujících přestupujících z linky  $k$  na linku  $j$  [osob],  
 $S_k$  počet spojů v uzlu na lince  $k$  za hodinu [ $hod^{-1}$ ],  
 $S_j$  počet spojů v uzlu na lince  $j$  za hodinu [ $hod^{-1}$ ],  
 $t_{př}$  průměrná doba příjezdu spoje linky  $j$  zónou ohrožení do uzlu [min],  
 $t_{od}$  průměrná doba odjezdu spoje linky  $j$  zónou ohrožení z uzlu [min].

## 2.3 Výstup

$$N^V = \sum_{j=1}^n \left( \left( n_j^V - \sum_{k=1}^n n_{j,k}^{Př} \right) \cdot \frac{(t_{př} + t_o)}{\frac{60}{S_j}} \right) \quad (4)$$

*Kde:  $N^V$  počet ohrožených cestujících vystupujících v uzlu z  $n$  linek [osob],  
 $n_j^V$  průměrný počet cestujících vystupujících v uzlu ze spoje linky  $j$  [osob],  
 $n_{j,k}^{Př}$  průměrný počet cestujících přestupujících z linky  $j$  na linku  $k$  [osob],  
 $t_{př}$  průměrná doba příjezdu spoje linky  $j$  zónou ohrožení do uzlu [min],  
 $t_o$  průměrná doba opuštění zóny ohrožení cestujícími [min],  
 $S_j$  počet spojů v uzlu na lince  $j$  za hodinu [ $hod^{-1}$ ].*

## 2.4 Průjezd

$$N^{Pr} = \sum_{j=1}^n n_j^{Pr} \cdot \frac{(t_{př} + t_z + t_{od})}{\frac{60}{S_j}} \quad (5)$$

*Kde:  $N^{Pr}$  počet ohrožených cestujících projíždějících uzlem [osob]  
 $n_j^{Pr}$  průměrný počet cestujících projíždějících uzlem ve spoji linky  $j$  [osob]  
 $t_{př}$  průměrná doba příjezdu spoje linky  $j$  zónou ohrožení do uzlu [min],  
 $t_z$  průměrná doba zdržení spoje  $j$  v uzlu [min],  
 $t_{od}$  průměrná doba odjezdu spoje linky  $j$  zónou ohrožení z uzlu [min],  
 $S_j$  počet spojů v uzlu na lince  $j$  za hodinu [ $hod^{-1}$ ].*

## 3. MODELOVÁNÍ ÚNIKU NEBEZPEČNÉ LÁTKY

V následující části bude provedeno modelování šíření a dopadu úniku vybrané toxické látky. Pro modelování dopadu byla vybrána látka amoniak (čpavek,  $NH_3$ ). Amoniak je bezbarvý dráždivý plyn s charakteristickým zápachem, který se rozkládá ve vodě, přičemž kapalný amoniak se rychle vypařuje (7). Amoniak je jedním z nejčastěji používaných anorganických látek v chemickém průmyslu. Používá se pro výrobu hnojiv, dusičnanů, výbušnin, kyseliny dusičné, apod. V petrochemickém průmyslu se používá k neutralizaci kyselin v ropě. Další využití amoniaku je v podobě chladicího média v mrazárnách, průmyslových podnicích či pro umělé ledové plochy (8).

Pro vymezení oblasti zasažené oblakem toxického amoniaku je třeba stanovit koncentrační limity, které jsou pro osoby škodlivé. Bude vycházeno z metodiky AEGL (Acute Exposure Guideline Levels), která pro vybrané látky stanovuje koncentrační limity AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3 (7). Tyto limity v závislosti na délce expozice způsobují určitou míru závažnosti toxikologických dopadů. Jako kritérium pro vyhodnocení byl zvolen limit AEGL-3. Tato koncentrace (pro amoniak 1100 ppm) způsobuje po 1 hodině expozice nevratné poškození zdraví či smrt běžné populace (8).

V České republice se pro převoz amoniaku používají snímatelné cisterny, které mají délku 4,5 metru, průměr 0,9 metru a hmotnost náplně 1,7 tuny. Tyto vstupní parametry proto budou použity pro popis zdroje úniku látky, přičemž bude uvažováno s netěsností v cisterně.

Významným faktorem ovlivňujícím šíření látky je počasí. Pro modelování šíření látky byly zadány standardní klimatické podmínky a ostatní vstupní údaje uvedené v

Tab. 2.

Tab. 2 - Vstupní data pro model šíření amoniaku

LÁTKA	UN 1005 Amoniak, AEGL-1 30 ppm, AEGL-2 160 ppm, AEGL-3 1100 ppm [60 min].
ZDROJ	Přemístitelná cisterna, průměr: 0,9 m, délka: 4,5 m, hmotnost náplně 1,7 tuny, plnění 88 %, výška otvoru: 0,5 m, doba úniku látky 1 min, průměr kruhového otvoru: 0,01 m (1 cm).
ATMOSFÉRICKÁ DATA	Západní vítr 5 m/s, rychlost měřena ve výšce 3m, charakter okolí: městská zástavba, oblačnost: částečně zataženo, teplota: 20 °C, vlhkost: 50 %, bez inverze.

Zdroj: autoři

Pro vlastní analýzu šíření toxického amoniaku byl využit softwarový nástroj ALOHA, verze 5.4.3 (9).

Při zadaných vstupních podmínkách a za předpokladu nevznícení látky byla modelováním zjištěna průměrná rychlost úniku látky: 87,2 kg/min., celkové množství uniklé látky 679 kg a poloměr zasažené oblasti 200 metrů (1100 ppm = AEGL-3).

#### 4. OVĚŘENÍ METODIKY NA PŘESTUPNÍM UZLU VHD

V následující části bude provedeno ověření navržené metodiky pro výpočet počtu zasažených osob v okolí přestupního uzlu VHD při úniku toxické látky. Bude vycházeno z hypotézy nehody cisterny přepravující amoniak v bezprostřední blízkosti uzlu VHD, podle parametrů v předchozí kapitole 3. Zóna ohrožení tedy představuje kruh o poloměru 200 metrů. Metodika bude ověřena na přestupním uzlu veřejné hromadné dopravy Stará osada ve městě Brně. Jedná se o přestupní uzel se dvěma tramvajovými linkami, třemi linkami trolejbusovými, 15 linkami městské autobusové dopravy a dvěma linkami regionální autobusové dopravy zařazenými do systému IDS JMK.

V přestupním uzlu Brno – Stará osada se v období dopravní špičky (8:00 h – 9:00 hod.) pohybuje 117 autobusů, 16 trolejbusů a 36 tramvají. Při výpočtu však bylo pro zjednodušení měření uvažováno s hypotézou, že k nehodě cisterny dojde v pracovní den v době dopravního sedla v časovém intervalu 10:00 – 11:00 hod. Přehled linek VHD, které v tomto období obsluhují přestupní uzel Brno - Stará osada je uveden v tabulce 3.

Tab. 3 - Přehled linek v uzlu Brno - Stará osada (prac. den od 10:00 do 11:00 hod.)

Autobus	Tramvaj	Trolejbus
44 nástup, výstup	2 nástup, výstup	25 směr Novolíšeňská
55 směr Mariánské údolí	3 nástup, výstup	25 směr Osová
55 směr Židenice nádraží		
58 směr Líšeň hřbitov		
58 směr Židenice nádraží		
64 směr Červený písek		
64 směr Životského		
75 směr Obřany - sídliště		
75 směr vozovna Slatina		
78 směr Modřice		
78 směr Židenice		
82 směr Starý Lískovec		
84 nástup, výstup		
201 nástup, výstup		

Zdroj: (10)

Pomocí dopravního průzkumu byly zjištěny následující počty cestujících:

- $n_j^N$  – průměrný počet cestujících nastupujících v uzlu do spoje linky j,
- $n_{j,k}^{Př}$  – průměrný počet cestujících přestupujících z linky j na linku k,
- $n_{k,j}^{Př}$  – průměrný počet cestujících přestupujících z linky k na linku j,
- $n_j^V$  – průměrný počet cestujících vystupujících v uzlu ze spoje linky j,
- $n_j^{Pr}$  – průměrný počet cestujících projíždějících uzlem ve spoji linky j.

Průměrné doby odjezdu, příjezdu a zdržení spojů jednotlivých linek v zóně ohrožení byly zjišťovány měřením. Časové intervaly byly definovány následujícím způsobem:

- $t_{př}$  – průměrná doba příjezdu spoje linky j zónou ohrožení do uzlu je doba, za kterou dopravní prostředek přijede zónou ohrožení,
- $t_z$  – průměrná doba zdržení spoje j v uzlu je doba, po kterou se dopravní prostředek zdrží v zastávce z důvodu nástupu a výstupu cestujících,
- $t_{od}$  – průměrná doba odjezdu spoje linky j z uzlu zónou ohrožení je doba, za kterou dopravní prostředek opustí zónu ohrožení.

Průměrné doby přemístění cestujících byly definovány takto:

- $t_p$  – průměrná doba přemístění cestujících zónou ohrožení do uzlu,
- $t_o$  – průměrná doba opuštění zóny ohrožení cestujícími.

Vzhledem k stavebně inženýrskému uspořádání přestupního uzlu Brno – Stará osada je zde minimální využití návazné cyklistické či individuální motorové dopravy. Časové intervaly  $t_p$  a  $t_o$  proto byly určeny z předpokladu, že se všichni cestující přemísťují zónou ohrožení chůzí

nebo VHD. Při průměrné rychlosti chůze  $5 \text{ km/h} \div 1,39 \text{ m/s}$ , byla stanovena doba průchodu poloměrem zóny ohrožení (200 m) na  $t_p = 144$  sekund. Při pěší chůzi se rovná průměrná doba přemístění do uzlu době opuštění uzlu za hranici ohrožení  $t_p = t_o$ . Frekvence spojů ( $S_j$  – počet spojů v uzlu na lince  $j$  za hodinu) byla zjištěna z jízdních řádů (10).

#### 4.1 Nástup

Pro zjištění počtu zasažených osob při nástupu bude použit vzorec 1 a 2. Ve vzorci 6 je uveden příklad dosazení vstupních parametrů zjištěných měření pro autobus linky č. 84.

$$N_{84}^N = \frac{18 - 6}{2} + \frac{(2,4 + 1,3)}{\frac{60}{4}} \cdot (18 - 6) \quad (6)$$

$$N_{84}^N = 8,96$$

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce 1 pro všechny linky  $j$  se vypočítá celkový počet zasažených nastupujících cestujících podle vzorce 2. V tomto modelovém případě je počet zasažených osob 70.

#### 4.2 Přestup

Pro zjištění počtu zasažených nastupujících se použije vzorec 3. Ve vzorci 7 je uveden příklad dosazení vstupních parametrů pro přestup z autobusu linky č. 44 na tramvaj linky č. 3

$$N_{44,3}^{Př} = \sum_{k=1}^n \left( \frac{4,4}{2,3} + \left( \frac{0,66}{\frac{60}{4}} + \frac{0,66}{\frac{60}{3}} \right) \cdot 4 \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{2,3}{2,4} + \left( \frac{0,66}{\frac{60}{3}} + \frac{0,66}{\frac{60}{4}} \right) \cdot 2 \right) \quad (7)$$

$$N_{44,3}^{Př} = 2,97$$

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce 3 pro všechny kombinace linek  $j$  a  $k$  se vypočítá celkový počet zasažených přestupujících cestujících součtem počtu zasažených pro jednotlivé kombinace přestupů. V tomto modelovém případě je počet zasažených osob 85.

#### 4.3 Výstup

Pro zjištění počtu zasažených vystupujících cestujících v uzlu se použije vzorec 4. Ve vzorci 8 je uveden příklad dosazení vstupních parametrů pro výstup z autobusu linky č. 84.

$$N_{84}^V = \sum_{j=1}^n \left( (12 - 0,1) \cdot \frac{(1,3 + 2,4)}{\frac{60}{4}} \right) \quad (8)$$

$$N_{84}^V = 2,94$$

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce 4 pro všechny linky  $j$  se vypočítá celkový počet zasažených vystupujících cestujících součtem počtu zasažených cestujících vystupujících z jednotlivých linek  $j$ . V tomto případě je počet zasažených osob 24.

#### 4.4 Průjezd

Počet zasažených cestujících, kteří projíždí uzlem, se zkalkuluje podle vzorce 5. Ve vzorci 9 je uveden příklad dosazení vstupních parametrů pro průjezd autobusu linky č. 78 směr Modřice.



$$N_{78}^{Pr} = \sum_{j=1}^n 6 \cdot \frac{(0,66 + 0,63 + 0,66)}{\frac{60}{4}} \quad (9)$$

$$N_{78}^{Pr} = 0,79$$

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce 5 pro všechny linky  $j$  se vypočítá celkový počet zasažených projíždějících cestujících součtem počtu zasažených cestujících projíždějících uzlem jednotlivými linkami  $j$ . V tomto modelovém případě je počet zasažených osob 9.

#### 4.5 Výsledky

Tabulka 4 uvádí souhrnné počty cestujících nacházejících se v době výpočtu v uzlu VHD Brno – Stará osada a v přílehlé zóně ohrožení.

Tabulka 4: Počty zasažených cestujících v uzlu Brno - Stará osada

Číslo linky	Počet zasažených osob			
	Nástup	Přestup	Výstup	Průjezd
2	9,82	36,6	0,76	x
3	16,20	12,93	0,29	x
25 směr Novolišeňská	1,27	14,19	0,88	x
25 směr Osová	10,17	x	x	x
44	0,77	8,01	2,44	2,24
55 směr Mariánské údolí	0,82	2,05	0,25	0
55 směr Židenice nádraží	0,06	x	2,92	0,21
58 směr Líšeň hřbitov	8,86	0,76	0,87	1,9
58 směr Židenice nádraží	0,26	x	0,96	0
64 směr Červený písek	4,81	2,45	0,60	0,59
64 směr Životského	0,72	x	0,50	0
75 směr Obrany sídliště	0,89	4,19	2,08	0,68
75 Směr vozovna Slatina	1,36	x	2,36	1,87
78 směr Modřice	0,77	1,08	0,55	0,79
78 směr Židenice	0,69	x	3,67	0,37
82 směr Starý Lískovec	2,74	2,56	0,23	0
84	8,96	0,23	2,94	x
201	0,66	0,1	1,23	x
<b>Celkem cestujících [počet]</b>	<b>69,83</b>	<b>85,15</b>	<b>23,53</b>	<b>8,65</b>
	<b>188</b>			

Zdroj: autoři

Celkem by tedy v modelovém příkladu únik amoniaku zasáhl 188 cestujících.

## ZÁVĚR

Cílem bylo navrhnout metodiku určení počtu ohrožených cestujících v přestupním uzlu VHD a nejbližším okolí vymezeném zónou ohrožení. Metodika byla následně ověřena při modelovém úniku nebezpečné toxické látky amoniak v okolí uzlu Brno – Stará osada.

Z uvedeného modelového příkladu je patrné, že únik nebezpečných látek v okolí přestupního uzlu VHD by mohl zasáhnout velký počet osob s různou mírou ohrožení zdraví. Skutečné hodnoty se však mohou od numerického modelu lišit. Na ohrožení má vliv zejména množství a druh uniklé látky a délka expozice v zasažené oblasti. Uvedený příklad vycházel z extrémní varianty délky expozice 1 hodina, při které je smrtící koncentrace amoniaku 1100 ppm. Při včasném zásahu a evakuaci ohrožených cestujících by byl počet zraněných (usmrcených) daleko nižší. S vysokou mírou pravděpodobnosti lze očekávat, že zejména cestující, kteří již jsou ve vozidle VHD, by zónu ohrožení opustili daleko dříve. Taktéž ostatní uživatelé VHD, kteří zónu opouštějí individuálně, by pravděpodobně unikli poměrně brzy.

Na druhou stranu je třeba podotknout, že do výpočtu zasažených cestujících nejsou zahrnuti uživatelé individuální motorové a nemotorové dopravy v okolí uzlu bez návaznosti na využití VHD, okolního obyvatelstva a VHD, která se může v zóně ohrožení náhodně vyskytovat bez návaznosti na průjezd přes sledovaný uzel VHD. V neposlední řadě byl počet zasažených cestujících snížen měřením v době mimo dopravní špičku. Skutečný počet ohrožených osob by tedy byl vyšší než vypočtený.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programu Národní program udržitelnosti I, projektu Dopravní VaV centrum (LO1610) na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky. Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice za rok 2016. Praha, 2017.
- (2) Dohoda ADR 2017. Ženeva: UNECE, 2017.
- (3) NICOLET-MONNIER, M., GHEORGHE, A. V. Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems: Rail, Road, Pipelines and Ship. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. ISBN 0-7923-3923-1.
- (4) ČSN 73 6425-2 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště - Část 2: Přestupní uzly a stanoviště. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- (5) LÁNSKÁ, M., ČEPA, M. Inovace přestupních uzlů z hlediska pohybu cestujících - úvod do problematiky. *Perner's contacts*, 2011, roč. 6., č. 4, s. 205 - 213. ISSN 1801 674X.
- (6) JACURA, M. et al. Optimální podoba přestupních uzlů veřejné hromadné dopravy. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2012. ISBN 978-80-01-05053-8.
- (7) MÍKA, J. O., MATOUŠEK J. Hodnocení rizik souvisejících s použitím kapalného amoniaku. *Chemické listy*, 2011, roč. 105, s. 514 - 517. ISSN 1213-7103.

- (8) KREJČÍ, L., SCHÜLLEROVÁ, B., ADAMEC, V. Hodnocení rizika přepravy amoniaku a chlóru v městských oblastech. *Chemické listy*, 2018, roč. 112, s. 232 - 236. ISSN 1213-7103.
- (9) SW ALOHA, verze 5.4.4. (*Atmospheric dispersion model for evaluating of hazardous chemical vapours*). United States Environmental Protection Agency, USA. [online]. 2013, [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>>.
- (10) IDSJMK [online] c2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z <<http://www.idsjmk.cz/>>.