

# VOZOVKY V CESTNÝCH TUNELOCH PAVEMENTS OF ROAD TUNNELS

MARIÁN KOVÁČIK

## ABSTRAKT

V súčasnosti je na Slovensku v prevádzke 12 cestných tunelov, ktoré sa nachádzajú na sieti diaľnic a rýchlostných ciest. Na cestách I. triedy je vybudovaný jediný cestný tunel, tunel Stratená. Z pohľadu použitých vozoviek by tieto počty mohli byť ponechané, keďže v diaľničných tuneloch sú v prevádzke výlučne vozovky s cementobetónovým krytom a naopak v tuneli Stratená na ceste I/67 je použitá vozovka s asfaltobetónovým krytom. Tento bol až do otvorenia tunela Branisko roku 2003 prevádzkovaný ako jediný cestný tunel na Slovensku. Od tohto času sa na Slovensku budovali tunely len na diaľniciach a rýchlostných cestách, a to s „betónovou“ vozovkou. V tomto článku je analyzované, či je to v súčasnosti jediná možnosť a čo všetko na výber a návrh vozovky vplyva.

## ABSTRACT

Currently, there are 12 road tunnels in operation in Slovakia, which are part of the network of highways and expressways. Only one road tunnel, the Stratená tunnel, is built as part of Class I road network. From the point of view of the used pavements, we could keep these numbers, since only cement concrete pavements are in use in the highway tunnels, and on the contrary, in the Stratená tunnel on the I/67 road, a road with an asphalt concrete pavement is used. Until the opening of the Branisko tunnel in 2003, this was operated as the only road tunnel in Slovakia. From that time on, tunnels were built in Slovakia only on highways and expressways, with a “concrete” pavement. This article analyzes whether it is currently the only option and what influences the choice and design of the pavement.

## ÚVOD

Spoločnosť Basler & Hofmann Slovakia sa podieľa na príprave a realizácii viacerých diaľničných tunelov a to aj v rámci návrhu, výpočtu a posúdenia vozoviek. Z tunelov, ktoré sú už v prevádzke, to boli tunely Svrčinovec a Poľana na diaľnici D3, ďalej Ovčiarско a Žilina na diaľnici D1 a nakoniec tunel Bikoš, ktorý je súčasťou rýchlostnej cesty R4. Z pripravovaných stavieb sú to tunely Čebrať na úseku D1 Hubová – Ivachnová, ktorý je momentálne vo výstavbe, a dostavba druhej tunelovej rúry tunela Horelica na „kysuckej“ D3, kde v súčasnosti prebieha verejné obstarávanie na výber zhotoviteľa stavebných prác.

Tak ako pri iných konštrukciách, aj pri návrhu tunelových vozoviek sa detailné riešenia prispôbujú požiadavkám klienta, v tomto prípade realizátora stavby. Takto získané skúsenosti a poznatky je možné aplikovať v ďalších pripravovaných stavbách.

## OKRAJOVÉ PODMIENKY PRE NÁVRH VOZOVKY

Pri návrhu vozovky v tuneli, podobne ako pri návrhu vozovky na voľnej trase diaľnice, sa musia dodržať slovenské a európske technické normy (STN, STN EN), ako aj rezortné predpisy, napríklad technické podmienky (TP), technicko-kvalitatívne podmienky (TKP) a vzorové listy (VL). V súčasnosti je v súlade s týmito predpismi možné navrhnúť ako tuhé vozovky s cementobetónovým krytom (ďalej „CBK“), tak aj polotuhé vozovky s asfaltobetónovým krytom (ďalej „AC“). Každý z týchto typov vozoviek má svoje špecifické výhody a nevýhody a nie všetky sú vhodné pre každé prostredie.

Pri návrhu vozovky v tuneli je potrebné zohľadniť množstvo faktorov, ktoré ovplyvňujú výber vhodného materiálu a konštrukcie. Okrem dopravného zaťaženia, klimatických podmienok a typu podlažia je potrebné uvažovať aj s týmito špecifickými aspektmi:

- **Dĺžka tunela:** Klimatické podmienky, ktoré ovplyvňujú návrh, majú dosah do vzdialenosti cca 300–600 m od portálov tunela, preto najmä pri krátkych tuneloch nie je potrebné uvažovať s viacerými hrúbkami konštrukcie vozovky.

## INTRODUCTION

The company Basler & Hofmann Slovakia participates in the preparation and construction of several highway tunnels, including the design, calculation and assessment of pavements. The tunnels that are already in operation are the Svrčinovec and Poľana tunnels on the D3 highway, then Ovčiarско and Žilina on the D1 highway, and finally the Bikoš tunnel, which is part of the R4 expressway. The constructions that are being prepared are the Čebrať tunnels on the D1 section Hubová – Ivachnová, which is currently under construction, and the completion of the second tunnel tube of the Horelica tunnel on “Kysučka” D3, where a tender for the selection of a construction contractor is currently underway.

As with other constructions, detailed solutions in the design of tunnel pavements are adapted to the requirements of the client, which in this case is the construction contractor. The experience and knowledge gained in this way can be applied in other upcoming constructions.

## CONDITIONS OF PAVEMENT DESIGN

When designing a pavement in a tunnel, similar to when designing a pavement on a freeway route, Slovak and European technical standards (STN, STN EN) must be followed, as well as departmental regulations, for example technical conditions (TP), technical-quality conditions (TKP) and standard details sheets (VL). Currently, in accordance with these regulations, it is possible to design both rigid cement concrete pavements (hereinafter “CBK”) and semi-rigid asphalt concrete (hereinafter “AC”). Each of these types of pavements has its specific advantages and disadvantages and not all of them are suitable for every environment.

When designing a pavement in a tunnel, it is necessary to take into account a number of factors that influence the choice of suitable material and construction. In addition to the traffic load, climatic conditions and type of subbase, it is also necessary to consider the following specific aspects:



Obr. 1 Vozovka na východnom portáli tunela Ovčiarско, Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka (CBK v jazdných pruhoch a AC kryt v odstavnom pruhu)

Fig. 1 Pavement at the eastern portal of the Ovčiarско tunnel, Highway D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka (CBK in traffic lanes and AC in parking lane)

- **Dilatačné bloky:** Pre návrh vozovky je dôležitá dĺžka dilatačných blokov definitívneho ostenia a zároveň typ podložia – horninový masív alebo betónová spodná klenba.
- **Predportálové oblasti:** V oblasti pred portálmi tunelov (obr. 1) je potrebné zohľadniť meniacu sa šírku vozovky medzi tunelom a voľnou trasou, čo môže ovplyvniť systém priečného a pozdĺžneho delenia cementobetónového krytu na dosky (škárovce).

Okrem technických aspektov je zásadným faktorom návrhu aj protipožiarna bezpečnosť. V tuneloch sa podľa článku 8.2 TP 099 [1] môžu používať len nehorľavé materiály alebo materiály s nízkou horľavosťou, čo ovplyvňuje výber vhodného krytu vozovky.

Nemenej dôležitým faktorom, ktorý sa posudzuje pri výbere typu vozovky, je ekonomické hľadisko. Pred výberom vhodného typu konštrukcie vozovky je potrebné v zmysle TP 034 [2]

- **Tunnel length:** Climatic conditions that affect the design to a distance of approx. 300–600m from the tunnel portals, therefore, especially in the case of short tunnels, there is no need to consider multiple thicknesses of the pavement structure.
- **Dilation blocks:** The length of the dilation blocks of the definitive lining is important for the design of the pavement, as well as the type of subbase – rock mass or concrete tunnel invert.
- **Pre-portal areas:** In the area in front of the tunnel portals (Fig. 1), it is necessary to take into account the changing width of the pavement between the tunnel and the free route, which can affect the system of transverse and longitudinal division of the cement concrete pavement into slabs (joints layout scheme).



Obr. 2 Cementobetónová vozovka v tuneli Svrčinovec po realizácii škár

Fig. 2 Cement concrete pavement in the Svrčinovec tunnel after joints construction

In addition to technical aspects, fire safety is also a fundamental design factor. According to Article 8.2 TP 099 [1], only non-flammable materials or materials with low flammability can be used in tunnels, which affects the selection of a suitable road pavement.

No less important factor that is considered when choosing the type of pavement is the economic point of view. Before choosing a suitable type of pavement construction, it is necessary to process a complex technical-economic assessment, which defines the criteria for choosing a pavement, in accordance with TP 034 [2].

The type of pavement can be selected based on:

spracovať komplexné technicko-ekonomické posúdenie, ktoré definuje kritériá pre výber vozovky. Typ krytu vozovky môže byť vybraný na základe:

- primárnych kritérií;
- analýzy životného cyklu stavby (LCA – Life Cycle Analysis).

Výber krytu podľa primárnych kritérií (bez ďalšieho posudzovania) je možný len v takých prípadoch, keď bola výskumom aj praxou opakovane preukázaná výhodnosť takéhoto riešenia. Medzi kritériá, ktoré umožňujú bez ďalšieho podrobného posudzovania výhodnosti vozovky s CBK, patria napríklad:

- úseky s ročným priemerom denných intenzít väčším ako 3000 nákladných vozidiel;
- odstavné plochy pre ťažké nákladné vozidlá.

- primary criteria;
- analysis of the construction life cycle (LCA – Life Cycle Analysis).

The selection of a pavement according to primary criteria (without further assessment) is possible only in cases where research and practice have repeatedly demonstrated the advantage of such a solution. Among the criteria that demonstrate, without further detailed assessment, the suitability of a CBK pavement belong, for example:

- sections with an annual average of daily intensities greater than 3,000 trucks;
- parking areas for heavy trucks.

## VOZOVKY S CEMENTOBETÓNOVÝM KRYTOM

Cementobetónové vozovky (vozovky s CBK) sú výbornou voľbou pre tunely, najmä tam, kde je očakávané vysoké dopravné zaťaženie ťažkou nákladnou dopravou. Medzi hlavné výhody cementobetónových vozoviek patrí ich dlhá životnosť a vysoká odolnosť proti trvalým deformáciám.

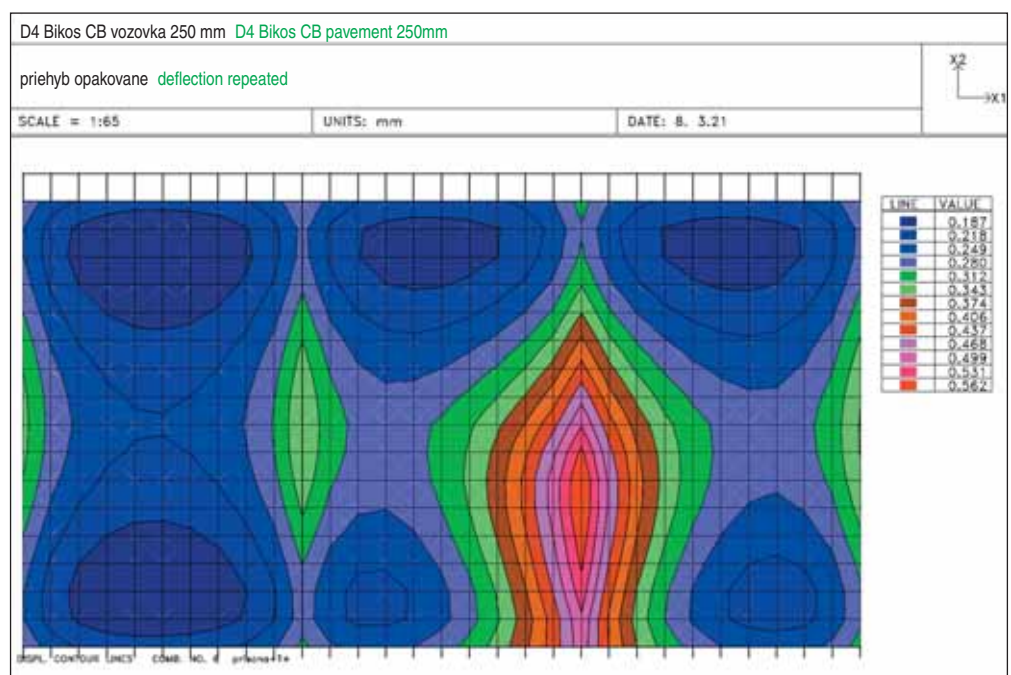
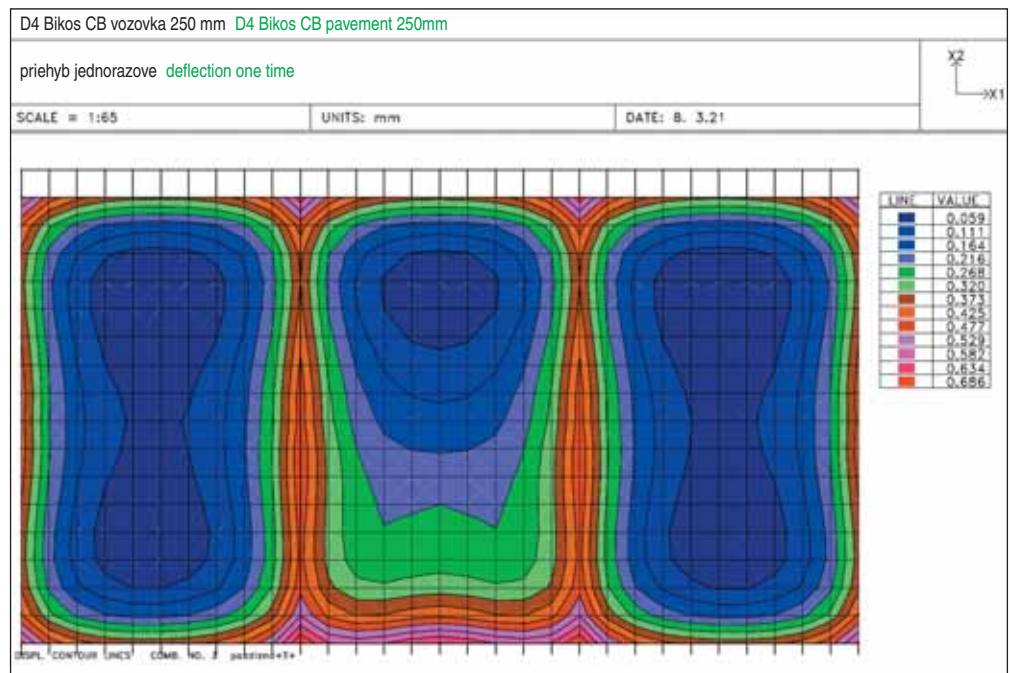
Konštrukcia cementobetónovej vozovky zahŕňa:

- kryt vozovky;
- podkladovú vrstvu (spodnú a hornú podkladovú vrstvu);
- ochrannú vrstvu.

Kryt vozovky v tuneloch je tvorený cementobetónovými doskami typu CB I, ktoré sa realizujú ako dvojvrstvové, s hrúbkou hornej vrstvy od 50 do 80 mm. Používa sa kamenivo s maximálnym zrnom 8 mm na minimalizáciu hluku. Kamenivo použité do hornej vrstvy CBK musí spĺňať vyššie nároky na tvarový index a ohľaditeľnosť.

Kryt cementobetónovej vozovky je dilatovaný systémom priečných a pozdĺžnych dilatačných a kontrakčných škár (škároroz). Je dôležité, aby bol škároroz CBK v súlade s blokovou schémou tunela a to z dôvodu, aby bola zabezpečená súčinnosť jednotlivých dilatačných celkov tunela.

Škóry CBK (obr. 2) sú vystužené klznými trnmi v priečných škárách a kotvami v pozdĺžnych škárách. Ideálna poloha výstužných prvkov je v strede dosky. Škóry sú po narezaní vybavené predtesnením z mikro-poréznej gumy. Definitívna úprava škár zahŕňa frézovanie komôrok v kryte, do ktorých sa umiestnia predtesnenia a uzatvoria sa zálievkovou hmotou. V súčasnosti sa používajú



Obr. 3 Priehyb CBK v závislosti od zaťaženia, a) priehyb CBK pri jednorazovom zaťažení – zaťažená voľná hrana dosky v rozpätí od 0,059 mm (modrá) do 0,686 mm (červená); b) priehyb CBK pri opakovanom zaťažení – zaťažená priečna hrana dosky v rozpätí od 0,187 mm (modrá) do 0,562 mm (červená)

Fig. 3 CBK deflection induced by the load, a) CBK deflection under single load – loaded free edge of the slab in the range from 0.059mm (blue) to 0.686mm (red); b) CBK deflection during repeated loading – loaded transverse edge of the slab in the range from 0.187mm (blue) to 0.562mm (red)

dvojzložkové samonivelačné zálievky aplikované za studena. Tie to majú najvhodnejšie vlastnosti z pohľadu priľnavosti, rozťažnosti, dlhodobej elasticity, odolnosti voči klimatickým zmenám a UV stability.

Ako podkladová vrstva sa najčastejšie používa stmelená vrstva z hydraulického spojiva (CBGM) alebo asfaltového spojiva (AC). Pri použití hydraulického spojiva je dôležité, aby dilatčné škáry krytu a podkladu boli v súlade, čo zamedzí vzniku a kopírovaniu nežiadúcich „divokých“ trhlin do krytu vozovky.

Ochranná vrstva vozovky je uložená na upravenom horninovom dne, resp. na spodnej klenbe tunela, a tvorí ju nespevnená vrstva (UM ŠD – nestmelená zmes zo štrkodrviny, alebo MSK – mechanicky spevnené kamenivo) s drenážnou funkciou, ktorej úloha je bezpečne odvieť presakujúcu vodu z horninového prostredia. Zároveň jej hrúbka musí byť dostatočná, aby tepelný odpor celkovej konštrukcie vozovky bol vyšší ako požadovaný, a tým bolo splnené posúdenie z hľadiska ochrany pred nepriaznivými účinkami mrazu.

## CEMENT CONCRETE PAVEMENTS

Cement-concrete pavements (CBK pavements) are an excellent choice for tunnels, especially where heavy traffic loads are expected. The main advantages of cement-concrete pavements include their long service life and high resistance to permanent deformations.

The construction of a cement-concrete pavement includes:

- **pavement slab;**
- **base layer** (lower and top upper layer);
- **protective layer.**

The road pavement in the tunnels is made of cement concrete slabs of the CB I type, which are realized as two layers, with a thickness of the upper layer from 50 to 80mm. Aggregate with a maximum grain size of 8mm is used to minimize noise. The aggregate used in the upper layer of CBK must meet higher demands for shape index and workability.

Dilation of the cement-concrete pavement is allowed by a system of transverse and longitudinal expansion and contraction joints (joints layout scheme). It is important that the joints scheme of the CBK is in agreement with the concrete cast blocks of the tunnel in order to ensure the cooperation of the individual expansion units of the tunnel.

CBK joints (Fig. 2) are reinforced with sliding pins in the transverse joints and anchors in the longitudinal joints. The ideal position of the reinforcing elements is in the middle of the slab. After joint slots cutting, the joints are pre-sealed with microporous rubber. The definitive treatment of the joints includes milling the chambers in the pavement, in which the pre-seals are placed and sealed with grout. Currently, two-component self-leveling grouts applied cold are used. These have the most suitable properties in terms of adhesion, extensibility, long-term elasticity, resistance to climate changes and UV stability.

A cemented layer of hydraulic binder (CBGM) or asphalt binder (AC) is most often used as a base layer. When using a hydraulic binder, it is important that the dilation joints of the pavement and the base are in line, which will prevent unwanted “wild” cracks from forming and copying into the road pavement.

The protective layer of the pavement is placed on a leveled rock bottom, or on the tunnel invert, and it consists of an unreinforced layer (UM ŠD – unconsolidated crushed gravel mixture, or MSK – mechanically strengthened aggregate) with a drainage function, the task of which is to safely remove groundwater seeping from the rock mass. At the same time, its thickness must be sufficient so that the thermal resistance of the overall pavement structure is higher than required, and thus the assessment in terms of protection against the adverse effects of frost has been fulfilled.

## ASSESSMENT OF CBK PAVEMENTS

CBK assessment is precisely specified in STN 73 6123 [3] and TP 098 [4]. The assessment from the point of view of stresses in the pavement is documented by a static calculation performed on a 3D model of the subbase with underlying layers of the pavement. Calculations using software intended for static calculations [6] check the slab maximum tensile stresses and deflection (Fig. 3) under single and repeated loading of CB slab, both from traffic loads and from temperature changes, which often have a greater influence on the final composition of the structure.



Obr. 4 Tunnel Svrčinovec – betonáž hornej vrstvy krytu cementobetónovej vozovky  
Fig. 4 Svrčinovec Tunnel – concreting of the upper layer of the cement concrete pavement

## POSÚDENIE VOZOVIEK S CBK

Posúdenie CBK je presne špecifikované STN 73 6123 [3] a TP 098 [4]. Posúdenie z hľadiska napätí vo vozovke sa dokladuje statickým výpočtom vykonaným na 3D modeli podložia s podkladovými vrstvami vozovky. Výpočtom pomocou softvéru určeného na statické výpočty [6] sa preverujú maximálne ťahové napätia a priehyb dosiek (obr. 3) pri jednorazovom aj opakovanom zaťažení CB dosiek a to ako od zaťaženia dopravou, tak aj od zaťaženia od zmeny teplôt, ktoré majú často väčší vplyv na výsledné zloženie konštrukcie.

Súčasťou posúdení sú aj objemové zmeny krytu a stanovenie maximálneho predpokladaného predĺženia CB dosiek tak, aby sa stanovila účinná šírka dilatčných škár v kryte.

## REALIZÁCIA VOZOVKY V TUNELOCH

Realizácia vozovky v tuneli prebieha v obmedzenom priestore podzemného objektu, kde je náročný prístup k stavebným materiálom (obr. 4) a obmedzené možnosti technologických úprav pri ukladaní jednotlivých vrstiev vozovky.

Prvotná realizácia vozovky nepredstavuje jediné práce počas životného cyklu vozovky. Je potrebné vziať do úvahy aj prevádzku a údržbu vozovky počas jej životnosti (30 rokov pre vozovky s cementobetónovým krytom a 25 rokov pre asfaltobetónové vozovky), čo si vyžaduje pravidelnú obnovu funkčnosti, ktorá okrem iného zahŕňa pravidelné obhliadky a merania. Tie si zväčša vyžadujú aj čiastočné, resp. úplné uzávierky tunela či minimálne jednej tunelovej rúry.

### PRECHODOVÉ ÚSEKY

Keďže sú vozovky diaľnic a rýchlостných ciest vo voľných trasách (mimo tunelov) navrhnuté a zrealizované prevažne ako polotuhé s krytom z asfaltového betónu a tunely sa navrhujú prevažne s vozovkou s CBK, je potrebné navrhnuť riešenia prechodového úseku medzi dvomi typmi konštrukcie vozovky tak, aby nedochádzalo k poškodeniam v mieste ich styku.

Taktiež to platí aj v prípade, ak trasa prechádza z tunela po krátkom úseku na mostný objekt (obr. 5), keď sa vozovka s CBK vysúva až k mostnému objektu. V tomto prípade je však vzhľadom na rozdielny typ podložia vozovky potrebné upraviť konštrukciu vozovky tak, aby zvládala dynamický prechod medzi násypom a konštrukciou mostnej opory, resp. medzi násypom a základovými konštrukciami tunela.



Obr. 5 Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, prechodový úsek pri tuneli Žilina – vystuženie CBK pri prechode na mostný objekt

Fig. 5 Highway D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, transition section near the Žilina tunnel – reinforcement of CBK at the transition to the bridge object

The assessments also include the volume changes of the pavement and the determination of the maximum expected dilation of the CB slabs in order to determine the effective width of the dilation joints in the pavement.

### CONSTRUCTION OF TUNNELS PAVEMENT

The construction of the pavement in the tunnel takes place in the limited space of the underground structure, where access to construction materials is difficult (Fig. 4) and there are limited range of technological possibilities when laying individual pavement layers.

The pavement construction is not the only work during the life cycle of the pavement. It is also necessary to take into account the operation and maintenance of the pavement during its lifetime (30 years for cement concrete pavement and 25 years for asphalt concrete pavements), which requires regular restoration of functionality, which includes, among other things, regular inspections and measurements. They usually also require partial or complete closure of the tunnel or at least one tunnel tube.



Obr. 6 Vozovka s asfaltobetónovým krytom na diaľnici A1 v tuneli Gubristtunnel (Švajčiarsko), a) realizácia ložnej vrstvy AC krytu, b) zhotovená vozovka s AC krytom

Fig. 6 Asphalt pavement on the A1 highway in the Gubristtunnel (Switzerland), a) realization of the base layer of the AC pavement b) completed AC pavement

### TRANSITION SECTIONS

Since the pavements of highways and expressways in free routes (outside tunnels) are designed and implemented mainly as semi-rigid with asphalt concrete pavement and tunnels are designed mainly with CBK pavement, it is necessary to design solutions for the transition section between the two types of pavement construction so that there is no to damage in the place of their contact.

This also applies if the route passes from the tunnel after a short section to the bridge structure (Fig. 5), when the pavement with CBK extends to the bridge structure. In this case, however, due to the different type of road sub base, it is necessary to adjust the pavement structure so that it can handle the dynamic transition between the embankment and the bridge support structure, or between the embankment and the tunnel foundation structures.

This transition is achieved by adjusting (increasing) the thickness of the pavement and reinforcing CBK

Tento prechod sa docieľi úpravou (zväčšením) hrúbky krytu a vystužením dosiek CBK a škár. Pohyb dosiek sa zabezpečí úpravou typu kotvenia v škárach, pričom posledná doska CBK pred AC krytom je na oboch koncoch oddilatovaná po celej hrúbke. Prechod sa zvyčajne realizuje na dĺžke 2–3 dosiek.

Pri prechode medzi voľnou trasou a hĺbeným tunelom je hrúbka CBK konštantná. K zmene hrúbky dochádza len pri koncových doskách CBK. Na elimináciu rozdielnych typov podkladov (v prípade hĺbeného tunela tuhý a v prípade voľnej trasy pružný polpriestor) je potrebné v prechodovej oblasti upraviť podložie vozovky, a to napríklad formou nábehového klinu zo štrkodrviny, vystuženého obojsmernou výstužnou geomrežou.

## VOZOVKY S ASFALTOBETÓNOVÝM KRYTOM

Na Slovensku sa asfaltobetónové vozovky v diaľničných tuneloch, na rozdiel od blízkeho zahraničia (obr. 6), doposiaľ nenavrhovali vzhľadom na znenie protipožiarnych predpisov. Po aktualizácii TP 099 [1] a TKP 26 [5] v roku 2022 je ich návrh, v prípade ak materiály spĺňajú požiadavky na nehorľavosť, možný. Výhodou asfaltobetónových vozoviek sú nižšie obstarávacie náklady. Avšak ich životnosť je kratšia než u cementobetónových vozoviek, pričom sú potrebné aj častejšie pravidelné a mimoriadne obnovy a opravy.

Asfaltobetónové vozovky sú náchylnejšie na tvorbu trvalých deformácií (kolaje), ktoré vznikajú aj pri použití modifikovaných asfaltov. Taktiež je potrebné počítať s pravidelnými uzávierkami tunelov počas výmeny a obnovy obrusnej vrstvy, čo môže mať vplyv na celkovú prevádzku.

Výraznou nevýhodou asfaltobetónových vozoviek je aj ich vplyv na osvetlenie tunela. Tmavší povrch asfaltu znižuje jas v tuneli, čo si vyžaduje vyšší výkon osvetľovacej sústavy a tým aj vyššie prevádzkové náklady.

## ZÁVER

Výber správnej konštrukcie vozovky v tuneloch je kľúčovým faktorom, ktorý ovplyvňuje jej funkčnosť počas celej životnosti vozovky. Okrem technických parametrov, ako je dopravné zaťaženie, klimatické podmienky a typ podložia, je potrebné zohľadniť aj ekonomické a prevádzkové faktory, ako sú náklady na údržbu, opravy a prevádzkovanie technologických zariadení v tuneloch. To sú napríklad náklady spojené s vyššími obstarávacími a prevádzkovými nákladmi na technologické vybavenie tunela, nákladmi na údržbu a opravy vozovky a v neposlednom rade celospoločenský dopad v prípade dlhších uzávierok tunelov.

*Ing. MARIÁN KOVÁČIK,  
marian.kovacik@baslerhofmann.sk,  
Basler & Hofmann Slovakia, s.r.o.*

Recenzovala *Reviewed by:* Ing. Viktória Chomová

slabs and joints. The movement of the slabs is ensured by adjusting the type of anchoring in the joints, while the last CBK slab before the AC pavement is dilated at both ends along the entire thickness. The transition is usually made over a length of 2–3 slabs.

At the transition between the free route and the excavated tunnel, the CBK thickness is constant. The thickness changes only at CBK end slabs. To eliminate different types of foundations (rigid in the case of an excavated tunnel and flexible half-space in the case of a free route), it is necessary to modify the roadbed in the transition area, for example in the form of a gravel run-up wedge, reinforced with a two-way reinforcing geogrid.

## ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS

In Slovakia, asphalt-concrete pavements in highway tunnels, in contrast to nearby countries (Fig. 6), have not yet been proposed due to the fire regulations. After updating TP 099 [1] and TKP 26 [5] in 2022, their design is possible, if the materials meet the requirements for non-flammability. The advantage of asphalt-concrete pavements is lower procurement costs. However, their lifespan is shorter than that of cement-concrete pavements, while regular and extraordinary renewals and repairs are also required more often.

Asphalt-concrete pavements are more susceptible to the formation of permanent deformations (rutting), which also occur when modified asphalts are used. It is also necessary to take into account the regular closures of the tunnels during the replacement and renewal of the abrasive layer, which may affect the overall traffic.

A significant disadvantage of asphalt-concrete pavements is also their influence on tunnel lighting. A darker asphalt surface reduces the brightness in the tunnel, which requires higher performance of the lighting system and thus higher operating costs.

## CONCLUSION

Choosing the right pavement structure in tunnels is a key factor that affects its functionality throughout the life of the pavement. In addition to technical parameters such as traffic load, climatic conditions and subbase type, economic and operational factors such as the costs of maintenance, repair and operation of technological equipment in tunnels must also be taken into account. These are, for example, the costs associated with higher procurement and operating costs for the technological equipment of the tunnel, costs for maintenance and pavement repairs, and last but not least, the societal impact in the case of longer tunnel closures.

*Ing. MARIÁN KOVÁČIK,  
marian.kovacik@baslerhofmann.sk,  
Basler & Hofmann Slovakia, s.r.o.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] MINISTERSTVO DOPRAVY A VÝSTAVBY SR. TP099, Technické podmienky – Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov. 2022.
- [2] MINISTERSTVO DOPRAVY A VÝSTAVBY SR. TP034, Technické podmienky – Metodika stanovenia finančných kritérií na výber hornej stavby vozoviek v cestnom staviteľstve. 2023.
- [3] ÚNMS SR. STN 73 6123, Stavba vozoviek. Cementobetónové kryty. 2010.
- [4] MINISTERSTVO DOPRAVY A VÝSTAVBY SR. TP098, Technické podmienky – Navrhovanie cementobetónových vozoviek na cestných komunikáciách. 2015.
- [5] MINISTERSTVO DOPRAVY A VÝSTAVBY SR. TKP26, Technicko-kvalitatívne podmienky – Tunely, Dodatok č. 1. 2022.
- [6] ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. STRAP [software]. Dostupné z: <https://atirsoft.com/contact-us/>