



# **TP 229**

## **dodatek č. 1**

# **BEZPEČNOST V TUNELECH POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**





Ministerstvo dopravy



ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

Schváleno Ministerstvem dopravy čj. 259/2016-120-TN/12 ze dne 22. listopadu 2016 s **účinností od 23. listopadu 2016.**

Tento dokument se shoduje se schválenou verzí.

**Distribuce pouze v elektronické podobě na webu [pjpk.cz](http://pjpk.cz).**

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
1.1	Předmět dodatku .....	3
1.2	Změny a doplňky TP 229 .....	3
1.3	Forma úprav .....	3
1.4	Seznam použitých zkratk.....	4
1.5	Úvod .....	4
<b>2</b>	<b>PROCES HODNOCENÍ A OVLÁDÁNÍ RIZIK .....</b>	<b>5</b>
2.1	Dokumentace k územnímu rozhodnutí.....	7
2.2	Dokumentace ke stavebnímu povolení .....	8
<b>3</b>	<b>KVANTITATIVNÍ ANALÝZA – METODIKA VÝPOČTU RIZIKA.....</b>	<b>9</b>
3.1	Určení četnosti mimořádné události .....	10
3.2	Zpracování parametrů tunelu .....	12
3.3	Parametry dopravního proudu .....	13
3.4	Výpočet hustoty osob mezi exity .....	14
3.5	Výpočet evakuace osob .....	14
3.6	Vývoj tepla a kouře .....	15
3.7	Závěrečná zpráva .....	16
<b>4</b>	<b>POPIS MODELŮ V METODĚ ANALÝZY SCÉNÁŘŮ .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>PŘÍKLAD VÝPOČTŮ.....</b>	<b>19</b>
5.1	Model č. I: Simulace dopravního proudu .....	19
5.1.1	Odhad celodenních intenzit.....	20
5.1.2	Skladba dopravního proudu a rychlost vozidel.....	21
5.1.3	Délkové kategorie .....	22
5.1.4	Nastavení mikrosimulačního modelu .....	22
5.1.5	Vyhodnocení hustoty vozidel.....	23
5.1.6	Výpočet počtu uvězněných osob .....	26
5.2	Model č. II: Simulace úniku osob .....	28
5.2.1	Rychlost osob .....	29
5.3	Model č. III: Simulace požáru – Fyzikální model .....	31
5.3.1	Základní geometrie simulačního experimentu .....	31
5.3.2	Velikost požáru .....	32
5.3.3	Aplikovaný model prostředí.....	33
5.3.4	Model rozložení teplot.....	33
5.3.5	Model škodlivin.....	35
5.4	Model č. IV: Analýza následků .....	36
<b>6</b>	<b>POPIS PROGRAMU CAPITA.....</b>	<b>36</b>
6.1	Úvodní obrazovky.....	36
6.2	Výpočet rizik Metodou Analýzy scénářů .....	40
<b>7</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>DOPRAVNÍ SCÉNÁŘE .....</b>	<b>51</b>

# 1 Úvod

## 1.1 Předmět dodatku

Předmětem tohoto dodatku č. 1 je doplnění TP 229 o přílohu č. 2 „Metoda analýzy rizik“, která slouží jako metodický podklad pro hodnocení rizik tunelů pozemních komunikací. Detailněji je zaměřena na kvantitativní ohodnocení rizik.

Základní forma rizikové analýzy se zpracovává pro tunely pozemních komunikací v rámci dokumentace k územnímu řízení a je dopracována, dle konkrétního stavebně-technického řešení, v rámci dokumentace ke stavebnímu povolení, jako součást bezpečnostní dokumentace (TKP-D 7; příloha 5).

## 1.2 Změny a doplňky TP 229

**Technické podmínky (dále jen „TP“) 229 – Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací** schválené MD – OSI, č. j. 1014/10-910-IPK/1 dne 22. listopadu 2010 s účinností od 1. prosince 2010 se doplňují takto:

Na str. 7 TP 229 se jako první odstavec vkládá následující text: „TP 229 jsou vydávány pouze elektronicky v zabezpečeném formátu .pdf (Portable Document Format) ke stažení na [www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz) a na elektronickém nosiči CD – ROM (ČKAIT). V tištěné podobě jsou vydány pouze pro schvalovací řízení Ministerstva dopravy a pro řešení případných sporů, přičemž jeden zapečetěný výtisk je uložen na Ministerstvu dopravy a dva na Ředitelství silnic a dálnic ČR. V případě náhodných odlišností platí ustanovení tištěného vydání.“

Na konec TP 229 se vkládá nová Příloha č. 2 – Metoda analýzy rizik, popisující metodiku provedení deterministické analýzy rizik v tunelech pozemních komunikací, založená na Metodě Analýzy scénářů a navazující na teoretický popis v TP 229 (kap. 10 „Metoda analýzy scénářů“). Součástí této přílohy je i popis programového produktu CAPITA, realizujícího výpočty v souladu s navrženou metodikou. Omezující a okrajové podmínky SW CAPITA jsou uvedeny dále

## 1.3 Forma úprav

Kapitoly a Příloha č. 1 TP 229 jsou beze změn. TP 229 se doplňuje o tuto novou Přílohu č. 2 popisující Metodiku analýzy rizik a programový produkt CAPITA s tím, že tento dodatek přímo navazuje na kapitolu „Metoda analýzy scénářů“ začínající na str. 63 TP 229.

Nová Příloha č. 2 nazvaná Metoda analýzy rizik se vkládá za Přílohu č. 1 „Jednotná metodika pro analýzu nákladů a přínosů z hlediska bezpečnostního vybavení tunelů pozemních komunikací“ (TP 229, str. 75-89).

## 1.4 Seznam použitých zkratk

Seznam použitých zkratk v Příloze č. 2:

FTA	Fault Tree Analysis
ETA	Event Tree Analysis
AZMUT	Databáze mimořádných událostí
PIARC	Mezinárodní silniční organizace
HADES	Projekt Technologické agentury TA03030491
DÚR	Dokumentace k územnímu rozhodnutí
LPG	Liquefied Petroleum Gas) zkapalněný ropný plyn
F/N křivky	Frequency (F)/fatalities (N) graf (závislost kumulativní četnosti (F) a počtu usmrčených osob (N)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
HCN	Kyanovodík
HCL	Chlorovodík
OV	Osobní vozidlo
NV	Nákladní vozidlo
JP	Jízdní pruh
RPDI	Roční průměr denní intenzity
CFD	Computational Fluid Dynamic
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses (Mezinárodní silniční asociace)

## 1.5 Úvod

Vážné požáry v tunelech v 90. letech minulého století, zejména požáry v Eurotunelu, tunelu Mont Blanc, Tauernském a Gotthardském tunelu, vyvolaly celoevropskou diskusi o bezpečnosti cestujících v silničních tunelech. Výsledkem bylo vydání SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2004/54/ES o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě, [1] (dále jen „Směrnice“).

Tato Směrnice definuje řadu organizačních a technických opatření směřujících ke zvýšení bezpečnosti pro uživatele tunelů. Kromě jiného, v čl. 13 „Analýza rizik“, popisuje, co se míní touto analýzou: *„Analýza rizik je analýzou rizik pro daný tunel, která zahrnuje veškeré konstrukční faktory a podmínky dopravního provozu, které mají vliv na bezpečnost, zejména charakteristiky a typ dopravního provozu, délku tunelu, prostorové uspořádání tunelu a prognózu počtu těžkých nákladních vozidel za den“*.

V čl. 13 bodu 2 požaduje Směrnice: *„Členské státy zajistí, aby na vnitrostátní úrovni byla užívána podrobná a řádně stanovená metodika odpovídající nejvhodnějším dostupným postupům, a informují o ní Komisi; Komise tuto informaci poskytne v elektronické podobě ostatním členským státům“*.

Předkládaná metoda pro analýzu rizik reaguje na tento požadavek.

## 2 Proces hodnocení a ovládání rizik

V TP 229 je na obrázku 47 naznačen systémový přístup k hodnocení rizika, vycházející z prvotního kvalitativního hodnocení, které upozorňuje na potenciální rizika a končí detailní kvalitativní analýzou rizik. Celý proces je touto kapitolou upřesněn.

Hodnocení rizika obsahuje několik kroků, které jsou prováděny v různých stádiích projektu. V „Technických kvalitativních podmínkách pro dokumentaci staveb pozemních komunikací – kapitola 7 (dále jen „TKP–D 7“): Tunely, podzemní objekty a galerie (tunelové stavby)“ se v Příloze č. 5 „Požárně bezpečnostní řešení, dokumentace požární ochrany a bezpečnostní dokumentace“ v kap. 3 mluví o obsahu bezpečnostní dokumentace (doslovná citace):

### DÚR (DOKUMENTACE PRO ÚZEMNÍ ŘÍZENÍ)

1. Popis plánované stavby a příjezdu k ní, včetně plánů nezbytných k pochopení projektu stavby a předpokládané organizace provozu.
2. Analýza rizik – základní zhodnocení havarijních scénářů v tunelu na základě odhadované intenzity dopravy.

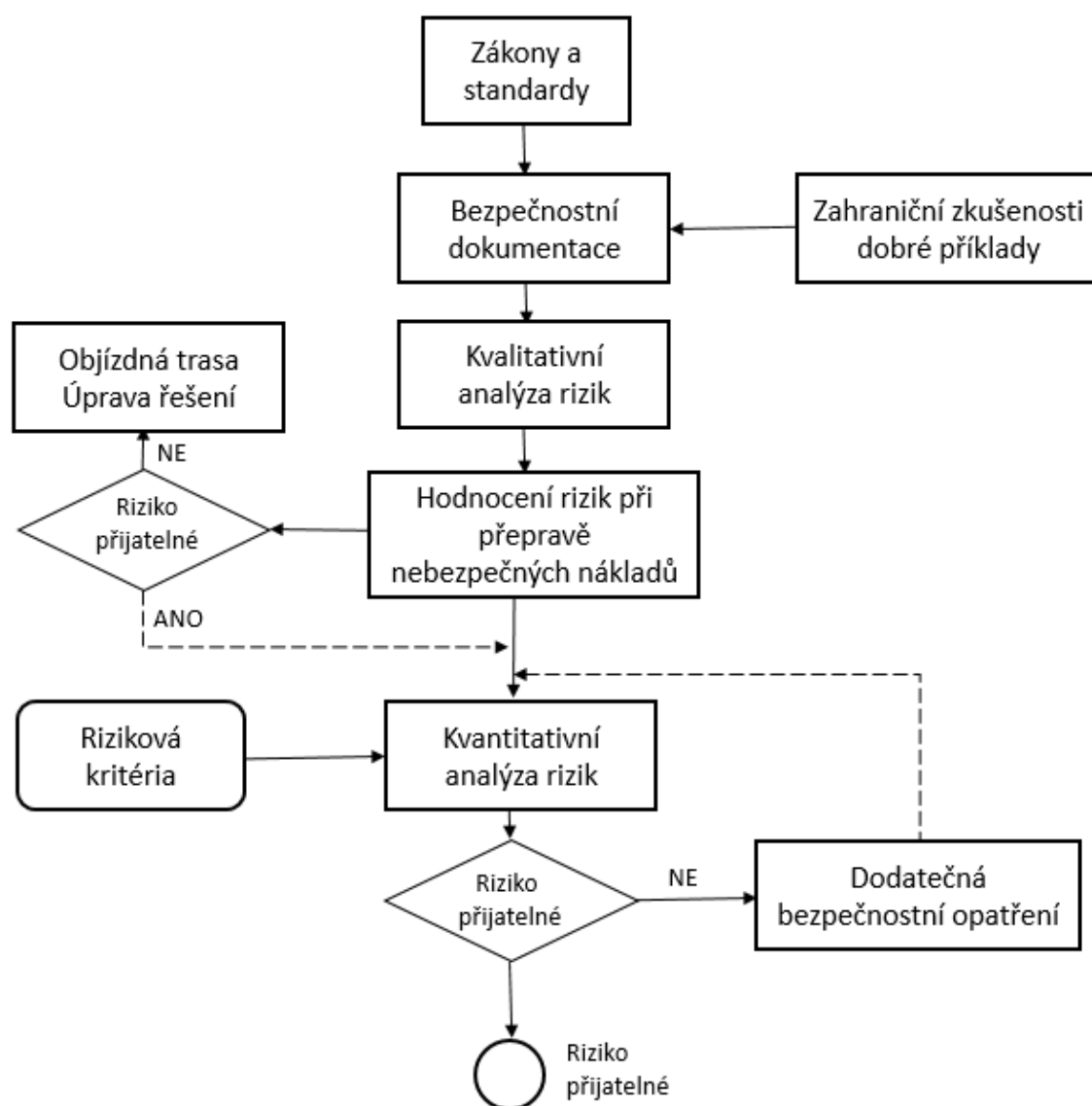
### DSP (DOKUMENTACE PRO STAVEBNÍ POVOLENÍ)

3. Zvláštní hodnocení rizikových situací, zejména nejsložitější varianty takové situace, popisující možné mimořádné události, které jednoznačně ovlivňují bezpečnost uživatelů komunikací v tunelech, ke kterým může dojít během provozování tunelu, a povahu a rozsah jejich možných následků; zvláštní hodnocení určuje a odůvodňuje opatření ke snížení pravděpodobnosti vzniku mimořádných událostí a jejich následků.
5. Stanovení intervalů pravidelných bezpečnostních prohlídek tunelu, které nejsou delší než 6 let.

Stejně tak Nařízení vlády č. 264/2009 Sb., v § 2 „Bezpečnostní dokumentace“ popisuje požadavky na bezpečnostní dokumentaci, která obsahuje:

1. Prognózu intenzity dopravy, která stanoví a odůvodní očekávané podmínky dopravy nebezpečných nákladů, včetně analýzy rizik; analýza rizik pro tunel zahrnuje veškeré konstrukční faktory a podmínky provozu na pozemních komunikacích, které mají vliv na bezpečnost, zejména charakteristiky provozu na pozemních komunikacích, délku tunelu, prostorové uspořádání tunelu a prognózu počtu těžkých nákladních vozidel za den.
2. Zvláštní hodnocení rizikových situací, zejména nejsložitější varianty takové situace, popisující možné mimořádné události, které jednoznačně ovlivňují bezpečnost uživatelů pozemních komunikací v tunelech, ke kterým může dojít během provozování tunelu, a povahu a rozsah jejich možných následků; zvláštní hodnocení určuje a odůvodňuje opatření ke snížení pravděpodobnosti vzniku mimořádných událostí a jejich následků.
3. Stanovení intervalů pravidelných bezpečnostních prohlídek tunelu, které nejsou delší než 6 let.
4. Odborné stanovisko k celkové bezpečnosti tunelu zpracované autorizovaným inženýrem.

Následující schéma popisuje procesy vedoucí k hodnocení a ovládnutí rizik.



Obr. 2-1: Schéma vyjadřující systémový přístup k analýze rizik (zdroj TP 229, modifikovaný Obr. 47)

**Zákony, standardy:** Prvním krokem v procesu analýzy rizik je seznámení se s bezpečnostně-technickými směrnicemi a předpisy. Minimální standard pro tunely delší než 500 m je dán Nařízením vlády č. 264/2009 Sb., ze dne 20. 7. 2009, které zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství<sup>1)</sup> a upravuje náležitosti bezpečnostní dokumentace tunelu nad 500 m. Kromě toho je nutné přibrat další předpisy vztahující se k bezpečnosti, stavební a technologické normy, dokumentaci PIARC, výboru „Road Tunnel Operations“, případně národní směrnice vyspělých tunelových států.

<sup>1)</sup> Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/54/ES ze dne 29. dubna 2004 o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě.



Požadavky na bezpečnostní dokumentaci obsahují, kromě dvou výše uvedených dokumentů (Nařízení vlády č. 264/2009 Sb. a TKP–D 7) i TP 154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“ v kap. 4 „Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací“.

## **2.1 Dokumentace k územnímu rozhodnutí**

Základním cílem je popis plánované stavby, stanovení organizace dopravy a prokázání, že tunel bude splňovat základní bezpečnostní požadavky.

### **Bezpečnostní dokumentace**

Bezpečnostní dokumentací se pro účely této přílohy rozumí písemně formulovaný soubor preventivních a bezpečnostních opatření potřebných k zajištění bezpečnosti uživatelů tunelu s ohledem na povahu trasy tunelu, uspořádání stavby tunelu a jejího okolí, povahu provozu na pozemních komunikacích, jejichž součástí tunel je, na osoby se sníženou schopností pohybu a orientace a s ohledem na oblast působnosti zásahu složek integrovaného záchranného systému. V bezpečnostní dokumentaci je dále uveden a vyhodnocován rozsah a provedení stavebních úprav tunelu a jeho technického vybavení.

Vzhledem k neustálému vývoji nových technologií a postupů je nutné uvažovat a podporovat technický pokrok, který souvisí s bezpečností. Při navrhování tunelů je nutné brát v úvahu dobré příklady ze zahraničí. Platné regulativy by neměly brzdit inovace v oblasti bezpečnosti.

### **Kvalitativní analýza rizik**

Prvním stupněm kontroly, zda je tunel potenciálně bezpečný, je kvalitativní analýza. TKP–D 7 požadují zkoumat základní havarijní scénáře. V tomto stádiu postačuje kvalitativní analýza typu „Kontrolní seznam“, „Analýza statistických dat“, „WHAT-IF“ analýza či se aplikuje metoda SAFMEA nebo jiné metody popsané v TP 229 kap. „Kvalitativní riziková analýza“. Kvalitativní metody jsou efektivní, ale jejich aplikování vyžaduje spolupráci více expertů znalých tunelovou problematiku.

Kvalitativní analýza umožní vyhledat a upozorní na možná potenciálně slabší místa řešení již ve stádiu zpracování dokumentace DÚR. Ve svém důsledku slouží i pro definování nebezpečných scénářů, které vstupují do detailnější kvalitativní analýzy rizik.

### **Kvantitativní analýza rizik při přepravě nebezpečných nákladů**

Pokud se ve zkoumaném tunelu uvažuje i s přepravou nebezpečných nákladů je nutné ve stádiu dokumentace DÚR kvalitativními metodami vyhodnotit možnost přepravy nebezpečných látek ve vztahu k možným objízdovým trasám.

Podrobná analýza využívající speciální rizikový model pro výpočet rizik souvisejících s nebezpečnými náklady, například model DG-GRAM se provádí jako součást dokumentace ke stavebnímu povolení. V tomto stádiu dokumentace jsou již k dispozici potřebné vstupy pro kvantitativní výpočty. Program vypočítá, pro řadu scénářů (výbuch par LPG, požár benzínu, únik chlóru atd.), očekávané riziko v daném tunelu, které se porovnává s kritériem přijatelnosti. Výsledky kvalitativní analýzy GRAM jsou vyjádřeny ve formě sociálního rizika v grafu formou F/N křivek nebo ve formě očekávaného rizika udávající pravděpodobnost, s jakou může dojít ke smrtelnému zranění jedné osoby. Hranice akceptovatelnosti rizika, viz dále.

Pokud není přeprava nebezpečných nákladů tunelem významně rizikovější, než přeprava po otevřených pozemních komunikacích může být vjezd do tunelu povolen. V opačném případě je nutné

provést bezpečnostní úpravy, či vyloučit přepravu nebezpečných nákladů. Bližší popis této metody je v TP 229 v kapitole „Model QRA“ a v literatuře [2] této přílohy.

## 2.2 Dokumentace ke stavebnímu povolení

TKP–D 7 požadují zpracovat zvláštní hodnocení rizikových situací, zejména nejsložitější varianty takové situace, popisující možné mimořádné události, které jednoznačně ovlivňují bezpečnost osob. Dále požadují vyhodnotit možné následky a odůvodnění opatření ke snížení pravděpodobnosti vzniku mimořádných událostí a jejich následků.

Pro takovéto hodnocení rizik je nutno použít metodu, která bere v potaz různé okrajové podmínky, jako chování lidí, reakce senzorů nebo činnost ventilace a je založena na matematických a fyzikálních modelech. Tím je do značné míry omezen subjektivní náhled jedince. Výsledky musí být v kvantitativní numerické podobě. Metodou analýzy rizik, která toto splňuje je deterministická Metoda Analýzy scénářů, blíže popsáná v TP 229.

### Hodnocení rizik Metodou Analýzy scénářů

Pro kvantitativní hodnocení rizika Metodou Analýza scénářů, které je vyjádřeno v počtu usmrčených osob pro daný rizikový scénář, je použit metodický postup, popsáný v této příloze.

Pro prvotní odhady rizik v typovém tunelu 300 až 1000 m lze s výhodou využít software CAPITA, viz kap. 6 „Popis programu CAPITA“ této přílohy.

Při tvorbě scénářů krizových situací musí být soustředěna a analyzována dokumentace tunelu, která má nebo může mít vztah k bezpečnosti. Jedná se o základní stavební, technologickou a provozní dokumentaci. Provozní dokumentace je v členění dle TP 154 na: Bezpečnostní dokumentaci; Tunelovou knihu; Dopravní řád s popisem standardních, zvláštních a mimořádných stavů; dále Provozní řád a Havarijní karty.

Pro tunely, které jsou v provozu, požaduje Nařízení vlády č. 264/2009 Sb. provádět pravidelné bezpečnostní prohlídky tunelu v intervalech, které nejsou delší než 6 let. V tomto časovém rozpětí se požaduje provést vyhodnocení statistiky mimořádných událostí a v případě, že je indikováno zvýšené riziko jisté kategorie událostí, je provedena podrobnější riziková analýza. Stejně tak se podrobnější analýza provádí při zásadních změnách technologie související s bezpečností (ventilace) nebo při požárech s vážnými ekonomickými následky nebo následky na zdraví a životech.

### Posouzení akceptovatelnosti rizika

Žádný tunel není absolutně bezpečný, riziko by ale mělo být redukováno z hlediska sociálního i individuálního rizika. Pro Českou republiku (dále jen „ČR“) jsou společensky přijatelné hodnoty sociálních rizik vyjádřeny F/N křivkou v TP 229 v obrázku 11. Stejná křivka byla pro ČR uveřejněna v dokumentu PIARC, [3].

Sociální rizika jsou ve F/N grafu vyjádřeny křivkou A.N-k, kde horní přijatelná kumulativní pravděpodobnost A je rovna 0,01 a dolní je 0,0001. Exponent  $k = 1$ . Riziko je vyjádřeno pro jeden rok a jeden kilometr tunelu.

Dolní hranice pro individuální riziko vychází z všeobecně přijatelné úrovně pravděpodobnosti ztráty jednoho života, která je  $10^{-6}$ , zatímco horní hranice by neměla překročit hodnotu  $10^{-3}$ . Hodnoty jsou vztaheny na jeden rok provozu, jednu tunelovou troubu, danou délku tunelu a danou intenzitu a skladbu dopravního proudu.

Výsledky rizikové analýzy mohou spadat do kategorie přijatelného rizika (výsledné riziko je nižší než dolní hranice kritéria), do kategorie nepřijatelného rizika (výsledné riziko je vyšší, než je horní hranice kritéria). Přijatelné hodnoty rizika jsou obvykle vyznačena oběma hranicemi. Interval mezi nimi je označován jako ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Pokud riziko leží blíže k horní hranici, je vhodné řešit jeho případné snížení, které ale musí být efektivní, z hlediska nákladů ve vztahu ke snížení rizika.

#### **Opatření k omezení rizik**

V případě, že ohodnocené riziko přesahuje přijatelné a akceptovatelné riziko (výsledné riziko je vyšší, než je horní hranice kritéria) musí být navržena dodatečná opatření zvyšující bezpečnost, jejichž účinnost, v rámci nově upravených scénářů, je posouzena detailně kvantitativní metodou. Tento postup končí, pokud se kumulované riziko či individuální riziko dostane do intervalu přijatelnosti.

Pro vyčíslení přínosů a nákladů je možné použít i metodiku z Přílohy č. 1 TP 229 „Jednotná metodika pro analýzu nákladů a přínosů“.

### **3 Kvantitativní analýza – metodika výpočtu rizika**

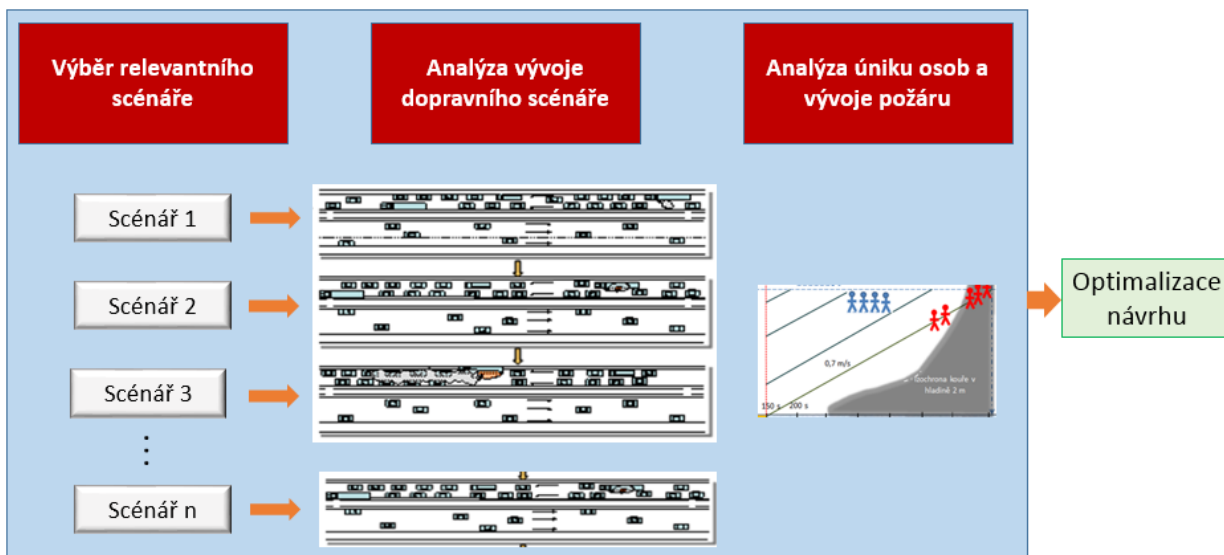
Tato kapitola popisuje metodický postup výpočtu rizika kvantitativní Metodou Analýzy scénářů. V případě Analýzy scénářů se jedná o deterministickou metodu využívající matematicko-fyzikální modely pro odhadování následků události.

Tento model se vztahuje výlučně na nehody s fatálním poškozením osob. Zjišťuje se statistická hodnota rizika pro uživatele tunelu vyjádřená v počtu smrtelných obětí za rok a pro daný tunel.

Kvantitativní „Metoda Analýzy scénářů“, modeluje konkrétní situaci ve specifickém tunelu tím, že ohodnocuje konkrétní možnost záchrany osob, a tím i kvalitativně určí příslušné riziko, ve formě počtu usmrcených osob pro množinu scénářů – viz obrázek 3-1. Míra rizika se ohodnocuje v krocích:

- 1. Určení počtu uvězněných osob** v délkových segmentech mezi exity v tunelu na základě dopravních simulací využitím mikrosimulačních nástrojů.
- 2. Simulace úniku osob** uvězněných v tunelu únikovými východy či portály.
- 3. Simulace šíření kouře, tepla a jedovatých zplodin** fyzikálním modelem.

Pokud je výsledkem jistý počet osob, kterým se nepodařilo evakuovat předtím, než se k nim dostal jedovatý kouř, je nutné zavést dodatečná bezpečnostní opatření a výpočet opakovat.



Obr. 3-1: Základní princip Metody Analýzy scénářů

Při výpočtu rizika se postupuje v následujících krocích:

### 3.1 Určení četnosti mimořádné události

Pro odhad četnosti mimořádných událostí typu usmrcení osob a požárů je nutné mít k dispozici dostatek statistických dat. V ČR je možné využít celostátní databázi AZMUT (viz obrázek 3-2). Ta zahrnuje všechny mimořádné události ve všech provozovaných tunelech v ČR od roku 2004. Databáze obsahuje údaje, počínaje bombou v tunelu, přes člověka v tunelu, k nejrůznějším typům nehod, až po požár. Databáze by měla být doplňována dispečery tunelů vždy po vyřešení události. Kvalita údajů je ovlivněna přístupem dispečerů k této povinnosti a správcem tunelu, který tuto činnost kontroluje.

The screenshot shows the Safetun database interface. The main heading is "Formulář pro vyhledávání mimořádných událostí" (Form for searching extraordinary events). The form includes several sections for filtering results:

- Tunel:** A list of tunnels with checkboxes. Selected: ☒ tunel Mrázovka.
- Typ události:** A list of event types with checkboxes. Selected: ☒ Nehoda bez zranění, ☒ Nehoda se zraněním.
- Správce:** A list of managers with checkboxes. Selected: ☒ TSK Praha - 6200.
- Datum od:** 01.01.2016
- Datum do:** 28.08.2016

A "Hledej" (Search) button is present. Below the search criteria, there is a calendar for August 2016, showing the date 28.08.2016 selected.

Obr. 3-2: Úvodní obrazovka databáze AZMUT (vyvinuta v rámci projektu SAFETUN)

Výsledky jsou v přehledné podobě. Následující tabulka ukazuje příklad přehledu nehod bez a se zraněním v tunelech Mrázovka a Strahov za celý rok 2015:

Tab. 3-1: Export mimořádných událostí z databáze AZMUT do formuláře

Id	Doba trvání od	Doba trvání do	Pozice události	Způsob detekce	uzavřeno	uzavřeno od	uzavřeno do	příjezd PČR	Typ události	Tunel	Tunelová trouba
7857	5.3.2015 10:52	5.3.2015 11:45	0,7	DISPECER	CAST	10:52:00	11:45:00	11:05	Nehoda bez zranění	ATM	ATM_A
7938	25.3.2015 7:10	25.3.2015 7:22	Pravý jízdní pruh, km, 15,640	AUTOMAT	NEUZAVRENO			7:17:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_B
7970	31.3.2015 9:32	31.3.2015 11:53	STT (B), kam č. 234, km 14,475	AUTOMAT	CELA	9:32:00	10:07:00	9:52:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_B
8010	7.4.2015 11:49	7.4.2015 12:10	Střední jízdní pruh, km 13, 865	AUTOMAT	NEUZAVRENO			11:59:00	Nehoda bez zranění	ATM	ATM_A
8561	16.8.2015 17:14	16.8.2015 17:55	Přemostění "A", levý jízdní pruh v pravotočivé zatáčce ke křižovatce Mozartova – Duškova, km 14,295	DISPECER	NEUZAVRENO			17:29:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_A
8564	17.8.2015 17:15	17.8.2015 18:52	Přemostění SAT – ATM rampa A - (kam č. 213) Mozartova – Duškova	DISPECER	NEUZAVRENO			17:20:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_A
8771	7.10.2015 15:20	7.10.2015 16:03	14,295	DISPECER	NEUZAVRENO			15:24:00	Nehoda bez zranění	ATM	ATM_A
8773	7.10.2015 17:31	7.10.2015 18:30	12,295	DISPECER	NEUZAVRENO			17:42:00	Nehoda bez zranění	ATM	ATM_A
8782	8.10.2015 11:40	8.10.2015 14:49	14,33	AUTOMAT	NEUZAVRENO				Nehoda bez zranění	SAT	SAT_A
8783	8.10.2015 11:40	8.10.2015 14:49	14,33	AUTOMAT	CAST	11:40:00			Nehoda bez zranění	ATM	ATM_A
8822	16.10.2015 14:00	16.10.2015 14:11	14,555	DISPECER	NEUZAVRENO			14:00:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_B
8935	6.11.2015 10:00	6.11.2015 10:10	15,745	DISPECER	CAST	10:00:00	10:00:00	10:06:00	Nehoda bez zranění	SAT	SAT_B

Pokud se mají výsledky databáze využít, musí být správně interpretovány, což vyžaduje prostudovat dokument podrobněji popisující každou nehodu.

Detailní komparativní analýza v TP 229 ukázala, že je podstatný rozdíl mezi počty událostí v českých, rakouských a německých tunelech. Analýza provedená v roce 2010 pro TP 229 se zaměřila na mimořádné události v deseti provozovaných českých tunelech: Mrázovka, Strahovský, Husovický, Letenský, Pisárecký, Těšnovský, Zlíchovský, Hlinky, Hřebeč a Klimkovice. Pro výpočet četností událostí je nutné znát i roční intenzity vozidel. Pro zkoumané údobí byly intenzity získány pouze z tunelů Mrázovka, Letenský, Strahovský, Těšnovský a Zlíchovský, pro které bylo provedeno porovnání uvedené v následující tabulce.

Tab. 3-2: Porovnání četnosti nehod v rakouských, německých a našich tunelech, TP 229

	<b>RVS 09. 03. 11</b>	<b>FE 03.0378/2004/FRB</b>	<b>AZMUT ČR</b>
<b>Statistická hodnota nehodovosti</b>	0,112 [nehod/1 mil. vozidlo kilometrů]	0,228 [nehod/1 mil. vozidlo kilometrů]	0,312 [nehod/1 mil. vozidlo kilometrů]
<b>Poznámka</b>	Hodnota z databáze 447 nehod	Hodnota z databáze 979 nehod	Hodnota z databáze 200 nehod

V případě, že počet konkrétní události je statisticky nevypovídající, je možné pro odhad četnosti událostí použít v přiměřené míře rakouskou směrnici RVS 09.03.11 (z 1. 6. 2008). Hodnotu četnosti událostí získanou z RVS 09.03.11 je nutné povýšit koeficientem 1,5.

Z hodnoty roční průměrné denní intenzity, délky tunelu a z databáze událostí je vypočítána relativní četnost události vztažená na voz.km.

V případě smrtelných nehod, bez vzniku požáru, je tímto způsobem přímo vyjádřen výsledek – pravděpodobnost usmrcení osoby přepočítané na intenzitu vozidel a daný tunel.

V případě požáru je pravděpodobnost výskytu události nutné doplnit analýzou následků, což se provádí zmíněnou Analýzou scénářů.

### 3.2 Zpracování parametrů tunelu

V prvním kroku Analýzy scénářů jsou zmapovány stavební a technologické parametry analyzovaného tunelu související s bezpečností. Jako příklad parametrů, majících vliv na bezpečnost, které by neměly chybět v přehledu, lze uvést následující tabulku:

Tab. 3-3: Ukázka části databáze popisující prvky, související s bezpečností

Stavební povolení	Technologické parametry
<b>Název:</b>	<b>Systém identifikace požáru</b>
délka [m]	Liniový hlásič požáru
šířková kategorie / průjezdný profil [m]	nastavená mezní teplota
počet jízdních pruhů	nárůst teploty
šířka pruhu [m]	pokrytí tunelu
šířka nouzového chodníku [m]	Měření opacity a CO
podélný sklon [%]	mezní hodnoty CO [ppm]
příčný sklon [%]	mezní hodnoty OP ( $x \cdot 10^{-3}/m$ )
příčný řez, ražený profil, plocha výrubu	Další možnosti měření teploty a kouře
světlý průřez tunelu [m <sup>2</sup> ]	popis
průjezdná výška [m]	průměrná vzdálenost senzorů
volná výška / šířka	Videodetekce kouře
vzdálenost únikových východů [m]	pokrytí tunelu
vzdálenost nouzových zálivů [m]	citlivost
nominální rychlost [km/h]	<b>Automatizovaná identifikace excesů ...</b>
	<b>Informační systém ...</b>
	<b>Ventilační systém</b>
	typ
	počet ventilátorů, pozice ...
	....

Podrobný popis tunelu, stavebního i technologického provedení souvisejícího s bezpečností, umožní i následnou kontrolu, pokud jsou v průběhu let provedeny změny a úpravy ovlivňující bezpečnost, a proto je součástí bezpečnostní dokumentace.

### 3.3 Parametry dopravního proudu

Pokud se provádí analýza rizik pro provozovaný tunel, jsou využita měřená dopravní data – intenzita, rychlost a skladba dopravního proudu. Analýza dopravy poskytne minimálně následující hodnoty:

- průměrnou denní intenzitu v členění po měsících (zohledňující vliv sezóny);
- roční průměrnou denní intenzitu RPD<sub>I</sub>;
- denní variace dopravy;
- intenzitu špičkové hodiny;
- skladbu dopravního proudu v členění minimálně na osobní a nákladní vozidla a autobusy.

Pro připravované tunely jsou z dokumentace známy předpokládané i prognózované hodnoty intenzit, skladby a rychlosti dopravního proudu.

V dalším kroku jsou vytvořeny dopravní scénáře simulující formování kolon za místem nehody s požárem. Nejkritičtější situace je pro špičkovou hodinu, kdy se nejrychleji formuje kolona vozidel za toto nehodou. Je nutné analyzovat různé poměry osobních a nákladních vozidel, rozmístění autobusů v dopravním proudu, různé rychlosti apod. Příklad 32 scénářů je v kap. 5.1.2 této přílohy.

Hustota a pozice vozidel za nehodou a rychlost nárůstu kolony se zásadně modeluje mikrosimulačními nástroji. Hustota a pozice vozidel se vztahuje vždy na vzdálenost mezi exity. Vzhledem k pseudonáhodnému „napouštění“ vozidel na komunikaci se každý scénář opakuje desetkrát a statisticky se vyhodnotí střední hodnoty a směrodatné odchylky. Simulační model musí umožnit zadávat čas, kdy jsou zastavena vozidla před portálem tunelu.

### 3.4 Výpočet hustoty osob mezi exity

Pro všechny dopravní scénáře byly opakovaně simulovány délky kolon po zastavení vozidel. Díky opakovaným simulacím je známa střední hodnota počtu vozidel v úseku i směrodatná odchylka. Při dalších výpočtech je nutné pracovat se střední i maximální hustotou vozidel.

Při výpočtu hustoty osob mezi exity se volí obsazenost osobního vozidla dvěma osobami. V nákladním vozidle je vždy jedna osoba a v autobusu je 30 osob. Pokud je dopravním průzkumem prokázáno, že je obsazenost některé z kategorií vozidel vyšší, je použita tato hodnota.

Vzhledem ke znalosti hustoty vozidel a jejich skladby je možné jednoduše určit počet osob mezi jednotlivými exity. Pracuje se s průměrným počtem osob daným střední hustotou vozidel nebo s průměrnou hustotou zvětšenou o polovinu směrodatné odchylky.

Výsledky programu CAPITA udávající hustotu osobních a nákladních vozidel mezi exity 150 až 450 m, dále počty „uvězněných“ osob a rychlost plnění pro 32 dopravních scénářů udávají tabulky a grafy v příloze tohoto dokumentu.

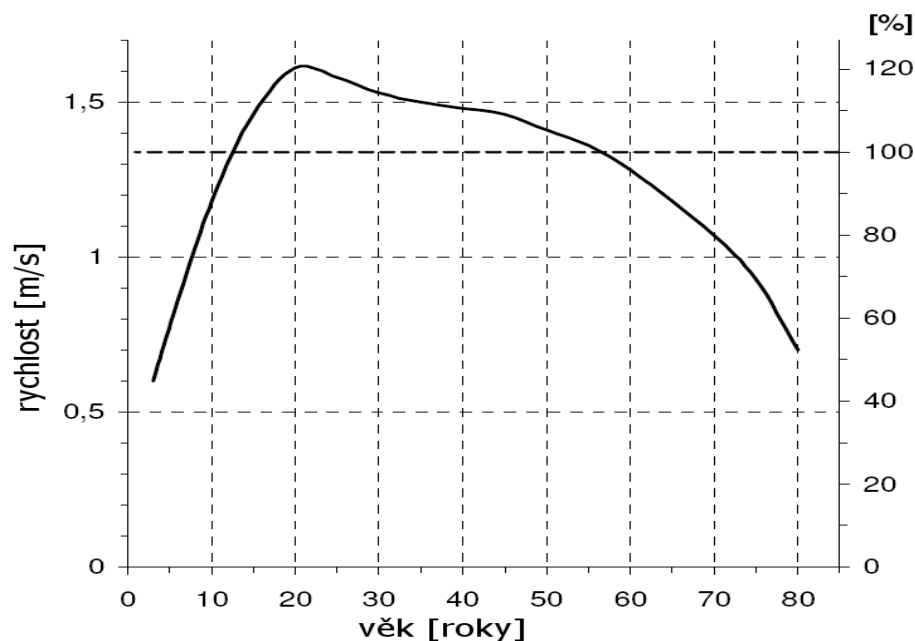
### 3.5 Výpočet evakuace osob

Ze známé hustoty osob uvězněných mezi únikovými východy je možné opakovanými simulacemi vypočítat závislost počtu evakuovaných osob na čase. Pro výpočty evakuace se použijí standardně zavedené mikrosimulační modely. Požaduje se použít minimálně dvě rychlosti úniku osob:

- Pro rychlost evakuace osob je použita normová hodnota dle ČSN 73 0802 „*Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty*“, která neuvažuje s rozdílnými rychlostmi např. dle věku, nebo schopnosti pohybu a používá jednotnou rychlost úniku osob  $v = 0,583 \text{ m/s}$ .
- Model prof. Weidmanna, [4], kdy je rychlost daná pohlavím, věkem a schopností pohybu; v simulačních výpočtech je proto použita hodnota rychlosti evakuace statisticky rozptýlená dle obrázku 3-3.

Dle prof. Weidmanna je rychlost chůze mužů v průměru o 10,9 % vyšší než u žen, průměrná rychlost u mužů pak činí 1,41 m/s a u žen 1,27 m/s (viz tabulka 3-4).





Obr. 3-3: Rychlost chůze v rovině v závislosti na věku podle Weidmanna

Tab. 3-4: Rychlost chůze v rovině podle Weidmanna

Osoby dle pohlaví a věku	Rychlost chůze po rovině (m/s)	
	min.	max.
ŽENY – do 30	0,516	1,433
ŽENY – 30-50	1,255	1,371
ŽENY – nad 50	0,605	1,255
ŽENY – invalidní	0,409	0,676
MUŽI – do 30	0,580	1,610
MUŽI – 30-50	1,410	1,514
MUŽI – nad 50	0,671	1,392
MUŽI – invalidní	0,460	0,760

Pokud bude nutné, z nějakých důvodů, volit jiné rychlosti úniku, je na to nutné speciálně upozornit. Kromě vlastního úniku osob je nutné do výpočtu zahrnout i dobu váhání a dobu reakce uvězněných osob, která je často vyšší než doba vlastní chůze.

### 3.6 Vývoj tepla a kouře

Požár by měl primárně vzniknout u výjezdového portálu nebo u exitu, takže ani portál ani dotčený exit není možné využívat pro únik.

Pro celkový počet vozidel uvězněných v tunelu je důležitý čas, kdy je zastavena doprava na vjezdovém portálu. Čas zastavení dopravy do tunelu je nutné zvažovat a případně variovat s ohledem na technologické vybavení tunelu. Znamená to reálně posoudit citlivost konkrétní technologie pro identifikaci požáru (senzorů teploty a kouře) a možnost rychlé reakce SCADA systému, včetně posouzení reakcí dispečerů.

Pro výpočet šíření tepla a kouře je nutné použít specifický fyzikální model, který pracuje s okrajovými podmínkami daného tunelu (průřez tunelu, výška stropu, gradient, rychlost vzdušiny atd.). Tepelný

výkon požáru je dán příslušným scénářem. Ve shodě s doporučením PIARC je pro dynamiku vývoje použit model označovaný jako t-square fire, který předpokládá se kvadraticky rostoucí průběh výkonu. Vychází z výsledků reálných zkoušek, které ukazují, že počáteční fázi požáru komplexních materiálů složených z více hořlavín (a tedy obtížně analyticky definovatelných) je možné nejlépe charakterizovat kvadratickou křivkou. Návrhový požár je definovaný následujícím vztahem

$$P(t) = Ct^2$$

kde C je konstanta. Výkon tedy roste se druhou mocninou času, po dosažení maximální hodnoty výkonu v čase  $t_{\max} = 300$  s je výkon požáru již konstantní s hodnotou  $P_{\max} = 600$  s, až do okamžiku, kdy opět klesá. Při podrobnější analýze je možné využít i výkonové křivky z praktických experimentů.

Při zkoumání vlivu šíření kouře a škodlivin se musí uvažovat různé tepelné výkony požáru, různá složení spalovaného materiálu a různé okrajové podmínky, například dané činností ventilace. Ve výpočtech musí být zohledněna i dynamika procesu, od zjištění požáru do doby začátku úniku osob.

Spalovaný materiál musí mít dané fyzikálně chemické vlastnosti, které mají zásadní vliv na množství a složení škodlivin. Minimálně musí být známa rychlost uvolňování CO [kg/s], CO<sub>2</sub> [kg/s], HCN [kg/s] a sazí [kg/s]. Zásadní přehled poskytuje literatura Ingason „Tunnel Fire Dynamics“, dle které je možné definovat sestavu scénářů hoření, [7].

Pro výpočty je možné používat analytické rovnice stejně jako 1D nebo 3D simulace. Přednost se dává jednorozměrným simulacím. 3D simulace se využívají pro zkoumání specifických problémů.

Výsledkem výpočtů jsou časy, kdy je u exitů, jejichž vzdálenosti byly zvoleny v předchozích krocích, dosaženo kritické hodnoty, např.<sup>2)</sup>:

- teploty 100 °C;
- vyzařovaného tepelného výkonu 2 - 2,5 kW/m<sup>2</sup>;
- viditelnosti menší než 7 m;
- koncentrace oxidu uhelnatého CO cca 1 200 ppm;
- kritické koncentrace dalších škodlivin (např. CO<sub>2</sub> a HCN).

Pokud tyto veličiny dosáhnou kritické hodnoty předtím, než unikající osoby dosáhnou exitů, tyto v tunelu zahynou.

### 3.7 Závěrečná zpráva

V posledním kroku procesu je zpracována závěrečná zpráva shrnující celý postup výpočtu, včetně zadaných a vypočítaných hodnot. Pro každý ze scénářů je vypočítána pravděpodobnost výskytu události a její následky vyjádřené v počtu fatálně ohrožených osob.

Závěrečná zpráva musí obsahovat jednoznačné výsledky. Pokud se u některého ze scénářů objeví usmrčené osoby, je nutné provést detailní analýzu, která by měla ukázat příčinu a upozornit na způsob odstranění problému. Případně je problém popsán tak, aby ho mohli odstranit či omezit další specialisté, např. na vzduchotechniku.

---

<sup>2)</sup> Hodnoty doporučené PIARC

Na nové opatření se uplatní znovu riziková analýza, viz obrázek 3-1 této přílohy, která bude dokladovat zlepšení a posunutí hodnoty rizika do pásma ALARP.

## 4 Popis modelů v Metodě Analýzy scénářů

Deterministická Metoda Analýzy scénářů modeluje konkrétní situaci ve specifickém tunelu tím, že ohodnocuje konkrétní možnost záchrany osob a tím i kvalitativně určí příslušné riziko ve formě počtu usmrčených osob. Z principu je tato metoda vždy vztažena na konkrétní podmínky, platí pro dané parametry tunelu, velikost požáru, konkrétní dopravní podmínky. Pro jiné situace, například jiný charakter dopravního proudu nebo jiné vzdálenosti únikových východů se musí riziko odhadovat znovu.

Navíc, na rozdíl od přístupů založených na pravděpodobnostních modelech, navržený systém analýzy rizik pracuje s dynamikou procesu. Umožňuje například vložit časové zpoždění dané váháním osob uvězněných v tunelu, než začnou evakuaci nebo nastavovat různé časy pro zastavení vozidel před vjezdem do tunelu.

Pro tunely do délky 1000 m a pro dané okrajové podmínky je možné využít program CAPITA, který je popsán v kap. 6 této přílohy. Program umožňuje se poměrně snadno seznámit s principy Metody Analýzy scénářů. Jeho výhodou je, že zadávání parametrů je velmi jednoduché a program přepočítá riziko pro jiné zadání velmi rychle.

Tato kapitola představuje metodický postup výpočtu Analýzy scénářů na příkladu programu CAPITA. Na obrázku 4-1 je principiální blokové schéma modulů, které tvoří základní kroky Analýzy scénářů:

### Model č. I „SIMULACE DOPRAVNÍHO PROUDU“

Pro získání rozložení vozidel a jejich hustoty v délkových segmentech je využit mikrosimulační nástroj pro simulování individuálních charakteristik dopravního proudu. Je možné použít VISSIM, AIMSUN nebo jiný nástroj, který má podobné vlastnosti. Simulace jsou pro každý scénář mnohokrát opakovány, aby byla statisticky zjištěna střední hustota vozidel a směrodatná odchylka na úsecích dané délky.

V programu CAPITA je možné volit následující dopravní parametry. Intenzitu špičkové hodiny na jeden jízdní pruh:

- 1 600 voz/h v jednom jízdním pruhu (dále jen „JP“) - velmi zatížený tunel, RPDÍ je cca 50 000 voz/den;
- 800 voz/h v JP – středně zatížený tunel, RPDÍ je cca 25 000 voz/den;
- 160 voz/h v JP – slabé noční intenzity s délkovými odstupy vozidel okolo 300 m.

Lze volit následující podíly nákladních vozidel v dopravním proudu:

- 0 %           ... typický městský tunel s vyloučenou nákladní dopravou;
- 10 %          ... silniční tunel mimo páteřní síť pozemních komunikací;
- 30 %          ... dálniční tunel na páteřní pozemní komunikaci.

Se zřetelem na rychlost lze volit následující kategorie:

- městský tunel: je vždy bez nákladních vozidel;
  - 50 km/h: méně obvyklé řešení z hlediska rychlosti;
  - 70 km/h: odpovídá např. tunelům na Městském okruhu v Praze;
- tunel v extravilánu: s nákladními vozidly pouze v pravém jízdním pruhu;
  - 80 km/h: osobní (dále také „OV“) i nákladní vozidla (dále také „NV“) mají stejnou rychlost, NV jedou pouze v pravém jízdním pruhu,
  - 100 km/h: OV jedou v pravém i v levém jízdním pruhu; NV pouze v pravém jízdním pruhu rychlostí 80 km/h.

Do simulací je nutné zahrnout i autobusy. V případě CAPITA autobus zastavuje vždy v prvním úseku za požárem, a to vždy pro nejvyšší intenzitu 1 600 voz/h a nulový podíl nákladních vozidel. Tomuto scénáři odpovídá nejvyšší počet osob uvězněných v tunelu, tedy nejkritičtější situace.

Výstupem modelu simulace dopravy v programu VISSIM je databáze udávající pro 32 dopravních scénářů průměrné a maximální hustoty osobních a nákladních vozidel na úsecích po 50 m a dále čas naplnění každého z úseků. Podrobné výsledky lze najít v příloze „Simulace dopravy“ této přílohy.

#### **Model č. II: „EVAKUACE OSOB“**

Z vypočítané hustoty vozidel a uživatelsky zvolené obsazenosti osobních vozidel je vypočítána hustota uvězněných osob na úseku. Nejvyšší hustota osob mezi exity je právě při přítomnosti autobusu, nulovém podílu nákladních vozidel a průměrné obsazenosti osobních vozidel dvěma osobami.

Doba vlastní evakuace, tedy doba chůze k únikovému východu, byla počítána mikrosimulačním programem EXODUS, který zohledňuje i psychomotorické vlastnosti unikajících osob. Složení osob (muži, ženy, věk atd.) a další parametry jsou zadány implicitně a s vysokou pravděpodobností pokrývají většinu možností.

Rychlost unikajících osob je 0,583 m/s dle ČSN 73 0802 „Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty“. Druhá série simulací počítá s rychlostí chůze v rovině, která se liší dle věku a vychází z modelu prof. Weidmanna – viz výše obrázek 3-3 a tabulka 3-4. Výstupem obou simulačních modelů je databáze udávající vyprazdňování úseků mezi exity v závislosti na čase.

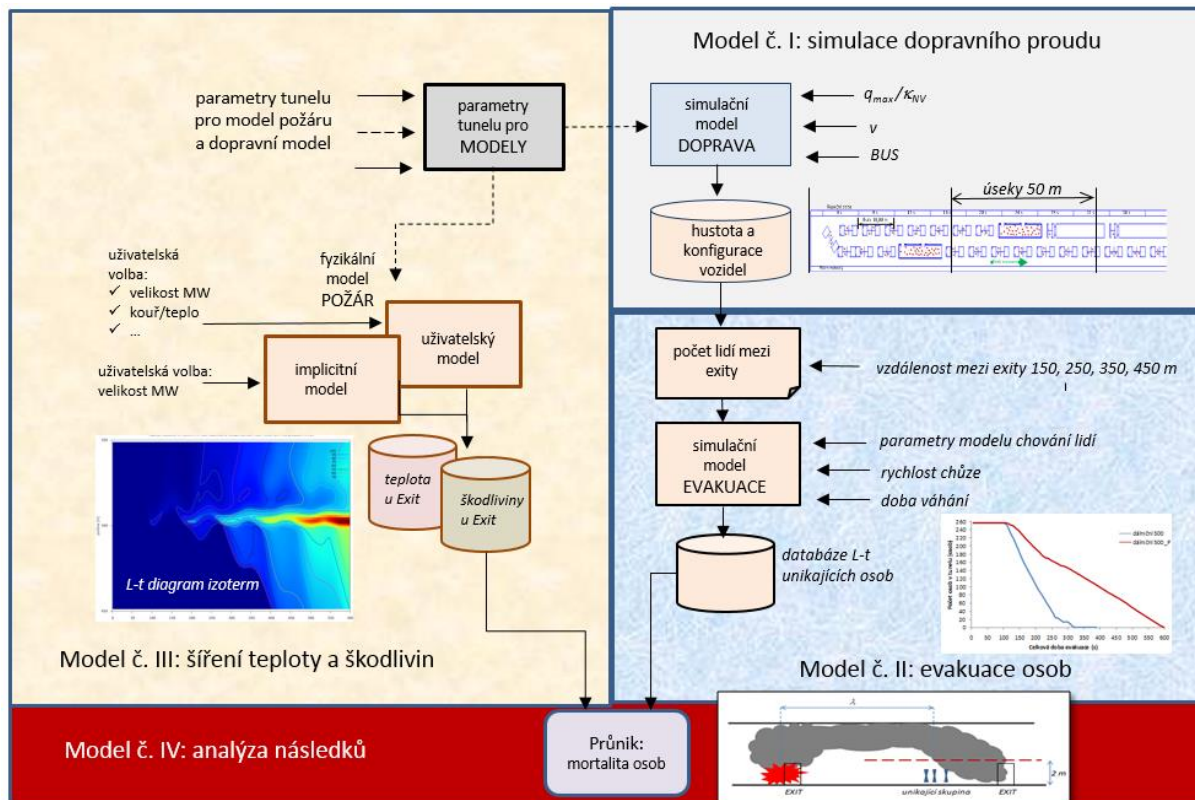
#### **Model č. III: „ŠÍŘENÍ TEPLoty A ŠKODLIVIN“**

Simulace šíření tepla a kouře je klíčová pro odhad následků požáru. Fyzikální model aplikovaný v CAPITA je SMARTFIRE. Modelování se provádělo nejprve pro dva tepelné výkony požárů 5 a 20 MW. Výpočty šíření kouře s obsahem škodlivých látek nebezpečných pro člověka v závislosti na čase a vzdálenosti generoval model ve formě izochron pro výšku 160 cm. V časech do 6 minut však vycházely koncentrace CO, pro tepelný výkon požáru 20 i 50 MW u jednotlivých exitů nízké, hluboko pod kritickou hranici 1 200 ppm. Proto bude nutné počítat s vyššími tepelnými výkony, případně s různou skladbou spalovaného materiálu, kdy je produkováno více škodlivin.

Pro známé vzdálenosti únikových východů je v databázi „škodliviny u Exit“, viz obrázek 4-1, zaznamenán čas, kdy je u každého z exitů dosažena smrtelná koncentrace škodlivin. Ta se porovnává s časovým vývojem úniku osob.

## Model č. IV: „ANALÝZA NÁSLEDKŮ“

Počet usmrčených osob je dán prolnutím modelu č. II „EVAKUACE OSOB“ a modelu č. III ŠÍŘENÍ TEPLOTY A ŠKODLIVIN, a to zohledněním počtu osob, které se nestačily evakuovat do času, kdy smrtelná koncentrace kouře dosáhla únikových východů.



Obr. 4-1: Blokové schéma modelu CAPITA

## 5 Příklad výpočtů

V této kapitole je uveden konkrétní příklad výpočtů v rámci modelů popsanych v předchozí kapitole tak, jak jsou implementovány v programu CAPITA.

### 5.1 Model č. I: Simulace dopravního proudu

Základem pro stanovení počtu osob v tunelu je modelování dopravy tak, aby se simulační model co nejvíce blížil skutečnosti.

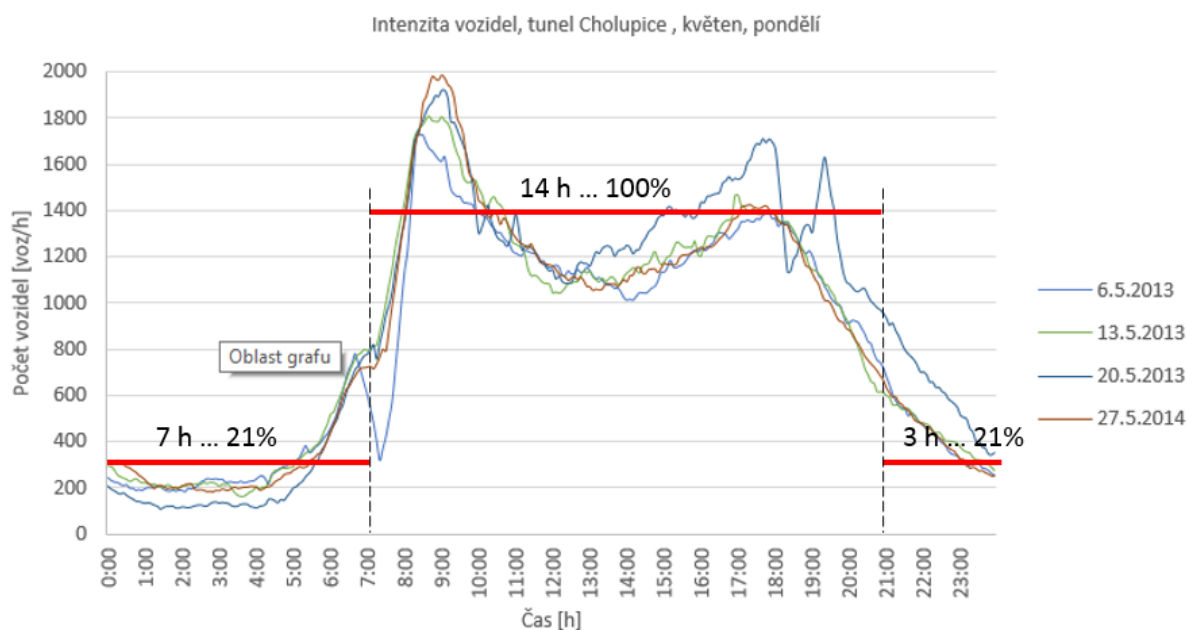
Nehody s důsledkem požáru se s největší pravděpodobností vyskytují při maximálně zatíženém tunelu, tedy ve špičkové hodině. Několik málo požárů u nás ale ukazuje, že tomu tak není vždy. Proto se doporučuje brát v úvahu i různé, typicky odlišné, hodnoty intenzit. Jako typický příklad byla analyzována data z tunelu Cholupice, který je představitelem poměrně dosti zatíženého tunelu dálničního typu se dvěma jízdními pruhy. Byly sledovány měsíční intenzity, které vycházely v květnu 2014 okolo 21 500 voz/24 h a v říjnu 23 400 voz/24 h.

Jako vstup do mikrosimulačního modelu VISSIM byly zvoleny následující intenzity:

- špičková intenzita ... 1 600 voz/h na jeden JP; intenzita odpovídá cca 73 % maximální intenzity jednoho JP, která je okolo 2 200 voz/h;
- intenzita „sedla“ ... 800 voz/h; intenzita odpovídá středně zatíženému tunelu s intenzitami okolo 10 000-15 000 voz/24 h na jeden JP;
- „noční“ intenzita ... 160 voz/h; velmi nízká noční intenzita s odstupy vozidel cca 20 s.

### 5.1.1 Odhad celodenních intenzit

V předchozí kapitole bylo předpokládáno, že uvedené intenzity jsou nominální pro jeden jízdní pruh. Proto, aby byl získán hrubý odhad, jak tyto intenzity reprezentují celodenní intenzity, je možné vycházet z obrázku 4-1, ve kterém byly variace dopravy aproximovány schodovitou funkcí, jak je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 5-1: Variace dopravy pro typické pondělky nahrazeny schodovitou funkcí

Výpočet celodenních intenzit vychází z výše uvedené aproximace a grafu na obrázku:

$$q_{24} = 14 \cdot q_{den} + 10 \cdot q_{noc} = (14 + 2,1)q_{den} = 16,1 \cdot q_{den}$$

Tab. 5-1: Odhady denních intenzit pro hodnoty zadávané do simulací

Intenzita na JP [ voz.h <sup>-1</sup> ]	Celková intenzita na profil 2JP	Celková intenzita na profil	Denní intenzita 24 h
1600	3200		51 250
		4800	77 280
800	1600		25 760
		2400	38 640

Reálná měření denních intenzit pro pondělky (viz tabulka 5-1) v měsíci květnu 2013 a 2014 dávají průměrnou hodnotu 21 212 voz/den, ranní špička se pohybuje okolo 1 800 voz/h. Do simulací je dosazována hodnota 1 600 voz/2 JP, z čehož je vypočítána denní intenzita dopravy 25 760 vozidel, která je o cca 4 000 vozidel za den vyšší, což je postačující přesnost získaná hrubou aproximací variace dopravy schodovitou funkcí. Oproti tomu špičková hodnota 1 600 voz/h by odpovídala velmi zatíženému tunelu, který se u nás zatím nevyskytuje. To ale nevylučuje možnost dopravní situace, kdy nárazově stoupne intenzita na tuto hodnotu.

### **5.1.2 Skladba dopravního proudu a rychlost vozidel**

Metodika pro výpočet rizika je aplikovatelná pro městské i dálniční tunely, což je nutné zohlednit při výpočtech. Zatímco v městských tunelech jsou z přepravy obvykle vyloučena těžká nákladní vozidla, je nutné odhadnout, jaké složení má dopravní proud v tunelech dálničního typu. Při výpočtech rizik pro provozované tunely je možné vyjít z reálně měřených dat, jak ukazuje příklad tunelu Cholupice. Pro projektované tunely se použijí hodnoty z projektové dokumentace

Jako typický tunel, reálně zatížený nákladními vozidly byl zkoumán tunel Cholupice. Na základě výstupu dopravních detektorů byl analyzován podíl pomalých nákladních vozidel v dopravním proudu. Pro špičkovou hodinu (8:30 – 9:30) a měsíc květen 2014 bylo v dopravním proudu cca 17 % a v říjnu téhož roku 25 % nákladních vozidel.

Na základě těchto a dalších analýz a ze zkušeností z dalších tunelů jsou v programu CAPITA zvoleny následující podíly nákladních vozidel v dopravním proudu:

- 0 % ... typický městský tunel s vyloučenou nákladní dopravou;
- 10 % ... silniční tunel mimo páteřní síť pozemních komunikací;
- 30 % ... dálniční tunel na páteřní pozemní komunikaci.

Nákladní vozidla mají obvykle vyhrazen pouze pravý jízdní pruh a zákaz předjíždění s tím, že osobní vozidla mohou, v rámci simulace, vjíždět do tohoto pruhu. Se zřetelem na univerzálnost jsou v CAPITA použity rychlostní kategorie 50, 70, 80, 100 km/h.

Spektrum dopravních scénářů počítá s dvou i třípruhovým tunelem. Jiná situace je, pokud v prvním úseku zastaví autobus. Ten není v simulacích omezen na jízdu vpravo, a proto jsou scénáře pro dva a tři pruhy s autobusem, bez nákladních vozidel, počítány pro všechny rychlosti zvlášť pro dva i tři pruhy. Matice scénářů, které byly simulovány, jsou v následující tabulce 5-2:

Tab. 5-2: Přehled dopravních situací, které byly simulovány v CAPITA, celkem se jedná o 32 scénářů

	50 km/h	70 km/h	80 km/h	100 km/h
	pouze OV v obou pruzích	pouze OV v obou pruzích	OV i NV 80 km/h NV jen vpravo	OV 100 km/h NV 80 km/h NV jen vpravo
1600/0/0	X	x	x	x
1600/10/0			x	x
1600/30/0			x	x
800/0/0	X	x	x	x
800/10/0			x	x
800/30/0			x	x
160/0/0	X	x	x	x
160/10/0			x	x
160/30/0			x	x
simulace pro dva JP, kdy bus jede a zastaví v pravém JP				
1600/0/1	X	x	x	x
simulace pro tři JP, kdy bus jede a zastaví v pravém JP				
	X	x	x	x

### 5.1.3 Délkové kategorie

Posledním důležitým vstupem do mikrosimulace je určení délek vozidel. K tomuto účelu byla opět použita data z indukčních smyček umístěných v blízkosti tunelu Cholupice, konkrétně výstup klasifikátoru dopravy. Na základě analýzy délek vozidel byl v mikrosimulačním softwaru VISSIM vytvořen „průměrně dlouhé“ nákladní vozidlo. Jeho délka byla stanovena na 12,2 m.

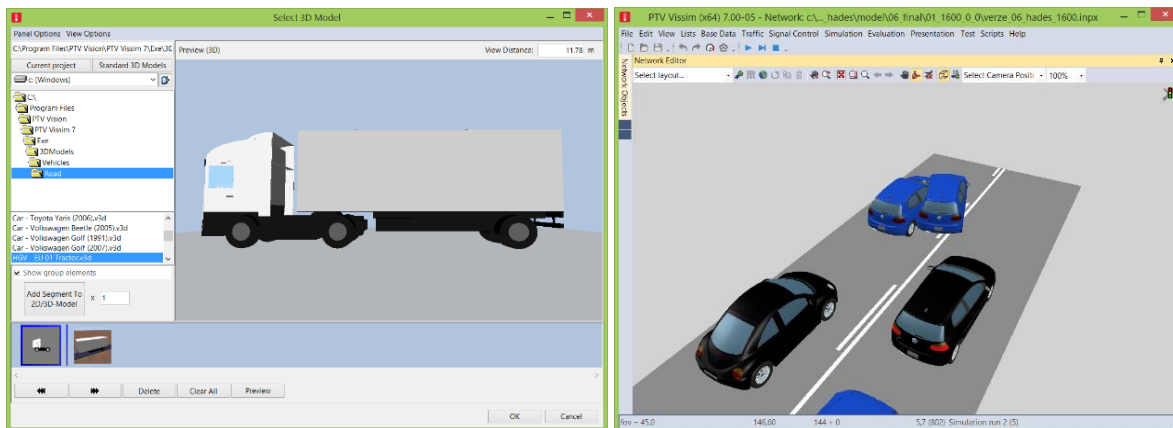
### 5.1.4 Nastavení mikrosimulačního modelu

K simulaci jízdy vozidel v tunelu a následnému plnění tunelu po vzniku nehody byl použit mikrosimulační program VISSIM. Model dopravního chování obsahuje psycho – fyzikální „car following“ model pro podélný pohyb vozidla a algoritmus založený na pravidlech pro laterální pohyby. Samotný mikrosimulační model je diskrétní a stochastický, kde jednotka vozidlo – řidič je společnou entitou. V mikrosimulačním modelu bylo nastaveno několik základních vstupů:

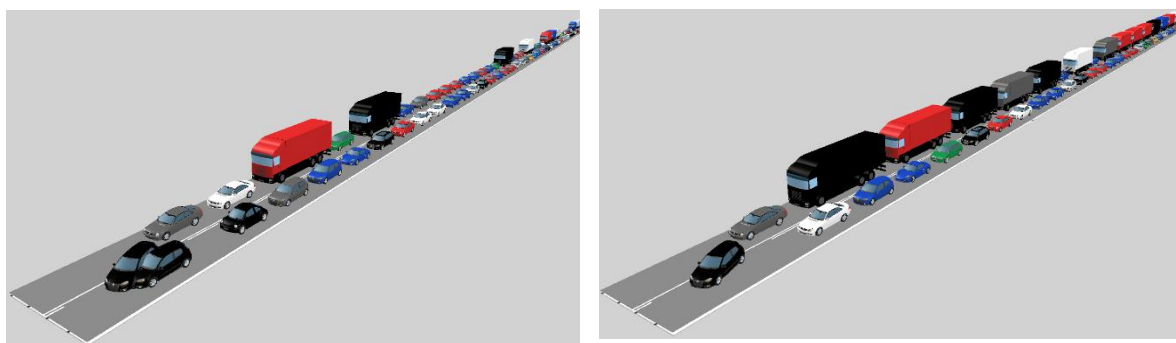
1. Délka průměrného nákladního vozidla;
2. Intenzita dopravy;
3. Rychlost vozidel pro každý jízdní pruh;
4. Způsob předjíždění vozidel;
  - o osobní vozidla měla možnost volné změny jízdního pruhu;
  - o nákladním vozidlům bylo předjíždění zakázáno, což platí ve všech tunelech;
5. Místo dopravní nehody.

Na obrázku 5-2 (vlevo) je ukázka tabulky zadávání parametrů, vpravo je zachycena situace těsně po nehodě. Rozložení vozidel na úseku vozovky pro 10 % a 30 % podíl nákladních vozidel je na obrázku 5-3.





Obr. 5-2: Zadávání parametrů nákladního vozidla (vlevo) a simulace nehody (vpravo)

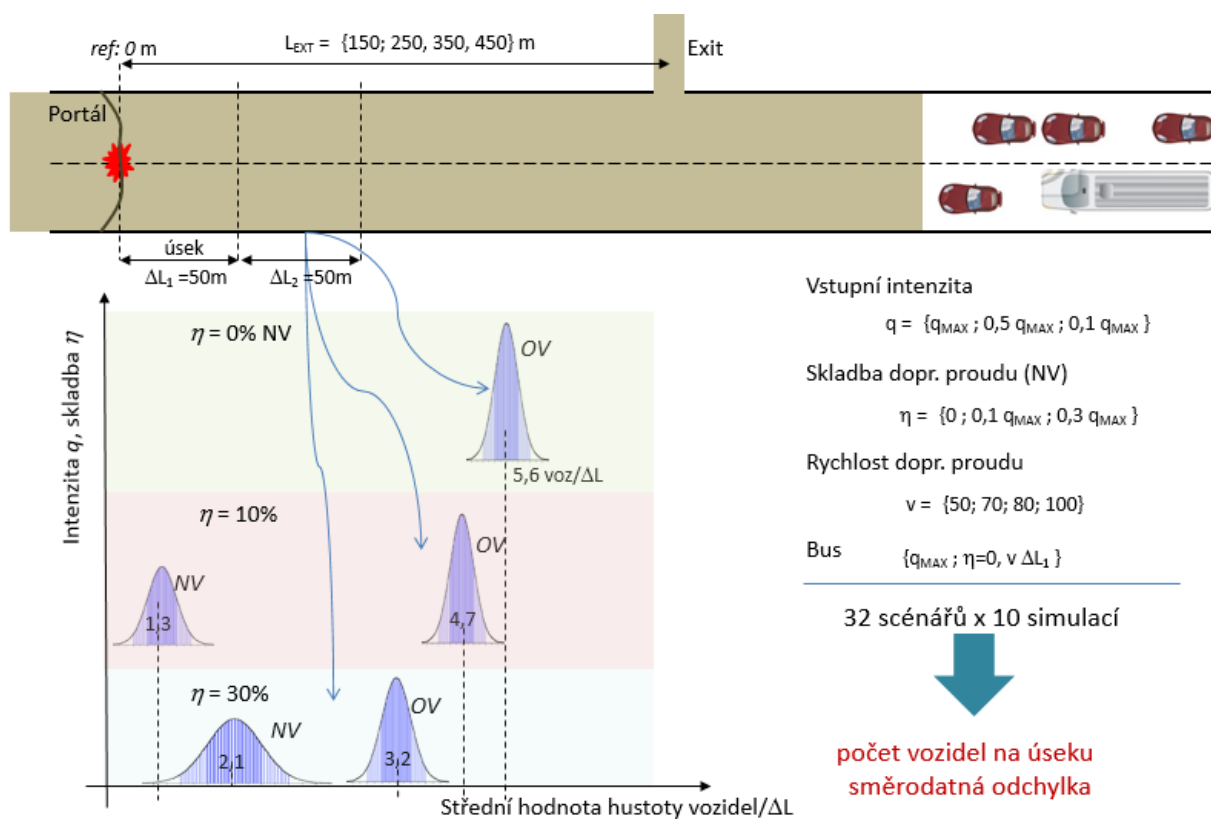


Obr. 5-3: Ukázka zaplnění úseku v modelu při podílu nákladních vozidel 10 % (vlevo) a 30 % vpravo

### 5.1.5 Vyhodnocení hustoty vozidel

Základem pro zjištění, jaký počet osob je uvězněn mezi exity je nutnost znát počet osobních a nákladních vozidel v úseku, případně, zda je zde i autobus. U nákladních vozidel se předpokládá obsazenost jednou osobou, u osobních vozidel jsou výpočty prováděny pro jednu či dvě osoby. Obsazenost si uživatel volí. V autobusu je vždy 30 osob.

Princip metody je znázorněn na obrázku 5-4. Tunel je rozdělen na pravidelné segmenty  $\Delta L = 50$  m. První referenční segment začíná u výjezdového portálu, kde také vznikne požár, směrem proti příjezdějícím vozidlům se tvoří kolona a osoby prchají exity směrem k vjezdovému portálu. Parametry scénářů simulací jsou dány vstupními proměnnými, intenzitou, rychlostí a skladbou dopravního proudu. Celkem se jedná o 32 scénářů simulací opakovaných  $N$ -krát a jednu speciální, kdy se počítá s vjezdem autobusu, který vždy zastaví v prvním úseku. Pro každou simulaci je na vstupu vždy náhodná skladba dopravního proudu generovaná mikrosimulačním programem.



Obr. 5-4: Scénáře pro výpočet hustoty vozidel v 50metrových úsecích

Výstupem z každého běhu simulace je hustota vozidel v úseku, tedy hodnota  $k_{voz} = \text{voz}/\Delta L$ . Opakováním simulací se stanoví střední hodnota hustoty vozidel  $k$  a směrodatná odchylka  $\sigma_k$ :

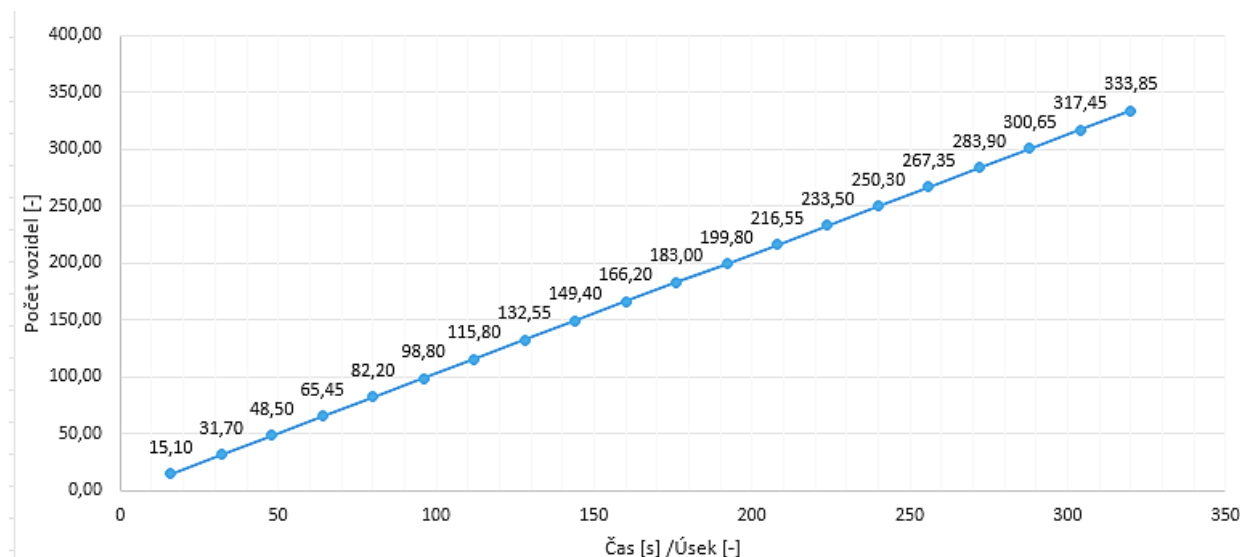
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum (k_i - \bar{k})^2}{N}}$$

Výsledkem simulací a následných analýz je zjištění, že průměrný počet vozidel, tj. i jejich průměrná hustota v jednotlivých úsecích se mění v jednotlivých bžích simulace jen málo a je možné ji považovat za konstantu. Příklad scénáře č. 2 pro 1 600 voz/h, 10 % nákladních vozidel a žádný autobus jsou v následující tabulce 5-3:

Tab. 5-3: Průměrné hustoty osobních a nákladních vozidel a směrodatné odchylky na úsecích 50 m, poslední sloupec ukazuje čas naplnění jednotlivých úseků

Scénář č. 2: 1600; 10 %; 0 bus					
Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/ 50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/ 50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Průměrný čas naplnění úseku
0-50	11,60	2,01	1,55	0,97	69,60
50-100	13,40	2,13	1,40	1,02	83,00
100-150	12,90	1,81	1,70	0,95	95,20
150-200	13,70	1,82	1,25	0,83	110,80
200-250	13,35	2,24	1,55	0,97	122,40
250-300	13,10	2,14	1,65	1,06	134,20
300-350	12,80	2,52	1,75	1,26	146,80
350-400	12,85	1,98	1,65	0,79	158,20
400-450	12,60	2,08	1,85	0,85	168,80
450-500	13,50	1,77	1,50	0,81	185,60
500-550	12,85	2,33	1,65	1,11	197,40
550-600	13,75	2,49	1,30	1,10	215,20
600-650	12,80	2,27	1,65	1,01	226,80
650-700	13,60	2,42	1,45	1,07	240,00
700-750	12,85	2,43	1,65	1,24	254,20
750-800	13,35	1,98	1,65	0,85	268,00
800-850	13,05	2,73	1,50	1,20	282,40
850-900	13,45	2,46	1,55	1,20	299,60
900-950	13,55	2,82	1,20	1,12	316,40
950-1000	13,35	1,93	1,40	0,86	333,60
Průměr na úsek	13,12	2,22	1,54	1,01	

Závislost počtu vozidel v tunelu délky 1 km na rychlosti plnění je na následujícím grafu:



Obr. 5-5: Nejrychleji se plní tunel pro scénář č. 1 (1 600 OV; 0 % NV; 0 autobusů)

Pozn.: Data v závorce znamenají: počet vozidel za hodinu; procento nákladních vozidel; počet autobusů. Forma závorky platí i pro následující obrázky a přílohu této přílohy.

Z výsledků lze vyčíst, že vyšší podíl nákladních vozidel vyvolá větší rozptyl, což je dáno tím, že pokud v úseku délky 50 m není NV nebo jsou tam dvě, má to velký vliv na počet osobních vozidel. Na druhé straně počet osob mezi exity ani tolik neovlivní, zda na úseku 250 m bude 7 NV jako to, zvolí-li se obsazenost cca 65 OV jednou nebo dvěma osobami. Pak je hustota osob 65 nebo 130.

### 5.1.6 Výpočet počtu uvězněných osob

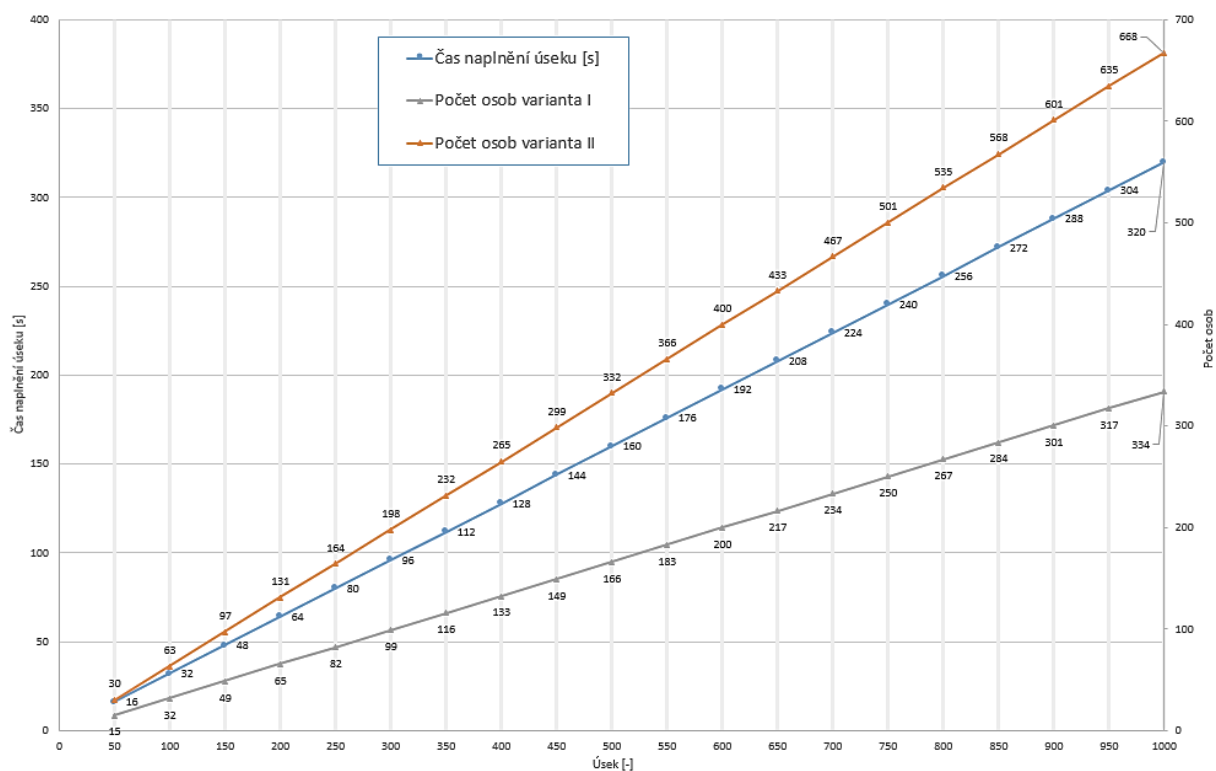
Zpracováním simulačních výsledků z dopravy byla vytvořena databáze popisující hustotu osobních a nákladních vozidel na úsecích 50 m.

V dalším kroku je vypočítána časová závislost naplnění úseku 50 m osobami, jak ukazuje následující tabulka 5-4. Program CAPITA umožní zadat obsazenost osobních vozidel jednou nebo dvěma osobami. Terénní průzkum provedený v rámci projektu HADES ukázal průměrnou hodnotu obsazenosti osobních vozidel 1,3 osobami. Z těchto důvodů je možné implicitně volit dvě krajní hodnoty – jednu nebo dvě osoby.

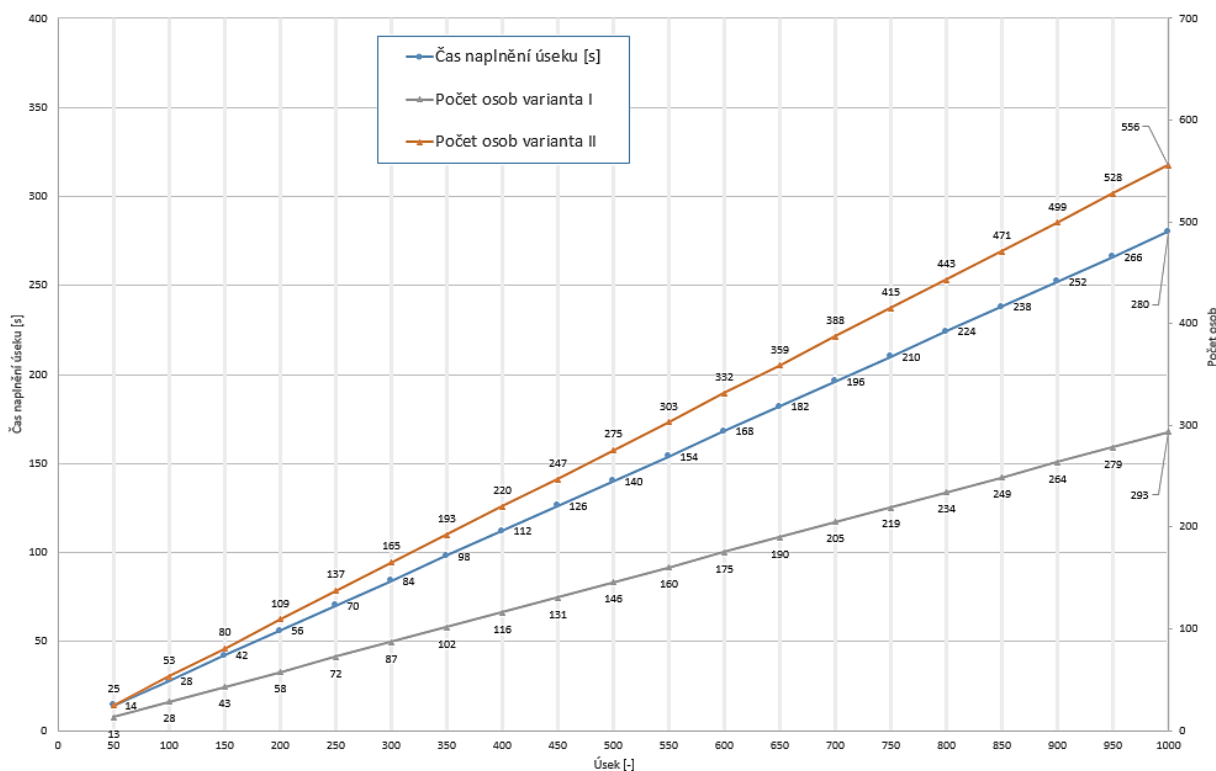
Tabulka 5-4 je počítána variantně pro obsazenost jednou či dvěma osobami, a to pro všech 32 scénářů. Nákladní vozidlo je vždy obsazeno jednou osobou.

Tab. 5-4: Dynamika plnění 50metrových úseků pro jednu či dvě osoby v osobním vozidle

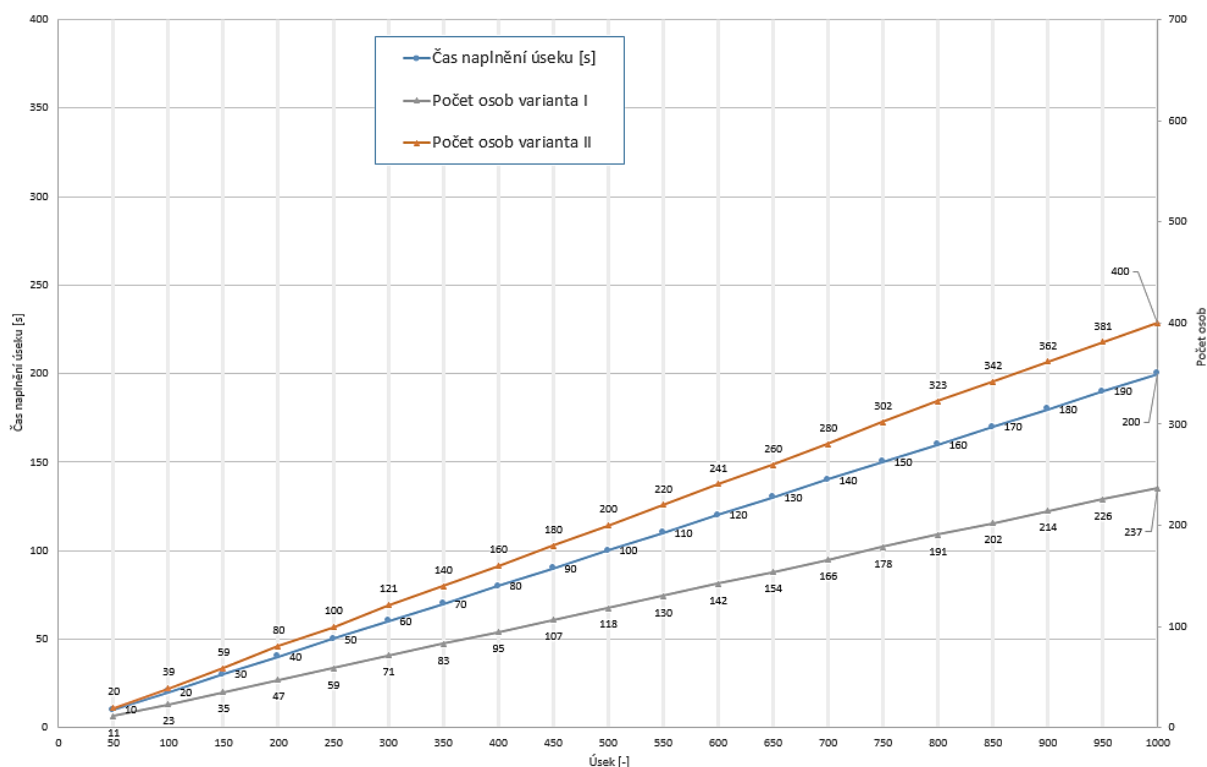
Úsek č.	Vzdálenost od místa dopravní nehody [m]	Scénář č. 1: 1600; 0 %; 0 bus			Scénář č. 2: 1600; 10 %; 0 bus			Scénář č. 3: 1600; 30 %; 0 bus		
		Čas naplnění úseku [s]	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Čas naplnění úseku [s]	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Čas naplnění úseku [s]	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II
1	50	16	15	30	14	13	25	10	11	20
2	100	32	32	63	28	28	53	20	23	39
3	150	48	49	97	42	43	80	30	35	59
4	200	64	65	131	56	58	109	40	47	80
5	250	80	82	164	70	72	137	50	59	100
6	300	96	99	198	84	87	165	60	71	121
7	350	112	116	232	98	102	193	70	83	140
8	400	128	133	265	112	116	220	80	95	160
9	450	144	149	299	126	131	247	90	107	180
10	500	160	166	332	140	146	275	100	118	200
11	550	176	183	366	154	160	303	110	130	220
12	600	192	200	400	168	175	332	120	142	241
13	650	208	217	433	182	190	359	130	154	260
14	700	224	234	467	196	205	388	140	166	280
15	750	240	250	501	210	219	415	150	178	302
16	800	256	267	535	224	234	443	160	191	323
17	850	272	284	568	238	249	471	170	202	342
18	900	288	301	601	252	264	499	180	214	362
19	950	304	317	635	266	279	528	190	226	381
20	1000	320	334	668	280	293	556	200	237	400



Obr. 5-6: Scénář č. 1 (1 600 OV; 0 % NV; 0 autobusů) – čas plnění úseků po 50 m v tunelu délky 1 000 m a počty osob pro různé obsazenosti osobních vozidel



Obr. 5-7: Scénář č. 2 (1 600 OV; 10 % NV; 0 autobusů) – čas plnění úseků a počty osob



Obr. 5-8: Scénář č. 3 (1 600 OV; 30 % NV; 0 autobusů) – čas plnění úseku a počty osob

Z výše uvedených výpočtů (viz tabulka 5-4), je možné velmi přesně stanovit hustotu osob mezi exity, které jsou volitelně ve vzdálenostech 150 až 450 m, což je základ pro simulace úniku osob.

V CAPITA požár vznikne vždy v pozici 0,00 m, tj. u výjezdového portálu a tunel se postupně plní vozidly v závislosti na intenzitě, skladbě a rychlosti dopravního proudu. Následující schéma popisuje dvě možné situace:

1. Řídicí systém neidentifikuje včas požár, a proto nezastaví dopravu včas, před vjezdovým portálem. Tunel se v tomto případě zaplní vozidly v celé jeho délce.
2. Program umožňuje zastavit plnění vozidly 50 metrových úseků po uživatelském zadání času zastavení dopravy, který je kratší, než je čas naplnění celého tunelu.

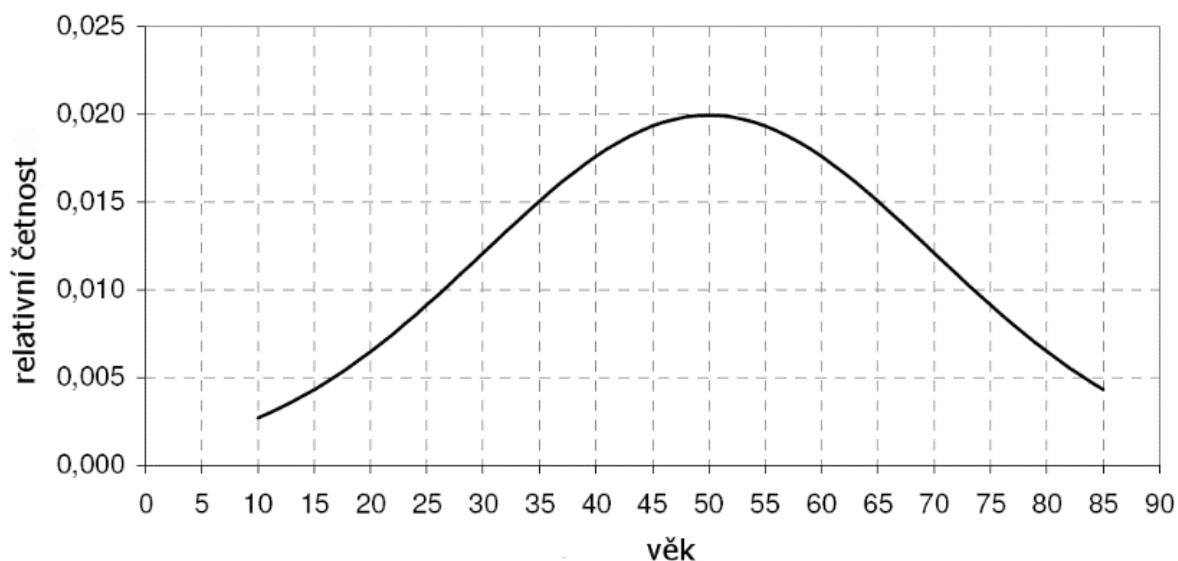
Pro další úvahy o evakuaci je nutné znát počet osob mezi exity. V programu je možné volit vzdálenosti exitů v řadě 150, 250, 350 a 450 m. Výsledkem této volby je, že pro každý scénář je znám průměrný a maximální počet osob uvězněných mezi exity.

## 5.2 Model č. II: Simulace úniku osob

V dalším kroku řešení je simulován časový průběh úniku osob z úseků mezi exity. Pro tyto simulace byl použit mikrosimulační nástroj EXODUS. Kromě tohoto programu se používají programy SIMULEX, STEPS nebo Pathfinder. Z dokumentu autora Ronchi, [5], vyplývá, že všechny tyto programy poskytují prakticky stejné výsledky, a tudíž volba konkrétního programu není rozhodující pro výpočet evakuace.

Pokud nejsou k dispozici konkrétní statistická data o složení osob v kritické situaci, což je v praxi obvyklé, je používáno následující standardní složení populace. Skládá se z 50 % mužů a 50 % žen,

přičemž věk je dle obrázku 5-9 níže normálně rozdělen mezi minimální a maximální hodnotou. Střední hodnota věku je 50 let, standardní odchylka 20 let. Minimální věk je 10 let, maximální 85 let.



Obr. 5-9: Rozdělení věku standardní populace pro 50 % mužů a 50 % žen

### 5.2.1 Rychlost osob

Pro simulaci evakuace osob z objektu existuje normovaná hodnota dle ČSN 73 0802 „Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty“, tabulka 5-5. Dle této tabulky je vidět, že česká norma neuvažuje s rozdílnými rychlostmi např. dle věku, nebo schopnosti pohybu. Lidé s omezenou schopností pohybu jsou započtení při posuzování evakuace dle ČSN tak, že se zvětší šířka únikového pruhu při evakuaci.

Tab. 5-5: Tabulka 28 z ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty

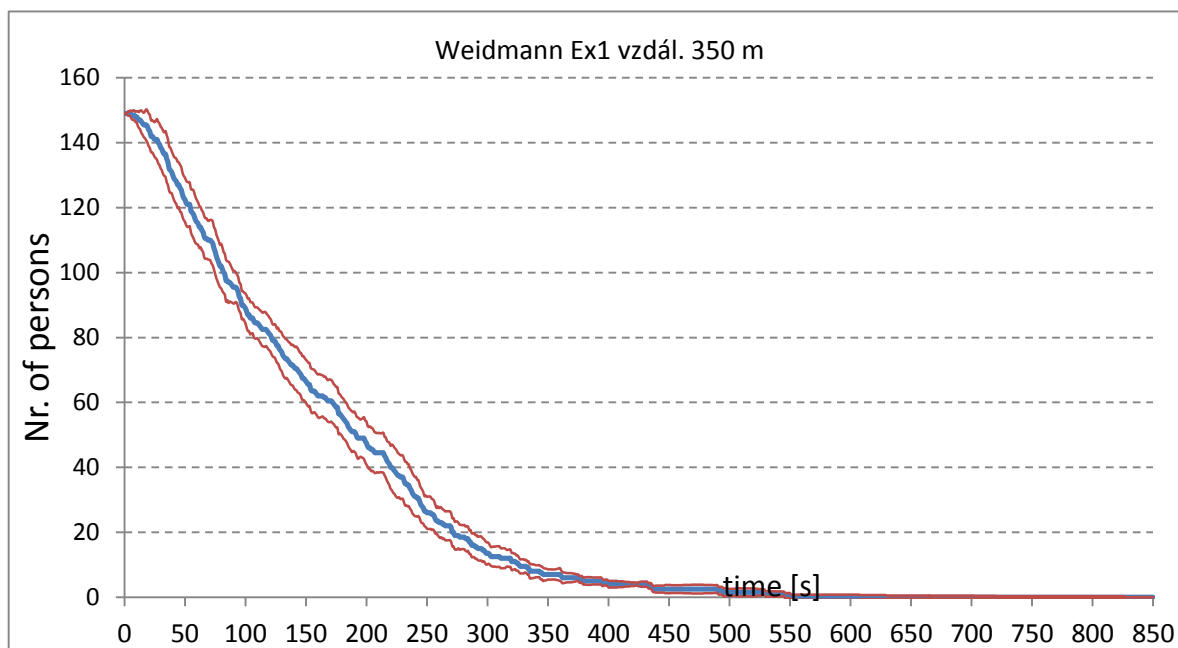
Únik	Rychlost pohybu osob [m/min]	Rychlost osob[m/s]
po rovině	35	0,583
po schodech dolů	30	0,5
po schodech nahoru	25	0,417

V simulacích úniku osob je proto použita hodnota pro rychlost evakuace, v případě varianty s označením ČSN,  $v_{\text{ČSN}} = 0,583 \text{ m/s}$ . V platné české normě ČSN 73 0802 je tedy rychlost pro všechny stejná a extrémně nízká (0,583 m/s), slovy „padesát osm centimetrů za vteřinu“, což odpovídá rychlosti chůze 2 km/h. Vzhledem k tomu, že byly známy hustoty osob mezi exity, byly provedeny opakované mikrosimulace úniku osob pro dvě rychlosti:

1. Dle ČSN 73 0802 ... rychlost  $v_{\text{ČSN}} = 0,583 \text{ m/s}$ ;
2. Weidman ... rychlost daná složením osob a jejich věkem.

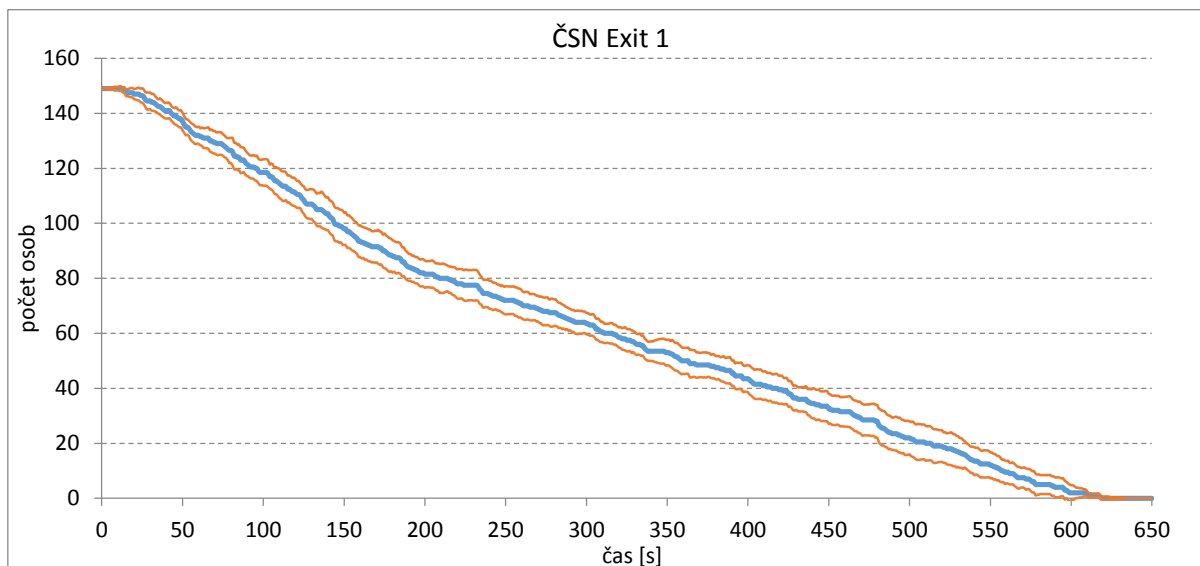
Na ukázkou jsou uvedeny výsledky simulací pro vzdálenost exitů 350 m simulované dle Weidmanna, obrázek 5-10 a ČSN 73 0802, obrázek 5-11. První obrázek ukazuje rychlost úniku osob z úseku 350 m

s tím, že pro daný scénář bylo na úseku na počátku 149 osob. K vyprázdnění došlo v 550 s. Simulace byla opakována desetkrát, takže je možné v grafu vidět i rozptyl hodnot s tím, že výsledný čas úniku byl vždy shodný.



Obr. 5-10: Graf ubývání osob na úseku 350 m, červené čáry označují rozptyl

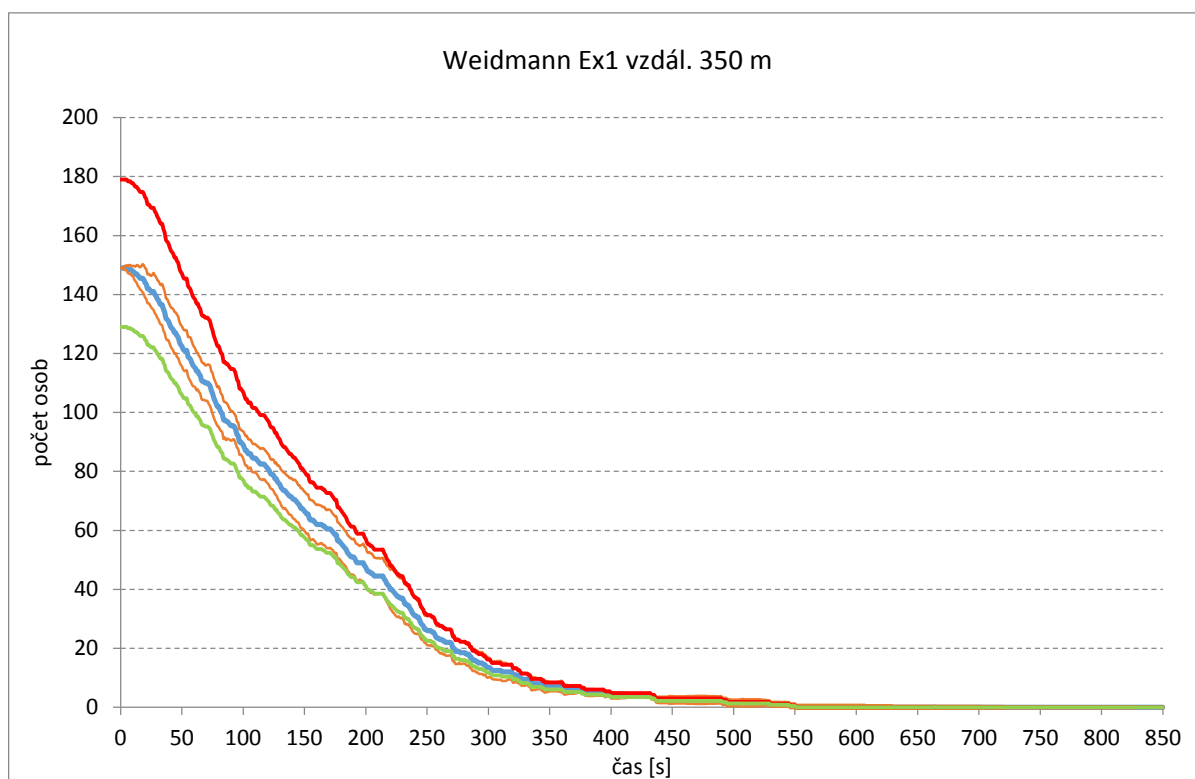
Výsledky pro únik dle ČSN 73 0802 jsou na následujícím obrázku. Je patrné, že doba úniku je vyšší, 620 s. Tato doba je dána časem, než osoba nejvzdálenější od exitu dojde rychlostí 58 cm/min k únikovému východu.



Obr. 5-11: Graf ubývání osob na úseku 350 m dle ČSN 73 0802. V počátečním stavu je na úseku 149.

Další obrázek 5-12 ukazuje, že doba vyprázdnění u Weidmannova modelu téměř nezáleží na počtu osob na začátku. Byly simulovány různé dopravní scénáře generující 130 až 180 osob na začátku evakuace. Doba vyprázdnění úseku byla vždy shodná - 550 s. Je to dáno tím, že doba úniku je dána nejpomaleji se pohybujícími osobami a vzdáleností exitů.





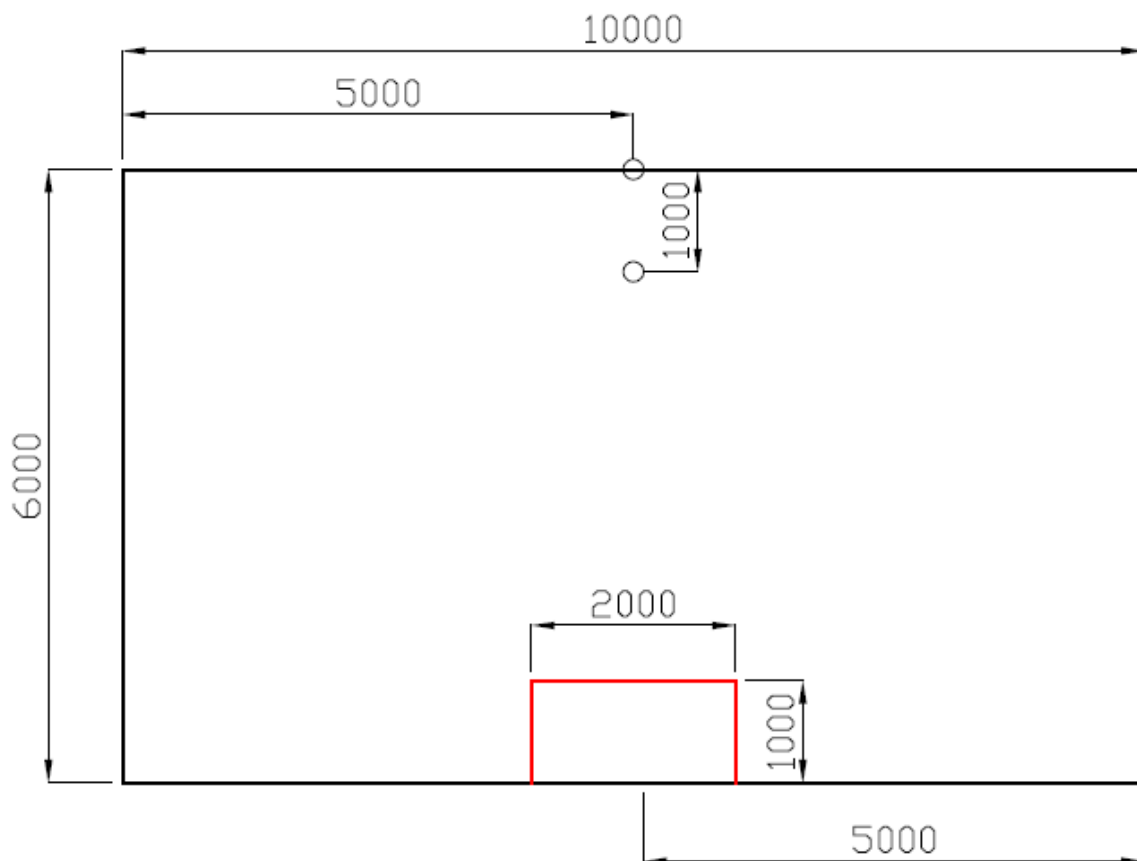
Obr. 5-12: Graf ubývání osob na úseku 350 m, přičemž je na počátku 130 až 180 osob; doba úniku je stejná

### 5.3 Model č. III: Simulace požáru – Fyzikální model

Model č. III simuluje vzniku a rozvoje požáru, včetně šíření jedovatých škodlivin majících vliv na přežití osob uvězněných v tunelu. Pro modelování požáru je použit pokročilý softwarový nástroj pracující na principu CFD (Computational Fluid Dynamics), využívající metodu konečných prvků. Modelovaný prostor je rozdělen na konečný počet prvků konečných objemů, pro které jsou uvažovány, v daném výpočetním kroku (typicky 0,1 s–10 s) konstantní hodnoty stavových veličin. Simulace modelů CFD jsou oproti modelům osob velmi výpočetně náročné, protože zde dochází k numerickému řešení soustav parciálních diferenciálních rovnic, popisujících mechaniku kontinua.

#### 5.3.1 Základní geometrie simulačního experimentu

Geometrie průřezu tunelu odpovídá zjednodušené variantě hloubeného tunelu při zachování průřezu cca 60 m<sup>2</sup>, který přibližně odpovídá průřezu tunelu Blanka v jeho ražené části. Výška stropu je 6 m, u stropu jsou ve výškách 5 m a 6 m umístěny lineární detektory pro odečítání teploty. Ta se měří po celé délce tunelu.



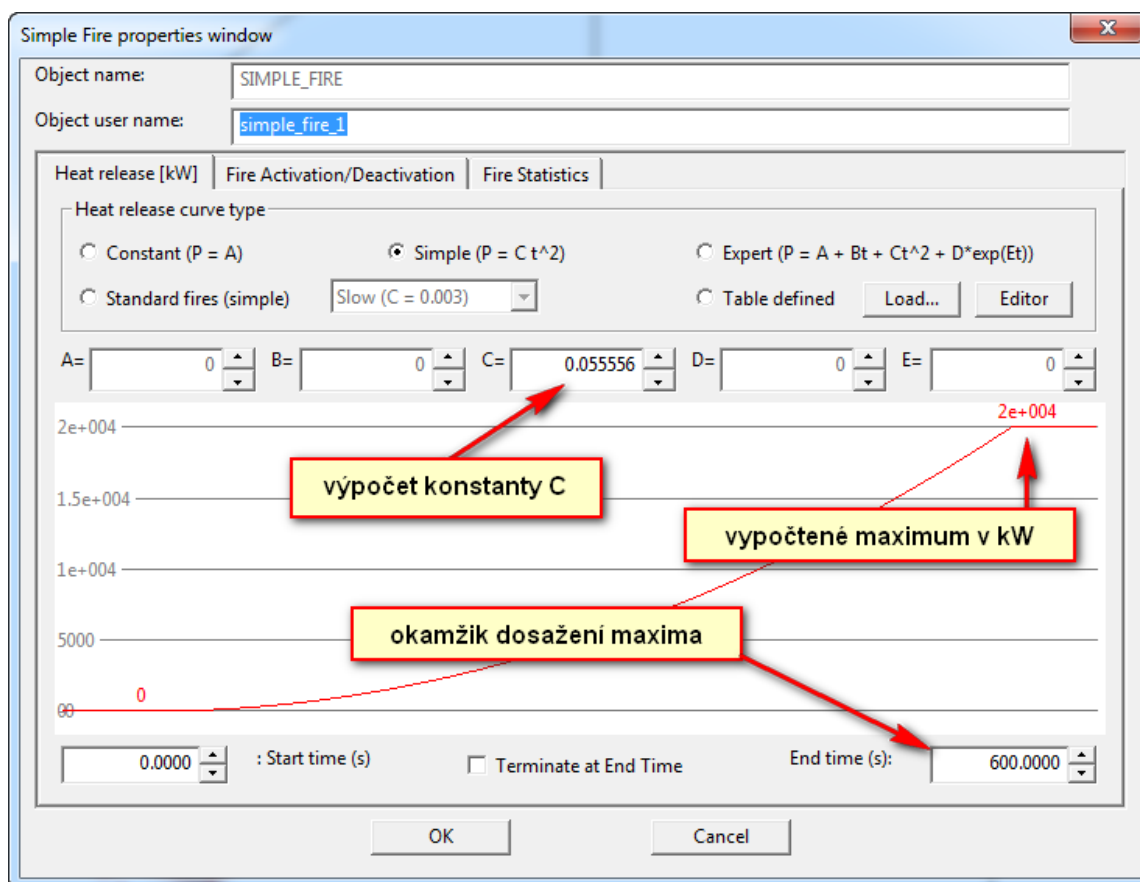
Obr. 5-133: Řez simulovaným tunelem, červený objekt je simulované ohnisko

Ohnisko je tvořeno kvádrem o šířce 2 m, výšce 1 m a délce 3 m. Je tak simulován požár části nákladního vozidla. Vzhledem ke snaze o maximální zjednodušení výpočtů a zobecnění výsledků je toto ohnisko umístěno vždy symetricky v ose tunelu.

### 5.3.2 Velikost požáru

Pro nárůst výkonu požáru byla zvolena křivka  $t$ -square  $P(t) = Ct^2$ , tedy výkon požáru roste s druhou mocninou času, až do okamžiku dosažení jeho maximální hodnoty  $P(t) = P_{\max}$ ;  $C$  je konstanta. V simulačních experimentech, kde není požadavek na zcela konkrétní průběh požáru (daný např. empirickým měřením), se tento typ používá nejčastěji jako rozumný kompromis mezi realitou a zobecněním.

Byly zvoleny maximální hodnoty  $P_{\max} = 50$  MW a dvě varianty okamžiku dosažení maxima:  $t_{\max} = 600$  s a  $t_{\max} = 300$  s. Čas přesahující 600 s od okamžiku vzniku požáru nebyl uvažován.



Obr. 5-44: Ukázka nastavení parametrů požáru ve SMARTFIRE

### 5.3.3 Aplikovaný model prostředí

Podélné proudění vzdušiny tunelem bylo ve variantách 0 m/s (bez proudění), 2 m/s a 5 m/s. Protože uvažujeme toto proudění v podobě pístového efektu vyvolaného jedoucimi vozidly, probíhá simulace prostředí ve dvou postupných fázích:

1. Ustálení proudění – počáteční fáze, kdy je nejprve ustáleno laminární proudění po celé délce tunelu o požadované rychlosti. Jde o vyjádření předpokladu, že vozidla projíždějí tunelem danou rychlostí. Požár ještě nevznikl.
2. Začátek požáru – v okamžiku vzniku simulované havárie se předpokládá, že vozidla zastaví v krátkém čase. Budící efekt proudění vymizí, laminární proudění pokračuje tunelem již pouze vlastní setrvačností a postupně slábne.

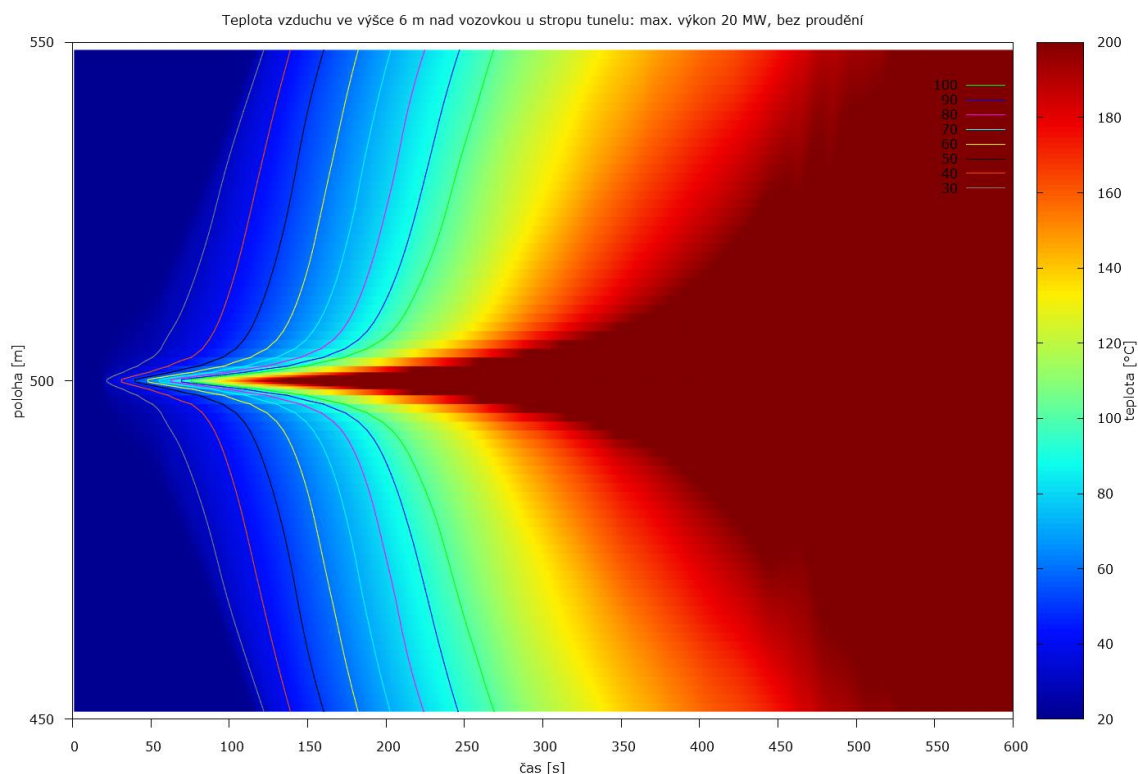
V případě stěn tunelu je v modelu uvažováno betonové ostění o standardní tepelné vodivosti pro tento materiál a tloušťce 0,5 m.

### 5.3.4 Model rozložení teplot

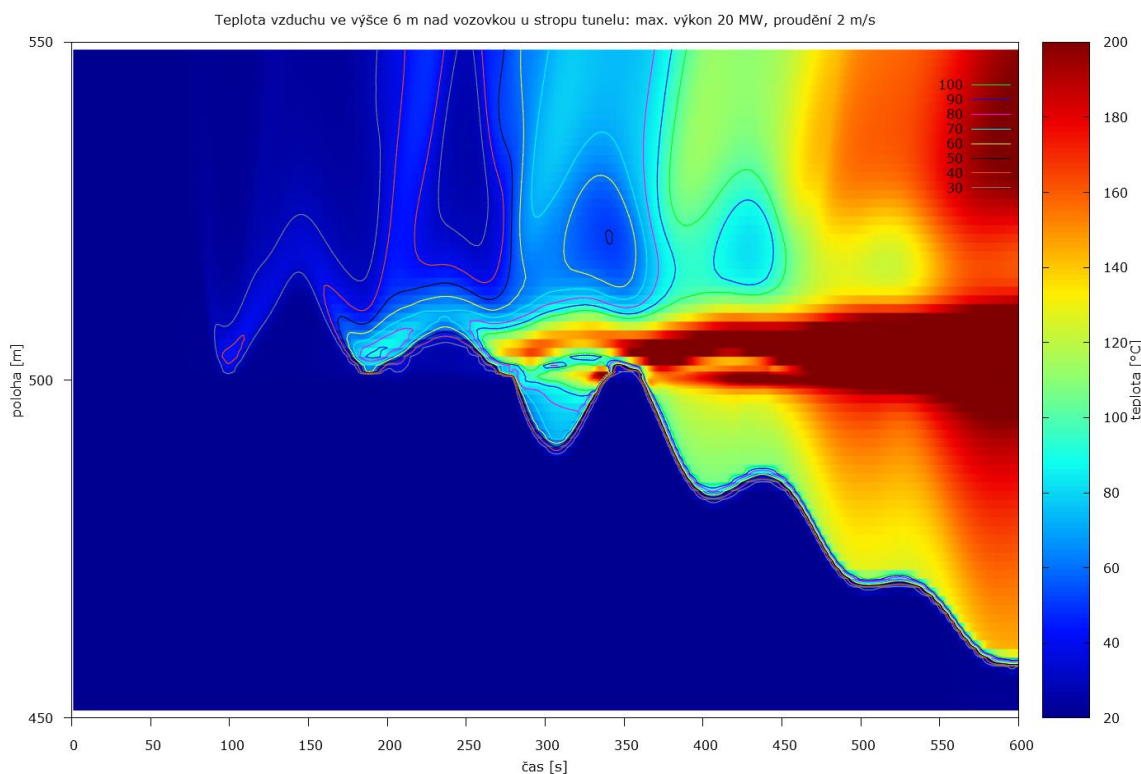
Série výpočtů dokladovala rozložení teplot pod stropem tunelu ve výškách 5 nebo 6 m pro různé výkony požárů a různé rychlosti podélného proudění.

Na následujících obrázcích jsou izotermy teploty rozloženy po 10 stupních. Pokud není v tunelu proudění, jsou izotermy úplně symetrické. Pokud je rychlost proudění nízká – 2 m/s je ze simulací vidět,

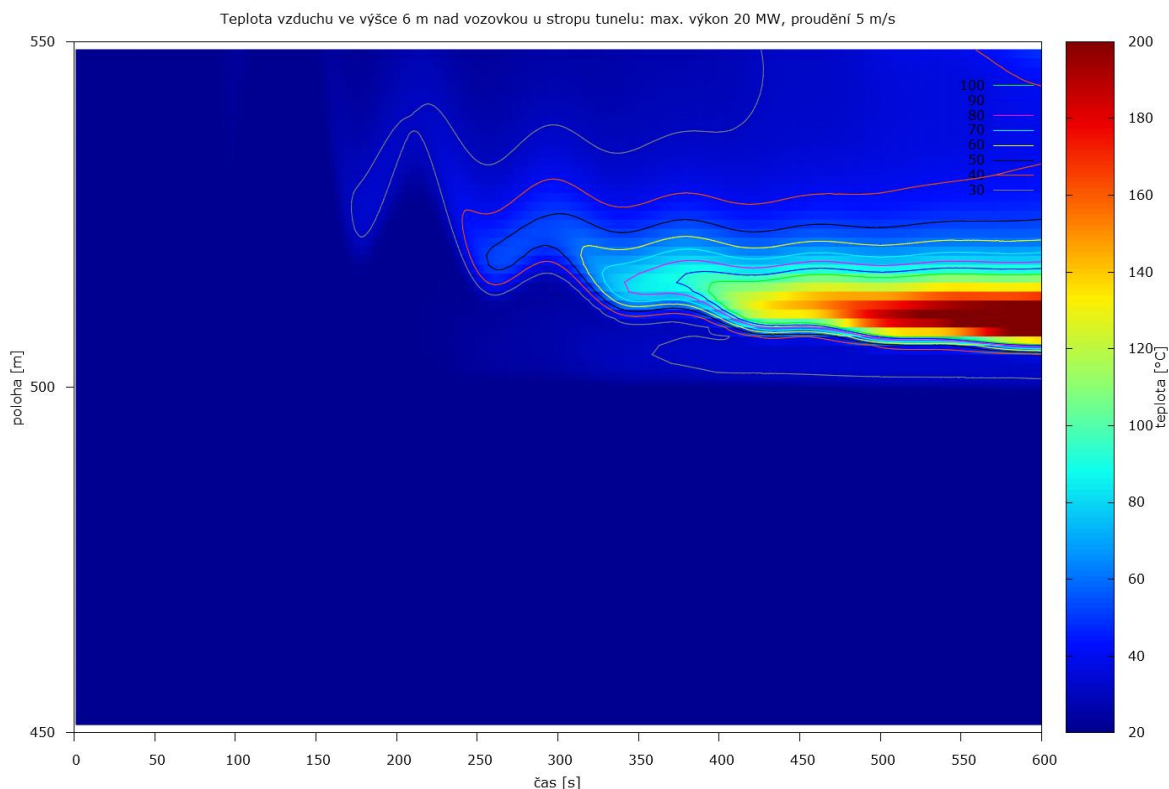
že dochází k turbulencím, vznikají i „ostrůvky“ teplot – obrázek 5-16. Pokud je rychlost laminárního proudění vysoká, izotermy se významně posouvají ve směru proudění, obrázek 5-17, což v reálu snižuje schopnost identifikovat požár liniovým hlásičem.



Obr. 5-55: Teplota ve výšce 6 m pro max. výkon 20 MW bez proudění



Obr. 5-66: Teplota ve výšce 6 m pro max. výkon 20 MW, proudění 2 m/s

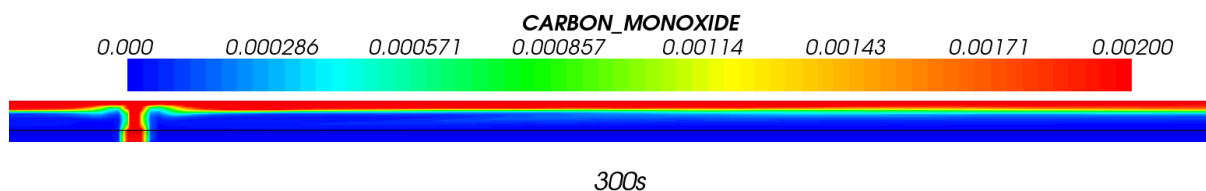


Obr. 5-77: Detekovaná teplota ve výšce 6 m pro max. výkon 20 MW, proudění 5 m/s

### 5.3.5 Model škodlivin

Pro model šíření škodlivin, byl zvolen model spalování dle [6], jehož výsledky jsou zachyceny na obrázku 5-18. Byla zvolena varianta odpovídající vozidlu s příslušnými podíly spalín (yields of combustion products), která byla aplikována na scénář s maximálním výkonem 50 MW, dobou náběhu maxima 300 s a variantu bez laminárního proudění v tunelu. Aplikovaným materiálem byl nylon.

Sledovanou škodlivinou je CO (oxid uhelnatý), jehož koncentraci v úrovni do 2 000 ppm zachycuje obrázek 5-18. Pravá červená část spektra odpovídá dané koncentraci a vymezuje tak oblast v prostoru, která je již kriticky zasažena.



Obr. 5-88: Koncentrace oxidu uhelnatého v čase  $t = 300$  s, černá linie zobrazuje výšku 1,6 m, zobrazeno pro hladinu až do 2 000 ppm

Z výsledků je patrné, že v případě statického scénáře bez lineárního proudění a s výkonem 50 MW nebudou unikající osoby v čase do 5 minut (300 s) významně ohroženy. Kritická hladina 2 000 ppm, při které dochází ke smrti během několika sekund, se vyskytuje po celé délce tunelu, nicméně poměrně vysoko (cca 4 m) nad vozovkou, k významnějšímu strhávání kouře směrem dolů dochází v časech významně přesahujících 5 minut (300 s).

## 5.4 Model č. IV: Analýza následků

Analýza následků je závěrečné posouzení, kolik osob uvězněných v tunelu zahyne pro daný scénář dříve, než dosáhne únikových východů. Výpočty vychází z úvahy, že je znám počet osob v úsecích mezi exity. Pokud je znám počet osob v úseku na začátku evakuace úseku, a zároveň rychlost evakuace osob v závislosti na čase, je možné přesně určit, kolik zbývá osob v úseku v libovolném čase. Z fyzikálního modelu, který zahrnuje v časovém rastru činnost ventilace, pak vyplývá, v jakém čase se dostane koncentrace toxických látek ve výšce 1,60 m k prvnímu, druhému a každému dalšímu exitu. Pokud bude rychlost šíření toxických zplodin vyšší než rychlost vyprázdnění úseku, je počet usmrčených osob dán časem, kdy kouř dosáhl exitu a všichni ještě nestačili uniknout.

## 6 Popis programu CAPITA

Program CAPITA byl vyvinut s cílem zjednodušit odhadování míry rizika v jednosměrných tunelech pozemních komunikací Metodou Analýzy scénářů. Proto, aby byl programový nástroj univerzální, jsou použita následující zjednodušení, která jsou také popsána u každé obrazovky vlastního programu:

- délka tunelu 300 až 1 000 m: pro větší délky tunelů lze aproximovat hustotu vozidel a doby plnění dle tabulek v příloze;
- 2 nebo 3 jízdní pruhy šířky 3,50 m;
- podélný sklon +/- 3 %: pokud je sklon tunelu vyšší nelze využít implicitní fyzikální model a je nutné pracovat s vlastním fyzikálním modelem;
- tunelová trouba je hladkého povrchu: nepředpokládají se výčnělky či zálivy;
- jedná se o jednosměrný tunel: pokud se jedná o obousměrný tunel nelze SW CAPITA použít.

Pokud výpočty ukáží následky ve ztrátě životů, je nutné zkoumat příslušné scénáře detailní Analýzou scénářů ve shodě s předkládanou metodikou, kap. 3 této přílohy, ale detailně orientovanou na daný tunel. Stejně tak se řeší specifické případy, jako jsou například schody v únikových cestách apod.

Odkaz na program CAPITA je zveřejněn na webových stránkách [www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz). Program je určen pro odborníky, mající zkušenosti s analýzou rizik. V rukách neodborníků by mohl vést ke zkreslujícím výsledkům.

Vzhledem k tomu, že by mohla takto koncipovaná analýza rizik najít uplatnění i v zahraničí, obsahuje program i anglickou verzi uživatelského rozhraní.

### 6.1 Úvodní obrazovky

První obrazovka (viz obrázek 6-1) obsahuje název programu a loga řešitelů úlohy. Je uvedeno, že projekt vznikl s podporou TAČR a další informace k projektu. Je uvedena aktuální verze programu. K červnu 2016 se jedná o verzi: CAPITA, ver. 2.7.





Obr. 6-1: Úvodní obrazovka programu CAPITA s obecnou informací o programu

**Cíl a využití** (viz obrázek 6-2): Programový nástroj CAPITA je určen pro použití pro odborníky, kteří působí v oblasti bezpečnostní politiky a analýzy rizik tunelů na pozemních komunikacích. Metoda umožňuje zaslíbeně posoudit možná rizika vyplývající z daného scénáře v tunelu odpovídajícím typovému tunelu v CAPITA. Jedná se o mentální model poskytující prvotní informace, které musí být, v případě jakýchkoli pochybností, doplněny o detailní analýzu rizik.

Díky univerzálnímu modelu je CAPITA využitelná pro zkoumání citlivosti rizika na různé parametry tunelu (vzdálenost exitů) či dopravní parametry (intenzity dopravy).

V neposlední řadě může být program využit pro školení operátorů tunelů, tak jak předepisují technické podmínky TP 229 „Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací“. Uplatnění nalezne i při výuce v akademické sféře.

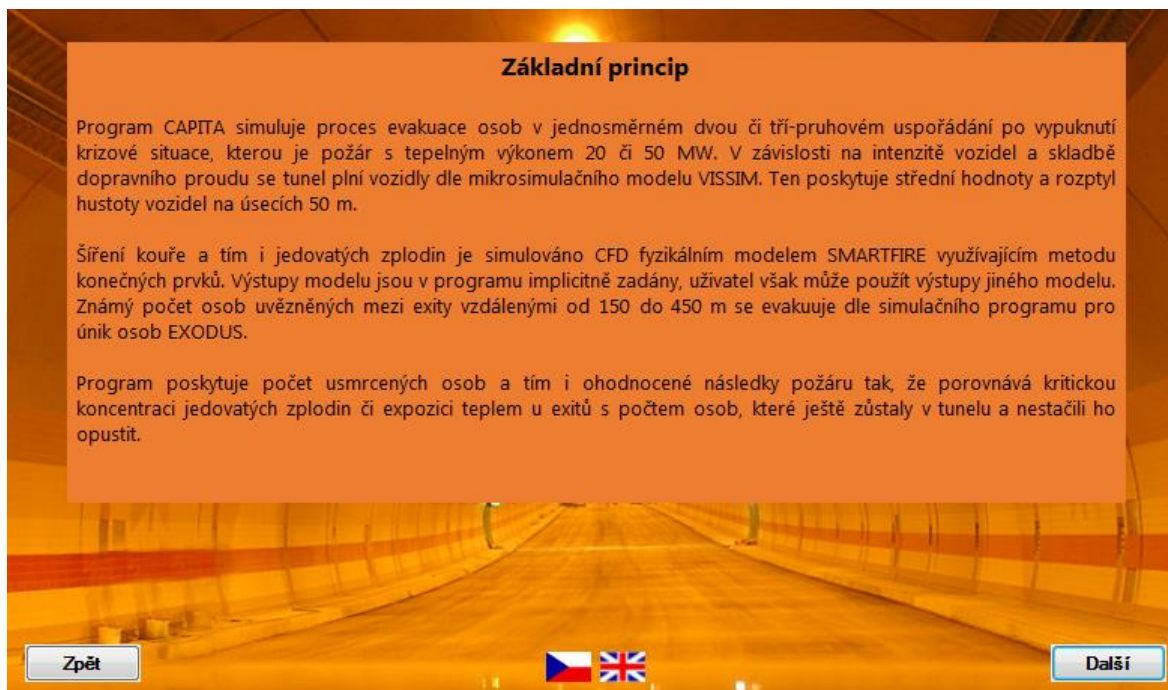


Obr. 6-2: Obrazovka popisující cíl a využití programu

**Základní princip** (viz obrázek 6-3): Program CAPITA simuluje proces evakuace osob v jednosměrném dvou či třípruhovém uspořádání, po vypuknutí krizové situace, kterou je požár. V závislosti na zadané intenzitě vozidel a skladbě dopravního proudu se tunel plní vozidly dle mikrosimulačního dopravního modelu. Šíření kouře a tím i jedovatých zplodin je pro požár velikosti 50 MW simulováno CFD fyzikálním modelem využívajícím metodu konečných prvků. Známý počet osob uvězněných mezi exity vzdálenými od 150 do 450 m se evakuuje dle simulačního programu pro únik osob.

Program poskytuje počet usmrčených osob a tím i ohodnocené následky požáru tak, že porovná kritickou koncentraci jedovatých zplodin u exitů s počtem osob, které ještě zůstaly v tunelu, a nestačily ho opustit.





Obr. 6-3: Obrazovka popisující základní principy programu

#### Další informace a upozornění:

**Upozornění** (viz obrázek 6-4): Fakulta dopravní ČVUT a další řešitelé nenesou odpovědnost za používání metody CAPITA, ani za opatření, která by uživateli mohla vyplynout ze závěrů. Uživatel je povinen se s metodou seznámit a seznámit se i s jejími omezeními, případně problematiku konzultovat s autory.

Uživatelé mohou zdarma využívat simulačního softwaru CAPITA 2.7. Pokud budou zveřejňovány jakékoli výsledky vyplývající z tohoto software, je **nutné na tento program výslovně odkazovat**.



Obr. 6-4: Upozornění na podmínky bezplatného šíření programu

**Instalace:** Program CAPITA je instalován pomocí instalačního balíčku Windows Installer. Instalační program obsahuje průvodce, který uživatele provede instalací. Pro výchozí instalaci stačí opakovaně potvrdit implicitní nastavení tlačítkem „Další“.

Softwarové požadavky jsou:

- Windows 7 (nebo vyšší);
- NET Framework 4.0 (nebo vyšší) – bývá standardní součástí instalace Windows.

Požadavky na hardware jsou poměrně nenáročné a odpovídají běžnému PC s operačním systémem Windows 7 nebo novější verzí.

## 6.2 Výpočet rizik Metodou Analýzy scénářů

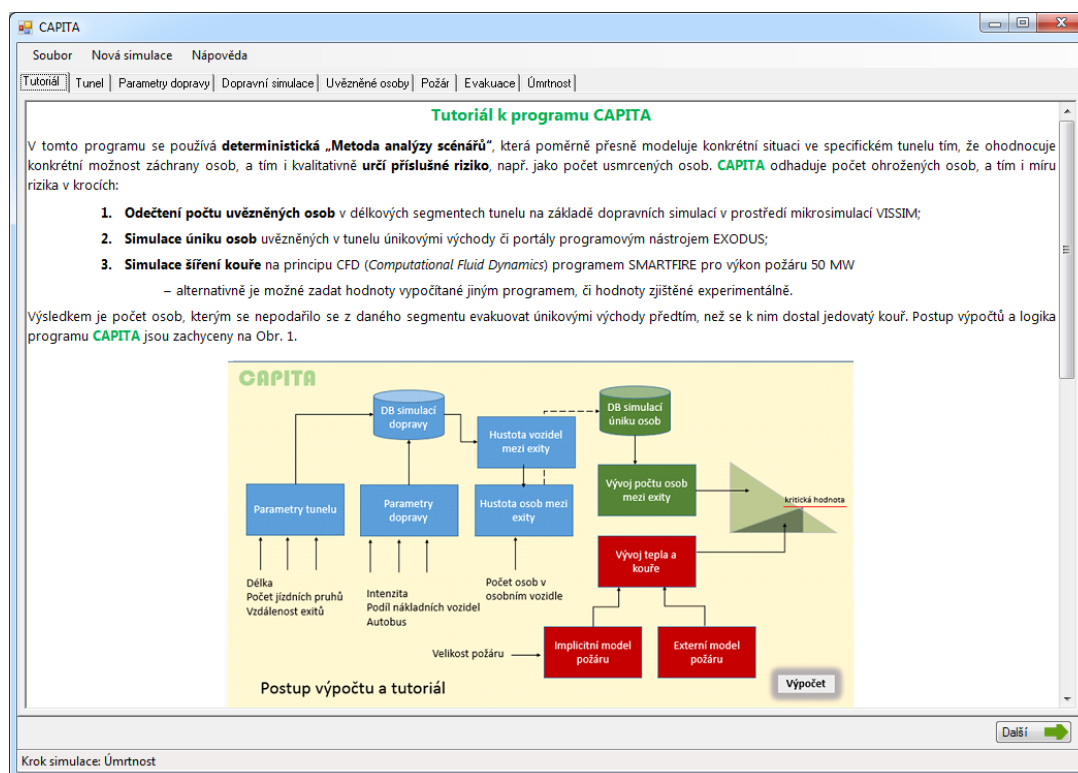
Po projití úvodních obrazovek uživatel přechází na hlavní obrazovku, ze které je postupně prováděn celý proces výpočtu.

Každý krok procesu je doprovázen podrobným popisem v horní části okna. Jednotlivé kroky jsou v řádku v horní části obrazovky (Úvod, Tunel atd.) - viz obrázek 6-5. Výpočet se provádí postupným stisknutím tlačítka „Další“ v pravém dolním rohu obrazovky.

### Úvodní informace o programu

#### Tutoriál k programu CAPITA

Na obrazovce je možné rolovat základní popis programu a seznámit se s principy výpočtů a simulací, které odpovídají popisu v kap. 5 této přílohy.



Obr. 6-5: Hlavní okno programu popisující program a jeho hlavní bloky

## Zadání parametrů tunelu

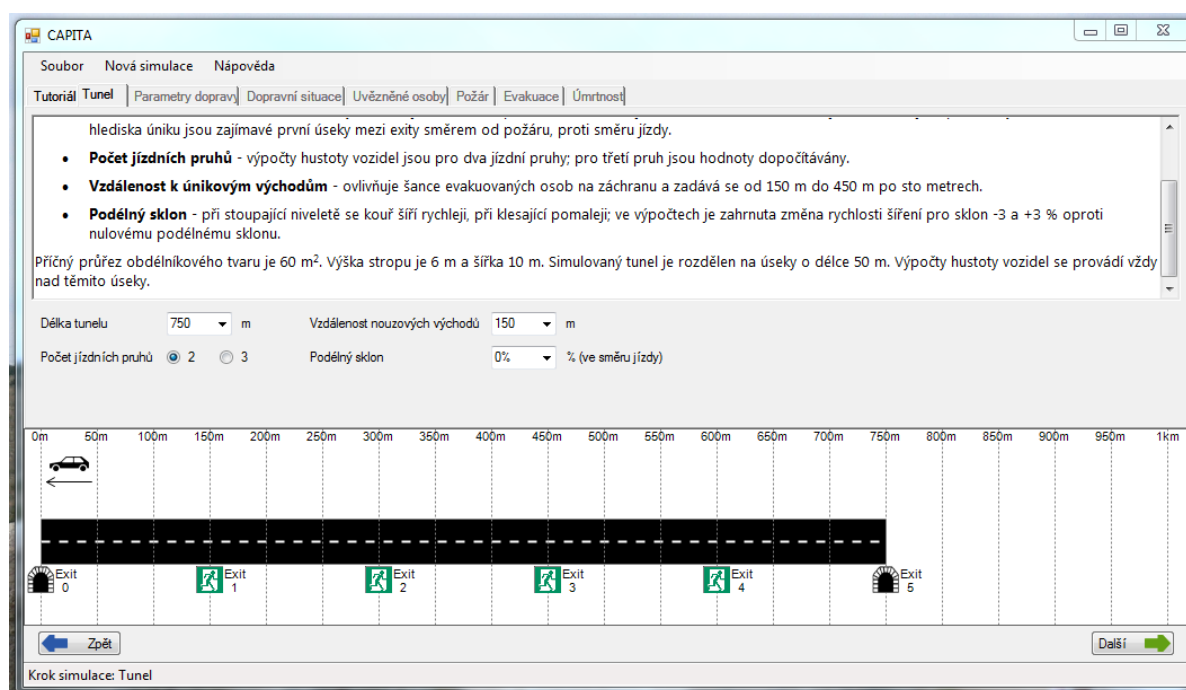
### Stavební parametry tunelu

Po kliknutí na tlačítko „Tunel“ se zadávají parametry tunelové trouby:

- délka tunelu se volí po segmentech 50 m a je omezena na 1 000 m;
- počet jízdních pruhů jsou dva nebo tři;
- vzdálenost únikových východů je 150, 250, 350 nebo 450 m.

Po zadání těchto hodnot se vygeneruje ve spodním okně délka tunelu s vyznačenými exity. Horní okno obsahuje podrobnější komentář k zadávání vstupů a k omezením, které vyplývají z modelu.

Tunelová trouba má standardizovaný tvar: příčný průřez obdélníkového tvaru je 60 m<sup>2</sup>. Výška stropu je 6 m a šířka 10 m.



Obr. 6-6: Obrazovka pro zadání délky tunelu a vzdálenosti Exitů; v tomto případě zvolena délka 750 m, vzdálenost únikových východů 150 m; dva jízdní pruhy a podélný sklon 0 %

Po stisknutí „Další“ se přechází do modulu parametrů dopravy.

## Zadání parametrů dopravního proudu

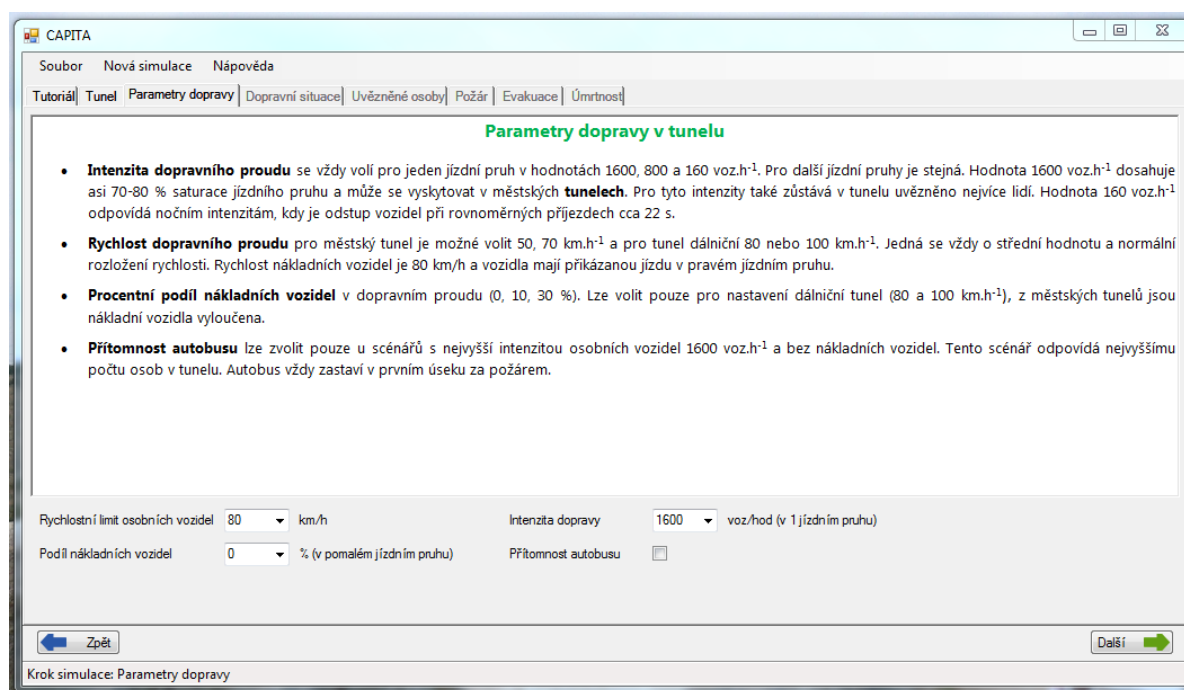
### Parametry dopravy v tunelu

Tato obrazovka umožní zadat parametry dopravního proudu pro tunel městského či dálničního charakteru:

- střední hodnota rychlosti dopravního proudu 50, 70, 80 a 100 km/h;
- hodinová intenzita vozidel 1 600, 800, 160 voz/h;
- procentní podíl nákladních vozidel 0, 10, 30 % (NV jedou vždy v pravém jízdním pruhu a mají zakázáno předjíždět);

- žádný nebo jeden autobus (autobus je z hlediska nejnepříznivější situace pro evakuující se osoby zastaven vždy v prvním úseku za požárem).

Pozn.: z kombinací výše uvedených parametrů dopravy mohou uživatelé volit jen některé scénáře (nákladní vozidla mohou být pouze v dálničních tunelech při rychlostech 80 a 100 km/h); autobus se může vyskytovat pouze při intenzitě 1 600 voz/h a nulovém podílu nákladních vozidel).



Obr. 6-7: Okno „Parametry dopravy“ pro zadávání parametrů dopravního proudu; v tomto případě zvolena rychlost 80 km/h bez nákladních vozidel; intenzita osobních vozidel je 1 600 voz/h; v dopravním proudu není autobus

Po stisknutí „Další“ se přechází do modulu Dopravní simulace.

### *Doba zastavení dopravy do tunelu a počet zadržených vozidel*

#### **Dopravní simulace**

Do tunelu zvolené délky byla opakovaně (10 až 50krát) napouštěna vozidla v náhodném rozložení daném mikrosimulačním programem VISSIM. Pro kombinaci skladby (0, 10, 30 %, autobus) a rychlosti dopravního proudu (50–100 km/h) bylo vytvořeno celkem 32 scénářů pro dva jízdní pruhy, dalších 24 scénářů (pro tři jízdní pruhy bylo dopočítáno ze scénářů se dvěma pruhy). Každý scénář poskytuje celkový počet a rozptyl osobních i nákladních vozidel (případně autobusů) v prvním 50metrovém úseku a v úsecích následujících. Program pak dopočítá celkový počet jednotlivých kategorií vozidel pro tunel zadané délky.

Jelikož výsledky jednotlivých simulací jsou pro daný scénář velmi podobné, je možné je zobecnit, takže model pro odhad hustoty vozidel platí univerzálně. Například pro vstupní intenzitu 1 600 voz/h (žádné nákladní vozidlo, žádný autobus) je průměrná hustota osobních vozidel 16,69 voz/50 m. Směrodatná odchylka je 0,65. Pro 30 % podíl nákladních vozidel je hustota osobních vozidel 8,15 voz/50 m

a směrodatná odchylka je 2,4. Střední hustota nákladních vozidel je 3,7 voz/50 m a směrodatná odchylka 1,12.

Před vlastním výpočtem je nutné zadat čas zastavení vozidel na vjezdu do tunelu po vypuknutí požáru. Tím se vymezí délka kolony v tunelu:

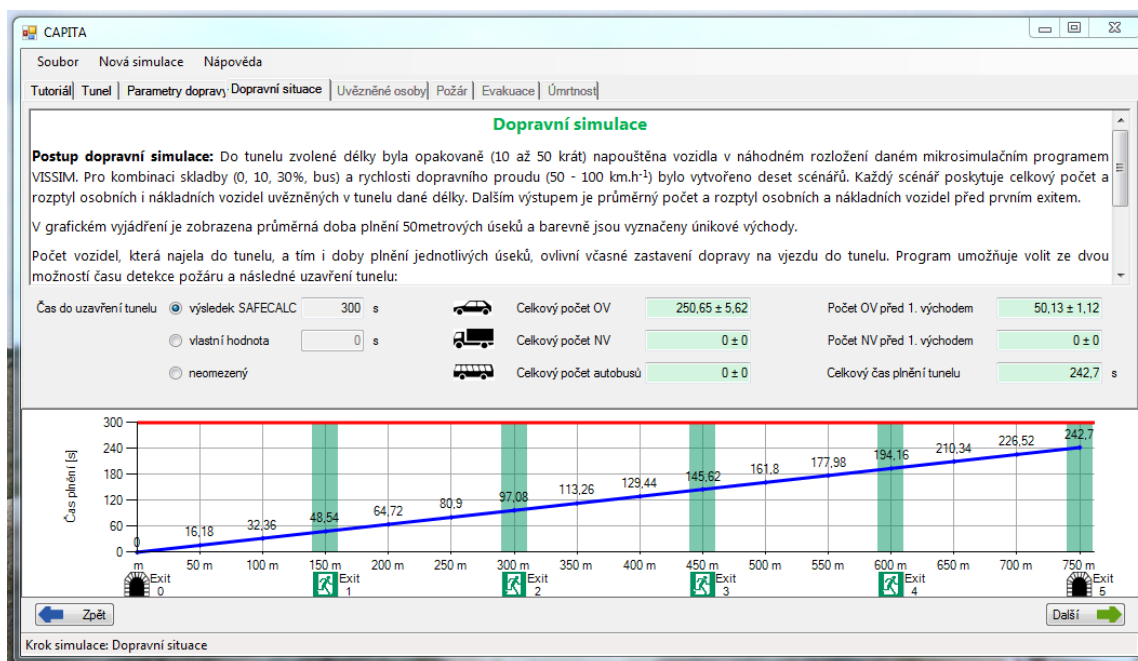
- implicitní hodnota je 300 s. Předpokládá se, že je bezprostředně zastavena doprava do tunelu pomocí proměnných dopravních značek či závor;
- uživatel zadá odhadovanou dobu od vypuknutí požáru do zastavení dopravy do tunelu dle vlastní úvahy;
- je možné zvolit neomezený čas, kdy se tunel plní vozidly bez časového omezení.

Ze simulace VISSIM a z doby zastavení dopravy do tunelu program poskytne následující výstupní hodnoty:

- celkový počet osobních vozidel v tunelu (průměrný a rozptyl  $\sigma$ );
- celkový počet nákladních vozidel v tunelu (průměrný a rozptyl  $\sigma$ );
- počet nákladních vozidel k prvnímu exitu (průměrný a rozptyl  $\sigma$ );
- počet nákladních vozidel k prvnímu exitu (průměrný a rozptyl  $\sigma$ );
- zda je v tunelu (v prvním úseku) i autobus;
- celkový čas plnění zadané délky tunelu.

Na obrázku modul „Dopravní simulace“ (viz obrázek 6-8) vypočítal poměry pro intenzitu 1 600 osobních vozidel za hodinu a rychlost 80 km/h. Ve dvoupruhovém tunelu délky 750 m se za 4 minuty (240 s) shromáždí 250 vozidel s rozptylem  $\pm 2$  %. V grafu je vidět i čas naplnění každého z 50metrových úseků.

Protože je obvykle nejdramatičtější situace před prvním exitem u požáru, výpočet poskytuje i hodnoty počtu vozidel na tomto úseku. V demonstračním příkladu je to 50 osobních vozidel s rozptylem jednoho vozidla.



Obr. 6-8: Graf znázorňuje doby plnění 50 m úseků až po naplnění celé délky 750 m (242,7 s); v grafu jsou vyznačené exity



Po stisknutí „Další“ se přechází do modulu výpočtu uvězněných osob.

### *Zadání obsazenosti vozidel a výpočet počtu uvězněných osob*

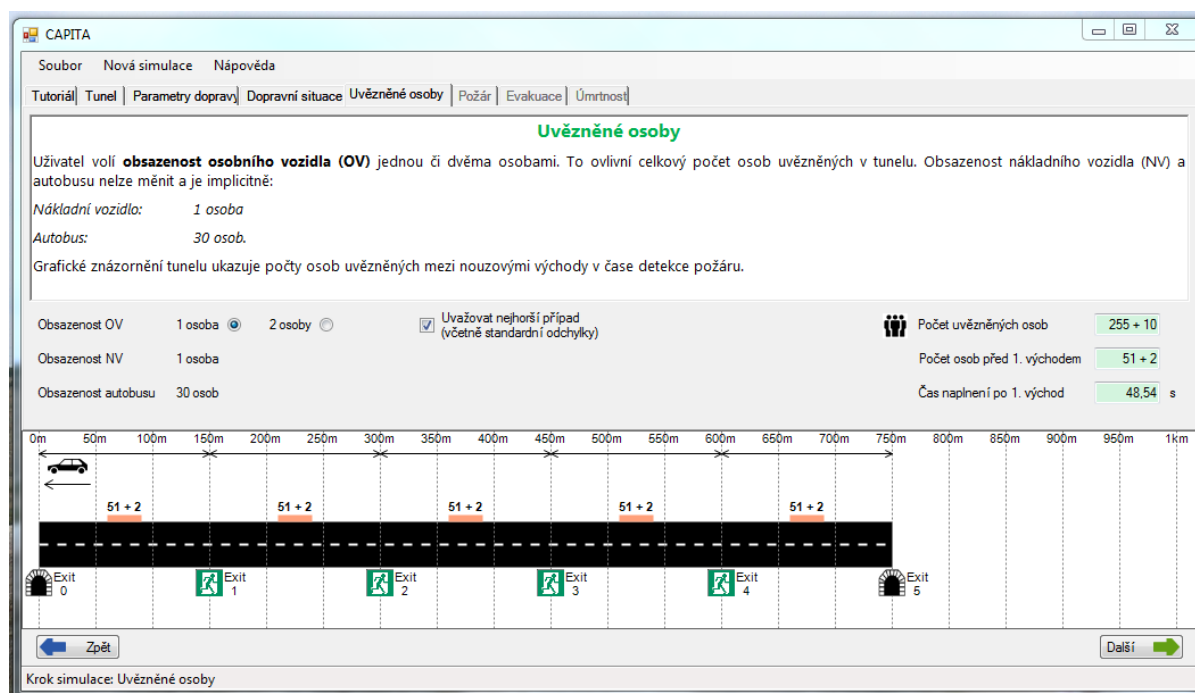
#### **Uvězněné osoby**

Pro výpočty evakuace v závislosti na čase je důležité znát počty osob mezi jednotlivými exity. Zásadní význam pro množství uvězněných osob má volba počtu osob v osobních vozidlech, kterou uživatel může zvolit buď 1 či 2. Nákladní vozidlo je implicitně obsazeno jednou osobou a autobus 30 osobami.

Uživatel má možnost uvažovat horní toleranci počtu vozidel a tím i horní toleranci počtu uvězněných osob zaškrtnutím políčka „Uvažovat nejhorší případ (včetně standardní odchylky)“.

Program vypočítá:

- celkový počet uvězněných osob v tunelu;
- maximální počet uvězněných osob v tunelu;
- počet osob mezi požárem a prvním exitem;
- maximální počet osob mezi požárem a prvním exitem;
- dobu plnění úseku před prvním exitem, který je z hlediska evakuace pouze ve směru od požáru a možné přítomnosti autobusu nejkritičtější.



Obr. 6-9: Graf ukazuje maximální počet osob mezi jednotlivými exity

Na obrázku 6-9 jsou vypočítány a graficky znázorněny počty osob mezi exity. Pro výše uvedené parametry. V případě, že v tunelu jsou jen osobní vozidla, je na úseku 150 m 51 osob. Pokud se počítá s nejvyšší hustotou vozidel (nejhorší scénář), je to 53 osob. Doba naplnění prvního úseku 150 m je cca 49 s.

Po stisknutí „Další“ se přechází do modulu simulace šíření škodlivin.

### Časový vývoj koncentrace škodlivin

---

#### Parametry požáru

Na obrazovce „Požár“ je v časovém měřítku znázorněno šíření jedovaté koncentrace zplodin při velikosti výkonu požáru 50 MW. Sledovány jsou časy dosažení kritické koncentrace oxidu uhelnatého CO (šedé sloupce) a chlorovodíku HCl (žluté sloupce), viz obrázek 6-10.

Implicitní fyzikální model nazvaný SMARTFIRE počítá s koncentrací CO 1 200 ppm a HCl 100 ppm, což je úroveň, kdy již několik nadechnutí jedné či druhé zplodiny může způsobit smrt. Fyzikální model počítá tuto koncentraci pro výšku 1,6 m. Ohrožení osob sálavým teplem se nepředpokládá. Vývin kouře je dle doporučení PIARC cca 60 m<sup>3</sup>/s.

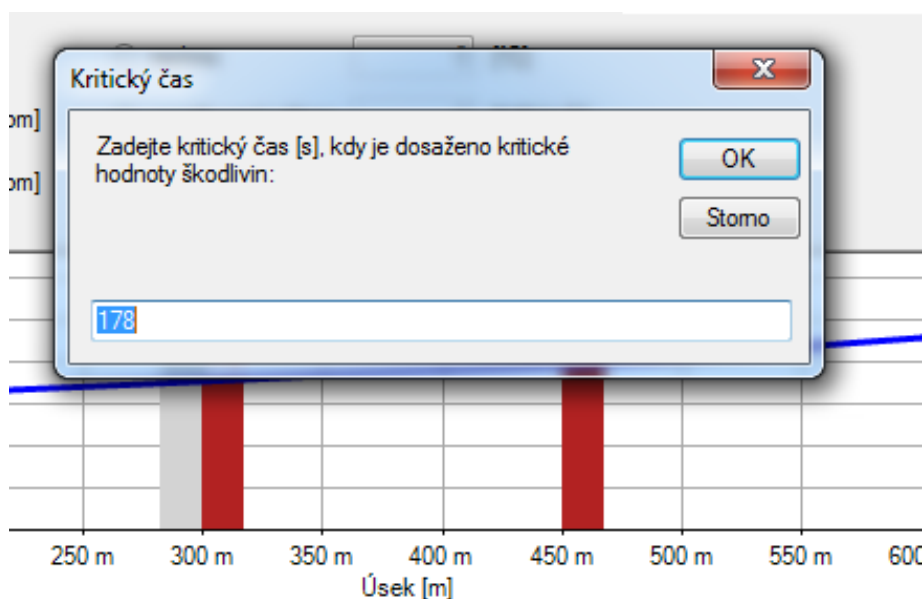
Pro záchranu osob jsou tedy kritické časy, kdy hladina jedovatých koncentrací ve výšce 1,6 m dosáhne jednotlivých exitů, a počty osob, které ještě v té chvíli těchto exitů nedosáhly. V momentu, kdy koncentrace škodlivin dosáhne nouzového východu, metoda CAPITA předpokládá, že pokračování úniku není možné a dochází ke ztrátám na životech.

Kritické časy dosažení výše uvedených škodlivin k exitům vypočítané pomocí fyzikálního modelu jsou znázorněny šedými, resp. žlutými sloupci v dolní části obrazovky, viz obrázek 6-10. U každého z exitů je znázorněn čas, kdy je zde dosažena kritická koncentrace dle SMARTFIRE.

Uživatel může zvolit i použití vlastního fyzikálního modelu šíření kouře. V tomto případě vybere jeden z pěti kritických parametrů, u něhož zvolí kritickou hodnotu a zadá kritické časy, kdy je této koncentrace dosaženo u jednotlivých exitů. Kritickými parametry jsou:

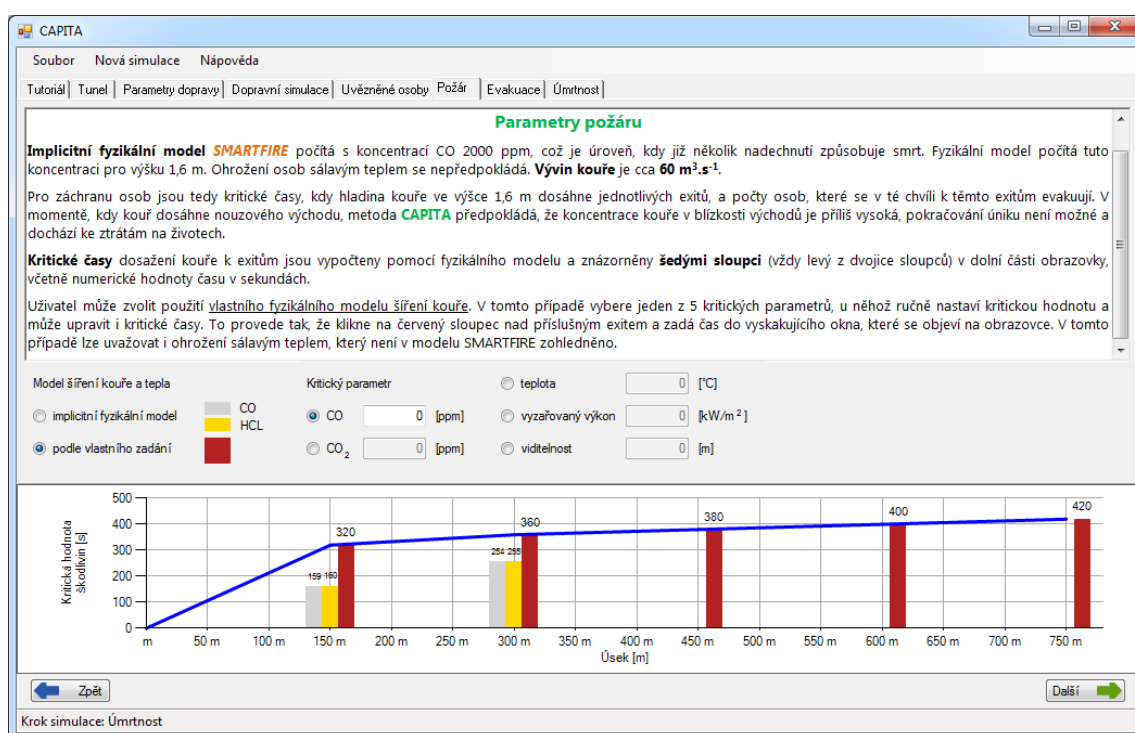
- oxid uhelnatý CO [ppm];
- oxid uhličitý CO<sub>2</sub> [kg/kg];
- chlorovodík HCL [kg/kg];
- zakouřenost [kg/kg].

Použití vlastního fyzikálního modelu lze provést kliknutím na červený sloupec nad příslušným exitem a zadáním času v sekundách do okna, které se objeví na obrazovce, viz obrázek 6-10.



Obr. 6-10: Individuální zadávání kritických časů

Na obrázku 6-11 je výsledná obrazovka „Požár“ s uživatelsky zadanými časy, kdy je u jednotlivých exitů dosaženo kritické koncentrace (Exit 1 ... 320 s; Exit 2 ... 360 s, atd.):



Obr. 6-11: Sloupcové diagramy u Exitů zobrazují kritické časy, kdy je koncentrace škodlivin životu nebezpečná. Světle šedé sloupce jsou pro implicitní model dle SMARTFIRE a červené sloupce odpovídají časům dosažení kritické koncentrace dle uživatelského modelu

Program tedy umožňuje, aby se číselně zadaly libovolné hodnoty časů, kdy kritická koncentrace škodlivin dosáhne exitů. To umožní použít jakýkoli uživatelský fyzikální model, počítaný i jinou metodou. Tím je metoda zcela univerzální.



Po stisknutí „Další“ se přechází do modulu evakuace.

### *Zadání rychlosti úniku osob – evakuace*

#### **Evakuace**

Evakuační proces je zásadní pro výpočet počtu usmrčených osob. Zjednodušeně platí, že doba pro evakuaci se skládá z doby před započítáním pohybu a dobou pohybu během evakuace. V první fázi, která pro bývá pro celkovou úspěšnost evakuace zásadní, lidé váhají, kdy a zda vůbec mají začít unikat. Toto stádium, které může trvat od několika vteřin do několika minut, lze zkrátit účinným varováním prostřednictvím evakuačního rozhlasu, případně i dalších informačních tunelových technologií. Po tomto stádiu již následuje deterministicky popsatelný proces chůze k únikovým východům. Jeho průběh byl mnohonásobně ověřen v reálu i simulacemi. Jedná se o stádium vlastní chůze od vozidla k únikovým východům.

**Doba váhání** představuje čas mezi vypuknutím požáru, resp. následným informováním osob a vlastním zahájením evakuace. Vždy se předpokládá, že všechny osoby začnou evakuaci naráz. Implicitní hodnota doby zahájení evakuace po vypuknutí požáru je poměrně velmi nízká – 90 s, ale lze ji uživatelsky změnit.

Požár vznikne vždy ve vzdálenosti 0 m u Exitu 0 (portálu výjezdu), kterým tím pádem není možné unikat. Osoby z prvního úseku unikají vždy proti směru jízdy. V případě dalších exitů se část osob v okolí exitu vrací zpět k exitu i ve směru k požáru. Jedná se o vzdálenosti 50 či 100 m od exitu.

Takto pojatý evakuační model by opakovaně simulován v prostředí EXODUS a lze ho považovat za univerzální. Lze jej použít pro prakticky libovolný tunel, který obsahuje evakuační cesty ve vzdálenostech 150 až 450 m a samozřejmě pokud tunel není v celém profilu zablokován vozidly.

Pro **složení unikajících osob** je použita standardní populace: 50 % mužů a 50 % žen s normálním rozdělením věku. **Rychlosti úniku osob** při výpočtech evakuačních dob jsou následující:

- 0,5 m/s dle ČSN 73 0802 „Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty“;
- dle simulačního modelu prof. Weidmanna je rychlost statisticky rozptýlena.

V dialogovém okně modulu „Evakuace“ (viz obrázek 6-12) jsou zadány parametry, které jsou implicitně použity v programu EXODUS – jedná se o poměr mužů a žen 50:50 %. Z hlediska počátku úniku osob se uplatní implicitní čas 90 s nebo čas zadaný uživatelem, viz výše. Předpokládá se, že všechny osoby jsou informovány naráz a evakuaci zahájí ve stejném okamžiku, tj. po uplynutí doby váhání (např. 90 s) po vypuknutí požáru.

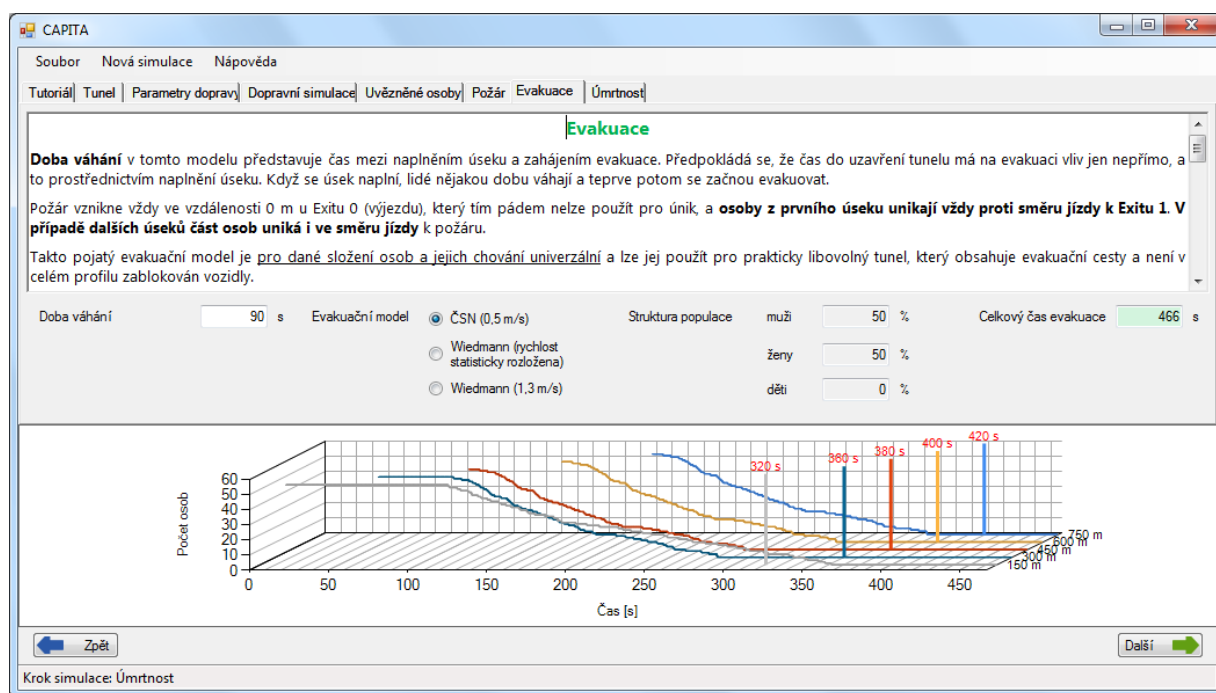
Pokud není tunel po vypuknutí požáru uzavřen včas, může dojít k situaci, kdy v přední části tunelu již probíhá evakuace, zatímco zadním portálem ještě najíždějí nová vozidla. V takové situaci lze předpokládat, že řidiči dojíždějících vozidel zastaví na konci kolony a vědomi si závažnosti situace se neprodleně připojí k probíhající evakuaci. Jelikož metoda CAPITA pracuje na úrovni úseků, počítá se, že evakuace úseku je zahájena naráz, tj. až po jeho naplnění.

V dolní polovině obrazovky (viz obrázek 6-11) je v grafu vidět průběh vyprazdňování úseků délky 150 m až 450 m. V tomto případě je na začátku evakuace v každém úseku 52 osob. Úsek před Exitem 1 (na 150 m) se začne vyprazdňovat po uplynutí doby váhání (90 s), která se počítá od naplnění úseku (v čase

44 s), a vyprázdnil by se za cca 6 minut (364 s) po vypuknutí požáru. Ve druhém úseku je situace obdobná – váhající lidé se nechají strhnout osobami unikajícími z prvního úseku a evakuaci zahájí ve stejnou dobu, s tím rozdílem, že mohou unikat na obě strany (k Exitu 1 a 2), takže průběh evakuace je rychlejší (285 s); stejně tak v úseku před Exitem 3. Naplnění úseku před Exitem 4 trvá 194 s (obrázek 6-12), takže evakuace nemůže začít dříve (souvisí se zjednodušením modelu pracujícího na úrovni úseků). Lidé se ihned po naplnění úseku připojí k probíhající evakuaci a úsek by se vyprázdnil za 339 s.

Křivky v grafu (viz obrázek 6-12) představují počty unikajících osob v čase za předpokladu, že by nebyly ovlivněny šířícím se kouřem. Svislé sloupce na evakuačních křivkách jednotlivých exitů (ve stejné barvě) představují čas, kdy byla u exitu dosažena kritická koncentrace a evakuace tímto exitem již nebyla nadále možná. Osoby, které se v tento moment ještě nestačily evakuovat, jsou považovány za ztracené. Jejich počet odpovídá průniku evakuační křivky se svislým sloupcem znázorňujícím kritickou hodnotu škodlivin. V případě Exitu 1 tato situace nastane v čase 320 s (viz výše uživatelsky zadaný kritický čas pro Exit 1), kdy před exitem zůstává ještě 8 osob.

Obrázek 6-12 zobrazuje celou obrazovku modulu Evakuace, včetně celkového času potřebného k vyprázdnění tunelu („Celkový čas evakuace“) za předpokladu, že by vlivem kouře nedošlo k žádnému úmrtí (v tomto případě 466 s).



Obr. 6-12: Průběh evakuace pro exity vzdálené 150 m; u jednotlivých exitů jsou časy, kdy se tam vyskytne kritická koncentrace škodlivin

Po stisknutí „Další“ se přechází do koncového modulu Úmrtnost.

### Výpočet následků – počet usmrcených osob

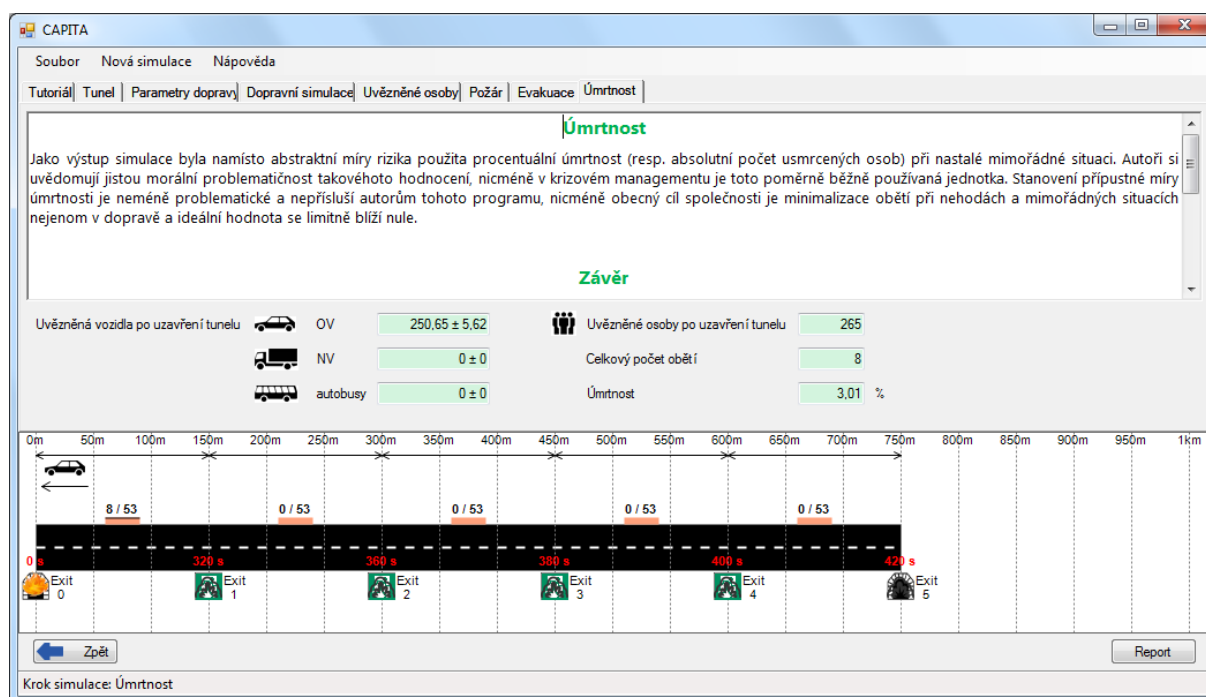
#### Úmrtnost

Obrazovka posledního kroku simulace (viz obrázek 6-13) stručně shrnuje výsledky simulace – celkové počty uvězněných vozidel a osob, čas evakuace a absolutní i relativní počet obětí.

Dále je možné vygenerovat souborný report ve formě XLS souboru, který obsahuje kompletní nastavení a výsledky simulace. Z výsledné obrazovky (viz obrázek 6-13) je tedy možné vyčíst všechny hodnoty daného scénáře analýzy rizik:

- v tunelu délky 750 metrů se zaplnily všechny 50 m úseky. Celkově skončilo v tunelu 251 +/- 6 vozidel;
- na začátku evakuace bylo v každém z úseků 53 osob (horní odhad). Celkově uvízlo v tunelu 265 osob;
- kritická hodnota škodlivin pro požár o výkonu 50 MW dosáhla prvního úseku za 320 s, druhého v 360 s atd.;
- osmi osobám se v prvním úseku nepodařilo dosáhnout Exitu v době do 320 s;
- mortalita je 8 osob, tj. 3 % z celkového počtu 265 původně uvězněných osob.

V této konfiguraci a s takto zadanými parametry je počet usmrcených osob nepřiměřeně vysoký a je nutné hledat řešení zvyšující bezpečnost osob.



Obr. 6-13: Výsledná obrazovka má formu shrnutí (simulační report) se základními vstupními parametry a výslednými hodnotami (počty vozidel, počty osob, evakuační doby, usmrcené osoby)

## 7 Literatura

- [1] Directive 54/2004/ES: Directive of the European parliament and of the council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network
- [2] CETU: Guide to Road Tunnel Safety Documentation, Booklet 3 – Risk analysis relating to dangerous goods transport, December 2005, pp 48
- [3] „Risk Evaluation – Current practice for Risk Evaluation for Road Tunnels“, ver. 01/2010, PIARC, C.4, WG2, 2010
- [4] Weidmann U., Transporttechnik der Fußgänger, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992
- [5] Ronchi, E., Pasquale, C., Capote, J., Alvear, D., Berloco, N., and Cuesta, A., The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analysis, Tunnelling and Underground Space technology, 30 (2012), 74-84.
- [6] Caliendo, C., Simulation of fire scenarios due to different vehicle types with and without traffic in a bi-directional road tunnel, Tunnelling and Underground Space Technology 37 (2013) 22–36, 2013
- [7] Ingason H., Zhen Li, Lonnermark A.: Tunnel Fire Dynamics, Springer, ISBN 978-1-4939-2198-0, str. 504
- [8] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty

## 8 Dopravní scénáře

Scénář č. 1 (SC 1): 1600; 0 %; 0 bus, 50 km/h

Segment sledovanéh o úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,50	0,50	0,00	0,00	14,50	14,50	15	29	15	30
100	16,70	0,78	0,00	0,00	15,20	29,70	31	62	32	64
150	16,70	0,78	0,00	0,00	13,30	43,00	48	96	49	98
200	16,90	0,70	0,00	0,00	13,90	56,90	65	130	66	132
250	16,70	0,64	0,00	0,00	15,90	72,80	82	163	83	166
300	16,90	0,70	0,00	0,00	12,20	85,00	98	197	100	201
350	16,90	0,54	0,00	0,00	11,90	96,90	115	231	118	235
400	16,80	0,60	0,00	0,00	15,00	111,90	132	264	135	269
450	16,90	0,70	0,00	0,00	15,10	127,00	149	298	152	304
500	16,90	0,54	0,00	0,00	14,30	141,30	166	332	169	338
550	16,60	0,66	0,00	0,00	14,30	155,60	183	365	186	372
600	17,00	0,89	0,00	0,00	14,50	170,10	200	399	204	407
650	17,20	0,60	0,00	0,00	14,70	184,80	217	433	221	442
700	16,40	0,49	0,00	0,00	15,30	200,10	233	466	238	475
750	17,10	0,54	0,00	0,00	14,80	214,90	250	500	255	510
800	16,90	0,30	0,00	0,00	14,40	229,30	267	534	272	544
850	16,80	0,40	0,00	0,00	15,60	244,90	284	568	289	578
900	16,87	0,80	0,00	0,00	16,10	261,00	301	602	306	613
950	17,02	0,75	0,00	0,00	15,50	276,50	318	636	324	648
1000	15,92	0,23	0,00	0,00	19,60	296,10	334	667	340	680
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,69</b>	<b>0,61</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>14,81</b>					

**Scénář č. 2 (SC 2): 800; 0 %; 0 bus, 50 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,40	0,49	0,00	0,00	29,40	29,40	14	29	15	29
100	16,60	0,49	0,00	0,00	29,20	58,60	31	62	31	63
150	16,40	0,66	0,00	0,00	33,40	92,00	47	95	48	96
200	16,60	0,66	0,00	0,00	33,10	125,10	64	128	65	130
250	16,60	0,92	0,00	0,00	33,80	158,90	81	161	82	164
300	16,80	0,75	0,00	0,00	26,80	185,70	97	195	99	199
350	16,80	0,87	0,00	0,00	27,90	213,60	114	228	117	233
400	16,40	0,49	0,00	0,00	35,60	249,20	131	261	133	267
450	16,80	0,75	0,00	0,00	34,50	283,70	147	295	150	301
500	16,60	0,49	0,00	0,00	34,40	318,10	164	328	167	335
550	16,60	0,49	0,00	0,00	34,30	352,40	181	361	184	368
600	16,60	0,49	0,00	0,00	25,50	377,90	197	394	201	402
650	16,60	0,66	0,00	0,00	36,40	414,30	214	428	218	436
700	16,40	0,49	0,00	0,00	33,40	447,70	230	460	235	469
750	16,80	0,75	0,00	0,00	34,40	482,10	247	494	252	503
800	16,40	0,66	0,00	0,00	34,10	516,20	263	527	268	537
850	16,70	0,46	0,00	0,00	36,70	552,90	280	560	285	571
900	16,70	0,64	0,00	0,00	33,00	585,90	297	594	302	605
950	16,30	0,46	0,00	0,00	32,50	618,40	313	626	319	638
1000	16,00	0,63	0,00	0,00	35,00	653,40	329	658	335	671
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,46</b>	<b>0,62</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>32,67</b>					

**Scénář č. 3 (SC 3): 160; 0 %; 0 bus, 50 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,10	0,30	0,00	0,00	138,30	138,30	14	28	14	29
100	16,40	0,49	0,00	0,00	165,30	303,60	31	61	31	62
150	16,10	0,54	0,00	0,00	180,20	483,80	47	93	47	95
200	16,50	0,50	0,00	0,00	181,10	664,90	63	126	64	128
250	16,40	0,49	0,00	0,00	170,40	835,30	80	159	81	161
300	16,20	0,40	0,00	0,00	152,40	987,70	96	191	97	194
350	16,30	0,46	0,00	0,00	157,20	1144,90	112	224	114	227
400	16,60	0,80	0,00	0,00	204,32	1349,22	129	257	131	261
450	16,30	0,46	0,00	0,00	157,28	1506,50	145	290	147	294
500	16,30	0,46	0,00	0,00	178,60	1685,10	161	322	164	327
550	16,20	0,40	0,00	0,00	180,40	1865,50	177	355	180	360
600	16,20	0,40	0,00	0,00	171,39	2036,89	194	387	196	393
650	16,50	0,50	0,00	0,00	171,01	2207,90	210	420	213	426
700	16,50	0,50	0,00	0,00	189,90	2397,80	227	453	230	460
750	16,20	0,60	0,00	0,00	168,20	2566,00	243	486	246	493
800	16,20	0,40	0,00	0,00	181,40	2747,40	259	518	263	526
850	16,80	0,60	0,00	0,00	190,00	2937,40	276	552	280	560
900	15,90	0,54	0,00	0,00	182,50	3119,90	292	583	296	592
950	16,40	0,66	0,00	0,00	173,80	3293,70	308	616	313	626
1000	16,00	0,77	0,00	0,00	179,90	3473,60	324	648	329	658
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,21</b>	<b>0,51</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>173,68</b>					

**Scénář č. 4 (SC 4): 1600; 0 %; 0 bus, 70 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,30	0,64	0,00	0,00	14,80	14,80	14	29	15	29
100	17,10	0,70	0,00	0,00	14,00	28,80	31	63	32	64
150	16,40	0,49	0,00	0,00	15,50	44,30	48	96	49	97
200	17,10	0,54	0,00	0,00	14,10	58,40	65	130	66	132
250	16,90	0,94	0,00	0,00	16,30	74,70	82	164	83	167
300	16,70	0,64	0,00	0,00	14,30	89,00	99	197	100	201
350	16,80	0,60	0,00	0,00	13,50	102,50	115	231	118	235
400	16,70	0,78	0,00	0,00	15,30	117,80	132	264	135	269
450	17,40	0,66	0,00	0,00	17,10	134,90	149	299	152	305
500	16,50	0,50	0,00	0,00	15,00	149,90	166	332	169	338
550	16,60	0,49	0,00	0,00	17,80	167,70	183	365	186	372
600	17,20	0,75	0,00	0,00	14,00	181,70	200	399	204	407
650	16,70	0,46	0,00	0,00	16,60	198,30	216	433	221	441
700	17,00	0,45	0,00	0,00	15,00	213,30	233	467	238	475
750	16,90	0,70	0,00	0,00	16,10	229,40	250	501	255	510
800	16,80	0,75	0,00	0,00	17,60	247,00	267	534	272	544
850	16,60	0,80	0,00	0,00	15,60	262,60	284	567	289	578
900	17,00	0,63	0,00	0,00	17,10	279,70	301	601	306	613
950	16,70	0,46	0,00	0,00	17,30	297,00	317	635	323	647
1000	16,39	0,78	0,00	0,00	19,50	316,50	334	668	340	680
Průměrná hodnota	16,69	0,64	0,00	0,00	15,83					

**Scénář č. 5 (SC 5): 800; 0 %; 0 bus, 70 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,30	0,46	0,00	0,00	29,90	29,90	14	29	15	29
100	16,60	0,66	0,00	0,00	30,30	60,20	31	62	31	63
150	16,70	0,78	0,00	0,00	35,80	96,00	48	95	49	97
200	16,40	0,80	0,00	0,00	32,00	128,00	64	128	65	131
250	16,70	0,78	0,00	0,00	31,70	159,70	81	161	82	165
300	16,70	0,78	0,00	0,00	30,20	189,90	97	195	100	199
350	16,50	0,50	0,00	0,00	31,70	221,60	114	228	116	233
400	16,50	0,50	0,00	0,00	38,40	260,00	130	261	133	266
450	16,90	0,83	0,00	0,00	30,80	290,80	147	295	150	301
500	16,80	0,87	0,00	0,00	36,10	326,90	164	328	168	335
550	16,40	0,49	0,00	0,00	34,60	361,50	181	361	184	368
600	16,50	0,50	0,00	0,00	25,90	387,40	197	394	201	402
650	17,00	0,63	0,00	0,00	41,80	429,20	214	428	218	437
700	16,50	0,50	0,00	0,00	31,60	460,80	231	461	235	470
750	16,30	0,46	0,00	0,00	35,30	496,10	247	494	252	503
800	16,80	0,75	0,00	0,00	38,50	534,60	264	527	269	538
850	16,30	0,46	0,00	0,00	32,60	567,20	280	560	285	571
900	16,80	0,75	0,00	0,00	39,30	606,50	297	593	302	605
950	16,70	0,64	0,00	0,00	32,10	638,60	313	627	319	639
1000	16,00	0,63	0,00	0,00	33,60	672,20	329	659	336	672
Průměrná hodnota	16,47	0,64	0,00	0,00	33,61					

**Scénář č. 6 (SC 6): 160; 0 %; 0 bus, 70 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,10	0,30	0,00	0,00	127,40	127,40	14	28	14	29
100	16,20	0,40	0,00	0,00	161,60	289,00	30	61	31	61
150	16,40	0,49	0,00	0,00	184,20	473,20	47	93	47	95
200	16,30	0,46	0,00	0,00	174,80	648,00	63	126	64	128
250	16,20	0,40	0,00	0,00	173,60	821,60	79	158	80	160
300	16,20	0,40	0,00	0,00	158,10	979,70	95	191	97	193
350	16,60	0,66	0,00	0,00	162,80	1142,50	112	224	114	227
400	16,30	0,46	0,00	0,00	179,50	1322,00	128	257	130	260
450	16,60	0,49	0,00	0,00	174,30	1496,30	145	290	147	294
500	16,20	0,40	0,00	0,00	183,40	1679,70	161	322	163	327
550	16,20	0,40	0,00	0,00	184,00	1863,70	177	355	180	359
600	16,30	0,46	0,00	0,00	168,63	2032,33	194	387	196	393
650	16,40	0,49	0,00	0,00	169,37	2201,70	210	420	213	426
700	16,00	0,45	0,00	0,00	188,20	2389,90	226	452	229	458
750	16,50	0,50	0,00	0,00	173,80	2563,70	243	485	246	492
800	16,30	0,64	0,00	0,00	179,20	2742,90	259	518	263	525
850	16,20	0,40	0,00	0,00	193,50	2936,40	275	550	279	558
900	16,40	0,80	0,00	0,00	179,00	3115,40	291	583	296	591
950	16,30	0,78	0,00	0,00	174,80	3290,20	308	615	312	625
1000	15,90	0,54	0,00	0,00	178,00	3468,20	324	647	329	657
Průměrná hodnota	16,18	0,50	0,00	0,00	173,41					

**Scénář č. 7 (SC 7): 1600; 0 %; 0 bus, 80 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,90	0,83	0,00	0,00	17,70	17,70	15	30	15	31
100	16,70	0,78	0,00	0,00	13,70	31,40	32	63	32	65
150	16,80	0,87	0,00	0,00	16,50	47,90	48	97	50	99
200	17,00	0,89	0,00	0,00	14,80	62,70	65	131	67	134
250	16,60	0,66	0,00	0,00	16,10	78,80	82	164	84	168
300	16,90	0,94	0,00	0,00	14,60	93,40	99	198	101	203
350	16,70	0,90	0,00	0,00	12,90	106,30	116	231	119	237
400	17,00	0,77	0,00	0,00	15,90	122,20	133	265	136	272
450	17,00	0,63	0,00	0,00	17,80	140,00	150	299	153	306
500	16,70	0,64	0,00	0,00	14,10	154,10	166	333	170	341
550	16,70	0,78	0,00	0,00	17,90	172,00	183	366	187	375
600	17,20	0,75	0,00	0,00	13,80	185,80	200	400	205	410
650	16,40	0,66	0,00	0,00	18,10	203,90	217	433	222	443
700	17,00	0,77	0,00	0,00	14,80	218,70	234	467	239	478
750	16,80	0,75	0,00	0,00	17,50	236,20	250	501	256	512
800	16,80	0,75	0,00	0,00	17,20	253,40	267	534	273	547
850	16,80	0,75	0,00	0,00	15,90	269,30	284	568	291	581
900	17,10	0,70	0,00	0,00	19,60	288,90	301	602	308	616
950	16,70	0,64	0,00	0,00	16,80	305,70	318	636	325	650
1000	16,46	0,55	0,00	0,00	17,80	323,50	334	669	342	684
Průměrná hodnota	16,71	0,75	0,00	0,00	16,18					



**Scénář č. 8 (SC 8): 1600; 10 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,20	1,54	1,60	0,92	15,50	15,50	14	2	15	28
100	13,50	1,63	1,60	1,02	13,00	28,50	29	30	31	59
150	13,30	1,85	1,80	1,08	13,40	41,90	44	59	48	90
200	13,70	2,45	1,70	1,27	13,70	55,60	59	88	65	122
250	13,30	2,15	1,60	1,11	13,80	69,40	74	116	82	153
300	14,20	1,72	1,30	0,78	14,70	84,10	90	146	99	184
350	13,60	1,80	1,60	1,02	11,40	95,50	105	174	115	216
400	13,80	1,08	1,60	0,49	15,00	110,50	120	204	131	246
450	13,60	2,50	1,50	1,02	13,60	124,10	136	232	148	278
500	14,50	1,63	1,50	1,12	15,30	139,40	152	263	166	310
550	13,20	1,83	1,50	0,92	13,00	152,40	166	291	182	341
600	13,10	1,70	1,90	1,04	15,10	167,50	181	319	198	371
650	14,30	2,53	1,30	1,00	12,80	180,30	197	349	215	404
700	13,00	1,84	2,00	1,10	14,00	194,30	212	377	232	434
750	12,30	2,28	2,10	1,22	15,80	210,10	226	403	248	464
800	14,00	1,90	1,70	1,00	11,80	221,90	242	433	265	496
850	13,60	1,69	1,40	0,92	15,20	237,10	257	462	281	527
900	13,60	2,29	1,70	1,19	15,60	252,70	272	491	299	559
950	12,80	2,23	1,90	1,37	16,80	269,50	287	518	315	589
1000	13,80	1,40	1,30	0,64	16,60	286,10	302	547	331	620
Průměrná hodnota	13,47	1,90	1,63	1,01	14,31					

**Scénář č. 9 (SC 9): 1600; 30 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	9,10	1,58	3,10	0,83	10,10	10,10	12	3	13	23
100	9,90	1,04	3,30	0,78	10,90	21,00	25	26	28	48
150	9,00	0,89	3,90	0,54	6,40	27,40	38	48	41	71
200	10,50	1,63	3,30	0,78	12,60	40,00	52	72	56	97
250	9,70	1,55	3,80	0,75	8,60	48,60	66	96	71	122
300	10,70	1,62	3,10	0,83	12,20	60,80	79	120	86	149
350	10,10	1,30	3,10	0,83	10,50	71,30	93	143	100	174
400	10,00	1,41	3,80	0,87	6,90	78,20	106	167	115	200
450	9,80	1,54	3,20	0,75	13,20	91,40	119	190	129	224
500	9,50	1,20	4,10	0,54	8,40	99,80	133	213	144	249
550	8,60	0,80	3,80	0,40	8,40	108,20	145	234	157	271
600	10,20	1,66	3,50	0,81	10,70	118,90	159	258	172	297
650	9,40	1,36	3,60	0,66	5,80	124,70	172	280	186	321
700	9,80	0,98	3,60	0,66	11,40	136,10	186	304	200	345
750	9,10	0,83	4,00	0,45	12,50	148,60	199	326	214	369
800	9,30	1,55	3,90	0,54	9,30	157,90	212	348	228	393
850	8,70	0,46	4,10	0,30	11,70	169,60	225	370	241	415
900	8,70	0,90	4,00	0,77	8,90	178,50	237	391	255	438
950	8,96	0,78	3,90	0,54	16,80	195,30	250	413	268	461
1000	8,06	0,33	4,00	0,00	12,50	207,80	262	433	280	481
Průměrná hodnota	9,46	1,17	3,66	0,63	10,39					

**Scénář č. 10 (SC 10): 800; 0 %; 0 bus, 80 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,30	0,64	0,00	0,00	30,30	30,30	14	29	15	29
100	16,90	0,70	0,00	0,00	29,30	59,60	31	62	32	64
150	16,60	0,80	0,00	0,00	38,60	98,20	48	96	49	98
200	16,60	0,66	0,00	0,00	32,10	130,30	64	129	66	132
250	16,70	0,64	0,00	0,00	31,80	162,10	81	162	83	166
300	16,50	0,67	0,00	0,00	29,80	191,90	98	195	100	199
350	16,80	0,60	0,00	0,00	32,90	224,80	114	229	117	234
400	16,50	0,50	0,00	0,00	34,60	259,40	131	262	134	267
450	16,90	0,70	0,00	0,00	35,30	294,70	148	296	151	302
500	16,60	0,66	0,00	0,00	35,70	330,40	164	329	168	335
550	16,20	0,40	0,00	0,00	34,00	364,40	181	361	184	368
600	16,80	0,60	0,00	0,00	28,10	392,50	197	395	201	402
650	16,70	0,78	0,00	0,00	42,10	434,60	214	428	218	437
700	16,60	0,66	0,00	0,00	30,90	465,50	231	461	235	470
750	16,40	0,66	0,00	0,00	37,70	503,20	247	494	252	504
800	17,00	0,63	0,00	0,00	37,00	540,20	264	528	269	539
850	16,40	0,49	0,00	0,00	35,00	575,20	281	561	286	572
900	16,20	0,40	0,00	0,00	36,40	611,60	297	593	302	605
950	16,90	0,54	0,00	0,00	34,40	646,00	314	627	319	639
1000	16,10	0,54	0,00	0,00	33,90	679,90	330	659	336	672
Průměrná hodnota	16,49	0,61	0,00	0,00	34,00					

**Scénář č. 11 (SC 11): 800; 10 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	11,70	1,62	1,30	0,78	27,10	27,10	13	1	14	27
100	12,70	1,73	1,70	1,00	24,20	51,30	27	28	30	56
150	12,50	2,33	2,00	1,18	31,30	82,60	42	55	46	86
200	13,30	2,19	1,30	0,90	29,50	112,10	57	83	62	117
250	12,90	1,76	1,50	0,81	30,20	142,30	71	111	78	146
300	13,40	1,80	1,30	0,90	24,50	166,80	86	139	94	176
350	13,00	1,10	1,70	0,64	27,70	194,50	100	166	110	205
400	13,20	1,54	1,40	0,66	31,60	226,10	115	194	125	235
450	13,70	2,37	1,40	1,11	29,30	255,40	130	223	142	267
500	13,30	1,79	1,40	0,92	32,40	287,80	145	251	158	297
550	12,90	1,76	1,60	0,92	25,00	312,80	159	278	174	327
600	13,10	2,39	1,60	1,02	31,10	343,90	174	306	191	357
650	12,90	1,97	1,70	0,90	29,80	373,70	189	334	207	387
700	12,00	2,00	1,90	0,83	26,60	400,30	202	360	222	416
750	12,60	3,07	1,70	1,49	32,80	433,10	217	387	238	446
800	12,80	2,99	1,70	1,27	26,79	459,89	231	414	255	477
850	11,90	2,21	2,10	1,04	33,81	493,70	245	440	271	506
900	13,70	1,68	1,30	0,78	32,00	525,70	260	468	287	537
950	13,10	2,39	1,50	1,12	33,20	558,90	275	496	303	567
1000	12,60	2,24	1,50	1,28	24,00	582,90	289	523	319	597
Průměrná hodnota	12,87	2,05	1,58	0,98	29,15					

**Scénář č.12 (SC 12): 800; 30 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	8,40	1,28	3,10	0,83	18,80	18,80	12	3	13	22
100	9,10	0,70	3,10	0,54	24,00	42,80	24	24	25	44
150	9,00	0,63	3,30	0,64	8,80	51,60	36	46	38	66
200	9,10	1,58	3,30	0,78	26,40	78,00	48	67	52	90
250	9,50	1,20	3,10	0,54	19,70	97,70	61	89	65	113
300	9,10	1,14	3,30	0,64	25,40	123,10	73	111	79	136
350	8,50	0,67	3,30	0,46	16,80	139,90	85	131	91	157
400	9,30	1,00	3,60	0,49	22,90	162,80	98	153	105	181
450	9,30	2,15	3,20	0,98	21,70	184,50	111	175	119	205
500	8,80	0,60	3,20	0,40	14,00	198,50	123	196	131	227
550	8,90	0,70	3,60	0,49	25,40	223,90	135	217	144	249
600	8,60	1,02	3,30	0,64	19,50	243,40	147	238	157	271
650	8,60	1,02	3,70	0,46	19,50	262,90	159	259	170	293
700	8,30	0,46	3,50	0,50	19,60	282,50	171	279	182	314
750	8,90	0,54	3,50	0,50	29,90	312,40	184	300	195	336
800	8,40	0,49	3,40	0,49	19,70	332,10	195	320	208	357
850	8,60	0,66	3,70	0,46	25,50	357,60	208	341	220	379
900	8,30	0,46	3,70	0,46	22,50	380,10	220	362	233	400
950	8,60	0,92	3,40	0,49	25,90	406,00	232	382	246	422
1000	8,10	0,30	3,50	0,50	16,30	422,30	243	402	258	442
Průměrná hodnota	8,77	0,88	3,39	0,56	21,12					

**Scénář č. 13 (SC 13): 160; 0 %; 0 bus, 80 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,10	0,30	0,00	0,00	127,40	127,40	14	28	14	29
100	16,30	0,46	0,00	0,00	163,60	291,00	30	61	31	62
150	16,40	0,49	0,00	0,00	182,60	473,60	47	94	47	95
200	16,40	0,66	0,00	0,00	181,70	655,30	63	126	64	128
250	16,10	0,70	0,00	0,00	171,60	826,90	79	159	81	161
300	16,80	0,75	0,00	0,00	148,40	975,30	96	192	98	196
350	16,10	0,54	0,00	0,00	157,00	1132,30	112	224	114	228
400	16,00	0,45	0,00	0,00	191,80	1324,10	128	256	130	261
450	16,60	0,66	0,00	0,00	185,10	1509,20	145	290	147	295
500	16,20	0,40	0,00	0,00	172,10	1681,30	161	322	164	327
550	16,50	0,50	0,00	0,00	186,90	1868,20	178	355	180	361
600	16,20	0,40	0,00	0,00	155,90	2024,10	194	387	197	394
650	16,40	0,49	0,00	0,00	177,00	2201,10	210	420	214	427
700	16,10	0,54	0,00	0,00	191,60	2392,70	226	452	230	460
750	16,30	0,46	0,00	0,00	175,50	2568,20	243	485	246	493
800	16,20	0,40	0,00	0,00	176,90	2745,10	259	517	263	526
850	16,60	0,80	0,00	0,00	203,80	2948,90	275	551	280	560
900	16,10	0,83	0,00	0,00	174,00	3122,90	291	583	296	593
950	16,10	0,54	0,00	0,00	172,50	3295,40	308	615	313	625
1000	16,10	0,30	0,00	0,00	173,70	3469,10	324	647	329	658
Průměrná hodnota	16,18	0,53	0,00	0,00	173,46					

**Scénář č. 14 (SC 14): 160; 10 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	11,60	1,43	1,30	0,78	112,50	112,50	13	1	14	26
100	12,70	1,90	1,50	0,81	146,70	259,20	27	28	30	56
150	11,90	2,07	2,00	1,00	163,40	422,60	41	54	45	84
200	13,50	2,20	1,10	1,14	138,60	561,20	56	82	61	115
250	12,60	1,56	1,80	0,75	148,00	709,20	70	109	77	144
300	13,20	1,47	1,30	0,78	158,80	868,00	85	137	92	173
350	12,80	1,17	1,60	0,66	132,90	1000,90	99	164	108	202
400	12,90	1,81	1,30	0,64	148,80	1149,70	113	191	123	231
450	13,00	2,05	1,50	0,92	138,60	1288,30	128	219	139	261
500	13,90	1,22	1,30	0,64	202,20	1490,50	143	248	155	292
550	12,40	2,01	1,70	0,90	110,70	1601,20	157	274	171	321
600	12,70	1,90	1,50	1,02	183,30	1784,50	171	301	187	350
650	12,70	2,41	1,70	1,00	154,40	1938,90	186	328	203	380
700	12,80	2,56	1,60	1,02	133,40	2072,30	200	355	219	410
750	12,20	2,68	1,80	1,17	174,00	2246,30	214	382	235	440
800	12,20	2,56	2,00	1,10	155,30	2401,60	228	408	251	469
850	12,10	1,64	1,70	0,78	148,60	2550,20	242	434	266	497
900	13,40	1,96	1,30	0,90	172,50	2722,70	257	462	282	528
950	12,40	2,80	1,50	1,12	159,10	2881,80	271	488	298	557
1000	12,20	2,36	1,60	1,02	143,60	3025,40	284	514	313	586
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>12,66</b>	<b>1,99</b>	<b>1,56</b>	<b>0,91</b>	<b>151,27</b>					

**Scénář č. 15 (SC 15): 160; 30 %; 0 bus, 80 km/h, NA pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	8,40	1,28	3,10	0,83	88,00	88,00	12	3	13	22
100	9,10	0,70	3,10	0,54	119,40	207,40	24	24	25	44
150	9,00	0,63	3,30	0,64	55,50	262,90	36	46	38	66
200	9,10	1,58	3,30	0,78	148,60	411,50	48	67	52	90
250	9,50	1,20	3,10	0,54	124,10	535,60	61	89	65	113
300	9,10	1,14	3,30	0,64	124,18	659,78	73	111	79	136
350	8,50	0,67	3,30	0,46	110,92	770,70	85	131	91	157
400	9,30	1,00	3,60	0,49	81,10	851,80	98	153	105	181
450	9,30	2,15	3,20	0,98	144,50	996,30	111	175	119	205
500	8,80	0,60	3,20	0,40	81,40	1077,70	123	196	131	227
550	8,90	0,70	3,60	0,49	85,00	1162,70	135	217	144	249
600	8,60	1,02	3,30	0,64	136,60	1299,30	147	238	157	271
650	8,60	1,02	3,70	0,46	124,50	1423,80	159	259	170	293
700	8,30	0,46	3,50	0,50	103,20	1527,00	171	279	182	314
750	8,90	0,54	3,50	0,50	151,00	1678,00	184	300	195	336
800	8,40	0,49	3,40	0,49	149,00	1827,00	195	320	208	357
850	8,60	0,66	3,70	0,46	102,30	1929,30	208	341	220	379
900	8,30	0,46	3,70	0,46	89,60	2018,90	220	362	233	400
950	8,60	0,92	3,40	0,49	205,10	2224,00	232	382	246	422
1000	8,10	0,30	3,50	0,50	75,44	2299,44	243	402	258	442
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>8,77</b>	<b>0,88</b>	<b>3,39</b>	<b>0,56</b>	<b>114,97</b>					

**Scénář č. 16 (SC 16): 1600; 0 %; 0 bus, 100 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná á odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,70	0,78	0,00	0,00	16,20	16,20	15	29	15	30
100	16,60	0,66	0,00	0,00	15,00	31,20	31	63	32	64
150	17,00	0,89	0,00	0,00	14,80	46,00	48	97	49	99
200	16,70	0,78	0,00	0,00	15,70	61,70	65	130	67	133
250	16,70	0,78	0,00	0,00	17,20	78,90	82	163	84	167
300	17,00	0,77	0,00	0,00	13,50	92,40	99	197	101	202
350	16,70	0,78	0,00	0,00	14,40	106,80	115	231	118	236
400	16,80	0,60	0,00	0,00	16,90	123,70	132	264	135	270
450	17,00	0,45	0,00	0,00	18,50	142,20	149	298	152	305
500	17,00	0,63	0,00	0,00	15,40	157,60	166	332	170	340
550	16,70	0,90	0,00	0,00	16,30	173,90	183	366	187	374
600	16,50	0,50	0,00	0,00	13,80	187,70	199	399	204	407
650	17,10	0,70	0,00	0,00	16,60	204,30	217	433	221	442
700	16,70	0,64	0,00	0,00	17,40	221,70	233	466	238	476
750	17,00	0,63	0,00	0,00	17,30	239,00	250	500	255	511
800	16,80	0,75	0,00	0,00	18,80	257,80	267	534	273	545
850	16,80	0,60	0,00	0,00	18,40	276,20	284	568	290	579
900	17,10	0,54	0,00	0,00	19,80	296,00	301	602	307	614
950	16,60	0,49	0,00	0,00	15,90	311,90	318	635	324	648
1000	16,20	0,40	0,00	0,00	19,60	331,50	334	667	340	681
Průměrná hodnota	16,69	0,66	0,00	0,00	16,58					

**Scénář č. 17 (SC 17): 1600; 10 %; 0 bus, OA 80 km/h, NA 100 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,00	1,41	1,22	0,92	14,40	14,40	13	1	14	27
100	13,44	2,31	1,78	1,31	16,50	30,90	28	30	31	59
150	12,33	1,70	2,00	0,82	11,90	42,80	43	57	47	88
200	14,78	1,81	1,11	0,87	14,70	57,50	59	87	64	120
250	13,78	1,69	1,67	0,67	14,60	72,10	74	116	81	152
300	13,33	2,11	1,78	1,31	15,40	87,50	89	145	98	183
350	13,67	1,49	1,56	1,07	11,60	99,10	104	174	114	214
400	13,33	1,25	1,67	0,47	14,40	113,50	119	202	130	244
450	14,22	2,15	1,56	1,07	13,40	126,90	135	232	147	276
500	13,67	1,70	1,56	1,07	14,60	141,50	150	261	164	307
550	13,44	1,42	1,56	0,68	15,30	156,80	165	289	180	338
600	13,00	2,54	2,00	1,15	14,70	171,50	180	317	197	369
650	13,44	2,17	1,78	1,13	12,60	184,10	196	346	214	400
700	13,78	2,10	1,56	1,07	15,80	199,90	211	375	231	432
750	13,33	2,05	2,00	1,05	15,90	215,80	226	404	248	463
800	12,78	1,62	1,67	0,67	12,20	228,00	241	431	263	492
850	14,33	1,83	1,22	0,92	16,30	244,30	256	461	280	524
900	13,78	2,25	1,56	1,26	16,60	260,90	272	490	297	556
950	13,22	2,15	1,67	1,25	14,40	275,30	287	518	314	587
1000	14,00	1,05	1,44	0,68	21,10	296,40	302	548	330	618
Průměrná hodnota	13,48	1,84	1,62	0,97	14,82					

**Scénář č. 18 (SC 18): 1600; 30 %; 0 bus, OA 80 km/h, NA 100 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	9,11	1,20	3,00	0,67	13,80	13,80	12	3	13	23
100	9,56	0,83	3,67	0,67	11,60	25,40	25	26	27	47
150	8,78	0,63	3,89	0,31	7,50	32,90	38	47	40	69
200	10,00	1,33	3,56	0,83	16,60	49,50	52	71	55	94
250	9,33	1,83	3,89	0,87	5,30	54,80	65	93	69	119
300	9,22	1,31	3,56	0,96	13,30	68,10	78	115	83	143
350	9,33	1,49	3,78	0,79	9,20	77,30	91	138	98	167
400	9,44	1,50	3,67	0,82	8,80	86,10	104	160	112	192
450	8,89	0,57	4,00	0,47	12,20	98,30	117	182	125	214
500	9,44	0,83	4,00	0,47	8,70	107,00	130	205	139	238
550	9,22	1,13	3,56	0,68	10,00	117,00	143	227	153	262
600	9,33	0,82	3,78	0,63	11,40	128,40	156	249	167	285
650	9,00	1,05	4,00	0,47	8,50	136,90	169	271	181	309
700	9,33	1,05	3,67	0,82	14,80	151,70	182	294	195	332
750	9,67	2,00	3,56	0,96	9,10	160,80	195	317	209	358
800	9,00	1,33	4,11	0,74	13,90	174,70	208	339	223	381
850	8,89	0,87	4,22	0,63	6,20	180,90	221	361	237	405
900	9,33	1,56	3,78	0,79	17,80	198,70	235	383	252	429
950	8,44	0,68	3,78	0,42	8,00	206,70	247	404	264	451
1000	8,56	0,68	4,00	0,00	10,10	216,80	259	425	277	472
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>9,19</b>	<b>1,14</b>	<b>3,77</b>	<b>0,65</b>	<b>10,84</b>					

**Scénář č. 19 (SC 19): 800; 0 %; 0 bus, 100 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,40	0,49	0,00	0,00	25,30	25,30	14	29	15	29
100	16,60	0,66	0,00	0,00	32,20	57,50	31	62	32	63
150	16,70	0,78	0,00	0,00	37,60	95,10	48	95	49	97
200	16,60	0,66	0,00	0,00	33,50	128,60	64	129	66	131
250	16,50	0,50	0,00	0,00	32,50	161,10	81	162	82	165
300	16,60	0,66	0,00	0,00	28,90	190,00	97	195	99	199
350	16,80	0,60	0,00	0,00	34,90	224,90	114	228	116	233
400	16,60	0,80	0,00	0,00	36,50	261,40	131	262	133	267
450	16,60	0,66	0,00	0,00	34,60	296,00	147	295	150	301
500	16,80	0,60	0,00	0,00	39,50	335,50	164	328	167	335
550	16,20	0,40	0,00	0,00	30,30	365,80	180	361	184	368
600	17,10	0,54	0,00	0,00	30,50	396,30	198	395	201	402
650	16,50	0,50	0,00	0,00	41,90	438,20	214	428	218	436
700	16,40	0,49	0,00	0,00	32,10	470,30	230	461	235	469
750	16,40	0,49	0,00	0,00	38,90	509,20	247	494	251	502
800	16,70	0,78	0,00	0,00	37,10	546,30	264	527	268	537
850	16,80	0,60	0,00	0,00	35,30	581,60	280	561	285	571
900	16,40	0,66	0,00	0,00	36,70	618,30	297	593	302	604
950	16,80	0,87	0,00	0,00	32,50	650,80	314	627	319	639
1000	16,10	0,54	0,00	0,00	32,50	683,30	330	659	336	672
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,48</b>	<b>0,61</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>34,17</b>					

**Scénář č. 20 (SC 20): 800; 10 %; 0 bus, 100 km/h, NA 80 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	11,80	1,72	1,30	0,90	23,20	23,20	13	1	14	27
100	12,50	2,01	1,60	0,80	30,30	53,50	27	28	30	56
150	12,30	2,24	2,00	1,26	27,20	80,70	42	55	46	86
200	13,90	1,58	1,00	0,89	30,40	111,10	56	83	62	116
250	12,30	1,62	2,00	0,63	31,00	142,10	71	110	78	145
300	13,90	1,30	1,20	0,60	27,60	169,70	86	139	94	176
350	13,10	1,45	1,60	0,92	25,50	195,20	101	167	109	205
400	13,00	2,05	1,50	0,67	28,80	224,00	115	194	125	235
450	13,20	2,60	1,60	1,20	32,80	256,80	130	222	142	266
500	13,80	1,33	1,20	0,75	31,50	288,30	145	251	158	297
550	12,50	2,33	1,70	1,10	28,30	316,60	159	278	174	326
600	13,20	2,04	1,70	1,10	31,00	347,60	174	306	190	357
650	13,00	1,73	1,50	0,81	27,80	375,40	188	333	206	387
700	12,00	2,41	2,10	1,04	23,60	399,00	203	359	222	416
750	12,40	2,65	1,60	1,02	40,10	439,10	217	386	238	445
800	12,80	2,36	1,70	1,27	28,00	467,10	231	413	254	476
850	12,50	2,06	1,80	1,08	31,70	498,80	245	440	270	505
900	13,30	2,19	1,50	1,02	30,80	529,60	260	468	286	536
950	13,30	2,41	1,50	0,92	32,30	561,90	275	496	303	567
1000	12,20	2,40	1,60	0,92	30,10	592,00	289	522	318	596
Průměrná hodnota	12,85	2,02	1,59	0,95	29,60					

**Scénář č. 21 (SC 21): 800; 30 %; 0 bus, 100 km/h, NA 80 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	8,40	1,43	2,90	0,70	20,78	20,78	11	3	12	21
100	9,20	0,75	3,10	0,70	22,92	43,70	24	24	25	44
150	9,00	0,63	3,60	0,49	16,50	60,20	36	46	39	67
200	9,10	1,92	3,10	1,04	18,50	78,70	48	67	52	90
250	9,00	1,00	3,50	0,67	21,70	100,40	61	89	66	113
300	9,10	1,14	3,10	0,54	27,50	127,90	73	110	79	136
350	9,10	0,94	3,40	0,66	14,20	142,10	86	132	92	159
400	8,80	0,98	3,60	0,49	23,10	165,20	98	153	105	181
450	9,30	1,68	2,90	0,83	25,00	190,20	110	174	118	205
500	8,60	0,49	3,70	0,46	14,20	204,40	123	195	131	226
550	8,50	0,92	3,60	0,49	22,20	226,60	135	216	144	248
600	8,50	0,50	3,40	0,49	16,90	243,50	147	236	156	269
650	9,10	1,45	3,50	0,67	22,70	266,20	159	258	170	293
700	8,00	0,00	3,70	0,46	21,00	287,20	171	278	182	313
750	8,40	0,49	3,50	0,50	24,40	311,60	183	298	194	334
800	8,70	0,64	3,70	0,46	29,60	341,20	195	319	207	356
850	8,30	0,64	3,30	0,46	22,20	363,40	207	339	220	376
900	8,20	0,40	3,70	0,46	13,82	377,22	219	359	232	397
950	8,80	1,33	3,50	0,67	33,98	411,20	231	380	245	420
1000	8,30	0,46	3,40	0,49	17,10	428,30	243	400	257	441
Průměrná hodnota	8,72	0,89	3,41	0,59	21,42					



**Scénář č. 22 (SC 22): 160; 0 %; 0 bus, 100 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	14,10	0,30	0,00	0,00	129,90	129,90	14	28	14	29
100	16,40	0,49	0,00	0,00	162,50	292,40	31	61	31	62
150	16,10	0,54	0,00	0,00	181,60	474,00	47	93	47	95
200	16,60	0,66	0,00	0,00	180,60	654,60	63	126	64	128
250	16,20	0,87	0,00	0,00	176,00	830,60	79	159	81	162
300	16,40	0,66	0,00	0,00	150,00	980,60	96	192	98	195
350	16,30	0,78	0,00	0,00	165,20	1145,80	112	224	114	229
400	16,40	0,49	0,00	0,00	183,50	1329,30	129	257	131	262
450	16,40	0,49	0,00	0,00	181,90	1511,20	145	290	148	295
500	16,30	0,46	0,00	0,00	178,20	1689,40	161	322	164	328
550	16,10	0,54	0,00	0,00	178,10	1867,50	177	355	180	361
600	16,40	0,49	0,00	0,00	167,70	2035,20	194	387	197	394
650	16,10	0,54	0,00	0,00	177,10	2212,30	210	420	213	427
700	16,40	0,49	0,00	0,00	185,60	2397,90	226	452	230	460
750	16,70	0,46	0,00	0,00	184,60	2582,50	243	486	247	494
800	16,20	0,60	0,00	0,00	186,10	2768,60	259	518	264	527
850	16,30	0,46	0,00	0,00	188,60	2957,20	275	551	280	560
900	16,30	0,64	0,00	0,00	174,90	3132,10	292	583	297	593
950	16,40	0,66	0,00	0,00	180,60	3312,70	308	616	313	627
1000	15,70	0,46	0,00	0,00	172,40	3485,10	324	648	329	659
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,19</b>	<b>0,55</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>174,26</b>					

**Scénář č. 23 (SC 23): 160; 10 %; 0 bus, 100 km/h, NA 80 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	11,90	1,30	1,10	0,70	116,50	116,50	13	1	14	27
100	12,70	2,05	1,60	0,92	148,90	265,40	27	28	30	56
150	11,70	2,33	2,00	1,00	151,60	417,00	41	54	45	84
200	13,80	2,09	1,10	0,83	150,70	567,70	56	82	62	115
250	12,80	1,94	1,70	0,78	160,80	728,50	70	110	77	145
300	12,90	1,92	1,50	0,92	146,60	875,10	85	137	93	175
350	12,80	1,17	1,50	0,50	138,40	1013,50	99	164	108	203
400	12,90	1,97	1,40	0,66	146,20	1159,70	113	191	124	233
450	13,10	1,92	1,50	0,92	138,60	1298,30	128	219	140	263
500	13,80	1,78	1,20	0,60	204,80	1503,10	143	248	156	294
550	11,90	2,39	1,90	1,14	107,40	1610,50	157	273	172	322
600	13,20	2,09	1,40	0,80	193,30	1803,80	171	301	188	353
650	12,70	2,19	1,50	1,02	138,30	1942,10	186	328	204	382
700	12,40	2,37	1,80	1,08	126,80	2068,90	200	355	219	412
750	12,30	2,57	1,90	1,37	184,50	2253,40	214	381	236	442
800	11,90	2,59	1,80	0,98	152,60	2406,00	228	407	251	470
850	12,10	1,81	1,80	0,75	152,50	2558,50	242	433	266	498
900	13,70	1,73	1,20	0,87	172,10	2730,60	257	461	283	529
950	12,10	2,55	1,60	1,20	156,30	2886,90	270	487	298	558
1000	12,60	2,42	1,70	1,19	150,80	3037,70	285	514	314	588
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>12,67</b>	<b>2,06</b>	<b>1,56</b>	<b>0,91</b>	<b>151,89</b>					



**Scénář č. 24 (SC 24): 160; 30 %; 0 bus, 100 km/h, NA 80 km/h pouze pravý j.p.**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota NV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro NV	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	9,10	1,70	2,60	0,92	79,20	79,20	12	3	13	23
100	8,80	0,98	3,20	0,60	126,20	205,40	24	23	26	45
150	8,30	0,46	3,50	0,50	73,20	278,60	36	44	38	66
200	9,30	1,42	3,20	0,75	124,20	402,80	48	65	52	89
250	8,80	1,25	3,40	0,66	132,30	535,10	60	86	65	112
300	8,60	1,02	3,20	0,60	107,40	642,50	72	107	77	134
350	8,90	0,94	3,30	0,64	108,90	751,40	84	128	90	156
400	8,70	1,10	3,30	0,46	103,30	854,70	96	149	103	178
450	9,10	1,76	3,40	1,02	135,10	989,80	109	170	117	202
500	8,30	0,46	3,40	0,49	79,50	1069,30	120	190	129	223
550	8,30	0,46	3,70	0,46	96,80	1166,10	132	210	142	244
600	8,10	0,30	3,70	0,46	137,10	1303,20	144	230	154	264
650	8,20	0,40	3,30	0,46	114,20	1417,40	156	250	166	284
700	8,20	0,40	3,80	0,40	145,00	1562,40	168	270	178	305
750	8,10	0,30	3,40	0,49	118,20	1680,60	179	290	190	325
800	8,60	0,66	3,50	0,50	142,80	1823,40	191	311	203	347
850	8,60	1,02	3,50	0,50	95,60	1919,00	203	331	216	369
900	8,10	0,54	3,50	0,50	105,70	2024,70	215	351	228	389
950	9,00	2,05	3,40	0,92	154,20	2178,90	227	372	242	413
1000	8,00	0,89	3,20	0,60	215,40	2394,30	239	392	254	434
Průměrná hodnota	8,56	0,91	3,38	0,60	119,72					

**Scénář č. 25 (SC 25): 1600; 0 %; 1 bus, 50 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,10	0,30	1,00	0,00	12,40	12,40	42	54	42	55
100	17,10	0,54	0,00	0,00	14,70	27,10	59	88	60	89
150	16,60	0,49	0,00	0,00	13,70	40,80	76	122	76	123
200	16,80	0,60	0,00	0,00	14,00	54,80	93	155	94	157
250	16,80	0,40	0,00	0,00	13,50	68,30	109	189	111	191
300	16,90	0,70	0,00	0,00	14,10	82,40	126	223	128	226
350	16,90	0,70	0,00	0,00	12,40	94,80	143	256	145	260
400	16,90	0,70	0,00	0,00	13,20	108,00	160	290	162	295
450	16,70	0,78	0,00	0,00	16,10	124,10	177	324	179	329
500	17,20	0,60	0,00	0,00	15,30	139,40	194	358	197	364
550	16,70	0,90	0,00	0,00	15,60	155,00	211	391	214	398
600	16,80	0,60	0,00	0,00	13,00	168,00	228	425	231	432
650	16,90	0,54	0,00	0,00	13,70	181,70	244	459	248	467
700	16,70	0,46	0,00	0,00	16,30	198,00	261	492	265	501
750	16,80	0,60	0,00	0,00	14,20	212,20	278	526	282	535
800	17,00	0,77	0,00	0,00	14,30	226,50	295	560	300	569
850	16,80	0,60	0,00	0,00	16,90	243,40	312	593	317	604
900	16,70	0,64	0,00	0,00	13,50	256,90	328	627	334	638
950	16,94	0,66	0,00	0,00	17,40	274,30	345	661	351	672
1000	16,28	0,47	0,00	0,00	19,60	293,90	362	693	368	705
Průměrná hodnota	16,58	0,60	0,05	0,00	14,70					

**Scénář č. 26 (SC 26): 1600; 0 %; 1 bus, 50 km/h, 3 JP**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	20,60	1,02	1,00	0,00	10,90	10,90	51	71	51	72
100	24,40	1,02	0,00	0,00	14,40	25,30	75	120	76	122
150	25,20	1,08	0,00	0,00	13,20	38,50	100	170	102	174
200	25,20	1,25	0,00	0,00	16,50	55,00	125	221	128	225
250	25,50	0,81	0,00	0,00	15,00	70,00	151	272	153	277
300	25,10	0,83	0,00	0,00	13,00	83,00	176	322	179	328
350	25,20	0,87	0,00	0,00	12,50	95,50	201	372	205	379
400	25,30	1,00	0,00	0,00	15,70	111,20	227	423	230	431
450	25,10	1,04	0,00	0,00	17,00	128,20	252	473	256	482
500	25,70	1,27	0,00	0,00	15,50	143,70	277	525	282	535
550	24,80	0,75	0,00	0,00	14,60	158,30	302	574	308	585
600	25,10	0,70	0,00	0,00	13,10	171,40	327	624	333	636
650	25,30	0,90	0,00	0,00	14,90	186,30	353	675	359	688
700	25,20	0,87	0,00	0,00	13,40	199,70	378	725	384	739
750	25,30	0,78	0,00	0,00	15,90	215,60	403	776	410	790
800	25,10	0,70	0,00	0,00	15,60	231,20	428	826	436	841
850	25,40	0,66	0,00	0,00	13,90	245,10	454	877	461	893
900	25,00	0,77	0,00	0,00	15,80	260,90	479	927	487	943
950	25,80	1,08	0,00	0,00	18,40	279,30	504	979	513	996
1000	24,53	0,93	0,00	0,00	19,10	298,40	529	1028	538	1046
Průměrná hodnota	24,94	0,92	0,05	0,00	14,92					

**Scénář č. 27 (SC 27): 1600; 0 %; 1 bus, 70 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,20	0,40	1,00	0,00	12,40	12,40	42	54	42	55
100	16,80	0,75	0,00	0,00	16,10	28,50	59	88	60	89
150	17,00	0,63	0,00	0,00	13,90	42,40	76	122	77	124
200	16,60	0,66	0,00	0,00	15,60	58,00	93	155	94	158
250	16,90	0,83	0,00	0,00	14,20	72,20	110	189	111	192
300	16,70	0,78	0,00	0,00	15,30	87,50	126	222	128	226
350	17,00	0,77	0,00	0,00	12,70	100,20	143	256	146	261
400	16,40	0,49	0,00	0,00	16,30	116,50	160	289	162	295
450	17,40	0,66	0,00	0,00	17,30	133,80	177	324	180	330
500	16,70	0,78	0,00	0,00	15,90	149,70	194	357	197	364
550	16,80	0,75	0,00	0,00	15,70	165,40	211	391	214	399
600	16,70	0,78	0,00	0,00	14,60	180,00	227	424	231	433
650	16,90	0,83	0,00	0,00	15,40	195,40	244	458	249	467
700	17,00	0,89	0,00	0,00	15,90	211,30	261	492	266	502
750	16,60	0,66	0,00	0,00	16,20	227,50	278	525	283	536
800	16,90	0,54	0,00	0,00	16,80	244,30	295	559	300	570
850	16,90	0,54	0,00	0,00	16,80	261,10	312	593	317	605
900	17,00	0,45	0,00	0,00	16,50	277,60	329	627	335	639
950	16,40	0,49	0,00	0,00	17,40	295,00	345	660	351	673
1000	16,50	0,67	0,00	0,00	18,60	313,60	361	693	368	706
Průměrná hodnota	16,57	0,67	0,05	0,00	15,68					

**Scénář č. 28 (SC 28): 1600; 0 %; 1 bus, 70 km/h, 3JP**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	20,00	0,89	1,00	0,00	11,00	11,00	50	70	50	71
100	24,60	0,66	0,00	0,00	16,30	27,30	75	119	75	121
150	25,40	0,80	0,00	0,00	15,30	42,60	100	170	101	172
200	25,40	0,66	0,00	0,00	15,30	57,90	125	221	127	224
250	24,90	0,83	0,00	0,00	15,10	73,00	150	271	152	274
300	25,50	0,81	0,00	0,00	14,80	87,80	176	322	178	326
350	25,10	0,83	0,00	0,00	14,50	102,30	201	372	204	377
400	25,30	0,46	0,00	0,00	17,50	119,80	226	422	229	428
450	25,50	0,92	0,00	0,00	17,00	136,80	252	473	255	480
500	25,20	0,87	0,00	0,00	17,40	154,20	277	524	281	532
550	25,10	0,83	0,00	0,00	14,90	169,10	302	574	306	583
600	25,10	0,70	0,00	0,00	12,30	181,40	327	624	332	633
650	25,20	0,75	0,00	0,00	18,00	199,40	352	675	357	685
700	25,30	0,90	0,00	0,00	17,00	216,40	378	725	383	736
750	25,20	0,60	0,00	0,00	16,80	233,20	403	776	409	787
800	25,30	0,90	0,00	0,00	15,20	248,40	428	826	434	839
850	25,10	0,83	0,00	0,00	16,60	265,00	453	876	460	890
900	25,40	0,80	0,00	0,00	16,30	281,30	479	927	486	941
950	25,00	0,77	0,00	0,00	19,30	300,60	504	977	511	992
1000	24,50	0,92	0,00	0,00	17,00	317,60	528	1026	536	1042
Průměrná hodnota	24,91	0,79	0,05	0,00	15,88					

**Scénář č. 29 (SC 29): 1600; 0 %; 1 bus, 80 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,40	0,49	1,00	0,00	13,40	13,40	42	55	43	55
100	17,00	0,77	0,00	0,00	15,70	29,10	59	89	60	90
150	16,70	0,78	0,00	0,00	16,00	45,10	76	122	77	124
200	16,90	0,70	0,00	0,00	15,80	60,90	93	156	94	159
250	16,80	0,60	0,00	0,00	14,10	75,00	110	190	111	193
300	16,70	0,46	0,00	0,00	15,70	90,70	127	223	128	227
350	17,00	0,77	0,00	0,00	14,20	104,90	144	257	146	262
400	16,70	0,64	0,00	0,00	14,10	119,00	160	290	163	296
450	16,90	0,54	0,00	0,00	17,90	136,90	177	324	180	330
500	17,00	0,63	0,00	0,00	15,90	152,80	194	358	197	365
550	16,80	0,60	0,00	0,00	17,20	170,00	211	392	214	399
600	16,80	0,60	0,00	0,00	14,00	184,00	228	425	231	433
650	16,60	0,80	0,00	0,00	16,90	200,90	244	459	248	467
700	17,10	0,70	0,00	0,00	18,00	218,90	261	493	266	502
750	16,80	0,60	0,00	0,00	15,00	233,90	278	526	283	536
800	16,80	0,75	0,00	0,00	17,30	251,20	295	560	300	570
850	17,00	0,63	0,00	0,00	16,70	267,90	312	594	318	605
900	16,80	0,60	0,00	0,00	17,80	285,70	329	628	335	639
950	16,70	0,64	0,00	0,00	19,10	304,80	346	661	352	673
1000	16,20	0,40	0,00	0,00	17,60	322,40	362	693	368	706
Průměrná hodnota	16,58	0,64	0,05	0,00	16,12					

**Scénář č. 30 (SC 30): 1600; 0 %; 1 bus, 80 km/h, 3JP**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	19,70	0,46	1,00	0,00	12,60	12,60	50	69	50	70
100	25,00	0,63	0,00	0,00	15,10	27,70	75	119	75	120
150	25,00	0,77	0,00	0,00	16,00	43,70	100	169	101	171
200	25,10	0,30	0,00	0,00	15,80	59,50	125	220	126	222
250	25,60	0,49	0,00	0,00	15,90	75,40	150	271	152	273
300	25,00	0,63	0,00	0,00	13,80	89,20	175	321	177	324
350	25,80	0,98	0,00	0,00	16,20	105,40	201	372	203	377
400	24,80	0,75	0,00	0,00	16,50	121,90	226	422	229	427
450	25,50	0,92	0,00	0,00	17,50	139,40	252	473	254	479
500	25,20	0,75	0,00	0,00	17,50	156,90	277	523	280	530
550	25,20	0,75	0,00	0,00	16,40	173,30	302	574	306	581
600	25,50	0,50	0,00	0,00	13,30	186,60	327	625	331	633
650	24,90	0,70	0,00	0,00	16,70	203,30	352	675	357	683
700	25,50	0,50	0,00	0,00	17,30	220,60	378	726	382	735
750	25,10	0,30	0,00	0,00	17,60	238,20	403	776	408	785
800	25,00	0,63	0,00	0,00	17,00	255,20	428	826	433	836
850	25,60	0,80	0,00	0,00	17,10	272,30	454	877	459	888
900	24,90	0,83	0,00	0,00	17,10	289,40	478	927	484	939
950	25,00	0,63	0,00	0,00	16,40	305,80	503	977	510	989
1000	24,90	0,83	0,00	0,00	18,60	324,40	528	1027	535	1040
Průměrná hodnota	24,92	0,66	0,05	0,00	16,22					

**Scénář č. 31 (SC 31): 1600; 0 %; 1 bus, 100 km/h**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	12,30	0,46	1,00	0,00	56,10	56,10	42	55	43	55
100	16,90	0,70	0,00	0,00	15,70	71,80	59	88	60	90
150	16,70	0,64	0,00	0,00	14,90	86,70	76	122	77	124
200	16,90	0,70	0,00	0,00	15,20	101,90	93	156	94	158
250	16,70	0,78	0,00	0,00	17,80	119,70	110	189	111	192
300	16,80	0,40	0,00	0,00	15,00	134,70	126	223	128	226
350	17,00	0,77	0,00	0,00	13,30	148,00	143	257	146	261
400	16,70	0,64	0,00	0,00	16,30	164,30	160	290	163	295
450	17,10	0,70	0,00	0,00	18,80	183,10	177	324	180	330
500	16,60	0,80	0,00	0,00	14,80	197,90	194	357	197	364
550	16,90	0,83	0,00	0,00	15,20	213,10	211	391	214	399
600	16,90	0,83	0,00	0,00	16,00	229,10	228	425	232	433
650	16,60	0,66	0,00	0,00	14,50	243,60	244	458	249	467
700	17,10	0,83	0,00	0,00	20,10	263,70	261	492	266	502
750	16,90	0,70	0,00	0,00	14,90	278,60	278	526	283	537
800	16,70	0,46	0,00	0,00	23,60	302,20	295	560	300	571
850	16,80	0,40	0,00	0,00	13,30	315,50	312	593	317	605
900	16,90	0,70	0,00	0,00	19,60	335,10	329	627	335	639
950	16,50	0,50	0,00	0,00	15,80	350,90	345	660	351	673
1000	16,50	0,67	0,00	0,00	19,20	370,10	362	693	368	706
Průměrná hodnota	16,58	0,66	0,05	0,00	18,51					

**Scénář č. 32 (SC 32): 1600; 0 %; 1 bus, 100 km/h, 3JP**

Segment sledovaného úseku	Průměrná hustota OV/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro OV	Průměrná hustota BUS/50 m na profil	Směrodatná odchylka pro BUS	Doba plnění úseku	Posloupnost plnění úseků	Počet osob varianta I	Počet osob varianta II	Maximální počet osob varianta I	Maximální počet osob varianta II
50	19,80	0,40	1,00	0,00	13,20	13,20	50	70	50	70
100	24,90	0,94	0,00	0,00	14,90	28,10	75	119	75	121
150	25,10	1,14	0,00	0,00	16,90	45,00	100	170	101	172
200	25,40	1,20	0,00	0,00	15,60	60,60	125	220	127	224
250	25,00	1,00	0,00	0,00	16,80	77,40	150	270	153	275
300	25,30	1,00	0,00	0,00	14,00	91,40	176	321	178	327
350	25,30	1,10	0,00	0,00	15,10	106,50	201	372	204	378
400	25,10	0,54	0,00	0,00	16,50	123,00	226	422	230	429
450	25,30	0,78	0,00	0,00	20,60	143,60	251	472	255	481
500	25,50	0,81	0,00	0,00	16,40	160,00	277	523	281	532
550	25,10	0,54	0,00	0,00	16,00	176,00	302	574	307	583
600	25,40	0,66	0,00	0,00	13,60	189,60	327	624	332	635
650	24,90	0,70	0,00	0,00	18,80	208,40	352	674	358	685
700	25,20	0,87	0,00	0,00	17,60	226,00	377	725	383	736
750	24,80	0,87	0,00	0,00	17,00	243,00	402	774	408	787
800	26,20	0,98	0,00	0,00	16,10	259,10	428	827	435	840
850	24,60	0,80	0,00	0,00	19,50	278,60	453	876	460	890
900	25,10	0,70	0,00	0,00	16,30	294,90	478	926	486	941
950	25,20	0,60	0,00	0,00	19,70	314,60	503	976	511	992
1000	24,90	0,70	0,00	0,00	15,70	330,30	528	1026	536	1043
Průměrná hodnota	24,91	0,82	0,05	0,00	16,52					

## **TECHNICKÉ PODMÍNKY – TP 229, dodatek č. 1 – BEZPEČNOST V TUNELECH PK**

<b>Schválilo:</b>	Ministerstvo dopravy
<b>Zpracovatel:</b>	prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc. (ČVUT FD)
<b>Počet stran:</b>	67
<b>Tech. redakční rada:</b>	Ing. Jaroslav Novák (MD) Mgr. František Rainer (ŘSD ČR) Ing. Josef Jalůvka (ŘSD ČR) Ing. Aleš Lébl (pověřená osoba dle NV č.264/2009 Sb.) Ing. Petr Bebčák, Ph.D. (VŠB, TUO) Ing. Milan Tandler (TSK hl. m. Prahy, a.s.) Ing. Vlastimil Horák (AMBERG Engineering Brno, a.s.) Ing. Jiří Svoboda (PRAGOPROJEKT, a.s.) Ing. Lukáš Rákosník (SATRA, spol. s r.o.)
<b>Zástupce koordinátora:</b>	Ing. Veronika Říhová (ŘSD ČR)