

MAXIMÁLNÍ DOVOLENÁ RYCHLOST A JEJÍ VLIV NA ŘEŠENÍ DÁLNIČNÍHO TUNELU

MAXIMUM PERMISSIBLE SPEED AND ITS INFLUENCE ON MOTORWAY TUNNEL DESIGN

PAVEL PŘIBYL

ABSTRAKT

Článek upozorňuje na rozpor v normě pro projektování tunelů ČSN 73 7507, kde se konstatuje, že vozovka v tunelu je projektována na návrhovou rychlost okolních komunikací a zároveň se doporučuje maximální dovolená rychlost 80 km/h. ŘSD se rozhodlo tuto nesrovnalost napravit a zadalo zpracování metodiky přechodu na vyšší rychlost, a to z hlediska legislativy a nutnosti případných úprav stavebního řešení a technologií tunelu. Při volbě rychlosti je rozhodující kritérium, ke kterému se rychlost optimalizuje. Může to být dosažení maximální kapacity komunikace, ale i optimální bezpečnost provozu. Navržené řešení je založeno na harmonizaci dopravního proudu prostřednictvím proměnných dopravních značek v přístupové zóně k tunelu. Při úvahách o zvýšení rychlosti v dálničních tunelech bylo nutné odpovědět na základní otázku, jak souvisí rychlost se stavebním řešením tunelu. Maximální dovolená rychlost přímo souvisí s parametry kružnicových oblouků trasy. Vzhledem k tomu, že trasa musí být navržena podle normy pro projektování silnic a dálnic ČSN 73 6101, je v Metodice přechodu na vyšší rychlost v tunelech pozemních komunikací [1] navrženo, před změnou rychlosti, provést formální kontrolu dokumentace, zda oblouky odpovídají požadavkům normy.

ABSTRACT

The paper points out a contradiction of ČSN 73 7507 standard, where it is stated that the roadway in a tunnel is designed for design speed on roads outside the tunnel and, at the same time, it recommends the maximum permissible speed of 80km/h. The Road and Motorway Directorate of the CR decided to remove this contradiction and ordered elaboration of a methodology for transition to higher speed, both from the aspect of legislation and necessity for possible modification of the structural design of tunnel equipment. The criterion to which the speed is optimised is crucial when the speed is being chosen. It can reach the maximum capacity of the road, but also the optimum safety of operation. The proposed solution is based on harmonisation of traffic flow in the tunnel access zone by means of variable traffic signs. When considering increasing of speed in motorway tunnels, it was necessary to answer a basic question how speed is related to the structural design of a tunnel. Maximum permissible speed is directly related to parameters of circular curves on the alignment. With respect to the fact that the alignment has to be designed in compliance with ČSN 73 6101 standard on designing roads and motorways, it is proposed in the Methodology for transition to higher speed in road tunnels [1] that a formal check on documents is carried out whether the curves meet requirements of the standard prior to the change in the speed.

1. ÚVOD

Celosvětově neexistuje standard, doporučení nebo směrnice, jaký má být rychlostní limit v tunelech, Avšak platí, že rychlostní limit musí být vyznačen podle národní legislativy, která by měla být v souladu s Vídeňskou konvencí o dopravním značení z roku 1968. V naší republice ve smyslu zákona č. 361/2000 Sb., o provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, se mluví o maximální dovolené rychlosti.

Při volbě maximální dovolené rychlosti v tunelech mýlily rozporné výroky v normě pro projektování tunelů ČSN 73 7507, kde se v kap. 6.1.1 konstatuje: „Tunely se navrhují na návrhovou rychlost přilehlých úseků pozemní komunikace“ a hned další věta zní: „Zpravidla se navrhuje 80 km/h, u tunelů s veřejným chodníkem 60 km/h“, což jsou vzájemně se vylučující tvrzení, protože návrhová rychlost dálnic byla do podzimu 2018 120 km/h. Od poslední revize normy ČSN 73 6101 [3] ze září 2018 je návrhová rychlost 130 km/h. ŘSD si bylo vědomo problému s nelogickým snižováním rychlosti na dálnici o 50 km/h, a proto bylo rozhodnuto rychlost z 80 km/h zvýšit [4]. K tomu zpracovala národní sekce ITA rozbor [5], který hlavně reflektoval výzkum provedený mezi členy výboru D.5 „Road Tunnel Operation“ mezinárodní silniční asociace PIARC. Na základě toho byl v říjnu 2019 realizován pilotní projekt úpravy maximální dovolené rychlosti v tunelu Valík

1. INTRODUCTION

No standard, recommendation or directive exists worldwide on the speed limit in tunnels, but it applies that the speed limit has to be marked in compliance with national legislation, which should comply with the Vienna Convention on Road Signs and Signals dated 1968. In the Czech Republic, we refer to maximum permissible speed in the meaning of the Law No. 361/2000 Coll. on Traffic in Road Tunnels in the version of later regulations.

When choosing the maximal speed in tunnels, there were misleading contradictory statements in ČSN 73 7507 standard on designing tunnels, where there is a statement in chapter 6.1.1: “Tunnels are designed for the design speed existing on adjacent road sections” and the next sentence states: “The speed of 80km/h is usually designed; for tunnels with a public walkway it is 60km/h”. The two statements are mutually exclusive because until the autumn of 2018, the design speed for motorways was 120km/h. Since the last review of ČSN 73 6101 standard [3] from September 2018, the design speed for motorways is 130km/h. The Road and Motorway Directorate of the CR was aware of the problem regarding the illogical reducing the speed in tunnels by 50km/h and for that reason, the decision was made that the speed of 80km/h would be increased [4]. For this purpose, the national section of the ITA prepared an analysis [5] which mainly reflected the research conducted among members of the committee D.5 “Road Tunnel Operation” of the PIARC international road association. Based on this, a pilot project on the

na 100 km/h. Ve stejném roce byla vypracována expertní zpráva „Metodika přechodu na vyšší rychlost v tunelech pozemních komunikací“ [1] (dále „Metodika“). Ta měla posoudit veškeré legislativní a technické otázky související se změnou maximální dovolené rychlosti. Proto je u tunelů projektovaných koncem roku 2018 nutno přezkoumat, na jakou návrhovou rychlost a jakou kategorii vozovky jsou navrženy. Pro vyloučení dalších chybných interpretací normy pro projektování tunelů je v Metodice formulován požadavek na úpravu normy ČSN 73 7507 v paragrafovém znění.

2. ZÁVĚRY Z ANALÝZY ZAHRANIČNÍCH ZKUŠENOSTÍ

Z analýzy odpovědí členů výboru D.5 vyplývá, že při hledání rychlostních limitů se většina zemí kloní k rychlosti, která odpovídá rychlosti na volné komunikaci, při zachování šířky jízdního pruhu. Vždy je nutné postupovat logicky a nelze najít jednoznačné řešení. Často je nutné z různých důvodů hledat kompromis. Maximální dovolenou rychlost je možné optimalizovat z následujících hledisek.

2.1 Dovolená rychlost z hlediska kapacity

Nejvyšší kapacita komunikace leží v oblasti rychlosti 70–80 km/h. Modely rychlost v – hustota dopravního proudu, které podporují toto tvrzení měřením, jsou známy již od 30. let minulého století (viz Greenshieldův model dopravy).

Výše uvedená Metodika zdůrazňuje logiku, že městské a příměstské tunely jsou konstruovány a postaveny spíše pro realizaci dopravní kapacity než pro rychlost. V Rakousku a Švýcarsku se využívají pro snižování rychlosti proměnné dopravní značky (PDZ), pokud stoupá intenzita vozidel, aby se zvýšila kapacita tunelu. Stejně možnosti dynamické změny rychlosti poskytuje i navržené řešení.

2.2 Dovolená rychlost z hlediska bezpečnosti

Dlouhodobé statistiky PIARC ukazují, že značné množství nehod v tunelech (cca 30 %) vzniká kvůli nestabilnímu dopravnímu proudu a rozdílu v rychlosti mezi vozidly. Proto navržené řešení vychází z potřeby harmonizovat dopravní proud ještě před vstupem do tunelu. Jak vyplývá z dalšího textu, je nutné u každého silničního tunelu při volbě rychlosti vzít v potaz i další parametry trasy, mající vliv na bezpečnost, viz kapitola 3.

2.3 Dovolená rychlost z hlediska prostorového řešení

V Nizozemsku připravují dálniční tunel pro návrhovou a dovolenou rychlost 80 km/h. Souvisí to s požadavkem realizovat tunel v omezeném prostoru a v užším profilu. Použití nižších rychlostí usnadní realizovat tunel v daném prostoru a stále ještě zaručit bezpečný provoz. Tunel bude vybaven nejmodernějšími technologiemi pro omezení následků potenciálních nehod a požáru.

3. ZMĚNA RYCHLOSTI A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ

Při úvahách o zvýšení rychlosti v dálničních tunelech bylo nutné odpovědět na tři základní otázky související se stavebními prvky a stavebním řešením tunelu:

1. Jaké parametry komunikace v tunelu bude nutné měnit se změnou rychlosti? Maximální dovolená rychlost souvisí hlavně s poloměry kružnicových směrových oblouků, tedy horizontálním vedením trasy, částečně i s vertikálním vedením trasy z hlediska zlomů nivelety, což není tak kritické, protože Direktiva 54/2004/ES připouští sklonky pouze do max. 3 %.

modification of maximum permissible speed in the Valík tunnel to 100km/h was implemented in October 2019. The expert report “*Methodology for transition to higher speed in road tunnels*” [1] (hereinafter referred to as “the Methodology”) was prepared in the same year. It was to assess all legislative and technical issues connected with the change in the maximum permissible speed in tunnels. For that reason it is necessary to review which design speed and which roadway category are designed for tunnels designed at the end of 2018. In order to exclude other erroneous interpretations of the standard for tunnel design, a requirement for modifying the standard ČSN 73 7507 in the paragraph wording is formulated in the Methodology.

2. CONCLUSIONS FROM THE ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE

It follows from the analysis of answers of members of the D.5 committee that when looking for speed limits, most countries lean towards a speed that corresponds to the speed on an open road, with the lane width maintained. It is always necessary to proceed logically and it is not possible to find an unambiguous solution. It is often necessary to seek a compromise. It is possible to optimise the maximum permissible speed from the following points of view:

2.1 Maximal speed in terms of capacity

The highest capacity of a road lies within the speed range of 70–80km/h. Speed v – traffic flow density models supporting this assertion by measurements have been known since the 1930s (see Greenshield’s Model of traffic flow).

The above Methodology emphasises the logic that urban and suburban tunnels are designed and constructed rather for realisation of transport capacity rather than speed. In Austria and Switzerland, variable traffic signs are used for reducing the speed when the traffic volume grows, so that the tunnel capacity increases. The same possibilities of dynamic speed changes are provided even by the proposed solution.

2.2 Maximal speed in terms of safety

PIARC’s long-term statistics show that a considerable number of accidents in tunnels (ca 30%) occurs due to instable traffic flow and differences in speed between vehicles. For that reason the proposed solution is based on the need for harmonisation of the traffic flow as early as before entering the tunnel as possible. As it follows from the following text, it is necessary for each road tunnel when choosing the speed to take into consideration even other parameters of the alignment affecting the safety, see Chapter 3.

2.3 Maximal speed in terms of spatial solution

In the Netherlands, a motorway tunnel is being prepared for the design speed and permissible speed of 80km/h. This is related to the requirement for construction of a tunnel in a limited space and a narrower profile. The use of lower speeds will make it easier to construct the tunnel in the space available and still guarantee safe operation. The tunnel will be equipped with the latest facilities for reducing the consequences of potential accidents and fires.

3. CHANGE IN SPEED AND STRUCTURAL SOLUTION

When increasing of speed in motorway tunnels was under consideration, it was necessary to answer three fundamental questions connected with structural elements of the tunnel and its structural solution:

1. Which parameters of a road in a tunnel will have to be changed along with the change of speed? Maximum permissible speed is mainly related to the radii of circular directional curves, i.e. the horizontal alignment of the route, partially even the vertical alignment of the route as far as alignment breaks

2. Bude nutné měnit parametry související s bezpečnostními stavebními prvky? Důvodem obav byla tragédie v tunelu Sierre, kdy 13. 3. 2012 nárazem autobusu do stěny nouzového zálivu zahynulo 28 lidí.
3. Existují nějaké další, u nás zatím nepoužívané stavební úpravy zvyšující bezpečnost v tunelu?

Odpověď na první otázku řeší následující věta z normy ČSN 73 7507 [6]: „*Tunely se navrhují na návrhovou rychlost (v_n) přilehlých úseků pozemní komunikace, což znamená, že komunikace v tunelu je pokračováním volné komunikace před tunelem a platí pro ni stejná norma.*“ Návrhovou rychlost a její vliv na parametry komunikace řeší v detailu norma ČSN 73 6101, kde je řešeno prostorové vedení trasy.

Odpověď na druhou otázku, která se týká podle ČSN 73 7507 nouzových pruhů, nouzových zálivů, otáčecích zálivů a únikových cest v tunelu, je následující. Jediné nepodstatné úpravy se týkají pouze nouzových zálivů s tím, že:

- a) Nouzové zálivy budou provedeny podle ČSN 73 7507, přičemž sešikmení zadní strany zálivu musí odpovídat minimálně požadavkům normy a poměru sešikmení nejméně 2:1.
- b) Nouzový záliv bude vymalován jasnou světlou barvou.
- c) Striktním požadavkem je, aby na zadní stěně zálivu, ve směru jízdy, byla značka A22 „Jiné nebezpečí“ v reflexním provedení, podobně to řeší ve Francii značkou J13.
- d) U tunelů delších než 1 km bude, podle doporučení PIARC, jasněji osvětlen výklenek ležící přibližně uprostřed tunelu, aby oživil monotónnost jízdy. Úroveň jasu bude dvojnásobná proti jasu vnitřního pásma.
- e) Nouzové zálivy budou zvýrazněny ve smyslu doporučení PIARC značkami označujícími záliv.

Odpověď na třetí otázku je následující: Je prokázáno, že řada nehod vzniká po kontaktu pneumatiky s vysokým obrubníkem nouzových chodníků. Proto je v [1] požadována změna normy 75 7307 a snížení obrubníků na 3 cm, jak je to běžné v řadě zemí, přičemž, jak tvrdí PIARC, ani vyšší obrubníky spolehlivě neochrání chodce na chodníku.

3.1 Tragédie v tunelu Sierre a reakce evropských zemí

Dosud se naštěstí staly pouze dvě velké katastrofy v silničních tunelech. První byl velký požár 24. 3. 1999 v tunelu Mont Blanc, kde zahynulo 39 lidí. V důsledku této události se změnil významně náhled na bezpečnost v tunelech pozemních komunikací. V Evropě to vedlo k přijetí direktivy 54/2004/EC Evropského parlamentu a rady o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě. Druhá tragická nehoda se stala 13. 3. 2012 ve švýcarském tunelu Sierre v kantonu Valois. Toho dne autobus směřující do Belgie, vezoucí školáky s doprovodem z lyžařské dovolené zpátky do Belgie, narazil v plné rychlosti do zadní kolmé stěny nouzového zálivu, 28 lidí z 52 lidí v autobusu zahynulo, včetně 22 dětí. Tato tragédie jasně ukázala, jaké nebezpečí představují kolmé překážky v tunelu.

Bezprostředně po této události se sešel technický výbor D.5 „Road Tunnel Operation PIARC“ a rozhodl zpracovat strategický dokument věnovaný kolmým překážkám v tunelu. Po dvou letech vydal dokument „Lay bays and protection against lateral obstacles“ (Nouzové zálivy a ochrana proti postranním překážkám) [7]. V Metodice jsou uvedena některá opatření zemí, která byla předmětem této diskuse. Francie uspořádala na toto téma i specializovaný seminář 2. října 2013 na CETU v Lyonu, kde bylo docíleno přijetí následujících závěrů odsouhlasených většinou zemí, členů PIARC:

are concerned, which is not so critical because the Directive 54/2004/ES permits gradients up to the maximum of 3%.

2. Will it be necessary to change parameters related to structural safety elements? The reason for the concerns followed from the tragedy in the Sierre tunnel on 13th March 2012, when 28 people died when a coach crashed into the lateral wall of an emergency lay-by.
3. Are there any other construction modifications not yet used in the Czech Republic that increase tunnel safety?
4. The answer to the first question is solved by the following sentence from ČSN 73 7507 standard [6]: “*Tunnels are designed for design speed (v_n) on adjacent sections of the road, which means that the road inside the tunnel is a continuation of the open road in front of the tunnel and the same standard applies to it.*” The design speed and its influence on road parameters are solved in detail by ČSN 73 6101 standard, where the spatial design is dealt with.

The answer to the second question, which concerns emergency lanes, emergency lay-bys, turning bays and escape routes according to ČSN 73 7507 standard, is as follows. The only insignificant modifications related to emergency lay-bys provided that:

- a) The emergency lay-bys will be carried out in compliance with ČSN 73 7507 standard, while tapering of the rear (“downflow”) side of the lay-by has at least to correspond to requirements of the standard and the tapering ratio of at least 2:1.
- b) The emergency lay-by will be painted in a bright light colour.
- c) A strict requirement is that sign A22 “Other Dangers” with a reflective finish is on the rear (“downflow”) wall of the lay-by; France solves it similarly by sign J13.
- d) For tunnels longer than 1km, according to the PIARC recommendation, the lay-by located approximately in the middle of the tunnel will be more brightly lit to revive the monotony of the ride. The luminance level will be twice the luminance in the inner zone.
- e) Emergency lay-bys will be emphasised in the meaning of the PIARC recommendation by lay-by signs.

The answer to the third question is as follows: It has been proven that many accidents originate after the tyre comes into contact with the high kerb of the emergency walkway. For that reason a change of ČSN 75 7307 standard and lowering of kerbs to 3cm is required [1], as it is common in many countries and, according to the PIARC, even higher kerbs do not reliably protect pedestrians on the walkways.

3.1 Tragedy in the Sierre tunnel and response of European countries

Fortunately, only two major catastrophes have happened so far in road tunnels. The first was a large fire in the Mont Blanc tunnel on 24th March 1999, where 39 people died. As a result of this event, the opinion on safety in road tunnels has changed significantly. In Europe, it led to the adoption of Directive 54/2004/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. The second tragic accident happened in the Swiss canton of Valois on 13th March 2012. That day, a coach heading to Belgium, carrying schoolchildren and accompanying persons from a ski holiday back to Belgium, crashed at full speed into the rear (downflow) lateral wall of the emergency lay-by; 28 of the 52 people in the coach died, including 22 children. This tragedy has clearly shown the danger posed by lateral obstacles in tunnels.

Immediately after this event, Technical Committee D.5 “Road Tunnel Operation PIARC” met and decided to prepare a strategic document dedicated to lateral obstacles in tunnels. Two years later, it issued the document “Lay bys and protection against lateral obstacles” [7]. Some measures which were subjects of this discussion

- Země, které mají v tunelech nouzové zálivy, je považují za relevantní příspěvek k tunelové bezpečnosti.
- Tyto zálivy umožní nouzové odstavení vozidla, aniž by to vyvolalo krizovou situaci.
- Zálivy také usnadňují údržbové práce.
- Nouzové zálivy jsou velmi užitečné v obousměrných tunelech, kde zastavení vozidla vyvolá potenciálně nebezpečnou situaci, protože je objížďeno do protisměru.
- Pro každý existující tunel musí být provedena specializovaná studie zaměřená na nouzové zálivy a další možné kolmé překážky. Pro zmenšení následků střetu s kolmou stěnou nouzového zálivu se používají hlavně dva prostředky – tlumiče nárazu a kovová či betonová svodidla.
- Dalším závěrem je i doporučení na zdůraznění místa nouzových zálivů.

3.2 Rychlost a její vliv na parametry komunikace

Komunikace v tunelu je vlastně pokračováním komunikace před tunelem a platí pro ni norma ČSN 73 6101. Projektant tunelu tedy ručí za to, že byla tato norma respektována. Norma předepisuje rozšiřování jízdního pruhu ve směrových obloucích a dostředný sklon. Při podrobné analýze zahraniční literatury se ukázalo, že s vyšší rychlostí je spojena problematika zajištění minimálních poloměrů směrových oblouků. Ty jsou v zásadě navrhovány na základě dvou konceptů:

1. Koncept rovnováhy. V principu se jedná o dosažení rovnováhy mezi odstředivou silou a bočním faktorem tření modifikovaným pro silniční tunely. V podstatě jde o to, aby se vozidlo udrželo v ose jízdního pruhu a nebylo vytlačováno odstředivou silou na okraj pruhu (centrifugální jev). Lze předpokládat, že projektanti trasy v tunelech pracují s normou ČSN 73 6101, kde jsou v tab. 9 uvedeny nejmenší dovolené poloměry ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu pro základní příčný sklon 2,5 %.

2. Koncept vycházející z délky rozhledu pro zastavení podél směrového oblouku, pro tři alternativy polohy řidiče ve vnitřním jízdním pruhu v závislosti na levém či pravém oblouku. Poloha řidiče (levá nebo pravá strana oblouku) má značný dopad na návrhové hodnoty poloměru směrového oblouku. Rozdíl se zvyšuje s rostoucí návrhovou rychlostí.

Sub 1: Poloměr směrových oblouků z hlediska odstředivé síly. V tomto případě je nutné se plně řídit normou ČSN 73 6101.

Sub 2: Poloměr směrových oblouků z hlediska délky rozhledu pro zastavení.

Zatímco původní ČSN 73 6101 výslovně nepožaduje v tunelech směrově rozdělených kontrolovat délku rozhledu pro zastavení, verze ze září 2018 stanovuje poloměry kružnicových oblouků, zajišťujících délku rozhledu pro zastavení, pouze podle kategorijských typů komunikace. K tomu je v tab. 7 normy uvedena návrhová rychlost pro každou kategorii silnic a dálnic.

Pozn. autora: Přístup v nové normě nepovažuji za zcela korektní. Protože délka rozhledu pro zastavení na dálnici se svodidly může být jiná, než délka rozhledu v tunelu, kde rozhled omezuje plná stěna tunelu. Přesto nechci situaci komplikovat a spokojíme se s kontrolou minimálních poloměrů podle kategorijského typu komunikace, jak je uvedeno v nové normě, viz 2. krok v obrázku 1. K tomuto rozhodnutí mne vede i požadavek původní normy, který kontrolu v tunelech směrově rozdělených nevyžadoval.

3.3 Závěr ke stavebnímu provedení

Základní kontrolou, která musí být provedena vždy před změnou rychlosti, je ověření, na jakou návrhovou rychlost byl tunel projektován. Zásadní je také vědět, o jaký kategorijský typ

are mentioned in the Methodology. France organised a specialised seminar on this theme at the CETU in Lyon on 2nd October 2013, where the following conclusions were achieved and approved by the majority of the PIARC member countries:

- Countries having emergency lay-bys in tunnels consider them to be a relevant contribution to safety in tunnels.
- The lay-bys will allow only for break-down parking of vehicles, without causing a crisis situation.
- The lay-bys in addition facilitate maintenance operations.
- The lay-bys are very useful in bidirectional tunnels, where stopping of a vehicle causes a potentially dangerous situation because the stopped vehicle is bypassed into the opposite traffic direction.
- A specialised study focused on emergency lay-bys and other possible lateral obstacles has to be conducted for each existing tunnel. Two means of reducing the consequences of a collision with a lateral wall of an emergency lay-by are mainly used – impact absorbers and metallic or concrete crash barriers.
- Another conclusion is also the recommendation for highlighting the locations of emergency lay-bys.

3.2 Speed and its influence on parameters

The road in a tunnel is actually a continuation of the open road in front of the tunnel and standard ČSN 73 6101 applies to it. The tunnel designer therefore guarantees that this standard has been respected. The standard prescribes extension of width of traffic lanes on directional curves and the concentric incline (superelevation). A detailed analysis of foreign literature showed that problems of securing minimum radii of directional curves are associated with a higher speed. The curves are basically designed on the basis of two concepts:

1. Balance concept. In principle, it is a matter of achieving a balance between the centripetal force and the lateral friction factor modified for road tunnels. Basically, it is a matter of keeping the vehicle on the centre line of the lane without pushing it to the edge of the lane by centripetal force (centripetal phenomenon). It can be assumed that the designers of the road in the tunnels work with the standard ČSN 73 6101, where smallest permitted radii in relation to the speed being considered and the centripetal gradient for the basic transverse incline (superelevation) of 2.5% are presented in Table 9.

2. The concept based on the sight distance for stopping along the directional curve for three alternatives of driver's position in the inner traffic lane, depending on the left-hand or right-hand curve. The position of the driver (left-hand or right-hand side of the curve) has a significant impact on the design values of the radius of the directional curve.

Sub 1: Radius of directional curves in term of centripetal force. In this case it is necessary to fully comply with ČSN 73 6101 standard.

Sub 2: Radius of directional curves in terms of the stopping sight distance.

Whilst the original ČSN 73 6101 does not explicitly request that the stopping sight distance in tunnels with dual carriageway is to be checked, the version from September 2018 determines the radii of circular curves securing the stopping sight distance only according to road type categories. The design speed for each category of roads and motorways is added to it in Table 7.

Author's note: I do not consider the approach in the new standard to be fully correct. Because the stopping sight distance on a highway with crash barriers may be different from the stopping sight distance in a tunnel where the sight distance is restricted by a full wall of the tunnel. Nevertheless, I do not want to complicate the situation and we will content ourselves with checking the minimum radii according to the road type categories, as stated in the new standard, see step 2 in Fig. 1. I am also led to this decision by the requirement of the

komunikace se jedná. Na podzim roku 2018 byla norma pro projektování dálnic revidována a dálnice má nově návrhovou rychlost 130 km/h, předtím byla návrhová rychlost 120 km/h. Při kontrole dokumentace tunelu je nutné jednoznačně znát, podle které verze normy 73 6101 projektant pracoval. Dokumentace se kontroluje ve třech krocích popsanych dále. Při změně rychlosti je nutné ověřit, zda vyhovují minimální poloměry z hlediska (a) odstředivé síly a (b) z hlediska délky rozhledu pro zastavení.

Stavební úpravy se v tunelu nebudou provádět, neboť se předpokládá, že horizontální i vertikální vedení trasy odpovídá dokumentaci. Pro zamezení případných soudních sporů po nehodách bude provedena formální kontrola dokumentace a její shody s normou ve třech krocích (obr. 1):

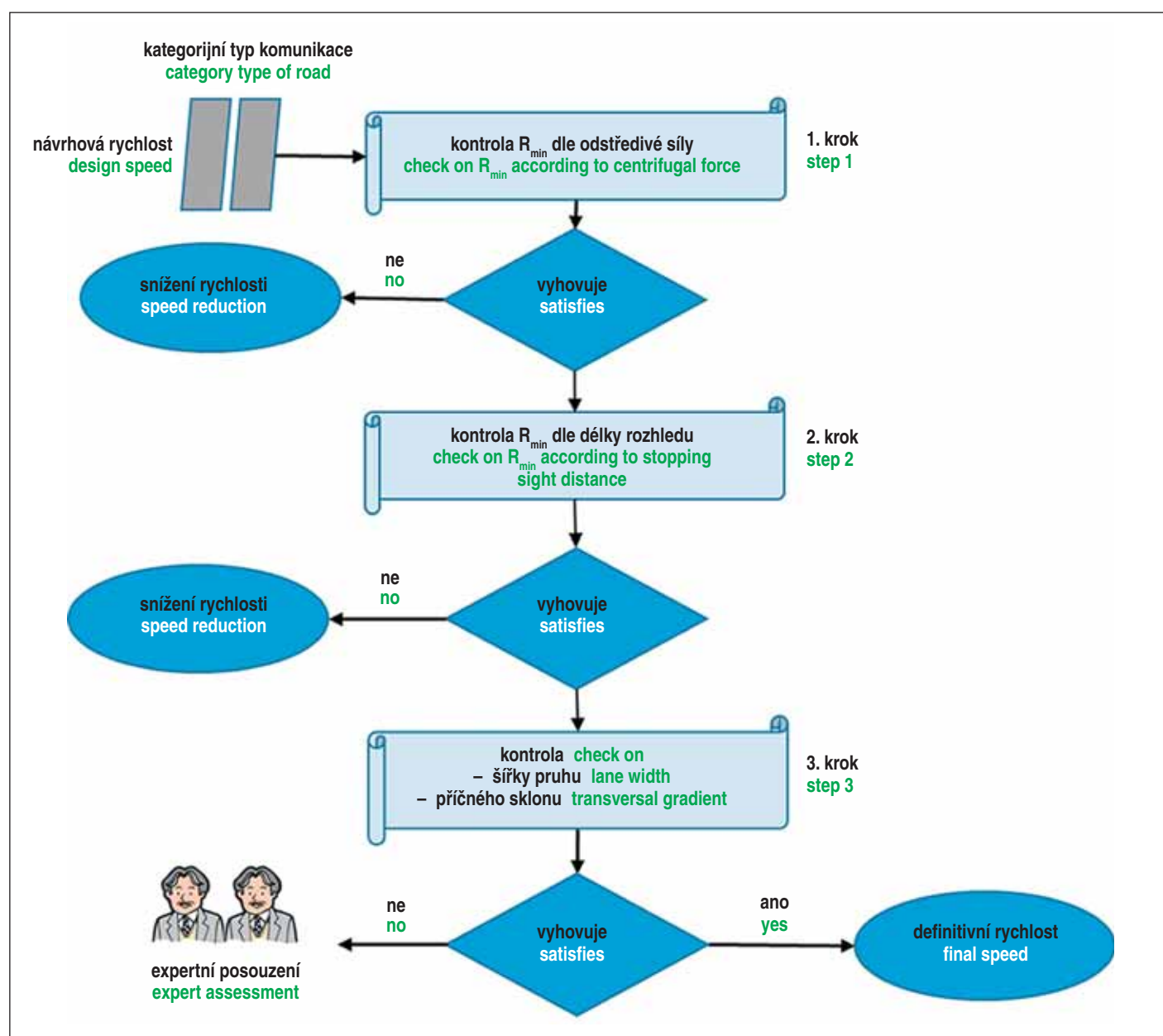
1. krok: Kontrola minimálních poloměrů směrových kružnicových oblouků z hlediska odstředivé síly. Nejmenší dovolené poloměry kružnicových oblouků pro návrhovou rychlost a dostředný sklon jsou dány v tab. 9 normy ČSN 73 6101. Pokud minimální poloměr nevyhoví, je nutné snížit maximální dovolenou rychlost oproti návrhové rychlosti. Pokud poloměry vyhoví, přistoupí se ke 2. kroku,

original standard, which did not require inspection in directionally divided tunnels.

3.3 Conclusion about structural design

The basic check which has to be conducted always before a change of speed is the verification for which design speed the tunnel was designed. It is also essential to know what category of road it is. In the autumn of 2018, the standard for designing motorways was reviewed and the motorway has newly the design speed of 130km/h; before that, motorways were designed for design speed of 120km/h. When checking the tunnel documentation, it is necessary to know clearly according to which version of ČSN 73 6101 standard the designer worked. Documentation is checked in the below described three steps. When changing the speed it is necessary to verify whether the minimum radii are suitable in terms of (a) centripetal force and (b) stopping sight distance.

Construction work will not be carried out in the tunnel because it is assumed that the horizontal and vertical alignment of the route correspond to the documentation. To prevent possible litigation after accidents, the formal checking on the documentation and its



Obr. 1 Blokové schéma kontroly stavebního řešení a realizace úprav rychlosti

Fig. 1 Block diagram of checking on structural solution and implementation of speed modifications

kdy se kontrolují minimální poloměry oblouků zajišťující délku rozhledu pro zastavení.

2. krok: Kontrola minimálních poloměrů zajišťujících délku rozhledu pro zastavení. Provádí se dle tab. 7 a 10 normy. Pokud poloměry vyhoví, pokračuje se třetím krokem. Pokud minimální poloměr nevyhoví, je nutné snížit maximální dovolenou rychlost oproti návrhové rychlosti.

3. krok: Kontroluje se příčný sklon a šířka pruhu v oblouku. Pokud tyto parametry nedosahují požadavků normy, hrozí nebezpečí centrifugálního efektu, vynášení vozidel vlivem odstředivé síly. Pak je nutné získat stanovisko expertů jaká rychlost je ještě bezpečná z hlediska odstředivé síly.

Teprve po stanovení definitivní maximální dovolené rychlosti ze stavebního řešení má význam přikročit k úpravám projektů technologických souborů podle navrhované rychlosti.

3.3.1 Stavební řešení, doporučení – nouzové zálivy

Obecné závěry, které formuloval PIARC ke kolmým překážkám, na základě konsenzu mnoha zemí, jsou uvedeny výše. Vyplyvá z nich, že každý tunel má být znovu prověřen z hlediska kolmých překážek. V literatuře [7] jsou uvedeny příklady řešení z Itálie, Španělska atd. Pokud se týká nouzových zálivů a kolmých překážek, je v první řadě nutné zabránit tomu, aby vektor síly, do kterého se transformuje kinetická energie nárazu, působil v ose vozidla deformaci. Naopak je nutno tento vektor rozložit i na složku směřující ve směru jízdy. K tomu se využívá šikmo umístěných svodidel nebo šikmo orientované stěny výklenku. Situaci znázorňuje obr. 2. Z fyziky je zřejmé, že čím šikmější je svodidlo, tím více kinetické energie se odvede směrem do vozovky.

Norma ČSN nemá okótované rozměry nouzových výklenků, pouze čistou délku, která je 40 m a dále je uveden poměr 2:1, což znamená, že zešíkmení jde od dvojnásobné šířky výklenku, tedy od 6 m.

Úhel α v obr. 2 by měl být co nejostřejší. V tomto případě je 37° , což je mírně větší úhel, a tedy horší účinnost než v Itálii a ve Španělsku, kde používají šikmější kovová svodidla. Z vyspělých tunelových zemí má Francie ještě menší úhel sešíkmení, který je 45° . Naopak nejostřejší úhel, jen 8° mají v Norsku. Zmenšování úhlu i v ČR by znamenalo zmenšovat plochu pro odstavení vozidel na úkor šikmé zadní stěny, a proto je řešení v normě považováno za ještě dostatečné, byť je nutné dlouhodobě sledovat statistiky nehod s výklenkem a jejich následky.

PIARC doporučuje řešit z hlediska nárazu i portál tunelu, který je také kolmou překážkou, o čemž svědčí nehoda se smrtelnými následky v Lochkovském tunelu. Osazování svodidel jako ochrany před pevnou překážkou řeší norma ČSN 73 6101, kde jsou přímo vyjmenovány opěrné zdi, propustky a podjezdy. Portály tunelů tam jmenovitě uvedeny nejsou, ale tento požadavek je oprávněný a musí být zahrnut do revize ČSN 73 7507.

compliance with the standard will be conducted in three steps (see Fig. 1):

Step 1: Checking on minimum radii of directional circular curves in terms of centripetal force. The smallest permissible radii of circular curves for the design speed and the concentric gradient (superelevation) are given in Table 9 of ČSN 73 6101 standard. If the minimum radius does not meet the standard, it is necessary to reduce the maximum permissible speed in comparison with the design speed. If the radii meet the standard, step 2 is taken, where minimum radii of curves securing the stopping distance are checked.

Step 2: Checking on minimum radii securing the stopping sight distance. It is conducted according to Table 7 and 10 of the standard. If the radii meet the requirements, checking proceeds to the third step. If the minimum radius does not meet the requirements, it is necessary to reduce the maximum permissible speed in comparison with the design speed.

Step 3: The concentric gradient (superelevation) and the width of lane on the curve are checked. If these parameters do not meet the requirements of the standard, there is a risk of a centripetal effect of pushing vehicles towards the external edge of the curve. Then it is necessary to obtain the opinion of experts as to what speed is still safe in terms of centripetal force.

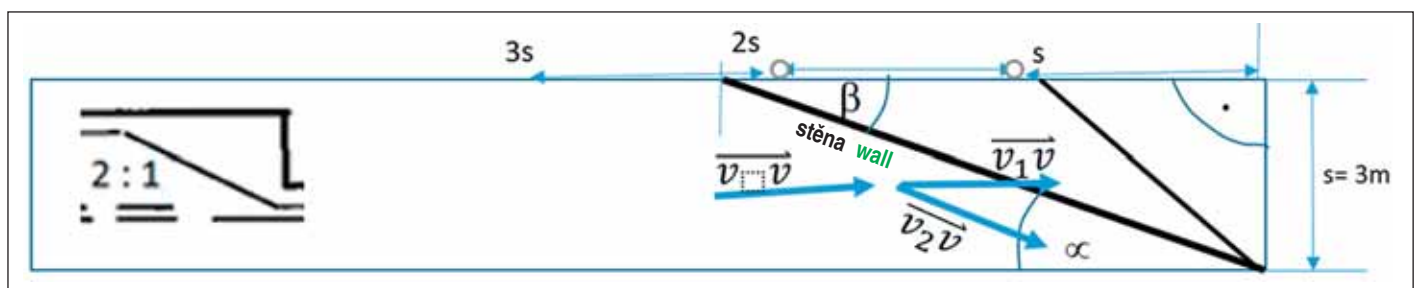
Only after determining the final maximum permissible speed on the basis of the structural design is it reasonable to proceed to modifications of designs for tunnel equipment according to the proposed speed.

3.3.1 Structural design, recommendations – emergency lay-bys

The general conclusions formulated by PIARC on lateral obstacles on the basis of consent of many countries are presented above. It follows from them that each tunnel has to be again checked in terms of lateral obstacles. Examples of solutions from Italy, Spain etc. are presented in References [7]. As far as emergency lay-bys and lateral obstacles are concerned, it is first necessary to prevent the force vector into which the kinetic energy of the impact is transformed from causing deformation along the vehicle axis. On the contrary, it is necessary to decompose this vector even into a component pointing in the direction of travel. Obliquely installed barriers or obliquely oriented rear (“downflow”) walls of the niche are used for this purpose. The ground plan is presented in Fig. 2. It is obvious from physics that the more oblique crash barrier the more kinetic energy is deflected in the direction into the roadway.

In our standard the dimensions of emergency niches are not filled. It shows only the net length (40m) and the ratio 2:1, which means that tapering begins from the double width of the niche, i.e. from 6m.

Angle α in Fig. 2 should be as acute as possible. In our case it is equal to 37° , which is a moderately greater angle and therefore effectiveness is worse than in Italy and Spain, where more oblique metallic crash barriers are used. Of the developed tunnel construction countries, France has a smaller angle of tapering, which is equal to 45° . On the contrary, the most acute angle of mere 8° is used in Norway. Reducing the angle even in the Czech Republic would



Obr. 2 Tvar nouzového zálivu podle ČSN 73 7507

Fig. 2 Shape of emergency lay-by according to ČSN 73 7507

4. ÚVAHA K MAXIMÁLNÍ DOVOLENÉ RYCHLOSTI V DÁLNIČNÍCH TUNELECH

Při volbě maximální dovolené rychlosti je vždy nutné volit kompromis. V zásadě je možné se pohybovat od současných 80 km/h, teoreticky až po maximální dovolenou rychlost na dálnici, která je dnes 130 km/h. Při volbě rychlosti byl hledán kompromis mezi schopností tunelu plnit svou dopravní funkci, tedy přenesení potřebného množství vozidel mezi portály, a maximalizovanou bezpečností. Plnění dopravní funkce znamená, že tunel má dostatečnou kapacitu, přičemž doba jízdy není rozhodující parametr, hlavně musí být jízda plynulá. Rozdíl doby jízdy v kilometrovém tunelu mezi rychlostí 100 a 130 km/h je pouze 9 s, což v celkové době jízdy po dálnici nehraje žádnou roli. Hledisko bezpečnosti bylo tedy na prvním místě při návrhu maximální dovolené rychlosti. S přihlédnutím k rovnici (1) udávající poměr smrtelných nehod vzhledem k rychlosti je vhodné volit rychlost nižší, než je dovolená rychlost na dálnici, aby se snížily smrtelné následky z čelních nárazů. Výbor D.5 „Road tunnel Operation“ PIARC vypracoval rozsáhlý dokument [2] „Prevention and mitigation tunnel related collisions!“. Dokument se zabývá všemi druhy nehod, které souvisí s tunelem, výstupy a závěry čerpá z databáze poskytnuté členskými státy pro silniční tunely. Jedním z výsledků je, že cca 30 % nehod v tunelech je dáno předozadními kolizemi. Navržená rychlost 100 km/h je tedy kompromisem.

Pokud by byla rychlost v oblasti 80–90 km/h, znamenalo by to skokové snižování rychlosti z maximální dovolené rychlosti 130 km/h na dovolenou rychlost a s tím vznik nestabilního dopravního proudu na vstupu do tunelu.

Asi třetina nehod v tunelu je podle PIARC [7] zapříčiněna předozadními nárazy, a tedy rozdíly v rychlosti mezi vozidly. Snižování počtu nehod se dá dosáhnout stabilizací dopravního toku již před vjezdem do tunelu. Z těchto důvodů je použit princip liniového řízení, který snižuje rychlost ve dvou krocích a omezuje předjíždění pro nákladní vozidla. Nejprve se rychlost omezí na 120 km/h statickou značkou cca 500 m před tunelem a značkou B22a se zakáže předjíždění pro nákladní vozidla. V dalším kroku se v příjezdové zóně dlouhé cca 280 m přejde na 100 km/h pomocí PDZ, aby nebylo nutné překotně brzdit u tunelu. Před vjezdovým portálem tunelu se tato informace opakuje.

4.1 Výhody volby rychlosti 100 km/h

1. Navržená rychlost se blíží maximální dovolené rychlosti na dálnici a doba jízdy v tunelu je nižší řádově jen o několik sekund oproti 130 km/h v tunelech střední délky.
2. Počet smrtelných nehod při 100 km/h a čelních kolizích klesne o 49 % oproti rychlosti 130 km/h. Snižování rychlosti o 10 km/h 500 m před tunelem značkou B20a“120 nevnese nestabilitu do dopravního proudu. Ten je naopak stabilizován další značkou B20a“100 v příjezdové zóně tunelu a rychlost 100 km/h je připomenuta ještě těsně před vjezdem do tunelu prostřednictvím PDZ, které jsou vždy ve standardním vybavení tunelu, viz tab. 3–4 v TP98 (jedna je na začátku přístupové zóny a druhá u portálu tunelu). Prostřednictvím této dvojice PDZ lze řešit ve dvou krocích další snížení rychlosti, např. na 80 km/h, pokud to vyžadují mimořádné dopravní scénáře.
3. Snižování rychlosti zvyšuje kapacitu oproti otevřenému úseku dálnice.
4. Podobně jsou řešeny některé švýcarské dálniční tunely mající rychlostní limit 120 km/h. Pokud je vysoké dopravní zatížení, snižuje se ve špičkových hodinách rychlost pomocí PDZ na 80 km/h.

mean reducing the area for break-down parking at the expense of the oblique back wall and for that reason the solution is considered in the standard to be still sufficient, although it is necessary to monitor long-term statistics of accidents associated with the lay-by niche and their consequences.

PIARC recommends that even a tunnel portal, which is also a lateral obstacle, is to be dealt with in terms of impact. It is evidenced by the fatal accident in the Lochkov tunnel. Installation of crash barriers as protection before a fixed obstacle is dealt with by ČSN 73 6101 standard, where retaining walls, culverts and underpasses are directly named. Tunnel portals are not named there, but this requirement is justified and has to be incorporated into the ČSN 73 7507 standard review.

4. CONSIDERATION ON THE MAXIMUM MAXIMAL SPEED IN MOTORWAY TUNNELS

When choosing the maximum speed, it is always necessary to choose a compromise. In principle, it is possible to move from the current 80km/8h, theoretically up to the maximum permissible speed on highway, which is currently equal to 130km/h. When choosing the speed, a compromise was sought between the ability of the tunnel to perform its transport function, i.e. the transfer of the required number of vehicles between portals, and maximised safety. Performing the transport function means that the tunnel has sufficient capacity, while the travel time is not a decisive parameter, above all driving must be smooth. The difference in travel time in a kilometre long tunnel between the speeds of 100 and 130km/h is only 9 s, which plays no role in the total time of driving on the motorway. The aspect of safety was therefore in the first place when designing the maximum permissible speed. Taking into consideration equation (1) stating the ratio of fatal accidents to speed, it is suitable to choose the speed lower than the permissible speed on motorway in order to reduce the fatal consequences of head-on crashes. The D5 committee “Road tunnel Operation” of PIARC prepared an extensive document [2] “Prevention and mitigation of tunnel related collisions!” The document deals with all kinds of accidents associated with tunnels. It draws outputs and conclusions from a database provided by member states for road tunnels. One of the results is that ca 30% of accidents in tunnels are caused by collisions at the front or the rear of the vehicle. The proposed speed of 100km/h is therefore a compromise.

If the speed were in the range of 80-90km/h, it would mean a jump in speed from the maximum permissible speed of 130km/h to the permitted speed and thus the origination of unstable traffic flow at the tunnel entrance.

According PIARC, about a third of accidents in tunnels [7] are caused by collisions at the front or the rear of the vehicle, and thus by differences in speed between vehicles. Reduction in the number of accidents can be achieved by stabilisation of the traffic flow already before entering the tunnel. These are the reasons why the linear traffic management principle is applied. It reduces speed in two steps and curtails overtaking for lorries. First, the speed is restricted to 120km/h by means of a static sign ca 500m before the tunnel and overtaking is banned for all lorries, using B22 sign. In the second step, the speed is limited further to 100km/h using variable traffic signs in the about 280m long access zone so that it is not necessary to break hard at the tunnel. This information is repeated in front of the tunnel entrance portal.

4.1 Advantages of choosing the speed of 100km/h

1. The proposed speed approaches the maximum speed permissible for motorways and the time of travel in the tunnel is lower in the order of only several seconds in comparison with 130km/h in medium-length tunnels.
2. The number of fatal accidents at 100km/h and head-on

4.2 Závislost fatálních nehod na rychlosti

V některých zemích je rychlostní limit v tunelech nižší, než je na přilehlých komunikacích, což do jisté míry omezuje důsledky kolizí, např. s pevnou překážkou. Obecně platí výrok, že „rychlost zabíjí“, ale najít vztah mezi rychlostí a následkem kolizí, např. jako pravděpodobnost usmrcení, není snadné.

V literatuře se podařilo najít jediný vztah udávající závislost fatálních nehod z čelních nárazů při zvýšení rychlosti (Fatality PŘED/PO) na rychlosti ($v_{\text{PŘED}}$, v_{PO}) [2]. Vztah na základě statistik vytvořil a publikoval Goran Nilson (Švédsko), byl ověřen R. Elvikem (Norsko) a převzal ho i PIARC v REF [2] str. 215, kde $v_{\text{PŘED}}$ je současná rychlost a v_{PO} je rychlost po zvýšení.

$$\frac{\text{Fatality PO}}{\text{Fatality PŘED}} = \left(\frac{v_{\text{PO}}}{v_{\text{PŘED}}} \right)^4 \quad (1)$$

4.3 Legislativní základ pro změnu rychlosti

Základním zákonem řešícím obecně provoz na pozemních komunikacích je zákon 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích (tzv. Silniční zákon) a o změnách některých zákonů. O rychlosti v tunelech se v zákoně nemluví, pouze obecně o rychlosti v obcích a na pozemních komunikacích. Zákon ale obsahuje § 61, který přímo souvisí s projektem úpravy rychlosti, bez kterého by byl problém rychlost měnit.

Místní úpravou provozu lze podle § 61 odst. 2 nejvyšší dovolenou rychlost snížit.

4.3.1 Vztahy mezi obecnou, místní a přechodnou úpravou provozu na pozemních komunikacích

Místní úprava provozu na pozemních komunikacích je nadřazená obecné, tedy zákonné úpravě provozu na pozemních komunikacích. Přechodná úprava provozu na pozemních komunikacích je nadřazena místní i obecné úpravě provozu na pozemních komunikacích. Podle § 77 odst. 1 zákona č. 361/2000 Sb., stanoví místní a přechodnou úpravu provozu na pozemních komunikacích a užití zařízení pro provozní informace následující orgány:

- na dálnici – Ministerstvo dopravy ČR;
- na silnici I. třídy – příslušný krajský úřad;
- na silnici II. a III. třídy, místní komunikaci a na veřejně přístupné účelové komunikaci – obecní úřad obce s rozšířenou působností.

5. PRINCIP NÁVRHU – HARMONIZACE DOPRAVNÍHO PROUDU

Maximální dovolená rychlost je v Metodice optimalizována, právě vzhledem ke kritériu bezpečnosti, se snahou maximálně využít stávajících technických zařízení dopravního systému

collisions will drop by 49% in comparison with the speed of 130km/h. Lowering of the speed by 10km/h before the tunnel by B20a”120 sign will not introduce instability into the traffic flow. Just on the contrary, the flow is stabilised by another sign, B20a”100, in the tunnel access zone and the speed of 100km/h is reminded just before the entry to the tunnel by means of variable traffic signs, which are always in the standard equipment of the tunnel, see Tables 3–4 in specifications TP98 (one is at the beginning of the access zone and the second one at the tunnel portal. Through this pair of variable signs it is possible to solve further reduction of speed, e.g. to 80km/h, if exceptional traffic scenarios require it.

- Reduction of speed increases the capacity in comparison with open road section.
- Some Swiss tunnels having the speed limit of 120km/h are solved similarly. When the volume of traffic is high, the speed is reduced in peak periods to 80km/h using variable traffic signs.

4.2 Dependence of fatal accidents on speed

In some countries, the speed limit in tunnels is lower than that on adjacent roads, which to a certain extent limits the consequences of collisions, e.g. with a fixed obstacle. In general, the statement that “speed kills” applies, but finding a relationship between the speed and the consequences of a collision, such as the probability of killing, is not easy.

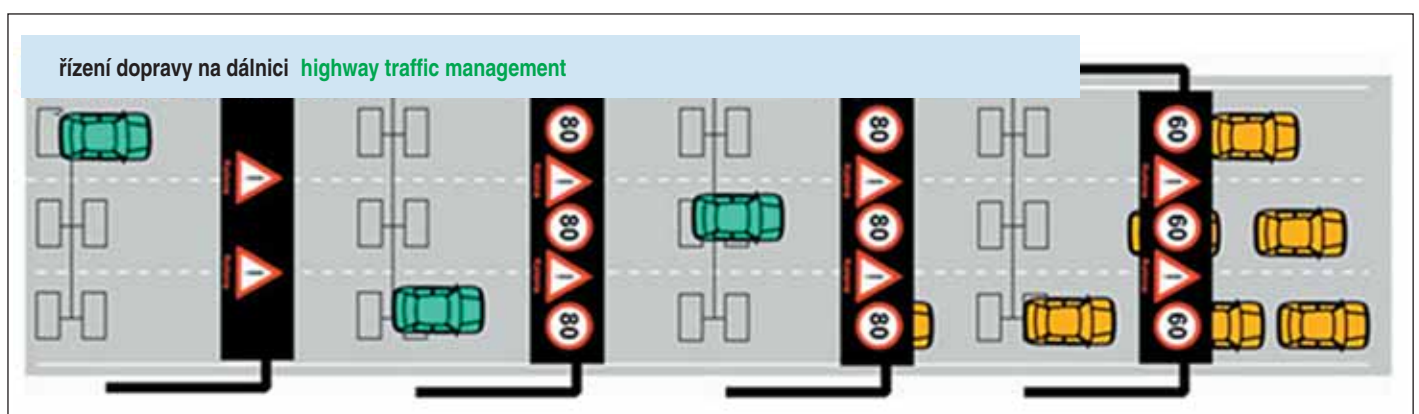
In the References, I managed to find the only relationship indicating the dependence of fatal accidents caused by head-on impacts when the speed was increased (Fatality BEFORE / AFTER) on speed (v_{BEFORE} , v_{AFTER}) [2]. The relationship was developed and published on the basis of statistics by Goran Nilson (Sweden); it was verified by R. Elvik (Norway) and was borrowed even by PIARC in REF page 215, where v_{BEFORE} is at the same time the current speed and v_{AFTER} is the speed after the increase.

$$\frac{\text{Fatality AFTER}}{\text{Fatality BEFORE}} = \left(\frac{v_{\text{AFTER}}}{v_{\text{BEFORE}}} \right)^4 \quad (1)$$

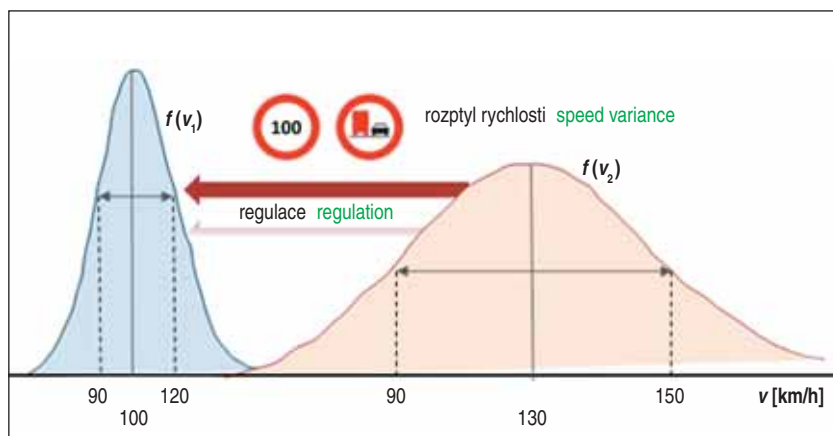
4.3 Legislative basis for speed change

The basic law dealing generally with traffic on roads is Law No. 361/2000 Coll. on road traffic (the so-called Road Traffic Law) and on amendments to certain Laws. The speed in tunnels is not spoken about in the law, the speed in municipalities and on roads is spoken about only generally. But the Law contains § 61, which is directly related to the project on the speed change, without which changing the speed would be a problem.

The highest permissible speed can be reduced by the local traffic adjustment according to § 61 col. 2.



Obr. 3 Principiální funkce RLTC
Fig. 3 Principal function of RLTC



Obr. 4 Snižování rozptylu rychlosti se snižováním střední hodnoty rychlosti
Fig. 4 Reduction of the speed variance along with reduction of the mean value of speed

navrženého podle TP98 kap. 3.2.3. Jak je uvedeno výše, asi třetina nehod v tunelech je zapříčiněna předozadními nárazy a je způsobena nestabilním a neharmonickým dopravním proudem. V mnoha zemích se stále více využívají systémy pro liniové řízení dopravního proudu na dálnici – Road Line Traffic Control (RLTC), kdy jsou na portálech PDZ měnící se parametry dopravního proudu. Tyto řídicí systémy umožňují zvyšovat kapacitu dálnice o 15 až 30 % a zároveň snižují následky a počet fatálních dopravních nehod až o 40 % s tím, že stabilizují dopravní proud. RLTC řídí dopravu v linii, kde jsou v pravidelných odstupech portály s příkazovými a varovnými proměnnými značkami upravujícími chování dopravního proudu. Zároveň se u portálů měří dva dopravní parametry – intenzita a rychlost. Na základě měření dopravní model rychlost–hustota mění rychlost vozidel a zakazuje předjíždění nákladním vozidlům. Na vstupu do linie jsou neuspořádaná vozidla s různou rychlostí a na výstupu je již harmonický dopravní proud. Na ilustrativním obr. 3 je situace zvýrazněna i graficky.

Nicméně pro harmonizaci dopravy v případě tunelů musí být využito stávajících proměnných dopravních značek, instalovaných podle TP98, s odpovídajícími číselnými hodnotami na štítech značky.

5.1 Princip harmonizace

Obr. 4, který má původ v měření působení RLTC rychlosti na SOKP, nejlépe vysvětluje, k čemu dojde v příjezdové zóně před tunelem. Uvažujme na dálnici průměrnou rychlost osobních vozidel 130 km/h. S určitou pravděpodobností se vyskytnou vozidla jedoucí rychlostí 150 km/h, ale i vozidla jedoucí 90 km/h. Působením značek B20a se symboly „100“ a značky B22a se posune střední hodnota rychlosti osobních vozidel na 100 km/h a nákladní vozidla pojedou jen v pravém pruhu, rozptyl rychlosti se bude pohybovat okolo střední hodnoty 100 km/h, na obrázku je naznačen rozptyl cca mezi 90 a 120 km/h. Tato data jsou ověřena v praxi na SOKP (D0), kde je systém RLTC již několik let v provozu.

5.1.1 Cena za harmonizaci

Nejprve se rychlost omezí na 120 km/h statickou značkou cca 500 m před tunelem a v dalším kroku na 100 km/h pomocí PDZ v příjezdové zóně tunelu, které jsou mandatorně instalovány podle TP98.

Stabilizace dopravního toku před vjezdem do tunelu má velký význam z hlediska bezpečnosti, přičemž cena investic je zanedbatelná v porovnání s přínosy, neboť všechny dálniční tunely

4.3.1 Relations between general, local and temporary adjustment of road traffic

Local regulation of road traffic is superior to general one, i.e. legal, regulation of road traffic. Temporary regulation of road traffic is superior to local regulation as well as general regulation of road traffic. According to § 77 col. 1 of Law No. 361/2000 Coll., the following authorities determine the local and temporary regulation of road traffic and the use of facilities for operational information:

- On motorways – Ministry of Transport of the CR.
- On 1st class roads – competent regional authority.
- On 2nd and 3rd class roads, urban roads and publicly accessible special-purpose roads – the municipal office of a municipality with extended powers.

5. PRINCIPLE OF THE PROPOSAL – HARMONISATION OF TRAFFIC FLOW

The maximum permissible speed is optimised in the Methodology, especially with respect to the safety criterion, with an effort for maximum use of existing technical facilities of the transport system designed according to specifications TP98 chapter 3.2.3. As mentioned above, about a third of accidents in tunnels are caused by unstable and inharmonious traffic flow. In many countries, Road Line Traffic Control (RLTC) systems are used more and more for traffic control on motorways, where variable traffic signs changing parameters of traffic flow are on portals. These control systems allow for increasing the motorway capacity by 15 to 30% and, at the same time, reduce the consequences and numbers of fatal accidents by up to 40%, while stabilising the traffic flow. The RLTC controls traffic in a line where portals with variable signs giving orders and variable warning signs regulating the behaviour of the traffic flow are installed at regular intervals. At the same time, two traffic parameters are measured at the portals – traffic volume and speed. The speed – density traffic model changes the speed of vehicles and bans lorries from overtaking. At the entry to the line there are orderless vehicles with various speed rates, while and harmonic traffic flow is already at the exit. In the illustrative Fig. 3, the situation is presented even graphically.

Nevertheless, existing variable traffic signs installed according to TP98 with corresponding numerical values on the plates have to be used for the harmonisation of traffic in the case of tunnels.

5.1 Harmonisation principle

Fig. 4, which has its origin in the measurement of the effect of the RLTC on the speed on the Prague City Ring Road (PCRR) explains best what happens in the access zone before the tunnel. Let us consider the average speed of cars on the motorway of 130 km/h. A car driving at the speed of 150 km/h will occur with a certain probability, but also cars driving at 90 km/h. The effect of the signs B20a with the symbols “100” and the sign B22a shifts the mean value of the speed of cars to 100 km/h and lorries will drive only in the right-hand lane; the speed variance will be around the mean value of 100 km/h; the variance presented in the picture ranges from 90 to 120 km/h. This data is verified in practice on the PCRR (D0 motorway), where the RLTC system has been in operation already for several years.

5.1.1 Cost of harmonisation

First, the speed is restricted to 120 km/h by a static sign approximately 500 m before the tunnel and, in the next step, to 100 km/h using variable traffic signs in the tunnel access zone, which are mandatorily installed according to the TP98.

jsou už nyní povinně vybavovány proměnnými dopravními značkami v příjezdové zóně, viz kap 3.2 TP98 „Dopravní značení a dopravní zařízení“.

6. TECHNOLOGICKÉ, TECHNICKÉ A BEZPEČNOSTNÍ ÚPRAVY VYVOLANÉ ZMĚNOU LIMITU POVOLENÉ RYCHLOSTI V TUNELU

Změna rychlosti má dopady na následující provozní soubory v členění podle TP98: dopravní systém, osvětlení tunelu a řídicí systém. V několika případech se jedná o změny, k nimž nejsou podklady v normě či v technických podmínkách. Vzhledem k omezenému rozsahu článku, budou tyto úpravy, vyžadující podrobnější komentář, komentovány v jeho volném pokračování.

7. ZÁVĚR

Silniční zákon poskytuje legislativní podporu změny rychlosti místní úpravou, která je nadřazena zákonné povinnosti řidiče. Pokud kontrola dokumentace a kontrola parametrů komunikace prokáže, že vozovka je navržena podle normy pro projektování silnic a dálnic, je možné přejít na maximální dovolenou rychlost 100 km/h. Řešení navržené podle kapitoly 5 je optimalizováno vzhledem k bezpečnosti. Stabilizace dopravního proudu se dosáhne za cenu doplnění dvou statických značek a úpravy štítů u dvou stávajících PDZ.

Výzkum okolo maximální dovolené rychlosti v tunelech a práce ve výboru D.5 ukázaly, že pro další optimalizace technických předpisů a zajištění udržitelnosti tunelů je nezbytné mít detailní statistiky o excesech v tunelu. Dosud se využívala centralizovaná databáze AZMUT vyvinutá a instalovaná na velkých tunelů v roce 2004 v rámci projektu SAFETUN. Tato databáze však vyžaduje nezbytné úpravy a doplnění. Zde by mělo sehrát jedinečnou roli celostátního integrátora ŘSD ČR a zadat zpracování úpravy databáze AZMUT.

V rámci zpracování Metodiky byly formulovány dva požadavky na změnu normy ČSN 73 7507, jejíž revize právě probíhá. Tyto změny je nutné do revize zapracovat.

Vzhledem k tomu, že dopady změny rychlosti se týkají několika technologických souborů a v jednom článku není možné tyto úpravy popsat, bude následovat pokračování.

*Poděkování za cenné připomínky Ing. M. Hoflerovi,
Ing. E. Predigerovi, Ing. Z. Pliškovi*

*prof. Ing. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
pribypav@fd.cvut.cz,
Fakulta dopravní ČVUT v Praze*

Recenzoval Reviewed: Ing. Pavel Šourek

Stabilisation of the traffic flow before entering the tunnel is of great importance in terms of safety, while the cost of investment is negligible in comparison with benefits because all motorway tunnels are already mandatorily equipped with variable traffic signs in the access zone, see Chapter 3.2 of TP98 “Traffic signs and signals and traffic facilities”.

6. TECHNOLOGY, TECHNICAL AND SAFETY MODIFICATIONS INDUCED BY THE CHANGE OF THE LIMIT FOR PERMISSIBLE SPEED IN TUNNEL

The change has implications for the following operating units broken down by TP98: traffic system, tunnel lighting, and control system. In several cases, these are changes for which there is no basis in the standard or in the technical specifications. With respect to the limited extent of the paper, these changes requiring more detailed comments will be commented in a free continuation of this paper.

7. CONCLUSION

The Road Law provides legislative support for changes of speed by local adjustment, which is superior to legal obligation of drivers. If checking on documents and checking on road parameters prove that the roadway is designed in compliance with the standard for designing roads and motorways, it is possible to switch to maximum permitted speed of 100km/h. The solution proposed according to Chapter 5 is optimised with respect to safety. Stabilisation of traffic flow is achieved at the expense of addition of two static signs and adjustment of the plates of two existing variable traffic signs.

The research regarding maximum permissible speed in tunnels and the work in the F.5 committee showed that it is necessary for other optimisations of technical regulations and securing the sustainability of tunnels to have detailed statistics on excesses in a tunnel. Until now, the AZMUT centralised database has been used. It was developed and installed to management centres of tunnels in 2004 within the framework of the SAFETUN. However, this database requires the necessary adjustments and additions. Here, the Road and Motorway Directorate of the CR should play a unique role of the national integrator and order development of the AZMUT database modification.

Two requirements for the ČSN 73 7507 standard, reviewing of which has just started, were formulated within the framework of the work on the Methodology. It is necessary to incorporate these changes into the standard.

With respect to the fact that implications of the speed change apply to several technology units and it is not possible to describe all of the modifications, a continuation will follow.

*Acknowledgements for valuable comments for Ing. M. Hofler,
Ing. E. Prediger, Ing. Z. Pliška*

*prof. Ing. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
pribypav@fd.cvut.cz,
Fakulta dopravní ČVUT v Praze*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] PŘIBYL, P. a kol. *Expertní zpráva. Metodika přechodu na vyšší rychlost*. ČVUT Fakulta dopravní, Praha, 2019, str. 94
- [2] PIARC *Prevention and mitigation tunnel related collisions*. Výbor D.5, Paříž, str. 480, ISBN 80-239-7780-6
- [3] ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic* 138, (revize 2018), ČAS, Praha, září 2018
- [4] RAJNER, F. *Základní podmínky pro úpravu rychlostních limitů v tunelu*. *Tunel č. 1*. 2019
- [5] PŘIBYL, P. a kol. ITA-AITES, Praha 2018. *Doporučení pro úpravu rychlosti ve vybraných kategoriích tunelů na PK*, str. 42, ISBN 978-80-260-8623-9
- [6] ČSN 73 7507 *Projektování tunelů pozemních komunikací*, ÚNMZ, Praha, prosinec 2013
- [7] PIARC, Technical committee D.5: *Lay bays and protection against lateral obstacles*. Výbor D.5, Paříž, 2018, str. 46