

**MINISTERSTVO DOPRAVY
ODBOR POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

METODICKÝ POKYN

Větrání silničních tunelů

**Volba systému, navrhování, provoz a zabezpečení jakosti
větracích systémů silničních tunelů**

Schváleno: MD-OPK č.j. 27/2013-120-TN/1
ze dne 8.4.2013 s účinností od 1.5.2013

Praha - 2013

Obsah

1	Úvod	6
1.1	Koncept a cíl metodického pokynu na technické požadavky	6
1.2	Rozsah platnosti a omezení	6
1.3	Směrodatné stavy pro větrání.....	7
1.4	Cíle větracích zařízení silničních tunelů	7
2	Analýza rizika vycházející z požáru v tunelu	8
3	Koncepty a systémy větrání tunelů	9
3.1	Kategorie tunelů.....	9
3.2	Koncepty požárního větrání.....	10
3.3	Analýza větrání za normálního provozu	10
3.4	Systémy větrání tunelu	11
3.5	Podélné proudění v tunelu.....	13
3.5.1	Ovlivňující parametry	13
3.5.2	Ovládání podélného proudění.....	13
4	Zkratky.....	14
5	Normy a předpisy	15
6	Doplňková literatura	16
	Přílohy	17
	Příloha A	18
7	Návrh projektu větrání	18
7.1	Zásady návrhu	18
7.2	Směrodatné údaje pro návrh	19
7.2.1	Údaje o tunelu	19
7.2.2	Provoz.....	19
7.2.3	Meteorologie a hustota vzduchu	19
7.3	Návrh požárního větrání	20
7.3.1	Návrhový požár	20
7.3.2	Zohlednění termodynamických efektů	20
7.3.3	Ovládání podélného proudění.....	21
7.3.4	Příčné odsávání	21
7.4	Návrh větrání pro normální provoz	23
7.4.1	Potřeba čerstvého vzduchu.....	23

7.4.2	Podélné větrání	23
7.4.3	Příčné větrání	24
7.5	Návrh ochrany proti emisím	24
7.6	Návrh větrání únikových cest	25
7.6.1	Požadavky na funkčnost únikových dveří	25
7.6.2	Dvoutroubové tunely s příčnými propojeními	25
7.6.3	Tunely s dodatečnými únikovými cestami	25
7.7	Proudové ventilátory a injektory	26
7.8	Přívodní a odsávací ventilátory	26
7.9	Klapky	27
7.10	Měření fyzikálních veličin v dopravním prostoru	27
7.10.1	Proudění vzduchu	27
7.10.2	Měřiče opacity a škodlivých látek	28
7.10.3	Měření teploty a vlhkosti	29
7.10.4	EPS	30
7.10.5	Měření dopravy	30
7.11	Monitorování přístrojů	30
7.11.1	Monitorování proudových ventilátorů	30
7.11.2	Monitorování přívodních a odsávacích ventilátorů	30
7.11.3	Monitorování klapek	31
7.12	Tepelná odolnost	31
7.13	Hluk	31
7.14	Rozhraní / požadavky na další profese	31
7.14.1	Zabránění vniknutí znečištěného vzduchu	31
7.14.2	Požadavky na stavbu u tunelů s odsáváním	32
7.14.3	Dodávka elektrické energie	32
7.14.4	Řízení provozu	32
Příloha B	33
8	Provozní stavy a řízení	33
8.1	Provozní stavy	33
8.2	Vyhodnocování signálů	33
8.2.1	Všeobecně	33
8.2.2	Měření proudění vzduchu	33

8.2.3	Detekce dýmu	33
8.2.4	Řídící hodnota v normálním provozu	34
8.2.5	Vlhkost, teplota, nasycení	34
8.3	Požární větrání	34
8.3.1	Spuštění	34
8.3.2	PV_A (tunely T1 bez regulace)	35
8.3.3	PV_B (tunely T3, T2 s podélným větráním a T1 s regulací)	35
8.3.4	PV_C (tunely T3, T2 s odsáváním), program předalarm (stupeň 1)	35
8.3.5	PV_C (tunely T3, T2 s odsáváním), program požární větrání (stupeň 2)	35
8.3.6	Fáze 2: Přístup HZS.....	36
8.3.7	Větrání nezasažené trouby u dvoutroubových tunelů	36
8.4	Normální provoz	36
8.4.1	Větrání dopravního prostoru	36
8.4.2	Ochrana proti emisím.....	37
8.4.3	Údržba.....	37
8.5	Regulace podélného větrání.....	37
8.5.1	Řídící hodnota a parametry.....	37
8.5.2	Požární větrání s vysokými požadavky	37
8.5.3	Požární větrání s nízkými požadavky.....	38
8.5.4	Odsávání pro ochranu proti emisím	39
8.5.5	Výpadek řídicí hodnoty	39
8.6	Větrání únikových cest.....	39
Příloha C	40
9	Zabezpečení jakosti	40
9.1	Všeobecné požadavky.....	40
9.2	Projekce.....	40
9.3	Zkoušky ve výrobě a ve zkušebně (FAT)	41
9.3.1	Všeobecné požadavky	41
9.3.2	Proudové ventilátory	41
9.3.3	Přívodní a odsávací ventilátory	41
9.3.4	Klapky	42
9.3.5	Měřicí přístroje	42
9.3.6	Řídící systém	42

9.4	Zkoušky v tunelu (SAT)	43
9.4.1	Všeobecně	43
9.4.2	Proudové ventilátory	43
9.4.3	Podélné větrání	43
9.4.4	Klapky	44
9.4.5	Přívodní a odsávací ventilátory	44
9.4.6	Netěsnost odsávání	45
9.4.7	Hluk	45
9.4.8	Příčné propojení a větrání chráněných únikových cest	45
9.4.9	Kontrola a kalibrace měřících přístrojů proudění vzduchu	46
9.4.10	Kontrola měřičů opacity	46
9.5	Komplexní zkoušky (SIT)	46
9.6	Dýmové zkoušky	47
9.7	Zkoušky tunelů v provozu	48
9.7.1	Automatické zkoušky v provozu	48
9.7.2	Optimalizace normálního provozu	48
9.7.3	Údržba a servis	48
9.7.4	Podrobné funkční zkoušky větracího zařízení	48
Příloha D	49
10	Výpočtová část	49
10.1	Aerodynamické modely	49
10.2	Provoz	49
10.3	Směrodatné protitlaky	49
10.4	Kritická rychlost proudění vzduchu	51
10.5	Požární vztlak	52
10.6	Potřeba čerstvého vzduchu	53

1 Úvod

1.1 Koncept a cíl metodického pokynu na technické požadavky

Metodický pokyn „VĚTRÁNÍ SILNIČNÍCH TUNELŮ“ je vypracován na základě dnešních znalostí a aktuálního stavu techniky větrání silničních tunelů v souladu s platným nařízením vlády č. 264/2009 Sb. [1] a zněním normy ČSN 73 7507 [19]. Metodický pokyn definuje doporučení na úpravu technických požadavků v TP 98 Kapitoly V. „Větrání tunelu“ (2004) a změně 1/2010, a v Technických kvalitativních podmínkách staveb pozemních komunikací, kap. 24 „Tunely“ (TKP 24).

Aby se dosáhlo cílů, které jsou popsány zde v Kap. 1.4, mají upravené TP98 Kap. 5 obsáhnout následující požadavky:

- Výběr vhodných konceptů větrání (zde Kap. 3)
- Návrh a výpočet větracích zařízení (zde Kap. 7)
- Popis funkčnosti, provozních stavů a řízení (zde Kap. 8)
- Kontrola jakosti a zkoušky na zabezpečení dodržení požadavků (zde Kap. 9)

Mimo úpravy TP98 kap. 5 se v Kap. 2 definuje postup pro analýzu rizika vycházející z požáru v tunelu. Tato analýza je podstatná část celkové analýzy rizik a slouží jako základ pro rozhodnutí pro vhodný koncept větrání. Toto rozhodnutí má největší vliv na investiční a provozní náklady.

1.2 Rozsah platnosti a omezení

K systémům větrání tunelů patří zejména tunelová trouba, propojky, vzduchovody, strojovny vzduchotechniky, ventilátory a klapky, jakož i měřicí a řídicí zařízení.

Metodický pokyn se vztahuje na větrání dopravního prostoru, jakož i propojek a únikových cest z dopravního prostoru silničního tunelu. Metodický pokyn se nevztahuje na větrání a klimatizaci budov, technických prostorů a kanálů pro technické rozvody.

Metodický pokyn nedefinuje postup projektování a realizace, kromě požadavků na zabezpečení jakosti dle kap. 9.2. V metodickém pokynu nejsou stanoveny žádné známé modely výpočtů a vzorce. Předpokládá se, že zhotovitel projektu má zodpovědnost za dodržení zde uvedených požadavků a zná výpočtové modely a vzorce potřebné pro návrh větrání. V případě potřeby je uveden odkaz na příslušné zdroje (viz kap. 10).

Metodický pokyn neobsahuje žádné detailní technické specifikace. Zhotovitel projektu resp. realizátor tunelu a větracích systémů má zodpovědnost za dodržení požadavků a potřebné jakosti po celou dobu předpokládané životnosti dle kap. 9.1.

Metodický pokyn neslouží na určení emisí v okolním prostředí, nýbrž stanovuje jen opatření pro případ, že jsou požadovány emisní studii (EIA).

Metodický pokyn nedefinuje metodologii na rizikovou analýzu. Riziková analýza na určení větracího konceptu ale musí obsahovat analýzu rizika vycházející z požáru v tunelu ve smyslu kap. 2.

1.3 Směrodatné stavy pro větrání

Pro návrh a provoz větrání silničních tunelů jsou směrodatné následující stavy:

- Normální provoz:
Tunel je otevřený pro provoz, osoby se zdržují v tunelu jen krátce během přejezdu
- Údržba:
Tunel je zcela nebo částečně uzavřen pro provoz, osoby se mohou v tunelu zdržovat delší dobu
- Požární větrání:
Tunel musí být uzavřen pro provoz, osoby se mohou zdržovat v tunelu, musí však mít možnost opustit tunel co nejdříve.
Při požáru tvorba dýmu / snížená viditelnost, ohrožení života

1.4 Cíle větracích zařízení silničních tunelů

Cíle pro normální provoz:

- Dodržení přípustných mezních hodnot škodlivin pro krátkodobou expozici v tunelu
→ dostatečný přívod čerstvého vzduchu
- Dostatečná viditelnost v tunelu pro bezpečný provoz dopravy
→ dostatečný přívod čerstvého vzduchu
- Dodržení mezních hodnot emisí v okolí tunelu
→ v případě potřeby vzduch z tunelu vyfouknout a ředit v atmosféře, nebo filtrovat

Cíle pro údržbu:

- Dodržení přípustných mezních hodnot škodlivin pro dlouhodobou expozici (pracoviště) v tunelu
→ dostatečný přívod čerstvého vzduchu

Cíle pro normální provoz a pro údržbu se dají zabezpečit bez větracího zařízení v případě potřeby omezením emisí, čili řízením provozu.

Cíle pro požární větrání:

- Udržování a vytvoření bezdýmových zón pomocí kontroly šíření dýmu v dopravním prostoru.
Fáze 1: Podpora sebezáchrany uživatelů tunelu
Fáze 2: Umožnit přístup pro IZS
- Zabránění šíření dýmu do únikových a přístupových cest

Riziko vycházející z požáru v tunelu je možné bez větracího zařízení snížit omezením provozu a dalšími opatřeními.

2 Analýza rizika vycházející z požáru v tunelu

Riziko události se definuje jako pravděpodobnost události násobená rozsahem škody.

Požární větrání ovlivňuje riziko vycházející z požáru v tunelu, přičemž riziko vycházející z požáru je jenom menší část celkového rizika. Celkové riziko je možné metodicky vypočítat rizikovou analýzou.

Analýza rizika vycházející z požáru v tunelu může prokázat užitek jednotlivých konceptů a zařízení požárního větrání. Na analýzu je nutno použít dynamické modely požárního větrání, šíření kouře a úniku osob na výpočet rozsahu škod při rozdílných scénářích požáru.

Pravděpodobnost jednotlivých scénářů je určena na základě statistických dat.

Použité modely musí být ověřené pomocí naměřených hodnot z požárních zkoušek a reálných požárů v tunelech. Protože je nutno vypočítat velké množství variant a scénářů, zpravidla jsou vhodné 1-D modely. 3-D modely jsou časově náročné a doporučují se jenom pro vybrané scénáře, např. na posouzení vrstvení kouře.

Scénáře se definují pro posuzovaný tunel variací následujících parametrů:

- Stav provozu
- Počet zasažených osob
- Vnější meteorologické podmínky
- Typ a výkon požáru
- Případné rozdílné koncepty větrání
- Případné rozdílné počty a odstupy únikových cest z trouby s náklady pro každou variantu: investice a provoz během předpokládané životnosti
- Variace parametru větrání a zařízení, které mají také přímý vliv na časový postup: vznik požárů - detekce - náběh zařízení - čas kdy větrání docílí požadovaného stavu
- Případný zásah složek IZS

Analýza požárního větrání, která je součástí analýzy rizik, musí prokázat pro každý scénář a každou variantu:

- V které oblasti mohou být osoby zasaženy
- Kde se pohybuje dým, mezi vznikem požáru a detekcí, než naběhne požární větrání
- Ovlivnění pohybu dýmu požárním větráním
- Předpokládaný počet obětí na základě expozice v dýmu a rychlosti úniku
- Předpokládané finanční škody (včetně nákladů na rekonstrukci) v důsledku události
- Pro každou variantu se mají vypočítat náklady na investice, údržbu a provoz během předpokládané životnosti. S tím lze vypočítat pro každou variantu hodnotu za zachráněný život / užitečnost bezpečnostního zařízení.

3 Koncepty a systémy větrání tunelů

3.1 Kategorie tunelů

Kategorizace tunelů pro požadavky na větrání je postavena na:

- Požadavku na bezpečnost / požární větrání
- Požadavku na normální provoz / přívod čerstvého vzduchu
- Kategorizaci z hlediska bezpečnostního vybavení (viz *TP98 změna 1/2010, obrázek 2-1*)

Tunely bez mechanického větracího zařízení nejsou předmětem tohoto metodického pokynu.

Pro tunely kategorií TD / TD-H a TC není nutné instalovat mechanické větrací zařízení. Pro tunely kategorií TC-H je nutné instalovat mechanické větrací zařízení jenom v případě, že analýza rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2 prokáže jeho nezbytnost.

Pro tunely kategorií TB / TA s provozem méně než 2000 voz/den/JP nebo s délkou pod 1000 m, je nutné instalovat mechanické větrací zařízení jenom v případě, že analýza rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2 a nebo analýza větrání za normálního provozu prokáže jeho nezbytnost.

Dle nařízení vlády [1] pro tunely s provozem více než 2000 voz/den/JP a délkou nad 1000 m je vždy nutné instalovat mechanické větrací zařízení.

Pro požadavky na bezpečnost / požární větrání jsou směrodatné následující kategorie tunelů:

- **T1**
tunely s jednosměrným provozem a malou pravděpodobností kongesce (běžně dálniční tunely)
- **T2**
tunely s jednosměrným provozem a velkou pravděpodobností kongesce (běžně dvoutroubové městské tunely)
- **T3**
tunely s obousměrným provozem

Tunel s jednosměrným provozem se zařadí do kategorie T2, když se v případě požáru nedá zabezpečit, že vozidla za místem požáru mohou opustit tunel. Na to je směrodatná situace následujících komunikací (pravděpodobnost zácpy za tunelem, křižovatky, semaforey atd.) a možnost řízení dopravy.

Mimořádný obousměrný provoz v tunelu s běžným jednosměrným provozem se pro definici kategorie nebere do úvahy.

3.2 Koncepty požárního větrání

Definují se následující koncepty požárního větrání:

PV_0: Přirozené (podélné) větrání

Žádné mechanické větrání, nebo větrací zařízení bude vypnuté

Běžně vhodné pro krátké tunely, nebo pro tunely kat. T1 při mimořádném obousměrném provozu.

PV_A: Podélné větrání s pevným nastavením, běžně vhodné pro tunely kat. T1.

Přípustné podélné rychlosti mezi kritickou rychlostí a max. 10 m/s.

PV_B: Podélné větrání s regulací proudění na definovanou hodnotu, běžně vhodné pro tunely kat. T2 a T3, a pro tunely T1 když není přípustný koncept PV_A.

Regulace podélné rychlosti na definovanou hodnotu:

- cca kritickou rychlost u tunelů T1 a T2 při volném provozu
- cca 1.2 m/s u tunelů T3 a T2 při zácpě (s velkou přesností)

PV_C: Příčné odsávání kouře, běžně vhodné pro tunely T2 a T3

když není přípustný koncept PV_B

Regulace podélné rychlosti na symetrické proudění k místu odsávání (s velkou přesností).

3.3 Analýza větrání za normálního provozu

Pro tunely kat. T1 s délkou do cca 5000 m, a T2 /T3 do cca 2000 m se dá předpokládat, že větrací zařízení dimenzované na požární větrání bude vždy dostatečné i pro normální provoz, nebo že žádné větrání pro normální provoz není potřeba. U těchto tunelů není zapotřebí analýza větrání za normálního provozu.

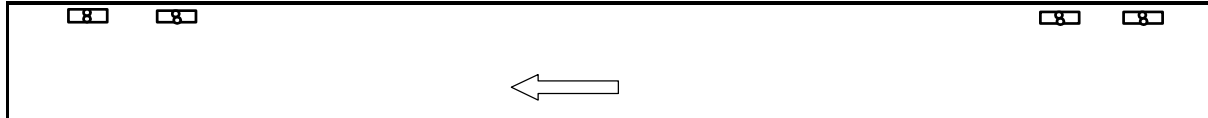
Pro všechny ostatní tunely se doporučuje vypočítat požadavek čerstvého vzduchu a přirozené větrání dle kap. 7.4.1 na posouzení účinku větracího zařízení za normálního provozu.

Nezávisle na tom může být požadováno větrací zařízení na omezení emisí z portálů za normálního provozu emisní studií (EIA).

3.4 Systémy větrání tunelu

Výhodné systémy jsou popsány následně s ubývajícím jednoduchostí:

Průběžné podélné větrání

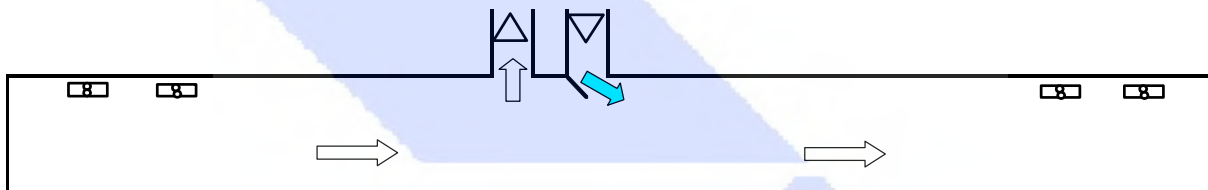


Obr. 1 Podélné větrání

Vhodné pro tunely T1. Vhodné pro tunely T2 a T3, když analýza rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2 prokáže přípustnost.

Podélné větrání s výměnou vzduchu

(Bodové odsávání a následně vhánění vzduchu skrz injektor)

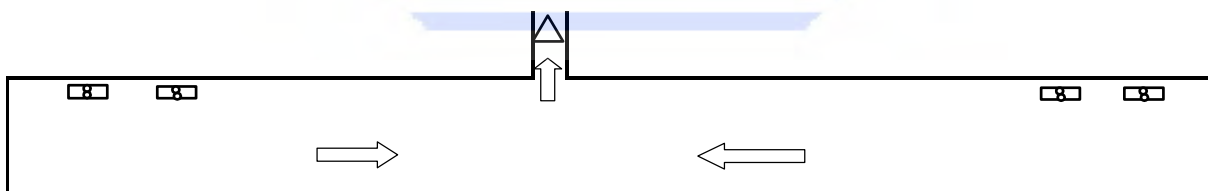


Obr. 2 Podélné větrání s výměnou vzduchu

Když požadavky na normální provoz dle kap. 7.4.2 nepřipustí průběžné podélné větrání, může se přidat zařízení na výměnu vzduchu. Vhodné pro velmi dlouhé tunely T1.

Koncentrované příčné odsávání v pevně daném místě

rozdělující tunel na dva úseky s podélným větráním

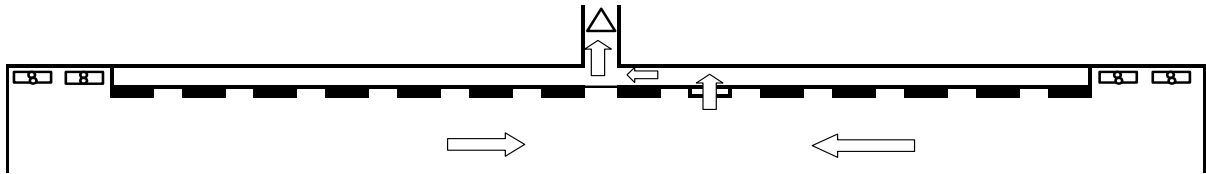


Obr. 3 Koncentrované odsávání v pevně daném místě

Koncentrované odsávání blízko středu tunelu v tunelech T3 může být účinné, když je požadavek na omezení emisí z portálů, když analýza rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2 prokáže přípustnost. Koncentrované odsávání blízko portálu může být použito u tunelů T1 a T2 dodatečně k podélnému větrání na omezení emisí z portálů.

Nastavitelné příčné odsávání

Místo odsávání lze nastavit prostřednictvím klapek a vzduchotechnických kanálů, rozdělující tunel na dva úseky s podélným větráním, umožňující koncept požárního větrání PV_C, přičemž odsávání má být co nejkonzentrovanejší.



Obr. 4 Koncentrované odsávání prostřednictvím klapek a vzduchotechnického kanálu

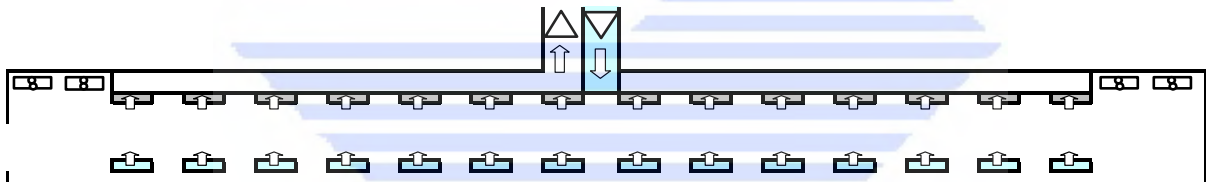
Vhodné pro tunely T2 a T3, když analýza rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2 prokáže, že jednodušší systém není přípustný.

Účinné, když požadavky na normální provoz nepřipustí průběžné podélné větrání ani odsávání v pevně daném místě.

Dle nařízení vlády [1] pro tunely T3 s provozem více než 2000 voz/den/JP a délkou nad 3000 m je vždy požadované nastavitelné příčné odsávání prostřednictvím klapek a vzduchotechnického kanálu.

Příčné větrání

Rozložený lineární přívod čerstvého vzduchu přes pevné otvory a lineární odsávání přes částečně otevřené klapky, se vzduchotechnickými kanály.



Obr. 5 Příčné větrání

Vhodné pro tunely T2 a T3 když požadavky na normální provoz nepřipustí podélné větrání ani koncentrované odsávání.

Příčné větrání se používá jenom při normálním provozu. Na požární větrání se přestaví na koncentrované příčné odsávání (PV_C) přes naplno otevřené klapky na místě požáru a zavřené klapky v ostatních částech tunelu, bez příčného přívodu vzduchu.

Další řešení systémů větrání

U nových tunelů se má vždy postupovat dle zde popsaného schématu. Při rekonstrukci existujících tunelů se jejich větrací zařízení má dle možností přizpůsobit na zde definované systémy. Odlišné koncepty jsou přípustné jenom v mimořádných případech, když to je technicky a ekonomicky zdůvodněné.

Polopříčné větrání s rozloženým lineárním odsáváním bez přívodu čerstvého vzduchu nebo lineárním přívodem čerstvého vzduchu bez odsávání není přípustné protože je nevhodné pro bezpečnost a kvalitu vzduchu v jízdním prostoru. Bodový přívod čerstvého vzduchu je přípustný jenom u injektorů.

Vhánění vzduchu z jedné tunelové trouby do druhé se z důvodu bezpečnosti nedoporučuje .

3.5 Podélné proudění v tunelu

3.5.1 Ovlivňující parametry

Pro větrání tunelu je nejdůležitější stav podélného proudění v tunelu. Podélné proudění vzduchu ovlivňují následující parametry:

- Geometrické parametry tunelu
- Provoz větracího zařízení
- Provoz dopravy
- Vztlková síla v důsledku teplotních rozdílů uvnitř a vně tunelu
- Vnější vítr
- Barometrické tlakové rozdíly
- V případě požáru: Vztlková síla tepla uvolněného při požáru
- Provoz dalších zařízení v tunelu jako např. sprinklerů
- Setrvačnost vzduchu

Pro návrh větracího zařízení jsou stanovené směrodatné údaje pro tyto faktory dle kap. 7.2.3. Tím je jednoznačně definovaný rozsah vymezující návrh větrání.

3.5.2 Ovládání podélného proudění

Pro ovládání podélného proudění v tunelu se rozlišují tři stupně:

Pevné nastavení (počtu a směru běžících proudových ventilátorů):

- Pro větrání tunelu při normálním provozu
- Požární větrání PV_A u tunelů T1
- Manuální ovládání

Regulace s nízkými požadavky na přesnost a rychlost (viz kap. 8.5.3):

- požární větrání PV_B u tunelů T1, když pevné nastavení není přípustné
- v případě potřeby pro ochranu proti emisím

Regulace s vysokými požadavky na přesnost a rychlost (viz kap. 8.5.2):

- požární větrání PV_B a PV_C u tunelů T2 a T3

Impuls pro ovládání podélného proudění je ve všech tunelech s mechanickým větráním, nezávisle na konceptu, zabezpečen pomocí injektorů (systém se soustředěným, usměrňovaným přívodem vzduchu do tunelu) nebo proudovými ventilátory (systém bez přívodu vzduchu). Pro injektory se zpravidla doporučuje umístění v blízkosti portálu, kromě stanic pro výměnu vzduchu dle Obr. 2.

4 Zkratky

u	Rychlost (proudění vzduchu, m/s)
A	Plocha (m ²)
Q	objem průtoku (m ³ /s)
T	Tunel
PV	Požární větrání
CCTV	Closed Circuit Television (Systém videodohledu)
CO	Oxid uhelnatý
NO	Oxid dusný
NO ₂	Oxid dusičitý
EIA	Environmental Impact Assessment (Vyhodnocení vlivů na životní prostředí)
FAT	Factory Acceptance Tests (Zkoušky zařízení ve zkušebně)
SAT	Site Acceptance Tests (Zkoušky zařízení na objektu)
SIT	Site Integration Tests (Komplexní zkoušky)
FM	Frekvenční měnič
JP	Jízdní pruh
p	pressure (tlak)
dp	delta pressure (tlaková ztráta)
PIARC	World Road Association (Světová silniční asociace)
PLC	Programmable Logical Control (programovatelný automat)
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety (Spolehlivost, dostupnost, snadná údržba, bezpečnost)
TNV	Těžké nákladní vozidlo
UPS	Uninterrupted power supply (napájení zajištěné proti přerušení)

5 Normy a předpisy

- [1] Nařízení vlády č. 264/2009 Sb., o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delší než 500 metrů
- [2] ČSN EN ISO 5801 (122014). Průmyslové ventilátory: Zkoušení výkonu s použitím normalizovaného vzduchovodu
- [3] ČSN EN ISO 5802 (122015). Průmyslové ventilátory: Zkoušení výkonu in situ
- [4] ISO 13'347 Industrial fans — Determination of fan sound power levels under standardized laboratory conditions
- [5] ČSN EN ISO 13350 (122018). Průmyslové ventilátory: Zkoušení výkonu proudových ventilátorů
- [6] ISO 14 694 Industrial fans – Specifications for balance quality and vibration levels
- [7] ČSN ISO 1940-1 Vibrace: Požadavky na jakost vyvážení rotorů v konstantním (tuhém) stavu – Část 1: Stanovení vyvažovacích tolerancí a ověření nevyváženosti
- [8] ČSN EN 60034-1 ed. 2 (350000). Točivé elektrické stroje: Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti
- [9] D-A-CH-CZ 301-004 Pravidla D-A-CH-CZ pro posuzování zpětných vlivů v sítích VVN
- [10] ČSN EN 12101-3 (389700). Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla Část 3: Technické podmínky pro ventilátory pro nucený odvod kouře a tepla
- [11] ČSN EN 12101-6 (389700). Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla Část 6: Technické podmínky pro zařízení pracující na principu rozdílu tlaků - Sestavy
- [12] ČSN EN 1366-10 (730857). Zkoušky požární odolnosti provozních instalací Část 10: Klapky pro odvod kouře
- [13] ČSN EN ISO 12944 Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy
- [14] TP 229. Technické podmínky: Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací.
- [15] Zákon č. 148/2006 Sb. ze dne 15. března 2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [16] Zákon č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- [17] ČSN ISO 1996-1. Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí: Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení
- [18] ČSN 12 0017. Metody měření a hodnocení hluku vzduchotechnických zařízení: Všeobecná ustanovení
- [19] ČSN 73 7507. Projektování tunelů pozemních komunikací

Všechny normy a předpisy v platném znění

Chybí TP 98

6 Doplnková literatura

- [20] DIRECTIVE 2004/54/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, 2004
- [21] Fire and smoke control in road tunnels, PIARC 05.05.B, 1999
- [22] Road tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation, PIARC 2012R05EN, 2012
- [23] Systems and Equipment for fire and smoke control in road tunnels, PIARC 05.16.B, 2007
- [24] Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), 2006
- [25] RVS 09.02.31, Tunnel, Tunnelausrüstung, Belüftung, 2008
- [26] Planungshandbücher ASFinAG
- [27] Směrnice pro větrání silničních tunelů, ASTRA 13.001
- [28] Směrnice pro větrání bezpečnostních chodeb silničních tunelů, ASTRA 13.002
- [29] Směrnice pro detekci požáru v silničních tunelech, ASTRA 13 004
- [30] Les dossiers pilote du CETU – Ventilation, 2003
- [31] NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and other Limited Access Highways, 2008 Edition
- [32] A. Haerter, Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Lüftungsanlagen von Strassentunneln, Zürich 1961
- [33] K. Opstad, P. Aune, J.E. Henning, Fire Emergency Ventilation Capacity for Road Tunnels with Considerable Slope, 1997
- [34] I.E. Idelchik, Handbook of Hydraulic Resistance: A Design Guide for Engineers
- [35] P. Pospisil, L. Ilg, et al., Influencing the longitudinal airflow in road tunnels in case of fire, ASTRA, 2010

Přílohy

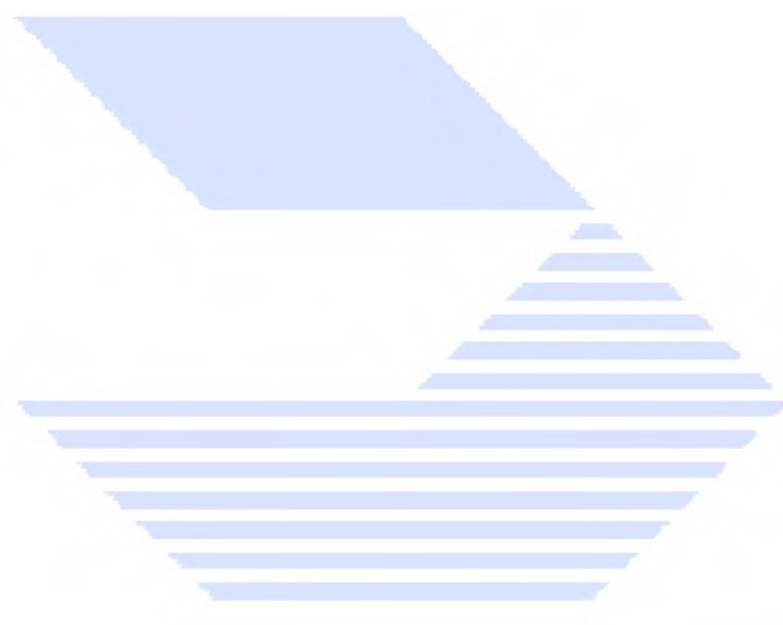
Následující kapitoly se doporučují uvést jako přílohy k TP98 Kap. 5.

Příloha A Návrh projektu větrání

Příloha B Provozní stavy a řízení

Příloha C Zabezpečení jakosti

Příloha D Výpočtová část



Příloha A

7 Návrh projektu větrání

7.1 Zásady návrhu

Při výběru systému větrání tunelu se má vždy vycházet z nejjednoduššího systému (podle kap. 3.4) a jít o stupeň výše jenom, když jednodušší koncept nesplní zde definované požadavky.

Kategorie	Vhodný systém větrání	Koncept požárního větrání
T1 dálniční tunely	Průběžné podélné větrání	PV_A: Podélné větrání s pevným nastavením PV_B: Podélné větrání s regulací proudění / nízké požadavky na regulaci
T2 dvoutroubové městské tunely	Průběžné podélné větrání (Nastavitelné příčné odsávání)	PV_B: Podélné větrání s regulací proudění na definovanou hodnotu / <i>vysoké požadavky</i> na regulaci PV_C: Příčné odsávání kouře
T3 tunely s obousměrným provozem	Průběžné podélné větrání Nastavitelné příčné odsávání Příčné větrání	PV_B: Podélné větrání s regulací proudění na definovanou hodnotu / <i>vysoké požadavky</i> na regulaci PV_C: Příčné odsávání kouře

Pro normální provoz i pro požární větrání má být použité stejné větrací zařízení.

Zde popsané požadavky se mají splnit s co nejnižšími náklady na investice, provoz a údržbu s ohledem na minimalizaci stavebních nákladů. Když není jednoznačně vyhovující podélné větrání, je nutno provést analýzu rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2, přičemž se mají srovnat rozdílné varianty větrání a únikových cest, a pro každou variantu předběžně vypočítat náklady na investice, provoz a údržbu. Systémy se vzduchotechnickými kanály (Nastavitelné příčné odsávání, příčné větrání) jsou zpravidla účinné jenom v tunelech kde se předpokládá častější provoz větrání pro normální provoz.

Návrh větracího zařízení je proveden na základě stacionárních výpočtů. Pro návrh větracího zařízení v rámci DUR (Dokumentace pro územní rozhodnutí) je možno použít předběžné hraniční hodnoty dle kap. 10.3. V rámci DSP (Dokumentace pro stavební povolení), nejpozději při PDPS (Projektová dokumentace pro provedení stavby) je nutno návrh větracího zařízení pro vybranou variantu přepočítat s reálnými, měřenými hodnotami vnějších vlivů dle kap. 10.3.

V rámci PDPS nebo RDS (Realizační dokumentace stavby) mohou být pro ověření a optimalizaci řízení větrání vhodné dynamické simulace pro vybrané scénáře.

7.2 Směrodatné údaje pro návrh

7.2.1 Údaje o tunelu

- Poloha všech tunelových trub a větví tunelu s portály
- Počet trub
- Počet jízdnic pruhů na každou troubu / větev tunelu
- Délka tunelu na každou troubu / větev tunelu
- Podélný profil (délky, stoupání) s nadmořskou výškou
- Směrodatné průřezy
- Poloha příčných propojení mezi tunelovými trouby
- Možné polohy vzduchotechnických strojoven a odsávacích komínů
- Nouzové východy, únikové a záchranné štoly (vzdálenost, tvar, stoupání)
- (případně pozdější rozsáhlejší změny v dohledné době)

7.2.2 Provoz

- Jednosměrný nebo obousměrný provoz
- Rok uvedení do provozu
- Směrodatná rychlost = Maximální povolená rychlost
- Prognóza: Průměrný denní provoz, s podílem těžkých nákladních vozidel (TNV) v roce otevření a o 10 roků později
- Prognóza: Početnost kongescí v tunelu v roce otevření a 10 roků později
- Při jednosměrném provozu v případě požáru možnost zabezpečení, aby vozidla za místem požáru mohla opustit tunel
- (Případně pozdější změny v dohledné době)

7.2.3 Meteorologie a hustota vzduchu

- Roční průměr barometrického tlaku p_0
- 5 -percentil vnějších teplot T_{a5}
- 5 -percentil vnitřní teploty tunelu T_{i5}
- 95 -percentil vnějších teplot T_{a95}
- 95 -percentil vnitřní teploty tunelu T_{i95}
- 95 -percentil rychlostí větru u_{WA} , u_{WB} , ... na všech portálech ve směru osy tunelu
- 95 -percentil maximálního vyskytujícího se barometrického tlakového rozdílu mezi portály tunelu dp_b

Z ρ_0 a T_{a5} je potřebné vypočítat směrodatnou hustotu vzduchu ρ_0 .

Z T_{a5} a T_{i5} je potřebné vypočítat směrodatný vztlak nahoru (v zimě).

Z T_{a95} a T_{i95} je potřebné vypočítat směrodatný vztlak dolů (v létě).

7.3 Návrh požárního větrání

7.3.1 Návrhový požár

Výkon navrhovaného požáru určují pro stacionární návrh větrání následující hodnoty dle kap. 10.3:

- vztlak
- tlakovou ztrátu způsobenou požárem
- tlakové ztráty způsobené změnou hustoty

Směrodatný požární výkon pro návrh větrání se určuje dle předpokládaného počtu těžkých nákladních vozidel (TNV) v trubě:

≤ 100 (TNV/den/troubu x km) :	Směrodatný požární výkon 5 MW
$100 < (TNV/den/troubu \times km) \leq 4000$:	Směrodatný požární výkon 30 MW
> 4000 (TNV/den/troubu x km):	Směrodatný požární výkon 50 MW

Odlíšný požární výkon je v případě potřeby možné určit na základě rizikové analýzy.

Množství produkovaného dýmu není směrodatné pro návrh větrání. Pro dynamické simulace např. pro analýzu rizika vycházející z požáru v tunelu nebo pro ověření stavů řízení je nutno použít model produkce dýmu, který je ověřen dle skutečných požárů.

7.3.2 Zohlednění termodynamických efektů

Požární větrání se navrhuje ve studeném stavu s konstantní hustotou ρ_0 , přičemž se musí brát v úvahu tlakové ztráty termodynamických efektů (změna hustoty, blokování volného průřezu požárem). Na to se zde definují dodatečné bezpečnostní přídatky.

Pro mimořádné případy, např. při vysokém počtu těžkých nákladních vozidel (TNV) kde analýza rizika vycházející z požáru v tunelu vede k vysokému požárnímu výkonu, se doporučuje požární větrání přepočítat ověřeným modelem zohledňujícím model požáru, variabilní hustotu a chlazení přes stěny tunelové trouby a případně odsávacího kanálu. Pro účel zkoušek se takto vypočítané parametry musí přepočítat na chladný vzduch s hustotou ρ_0 .

7.3.3 Ovládání podélného proudění

Ve všech tunelech s větracím zařízením se musí docílit kritická rychlost proudění. U tunelů s podélným větráním ve všech směrodatných průřezech tunelu, u tunelů s nastavitelným příčným odsáváním jenom v oblasti portálů.

Doporučuje se vypočítat kritickou rychlost dle Kennedyho modelu (viz kap. 10.1).



Obr. 6 Model podélného větrání se směrodatnými tlaky

Kritická rychlost musí být v tunelu dosažena proti směrodatným tlakům (viz kap. 10.3) u tunelů kat. T1 a T2 v každé trubě ve směru provozu, u tunelů kat. T3 v obou směrech.

Požadavky na ovládání podélného proudění musí být splněny při zohlednění výpadku nejméně jednoho průřezu s proudovými ventilátory nebo jednoho injektoru.

Návrh podélného větrání určuje tah a počet proudových ventilátorů, případně parametry injektorů a provozní bod jejich přívodních ventilátorů.

Pro tunely T1 se po výpočtu podélného větrání musí provést dodatečný výpočet podélného proudění při provozu požárního větrání, když směrodatné protitlaky působí ve směru provozu, čili podporující požární větrání. Když by v takovém případě výpočtová rychlost v tunelu při provozu požárního větrání přesáhla hodnotu 10 m/s, musí se aplikovat regulace dle kap. 3.5.2 a 8.5.3 (požární větrání PV_B), jinak je přípustné pevné nastavení (požární větrání PV_A).

7.3.4 Příčné odsávání

Pro dimenzování odsávacích klapek a ventilátorů na příčné odsávání platí následující požadavky:

- Dimenzování odsávání se realizuje při směrodatné hustotě dle kap. 7.2.3 pro jednu otevřenou odsávací klapku (nebo více klapek na stejném místě) na nejnevhodnějším místě odsávání.
- Nominální odsáté množství na místě odsávání přes otevřenou klapku:
 $\geq 3 \text{ m/s} \cdot \text{směrodatný tunelový průřez [m}^2\text{]}$
- Velikost klapek na odsávání se určuje na průměrnou rychlost vzduchu 25 m/s v otevřené klapce.
- Odsávací klapky jsou rozmístěné v maximální vzdálenosti 100 m. Kratší vzdálenosti je možné stanovit na základě analýzy rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2.

- Mezi portálem a první odsávací klapkou vzniká úsek s podélným větráním bez odsávání. Minimální vzdálenost toho úseku je zpravidla 100 m. Maximální vzdálenost toho úseku se dá stanovit na základě analýzy rizika vycházející z požáru v tunelu dle kap. 2.
- Při návrhu odsávacích ventilátorů je potřebné zohlednit následující hodnoty netěsnosti:
Uzavřené odsávací klapky a případně uzavírací klapky:
Dvojnásobná hodnota přípustné netěsnosti jednotlivé klapky ve zkušebním stavu
 $L_{\text{výpočet}} = (dp/1000 \text{ Pa})^{0.75} \cdot 2 \cdot L_{\text{klapka}}$ (L_{klapka} ve smyslu kap. 9.3.4)
Odsávací kanál: Dvojnásobná hodnota přípustné netěsnosti nového kanálu:
 $L_{\text{výpočet}} = (dp/1000 \text{ Pa})^{0.75} \cdot 2 \cdot L_{\text{stavba}}$ (L_{stavba} ve smyslu kap. 7.14.2)
dp: místní rozdíl tlaku mezi odsávacím kanálem a jízdním prostorem.
- Při návrhu odsávacích ventilátorů je nutné brát do úvahy tlakovou rezervu cca 10% na dodatečnou tlakovou ztrátu způsobenou změnou hustoty při odsávání teplého vzduchu.
- Odsávání je nutno zabezpečit dvěma ventilátory vedle sebe, které běží paralelně. Tímto při výpadku jednoho odsávacího ventilátoru je zpravidla zabezpečené odsáté množství cca. 65% žádané hodnoty dle kap. 7.3.4.
- Při návrhu odsávacích ventilátorů v paralelním chodu se musí zabezpečit dodatečná tlaková rezerva do max. přípustného tlaku, aby v žádném případě nepřišlo k odtrhnutí proudění (viz 7.8).
- U dvoutroubových tunelů s odsáváním se nebere do úvahy souběžný provoz odsávání v obou trubách. Proto mohou být stejné ventilátory využité na odsávání s obou trub.
- Zpravidla stačí pro tunel dva odsávací ventilátory v jedné strojovně vzduchotechniky. U tunelů delších než 3000 m nebo s více větvemi se doporučuje analýza, jestli nejsou vhodné dodatečné strojovny a ventilátory.

Výpočtový model viz kap. 10.1. Návrh odsávání definuje pozice a velikosti odsávacích klapek, provozní body odsávacích ventilátorů, a maximální místní rozdíl tlaků mezi odsávacím kanálem a jízdním prostorem dp_{max} .

7.4 Návrh větrání pro normální provoz

7.4.1 Potřeba čerstvého vzduchu

Pro tunely kde se dle kap. 3.3 předpokládá nutnost výpočtu potřeby čerstvého vzduchu, musí být tato hodnota vypočítaná stacionárně pro všechny směrodatné provozní stavy dopravy:

- Pro tunely s malou pravděpodobností kongesce pro směrodatnou rychlost, pro rychlost 60 km/h a pro rychlost 40 km/h.
- Pro tunely s velkou pravděpodobností kongesce dodatečně pro rychlosti 20 km/h, 10 km/h a pro stojící provoz (0 km/h).

Výpočet je prováděn pro opacitu navrhovanou modelem dle kap. 10.6. Směrodatná hodnota pro výpočet potřeby čerstvého vzduchu je extinkční koeficient 5/km .

Pokud to studie EIA vyžaduje, potom je možné dodatečně uskutečnit výpočet emisní hodnoty NO₂ se směrodatnou návrhovou hodnotou 0,5 ppm.

Na základě předpovědi dopravy a potřeby čerstvého vzduchu se dá odhadnout, zda je možné předpokládat častější provoz větrání pro normální provoz nebo ne. Jako hraniční hodnota se navrhuje předpokládaná provozní doba 300 h/rok.

7.4.2 Podélné větrání

Při podélném větrání musí větrací zařízení dosahovat minimální rychlost proudění vzduchu 1,5 m/s ve všech větvích tunelu. Navíc je potřebné zohlednit potřebu čerstvého vzduchu dle kap. 7.4.1. Směrodatná je vyšší projektovaná hodnota přívodu vzduchu.

Pro tunely s jednosměrným provozem je pro návrh potřebné zohlednit přírodní větrání v důsledku provozu, bez zohlednění protitlaků.

U tunelu s obousměrným provozem musí být možnost provozovat podélné větrání proti hlavnímu směru provozu se směrovým rozdělením 60 % - 40 % při zohlednění protitlaků v smyslu kap. 10.3 (bez požáru) v nepříznivém směru.

Rychlost proudění vzduchu v jízdním prostoru nesmí při provozu větracího zařízení překročit následné maximální hodnoty:

- Tunely T1 a T2 při plynulém jednosměrném provozu: 10 m/s
- Tunely T2 při kongesci a tunely T3: 3 m/s

Pokud by návrh vedl k překročení dovolených rychlostí proudění vzduchu, nebo by nemohly být umístěné proudové ventilátory, tak potom je potřebné uplatnit jiný systém větrání ve smyslu kap. 3.4.

7.4.3 Příčné větrání

Při příčném větrání musí být vhánění přívodního vzduchu a odsávání odpadního vzduchu rovnoměrně rozložené po celé délce tunelu (viz Obr. 5) s výjimkou úseků s podélným větráním.

Pro rozdělené vhánění přívodního vzduchu je nutné umístit v dopravním prostoru otvory pro přívod vzduchu s maximální vzdáleností 25 m. Otvory pro přiváděný vzduch se doporučuje umístit níže než 1 m nad úroveň jízdní dráhy. Maximální rychlost výfuku je 10 m/s.

Pro rozdělené odsávání vzduchu z trouby je potřebné použít klapky pro odsávání, které jsou navrhnuté pro požární větrání ve smyslu kap. 7.3.4. Za tímto účelem musí být přepnuté do mezipolohy s redukováným úhlem otevření.

7.5 Návrh ochrany proti emisím

Jako vstupní parametry pro studii EIA je potřebné použít koncentrace škodlivin v dopravním prostoru vypočítané ve smyslu kap. 7.4.1. U tunelů, pro které dle kap. 3.3 není žádaný výpočet potřeby čerstvého vzduchu lze předpokládat, že odvádění vzduchu z tunelu přes portály je přípustné.

Pokud emisní studie EIA ukáže, že odvádění vzduchu z tunelu přes portály by v nepřípustné míře zatěžovalo portálové zóny, potom je třeba odpadní vzduch z tunelu odsávat a vypouštět přes komín do atmosféry. Pokud odvádění přes komín není realizovatelné, potom je potřeba použít filtrování vzduchu.

Návrh odsávání u tunelů kat. T1 a T2:

- Bodové odsávání z dopravního prostoru asi 50 m před portálem výjezdu
- Nominální odsáté množství = (max. proudění vzduchu v tunelu při provozu + 0.5 m/s) x Průřez tunelu na portálu výjezdu, nebo dle EIA.
- max. proudění vzduchu v tunelu je dané provozem při max. kapacitě při max. rychlosti.

Návrh odsávání tunelů kat. T3:

- Odsávací klapky pro požární větrání se použijí i pro odsávání za normálního provozu
- Pokud pro požární větrání není požadované odsávání, potom je třeba umístit do tunelu pevné bodové odsávání, přednostně do středu tunelu.
- Nominální odsáté množství dle EIA (pokud je větší než dle požadavků na požární větrání).

Otvor pro odsávání z dopravního prostoru je třeba navrhnout tak, aby rychlost proudění vzduchu v otvoru nepřekročila hodnotu 10 m/s.

7.6 Návrh větrání únikových cest

7.6.1 Požadavky na funkčnost únikových dveří

Síla potřebná na otevření únikových dveří nesmí být na držadle dveří větší než 100 N při všech možných tlakových podmínkách. Otevřené únikové dveře se musí samočinně zavřít, přičemž zavírací síla nesmí vést k ohrožení osob.

Pro splnění těchto požadavků jsou zpravidla vhodné posuvné dveře. Křídlové dveře jsou přípustné jen v případě, že je jejich funkčnost prokázána dynamickou simulací větrání a tlakových podmínek.

7.6.2 Dvoutroubové tunely s příčnými propojeními

U tunelů s dvěma troubami slouží příčná propojení do sousední trouby jako únikové cesty. Příčná propojení musí být uzavřená nejméně jedněmi dveřmi.

Na vytvoření přetlaku jsou zpravidla použity proudové ventilátory v nezasažené troubě.

Pro návrh proudových ventilátorů musí být prokázáno, že jsou splněny následující podmínky. Přitom je třeba zohlednit provoz větrání tunelu v obou troubách, tzn. požární větrání v zasažené troubě v nepříznivém případě, jako i v nezasažené troubě ve smyslu kap. 8.3.7:

- Přetlak nejméně 30 Pa v nezasažené troubě vůči zasažené troubě, při zavřených únikových dveřích.
- Maximální tlakový rozdíl přes únikové dveře tak, aby se nepřekročila maximální přípustná síla potřebná na otevření dveří ve smyslu kap. 7.6.1

Ověření průběhu tlaků v obou tunelových troubách při provozu požárního větrání se má vykonat pomocí dynamických simulací větrání a tlakových podmínek v obou troubách.

Příčné propojení, u kterého není možné splnit požadavek na vytvoření přetlaku pomocí proudových ventilátorů nebo injektorů, se musí vybavit samostatným větracím zařízením.

7.6.3 Tunely s dodatečnými únikovými cestami

Pro návrh větrání únikových cest jsou směrodatné následující parametry. Přitom je potřebné zohlednit provoz požárního větrání v dopravním prostoru v nepříznivém případě:

- V nouzovém režimu musí být proudění vzduchu přes otevřené únikové dveře > 2 m/s ve směru dopravního prostoru. Přitom nesmí v žádném bodě dveřního otvoru vznikat zpětné proudění.
U únikových štol paralelních k troubě s více propojkami musí být tento požadavek splněn při dvou otevřených únikových dveřích vedle sebe na nepříznivém místě.
- Maximální tlakový rozdíl přes únikové dveře určuje maximální přípustná síla potřebná na otevření dveří ve smyslu kap. 7.6.1.
- U únikových štol paralelních k troubě musí být na každém portálu štoly jeden ventilátor, který samotný splní požadavky dle kap. 7.6.3.

7.7 Proudové ventilátory a injektory

Minimální vzdálenost mezi skupinami proudových ventilátorů resp. injektorů mezi sebou i k portálům je 80 m. Při kratších vzdálenostech je nutné zohlednit zredukování tahu přes faktor získaný experimentem nebo prostřednictvím simulace.

Pro dvoutroubové tunely s jednosměrným provozem je možné umístit proudové ventilátory resp. injektory na portálech, přičemž foukání směřuje výlučně dovnitř tunelu. Toto slouží k zabezpečení přetlaku ve smyslu kap. 7.6.2 u příčných propojení, které jsou nejbližší k portálům. Proudové ventilátory na portálech musí být umístěny tak, aby nedošlo k nasávání kouře z vedlejší trouby. Na to se doporučuje dodržet odstup cca 10 m mezi portálem a ventilátorem.

Z hlediska aerodynamiky není podstatné umístění proudových ventilátorů resp. injektorů v tunelu, pokud jsou dodrženy minimální vzdálenosti. Při umístění proudových ventilátorů resp. injektorů v tunelu je nutné zohlednit tlakové podmínky, které jsou výsledkem požadavků na větrání únikových cest v smyslu kap. 7.6.2.

Zredukování tahu v důsledku nevhodného umístění (překážky, tření, vzájemné ovlivňování) je nutné zohlednit přes faktor získaný experimentem nebo prostřednictvím simulace.

Náběh a provoz proudových ventilátorů se realizuje v tunelech T1 přímo přes síť, případně přes softstarter a pod. Frekvenčních měničů se využívá zpravidla v tunelech T2 a T3, když je potřebná regulace s vysokými požadavky podle kap. 3.5.2 a 8.5.

Proudové ventilátory musí být vybavené pojistkou proti pádu, která zabrání pádu ventilátoru v případě selhání závěsu.

7.8 Přívodní a odsávací ventilátory

Na odsávání, příčné větrání a větrání únikových cest silničních tunelů se doporučují jednosměrné axiální ventilátory. Ventilátory s možností reverzace nejsou přípustné.

Přívodní a odsávací ventilátory v silničních tunelech mají zpravidla pevnou polohu lopatek, kterou je možné nastavit při vypnutém ventilátoru. Nastavení lopatek při provozu je potřebné jen v mimořádných případech

Na náběh a nastavení požadovaných objemových průtoků se zpravidla používají ventilátory s frekvenčními měniči. Motor, frekvenční měnič, filtr a kabely musí být vzájemně v souladu.

U axiálních ventilátorů je zvláště důležité zohlednit geometrii nasávání. Před vstupem do ventilátoru musí být zabezpečený nerušený nasávací prostor paralelně ve směru osy ventilátoru přes délku zodpovídající nejméně 2 x průměru oběžného kola ventilátoru. Výkresy stavebního řešení všech vzduchotechnických kanálů a umístění ventilátorů musí být schválené ověřeným odborníkem na aerodynamiku.

U ventilátorů pro paralelní chod je nutné zohlednit chování ventilátorů při spouštění a provozu v samostatném a paralelním chodu jakož i zapnutí jednoho ventilátoru při provozu druhého ventilátoru. Nestabilní provozní stavy se nesmí vyskytovat.

7.9 Klapky

Pro odsávací, oddělovací a uzavírací klapky ventilátorů se použijí lamelové klapky. Při horizontálních odsávacích klapkách v tunelu jsou umístěné lamelové osy příčně k ose tunelu. U vertikálních klapek musí být lamelové osy umístěné horizontálně.

Konstrukce klapky musí zaručit, že klapka se v žádné poloze nemůže zaseknout nebo zablokovat. Mezi články klapky, táhlem a pohonem musí být zabezpečený silový přívod. Klapka se nesmí přestavit působením vnějších sil na lamely.

Pevnost klapkové konstrukce musí být nastavená na maximální tlakový rozdíl (max. přípustný tlak) působící na klapku. Max. přípustný tlak je definovaný statickým tlakem příslušného ventilátoru na bodě odtrhnutí proudění plus bezpečnostní rezervou.

Ložiska klapky musí být bezúdržbová a izolovaná proti prachu, nečistotě a stříkající vodě.

Ovládací čas od jedné koncové polohy do druhé může být minimálně 10 s a maximálně 30 s. V zásadě nesmí při uzavírání klapky vznikat ve vzduchových kanálech žádné náhlé nárůsty tlaku.

U odsávacích klapky, pro které je definovaná mezipoloha (pro příčné větrání), musí být možné nastavit úhel otvoru s přesností $\pm 1^\circ$.

Horizontální klapky musí být vyrobeny tak, aby na ně v libovolné poloze mohly vstoupit dvě osoby.

Všechny těsnící plochy mezi rámem klapky a stavbou musí být utěsněny tak, aby byly v zabudovaném stavu splněny požadavky na těsnost odsávacích klapky. Těsnící hmoty si musí za podmínek tunelového prostředí zachovat po dobu celé doby života vzduchotěsnost a trvanlivost.

7.10 Měření fyzikálních veličin v dopravním prostoru

7.10.1 Proudění vzduchu

Směr a rychlost proudění vzduchu v dopravním prostoru je nutné měřit následovně:

- Tunely bez regulace (PV_A):
1 anemometr na troubu, resp. na každý úsek
pro vizualizaci proudění, bez vyhodnocení na automatické řízení
- Tunely s průběžným podélným větráním a regulací (PV_B):
3 měřicí místa rozložené po délce tunelu
Každé měřicí místo sestává z 1 anemometru a 1 měřiče teploty vzduchu
- Tunely s odsáváním (PV_C):
jedno měřicí místo na každý portál
další měřicí místa v tunelu ve vzájemné vzdálenosti max. cca. 2000 m
Každé měřicí místo sestává z 3 anemometrů (ve vzájemné vzdálenosti cca 20 m ve stejném průřezovém profilu) a 1 měřiče teploty vzduchu

Na měření proudění se doporučují přístroje měřící lineárně přes průřez dopravního prostoru. Bodové měření není přípustné.

Anemometry musí mít měřicí rozsah 0 – 12 m/s v obou směrech. V měřicím rozsahu 0 – 3 m/s se požaduje přesnost $\pm 0,1$ m/s, měřené ve zkušebně ve smyslu kap. 9.3.5.

Vzdálenost anemometrů od portálů, zálivů a proudových ventilátorů / injektorů nesmí být kratší než 80 m. Je-li potřebné přesto umístit anemometr v blízkosti proudových ventilátorů nebo injektorů, potom je potřebné to zohlednit v řízení, prohlédni kap. 8.2.2. Vzdálenost anemometrů od signálů a podobných překážek nesmí být menší než 50 m.

Anemometry, které se používají na určení vstupné hodnoty pro regulaci podélného proudění (kat. T2/T3) musí být kalibrované podle kap. 9.4.9.

7.10.2 Měřiče opacity a škodlivých látek

Rozlišují se 2 typy měřičů opacity:

- měřič opacity typ D s nízkou přesností a vysokým rozsahem (= snímač dýmu)
- měřič opacity typ O s vysokou přesností a malým rozsahem

Měřiče opacity typu D musí mít měřicí rozsah 0 – 100 km^{-1} (extinkční koeficient). V měřicím rozsahu 0 – 15 km^{-1} musí mít přesnost ± 2 km^{-1} . Skokové změny extinkčního koeficientu o víc jak o 10 km^{-1} musí být při rychlosti proudění vzduchu nad 1 m/s bezpečně zaznamenány do 10 s, při rychlosti proudění vzduchu pod 1 m/s do 30 s.

Měřiče opacity typu O musí mít měřicí rozsah 0 – 15 km^{-1} s přesností $\pm 0,2$ km^{-1} .

Pro měřiče opacity, které se nachází blíže než 500 m od portálu tunelu, musí být zabezpečené, aby mlha nebyla zaznamenána jako opacita resp. dým. Alternativně možno před portály umístit zařízení na měření mlhy, aby mohla tak být ověřena důvěryhodnost měřicích hodnot měřičů opacity v tunelu.

Všechny tunely musí být vybavené měřiči opacity typu D.

Měřiče typu D musí být rozmístěné v následujících vzdálenostech:

- Kategorie T1
20 m před portálem výjezdu jakož i ve vzájemné vzdálenosti max. 300 m
- Kategorie T2:
20 m před portálem výjezdu jakož i ve vzájemné vzdálenosti max. 100 m
- Kategorie T3:
20 m před oběma portály, jakož i ve vzájemné vzdálenosti max. 100 m
(Při odsávání v pozicích odsávacích klapek)

Měřiče typu D / snímače dýmu musí být umístěny taky na všech nasávacích otvorech čerstvého vzduchu (pro větrání technických prostorů, únikových propojek nebo příčné větrání s vháněním čerstvého vzduchu).

Doporučuje se vybavit tunel dodatečně měřiči opacity typu O na zjišťování řídicí hodnoty při normálním provozu jenom v případě, že je nutné předpokládat častý provoz větrání v normálním režimu ve smyslu kap. 7.4.1.

Dodatečné měřiče škodlivých látek CO a NO₂ mohou být instalované v případě potřeby na základě výpočtu přívodu vzduchu ve smyslu kap. 7.4.1 nebo na základě EIA.

Měřiče opacity typu O a v případě potřeby měřiče škodlivých látek musí být rozmístěny v následujících vzdálenostech:

- Kategorie T1:
cca. 120 m před portálem výjezdu nebo v případě potřeby cca 50 m před odsávacím místem větrání na ochranu proti emisím
- Kategorie T2:
cca 120 m před portálem výjezdu nebo v případě potřeby cca 50 m před odsávacím místem větrání na ochranu proti emisím, jakož i ve vzájemné vzdálenosti max. 600 m
- Kategorie T3:
cca 120 m před oběma portály, ve středu tunelu jakož i ve vzájemné vzdálenosti max. 600 m

Měřicí přístroje CO musí mít měřicí rozsah 0 – 200 ppm s přesností ± 5 ppm.

Měřicí přístroje NO₂ musí mít měřicí rozsah 0 – 1 ppm s přesností $\pm 0,05$ ppm.

7.10.3 Měření teploty a vlhkosti

U tunelů kategorie T3 delších než 1000 m s provozem více než 2000 voz/den se doporučuje následující měření:

- Teplota venku před portály (izolovaná od teploty tunelového vzduchu a záření)
- Teplota a vlhkost uvnitř, cca 100 m před portály

Tak je možné měřením zachytit výskyt orosení skel a reagovat v případě potřeby větracím zařízením nebo výstražným signálem.

Zařízení na měření teploty musí mít měřicí rozsah -20 až +40 °C s přesností $\pm 0,5$ °C.

Měřicí přístroje vnější teploty musí být chráněny před zářením a nesmí být umístěny v oblasti vycházejícího tunelového vzduchu.

Měřič vlhkosti musí mít měřicí rozsah 0 – 100 % relativní vlhkosti s přesností ± 1 % relativní vlhkosti.

7.10.4 EPS

Primární zdroj detekce požáru jsou měřiče opacity typu D. Tunely T2 a T3 mohou být dodatečně vybaveny EPS na základě lineárního snímače teploty, pokud riziková analýza ukazuje jeho nutnost. V tomto případě EPS musí pro účely větrání poskytovat nejméně rozlišení požárních úseků, které odpovídají vzdálenosti mezi proudovými ventilátory a odsávacími klapkami. U tunelů s odsáváním přes řízené klapky jsou hranice úseků umístěné ve středu mezi polohami klapky a mezi pozicemi skupin proudových ventilátorů.

7.10.5 Měření dopravy

Pokud ve smyslu kap. 7.4.1 nutno předpokládat častý provoz větrání, musí se použít jako další vstupní parametr momentální počet vozidel v tunelu, rozčleněný na osobní a nákladní vozidla.

7.11 Monitorování přístrojů

7.11.1 Monitorování proudových ventilátorů

Pro monitorování proudových ventilátorů musí být zabezpečené následující monitorovací zařízení:

- Signál jestli ventilátor běží. Na to se doporučuje monitorovat spotřebu elektrické energie (v rozváděči)
- Pokud ve smyslu kap. 7.4.1 nutno předpokládat častý provoz větrání: Monitorování kmitání, radiálně 45° k ose závěsu
- (Teplota vinutí na každém vinutí, provozní a poruchové signály frekvenčního měniče jen při napájení přes frekvenční měnič)

7.11.2 Monitorování přívodních a odsávacích ventilátorů

Pro monitorování přívodních a odsávacích ventilátorů musí být zabezpečené následující monitorovací zařízení:

- Měření objemového průtoku pro odsávací ventilátory pokud je využívaný průtok odsávání pro regulaci podélného proudění v dopravním prostoru ve smyslu kap. 8.5
- Spotřeba elektrické energie
- Pokud ve smyslu kap. 7.4.1 nutno předpokládat častý provoz ventilátorů: Monitorování kmitání na 3 osách (radiálně x, radiálně y, axiálně z)
- Teplota obou ložisek
- (Teplota vinutí na každém vinutí, provozní a poruchové signály frekvenčního měniče jen při napájení přes frekvenční měnič)

7.11.3 Monitorování klapek

Pro monitorování pohonů klapek musí být zabezpečeno následující monitorovací zařízení:

- Koncový spínač „otevřeno – zavřeno“
- Provozní a poruchové signály pohonu klapky

Při odsávacích klapkách, které mohou mít mezipolohu (na příčné větrání), je navíc potřebné plynulé monitorování polohy (0 – 100% odpovídající 0 – 90°).

7.12 Tepelná odolnost

Požadovaná tepelná odolnost se ve smyslu normy EN 12 101-3 [10] vztahuje na funkci celého ventilátoru resp. klapek včetně motorů a připojovacích kabelů.

Proudové ventilátory: F200 /120 Min.

Odsávací ventilátory: zpravidla F200 /120 Min.

Klapky na odsávání z jízdniho prostoru:

Klapky se musí dát ovládat po dobu do 30 minut při teplotách do 400°C v jízdniho prostoru a v odsávacím kanále. Otevřené klapky se nesmí zavřít (blokovat průtok) při teplotách do 842°C.

Uzavírací klapky v odsávacích kanálech: stejné jako odsávací ventilátory.

Upevnění všech instalací v dopravním prostoru (včetně proudových ventilátorů) nesmí po dobu do 30 minut selhat při teplotách do 450°C.

Odlíšené tepelné odolnosti je možné stanovit na základě analýzy scénářů s termodynamickým výpočtem.

7.13 Hluk

Úroveň hlučnosti ventilátorů v dopravním prostoru a v únikových cestách nesmí při jakémkoliv provozním stavu (normální provoz a požární větrání) překračovat hodnotu 85 dBA.

Úroveň hlučnosti vně nesmí v normálním režimu překračovat mezní hodnoty ve smyslu platných předpisů na ochranu proti hluku. Při posuzování musí být zohledněn vliv ostatních zdrojů hluku, např. provozu.

7.14 Rozhraní / požadavky na další profese

7.14.1 Zabránění vniknutí znečištěného vzduchu

Na zabránění vniknutí znečištěného vzduchu a kouře do druhé trouby přes portály u dvoutroubových tunelů (bez větrání na ochranu proti emisím) je vhodné oddělit 100 m dlouhou výstupní zónu od 30 m dlouhé vstupní zóny. Toho se docílí buď odsazením portálů ve směru jízdy, nebo dělicí stěnou s výškou nejméně o 2 m vyšší než výška tunelu.

Komíny pro vzduch z tunelu musí vyfukovat vertikálně. Návrh komínu musí při všech stavech normálního provozu a požárního větrání zabezpečit výfukovou rychlost > 15 m/s.

Nasávací otvory čerstvého vzduchu (pro větrání technických prostorů, únikových štol nebo příčné větrání s vhněním čerstvého vzduchu) musí být umístěny ve vzdálenosti aspoň 30 m k portálům a ke komínům.

Odchytky od uvedených hodnot jsou přípustné za předpokladu, že v modelových pokusech nebo v simulačním modelu při zohlednění terénu a všech možných podmínek větru se prokáže, že nemůže dojít k nasávání škodlivých látek nebo kouře z tunelu nebo z komína.

7.14.2 Požadavky na stavbu u tunelů s odsáváním

Při odsávání je potřebné naprojektovat plochu průřezu odsávacího kanálu na maximální rychlost proudění 20 m/s, za předpokladu odsátého množství podle kap. 7.3.4. Odsávací kanál musí být pochozý, s výškou nejvyššího bodu aspoň 2 m.

Netěsnost odsávacího kanálu zpravidla nesmí překročit $L_{stavba} = 5$ m³/s, km při 1000 Pa. Odlišnou hodnotu možno určit na základě technické analýzy. Při větších hodnotách netěsnosti se zvyšuje požadovaný objem vzduchu na ventilátoru. Přitom je potřebné porovnat náklady na utěsnění odsávacího kanálu s náklady na silnější ventilátory a elektrické napájení.

Pro axiální ventilátory je důležité rovnoměrné nasávání v ose ventilátorů, které nesmí být rušené. Stavební řešení všech vzduchotechnických kanálů musí být posouzeno a schváleno odborníkem na aerodynamiku.

Otvory pro odsávací klapky musí být dimenzovány o 30% větší než je volná plocha průřezu klapky určená podle kap. 7.3.4. Otvory jsou zpravidla čtyřhranné, s delší stranou příčně k ose tunelu.

7.14.3 Dodávka elektrické energie

Požadavky na redundanci dle kap. 7.3.4 a 7.6.3 platí taktéž na systém zásobování ventilátorů elektrickou energií.

Všechny ovládací a měřicí zařízení musí být napájené z nezávislého zdroje (UPS).

7.14.4 Řízení provozu

V tunelech kat. T1 a když možno taky T2 musí být přijato opatření na zamezení vzniku zácpy v tunelu pomocí regulace provozu v následující dopravní síti. Při mimořádných událostech, které vedou k zácpě, musí být příslušná trouba uzavřena do doby, než může být zaručen plynulý provoz.

Příloha B

8 Provozní stavy a řízení

8.1 Provozní stavy

Automatické řízení větrání zabezpečí následující provozní stavy:

- normální provoz
- nouzový provoz / požární větrání: Stupeň 1 - Stupeň 2

Automatické řízení se dá v rámci stanovených podmínek změnit na ruční ovládání, např. při údržbě.

8.2 Vyhodnocování signálů

8.2.1 Všeobecně

V PLC musí být všechny signály permanentně a souběžně integrované. Doby časového průměru zodpovídají zpravidla cyklům spínání v normálním a nouzovém provozu.

Všechny hraniční hodnoty a doby musí být v průběhu projekce, uvedení do provozu a zkušebního provozu přizpůsobené a optimalizované. Počáteční hodnoty jakož i pozdější změny parametrů musí být dokumentované a archivované, aby byla zaručená reprodukovatelnost.

8.2.2 Měření proudění vzduchu

Vyhodnocení měření proudění vzduchu musí obsahovat časové integrování, přepočítání na stejnou masu proudění vztažený na referenční teplotu, korekční faktory pro lokální specifické vlivy a kontrolu hodnověrnosti a vytvoření průměru pro 3 anemometry. Pomocí vhodného, osvědčeného algoritmu je potřebné identifikovat měřící hodnoty, které se nacházejí mimo definovaného pásma jako nedůvěryhodné a nepoužít je.

Když se anemometr nachází méně než 80 m po proudu od běžících proudových ventilátorů nebo injektorů, potom je signál potřebné označit za nespolehlivý a nepoužít ho.

8.2.3 Detekce dýmu

Při překročení hraniční hodnoty nepřetržitě po určitou dobu se spustí definované stupně alarmu.

U tunelu s odsáváním dýmu je nutno bezpečně rozlišit stacionární a pohybující zdroje dýmu. Na základě vzdálenosti mezi hlásiči požáru, času mezi aktivacemi (překročení mezní hodnoty) a měření směru proudění je potřebné vypočítat rychlost šíření dýmu. Pomocí vhodného, osvědčeného algoritmu je potřebné vyhodnocovat dýmové detektory tak, aby se dali bezpečně rozlišit zdroje dýmu, které stojí a které jsou v pohybu.

Při překročení hraniční hodnoty na měřiči v rámci oboustranného rozestupu 100 m od skupiny proudových ventilátorů nebo po proudu injektoru, musí být příslušné ventilátory vypnuty.

8.2.4 Řídící hodnota v normálním provozu

Jako řídicí hodnota v normálním provozu slouží zásadně měření opacity. V případě potřeby se dá dodatečně použít měření škodlivých látek CO a NO₂.

U tunelů, kde je možné ve smyslu kap. 7.4.1 očekávat častější provoz větrání v normálním režimu, se doporučuje jako další řídicí hodnotu zohlednit i provoz. Jako řídicí hodnota slouží provoz vztažený na naměřenou rychlost proudění vzduchu.

8.2.5 Vlhkost, teplota, nasycení

Nasycení je rozdíl mezi absolutní vlhkostí v troubě a maximální absolutní vlhkostí venku a vypočítává se z měrných veličin vnější teplota, vnitřní teplota a relativní vnitřní vlhkost. Při překročení hraniční hodnoty nasycení se dá počítat s orosením skel vozidel, která vjíždí do tunelu.

8.3 Požární větrání

8.3.1 Spuštění

V první fázi musí být požární větrání řízené automaticky.

Stupeň 2: Dýmový alarm se stacionárním zdrojem, případně alarm z EPS:

- okamžité automatické spuštění programu požárního větrání (stupeň 2) a nouzového větrání únikových cest
- tunel se musí zavřít

Stupeň 1: Dýmový alarm se zdrojem v pohybu

- okamžité automatické spuštění programu větrání stupně 1 v tunelu a nouzového větrání únikových cest
- tunel se musí zavřít
- spuštění programu požárního větrání (stupeň 2) manuálně potvrzení operátorem

Stupeň 0: Tlačítko hlášení požáru v SOS výklenku, odebrání ručního hasicího přístroje, detekce dýmu přes video (CCTV)

- okamžité automatické spuštění programu větrání stupně 1 v tunelu a nouzového větrání únikových cest
- tunel se nezavře, ale dopravní signály spustí varování (např. žlutě blikat)
- spuštění programu požárního větrání (stupeň 2) po manuálním zásahu operátora

8.3.2 PV_A (tunely T1 bez regulace)

Program předalarm (stupeň 1) = program požární větrání (stupeň 2):

Při jednosměrném provozu:

Zapnutí pevného počtu proudových ventilátorů ve smyslu návrhu ve směru jízdy. Zpravidla by neměla být provozovaná skupina proudových ventilátorů, která se nachází nejbližší k místu požáru.

Pokud naměřený směr proudění vzduchu v případě požáru nezodpovídá směru jízdy, potom musí být proudové ventilátory / injektory vypnuté.

Při obousměrném provozu nebo zjištěné kongesci (mimořádné stavy):

Všechny proudové ventilátory / injektory vypnout.

8.3.3 PV_B (tunely T3, T2 s podélným větráním a T1 s regulací)

Program předalarm (stupeň 1) = program požární větrání (stupeň 2):

Regulace podélného proudění ve smyslu kap. 8.5

8.3.4 PV_C (tunely T3, T2 s odsáváním), program předalarm (stupeň 1)

Odsávání zůstane vypnuté / běžící odsávání se sníží na minimální objem.

Při systému příčného větrání se okamžitě vypne přívod vzduchu.

Regulace podélného proudění ve smyslu kap. 8.5.

8.3.5 PV_C (tunely T3, T2 s odsáváním), program požární větrání (stupeň 2)

1. Přiřazení jedné klapky odsávání pro požární úsek resp. hlásič dýmu. Kromě toho se otevřou obě sousední klapky. Tak se otevřou 3 klapky. Všechny ostatní klapky zůstanou zavřené resp. se zavřou.

Při poruchách klapek se musí otevřít alespoň jedna klapka. Pokud v rámci definované vzdálenosti (cca. 300 m) od místa požáru není možné otevřít žádnou klapku, potom musí být klapky zavřené a je třeba postupovat jako při průběžném podélném větrání (dle kap. 8.3.3)

2. Spustit všechny příslušné odsávací ventilátory, které jsou k dispozici, pokud je nejméně jedna klapka otevřená.

3. Regulace podélného proudění ve smyslu kap. 8.5.

4. Po definovaném čase (cca 300 s) se doporučuje některé otevřené klapky zavřít, přičemž jedna klapka musí zůstat otevřená:

- automaticky, když naměřená hodnota opacity u příslušné klapky v průběhu definované doby trvale klesne pod mezní hodnotu
- manuálně operátorem

8.3.6 Fáze 2: Přístup HZS

Po jistém ukončení sebezáchrany uživatelů je možné větrací zařízení manuálně ovládat pro podporu přístupu HZS. Pro tento účel je potřebné vypracovat dva programy pro jednostranné odhánění dýmu, při kterém všechny proudové ventilátory nebo injektory větrají jedním směrem. To platí jak pro provoz průběžného podélného větrání, tak i pro současné odsávání.

Tímto programem se možná vhnání urychleně dým do druhé části tunelu a ohrožují se osoby, které tam případně zůstaly. Proto se doporučuje užití nastavitelného jednostranného odhánění dýmu jenom když je zabezpečeno, že nejsou ohrožené žádné osoby.

8.3.7 Větrání nezasažené trouby u dvoutroubových tunelů

Program větrání stupeň 1 = program požárního větrání

V nezasažené troubě třeba větrání provozovat tak, aby:

- byl vytvořen přetlak ve smyslu kap. 7.6.2.
- nedošlo k průchodu dýmu mezi portály tunelových trub.

Zpravidla se toho dosáhne tak, že skupiny proudových ventilátorů, které se nacházejí nejbližší k portálu, jsou provozovány směrem dovnitř a všechny ostatní proudové ventilátory jsou provozovány proti směru provozu. Při směrodatném protitlaku ve smyslu kap. 10.3 se u vstupního portálu musí dosáhnout proudění vzduchu s rychlostí min. 1 m/s směrem ven.

8.4 Normální provoz

8.4.1 Větrání dopravního prostoru

Cíle řízení v normálním provozu:

- Nepřekročení přípustných hodnot ve smyslu kap. 7.4.1
- Energeticky účinný provoz větracího zařízení / minimální spotřeba energie
- Stabilní provoz ventilátoru / zabránění časté změně zátěže

Pro normální provoz je potřebné zabezpečit následující programy:

- Automatika podle řídicí hodnoty dle kap. 8.2.4.
- Časový program
- Manuální programy

Při odsávání, nebo při příčném větrání, dochází v automatickém programu k plynulému řízení ventilátorů přes frekvenční měnič. Řídicí hodnota se přiřazuje k objemovému průtoku resp. k stupni. Pokud řídicí hodnota překročí spínací hodnoty větracího zařízení se zapne s minimálními otáčkami, a při zvyšování řídicí hodnoty se lineárně zvyšují otáčky až na 100 % při maximální hodnotě řídicí hodnoty, která zpravidla zodpovídá dimenzační hodnotě ve smyslu kap. 7.4.1.

Kromě toho je potřebné zabezpečit u příslušné hystereze zpoždění spínání, aby se zabránilo častému spínání a změně zátěže.

Při podélném větrání proudovými ventilátory se používá stupňové spínání, přičemž zpravidla postačují dva spínací stupně s příslušnými zapínacími a vypínacími hodnotami.

U tunelů s odsáváním přes řízené klapky je místo odsávání v normálním provozu určované prostřednictvím místa měřiče opacity s maximální naměřenou hodnotou. Po spuštění odsávání, místo odsávání zůstává pevné, až dokud hodnota opacity na místě odsávání neklesne pod vypínací hodnotu.

U tunelů s odsáváním může být podle potřeby na základě řídicí hodnoty podle zjištěného nasycení ve smyslu kap. 8.2.5 zapnuté odsávání, aby se předešlo orosení skel vozidel. Alternativně může být použité vyhodnocení nasycení, aby se spustil výstražný signál.

U tunelů kategorie T1 musí být větrání provozované tak, aby bylo vždy zabezpečené proudění vzduchu v tunelu ve směru provozu s minimální rychlostí proudění vzduchu cca 1 m/s, pokud je překročený definovaný počet vozidel v tunelu (cca 5 vozidel/km).

8.4.2 Ochrana proti emisím

Průtok odsávání je regulovaný na základě rychlosti proudění vzduchu v dopravním prostoru před místem odsávání ve smyslu kap. 8.5.

Alternativně se dá odsávání řídit časovým programem, který má smysl při pravidelných dopravních situacích.

8.4.3 Údržba

V případě údržby se podle potřeby provozuje větrací zařízení tunelu manuálně, aby nebyly překročeny přípustné koncentrace škodlivých látek na pracovišti.

8.5 Regulace podélného větrání

8.5.1 Řídicí hodnota a parametry

Řídicí hodnota pro regulaci je měření proudění vzduchu ve smyslu kap. 8.2.2. Regulační parametry požárního větrání se určují podle kritérií jakosti na základě dynamického modelu tunelu a potom se v provozu optimalizují.

8.5.2 Požární větrání s vysokými požadavky

Požární větrání s vysokými požadavky na přesnost a rychlost regulace se používá na koncepty PV_B a PV_C u tunelů T2 a T3.

Zpravidla se doporučují standardní regulátor PID, IMC, apod. s regulačním cyklem cca 10 s. Řízení proudových ventilátorů nebo injektorů je kontinuální 0 – 100% pomocí frekvenčních měničů. Regulace musí být spuštěná bezprostředně po spuštění alarmu.

PV_B: c

cílová hodnota $u_{cil} = 1,2$ m/s, přípustné pásmo cca ± 0.3 m/s

PV_C: cílová hodnota $u_{cil} = 0$ m/s na místě odsávání, přípustné pásmo cca ± 0.3 m/s to znamená symetrický přítok z obou stran na místo odsávání

Při konceptu PV_C se kromě měření proudění vzduchu v tunelu bere do úvahy dodatečně měřený průtok odsávacích ventilátorů jako řídicí hodnota.

Regulace musí splnit následující požadavky:

1. Cílový stav musí být rychle dosažen

Cílová hodnota rychlosti proudění vzduchu u_{cil} by měla být v rámci přípustného pásma dosažena s odchylkou ± 1 m/s od cílové hodnoty v čase 60 s po zapnutí regulace.

2. Nesmí dojít k prokmitu mimo přípustné pásmo

Po prvním dosažení požadované hodnoty u_{cil} musí rychlost proudění vzduchu zůstat v rámci přípustného pásma.

3. Rušení je potřebné rychle vyregulovat

Směrodatné rušení je definované silou, která při vypnutí regulaci dosáhne odchylku ± 1 m/s v průběhu času 60 s. Při zapnutí regulaci musí proudění vzduchu v průběhu max. 60 s po výskytu směrodatného rušení dosáhnout opět požadovanou rychlost v rámci přípustného pásma.

8.5.3 Požární větrání s nízkými požadavky

Požární větrání s nízkými požadavky na přesnost a rychlost regulace se používá na koncept PV_B u tunelů T1.

V tomto případě standardní regulátor není vhodný. Regulační cyklus je cca 60 s, při každém cyklu se vypočítá počet a směr běžících ventilátorů dle měřené rychlosti na základě modelu tunelu.

Cílová hodnota u_{cil} = kritická rychlost, přípustné pásmo cca + 1.0 / - 0.5 m/s

Regulace musí splnit následující požadavky:

0. Zpětné proudění proti směru jízdy je nepřípustné.

1. Cílový stav musí být rychle dosažen

Cílová hodnota rychlosti proudění vzduchu u_{cil} by měla být v rámci přípustného pásma dosažena

z odchylky - 1 m/s od cílové hodnoty v čase 60 s po zapnutí regulace.

z odchylky + 2 m/s od cílové hodnoty v čase 180 s po zapnutí regulace.

2. Nesmí dojít k prokmitu mimo přípustné pásmo

Po prvním dosažení požadované hodnoty u_{cil} musí rychlost proudění vzduchu zůstat v rámci přípustného pásma.

3. Rušení je potřebné rychle vyregulovat

Směrodatné rušení je definované silou, která při vypnutí regulaci dosáhne odchylku - 1 m/s v průběhu času 60 s. Při zapnutí regulaci musí proudění vzduchu v průběhu max. 180 s po výskytu směrodatného rušení dosáhnout opět požadovanou rychlost v rámci přípustného pásma.

8.5.4 Odsávání pro ochranu proti emisím

Regulační cyklus je cca 60 s až 180 s, při každém cyklu se vypočítá objem průtoku odsávání dle měřené rychlosti: $Q_{\text{odsávání}} = (u_T + 0.5 \text{ m/s}) \times A_T$

kde

u_T : měřené proudění vzduchu v tunelu před místem odsávání [m/s]

A_T : průřez tunelu na místě měření proudění vzduchu [m²]

8.5.5 Výpadek řídicí hodnoty

Postup při výpadku měření proudění vzduchu při běžící regulaci požárního větrání:
Zafixování momentálního nastavení běžících proudových ventilátorů / injektorů, když byl regulační výstup stabilní (tzn. výstup regulátorů < 10% změna), jinak vypnutí všech proudových ventilátorů / injektorů.

8.6 Větrání únikových cest

Normální a nouzový provoz se nastavují pomocí dvou pevně nastavených stupňů (parametrizace přes frekvenční měnič).

Nouzový provoz je spouštěn:

- otevřením únikových dveří
- alarmem dle kap. 8.3.1 (Stupeň 0, 1 nebo 2)
- manuálně operátorem nebo na místě

Pro spuštění větrání v nouzovém provozu musí být zabezpečená možnost vyblokování pro účely údržby.

Příloha C

9 Zabezpečení jakosti

9.1 Všeobecné požadavky

Větrací zařízení tunelu je potřebné projektovat s životností 30 let při zohlednění prostředí v silničním tunelu.

Požadované intervaly údržby větracího zařízení a přístrojů pro zaručení plnění požadavků nesmí být kratší než 12 měsíců. Chybovost (chybné měření, poruchy) všech měřících přístrojů a frekvenčních měničů pro větrání tunelu nesmí překročit hodnotu 1 chyba/ročně na každý kilometr tunelu.

Všechny zkoušky musí být dokumentované v rámci bezpečnostní dokumentace. Smluvně domluvené hodnoty musí zahrnovat všechny možné výrobní tolerance. Uvedené tolerance zohledňují nepřesnost měření.

9.2 Projekce

Všechny aerodynamické modely pro výpočet návrhu větrání musí být ověřené výsledkem měření realizovaných zařízení nebo modelu.

Simulační modely s požárním větráním horkého vzduchu a šířením dýmu musí být ověřené reálnými požáry nebo zkouškami.

Návrh podélného větrání je potřebné přepočítat na dosažitelné podélné proudění v prázdném dopravním prostoru bez protitlaku. Propočet je ověřovaný měřeními ve smyslu kap. 9.4.3.

V rámci projektové dokumentace je kromě dokumentace návrhu potřebné předložit i plán kontrol, který detailně popisuje zde uvedené zkoušky v rámci časového harmonogramu. Je nutné dodržovat dostatečné rezervy pro odstranění nedostatků a opakování zkoušek.

Koncepce údržby s montáží/demontáží měřících přístrojů, ventilátorů a klapek musí být prokazatelná při zachování funkčnosti větracího zařízení a při plnění projekčních požadavků po dobu údržby. To se musí prokázat v rámci RAMS analýzy.

9.3 Zkoušky ve výrobě a ve zkušebně (FAT)

9.3.1 Všeobecné požadavky

Pro sériově vyráběné produkty je podle možnosti potřebné předložit testovací certifikáty. Všechny typové a standardní testy na elektrických motorech musí být realizované ve smyslu IEC 60 034-1 [8] a zaznamenané ve zkušebním certifikátu.

Když nejsou k dispozici existující zkušební typové certifikáty pro zkoušky tepelné odolnosti ve smyslu EN 12 101-3 [10], potom je nutné vykonat tyto zkoušky pro příslušnou část zařízení v rámci projektu. Na tento účel je potřebné vyhradit potřebnou časovou rezervu.

Na všechny použité prvky musí být vydané zkušební osvědčení ve smyslu EN 10 204.

9.3.2 Proudové ventilátory

Záruční hodnoty garantované dodavatelem:

- Statický tah ve smyslu ISO 13 350 [5]
- Úroveň akustického výkonu ve smyslu ISO 13'350 [5] nebo ISO 13 347 [4].
Elektrický příkon ve smyslu IEC 60 034 [8]

Všechny měření se vykonávají pro oba směry větrání, výjimkou je provoz proudových ventilátorů používaných výlučně v hlavním směru větrání.

9.3.3 Přívodní a odsávací ventilátory

Záruční hodnoty garantované dodavatelem:

- Jmenovitý provozní bod:
Průtok, tlak ve smyslu ISO 5801 [2]
Elektrický příkon ve smyslu IEC 60 034 [8]
- Bod odtrhnutí proudění (na charakteristice jmenovitého provozního bodu):
Průtok, tlak ve smyslu ISO 5801 [2]

Při FAT přívodních a odsávacích ventilátorů se stanoví pro každý typ ventilátoru charakteristiky tlaku, výkonu a účinnosti v závislosti od objemového průtoku podle ISO 5801 [2]. Na zjištění charakteristiky je kromě záručních hodnot potřebné stanovit nejméně další tři provozní body.

Měření se vykonávají přednostně na velkých modelech a to od nasávací trysky po výstup difuzoru, s příslušnými připojovacími kabely motoru a případnými frekvenčními měniči. Pokud na velkém vyhotovení nejsou možná měření (pro omezený elektrický příkon nebo nedostatek místa), potom je třeba aerodynamické měření realizovat na geometricky podobných modelech ventilátorů ve zmenšeném měřítku. Modely ventilátorů musí být přitom od nasávací trysky po výstup difuzoru vybavené stejným vstrojením jako velké výrobky. Zjištění elektrické účinnosti (motor, kabel, frekvenční měnič) se realizuje potom v samostatném zkušebním středisku.

9.3.4 Klapky

Záruční hodnoty garantované dodavatelem:

- Světlá plocha klapky (otevřené) v zabudovaném stavu
- Přípustná netěsnost klapky L_{\max} při normální hustotě vzduchu ρ_0 ve smyslu kap. 7.2.3
$$L_{\max} = (dp_{\max}/1000 \text{ Pa})^{0.75} \cdot L_{\text{klapka}}$$
kde $L_{\text{klapka}} = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, m^2 světlá plocha klapky při tlakovém rozdílu 1000 Pa dp_{\max} ve smyslu projektu (kap. 7.3.4).

Ve zkušebně je každý typ klapky ověřený jednou vzorovou klapkou včetně pohonu s využitím následujícího postupu:

- Měření světlé plochy klapky
- Záznam doby otevření a zavření
- 100 provozních cyklů (otevření – zavření) a měření průtoku (netěsnosti) přes zavřenou klapku při max. provozním tlaku dp_{\max} ve smyslu projektu (kap. 7.3.4).

(Norma EN 1366-10 neplatí výslovně pro klapky na odsávání z jízdního prostoru v silničních tunelech).

9.3.5 Měřicí přístroje

Všechny anemometry musí být kalibrované v aerodynamické zkušebně.

Měřiče opacity musí být kalibrované buď pomocí definovaného plynového vzorku, nebo pomocí definovaného přehledného pevného tělesa.

Všechny měřiče škodlivých látek musí být kalibrované pomocí vhodně definovaného plynového vzorku.

9.3.6 Řídící systém

Zkoušky ovládání větrání řídicím systémem slouží na vyzkoušení všech možných programů, včetně všech scénářů výpadku měřících přístrojů, ventilátorů a klapek. Ovládání musí být vyzkoušené před aplikací v tunelu.

Pro testy regulace proudění při požárním větrání se doporučuje použít simulátor tunelu, který představuje dynamický fyzikální model tunelu s aerodynamickými parametry.

9.4 Zkoušky v tunelu (SAT)

9.4.1 Všeobecně

Úspěšně vykonané SAT jsou předpokladem pro převzetí zařízení. SAT musí být realizované s využitím místního ovládání zařízení, pokud řídicí systém není plně k dispozici.

Všechna aerodynamická měření v tunelu je potřebné realizovat ve smyslu ISO 5802 [3]. Po dobu všech měření je potřebné určit vždy hustotu vzduchu na základě měření teploty vzduchu a barometrického tlaku.

9.4.2 Proudové ventilátory

Záruční hodnoty garantované dodavatelem:

- Rychlost kmitání pro oba směry proudění vzduchu, výjimkou je provoz proudových ventilátorů výlučně v hlavním směru proudění vzduchu:
Max. 4.5 mm/s v libovolném bodě ventilátoru a tlumiče ve smyslu ISO 14 694 [6]
Max. 1 mm/s v libovolném bodě závěsné konstrukce a na stavebním objektu

Další SAT pro proudové ventilátory zahrnují pro každý jednotlivý ventilátor:

- Měření tloušťky vrstvy protikorozní ochrany (náhodné kontroly pro ověření)
- Kontrola otáčení / směru proudění
- Měření elektrického příkonu

9.4.3 Podélné větrání

Záruční hodnoty garantovány projektantem jsou u všech tunelů rychlosti podélného proudění v obou směrech, které musí docílit větráním v prázdném tunelu, a rychlost proudění skrz otevřené únikové dveře u propojek mezi troubami u tunelů T1, T2.

Měření podélného větrání se vhodně realizují současně s kalibrací anemometrů ve smyslu kap. 9.4.9. Po kalibraci anemometrů se na posouzení podélného větrání dají použít zaznamenané hodnoty měřících přístrojů proudění vzduchu v tunelu vyhodnocené dle kap. 8.2.2

Když měřící přístroje proudění vzduchu v tunelu nejsou použitelné, např. když nejsou kalibrované, musí se měření na posouzení podélného větrání konat nejméně s 5 x 5 měřícími body v dopravním prostoru ve smyslu ISO 5802 [3].

Následující měření podélného proudění musí být realizované v prázdném dopravním prostoru po úspěšném ukončení zkoušek proudových ventilátorů / injektorů:

1. Přirozené proudění vzduchu
2. Proudění vzduchu při provozu všech proudových ventilátorů (resp. injektorů) ve směru 1
3. Přirozené proudění vzduchu
4. Proudění vzduchu při provozu všech proudových ventilátorů (resp. injektorů) ve směru 2
5. Přirozené proudění vzduchu

U dvoutroubových tunelů (T1, T2) je nutno dodatečně měřit rychlosti proudění při scénářích požárního větrání v zasažené a nezasažené troubě.

Po dobu měření musí být všechny otvory v tunelu (dveře propojek a nouzových východů, odsávací klapky, uzavírací klapky přívodních a odsávacích ventilátorů) uzavřené.

Naměřené hodnoty je třeba přepočítat na dosažené podélné proudění v prázdném dopravním prostoru bez protitlaků (přirozené proudění vzduchu = 0), a porovnat je s vypočítaným projektovaným údajem ve smyslu kap. 9.2. Tím se vykoná kontrola návrhu.

9.4.4 Klapky

SAT pro klapky zahrnují pro každou klapku:

- Měření tloušťky vrstvy protikorozi ochrany (náhodné kontroly pro ověření)
- Test funkčnosti s místním ovládním

9.4.5 Přívodní a odsávací ventilátory

U ventilátorů bez možnosti nastavení lopatek po dobu provozu je v rámci uvedení do provozu potřebné přizpůsobit úhel lopatek okolnostem stavby, aby bylo dosaženo maximálního možného množství vzduchu při zachování bezpečného náběhu s dostatečnou rezervou pro bod odtrhnutí proudění.

Záruční hodnoty garantované dodavatelem:

- Vibrace ve všech přípustných provozních stavech v zabudovaném stavu:
Max. 4.5 mm/s v libovolném bodě aktivní části ventilátoru,
ve smyslu ISO 14 694 [6]
Max. 1 mm/s v libovolném bodě pevné části ventilátoru (nasávací dýza, difuzor apod.)
a na stavebním objektu

Záruční hodnoty garantované projektantem:

- Jmenovitý provozní bod:
Průtok, tlak ve smyslu ISO 5801 [2]
Elektrický příkon ve smyslu IEC 60 034 [8]
- Bod odtrhnutí proudění (na charakteristice jmenovitého provozního bodu):
Průtok, tlak ve smyslu ISO 5801 [2]

Další SAT pro přívodní a odsávací ventilátory zahrnují pro každý ventilátor:

- Měření tloušťky vrstvy protikorozi ochrany (náhodné kontroly pro ověření)
- Kontrola správného směru otáčení
- Měření teploty motoru a ložisek v rovnovážném stavu v provozu při plné zátěži
- Kontrola všech měřících a monitorovacích signálů
- Měření náběhové doby

Měření průtoku podle ISO 5802 [3] s měřícím rastrem nejméně 6 x 4 měřících bodů přednostně s kruhovým průřezem přívodu slouží taky na kalibraci měřícího zařízení objemového průtoku. Po kalibraci možno zaznamenat další provozní body se zabudovaným měřícím zařízením objemového průtoku.

U ventilátorů bez zabudovaného měřicího zařízení průtoku je potřebné zaznamenat všechny provozní body s popsáním síťovým měřením.

9.4.6 Netěsnost odsávání

U zařízení s odsávacími kanály je potřebné zaznamenat netěsnost kanálů a zavřených klapek. Měření je třeba uskutečnit buď měřením proudění vzduchu podle ISO 5802 [3] pomocí měřicího rastru nejméně 5 x 5 měřících bodů v odsávacím kanálu minimálně 20 m před nejvzdálenější otevřenou klapkou nebo pomocí měření průtoku s využitím indikačního plynu.

Rozdíl mezi naměřeným odsátým množstvím vzduchu (na místě odsávání) a naměřeným množstvím vzduchu na odsávacích ventilátorech představuje netěsnost stavby a uzavřených klapek. Tuto hodnotu je třeba porovnat s hodnotou dle projektu.

9.4.7 Hluk

Měření hlučnosti se realizuje podle směrodatného předpisu [17]

- V tunelu:
Při plném provozu větrání tunelu (všechny proudové ventilátory, přívodní a odsávací ventilátory) na minimálně 10 kritických bodech rozložených po délce tunelu, 1,5 m nad jízdní dráhou.
- V únikové cestě / štole:
Při plném provozu větrání únikové cesty, na kritických bodech (zpravidla v okolí vhnění), 1,5 m nad chodníkem.
- Vně:
Na reprezentativních měřících bodech, které jsou kritické pro splnění vnější mezní hodnoty hlučnosti ve smyslu legislativy [15], např. nejbližší budovy v okolí portálů tunelu.

9.4.8 Příčné propojení a větrání chráněných únikových cest

Měření musí být následující veličiny:

- Síla potřebná na otevření dveří nouzového východu v událostním režimu větrání únikových cest při současném provozu požárního větrání v tunelu
- Diferenciální tlak přes zavřené dveře nouzového východu v normálním režimu větrání únikových cest, bez provozu větrání tunelu
- Rychlost proudění vzduchu přes otevřené dveře nouzového východu (min. 10 náhodných měření po celé ploše dveří) v požárním režimu větrání únikových cest při současném provozu požárního větrání v tunelu

U dvoutroubových tunelů se měří při plném výkonu požárního větrání, pro požár v každé trubce, přičemž se musí protitlaky dle kap. 10.3 simulovat mobilním proudovým ventilátorem.

9.4.9 Kontrola a kalibrace měřících přístrojů proudění vzduchu

Kalibrace měření proudění je nutná pro všechny tunely, u kterých je potřeba regulace podélného proudění ve smyslu kap. 3.5 a 8.5.

Kalibrace se musí realizovat pomocí měřící sítě s nejméně 5 x 5 měřícími body v dopravním prostoru ve smyslu ISO 5802 [3], s kontinuálním záznamem měřících hodnot při dynamickém průběhu proudění vzduchu.

Kalibrace se vhodně realizují současně s měřením podélného větrání ve smyslu kap. 9.4.3. U tunelů bez proudových ventilátorů resp. injektorů je nutné nastavit různé podélné proudění pomocí mobilních proudových ventilátorů.

Po dobu měření musí být všechny otvory v tunelu (dveře nouzového východu, odsávací klapky, uzavírací klapky přívodních a odsávacích ventilátorů) uzavřené.

Pro určení kalibračních faktorů je podle kap. 8.2.2 potřebné využít minimálně 100 měřících hodnot v rozsahu od 0 do 3 m/s v obou směrech větrání.

Stanovení aerodynamických parametrů tunelu je možná realizovat pomocí nestacionárního výpočtového modelu 1-D na základě vyhodnocení průběhu naměřených rychlostí proudění vzduchu po vypnutí proudových ventilátorů.

9.4.10 Kontrola měřičů opacity

Kontrola měřičů opacity se realizuje pomocí generátorů dýmu, které jsou přednostně umístěny na jeden z portálů tunelu. Pomocí větracího zařízení (proudové ventilátory / injektory) nebo mobilních proudových ventilátorů je potřebné nastavit podélné proudění tak, aby reagovali všechny měřice opacity na celou délku tunelu s překročením mezní hodnoty extinkčního koeficientu 30 [km⁻¹]. Vlastnosti zkušební dýmu musí odpovídat požadavkům ve smyslu kap. 9.6.

9.5 Komplexní zkoušky (SIT)

Pro komplexní zkoušky (SIT) je nutné vypracovat podrobný program s definicí všech zkušebních scénářů, včetně možných poruchových stavů. Pro každý scénář je potřebné definovat akceptační kritéria.

Podrobné zkoušky požárního větrání musí být povinně realizované před otevřením tunelu. Zkoušky podstatných programů normálního provozního větrání musí být realizované před otevřením tunelu, mnohé detaily mohou být ověřené a optimalizované až během provozu.

Na zkoušky algoritmu detekce dýmu se zpravidla užívá stacionární zdroj dýmu pro vybrané scénáře, u tunelů s nastavitelným příčným odsáváním dýmu taky pojízdný zdroj dýmu na vozidle. Vlastnosti zkušební dýmu musí odpovídat požadavkům ve smyslu kap. 9.6.

V tunelu musí být otestované podstatné požární programy pro všechny kritické situace včetně náhodných zkoušek scénářů výpadku. Pro tento účel jsou důležité simulace protitlaků pomocí mobilních proudových ventilátorů, aby bylo možné vytvořit stavy požadované ve smyslu kap. 10.3.

Po dobu zkoušek v tunelu musí být všechny měřicí hodnoty, především rychlosti proudění vzduchu, průběžně zaznamenány. Na základě dynamického chování je případně možno optimalizovat regulaci.

Při zkouškách koordinace všech bezpečnostních zařízení musí být ověřeny všechny možné závislosti, u větrání zase všechny kritické případy ve smyslu kap. 10.3.

Scénáře výpadku musí být ověřené náhodným testem s výpadkem jednotlivých přístrojů, komunikace a jednotlivých zařízení. Je potřebné zkontrolovat především všechny možné scénáře výpadku dodávky elektrického proudu.

9.6 Dýmové zkoušky

Zkušební dým se potřebuje ve všech tunelech pro kontrolu měřičů opacity dle kap. 9.4.10 a pro zkoušky detekce dýmu dle kap. 9.5.

Po úspěšném ukončení všech komplexních zkoušek ve smyslu kap. 9.5 se mohou uskutečnit dýmové zkoušky pro vizualizaci požárního větrání v zasažené troubě tunelu a nezakouření únikových cest, nezasažené trouby a technických prostorů pro vybrané scénáře.

Scénáře pro dýmové zkoušky je třeba stanovit na základě kategorie tunelu a projektu, s možnou variací následujících parametrů:

- Programy požárního větrání
- Protitlaky / přirozené podélné proudění z jedné strany - z druhé strany (např. kritické případy ve smyslu kap. 10.3., při čemž protitlaky je třeba nastavit pomocí mobilních proudových ventilátorů.
- Množství dýmu nejméně cca 20 m³/s (odpovídá požáru osobního vozidla 5 MW)

Pro vizualizaci, optická hustota zkušební dýmu by měla být podobná dýmu při skutečném požáru vozidla, a vznikající teplo by mělo umožnit vrstvení dýmu při běžné okolní teplotě vzduchu v tunelu a při podélné rychlosti proudění < 2 m/s, když se nevyskytne dodatečné rušení.

Pro všechny zkoušky v tunelech, zkušební dým musí splnit následující požadavky:

- Měření opacity a detekce dýmu musí na zkušební dým bezchybně reagovat, i při potlačování mlhy
- Vznikající teplo nesmí poškozovat zařízení v tunelu
- Zkušební dým nesmí být nevhodný z hlediska toxicity a možného poškození zdraví
- Zkušební dým nesmí být korozivní
- Zkušební dým nesmí zanechat žádné nánosy na zařízeních instalovaných v tunelu, především na měřicích přístrojích a kamerách

9.7 Zkoušky tunelů v provozu

9.7.1 Automatické zkoušky v provozu

Požární větrání je nutné ověřovat pravidelně se simulací různých scénářů. To je možné realizovat v obdobích s malým provozem (např. v noci), když neběží normálně provozní větrání. Přitom musí být zaznamenány všechny měřicí údaje měření proudění vzduchu a provozu ventilátorů.

Pro úsporu provozních nákladů se při tom odsávací ventilátory dají spustit jenom na částečný výkon.

9.7.2 Optimalizace normálního provozu

V tunelech s častým provozem normálního provozního větrání je nutné optimalizovat provoz větrání a spotřebu energie s využitím variace parametrů a v případě potřeby vyzkoušením různých scénářů.

9.7.3 Údržba a servis

Údržbové a servisní práce na větracích zařízeních a měřicích přístrojích musí být vykonávány podle požadavků výrobců, zpravidla ne víc než jednou ročně. Především je potřebné dbát na čištění a opravu případných počátků koroze.

Při pracích na měřicích přístrojích a proudových ventilátorech v dopravním prostoru musí být tunel uzavřený.

Při práci na bezpečnostních zařízeních mimo dopravní prostor je nutné snížit riziko, např. vykonáním prací v noci nebo omezením dopravy.

Po servisních pracích musí být všechna zařízení zkontrolována. Za tímto účelem jsou potřebné především zkoušky ve smyslu kap. 9.4.2, 9.4.3 a 9.4.5 .

9.7.4 Podrobné funkční zkoušky větracího zařízení

V pravidelných intervalech (doporučuje se max. 5 roků) je nutné v rámci uzavření tunelu realizovat následující zkoušky:

- Kalibrace měřicích přístrojů ve smyslu kap. 9.4.9 spolu s měřením podélného větrání ve smyslu kap. 9.4.3
- Při odsávání nebo příčném větrání:
Kalibrace měřičů průtoku pro přívodní a odsávací ventilátory ve smyslu kap. 9.4.5 a měření netěsnosti ve smyslu kap. 9.4.6
- Měření hlučnosti ve smyslu kap. 9.4.7
- Měření v příčných propojeních a větrání únikových cest ve smyslu kap. 9.4.8
- Komplexní zkoušky, hlavně kontrola požárního větrání, ve smyslu kap. 9.5
- Případně dýmové zkoušky ve smyslu kap. 9.6

Příloha D

10 Výpočtová část

10.1 Aerodynamické modely

Modely na podélné proudění v tunelové trubě jsou popsány v lit. [27], [35], modely na odsávání a ztráty kanálu jsou popsány v lit. [32], [34]

Aerodynamický návrh větracího zařízení je pro směrodatnou hustotu vzduchu ρ_0 . Pro návrh elektrického napájení a provozní bezpečnosti je navíc potřebné zohlednit maximální hustotu vzduchu $\rho_{\max} = \rho_0 + 0,2$ [kg/m³].

10.2 Provoz

Průměrný počet vozidel v tunelu

= Průměrný provoz za hodinu / směrodatná rychlost x délka tunelu

Průměrný provoz za hodinu a JP je nutno vypočítat dle skutečných hodnot a přidat dodatečnou rezervu cca 30%. Když nejsou k dispozici žádné hodnoty, lze předpokládat 15% denního provozu / počet JP.

Pro výpočet vozidel v tunelu při požáru se předpokládá, že v tunelu zůstane f x průměrný počet vozidel v tunelu + počet vozidel, které vjedou do tunelu během 3 min.

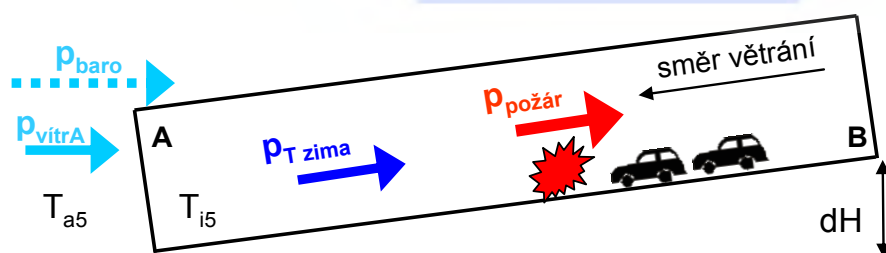
$f = 100\%$ u jednosměrných tunelů, nebo dle místa kritického případu.

$f = 50\%$ u obousměrných tunelů

10.3 Směrodatné protitlaky

Směrodatné protitlaky jsou:

Protitlak ze strany A:



Obr. 7 Příklad protitlak ze strany A

$$\Delta p_{T \text{ zima}} [Pa] = \frac{9,81 \cdot \Delta H \cdot p_0}{287,05 \cdot \left(\frac{1}{T_{a5}} - \frac{1}{T_{i5}} \right)}$$

- Vztlak:

p_0 [Pa], T_{i5} [K], T_{a5} [K] ve smyslu kap. 7.2.3 (s T [K] = T [°C] + 273)

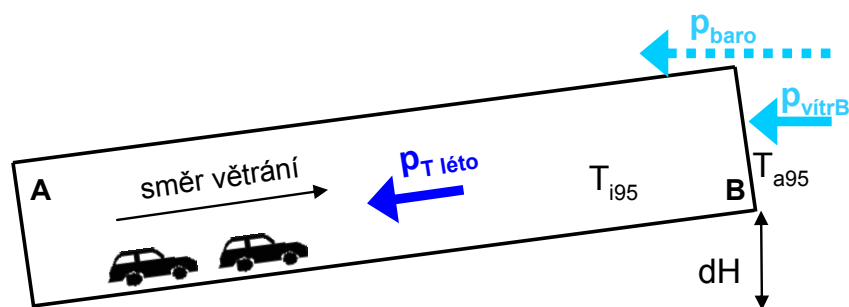
dH [m]: Výškový rozdíl mezi portály

- Tlak větru $p_{vitrA} = 0,4 \cdot u_{vA}^2$

u_{vA} [m/s]: Naměřená hodnota ve výšce 10 m ve smyslu kap. 7.2.3

- Barometrický tlakový rozdíl p_{baro} ve smyslu kap. 7.2.3
- Vztlak $p_{\text{požár}}$ [Pa] vypočítaný dle kap. 10.5 s požárním výkonem dle kap. 7.3.1 na místě s nejvyšším sklonem

Protitlak ze strany B:



Obr. 8 Příklad protitlak ze strany B

$$\Delta p_{T \text{ léto}} [\text{Pa}] = \frac{9,81 \cdot \Delta H \cdot p_0}{287,05 \cdot \left(\frac{1}{T_{i95}} - \frac{1}{T_{a95}} \right)}$$

- Vztlak:
 p_0 [Pa], T_{i95} [K], T_{a95} [K] ve smyslu kap. 7.2.3 (s T [K] = T [°C] + 273)
 dH [m]: Výškový rozdíl mezi portály
- Tlak větru $p_{\text{vitrB}} = 0,4 \cdot u_{\text{vB}}^2$
 u_{vB} [m/s]: Naměřená hodnota ve výšce 10 m ve smyslu kap. 7.2.3
- Barometrický tlakový rozdíl p_{baro} ve smyslu kap. 7.2.3
- (žádný vztlak požáru)

Při tunelových systémech s více portály je potřebné zodpovědně identifikovat a vypočítat další směrodatné případy.

Když nejsou k dispozici naměřené hodnoty, dají se předpokládat následující hodnoty:

- $T_{a5} = 263$ [K], $T_{a95} = 298$ [K],
rozdílné teplot ($T_a - T_i$) = 4 [K] x délka tunelu [km]
- Tlak větru na portál tunelu: $p_{\text{vitr}} = 10$ Pa
- Barometrický tlakový rozdíl p_{baro} : 10 Pa x délka tunelu [km]

10.4 Kritická rychlost proudění vzduchu

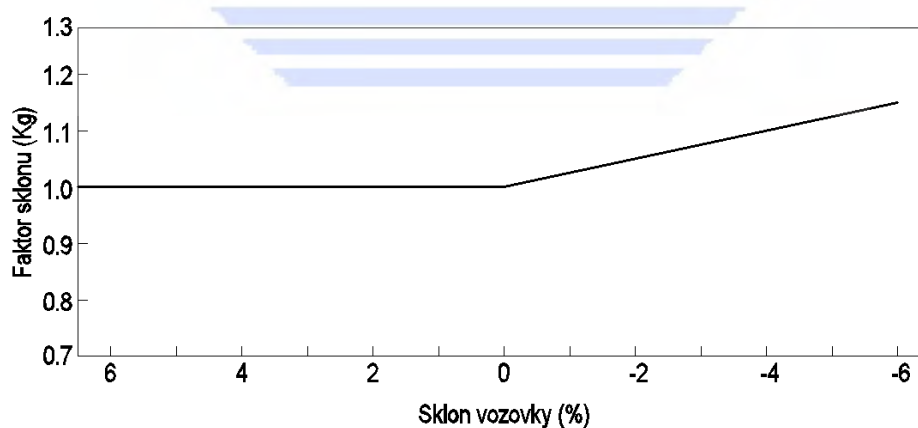
Kennedyho model na výpočet kritické rychlosti (z [31])

$$V_c = K_1 \cdot K_g \left(\frac{g \cdot H \cdot Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot T_f} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$T_f = \left(\frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot V_c} \right) + T$$

kde:

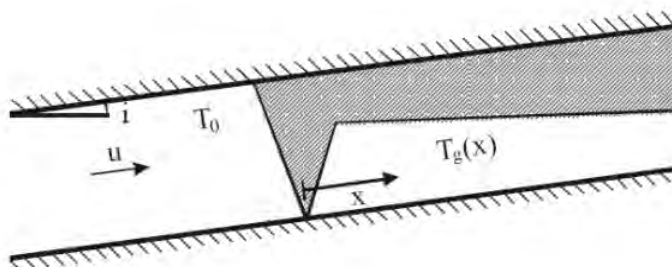
- V_c kritická rychlost [m/s]
- K_1 0,606 (Froudeův faktor, [$Fr^{-1/3}$])
- K_g faktor sklonu (viz. Obr. 9)
- g tíhové zrychlení [m/s^2]
- H výška tunelu na straně požáru [m]
- Q tepelný výkon požáru předávaný přímo do vzduchu na straně požáru [MW]
- ρ průměrná hustota přiváděného vzduchu [kg/m^3]
- c_p specifický tepelný výkon požáru [$kJ/kg \cdot K$]
- A plocha kolmá k toku vzduchu [m^2]
- T_f průměrná teplota plynů na straně požáru [K]
- T teplota přiváděného vzduchu [K]



Obr. 9 Faktor sklonu pro určení kritické rychlosti

10.5 Požární vztlak

Model na výpočet vztlaku podle Opstada [33]



$$T_{fire}(0) = \frac{Q}{\rho_0 \cdot A_T \cdot c_p \cdot u} + T_0 \quad .$$

$$\Delta p_{stack} = \frac{u \cdot g \cdot i \cdot \rho_0}{c} \cdot \ln \left[\frac{T_0 + (T_{fire}(0) - T_0) \cdot \exp\left(\frac{c \cdot L_T}{u}\right)}{T_{fire}(0)} \right] \quad .$$

$$c = - \frac{\alpha \cdot U_T}{\rho_0 \cdot A_T \cdot c_p}$$

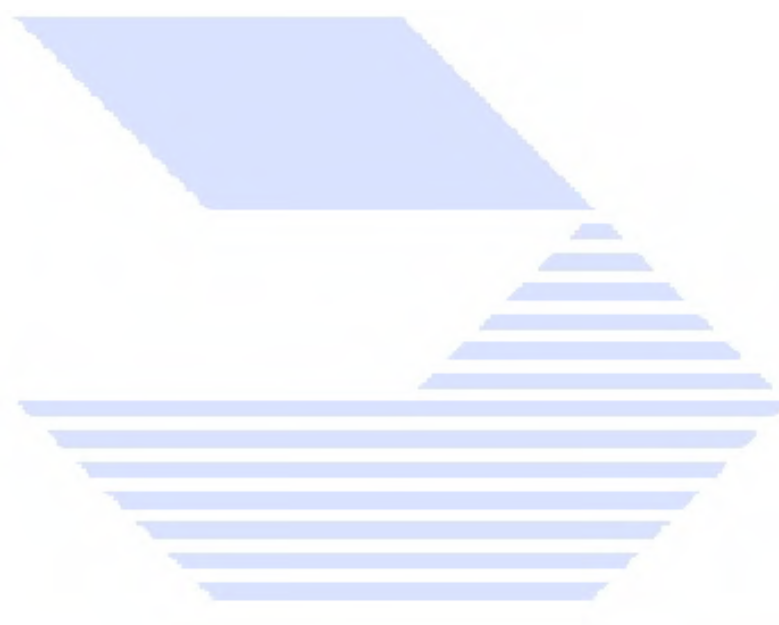
kde:

- i sklon [%]
- u rychlost proudění (studený vzduch před požárem) [m/s]
- g tížové zrychlení [m/s²]
- ρ_0 průměrná hustota vzduchu [kg/m³]
- c_p specifický tepelný výkon požáru [kJ/kg·K]
- α koeficient kondukce tepla [W/m²K]
- Q tepelný výkon požáru předávaný přímo do vzduchu na straně požáru [W]
- A_T plocha příčného řezu tunelu [m²]
- U_T obvod příčného řezu tunelu [m]
- L_T délka tunelu [m]
- T_0 Teplota vzduchu před požárem [K]

10.6 Potřeba čerstvého vzduchu

Metodika na výpočet potřeby čerstvého vzduchu je popsána v PIARC [22]. podrobné modely a parametry jsou popsány např. v zahraničních směrnících [24], [25], [27]

Emisní hodnoty pro vozový park v České republice je potřeba separátně zpracovat. Když takové hodnoty nejsou k dispozici, je možno navrhnout a zdůvodnit použití emisních hodnot ze zahraničí.





Vydalo: Ministerstvo dopravy
Odbor pozemních komunikací

Zpracoval: Ing. Petr Pospíšil
tunnelventilation.Pro, Švýcarsko

Počet stran: 54 stran

Distributor: Ředitelství silnic a dálnic ČR
Čerčanská 2023/12
140 00 Praha 4
www.rsd.cz

Praha 2013