

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
Drevárska fakulta

Dominik ŠPILÁK

PROTIPOŽIARNA BEZPEČNOSŤ
CESTNÝCH TUNELOV

Zvolen 2021

Táto publikácia vznikla vďaka grantovej podpore Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky ako jeden z výstupov riešenia projektu KEGA 001TU Z-4/2020 „Implementácia progresívnych technológií, metód a foriem do vzdelávania v študijnom odbore Bezpečnostné vedy“.

Autor:

Ing. Dominik ŠPILÁK, PhD.

Katedra protipožiarnej ochrany
Drevárska fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

Recenzenti:

Ing. Ludmila Tereňová, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

prof. Ing. Milan ORAVEC, PhD.

Technická univerzita v Košiciach

I. – 2021, online PDF súbor, 79 s. (4,85 AH)

Forma dokumentu: elektronická (online)

Vydavateľstvo: Technická univerzita vo Zvolene

© Technická univerzita vo Zvolene

© Ing. Dominik Špilák, PhD.

Schválené rektorom Technickej univerzity vo Zvolene číslo EP 94/2021 ako odborná monografia.

Rukopis prešiel jazykovou korektúrou. Za odbornú a jazykovú úroveň tejto publikácie zodpovedá autor a recenzenti. Za odbornú a jazykovú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autor a recenzenti.

ISBN 978-80-228-3298-4

Všetky práva sú vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
Drevárska fakulta

Dominik ŠPILÁK

**PROTIPOŽIARNA BEZPEČNOSŤ
CESTNÝCH TUNELOV**

Zvolen 2021

PREDSLOV

Cestná doprava je stále jednou z najvýraznejšie sa rozvíjajúcich oblastí trhovej ekonomiky. S rozvojom dopravy sa zvyšuje dopyt po výstavbe nových kvalitnejších ciest, a to najmä diaľnic a rýchlostných ciest. Vzhľadom na negatívne vplyvy ich trasovania cez hornaté Slovensko sa čoraz viac uvažuje o budovaní veľkého množstva cestných tunelov. Tunely vyžadujú vysoké náklady na stavbu, údržbu a prevádzku. Musia spĺňať špeciálne požiadavky na bezpečnosť premávky a prevádzkovú bezpečnosť. Požiar v tuneli predstavuje veľkú hrozbu pre všetkých účastníkov premávky. Systém protipožiarnej ochrany tunelov na cestných komunikáciách má veľký vplyv na stavebno-technické riešenie a technologické vybavenie tunela.

Predkladaná publikácia približuje problematiku protipožiarnej bezpečnosti cestných tunelov z viacerých aspektov, s využitím prvkov multimedialných technológií (hyperlinky, zvukové záznamy, videozáznam). Rozdelená je do 6 hlavných kapitol pokrývajúcich tematicky problematiku protipožiarnej bezpečnosti stavebných konštrukcií, problematiku dynamiky požiaru, právnych aspektov zaistenia protipožiarnej bezpečnosti cestných tunelov a jej samotného riešenia, ako aj odvetrania a predstavenia centrálného riadiaceho systému pre prípad vzniku mimoriadnej udalosti (najmä požiaru) v tuneli.

Publikácia je určená najmä študentom študijného programu Protipožiarne ochrana a bezpečnosť na Technickej univerzite vo Zvolene a vysokých školách vyučujúcich príbuznú problematiku, ako aj ostatnej odbornej a laickej verejnosti zaujímajúcej sa o predmetnú problematiku.

OBSAH

PREDSLOV	3
1. ÚVOD DO STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIÍ.....	7
1.1 Stavebné výrobky	8
1.1.1 Triedy reakcie na oheň	8
1.1.2 Požiarna odolnosť.....	8
1.2 Konštrukčné prvky	9
1.3 Konštrukčný systém	11
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ROZVOJA POŽIARU	12
2.1 Požiarne scenáre	14
3. ÚVOD DO PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI CESTNÝCH TUNELOV	17
3.1 Legislatíva	17
4. RIEŠENIE PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI CESTNÝCH TUNELOV.....	20
4.1 Požiarne zaťaženie.....	20
4.1.1 Náhodné požiarne zaťaženie	21
4.1.2 Stále požiarne zaťaženie.....	22
4.1.3 Priemerné požiarne zaťaženie	23
4.1.4 Sústredené požiarne zaťaženie	24
4.2 Požiarne úseky	25
4.3 Požiarne riziko	26
4.3.1 Požiarne riziko v tunelovej rúre	26
4.3.2 Technologické priestory	26
4.3.3 Výpočet pre priemerné požiarne zaťaženie - zjednodušený postup.....	28
4.3.4 Výpočet pre priemerné požiarne zaťaženie – podrobný postup.....	28
4.3.5 Výpočet pre sústredené požiarne zaťaženie	30
4.3.6 Súčiniteľ výhrevnosti	30
4.3.7 Parameter odvetrania.....	32
4.3.8 Rýchlosť odhorievania	33
4.4 Dovoľená veľkosť požiarnych úsekov	34
4.5 Požiadavky na stavebné konštrukcie	34
4.5.1 Rozdelenie cestných tunelov	37
4.6 Únikové cesty	37
4.6.1 Typy únikových ciest	38

4.6.2	Základné pravidlá návrhu únikových ciest v cestných tuneloch	38
4.6.3	Dĺžka únikovej cesty	39
4.6.4	Čas evakuácie a šírka únikovej cesty	40
4.6.5	Dvere v únikových cestách a označovanie únikových ciest.....	40
4.7	Zariadenia na protipožiarny zásah	43
4.7.1	Prístupové komunikácie	43
4.7.2	Nástupné plochy	43
4.7.3	Zásahové cesty	45
4.8	Požiarne zariadenia.....	46
4.8.1	Stabilné hasiace zariadenie.....	46
4.8.2	Elektrická požiarňa signalizácia.....	46
4.8.3	Zariadenia na odvod tepla a splodín horenia.....	47
4.8.4	Zariadenia na dodávku vody na hasenie požiarov.....	47
4.8.5	Hasiace prístroje	51
4.8.6	Zariadenia na trvalú dodávku elektrickej energie pri požiaroch.....	51
4.9	Odvádzanie vody z povrchu vozovky.....	52
5.	TUNELOVÉ VETRANIE Z HĽADISKA PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI	53
5.1	Projektové parametre tunela	53
5.1.1	Premávka.....	53
5.1.2	Geometrické parametre tunela.....	54
5.1.3	Meteorologické podmienky.....	54
5.1.4	Intenzita požiaru	54
5.1.5	Množstvo vozidiel v tuneli v čase nehody	54
5.2	Voľba systému.....	54
5.2.1	Kategórie tunelov	54
5.3	Cieľ vetrania	56
5.4	Dimenzovanie vetrania	58
5.4.1	Dimenzovanie požiarneho vetrania.....	58
5.4.2	Dimenzovanie vetrania na účel odsávania dymu	60
5.4.3	Vetranie núdzových východov.....	61
5.4.4	Meracie prístroje a detekčné zariadenia	61
5.4.5	Stratégia riadenia tunelového vetrania	61
6.	CENTRÁLNY RIADIACI SYSTÉM.....	63

6.1	SOS kabíny	63
6.2	Navádzací evakuačný systém	64
6.3	Komunikačné zariadenia	65
6.3.1	Zariadenie núdzového volania.....	66
6.3.2	Videodohľad.....	66
6.3.3	Tunelový rozhlas	66
6.3.4	Rádiové spojenie integrovaného záchranného systému	66
6.3.5	Príjem rozhlasových staníc.....	67
6.3.6	Mobilný telefónny systém	67
6.3.7	Dopravné značky a dopravné zariadenia.....	67
6.4	Osvetlenie	68
6.4.1	Požiarne núdzové osvetlenie	68
6.4.2	Osvetlenie únikových a zásahových ciest	69
6.4.3	Dopravné osvetlenie	69
	SUMMARY	71
	TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK	72
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	74
	VECNÝ REGISTER	76
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	77

1. ÚVOD DO STAVEBNÝCH KONŠTRUKCIÍ

Zákon č. 50/1976 Z. z. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (Stavebný zákon), v znení neskorších predpisov nám definuje stavbu ako stavebnú konštrukciu postavenú stavebnými prácami zo stavebných výrobkov, ktorá je pevne spojená so zemou, alebo ktorej osadenie si vyžaduje úpravu podkladu.

Všetky stavby sú stavané za účelom, aby splnili nasledovné základné požiadavky:

- 1) mechanická odolnosť a stabilita stavby,
- 2) **protipožiarna bezpečnosť stavby,**
- 3) hygiena a ochrana zdravia a životného prostredia,
- 4) bezpečnosť stavby pri jej užívaní,
- 5) ochrana pred hlukom a vibráciami,
- 6) energetická úspornosť a ochrana tepla stavby,
- 7) trvalo udržateľné využívanie prírodných zdrojov.

Podľa stavebno-technického vyhotovenia a účelu sa stavby delia na pozemné stavby (priestorovo sústredené zastrešené budovy vrátane podzemných priestorov, ktoré sú stavebno-technicky vhodné a určené na ochranu ľudí, zvierat alebo vecí; nemusia mať steny, ale musia mať strechu) a inžinierske stavby (cesty, diaľnice, železnice, letiská, mosty, **tunely**, prístavy, priehrady, melioračné systavy, ropovody, plynovody, vodovody, kanalizácie,...).

Základnou stavebnou jednotkou každej stavby je stavebný výrobok (tehly, tvárnice, drevené hranoly, keramické obklady, stavebný polystyrén, sklená vata,...). Zo stavebných výrobkov sú zhotovené konštrukčné prvky (steny, stĺpy, stropy, strechy, podlahy). Z konštrukčných prvkov sú zhotovené konštrukčné systémy (celá stavba).

Úlohou konštrukčného systému je vymedzenie a rozdelenie priestoru stavby a prenášanie zaťaženia do jej základov. Zaťaženie stavby vzniká od vlastnej hmotnosti konštrukcií, od ľudí, nábytku, skladovaného materiálu, od vonkajších vplyvov (napr. sneh, vietor). Účinky zaťaženia sú silové a pretvárne.

Silové účinky zaťaženia vyvolávajú v konštrukčnom vnútorné sily, ktoré musia byť v stavbe v rovnováhe. Pretvárne účinky zaťaženia vyvolávajú v stavbe priehyb, posun, pootočenie, prípadne pri dynamickom zaťažení kmitanie konštrukcie.

Zaťaženie podľa dĺžky pôsobenia môže byť stále (vlastná tiaž konštrukcií, tlak zeminy, tlak vody, účinky predpätia konštrukcií,...) alebo náhodné (vietor, voda - dážď, sneh, zemetrasenia,...).

Podľa spôsobu pôsobenia rozlišujeme zaťaženie na statické (sústavné pôsobenie zaťaženia bez zmeny jeho veľkosti) a dynamické (veľkosť zaťaženia sa s časom mení - vietor, voda, autá na vozovke, pohyb osôb v stavbe,...).

Stabilita konštrukčného systému je dosiahnutá v prípade, kedy schopnosť konštrukčného systému vzdorovať účinkom zaťaženia je zabezpečená bez toho, aby došlo k náhlejšej podstatnej zmene (náhlemu poklesu únosnosti - tvarová stabilita, k posunu, pootočeniu, zaboreniu, popr. prevráteniu - polohová stabilita).

1.1 Stavebné výrobky

Stavebný výrobok je každý výrobok alebo každá zostava, ktoré sú vyrobené a uvedené na trh na trvalé zabudovanie v stavbách alebo ich častiach a ktorých parametre vplyvajú na parametre stavieb, pokiaľ ide o základné požiadavky na stavby. Zostava je stavebný výrobok uvedený na trh jedným výrobcom ako súbor aspoň dvoch oddelených zložiek, ktoré sa musia zložiť, aby sa mohli zabudovať do stavby. Tento termín je definovaný v rámci európskej legislatívy o stavebných výrobkoch čl. 2 ods. 1 a 2 [Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady \(EÚ\) č. 305/2011](#) z 9. marca 2011.

1.1.1 Triedy reakcie na oheň

Stavebné výrobky sa podľa triedy reakcie na oheň rozdeľujú do tried **A1, A2, B, C, D, E a F**. Pre triedy **A2-E** je dôležitá **doplnková klasifikácia s1,s2,s3 (tvorba dymu) a d0,d1,d2 (odpadávajúce častice)**. Za nehorľavé stavebné výrobky sa považujú len výrobky s triedou reakcie na oheň **A1 a A2**.

Pri uvádzaní stavebných výrobkov na trh, je povinnosťou výrobcu dať stavebný výrobok na posúdenie triedy reakcie na oheň. Bez certifikátu nie je možné uviesť stavebný výrobok na trh. V prípade nevykonania skúšky na zistenie triedy reakcie na oheň, je možné stavebnému výrobku priradiť triedu reakcie na oheň F. Zisťovanie triedy reakcie na oheň môže vykonávať len právnická osoba s príslušným oprávnením (autorizáciou).

Znalosť tried reakcie stavebných výrobkov na oheň je základným predpokladom pre stanovenie horľavosti konštrukčných prvkov.

1.1.2 Požiarna odolnosť

Požiarnu odolnosť stavebných konštrukcií charakterizujeme ako schopnosť konštrukcie odolávať účinkom požiaru, pričom je základnou požiarno-technickou vlastnosťou, ktorá je vyjadrená dobou v minútach až po vznik medzných stavov požiarnej odolnosti konštrukcie.

Požiarna odolnosť stavebných konštrukcií sa v Slovenskej republike môže overiť skúškou podľa skúšobných európskych noriem, výpočtami podľa Eurokódov na navrhovanie

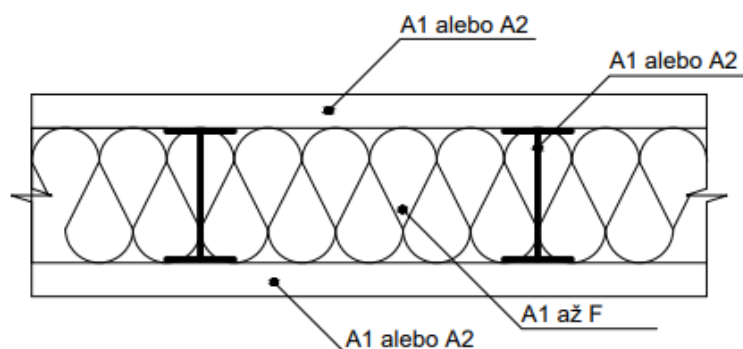
konštrukcií na účinky požiaru v prípadoch, v ktorých je možné vyjadriť všetky relevantné koeficienty výpočtom alebo skúškou a výpočtami v prípadoch, kedy nie je možné vyjadriť všetky relevantné koeficienty ovplyvňujúce požiaru odolnosť.

Požiaru odolnosť sa stanovuje pre konštrukčný prvok, časť konštrukcie alebo celú konštrukciu. Požiaru odolnosť je vyjadrená klasifikačným časom v minútach a identifikačnými písmenami (kritériami požiarnej odolnosti), ktoré vyjadrujú požiadavky protipožiarnej bezpečnosti konštrukcie a konštrukčného prvku. Základné požiadavky na konštrukcie definuje STN EN 13501-2 a sú to nosnosť (skr. R), celistvosť (skr. E), tepelná izolácia (skr. I), radiácia (skr. W), mechanická odolnosť (skr. M), samouzatváranie (skr. C), tesnosť proti prieniku dymu (skr. S), odolnosť proti vyhorenie sadzí (skr. G) a schopnosť protipožiarnej ochrany (skr. K). Klasifikačné časy sa vyjadrujú v minútach použitím jednej z hodnôt: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 alebo 360.

1.2 Konštrukčné prvky

Konštrukčné prvky podľa spôsobu používania rozdeľujeme na horizontálne (strop, podlaha, strecha, ...) a vertikálne (stena, stĺp, schodisko,...). V zmysle STN 92 0201-2 sú konštrukčné prvky stavebné konštrukcie s požadovanými vlastnosťami v podmienkach požiaru, ktoré podľa triedy reakcie na oheň stavebných materiálov, z ktorých sú zhotovené a ktoré zabezpečujú ich požiaru odolnosť alebo nosnosť, sa podľa ich vplyvu na intenzitu požiaru triedia na konštrukčné prvky druhu D1, D2 a D3.

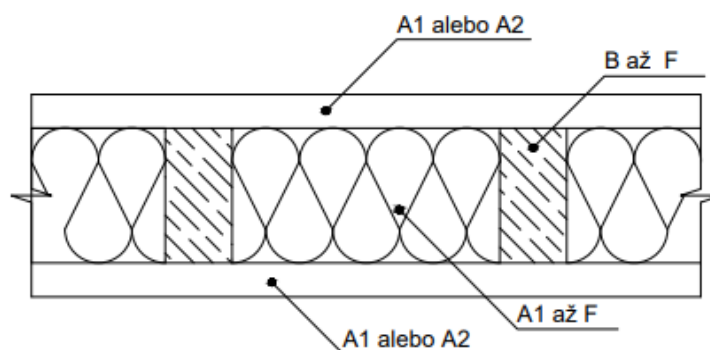
Konštrukčné prvky druhu D1 (obr. 1) počas požadovanej doby požiarnej odolnosti nezvyšujú intenzitu požiaru. Stavebné materiály a komponenty, z ktorých sú zhotovené, majú triedu reakcie na oheň A1 alebo A2. Stavebné materiály alebo komponenty, ktoré nezabezpečujú nosnosť a stabilitu konštrukčného prvku s triedou reakcie na oheň inou ako A1 alebo A2, sú uzavreté stavebnými materiálmi alebo komponentami s triedou reakcie na oheň A1 alebo A2. V posudzovanom čase požiarnej odolnosti sa tieto materiály nesmú zapáliť a ani uvoľňovať teplo (STN 92 0201-2).



Obr. 1 Konštrukčný prvok druhu D1

(Zdroj: Autor)

Konštrukčné prvky druhu D2 (obr. 2), počas požadovanej doby požiarnej odolnosti nezvyšujú intenzitu požiaru. Stavebné materiály alebo komponenty, s triedou reakcie na oheň inou ako A1 alebo A2, sú uzavreté stavebnými materiálmi alebo komponentami s triedou reakcie na oheň A1 alebo A2. V posudzovanom čase požiarnej odolnosti sa tieto materiály nesmú zapáliť a ani uvoľňovať teplo (STN 92 0201-2).

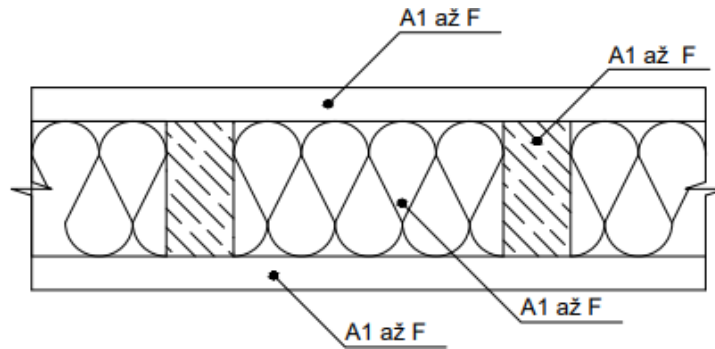


Obr. 2 Konštrukčný prvok druhu D2

(Zdroj: Autor)

Horľavé materiály a komponenty uzavreté vo vnútri konštrukčných prvkov D1 a D2 nesmú počas požadovanej doby požiarnej odolnosti dosiahnuť teplotu vzplanutia. Ak teplota vzplanutia nie je určená, uvažuje sa s teplotou vzplanutia 180 °C (STN 92 0201-2).

Konštrukčné prvky druhu D3 (obr. 3) sa počas požadovanej doby požiarnej odolnosti môžu zapáliť a zvyšovať intenzitu požiaru. Nemožno ich zaradiť ako konštrukčné prvky druhu D1 a D2 (STN 92 0201-2).



Obr. 3 Konštrukčný prvok druhu D3
(Zdroj: Autor)

Konštrukčný prvok druhu D2 možno nahradiť konštrukčným prvkom druhu D1. Tak isto môžeme konštrukčný prvok druhu D3 nahradiť konštrukčným prvkom druhu D2 alebo D1.

1.3 Konštrukčný systém

Konštrukčný systém, poprípade celok, sa podľa druhu konštrukčných prvkov použitých v požiarne deliacich a nosných konštrukciách, ktoré zabezpečujú stabilitu stavby, členia na nehorľavé, zmiešané a horľavé.

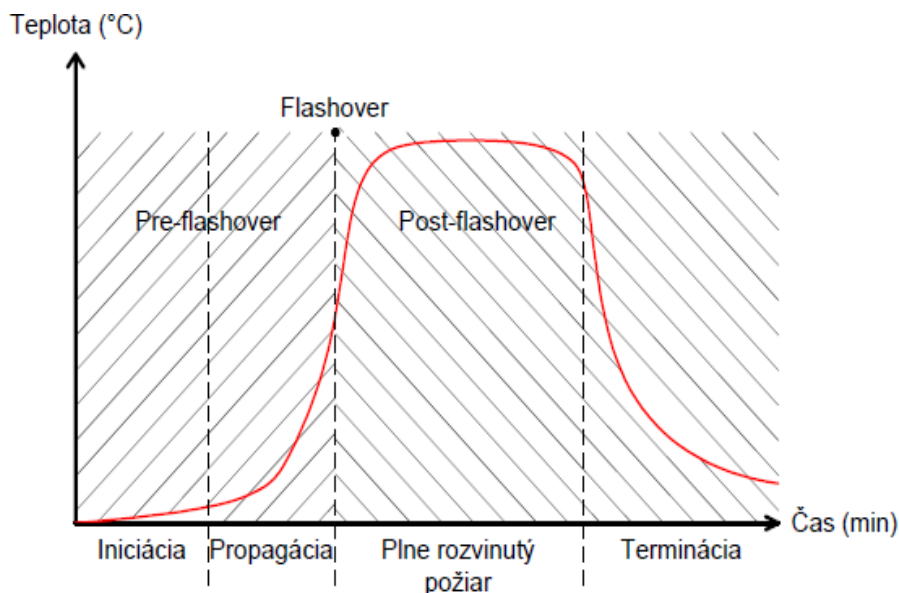
Nehorľavý konštrukčný celok je konštrukčný systém, v ktorom sú požiarne deliace konštrukcie a nosné konštrukcie zabezpečujúce stabilitu stavby alebo jej časti len druhu D1 (STN 92 0201-2).

Zmiešaný konštrukčný celok je konštrukčný systém, v ktorom sú zvislé požiarne deliace konštrukcie a zvislé nosné konštrukcie zabezpečujúce stabilitu stavby alebo jej časti len druhu D1, ostatné požiarne deliace konštrukcie a nosné konštrukcie sú druhu D2 (STN 92 0201-2).

Horľavý konštrukčný celok je konštrukčný systém, v ktorom sú požiarne deliace konštrukcie a nosné konštrukcie zabezpečujúce stabilitu stavby alebo jej časti len druhu D2 alebo kombinácia D1, D2, D3, avšak konštrukčný systém nevieme zaradiť medzi predchádzajúce prípady konštrukčných systémov.

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ROZVOJA POŽIARU

Priebeh každého požiaru je charakteristický niekoľkými fázami, ktoré je možné jednoznačne popísať pomocou teplotno-časovej krivky (obr. 4), ktorá rozdeľuje požiar na fázu zapálenia (iniciácia), fázu rozvoja (propagácia), flashover, fázu plne rozvinutého požiaru a fázu uhasínania (terminácia).



Obr. 4 Teplotno-časová krivka

(Zdroj: Autor)

Fáza zapálenia alebo iniciácie predstavuje prvú fázu vývoja požiaru. Začína sa zapálením a následným šírením plameňa, ktorého dôsledkom je zvyšovanie množstva uvoľnenej energie. Pre túto fázu sú charakteristické exotermické reakcie a následný vzrast teploty nad teplotu okolia.

Druhou fázou je fáza rozvoja požiaru. V tejto fáze je prebytok oxidačného prostriedku (vzduchu), preto je ďalší rozvoj požiaru závislý od paliva (požiar riadený palivom). Vytvára sa zóna spalín nad plameňom a jej postupný tok nahor až po strop kde sa tvorí vrstva horúcich plynov (Ji a kol., 2018). V dôsledku zväčšovania sa objemu splodín horenia, v momente keď je plocha horúcich plynov pod stropom rovnaká ploche stropu, začne dochádzať k posunu dymu nadol. Vytvárajú sa dve vrstvy plynov, horúcu hornú (spaliny, vzduch) a studenú dolnú (vzduch), pričom je predpoklad zmien hranice medzi vrstvami v čase. Zvyšuje sa prenos tepla do okolitých konštrukcií, ale aj do paliva, čím sa zvyšuje rýchlosť odhorievania a zahrievanie ďalšieho paliva (Dong a kol., 2019).

Flashover je náhly prechod z fázy rozvoja na plne rozvinutého požiaru, pričom nastáva vznietenie alebo vzplanutie v celom priestore. Charakteristická teplota pre túto fázu je teplota v rozmedzí 500 až 600 °C. Dôležitými sú vlastnosti ako uloženie paliva, geometria priestoru ([Zhang a kol., 2019](#)) a podmienky v hornej vrstve, ale aj podmienky prostredia ako teplota vzduchu, tlak vzduchu a rýchlosť prúdenia vetra. V tejto fáze dochádza k ďalšiemu rozvoju požiaru, zvýšeniu rýchlosti horenia, šíreniu plameňa z primárneho paliva na sekundárne palivá, zvyšuje sa teplota hornej vrstvy a spätný tepelný tok na ďalšie horľavé materiály.

Flashover rozdeľuje fázy rozvoja požiaru na pre-flashover a post-flashover. Vo fáze pre-flashoveru sa pri zabezpečovaní požiarnej bezpečnosti stavieb kladie dôraz na bezpečnosť ľudí, kde je dôležitou hodnotou teplota v priestore a doba vystavenia osôb vysokej teplote ([Weinschenk, Overholt a Madrzykowski, 2016](#)), pričom sa za východisko pre hodnotenie považuje práve rýchlosť uvoľňovania tepla ([Janardhan a Hostikka, 2017](#)). Vo fáze post-flashoveru sa kladie dôraz na zaistenie stability stavby ([Mazza, Fiore a Mazza, 2017](#)) a bezpečnosti hasičov, v tomto prípade sa za východisko pre hodnotenie považujú teplotno-časové krivky.

Vo fáze plne rozvinutého požiaru dochádza k zmene požiaru riadeného palivom na požiar riadený ventiláciou. Teplota plynov charakteristická pre túto fázu je v rozmedzí 700 až 1 200 °C. Štvrtá fáza trvá do spotrebovania paliva alebo nedostatku kyslíka, kedy horúca vrstva dosiahne zónu plameňa (oheň pre nedostatok kyslíka uhasína). Znižuje sa rýchlosť uvoľňovania energie a teplota plynov, avšak pyrolýza môže pokračovať a dochádza k akumulácii nezhorených plynov. Náhly prísun vzduchu môže spôsobiť zmenšenie tepelného zaťaženia alebo zvýšenie rýchlosti uvoľňovania energie, čo môže viesť k vzniku backdraftu.

Backdraft vzniká po náhlom prísune kyslíka do priestoru, kde sa nahromadili horúce produkty nedokonalého horenia. Náhly prísun vzduchu vytvorí s týmito plynmi veľmi horľavú zmes s vysokou rýchlosťou uvoľňovania tepla. Akýkoľvek zápalný zdroj spôsobí explozívne a veľmi rýchle horenie, čo môže mať deštruktívne účinky na ohraničený priestor.

Pre backdraft je rozhodujúca teplota vo vnútri požiarneho úseku. Pri teplote vyššej ako 350 °C je možný vznik backdraftu pri samovznietení. Ak je prítomný iniciačný zdroj, môže dôjsť k backdraftu pri teplotách do 300 °C ([Wu a Carvel, 2017](#)). Podmienky pre vznik backdraftu môžu nastať už v skorých štádiách požiaru, a to pokiaľ sa dosiahne vhodná teplota. Backdraft vzniká pri podstatne nižších teplotách, ako v prípade flashoveru ([Park a kol., 2017](#)). Intenzita backdraftu je závislá vo veľkej miere od koncentrácie kyslíka vnikajúceho

do priestoru, čo ovplyvňuje výsledný tlak a závažnosť výsledných škôd ([Myilsamy, Oh a Choi, 2019](#)).

Poslednou fázou je terminácia alebo uhasínanie. Nastáva po spotrebovaní paliva. Znižuje sa rýchlosť uvoľňovania energie, dochádza k poklesu teploty plynov a z požiaru riadeného ventiláciou sa stáva požiar riadený palivom.

2.1 Požiarne scenáre

Jedna zo základných požiadaviek kladených na stavebné výrobky sa týka šírenia požiaru a dymu a nosnosti konštrukcie. Tieto požiadavky sa splnia preukázaním ich požiarnej odolnosti pomocou rôznych úrovní tepelného namáhania.

Pre potreby zisťovania požiarnej odolnosti stavebných výrobkov a konštrukcií je dôležitá fáza plne rozvinutého požiaru (post-flashover), kedy sa predpokladá, že teplota plynu je rovnomerne rozložená v celom skúmanom požiarom úseku. Závislosť, ktorá je modelom plne rozvinutého požiaru v priestore, je daná pomocou **normovej teplotnej krivky** (obr. 3) (STN EN 13501-2):

$$T = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad (1)$$

kde: t – čas od začiatku skúšky (min),

T – priemerná teplota v peci ($^{\circ}\text{C}$).

V prípade, že je dôležitá pre výpočet fáza rozvoja požiaru (pre-flashover), používa sa **krivka pomalého ohrevu** (obr. 3), daná vzorcom (3), vid' STN EN 13501-2:

$$\text{pre } 0 < t \leq 21: T = 154 \cdot t^{0,25} + 20 \quad (2)$$

$$\text{pre } t > 21: T = 345 \cdot \log_{10}[8 \cdot (t - 20) + 1] + 20 \quad (3)$$

kde: t – čas od začiatku skúšky (min),

T – priemerná teplota v peci ($^{\circ}\text{C}$).

Táto krivka sa využíva hlavne pri posudzovaní napeňujúcich protipožiarnych náterov.

Krivka pôsobenia vonkajšieho požiaru (obr. 5) reprezentuje namáhanie vonkajšieho povrchu steny požiarom vystupujúcim z okna budovy alebo voľne horiacim vonkajším požiarom a je definovaná vzorcom (4), vid' STN EN 13501-2:

$$T = 660 \cdot (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,5t}) + 20 \quad (4)$$

kde: t – čas od začiatku skúšky (min),

T – priemerná teplota v peci ($^{\circ}\text{C}$),

e – Eulerovo číslo (-).

Nárast teploty pri horení horľavých kvapalín, najmä v priestore neohraničenom stavebnými konštrukciami, popisuje **uhl'ovodíková teplotná krivka** (obr. 5) daná vzorcom (5), vid' STN EN 13501-2:

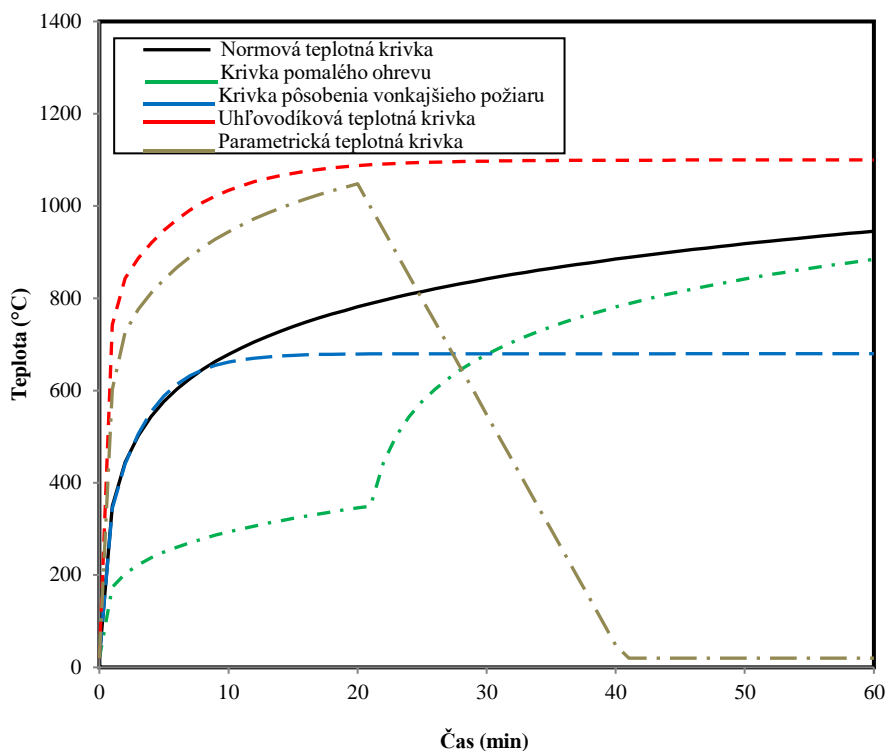
$$T_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) + 20 \quad (5)$$

kde: t – čas od začiatku skúšky (min),

T_g – priemerná teplota plynu v peci ($^{\circ}\text{C}$),

e – Eulerovo číslo (-).

Predchádzajúce krivky, nazývané aj nominálne, predstavujú jednoduché modely, popísané jednou teplotnou krivkou. Použitie nominálnych teplotných kriviek je veľmi jednoduché, ale výsledky môžu byť nepresné, a to hlavne v prípadoch, keď skúmame dlhšiu dobu trvania požiaru.



Obr. 5 Teplotné krivky

(Zdroj: Autor)

Nominálne teplotné krivky neberú do úvahy fakt, že po fáze plne rozvinutého požiaru, nasleduje jeho terminácia, čo má za následok znižovanie teploty. A to je jedna z výhod **parametrickej teplotnej krivky** (obr. 5), ktorá popisuje aj fázu uhasínania. Ďalšou výhodou parametrickej teplotnej krivky je to, že berie do úvahy rozmery požiarneho úseku, materiál konštrukcií ohraničujúcich požiarne úsek a vplyv protipožiarneho opatrení v požiarne úseku

stavby. Nevýhodou je ale náročnosť získania vstupných údajov. Parametrická teplotná krivka je daná vzťahom (6), vid' STN EN 13501-2:

$$T_g = 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot t^*} - 0,472 \cdot e^{-19 \cdot t^*}) \quad (6)$$

kde: t^* – parametrický čas od začiatku skúšky (min),

T_g – priemerná teplota plynu v peci ($^{\circ}\text{C}$),

e – Eulerovo číslo (-).

Táto krivka bola prvýkrát publikovaná v roku 1976 ([Pettersson, Magnusson, a Thor, 1976](#)). Predpokladom tejto krivky je, že teplota plynu je rovnomerne rozložená v celom skúmanom požiarnom úseku. Časť krivky reprezentujúcej ohrev sa vyznačuje exponenciálnym nárastom, ktorý končí v hodnote maximálnej teploty označovanej ako Θ_{max} (v čase t^*_{max}). Po dosiahnutí maximálnej teploty začína fáza s lineárnym poklesom, ktorá končí pri teplote 20°C .

Použitie parametrickej krivky nebolo v mnohých krajinách EÚ schválené, pretože viacero štúdií poukazuje na rôzne problémy spojené s parametrickou teplotnou krivkou, ktorá v niektorých prípadoch poskytuje nereálne zvýšenie a zníženie teploty v požiarnom úseku ([Zehfuss, 2011](#)).

3. ÚVOD DO PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI CESTNÝCH TUNELOV

Koncepcia protipožiarnej bezpečnosti (PBS) cestných tunelov vychádza zo základného cieľa, ktorým je záchrana a evakuácia osôb v prípade vzniku mimoriadnej udalosti. Požiar patrí medzi udalosti predstavujúce najväčšie ohrozenie premávky a prevádzkovej bezpečnosti v tuneli. Vo väčšine inžinierskych alebo pozemných stavieb, sa projekt PBS zhotovuje až po skončení fázy základného projektovania stavby. Avšak požiadavky na PBS tunelov majú veľký vplyv na stavebno-technické riešenie a technické vybavenie tunela. Preto sa projekt PBS cestných tunelov vytvára súčasne s prvotnou fázou projektovania. Z hľadiska PBS sa tunel na pozemnej komunikácii navrhuje, realizuje a užíva tak, aby v prípade požiaru bola prioritne zabezpečená bezpečná evakuácia osôb (obr. 6).



Obr. 6 Princíp návrhu cestného tunela z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti
(Zdroj: Autor)

Bezpečná evakuácia osôb je závislá od troch faktorov, ktorými je zabránenie šíreniu požiaru a dymu medzi jednotlivými požiarными úsekmi (PÚ), odvod dymu a splodín horenia mimo tunel a umožnenie účinného a bezpečného zásahu hasičských jednotiek pri zdolávaní požiaru a vykonávaní záchranných prác.

3.1 Legislatíva

Základný predpis na úseku protipožiarnej bezpečnosti cestných tunelov predstavujú Technické podmienky [TP 13/2020](#), vydané Ministerstvom dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR. Účelom TP je stanovenie základných požiadaviek na stavebné riešenie a

technologické vybavenie tunelov na pozemných komunikáciách z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti.

Okrem uvedenej TP existuje množstvo právnych predpisov a noriem, ktoré majú svoj význam v procese tvorby PBS cestných tunelov. Medzi najdôležitejšie patria:

- [Zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách \(cestný zákon\)](#), v znení neskorších predpisov;
- [Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku \(stavebný zákon\)](#) v znení neskorších predpisov;
- [Zákon NR SR č. 264/1999 Z. z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody](#) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Zákon NR SR č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarmi](#) v znení neskorších predpisov;
- [Vyhláška MV SR č. 121/2002 Z. z. o požiarnej prevencii](#) v znení neskorších predpisov;
- [Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb](#) v znení neskorších predpisov;
- [Nariadenie vlády SR č. 344/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti](#);
- [Zákon NR SR č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke](#) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- STN 92 0201-1 Požiarne bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku;
- STN 92 0201-2 Požiarne bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 2: Stavebné konštrukcie;
- STN 92 0201-3 Požiarne bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 3: Únikové cesty a evakuácia osôb;
- STN 92 0201-4 Požiarne bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 4: Odstupové vzdialenosti;
- STN 92 0202-1 Požiarne bezpečnosť stavieb. Vybavovanie stavieb hasiacimi prístrojmi;
- STN 92 0203 Požiarne bezpečnosť stavieb. Trvalá dodávka elektrickej energie pri požiari;
- STN 92 0204 Požiarne bezpečnosť stavieb. Priestory káblového rozvodu;

- STN EN 1991-1-2 (73 0035) Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia konštrukcií namáhaných požiarom;
- STN EN 1992-1-2 (73 1201) Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- STN EN 1993-1-2 (73 1401) Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- STN EN 1994-1-2 (73 2089) Eurokód 4. Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- STN EN 13501-1 (92 0850) Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň;
- STN EN 13501-2 (92 0850) Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti (okrem ventilačných zariadení).

4. RIEŠENIE PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI CESTNÝCH TUNELOV

System riešenia protipožiarnej bezpečnosti stavieb (PBS) cestných tunelov je v dôsledku podobnosti v používanej legislatíve podobný s pozemnými stavbami s určitými odlišnosťami. Postupnosť riešenia je približne nasledovná:

- definovanie požiarneho zaťaženia v jednotlivých priestoroch,
- rozdelenie stavby na požiarne úseky,
- výpočet požiarneho rizika,
- stanovenie dovolenej veľkosti požiarnych úsekov,
- určenie požiadaviek na stavebné konštrukcie,
- výpočet únikových ciest,
- určenie zariadení na protipožiarne zásah.

4.1 Požiarne zaťaženie

Priebeh požiaru do značnej miery ovplyvňuje prítomnosť horľavých látok, ktoré vytvárajú stále alebo náhodné požiarne zaťaženie daného priestoru. Tieto materiály majú rôzne požiarotechnické charakteristiky, pričom za jednu z najpodstatnejších sa v poslednej dobe považuje rýchlosť uvoľňovania tepla (HRR). Táto charakteristika neuvádza iba celkové množstvo uvoľneného tepla, ale aj jej časovú závislosť v priebehu rozvoja požiaru. Dôležitosť tohto údaju spočíva predovšetkým v jeho vplyve na trvanie počiatočnej fázy rozvoja požiaru, ktorá je dôležitá na evakuáciu ľudí z objektu.

V súvislosti s HRR sú dôležité aj ďalšie veličiny, pomocou ktorých je možné popísať požiar a sú dôležité pri výpočte požiarneho rizika. Najdôležitejšou je celková výhrevnosť, ktorá predstavuje teplo uvoľnené behom celého procesu horenia. Vo vzťahu k HRR sa jedná o plochu pod jej krivkou. Pokiaľ poznáme údaje o hmotnosti, vieme prepočítať **celkovú výhrevnosť** na výhrevnosť, ktorá predstavuje tepelnú energiu vytvorenú horením jednotkovej hmotnosti daného materiálu (EN ISO 13943) (kJ/kg). Výhrevnosť materiálov je charakteristikou umožňujúcou vzájomné porovnanie materiálov z hľadiska ich schopnosti prispievať k rozvoju požiaru, avšak z praktického hľadiska neposkytuje vhodné informácie. Preto sa výhrevnosť jednotlivých materiálov prepočítava na výhrevnosť dreva. Takto získané údaje nám poskytujú informácie o ekvivalentnom množstve dreva v kilogramoch, ktorého výhrevnosť je rovnaká ako výhrevnosť spomínaných materiálov. Napríklad ekvivalentom 1 kg papiera s výhrevnosťou približne 12 MJ·kg⁻¹ je 0,92 kg smrekového dreva s výhrevnosťou 13,0 MJ·kg⁻¹.

Charakter horľavých materiálov je možné zovšeobecniť podľa účelu miestnosti. Napríklad kancelárske miestnosti obsahujú typologicky rovnaké horľavé materiály (skrinky, dokumenty, počítač). Množstvo týchto horľavých látok závisí do značnej miery od plochy priestoru, preto sa aj požiarne zaťaženie vyjadruje na jednotku plochy. Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z. nám definuje požiarne zaťaženie ako prepočítanú hmotnosť dreva v kg na jednotku pôdorysnej plochy požiarneho úseku v m², ktorého výhrevnosť je rovnaká ako výhrevnosť všetkých horľavých látok, ktoré sú na tejto ploche.

4.1.1 Náhodné požiarne zaťaženie

Náhodné požiarne zaťaženie predstavuje podľa STN 92 0201-1 hmotnosť a výhrevnosť všetkých horľavých látok, ktoré sa môžu v priestoroch požiarneho úseku vyskytovať. Môže to byť napríklad nábytok, technologické vybavenie, zariadenie, a pod. Hodnotu náhodného požiarneho zaťaženia je možné pre niektoré priestory určiť podľa tabuľky A.1 prílohy A v STN 92 0201-1. V tab. 1 sú uvedené niektoré hodnoty náhodného požiarneho zaťaženia prislúchajúce vybraným priestorom, ktoré sa môžu nachádzať v stavbe cestného tunela.

Tab. 1 Hodnoty náhodného požiarneho zaťaženia prislúchajúce vybraným priestorom
(Zdroj: STN 92 0201-1)

Položka	Druh prevádzkarne alebo priestoru	a_n	p_n kg·m ⁻²
12.1	Strojovňa vzduchotechniky a výtahov	0,9	15
12.2	Elektrorozvodne: a) bez olejových vypínačov b) s olejovými vypínačmi	0,8 0,9	25 35
12.7	Strojovňa náhradného zdroja elektrickej energie (dieselagregáty a pod.)	0,9	15
12.8	Priestory pre transformátory a) olejové b) vzduchom chladené a regulačné	0,8 1,1	160 10
12.10	Kompresorové stanice pre nehorľavé plyny	0,9	15
12.11	Čerpacie stanice pre nehorľavé kvapaliny	0,9	10
12.13	Dispečingy, dozorne, obsluhovne: a) s elektrickým zariadením regulácie umiestneným v týchto priestoroch b) iba s ovládacími riadiacimi prvkami	1,1 0,9	65 15
-	Komunikačné priestory (chodby)	0,8	5

Predchádzajúce hodnoty uvedené v tabuľke sú v praxi často výrazne nadhodnotené, čiže poskytujú horší obraz o prítomnosti horľavých látok v priestore ako je v skutočnosti. Použitie týchto hodnôt je pomerne časté a to z dôvodu jednoduchosti a praktickosti. Na druhej strane, v prípade potreby presnejšieho výpočtu, kedy je potrebné priblížiť sa reálnemu stavu

čo najviac je možné náhodné požiarne zaťaženie určiť pomocou nasledovnej rovnice (STN 92 0201-1):

$$p_n = \frac{\sum_{i=1}^j M_i \cdot K_i}{S} \quad (7)$$

kde: p_n – náhodné požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

M_i – hmotnosť i -tej horľavej látky v požiarom úseku alebo jeho časti (kg),

K_i – súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva i -tej horľavej látky s hmotnosťou M_i podľa STN 73 0824 (-),

j – počet druhov horľavej látky,

S – pôdorysná plocha na ktorej sa vyskytuje náhodné požiarne zaťaženie p_n (m^2).

Presnejšie stanovenie náhodného požiarneho zaťaženia sa neskôr odzrkadlí hlavne vo výpočte požiarneho rizika, kde hrá významnú rolu.

4.1.2 Stále požiarne zaťaženie

Stále požiarne zaťaženie predstavuje podľa STN 92 0201-1 hmotnosť a výhrevnosť horľavých látok vyskytujúcich sa v konštrukciách požiarneho úseku okrem nosných konštrukcií zabezpečujúcich stabilitu stavby alebo jej časti, požiarnych deliacich konštrukcií alebo povrchových úprav konštrukcií s hrúbkou menšou ako 2 mm. Stále požiarne zaťaženie tvorené horľavými látkami obsiahnutými v konštrukciách okien, dverí a podláh je možné určiť pomocou tab. 2 (STN 92 0201-1).

Tab. 2 Stále požiarne zaťaženie (Zdroj: STN 92 0201-1)

Pôdorysná plocha miestností, prípadne priestoru m^2	p_s okien $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	p_s dverí $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	p_s podláh ¹⁾ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
do 500	3,0	2,0	5,0
nad 500 do 1 000	1,5	1,0	5,0
nad 1 000	0,7	0,5	5,0
¹⁾ Započítava sa nášľapná, resp. vyrovnávacía vrstva podlahy podľa STN 74 4505			

Celkové stále požiarne zaťaženie sa získava z tabuľky sčítaním jednotlivých hodnôt, podľa toho, čo sa v danom priestore nachádza. V prípade že sa v priestore nachádza niekoľko dverí alebo okien, ktoré sú z horľavých materiálov a bez požiarnej odolnosti, hodnota sa započítava do výsledku stáleho požiarneho zaťaženia len raz. Okná a dvere ktoré plnia funkciu ako požiarne deliace konštrukcie, nachádzajúce sa na hraniciach požiarneho úseku a bývajú označené ako konštrukčný prvok druhu D1, D2 alebo D3, sa do stáleho požiarneho zaťaženia nezapočítavajú.

Využitie tabuľkových hodnôt je podobne ako pri náhodnom požiarom zaťažení praktické, avšak nepresné a vysoko nadhodnotené. Napríklad pre priestor o ploche 400 m² kde sa nachádza dvojica horľavých dverí, žiadne horľavé okná, by bola výsledná hodnota stáleho požiarneho zaťaženia 2 kg·m⁻², čo obrazne nepredstavuje vysokú hodnotu, avšak pri prepočte na celkovú plochu priestoru by celková hodnota stáleho požiarneho zaťaženia pre daný priestor tvorená len dvoma dverami bola až 800 kg, čo je vysoko nadhodnotený údaj.

Preto je výhodné využitie presnejšieho výpočtu stáleho požiarneho zaťaženia podľa nasledovného vzorca (STN 92 0201-1):

$$p_s = \frac{\sum_{i=1}^j M_i \cdot K_i}{S} \quad (8)$$

kde: p_s – stále požiarne zaťaženie (kg·m⁻²),

M_i – hmotnosť i-tej horľavej látky v požiarom úseku alebo jeho časti (kg),

K_i – súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva i-tej horľavej látky s hmotnosťou M_i podľa STN 73 0824 (-),

j – počet druhov horľavej látky,

S – pôdorysná plocha na ktorej sa vyskytuje stále požiarne zaťaženie p_s (m²).

Uvedený vzorec je potrebné využiť aj v prípade, že sa v danom priestore nachádzajú aj časti konštrukcie stavby z horľavých materiálov, ktoré sú bez požiarnej odolnosti alebo ktorých požiarom odolnosť je nižšia ako požadovaná.

Využitie predchádzajúcich rovníc (7) a (8) si vyžaduje splnenie jednej hlavnej podmienky, ktorou je dokonalá znalosť daného priestoru. Potrebné sú údaje o prítomnosti horľavých látok, ich množstve, umiestnení a ich požiarotechnických charakteristík. V praxi sa ale častejšie stáva, že presné informácie ohľadom daného priestoru alebo celej stavby chýbajú, čo je aj hlavnou príčinou, prečo sa častejšie využíva jednoduchší postup získania hodnôt o náhodnom a stálom požiarom zaťažení a to pomocou tabuľkových hodnôt.

4.1.3 Priemerné požiarne zaťaženie

V prípade že stále a náhodné požiarne zaťaženie je relatívne rovnomerne rozložené po celom požiarom úseku alebo priestoru, hovoríme o priemernom požiarom zaťažení. Je možné ho vypočítať ako vážený priemer podľa nasledovnej rovnice (STN 92 0201-1):

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^j (p_{ni} + p_{si}) \cdot S_i}{S} \quad (9)$$

kde: \bar{p} – priemerné požiarne zaťaženie (kg·m⁻²),

p_n – náhodné požiarne zaťaženie i-teho priestoru (kg·m⁻²),

p_s – stále požiarne zaťaženie i-teho priestoru (kg·m⁻²),

S_i – pôdorysná plocha i-teho priestoru v požiarom podlaží (m^2),

S – celková pôdorysná plocha požiarneho úseku (m^2).

4.1.4 Sústredené požiarne zaťaženie

Ak sa v požiarom úseky nachádza priestor alebo časť priestoru, kde je požiarne zaťaženie oproti okoliu výrazne vyššie, hovoríme o sústredenom požiarom zaťažení. Sústredené požiarne zaťaženie sa počíta pomocou dvoch vzorcov v závislosti od typu priestoru, pre ktorý sa počíta požiarne riziko. Ak sa v požiarom úseku vyskytuje sústredené požiarne zaťaženie, postupuje sa pri určovaní požiarneho rizika nasledovne. Pre plochu, na ktorej sa vyskytuje sústredené požiarne zaťaženie, sa určí požiarne riziko alebo sa z tejto plochy vytvorí samostatný požiarom úsek, alebo sa ako priemerné požiarne zaťaženie požiarneho úseku určí najvyššia hodnota sústredného požiarneho zaťaženia.

Za sústredené požiarne zaťaženie v požiarom úseku, v ktorom sa požiarne riziko určuje pomocou výpočtového požiarneho zaťaženia sa považuje požiarne zaťaženie, ktoré spĺňa nasledovné podmienky (STN 92 0201-1):

$$0,01 \cdot S \leq S_s > 25 m^2 \quad (10)$$

$$2 \cdot (\bar{p} \cdot a)_1 < (p_m \cdot a)_2 > 50 kg \cdot m^{-2} \quad (11)$$

kde: S – celková pôdorysná plocha požiarneho úseku (m^2),

S_s – pôdorysná plocha, na ktorej sa nachádza sústredené požiarne zaťaženia (m^2),

$(\bar{p} \cdot a)_1$ – súčin priemerného požiarneho zaťaženie \bar{p} ($kg \cdot m^{-2}$) a súčiniteľa horľavých látok a (-) prislúchajúceho celému požiarom úseku, okrem častí kde sa nachádza sústredené požiarne zaťaženie,

$(p_m \cdot a)_2$ – súčin sústredného požiarneho zaťaženia p_m ($kg \cdot m^{-2}$) a súčiniteľa horľavých látok a (-) prislúchajúceho sústrednému požiarom zaťaženiu.

Za sústredené požiarne zaťaženie v požiarom úseku, v ktorom sa požiarne riziko určuje pomocou ekvivalentného času trvania požiaru sa považuje požiarne zaťaženie, ktoré spĺňa nasledovné podmienky (STN 92 0201-1):

$$0,01 \cdot S \leq S_s > 50 m^2 \quad (12)$$

$$2 \cdot (\bar{p} \cdot k_1)_1 < (p_m \cdot k_1)_2 > 50 kg \cdot m^{-2} \quad (13)$$

kde: S – celková pôdorysná plocha požiarneho úseku (m^2),

S_s – pôdorysná plocha, na ktorej sa nachádza sústredené požiarne zaťaženia (m^2),

$(\bar{p} \cdot k_1)_1$ – súčin priemerného požiarneho zaťaženie \bar{p} ($kg \cdot m^{-2}$) a súčiniteľa výhrevnosti k_1 (-) prislúchajúceho celému požiarom úseku, okrem častí kde sa nachádza sústredené požiarne zaťaženie,

$(p_m \cdot k_1)^2$ – súčin sústredeného požiarneho zaťaženia p_m ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) a súčiniteľa výhrevnosti k_1 (-) prislúchajúceho sústredenému požiarnemu zaťaženiu.

Sústredené požiarne zaťaženie sa podľa vyhlášky 94/2004 neurčuje, ak sa jedná o viacpodlažný požiarly úsek, v ktorom je požiarne zaťaženie určené súčtom požiarlych zaťažení

v jednotlivých podlažiach alebo priemerné požiarne zaťaženie je väčšie ako $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

4.2 Požiarne úseky

Ďalšou úlohou v rámci riešenia PBS akejkoľvek stavby je jej počiatocné rozdelenie na požiarne úseky. Úlohou požiarneho úseku je zabrániť prenosu požiaru z jedného požiarneho úseku do druhého, čo je jednou z podmienok pre zabezpečenie bezpečnej evakuácie. Podľa vyhlášky MV SR č. 94/2004, Z. z. požiarly úsek je celá stavba alebo jej časť, ktorá je oddelená od jej ostatných častí alebo od inej stavby požiarlym deliacou konštrukciou alebo odstupovou vzdialenosťou.

V pozemných stavbách sa požiarne úseky vytvárajú podľa prílohy č. 1 k vyhláške MV SR č. 94/2004 Z. z. avšak táto vyhláška sa nevzťahuje na cestné tunely. Zoznam priestorov ktoré musia tvoriť samostatný požiarly úsek v tuneli a v stavebných objektoch mimo tunela je uvedený v TP 13/2020 a sú to nasledovné priestory:

- tunelová rúra; súčasťou tohto požiarneho úseku môžu byť SOS kabíny, požiarne výklenky, káblové kanály druhu A,
- chránená úniková cesta,
- priečne prepojenie,
- rozvodňa elektrickej energie v tunelovej rúre,
- transformátorová komora,
- priestor so zdrojom neprerušovaného elektrického napájania,
- rozvodňa elektrickej energie v stavebnom objekte mimo tunelovej rúry nechránená stabilným hasiacim zariadením s pôdorysnou plochou viac ako 100 m^2 ,
- rozvodňa elektrickej energie v stavebnom objekte mimo tunelovej rúry vybavená stabilným hasiacim zariadením s pôdorysnou plochou viac ako 250 m^2 ,
- priestor so záložným zdrojom elektrickej energie,
- káblový priestor podľa, káblový kanál druhu B a C, káblová šachta,
- kolektor,
- dozorné alebo riadiace centrum (operátorské pracovisko) s pôdorysnou plochou viac ako 50 m^2 ,

- v podzemnom podlaží a s pôdorysnou plochou viac ako 100 m² v nadzemnom podlaží.

4.3 Požiarne riziko

Požiarne riziko kvantifikuje pravdepodobnú intenzitu požiaru v požiarom úseku alebo jeho časti. Pokiaľ nie je v právnych predpisoch uvedené inak, počíta sa pre každý požiarly úsek samostatne. V závislosti od účelu stavby sa vyjadruje pomocou ekvivalentného času trvania požiaru alebo indexom skladovacích materiálov a indexom ekonomického rizika, alebo výpočtovým požiarlym zaťažením ([Vyhláška MV SR č. 94/2004](#)).

4.3.1 Požiarne riziko v tunelovej rúre

Pre požiarly úsek tunelovej rúry sa podľa TP 13/2020 požiarne riziko neurčuje. Dôvodom je problematické určenie požiarneho zaťaženia. Tunelová rúra je postavená predovšetkým z nehorľavých materiálov s vysokou hodnotou požiarnej odolnosti, ktoré počas požiaru neprispievajú k jeho rozvoju, čo má za následok, že hodnota stáleho požiarneho zaťaženia je takmer nulová. Náhodné požiarne zaťaženie v tunelovej rúre môžu predstavovať dopravné prostriedky (osobné a nákladné automobily, prostriedky hromadnej dopravy), ktorých počet a umiestnenie nie je možné exaktne určiť. Do úvahy neprichádza ani možnosť využitia tzv. najhoršieho možného scenára, kedy by bola kapacita tunela využitá na 100 %. Otázne by bolo aké množstvo áut a typ áut by sa bralo do úvahy, kde by sa nachádzali, aký náklad by viezli nákladné automobily a pod. Veľké množstvo premenných by vytváralo veľké množstvo možností, ktoré by sa museli preveriť. Výsledkom by pravdepodobne bolo príliš vysoké požiarne riziko, ktoré neodráža skutočnosť. Nesprávny by bol aj prístup kedy by sa uvažovalo s nulovým počtom dopravných prostriedkov. Výsledkom by bolo malé požiarne riziko, čo tiež nie je reálne.

Od požiarneho rizika sú závislé požiadavky na stavebné konštrukcie z hľadiska ich požiarnej odolnosti. Obidva predchádzajúce extrémne prípady by viedli buď k príliš vysokým požiadavkám na stavebné konštrukcie, ktoré by bolo nákladné splniť alebo na druhej strane až k príliš nízkym požiadavkám, ktoré nezabezpečia dostatočnú bezpečnosť tunelovej rúry v prípade požiaru. Je potom otázne na základe čoho sa určujú minimálne požiadavky požiarnej odolnosti tunelovej rúry. Hodnoty požiarnej odolnosti stavebných konštrukcií v tomto smere vychádzajú z empirických znalostí požiarov v priestoroch tunelovej rúry, na základe ktorých sa stanovili minimálne požiadavky na ich požiarly odolnosť.

4.3.2 Technologické priestory

Technologické priestory v tuneli v ktorých je umiestnené technologické vybavenie tunela sa podľa TP 13/2020 považujú za priemyselné prevádzky. Požiarne riziko týchto priestorov sa

vyjadruje ekvivalentným časom trvania požiaru v minútach (v zmysle vyhlášky 94/2004). Ekvivalentný čas trvania požiaru môžeme chápať ako pomyselný čas trvania požiaru, počas ktorého by požiar v posudzovanom PÚ prebiehal podľa normovej teplotnej krivky a vyvolal by v konštrukcii rovnaké (ekvivalentné) účinky ako skutočný plne rozvinutý požiar. Ekvivalentný čas trvania požiaru v princípe vychádza z času, za ktorý zhoria horľavé látky nachádzajúce sa v požiarom úseku počas definovaného požiaru.

Určenie ekvivalentného času trvania požiaru v technologických priestoroch tunela je možné vypočítať dvoma spôsobmi. Jednoduchší postup spočíva vo využití tabuľkových hodnôt, pre určité skupiny priestorov nachádzajúcich sa v tab. 3.

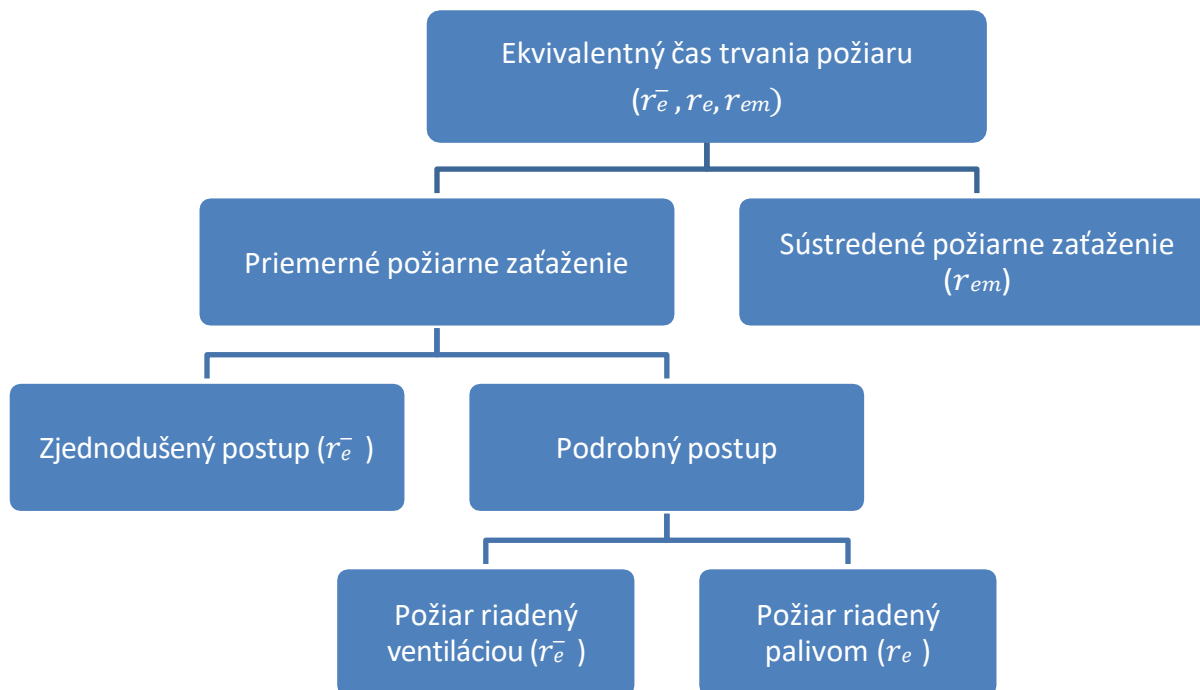
Tab. 3 Ekvivalentné časy trvania požiaru požiarneho úseku (Zdroj: TP 13/2020)

Položka	Prevádzkarne, ktoré tvoria samostatný požiarne úseky	τ_e ¹⁾ [min]
1	Strojovňa vzduchotechniky	30
2	Strojovňa záložného zdroja elektrickej energie (UPS, akumulátorovňa), nie však DA	25
3	Kompresorová stanica vzduchu	20
4	Čerpacia stanica vody	20
5	Rozvodňa elektrickej energie	35
6	Trafostanica	30 ²⁾
7	Dispečing, dozorná prevádzky, počítačová miestnosť, kancelária ³⁾ a pod.	40
8	Chodba	7,5 ⁴⁾

¹⁾ Hodnoty platia aj pre priestory so zdvojenými podlahami.
²⁾ V zmysle článku 7.3.3.7 TP 09/2008 sú povolené len suché transformátory.
³⁾ Vrátane komunikačných a sociálnych priestorov, ktoré môžu byť súčasťou požiarneho úseku.
⁴⁾ Požiarne úseky bez požiarneho rizika.

Na druhej strane tabuľkové hodnoty sú dosť nadhodnotené a nemusia sa tam nachádzať všetky typy priestorov. V praxi sa častejšie používa postup založený na výpočte ekvivalentného času trvania požiaru pomocou výpočtov podľa metodiky uvedenej v STN 92 0201-1.

Postup výpočtu uvedený v STN 92 0201-1 sa môže zdať trochu zmätocný v dôsledku veľkého množstva vzorcov prispôbených konkrétnym situáciám ktoré môžu nastať v požiarom úseku. Výpočty sú rozdelené podľa toho, či sa v požiarom úseku nachádza priemerné alebo sústredené požiarne zaťaženie. Pre priemerné požiarne zaťaženie sa využíva zjednodušený alebo podrobný postup, ktorý je závislý od toho, či by sa v prípade požiaru jednalo o požiar riadený palivom alebo ventiláciou (obr. 7).



Obr. 7 Ekvivalentný čas trvania požiaru

(Zdroj: Autor) **v obrázku by som ešte napojila sústredené zaťaženie na podrobný postup**

Vo všetkých výpočtoch je cieľom vypočítať ekvivalentný čas trvania požiaru označený rôznymi skratkami v závislosti od spôsobu výpočtu (r_e, r_e, r_{em}).

4.3.3 Výpočet pre priemerné požiarne zaťaženie - zjednodušený postup

Zjednodušený postup pre výpočet ekvivalentného času trvania požiaru r_e je možné využiť len v prípade že sa v požiarom úseku nenachádza sústredené požiarne zaťaženie. Výsledný čas r sa získa z nasledovnej rovnice (STN 92 0201-1):

$$r_{\bar{e}} = \frac{2 \cdot \bar{p}}{k_3 \cdot F_0^{1/6}} \quad (14)$$

kde: r – ekvivalentný čas trvania požiaru (min),

\bar{p} – priemerné požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

k_3 – súčiniteľ plôch (-),

F_0 – parameter odvetrania ($\text{m}^{1/2}$).

Zjednodušený postup sa nesmie použiť ak parameter odvetrania požiarneho úseku $F_0 > 0,03 \text{ m}^{1/2}$ alebo ak index pravdepodobnosti vzniku požiaru $P_1 > 0,9$.

4.3.4 Výpočet pre priemerné požiarne zaťaženie – podrobný postup

V prípade že nie je možné využiť zjednodušený postup musí sa prejsť na podrobný postup, pričom sa musí rozhodnúť, či sa využije postup pre požiar riadený ventiláciou alebo palivom. Požiare riadené ventiláciou sú charakteristické tým, že rozhodujúcim faktorom ktorý

ovplyvňuje správanie sa požiaru je výmena vzduchu v priestore, pretože paliva pre požiar je dostatočné množstvo. Typickým príkladom požiaru riadeného ventiláciou sú požiare v menších uzavretých priestoroch ktorými sú napr. aj tunelové priestory. Naproti tomu požiare riadené palivom sú charakteristické tým, že výmena vzduchu je dostatočná, ale paliva je nedostatok. Typickým príkladom požiaru riadeného palivom sú požiare na otvorených priestranstvách.

V praxi je ale niekedy náročné určiť, či v prípade požiaru bude požiar v danom priestore riadený palivom alebo ventiláciou. STN 92 0201-1 poskytuje určitý návod, ktorý postup je vhodné použiť. V prvom rade norma uprednostňuje pre výpočet postup pre požiar riadený ventiláciou, pretože ekvivalentný čas trvania požiaru zistený týmto postupom je vyšší ako pri použití postupu založenom na požiaru riadenom palivom. Uplatňuje sa tu princíp využitia horšieho scenára. Norma taktiež uvádza, že v prípade ak nie je dostatok informácií pre výpočet podľa postupu pre požiar riadený palivom, má sa využiť postup pre požiar riadený ventiláciou. Postup pre požiar riadený palivom sa môže použiť v prípade že platí nasledovný vzťah:

$$v_p < v_v \quad (15)$$

kde: v_p – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$),

v_v – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený ventiláciou ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$),

O požiar riadený palivom sa jedná v tom prípade, keď je rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom menšia ako pre požiar riadený ventiláciou. Čiže nastáva situácia, keď je vzduchu dostatočné množstvo a tým pádom v čase trvania požiaru nehrá rolu. Podstatné nie je ani tak množstvo paliva, ale plocha na ktorej prebieha odhorievanie a plošná rýchlosť odhorievania látok.

Ekvivalentný čas trvania požiaru r_e sa pre požiar riadený ventiláciou a priemerné požiarne zaťaženie určuje podľa tabuľky F.1 v prílohe F v STN 92 0201-1 v závislosti od pravdepodobného času trvania požiaru \bar{r} a prepočtového parametra odvetrania F_1 . Vzťah pre výpočet pravdepodobného času trvania požiaru \bar{r} je nasledovný (STN 92 0201-1):

$$\bar{r} = \frac{0,8 \cdot \bar{p} \cdot k_1}{v_v} \quad (20)$$

kde: \bar{r} – pravdepodobný čas trvania požiaru (min),

\bar{p} – priemerné požiarne zaťaženie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$),

k_1 – súčiniteľ výhrevnosti (-),

v_v – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený odvetraním ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$).

Pravdepodobný čas trvania požiaru \bar{r} je čas plne rozvinutého požiaru (bez zásahu hasičských jednotiek alebo požiaro-technických zariadení), behom ktorého sa predpokladá, že odhorí 80 % horľavých látok tvoriacich požiarne zaťaženie (vo vzorci znázornené číslom 0,8).

Ekvivalentný čas trvania požiaru r_e sa pre jednotlivé požiarne zaťaženie, ktorého požiar je riadený palivom, určuje podľa tabuľky F.1 v prílohe F v STN 92 0201-1 v závislosti od pravdepodobného času trvania požiaru r a prepočtového parametra odvetrania F_2 . Vzťah pre výpočet pravdepodobného času trvania požiaru r je nasledovný (STN 92 0201-1):

$$r = \frac{\bar{p} \cdot k_1}{v_p \cdot \bar{K}} \quad (21)$$

kde: r – pravdepodobný čas trvania požiaru (min),

\bar{p} – priemerné požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

k_1 – súčiniteľ výhrevnosti (-), prislúchajúci jednotlivému požiarnemu zaťaženiu,

v_p – rýchlosť odhorievania látok tvoriacich jednotlivé požiarne zaťaženie pre požiar riadený palivom ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$),

\bar{K} – súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva podľa STN 73 0824 (-), prislúchajúci horľavým látkam tvoriacim jednotlivé požiarne zaťaženie.

Pravdepodobný čas trvania požiaru r je čas plne rozvinutého požiaru (bez zásahu hasičských jednotiek alebo požiaro-technických zariadení), behom ktorého sa predpokladá, že odhorí 100 % horľavých látok tvoriacich požiarne zaťaženie.

4.3.5 Výpočet pre sústredené požiarne zaťaženie

Ekvivalentný čas trvania požiaru r_{em} sa pre sústredené požiarne zaťaženie p_m určuje podľa tabuľky F.1 v prílohe F v STN 92 0201-1 v závislosti od pravdepodobného času trvania požiaru r_m a prepočtového parametra odvetrania F_2 . Pravdepodobný čas trvania požiaru r pre sústredené požiarne zaťaženie, ktorého požiar je riadený povrchom odhorievajúceho paliva, sa vypočíta podľa rovnice:

$$\bar{r} = \frac{p_m \cdot k_1}{v_p \cdot \bar{K}} \quad (22)$$

kde: \bar{r} – pravdepodobný čas trvania požiaru (min),

p_m – sústredené požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

k_1 – súčiniteľ výhrevnosti (-), prislúchajúci sústredenému požiarnemu zaťaženiu,

v_p – rýchlosť odhorievania látok tvoriacich sústredené požiarne zaťaženie pre požiar riadený palivom ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$),

\bar{K} – súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva podľa STN 73 0824, prislúchajúci horľavým látkam tvoriacim sústredené požiarne zaťaženie.

4.3.6 Súčiniteľ výhrevnosti

Vo vzťahoch (20–22) figuruje súčiniteľ výhrevnosti, ktorý sa vypočíta podľa nasledovného vzťahu (STN 92 0201-1):

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^j (p_{ni} \cdot k_{1ni} + p_{si} \cdot k_{1si}) \cdot S_i}{\sum_{i=1}^j (p_{ni} + p_{si}) \cdot S_i} \quad (23)$$

kde: k_1 – súčiniteľ výhrevnosti (-),

p_{ni} – i -té náhodné požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

p_{si} – i -té stále požiarne zaťaženie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),

k_{1ni} – súčiniteľ výhrevnosti i -tého náhodného požiarneho zaťaženia (-),

k_{1si} – súčiniteľ výhrevnosti i -tého stáleho požiarneho zaťaženia (-),

S_i – pôdorysná plocha na ktorej sa vyskytuje i -té požiarne zaťaženie (m^2).

Súčinitele výhrevnosti pre náhodné a stále požiarne zaťaženie k_{1n} a k_{1s} sú vyjadrené nasledovne (STN 92 0201-1):

$$k_{1n} = k_{p1n} \cdot k_{p2n} \quad (24)$$

$$k_{1s} = k_{p1s} \cdot k_{p2s} \quad (25)$$

kde: k_{1n} – súčiniteľ výhrevnosti náhodného požiarneho zaťaženia (-),

k_{1s} – súčiniteľ výhrevnosti stáleho požiarneho zaťaženia (-),

k_{p1n} , k_{p1s} – súčiniteľ vyjadrujúci podiel požiarnej výhrevnosti H_p a normovej výhrevnosti H horľavej látky (-),

k_{p2n} , k_{p2s} – súčiniteľ vplyvu požiarotechnických zariadení a opatrení obmedzujúcich uvoľňovanie tepla z horľavých látok pri požiari (-).

Hodnoty k_{p1n} a k_{p1s} vyjadrujú v podstate vplyv vlhkosti obsiahnutej v horľavej látke na jej výhrevnosť. Bez akéhokoľvek dokazovania nám norma dovoľuje použiť nasledovné hodnoty k_{p1n} a k_{p1s} : pre tuhé látky $k_{p1n} = 0,9$ a $k_{p1s} = 0,85$, pre horľavé kvapaliny $k_{p1n} = 1,0$ a pre horľavé plyny $k_{p1n} = 1,0$. V prípade potreby presnejšieho výpočtu je možné využiť tabuľku G.1 prílohy G v STN 92 0201-1, ktorá platí pre k_{p1n} a aj k_{p1s} . Pre kvapalné a plynné látky sa hodnota k_{p1s} neudáva, pretože plyny a kvapaliny zo svojej podstaty nemôžu vytvárať stavebnú konštrukciu a tým pádom tvoriť stále požiarne zaťaženie.

Hodnoty k_{p2n} a k_{p2s} predstavujú vplyv protipožiarnych zariadení a opatrení na uvoľňovanie tepla horľavých látok. Hodnotu pre k_{p2n} tuhých a kvapalných horľavých látok je možné získať z tabuľky G.2 prílohy G v STN 92 0201-1. Pre plynné látky norma udáva hodnotu $k_{p2n} = 1$. Problémom je hodnota k_{p2s} , ktorá nie je v norme definovaná. Nie je ani možné využitie tabuľky G.2. Norma uvádza v článku 3.7.3, že bez dokazovania je možné použiť $k_{1n} = k_{1s} = 1$, avšak s dodatkom že ich je možné použiť len pre zjednodušený postup, v ktorom tieto hodnoty nemajú

význam. Z praktického hľadiska je najvhodnejšie použiť hodnotu $k_{p2s} = 1$, pretože sa jedná o najhoršiu možnosť.

4.3.7 Parameter odvetrania

Parameter odvetrania požiarneho úseku alebo jeho časti vyjadruje pomer medzi parametrami otvorov v obvodových konštrukciách a plochy konštrukcií požiarneho úseku. Je vyjadrený nasledovne (STN 92 0201-1):

$$F_0 = \frac{\sum_{i=1}^j S_{oi} \cdot \sqrt{h_{oi}}}{S_k} \quad (26)$$

kde: F_0 – parameter odvetrania ($m^{1/2}$),

S_{oi} – plocha i-teho otvoru v obvodových konštrukciách a konštrukciách stiech ohraničujúcich požiarne úsek alebo jeho časť (m^2),

h_{oi} – výška i-teho otvoru v obvodových konštrukciách a konštrukciách stiech ohraničujúcich požiarne úsek alebo jeho časť (m),

S_k – povrchová plocha konštrukcií (m^2).

Do povrchovej plochy konštrukcií sa započítavajú plochy stien, stropov, podláh, stiech a obvodových stien ohraničujúcich požiarne úsek. Plochy otvorov sa nezapočítavajú. V prípade že v konštrukciách ohraničujúcich požiarne úsek sa nenachádzajú otvory, norma stanovuje hodnotu $F_0 = 0,005 m^{1/2}$.

Pomer medzi povrchovou plochou konštrukcií a celkovou pôdorysnou plochou požiarneho úseku vyjadruje súčiniteľ plochy podľa nasledovnej rovnice (STN 92 0201-1):

$$k_3 = \frac{S_k}{S} \quad (27)$$

kde: k_3 – súčiniteľ plochy (-),

S_k – povrchová plocha konštrukcií (m^2),

S – celková pôdorysná plocha požiarneho úseku (m^2).

Prepočtové parametre odvetrania potrebné pre stanovenie ekvivalentných časov trvania požiaru t a t_e je možné vypočítať podľa nasledovných vzťahov (STN 92 0201-1):

$$F_1 = k_4 \cdot F_0 \cdot \bar{K} \quad (28)$$

$$F_2 = k_4 \cdot F_0 \cdot \bar{K} \frac{v_m}{v_v} \quad (29)$$

kde: F_1 – prepočtový parameter odvetrania ($m^{1/2}$),

F_2 – prepočtový parameter odvetrania ($m^{1/2}$),

k_4 – súčiniteľ vplyvu tepelnotechnických vlastností konštrukcií ohraničujúcich požiarne úsek alebo jeho časti na priebeh teplôt v horiacom priestore (-),

F_0 – parameter odvetrania ($m^{1/2}$),

\bar{K} – súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva podľa STN 73 0824 (-),

v_m – výsledná rýchlosť odhorievania ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$),

v_v – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený odvetraním ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$).

4.3.8 Rýchlosť odhorievania

Rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený ventiláciou a rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom sa vypočítajú podľa nasledovných rovníc

$$v_v = \gamma \cdot F_0 \cdot k_3 \quad (30)$$

ak $\bar{K} \gg 1$, potom:

$$v_v = \gamma \cdot F_1 \cdot k_3 \quad (31)$$

$$v_p = \frac{1}{S_s} \cdot \sum_{i=1}^j \frac{S_{fi}}{f_i} \cdot m_i \quad (32)$$

kde: v_v – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený ventiláciou ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$),

v_p – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$),

γ – súčiniteľ rýchlosti odhorievania ($kg \cdot m^{-5/2} \cdot min^{-1}$),

F_0 – parameter odvetrania ($m^{1/2}$),

k_3 – súčiniteľ plochy (-),

S_{fi} – skutočná povrchová plocha i-tej horľavej látky na ktorej môže dôjsť k odhorievaniu (m^2),

m_i – hmotnosť odhoreného množstva i-tej horľavej látky ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$).

Rýchlosť odhorievania látok pre sústredené požiarne zaťaženie je rovná nižšej hodnote z v_v a v_p :

$$v_m = \min(v_v, v_p) \quad (32)$$

kde: v_m – výsledná rýchlosť odhorievania pre sústredené požiarne zaťaženie ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$),

v_v – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený ventiláciou ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$),

v_p – rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom ($kg \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$).

Pri postupe výpočtu pre sústredené požiarne zaťaženie uvažujeme pri výpočte F_2 s rýchlosťou v_p aj s rýchlosťou v_v . Je to preto, lebo počas celkového priebehu trvania požiaru (keď si predstavíme časovo-teplotnú krivku požiaru) sa každý požiar riadený povrchom paliva postupne mení na požiar riadený odvetraním (ventiláciou). To, že pri postupe výpočtu pre priemerné požiarne zaťaženie (vzťah 20) uvažujeme len s požiarom riadeným odvetraním (ventiláciou) je len forma zjednodušenia, pričom sme na strane bezpečnosti.

4.4 Dovoľená veľkosť požiarnych úsekov

Stanovením dovoľenej veľkosti požiarného úseku sa zisťuje, či plocha posudzovaného požiarného úseku nie je vyššia ako dovoľená. V prípade že by bola vyššia, je potrebné prehodnotiť projekt a požiarny úsek vhodným spôsobom rozdeliť na dva odlišné požiarné úseky alebo využiť niektoré z ponúkaných opatrení na zväčšenie dovoľenej plochy požiarného úseku (napr. inštalácia stabilného hasiaceho zariadenia).

Pre požiarné úseky tunelových rúr, únikových ciest, priestorov s technologickým vybavením a iných priestorov (napr. chodby, WC, administratívne priestory a pod.) v tuneli sa dovoľená plocha požiarného úseku podľa TP 13/2020 neurčuje. Dôvodov prečo sa neurčuje je niekoľko. Pre tunelovú rúru dovoľenú veľkosť požiarného úseku určiť nevieme, pretože nie je možné určiť požiarné riziko. Z praktického hľadiska by prípadné rozdeľovanie tunelovej rúry na ďalšie požiarné úseky neprichádzalo do úvahy. Pre technologické priestory mimo tunelovej rúry, by zisťovanie dovoľenej veľkosti požiarného úseku bolo v praxi taktiež zbytočné v dôsledku malej plochy týchto priestorov. Základ prečo sa dovoľená plocha požiarnych úsekov technologických priestorov nepočíta môžeme nájsť v STN 92 0201-1 a vyhláske MV SR č. 94/2004 Z. z., kde sa uvádza, že dovoľená veľkosť požiarného úseku sa neurčuje ak je plocha požiarného úseku najviac 300 m².

Dovoľená veľkosť priestorov káblového rozvodu sa určuje podľa STN 92 0204, kde je uvedené, že veľkosť požiarného úseku káblového priestoru a káblového kanála môže byť najviac 750 m² a zároveň najväčšia dovoľená dĺžka požiarného úseku káblového priestoru nemôže byť väčšia ako 100 m. Veľkosť požiarného úseku kábovej šachty podľa STN 92 0204 nesmie byť väčšia ako 150 m³ a zvislá dĺžka požiarného úseku kábovej šachty nesmie byť väčšia ako 15 m.

Dovoľená veľkosť požiarného úseku káblového kanála alebo šachty sa podľa STN 92 0204 môže zdvojnásobiť ak je v požiarnom úseku inštalované stabilné hasiace zariadenie alebo všetky inštalované káble majú triedu reakcie na oheň najmenej C_{ca}.

Ak v požiarnom úseku káblového kanála, priestoru alebo šachty všetky inštalované káble spĺňajú požiadavku triedy reakcie na oheň A_{ca}, B1_{ca} alebo B2_{ca}, tak podľa STN 92 0204 sa dovoľená veľkosť požiarného úseku a dovoľená dĺžka požiarného úseku neurčujú.

4.5 Požiadavky na stavebné konštrukcie

Princíp určovania minimálnych požiadaviek na stavebné konštrukcie je podobný ako u pozemných stavieb. [TP 13/2020](#) určuje niektoré špecifiká na konkrétne druhy konštrukcií. Na všetky nosné konštrukcie, konštrukcie vozovky, požiarné deliace konštrukcie sa môžu použiť

len prvky s triedou reakcie na oheň A1. Len vo výnimočných prípadoch na niektoré nenosné konštrukcie sa môžu použiť prvky s triedou reakcie na oheň inou ako A1, najhoršie však B-s1-d0.

Najnižšie požadované požiarne odolnosti požiarных konštrukcií sa v pozemných stavbách určujú na základe vypočítaného požiarneho rizika a stupňa protipožiarnej bezpečnosti. Keďže požiarne riziko tunelovej rúry sa neurčuje, požiadavky na požiarnu odolnosť sa určujú na základe kategórie tunela (kap. 4.5.1) a sú uvedené v tab. 4.

Tab. 4 Požiarne odolnosti požiarных konštrukcií v tunelovej rúre (Zdroj: [TP 13/2020](#))

Položka	Názov požiarnej konštrukcie alebo prvku stavby	Kategória tunela		Kritérium
		I.	II. ⁵⁾	
		Požiarne odolnosť ¹⁾		
1	Nosné konštrukcie zabezpečujúce stabilitu tunelovej rúry alebo jej časti	90	120 ²⁾ (180) ³⁾	R
2	Nosné konštrukcie nezabezpečujúce stabilitu tunelovej rúry alebo jej časti	90	120 ²⁾ (180) ³⁾	R
3	Požiarne steny	90	120 ²⁾ (180) ³⁾	EI
4	Požiarne stropy	90	120 ²⁾ (180) ³⁾	EI
5	Požiarne dvere a uzávery okrem položiek 6 a 7	60	90	EW
6	Požiarne dvere chránených únikových ciest a zásahových ciest vybavené samozatváračom	60	90	EI ₁ ,C3 ⁴⁾
7	Požiarne dvere chránených únikových ciest a zásahových ciest posuvné alebo vybavené otváracím mechanizmom so servopohonom	60	90	EI ₁
8	Požiarne klapky	60	90	EI-S
9	Konštrukcie oddeľujúce vetrací kanál od tunelovej rúry ⁷⁾	90	120 ²⁾ (180) ³⁾	R ⁶⁾ R _{mod} ⁶⁾ E

¹⁾ Reakcia na oheň sa určuje podľa článku 8.1 týchto TP.
²⁾ Požiarne odolnosť týchto stavebných konštrukcií sa posudzuje podľa modifikovanej uhl'ovodíkovej krivky (pozri článok 8.2.8 týchto TP) okrem prípadu podľa článku 8.2.10 týchto TP.
³⁾ V prípade vysokého podielu prepravy nebezpečných vecí podľa ADR sa požaduje hodnota požiarnej odolnosti 180 min podľa modifikovanej uhl'ovodíkovej krivky okrem prípadu podľa článku 8.2.10 týchto TP, ak tak určí riziková analýza.
⁴⁾ Kritérium samozatvárania C3 podľa STN EN 14600 sa nepožaduje pre posuvné dvere.
⁵⁾ Požiarne odolnosti v tomto stĺpci platia len pre ten úsek tunela, ktorý bol zaradený do II. kategórie.
⁶⁾ Oblasť použitia kritérií R a R_{mod} a definícia kritéria R_{mod} tejto konštrukcie je uvedená v článku 8.2.9 týchto TP.
⁷⁾ Hodnotí sa spodná strana medzistropnej dosky vetracieho kanála umiestneného pod stropom tunelovej rúry.

Požiarne konštrukcie uvedené v tabuľke 4 musia byť vyhotovené iba z konštrukčných prvkov druhu D1.

Požiarne odolnosť stavebných konštrukcií požiarных úsekov s technologickými priestormi v tuneli sa určuje v závislosti od stupňa protipožiarnej bezpečnosti v zmysle STN 92 0201-2

(tab. 5). Najnižší stupeň protipožiarnej bezpečnosti požiarneho úseku alebo jeho časti sa určuje na základe súčinu ekvivalentného času trvania požiaru a súčiniteľa bezpečnosti.

Tab. 5 Najnižší stupeň protipožiarnej bezpečnosti (Zdroj: STN 92 0201-2)

Počet podlaží stavby	Najnižší stupeň protipožiarnej bezpečnosti požiarneho úseku alebo jeho časti				
	I.	II.	III.	IV.	V
	podľa súčinu ekvivalentného času trvania požiaru a súčiniteľa bezpečnosti k_8 $r_e \cdot k_8$ prípadne $r_e^- \cdot k_8$ alebo $r_{em} \cdot k_8$				
do dvoch podlaží	do 45	do 75	do 90	nad 90	–
nad dve podlažia	do 30	do 60	do 90	do 120	nad 120

Hodnotu súčiniteľa bezpečnosti je možné stanoviť podľa STN 92 0201-2 nasledovne:

$$k_8 = \frac{k_5 \cdot k_6}{2,4} \quad (33)$$

kde: k_8 – súčiniteľ bezpečnosti (-),

k_5 – súčiniteľ počtu podlaží (-),

k_6 – súčiniteľ horľavosti konštrukčného celku (-).

Súčiniteľ bezpečnosti možno zovšeobecniť pre cestné tunely na hodnotu 0.417, pretože k_5 a $k_6 = 1$. Vo väčšine prípadov požiarne úseky tunela s technickými priestormi tvoria jednopodlažné požiarne úseky, preto hodnota podľa vzorca (34) (STN 92 0201-1) je hodnota $k_5 = 1$.

$$k_5 = \sqrt{n_p} \quad (34)$$

kde: k_5 – súčiniteľ počtu podlaží (-),

n_p – počet podlaží (-).

Požiarne úseky s technologickými priestormi, ale aj tunel celkovo je možné zaradiť medzi nehorľavé konštrukčné celky, preto podľa STN 92 0201-1 kap. 4.6 je pre nehorľavý konštrukčný celok $k_6 = 1$.

Na základe stupňa protipožiarnej bezpečnosti požiarneho úseku sa stanovujú požiadavky na konštrukčné prvky podľa tab. 6.

Tab. 6 Požiadavky na konštrukčné prvky (Zdroj: STN 92 0201-2)

	Konštrukčný prvok	Druh konštrukčných prvkov a najnižšia požiarne odolnosť v minútach podľa stupňa protipožiarnej bezpečnosti				
		I.	II.	III.	IV.	V.
Jednopodlažné stavby	Požiarne steny a požiarne stropy:	45/D1	60/D1	90/D1	120/D1	180/D1
	Požiarne uzávery otvorov v požiarňach:	30/D1	45/D1	45/D1	60/D1	90/D1
	Obvodové steny z vnútornej strany	45/D1	60/D1	90/D1	120/D1	180/D1
	Nosné konštrukcie vnútri stavby zabezpečujúce stabilitu stavby	45/D1	60/D1	90/D1	120/D1	180/D1

Požadovaný stupeň protipožiarnej bezpečnosti je dosiahnutý vtedy, ak sú všetky konštrukčné prvky uvedené v predchádzajúcej tabuľke požadovaného druhu a vykazujú požadovanú požiarne odolnosť.

Pri výpočtoch požiarnej odolnosti konštrukčných prvkov, ak nie je určené inak, za návrhovú teplotnú krivku sa považuje normová teplotná krivka podľa STN EN 13501-2. Ostatné pravidlá určovania požiarnej odolnosti prvkov sú obdobné s pozemnými stavbami.

4.5.1 Rozdelenie cestných tunelov

Cestné tunely sa z hľadiska bezpečnosti rozdeľujú na nasledovné kategórie:

- Tunel I. kategórie – typ tunela alebo jeho úsek, ktorý nespĺňa požiadavky pre zaradenie do kategórie II.
- Tunel II. kategórie – tunel alebo jeho úsek, ktorý v prípade poškodenia nosných konštrukcií môže spôsobiť kolaps budov v bezprostrednej blízkosti alebo spôsobiť škody mimoriadneho rozsahu.

4.6 Únikové cesty

Návrh a výpočty únikových ciest v cestných tuneloch majú svoje špecifiká. Prvým faktorom predstavujúcim zvýšené riziko je uzavretý priestor nachádzajúci sa pod zemou. Tento fakt môže viesť k predĺženiu novej únikovej trasy čo zvyšuje čas úniku. Druhým faktorom sú podmienky evakuácie, ktoré sa môžu časom zhoršovať. Zadymenie, panika, neznalosť danej stavby sú kľúčové aspekty, ktoré v kombinácii s nevhodným návrhom tunela z hľadiska bezpečnosti môžu viesť až k tragickým udalostiam. Preto je mimoriadne dôležité, aby únikové cesty z cestných tunelov boli navrhnuté správne. Únikové cesty z tunela, ich počet,

rozmiestnenie, dĺžka a šírka sa musia navrhnuť, zhotoviť a prevádzkovať tak, aby predpokladaný čas evakuácie osôb bol čo najkratší.

4.6.1 Typy únikových ciest

Únikovú cestu definuje STN 92 0201-3 a vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z. ako trvalo voľnú komunikáciu alebo priestor v stavbe alebo na nej, ktorá umožňuje bezpečnú evakuáciu osôb zo stavby alebo z požiarneho úseku na voľné priestranstvo alebo do priestoru kde nehrozí akékoľvek nebezpečenstvo. Únikové cesty sa podľa stupňa ochrany, ktorú dokážu poskytnúť delia na nechránené, čiastočne chránené a chránené.

Nechránená úniková cesta (NÚC) je v zmysle vyhlášky MV SR č. 94/2004 Z. z., úniková cesta, ktorá nie je chránená proti účinkom požiaru a ktorá vedie z požiarneho úseku k východu zo stavby na voľné priestranstvo alebo k východu do čiastočne chránenej únikovej cesty alebo do chránenej únikovej cesty.

Čiastočne chránená úniková cesta je zmysle vyhlášky MV SR č. 94/2004 Z. z. úniková cesta, ktorá je v požiarnej úseku bez požiarneho rizika alebo prechádza časťou požiarneho úseku, ktorá je bez požiarneho rizika, alebo prechádza susedným požiarnej úsekom, v ktorom nie sú prevádzkarne zaradené do skupiny 6 alebo 7 alebo v ktorom hodnota súčiniteľa horľavých látok je najviac 1,1.

Chránená úniková cesta (CHÚC) je zmysle vyhlášky MV SR č. 94/2004 Z. z. úniková cesta, ktorá vedie k východu zo stavby na voľné priestranstvo alebo do priestoru, ktorý nie je ohrozený požiarom, je oddelená od ostatných požiarnej úsekov požiarnej deliacimi konštrukciami a požiarnej uzávermi, je vetraná a umožňuje bezpečný pohyb osôb. CHÚC sa podľa času, počas ktorého sa môžu osoby pri požiarnej v únikovej ceste bezpečne zdržiavať, delia na chránené únikové cesty typu A, typu B a typu C. CHÚC typu A je chránená úniková cesta vybavená prirodzeným vetraním alebo umelým vetraním. CHÚC typu B je chránená úniková cesta vybavená samostatne vetranou požiarnej predsieňou, prirodzeným vetraním alebo umelým vetraním a núdzovým osvetlením. CHÚC typu C je chránená úniková cesta vybavená samostatne vetranou požiarnej predsieňou, pretlakovým vetraním a núdzovým osvetlením.

4.6.2 Základné pravidlá návrhu únikových ciest v cestných tuneloch

Základným pravidlom pri navrhovaní únikových ciest je, že z každej stavby alebo jej časti a z každého miesta požiarneho úseku musia viesť najmenej dve samostatné únikové cesty rôznym smerom na voľné priestranstvo. Za najdôležitejší PÚ v cestnom tunely z hľadiska evakuácia sa považuje tunelová rúra. Podľa [TP 13/2020](#) môže tunelová rúra predstavovať NÚC, ktorá končí v mieste únikového východu alebo v mieste východu z portálu na voľné

priestranstvo. NÚC je tiež úniková cesta z iných priestorov tunela. Táto nechránená úniková cesta začína vo vstupe do týchto priestorov a končí v mieste únikového východu alebo v mieste východu z portálu na voľné priestranstvo. Z iných priestorov tunela môže viesť jediná NÚC.

Tunelová rúra poskytuje v prípade nehody dve možnosti úniku osôb rôznymi smermi, vďaka čomu je základná podmienka splnená. Avšak z praktického hľadiska, pokiaľ by sa samotná evakuácia spoliehala iba na tunelovú rúru, tak v prípade veľmi dlhých tunelov by čas potrebný na evakuáciu osôb do bezpečnej zóny trval príliš dlho. Z tohto dôvodu [TP 13/2020](#) stanovuje maximálnu dovolenú dĺžku NÚC na 300 m.

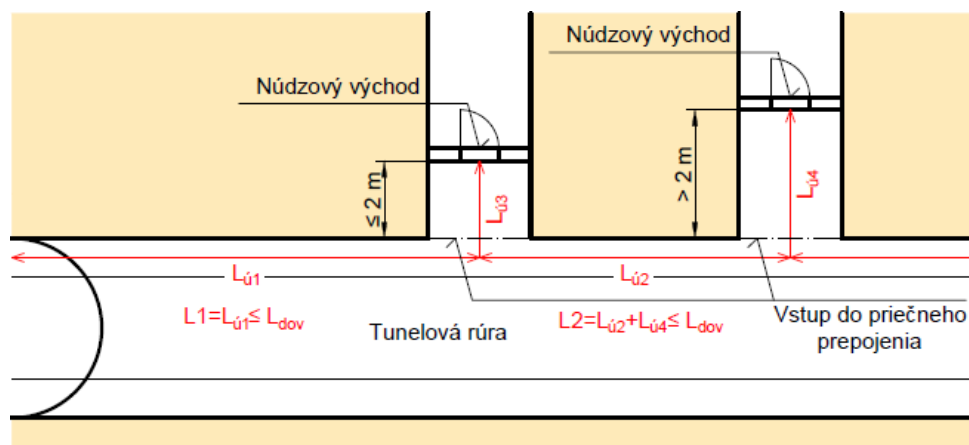
Bez vytvorenia ďalších únikových ciest nie je možné postaviť tunel dlhší ako je 600 m, pretože by sa porušila podmienka maximálnej dovolenej dĺžky NÚC. Možnosť, ako postaviť tunel o väčšej dĺžke ako 600 m a zároveň mať vyriešenú bezpečnú evakuáciu je niekoľko, pričom základom je vytvorenie CHÚC, čo uvádza aj [TP 13/2020](#) ako jednu zo základných podmienok.

V prípade jednorúrového tunela sa CHÚC buduje ako úniková štôlna, šachta alebo evakuačný výt'ah. Úniková štôlna môže byť umiestnená vedľa tunelovej rúry alebo pod vozovku v tunelovej rúre. V dvojrúrových tuneloch sa ako ďalšia možnosť ponúka aj vytvorenie priečných prepojení medzi tunelovými rúrami. Tu vzniká otázka či je stále zachovaná maximálna dovolená dĺžka NÚC, keďže úniková cesta vedená tunelovou rúrou sa považuje za NÚC. Tento stav platí počas bežnej prevádzky tunela. V prípade že by došlo k nehode v tunelovej rúre 1, riadiace stredisko tunela zastaví premávku v tunelovej rúre 2, ktorá sa tým pádom stáva CHÚC. Vďaka tomu je splnená aj podmienka stanovujúca, že koniec CHÚC sa musí nachádzať na voľnom priestranstve.

4.6.3 Dĺžka únikovej cesty

V pozemných stavbách sa dovolená dĺžka únikovej cesty získa výpočtom v zmysle STN 92 0201-3. Výsledná hodnota sa porovná s reálnym stavom, pričom musí platiť, že reálna dĺžka únikovej trasy bude menšia ako dovolená. V cestných tuneloch je maximálna dovolená dĺžka NÚC podľa TP 13/2020 300 m, resp. 250 m pre tunel s obojsmernou premávkou.

Dĺžkou NÚC (obr. 8) je podľa TP 13/2020 najkratšia vzdialenosť po únikovej trase od vstupu do priečného prepojenia po najbližší únikový východ (obr. 8 – $L_{ú4}$), alebo medzi únikovým východom a vstupom na voľné priestranstvo v priestore portálu (obr. 8 – $L_{ú1}$). Dĺžka NÚC sa meria v osi únikovej cesty, v priestore tunelovej rúry je ňou pozdĺžna os chodníka. Únikovým východom v priečnom prepojení je požiarna stena s požiarnymi dverami určenými na evakuáciu osôb.



Obr. 8 Príklady určenia dĺžky nechránenej únikovej cesty
(Zdroj: Autor)

Pri určovaní dĺžky nechránenej únikovej cesty sa neprihliada k únikovým trasám z iných priestorov tunela a ani k únikovým trasám v priestoroch priečných prepojení, pokiaľ vzdialenosť od vstupu do priečného prepojenia po únikový východ nepresahuje dĺžku 2 m (obr. 3 – L_{u3}), meranú na úrovni nášľapnej vrstvy chodníka. Dĺžka CHÚC podľa TP 13/2020 nie je ničím obmedzená.

4.6.4 Čas evakuácie a šírka únikovej cesty

Dovolený čas evakuácie sa na rozdiel od pozemných stavieb nepočíta. Minimálna šírka nechránenej únikovej cesty sa taktiež neurčuje. Ak je súčasťou nechránenej únikovej cesty obslužný chodník, nesmie byť jeho šírka menšia ako 1,5 únikového pruhu. Šírka chránenej únikovej cesty nesmie byť menšia ako 3 únikové pruhy. Táto šírka sa meria v úrovni nášľapnej vrstvy únikovej cesty ([TP 13/2020](#)).

4.6.5 Dvere v únikových cestách a označovanie únikových ciest

Dvere v únikových cestách môžu byť otáčavé alebo vodorovne posuvné. Smer otáčania dvier v rozhraní medzi tunelovou rúrou a priečnym prepojením je spravidla do priečného prepojenia, avšak dovoľené sú aj obojstranne otvárané dvere. Pri návrhu dvier sa musí brať do úvahy vetranie únikovej cesty a tlakové pomery v tunelovej rúre, aby nedošlo k ich samovoľnému otvoreniu alebo zaseknutiu v dôsledku tlakových rozdielov vzduchu medzi priestormi. Dvere na únikových cestách v tuneli musia mať svetlú šírku najmenej 1,2 m (2 únikové pruhy) a svetlú výšku najmenej 2,0 m. Tieto dvere musia mať povrch z oboch strán vyhotovený vo farebnom odtieni dopravná zelená. Na dverách na strane smeru úniku musí byť nápis EXIT a piktogram znázorňujúci smer a spôsob otvorenia dverí (obr. 9) ([TP 13/2020](#)).

Presný vzhľad povrchu dvier je uvedený v Prílohe 1 TP 13/2020. Dvere na začiatku únikových ciest z iných priestorov môžu mať svetlú šírku najmenej 0,8 m a svetlú výšku

najmenej 1,97 m. Prahy dvier v únikových cestách nesmú tvoriť prekážku v evakuácii. Najväčšia dovolená výška prahu dvier v únikových cestách je 20 mm, to neplatí pre dvere na začiatku únikových ciest z iných priestorov. Podlaha na únikovej ceste do vzdialenosti najmenej 1,2 m od únikového východu do priestoru chránenej únikovej cesty musí byť bez nerovností a zlomov a musí spĺňať podmienky evakuácie po rovine podľa STN 92 0201-3.



Obr. 9 Únikový východ
(Zdroj: Autor)

Na trase nechránených únikových ciest v tunelovej rúre musia byť osadené značky (obr. 10) označujúce vzdialenosti k únikovým východom v metroch. Ich úlohou je naviesť osoby k najbližšiemu únikovému východu. Tieto značky musia byť osadené na strane ostenia, na ktorej sa nachádzajú únikové východy. Spodný okraj značky musí byť vo výške 1,0 m až 1,5 m nad úrovňou pochôdznej časti únikovej cesty. Značky musia byť presvetlené s vnútorným svetelným zdrojom podľa STN 01 8020.



Obr. 10 Označenie vzdialeností k únikovým východom
(Zdroj: Autor)

Nad každým vstupom do priečneho prepojenia musí byť v tunelovej rúre osadená obojstranná dopravná značka označujúca vstup do priečneho prepojenia (obr. 11). Tieto značky musia byť vyhotovené ako presvetlené.



Obr. 11 Označenie vstupu do priečneho prepojenia
(Zdroj: Autor)

V únikovej štólne musia byť v miestach vyústenia priečných prepojení osadené bezpečnostné značky „Úniková cesta“ s uvedením vzdialenosti k portálu/portálom v metroch. Tieto značky vyhotovené ako presvetlené sa musia rozsvietiť v núdzovom prípade (v prípade otvorenia dverí do priečneho prepojenia). Značky na obr. 10 a 11 musia svietiť trvale. Intenzita podsvietenia týchto značiek je počas bežnej prevádzky 25 % intenzity podsvietenia v čase mimoriadnej udalosti.

4.7 Zariadenia na protipožiarny zásah

Cestný tunel musí mať zariadenia, ktoré umožňujú vykonať zásah tak z vonkajšieho priestoru stavby, ako aj z vnútorného priestoru stavby. Zariadeniami umožňujúcimi zásah sú podľa [TP 13/2020](#) prístupové komunikácie, nástupné plochy, zásahové cesty a požiarne zariadenia.

4.7.1 Prístupové komunikácie

Vytvorenie prístupovej komunikácie slúži k rýchlemu prízjazu záchraných zložiek. Prístupové komunikácie, ktoré umožňujú prízjad mobilnej hasičskej techniky musia viesť k obidvom portálom. Prístup k tunelu vedie po komunikácii slúžiacej na bežnú premávku všetkých vozidiel za predpokladu existencie štandardného odstavného pruhu pozemnej komunikácie. Ďalej po komunikácii slúžiacej špeciálne pre prízjad hasičských jednotiek. Táto komunikácia nesmie slúžiť na bežnú premávku a musí byť prispôbená pre vozidlá hasičskej techniky a musí výrazne znížiť čas prízjazu k portálom ([TP 13/2020](#)).

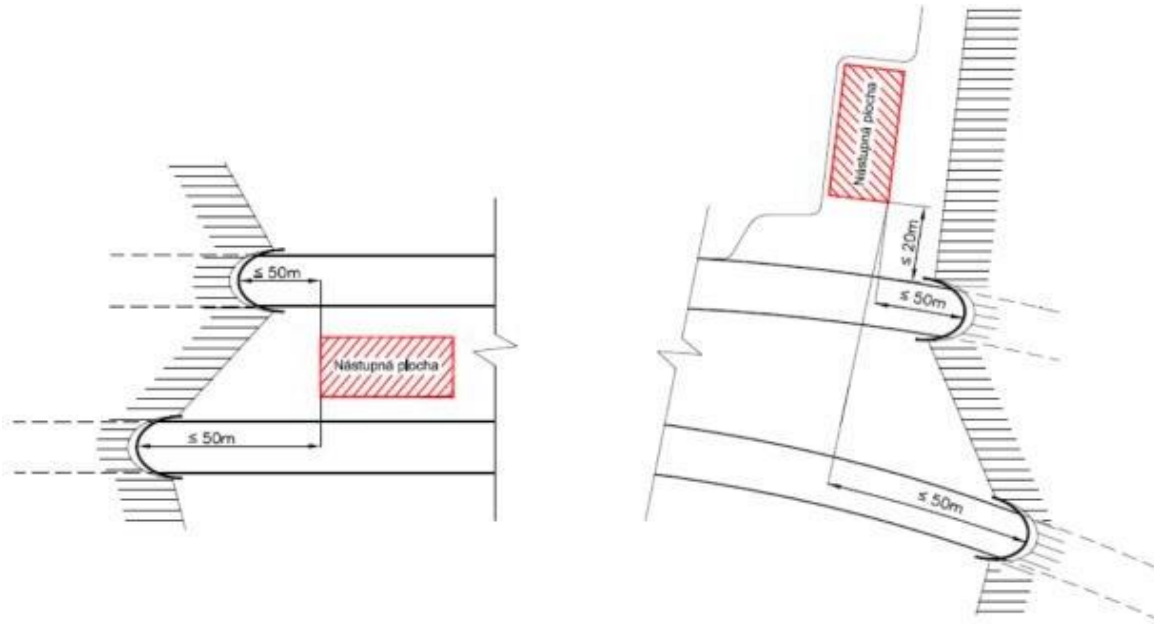
Na prístupovú komunikáciu sú kladené požiadavky a to konkrétne na šírku, výšku a únosnosť. Trvale voľná šírka prízjadovej komunikácie musí podľa [TP 13/2020](#) spĺňať požiadavku na jej šírku najmenej 3,0 m a únosnosť na zaťaženie jednou nápravou vozidla musí byť najmenej 80 kN. Vjazdy na prístupové komunikácie a prejazdy na nich musia mať prejazdnú výšku najmenej 4,5 m.

Pre pohyb záchranárskych vozidiel k portálu tunela musia byť vytvorené optimálne podmienky, napr. vytvorením samostatného jazdného pruhu od križovatky alebo nájzdu určeného pre záchranárske vozidlá až po portál tunela, odklonením premávky alebo umožnením bezpečného pohybu záchranárskych vozidiel po protismernej časti komunikácie vedúcej k portálu tunela.

4.7.2 Nástupné plochy

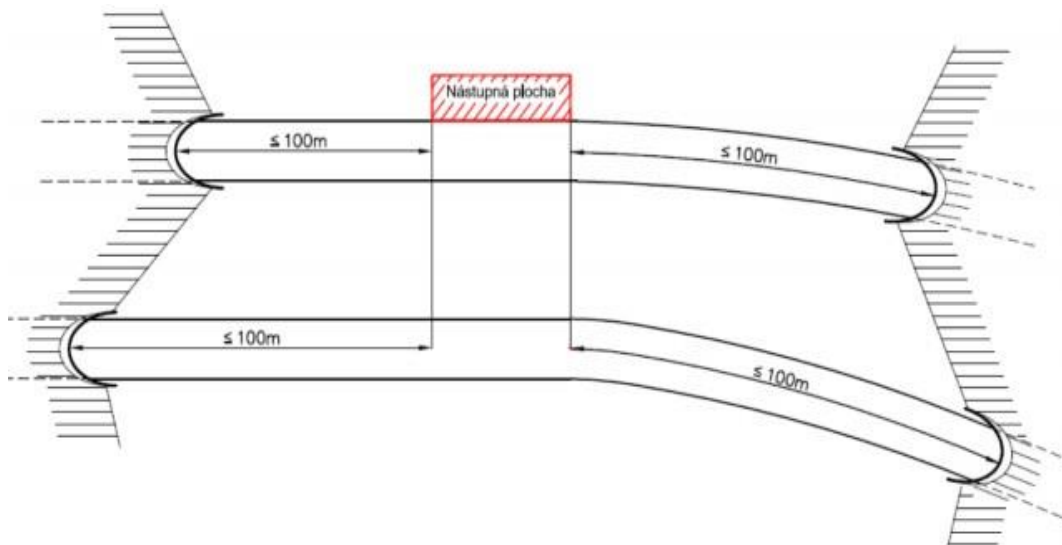
Prístupová komunikácia spravidla vedie k nástupnej ploche, z ktorej sa uskutočňuje protipožiarny zásah pomocou hasičskej techniky. Slúži na odstavenie a prípravu techniky, rozostavenie síl a prostriedkov, a často je to aj priestor odkiaľ sa začína viesť protipožiarny zásah príslušníkmi hasičského a záchraného zboru. Pri nástupných plochách sa požiadavky kladú na šírku, pôdorysnú plochu, sklon, únosnosť a na vzdialenosť od vstupu do tunelovej rúry (obr. 12). Nástupná plocha musí byť pri každom portáli tunela, najviac vo vzdialenosti 50 m od vstupu do tunelovej rúry meranej v osi pozemnej komunikácie od okraja nástupnej plochy po začiatok tunela a najviac 20 m od okraja príľahlej vozovky (obr. 12). Musí mať šírku najmenej 6 m, pôdorysnú plochu najmenej 200 m², priečny sklon najviac 2 %, únosnosť spôsobilú pre

záťaž vozidla, najmenej však 80 kN na jednu nápravu a byť napojená na prístupovú komunikáciu ([TP 13/2020](#)).



Obr. 12 Príklad merania vzdialenosti nástupnej plochy od portálu
(Zdroj: [TP 13/2020](#))

V prípade že sa na pozemnej komunikácii nachádzajú dva za sebou nasledujúce tunely v určitej vzdialenosti, môže mať vybudovanú spoločnú nástupnú plochu. Musí byť splnená požiadavka vzdialenosti od začiatku tunelu a to maximálne 100 m (obr. 13).



Obr. 13 Príklad merania vzdialenosti nástupnej plochy od portálov
(Zdroj: [TP 13/2020](#))

Špeciálny prípad tvorenia nástupnej plochy nastáva keď portál tunela ústi na most. V takejto situácii môže nástupnú plochu tvoriť aj priamo vozovka pozemnej komunikácie ale musí mať ochranu proti vstupu ostatných účastníkov dopravy. Ochrana spočíva v dopravnom značení alebo použití mechanických zábran.

4.7.3 Zásahové cesty

Zásahové cesty v stavbe slúžia príslušníkom hasičského a záchraného zboru ako priestor, kadiaľ je možné viesť účinný zásah. Poznáme vnútorné zásahové cesty vedené vnútrajškom stavby a vonkajšie zásahové cesty, umožňujúce vykonať zásah z vonkajšej strany stavby. V priestoroch tunela sa prirodzene nachádzajú len vnútorné zásahové cesty. Za zásahové cesty v cestných tuneloch sa považujú dopravný priestor tunela (tunelová rúra, ktorá plní funkciu chránenej únikovej cesty) a priečne prepojenia. Prejazdne priečne prepojenia sa musia vyhotoviť vtedy, ak sa jedná o dvojrúrový tunel a dĺžka tunelových rúr presahuje dĺžku 1500 m. Toto prepojenie slúži ako zásahová cesta pre mobilnú hasičskú techniku ([TP 13/2020](#)).



Obr. 14 Prejazdne priečne prepojenie
(Zdroj: Autor)

V prípade ak máme viacej prejazdnych priečných prepojení ich vzájomná vzdialenosť môže byť maximálne 1 000 m. Svetlá výška prejazdneho priečného prepojenia musí byť podľa TP 13/2020 minimálne 3,5 m a svetlá šírka minimálne 3,6 m. Prechod osôb sa zabezpečuje ďalšími požiarnymi dverami s minimálnou svetlou výškou 2,0 m a šírkou 0,9 m. Požiarné dvere slúžiace k prechodu osôb môžu byť súčasťou požiarnych dvier väčších rozmerov. Vzájomná vzdialenosť neprejazdnych priečných prepojení môže byť maximálne 300 m.

4.8 Požiarne zariadenia

Úlohou požiarnych zariadení je lokalizovať požiar, umožniť bezpečnú evakuáciu, uviesť požiar pod kontrolu a zabezpečiť trvalú dodávku vody na hasenie požiaru. Požiarne zariadenia v cestných tuneloch sa podľa TP 13/2020 delia na stabilné hasiace zariadenia (SHZ), elektrickú požiarnu signalizáciu (EPS), zariadenia na odvod tepla a splodín horenia, zariadenia na dodávku vody na hasenie požiaru, hasiace prístroje a zariadenia na trvalú dodávku elektrickej energie pri požari.

4.8.1 Stabilné hasiace zariadenie

Stabilné hasiace zariadenie (SHZ) je hasiace zariadenie, ktoré obsahuje najmä stabilný zdroj hasiacej látky, rozvodné potrubie, vypúšťaciu armatúru, spúšťací mechanizmus a signalizačné zariadenie. Jeho úlohou je vykonať automatický zásah po spozorovaní požiaru a komunikovať so systémom EPS a s požiarным vetraním tunelovej rúry. Stabilné hasiace zariadenie musí signalizovať svoju činnosť riadiacemu pracovisku tunela so stálou obsluhou napr. prostredníctvom centrálného riadiaceho systému. Stabilné hasiace zariadenie v priestoroch tunela musí podľa TP 13/2020 spĺňať nasledovné vlastnosti. Musí dopraviť hasiacu látku v stanovenom množstve, v stanovenej dĺžke a v stanovenom mieste tunelovej rúry. Musí uviesť vzniknutý požiar pod kontrolu a musí ochladzovať okolité prostredie najmenej počas 60 minút. Musí zabezpečiť svoju funkčnosť a účinnosť hasenia pre návrhový požiar s tepelným výkonom 50 MW a pri rýchlosti prúdenia vzduchu v tunelovej rúre najviac $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Musí byť zabezpečená súčinnosť s vetraním tunelovej rúry pri požari.

Stabilným hasiacim zariadením sa vybavuje priestor, v ktorom sa nachádza zdroj neprerušovaného elektrického napájania, rozvodňa elektrickej energie, kolektory a stanovištia transformátorov. Pričom sa musí zabezpečiť, aby hasiaca látka stabilného hasiaceho zariadenia bola vhodná na hasenie týchto zariadení a nesmie spôsobiť ich poškodenie.

SHZ môže byť vybavený priestor tunelovej rúry vrátane núdzových zálivov v prípade potreby vyplývajúcej z výsledkov analýzy rizík bezpečnosti tunela, spracovanej podľa TP 041 a TP 080 a posúdenia ekonomickej efektívnosti. Hasiaca látka v priestore s elektrickým a/alebo elektronickým zariadením musí byť vhodná na hasenie týchto zariadení a nesmie spôsobiť ich poškodenie.

4.8.2 Elektrická požiarňa signalizácia

Elektrická požiarňa signalizácia (EPS) zabezpečuje sledovanie príznakov horenia pomocou hlásičov požiaru. V prípade vzniku požiaru hlásiče pošlú signál do miesta so stálou obsluhou.

Ak je tunel vybavený centrálnym riadiacim strediskom tak je signál odosielaný do strediska kde sa následne vyhodnotí. Cestné tunely sa vybavujú samočinnými ale aj tlačidlovými hlásičmi. Samočinné hlásiče sa vybavujú pre všetky priestory tunela s výnimkou požiarnych úsekov bez požiarného rizika a objektov, ktoré sa nachádzajú mimo tunela. V cestných tuneloch sa spravidla používajú tepelné hlásiče líniového typu a bodové tepelné hlásiče. Tlačidlové hlásiče sa podľa [TP 13/2020](#) umiestňujú v SOS kabínach, v priečných prepojeniach, v strážených požiarnych úsekoch iných priestorov v tuneli, a to v blízkosti vstupov do nich (hlásiče môžu byť umiestnené buď zo strany týchto priestorov alebo zo strany tunelovej rúry), v strážených požiarnych úsekoch stavebných objektov mimo tunelovej rúry, a to v priestore únikových ciest, ak sú dlhšie ako 20 m, pri vstupe do stavebných objektov mimo tunelovej rúry z vnútornej strany objektov.

4.8.3 Zariadenia na odvod tepla a splodín horenia

Zariadenie na odvod tepla a splodín horenia z tunelovej rúry predstavuje systém tunelového vetrania. Požiadavky na vetranie z hľadiska požiarnej bezpečnosti musia byť vysoké, pretože v prípade nehody môže v tuneli dôjsť k silnému zadymeniu, ktoré výrazne obmedzuje evakuáciu osôb a zásah záchranných zložiek. Veľkým nebezpečenstvom je taktiež vysoká teplota a prítomnosť rôznych toxických plynov a splodín horenia vzniknutých požiarom. Správne navrhnuté vetranie musí zabezpečiť výmenu dymu a splodín horenia za čistý vzduch.

4.8.4 Zariadenia na dodávku vody na hasenie požiarov

Zariadenia na dodávku vody na hasenie požiarov v cestných tuneloch podľa [TP 13/2020](#) sú zdroj vody a prírodné potrubia, čerpacia stanica, požiarny vodovod, odberné a plniace miesta.

Pre úspešné zvládnutie požiaru je kritické zabezpečiť dostatočnú dodávku vody na hasenie do rôznych miest stavby. Údaje o minimálnom množstve vody sú získané empiricky a sú uvedené v technických normách. Pre najdôležitejší PÚ ktorým je tunelová rúra je minimálna potreba vody na hasenie požiarov C na úrovni $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Z tohto dôvodu **zdroj vody** pre požiarny vodovod tunela musí zabezpečiť trvalú dodávku vody v množstve $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ do potrubia požiarného vodovodu počas 120 min. Zdrojom vody pre tunel môže byť studňa, rieka, jazero, vodovod alebo nádrž na stálu zásobu vody ([TP 13/2020](#)).

V prípade že nie je možné zabezpečiť prítok vody $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, vyhotovuje sa ako náhradné riešenie nádrž na stálu zásobu vody pre požiarny vodovod tunela o objeme minimálne 160 m^3 . V prípade že na nádrž je napojené aj SHZ, musí sa objem nádrže navýšiť na minimálne 200 m^3 ([TP 13/2020](#)).

Čerpacia stanica požiarnej vody sa navrhuje vtedy, ak nie je možné dosiahnuť požadovaný prietok vody a tlak v potrubí požiarneho vodovodu iným spôsobom. Zariadenia čerpacej stanice sú zariadeniami, ktoré musia byť funkčné počas celej dĺžky trvania požiaru.

Aby bolo zabezpečené dostatočné množstvo vody na hasenie požiaru v tunelovej rúre na rôznych miestach, musí byť v každej tunelovej rúre tunela s dĺžkou viac ako 500 m zriadený trvalo zavodnený **požiarny vodovod**. Ak je požiarny vodovod tvorený dvoma vetvami, musí tvoriť uzatvorený okruh a byť chránený voči zamŕzaniu. Hydrostatický tlak vody v požiarnom vodovode musí byť v každom odbernom mieste v rozsahu od 0,6 MPa do 1,0 MPa. Hydrodynamický tlak vody v požiarnom vodovode nesmie klesnúť pod 0,25 MPa v žiadnom odbernom mieste ani pri odbere vody $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ TP ([13/2015](#)).

Nezavodnený požiarny vodovod musí byť osadený v každom priečnom prepojení medzi dvoma tunelovými rúrami (obr. 15). Slúži na dopravu vody medzi tunelovými rúrami, pričom zdrojom vody môže byť nadzemný požiarny hydrant alebo hasičská cisterna.



Obr. 15 Nezavodnený požiarny vodovod v priečnom prepojení
(Zdroj: Autor)

Nezavodnený požiarny vodovod musí spĺňať podľa [TP 13/2020](#) niekoľko vlastností. Musí mať menovitý priemer 150 mm. Na obidvoch koncoch musí mať osadené polspojky s vekom. Konce vodovodu musia byť osadené vo výške najmenej 1 100 mm a najviac 1 400 mm nad podlahou. Potrubie vodovodu musí mať pozdĺžny sklon najmenej 3 %. Na potrubí vodovodu nesmú byť osadené žiadne uzatváracie armatúry. Potrubie vodovodu musí byť osadené po celej dĺžke priečneho prepojenia. Materiál všetkých súčastí vodovodu musí byť nehrdzavejúca oceľ a zároveň konštrukcia vodovodu musí umožniť jeho úplné odvodnenie.

V tunelových rúrach sa **odber vody** zabezpečuje nadzemnými požiarnymi hydrantmi umiestnenými spravidla v požiarnych výklenkoch (obr. 16). Vzájomná vzdialenosť hydrantov

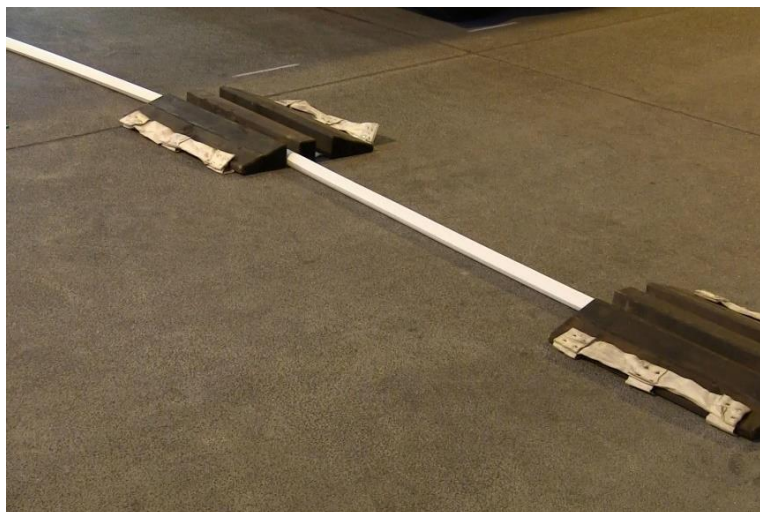
v tunelovej rúre a ani vzdialenosť prvého hydrantu od tunelového portálu nesmie presiahnuť 150 m. V prípade ak je tunelová rúra vybavená SHZ, tak postačuje najmenej jeden nadzemný hydrant umiestnený vo vzdialenosti najviac 20 m od vstupu do priečného prepojenia, čiže približne každých 300 m ([TP 13/2020](#)). Každý požiarny výklenok, resp. stanovište hydrantu musí byť označené bezpečnostnou značkou „Požiarna hadica“ a poradovým číslom (obr. 16).

Nadzemný hydrant v tunelovej rúre musí mať dve príruby C a jednu prírubu B alebo dve príruby B alebo jednu prírubu A. Ak má hydrant viac ako jednu prírubu, musí byť pred každou prírubou na pripojenie požiarnej hadice uzáver ([TP 13/2020](#)).



Obr. 16 Nadzemný požiarny hydrant
(Zdroj: Autor)

Požiarné výklenky s nadzemnými požiarnymi hydrantmi by sa spravidla mali umiestňovať v tunelovej rúre na strane priečných prepojení. Zabráni sa tým zavádzaniu hadicového vedenia hasičskej techniky a nutnosti pokladania prejazdových mostíkov (obr. 17).



Obr. 17 Prejazdové mostíky
(Zdroj: Autor)

V každom priečnom prepojení sa podľa [TP 13/2020](#) musí nachádzať výstroj umiestnená do uzavretého priestoru (napr. skrine) v strede priečného prepojenia (obr. 18).



Obr. 18 Skriňa na umiestnenie výstroje
(Zdroj: Autor)

Výstroj pozostáva zo 7 ks nepresakujúcich plochých požiarnych hadíc typu C (menovitá svetlosť 52 mm), 1 ks kombinovaná prúdnicca typu C s guľovým uzáverom určená k vedeniu zásahu vodou plným prúdom, rozprášeným prúdom alebo vodnou hmlou a 1 ks prúdnicca typu C s guľovým uzáverom umožňujúca hasenie kompaktným prúdom.

Plniace miesto slúži prioritne ako zdroj vody pre doplnenie nádrže hasičskej cisterny. Umiestňuje sa pred každý tunelový portálom do vzdialenosti najviac 20 m od vstupu do tunelovej rúry. Nadzemný hydrant plniaceho miesta musí mať dve príruby B a jednu prírubu A. Plniace miesto sa prednostne umiestňuje na okraji nástupnej plochy, avšak iba v prípade, ak sa tento okraj nenachádza od portálu vo väčšej vzdialenosti ako 20 m ([TP 13/2020](#)).

4.8.5 Hasiace prístroje

Hasiace prístroje sa neumiestňujú do priestoru tunelovej rúry a ani do priestoru chránených únikových ciest. Slúžia na prvotný zásah v počiatočnej fáze vzniku požiaru účastníkmi premávky. Obvyklé umiestnenie hasiacich prístrojov je v SOS kabíne, kde musia byť umiestnené dva prenosné hasiace prístroje (5 kg CO₂ a 6 kg práškový ABC hasiaci prístroj). Do požiarneho úseku iných priestorov v tuneli a stavebných objektov mimo tunela, okrem požiarneho úseku bez požiarneho rizika, sa hasiace prístroje navrhujú podľa STN 92 0202-1. Stanovišťa hasiacich prístrojov sa označujú bezpečnostnou značkou „Hasiaci prístroj“.

4.8.6 Zariadenia na trvalú dodávku elektrickej energie pri požiari

Zariadenia na trvalú dodávku elektrickej energie pri požiari ako vyplýva z názvu, zabezpečujú dodávku elektrickej energie všetkým dôležitým zariadeniam tunela aj v prípade mimoriadnej udalosti. Pre tunel ako celok musí byť dodávka elektrickej energie vždy zabezpečená z dvoch nezávislých zdrojov. Hlavným zdrojom elektrickej energie je prípojka k verejnej sieti VN alebo VVN, druhým nezávislým zdrojom je ďalšia (nezávislá) prípojka k sieti VN alebo VVN alebo záložný zdroj. Ak nie je možné zabezpečiť druhé napájanie z distribučnej siete, použije sa ako druhý nezávislý zdroj napájania záložný zdroj, ktorým je napr. motorový generátor pre výrobu elektrickej energie alebo centrálna jednotka UPS. Na zabezpečenie nepretržitého napájania elektrickou energiou počas prepínania z hlavného zdroja na záložný zdroj slúži krátkodobá jednotka UPS. Táto jednotka sa nepovažuje za záložný zdroj.

Hlavný a aj záložný zdroj musí zabezpečovať napájanie elektrických zariadení funkčných počas požiaru najmenej počas 120 min v tuneloch I. kategórie a v tuneloch II. kategórie najmenej počas 180 min ([TP 13/2020](#)).

Voľne vedené káble k elektrickým zariadeniam umiestneným v tunelovej rúry a trasy káblov pre trvalú dodávku elektrickej energie zariadeniam v prevádzke počas požiaru musia spĺňať požiadavky na triedu reakcie na oheň uvedené v tab. 3 v [TP 13/2020](#). Káble a spôsob ich montáže musia odolávať predpokladaným vonkajším vplyvom, prípadne stavom prostredia tak, aby boli zabezpečené ich návrhové prenosové a elektrické parametre.

Trvalá dodávka elektrickej energie pri požiari sa navrhuje podľa STN 92 0203, ak v týchto TP nie je uvedené inak. Požiadavky na vlastnosti káblových trás určených na trvalú dodávku elektrickej energie zariadeniam v prevádzke počas požiaru neplatia na káblové trasy vedené v káblovode pod núdzovým chodníkom v prípade, ak je hrúbka krycej vrstvy nad káblovodom najmenej 100 mm. Ak je súčasťou takejto káblovej trasy šachta s poklopom, tak poklop musí

spĺňať niekoľko podmienok. Ak je z betónu, musí mať hrúbku najmenej 100 mm, ak nie musí spĺňať podmienku triedy reakcie na oheň A1 alebo musí vykazovať požiarnu odolnosť EI 60.

4.9 Odvádzanie vody z povrchu vozovky

Ak je v tuneli povolená preprava nebezpečných látok, musí sa zabezpečiť odtok horľavých a toxických kvapalín štrbinovými odvodňovacími žľabmi alebo inými prostriedkami v celom priereze tunelovej rúry. Vhodnými prostriedkami sa musí zabrániť šíreniu ohňa a horľavých a toxických kvapalín v systéme. Ak je v tuneli povolená preprava horľavých kvapalín a súčasťou odvodňovacieho systému tunela je záchytná nádrž a prečerpávacía stanica, musia zariadenia tejto stanice byť spôsobilé na čerpanie horľavých kvapalín I. triedy nebezpečnosti. Čerpadlá musia byť dimenzované aj na čerpanie kvapalín s hustotou $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Na štrbinových žľaboch sa umiestňujú požiarné uzávery (U-uzávery) na prerušenie prípadného šírenia plameňa po povrchu horľavých kvapalín v systéme.

5. TUNELOVÉ VETRANIE Z HĽADISKA PROTIPOŽIARNEJ BEZPEČNOSTI

Úlohou vetrania je v prípade požiaru poskytnúť podmienky pre sebazáchranu užívateľov tunela, zabezpečiť ochranu únikových ciest a núdzových východov pred splodinami horenia, umožniť bezpečný postup príslušníkov Hasičského a záchranného zboru (HaZZ) a iných zasahujúcich jednotiek zásahovými cestami k miestu požiaru, zredukovať trvanie požiaru a obmedziť poškodenie tunela.

V rámci projektovania tunelového vetrania sa spracúva niekoľko odlišných koncepcií, z ktorých sa vyberá tá najjednoduchšia. Porovnávajú sa rozdielne varianty vetrania tunela, únikových ciest a pre každú variantu sa predbežne vypočítajú náklady na investície, prevádzku a údržbu. Zložitejší systém vetrania sa použije len vtedy, keď jednoduchšia koncepcia nespĺní stanovené ciele. Požiadavky na tunelové vetranie sa musia splniť s čo najnižšími nákladmi na investície, prevádzku a údržbu s ohľadom na minimalizáciu stavebných nákladov.

Tvorba projektu tunelového vetrania má niekoľko základných fáz. Ako prvé sa definujú základné projektové parametre tunela, stanoví sa systém vetrania a jeho ciele prispôbené danému systému. Nasleduje dimenzovanie vetrania podľa určeného systému a posledným krokom je výber vhodného vybavenia pre zabezpečenie vetrania priestorov tunela.

5.1 Projektové parametre tunela

Celkovú koncepciu tunelového vetrania najviac ovplyvňujú projektové parametre tunela, medzi ktoré sa radí premávka, geometrické parametre tunela, meteorologické podmienky, predpokladaná intenzita požiaru a predpokladané množstvo vozidiel v tunely v čase nehody.

5.1.1 Premávka

Keďže projekt tunelového vetrania sa vytvára ešte pred uvedením tunela do bežnej prevádzky, všetky údaje o možnej premávke vychádzajú z empirických predpokladov a pravdepodobnosti. Predpokladané údaje o premávke musia obsahovať rok uvedenia tunela do prevádzky, priemernú dennú hustotu premávky podľa smeru v roku otvorenia a o 10 a 20 rokov dopredu, množstvo ťažkých nákladných automobilov podieľajúcich sa na doprave, údaje o možnej preprave nebezpečných látok, či sa jedná o jednosmernú alebo obojsmernú premávku, predpokladané množstvo kongescií (dopravné zápchy), zvláštnosti na jednotlivých úsekoch, najvyššiu povolenú rýchlosť, nerovnomernosť dopravy, a pod.

5.1.2 Geometrické parametre tunela

Na projektovanie a dimenzovanie tunelového vetrania majú vplyv geometrické parametre tunela. Sú to počet tunelových rúr, poloha tunelových rúr, vetvenie tunela, počet jazdných pruhov, dĺžka tunela, pozdĺžny profil, nadmorská výška, prierezy tunelovej rúry, poloha priečnych prepojení, možné polohy vzduchotechnických strojovní a odsávacích komínov, parametre núdzových východov, únikových a záchranných štôlní, ich dĺžka, tvar a sklon, a pod.

5.1.3 Meteorologické podmienky

System vetrania musí byť navrhnutý na rozdielne meteorologické podmienky, ktoré môžu nastať. Meteorologické podmienky sa zisťujú meraním pre každý tunelový portál. Dôležitý je atmosférický tlak a jeho rozdiel medzi portálmi, rýchlosť vetra v smere k portálom, vonkajšia a vnútorná teplota v tunelovej rúre v lete a v zime pre výpočet vztlaku vzduchu.

5.1.4 Intenzita požiaru

Pre prípad požiaru v priestoroch tunela sa musí vziať do úvahy množstvo a rýchlosť uvoľneného tepla (HRR), pričom dôležitá je maximálna hodnota uvoľneného tepla za časovú jednotku.

5.1.5 Množstvo vozidiel v tuneli v čase nehody

Ak sa výskyt kongescie v tunely nedá vylúčiť, scenáre požiarneho vetrania musia vziať do úvahy skutočnosť, že tunel je naplnený vozidlami. Ak ku kongescii nebude dochádzať, môže sa pre scenáre požiarneho vetrania predpokladať, že vozidlá po spustení núdzovej reakcie do tunela nebudú vstupovať.

5.2 Voľba systému

System vetrania je súhrnom všetkých elektrických a mechanických zariadení potrebných na zabezpečenie vetrania pre všetky príslušné scenáre. System vetrania musí pokrývať všetky možné miesta nehôd, ktoré definujú príslušné scenáre. Pre každý scenár sa musia definovať podmienky na základe ktorých budú splnené ciele vetrania. Postup určenia systému pozostáva z nasledovných častí: stanovenie dennej hustoty premávky, stanovenie dĺžky tunela, určenie kategórie tunela, stanovenie druhu premávky, určenie koncepcie vetrania a stanovenie cieľov vetrania tunela.

5.2.1 Kategórie tunelov

Tunely na základe typu premávky môžeme rozdeliť do troch kategórií (tab. 7).

Tab. 7 Kategórie tunelov (Zdroj: TP 049/2018)

Kategórie tunelov	A	B	C
Premávka	Tunely s jednosmernou premávkou a malou pravdepodobnosťou kongescie (bežné diaľničné tunely)	Tunely s jednosmernou premávkou a veľkou pravdepodobnosťou kongescie (bežné dvojrúrové mestské tunely)	Tunely s obojsmernou premávkou

Podľa Smernice Európskeho [parlamentu \(EP\) a Rady č. 2004/54/ES](#) z 29. apríla 2004 o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v transeurópskej cestnej sieti a [nariadenie vlády SR č. 344/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti](#), tunely s premávkou viac ako 2 000 vozidiel za deň na jeden jazdný pruh a dĺžkou viac ako 1 000 m musia byť vybavené systémom mechanického vetrania. Tunely s premávkou viac ako 10 000 vozidiel za deň v jednom smere musia byť dvojrúrové, s jednosmernou premávkou (kategória A alebo B). Kategória a dĺžka tunela definuje koncepciu systému vetrania (tab. 8).

Tab. 8 Koncepcia systému vetrania (Zdroj: TP 049/2018)

Kategória tunela	Dĺžka tunela L (m)	Koncepcia vetrania	
A, B, C	$L \leq 500$	A1, B1, C1	Nepožaduje sa žiadne mechanické vetranie
A	$500 < L \leq 3000$	A2	Pozdĺžne vetranie
	$3000 < L$	A2	Pozdĺžne vetranie iba ak výsledky analýzy rizík preukázali akceptovateľné
	$3000 < L$	A3	Systém zabezpečujúci odsávanie dymu v blízkosti miesta požiaru
B, C	$500 < L \leq 1000$	B2, C2	Pozdĺžne vetrania
	$1000 < L$	B2, C2	Pozdĺžne vetranie iba ak výsledky analýzy rizík preukázali akceptovateľné
	$1000 < L$	B3, C3	Systém zabezpečujúci odsávanie dymu v blízkosti miesta požiaru

V prípade že sa nepožaduje mechanické vetranie tunela ale stačí prirodzené vetranie, k výmene vzduchu v takomto tuneli dochádza vďaka pozdĺžnemu prúdeniu z dôvodu

piestového účinku dopravy, piestového účinku rozdielov teplôt a meteorologických tlakových rozdielov medzi portálmi.

Výmena vzduchu v tunely s mechanickým vetraním je zabezpečená pomocou mechanických zariadení inštalovaných v tuneli. Podľa smeru výmeny vzduchu ho môžeme rozdeliť na pozdĺžne, priečne vetranie a polopriečne vetranie.

Podľa [TP 049/2018](#) pozdĺžne vetranie je výmena vzduchu v tuneli výlučne v pozdĺžnom smere pomocou prúdových ventilátorov v dopravnom priestore tunela. Priečne vetranie je výmena vzduchu v tuneli pomocou mechanických zariadení, pri ktorom sa čerstvý vzduch privádza z vetracieho kanála do dopravného priestoru a zároveň znečistený vzduch sa odsáva z dopravného priestoru do kanála na odvod vzduchu po celej dĺžke tunela. Tento typ vetrania umožňuje nasávať splodiny horenia priamo nad miestom vzniku požiaru alebo v jeho blízkosti. Polopriečne vetranie je výmena vzduchu v tuneli pomocou mechanických zariadení, pri ktorom sa čerstvý vzduch privádza z vetracieho kanála do dopravného priestoru po celej dĺžke tunela, pričom sa odvod vzduchu uskutočňuje cez portály.

V dlhých tuneloch kategórie A a B môžu viesť požiadavky na vetranie pre normálnu prevádzku k vybudovaniu stanice na výmenu vzduchu (odsávanie s následným prívodom čerstvého vzduchu). Pri dlhých tuneloch kategórie C môžu viesť požiadavky na vetranie pre normálnu prevádzku k vybudovaniu priečného vetrania (rovnomerne rozdelený prívod a odsávanie vzduchu), ktorý sa v prípade požiaru musí prepnúť na koncentrované odsávanie v blízkosti miesta požiaru ([TP 049/2018](#)).

5.3 Cieľ vetrania

Princíp fungovania vetrania je jednoduchý, dym a splodiny horenia sa odvedú pomocou vetracích šácht a portálov mimo priestor tunela. Hlavná otázka je aká rýchlosť vzduchu má byť použitá na odstránenie dymu z tunelovej rúry.

Prvým krokom je stabilizácia prúdenia vzduchu v tuneli na cieľovú hodnotu prostriedkom regulácie pozdĺžneho prúdenia (tab. 9). Požiarne vetranie sa spúšťa automaticky pomocou CRS. Požadovaný stav prúdenia v zasiahnutom tuneli sa musí dosiahnuť najneskôr 120 s po detekcii požiaru. Prúdové ventilátory v blízkosti požiaru, kde sa pravdepodobne môže vyskytnúť vrstvenie dymu pod stropom sa nesmú spustiť. Cieľom vetrania v prvom kroku je poskytnúť čas a možnosti pre sebazáchranu, obmedziť prílišné šírenie dymu, nárast teploty a hromadenie toxických plynov ([TP 049/2018](#)).

Tab. 9 Cieľové hodnoty vetrania (Zdroj: [TP 049/2018](#))

Kategória tunela	Cieľové hodnoty vetrania pre jednotlivé kategórie tunelov a koncepcie vetrania	
	System bez odsávania dymu	System s odsávaním dymu v blízkosti požiaru
A	Pozdĺžne vetranie, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,5 – 2,0 m/s v smere dopravy	Rýchlosť pozdĺžneho prúdenia, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,5 – 2,0 m/s z oboch strán k miestu odsávania
	Pozdĺžne vetranie, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,0 – 1,5 m/s v smere prúdenia meraného pri detekcii požiaru pri mimoriadnej obojsmernej premávke v jednej tunelovej rúre	
B	Pozdĺžne vetranie, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,0 – 1,5 m/s v smere dopravy	Rýchlosť pozdĺžneho prúdenia, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,5 – 2,0 m/s z oboch strán k miestu odsávania
C	Pozdĺžne vetranie, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,0 – 1,5 m/s v smere prúdenia meraného pri detekcii požiaru	Rýchlosť pozdĺžneho prúdenia, cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je 1,5 – 2,0 m/s z oboch strán k miestu odsávania

Druhým krokom je jednostranné odvetranie dymu. Ventilácia sa spúšťa manuálne na žiadosť veliteľa zásahu z Hasičského a záchranného zboru po úspešnom ukončení sebazáchranu užívateľov tunela. Pri spustení kroku dva je potrebné zobrať do úvahy skutočnosť, že v smere prúdenia dymu sa podstatne zhoršia podmienky na sebazáchranu. Rýchlosť prúdenia studeného vzduchu musí dosahovať hodnotu kritickej rýchlosti stanovenej podľa nasledovného vzťahu ([TP 049/2018](#)):

$$v_{crit} = K_1 \cdot K_g \cdot \sqrt[3]{\frac{g \cdot H \cdot Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot T_f}} \quad (34)$$

kde: v_{crit} – kritická rýchlosť ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

K_1 – 0,606 (Froudov faktor, (Fr -1/3) (-),

K_g – faktor sklonu (-),

g – tiažové zrýchlenie ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),

H – výška tunela na strane požiaru (m),

Q – tepelný výkon požiaru odovzdávaný do vzduchu (W),

ρ – priemerná objemová hmotnosť privádzaného vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

c_p – hmotnostná tepelná kapacita ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

A – plocha svetlého prierezu tunela (m^2),

T_f – priemerná teplota plynov na strane požiaru (K).

Použitím kritickej rýchlosti sa zamedzí spätnému vrstveniu dymu, prípadne sa zmierni jeho rýchlosť prúdenia. Charakteristická rýchlosť pre tento princíp je od 2,2 do 3,5 m/s pre veľkosť tepelného toku 30 – 50 MW uvoľneného pri požiari. Nevýhoda tohto princípu je že pri 30 MW sa šírenie dymu zvýši na takú úroveň že nie je možné vykonať bezpečnú evakuáciu z tunelovej rúry. Preto sa tento princíp používa výlučne v jednosmerných tuneloch kedy by vzniknutý požiar spôsobil následky len na hornej časti dopravného prúdu.

Jednostranné odvetranie dymu je tiež scenár automatickej reakcie požiarneho vetrania v kroku 1 pre požiare v blízkosti portálov a preto je smerodajný pre dimenzovanie vetrania pre všetky tunely, nezávisle od kategórie tunela.

Nehody bez vytvárania dymu nie sú smerodajné pri dimenzovaní tunelového vetrania. Pri vzniku nehody bez vytvárania dymu, ale s vplyvom na zloženie ovzdušia v tuneli sa spustí požiarne vetranie.

5.4 Dimenzovanie vetrania

Dimenzovanie vetracích zariadení tunelového vetrania sa realizuje pre požiarne vetranie a pri dlhých tuneloch dodatočne pre normálnu prevádzku. Prísnejšie požiadavky sú smerodajné. Pre tunely kategórie A s dĺžkou do 8 000 m, a tunely kategórie B a C s dĺžkou do 3 000 m sa dá predpokladať, že vetracie zariadenie dimenzované na požiarne vetranie bude vždy dostatočné i pre normálnu prevádzku, alebo že pre normálnu prevádzku nebude potrebné žiadne vetranie. Pri týchto tuneloch nie je potrebné dimenzovanie pre normálnu prevádzku.

5.4.1 Dimenzovanie požiarneho vetrania

Dimenzovanie požiarneho vetrania je závislé od tepelného výkonu požiaru, kritickej rýchlosti prúdenia vzduchu, požiarneho vztlaku, pozdĺžneho prúdenia a od množstva vozidiel v tunely.

Predpokladaný **tepelný výkon požiaru** pre návrh vetrania sa určuje podľa predpokladaného počtu ťažkých nákladných vozidiel (TNV) nachádzajúcich sa v tunelovej rúre, pretože predstavujú zvýšené riziko a zároveň aj najvyššie požiarne zaťaženie.

Tab. 10 Tepelný výkon požiaru v závislosti od výskytu TNV (Zdroj: TP 049/2018)

Počet ťažkých nákladných vozidiel na tunelovú rúru a deň	Smerodajný tepelný výkon požiaru (MW)
$TNV \leq 100$	5
$100 < TNV \leq 4\,000$	30
$4\,000 < TNV \leq 6\,000$	50
$TNV > 6\,000$	Zvýšenie tepelného výkonu na základe rizikovej analýzy

Na stanovenie **kritickej rýchlosti prúdenia** vzduchu sa odporúča využiť výpočet kritickej rýchlosti podľa Kennedyho modelu podľa vzorca (34).

V tuneloch s pozdĺžnym sklonom pôsobí požiar následkom teplotných rozdielov na vzduch v jazdnom priestore. Pri dimenzovaní vetrania je preto potrebné zohľadňovať **požiarny vztlak** podľa nasledovných vzťahov (TP 049/2018):

$$T_f = \frac{Q}{\rho \cdot A \cdot c_p \cdot v} + T_0 \quad (35)$$

$$\Delta p_{po} = \frac{v \cdot g \cdot i \cdot \rho}{c} \cdot \ln \left[\frac{T_0 + (T_f - T_0) \cdot e^{\left(\frac{c \cdot L_T}{v}\right)}}{T_f} \right] \quad (36)$$

$$c = -\frac{\alpha \cdot U_T}{\rho \cdot A \cdot c_p} \quad (37)$$

kde: T_f – priemerná teplota plynov na strane požiaru (K),

Δp_{po} – vztlak požiaru (Pa),

i – sklon vozovky (%),

v – rýchlosť prúdenia (m/s),

g – tiažové zrýchlenie (m/s²),

ρ – priemerná objemová hmotnosť vzduchu (kg/m³),

c_p – hmotnostná tepelná kapacita (J/kg.K),

α – koeficient vedenia tepla (W/m².K),

Q – tepelný výkon požiaru odovzdávaný do vzduchu (W),

A – plocha svetlého prierezu tunela (m²),

U_T – obvod priečného rezu tunela (m),

L_T – dĺžka tunela (m),

T_0 – teplota vzduchu pred požiarom (K).

Výpočty pre stacionárny stav je nutné overiť pomocou dynamickej simulácie, kde sa overí dosiahnutie požadovaného cieľového stavu pre **pozdlžne prúdenie**. Vo výpočtoch musí byť zohľadnená variabilná objemová hmotnosť vzduchu pri vysokých teplotách v blízkosti požiaru.

Pre výpočet **množstva vozidiel** v tuneli v čase požiaru sa predpokladá, že pri jednosmernej premávke pre kategórie tunelov A a B zostane v tuneli 100 % priemerného počtu vozidiel a počet vozidiel, ktoré vojdú do tunela za 3 min po zistení požiaru. Pri obojsmernej premávke a kategóriu tunelov C sa predpokladá že zostane v tuneli 50 % priemerného počtu vozidiel a počet vozidiel, ktoré vojdú do tunela za 3 min po zistení požiaru.

5.4.2 Dimenzovanie vetrania na účel odsávania dymu

Dimenzovanie vetrania na účel odsávania dymu je závislé od požadovaného minimálneho objemového prietoku odsávania, dĺžky zadymenej zóny, odsávacích klapiek, netesnosti a redundancie.

Minimálny **objemový prietok odsávania** na stanovenom mieste sa stanovuje podľa nasledovnej rovnice ([TP 049/2018](#)):

$$Q_{ods} = A \cdot 2,0 \quad (38)$$

kde: Q_{ods} – objemový prietok odsávania ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

A – plocha svetlého prierezu tunela (m^2),

2,0 – rýchlosť prúdenia vzduchu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Pri dimenzovaní ventilátorov na odsávanie (objemový prietok a tlak) sa musia zohľadniť netesnosti vetracieho kanála a klapiek, variabilná hustota vzduchu pri vysokých teplotách v blízkosti požiaru a chladenie dymu vo vzduchotechnických kanáloch pre kritické miesto odsávania. Dodatočná tlaková rezerva sa musí zohľadniť pre nepriaznivé podmienky pri paralelnom nábehu a chode viacerých ventilátorov.

V systémoch s odsávaním dymu v blízkosti miesta požiaru sa **zadymená zóna** musí obmedziť na maximálne 200 m.

Veľkosť **odsávacích klapiek** sa zvolí tak, aby priemerná rýchlosť prúdenia cez otvor klapky neprekročila $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na dimenzovanie odsávania sa povolené netesnosti musia zdvojnásobiť.

Požadovaný objemový prietok odsávania sa musí dosiahnuť pri výpadku jedného odsávacieho ventilátora alebo jednej odsávacej klapky.

5.4.3 Vetranie núdzových východov

Pri tuneloch s dvoma rúrami slúžia únikové štôlne a priečne prepojenia do susednej tunelovej rúry ako chránené únikové cesty. Ochrana únikových ciest v priečnom prepojení proti prenikaniu splodín horenia je zabezpečená vytvorením pretlaku v únikovej ceste. Pretlak musí byť taký, aby zabezpečil ochranu únikovej cesty a aby sila potrebná na otvorenie dverí neprekročila hodnotu 100 N (TP 049/2018). Pretlak o výške 30 Pa je možné vytvoriť prúdovými ventilátormi v nezasiahnutej tunelovej rúre alebo samostatným vetracím zariadením.

5.4.4 Meracie prístroje a detekčné zariadenia

Vetrací systém tunela musí zaistiť bezpečnosť užívateľov tunela počas normálnej prevádzky a taktiež v prípade mimoriadnej udalosti. Na správnu činnosť vetrania tunela je potrebné mať prehľad o aktuálnej situácii prostredníctvom snímačov a detekčných zariadení. Uvedenie vetrania do prevádzky pri bežnej prevádzke ale aj pri nehode je dané prekročením hraničných nameraných hodnôt koncentrácie CO, koncentrácie NO_x, opacity (viditeľnosti), detekcie dymu a pod (TP 049/2018).

5.4.5 Stratégia riadenia tunelového vetrania

Požiarne vetranie je riadené manuálne operátorom alebo automaticky pomocou centrálného riadiaceho systému. Pričom musí byť umožnené prepnutie automatického systému na manuálny a naopak. Stratégia vetrania je prispôsobená dvom scenárom ktoré môžu v tunely nastať. Sú to scenáre pre postupujúci požiar a pre stacionárny požiar.

Požiar sa považuje za postupujúci, ak aspoň jeden snímač/detektor namerajú hodnotu opacity(viditeľnosti) vyššiu ako nízka hraničná hodnota, ale nižšiu ako vysoká hraničná hodnota alebo rýchlosť šírenia dymu je vyššia ako rýchlosť prúdenia vzduchu v tuneli, alebo smer šírenia dymu je opačný ako smer prúdenia vzduchu v tuneli. Rýchlosť šírenia dymu je daná vzdialenosťou aktivovaných detektorov dymu delenou časovým oneskorením medzi ich aktivovaním (TP 049/2018).

Požiar sa považuje za stacionárny, ak aspoň jeden snímač, resp. detektor nameria hodnotu opacity(viditeľnosti) vyššiu ako vysoká hraničná hodnota (napr. nastavenie 100 km⁻¹) alebo rýchlosť a smer šírenia dymu je podobná rýchlosti prúdenia vzduchu v tuneli (TP 049/2018).

V rámci scenárov sa rozlišuje stav, kedy je miesto požiaru neznáme (spúšťa sa „predbežný alarm“) a kedy je miesto požiaru známe (spúšťa sa „alarm“).

Pre neznáme miesto požiaru systém vetrania funguje nasledovne. Pre kategóriu tunela A kde je inštalovaný systém bez odsávania dymu, sa spúšťa regulácia, len keď je prúdenie pomalšie

ako cieľová hodnota (cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je $1,5 - 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). (prirodzené prúdenie spôsobené premávkou sa nebrzdí. Miesto požiaru sa predpokladá pred výjazdovým portálom (v smere jazdy). V prípade že je v tunely inštalovaný systém s odsávaním dymu v blízkosti požiaru sa spustí odsávanie na 50 % výkonu, pričom miesto odsávania je pred výjazdovým portálom (TP 049/2018).

Pre kategóriu tunela B kde je inštalovaný systém bez odsávania dymu, sa spúšťa regulácia, len keď je prúdenie pomalšie ako cieľová hodnota (cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je $1,0 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Miesto požiaru sa predpokladá pred výjazdovým portálom (v smere jazdy). V prípade že je v tunely inštalovaný systém s odsávaním dymu v blízkosti požiaru sa spustí odsávanie na 50 % výkonu, pričom miesto odsávania je pred výjazdovým portálom (TP 049/2018).

Pre kategóriu tunela C kde je inštalovaný systém bez odsávania dymu, sa spúšťa regulácia, len keď je prúdenie pomalšie ako cieľová hodnota (cieľová hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu je $1,0 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Miesto požiaru sa predpokladá v strede tunela. V prípade že je v tunely inštalovaný systém s odsávaním dymu v blízkosti požiaru sa spustí odsávanie na 50 % výkonu, pričom miesto odsávania je v strede tunela. Pri tuneloch s priečnym vetraním sa vypne prívod vzduchu (TP 049/2018).

Pre známe miesto požiaru systém vetrania reaguje nasledovne. Pri všetkých tuneloch sa spustí riadenie na cieľové hodnoty podľa tab. 9 s určeným miestom požiaru. Pri tuneloch s odsávaním sa spustí odsávanie na 100 % kapacity na mieste požiaru. Pri tuneloch s priečnym vetraním sa vypne prívod vzduchu (TP 049/2018).

6. CENTRÁLNY RIADIACI SYSTÉM

Centrálny riadiaci systém (CRS) zabezpečuje automatické riadenie technologického vybavenia tunela. Z hľadiska protipožiarinej bezpečnosti zabezpečuje hlavne spracovanie signálu požiarného poplachu z EPS (čas a miesto spustenia poplachu), presmerovanie premávky a uzavretie tunela (pomocou signalizačného zariadenia umiestneného pred tunelovým portálom), požiarne vetranie tunelovej rúry (ovládanie intenzity a smeru vetrania), vetranie a osvetlenie únikových ciest, požiarne núdzové osvetlenie (zvýšenie jasú navádzacieho evakuačného systému), ovládanie prevádzkového vetrania a požiarneho klapiek, vyhodnotenie (manuálne obsluhou) situácie, aktiváciu zariadení na dodávku vody na hasenie požiarov a vykonanie ďalších operácií na základe požiarneho scenára.

CRS registruje otvorenie dvier núdzových východov, dvier SOS kabín, dvier požiarneho výklenkov a ďalších dvier v tuneli, ktoré nie sú uzamykateľné, zvesenie prenosných hasiacich prístrojov v SOS kabínach, samočinné uzavretie požiarneho klapiek (v prípade, ak nebolo riadené CRS) a činnosť SHZ (v prípade, ak nebolo uvedené do činnosti povelom CRS) ([TP 13/2020](#)).

Podkladom pre správne fungovanie CRS sú empiricky získané požiarne scenáre vychádzajúce z indikácie miesta vzniku požiaru.

6.1 SOS kabíny

SOS kabíny umiestnené v tunelovej rúre plnia niekoľko účelov. Kabínky prioritne slúžia na privolanie pomoci, neslúžia ako miesto kde je možné sa v prípade požiaru ukryť. Výbavu SOS kabíny tvorí telefón, prenosné hasiace prístroje, tlačidlový hlásič požiaru a elektrická zásuvka (obr. 19).

SOS kabíny musia byť umiestnené v každom núdzovom zálive, kde môžu účastníci premávky v prípade vážnej poruchy odstaviť svoje vozidlo. Vzájomná vzdialenosť SOS kabín v tunelovej rúre a ani vzdialenosť prvej SOS kabíny od portálu v tuneli nesmie presiahnuť 150 m. Mimo tunela sa umiestňuje SOS kabína alebo SOS hláska do vzdialenosti najviac 20 m od tunelového portálu.



Obr. 19 SOS kabína
(Zdroj: Autor)

Umiestnenie SOS kabíny alebo SOS hlásky je vyznačené dopravnou značkou „Telefón núdzového volania“ (obr. 20). Otvorenie dverí SOS kabíny musí byť signalizované do miesta so stálou obsluhou. V tuneli musí byť vizuálne signalizované otvorenie dverí SOS kabíny výstražným oranžovým prerušovaným svetlom nad vstupom do kabíny ([TP 13/2020](#)).



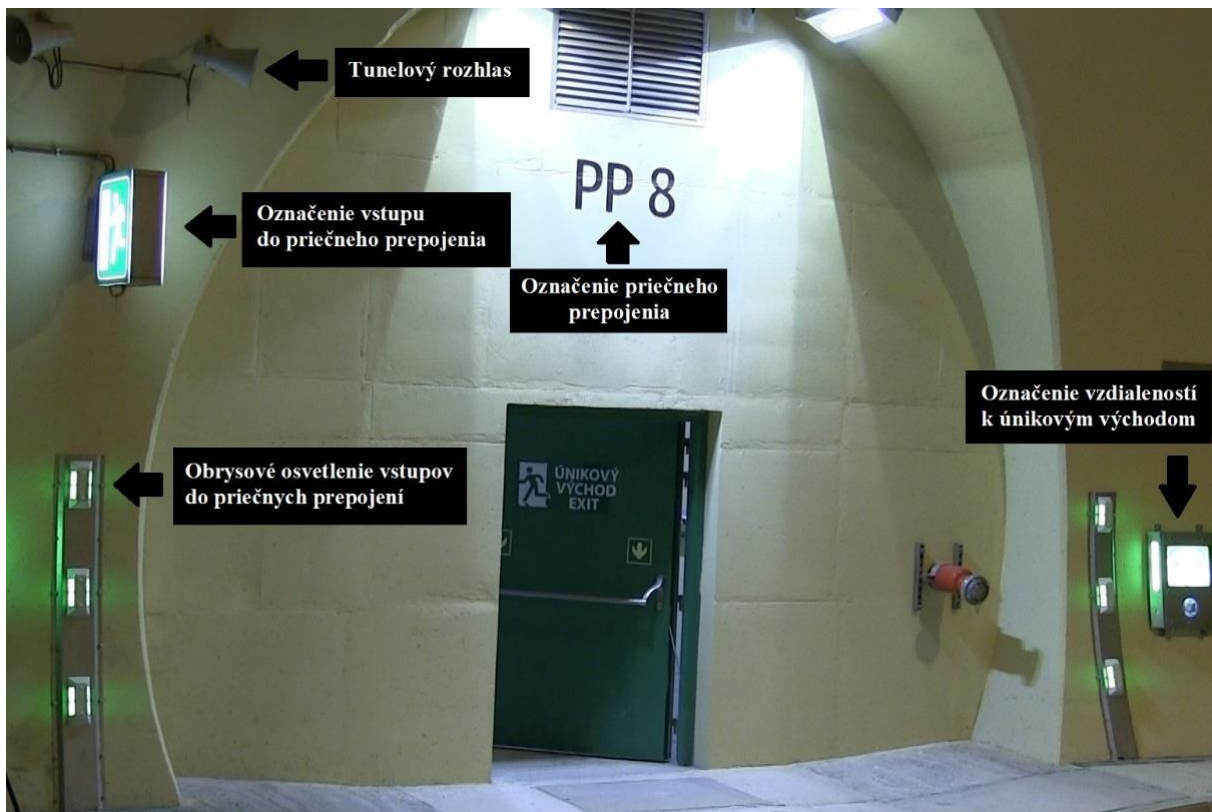
Obr. 20 Telefón núdzového volania
(Zdroj: Autor)

Dvere SOS kabíny musia mať zo strany tunelovej rúry povrch vyhotovený vo farebnom odtieni dopravná oranžová. Na dverách musia byť zo strany tunelovej rúry piktogramy „hasiaci prístroj“, „ohlasovňa požiarov“ a „tlačidlový hlásič požiaru“ ([TP 13/2020](#)).

6.2 Navádzací evakuačný systém

Navádzací evakuačný systém v prípade požiaru vytvára podmienky na orientáciu pri evakuácii užívateľov tunela (obr. 21) a tvorí ho požiarne núdzové osvetlenie, bezpečnostné značenie, obrysové osvetlenie vstupov do priečných prepojení, označenie vstupov do priečných

prepojení, označenie polohy SOS kabíny, tunelový rozhlas a iné dostatočne technicky a ekonomicky overené zariadenia.



Obr. 21 Navádzací evakuačný systém
(Zdroj: Autor)

Obrysové osvetlenie vstupov do priečných prepojení tvoria trvalo svietiace zelené svietidlá osadené na obryse vstupu do priečneho prepojenia. Intenzita tohto osvetlenia musí byť dvojstupňová slabá pri normálnej prevádzke, silná pri nehode alebo požiari ([TP 13/2020](#)).

6.3 Komunikačné zariadenia

Komunikačné zariadenia tunela slúžia na zaistenie bezpečnosti a rýchle získanie informácií zo strany operátora alebo účastníka cestnej premávky v tuneli. Ich úlohou je nie len poskytnúť zvukové a obrazové informácie operátorom tunela ale aj poskytnúť informácie s pokynmi čo je potrebné robiť účastníkom premávky v prípade mimoriadnej udalosti. Komunikačnými zariadeniami tunela sú zariadenie núdzového volania, videodohľad, tunelový rozhlas, rádiové spojenie integrovaného záchranného systému, príjem najmenej jednej rozhlasovej stanice s vysielaním dopravných správ, GSM a dopravné značenie.

6.3.1 Zariadenie núdzového volania

Zariadením núdzového volania je telefón so slúchadlom umiestnený v SOS kabíne alebo SOS hláske fungujúci ako horúca linka, kde hneď po zdvihnutí slúchadla sa okamžite nadviaže verbálny kontakt s obsluhou tunela. Telefonický hovor musí byť vždy zaznamenaný na záznamové médium.

6.3.2 Videodohľad

Videodohľad dáva operátorovi okamžitý obraz o celkovej situácii v tuneli za bežnej prevádzky a aj pri vzniku mimoriadnej udalosti v tunely, čo umožňuje operátorovi lepšie zhodnotiť situáciu.

Videodohľadom sa musia vybaviť všetky tunely, ktoré sú vybavené mechanickým vetracím systémom. Videodohľad musí pokrývať celú dĺžku tunelovej rúry, chránené únikové cesty a uzavreté priestory v tuneli určené pre jeho obsluhu (najmä elektrorozvodne, trafostanice, čerpacie stanice, strojovne vzduchotechnicky a pod.). Videodohľad inštalovaný v priestoroch pre obsluhu sa musí automaticky aktivovať pri vyhlásení požiarneho poplachu hlásičom EPS, ak je v tomto priestore inštalovaný. Musí byť schopný rozoznať, detekovať požiar a zobrazíť zasiahnutý priestor na obrazovke v miestnosti so stálou obsluhou ([TP 13/2020](#)).

6.3.3 Tunelový rozhlas

Tunelový rozhlas sa musí inštalovať v každom tuneli, ktorý má riadiace centrum so stálou obsluhou a predstavuje hlavný jednosmerný komunikačný prostriedok v priestoroch tunela a v tunelovej rúre. Slúži na poskytovanie núdzových rozhlasových hlásení ([ukážka 1](#), [ukážka 2](#)) pre užívateľov tunela, ktorí sa stali účastníkmi mimoriadnej udalosti. Neumožňuje spätnú komunikáciu s operátorom v riadiacom stredisku tunela. Reprodukčnými sa musia vybaviť vstupy do priečných prepojení, priečne prepojenia, predportálové plochy, úniková štôlna a zhromaždiská osôb. Tunelový rozhlas je zariadením, ktoré musí byť funkčné počas celej doby trvania požiaru ([TP 13/2020](#)).

6.3.4 Rádiové spojenie integrovaného záchranného systému

V každom tuneli musí byť umožnená rádiová komunikácia. Systém bezdrôtového rádiového spojenia je určený na zabezpečenie nepretržitej rádiovej komunikácie účastníkov dopravy, príslušníkov policajného zboru, príslušníkov hasičskej a záchrannej služby, členov lekárskej záchrannej služby a údržby tunela so svojimi centrálnymi. Rádiokomunikačné systémy sa musia navrhnuť a prevádzkovať tak, aby bolo zabezpečené bezproblémové rádiové spojenie v tunelovej rúre, v únikových cestách, zhromaždiskách osôb a v zásahových cestách a v okruhu 150 m okolo portálov tunela ([TP 13/2020](#)). Rádiový systém sa najčastejšie skladá z vonkajšieho

systému antén (zabezpečujúcich príjem a vysielanie rádiových signálov), vyžarovacieho systému tunela a únikových ciest (zabezpečujúcich rádiové pokrytie v daných priestoroch) a ďalších podporných technológií.

6.3.5 Príjem rozhlasových staníc

Príjem rozhlasových staníc je ďalší jednosmerný komunikačný prostriedok, pomocou ktorého je možné zaslať pokyny účastníkom mimoriadnej udalosti do ich autorádia pomocou verejnej stanice v FM pásme. V každom tuneli musí byť zaistený príjem najmenej jednej rozhlasovej stanice, ktorá má vo vysielacom programe dopravné správy a umožňuje v priestore tunela vstup operátora tunela do vysielania. Frekvencia rozhlasovej stanice prijímateľnej v tuneli musí byť vyznačená na dopravnej značke umiestnenej pred vjazdom do tunela, prípadne do sústavy blízkych tunelov. Nevýhodou tohto spôsobu komunikácie je, že účastníci mimoriadnej udalosti nachádzajúci sa mimo vozidla alebo ak nemajú v činnosti prijímač, takúto informáciu nemôžu prijať. Preto sa tunely vybavujú tunelovým rozhlasom.

6.3.6 Mobilný telefónny systém

Podľa možností operátorov globálneho systému mobilných komunikácií (angl. skr. GSM) sa odporúča v tunelovej rúre zabezpečiť signál mobilnej telefónnej siete. Pokrytie signálom nie je nutnosťou, väčšine tunelov na Slovensku chýba pokrytie mobilným signálom a to z dôvodu vysokých nákladov. Pokrytie signálom by malo byť zabezpečené v tuneloch, kde nie sú inštalované iné komunikačné zariadenia ako telefón núdzového volania, tunelový rozhlas alebo rozhlasová stanica.

6.3.7 Dopravné značky a dopravné zariadenia

Dopravné značky tunela musia byť pri indikácii požiaru schopné signalizovať zákaz vjazdu vozidiel do tunela, signalizovať príkaz zastaviť vozidlo v tunelových rúrach dlhších ako 1 000 m a pred každým núdzovým zálivom. Ak sú v tuneli inštalované premenné dopravné značky a dopravné zariadenia, musia umožňovať aj zobrazenie dopravnej značky č. A 34 s dodatkovou tabuľkou E 12 s textom „POŽIAR“ (obr. 22).



Obr. 22 Premenné dopravné značky
(Zdroj: Autor)

Pred nástupnou plochou alebo pred vjazdovým portálom do tunela sa umiestňuje pri obidvoch krajniciach dvojica signálov S8 s červenými striedavo prerušovanými svetlami (tzv. „semafor“).

6.4 Osvetlenie

Osvetlenie tunelov sa navrhuje podľa TNI CEN/CR 14380 a STN EN 16276. Svietidlá v tunelovej rúre sa spravidla vyhotovujú z výrobkov triedy reakcie na oheň A1 alebo A2. Časti svietidiel ktoré nie je možné vyrobiť z výrobkov triedy reakcie na oheň A1 alebo A2 je možné vyrobiť aj z plastu ([TP 13/2020](#)).

6.4.1 Požiarne núdzové osvetlenie

V tunelovej rúre musí byť nainštalované požiarne núdzové osvetlenie, ktoré v prípade požiaru slúži ako núdzové osvetlenie nechránených únikových ciest pre unikajúce osoby a ako požiarne osvetlenie pre zasahujúcich hasičov. Svietidlá požiarneho núdzového osvetlenia v tunelovej rúre sa musia umiestňovať na strane núdzových východov vo výške najviac 1,5 m nad povrchom chodníka a ich vzájomná vzdialenosť je najviac 25 m (obr. 23).



Obr. 23 Svietidlá požiarneho núdzového osvetlenia
(Zdroj: Autor)

Svietidlá môžu tiež tvoriť súvislý svetelný pás rozdelený na sekcie s dĺžkou najviac 25 m tak, aby v prípade poruchy jednej sekcie nedošlo k znefunkčneniu zvyšných sekcií. Svietidlá požiarneho núdzového osvetlenia môžu byť integrované do presvetlených dopravných značiek informujúcich o vzdialenosti k únikovým východom. Spustenie požiarneho núdzového osvetlenia iniciuje CRS podľa požiarneho scenára po indikácii požiaru ([TP 13/2020](#)).

6.4.2 Osvetlenie únikových a zásahových ciest

Nechránené a chránené únikové cesty v tuneli musia byť osvetlené požiarным núdzovým osvetlením. Doba napájania musí zodpovedať minimálne požiarnej odolnosti príslušných konštrukcií. V tuneloch I. kategórie je to najmenej 60 min a najmenej 90 min v tuneloch II. kategórie. Zásahové cesty v tuneli musia byť osvetlené umelým osvetlením s napájaním funkčným najmenej 120 min v tuneloch I. kategórie a v tuneloch II. kategórie najmenej 180 min ([TP 13/2020](#)).

6.4.3 Dopravné osvetlenie

Dopravné osvetlenie má niekoľko funkcií, vytyčuje trasu nechránenej únikovej cesty, ale aj hranicu vozovky – chodník, čo za zhoršenej viditeľnosti v prípade zadymenia uľahčuje orientáciu (obr. 23). Musí byť zabezpečené, že ako celok dopravné osvetlenie ostane funkčným aj v podmienkach požiaru, čiže sa musí zabezpečiť, aby porucha jedného alebo viacerých svietidiel nespôsobila znefunkčnenie napájania celej sekcie svietidiel. Nad dverami núdzových východov musí byť zo strany tunelovej rúry osadené svietidlo osvetľujúce podlahu v celej šírke dvier ([TP 13/2020](#)).

V tejto kapitole popísané bezpečnostné prvky cestných tunelov a ich funkciu, ktorú plnia v čase výskytu mimoriadnej udalosti v cestnom tuneli je možné lepšie pochopiť na doplnkovom zdroji študijnej literatúry, ktorým je [videozáznam](#) z previerkového cvičenia vybraných záchranných zložiek integrovaného záchranného systému, zameraného na riešenie dopravnej nehody a následným vznikom požiaru v tuneli Ovčiarsko.

SUMMARY

Road transport is still one of the most rapidly developing areas of the economy. With the development of transport, the demand for the construction of new, better roads is increasing, especially motorways and highways. Due to the negative effects of their tracing through mountains of Slovakia, building several road tunnels was considered. Tunnels require high construction, maintenance, and operation costs. They must meet special requirements for traffic safety and operational safety. A fire in a tunnel poses a great threat to all road users. The system of fire protection of road tunnels has a great influence on the construction-technical solution and technological equipment of the tunnel.

This publication discusses the issue of fire safety of road tunnels from several aspects and using the multimedia technology tools. It is divided into 6 chapters covering the issues the fire safety of building structures, fire dynamics, legal aspects of fire safety of road tunnels and its solution, as well as ventilation and introduction of the central control system, which is useful mostly in case of emergency (especially fire) in the road tunnel.

This textbook is intended mainly for students of the Fire Protection and Safety study field at the Technical University in Zvolen and other universities with similar specialisation as well as other professional but also the public interested in the subject matter.

TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK

Jednosmerná premávka	Premávka vozidiel iba v jednom smere v jednej tunelovej rúre.
Obojsmerná premávka	Premávka vozidiel v protismerných prúdoch v jednej tunelovej rúre.
Dvojrúrový tunel	Tunel s dvoma tunelovými rúrami spravidla s jednosmernou premávkou.
Jednorúrový tunel	Tunel s jednou tunelovou rúrou s jednosmernou alebo obojsmernou premávkou.
Nástupná plocha	Plocha pri portáli tunela určená na nástup hasičských a záchranných jednotiek a umiestnenie požiarnej techniky na vykonanie zásahu.
Stavebné objekty mimo tunelovej rúry	Stavebné objekty súvisiace s prevádzkou tunela a riadením premávky v tuneli, umiestnené v priestore portálu alebo pri portáli, prístupné z voľného priestranstva pred tunelom (operátorské pracovisko, rozvodne elektrickej energie, transformačné stanice, sklady a pod.); požiarne úseky týchto objektov nie sú súčasťou požiarneho úseku tunelovej rúry.
Prístupová komunikácia	Komunikácia umožňujúca prízjazd vozidiel integrovaného záchranného systému k portálu tunela.
Sebazáchrana	Schopnosť užívateľa tunela dosiahnuť bezpečné miesto alebo voľné priestranstvo samostatne alebo pomocou iných užívateľov tunela.
Úniková cesta	Trvalo voľná komunikácia alebo priestor v stavbe, ktorá umožňuje bezpečnú evakuáciu osôb zo stavby alebo z požiarneho úseku ohrozeného požiarom na voľné priestranstvo alebo do priestoru, ktorý nie je ohrozený požiarom
Nechránená úniková cesta	Úniková cesta, ktorá nie je chránená pred účinkami požiaru.
Chránená úniková cesta	Úniková cesta, ktorá poskytuje osobám vyšší stupeň ochrany pred účinkami požiaru

	ako nechránená úniková cesta, je od ostatných požiarnych úsekov oddelená požiarnymi deliacimi konštrukciami a požiarnymi uzávermi, je vetraná a umožňuje bezpečný pohyb osôb.
Núdzový východ	Východ z nechránenej únikovej cesty do chránenej únikovej cesty alebo na voľné priestranstvo.
Voľné priestranstvo	Východ z nechránenej únikovej cesty do chránenej únikovej cesty alebo na voľné priestranstvo.
Zhromaždisko osôb	Vnútorň priestor nachádzajúci sa v priestoroch chránenej únikovej cesty, v ktorom sa osoby môžu zdržiavať po určitý čas.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

r_e	Ekvivalentný čas trvania požiaru
Δp_{po}	Vztlak požiaru
h_{oi}	Výška i-teho otvoru v obvodových konštrukciách a konštrukciách striech ohraničujúcich požiaru úsek alebo jeho časť
F_0	Parameter odvetrania
\bar{K}	Súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva podľa STN 73 0824,
K_i	Súčiniteľ ekvivalentného množstva dreva i-tej horľavej látky
L_T	Dĺžka tunela
M_i	Hmotnosť i-tej horľavej látky v požiarom úseku alebo jeho časti
Q_{ods}	Objemový prietok odsávania
S_i	Pôdorysná plocha na ktorej sa vyskytuje i-té požiarne zaťaženie
S_k	Povrchová plocha konštrukcií
S_{oi}	Plocha i-teho otvoru v obvodových konštrukciách a konštrukciách striech ohraničujúcich požiaru úsek alebo jeho časť
S_s	Pôdorysná plocha, na ktorej sa nachádza sústredené požiarne zaťaženia
T_0	Teplota vzduchu pred požiarom
T_f	Priemerná teplota plynov na strane požiaru
U_T	Obvod pričného rezu tunela
c_p	Hmotnostná tepelná kapacita
k_{1ni}	Súčiniteľ výhrevnosti i-tého náhodného požiarneho zaťaženia
k_{1si}	Súčiniteľ výhrevnosti i-tého stáleho požiarneho zaťaženia
k_3	Súčiniteľ plochy
k_4	Súčiniteľ vplyvu tepelnotechnických vlastností konštrukcií ohraničujúcich požiaru úsek alebo jeho časti na priebeh teplôt v horiacom priestore
k_5	Súčiniteľ počtu podlaží
k_6	Súčiniteľ horľavosti konštrukčného celku
k_8	Súčiniteľ bezpečnosti
n_p	Počet podlaží
\bar{p}	Priemerné požiarne zaťaženie
p_n	Náhodné požiarne zaťaženie
p_{ni}	i-té náhodné požiarne zaťaženie
p_s	Stále požiarne zaťaženie
p_{si}	i-té stále požiarne zaťaženie
v_m	Výsledná rýchlosť odhorievania
v_p	Rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený palivom
v_v	Rýchlosť odhorievania látok pre požiar riadený ventiláciou
\bar{r}	Pravdepodobný čas trvania požiaru
CO_2	Oxid uhličitý
CRS	Centrálny riadiaci systém
e	Eulerovo číslo

E	Celistvosť
EN	Európska norma
EPS	Elektrická požiarňa signalizácia
EÚ	Európska norma
GSM	Global System for Mobile Communications
HaZZ	Hasičský a záchranný zbor
HRR	Rýchlosť uvoľňovania tepla
CHÚC	Chránená úniková cesta
I	Tepelná izolácia
<i>k</i>	Súčiniteľ požiarnej výhrevnosti
MV SR	Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky
NR SR	Národná strana Slovenskej republiky
NÚC	Nechránená úniková cesta
PBS	Protipožiarňa bezpečnosť stavieb
PÚ	Požiarň úsek
R	Nosnosť
S	Tesnosť proti prieniku dymu
SHZ	Stabilné hasiace zariadenie
STN	Slovenská technická norma
<i>t</i>	Čas od začiatku skúšky
<i>T</i>	Priemerná teplota v peci
<i>t*</i>	Parametrický čas od začiatku skúšky
<i>T_g</i>	Priemerná teplota plynu v peci
<i>T_g</i>	Priemerná teplota plynu v peci
TNV	Ťažké nákladné vozidlá
TP	Technické podmienky
W	Radiácia
<i>A</i>	Plocha svetlého prierezu tunela
<i>Q</i>	Tepelný výkon požiaru odovzdávaný do vzduchu
<i>S</i>	Pôdorysná plocha na požiarneho úseku
<i>g</i>	Tiažové zrýchlenie
<i>i</i>	Sklon vozovky
<i>j</i>	Počet druhov horľavej látky
<i>v</i>	Rýchlosť prúdenia
<i>α</i>	Koeficient vedenia tepla
<i>ρ</i>	Priemerná objemová hmotnosť vzduchu

VECNÝ REGISTER

C

- Centrálny riadiaci systém62, 73
Cestné tunely37, 46

D

- Dimenzovanie vetrania.....57, 59
Dĺžka únikovej cesty39
Dopravné osvetlenie68
Dopravné zariadenia.....66
Dopravné značky66
Dovolená veľkosť požiarneho úseku33
Dvere v únikových cestách.....40

E

- Elektrická požiarne signalizácia46, 74

H

- Hasiace prístroje50

K

- Komunikačné zariadenia64
Konštrukčný systém11

N

- Nástupné plochy43
Navádzací evakuačný systém63, 64

O

- Odvádzanie vody z povrchu vozovky51
Osvetlenie67, 68, 77

P

- Parameter odvetrania32, 73
Požiarne odolnosť8, 9, 35

- Požiarne riziko 18, 25, 26, 76
Požiarne výklenky..... 49
Požiarne zariadenia 45
Požiarne zaťaženie 20
Premávka 52, 54, 71
Prístupové komunikácie..... 42

R

- Rýchlosť odhorievania..... 33, 73

S

- Sos kabíny..... 25, 62, 63, 64
Stabilné hasiace zariadenie 46, 74

T

- Tunelový rozhlas 65

U

- Úniková cesta..... 25, 37, 38, 39, 71, 72, 74

V

- Vetranie.....40, 47, 52, 54, 55, 56, 57, 62
Videodohľad 65

Z

- Zariadenia na dodávku vody na hasenie
 požiarov 47
Zariadenia na protipožiarne zásah 42
Zariadenia na trvalú dodávku elektrickej
 energie pri požari..... 50
Zariadenie na odvod tepla a splodín horenia 47
Zariadenie núdzového volania 64
Zásahové cesty 45, 68

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1]. DONG, H.Q. a kol. 2019. Fully Coupled CFD Simulation of the Ignition Risk of Unburnt Gases in an Exhaust System Connected to a Mechanically Ventilated Enclosure Fire. In *Fire Technology*, 2019. 55(1): p. 149-174.
- [2]. JANARDHAN, R.K. - HOSTIKKA, S. 2017. Experiments and Numerical Simulations of Pressure Effects in Apartment Fires. In *Fire Technology*, 2017. 53(3): p. 1353-1377.
- [3].JI, J., a kol., 2018. Effects of ambient pressure on transport characteristics of thermal-driven smoke flow in a tunnel. In *International Journal of Thermal Sciences*, 2018. 125: p. 210-217.
- [4]. MAZZA, F. - M. FIORE - M. MAZZA. 2017. Dynamic Response of Steel Framed Structures Fire-Retrofitted with Viscoelastic-Damped Braces. In *International Journal of Civil Engineering*, 2017. 15(8A): p. 1187-1201 s.
- [5].MYILSAMY, D. - OH, C.B. - CHOI, B.I. 2019. Large eddy simulation of the backdraft dynamics in compartments with different opening geometries. In *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2019. 33(5): 2189-2201 s.
- [6]. Nariadenie európskeho parlamentu a rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh;
- [7].Nariadenie vlády SR č. 344/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti;
- [8]. PARK, J.W. a kol. 2017. Computational study of backdraft dynamics and the effects of initial conditions in a compartment. In *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017. 31(2): p. 985-993 s.
- [9].PETTERSSON, O. – MAGNUSSON, S.E – THOR,J. 1976. Fire engineering design of steel structures. Edtion ed.: Swedish Institute of Steel Construction Stockholm, 1976.
- [10].Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2004/54/ES z 29. apríla 2004 o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v transeurópskej cestnej sieti
- [11].STN 92 0201-1 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku;
- [12].STN 92 0201-2 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 2: Stavebné konštrukcie;
- [13]. STN 92 0201-3 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 3: Únikové cesty a evakuácia osôb;

- [14]. STN 92 0201-4 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 4: Odstupové vzdialenosti;
- [15]. STN 92 0202-1 Požiarna bezpečnosť stavieb. Vybavovanie stavieb hasiacimi prístrojmi;
- [16]. STN 92 0203 Požiarna bezpečnosť stavieb. Trvalá dodávka elektrickej energie pri požiari;
- [17]. STN 92 0204 Požiarna bezpečnosť stavieb. Priestory káblového rozvodu;
- [18]. STN EN 13501-1 (92 0850) Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň;
- [19]. STN EN 13501-2 (92 0850) Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti (okrem ventilačných zariadení).
- [20]. STN EN 16276 Evakuačné osvetlenie v cestných tuneloch;
- [21]. STN EN 1991-1-2 (73 0035) Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia konštrukcií namáhaných požiarom;
- [22]. STN EN 1992-1-2 (73 1201) Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- [23]. STN EN 1993-1-2 (73 1401) Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- [24]. STN EN 1994-1-2 (73 2089) Eurokód 4. Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru;
- [25]. ŠPILÁK, D. 2020. Zvukový záznam 1.wma. Zvuková nahrávka.
- [26]. TNI CEN/CR 14380 Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov;
- [27]. TP 049/2018 Technické podmienky. Vetranie cestných tunelov. Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií. 2015. 39 s.
- [28]. TP 13/2020 Technické podmienky. Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov. Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií. 2015. 40.
- [29]. Vyhláška MV SR č. 121/2002 Z. z. o požiarnej prevencii v znení neskorších predpisov;

- [30]. Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb v znení neskorších predpisov;
- [31]. WEINSCHENK, C.G. - OVERHOLT, K.J. - MADRZYKOWSKI, D. 2016. Simulation of an Attic Fire in a Wood Frame Residential Structure, Chicago, IL. In Fire Technology, 2016. 52(6): p. 1629-1658.
- [32]. WU, C. L. – CARVEL, R. 2017. An experimental study on backdraught: The dependence on temperature. In Fire Safety Journal, 2017, 91, 320-326.
- [33]. Zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon), v znení neskorších predpisov;
- [34]. Zákon č. 264/1999 Z. z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [35]. Zákon č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarimi v znení neskorších predpisov;
- [36]. Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [37]. Zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [38]. ZEHFUSS, J. 2011. Case studies of a new simplified natural fire model and safety concept for structural fire safety design. 2011.
- [39]. ZHANG, J. a kol. 2019. Investigation on Smoke Flow in Stairwells induced by an Adjacent Compartment Fire in High Rise Buildings. In Applied Sciences-Basel, 2019. 9 (7).



ISBN 978-80-228-3298-4