

INOVATIVNÍ BEZPEČNÁ UZÁVĚRA PROVOZU DÁLNIČNÍCH A MĚSTSKÝCH TUNELŮ

INNOVATIVE SAFE TRAFFIC BARRIER OF HIGHWAY AND CITY TUNNELS

Ing. Ondřej Nývlt¹
Ing. Jiří Cigler, Ph.D.²
Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.³
Ing. Petr Kašpar, Ph.D.⁴
Ing. Josef Komárek⁵

ABSTRAKT

Jedním z problémů současných silničních a dálničních tunelů je efektivní a spolehlivé uzavření provozu v tunelu či jeho omezení během krizových situací. Většinou je řešením kombinace portálu s proměnnou světelnou signalizací a klasické mechanické závory. Tato závora v případě vydání signálu „STOP“ fyzicky uzavře vjezd do tunelu. Problémem zůstává, že někteří řidiči nejen že světelnou signalizaci příkazující zastavit ignorují, ale poté nereagují ani na vlastní závoru, kterou tak mnohdy jednoduše zničí. Provoz tunelu se poté nemusí podařit zastavit, neboť jak ze zkušeností vyplývá, tak vjede-li do tunelu přes zničenou závoru první řidič, ostatní ho většinou následují. Cílem tohoto článku je shrnout stav výzkumného projektu, podpořeného grantem TAČR, který má za úkol vyvinout a vyrobit principiálně nové a efektivnější řešení uzávěry provozu v tunelu. Uzávěra má podstatně efektivněji zastavovat dopravu v krizových situacích. Zároveň má být ale bezpečná a musí umožnit průjezd vozidel IZS (i při spuštěném stavu). Základem v článku popsaného řešení je pružná a zároveň bezpečná síť křížových elementů z kombinace silikonu a kompozitního vlákna. Uzávěra tak bude ve formě rolety umístěné na portálu před tunelem nebo na nosníku v tunelu. Každý dopravní pruh bude mít svoji samostatně ovladatelnou uzávěru. Systém bude ovládán stejnými příkazy jako klasická mechanická závora.

ABSTRACT

One of the main problems of road and highway tunnels is an effective and reliable traffic closure of a tunnel during emergency situations. The installed solution is usually a combination of variable-message signs with a classical mechanical traffic barrier. In the case of the signal “STOP”, this barrier physically closes an entrance to the tunnel. The problem is, that some of drivers ignore the signs and also ignore the barrier itself, so they

¹ Ing. Ondřej Nývlt, Feramat Cybernetics s.r.o., Nušlova 2268/1, 158 00, Praha 5, Česká republika, tel.: +420776051356, e-mail: nyvt@feramat.com

² Ing. Jiří Cigler, Feramat Cybernetics s.r.o., Nušlova 2268/1, 158 00, Praha 5, Česká republika, e-mail: cigler@feramat.com

³ Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D., Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 26, 306 14 Plzeň

⁴ Ing. Petr Kašpar, Ph.D., Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 26, 306 14 Plzeň

⁵ Ing. Jan Komárek, TECHNOFIBER s.r.o., Lazaretní 7, 615 00 BRNO

destroy the barrier. If the barrier is destroyed, the traffic is often not stopped and other cars enter the tunnel.

This paper summarizes the actual state of the research (supported by a TAČR grant) which is focused on a development of a new innovative barrier, which should close traffic more reliable, more effectively and safely. It should also allow rescue squad vehicles to enter the tunnel. This new barrier is based on a net of flexible silicon elements connected together by composite strings. The net-barrier is similar to a roller shutter placed on a portal in front of a tunnel or inside of the tunnel. Every traffic lane has its own independently operable barrier. The system is controlled by the same signals as the classical barriers.

1 Úvod a současný stav

Bezpečnost tunelů je po často zmiňovaných tragédiích (nejen) v alpských tunelech v devadesátých letech 20. století velmi frekventovaným výzkumným tématem. Problémem, který je nutno řešit, ale není pouze požár uvnitř tunelu, ale například i efektivní a bezpečné uzavření provozu tunelu. Dálniční nebo městský tunel je třeba v jistých případech v jednom či obou směrech rychle uzavřít. Jde především o mimořádné události typu: požár; dopravní nehoda; vjezd příliš vysokého vozidla; zastavení vozidla v tunelu; pohyb chodců v tunelu nebo porucha některé z technologií. Dalším důvodem uzavření jsou servisní zásahy, které ale bývají v dlouhodobém horizontu plánované.

1.1 Současné řešení zábran

Standardní systém pro uzavírání provozu v tunelu v mimořádných situacích je tvořen sérií portálů s výstražnými světly, proměnným i statickým dopravním značením a mechanickou závorou umístěnou před vjezd do tunelu. Typickými představiteli závor jsou například AGH7 (1), BL 45A/F (2) nebo BL 52 (akční rádius až 14 m) (3). Jak se ze zkušeností ukazuje, není toto řešení dostatečně účinné. Řidiči totiž často značení a dokonce i závoru ignorují. Dochází tak mnohdy k proražení závor, jak ukazují i zkušenosti ze Strahovského tunelu. Jakmile je závora proražena, pak ve většině případů vozidla dál vjíždí do tunelu i přes signál prikazující zastavení.



Obr. 1 Automatická horizontální závora AGH7 – obrázek převzat z (1)
Fig. 1 Automatic horizontal barrier AGH7 - the figure is taken from (1)



Obr. 2 SOFTSTOP BARRIER SYSTEM od firmy Laservision – obrázek převzat z (4)
 Fig. 2 SOFTSTOP BARRIER SYSTEM - the figure is taken from (4)

Dle studií psychologie chování, provedených například nizozemským institutem TNO, se řidič vjíždějící do tunelu soustředí na portál tunelu a nezáměrně ignoruje okolní značení. Jediným skutečně fungujícím způsobem zastavení provozu je osobní přítomnost policie před portálem, což je ale velmi nebezpečné a navíc policie nemůže být na každém portálu do několika sekund po vzniku mimořádné události. Je tedy jasné, že efektivní uzavření provozu v tunelu je nesnadnou a problematickou záležitostí. Ukazuje se, že aby řidič skutečně správně reagoval, je nutné, aby se pokyn k zastavení objevil v prostoru přímo mezi portálem a řidičem tj. v zorném poli vjíždějícího řidiče. Z tohoto faktu vychází alternativní řešení uzávěry v Sydney v Austrálii v tunelu pod známou budovou opery „Sydney Harbour Tunnel“, kde byl častý problém s nákladními automobily ignorujícími upozornění na nadměrnou výšku vozidla a z toho plynoucí poničení portálu tunelu (kamion i přes mnohá varování a výstrahy proměnnými značkami „STOP“ nezastavil a narazil do portálu). Firma Laservision (<http://laservision.com.au>) proto vyvinula systém, který zobrazí účinnou výstrahu do 2,5 sekund od vydání příkazu přímo před vjíždějící vozidlo. Cílem je tedy rychlé zastavení jednoho konkrétního vjíždějícího vozidla. Princip je založen na spuštění vodní clony v celém průřezu tunelu, na kterou se laserem promítá symbol „STOP“. Uzávěra má dle zkušeností dostatečný psychologický efekt a je přitom zcela bezpečná. Systém je použitelný za dne i v noci. Díky zcela rozdílným klimatickým podmínkám je tato uzávěra ve střední Evropě nepoužitelná. Není zcela jasné, jestli je možno systém využít pro dlouhodobé uzavření tubusu a zda ho lze instalovat i dovnitř tubusu.

1.2 Cíle projektu

Cílem v tomto článku popsaného projektu je navrhnout a realizovat uzávěru silničního tunelu, která zajistí efektivnější uzavření provozu v tubusu tunelu. Uzávěra nesmí představovat bezpečnostní riziko v případě nedobrzdní vozidla a jeho nárazu do ní. To znamená, že při impaktu určité síly se elementy, ze kterých je sestavena, vylomí a nepředstavují tak riziko například omotání kolem řídicích. Při nízké rychlosti ji pro změnu vozidla IZS mohou bezpečně projet. Výsledný komerční produkt má snížit pravděpodobnost zranění, smrti či hmotných škod v případě mimořádné události v tunelu nebo i při plánové

odstávce. Uzávěra by měla být pro každý pruh samostatně spustitelná a ovladatelná. Ze zmíněných psychologických důvodů musí být akční část zábrany velikosti odpovídající maximálnímu průjezdnímu profilu a navíc by na sobě měla mít vyobrazený symbol „STOP“ – jediné tak bude mít zvýšený efekt.

Projekt inovativní bezpečné uzávěry je vyvíjen firmami Feramat Cybernetics a Technofiber společně se Západočeskou univerzitou v Plzni a je podpořen grantem TAČR.

1.3 Struktura článku

V kapitole 2 je popsán současný stav legislativy týkající se tématu vývoje a provozu uzávěry tunelu a také jsou zde shrnuty některé základní parametry dnešních silničních tunelů. Kapitola 3 se zabývá konkrétním návrhem inovativní bezpečné uzávěry a popisuje i alternativní možnosti vývoje. Současný stav projektu a plánovaný budoucí vývoj je popsán v kapitole 4.

2 Výchozí stav

Omezující podmínky pro návrh nového typu uzávěry vychází jednak z platné legislativy v rámci ČR a EU tak i z geometrie a dalších parametrů současných silničních/dálničních tunelů. Aby bylo uvedení do reálného provozu co nejjednodušší, tak je již od začátku vývoje nutné sledovat platné české i evropské normy v oboru vybavení i bezpečnosti tunelů a projektovat systém v souladu s nimi (i se zažitou praxí). Současný trend je projektovat dálniční zařízení taková, aby byla co nejvíce univerzální bez ohledu na konkrétní instalaci – tj. typizované řešení. Při výrobě pak jen minimálně závisí na skutečných parametrech tunelových tubusů a jejich okolí. Proto je vhodné předem sepsat a analyzovat typické parametry a geometrii současných tunelů a na tomto základě dimenzovat zábranu i její podpůrné konstrukce a zařízení.

2.1 Legislativa

Aby bylo možno systém schválit pro skutečný provoz, tak je nutné, aby byl v souladu s platnými řády a nařízeními. S pohledu legislativy se jeví jako zajímavé tyto typy dokumentů:

- Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/54/EC a Nařízení vlády ČR
- Road Tunnels Manual (PIARC)
- Normy ČSN
- Technické podmínky (TP) Ministerstva dopravy ČR
- Požadavky na provedení a kvalitu (PPK) Ředitelství silnic a dálnic ČR

„**SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2004/54/EC**“ (5) je velmi obecně napsaná směrnice o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě, ve které jsou zábrany provozu zmíněny na dvou místech. V ČR tuto základní direktivu implementuje nařízení vlády ze dne 20. července 2009, kde se mimo jiné říká, že ve všech tunelech mohou být použity dodatečné prostředky jako například zábrany k zabezpečení zákazu vjezdu. U určité kategorie tunelů s délkou nad 3 km by se mělo takové zařízení instalovat i uvnitř tunelu a to v intervalech do 1 km.

Ve většině níže uvedených dokumentech je citováno mnoho norem ČSN. Z těch zajímavějších uveďme ČSN EN 12899-1 (6) obsahující např. technické požadavky na retroreflexní materiál pro značky a ČSN 73 7507 (7), což je základní dokument pro návrh tunelů z hlediska bezpečnosti a je zde stanovena i výška průjezdního profilu tunelu.

Nejzajímavější dokumenty z pohledu návrhu uzávěry jsou **Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR (TP)** a **Požadavky na provedení a kvalitu (PPK) ŘSD**, které uvádí skutečné požadavky na silniční stavby i zařízení a popisují zavedenou praxi. Zábran pro omezení provozu se dotýkají především **TP 98 (8)** okrajově i **TP 141 (9)**, **TP 154 (10)** a **TP 165 (11)**.

TP 98 (8) stanovují zásady pro návrh a realizaci technologického vybavení tunelu. Kapitola 3.2.7.3 tohoto dokumentu se specificky věnuje zábránám a je zde mimo jiné uvedeno: *že zábrany nesmí bránit vjezdu složek integrovaného záchranného sboru (IZS); jaké světelné signály mají zábranu doplnit; že elektronický systém má zabránit zavírání/otevírání uzávěry, pokud je v jejím akčním prostoru vozidlo atd.* TP 98 také zmiňují, že zábranu lze použít i pro uzavírání jednotlivých pruhů a řízení dopravy. V dalších kapitolách se obecně popisuje řízení a komunikace mezi řídicími systémy tunelu, doporučené krytí zařízení, rozměry značek apod. TP jsou bohužel často napsány velmi obecně, nepřikazují přesné postupy či materiály a často se odkazují na normy ČSN.

Jestliže jsou TP napsány příliš obecně, pak **Požadavky na provedení a kvalitu** Ředitelství silnic a dálnic ČR jsou přesným opakem. PPK obsahují naprosto přesné požadavky (např. na materiály, barvy, provedení) na realizaci staveb a vybavení na silnicích a dálnicích ve správě ŘSD. Například **PPK – KAB (12)** obsahují zajímavé detaily o silové i sdělovací kabeláži; **PPK – PDZ (13)** pak obsahují i požadavky na velikosti značek a symbolů; **PPK – POR (14)** jsou z pohledu projektu uzávěry nejzajímavější, protože se věnují nosným portálům na volné trase a nabízí i jejich typizovaná řešení.

Autoři jsou si vědomi, že i přes dodržení všech požadavků a doporučení z výše citovaných dokumentů je projekt uzávěry natolik inovativní, že se neobejdou bez konzultací expertů v oboru.

2.2 Geometrie silničních a dálničních tunelů

U silničních a dálničních tunelů můžeme nalézt čtyři typy průřezů: kruh, obdélník, podkova a kruhová koruna s eliptickým dnem. V případě uzávěry umístěné na konstrukci před tunelem není tvar průřezu nijak omezující. Ve chvíli, kdy by se uvažovalo o umístění zařízení dovnitř tubusu, pak má tvar významný vliv, protože může omezovat například umístění strojní části pod stropem tubusu.

Důležitými údaji jsou v každém případě hodnoty světlé výšky průjezdního profilu a šířky jízdního pruhu, které se stát od státu mohou měnit. Vybrané parametry v rámci světových tunelů jsou uvedeny v tabulkách Table 1 Road lane width - taken from

Tab. 1 a Tab. 2, které jsou převzaty z (15) a upraveny.

Table 1 Road lane width - taken from (15)

Tab. 1 Šířky pruhů – převzato z (15)

Země a název směrnice či zdroje	Šířka jízdního pruhu [m]	Šířka dělicího/vodícího pásu [m]	Šířka vozovky [m]
<i>Rakousko RVS 9.232</i>	3,50	0,15	7
<i>Dánsko (praxe)</i>	3,60	0,1	7,2
<i>Francie CETU</i>	3,50	-	7
<i>Německo</i>	3,50	0,15	7
<i>Německo RAS-Q 1996</i>	3,50	0,15	7
<i>Německo RABT 94</i>	3,75	-	7,5
<i>Japonsko</i>	3,50	-	7
<i>Japonsko – Řád stavby silnic</i>	3,25	-	6,5

Table 2 Comparison of headroom above carriageway - taken from (15)
Tab. 2 Porovnání světlých průjezdných výšek - převzato z (15)

Stát	Min. výška dopravního prostoru [m]
<i>GER, JP, NL, SW, SUI</i>	4,5
<i>EU dle Ženevské konvence</i>	4,8
<i>USA dálnice</i>	4,9
<i>USA silnice</i>	4,3
<i>Spojené království</i>	5,35
<i>Španělsko</i>	5
<i>Norsko</i>	4,6
<i>Francie</i>	4,5 a 4,75
<i>Rakousko</i>	4,7
<i>Dánsko</i>	4,6

V tabulce Tab. 3 jsou pak uvedeny parametry vybraných tunelů na území České republiky. Pokud má být plánovaná uzávěra univerzální pro každý tunel, pak je nutno navrhnout rozměry její akční části dle uvedených údajů.

Table 3 Comparison of selected czech tunnels and their parameters
Tab. 3 Porovnání některých českých tunelů a jejich parametrů

Tunel	Druh	Počet pruhů na tubus	Šířka jízdního pruhu [m]	Šířka vozovky [m]	Světlá průjezdná výška [m]
<i>Královopolský tunel (Brno)</i>	město	2	3,5	8,5	4,5
<i>Strahovský tunel (Praha)</i>	město	2	3,5	-	4,8
<i>Panenská, Libouchec, Prackovice, Radejčín (D8)</i>	dálnice	2	3,5		4,5
<i>Slivenec – Lahovice (Praha)</i>	dálnice	jižní 3; severní 2	pravý tubus - 3,5m a 3,75m; levý tubus - 2x3,5m a 1x3,75m	levý tubus - 11,75; pravý - 9	4,8
<i>Valík (D5)</i>	dálnice	2 + 1 nouzový	jízdní 3,75; nouzový 3,25	11,5	4,8+0,15
<i>Blanka (Praha)</i>	město	2 nebo 3 jízdní pruhů	3,5	2 pruhů - 8; 3 pruhů - 11,5	4,8

Další hodnoty důležité pro návrh se týkají ventilace tunelového tubusu. Aktivovaná uzávěra jednak nesmí negativně ovlivnit proudění v tubusu (zvláště v případě nouzového větrání) a jednak sama musí odolávat vlivu aktivní ventilace. Konzultací se podařilo získat tyto (orientační) údaje pro skutečný městský vícepruhý tunel:

- Rychlost proudění během provozu tunelu se ve špičkách pohybuje 3-5 m/s; v nočních hodinách kolem 1 m/s.

- Bez provozu je v tunelu měřeno proudění od -1 do +1 m/s, nikdy ale úplně bezvětří.
- Požární režim ventilace: při 1. fázi 1,2 m/s; při 2. fázi 2,5 - 3,5 m/s.
- Vliv ventilace je osobami cítit do vzdálenosti cca 10 m před portálem tunelu.

Získané informace poslouží k testům ve větrném tunelu, kde se ověří správné chování.

3 Návrh systému bezpečné uzávěry

Finální návrh uzávěry vznikl sérií samostatných rozhodovacích kroků, kdy se vybíralo vždy z několika variant. Návrh lze rozdělit do tří sekcí: mechanické provedení uzávěry, materiál uzávěry a umístění uzávěry.

Kromě podmínek vycházejících z legislativy nastíněné v minulé kapitole bylo stanoveno několik dalších bodů, které musí řešení vždy splňovat:

- Akční plocha uzávěry bude na sobě mít vyobrazený symbol „STOP“ – buď standardizované velikosti, nebo v případě povolení výjimky přes celou šíři uzávěry jednoho pruhu.
- Uzávěra může být dlouhodobě vystavena venkovním meteorologickým podmínkám i specifickým podmínkám uvnitř tunelu.
- Systém bude umožňovat nezávisle uzavírat libovolný pruh(y).
- Aktivovaná akční plocha uzávěry musí být osvětlena.
- Dle TP 98 se nesmí uzávěra aktivovat, pokud je v jejím akčním radiu vozidlo – v tom případě lze uzávěru alespoň přivřít, kdy se zobrazí menší verze symbolu „STOP“.
- Rozsah teplot, ve kterém musí systém pracovat, je -25 °C až +55 °C (odvozeno z požadavků na jiné zařízení na dálnicích).

3.1 Mechanické provedení

V úvahu přichází dvě zásadní varianty mechanického provedení: spouštění celých „tyčí“ od stropu jako závěs, nebo odmotávání akční plochy z bubnu jako roletu. Obě řešení mají různé klady a zápory:

3.1.1 Tyčové provedení

Akční plocha sestává z tyčí/prutů z kompozitního materiálu, na kterých je natištěn jeden či více symbolů „STOP“. Délka tyče je rovna zhruba max. průjezdní výšce. Tyče jsou uloženy celé, bez složení, nad vozovkou paralelně s ní. Pruty jsou pružné, takže pomalu jedoucí vozidlo může projet, aniž by se poškodilo. Při vyšší rychlosti nebo nárazu dojde k řízenému vylomení prutů. Ve chvíli, kdy je vydán pokyn k aktivaci, tak se tyče jednoduše spustí.

Výhody:

- Velmi rychlé spuštění a aktivace s minimálním úsilím.
- Lze dobře definovat místa pro vylomení v případě nárazu.
- Zábranu je možno vozidlem pomalu projet bez poškození – platí i pro motocykl.

Nevýhody:

- Nahrazování jednotlivých vylomených nebo poškozených tyčí – konkrétní tyč musí nahradit její přesný duplikát, aby na zábraně natištěný nápis dával smysl.
- Zpětná deaktivace zábrany tj. jak efektivně a rychle vytáhnout zpět tyče.

- K uložení tyčí potřeba hodně prostoru.
- Při spuštění s velkou pravděpodobností dojde k překmitu a rozhoupání tyčí.
- Vyšší pravděpodobnost rozfoukání tyčí při větru nebo proudění.
- Problém samovolného spuštění – nebezpečné selhání právě díky rychlosti aktivace a nízké možnosti detekce tohoto nežádoucího stavu.
- Problematictější uzavření jen jednoho pruhu.

3.1.2 Roletové provedení

Druhou možností je roletové provedení. Uzávěra je tvořena prodyšnou roletou, která je sestavena z propojených svislých pruhů pružného materiálu, takže tvoří rastr na kterém je vyobrazen symbol „STOP“. Roleta je nad vozovkou namotána na buben, ze kterého se po obdržení příkazu k aktivaci začne odmotávat směrem k vozovce. Každý pruh má svůj buben s roletou a motorem. Při deaktivaci se zábrana začne jednoduše namotávat zpět na válec. Z bezpečnostních a psychologických důvodů by bylo vhodné závoru spouštět postupně na více etap – nejprve se spustí jen část rolety, na které je vyobrazeno několik symbolů „STOP“ vedle sebe a po jistém krátkém intervalu se pokračuje v rozbalování rolety. Řidič je tak rychle informován o uzavírací a závěra ho nijak neohrožuje. Až po odmotání skoro celé sítě je viditelné hlavní velké „STOP“. Vzhledem k tomu, že se bude jednat o jednu velkou síť, tak může být ovlivněná větrem, proto je nutné provést testy v aerodynamickém tunelu.

Výhody:

- Jednoduchá deaktivace (tj. vytažení uzávěry).
- Prostorově méně náročné řešení, které lze umístit vně i uvnitř tunelu.
- Velmi dobře kontrolovatelný proces řízení i detekce událostí z pohledu možnosti samovolného spuštění.
- Snadné zajištění uzavírání pouze jednoho pruhu.

Nevýhody:

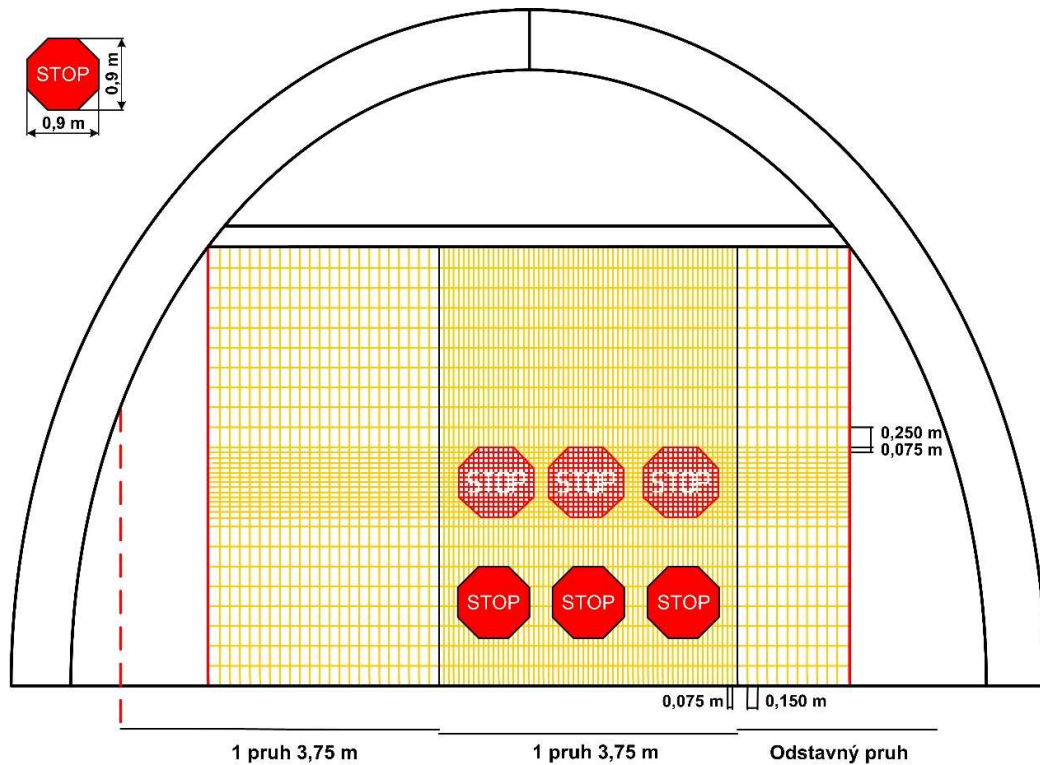
- Pomalejší aktivace.
- Náhylnější k poruše – více prvků, které mohou selhat (především pohon).
- Vliv meteorologických podmínek - nutno propojit s meteostanicí.
- Složitější hledání vhodných materiálů pro akční plochu.

Autoři samozřejmě uvažovali i o jiných variantách (například nafukovací vaky), ale všechny představovaly daleko složitější vývoj i instalaci. **Nakonec bylo rozhodnuto, že se dále bude rozpracovávat pouze roletová varianta.**

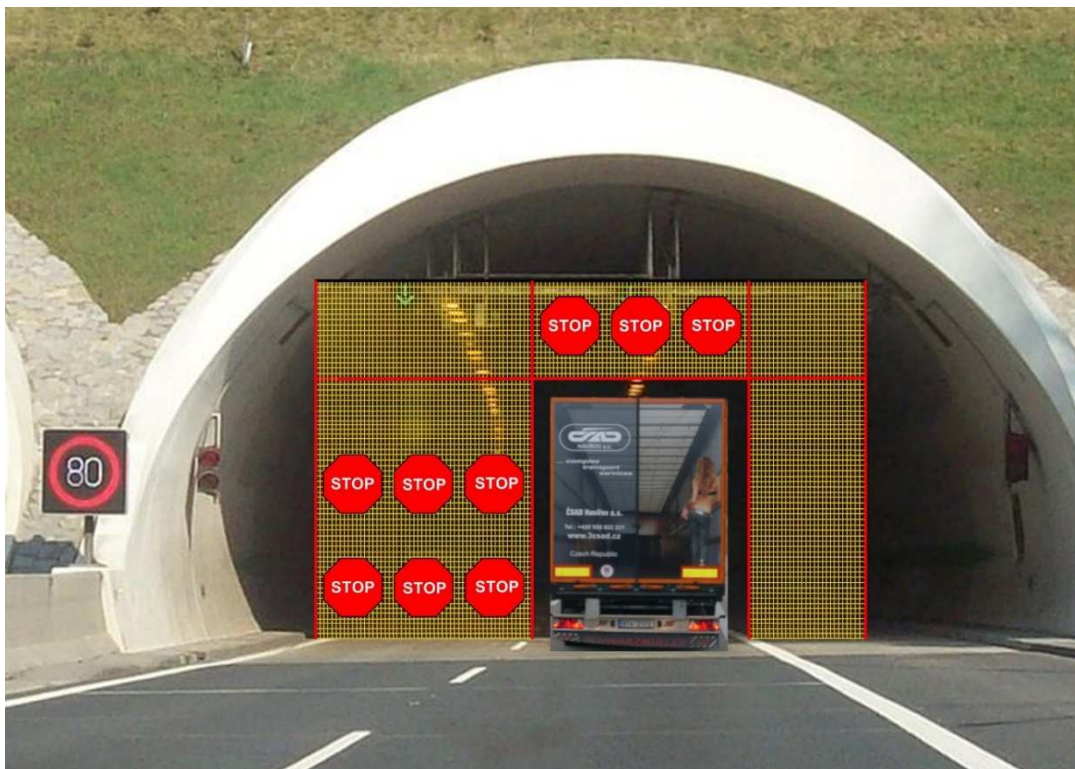
3.2 Materiál zábrany

Jako základní materiál akční plochy uzávěry byl nejdříve uvažován pouze kompozit – respektive kompozitní pásy, které lze ohýbat a případně namotávat. Tento materiál byl již podroben zátěžovým zkouškám. Jako alternativa byl později navrhnout slibnější materiál – dvousložkový silikonový kaučuk, který je inertní vůči UV záření, meteorologickým podmínkám i vůči solím. Výhodou materiálu je jeho zpracování. Pro akční plochu uzávěry se vyrobí forma, kde budou elementy tvaru kříže a vloží se do ní kompozitní struna, která bude ve výsledku celý kaučukový pás zesilovat. Do takovéto formy se materiál vlije a nechá se ztuhnout. Vzniklá síť je velmi flexibilní, ale vlákno uvnitř, které drží elementy u sebe, je dimenzováno tak, aby se při určitém tahu přetrhlo (tj. pokud do sítě narazí vozidlo o určité rychlosti). Do tekutého kaučuku lze velmi jednoduše přimíchávat různé barvy, takže je možno elementy obarvovat a vytvářet tak v síti symboly i nápisy.

Vizualizace navrhované sítě s jedním z možných vyobrazení symbolů „STOP“ (svoji velikostí splňujících normy) je ukázána na obrázcích Obr. 3 a Obr. 4. Autoři by rádi jednu z řad nahradili zvětšeným symbolem „STOP“, jehož velikost by ale neodpovídala normám.



Obr. 3 Rozměry sítě a jejích elementů
Fig. 3 Sizes of the net and its elements



Obr. 4 Vizualizace uzávěry - levý pruh zcela uzavřen; uzávěra pravého pruhu částečně aktivovaná
Fig. 4 A visualization of the barrier – the left lane is fully closed; the right lane is partly closed

3.3 Umístění uzávěry

Celý systém uzávěry může být umístěn vně či uvnitř tunelového tubusu – obě varianty mají opět své pro a proti:

3.3.1 Uvnitř tunelového tubusu

Uzávěra by byla umístěna na nosné konstrukci přimontované pod strop tubusu (tj. podobně jako bývají instalované ventilátory vzduchotechniky).

Výhody:

- Vhodné pro tunely nad 3 km, kde je doporučeno umístit zábrany i uvnitř tubusu.
- Výhodou je zanedbatelný vliv počasí na uzávěru.
- Inženýrské sítě jsou již v tunelu položeny.

Nevýhody:

- Uzávěra nesmí bránit správnému chodu vzduchotechniky (především při požáru).
- Profily tunelů jsou různé – na každý bude třeba speciální řešení uchycení. Nehledě na to, že nad průjezdním profilem nemusí být vždy dost místa umístění technologie.
- Uvnitř tubusu je mnohdy velmi agresivní prostředí.

3.3.2 Před tunelem

Uzávěry pro všechny pruhy jsou umístěny na portálu dle vzoru ŘSD v určité vzdálenosti před vjezdem do tunelu. V tomto případě nedochází k omezení chodu vzduchotechniky tunelu. Při silném větru musí ale všechny brány automaticky být namotány zpět, proto je nutná instalace meteostanice. Na portálu by mělo být také instalováno proměnné značení, které by ukazovalo různé pomocné informace. Uvažuje se o i možnosti nestavět nákladný nový portál, ale využít stávající portály před tunelem.

Výhody:

- Lze využít unifikované portály dle PPK ŘSD.
- Nebrání chodu ventilace.
- Flexibilita - univerzální řešení pro všechny tunely.

Nevýhody:

- Musí vydržet vlivy venkovního prostředí, což může mít významný vliv na životnost - vyšší nároky na krytí, výdrž materiálů, spolehlivost v mrazu atd. Silný vítr může zábranu, pokud nebude vytažena, vyřadit z provozu nebo vážně poškodit.
- Nákladná stavba nového portálu (řešením je využít stávající).
- Napojení do inženýrských sítí, když kabeláž není předem položená.

Vzhledem k uvedeným kladům a záporům obou variant bylo zvoleno umístění vně tunelu, pro svoji jednodušší realizaci a univerzalitu.

3.4 Ovládání uzávěry a komunikace

Přestože se například v TP 98 mluví o komunikaci tunelových zařízení pomocí sběrnic (např. Profibus), tak v praxi závory komunikují jednoduše pomocí digitálních vstupů a výstupů řídicího systému tunelu. Uzávěru ovládá řídicí automat (PLC) na základě jednoduchých povelů z nadřazeného systému tunelu: uzávěru spustit či vytáhnout. Zároveň

s tím se ovládá i stav osvětlení. PLC pak svými digitálními výstupy hlásí stav bariéry. Řídicí počítač navíc sám periodicky testuje stav různých komponent např. motoru nebo senzorů a hlásí případné poruchy.

4 Závěr

Tento článek představuje projekt inovativní bezpečné uzávěry provozu v silničních a dálničních tunelech. Zároveň celý projekt zasazuje do kontextu platné legislativy a základních parametrů tunelů. Autoři rovněž popisují motivaci pro návrh a realizaci nového druhu dopravní uzávěry: současné systémy jsou nevyhovující a nezaručují dostatečnou bezpečnost i účinnost. Přístup popsany v tomto článku je jednak bezpečný pro případné střety s vozidly/motocykly a zároveň dovoluje průjezd vozidel IZS.

Základem navrhovaného systému je pohyblivá zábrana, která vyplňuje téměř celou plochu průjezdního profilu tunelu. Pro každý pruh lze uzávěru ovládat individuálně. Vlastní zábrana je navržena jako síť křížových elementů ze silikonového kaučuku propojených kompozitními vlákny. Tato síť je jako roleta namotána na bubnu, který je umístěn na portálu nad vozovkou před vjezdem do tunelu a ze kterého se při aktivaci síť odmotává směrem dolů. Na síti, která je v noci osvětlena, je vyobrazeno několik symbolů „STOP“ různých velikostí. Pohyb sítě je řízen PLC, které je umístěno na portálu v rozváděči. Jak portál, tak rozvaděč jsou vyrobeny dle pokynů ŘSD. PLC je pak přes digitální I/O napojeno na bezpečnostní systém tunelu, který vydává pokyn k aktivaci/deaktivaci zábrany pro každý silniční pruh. Další digitální I/O slouží pro upozorňování na chybové stavy systému.

Článek popisuje stav těsně před konstrukcí plně funkčního prototypu uzávěry pro testy v aerodynamickém tunelu a klimakomoře. Potenciál systému autoři vidí v rostoucím počtu dálničních a městských tunelů nejen v ČR (kde je potenciální odběr několik desítek kusů), ale také v expanzi na zahraniční trhy jako je Švýcarsko, Německo nebo Slovenská republika.

Klady

Výhody oproti standardní kombinaci mechanické závory a světelné signalizace jsou především v účinnosti, bezpečnosti a flexibilitě. Navrhovaný typ zábrany má dostatečně silný psychologický efekt, aby řidiče zastavil, a zároveň uzávěra nepředstavuje riziko při velkém nárazu, protože se lamely řízeně vylomí. Uzávěra nijak neomezuje cirkulaci vzduchu v tunelu během spuštěné ventilace. Materiál, ze kterého je zábrana vyrobena, je navíc inertní vůči klimatickým podmínkám. Projekt systému využívá co nejvíce unifikovaných komponent dle pokynů ŘSD, čímž se zjednodušuje a zlevňuje výroba.

Zápory

Navrhovaná uzávěra je oproti standardnímu řešení složitější, nákladnější, náročnější na instalaci a má vyšší nároky na prostor před vjezdem do tunelu. Otázkou je také spolehlivost při silném větru a mrazu. Jako riziko lze brát lobby proti fyzickému uzavírání provozu tunelu (tj. aby se využívalo pouze světelného značení) nebo různé legislativní problémy.

4.1 Budoucí práce

Pro rok 2015 je hlavním úkolem sestavit plně funkční prototyp uzávěry a otestovat ho v laboratorních podmínkách. Testy zahrnutí jak klimatické a mechanické zkoušky všech materiálů, tak důkladné testy chování roletového řešení v aerodynamickém tunelu, kde bude ověřena stabilita při silném větru a při specifických povětrnostních podmínkách před portálem tunelu. Finální produkt, připravený ke komerčnímu nasazení včetně pokynů k instalaci, bude představen v roce 2017.

5 Poděkování

Tato práce je podpořena grantem TAČR TA04031111.

6 Seznam literatury

1. **AUTOGARD spol. s r.o.** AUTOMATICKÁ HORIZONTÁLNÍ ZÁVORA AGH7. [Online] [Citace: 16. červen 2015.] <http://www.autogard.cz/produkty/zavory/automaticka-horizontalni-zavora-agh7/>.
2. **Automatic systems.** BL 45A/F - Traffic management barriers. [Online] [Citace: 16. Červen 2015.] <http://row.automatic-systems.com/vehicle-products/traffic-management/bl-45af-traffic-barrier/index.html>.
3. BL 52 - Vehicle Barrier. [Online] [Citace: 16. Červen 2015.] <http://row.automatic-systems.com/vehicle-products/traffic-management/bl-52-vehicle-barrier/index.html>.
4. **Laservision.** REVOLUTIONARY TRAFFIC CONTROL SYSTEM FOR TUNNELS! [Online] [Citace: 18. Červen 2015.] <http://laservision.com.au/news/revolutionary-traffic-control-system-for-tunnels/>.
5. **European Commission, Directorate-General for Energy and Transport.** *Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network.* Brusel : European Commission, 2004.
6. **Český normalizační institut.** ČSN EN 12899-1 Část 1: Stálé svislé dopravní značení - Stálé dopravní značky. místo neznámé: Český normalizační institut, 2008.
7. ČSN 73 7507 *Projektování tunelů pozemních komunikací.* místo neznámé : Český normalizační institut, 2006.
8. **ELTODO EG, a.s., Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.** *Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací; Technické podmínky.* Praha : Ministerstvo dopravy ČR - odbor pozemních komunikací, 2004. 80-239-0110-9.
9. **CityPlan spol. s r.o., Ing. Jiří Landa, Ing. Petr Hofhansl.** ZÁSADY PRO SYSTÉMY PROMĚNNÉHO DOPRAVNÍHO ZNAČENÍ A ZAŘÍZENÍ PRO PROMĚNNÉ PROVOZNÍ INFORMACE NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH. Praha : Ministerstvo dopravy a spojů ČR, 2001.
10. **Příbyl, Pavel, a další.** *Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací; Technické podmínky TP 154. 2. upravené vydání.* místo neznámé: MD - OI, 2009. 978-80-254-4193-0.
11. **Silniční vývoj – ZDZ spol. s r.o., Ing. Ivo Liškutín.** *TP 165 Proměnné svislé dopravní značky a zařízení pro provozní informace.* Brno : Ministerstvo dopravy ČR - odbor pozemních komunikací, 2004.
12. **Polívka, Jan a Prášil, Michal.** *Požadavky na provedení a kvalitu kabelových tras na dálnicích a rychlostních silnicích ve správě Ředitelství silnic a dálnic.* místo neznámé: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2013.
13. **Prášil, Michal.** *Požadavky na provedení a kvalitu bezpečnostních značek označení únikových východů PHS na dálnicích a silnicích ve správě Ředitelství silnic a dálnic.* místo neznámé: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2005.
14. **Stránský, Jaromír a Prášil, Michal.** *Požadavky na provedení a kvalitu portálů pro svislé dopravní značky a zařízení pro provozní informace na dálnicích a rychlostních silnicích ve správě Ředitelství silnic a dálnic.* místo neznámé : Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2014.
15. **World Road Association (PIARC).** *MANUÁL SILNIČNÍCH TUNELŮ PIARC.* místo neznámé: World Road Association (PIARC), 2011.