

Zásady požární bezpečnosti a požárního zásahu pro projektování na VRT – Důvodová zpráva

Seznam změn

Verze	Popis	Datum
1.	První vydání metodiky + důvodové zprávy, odsouhlasené GŘ HZS ČR	30.01.2026

Zpracovatelský tým

Funkce	Jméno	Společnost
Vedoucí projektu	Ing. Martin Bernas	SUDOP Praha a.s.
Expertizní modelování	doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D.	FBI, VŠB-TUO
	Ing. Adam Thomitzek, Ph.D.	
	Ing. Adéla Snohová, Ph.D.	
Požární zásah	Ing. Jan Hora	FBI, VŠB-TUO
	Ing. Martin Trčka, Ph.D.	

Předmluva

Tato důvodová zpráva doplňuje a rozvádí ustanovení předpisu stanovujícího zásady, koncepční přístupy a požadavky požární bezpečnosti a požárního zásahu pro projektování tunelů a dalších objektů na vysokorychlostních tratích (VRT). Jejím cílem je poskytnout vysvětlení vybraných článků předpisu, objasnit jejich odborné a technické souvislosti a zdůvodnit přijatá řešení z hlediska bezpečnosti, provozní spolehlivosti a souladu s platnou legislativou.

Důvodová zpráva slouží jako podpůrný interpretační dokument zejména pro projektanty, provozovatele infrastruktury, orgány státní správy a další dotčené subjekty, které se podílejí na přípravě, schvalování, realizaci a provozu staveb na vysokorychlostních tratích. Text důvodové zprávy není normativní povahy, avšak vychází ze stejných právních, technických a odborných východisek jako samotný předpis.

V rámci důvodové zprávy jsou jednotlivá ustanovení předpisu zasazena do širšího kontextu evropské a národní legislativy, technických specifikací interoperability (TSI), souvisejících technických norem a osvědčené mezinárodní praxe. Současně jsou zohledněny specifické provozní podmínky vysokorychlostních tratí, zejména charakter provozu, skladba vlakových jednotek, požadavky na evakuaci cestujících a zásah složek integrovaného záchranného systému.

Struktura důvodové zprávy odpovídá členění hlavního předpisu a jednotlivé kapitoly jsou vzájemně provázány tak, aby umožnily snadnou orientaci a jednoznačný výklad souvisejících požadavků.

PRAKTICKÁ ČÁST

Odůvodnění vybraných článků dokumentu

Čl. 2.2.1 Podélný sklon

Požadavek na podélný sklon tunelu vychází ze základních předpokladů: usměrnění pohybu kouře co nejvíce jedním směrem.

Podélný sklon na VRT je omezen ČSN 73 6360-1, jejíž ustanovení vychází i z TSI INF. Nejvyšší hodnota činí 35 ‰, která nesmí být na úseku delším než 6 km. Současně v libovolném 10 km úseku nesmí činit průměrný sklon mezi počátečním a koncovým bodem více než 25 ‰. Naopak nejmenší doporučený sklon v tunelech je 3 ‰. Ten s ohledem na místní podmínky ale nemusí být vždy dodržen.




U tunelů délky do 1 km je převýšení v řádech ‰ bezvýznamné. U tunelů nad 1 km již může mít vliv a maximální sklon 35 ‰ je zohledněn při modelech evakuace osob a zakouření.


Evakuace osob

Čl. 5.1.2 – Značení únikových cest

Příklad únikových značek, včetně vysvětlení a rozměrů viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Tabulka 1 Příklad grafického znázornění únikových značek

	<p>Úniková značka "Úniková cesta – Nouzový východ (levý/pravý)" –</p> <p>Vzdálenost" podle ČSN EN ISO 7010 (registrační čísla E001 a E002) v kombinaci se šipkou (vlevo a vpravo), typ D podle ISO 3864-3 a vzdálenosti k nejbližšímu únikovému východu.</p>	<p>V tunelech v krocích po 50 m \pm 5 m, na stěně tunelu se spodní hranou ve výšce 1,50 m nad horní hranou úrovně únikového chodníku, osvětlenou svítidly nouzového osvětlení.</p> <p>Vzdálenost musí být uvedena v celých 50 m intervalech. Velikost písma musí být alespoň 4 cm.</p> <p>Rozměry: 40 cm \times 30 cm</p>
	<p>Úniková značka "Úniková cesta – Nouzový východ (vlevo)" podle ČSN EN ISO 7010 (registrační číslo E001) v kombinaci se šipkou (vlevo) typu D podle ISO 3864-3.</p>	<p>V tunelech uprostřed mezi únikovými značkami "<i>Úniková cesta – nouzový východ (vlevo/vpravo) – vzdálenost</i>"; na stěně tunelu se spodní hranou ve výšce 1,50 m nad horní hranou úrovně únikového chodníku, osvětlenou svítidly nouzového osvětlení.</p>
	<p>Úniková značka "Úniková cesta – Nouzový východ (vpravo)" podle ČSN EN ISO 7010 (registrační číslo E002) v kombinaci se šipkou (vpravo), typ D podle ISO 3864-3.</p>	<p>Tato bezpečnostní značka není vyžadována pro tunely s podsvícenými únikovými značkami "<i>Úniková cesta – nouzový východ – vzdálenost</i>" každých 50 m.</p> <p>Rozměry: 40 cm \times 20 cm</p>

	<p>Značka nouzového východu podle ČSN EN ISO 7010 (registrační číslo E001 nebo E002) v kombinaci se šipkou, typ D podle ISO 3864-3 jako "Vlajkový znak".</p>	<p>V jednokolejných a dvoukolejných tunelech, kde je únikový východ na protilehlé straně od únikového chodníku na stěně tunelu se spodní hranou ve výšce 1,50 m nad horní hranou úrovně únikového chodníku, osvětlenou svítidly nouzového osvětlení.</p> <p>Rozměry: 20 cm × 40 cm</p>
---	--	--

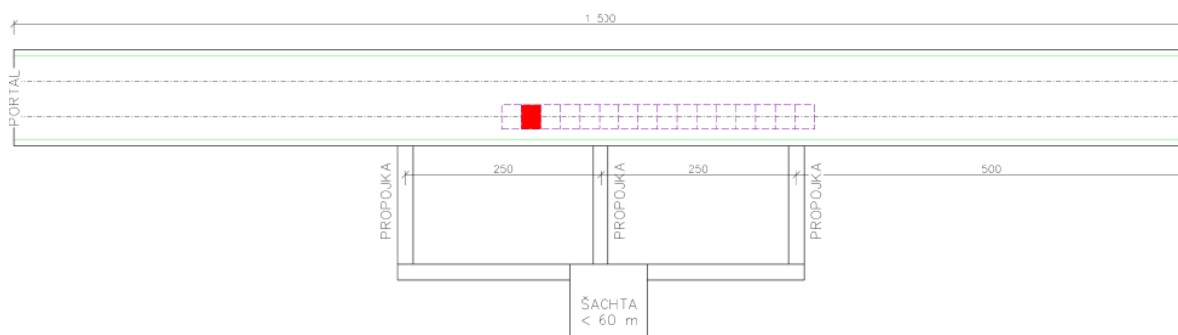
Čl. 5.2.1.1 – Nouzové osvětlení

Záloha pro N.O. je navržena 90 minut a vychází z maximální předpokládané doby evakuace osob + rezerva. Doporučená hodnota záložního napájení na 120 minut je stanovena s ohledem na vyšší kapacitu a trvanlivost baterií. Na tuto hodnotu však nemusí být navržena funkční integrita kabelových tras.

Čl. 5.3 Bezpečné oblasti a únikové cesty

U tunelů delších než 1,0 km byla vzdálenost únikových propojek po 1 km (v případě dvoukolejných tunelů) vyhodnocena jako neakceptovatelná z pohledu bezpečné evakuace a požárního zásahu. Maximální vzdálenost únikových východů byla tedy sjednocena na 500 m. V případě potřeby návrhu záchranných šachet lze dispozici propojek a šachty řešit například i následujícím způsobem:

1TT, dvoukolejný – záchranná šachta



Čl. 5.3.2 - CHÚC

Vzhledem k analogii s pozemními budovami byl použit termín „Chráněná úniková cesta“ i v tomto předpise.

Čl. 5.3.2.2 Záchranné štoly

Parametry pro průjezdný profil štoly odpovídají standardní technice JPO uvažované pro zásah v tunelu. Maximální podélný sklon 8 % vychází z požadavku na zajištění plynulé evakuace osob a odpovídá požadavkům ČSN 73 4130. Větší sklony při větších vzdálenostech jsou obtížně zdolatelné.

Čl. 5.3.2.3 Záchranné šachty

Záchranné šachty musí umožňovat bezkolizní pohyb hasičů a evakuovaných osob. Tomu musí odpovídat i rozměry schodišť, případně jejich konstrukce (například protisměrná schodiště nebo samostatná schodiště pro jednotlivé činnosti).

Minimální šířka schodiště 1,1 m odpovídá dvěma únikovým pruhům a umožňuje větší kapacitu evakuovaných osob. Požadavek vychází z minimálního požadavku dle ČSN 73 0802, kap. 12.5.2, alespoň 1,5 únikového pruhu.

Nutnost vybavení šachty výtahem s funkcí při požáru od 30 m navazuje na současné požadavky ČSN 73 7508, čl. 6.3.11.2.3 a zároveň reflektuje i požadavky aktuálnějších předpisů okolních zemí, např. německého předpisu *Anforderungen des Sicherheitskonzeptes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln*; Stand: 1.7.2024.

Tzv. „výtah s funkcí při požáru“ reflektuje požadavky pro potřeby zásahu JPO v tunelu, avšak nejedná se vyloženě standardní evakuační či požární výtah dle daných technických norem. Hlavní funkcí výtahu je zajistit převoz zásahového vybavení na úroveň tunelu a následně odvoz nejvíce postižených osob na povrch.

Čl. 5.3.2.4 Propojky

Požadavky na vybavení propojek odpovídá standardům kodexu norem PBS řady ČSN 73 08xx, tj. zajišťuje zvýšenou bezpečnost prostoru, avšak ponechává možnost umístění malého množství hořlavých materiálů souvisejících především s technologiemi (např. chladicí jednotky technologického zařízení). Maximální podélný sklon 8 % vychází z požadavku na zajištění plynulé evakuace osob a odpovídá požadavkům ČSN 73 4130.

Čl. 5.3.3 Dveře do CHÚC

Požadavky sjednocují minimální požadavky dle TSI SRT a zároveň zohledňují požadavky, které se uplatňují u přetlakově větraných CHÚC dle ČSN EN 12101.

Čl. 5.5 – Nepřístupné oblasti

Z hlediska požární bezpečnosti jsou kritickými místy oblasti, přímo navazující na tunely, které komplikují přístup hasičů k portálu tunelu a také komplikují evakuaci osob do konečného bezpečného místa. Nepřístupné oblasti mimo tunely jsou uvažovány z pohledu zajištění bezpečnosti osob jako bezpečné, jelikož umožňují vystoupení z vlaku a vzdálení se dále od incidentního vlaku do bezpečné oblasti.

Z pohledu záchrany osob je výška nepřístupné oblasti definována od 1,5 m – záchranné práce ve výškách.

Jelikož je provoz řízen výhradně přes ETCS, je možné předpokládat, že vlak v těchto oblastech nezastaví a dojede na nejbližší EZM nebo jiné vhodné místo. Definování jednotlivých nepřístupných oblastí provede provozovatel/správce daného úseku trati a tyto oblasti zanesou do ETCS před uvedením stavby do provozu.

Konkrétní řešení bude navrženo individuálně dle technických a místních podmínek tunelového objektu.

Níže jsou uvedeny další příklady návrhu únikových východů z tunelů s nepřístupnými oblastmi před portály:

Příklad 1:

Délka samotného tunelu činí 800 m. Délka navazujících zárubních stěn na jednom z portálů činí 600 m. Celková délka nepřístupné oblasti činí 1400 m. Z toho vyplývá, že v místě zárubních zdí musí být zajištěn únik osob do vzdálenosti 1000 m od druhého portálu.

Příklad 2:

Délka samotného tunelu činí 1600 m. Délka navazujících zárubních stěn na jednom z portálů činí 600 m. Celková délka nepřístupné oblasti činí 2200 m. Vzhledem k vlastní délce samotného tunelu > 1000 m, je nutné zajistit nejen únikové východy na obou portálech, ale i únikové východy uvnitř tunelu do bezpečných oblastí.

V souvislosti s dokumentem *Guide for TSI SRT* je ale možné EZM před tunely umísťovat i dále od portálů, pokud to místní podmínky neumožňují. Zároveň ale musí být umožněn i přístup do tunelu pro JPO, dle požadavků tohoto předpisu.

Posouzení možnosti provedení požárního zásahu

Horká událost v tunelu

Zásah JPO v případě mimořádné události v železničních tunelech je odvozen s ohledem na délku tunelu a specifické podmínky daného zásahu. Tunely do délky 0,5 km jsou z pohledu plošného pokrytí považovány za jediný objekt, zatímco tunely delší než 0,5 km jsou vnímány jako liniový prvek. Místo zásahu je u tunelů do 0,5 km celý objekt, u delších než 0,5 km konkrétní místo MU. Tato klasifikace přímo ovlivňuje předpokládanou činnost JPO.

V souladu s čl. 2.3 TSI SRT je úloha JPO při horké mimořádné události:

- záchrana osob, které se nemohou dostat do bezpečné oblasti;
- poskytnutí první pomoci evakuovaným;
- boj proti požáru do rozsahu nutného pro jejich vlastní ochranu a ochranu účastníků mimořádné události;
- provedení evakuace z bezpečných oblastí na konečné bezpečné místo.

Níže je uvedena komplexní analýza požáru vlaku tunelu. V dokumentu Zásad je uveden jen základní popis, související s konkrétními požadavky pro zásah.

Hasící voda působí na principu ochlazování a inertizace. Výkon požáru je eliminován výkonem vodních proudů, přičemž teplo je odebíráno třemi způsoby: ohřevem vody, fázovou přeměnou vody na páru a ohřevem vodní páry. Vodní pára dále snižuje dostupnost kyslíku v prostoru, což omezuje reakci hoření.

Předpokládaný scénář požáru odpovídá typu 1 nebo typu 2. Požár začíná v rohové konfiguraci a šíří se v uzavřeném prostoru až do dosažení flashoveru. K porušení skleněných výplní dochází v okamžiku flashoveru, po kterém se požár šíří vně i uvnitř kolejového vozidla. Část uvolněného tepla je odebírána konstrukcemi, přičemž tento podíl postupně klesá. Přibližně 10 % tepla v prostoru mimo kolejové vozidlo se šíří ve formě sálavého tepla, zatímco 90 % tepla má formu konvektivního přenosu. Teploty v místě požáru odpovídají normové teplotní křivce a teplota kouřové vrstvy se uvažuje na hodnotě 700 °C.

Zásah jednotek požární ochrany při rozvinutém požáru v uzavřeném prostoru je prioritně zaměřen na odebírání konvektivního tepla, které představuje dominantní složku celkového tepelného výkonu požáru. Podíl konvektivního přenosu tepla na celkovém výkonu činí přibližně 85 % během prvních 10 minut od vzniku požáru a narůstá na 90 % po uplynutí této doby. Uvažovaný maximální celkový tepelný výkon požáru je stanoven na 20 MW,

přičemž tato hodnota zahrnuje nejen přímé konvektivní a sálavé ztráty, ale i zpětné sálání a odraz tepla od stavebních konstrukcí. Prováděná inertizace prostoru, spočívající ve snížení koncentrace kyslíku z 21 % na 20 %, způsobuje pokles celkového výkonu požáru o přibližně 4,8 %. Po této korekci dosahuje maximální konvektivní výkon požáru hodnoty 16,5 MW během prvních 10 minut a 17 MW po 10. minutě zásahu.

Kritická intenzita teoretické dodávky hasiva nezbytná pro zajištění účinného odvodu konvektivního tepla je stanovena na 4 l/s, což odpovídá potřebě odvést přibližně 17 MW tepelného výkonu. Vzhledem k reálným podmínkám zásahu, jako jsou dynamické ztráty nebo neúplná účinnost odvodu tepla, je skutečná dodávka vody zdvojnásobena na 8 l/s. Dále je nutné zohlednit, že účinnost aplikace vody je pouze 60 %, neboť přibližně 40 % dodané vody neinteraguje s plameny ani horkými plyny. Za těchto podmínek činí reálně odebírané konvektivní teplo přibližně 13,5 MW. Voda je do prostoru požáru standardně dodávána třemi proudy typu C, přičemž jmenovitá intenzita dodávky vody na jeden proud při tlaku 0,6 MPa je stanovena na 220 l/min. To odpovídá celkovému průtoku 660 l/min při běžném režimu zásahu. Krátkodobě lze zvýšit průtok na 360 l/min na jednu proudnici, čímž celková dodávka vody dosáhne hodnoty 1080 l/min. Za standardního průtoku 660 l/min je reálný odvod tepla omezen na přibližně 13,5 MW, což je dostačující při zásahu zahájeném do 20. minuty od vzniku požáru. V této době výkon požáru dosahuje úrovně, kdy standardní režim zásahu ještě postačuje k jeho kontrole. Pokud se zásah po 20. minutě, je nutná dodávka vody 1080 l/min. Tento režim umožňuje reálný odvod tepla odpovídající přibližně 18 MW.

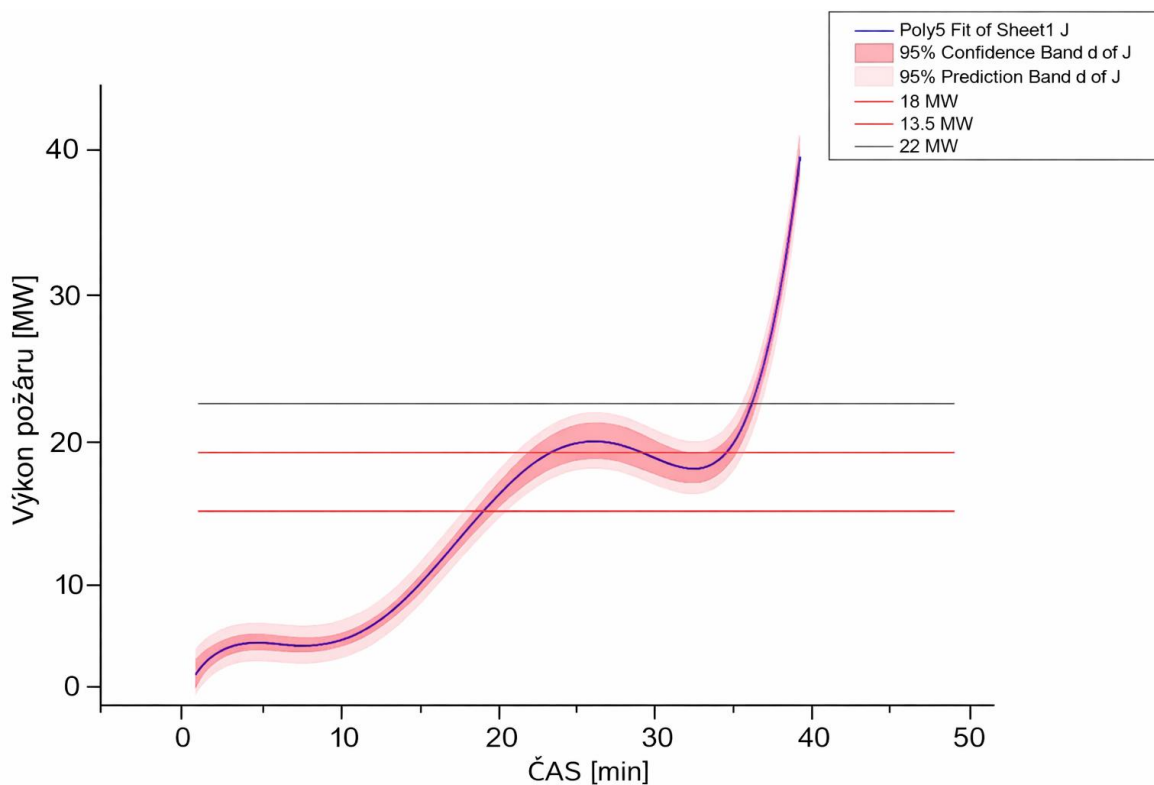
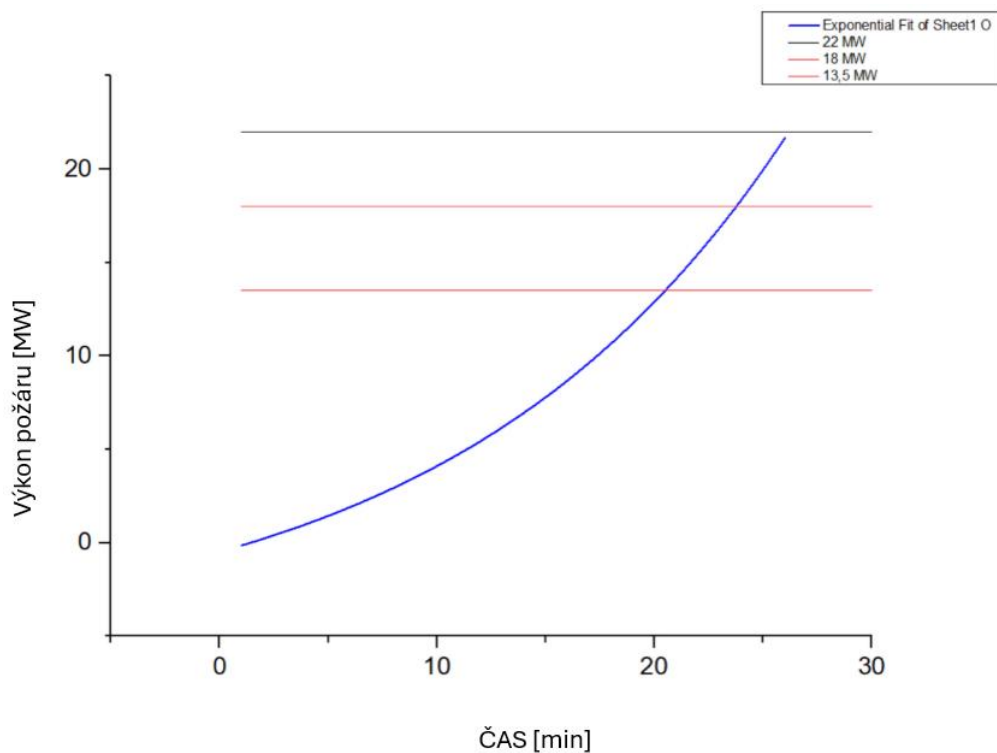
Kritická hodnota 22 MW v 35. minutě představuje hranici, kdy výkon požáru již převyšuje schopnosti jednotek PO i při maximální dodávce vody a nelze zaujmou ani efektivní požární obranu a dojde k destabilizaci situace.

Pro zásobování vodou při zahájení zásahu do 20. minuty je požadována intenzita 800 l/min, po 20. minutě intenzita 1200 l/min, aby byla vytvořena dostatečná rezerva pro pokrytí ztrát a tlakových poklesů v hadicovém vedení.

Zásah je tedy podmíněn:

- Zahájením hašení do 20 minut od vzniku požáru při standardní dodávce vody 660 l/min,
- Dodávkou vody 1080 l/min při zahájení zásahu po 20. minutě,
- Zásobování vodou 800 l/min při zahájení zásahu do 20. minuty
- Zásobováním vodou 1200 l/min při zahájení zásahu po 25. minutě.

Zajištěním celkové dodávky vody nad 800 l/min, přičemž optimální hodnota činí minimálně 1200 l/min, aby byla vytvořena dostatečná rezerva pro pokrytí ztrát a tlakových poklesů v hadicovém vedení.



Tlakové ztráty v potrubí nebo hadici lze vypočítat pomocí Darcy-Weisbachovy rovnice, která popisuje vztah mezi tlakovou ztrátou, délkou potrubí, průměrem potrubí, rychlostí proudění a hustotou tekutiny. Rovnice má následující tvar:

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

$$Q = v \cdot A$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

$$\Delta P_{lok} = K \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

$$k = \frac{8\lambda\rho}{d^5\pi^2} \cdot \frac{1}{60000^2}$$

$$p_f = k \cdot l \cdot q^2$$

Symbol	Název veličiny	Jednotka / hodnota
ΔP	Tlaková ztráta	Pa
λ	Frikční koeficient	–
L	Délka potrubí	m
D	Vnitřní průměr potrubí	mm
ρ	Hustota tekutiny	kg/m ³
v	Rychlost proudění	m/s
vc52	Rychlost proudění (DN 52)	1,73 m/s
vb75	Rychlost proudění (DN 75)	2,64 m/s
ε	Absolutní drsnost potrubí	m
Re	Reynoldsovo číslo	–
Rec52	Reynoldsovo číslo (DN 52)	90 000

Symbol	Název veličiny	Jednotka / hodnota
Reb75	Reynoldsovo číslo (DN 75)	200 000
Q	Objemový průtok	m ³ /s
A	Průtočná plocha potrubí	m ²
μ	Dynamická viskozita tekutiny	Pa·s
ΔP _{lok}	Lokální tlaková ztráta	Pa
K	Ztrátový součinitel (závislý na geometrii)	–

Pro zhodnocení proveditelného zásahu jsou určující následující parametry:

- a. Rozvoj výkonu požáru v čase.
- b. Rychlost evakuace.
- c. Rychlost zahájení zásahu jednotkami PO.
- d. Dostatečná vydatnost zásobování vodou.

Provádí se superpozicí následujících procesů – výkon požáru, rychlost evakuace a zásah jednotek PO. Na jejím základě se stanoví proveditelnost zásahu.

Výkonové parametry požáru

Výkonové parametry požáru a jeho projevy nesmí ohrozit osoby, které se evakuují. Výkonové parametry popisují dvě křivky:

- **Křivka 1:** Požár jednoho kolejového vozidla.
- **Křivka 2:** Rozvoj požáru po přenosu na druhé kolejové vozidlo.

Obě křivky jsou odvozeny od testů v rámci projektu Eureka.

Přestože experimentální testy EUREKA 499 byly realizovány počátkem 90. let, jejich výsledky zůstávají relevantní pro bezpečnostní analýzy železničních vozidel v tunelech vysokorychlostních tratí v České republice. Testované vozy reprezentují konstrukční standardy své doby, přičemž jejich materiálová skladba – ocelové a hliníkové karoserie, hořlavé interiérové vybavení a méně přísné normy na rozvoj požáru – poskytuje konzervativní odhad požárního zatížení. Vzhledem k tomu, že moderní jednotky disponují výrazně vyšší úrovní pasivní i aktivní požární bezpečnosti, představují data z EUREKA extrémní, avšak validní základ pro modelování nejsložitějších scénářů. Tento přístup odpovídá zásadám výkonového inženýrství (performance-based design).

Současné vysokorychlostní jednotky, nasazované na tratích kategorie B dle TSI LOC&PAS, využívají dva základní konstrukční přístupy: Jacobsovy podvozky a konvenční samostatné podvozky. Jacobsovy podvozky (např. TGV, Siemens Velaro, Talgo Avril) spojují sousední vozy na jednom sdíleném podvozku, čímž zvyšují strukturální tuhost, snižují hmotnost a zlepšují aerodynamiku. Tento koncept však znamená omezenou možnost fyzického oddělení vozů při požáru, a proto se mezi jednotlivými moduly uplatňují požárně dělící přepážky. Dle požadavků TSI LOC&PAS a EN 45545-3 musí tyto přepážky odolávat účinkům požáru minimálně 15 minut, tedy splňovat klasifikaci EI 15. To umožňuje zpoždění šíření požáru mezi sekcemi a poskytuje časový prostor pro evakuaci nebo aktivaci dalších ochranných systémů. Konvenční podvozky (např. Pendolino, ICE 4, Zefiro) zachovávají tradiční rozložení se dvěma podvozky na každý vůz. Tento koncept zajišťuje vyšší modularitu a snadnější údržbu, přičemž požární přepážka tvoří čelo vozu.

Konstrukce moderních vysokorychlostních jednotek je typicky založena na hliníkových extrudovaných profilech, sendvičových kompozitech a interiérových materiálech s nízkou hořlavostí dle EN 45545-2. Využívají se materiály se sníženou hořlavostí. Interiér je dále členěn do požárních sekcí, okna jsou navržena tak, aby zůstala co nejdéle celistvá. Tato konstrukce významně omezuje rychlost rozvoje požáru a jeho šíření mezi vozy.

Z těchto důvodů byla syntetická HRR křivka vytvořená na základě dat z EUREKA testů navržena jako konzervativní modelová obálka, která pokrývá i méně pravděpodobné, ale potenciálně kritické scénáře.

Pro účely vytvoření reprezentativního scénáře požáru v železničním tunelu pro vysokorychlostní tratě, byly využity dostupné výsledky z velkorozměrových experimentů realizovaných v rámci projektu EUREKA 499. Konkrétně byla analyzována data z testu č. 12 (německý vlak Intercity Express; celková kalorická hodnota 63 GJ; maximální hodnota HRR 19 MW dosažena po 80 minutách), testu č. 13 (Intercity vlak; 77 GJ; špičkové HRR 13 MW po 25 minutách) a testu č. 11, ve kterém byly spojeny dva železniční vozy s různým materiálovým složením (hliník a ocel), přičemž bylo dosaženo špičkové hodnoty HRR 43 MW při energetickém obsahu 55 GJ a rychlosti proudění vzduchu 6–8/3–4 m/s. Dále byly zohledněny i dostupné výsledky z testů britských železničních vozů BR 415 a Sprinter.

Postup konstrukce nové syntetické křivky HRR spočíval ve **superpozici vybraných průběhů**. Vzhledem k tomu, že špičky HRR jednotlivých testů nastávaly v různých časových okamžicích a každý test byl proveden za odlišných podmínek (ventilace, konstrukce, palivové zatížení), nebylo možné použít prostý součet. Místo toho byla aplikována **časová normalizace** a vybrané křivky byly převedeny do společného časového rámce podle relativní doby od vznícení a následně **interpolovány** s cílem zachytit charakteristické fáze rozvoje požáru. V této fázi byla křivka dále **extrapolována** tak, aby její první lokální

maximum dosahovalo hodnoty **20 MW**, což odpovídá požáru s vyšší intenzitou, než jakou vykazovaly původní testy, avšak stále v realistickém rozsahu pro moderní železniční soupravy. Taková extrapolace je v požárním inženýrství běžnou praxí při konstrukci tzv. „design fire“ scénářů. Výsledné modelové křivky byly získány aplikací fitu exponenciální funkce v úvodní fázi růstu, resp. následně polynomické funkce pro fázi rozvinutého hoření a dohořívání, čímž bylo dosaženo plynulého průběhu odpovídajícího pozorovaným trendům, což bylo potvrzeno integrálním porovnáním, porovnáním specifických bodů a testem shody průběhů pro odpovídající části modelové křivky. Jde tedy o hypotetickou konzervativní křivku odvozenou z empirických dat.

Výše uvedenými metodami může v případě potřeby kdokoliv znovu ověřit platnost výše uvedených závěrů.

Použité zdroje

- [1] *EUREKA project EU 499 FIREXWN. 1995. Fires in Transport Tunnels: Report on Full-scale Tests. Studiengemeinschaft Stsblanwendung e.V., ed. Düsseldorf, Germany, November 1995.*
- [2] *NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. 2023 edition. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2023.*
- [3] *INGASON, Haukur, LI, Ying Zhen a LÖNNERMARK, Anders. Tunnel Fire Dynamics. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2198-0. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2199-7>*
- [4] *Barber, C., Gardiner, A., and Law, M., "Structural Fire Design of the Øresund Tunnel", Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, 313332, Borås, Sweden, 10-11 October, 1994.*
- [5] *Ingason, H., Gustavsson, S., and Dahlberg, M., "Heat Release Rate Measurements in Tunnel Fires", SP Swedish National Testing and Research*
- [6] *Steinert, C., "Smoke and Heat Production in Tunnel Fires", The International Conference on Fires in Tunnels, 123-137, Borås, Sweden, 10-11 October, 1994.*
- [7] *BEARD, A. a CARVEL, R., eds. Handbook of Tunnel Fire Safety. 2. vyd. London: ICE Publishing, 2012. ISBN 978-0-7277-4153-0. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1680/htfs.41530.003>*

Ohrožení osob

Ohrožení osob se hodnotí na základě působení:

- konvektivního tepla plamenů a horkého kouře;
- tepelné radiace z místa požáru a vrstvy horkého kouře;
- toxických zplodin hoření.

Evakuované osoby nesmí být po dobu evakuace ohroženy žádným z projevů požáru, která zahrnuje:

- čas vystoupení z kolejového vozidla (dle TSI LOC PAS je max. 3 minuty);
- pohyb do chráněné únikové cesty.

Dle expertizního modelování požáru je hustota tepelného toku do vzdálenosti 50 m od místa požáru pod hranicí 1,5 kW/m². Hustota tepelného toku do 25 m od místa požáru se uvažuje pod hranicí 5 kW/m². Podrobněji řešeno v Důvodové zprávě tohoto dokumentu.

Dle TSI PRM, čl. 4.2.2.2, tab. 5 jsou předepsána pro vlak v délce 300 a více metrů 4 místa pro invalidní vozíky. Pro vlak délky 400 m je uvažováno 5 takových míst, tj. jedno místo nad počet uvedených v TSI PRM. Předpokládaný počet zachraňovaných osob je 5.

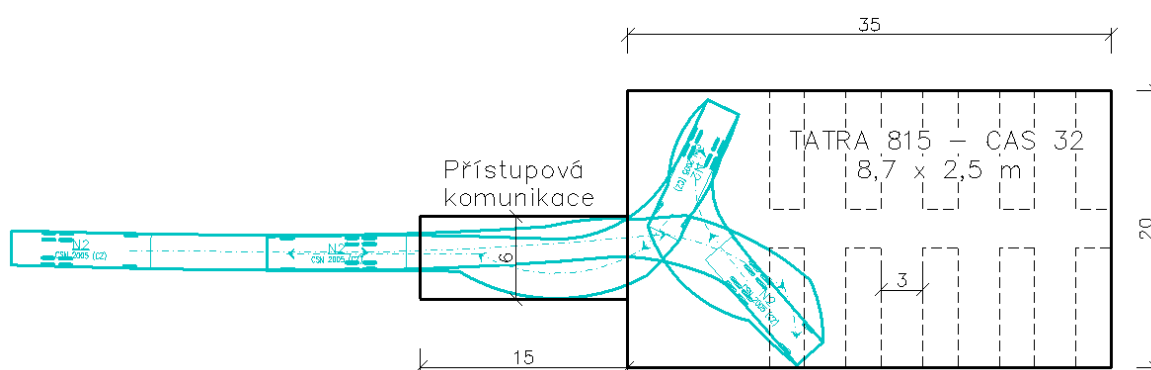
Jestliže jsou v tunelu k dispozici transportní prostředky – transportní vany, vybavené adaptérem a koly, pak transport z místa záchrany do bezpečné oblasti provádí 1 hasič.

Jestliže v tunelu nejsou takové prostředky k dispozici, provádí se záchrana prostřednictvím transportních vozíků a na 1 zachraňovanou osobu připadají 2 hasiči.

Čl. 6.1.4 – Evakuační a záchranná místa – základní požadavky

Minimální plocha 700 m² pro ustavení techniky složek IZS vyplývá z předpokládaného rozložení 5-10 JPO. Při modelování bylo konzervativně uvažováno s třínápravovými vozidly TATRA 815 -CAS 32 o rozměrech 8,7 x 2,5 m v počtu 10 kusů, viz obrázek níže.

V rámci nástupní plochy byla prověřena i možnost otáčení těchto vozidel vřetenými křivkami a je akceptovatelná za podmínky rozšíření přístupové komunikace na alespoň 6 m, v délce 15 m od příjezdu na plochu. V opačném případě je potřeba zhodnotit možnost otáčení dle konkrétní podmínek.



Čl. 6.4.2 – Požadavky na přístup JPO do tunelu

U tunelů délky více jak 1,0 km, které jsou dvoutubusové, je nutné zajistit přístup do tunelu silničními vozidly – do nezasažené TT. Pojezd vozidly se předpokládá jedním kolem mezi kolejnicemi, kde v případě umístění balíz pro ETCS bude postup následující:

- Před cvičením JPO budou balízy demontovány a po cvičení následně aplikovány zpět.
- Při skutečném zásahu dojde k destrukci balíz.

Jiné prvky se v průjezdu nepředpokládají, případně je nutné tyto prvky eliminovat na minimum nebo je uzpůsobit pro pojezd silničními vozidly.

Čl. 6.3.4 – Uzemnění trakční napájení

Zařízení pro dálkové uzemnění TV je velmi podstatným prvkem pro zajištění včasného požárního zásahu. Dle informací od SSVRT se aktuálně pracuje na vyvinutí nového systému pro dálkové vypnutí a uzemnění TV. S tímto zařízením se tedy v dokumentu již uvažuje a dokument stanovuje i základní požadavky na jeho funkčnost a umístění.

Příkladem může být systém „OLSIG“ dle RP 12.17.01.03, rakouského dopravce OBB.

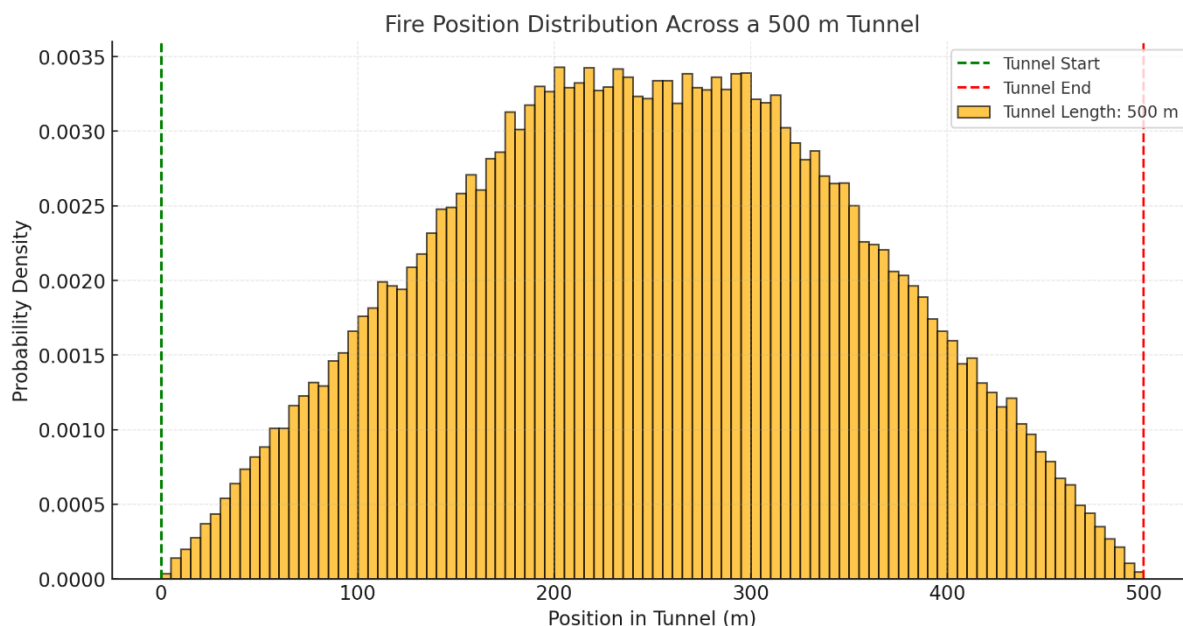
Expertizní modely rozvoje požáru a evakuace

Doporučený návrhový požární scénář

Zastavení vlaku v tunelu, resp. nejdelší překonávaná vzdálenost odpovídá 70 % vzdálenosti mezi vstupy do bezpečné oblasti, za předpokladu, že osoby nemohou projít místem požáru. Tato hodnota byla stanovena **matematickou metodou Monte Carlo**, kdy cílem bylo stanovit vzdálenost, kterou budou osoby překonávat k nejbližšímu východu do bezpečí: portál, propojka, šachta, štola. Nejedná se o pravděpodobnost, že se něco stane, ale stanovit pravděpodobnou překonávanou vzdálenost. Vycházíme z toho, že požár může vzniknout ve vlaku na každém místě se stejnou pravděpodobností a vlak může zastavit kdekoliv v úseku A - B.

Jednotlivé úseky se hodnotí samostatně, bez vazby na celkovou délku tunelu tak, že se incidentní vlak postupně „nasouvá“ do tunelu a s délkou vlaku v tunelu zároveň roste i pravděpodobnost incidentu.

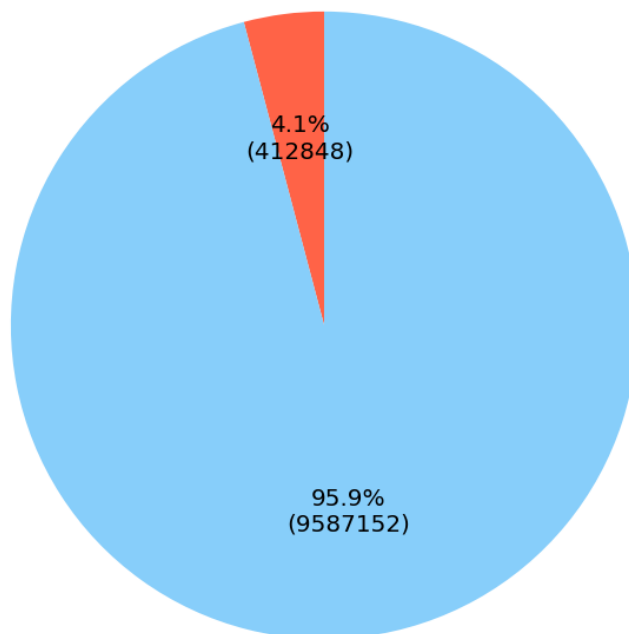
Výsledek je 350-400 m u propojek s roztečí 500 m, viz níže uvedený graf.



Současně pak pravděpodobnost zastavení hořícího vagonu délky 20 m) u propojky, v tunelu délky 5000 m, s rozestupy propojek 500 m a šířkou propojky 2 m, činí 4,1 % (při modelování 10 milionu simulací), viz Obrázek 1.

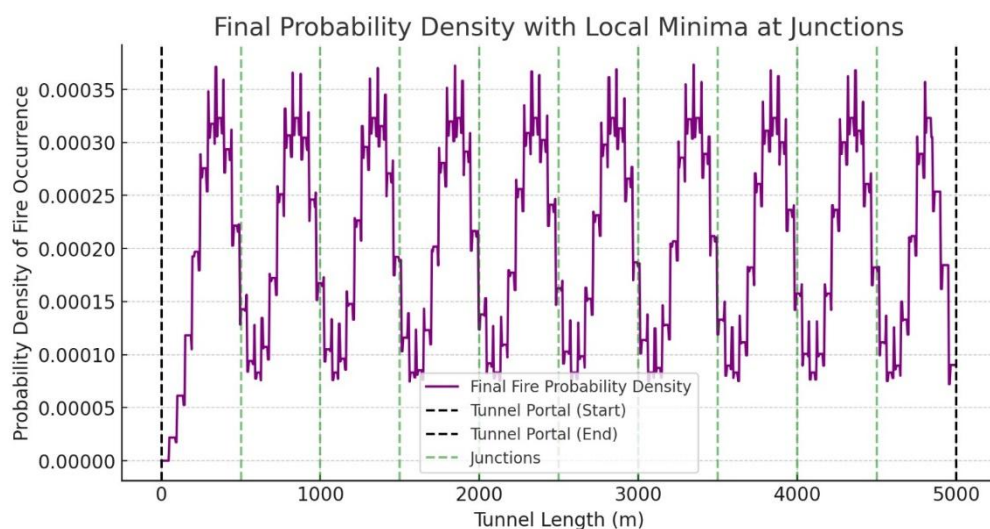
Obrázek 1 Podíl zastavení vlaku u propojky, vs. mimo ni

Zastavení na propojkách



Zastavení mimo propojky

Výsledná hustota pravděpodobnosti po zohlednění tří pravděpodobnostních úrovní, je nehomogenního rozložení rizika ve vlakové soupravě, v intervalu mezi propojkami a celého tunelu z pohledu referenčního bodu, kterým je tunelová propojka.



B.1.3 Doporučené vstupní údaje modelu požáru

Při stanovení vstupních parametrů pro modelování požáru v železničním tunelu byly zvoleny hodnoty, které reflektují realistické a zároveň konzervativní scénáře, vycházející z experimentálních dat a technických doporučení. Cílem bylo vytvořit model umožňující přesné posouzení bezpečnosti a návrh odpovídajících opatření.

Parametry prostředí (teplota, vlhkost, tlak) byly zvoleny podle běžně uvažovaných standardních podmínek používaných při výpočtovém modelování požárů, typicky s teplotou 20 °C, relativní vlhkostí 40 % a atmosférickým tlakem 1013 hPa. Tyto hodnoty odpovídají referenčnímu stavu, který umožňuje porovnatelnost výpočtů a není ovlivněn specifickými klimatickými odchylkami.

Rychlost proudění vzduchu byla nastavena na 1 m/s ve směru úniku osob, což představuje nepříznivý scénář, při němž se spaliny šíří směrem k evakuujícím se osobám. Tato varianta umožňuje ověřit podmínky evakuace v situaci, kdy přirozené větrání může negativně ovlivnit viditelnost, teplotu a koncentraci zplodin. V případě, že je tunel navržen se sklonem, lze rychlost a směr proudění upravit podle sklonu tunelové trouby, neboť gravitační složka proudění má zásadní vliv na pohyb teplých plynů a kouře.

Parametry vlakové soupravy, zejména její délka a složení konstrukčních a interiérových materiálů, byly stanoveny s ohledem na typickou konfiguraci osobního vlaku uvažovaného pro daný železniční provoz. V tomto případě byla zvolena délka 400 metrů, která odpovídá zdvojené soupravě složené ze dvou spojených jednotek. Takové uspořádání je běžné ve vysokorychlostní nebo regionální kapacitní dopravě, kde jezdí vícevozové jednotky v párové konfiguraci jako jeden provozní celek.

Tabulka 2 - Základní koncepce vysokorychlostních vlaků (≈ 200 m)

Koncepce	Typická jednotka	Složení (délky vozidel)	Poznámka
Push-pull (loko + vozy)	Railjet	lokomotiva 19 m + 7 × 26,5 m	Výkonově nedostatečné, postupně nahrazováno
Hlavové lokomotivy	TGV	22,15 + 21,845 + 6 × 18,7 + 21,845 + 22,15 m	Osvědčená koncepce
Hlavové lokomotivy	Talgo	21,285 + 12 × 13,14 + 21,285 m	Jednonápravové „podvozky“

Hlavové lokomotivy	ICE 1	20,56 + 26,4 + 20,56 m	Již není v nabídce
Koncepce	Typická jednotka	Složení (délky vozidel)	Poznámka
Distribuovaný výkon	AGV	22,15 + 9 × 17,3 + 22,15 m	Dosud komerčně nevyužito
Distribuovaný výkon	ICE Velaro	26,035 + 6 × 24,775 + 26,035 m	Moderní standard
Distribuovaný výkon	ETR 1000	26,3 + 6 × 24,9 + 26,3 m	Používáno v Itálii

Tabulka 3 Uspořádání náprav a podvozků

Typ uložení skříně	Koncepce	Charakteristika
Konvenční podvozky	Push-pull, ICE 1	Každý vůz má vlastní podvozky
Jakobsovy podvozky	TGV, Talgo, AGV	Sdílený podvozek mezi dvěma vozy
Distribuovaný výkon	ICE 3 / Velaro	Trakční výzbroj rozložena po jednotce

Tabulka 4 - Typické délky vozidel dle koncepce

Koncepce	Typ vozidla	Délka
Push-pull	Lokomotiva Taurus	9,9 m
Push-pull	Lokomotiva Vectron	9,5 m
Push-pull	Osobní vůz	19,0 m
ICE 1	Lokomotiva	11,46 m
ICE 1	Osobní vůz	19,0 m
ICE 3 / Velaro	Hlavové vozy	17,375 m
ICE 3 / Velaro	Vložené vozy	17,375 m
TGV	Lokomotiva	14,0 m

TGV	Osobní vůz	18,7 m
Talgo	Lokomotiva	15,67 m
Talgo	Osobní vůz	13,14 m
AGV	Hlavové vozy	17,1 m
AGV	Vložené vozy	17,3 m

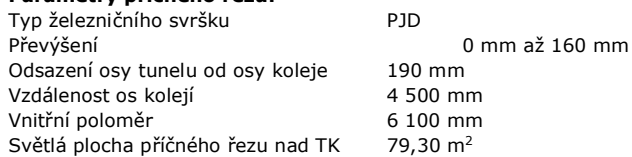
Materiálové složení interiéru lze modelovat z reálně používaných prvcích, jako jsou sedadla, obložení stěn, podlahové krytiny a izolační vrstvy. Tyto komponenty jsou běžně vyrobeny z polyuretanových pěn (PUR), plastových panelů (např. ABS, polykarbonát, PVC), kompozitních materiálů a textilií. Tyto materiály se vyznačují rozdílnou výhřevností, rychlostí šíření plamene a produkcí toxických zplodin, což má zásadní vliv na průběh a dynamiku požáru. Podrobné informace o požárně technických vlastnostech těchto materiálů lze nalézt například v normě ČSN EN 45545-2+A1, která definuje požadavky na reakci na oheň u materiálů ve vozidlech železniční dopravy.

Typy měřicích snímačů (termočláanky, snímače kouře, koncentrace CO/CO₂, snímače tepelných toků) odpovídají standardnímu vybavení používanému při experimentálních požárních testech. V rámci modelu slouží k ověření výsledků simulace a k porovnání různých variant řešení. Výšková úroveň měření byla zvolena 2 metry nad únikovým chodníkem. Tato výška odpovídá postavě člověka vestoje a umožňuje posoudit podmínky pro bezpečnou evakuaci. Kritéria přijatelnosti pro tyto veličiny jsou uvedena v části 4.2.5.

Rozlišení výpočetní sítě v rozsahu 10–20 cm bylo zvoleno na základě doporučení pro dostatečně přesné zachycení detailů proudění a šíření tepla, zejména v oblastech v blízkosti zdroje požáru. Tento rozsah odpovídá doporučením pro použití CFD modelů, jako je FDS (Fire Dynamics Simulator), a představuje vhodný kompromis mezi přesností výsledků a výpočetní náročností.

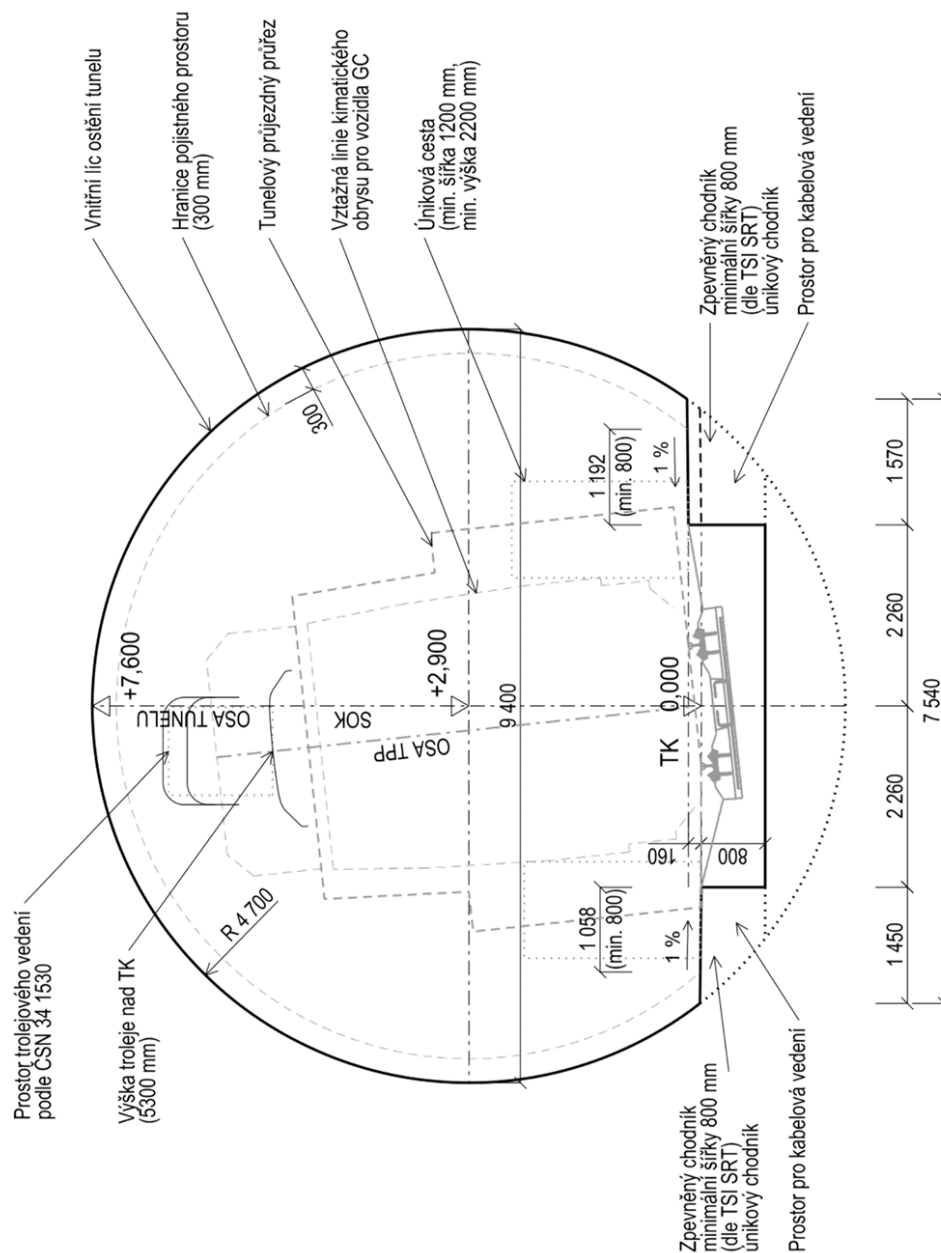
Volba hořlavého materiálu – PUR (polyuretan) pro reprezentaci sedadel vychází z jeho běžného použití v dopravních prostředcích a známé vysoké hořlavosti. PUR patří mezi materiály s významným podílem na celkovém uvolňování tepla při požáru, a zároveň produkuje značné množství zplodin hoření, včetně toxických plynů. Tyto vlastnosti z něj činí vhodný reprezentativní materiál pro simulaci rozvoje požáru v interiéru vlakové soupravy. V rámci výpočtového modelování (např. ve FDS) je použit zjednodušený chemismus hoření, který pracuje pouze s jednou hořlavou látkou, a PUR tak plní roli dominantního paliva pro stanovení rychlosti uvolňování tepla (HRR) a vývoje zplodin.

Geometrie tunelu odpovídá požadavkům Manuálu pro projektování VRT, viz kap. 7.3
Příklady profilů tunelů:



Typ železničního svršku	PJD
Převýšení	0 mm až 160 mm
Odsazení osy tunelu od osy koleje	0 mm
Vzdálenost os kolejí	4 500 mm
Vnitřní poloměr	6 300 mm
Světlá plocha příčného řezu nad TK	90,41 m ²

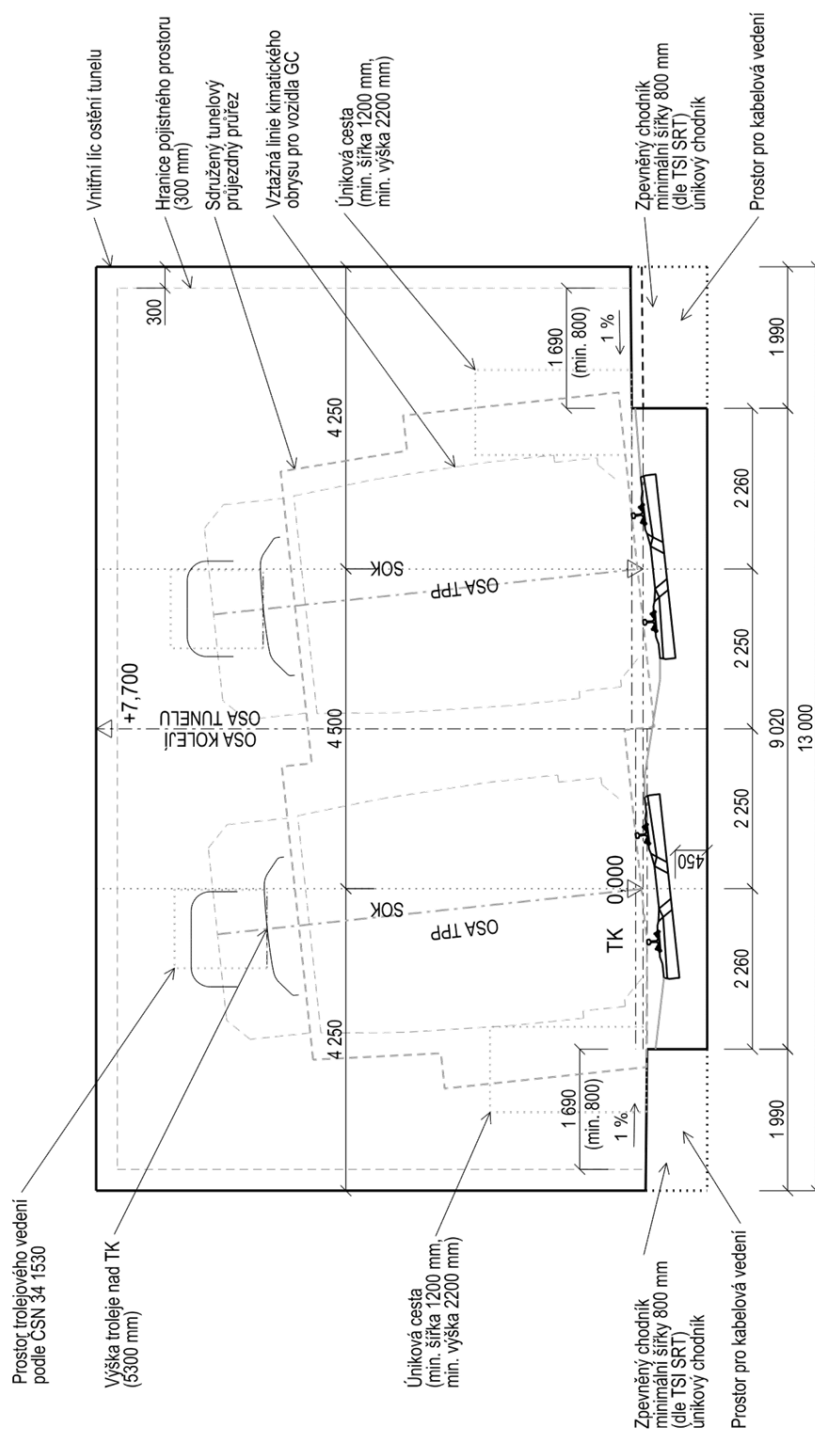
Obrázek 5. Jednokolejný tunel VRT pro rychlost $200 \text{ km/h} < V \leq 230 \text{ km/h}$



Parametry příčného řezu:

Typ železničního svršku	PJD
Převýšení	0 mm až 160 mm
Odsazení osy tunelu od osy koleje	0 mm
Vnitřní poloměr	4 700 mm
Světlost plocha příčného řezu nad TK	60,15 m ²

Obrázek 7. Dvukolejný hloubený tunel VRT pro rychlost 270 km/h < V ≤ 350 km/h



Parametry příčného řezu:

Typ železničního svršku	PJD
Převýšení	0 mm až 160 mm
Odsazení osy tunelu od osy koleje	0 mm
Vzdálenost os kolejí	4 500 mm
Světlost šířka	13 000 mm
Světlost výška	7 700 mm
Světlost plocha příčného řezu nad TK	100,94 m ²

B.2.2 Volba výpočetního modelu evakuace

Pro modelování evakuace v tunelových stavbách se doporučují počítačové agentní evakuační modely, které umožňují vyhodnotit vliv požáru na pohyb unikajících osob. Modely založené na agentech simulují jednotlivé osoby jako nezávislé agenty s vlastními rozhodovacími procesy. Tyto modely umožňují detailní analýzu chování jednotlivců a jejich interakcí s prostředím, například vliv stresu, omezené viditelnosti či dynamicky se měnících podmínek během požáru.

B.2.4 Doporučený návrhový evakuační scénář

Celkový počet osob byl stanoven na základě informací od zadavatele a odpovídá plně obsazené, zdvojené vlakové soupravě. Procentuální obsazenost 4 % velmi pomalých osob (s rychlostí 0,46 až 0,76 m/s) byla stanovena na základě předešlých diskuzí u akce Krušnohorského a Berounského tunelu.

Průměrná rychlost průchodu osob dveřmi z jednotlivých vagónů vlaku je jedna osoba za 3 sekundy (průtok dveřmi 0,34 osob za sekundu). Tato doba byla stanovena na základě experimentálních testů zaměřených na dobu potřebnou k evakuaci z osobního železničního vozu, které provedli v letech 2005 a 2006 S. H. Markos a J. K. Pollard pod záštitou Federal Railroad Administration (FRA).

B.2.3 Doporučené vstupní údaje modelu evakuace

Pro tvorbu modelu evakuace v tunelu byly zvoleny parametry, které zohledňují realistické i konzervativní scénáře s cílem umožnit spolehlivé posouzení bezpečnosti úniku osob. Model zahrnuje prostorové uspořádání, charakteristiky evakuujících se osob a jejich pohybové vlastnosti. Následující tabulka uvádí doporučené hodnoty vstupních parametrů, které lze upravit dle specifik konkrétního projektu.

Prostorové uspořádání, zejména šířka únikového chodníku, rozměry vstupů do propojek nebo únikových objektů a dispozice prostoru u tunelových portálů, bylo stanoveno s ohledem na skutečný provozní stav tunelové stavby. Šířka únikového chodníku byla navržena jako 1,2 m. Nejmenší světlá výška nad únikovým chodníkem byla definována na 2,25 m, aby byl zajištěn bezpečný a bezproblémový průchod osob. Minimální světlé rozměry dveří vedoucích do propojek nebo únikových objektů byly stanoveny na šířku 1,4 m a výšku 2,0 m. Tyto hodnoty představují základní požadavky na vstupy do bezpečného prostoru a vycházejí z nařízení komise č. 1303/2014 („TSI“).

- **Počet osob ve vlakové soupravě** byl zvolen s ohledem na současný trend, který ukazuje, že maximální kapacita jedné moderní jednotky (např. Euroduplex - TGV 2N2) činí 556 cestujících. Při uvažované 75% obsazenosti v maximální konfiguraci (zdvojená jednotka) vychází počet cestujících následovně:
- $556 \times 2 \times 0,75 = 834$ osob, zaokrouhleně přibližně 840 osob.
- **Věkové rozdělení** vychází z údajů o počtu obyvatel ČR z Českého statistického úřadu. Poměr mužů a žen a věkové složení je dostupné pro jednotlivce od 1 roku do 100+ let.
- **Rychlost pohybu** pro jednotlivé skupiny osob (<30 let, 30-50 let, >50 let) byla zvolena a převzata z publikace/studie Buchmüller S. a Weidmann U. Pro osoby s omezenou schopností pohybu byly hodnoty rychlosti pohybu převzaty z „*Guideline for Microscopic Evacuation Analysis*“ od asociace RIMEA.

Tabulka 5 Rychlost pohybu osob pro jednotlivé skupiny osob

Skupina osob	Věková kategorie	Rozsah rychlosti chůze
Muži	do 30 let	0,580 – 1,610 m/s
Muži	30–50 let	1,410 – 1,514 m/s
Muži	nad 50 let	0,671 – 1,392 m/s
Ženy	do 30 let	0,516 – 1,433 m/s
Ženy	30–50 let	1,255 – 1,371 m/s
Ženy	nad 50 let	0,605 – 1,255 m/s
Osoby se sníženou schopností pohybu	bez rozlišení věku	0,460 – 0,760 m/s

- **Zastoupení osob s omezenou schopností pohybu** vychází z údajů o počtu obyvatel ČR z Českého statistického úřadu.
- **Rozložení osob ve vlaku** bylo zvoleno jako nahodilé. V případě, že je známá dispozice vlakové soupravy, lze rozložení osob ve vlaku upravit podle skutečné dispozice.
- **Rychlost výstupu z vlaku**, stanovená na 1 osobu za 3 sekundy (tj. průtok dveřmi 0,34 osob za sekundu), byla určena na základě experimentálních testů zaměřených na dobu potřebnou k evakuaci z osobního železničního vozu, které provedli v letech

2005 a 2006 S. H. Markos a J. K. Pollard pod záštitou Federal Railroad Administration (FRA).

B.3 Kritéria přijatelnosti

Kritéria přijatelnosti stanovují mezní hodnoty pro parametry, které ovlivňují bezpečnost evakuace v tunelu během požáru. Tyto limity určují, zda simulace splňuje požadavky na bezpečný pohyb osob, stabilitu konstrukcí a podmínky pro zásah JPO.

Koncentrace CO (200 ppm, 400 ppm, 800 ppm) a jejich účinky na člověka po určité době expozice byly převzaty ze stránky CO2meter. Hodnota **1400 ppm** je uváděna jako nejvyšší přípustná hodnota ve více státech, jako je Jižní Korea, Nový Zéland nebo Canada. Maximální doba bezpečné expozice je doba v minutách uvedena závorce. Po této době se u osob objevují fyzické příznaky a osoby nejsou schopny vykonávat jakoukoliv činnost, tudíž nejsou schopny se bezpečně evakuovat.

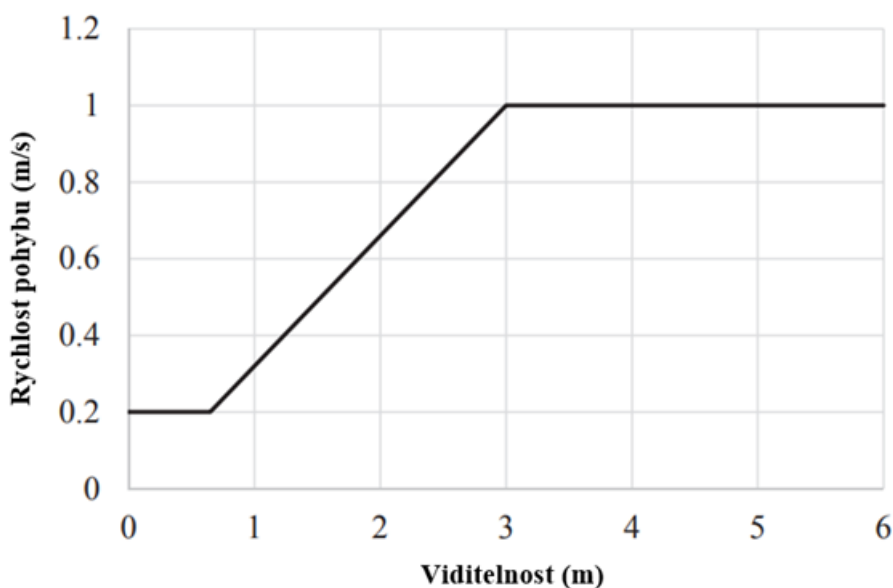
Koncentrace HCN byly převzaty z publikace „*Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat*“. Na základě provedené studie bylo zjištěno, že při hodnotách **pod 80 ppm** byly účinky i při mírné hyperventilaci zanedbatelné. V rozmezí **80–180 ppm** docházelo do 30 minut k bezvědomí, přičemž mezi koncentrací a časem do ztráty vědomí existoval lineární vztah. Při koncentracích **nad 180 ppm** nastupovala hyperventilace okamžitě a bezvědomí následovalo během několika minut.

Viditelnost

Při poklesu viditelnosti pod limitní hodnotu 3 m dochází ke zhoršené orientaci osob v zasaženém prostoru a ke snížení jejich rychlosti. Změny rychlosti pohybu osob v kouři a jejich závislost na viditelnosti (tzv. **faktor zpomalení osob**) je v programu Pathfinder řešen podle Fridolfa. Snížení rychlosti pohybu osob při viditelnosti pod 3 m je reprezentováno jako lineárně klesající hodnota se sklonem, který je rovnoběžný s regresní přímkou. V praxi to znamená, že rychlost pohybu osob v kouři je znázorněna následujícím způsobem:

- Úrovně viditelnosti >3 m: Rychlost pohybu osob je určena náhodnou hodnotou z normálního rozdělení s průměrem 1,35 m/s a směrodatnou odchylkou 0,25 m/s (podle Fruin) s minimálními a maximálními prahovými hodnotami 0,85 a 1,85 m/s.
- Úrovně viditelnosti ≤3 m: Rychlost pohybu osob je reprezentována relativním snížením o 0,34 m/s na metr viditelnosti (což vede k tomu, že nejpomalejší jedinci klesají na minimální rychlost 0,2 m/s).

Obrázek 8 Znázornění rychlosti pohybu osob v kouři



Vzájemný vztah pak může být popsán následující rovnicí, kde w je rychlost pohybu (m/s), $w_{bez\ kouře}$ je rychlost pohybu (m/s) v podmínkách bez kouře a x je viditelnost (m). Předpokládá se, že počáteční rychlost bude lineárně klesat, dokud není dosaženo minimální rychlosti (0,2 m/s).

$$w = \min(w_{smoke-free}; \max(0.2; w_{smoke-free} - 0.34 * (3 - x)))$$

Prahová hodnota teploty vzduchu byla stanovena na hodnotu 60°C. Tato hodnota vychází ze dvou publikací D.A. Purser. Vyšší teploty mohou způsobit tepelný stres, popáleniny a znemožnit evakuaci. Při vdechování vzduchu nad touto teplotou hrozí popáleniny dýchacích cest.

Frakční efektivní dávka (FED) byla převzata z mezinárodní normy ISO 13571. Jedná se o komplexní ukazatel, který zohledňuje účinky několika nebezpečných faktorů při požáru:

- **Teplota okolního prostředí:** Vysoké teploty plynů mohou způsobit popálení kůže, dýchacích cest a přehřátí organismu, což může narušit schopnost evakuace.
- **Koncentrace toxických plynů:** FED zahrnuje účinek toxických plynů, jako je oxid uhelnatý (CO), popř. kyanovodík (HCN), které mohou výrazně zhoršit dýchací funkce a způsobit otravu.
- **Viditelnost v kouři:** Snížená viditelnost komplikuje orientaci a může výrazně zpomalit nebo zastavit evakuaci.
- **Délka expozice:** Čím delší je doba expozice nepříznivým podmínkám, tím vyšší je riziko ztráty schopnosti evakuace.

Hodnota FED 1,0 odpovídá přibližně 30% saturaci krve karboxyhemoglobinem, což je střední hodnota odpovědi populace na expozici. **Kritická hodnota FED pro evakuaci je stanovena na 0,3, což odpovídá zhruba 10% saturaci krve karboxyhemoglobinem.** Tato hodnota je považována za maximální přípustnou pro akutní expozici, nad kterou může být schopnost evakuace výrazně ohrožena.

Hodnota tepelného toku byla stanovena na základě údajů uvedených v publikaci D. A. Pursera a J. L. McAllistera. Maximální přípustná hodnota tepelného toku činí 2,5 kW/m². Pod touto úrovní může expozice trvat několik minut, aniž by došlo k vážnému ohrožení života a zdraví osob. Její překročení však může vést k přehřátí organismu a následnému vzniku popálenin.

Použité zdroje

- [1] Buchmüller, S.; Weidmann, U. *Parameters of pedestrians, pedestrian traffic and walking facilities. Swiss Federal Institute of Technology. Institute for Transport Planning and Systems. Schriftenreihe des IVT-Report Nr. 132. 2006.*
- [2] *Guideline for Microscopic Evacuation Analysis, version 4.0.1. Asociace RIMEA. 2024.*
- [3] Markos, S. H.; Pollard, J. K. *Passenger Train Emergency Systems: Single-Level Commuter Rail Car Egress Experiments. Federal Railroad Administration (FRA). Technical Reports – DOT/FRA/ORD-15/04. 2015.*
- [4] Lovreglio, R. et al. *A pre-evacuation database for use in egress simulations. Fire Safety Journal. Volume 105, pp 107-128, 2019*
- [5] CO2meter. *Carbon monoxide levels chart, GAS MEASUREMENT SPECIALISTS. 2024.*
- [6] Aico. *Carbon Monoxide Levels Explained. 2025.*
- [7] X-Sense. *What Carbon Monoxide Levels Will Sound the Alarm. 2020.*
- [8] Buchanan, A.H. *Fire Engineering Design Guide. Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury: Canterbury, New Zealand, 1994.*
- [9] Hadjisophocleous, G.V.; Bénichou, N. *NRCC-43976, Development of performance-based codes performance criteria and fire safety engineering methods. International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, vol. 4 (2000), no. 2, pp. 127–142.*
- [10] Purser, D.A. *Combustion Toxicity. In: Hurley, M.J., et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York, NY. 2016. ISBN: 978-1-4939-2565-0*
- [11] Ingason, H., et al. *Visibility. In: Tunnel Fire Dynamics, Second Edition. Springer Nature, Switzerland AG, 2024. ISBN: 978-3-031-53922-0.*
- [12] Purser, D.A. *Toxic product yields and hazard assessment for fully enclosed design fires. Polymer International, vol. 49 (2000), no. 10, pp. 1232-1255. ISSN: 1097-0126.*

- [13] *Purser, D.A., McAllister, J.L. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. In: Hurley, M.J., et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York, NY, 2016. ISBN: 978-1-4939-2565-0.*
- [14] *ISO 13571 Life-threatening components of fire —Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires, version date 15. 09. 2012.*
- [15] *Fridolf, K.; Ronchi, E.; Daniel Nilsson, D; Frantzich, H. The Representation of Evacuation Movement in Smoke-Filled Underground Transportation Systems. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 90 (2019), pp. 28–41.*
- [16] *Fruin, J.J., 1987. Pedestrian Planning and Design, Revised Edition. Elevator World Inc, Mobile, AL.*

Příloha A - Výsledky modelů evakuace

Návrhové scénáře

Pro hodnocení byly stanoveny čtyři návrhové požární scénáře a 8 návrhových evakuačních scénářů:

- **P.1-E.1** – jednokolejný tunel, vlaková souprava délky 200 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 450 osob (*časté z pohledu obsaditelnosti, vzácné z pohledu místa zastavení*)
- **P.2-E.2** – jednokolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 840 osob (*příležitostné z pohledu obsaditelnosti, vzácný z pohledu místa zastavení*)
- **P.2-E.3** – jednokolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 350 m, simulace úniku 840 osob (*příležitostné z pohledu obsaditelnosti, pravděpodobné z pohledu místa zastavení*)
- **P.3-E.4** – dvoukolejný tunel, vlaková souprava délky 200 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 450 osob (*časté z pohledu obsaditelnosti, vzácné z pohledu místa zastavení*)
- **P.4-E.5** – dvoukolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 840 osob (*příležitostné z pohledu obsaditelnosti, vzácné z pohledu místa zastavení*)
- **P.4-E.6** – dvoukolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 350 m, simulace úniku 840 osob (*příležitostné z pohledu obsaditelnosti, pravděpodobné z pohledu místa zastavení*)

Doplňující scénáře:

- **P.2-E.7** – jednokolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 1270 osob (*vzácné z pohledu obsaditelnosti, vzácné z pohledu místa zastavení*)
- **P.4-E.8** – dvoukolejný tunel, vlaková souprava délky 400 m, vzdálenost k bezpečnému únikovému východu je 500 m, simulace úniku 1270 osob (*vzácné z pohledu obsaditelnosti, vzácné z pohledu místa zastavení*)

Tyto požární a evakuační scénáře umožňují simulovat rozvoj požáru a následně průběh evakuace osob a ověřit, zda jsou zajištěny dostatečné podmínky pro bezpečný únik osob z tunelu.

Výsledky návrhových scénářů

Tabulka 3 – Výsledky návrhových scénářů

Scénář	Tunel	Vzdálenost k východu	Délka vlakové soupravy	Počet osob	Celková doba evakuace	Celková doba evakuace	Počet ohrožených osob
		(m)	(m)	(osob)	(sekund)	(min:sek)	
P.1-E.1	1kolejný	500	200	420	1 276,5	21:16	Bude doplněno
P.2-E.2		500	400	840	1 269,5	21:09	Bude doplněno
P.2-E.3		350	400	840	932,5	15:32	Bude doplněno
P.3-E.4	2kolejný	500	200	420	1 289,5	21:29	Bude doplněno
P.4-E.5		500	400	840	1 266,8	21:06	Bude doplněno
P.4-E.6		350	400	840	845,8	14:05	Bude doplněno
Doplňující							
P.2-E.7	1kolejný	500	400	1270	1695,0	28:15	Bude doplněno
P.4-E.8	2kolejný	500	400	1270	1 711,3	28:31	Bude doplněno

K JEDNOTLIVÝM SCÉNÁŘŮM BUDOU DOPLNĚNY GRAFICKÉ PŘÍLOHY (GRAFY, TABULKY, VIZUALIZACE) A TEXTOVÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.

