

Paré:

Orientační schéma:


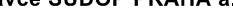


Razítka oprávněné osoby

Podnisi:

Datum

Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
001	26.3.2025	Referenční dokumentace	Ing. Petr Makásek Ph.D.

Stavebník / investor:	Správa železnic, státní organizace	 SPRÁVA ŽELEZNIC
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1	
Zástupce investora:	Stavební správa západ	
Adresa:	Ke Štvanici 656/3, 186 00 Praha 8	

Zhotovitel díla: Adresa: Kontakt:	Společnost „SP + SEU + Mott Nemaše_DÚR, DSP“, správce SUDOP PRAHA a.s. Olšanská 1a, 130 00 Praha 3 T: +420 267 094 111 E: praha@sudop.cz <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   <div style="text-align: right;">  </div> </div>		
Zhotovitel části / objektu: Adresa: Kontakt:	Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Národní 984/15, 110 00 Praha 1 T: +420 221 412 800 E: czech@mottmac.com <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div>		
Hlavní projektant (HIP):	Ing. Miloš Krameš	Specialista:	Ing. Petr Makásek Ph.D.

Název stavby / akce:		MODERNIZACE TRATI NEMANICE I - ŠEVĚTÍN REFERENČNÍ DOKUMENTACE										Označení (S-kód):		S631500294														
												Zakázka:		20-185.201														
Název části:		Tunely										Označení části:		D.2.1.7														
Název objektu:		Chotýčanský / Hosínský tunel										Číslo objektu / komplexu:		-														
Název přílohy:		Požadavky na požární bezpečnost										Číslo přílohy:		1 . 001														
Název dílčí části přílohy:																												
Odpovědný projektant:		Zpracovatel přílohy:					Měřítko:					Stupeň dokumentace:																
Ing. Petr Makásek Ph.D.		kolektiv					Formáty:					Referenční dokumentace (RD)																
Kraj:		Katastrální území:					TUDU:					Smluvní datum zpracování:																
Jihočeský		viz textová část					viz textová část					03/2025																
S-kód:		Stupeň dokumentace:					Část:					Objekt:					Podobjekt:		Příloha:					Revize:				
S 6 3 1 5 0 0 2 9 4		R D X X					D 2 1 0 7					S O X X X X X X X X					X X		1 0 0 1					0 0 1				

Požadavky na požární bezpečnost železničních tunelů Hosín a Chotýčany umístěných na železniční trati Nemanice I – Ševětín

Investor:

Správa železnic, s.o.
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

Objednatel:

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Národní 984/15
110 00 Praha 1

Datum zpracování:

03/2025

Počet stran:

10

OBSAH

1	ÚVODNÍ ČÁST	3
1.1	ÚDAJE O STAVBĚ A OBJEKTU	3
1.2	ÚDAJE O STAVEBNÍKOVÍ	3
1.3	ÚDAJE O ZPRACOVATELI ČÁSTI DOKUMENTACE	3
1.4	PŘEDMĚT PLNĚNÍ	3
2	ZÁKLADNÍ PRÁVNÍ PŘEDPISY A TECHNICKÉ DOKUMENTY	4
3	PŘEHLED POŽADAVKŮ NA ZAJIŠTĚNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI	5
3.1	POPIS TUNELU	5
3.2	POŽÁRNÍ ÚSEKY	5
3.3	STAVEBNÍ KONSTRUKCE	5
3.4	REAKCE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ NA OHEŇ VČETNĚ SEZNAMU HOŘLAVÝCH MATERIÁLŮ	6
3.5	ÚNIKOVÉ CESTY	6
3.6	NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ	6
3.7	BEZPEČNOSTNÍ ZNAČENÍ	7
3.8	DODÁVKA ELEKTRICKÉ ENERGIE	7
3.9	DRÁŽNÍ TELEFON	7
3.10	RADIOVÉ SPOJENÍ	7
3.11	ELEKTRICKÁ POŽÁRNÍ SIGNALIZACE (EPS)	8
3.12	SYSTÉM AUTONOMNÍHO SAMOČINNÉHO HASICÍHO SYSTÉMU (ASHS)	8
3.13	ZÁSOBOVÁNÍ POŽÁRNÍ VODOU	8
3.14	PŘÍJEZDY A PŘÍSTUPY, NÁSTUPNÍ/ZÁCHRANNÉ PLOCHY	9
3.15	DALŠÍ POŽADAVKY	9
4	ZÁVĚR	10

1 Úvodní část

1.1 Údaje o stavbě a objektu

Název stavby:	Modernizace trati Nemanice I – Ševětín
Stavební objekt:	tunely Hosín a Chotýčany
Místo stavby:	Železniční trať České Budějovice - Praha, traťový úsek Nemanice I - Ševětín

1.2 Údaje o stavebníkovi

Stavebník / investor:	Správa železnic, státní organizace Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 IČO: 709 94 234
-----------------------	--

1.3 Údaje o zpracovateli části dokumentace

Odpovědný projektant:	VŠB – TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství Lumírova 630/13, 700 30 Ostrava – Výškovice IČO/DIČ 61989100 / CZ61989100 doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D. autorizovaný inženýr v oboru PBS AO 1104493 prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček
-----------------------	---

1.4 Předmět plnění

Předmětem plnění je zpracování požadavků na požární bezpečnost dvou samostatných železničních tunelů – Hosín a Chotýčany – umístěných na trati Nemanice I – Ševětín. Dokument definuje soubor technických, stavebních a provozních opatření sloužících k ochraně osob a infrastruktury v případě vzniku požáru.

Součástí zadávací dokumentace je rovněž Referenční projektová dokumentace objednatele, která graficky doplňuje a ilustruje jednotlivé požadavky. Formálně je zařazena do dílu 4 jako část 4 a tvoří integrální součást Požadavků objednatele ve smyslu odst. 1.1.1.5 smluvních podmínek FIDIC (Žlutá kniha). Tyto dokumenty je třeba chápat jako vzájemně se doplňující a vysvětlující. V případě rozporu, nejasnosti nebo nesrovnalosti mezi nimi má přednost tento dokument – Požadavky objednatele. Hierarchie jednotlivých dokumentů je dále vymezena v pod-článku 1.5 smluvních podmínek.

Referenční projektová dokumentace objednatele je zpracována jako zjednodušený projekt, který pokrývá všechny přípustné varianty technického řešení i postupů provádění ražeb.

2 Základní právní předpisy a technické dokumenty

Pro zajištění požární bezpečnosti železničních tunelů je nutné dodržet následující právní a technické požadavky:

- Nařízení Komise (EU č. 1303/2014) ze dne 18. 11. 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se „bezpečnosti v železničních tunelech“ železničního systému Evropské unie. Ve znění pozdějších změn a oprav (Nařízení Komise EU č. 2016/912, Prováděcí Nařízení Komise EU č. 2019/776 a č. 2024/191).
- Nařízení Komise (EU č. 1302/2014) ze dne 18. 11. 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu (TSI LOC) týkající se „subsystému kolejová vozidla“ železničního systému Evropské unie.
- Zákon ČNR č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon, ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška MV č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška MV č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 460/2021 Sb., o kategorizaci staveb z hlediska požární bezpečnosti a ochrany obyvatelstva.
- Nařízení vlády č. 133/2005 Sb., o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému, ve znění pozdějších předpisů.
- řadu norem ČSN 73 08xx Požární bezpečnost staveb.
- další technické normy a dokumenty.

3 Přehled požadavků na zajištění požární bezpečnosti

Tato kapitola poskytuje přehled navržených opatření pro tunely Hosín a Chotýčany z hlediska ochrany při vzniku požáru. Zahrnuje členění požárních úseků, požadavky na stavební konstrukce a technické vybavení, zásady evakuace, podporu zásahu složek IZS a zajištění funkčnosti systémů během požáru.

3.1 Popis tunelu

Stručný popis tunelové stavby z hlediska jejího účelu, stavebních konstrukcí, technologie a provozu, včetně umístění stavby ve vztahu k okolí.

Tunely Hosínský (3 120 m) a Chotýčanský (4 824 m) budou provedeny jako jednododní tunelové trouby, které budou střední dělicí stěnou rozděleny na dvě samostatné požárně oddělené části. Pro zajištění evakuace osob budou ve střední příčce instalovány požární dveře ve vzdálenostech maximálně 250 m, které umožní únik do nezasažené části tunelu.

Tunely budou vybaveny požární ventilací, která v případě mimořádné události zajistí přetlak v nezasažené tunelové troubě a zabrání pronikání kouře. Portálové části budou v délce 30 m navrženy ve dvou zvětšených profilech s odlehčovacími otvory, které slouží jako ochranné opatření proti vzniku mikrotlakových vln (tzv. sonického třesku).

Technologické komory pro umístění technického zařízení budou rozmístěny po pravé straně tunelu ve směru staničení, s maximálními rozestupy 500 m. V tunelu Chotýčany bude umístěno celkem 9 technologických komor, v tunelu Hosín 6 komor – jejich velikost se bude lišit podle rozsahu instalovaných zařízení.

V hloubených částech tunelů, v bezprostřední blízkosti portálů, budou zřízeny menší technologické místnosti pro sdělovací zařízení a rozvodny NN. Na technologickou komoru č. 4 v Chotýčanském tunelu bude napojena technická chodba se svislou šachtou, kterou budou napájeny obě větve nezavodněného požárního vodovodu.

3.2 Požární úseky

Rozdělení tunelových trub a technologických prostor do požárních úseků.

Stanovení stupňů požární bezpečnosti jednotlivých požárních úseků (*zařazení do VII. stupně požární bezpečnosti*).

3.3 Stavební konstrukce

Požadované požární odolnosti stavebních konstrukcí a požárních uzávěrů v souladu s TSI.

Komentář: Konstrukce ostění tunelu RE 180 DP1, nosná požárně dělicí konstrukce REI 180 DP1, nenosná požárně dělicí konstrukce EI 180 DP1 (např. technické komory), požární uzávěry EI 90 SC DP1 ve středové příčce, EI 90 S DP1 ve vstupech do technických komor.

Posouzení skutečné požární odolnosti stavebních konstrukcí

Posouzení nosných a nenosných konstrukcí tunelové trouby, požárních uzávěrů, prostupů kabelů, požárního vodovodu a vzduchotechnického potrubí požárně dělicími konstrukcemi, včetně vnějších kabelových tras a požárních ucpávek.

3.4 Reakce stavebních materiálů na oheň včetně seznamu hořlavých materiálů

Materiál nosné konstrukce tunelu musí být nejvýše třídy reakce na oheň A2.

Nenosné konstrukce a jiné vybavení v tunelu mohou vykazovat až třídu reakce na oheň B.

Seznam hořlavých materiálů v tunelové troubě obsahuje pouze materiály, které výrazně nepřispívají k zatížení okolí požárem.

3.5 Únikové cesty

Základní požadavky na únikové cesty včetně bezpečné oblasti (tj. nezasažená tunelová trouba) zahrnují minimální šířku únikového chodníku 0,8 m, světlou výšku nad chodníkem alespoň 2,25 m a nepřerušené madlo ve výšce 0,8–1,1 m. Propojení mezi tunelovými troubami zajišťují posuvné požární dveře o šířce 1,4 m a výšce 2 m, umístěné ve vzdálenostech maximálně 250 m.

Požadavky na požární větrání nezasažené tunelové trouby bude zajištěno vytvářením přetlaku v nezasažené tunelové troubě ve shodném směru jako v zasažené tunelové troubě pomocí proudových reverzibilních ventilátorů, rychlost vzduchu min. 0,5 m/s; zabránění recirkulace kouře na portálu tunelu; systém požárního větrání bude aktivován systémem EPS a/nebo dálkově z operačního střediska HZS podniku SŽ nebo z Centrálního dispečerského pracoviště.

Požadavky na volné prostranství u tunelových portálů musí být umožněn odchod osob od tunelu do bezpečí.

Posouzení únikových cest bude provedeno na základě výpočtu úniku osob ze zasažené tunelové trouby podle ČSN 73 0802 a doplněno podrobným výpočtem pomocí modelu rozvoje požáru a evakuace osob.

3.6 Nouzové osvětlení

Osvětlení tunelových trub vedoucích unikající osoby do bezpečné oblasti je umístěno na straně chodníku a integrováno do zábradlí. Svítidla nesmí zasahovat do volného prostoru určeného pro průchod osob.

Nouzové osvětlení musí být funkční po dobu minimálně 120 minut a zajišťovat osvětlenost alespoň 1 lux ve vodorovné rovině na úrovni chodníku. Svítidla musí být mechanicky odolná a porucha jednotlivého svítidla nesmí ohrozit funkčnost celého systému. Kabeláž bude provedena s požární odolností minimálně PH 90-R.

Ovládání osvětlení bude možné ručně z tlačítkových panelů ve vzdálenostech do 250 m a dále automaticky prostřednictvím systému EPS. Dálkové ovládání bude zajištěno z technologického objektu, z Centrálního dispečerského pracoviště Praha a z operačního střediska HZS podniku SŽ. Nouzové osvětlení bude napojeno na náhradní zdroj elektrické energie.

3.7 Bezpečnostní značení

Bezpečnostní značení směru úniku bude vyznačovat směr a vzdálenost v metrech k nejbližším vstupům do sousední tunelové trouby nebo k portálu tunelu. Značky budou osvětlované a rozmístěné maximálně po 50 metrech, střídavě na levé a pravé stěně tunelové trouby. Na posuvných dveřích ve středové příčce budou z obou stran umístěny fotoluminiscenční značky upozorňující na možnost vstupu.

Bezpečnostní značení požární vody bude zajištěno vyznačením a očíslováním všech vnitřních odběrných míst, tj. výtokových ventilů.

Orientační značení bude provedeno v retroreflexním provedení, a to formou číselného označení dveří ve středové příčce pro snadnou orientaci složek integrovaného záchranného systému.

3.8 Dodávka elektrické energie

Zajištění dodávky elektrické energie pro tunel je řešeno prostřednictvím napájení 1. stupně – ze stálé distribuční sítě a záložního dieselagregátu s automatickým startem při výpadku sítě. Dodávka elektrické energie musí být zajištěna minimálně na dobu 120 minut. Na objekt Energocentra bude instalováno přípojné místo pro připojení mobilního dieselagregátu pro případ dočasné servisní činnosti.

3.9 Drážní telefon

IP telefonie musí umožnit spojení s Centrálním dispečerským pracovištěm, operačním střediskem HZS podniku SŽ, elektrodispečerem, Energocentrem a případně dalšími stanovišti SŽ.

Zařízení bude instalováno u technických komor, v blízkosti portálů a v technologických objektech – včetně Energocentra a hlavního technologického objektu.

3.10 Radiové spojení

Radiové pokrytí tunelu bude zajištěno systémem GSM-R. Dále bude instalováno zařízení pro šíření radiového signálu umožňující komunikaci složek IZS prostřednictvím digitálního systému Pegas i analogové sítě HZS. Technologické řešení bude projednáno a schváleno s HZS JHC, ZZS JHC a Policií ČR. Systém bude vybaven funkcí pro monitorování případných poruch.

Radiovým signálem budou pokryty tunelové trouby, okolí obou portálů do vzdálenosti přibližně 150 m a bezprostřední okolí technologických objektů.

Pro zajištění funkčnosti bude použita kabeláž s požární odolností minimálně PH 90-R a technickými parametry tříd B2_{ca}, s1a, a1, d1.

3.11 Elektrická požární signalizace (EPS)

V **technologických prostorech** bude instalován plně adresovatelný systém EPS s dvoustupňovou signalizací požárního poplachu. Ústředny EPS tunelu budou zokruhovány po optickém kabelu a propojeny s ústřednou EPS umístěnou na operačním středisku HZS podniku SŽ. Informace o požáru bude prostřednictvím ZDP předána na KOPIS HZS JHC kraje. Data o stavu EPS budou přenášena do Centrálního dispečerského pracoviště Praha. Vybraná zařízení ovládaná EPS lze aktivovat i dálkově z dispečerského pracoviště.

Součástí systému budou **samočinné hlásiče požáru** umístěné pouze v technologických prostorech a **tlačítkové hlásiče požáru** u propojovacích dveří mezi tunelovými troubami. **Klíčové trezory a ovládací prvky požární ochrany (OPPO)** budou instalovány na technologických objektech v oblasti portálů.

Napájení systému EPS bude zajištěno vlastním náhradním zdrojem (akumulátorem). Kabeláž bude provedena ve třídě reakce na oheň B2_{ca}, s1a, a1 a kabelové trasy budou mít funkční integritu minimálně PH 90-R.

3.12 Systém autonomního samočinného hasicího systému (ASHS)

ASHS bude instalován v místnostech sdělovacích technologií a v rozvodnách nízkého napětí. Pro hašení bude využit plynový systém, který bude napojen na systém EPS. Spuštění ASHS bude zajištěno prostřednictvím opticko-kouřových hlásičů požáru, připojených u každého zařízení na dvě samostatné hlásicí linky s logikou 2/2.

Napájení systému ASHS bude zajištěno vlastním náhradním zdrojem – akumulátorem. Kabeláž systému bude provedena v třídě reakce na oheň B2_{ca} a kabelové trasy budou mít funkční integritu minimálně PH 90-R.

3.13 Zásobování požární vodou

Zdroj požární vody musí zajistit průtok 1200 l/min po dobu minimálně 2 hodin při výstupním tlaku 0,45 MPa (max. 0,8 MPa). Požární nádrž umístěná u nástupní/záchranné plochy bude mít objem určený pro pokrytí požárního zásahu a pro zavodnění nezavodněného požárního potrubí. Nádrž musí být schopna doplnění do 36 hodin.

Automatická tlaková stanice (ATS) bude navržena tak, aby zajistila zavodnění požárního vodovodu do 20 minut od aktivace, která bude spuštěna na základě signálu systému EPS. Ovládání ATS bude možné z operačního střediska HZS podniku SŽ, z Centrálního dispečerského pracoviště i z Energocentra. ATS bude napájena ze záložního zdroje tunelu.

Vnitřní odběrná místa požární vody (výtokové ventily) budou umístěna pod únikovým chodníkem ve vzdálenostech maximálně 80 m. Výtokové ventily budou vybaveny rychlouzavíracím mechanismem, spojkou a tlakovým víčkem B75.

Vnější odběrná místa (nadzemní hydranty) budou situována na obou portálech tunelu v prostoru nástupních/záchranných ploch. Nadzemní hydranty typu A+2B budou sloužit pro plnění požární techniky a umožní následnou dodávku vody do zavodněného potrubí v případě vyčerpání zásob z požární nádrže.

3.14 Příjezdy a přístupy, nástupní/záchranné plochy

Přístupové komunikace budou řešeny jako jednopruhové cesty o minimální šířce 3 m, doplněné výhybnami přibližně po 100 m. Tyto komunikace budou navazovat na nástupní plochy u obou portálů tunelu. Povrchy komunikací budou zpevněné a dimenzované na nápravový tlak 100 kN. Maximální přípustný podélný sklon je 9 %. Vjezd na nástupní a záchranné plochy bude zabezpečen závorou a doplněn dopravním značením, které zakazuje vjezd s výjimkou vozidel SŽ a složek IZS. Komunikace budou celoročně udržovány v provozuschopném stavu.

Nástupní a záchranné plochy budou zřízeny u obou portálů tunelu. Plocha o velikosti 600 m², určená pro umístění speciálních kontejnerů složek IZS, bude u vjezdových portálů – konkrétně u Hosína (portál Hrdějovice) a u Chotýčan (portál Dobřejovice). Plocha o velikosti 500 m² bude umístěna u výjezdových portálů – u Hosína (portál Hosín) a u Chotýčan (portál Ševětín). Obě plochy budou zpevněny na nápravový tlak 100 kN, pravidelně udržovány i v zimním období a nesmí být využívány pro ukládání sněhu.

Pevná jízdní dráha s kolejovým svrškem bude navržena tak, aby umožnila průjezd vybrané požární techniky tunelovou troubou při zásahu. Přejízdová oblast mezi běžnou kolejí a pevným jízdním povrchem musí zajistit stejnou průjezdnost pro zásahová vozidla jako samotná pevná jízdní dráha.

3.15 Další požadavky

Pro bezpečný zásah složek IZS v tunelu bude zajištěna možnost **beznapětového stavu trolejového vedení**.

V případě mimořádné události musí být umožněno spolehlivé **určení aktuální polohy železniční soupravy**.

Tunel a příportálové plochy budou monitorovány **kamerovým systémem**, přičemž kamery budou rozmístěny přibližně každých 150 m. Přístup k záznamu bude umožněn:

- v místnosti pro složky IZS v technologickém objektu (lokální přístup),
- z operačního střediska HZS podniku SŽ a z Centrálního dispečerského pracoviště Praha (dálkový přístup).

Portálové oblasti budou oploceny a vybaveny **monitorovacím systémem LIDAR** pro detekci pohybu osob a zvířete.

4 Závěr

Požadavky na požární bezpečnost tunelových staveb Hosín a Chotýčany vycházejí z platných právních předpisů, evropských technických specifikací pro interoperabilitu a technických norem. Dokument definuje systémová, technická i provozní opatření, která směřují k zajištění ochrany osob, umožnění bezpečné evakuace a zajištění účinného zásahu složek IZS při požáru.

Požadavky na únikové cesty byly prověřeny a stanoveny v rámci expertizního posouzení studie průběhu požáru a evakuace osob ve variantních tunelech TBM (Nemanice I – Ševětín) z listopadu 2024. Samostatně zpracovaná studie představuje doplňující podklad pro posouzení a zdůvodnění navrženého technického řešení.

Studie průběhu požáru a evakuace osob ve variantních tunelech TBM na stavbu Nemanice I - Ševětín



Investor:

Správa železnic, s.o.
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

Objednatel:

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Národní 984/15
110 00 Praha 1

Datum zpracování:

11/2024

Počet stran:

34

OBSAH

1	ÚVODNÍ ČÁST	2
1.1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	2
1.2	VSTUPNÍ ZADÁNÍ STUDIE	3
1.3	PŘEDMĚT PLNĚNÍ	4
1.4	PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ	5
1.4.1	<i>Podklady dodané zadavatelem</i>	5
1.4.2	<i>Ostatní podklady</i>	5
1.5	POUŽÍVANÉ ZKRATKY A SYMBOLY	5
2	KONCEPCE EVAKUACE TUNELU	6
3	POSOUZENÍ ROZVOJE POŽÁRU MODELOVÁNÍM	7
3.1	VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY MODELOVÁNÍ POŽÁRU	7
3.2	POPIS MODELOVÉ SITUACE	7
3.3	POUŽITÝ VÝPOČTOVÝ MODEL	8
3.4	VSTUPNÍ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO MODELOVÁNÍ POŽÁRU	9
3.5	VÝSTUPY MODELOVÁNÍ POŽÁRU PRO VARIANTU P.1	10
	<i>Vizualizace průběhu viditelnosti</i>	10
	<i>Průběhy sledovaných parametrů požáru</i>	15
3.6	ZHODNOCENÍ LIMITNÍCH HODNOT SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ POŽÁRU	18
4	POSOUZENÍ EVAKUACE OSOB MODELOVÁNÍM	19
4.1	VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY MODELOVÁNÍ EVAKUACE	19
4.2	ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ ÚDAJE PRO MODELOVÁNÍ EVAKUACE	19
4.3	VÝSTUPY MODELOVÁNÍ EVAKUACE	22
	<i>Varianta E.1-P.1 – evakuace na vzdálenost 500 m mezi tunelovými propojkami</i>	22
	<i>Varianta E.2a-P.2 – evakuace na vzdálenost 500 m mezi dveřmi ve středové příčce</i>	26
	<i>Varianta E.2b-P.2 – evakuace na vzdálenost 250 m mezi dveřmi ve středové příčce</i>	30
4.4	ZHODNOCENÍ PRŮBĚHU EVAKUACE	34
4.5	SHRNUTÍ STUDIE	34

1 Úvodní část

1.1 Identifikační údaje

Stavba:

Název stavby: **Modernizace trati Nemanice I – Ševětín**
Stavební objekt: **Studie průběhu požáru a evakuace osob ve variantních tunelech TBM**
Místo stavby: **Železniční trať České Budějovice - Praha**
traťový úsek Nemanice I - Ševětín

Investor stavby:

Název investora: **Správa železniční, státní organizace**
Adresa investora: **Dlážděná 1003/7**
110 00 Praha 1

Zpracovatel:

Název: **VŠB – Technická univerzita Ostrava**
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra požární ochrany
Adresa: **Lumírova 630/13**
700 30 Ostrava - Výškovice

Vypracovali:

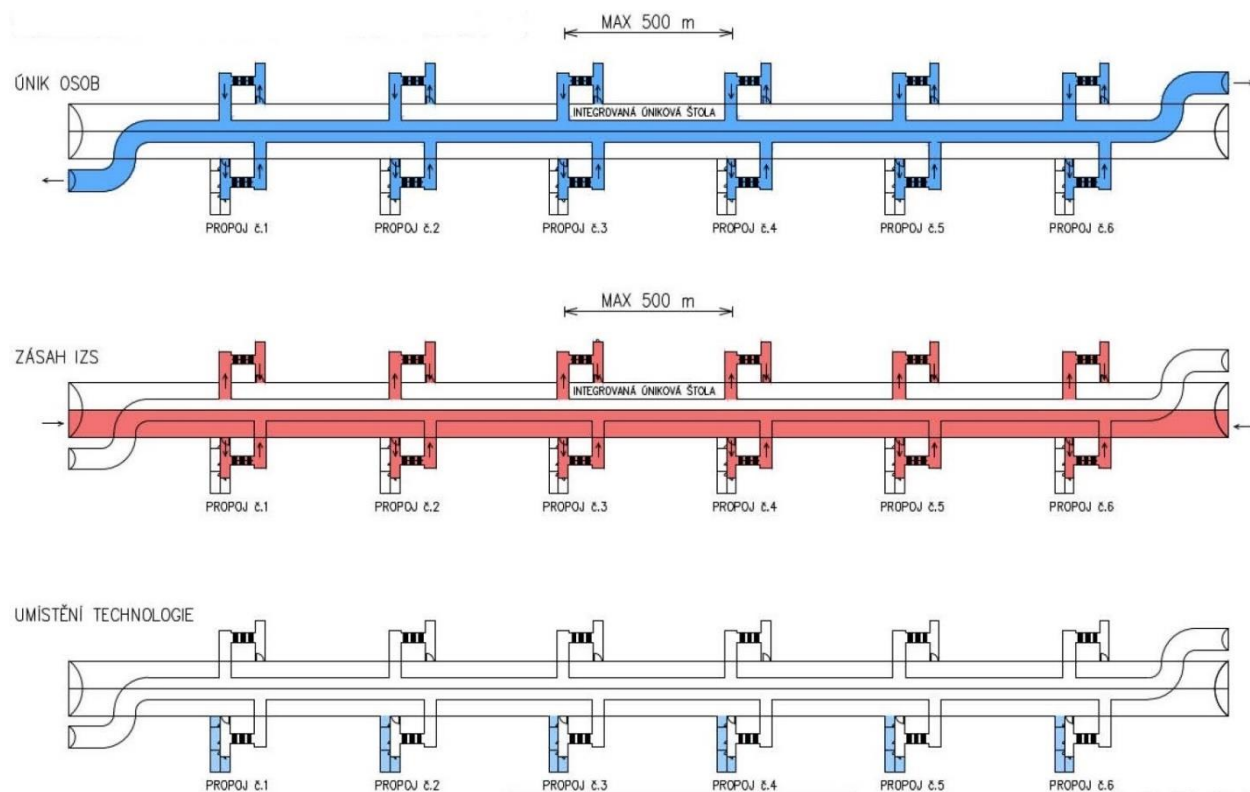
doc. Ing. et Ing. Petr Kučera, Ph.D.
autorizovaný inženýr v oboru PBS
AO 1104493

Ing. Adéla Snohová

1.2 Vstupní zadání studie

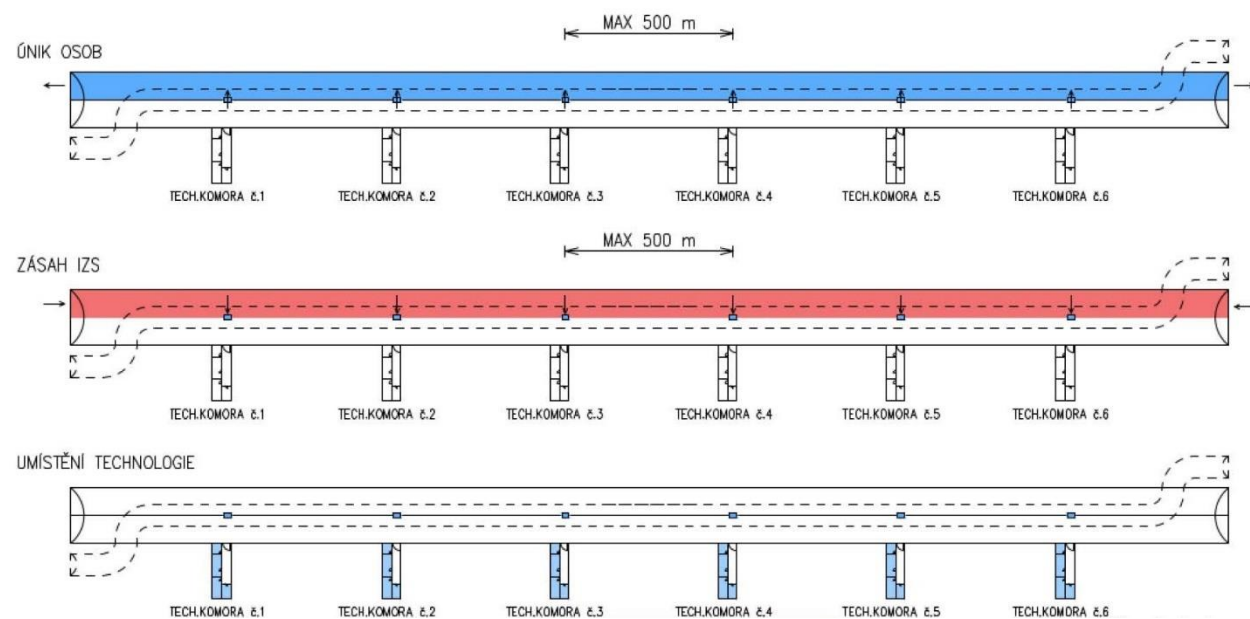
Pro zpracování studie zadal zadavatel dvě variantní řešení tunelu TBM:

Varianta 2



Obr. 1 Schéma tunelu varianty 2 s propojkami ve vzdálenosti 500 m

Varianta 3a



Obr. 2 Schéma tunelu varianty 3a s dveřmi ve středové příčce ve vzdálenosti 500 m (alternativně 250 m)

1.3 Předmět plnění

Předmětem plnění je zpracování **expertizního posouzení studie průběhu požáru a evakuace osob ve variantních tunelech TBM (Nemanice I – Ševětín)**. Řešení je rozděleno na dvě dílčí části:

I. Posouzení rozvoje požáru:

Variantní řešení modelové situace (**pro vstupní variantu 2 a variantu 3a zadání tunelů TBM**), která zohledňuje nejnejpříznivější podmínky vzniku požáru vlakové soupravy:

Varianta P.1 Simulace požáru, při které se hořící vlaková souprava zastaví poblíž jednoho z únikových vstupů do propojky (**u varianty 2**).

Poznámka: Místo vzniku požáru bylo zvoleno tak, aby komplikovalo únik osob z tunelové trouby jedním směrem. Únik je proto možný pouze opačným směrem k dalšímu vstupu do propojky.

Varianta P.2 Simulace požáru, při které se hořící vlaková souprava zastaví poblíž jednoho z únikových vstupů - dveří ve středové příčce (**u varianty 3a**).

Poznámka: Místo vzniku požáru bylo zvoleno tak, aby komplikovalo únik osob z tunelové trouby jedním směrem. Únik je proto možný pouze opačným směrem k dalším dveřím ve středové příčce.

II. Posouzení průběhu evakuace osob ve vztahu k rozvoji požáru:

Simulace průběhu evakuace osob ve vztahu k rozvoji požáru byla provedena pro tři varianty, které jsou označeny následovně:

Varianta E.1-P.1 Simulace evakuace osob **pro zadanou vstupní variantu 2**, kdy vzdálenost mezi tunelovými propojkami činí **500 m**.

Varianta E.2a-P.2 Simulace evakuace osob **pro zadanou vstupní variantu 3a**, kdy vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce je **500 m**.

Varianta E.2b-P.2 Simulace evakuace osob **pro zadanou vstupní variantu 3a**, kdy vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce je **250 m**.

Získané hodnoty budou porovnány z předchozími výsledky podrobného posouzení průběhu **evakuace tunelu Hosín** uvedeného v požárně bezpečnostním řešení [P.1]. Nově budou tyto výstupy označeny jako **varianta P.0** a evakuace jako **varianta E.0-P.0**.

Záměrem expertního posouzení je prostřednictvím matematického modelování (variantních průběhů simulace) nejprve určit **šíření požáru a zplodin hoření** v železničním tunelu prostřednictvím modelu požáru a následně posoudit **průběh evakuace**, kdy bude posuzována doba potřebná pro přemístění osob z vlakové soupravy na bezpečné místo – záchranné cesty tunelové propojky nebo nezasažené tunelové trouby.

Expertizní posouzení průběhu požáru a evakuace je zpracováno v souladu s § 99 zákona o požární ochraně [1]. Pro posouzení je využito odlišného postupu od postupu, který stanoví česká technická norma nebo jiný technický dokument upravující podmínky požární ochrany [2].

1.4 Podklady pro vypracování

1.4.1 Podklady dodané zadavatelem

- [P.1] Modernizace trati Nemanice I – Ševětín, Požárně bezpečnostní řešení tunelu Hosín, zpracovatel FBI, VŠB-TUO (subdodavatel), listopad 2024.
- [P.2] Odborné konzultace poskytnuté zástupci společnosti Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. v průběhu řešení.

1.4.2 Ostatní podklady

- [1] Zákon ČNR č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů.
- [2] Vyhláška MV č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění pozdějších předpisů.
- [3] McGrattan, K. et al Fire Dynamics simulator – User’s Guide. NIST Special Publication 1019-6. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, November 2024.
- [4] Forney, G. P. Smokeview - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User’s Guide. NIST Special Publication 1017-1. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, November 2024.
- [5] PyroSim User Manual. In: Thunderheadeng [online]. Manhattan: Thunderhead Engineering Consultants, 2024.
- [6] Ergebnisbericht zur Beurteilung von Branden an Schienenfahrzeugen als Bemessungsbrände zur brandschutztechnischen Auslegung von oberirdischen Personenverkehrsanlagen der Deutschen Bahn AG; Deutsche Bahn AG, DB Station & Service, Fachstelle Brandschutz, Frankfurt am Main, September 2000.
- [7] ISO 13571: Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires. Geneva: ISO, 2012.
- [8] Pathfinder User Manual. In: Thunderheadeng [online]. Manhattan: Thunderhead Engineering Consultants, 2024.
- [9] Weidmann U. Transporttechnik der Fußgänger, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. Nr. 90, S.35-46, Zürich, Januar 1992.

1.5 Používané zkratky a symboly

Zkratka	Popis
CFD	Computational Fluid Dynamics (výpočetní dynamika tekutin)
FDS	Fire Dynamics Simulator
NIST	National Institute of Standards and Technology (Národní institut standardů a technologie)
HRR	Heat Release Rate (rychlost uvolňování tepla)
HZS ČR	Hasičský Záchranný Sbor České republiky
HZS SŽ	Hasičský Záchranný Sbor Správa Železnic, státní organizace

2 Koncepce evakuace tunelu

Koncepční řešení původního tunelu Hosín, včetně podrobné evakuace, je stanoveno v příloze č. 1 požárně bezpečnostního řešení [P.1].

Nově představená **variantní studie tunelů TBM** vychází z obdobné koncepce evakuace, přičemž vstupní údaje pro modelování požáru a evakuace zůstávají zachovány. Hlavní rozdíl spočívá v upraveném profilu tunelové trouby, který je zmenšen instalací dělící střední stěny (příčky).

V posuzovaném železničním tunelu se počítá se současnou evakuací všech osob. Evakuace probíhá buď přes portály tunelu, nebo do únikové cesty prostřednictvím záchranné cesty (propojky) či dveřmi ve střední příčce. Šířka únikového chodníku podél kolejí v tunelu je minimálně 1,2 m. Vstupní dveře do propojky nebo střední příčky mají šířku 1,4 m a výšku 2,0 m.

Modelová situace předpokládá nejnepríznivější scénář, kdy **první vagón hořící vlakové soupravy zastaví u vstupu do únikové propojky, resp. u dveří v příčce**, čímž zablokuje přístup osobám unikajícím z vlaku, které se tak nemohou dostat ke vstupu do této propojky, resp. sousední nezasažené trouby. Tyto osoby musí překonat **nejzazší vzdálenost mezi propojkami nebo dveřmi ve středové příčce: 500 m (pro varianty E.1-P.1 a E.2a-P.2) nebo 250 m (pro variantu E.2b-P.2)**, aby se dostaly k nejbližšímu dostupnému únikovému východu do záchranné cesty nebo sousední tunelové trouby. Při simulaci evakuace osoby vystupují rovnoměrně podél celé vlakové soupravy na únikový chodník.

V rámci modelování evakuace bude sledována doba úniku osob ze zasažené tunelové trouby do prostoru záchranné chodby. Rovněž budou monitorovány zhoršené podmínky vedoucí k zhoršení viditelnosti pro unikající osoby v tunelové troubě.

Pro **variantu E.1-P.1** budou přetlakovým větráním větrány pouze tunelové propojky, zatímco obě tunelové trouby nebudou odvětrávány. Nastavení proudění větru v tunelové troubě vychází z předpokladu zastavení vlaku, kdy se pístový efekt, který při pohybu vlakové soupravy vytlačuje vzduch před sebou, po zastavení téměř ustane. Výpočet se zaměřuje na fázi po zastavení, kdy již tento efekt nemá významný vliv. Po zastavení vlakové soupravy dochází k postupnému vyrovnání tlaků a stabilizaci proudění vzduchu v tunelu. Tento proces závisí na řadě faktorů, nejen na délce tunelu a jeho geometrii, ale také na aktuálních podmínkách na portálech a dynamice požáru. **Byl zvolen konzervativní přístup s podkritickou rychlostí proudění vzduchu 1 m/s**, která představuje nepříznivou situaci pro evakuované osoby, neboť proudění vzduchu může zhoršit podmínky. **Tato hodnota byla použita i pro původní variantu tunelu Hosín.**

Pro **varianty E.2a-P.2 a E.2b-P.2** budou větrány obě tunelové trouby. U zasažené tunelové trouby budou ventilátory nasměrovány ve směru jízdy vlaku, čímž se podpoří evakuace osob. **Přesto byla pro modelování zvolena konzervativní neutrální hodnota proudění vzduchu 0 m/s.** Tento přístup byl zvolen proto, že nulová rychlost lépe reprezentuje situaci, kdy nedochází k žádnému aktivnímu vlivu proudění, a umožňuje identifikovat a posoudit nejnepríznivější podmínky pro evakuované osoby.

3 Posouzení rozvoje požáru modelováním

3.1 Výchozí předpoklady modelování požáru

Požární riziko, a další dílčí údaje, pro vybrané požární úseky byly stanoveny při zpracování koncepce požárně bezpečnostního řešení [P.1]. Tyto údaje jsou vstupními hodnotami pro posouzení rozvoje požáru.

V rámci posouzení jsou stanoveny vybrané parametry požáru, zejména:

- rychlost uvolňování tepla HRR (kW), resp. tepelný výkon požáru,
- hodnoty teplot plynu na vybraných místech (°C),
- hodnoty viditelnosti ve vybraných místech (m),
- hodnoty koncentrace CO na vybraných místech (mol/mol), resp. hodnot koncentrace CO převedených na (ppm),
- hodnoty frakční účinná dávka FED na vybraných místech (-).

Pro posouzení rozvoje požáru v prostorách železničního tunelu byl použit CFD numerický model Fire Dynamics Simulator [3], který je programován laboratoří NIST (National Institute of Standards and Technology).

3.2 Popis modelové situace

Posouzení rozvoje požáru vychází ze dvou modelových scénářů požáru (**označených jako varianty P.1 a P.2**), které simulují hoření zastavené vlakové soupravy poblíž vstupu do propojky (obr. 1), resp. u dveří střední příčky (obr. 2). Tyto scénáře jsou dále rozděleny na **tři varianty evakuace** pro posouzení průběhu evakuace:

- **První varianta (E.1-P.1)** simuluje evakuaci osob při požáru pro zadanou vstupní variantu 2, kdy vzdálenost mezi tunelovými propojkami činí 500 m.
- **Druhá varianta (E.2a-P.2)** simuluje evakuaci osob při požáru pro zadanou vstupní variantu 3a, kdy vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce je 500 m.
- **Druhá varianta (E.2b-P.2)** simuluje evakuaci osob při požáru pro zadanou vstupní variantu 3a, kdy vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce je zkrácena na 250 m.

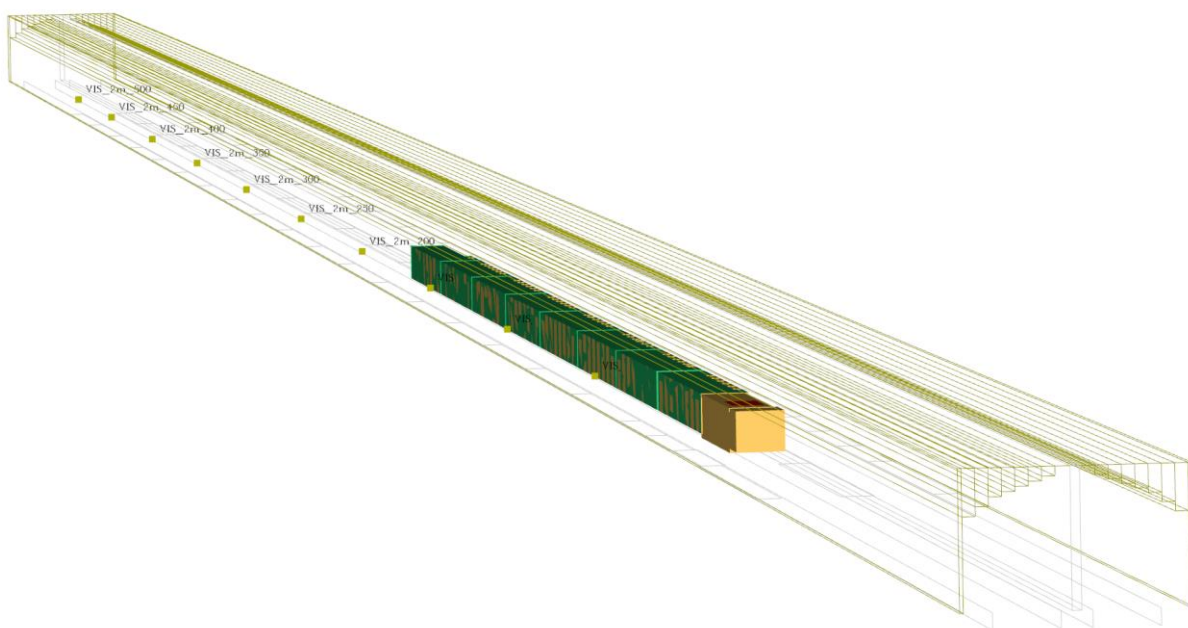
V rámci modelování evakuace (viz následující kapitola 4) bude sledována doba úniku osob a zároveň budou analyzovány zhoršené podmínky vedoucí k zhoršení viditelnosti a zvýšeným koncentracím CO, které mohou negativně ovlivnit unikající osoby. Pozornost bude věnována kritériu frakční účinné dávky (FED - Fractional Effective Dose), což je komplexní ukazatel hodnotící vliv toxických plynů, vysoké teploty a snížené viditelnosti na schopnost osob bezpečně se evakuovat.

Pro modelovou situaci byly výchozí předpoklady stanoveny takto:

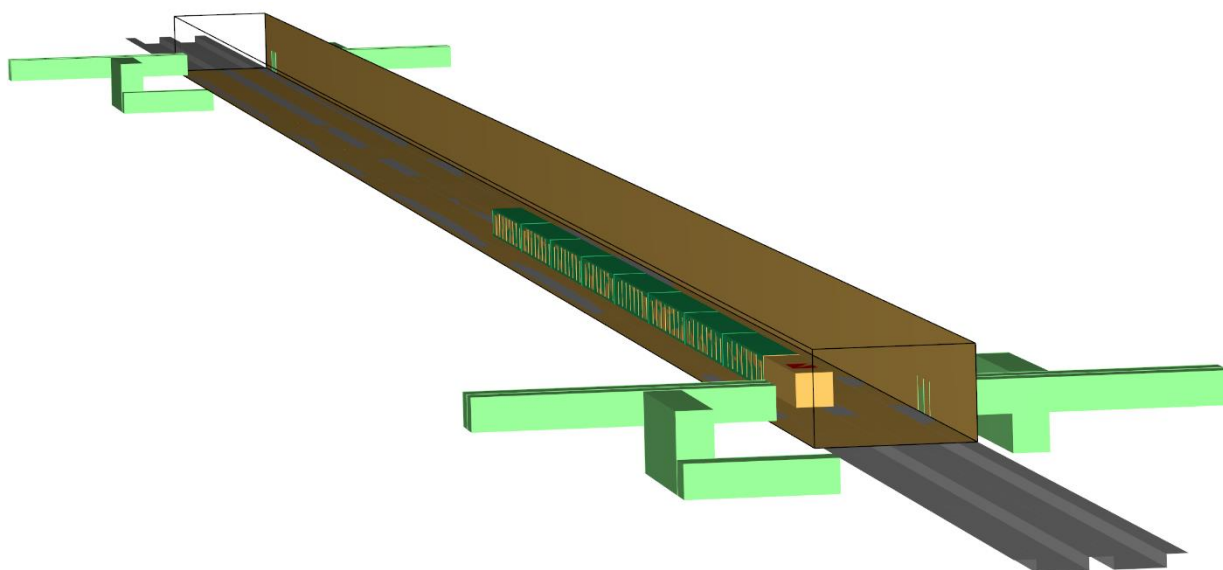
<i>Místo vzniku požáru</i>	je v blízkosti vstupu do propojky (<i>varianta P.1</i>), resp. dveří ve středové příčce (<i>varianta P.2</i>)
<i>Výkon požáru</i>	byl definován dle uživatelské příručky pro výpočet návrhových požárů DB Station & Service AG [6].
<i>Rozmístění snímačů</i>	pro měření parametrů požáru (viditelnosti, koncentrace CO a teploty) jsou rozmístěny ve výškové úrovni 2 m nad únikovým chodníkem.

3.3 Použitý výpočtový model

K modelování požáru byl použit numerický model typu pole Fire Dynamics Simulator [3] (FDS) verze 6.9.1. Program numericky řeší Navier-Stokesovy rovnice pro tok teplotně řízený, s důrazem na přenos tepla a kouře z požáru. Současně je s programem FDS distribuován pomocný program Smokeview [4], který slouží pro vizualizaci výsledků simulace. Do dnešního dne je přibližně polovina aplikací softwaru použita pro návrh systémů řízení kouře a studií aktivace sprinklerů. Druhá polovina je užívána pro bytové a průmyslové rekonstrukce požárů. V průběhu vývoje byl software FDS zaměřen na řešení dílčích problémů v požárním inženýrství, přičemž současně slouží jako nástroj pro zkoumání základů požární dynamiky a spalování. Software PyroSim 2024 [5] je grafické uživatelské rozhraní programu FDS.



Obr. 3 Schéma geometrie prostoru tunelu TBM pro potřeby modelování požáru



Obr. 4 Schéma geometrie prostoru tunelu TBM pro potřeby vizualizace požáru (skryté ostění)

3.4 Vstupní a okrajové podmínky pro modelování požáru

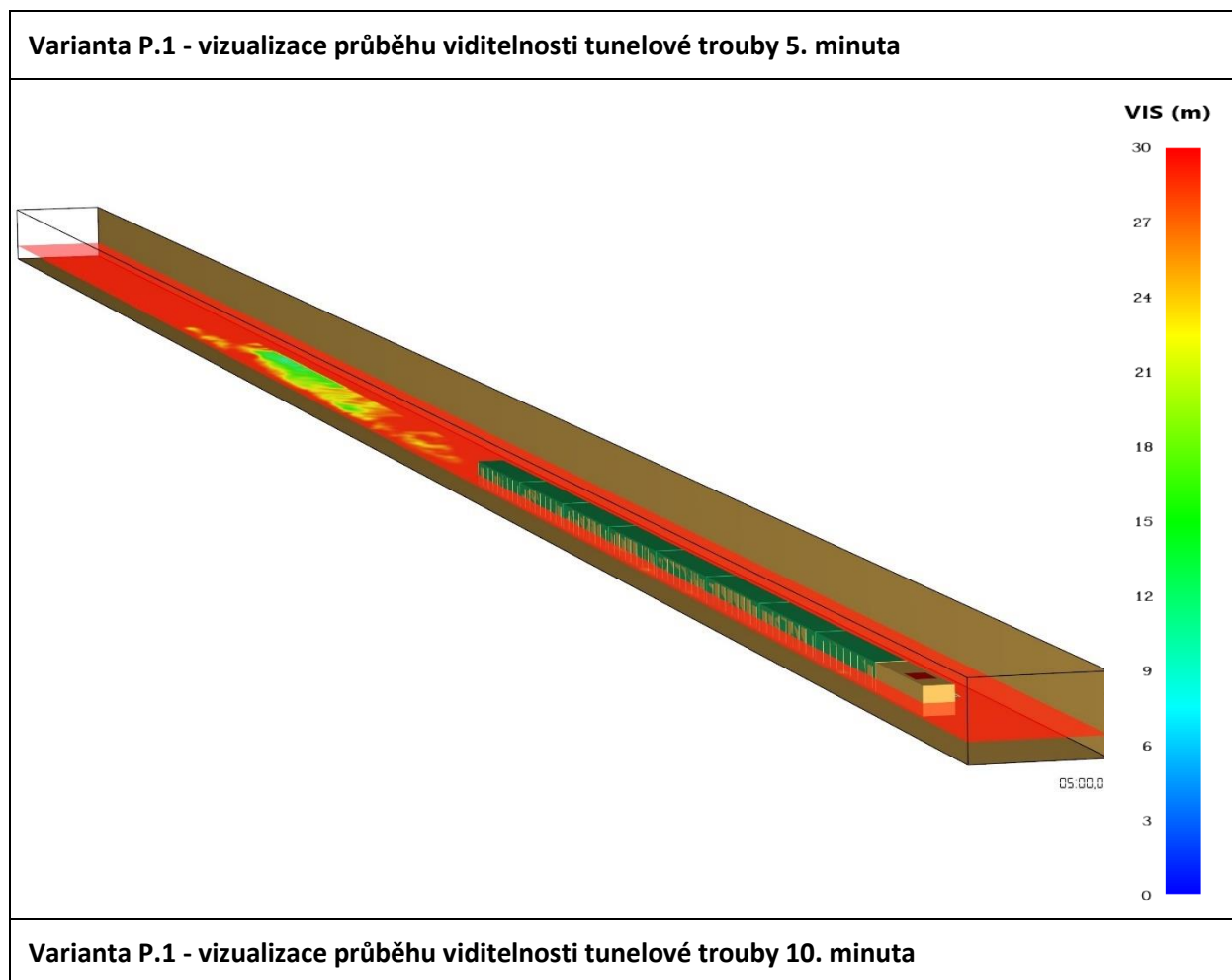
Základní vstupní podmínky pro řešení matematického modelu požáru jsou následující:

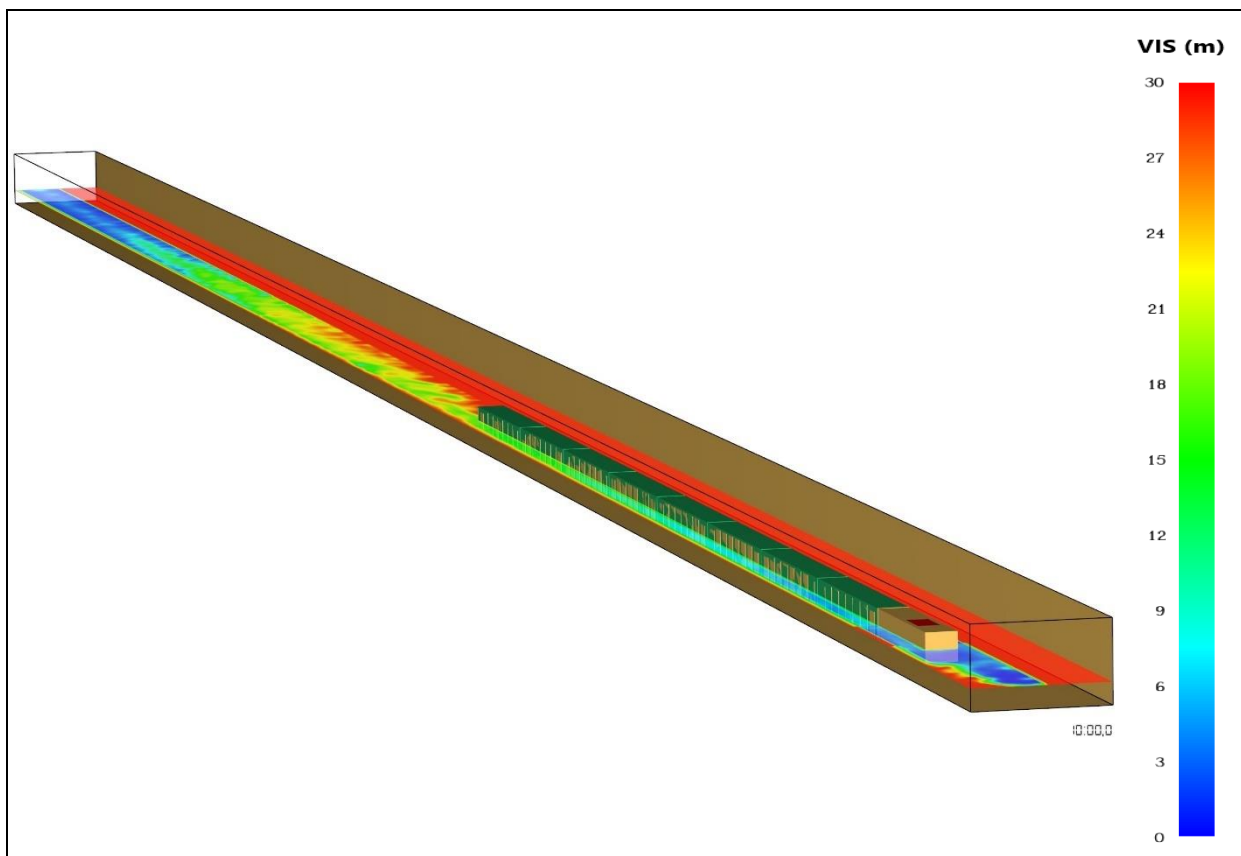
Modelové vstupy programu FDS	
Počáteční podmínky:	
Teplota vzduchu:	10 °C
Atmosférický tlak:	101300 Pa
Relativní vlhkost vzduchu:	50 %
Rychlost proudění v tunelu:	1 m.s ⁻¹ (ve směru evakuace osob pro variantu P.1) 0 m.s ⁻¹ (pro variantu P.2)
Rozměry výřezu tunelu pro potřeby modelování:	
Délka:	505 m
Vnitřní šířka:	12 m
Výška:	8 m
Materiálové vlastnosti:	
Tunelové ostění:	
Měrná hmotnost:	2100 kg.m ⁻³
Součinitel tepelné vodivosti:	1,23 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Tloušťka materiálu:	proměnlivá
Specifické teplo:	1,02 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Definice výkonu požáru:	
Rozvoj požáru:	rozvoj požáru je na základě požáru vlakové soupravy
Místo požáru:	na počátku vlakové soupravy (5 m od počátku modelu)
Definovaný výkon:	5 min 1,8 MW
(dle Deutsche Bahn AG [6])	10 min 6,0 MW
	15 min 14 MW
	20 min 21 MW
	30 min 30 MW (zvýšení výkonu dle požadavku HZS JHC)
Reakce hoření:	propan (referenční materiál)
Vývin kouře (soot):	0,1 kg.kg ⁻¹
Aktivní zařízení pro sledování teploty (termočlánek):	
Termočlánek	
Průměr:	1 mm
Emisivita:	0,85
hustota:	8908 kg.m ⁻³
Specifické teplo:	440 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Jiné:	
Hydrodynamický model:	LES (Large Eddy Simulation)
Výpočtová síť:	pravoúhlá (proměnlivá velikost buněk)
Doba simulace:	1800 s

3.5 Výstupy modelování požáru pro variantu P.1

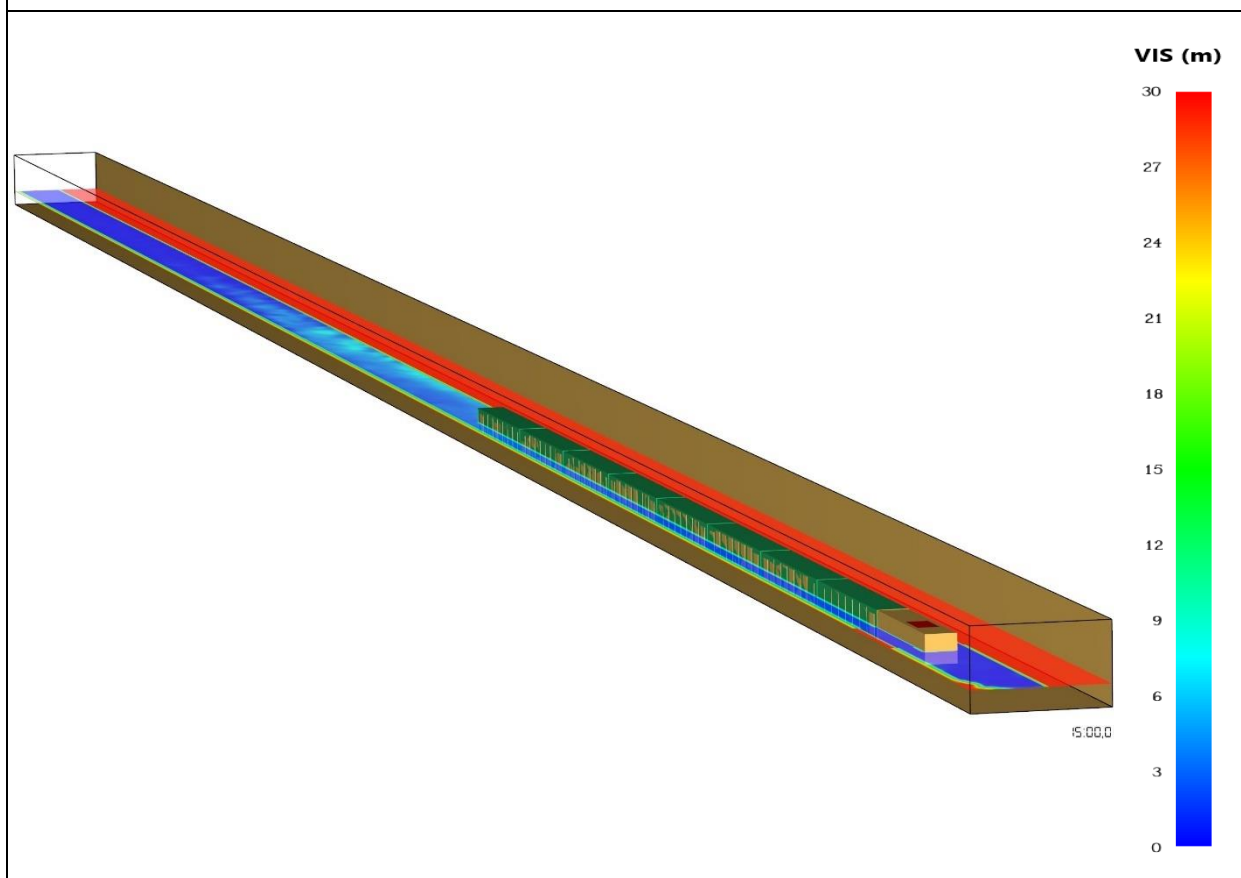
Výsledky lze znázorňovat buď vizuálně prostřednictvím programu Smokeview [4], resp. Pyrosim Results [5], nebo zaznamenávat číselnými daty uloženými do tabulkového procesoru a následně prezentovat prostřednictvím grafů.

Vizualizace průběhu viditelnosti

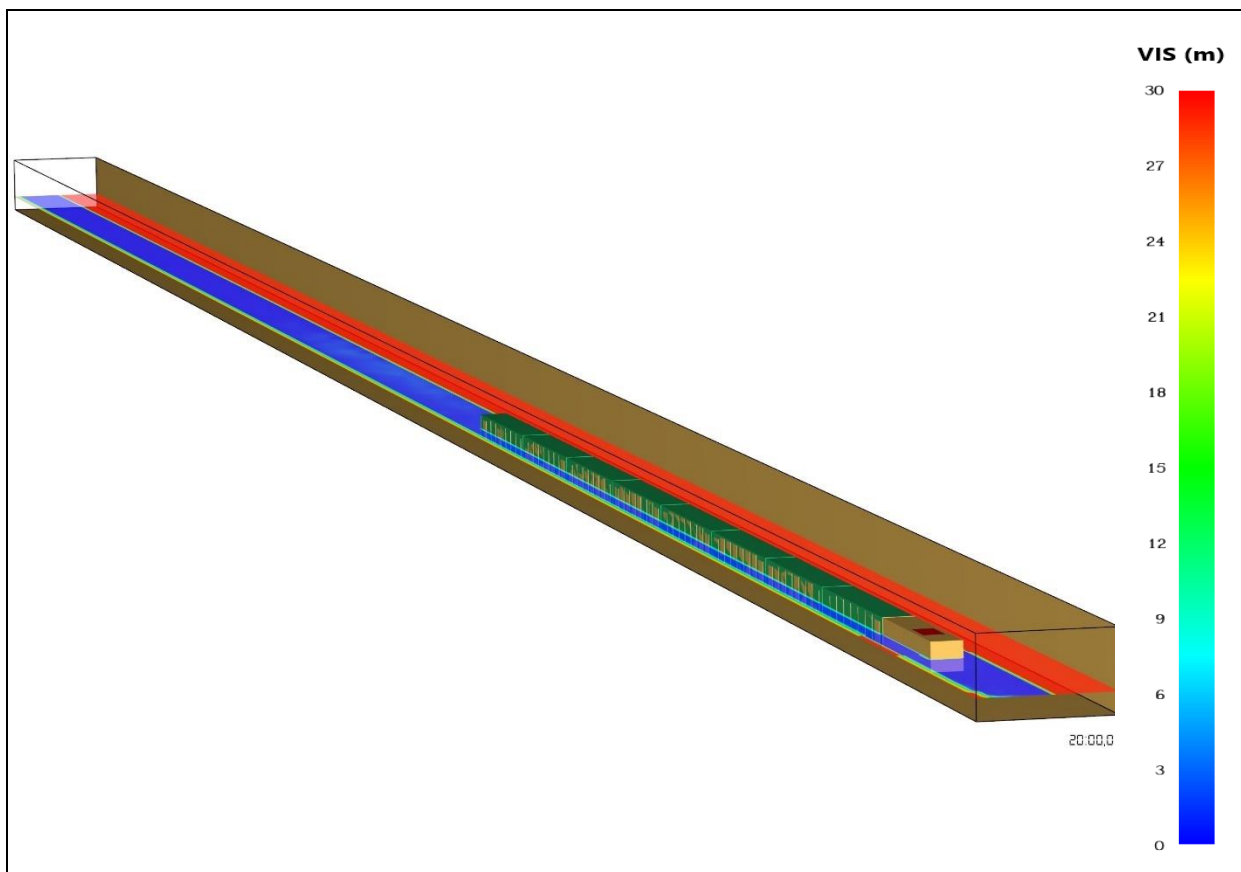




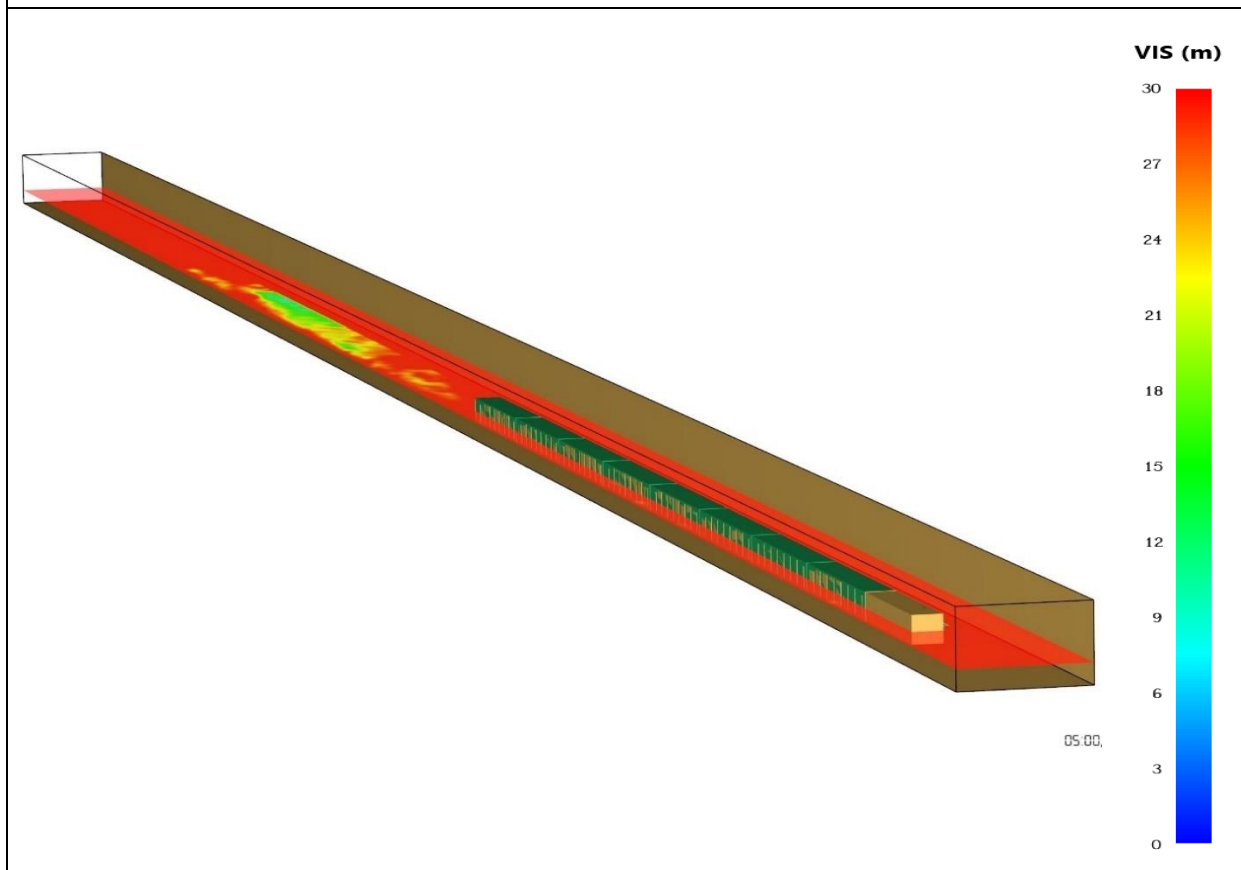
Varianta P.1 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 15. minuta



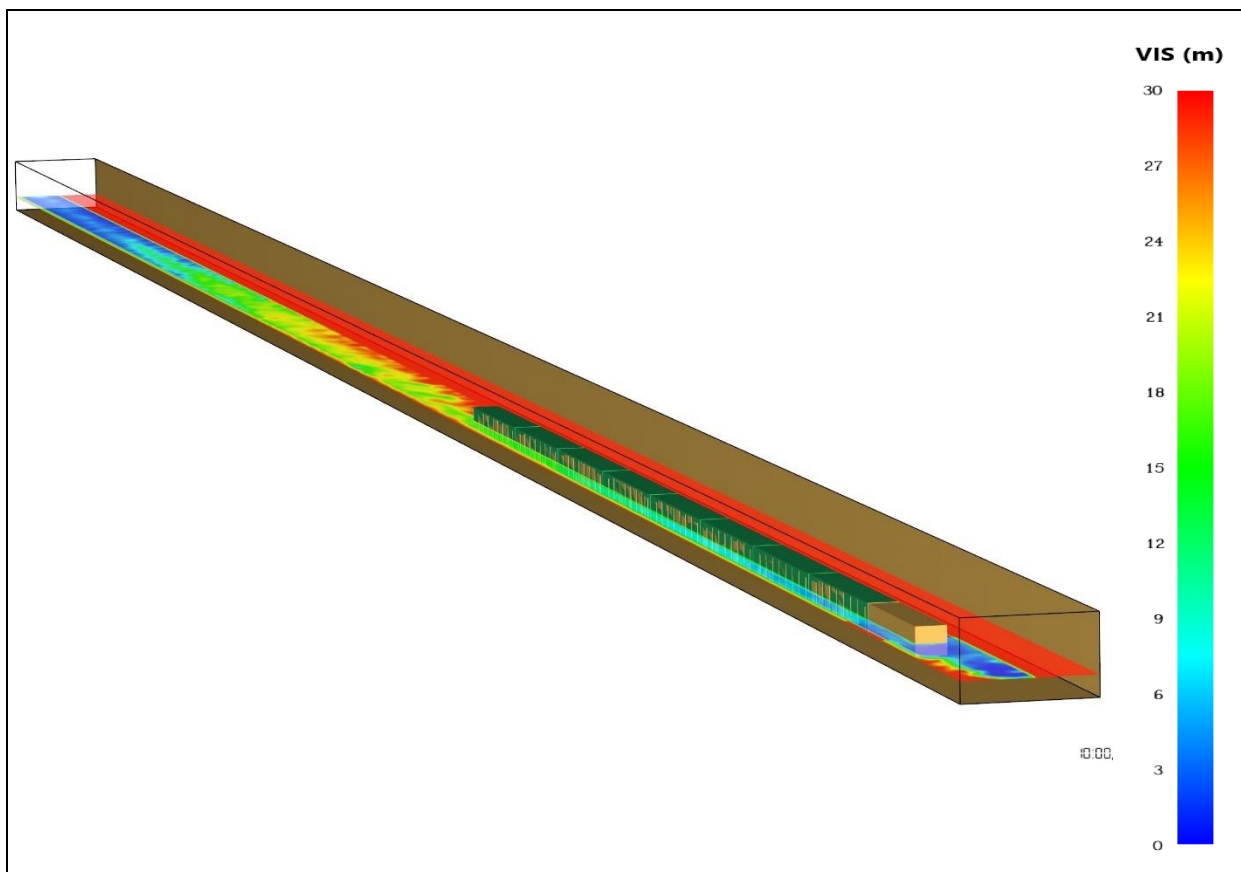
Varianta P.1 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 20. minuta



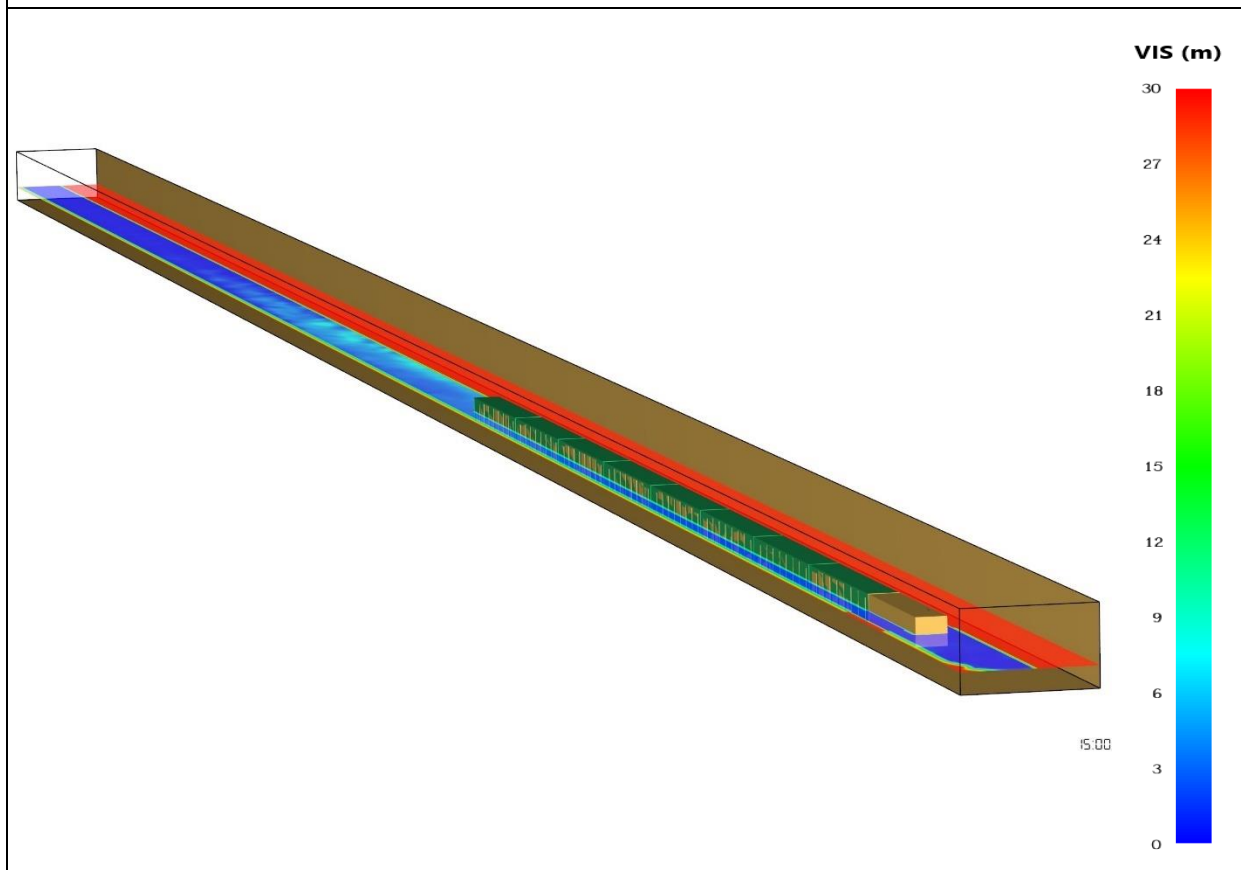
Varianta P.2 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 5. minuta



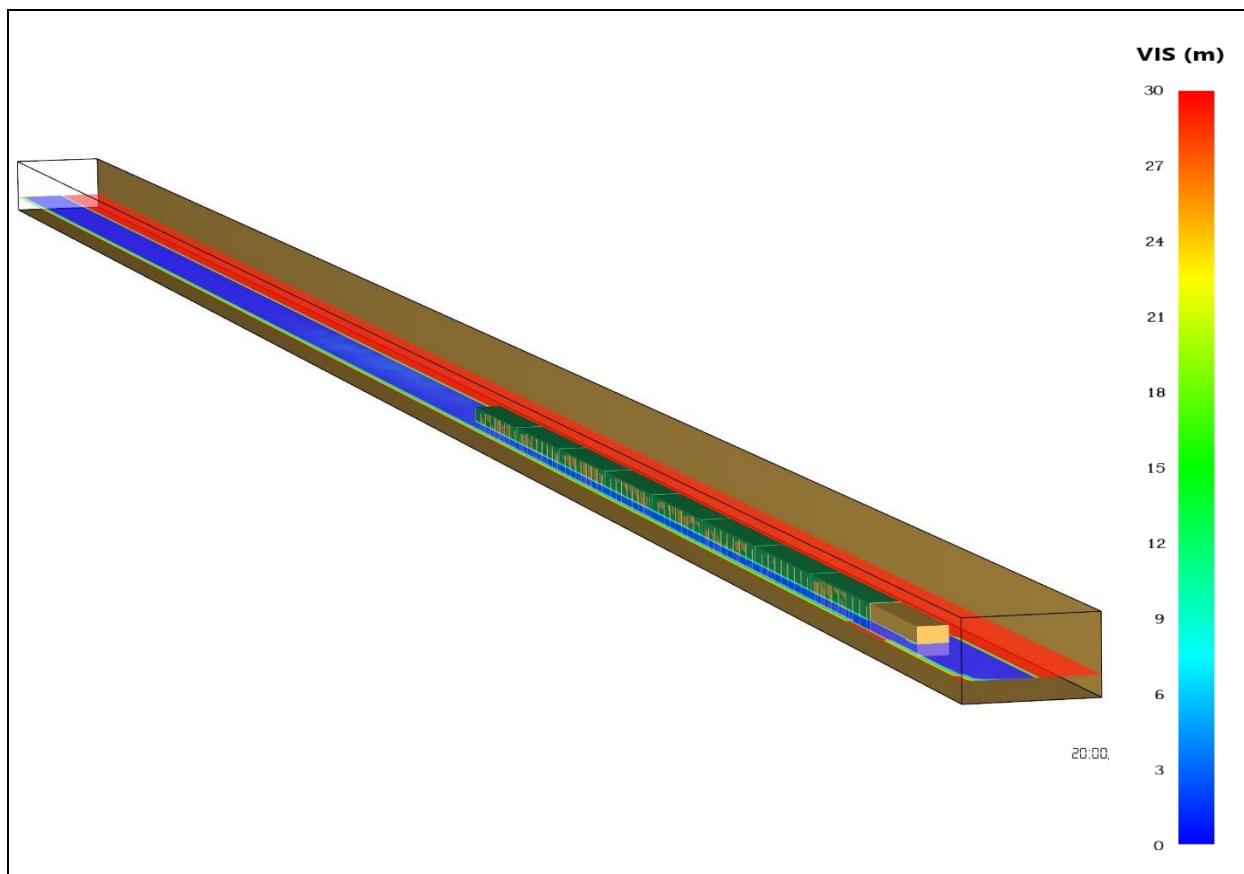
Varianta P.2 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 10. minuta



Varianta P.2 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 15. minuta

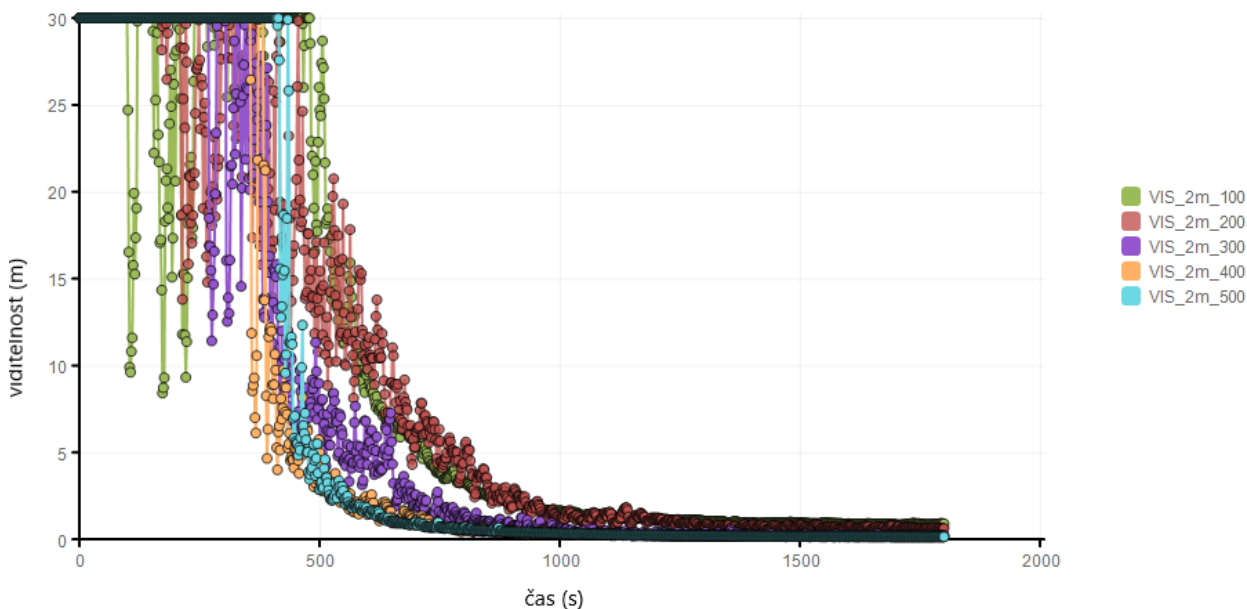


Varianta P.2 - vizualizace průběhu viditelnosti tunelové trouby 20. minuta

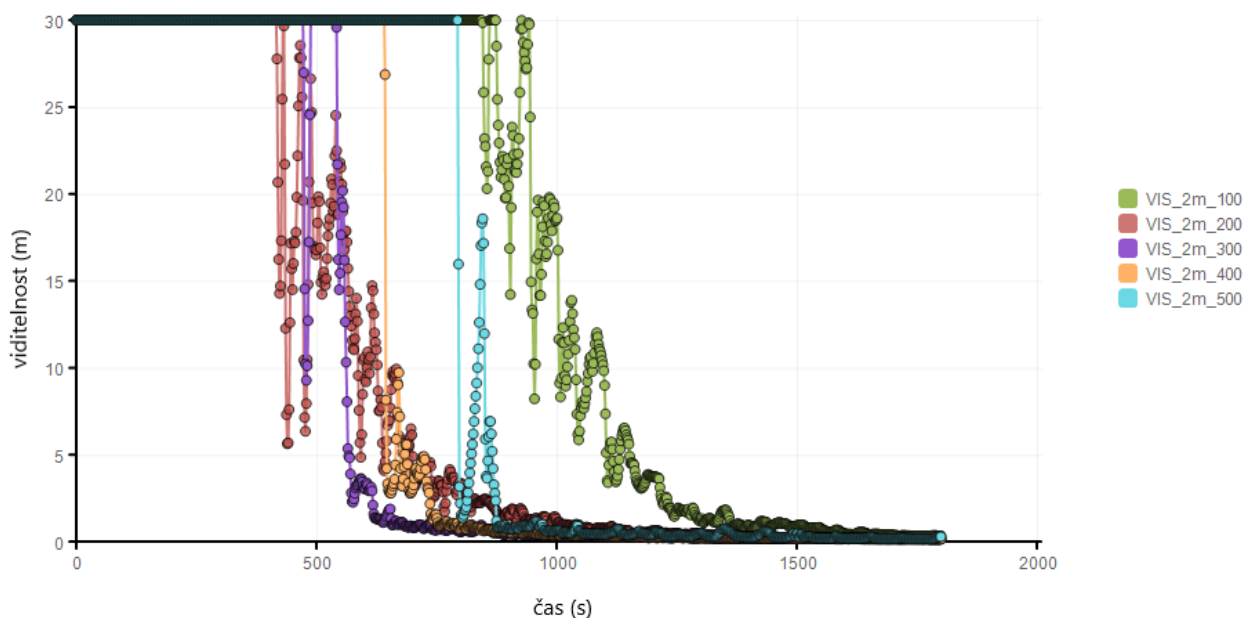


Průběhy sledovaných parametrů požáru

Viditelnost (m) byla sledována vždy po stometrových vzdálenostech od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad osou únikového chodníku. Změny viditelnosti během průběhu požáru (1800 s, resp. 30 minut) jsou znázorněny v grafech 1 a 2.

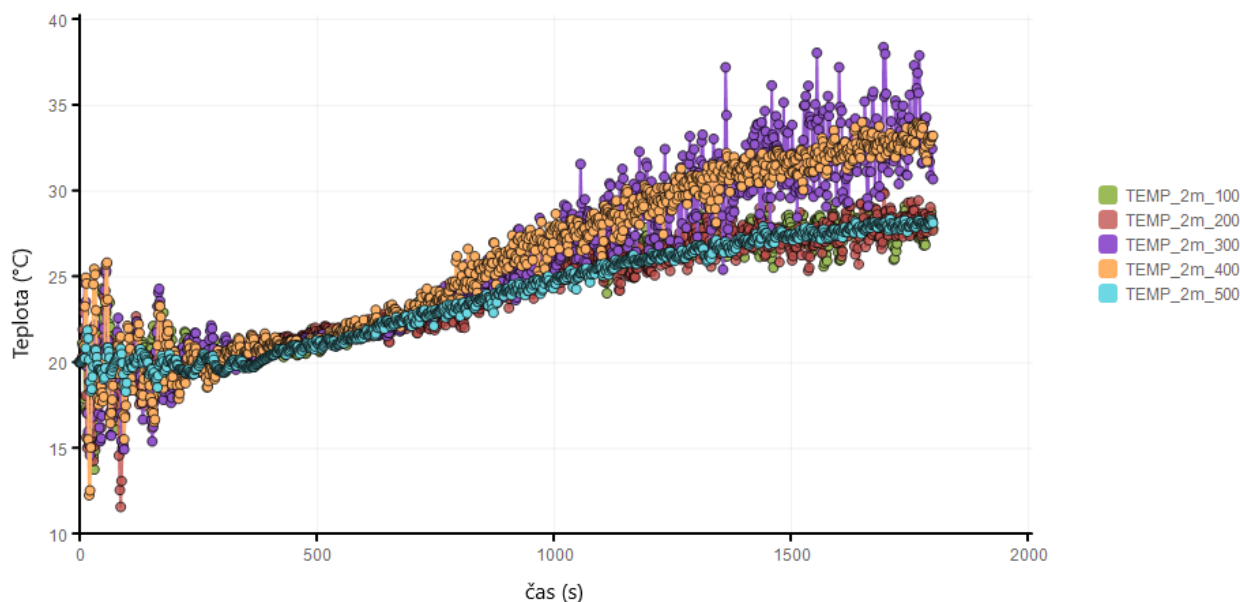


Graf 1 Průběh viditelnosti (m) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.1

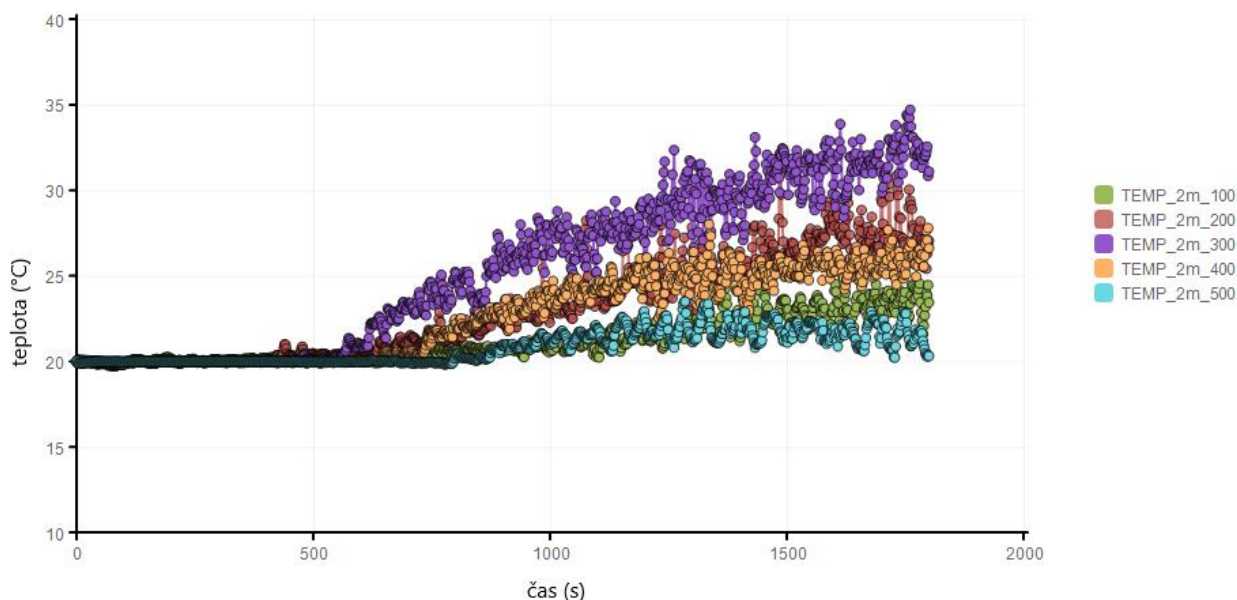


Graf 2 Průběh viditelnosti (m) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.2

Průběh teploty (°C) byl sledován rovněž po stometrových vzdálenostech od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad osou únikového chodníku. Změny teplot během průběhu požáru (1800 s, resp. 30 minut) jsou znázorněny v grafech 3 a 4.

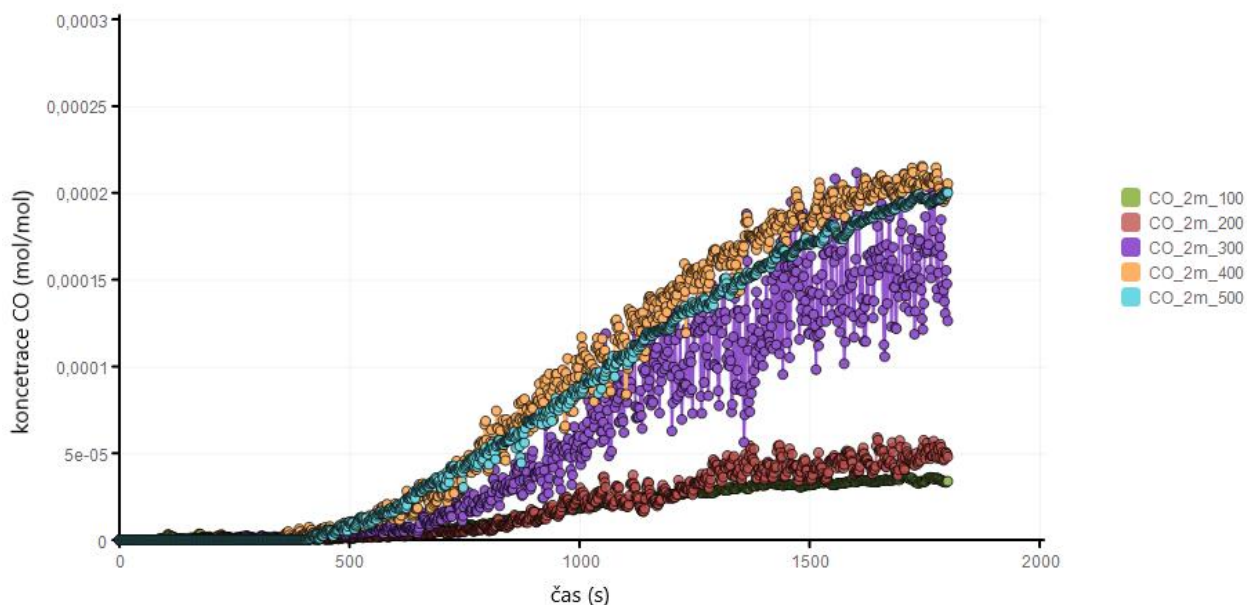


Graf 3 Průběh teplot (°C) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.1

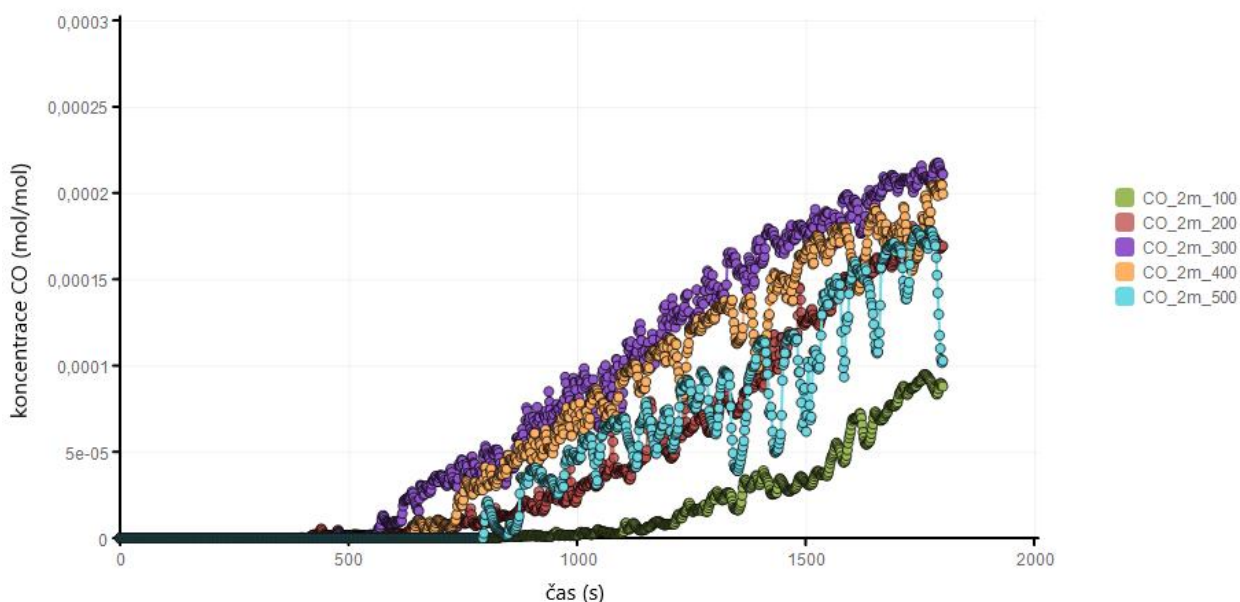


Graf 4 Průběh teplot (°C) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.2

Průběh koncentrace CO (mol/mol) byl sledován rovněž po stometrových vzdálenostech od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad osou únikového chodníku. Změny koncentrace CO během průběhu požáru (1800 s, resp. 30 minut) jsou znázorněny v grafech 5 a 6.



Graf 5 Průběh koncentrace CO (mol/mol) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.1
(1 ppm = 0,000 001 mol/mol, tj. 150 ppm = 0,00015 mol/mol)



Graf 6 Průběh koncentrace CO (mol/mol) na jednotlivých měřicích stanovištích pro variantu P.2
(1 ppm = 0,000 001 mol/mol, tj. 150 ppm = 0,00015 mol/mol)

3.6 Zhodnocení limitních hodnot sledovaných parametrů požáru

Pro následné modelování evakuace v programu Pathfinder, kde je sledována doba úniku osob ze zasaženého prostoru tunelové trouby do únikového objektu (tj. do bezpečného prostoru), jsou zohledněny zhoršené podmínky způsobené průběhem požáru. Z tohoto důvodu byly v ose tunelu, 2 metry nad úrovní únikového chodníku, umístěny snímače pro měření vybraných parametrů požáru (viditelnosti, teploty, koncentrace CO) v rozestupech 100 metrů, aby bylo možné sledovat případné překročení limitních hodnot.

Stanovení limitních hodnot u vybraných parametrů požáru

Viditelnost nad 5 m je považována za přijatelnou, což znamená, že osoby jsou schopné evakuace. Pokles viditelnosti pod 5 m může nejen vést ke vzniku panického chování, ale také výrazně ztížit orientaci a zpomalit nebo dokonce úplně zastavit proces evakuace z ohrožených prostor. **Limitní hodnota pro viditelnost je tedy stanovena jako pokles pod 5 m.** Při modelování evakuace bude zohledněn vliv snížené viditelnosti na rychlost pohybu osob při hodnotě pod touto hranicí. Pokles pod tuto hranici neznamena, že se osoby přestanou pohybovat, ale pouze dochází k výraznému zpomalení jejich pohybu.

Zvýšená teplota plynů vznikajících při požáru může způsobit popálení horních cest dýchacích u unikajících osob. Popálení dýchacího ústrojí může nastat již při vdechnutí vzduchu o teplotě vyšší než 60 °C, pokud je nasycen vodní párou. **Limitní hodnota teploty plynů je stanovena na 60 °C.**

Oxid uhelnatý (CO) produkovaný při požáru je nebezpečný, protože se váže na hemoglobin v krvi a vytváří karboxyhemoglobin, který snižuje schopnost krve přenášet kyslík. Při zvyšující se koncentraci CO mohou unikající osoby začít pociťovat negativní příznaky, jako jsou bolesti hlavy, které mohou vést až k bezvědomí nebo smrti. **Limitní hodnota koncentrace oxidu uhelnatého je obvykle 150 - 200 ppm** (po převodu z mol/mol).

Podle normy ISO 13571 [7] se riziko pro osoby posuzuje také pomocí kritéria FED (Fractional Effective Dose). FED představuje 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. **Tento parametr bude vyhodnocován v rámci modelování evakuace.**

4 Posouzení evakuace osob modelováním

4.1 Výchozí předpoklady modelování evakuace

Simulovaná situace předpokládá nejnepříznivější scénář, při kterém se hořící vlaková souprava zastaví poblíž jednoho z únikových vstupů do propojky (u varianty 2), resp. u dveří ve středové příčce (u varianty 3a). Místo vzniku požáru bylo zvoleno tak, aby komplikovalo únik osob z tunelové trouby jedním směrem. Únik je proto možný pouze opačným směrem k dalšímu vstupu do propojky ve vzdálenosti 500 m, resp. k dalším dveřím ve středové příčce ve vzdálenosti 500 m (popř. 250 m).

Simulace využívá agentní evakuační systém, kde má každá osoba přidělen svůj vlastní profil chování a individuální trasu, což zohledňuje proměnlivou vzdálenost, kterou musí jednotlivci překonat. Pohyb osob je zpomalen zejména v blízkosti únikového chodníku u vlakové soupravy, kde dochází ke zpomalení proudu evakuovaných osob.

Při simulaci evakuace osoby vystupují rovnoměrně podél celé vlakové soupravy a unikají jedním směrem, tedy od hořící lokomotivy, čímž je splněn požadavek na blokaci bližší únikové propojky, resp. dveří ve středové příčce, a je zajištěno, že se nikdo nepokouší uniknout skrz oblast požáru.

Výpočtem průběhu evakuace se ověřuje:

- **nepřekročení limitní doby evakuace** pro bezpečný pohyb osob z tunelové trouby do únikového objektu,
- **ověření rozměrů prostoru únikového objektu**, aby nedocházelo ke kumulaci osob před vstupem do únikového objektu a před schodištěm vedoucím z tohoto objektu.

Získané hodnoty budou porovnány s předchozími výsledky podrobného posouzení průběhu **evakuace tunelu Hosín** uvedeného v požárně bezpečnostním řešení [P.1]. Nově budou tyto výstupy označeny požár jako **varianta P.0** a evakuace jako **varianta E.0-P.0**.

Pro simulaci evakuace byl použit **software Pathfinder** [8], což je analytický nástroj pro simulaci evakuace osob. Tento software lze pro potřeby analýzy rizik propojit s externím modelem požáru a je velmi užitečný pro návrh bezpečné evakuace, zejména pro identifikaci evakuačních bariér a tvorbu front.

4.2 Základní vstupní údaje pro modelování evakuace

Vzorová situace je taková – simulování evakuace osob z hořící vlakové soupravy zastavené v blízkosti vstupu do záchranné propojky, kdy unikající osoby mohou být přímo vystaveny produktům zplodin hoření (kouř) a musí unikat k další nejbližší záchranné cestě, což představuje **500 m / 250 m**.

- *počet osob* 500 osob (8 vagónů po cca 62,5 osob)

Poznámka: Počet osob v jedné soupravě vychází z výhledového stavu (návrhový stav) osobní dopravy v řešeném úseku, viz B.4 Dopravní řešení a základní údaje o provozu, provozní a dopravní technologie, část 3.1 Výhledový rozsah dopravy, 3.1.1 Osobní doprava, kde je na základě výhledů objednatel (Ministerstvo dopravy ČR) uvedeno: „Vlaky linky Ex7 budou v předmětném úseku tvořeny vícesystémovou lokomotivou v závislé trakci s kmenovou soupravou 7 vozů. Vlaky linky umožní jízdu rychlostí 200 km/h.“ V jedné soupravě typového vlaku se 7 vagony se předpokládá maximální počet cestujících 420 osob (průměrná obsazenost vagonu 60 osob). V rámci

podrobného posouzení průběhu evakuace simulací byl tento stav navýšen na straně bezpečnosti na 500 osob, tj. navýšení na 8 vagónů po cca 62,5 osob. V případě, že v budoucnu dojde k navýšování kapacity souprav nad výhledový stav, bude nutné prověřit, zda stávající bezpečnostní opatření pro nový stav dostačují.

- rychlost osob 0,46 – 1,54 m/s (viz tabulka 1)
- rozdělení osob do věkových skupin (viz níže text)
- pohyb osob není předem definován
- prodleva před zahájením evakuace 180 s po vzniku požáru

Poznámka: Ověření bezpečného vstupu do kolejiště zajišťuje vlaková četa komunikací s CDP Praha (Centrální dispečerské pracoviště Praha). Předpokládá se zdržení v rámci jednotek minut (úkony dispečera – ověření oprávněnosti poplachu, zastavení vlaků v příslušném úseku a potvrzení vlakovému personálu o bezpečnosti pohybu v tunelu). Simulace evakuace osob předpokládá časovou prodlevu 180 s od zahájení evakuace z vlakové soupravy.

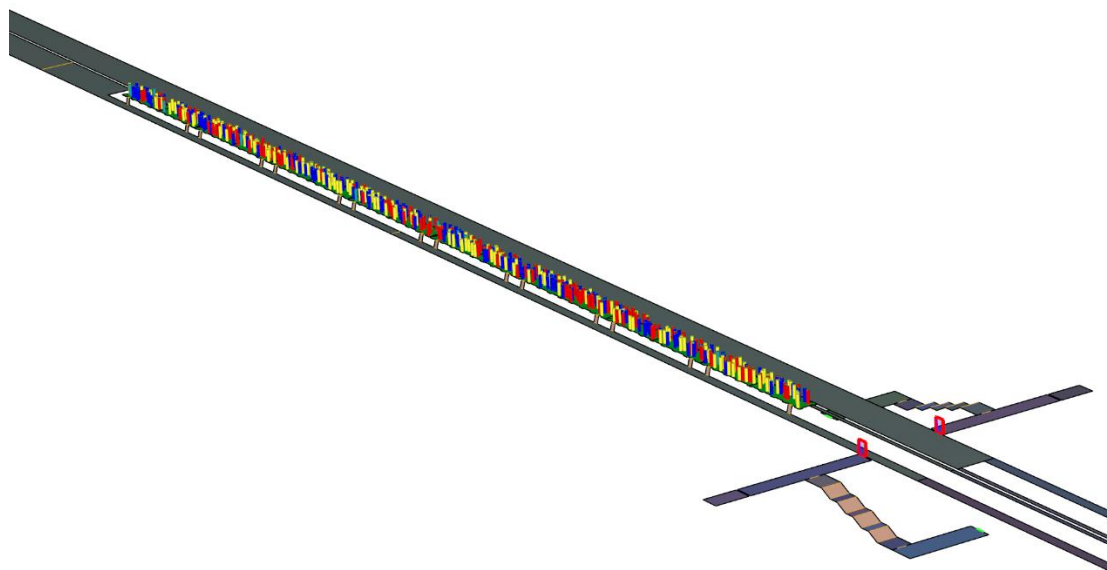
- rychlost výstupu osob z vlaku 5 s na osobu
- únik z vlakové soupravy pouze na straně přilehlého únikového chodníku
- únik za soupravou umožněn i po kolejišti (v celé šíři tunelu)

Rozdělení osob

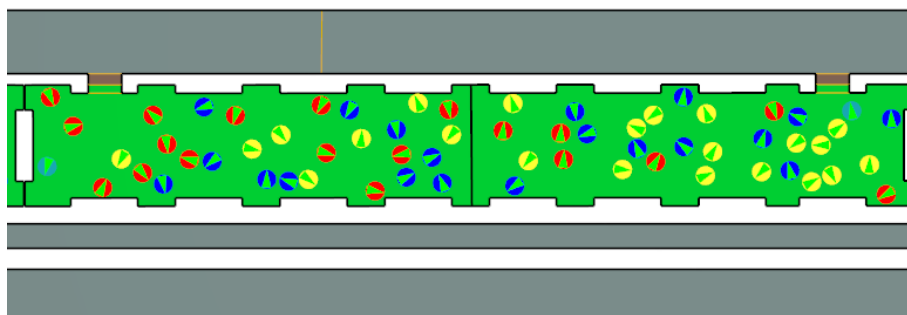
Rozdělení osob vychází z údajů o počtu obyvatel ČR z Českého statistického úřadu. Poměr žen a mužů je téměř shodný (50,7 % ku 49,3 %) a věkové složení je dostupné pro jednotlivce od 1 roku do 100+ let, přičemž průměrný věk je 42,8 let. Procentuální rozdělení osob je uvedeno v tabulce 1, která přiřazuje rychlost chůze po rovině podle Weidmanna [9] na základě procentuálního zastoupení věkových skupin.

Tab. 1 Rozdělení skupin osob v posuzovaném objektu dle dat ČSÚ

Skupina osob	Rychlost chůze v rovině (m/s)		Procentuální zastoupení skupiny osob (%)
	minimum	maximum	
do 30 let	0,58	1,61	31
30 - 50 let	1,41	1,54	31
nad 50 let	0,68	1,41	36
osoby se sníženou pohyblivostí	0,46	0,76	2



a) celkový pohled na vlakovou soupravu



b) pohled na jednotlivý vagón

Obr. 5 Vizuální rozdělení skupin osob ve vlakové soupravě

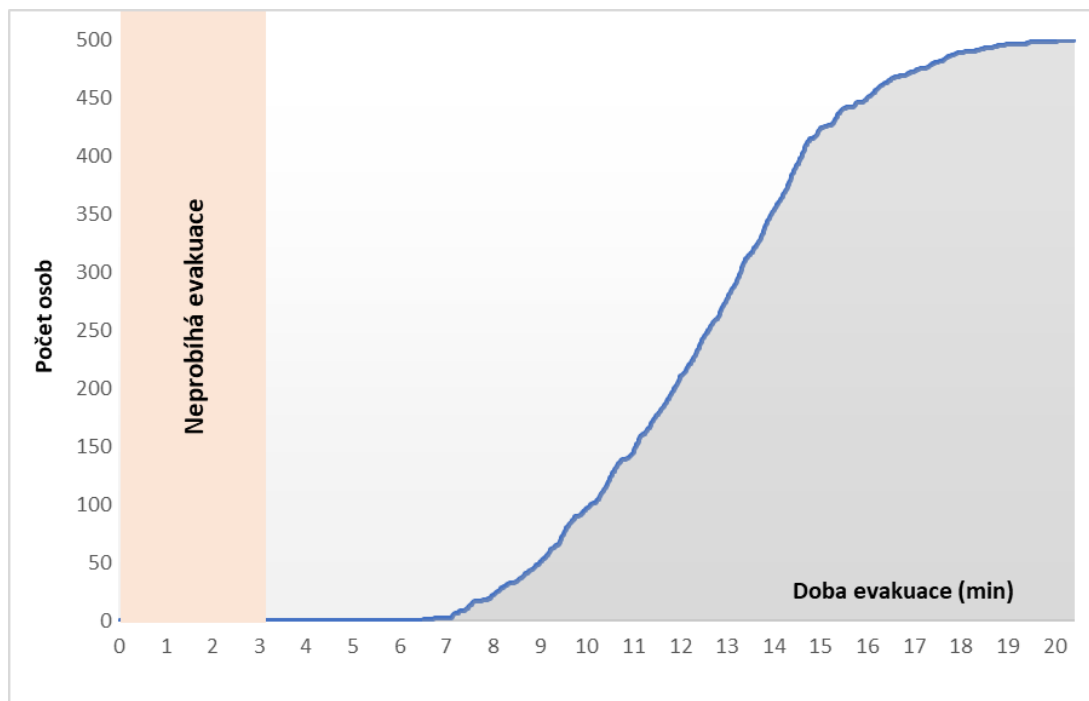
(barevné dělení osob – červená „do 30 let“, modrá „30–50 let“, žlutá „nad 50 let“, tyrkysová „osoby s omezenou schopností pohybu“)

4.3 Výstupy modelování evakuace

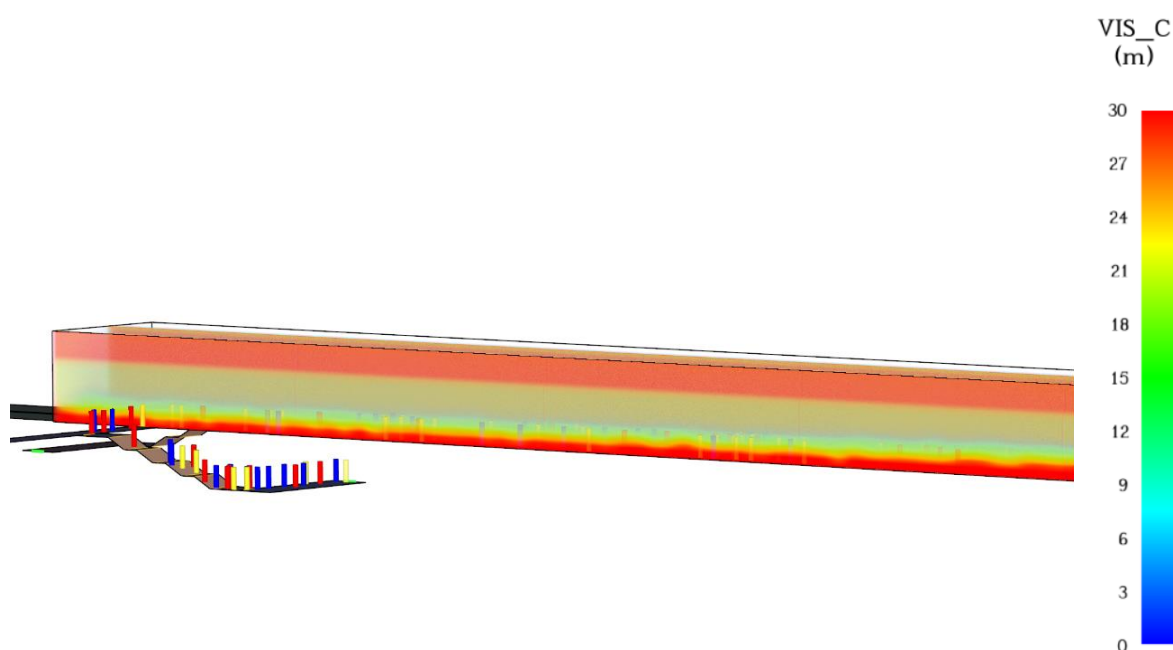
Varianta E.1-P.1 – evakuace na vzdálenost 500 m mezi tunelovými propojkami

Průběh evakuace, opuštění prostoru požárem zasažené tunelové trouby, lze podle procenta uniklých osob do únikové záchranné cesty rozdělit:

- **50 % osob (250 osob)** 756 s = **12 minut 18 sekund,**
- **95 % osob (475 osob)** 1023 s = **17 minut 3 sekundy,**
- **99 % osob (495 osob)** 1121 s = **18 minut 41 sekund,**
- **100 % osob (500 osob)** 1204 s = **20 minut 4 sekundy.**



Graf 7 Průběh evakuace od zahájení 180 sekund po vzniku požáru



Obr. 6 Ukázka vizualizace průběhu evakuace v blízkosti záchranné cesty v 10. minutě

Doba evakuace osob z vlakové soupravy v tunelové troubě odpovídá překonání nejzazší vzdálenosti k východu 500 m – doba evakuace byla stanovena na **20 minut 4 sekundy**. Časová prodleva před zahájením evakuace je 180 s.

V následující tabulce 2 je uvedena doba vstupu osob do záchranné cesty – propojky.

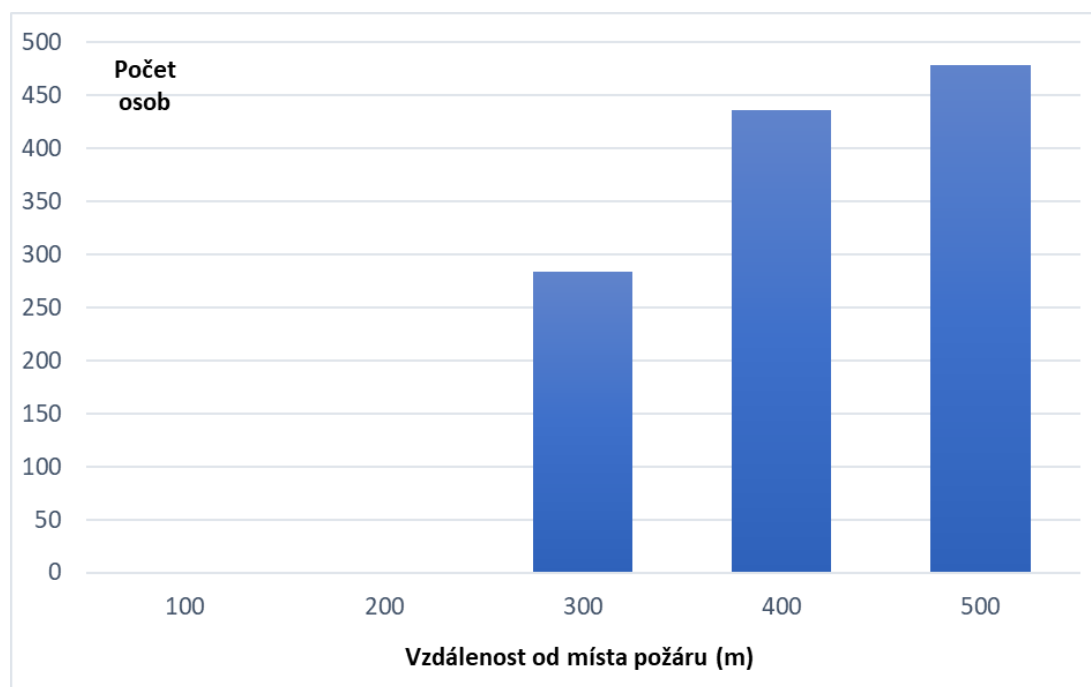
Tab. 2 Přehled doby potřebné pro vstup osob do záchranné cesty

Doba vstupu osob do chráněné únikové cesty	První osoba (s)	Poslední osoba (s)	Celkový čas průchodu osob (s / min)
vstupní dveře	390	1204	814 / 13:34

Programem FDS byla také určena **viditelnost**, kdy se za zhoršenou hodnotu viditelnosti považuje 5 m pro unikající osoby neznalé prostor úniku. Během simulace se měnily hodnoty viditelnosti ve výšce 2 m nad úrovní únikového chodníku (viz graf 1). Počáteční hodnota viditelnosti 30 m postupně během simulace požáru klesala na jednotlivých měřených místech až k nule. Znázornění vlivu viditelnosti na bezpečnost unikajících osob stanovuje níže uvedená tabulka 3.

Tab. 3 Přehled výsledných hodnot viditelnosti

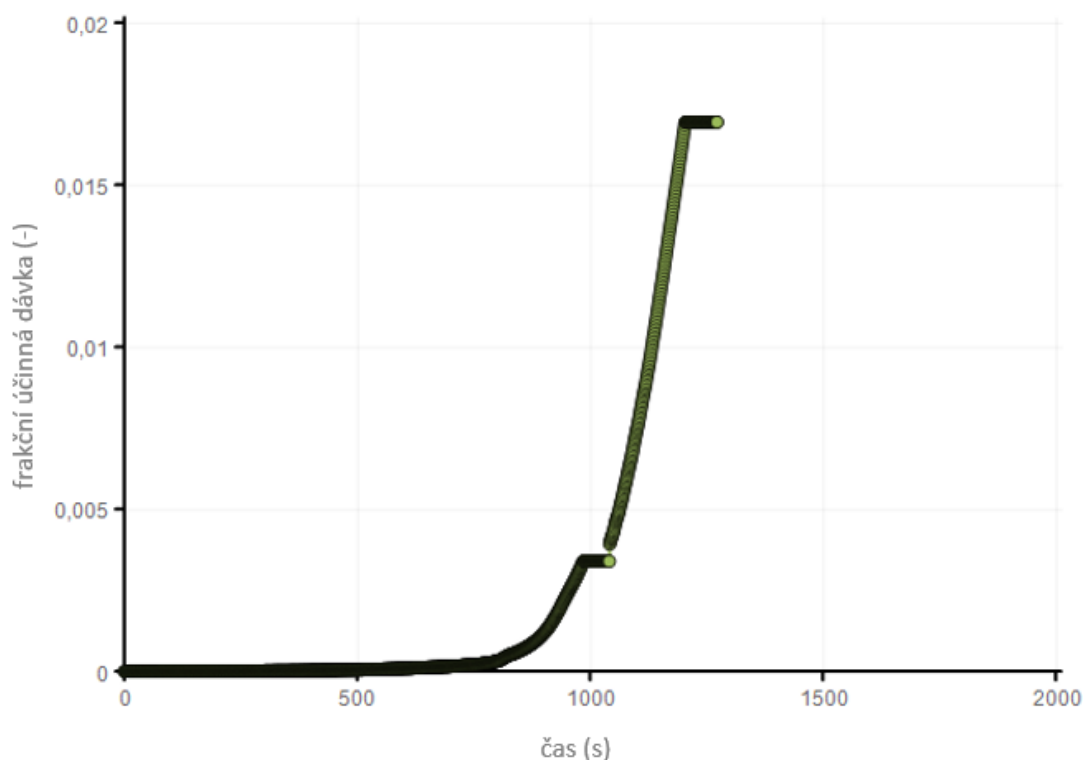
Čas simulace (s)	Viditelnost (m) ve vzdálenosti od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad únikovým chodníkem				
	100	200	300	400	500
0 - 180	neprobíhá evakuace				
180	21	30	30	30	30
240	30	23	30	30	30
300	30	30	30	30	30
360	30	17	21	9	30
420	30	18	11	8	13
480		13	8	5	4
540		16	5	3	3
600		10	5	2	2
660		9	2	1	1
720			2	1	1
780			1	1	1
840			1	0	1
900				0	0
960				0	0
1020				0	0
1080					0
1140					0
1200					0
Poznámka: Není-li políčko viditelnosti vyplněno, na sledovaném místě se již nepředpokládají unikající osoby. Zelené políčko = bezpečné pro evakuaci, červené políčko = nebezpečí pro evakuaci (pokles viditelnosti pod 5 m).					



Graf 8 Vizualizace srovnání počtu ohrožených osob sníženou viditelností

Z tabulky 3, která uvádí změny viditelnosti v různých částech tunelové trouby, je zřejmé, že v průběhu evakuace se podmínky pro unikající osoby postupně zhoršují. Zhoršení je patrné zejména v oblastech dále od místa požáru, kde dochází ke kumulaci zplodin hoření. Vizualizace srovnání počtu osob ovlivněných sníženou viditelností na jednotlivých sledovaných úsecích, vzdálených od místa požáru 100 až 500 m, je znázorněna na grafu 8. Tento graf ukazuje, že počet osob, které mohou být ovlivněny zhoršenou viditelností, postupně narůstá, přičemž nejvyšších hodnot, konkrétně 478 osob, je dosaženo u vstupů do tunelové propojky. Tento nárůst je způsoben především postupným šířením zplodin hoření v tunelové troubě, což vede k omezené viditelnosti. Dveře o šířce 1,4 m do záchranné chodby tunelové propojky mohou dále zpomalit evakuaci, jelikož omezují rychlost průchodu, ale stále zůstávají funkční pro bezpečné opuštění tunelu.

Následující graf 9 znázorňuje průběh nárůstu ohrožení osob na základě kritéria frakční účinné dávky (FED), které určuje míru vystavení osob nebezpečným podmínkám.



Graf 9 Průběh nárůstu frakční účinné dávky (FED) působící na unikající osoby během požáru

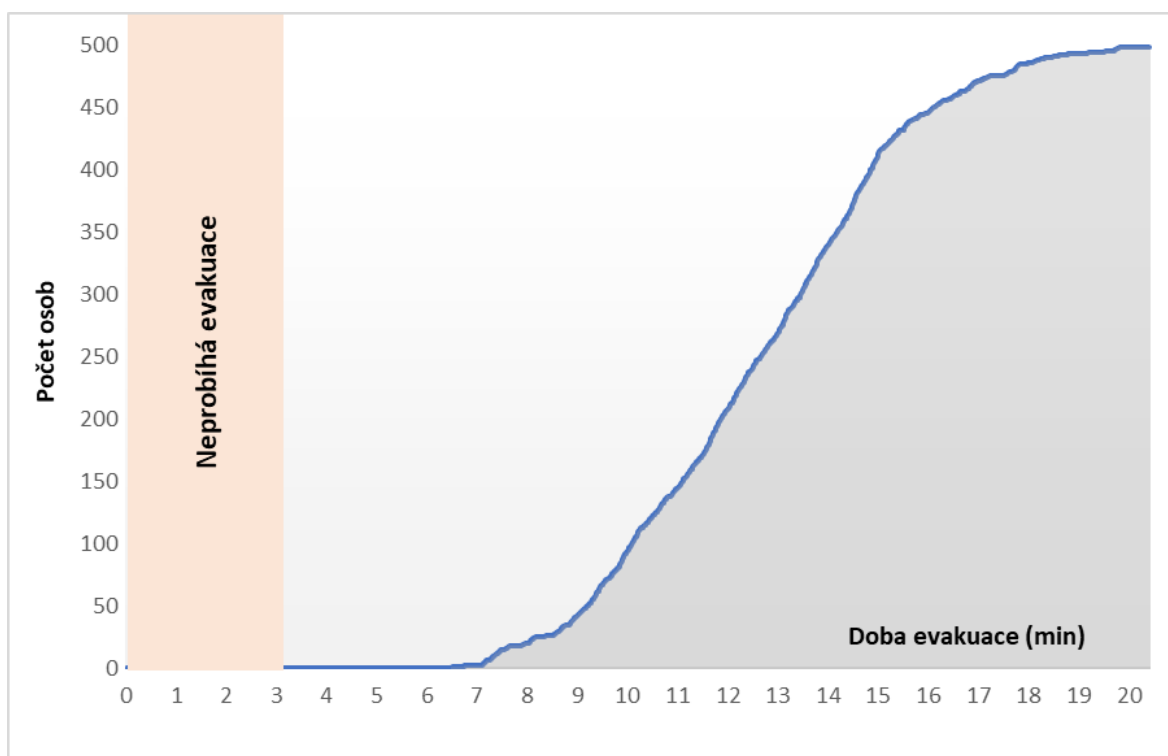
Z grafu 9, který zobrazuje komplexní riziko pro osoby pomocí kritéria frakční účinné dávky (FED), je patrné, že po celou dobu evakuace nedochází k překročení hodnoty FED 0,3, která představuje kritickou hranici pro schopnost evakuace. Frakční účinná dávka je velmi nízká, protože se osoby v tunelu vyskytovaly po krátkou dobu a nebyly tak dlouho vystaveny nebezpečným podmínkám.

Dále bylo zjištěno, že během simulace požáru v tunelové troubě, trvající přibližně 20 minut, nedošlo k překročení **limitních hodnot teploty plynů** (viz graf 3) ani **koncentrace CO** (viz graf 5).

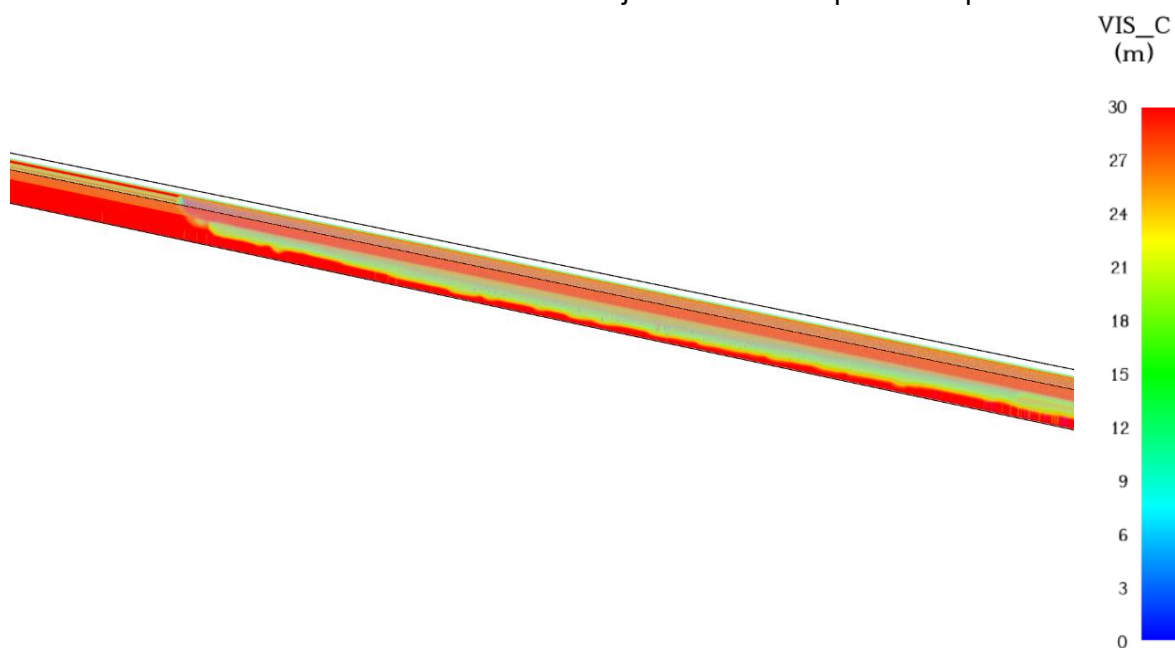
Varianta E.2a-P.2 – evakuace na vzdálenost 500 m mezi dveřmi ve středové příčce

Průběh evakuace, opuštění prostoru požárem zasažené tunelové trouby, lze podle procenta uniklých osob do únikové záchranné cesty rozdělit:

- **50 % osob (250 osob)** 759 s = **12 minut 39 sekund**,
- **95 % osob (475 osob)** 1030 s = **17 minut 10 sekund**,
- **99 % osob (495 osob)** 1151 s = **19 minut 11 sekund**,
- **100 % osob (500 osob)** 1227 s = **20 minut 27 sekund**.



Graf 10 Průběh evakuace od zahájení 180 sekund po vzniku požáru



Obr. 7 Ukázka evakuace ve střední části tunelu po 10 minutách

Doba evakuace osob z vlakové soupravy v tunelové troubě odpovídá překonání vzdálenosti k východu 500 m – doba evakuace byla stanovena na **20 minut 27 sekund**. Časová prodleva před zahájením evakuace je 180 s.

Tabulka 4 ukazuje dobu vstupu osob do záchrané cesty – dveří ve středové příčce.

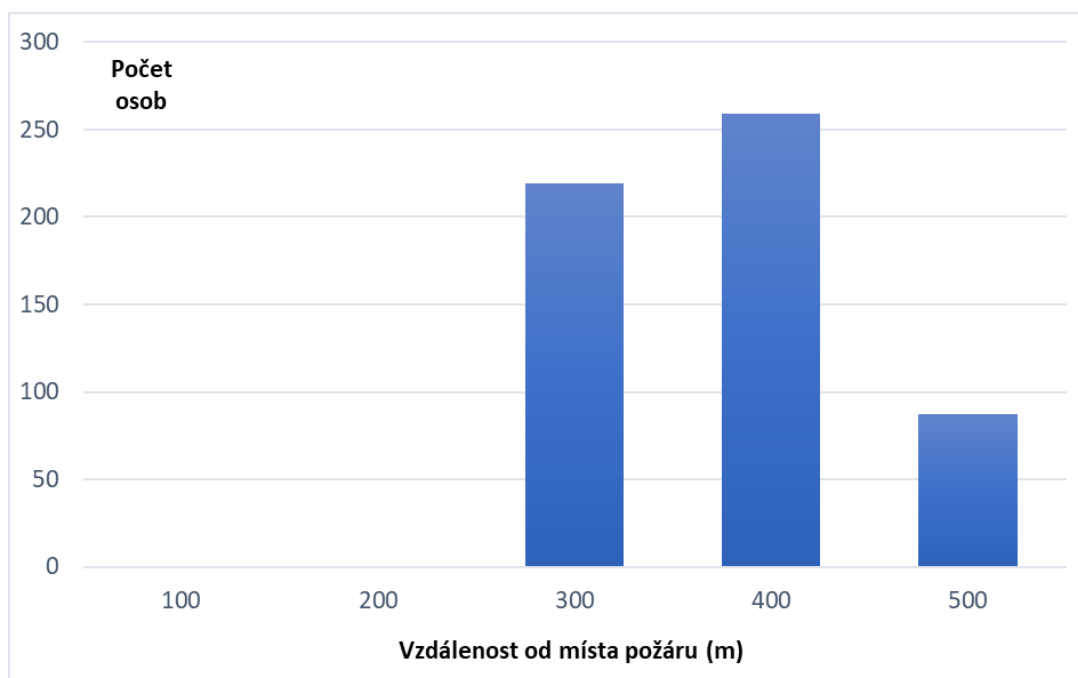
Tab. 4 Přehled doby pro vstup osob do nezasažené tunelové trouby (dveře 500 m daleko)

Doba vstupu osob do chráněné únikové cesty	První osoba (s)	Poslední osoba (s)	Celkový čas průchodu osob (s / min)
vstupní dveře	390	1227	837 / 13:57

Programem FDS byla také určena **viditelnost**, kdy se za zhoršenou hodnotu viditelnosti považuje 5 m pro unikající osoby neznalé prostor úniku. Během simulace se měnily hodnoty viditelnosti ve výšce 2 m nad úrovní únikového chodníku (viz graf 2). Počáteční hodnota viditelnosti 30 m postupně během simulace požáru klesala na jednotlivých měřených místech až k nule. Znázornění vlivu viditelnosti na bezpečnost unikajících osob stanovuje níže uvedená tabulka 5.

Tab. 5 Přehled výsledných hodnot viditelnosti

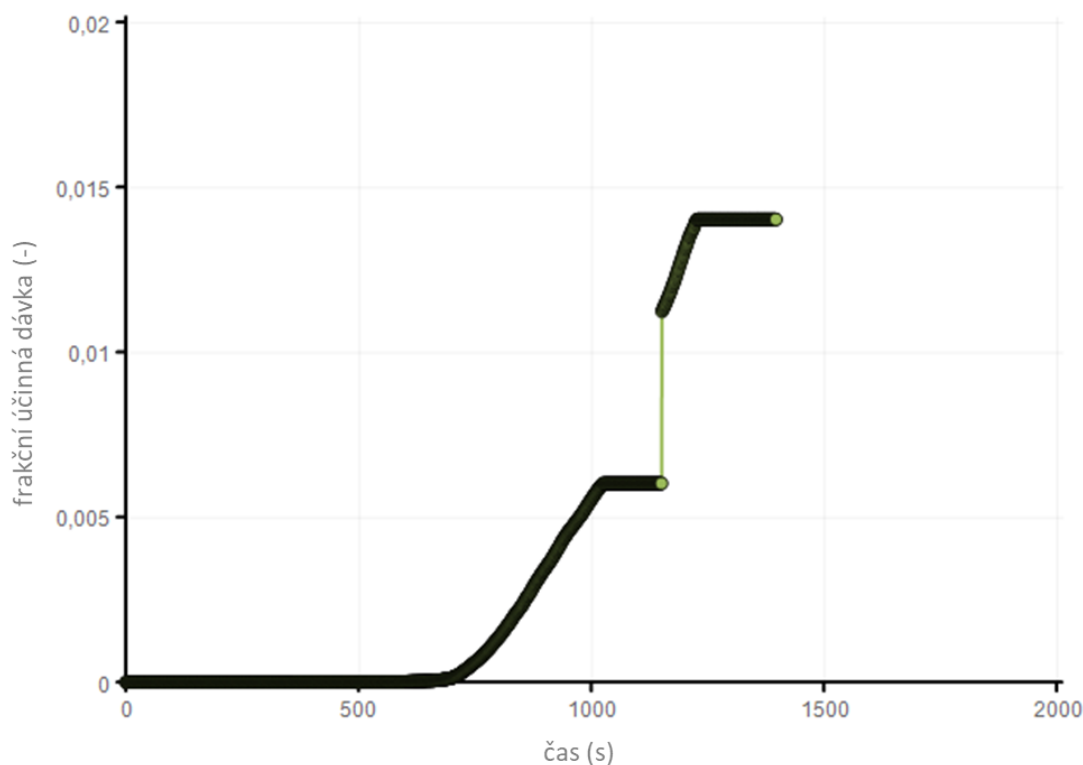
Čas simulace (s)	Viditelnost (m) ve vzdálenosti od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad únikovým chodníkem				
	100	200	300	400	500
0 - 180	neprobíhá evakuace				
180	30	30	30	30	30
240	30	30	30	30	30
300	30	30	30	30	30
360	30	30	30	30	30
420	30	19	30	30	30
480	30	11	10	30	30
540		25	30	30	30
600		10	3	30	30
660		10	1	3	30
720			1	5	30
780			1	1	30
840			1	1	15
900				1	1
960				1	1
1020				1	1
1080					1
1140					1
1200					0
Poznámka: Není-li políčko viditelnosti vyplněno, na sledovaném místě se již nepředpokládají unikající osoby. Zelené políčko = bezpečné pro evakuaci, červené políčko = nebezpečí pro evakuaci (pokles viditelnosti pod 5 m).					



Graf 11 Vizualizace srovnání počtu ohrožených osob sníženou viditelností

Z tabulky 5, která uvádí změny viditelnosti v různých částech tunelové trouby, je zřejmé, že v průběhu evakuace se podmínky pro unikající osoby postupně zhoršují. Zhoršení je patrné zejména v oblastech dále od místa požáru, kde dochází ke kumulaci zplodin hoření. Vizualizace srovnání počtu osob ovlivněných sníženou viditelností na jednotlivých sledovaných úsecích, vzdálených od místa požáru 100 až 500 m, je znázorněna na obr. 7. Tento graf ukazuje, že počet osob, které mohou být ovlivněny zhoršenou viditelností, je nejhorší ve vzdálenosti 300 m od místa vzniku požáru, konkrétně 219 osob, a také ve vzdálenosti 400 m od místa vzniku požáru, konkrétně 259 osob. Dveře o šířce 1,4 m do nezasažené tunelové trouby mohou dále zpomalit evakuaci, jelikož omezují rychlost průchodu, ale stále zůstávají funkční pro bezpečné opuštění tunelu.

Následující graf 12 znázorňuje průběh nárůstu ohrožení osob na základě kritéria frakční účinné dávky (FED), které určuje míru vystavení osob nebezpečným podmínkám.



Graf 12 Průběh nárůstu frakční účinné dávky (FED) působící na unikající osoby během požáru

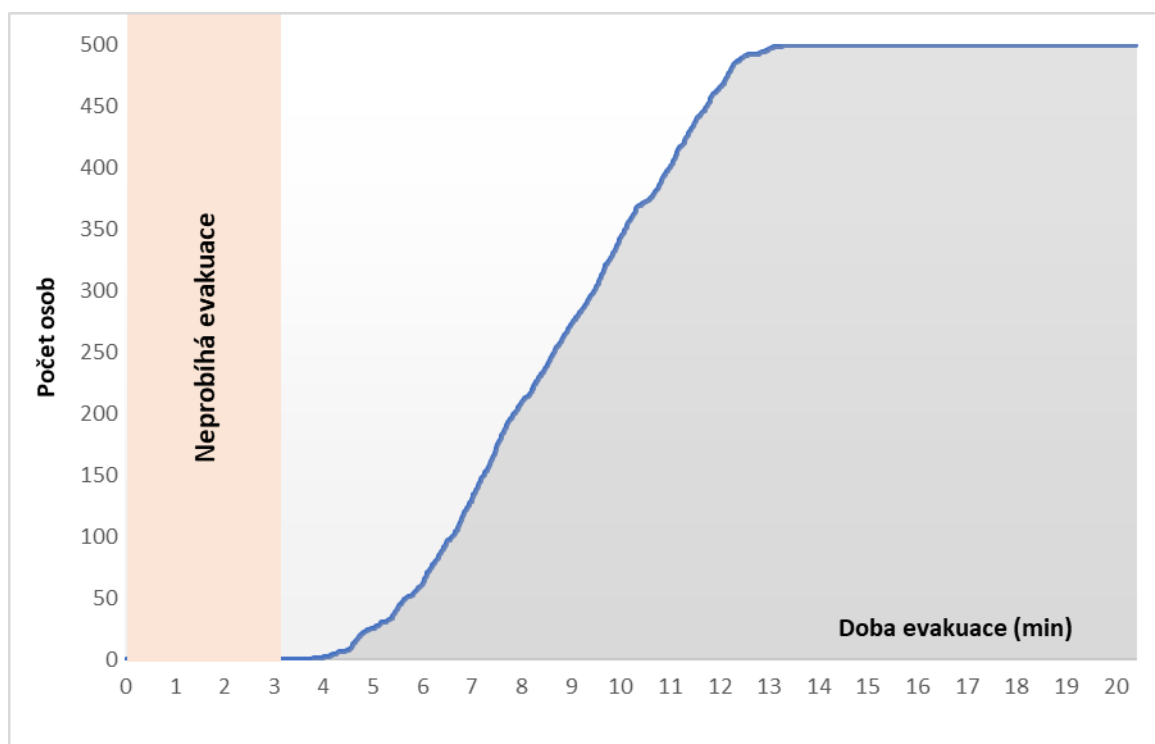
Z grafu 12, který zobrazuje komplexní riziko pro osoby pomocí kritéria frakční účinné dávky (FED), je patrné, že po celou dobu evakuace nedochází k překročení hodnoty FED 0,3, která představuje kritickou hranici pro schopnost evakuace. Frakční účinná dávka je velmi nízká, protože se osoby v tunelu vyskytovaly po krátkou dobu a nebyly tak dlouho vystaveny nebezpečným podmínkám.

Dále bylo zjištěno, že během simulace požáru v tunelové troubě, trvající přibližně 20,5 minuty, nedošlo k překročení **limitních hodnot teploty plynů** (viz graf 4) ani **koncentrace CO** (viz graf 6).

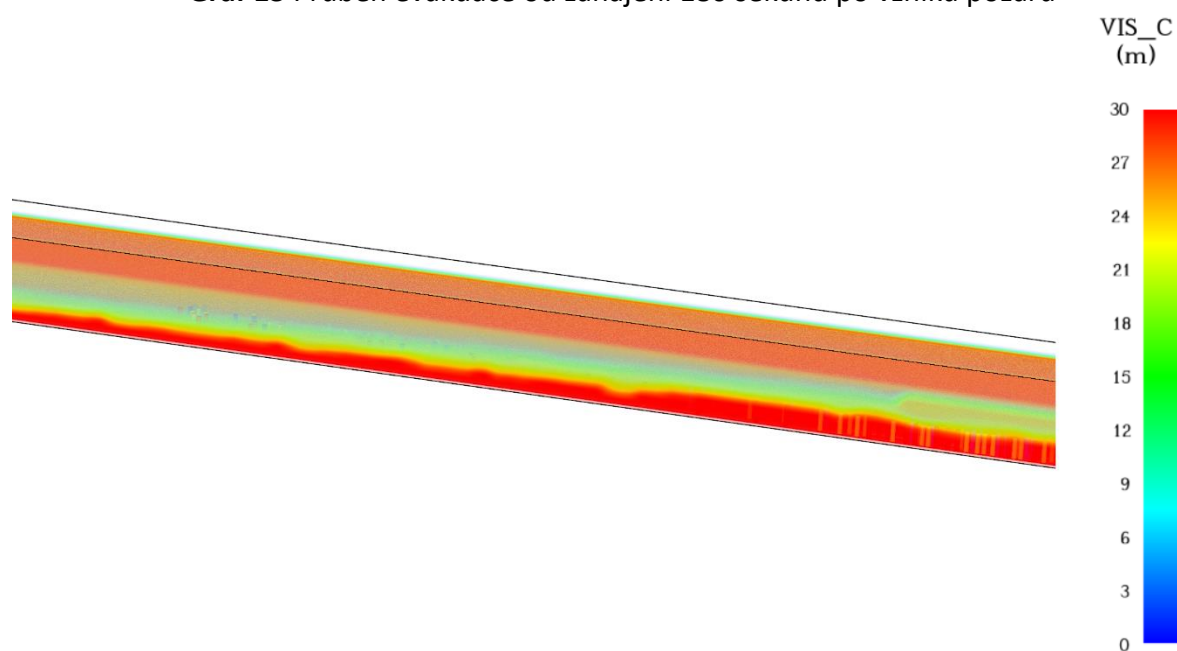
Varianta E.2b-P.2 – evakuace na vzdálenost 250 m mezi dveřmi ve středové příčce

Průběh evakuace, opuštění prostoru požárem zasažené tunelové trouby, lze podle procenta uniklých osob do únikové záchranné cesty rozdělit:

- **50 % osob (250 osob)** 519 s = **8 minut 39 sekund**,
- **95 % osob (475 osob)** 730 s = **12 minut 10 sekund**,
- **99 % osob (495 osob)** 770 s = **12 minut 50 sekund**,
- **100 % osob (500 osob)** 796 s = **13 minut 16 sekund**.



Graf 13 Průběh evakuace od zahájení 180 sekund po vzniku požáru



Obr. 8 Ukázka evakuace u dveří do nezasažené tunelové trouby po 10 minutách

Doba evakuace osob z vlakové soupravy v tunelové troubě odpovídá překonání vzdálenosti k východu 250 m (východ ve vzdálenosti 500 m nebyl využit) – doba evakuace byla stanovena na **13 minut 16 sekund**. Časová prodleva před zahájením evakuace je 180 s.

Tabulka 6 ukazuje dobu vstupu osob do záchranné cesty – dveří ve středové příčce.

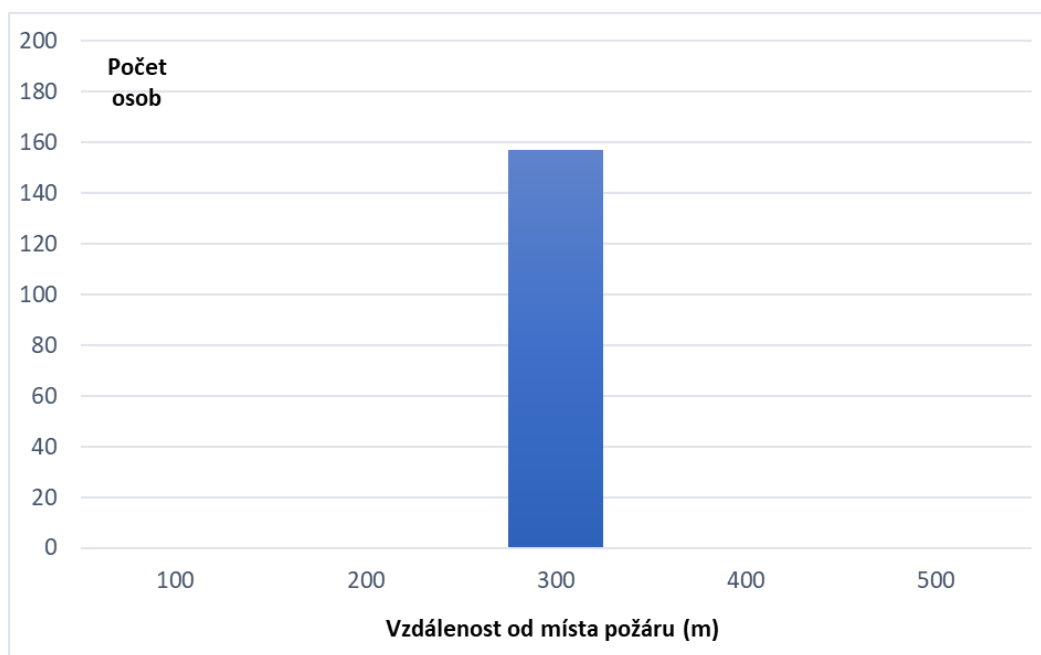
Tab. 6 Přehled doby pro vstup osob do nezasažené tunelové trouby (dveře 250 m daleko)

Doba vstupu osob do chráněné únikové cesty	První osoba (s)	Poslední osoba (s)	Celkový čas průchodu osob (s / min)
vstupní dveře	227	796	569 / 9:29

Programem FDS byla také určena **viditelnost**, kdy se za zhoršenou hodnotu viditelnosti považuje 5 m pro unikající osoby neznalé prostor úniku. Během simulace se měnily hodnoty viditelnosti ve výšce 2 m nad úrovní únikového chodníku (viz graf 2). Počáteční hodnota viditelnosti 30 m postupně během simulace požáru klesala na jednotlivých měřených místech až k nule. Znázornění vlivu viditelnosti na bezpečnost unikajících osob stanovuje níže uvedená tabulka 7.

Tab. 7 Přehled výsledných hodnot viditelnosti

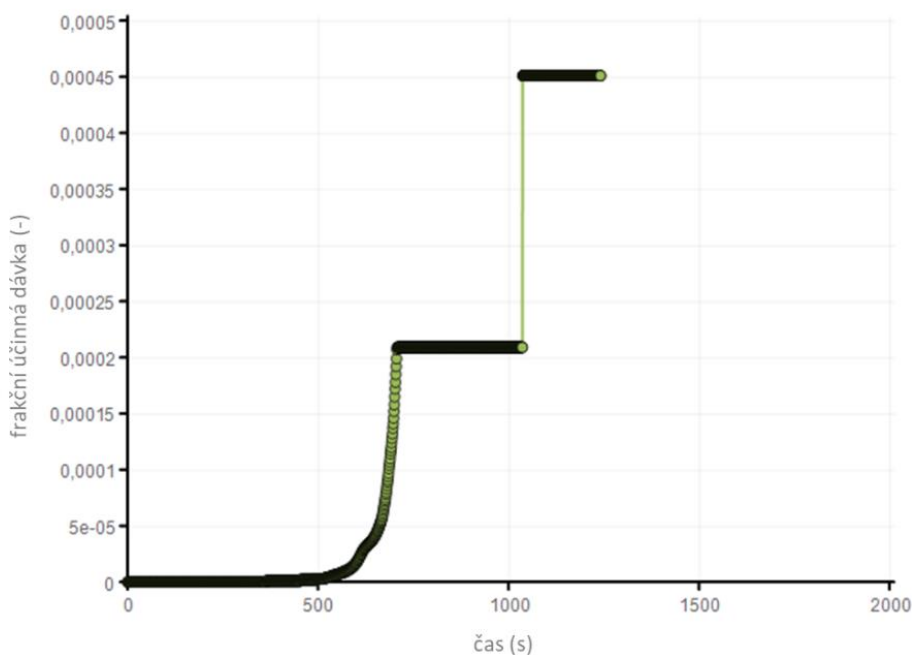
Čas simulace (s)	Viditelnost (m) ve vzdálenosti od místa požáru ve výškové úrovni 2 m nad únikovým chodníkem		
	100	200	300
0 - 180	neprobíhá evakuace		
180	30	30	30
240	30	30	30
300	30	30	30
360	30	30	30
420	30	19	30
480	30	11	10
540		25	30
600		10	3
660		10	1
720			1
780			1
Poznámka: Není-li políčko viditelnosti vyplněno, na sledovaném místě se již nepředpokládají unikající osoby. Zelené políčko = bezpečné pro evakuaci, červené políčko = nebezpečí pro evakuaci (pokles viditelnosti pod 5 m).			



Graf 14 Vizualizace srovnání počtu ohrožených osob sníženou viditelností

Z tabulky 7, která uvádí změny viditelnosti v různých částech tunelové trouby, je zřejmé, že v průběhu evakuace se podmínky pro unikající osoby postupně zhoršují. Zhoršení je patrné zejména v oblastech dále od místa požáru, kde dochází ke kumulaci zplodin hoření. Vizualizace srovnání počtu osob ovlivněných sníženou viditelností na jednotlivých sledovaných úsecích, vzdálených od místa požáru 100 až 500 m, je znázorněna na obr. 10. Vzhledem k tomu, že osoby pro únik využívaly pouze dveře ve vzdálenosti 250 m, nebyly osoby ve větších vzdálenostech (400 m a 500 m od místa požáru) vystaveny účinkům požáru. Tento graf ukazuje, že počet osob, které mohou být ovlivněny zhoršenou viditelností, konkrétně 157 osob, je nejhorší ve vzdálenosti 200-300 m od místa vzniku požáru, u vstupu do nezasažené tunelové trouby ve vzdálenosti 250 m. Dveře o šířce 1,4 m do nezasažené tunelové trouby mohou dále zpomalit evakuaci, jelikož omezují rychlost průchodu, ale stále zůstávají funkční pro bezpečné opuštění tunelu.

Následující graf 15 znázorňuje průběh nárůstu ohrožení osob na základě kritéria frakční účinné dávky (FED), které určuje míru vystavení osob nebezpečným podmínkám.



Graf 15 Průběh nárůstu frakční účinné dávky (FED) působící na unikající osoby během požáru

Z grafu 15, který zobrazuje komplexní riziko pro osoby pomocí kritéria frakční účinné dávky (FED), je patrné, že po celou dobu evakuace nedochází k překročení hodnoty FED 0,3, která představuje kritickou hranici pro schopnost evakuace. Frakční účinná dávka je velmi nízká, protože se osoby v tunelu vyskytovaly po krátkou dobu a nebyly tak dlouho vystaveny nebezpečným podmínkám.

Dále bylo zjištěno, že během simulace požáru v tunelové troubě, trvající přibližně 13 minut, nedošlo k překročení **limitních hodnot teploty plynů** (viz graf 4) ani **koncentrace CO** (viz graf 6).

4.4 Zhodnocení průběhu evakuace

V nejnepříznivější modelové situaci variantu E.1-P.1 a E.2a-P.2, kdy vlaková souprava zastaví blízko únikového objektu, ale blokuje přístup do jednoho směru úniku, byla simulována evakuace pro vzdálenost mezi únikovými objekty 500 m. Pro situaci požáru P.2 variantu E.2b-P.2 byla dále simulována evakuace pro vzdálenost mezi únikovými objekty (dveřmi ve středové příčce) 250 m.

Celková doba evakuace pro variantu E.1-P.1 činí přibližně 20 minut (vzdálenost mezi únikovými vstupy do propojky 500 m), **pro variantu E.2a-P.2 činí přibližně 20 minut a 30 sekund** (vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce 500 m) a **pro variantu E.2b-P.2 činí přibližně 13 minut** (vzdálenost mezi dveřmi ve středové příčce 250 m).

Delší doba evakuace 20 minut znamená, že osoby jsou po určitou dobu evakuace vystaveny nepříznivým podmínkám požáru, což může vést ke ztrátě orientace, panickému chování či pocitům bezradnosti. Tyto faktory dále zvyšují riziko ohrožení zdraví a života evakuovaných osob.

Z výsledků simulace vyplynulo, že ani u jedné varianty **nedošlo k překročení limitních hodnot kritéria FED, ale i teplot a koncentrace CO**. To znamená, že schopnost evakuace nebyla výrazně ohrožena.

Je rovněž důležité zdůraznit, že model nezohledňuje transport zraněných osob, které mohou být v reálné situaci přítomny. Předpokládá se, že osoby se zraněním nebo se sníženou schopností pohybu bude nutné evakuovat zásahovými týmy JPO HZS ČR nebo HZS SŽ.

Simulace rovněž potvrdila, že **průchod osob z tunelové trouby do záchranné cesty probíhá plynule**, bez kumulace osob před vstupem do tunelové propojky nebo do nezasažené tunelové trouby. To naznačuje, že prostorová kapacita záchranné chodby a dalších navazujících prostor je dostatečná pro účely evakuace.

Tento model tedy poskytuje poznatky o potřebě optimalizace únikových tras a vzdáleností mezi únikovými objekty pro minimalizaci rizika a zajištění plynulé evakuace v podmínkách mimořádné události.

4.5 Shrnutí studie

Celková doba evakuace **v nejnepříznivější modelové situaci varianty E.1-P.1 a E.2a-P.2**, pokud se budou únikové východy nacházet ve vzdálenosti 500 m, **činí přibližně 20 minut**. Zmenšením vzdálenosti mezi dveřmi ve středové příčce tunelu z 500 m na 250 m můžeme zajistit snížení doby evakuace. V předchozí studii Hosínského tunelu byla celková doba evakuace stanovena přibližně na hodnotu 22 minut a 44 sekund. Lze tedy konstatovat, že doba evakuace je v obou těchto tunelech při vzdálenosti východů 500 m podobná.

Tab. 8 Přehled výsledných hodnot studie

Doba evakuace (pohyb osob v zasaženém tunelu)	
<i>Variantní tunely TBM</i>	
E.1-P.1 (únik 500 m)	20 minut 4 sekundy
E.2a-P.2 (únik 500 m)	20 minut 27 sekund
E.2b-P.2 (únik 250 m)	13 minut 16 sekund