

BETONOVÉ VOZOVKY CONCRETE ROADS

2020

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK CONFERENCE PROCEEDINGS

8. konference s mezinárodní účastí
8th international conference

5. listopadu 2020, online konference

SBORNÍK BETONOVÉ VOZOVKY 2020

8. konference s mezinárodní účastí
Kolektiv autorů

Vydavatel: Výzkumný ústav maltovin Praha
1. vydání (brožované)
Listopad 2020

ISBN 978-80-906541-5-0

Obsah

1. blok: Životnost betonových vozovek

Next Generation Concrete Surface (NGCS). Finally A quiet and sustainable road pavement?	6
<i>B. Vanhooreweder, P. De Winne and A. Scheers – Flemish Government – Agency for Roads and Traffic, L. Rens – Febelcem, A. Beeldens – AB-Roads</i>	
Nová generace betonových povrchů (NGCS). Konečně tichá a udržitelná vozovka?	19
<i>B. Vanhooreweder, P. De Winne and A. Scheers - vlámská vláda – Úřad pro pozemní komunikace a dopravu, L. Rens – Febelcem, A. Beeldens – AB-Roads</i>	
Opatření pro vyšší životnost CBK – výsledky pilotního projektu	32
<i>Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D., Ing. Ladislav Vysloužil – Skanska a.s., doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., DSc., Bc. Jakub Veselý – ČVUT v Praze</i>	

2. blok: Budoucnost betonových vozovek a diagnostika

Herausforderungen für den Bau von Betonstraßen in der Zukunft	49
<i>Em.Univ.-Prof. Dr.techn. Dr.-Ing. e.h. Rupert Springenschmid – Technische Universität München</i>	
Výzvy pro stavbu betonových vozovek v budoucnosti	56
<i>Em. Univ. Prof. Dr. techn. Dr. Ing. e.h. Rupert Springenschmid – Technická univerzita Mnichov</i>	
Měření hlučnosti povrchů cementobetonových krytů vozovek metodou malé vzdálenosti (CPX)	63
<i>Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D. – Centrum dopravního výzkumu v. v. i.</i>	
Concrete pavements in tunnels: benefits, design and construction guidelines based on some Belgian case-studies	71
<i>Prof. Anne Beeldens, PhD, eng., consulting engineer – AB-Roads</i>	
Betonová vozovka v tunelech: výhody a doporučení pro návrh a konstrukci vycházející z některých belgických případových studií	83
<i>Prof. Anne Beeldens, PhD, eng., konzultační inženýrka – AB-Roads</i>	

3. blok: Opravy, údržba – nové technologie a materiály

Roller compacted concrete – successful construction of a test track	96
<i>Dr. Martin Peyerl – Smart Minerals GmbH, Dr. Johannes Horvath – Lafarge Zementwerke, DI Sebastian Spaun – Vereinigung der österreichischen Zementindustrie, Dr. Stefan Krispel – Smart Minerals GmbH</i>	

Válcovaný beton – úspěšná realizace zkušebního úseku	102
<i>Dr. Martin Peyerl – Smart Minerals GmbH, Dr. Johannes Horvath – Lafarge Zementwerke, DI Sebastian Spaun – Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Dr. Stefan Krispel – Smart Minerals GmbH</i>	

Whitetopping – první pilotní projekt v ČR	108
<i>Ing. Bohuslav Slánský, Ing. Ladislav Vysloužil, Ph.D – SKANSKA a.s., Ing. Petr Bijok –DOPRAVOPROJEKT Ostrava a.s.</i>	

Precast concrete slabs for construction and repairing – high quality in short time	118
<i>T. Alte – Teigeler, Otto Alte – Teigeler GmbH</i>	

Prefabrikované betonové desky pro stavbu a opravy – vysoká kvalita za krátkou dobu	126
<i>T. Alte – Teigeler, Otto Alte – Teigeler GmbH</i>	

4. blok: Další možnosti využití cementobetonových krytů

Anwendungsbereiche für Verkehrsflächen aus Beton	135
<i>Dipl.-Ing. Martin Langer</i>	

Oblasti využití betonových dopravních ploch	145
<i>Dipl.-Ing. Martin Langer</i>	

Kolejové polní cesty – betonové, monolitické, prováděné strojní pokládkou	155
<i>Ing. Daniel Houšteký – STRABAG, a.s.</i>	

Experience with the construction of RCC in Spain	159
<i>José María Merino – CEMEX EUROPE</i>	

Zkušenosti s použitím válcovaného betonu (RCC) ve Španělsku	162
<i>José María Merino – CEMEX EUROPE</i>	

Cementobetonový kryt CB II na projektě „Rekonštrukcia cesty III/1113“	165
<i>Ing. Jan Málek, závod CB technologie – EUROVIA CS, a.s.</i>	

1. blok:
**Životnost
betonových
vozovek**

Next Generation Concrete Surface (NGCS). Finally A quiet and sustainable road pavement?

B. Vanhooreweder, P. De Winne and A. Scheers
Flemish Government – Agency for Roads and Traffic, Belgium
E-mail: Barbara.Vanhooreweder@mow.vlaanderen.be

L. Rens
Febelcem, Belgium
E-mail: L.Rens@febelcem.be

A. Beeldens
AB-Roads, Belgium
E-mail: A.Beeldens@ab-roads.com

For concrete pavements, several surface finishing techniques are possible, such as brushing and exposed aggregate concrete. The Next Generation Concrete Surface (NGCS) is a new technique from the United States, and developed to reduce rolling noise. Thanks to diamond blades, a negative texture is ground each time with 1 deeper groove and 4 shallow grooves in the longitudinal direction. This technique can be applied to new concrete surfaces as well as to existing pavements. The first Belgian trial section, composed of 2 different profiles, was carried out on an existing jointed concrete road with exposed aggregate surface in October 2015 on the N44 in Maldegem. The thickness and diameter of the diamond blades are the same for both profiles. The difference lies in the spacers, which are considerably narrower for the first profile. The Close Proximity (CPX) rolling noise measurements, performed immediately after treatment, show that for the first profile the noise level of cars decreased by 6 dB (A) compared to the existing surface. Compared with the reference pavement SMA-C (stone mastic asphalt with maximum aggregate size of 10 mm) the level obtained is 3 to 4 dB (A) quieter, corresponding to the type of AGT-mix type I (= silent asphalt layer). For the second profile, which is rougher, the rolling noise is reduced by 2 dB (A). A year later, the difference for the first profile is 4 dB (A), while the second profile remains stable. We can therefore conclude that the NGCS is a silent pavement for cars. To ensure that the technique is sustainable, this trial section will be followed acoustically in the following years.

KEY WORDS: CONCRETE ROADS / LOW NOISE PAVEMENT / NGCS

1 INTRODUCTION

Different surface finishing techniques exist for concrete road pavement such as brushing and exposed aggregate concrete (EAC) [1]. The 'Next Generation Concrete Surface' (NGCS) is a new technique from the US developed to reduce rolling noise [2]. It consists of a combination of longitudinal grooving and diamond grinding. Diamond blades are used to grind a negative texture in the longitudinal direction with each time one deep groove (grooving) and four shallow grooves (grinding). This technique can be applied to new concrete surfaces as well as to existing pavements.

The first Belgian trial section, composed of 2 different profiles, was carried out on an existing jointed concrete road with exposed aggregate surface from 1958 (thickness = 23-25 cm) in October 2015 on the N44 in Maldegem (Figure 1).

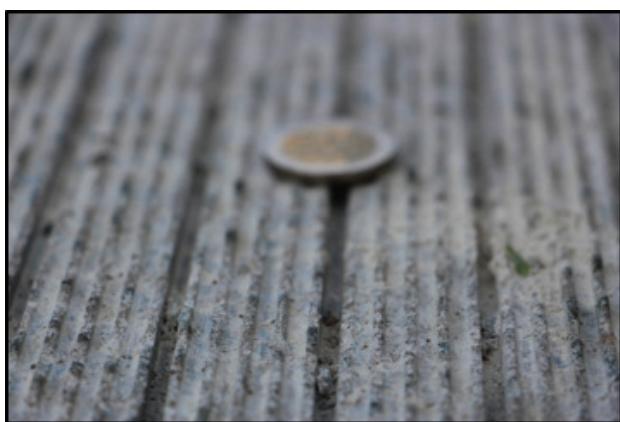


Figure 1: Trial section NGCS N44 Maldegem

The thickness and diameter of the diamond blades are the same for both profiles. The difference lies in the spacers, see Table 1 and Figures 2 and 3. These are much narrower for the first profile with a width of 1.5 mm. Taking account of the excess width of 0.4 mm of the segment in relation to the saw blade, this causes "ridges" on the upper surface of 1.1 mm wide. For profile 2 the spacers are much wider, being 3.0 mm, causing ridges with a width of 2.6 mm.

Table 1: Thickness and diameter of segment blades and width of spacer for both profiles

Profile	N44 Reference point	Longitudinal grooving: Segment blade	Diamond grinding: Segment blade	Spacer
1	16.2-16.3	Thickness: 2.8 mm Diameter: 363 mm Depth groove: ± 4 mm	Thickness: 2.8 mm Diameter: 356 mm Depth groove: ± 1 mm	1.5 mm
2	16.4-16.5	Thickness: 2.8 mm Diameter: 363 mm Depth groove: ± 4 mm	Thickness 2.8 mm Diameter: 356 mm Depth groove: ± 1 mm	3.0 mm

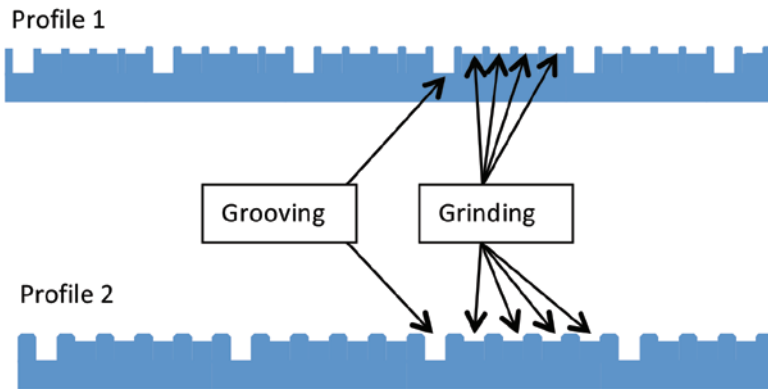


Figure 2: Detail both profiles

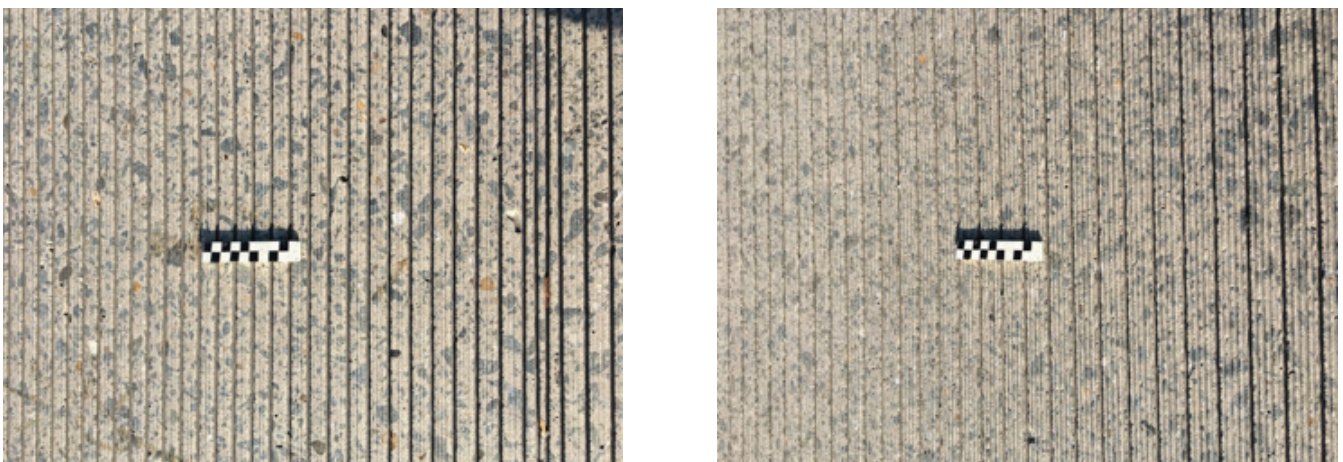


Figure 3: NGCS trial section in Maldegem on the N44 profile 1 (left) and profile 2 (right)

To determine the effect of this new surface finishing technique on the noise level, before and after the work rolling noise measurements were carried out with the Close-Proximity method (CPX) and Statistical Pass-By (SPB) measurements.

2 CPX MEASUREMENTS (CLOSE PROXIMITY METHOD)

2.1 Measuring method

The *Close-Proximity* method (CPX) is an acoustic measuring method whereby the contact noise between tyre and road surface is measured by driving on the road with a measuring trailer (Figure 4). The purpose of the CPX method is to evaluate both the noise production and the homogeneity of road pavement over a certain route.



Figure 4: CPX trailer (Agency for Roads and Traffic - Flemish Government - Belgium)

The rolling noise of the reference tyres is measured with 2 x 2 microphones assembled near the tyre/road pavement contact surface in two acoustically insulated housings fitted on a trailer chassis (Figure 5). This measuring trailer is driven over the road surface at a reference speed of 50 or 80 km/hour. The measurements are carried out in dry weather.

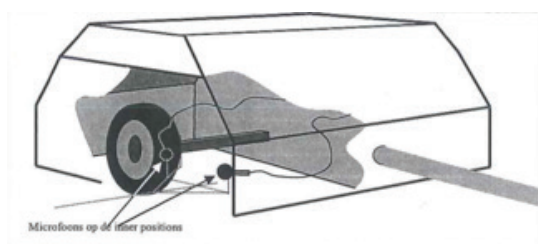


Figure 5: Construction CPX trailer (source: M+P)

As result the noise level per 20 metres and the spectrum of the complete route can be represented. The standardisation of this measuring method is set out in standard ISO 11819-2 [3].

2.2 Measurement results

On 5 August 2015 pre-measurements were carried out on both trial sections with the CPX trailer with both reference tyres, SRTT and AVON AV4, at 80 km/hour. The SRTT tyres correspond with the behaviour of a car tyre. The AVON AV4 tyre is comparable with a truck tyre. The measurements show that with the SRTT tyre the CPXP level of the original exposed aggregate surface is between 101.1 and 101.4 dB(A). This is 2.1 to 2.4 louder than the Belgian reference SMA-C (stone mastic asphalt with maximum aggregate size of 10 mm). With the truck tyre the CPXH level is between 99.6 and 100.0 dB(A).

The CPX measurements were repeated 1, 5, 11 and 18 months after applying the NGCS method. The difference in CPX level compared to the existing road pavement is shown in Figure 6.

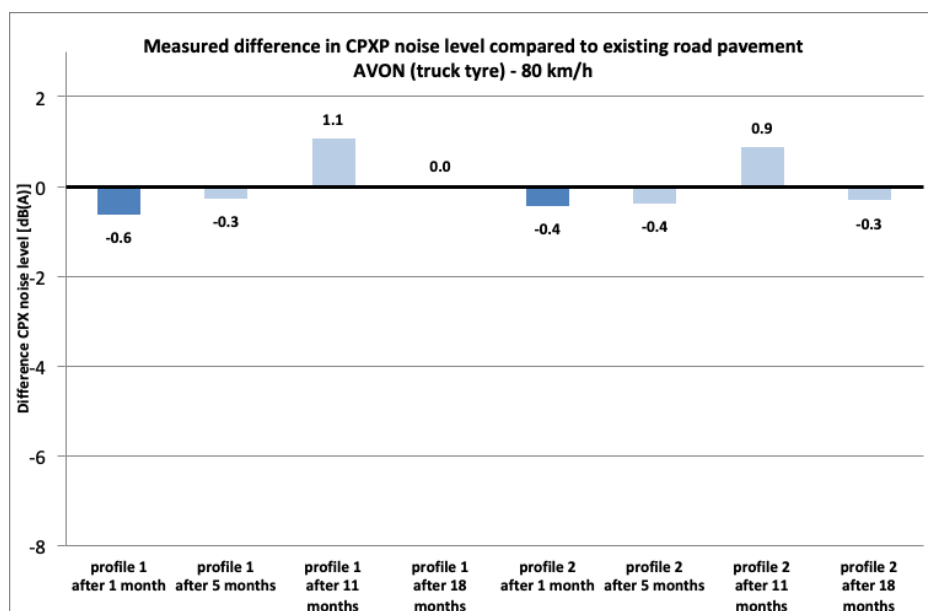
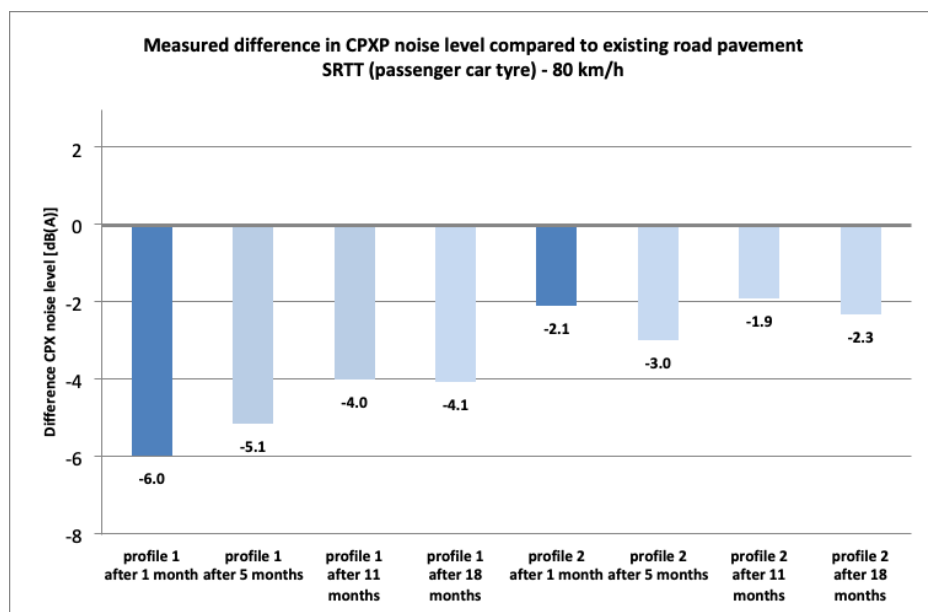


Figure 6: Measured difference in CPX noise level compared to existing road pavement at 80 km/hour for cars (above) and trucks (below)

For the first profile, immediately after treatment a CPXP level corresponding to the SRTT reference tyre of a private car was determined at 95.2 dB(A). This is 6 dB(A) quieter than before and 4.1 dB(A) quieter than the Belgian reference pavement SMA-C. The measured level corresponds to an AGT (Asphalt Low-noise Top layer) pavement type I [4]. Six months and a year later the noise level has each time increased by approximately 1 dB(A) to then remain stable. For the measurements with the AVON AV4 truck tyre the CPXH level remains practically the same.

For the second profile, after the application of the NGCS method a CPXP of 99.3 dB(A) was measured and the noise level remains stable. This noise level is comparable with the SMA-C reference pavement. In comparison with the former situation this is a reduction of 2.1 dB(A). With the AVON AV4 truck tyre the CPX level remains around that of the existing pavement.

Figure 7 shows the spectrum of both profiles before and straight after the NGCS treatment. Here it is clear to see that for the first profile, with the narrowest spacers, there is a large reduction of the noise level in all frequency bands but a clear dip is also visible at both the high and low frequencies. The much finer and negative texture ensures that tyres vibrate much less and emit less noise at the low frequencies. With the presence of the grooves the air can much more easily escape than with dense pavement. This gives a reduction at the high frequencies. The same phenomenon is also seen in the AVON-AV4 figure. For profile 2 only a constant reduction of the noise level is visible.

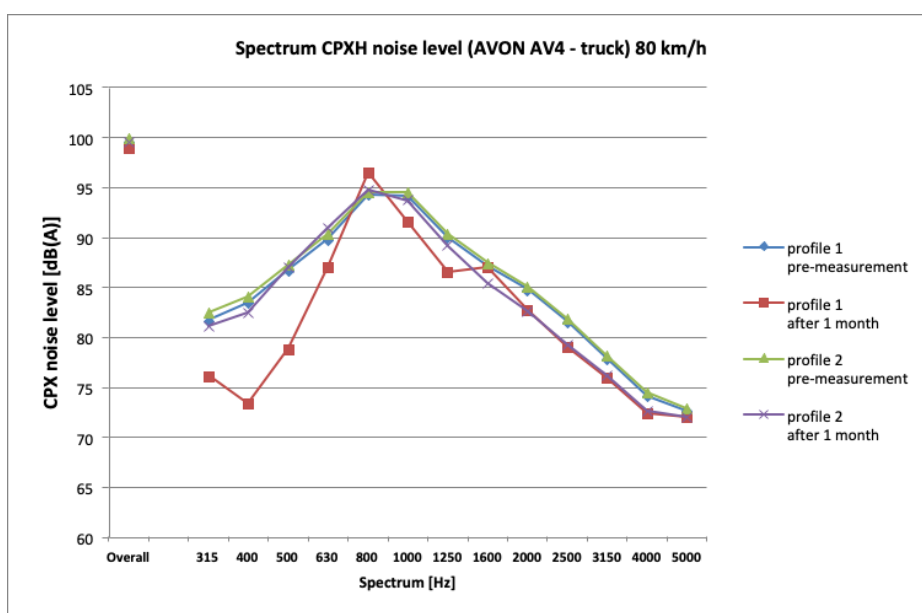
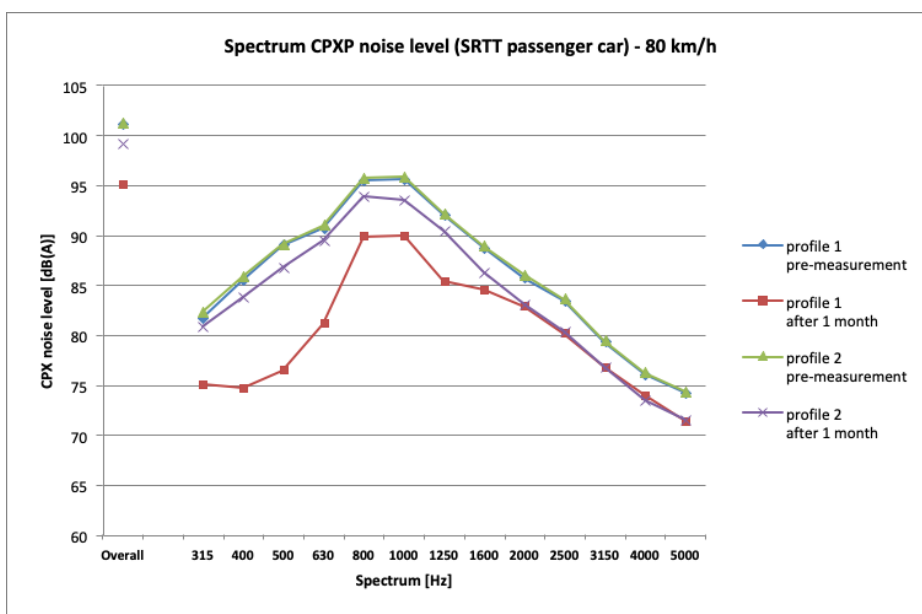


Figure 7: CPX spectra at 80 km/hour before and straight after NGCS treatment for both profiles and both reference tyres

Figure 8 and Figure 9 show the spectra straight after construction and six months, one year and a year and a half later. From the figures it appears that the results after 11 and 18 months mainly show an increase at the higher frequencies. This is probably attributable to the grooves filling with dirt.

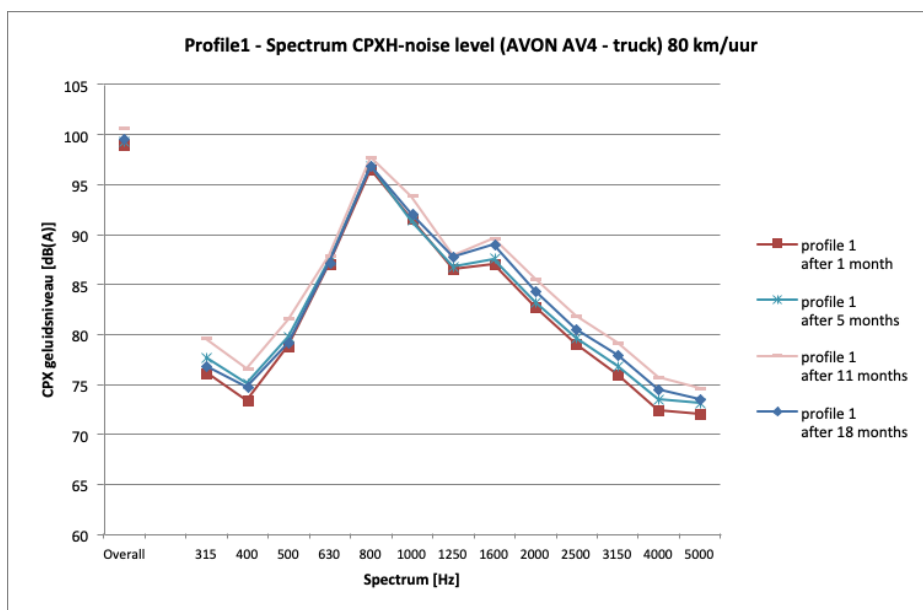
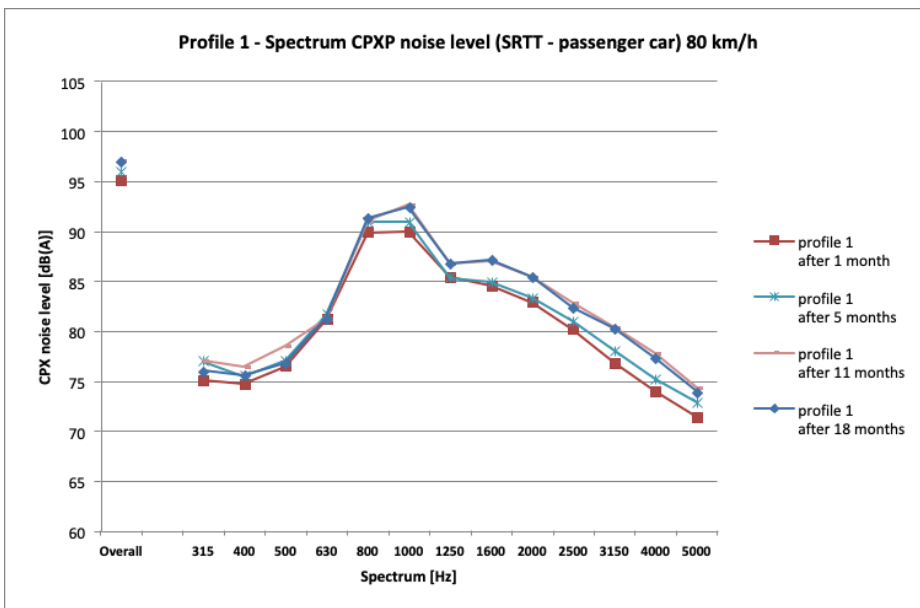


Figure 8: CPX spectra at 80 km/hour before, straight after and six months, one year and a year and a half after NGCS treatment for profile 1 and both reference tyre

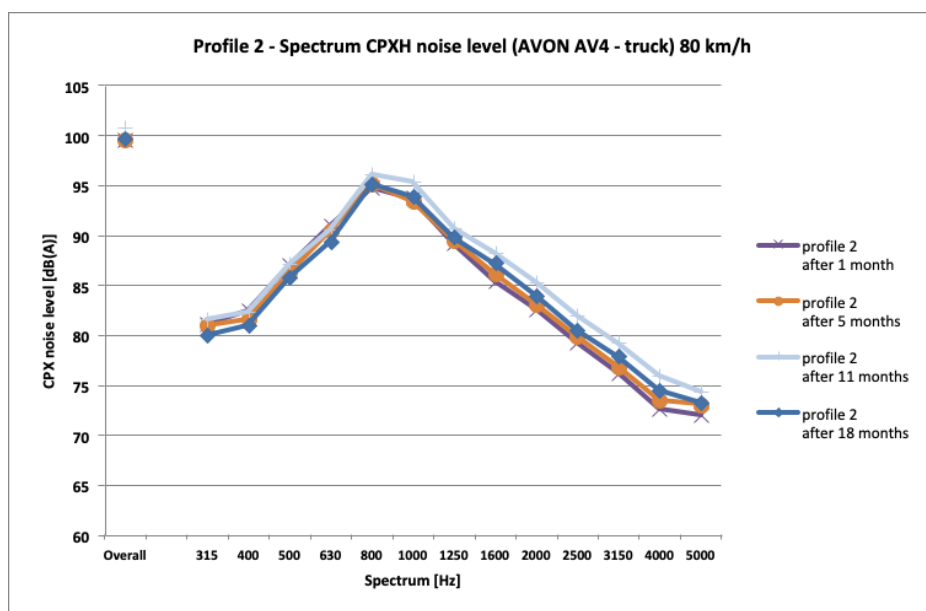
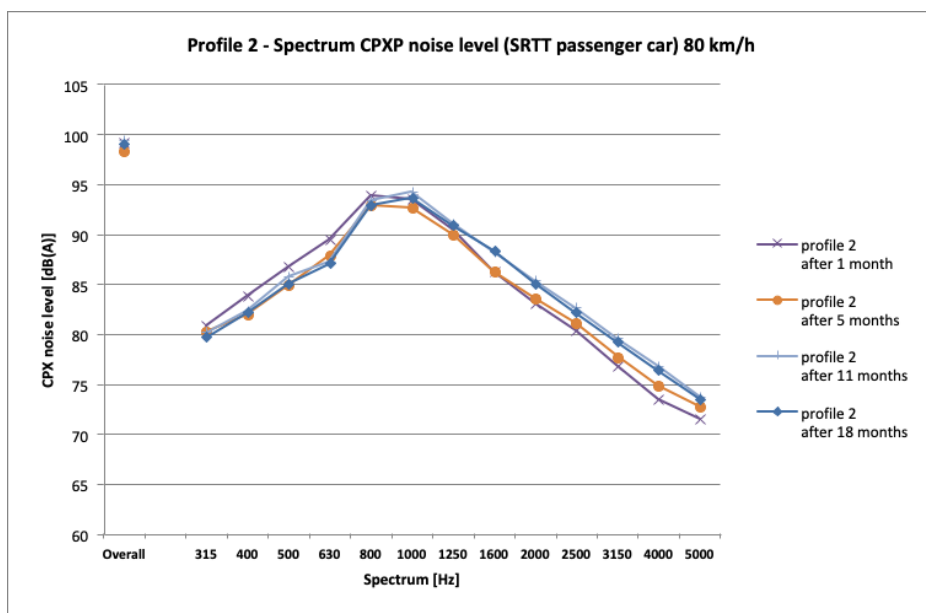


Figure 9: CPX spectra at 80 km/hour before, straight after and six months, one year and a year and a half after NGCS treatment for profile 2 and both reference tyres

3 SPB MEASUREMENTS (STATISTICAL PASS-BY)

3.1 Measuring method

The Statistical Pass-By (SPB) method is a measurement of the noise of a large number of individual passing light and heavy vehicles at a certain speed. The registration of the noise is carried out at one set position along the road. The purpose of the SPB method is to accurately establish the acoustic properties of certain road surfaces for light, medium-heavy and heavy vehicles and this for different standard speeds.

The SPB method is set out in the ISO standard 11819-1 [5]; a microphone is positioned 7.5 m from the axis of the carriageway and at a height of 1.2 m (see Figure 10). Then with each vehicle pass the maximum noise level $L_{A,max}$ and the vehicle speed is registered in km/h.



Figure 10: Statistical Pass-By method (SPB)

For each vehicle category the results are processed in a scatter diagram in which the maximum noise level $L_{A,max}$ of a pass is shown as a function of the logarithm of the speed. From this diagram the best-matching linear function (regression line) is then determined. The SPB value obtained is then representative of the average noise production of a vehicle category on the considered road pavement at a certain standard speed. During result processing the spectrum is also analysed in octave bands.

3.2 Measurement results

The measured SPB noise levels are shown in Figure 11. For the finest, first profile the noise reduction amounts to approximately 6 dB(A) for light vehicles and 4 dB(A) for heavy vehicles. This remains quite stable in the course of time.

For the second profile the noise level remains approximately the same for cars. For heavy traffic a reduction of almost 4 dB(A) is measured. One year after the treatment the reduction still amounts to about two dB(A).

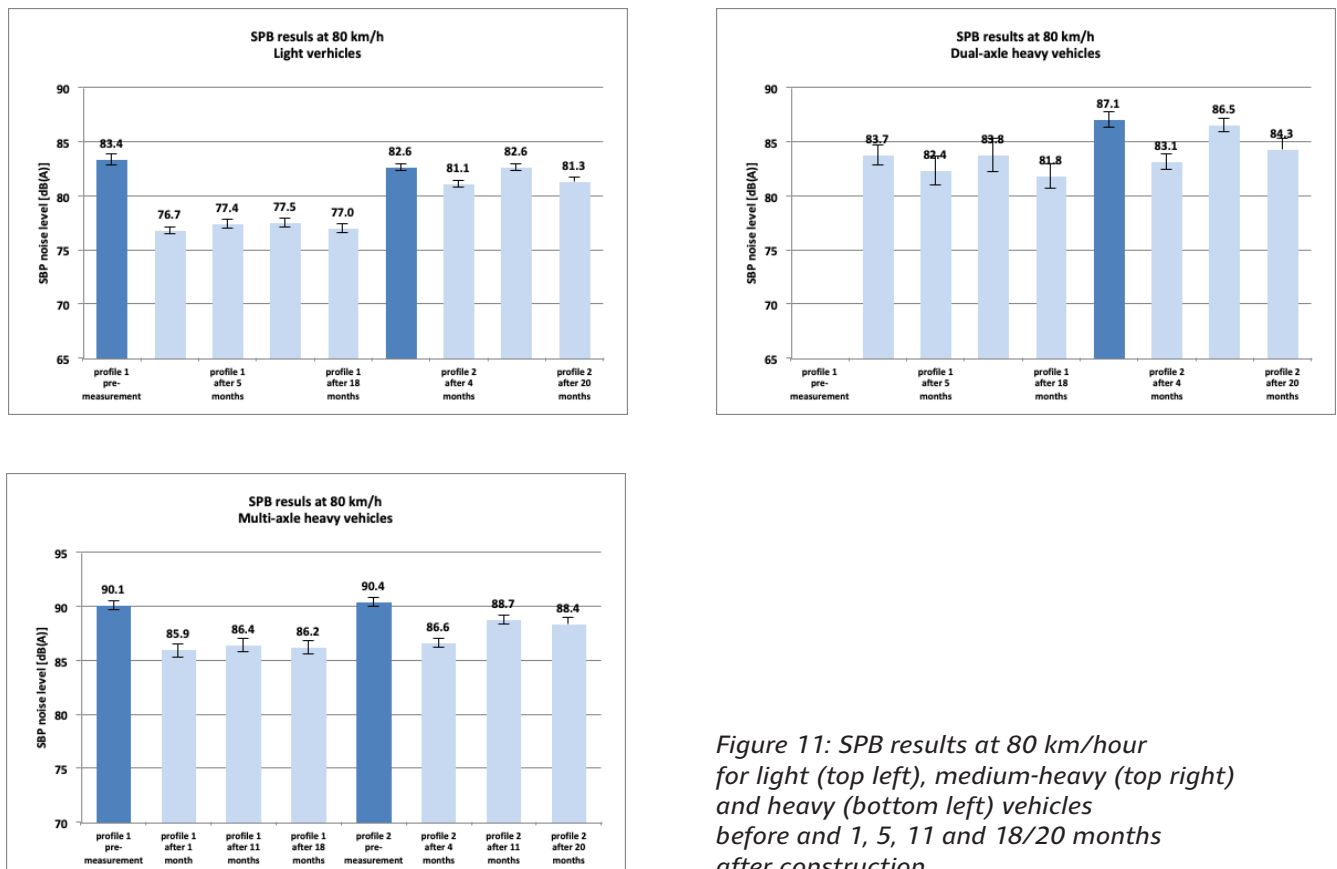


Figure 11: SPB results at 80 km/hour for light (top left), medium-heavy (top right) and heavy (bottom left) vehicles before and 1, 5, 11 and 18/20 months after construction

The frequency analyses for the first and second profile, shown in Figures 12 and Figure 13 respectively, show that for heavy vehicles there is a constant reduction in the noise level in each octave band. For light vehicles the reduction for the first profile is greatest in the frequency band 500 Hz.

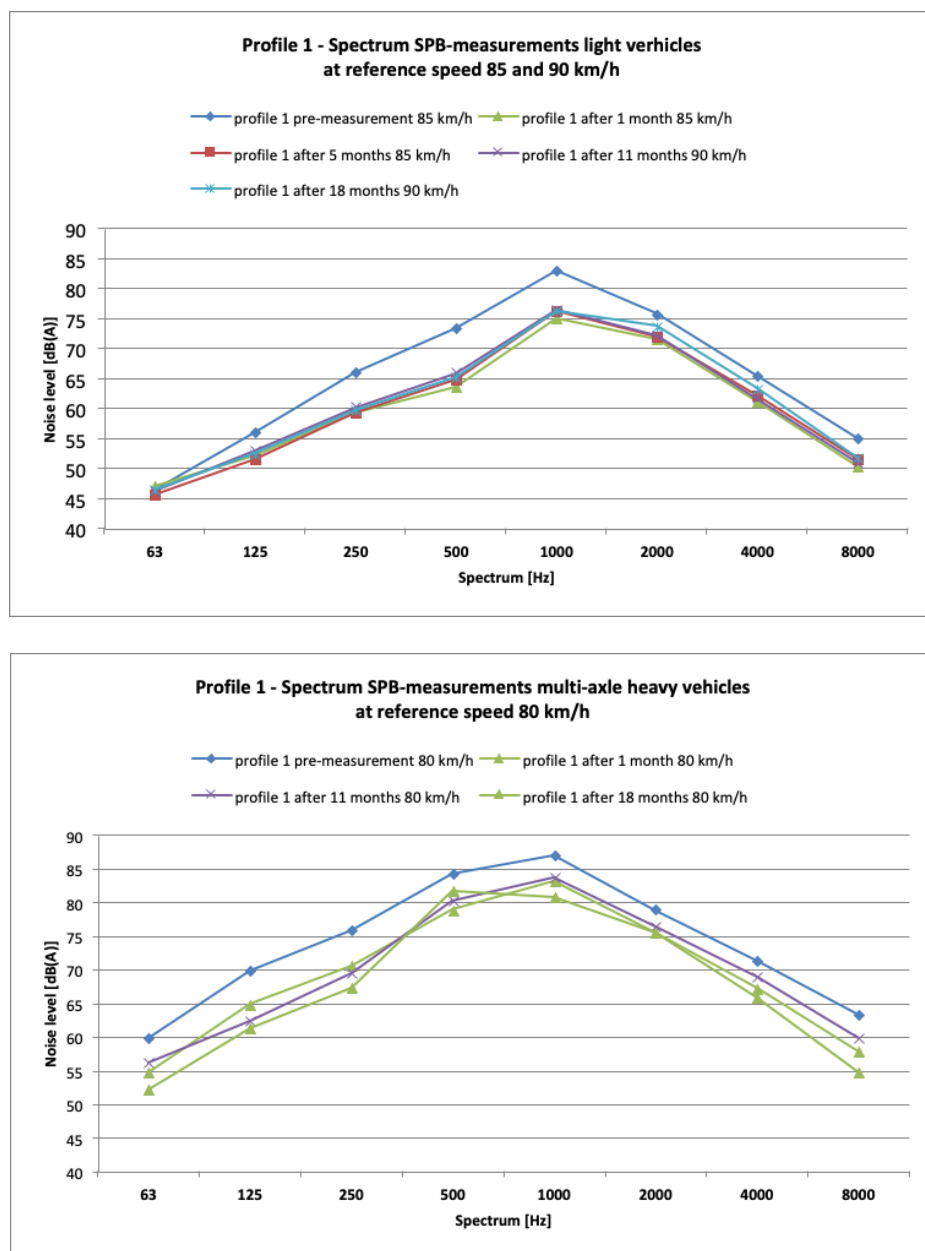


Figure 12: Spectrum of SPB results for light and heavy vehicles before and after NGCS treatment for profile 1

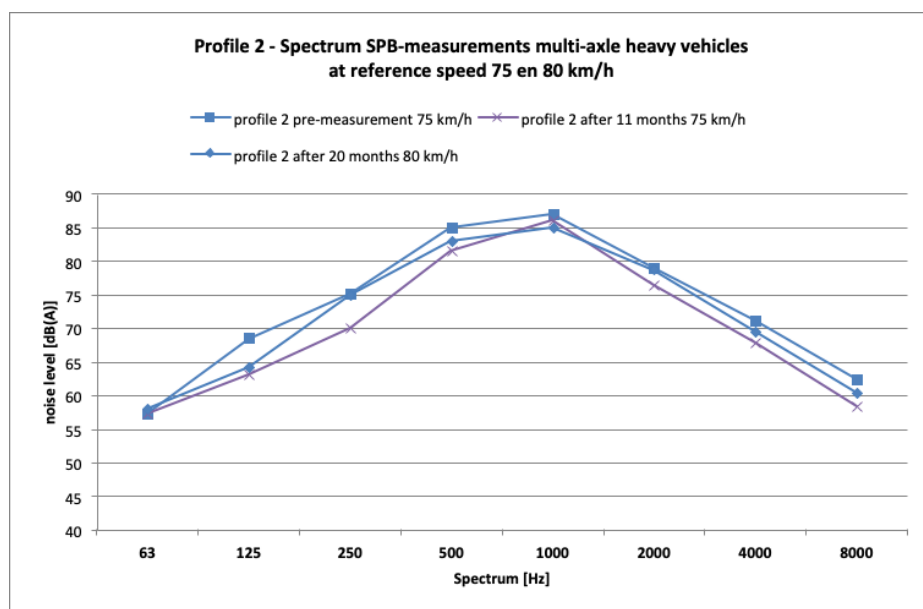
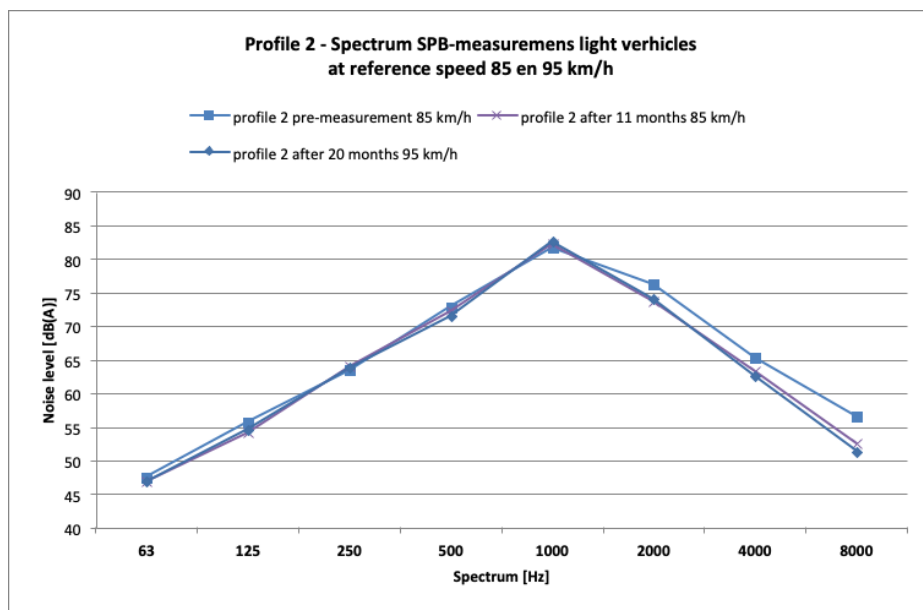


Figure 13: Spectrum of SPB results for light and heavy vehicles before and after NGCS treatment for profile 2

4 SKID RESISTANCE AND MACROTEXTURE

From the texture measurements with the SeitenKraftMessverfahren (SKM) it appears that the macrotexture at the pilot project fell greatly but skid resistance measurements with the SKM show that both profiles are sufficiently skid resistant (sideway-force coefficient ≥ 0.45 every 10 m [7]). The SKM measuring method is set in out in the technical specification CEN/TS 15901-8 [6]. The measurement results for skid resistance and macrotexture can be found in Figure 14.

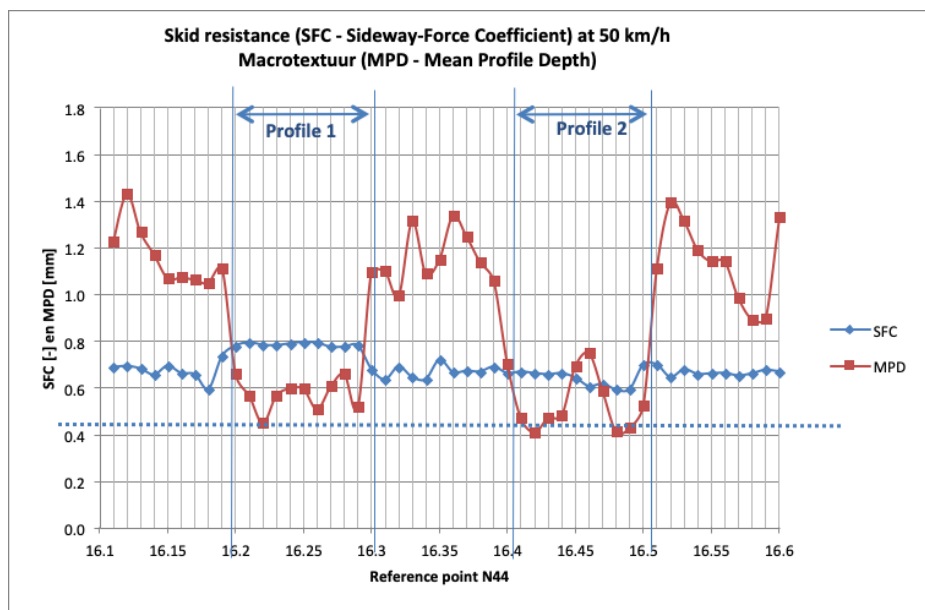


Figure 14: Skid resistance and macrotexture

5 CONCLUSIONS

The Close Proximity (CPX) rolling noise measurements, performed immediately after the 'Next Generation Concrete Surface' (NGCS) treatment, show that for the first profile the noise level of cars decreased with 6 dB(A) compared to the existing EAC surface. Compared with the SMA-C reference pavement the noise level is up to 4 dB(A) quieter, corresponding to an AGT mixture (Asphalt Layer Low-noise Top layer) type I. For the second, rougher profile the rolling noise is reduced by 2 dB(A).

One year later the difference with the existing road surface for the first profile amounts to around 4 dB(A), to remain stable for the following six months. For the second profile this difference remains stable.

With the Statistical Pass-by (SPB) measurements, that are more relevant to heavy traffic than CPX measurements, a noise reduction of several dB(A)s is measured for the heavy vehicles. The CPX measurements revealed a very small reduction in the case of the tyre for heavy vehicles, but this could also be due to the type of tyre. With the wider spacers with the second profile the noise reduction is much less.

From this we can conclude that the NGCS is a quiet pavement, especially for cars. To be certain that this is also a durable technique, this trial section will be further followed up acoustically in the following years.

REFERENCES

- [1] RENS, Luc (2015), "Durable low-noise concrete pavements"
- [2] ref NGCS from America:
SCOFIELD, L. (2016) "Development and implementation of the Next Generation Concrete Surface", 2016 Report – Living Document. See: <http://www.acpa.org/development-and-implementation-of-the-next-generation-concrete-surface/>
SCOFIELD, L. (2010) "Safe, Smooth and Quiet Concrete Pavement", Paper 78 First International Conference on Pavement Preservation US
- [3] ISO 11819-2 "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method"

- [4] SB250 version 3.1, Section 6, paragraph 2.5.2.6 D ROLLING NOISE (ROLGELUID)
- [5] ISO 11819-1 "Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method"
- [6] SB250 version 3.1, Section 6, paragraph 1.6.3.10.B.1 Sideway-force coefficient (Dwarswrijvingscoëfficiënt)
- [7] CEN/TS 15901-8 "Road and airfield surface characteristics - Part 8: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway-force coefficient (SFCD): SKM"

Nová generace betonových povrchů (NGCS). Konečně tichá a udržitelná vozovka?

B. Vanhooreweder, P. De Winne and A. Scheers

Vlámská vláda - Úřad pro pozemní komunikace a dopravu, Belgie

E-mail: barbara.vanhooreweder@mow.vlaanderen.be

L. Rens

Febelcem, Belgie

E-mail: l.rens@febelcem.be

A. Beeldens

AB-Roads, Belgie

E-mail: a.beeldens@ab-roads.com

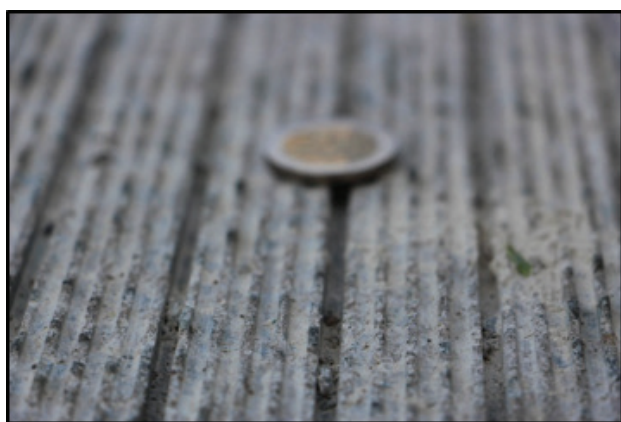
U betonových vozovek je možné použít několik technologií povrchových úprav, jako kartáčování nebo povrch s obnaženým kamenivem. Betonový povrch nové generace (NGCS) je nová technologie ze Spojených států vyvinutá za účelem snížení valivého hluku. Díky diamantovým řezným kotoučům je negativní textura pokaždé vytvořena v podélném směru s 1 hlubší drážkou a 4 mělkými drážkami. Tuto techniku lze použít na nové betonové povrchy i na stávající vozovky. První zkušební úsek v Belgii složený z 2 různých profilů byl realizován na cementobetonové vozovce se spárami s povrchem s obnaženým kamenivem v říjnu 2015 na silnici N44 v Maldegeemu. Tloušťka a průměr diamantových kotoučů jsou pro oba profily stejné. Rozdíl spočívá v distančních vložkách, které jsou u prvního profilu podstatně užší. Měření valivého hluku metodou CPX (metoda malé vzdálenosti) prováděná bezprostředně po této úpravě ukazují, že u prvního profilu se hladina hluku od vozidel snížila o 6 dB (A) ve srovnání se stávajícím povrchem. Ve srovnání s referenční vozovkou SMA-C (asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí kameniva 10 mm) je získaná hladina nižší o 3 až 4 dB (A), což odpovídá typu AGT-mix typ I (= tichá asfaltová vrstva). U druhého profilu, který je hrubší, se valivý hluk snížil o 2 dB (A). O rok později byl rozdíl u prvního profilu 4 dB (A), zatímco u druhého profilu zůstal stabilní, se nezměnil. Můžeme tedy dojít k závěru, že vozovka NGCS je pro osobní vozidla tichá. Aby bylo zajištěno, že technologie je udržitelná, bude tento zkušební úsek v následujících letech z akustického hlediska sledován.

KLÍČOVÁ SLOVA: BETONOVÉ KOMUNIKACE / NÍZKOHLUČNÉ VOZOVKY / NGCS

1 ÚVOD

U betonové vozovky existují různé techniky povrchových úprav, jako je kartáčování nebo beton s povrchem z obnaženého kameniva (EAC) [1]. „Betonový povrch nové generace“ (NGCS) je nová technologie z USA vyvinutá ke snížení valivého hluku [2]. Spočívá v kombinaci podélného drážkování a broušení diamantovými kotouči. Diamantové kotouče se používají k vybroušení negativní textury v podélném směru, a to vždy s jednou hlubokou drážkou (drážkování) a čtyřmi mělkými drážkami (broušení). Tuto techniku lze aplikovat na nové betonové povrchy i na stávající vozovky.

První belgický zkušební úsek vytvořený z 2 různých profilů byl proveden v říjnu 2015 na silnici N44 v Maldegemu, na stávajícím cementobetonovém krytu se spárami o tloušťce 23–25 cm z roku 1958, obnaženým zřetelným kamenivem na povrchu (obr. 1).



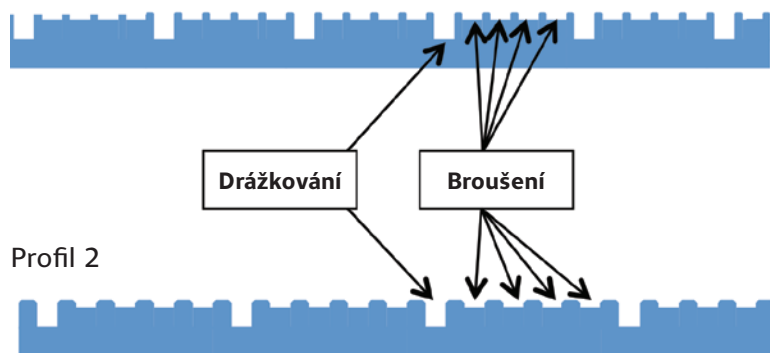
Obr. 1: Zkušební úsek NGCS N44 Maldegem

Tloušťka a průměr diamantových kotoučů jsou pro oba profily stejné. Rozdíl spočívá v distančních vložkách, viz tabulka 1 a obrázky 2 a 3. Ty jsou u prvního profilu se šířkou 1,5 mm mnohem užší. S ohledem na nadbytečnou šířku segmentu 0,4 mm vzhledem k řeznému kotouči tak vznikají „výstupky“ na horní ploše o šířce 1,1 mm. U profilu 2 jsou distanční vložky mnohem širší o velikosti 3,0 mm, což má za následek výstupky o šířce 2,6 mm.

Tabulka 1: Tloušťka a průměr segmentových kotoučů a šířka distančních vložek pro oba profily

Profil	N44 Referenční bod	Podélné drážkování: Segmentový kotouč	Diamantové broušení: Segmentový kotouč	Distanční vložka
1	16.2-16.3	Tloušťka: 2,8 mm Průměr: 363 mm Hloubka drážky: ± 4 mm	Tloušťka: 2,8 mm Průměr: 356 mm Hloubka drážky: ± 1 mm	1,5 mm
2	16.4-16.5	Tloušťka: 2,8 mm Průměr: 363 mm Hloubka drážky: ± 4 mm	Tloušťka: 2,8 mm Průměr: 356 mm Hloubka drážky: ± 1 mm	3,0 mm

Profil 1



Obr. 2: Detail obou profilů



Obr. 3: Zkušební úsek NGCS v Maldegemu na N44 profil 1 (vlevo) a profil 2 (vpravo)

K určení vlivu této nové technologie povrchové úpravy na hladinu hluku bylo před a po realizaci provedeno měření valivého hluku metodou CPX (metoda malé vzdálenosti) a metodou SPB (statistická metoda při průjezdu).

2 MĚŘENÍ METODOU CPX (METODA MALÉ VZDÁLENOSTI)

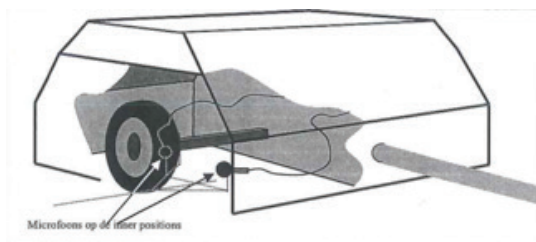
2.1 Metoda měření

Metoda malé vzdálenosti (CPX) je metoda akustického měření, při které se měřicím přívěsem při jízdě po silnici měří hluk vznikající při styku pneumatiky s povrchem vozovky (obr. 4). Účelem metody CPX je vyhodnotit jak vzniklý hluk, tak homogenitu krytu vozovky v určitém úseku.



Obr. 4: Přívěs pro měření metodou CPX (Úřad pro pozemní komunikace a dopravu – Vlámská vláda - Belgie)

Valivý hluk referenčních pneumatik se měří pomocí 2 x 2 mikrofonů připevněných v blízkosti kontaktní plochy pneumatiky a povrchu vozovky ve dvou akusticky izolovaných pouzdrech namontovaných na podvozku přívěsu (obr. 5). Tento měřicí přívěs je tažen po povrchu silnice referenční rychlostí 50 nebo 80 km/h. Měření se provádějí za sucha.



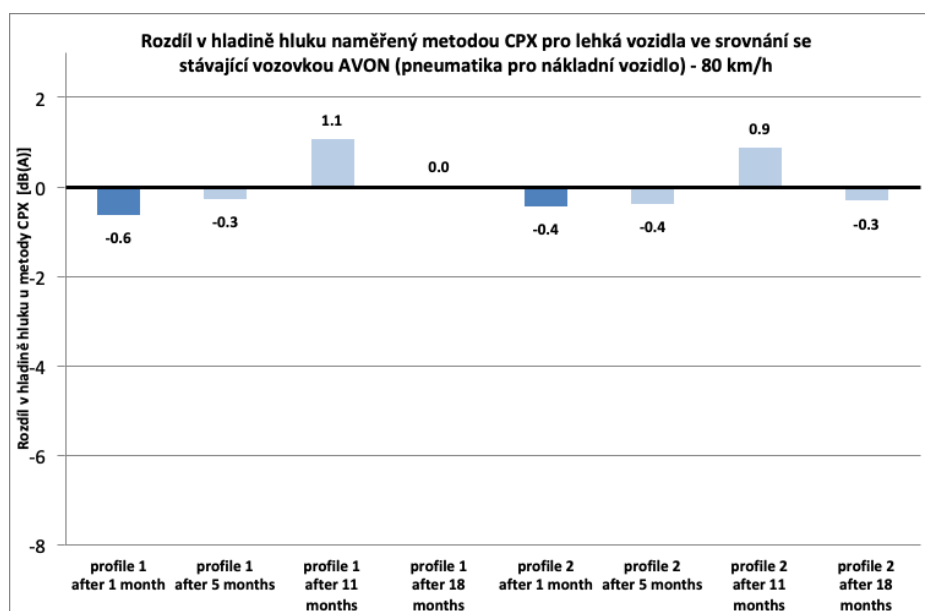
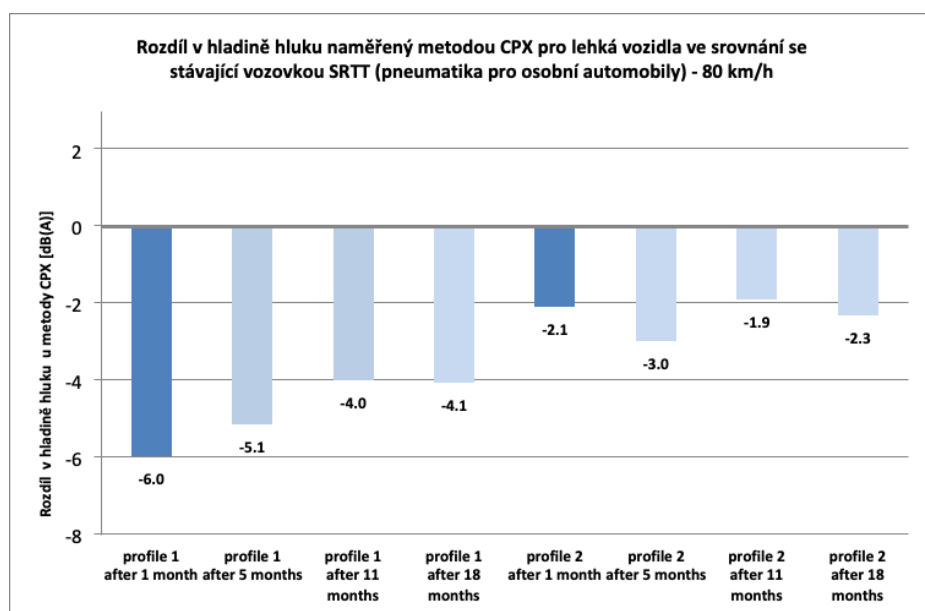
Obr. 5: Konstrukce přívěsu pro měření metodou CPX (zdroj: M+P)

Výsledkem lze popsat hladinu hluku po 20m úsecích a spektrum celé trasy. Standardizace této metody měření je uvedena v normě ISO 11819-2 [3].

2.2 Výsledky měření

Dne 5. srpna 2015 byla na obou zkušebních úsecích provedena předběžná měření s přívěsem metodou CPX s oběma referenčními pneumatikami, SRTT a AVON AV4, při rychlostí 80 km/h. Pneumatiky SRTT odpovídají chování pneumatiky osobního vozidla. Pneumatika AVON AV4 je srovnatelná s pneumatikou pro nákladní automobily. Měření ukazují, že u pneumatiky SRTT se hladina naměřená metodou CPX pro lehká vozidla u původního povrchu s obnaženým kamenivem pohybuje mezi 101,1 a 101,4 dB (A). To je o 2,1 až 2,4 vyšší hlučnost než u belgického referenčního SMA-C (asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí kameniva 10 mm). U pneumatiky pro nákladní automobily je hladina naměřená metodou CPX pro těžká vozidla mezi 99,6 a 100,0 dB(A).

Měření metodou CPX byla opakována 1, 5, 11 a 18 měsíců po aplikaci metody NGCS. Rozdíl v hladině naměřené metodou CPX ve srovnání se stávající vozovkou je uveden na obrázku 6.

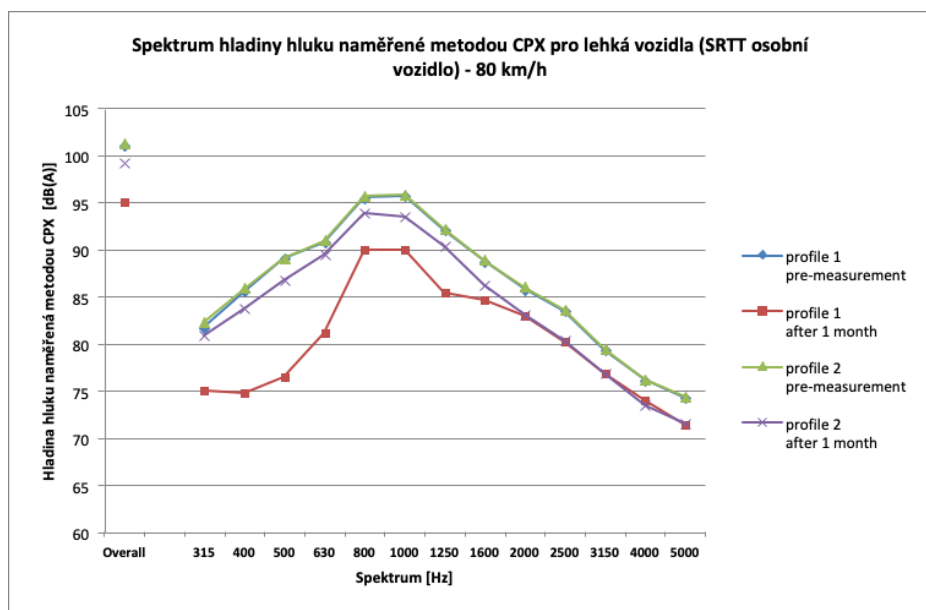


Obr. 6: Rozdíl v hladině hluku naměřený CPX ve srovnání se stávající vozovkou při 80 km/h u osobních vozidel (horní graf) a nákladních vozidel (spodní graf)

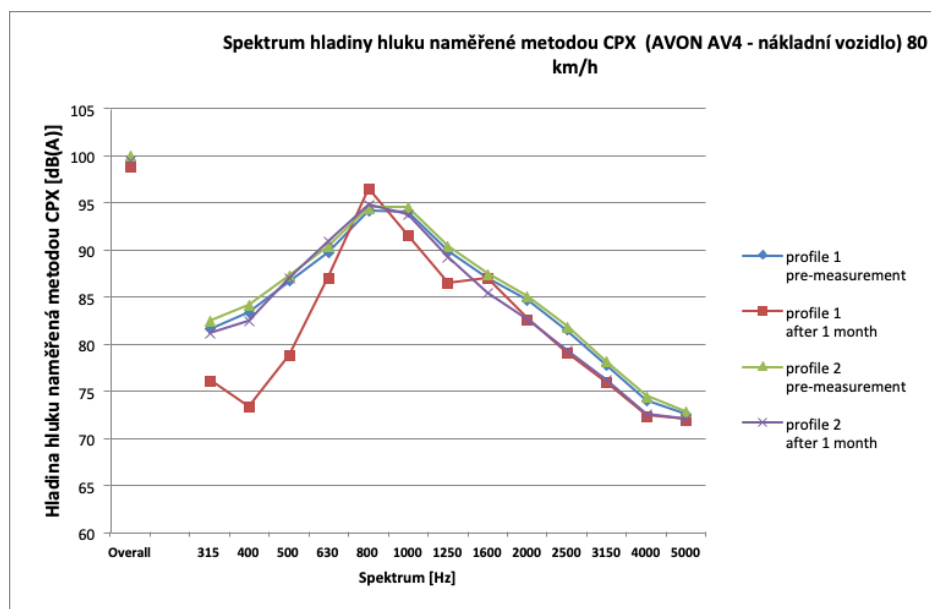
U prvního profilu, bezprostředně po provedení úpravy byla stanovena CPXP hladina, odpovídající referenční pneumatice SRTT osobního automobilu v hodnotě 95,2 dB(A). To je o 6 dB(A) nižší hlučnost než před úpravou a o 4,1 dB(A) nižší než belgická referenční vozovka SMA-C. Naměřená hladina odpovídá vozovce typu AGT (nízkohlučná asfaltová obrusná vrstva) typu I [4]. Po 6 měsících a po roce se hladina hluku po každé zvýšila přibližně o 1 dB(A), poté zůstala stabilní. U měření s pneumatikami AVON AV4 pro nákladní vozidla zůstává úroveň naměřená metodou CPXH prakticky stejná.

U druhého profilu byla po aplikaci metody NGCS naměřena metodou CPXP hodnota 99,3 dB(A) a hladina hluku zůstává stabilní. Tato hladina hluku je srovnatelná s referenčním povrchem SMA-C. Ve srovnání s předchozí situací se jedná o snížení o 2,1 dB(A). U pneumatik AVON AV4 pro nákladní vozidla zůstává úroveň naměřená metodou CPX na úrovni původní vozovky.

Obrázek 7 ukazuje spektrum obou profilů před a těsně po úpravě povrchu metodou NGCS. Zde je jasně vidět, že u prvního profilu s nejužšími distančními vložkami dochází k velkému snížení hladiny hluku ve všech frekvenčních pásmech, ale jasný pokles je také viditelný na vysokých i nízkých frekvencích. Mnohem jemnější a negativní textura zajišťuje, že pneumatiky při nízkých frekvencích vibrují mnohem méně a vydávají méně hluku. Díky přítomnosti drážek může vzduch mnohem snadněji unikat než u hutné vozovky. Tím vzniká snížení ve vysokých frekvencích. Stejný jev je také vidět na obrázku u pneumatik AVON-AV4. U profilu 2 je zřetelné pouze stálé snížení hladiny hluku.



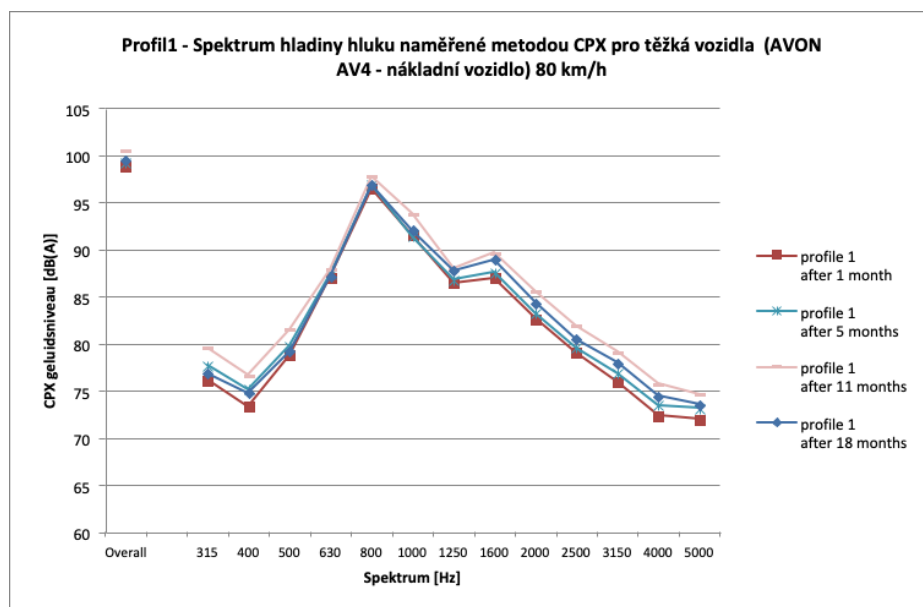
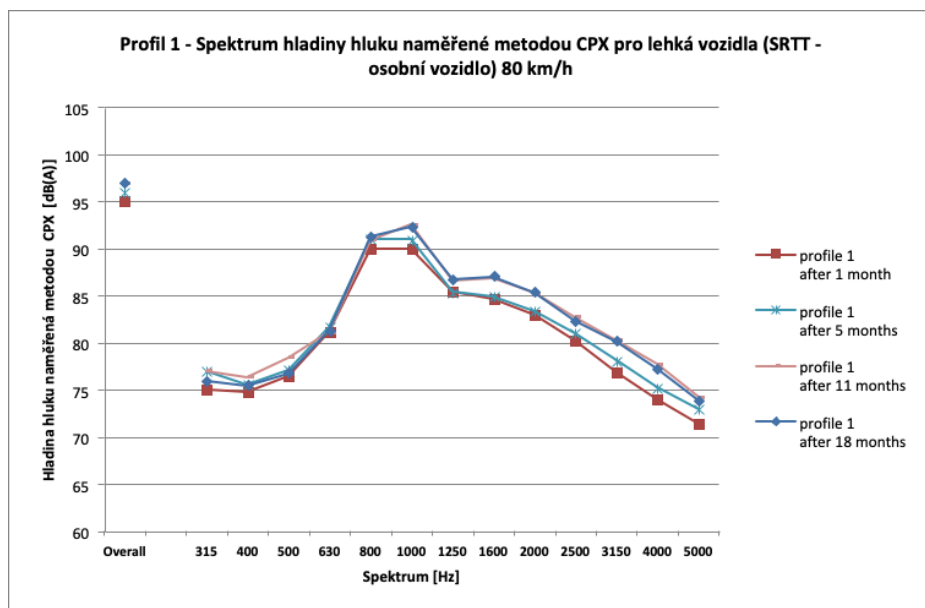
Měření na profilu 1 před aplikací a 1 měsíc po a na profilu 2 před aplikací a 1 měsíc po



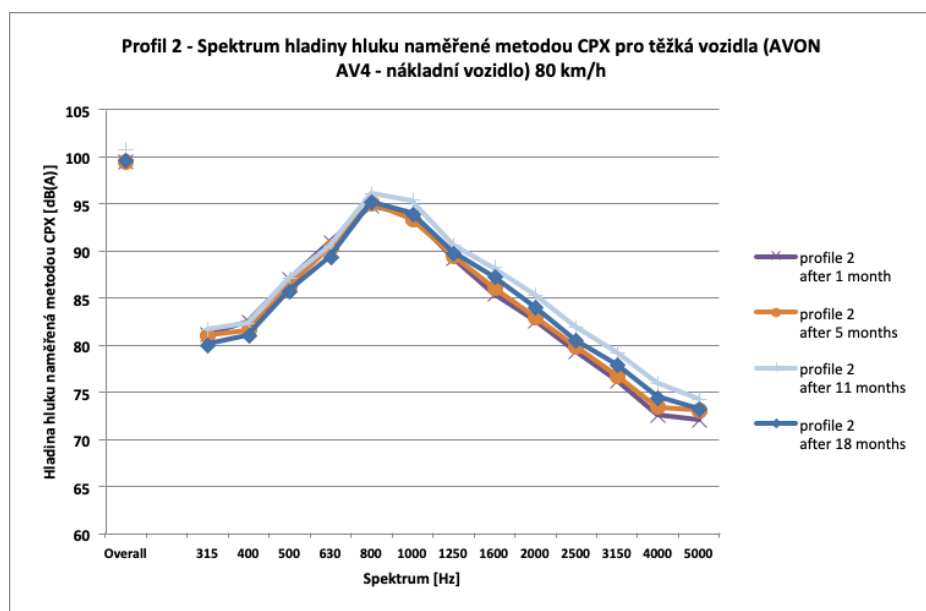
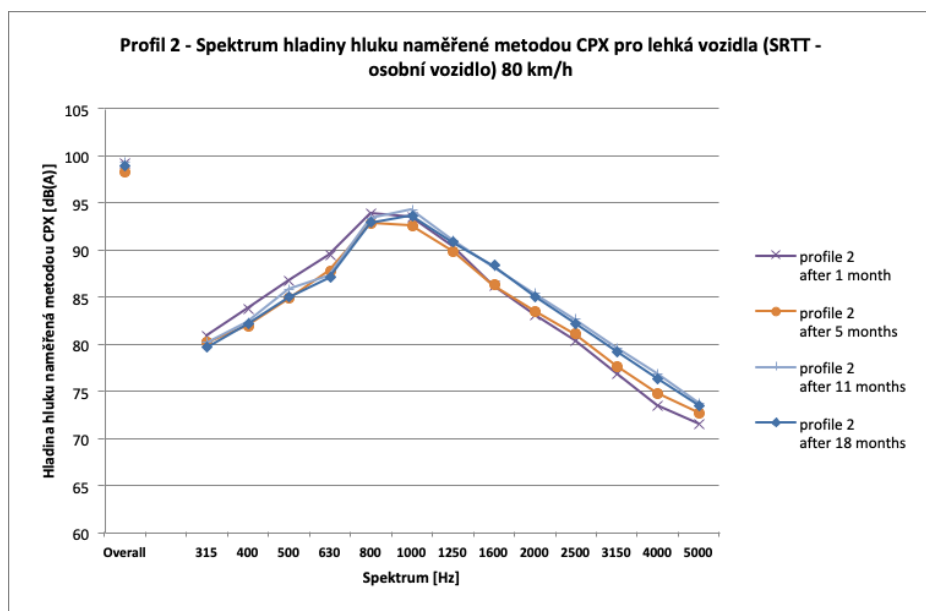
Měření na profilu 1 před aplikací a 1 měsíc po a na profilu 2 před aplikací a 1 měsíc po

Obr. 7: CPX spektra při 80 km/h před a těsně po NGCS úpravě povrchu pro oba profily a obě referenční pneumatiky

Obrázky 8 a 9 ukazují spektra bezprostředně po realizaci a po šesti měsících, 1 roku a po 1,5 roku. Z obrázků vyplývá, že výsledky po 11 a 18 měsících hlavně ukazují nárůst při vyšších frekvencích. To je pravděpodobně způsobeno tím, že se drážky zaplní nečistotami.



Obr. 8: CPX spektra při 80 km/h před a těsně po NGCS úpravě povrchu a dále po 6 měsících, 1 a 1,5 roku pro profil 1 a obě referenční pneumatiky



Obr. 9: CPX spektra při 80 km/h před a těsně po NGCS úpravě povrchu a dále po 6 měsících, 1 a 1,5 roku pro profil 2 a obě referenční pneumatiky

3 MĚŘENÍ SPB (Statistická metoda při průjezdu)

3.1 Metoda měření

Statistická metoda při průjezdu (SPB) je měření hluku velkého počtu jednotlivých projíždějících lehkých a těžkých vozidel při určité rychlosti. Záznam hluku se provádí na určeném místě u komunikace. Účelem metody SPB je přesně stanovit akustické vlastnosti určitých povrchů silnic pro lehká, středně těžká a těžká vozidla, a to pro různé standardní rychlosti.

Metoda SPB je definována v normě ISO 11819-1 [5]; mikrofón je umístěn 7,5 m od osy vozovky a ve výšce 1,2 m (viz obr. 10). Poté se u každého projíždějícího vozidla zaznamenává maximální hladina hluku $L_{A,max}$ a rychlost vozidla v km/h.



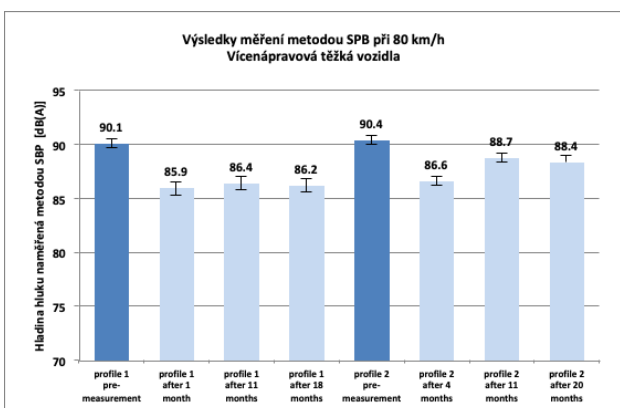
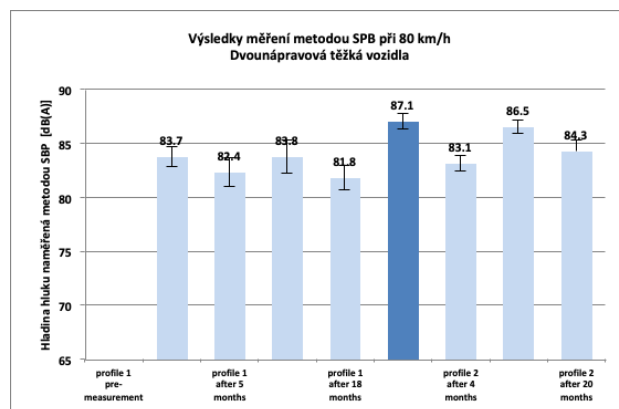
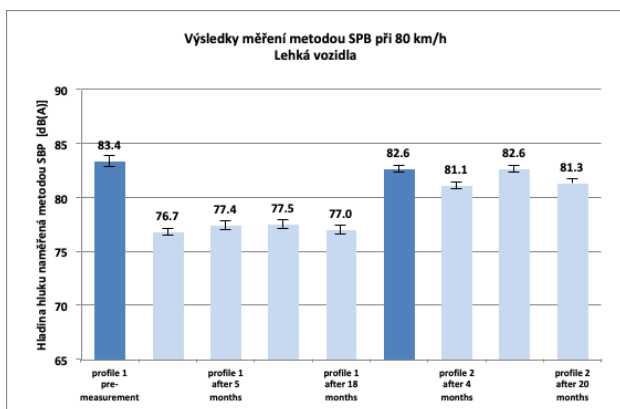
Obr. 10: Statistická metoda při průjezdu (SPB)

Pro každou kategorii vozidel jsou výsledky zpracovány v bodovém grafu, ve kterém je maximální hladina hluku $L_{A,max}$ průjezdu zobrazena jako funkce logaritmu rychlosti. Z tohoto grafu se poté určí nejlépe se shodující lineární funkce (regresní přímka). Hodnota získaná metodou SPB je pak reprezentativní pro průměrnou produkci hluku kategorie vozidla na uvažované vozovce při určité standardní rychlosti. Během zpracování výsledků je spektrum analyzováno také v oktávových pásmech.

3.2 Výsledky měření

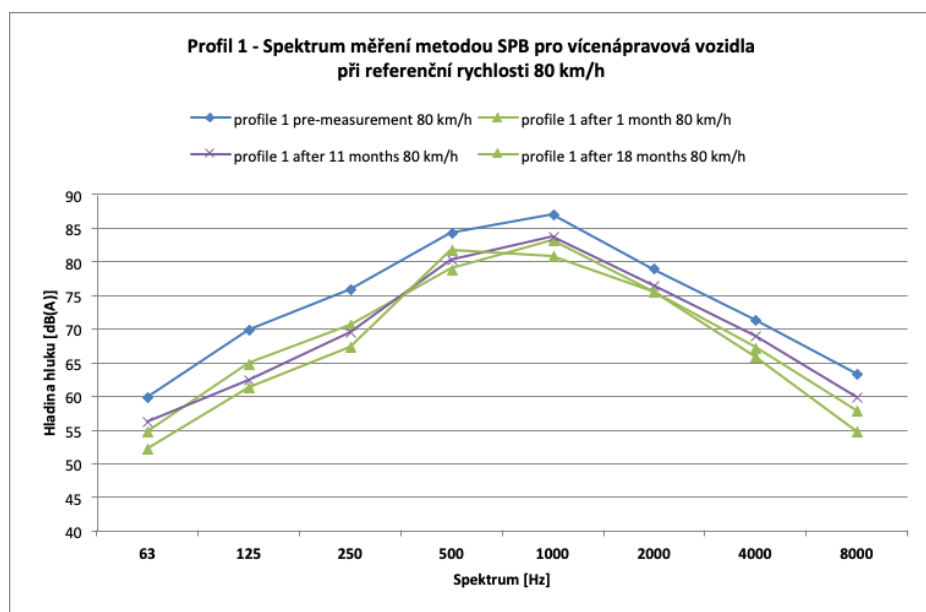
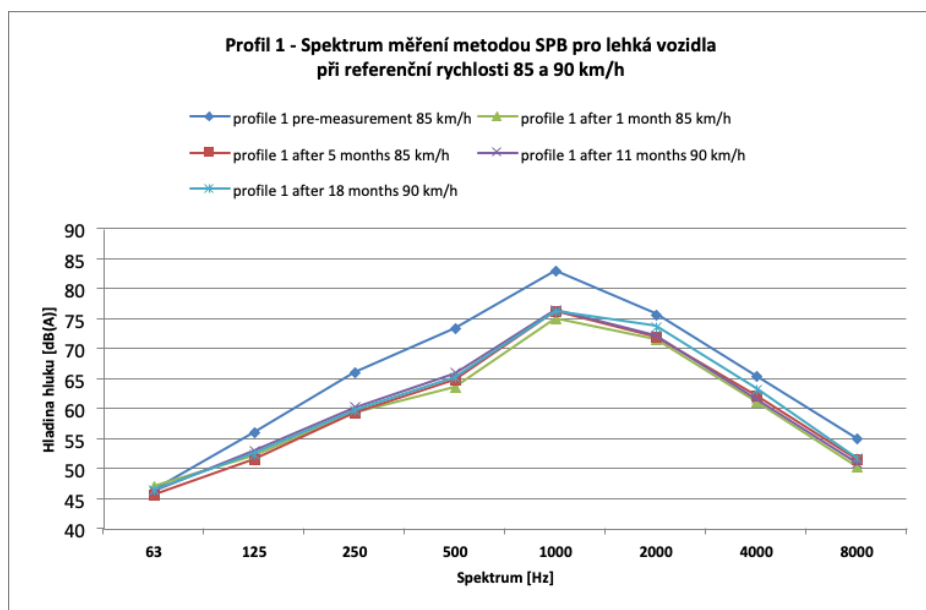
Hladiny hluku naměřené metodou SPB jsou zobrazeny na obrázku 11. Pro nejjemnější první profil činí snížení hluku přibližně 6 dB(A) pro lehká vozidla a 4 dB(A) pro těžká vozidla. To v průběhu doby zůstává celkem stabilní.

U druhého profilu zůstává hladina hluku pro osobní vozidla přibližně stejná. U silného provozu bylo naměřeno snížení téměř o 4 dB(A). Jeden rok po úpravě povrchu je snížení stále okolo 2 dB(A).

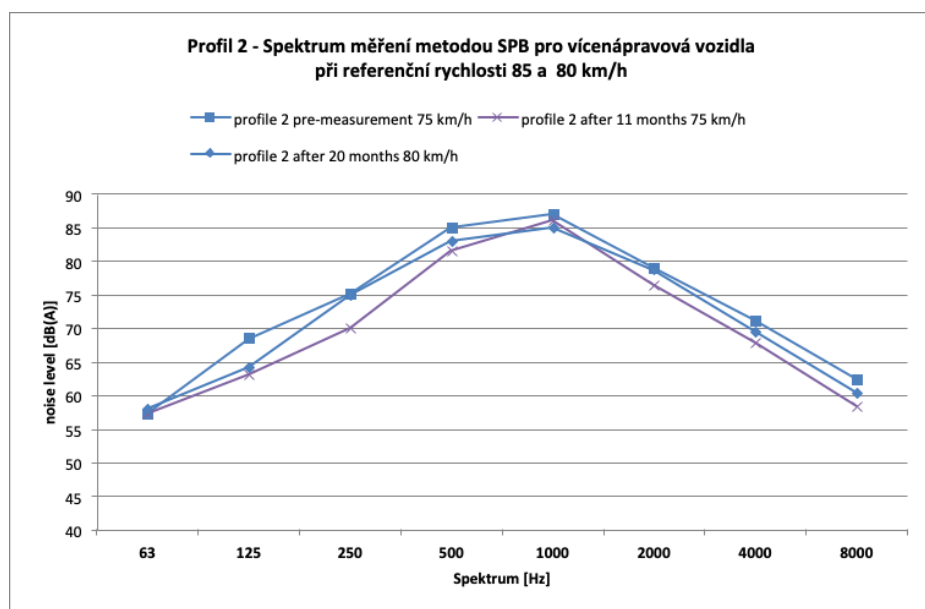
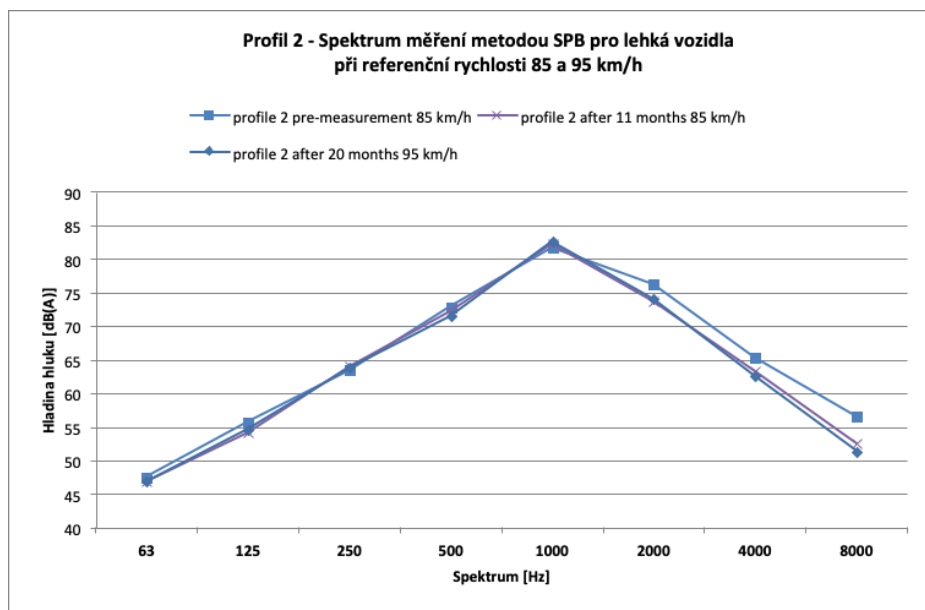


Obr. 11 SPB výsledky při 80 km/h pro lehká (vlevo nahoře), středně těžká (vpravo nahoře) a těžká vozidla (vlevo dole) před a po 1, 5, 11 a 18/20 měsících úpravy povrchu

Frekvenční analýzy pro první a druhý profil, zobrazené na obrázcích č. 12 a 13 v uvedeném pořadí, ukazují, že u těžkých vozidel dochází ke konstantnímu snížení hladiny hluku v každém oktávovém pásmu. U lehkých vozidel je redukce pro první profil největší ve frekvenčním pásmu 500 Hz.



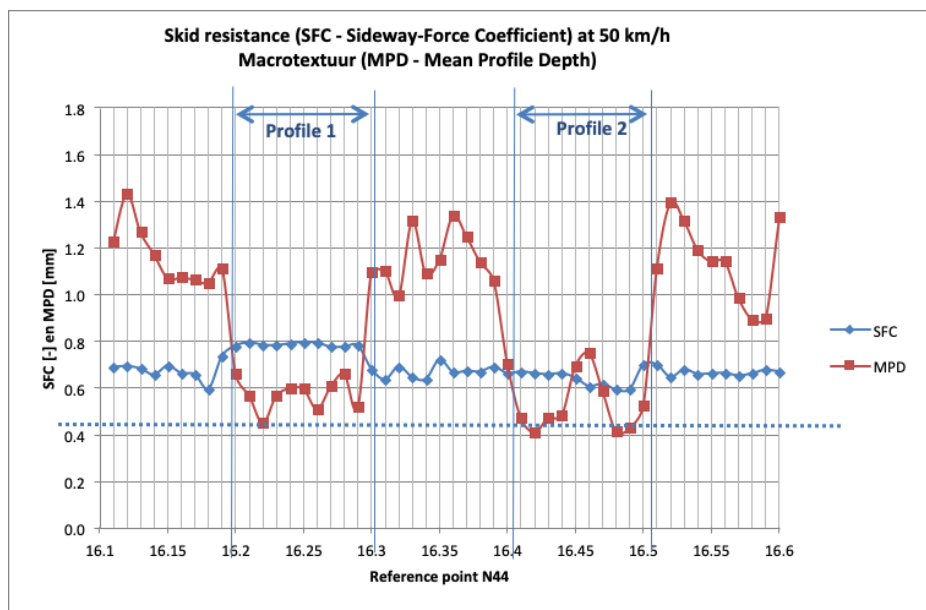
Obr. 12: Spektrum SPB výsledků pro lehká a těžká vozidla před a po NGCS úpravě povrchu pro profil 1



Obr. 13: Spektrum SPB výsledků pro lehká a těžká vozidla před a po NGCS úpravě povrchu pro profil 2

4 ODOLNOST PROTI SMYKU A MAKROTEXTURA

Z měření textury zařízením pro měření součinitele bočního tření SeitenKraftMessverfahren (SKM) se zdá, že makrotextura v pilotním projektu značně poklesla, ale měření odolnosti proti smyku s SKM ukazují, že oba profily jsou dostatečně odolné proti smyku (součinitel bočního tření $SFC \geq 0,45$ každých 10 m [7]). Metoda měření SKM je uvedena v technické specifikaci CEN/TS 15901-8 [6]. Výsledky měření odolnosti proti smyku a makrotextury najdete na obrázku č. 14.



Obr. 14: Odolnost proti smyku a makrotextura

5 ZÁVĚRY

Měření valivého hluku metodou malé vzdálenosti (CPX) prováděné bezprostředně po úpravě povrchu technologií NGCS ukazují, že u prvního profilu hladina hluku vozidel poklesla o 6 dB(A) ve srovnání se stávajícím povrchem s obnaženým kamenivem EAC. Ve srovnání s referenčním povrchem SMA-C je hladina hluku nižší až o 4 dB(A), což odpovídá směsi AGT (nízkohlučná asfaltová obrusná vrstva) typu I. U druhého drsnějšího profilu se valivý hluk snížil o 2 dB(A).

O rok později činil rozdíl oproti stávajícímu povrchu vozovky pro první profil přibližně 4 dB(A), přičemž zůstal stabilní po následujících šest měsících. U druhého profilu zůstává tento rozdíl stabilní.

U měření statistickou metodou při průjezdu (SPB), která je pro hustý provoz relevantnější než měření metodou CPX, bylo u těžkých vozidel naměřeno snížení hluku o několik dB(A). Měření metodou CPX odhalilo velmi malé snížení u pneumatiky pro těžká vozidla, ale to mohlo být také způsobeno typem pneumatiky. S širšími distančními vložkami u druhého profilu je snížení hluku mnohem menší.

Z toho můžeme vyvodit, že NGCS je tichá vozovka, zejména pro osobní automobily. Abychom si byli jisti, že se jedná také o trvanlivou technologii, bude tento zkušební úsek z akustického hlediska v následujících letech dále sledován.

ZDROJE

[1] RENS, Luc (2015), "Durable low-noise concrete pavements"

[2] ref NGCS from America:

SCOFIELD, L. (2016) "Development and implementation of the Next Generation Concrete Surface", 2016 Report – Living Document. See: <http://www.acpa.org/development-and-implementation-of-the-next-generation-concrete-surface/>

SCOFIELD, L. (2010) "Safe, Smooth and Quiet Concrete Pavement", Paper 78 First International Conference on Pavement Preservation US

- [3] ISO 11819-2 "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method"
- [4] SB250 version 3.1, Section 6, paragraph 2.5.2.6 D ROLLING NOISE (ROLGELUID)
- [5] ISO 11819-1 "Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 1: Statistical Pass-By method"
- [6] SB250 version 3.1, Section 6, paragraph 1.6.3.10.B.1 Sideway-force coefficient (Dwarswrijvingscoëfficiënt)
- [7] CEN/TS 15901-8 „Road and airfield surface characteristics - Part 8: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway-force coefficient (SFCD): SKM"

Opatření pro vyšší životnost CBK – výsledky pilotního projektu

Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D., Ing. Ladislav Vysloužil, Skanska a.s.

doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., DSc., Bc. Jakub Veselý, ČVUT v Praze

Tel.: +420 737 257 574

E-mail: Bohuslav.Slansky@skanska.cz

Příspěvek shrnuje návrh a výsledky pilotního projektu, který vedl k pokládce 8,978 km cementobetonového krytu (CBK) s využitím vysokopecní mleté strusky. Cílem bylo prodloužit životnost CBK, které bylo docíleno zpomalením hydratace pojiva, omezením vzniku raných mikrotrhlin, snížení hydratačního tepla a zvýšení odolnosti k trhlínkování. Pilotní projekt čerpal z rakouských, nizozemských a belgických zkušeností výstavby CBK, kde se po desetiletí využívají portlandské struskové a vysokopecní cementy (CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM III/A). Použité pojivo bylo změřeno izotermní kalorimetrií prokazující nižší reaktivitu. Smršťující prstence potvrdily minimálně trojnásobnou odolnost k trhlínkování oproti současnému řešení. Pilotní betony třídy C30/37 potvrdily pomalejší a dlouhodobý nárůst pevností i modulů pružnosti, odolnost k CHRL se dle očekávání mírně zhoršila.

ÚVOD

Cementobetonové kryty (CBK) jsou provozovány na vysoce zatížených dálnicích a silnicích, očekávaná životnost se celosvětově pohybuje v rozmezí 35-50 let [1]. Nejstarší stále dochované CBK potvrzují dlouhou trvanlivost – nejstarší existuje v Edinburghu (1872), dále Bellefontaine, Ohio, USA (1893), či 54 km krytu na polské dálnici A18 (1938). Modernizace dálnice D1 vyměňuje CBK na nejstarších úsecích po 40-50 letech provozu.

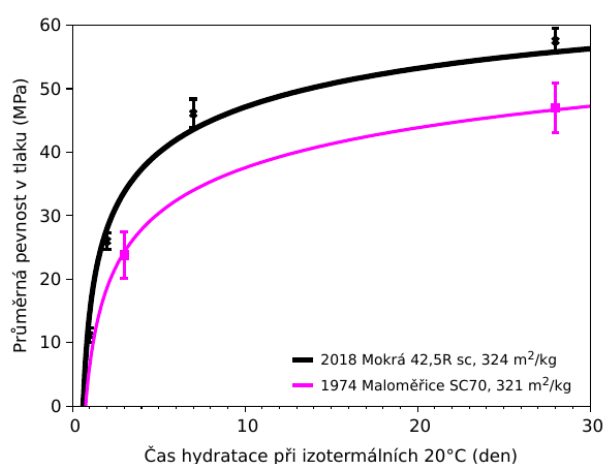
Výsledky rozsáhlé diagnostiky CBK na dálnicích v ČR ukázaly na tvorbu viditelných trhlin již po cca 10-15 letech provozu, což může vést k nižší životnosti, než byla očekávána [2,3]. Byla provedena analýza příčin, která vedla k závěrům, že jednou z hlavních příčin je vznik mikrotrhlin již v raném stádiu zrání betonu, které se pak vlivem provozu a účinků prostředí dále spojují do trhlin viditelných. Mikrotrhliny vznikají zejména rychlým chemickým smrštěním při hydrataci, v jehož důsledku se sníží vlhkost, vzniknou menisky a napětí uvnitř heterogenní mikrostruktury. Vnější vysychání smrštění dále zvětšuje a na této myšlence jsou založeny testy v omezeném smršťování, které ukazují odolnost cementů či betonů v trhlínkování [4,5]. Současné předpisy vyžadující CEM I 42,5 pro skupinu CB I nesou v sobě toto riziko příliš rychlé hydratace.

Druhým důležitým faktorem je výroba betonů značně převyšující pevnosti požadované třídy C30/37. Vlivem vysychání a teplotních šoků dojde vždy k dosažení tahového napětí na horním povrchu za vzniku trhlin. Délka procesní zóny, kde vznikají mikrotrhliny při porušování, je nepřímě úměrná druhé mocnině pevnosti a dvakrát pevnější betony jsou tak čtyřikrát křehčí. To vede k rychlé lokalizaci deformace do krátké procesní zóny, rychlému změkčení materiálu a malé redistribuci napětí do okolí. Testy i normy konzistentně ukazují, že nevyztužené betony nižších pevností přenesou větší deformaci při konečném porušení než betony pevnější, ale křehčí.

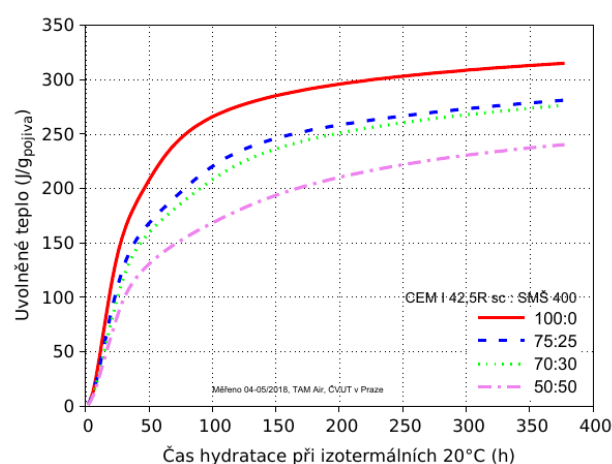
Výzkumný projekt ŘSD ČR ISPROFIN 500 115 0001 s názvem "Ověření nové receptury betonu pro CBK" měl za cíl ověřit inovované receptury CBK se zpomalenou hydratací a eliminovat formování mikrotrhlin. Nové receptury byly ověřovány v laboratoři a následně na pilotním projektu při realizaci CBK na úseku D1-137 Přerov – Lipník nad Bečvou. Zároveň byl instalován dlouhodobý monitoring CB vozovky pomocí strunových tenzometrů [6]. V příspěvku budou presentovány pozitivní výsledky laboratorních zkoušek, zkoušek z pilotního projektu, průběžné vyhodnocení monitoringu CBK a výsledky termo-mechanických simulací desky CBK.

NÁVRH A VÝSLEDKY TESTŮ POJIV

Naši předci si dávno všimli, že pro stavbu cementobetonových krytů se dobře hodí cementy s pomalým náběhem pevnosti, které jsou odolnější k trhlinkování [4,5,8]. Historický vývoj v rychlosti hydratace lze dobře demonstrovat na srovnání dvou cementů používaných v Česku pro výstavbu CBK; Maloměřický silniční cement SC70 z roku 1974 a současný CEM I 42,5 R sc Mokrá. Množství C_3S se liší o 5 % a C_2S o 8 %, jedná se o mineralogicky podobné allitické cementy. Jemnost mletí je rovněž podobná. Tehdejší 3denní tlakové pevnosti je dnes dosaženo za 2 dny a tehdejší 28denní pevnosti za 7 dní, viz Obrázek 1. Měnění CBK na úseku Mirošovice-Kývalka na D1 je důkazem, že silniční cement Maloměřice SC70 tvořil základ betonů s životností 40-50 let.



Obr. 1: Porovnání silničních cementů s odstupem 44 let

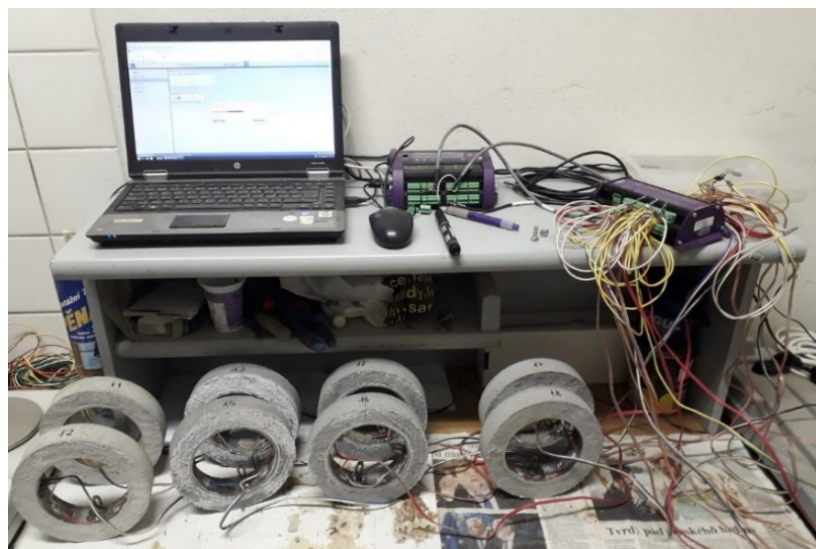
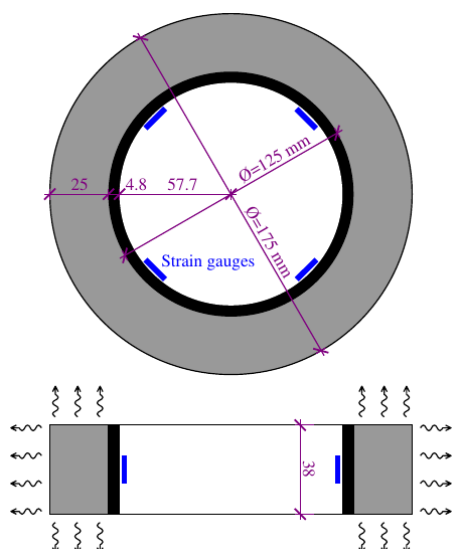


Obr. 2: Izotermní kalorimetrie pojiv s příměsí strusky

Snížení rychlosti hydratace lze obecně zajistit nižším podílem C_3S , nižší jemností mletí či použitím příměsí. Jako ekonomicky přijatelná cesta se jeví použití směsných cementů s pomalejší hydratací nebo použití příměsí při výrobě betonu. Toto byla filosofie návrhu pojiv pro trvanlivé CBK.

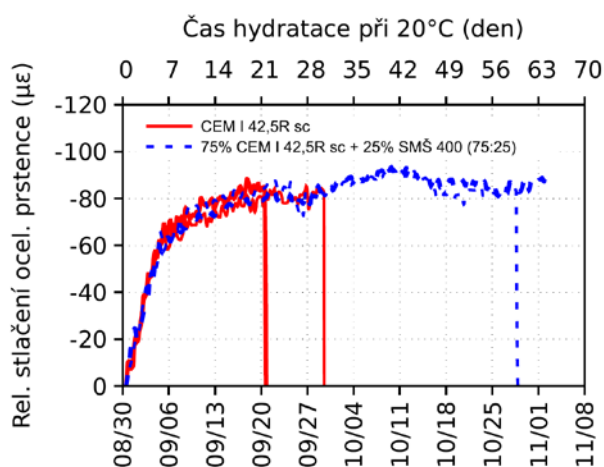
Dávkování příměsí mleté granulované strusky SMŠ 400 bylo nejprve zkoušeno na cementových pastách v izotermním kalorimetru TAM Air při 20°C. Testy probíhaly při konstantním hmotnostním poměru voda/pojivo 0,45. Obrázek 2 ukazuje, že náhrada pojiva vysokopecní struskou snižuje dle očekávání množství uvolněného hydratačního tepla a celkovou reaktivitu.

Další test porovnával smršťující maltové prstence, znázorněné na Obrázku 3. Použila se normová malta s poměrem písek : pojivo 3:1 a sníženým součinitelem voda/pojivo na 0,45. Testy se prováděly na maltách, neboť oproti betonům obsahují více pojiva a citlivěji reagují na vysychání. Povrch CBK se blíží složením maltě, neboť chybí velké částice kameniva.

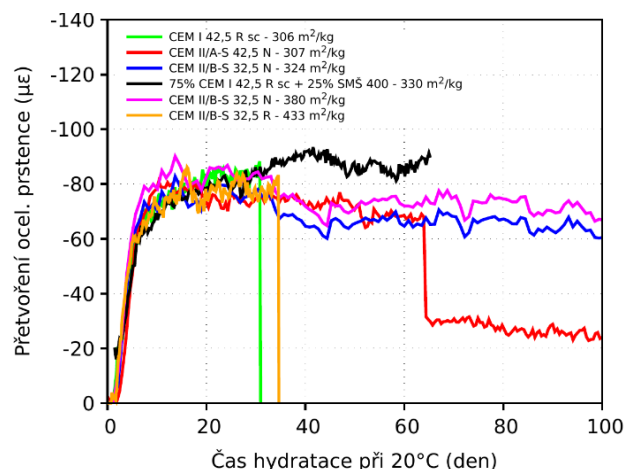


Obr. 3: Geometrie prstence a pohled na měřicí zařízení

Obrázek 4 ukazuje deformace a čas porušení čtyř prstenců: u samotného pojiva CEM I 42,5R sc Mokrá dojde k porušení prstenců ve 22 a 31 dnech, u pojiva s 25% náhradou cementu struskou je to přes 63 dní. Stejně tak je vidět pomalejší stlačování ocelového prstence díky tomu, že směsný cement pomaleji hydratuje a při vysychání po 1 dni jsou k dispozici větší kapilární póry způsobující menší kapilární napětí a smrštění.



Obr. 4: Průběh deformace na ocelovém prstenci pro malty vyrobené ze dvou pojiv



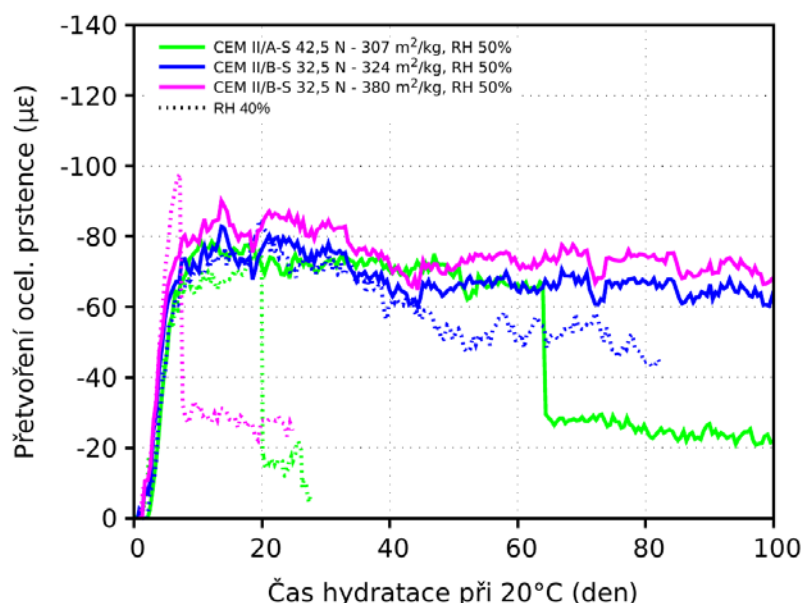
Obr. 5: Průběhy deformací presence pro různé měrné povrchy cementů

Další předběžné výsledky ukazují, že lze použít i jemněji mleté směsné cementy, Obrázek 5. Horní limit jemnosti pro CEM II/B-S leží v oblasti 380 m²/kg, pro zajímavost rakouská norma ÖNORM B 3327-1 stanovuje max. 400 m²/kg.

Vhodná hranice jemnosti mletí souvisí s tolerovanou hloubkou trhlinek, které se šíří z povrchu CBK během vysychání. Žádné pojivo není schopno odolat rychlému vyschnutí na 50 % rel. vlhkosti bez vzniku povrchových trhlinek [9], tento stav by odpovídal testům s menší velikostí smršťujícího prstence.

Zajímavá je situace, kdy dojde ke snížení relativní vlhkosti vzduchu na 40 %, které se běžně vyskytuje v letních obdobích betonáže, byť povrch je částečně chráněn parotěsnějším postříkem. Dle očekávání se

ukazuje, že hruběji mleté cementy jsou stále podstatně odolnější k trhlínkování, viz Obrázek 6. Například cement CEM II/B-S s měrným povrchem $324 \text{ m}^2/\text{kg}$ vydrží přes 81 dní (pak byl experiment ukončen bez porušení), cement s měrným povrchem $380 \text{ m}^2/\text{kg}$ vykazuje porušení již po 9 dnech.



Obr. 6: Průběhy deformací prstence vybraných pojiv pro 40% a 50% relativní vlhkost vzduchu

PŘEDSTAVENÍ PILOTNÍHO PROJEKTU

Výzkumný projekt ŘSD ČR ISPROFIN 500 115 0001 s názvem "Ověření nové receptury betonu pro CBK" měl za cíl ověřit inovované receptury CBK se zpomalenou hydratací a eliminovat formování mikrotrhlin. Nové receptury byly nejprve ověřovány v laboratoři a následně na pilotním projektu při realizaci CBK na úseku nově budované dálnice D1-137 Přerov – Lipník nad Bečvou. Zároveň byl v rámci tohoto projektu instalován dlouhodobý monitoring CB vozovky. Po dohodě s objednatelem uvedené stavby byla převážná část vozovky s CBK (cca 8,9 km) provedena podle nových receptur betonu s příměsí strusky pro zpomalenou hydrataci. Aby bylo možné provést srovnání dosažených výsledků, byla určitá část (cca 2,7 km) realizována standardní recepturou betonu s čistým CEM I bez příměsí. Kromě standardních kontrolních zkoušek betonu byly navíc prováděny další nadstandardní zkoušky a pro tyto účely byl vypracován speciální kontrolní a zkušební plán. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následující kapitole.

Aby bylo možné vyhodnotit dlouhodobě chování cementobetonových desek krytu vozovky bylo instalováno zařízení pro dlouhodobý monitoring do vybrané desky CBK v pomalém pruhu. Měřeny byly deformace v 6 místech a ve třech úrovních po výšce desky, teploty ve stejných místech, a navíc teplota podkladní vrstvy z MZK a teplota ovzduší. Dále pak intenzita slunečního záření.

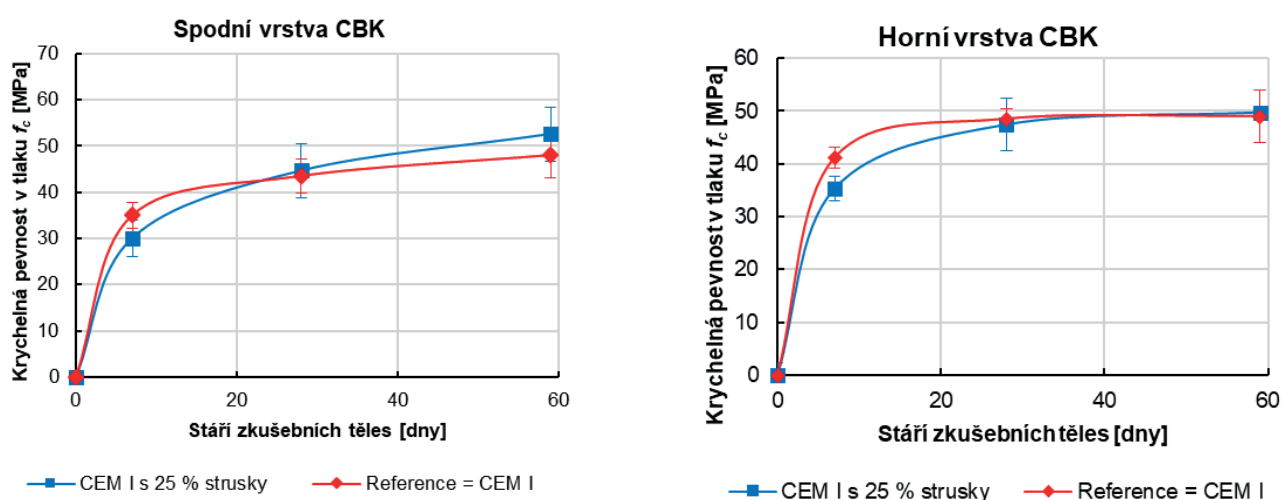
Průběžné výsledky jsou uvedeny v následující kapitole. Celý systém byl napojen na datovou ústřednu s bezdrátovým přenosem dat. Níže na Obrázku 7 jsou znázorněny měřící body sledovaného úseku před přjetím prvního finišeru.



Obr 7: Betonáž CBK na pilotním úseku D1 Lipník n. Bečvou – Přerov s měřícími body.

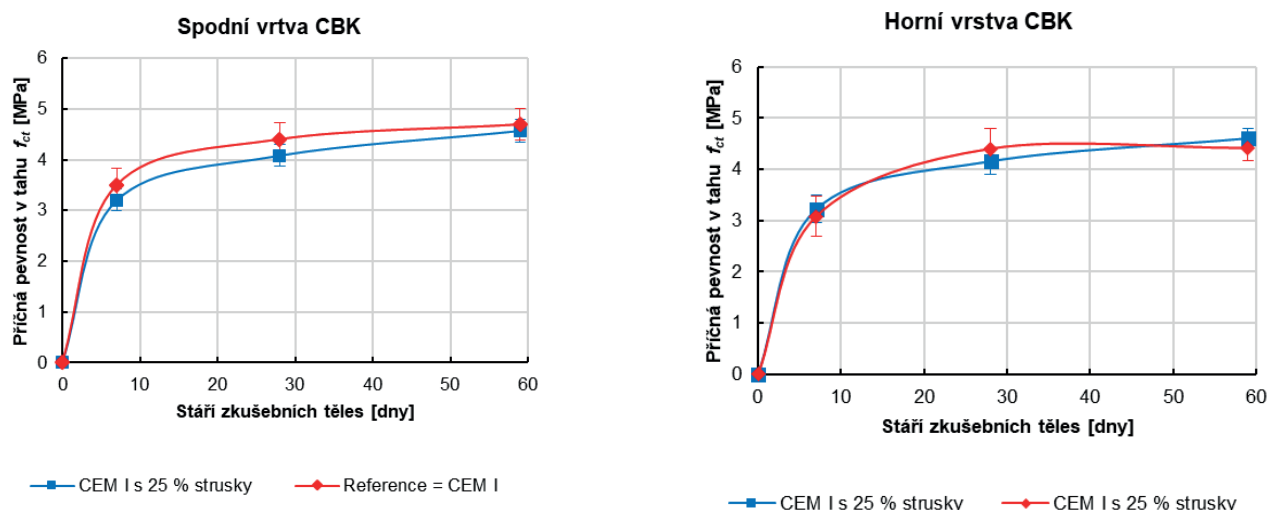
VÝSLEDKY KONTROLNÍCH ZKOUŠEK BETONŮ NA PILOTNÍM PROJEKTU

V rámci pilotního projektu byl upraven kontrolní a zkušební plán (dále KaZP), kde kromě standardně požadovaných kontrolních zkoušek, byly naplánovány další testy nad rámec standardních testů. Nově navržená a použitá receptura s použitím 75 % CEM I a 25 % strusky vykazuje pomalejší náběh počátečních pevností. Srovnání obou receptur pro krychlenou pevnost je znázorněno na Obrázku 8, kde vlevo je srovnání pro spodní vrstvu (dále SV) CBK a vpravo je srovnání pro horní vrstvu (dále HV) CBK. V prvních 7 dnech je pevnost v tlaku nižší u nové receptury, a to jak ve SV, tak HV. Tento vývoj odpovídá záměru snížit rychlost hydratace pojivové směsi a je to tedy předpokládaný vývoj. Po 28 dnech jsou však pevnosti srovnatelné a po 59 dnech dosahuje nová receptura pevností vyšších až o 13 % oproti referenční receptuře v případě SV.



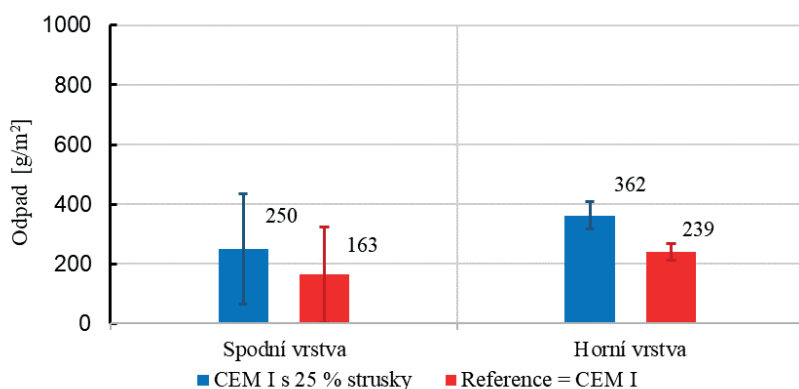
Obr. 8: Krychelná pevnost v tlaku zkušebních těles

Podobný trend je i v případě příčné pevnosti v tahu obou receptur, která je znázorněna na Obrázku 9. Zde je rozdíl mezi oběma recepturami nižší a srovnání obou receptur dochází až po 40–59 dnech. Z pohledu normových požadavků obě receptury splňují pevnostní požadavky, takže lze prohlásit, že z pohledu pevností nemá příměs strusky výrazný vliv na mechanické vlastnosti výsledné směsi, která v některých případech dosahuje i lepších mechanických vlastností než referenční (a zároveň standardně používaná) směs.

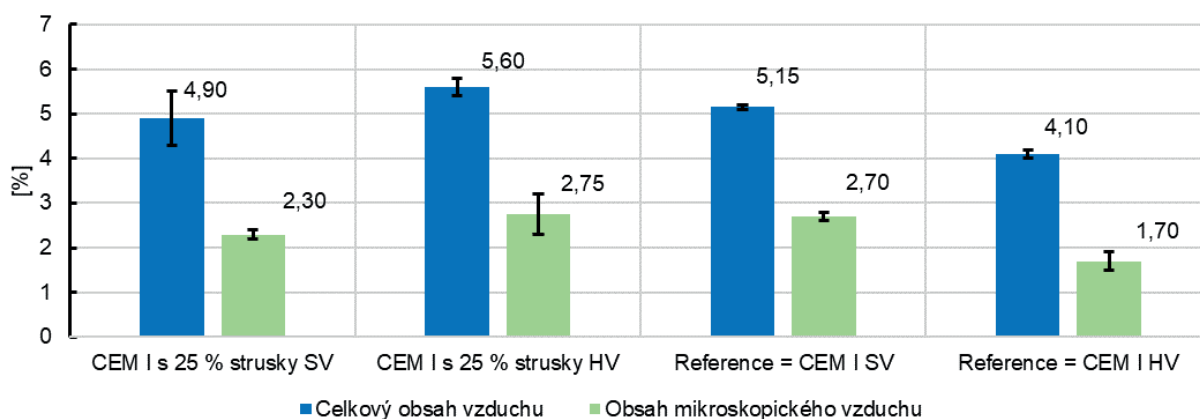


Obr 9: Pevnost v příčném tahu zkušebních těleš

Z pohledu odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL) dosahuje horší odolnosti nová receptura než referenční, což je znázorněno na Obrázku 10. Požadavek daný normou stanovuje kritickou hodnotu, kterou odpad při zkoušce po 100 cyklech nesmí přesáhnout 1000 g/m², což v případě obou receptur nepřekročila ani jedna dílčí zkouška a hodnoty se pohybují pod 500 g/m² u obou testovaných receptur. S tímto výsledkem koresponduje i mírně vyšší obsah celkového volného vzduchu a obsah mikroskopického vzduchu ČSN EN 480-11 znázorněném na Obrázku 11.



Obr. 10: Zkouška CHRL na jádrových vývrtech po 100 cyklech



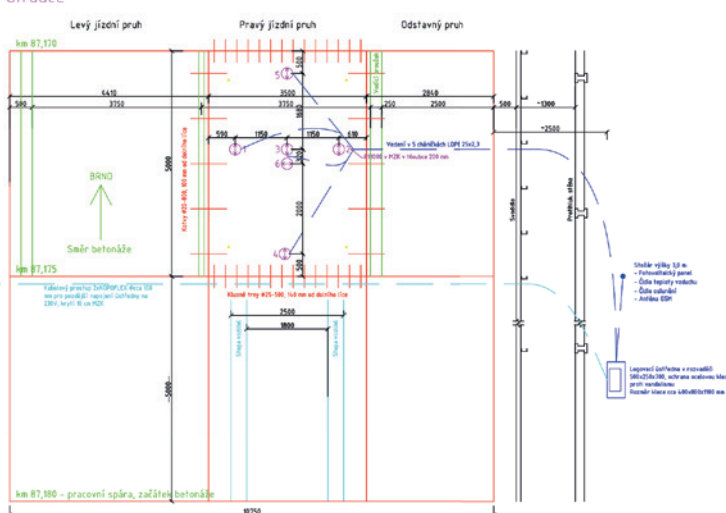
Obr. 11: Srovnání výsledků zkoušek obsahu vzduchových pórů a obsahu mikroskopického vzduchu v jednotlivých recepturách pro horní (HV) a spodní vrstvu (SV)

Z pohledu zpracovatelnosti v rámci realizace pilotního projektu byly zaznamenány pozitivní vlivy na delší časové úseky pro technologické operace vlivem pomalejší hydratace (zpracování betonu, vymetání povrchu, řezání spár apod.).

DLOUHODOBÝ MONITORING A PŘEDBĚŽNÉ VÝSLEDKY

Měření deformací a teplot bylo navrženo pro jednu desku CBK v pomalém jízdním pruhu (PJP) ve staničení km 87,170 – 87,175, v levém jízdním pásu (směr Brno) a pravém pruhu. Deska je druhá v pořadí za pracovní spárou tak, aby nedocházelo ke kolizi instalovaných zařízení s navážením betonu k finišeru. Pokládka tohoto úseku proběhla 9.8.2018 a instalace zařízení proběhla den předem. Měření probíhá po dobu několika let, aby byly zachyceny účinky výkyvů teplot a účinky provozu (uveden do provozu 12. 12. 2019). Celkově bylo v desce CBK umístěno 6 měřicích míst s 18 tenzometry a 18 snímači teplot, viz Obrázek 12.

Situace



Obr. 12: Situace umístění tenzometrů a teplotních čidel v CBK, pohled na 1 měřicí místo.

Dále se měří teplota vzduchu, teplota podloží a intenzita slunečního záření [3]. Během dvouletého měřeného období byly zaznamenány tyto extrémní hodnoty:

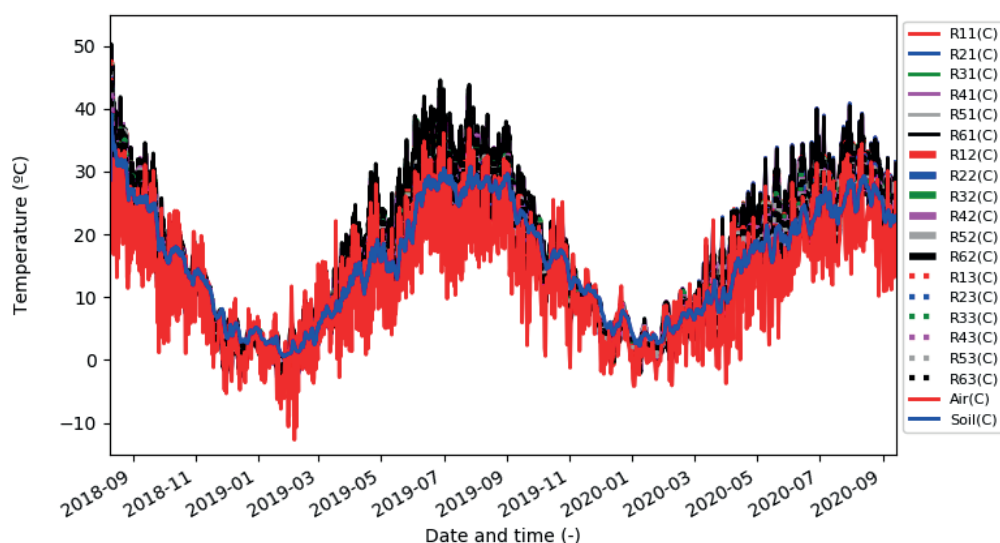
- Teplota vzduchu -14,7°C; 37,8°C
- Teplota na horních čidlech desky -5,0 °C; 46,0 °C (provozní), 52,1 °C (po betonáži),
- Teplota podloží 150 mm pod deskou 0,5 °C; 39,1°C
- Relativní celková deformace -620 $\mu\epsilon$; 51 $\mu\epsilon$ (neuvažují 7 dní po betonáži)

Čidla mají označení XY, kde X je měřicí místo a Y je svislá poloha. Například čidlo 31 je umístěno uprostřed desky, 50 mm pod horním lícem.

Teplota

Všechny změřené teploty jsou shrnuty na Obrázku 13. Zajímavé jsou výsledky rozdílů teplot mezi spodním a horním teplotním čidlem (Rx3-Rx1), které způsobují kladnou křivost desky. V letních měsících dochází vlivem oslunění k velkému a rychlému ohřívání povrchu a velkým záporným hodnotám rozdílu teplot.

Naopak v zimních měsících (11-02) vliv oslunění téměř chybí a rozdíly teplot jsou během 24 hodin symetrické. Oslunění přibližně dvakrát zvětšuje rozdíl teplot, než kdyby deska byla pouze ponechána cyklické změně teploty vzduchu.

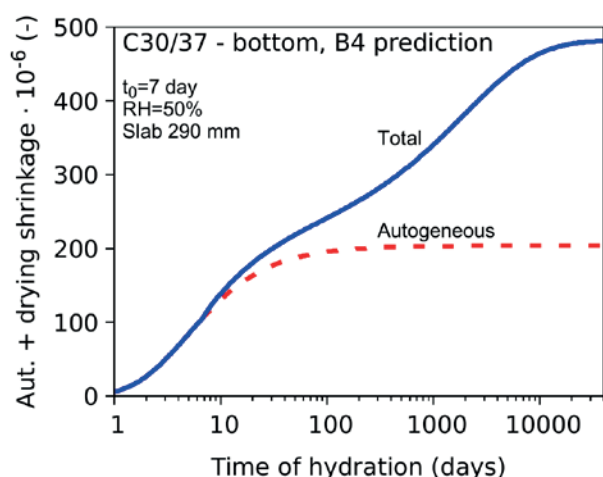


Obr. 13: Průběhy teplot na čidlech

Nejvyššího rozdílu $+7,2\text{ °C}$ bylo dosaženo 11. 8. 2018 po betonáži, kdy vyhřátá vrstva MZK dotovala teplo chladnoucí desce. Extrémní provozní hodnoty jsou $+5,6\text{ °C}$ z 27. 8. 2018 a $-11,2\text{ °C}$ z 6. 3. 2019. Za předpokladu lineárního průběhu teplot přes tloušťku desky jsou extrémní rozdíly teplot povrchů desky $290/190 \cdot 5,6 = 8,5\text{ °C}$ a $290/190 \cdot (-11,2) = -17,1\text{ °C}$. Zde je vidět onen dvojnásobek způsobený právě vlivem oslunění.

Přetvoření

Pro složení betonu spodní vrstvy a při zanedbání strusky v pojivu jsou výsledné průměrné deformace průřezu na Obrázku 14, vypočtené dle modelu B4 [10]. V modelu je deska vystavena vysychání po 7 dnech, vysychání probíhá pouze z horního povrchu. K ustálení autogenního smrštění dojde po 100 dnech, k ustálení smrštění od vysychání deformace dojde až po 30 letech. Pokud by deska vysychala i ze spodní strany, dojde k ustálení za přibližně 8 let. Celkové smrštění má být po ustálení cca $500\text{ }\mu\text{ε}$, tj. $0,5\text{ mm/m}$. Směsné pojivo tyto hodnoty mírně modifikuje.



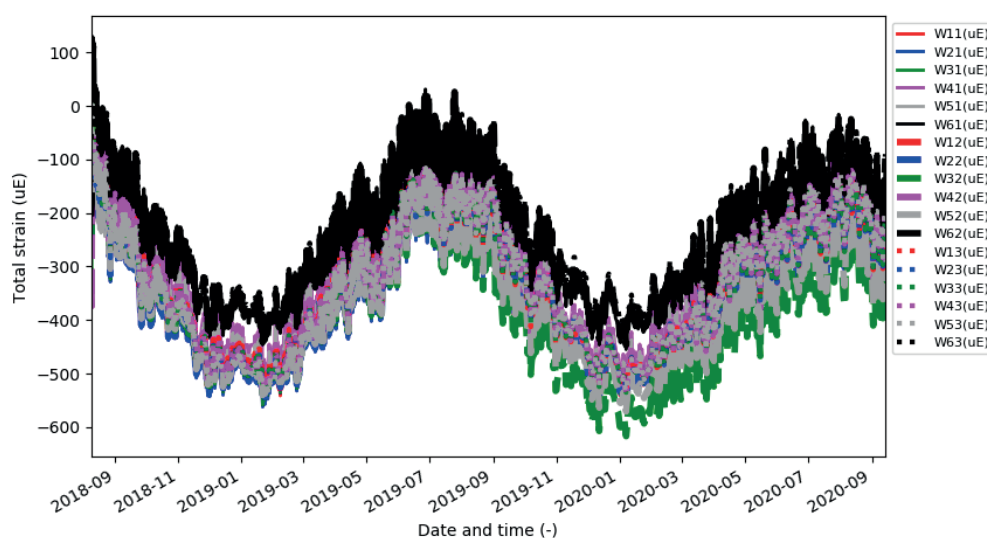
Obr. 14: Předpověď deformace desky od vysychání

Strunové tenzometry měří vzájemný posun jejich konců pomocí změny frekvence struny. Známa je tepelná roztažnost struny $12.2 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$, která je od celkové deformace odečtena. Rozklad celkové relativní deformace lze provést pro malé deformace za předpokladu superpozice:

$$\epsilon = \epsilon_{ve} + \epsilon_T + \epsilon_{as} + \epsilon_{ds} + \epsilon_f + \epsilon_{SAT} + \dots \quad (1)$$

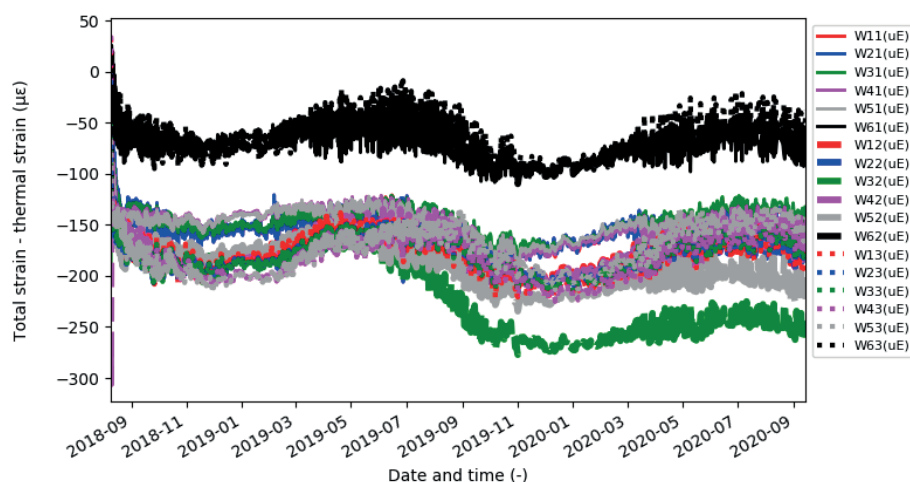
kde jednotlivé členy zachycují deformaci celkovou, viskoelastickou, teplotní, autogenní smrštění, smrštění od vysychání, rozetřenou deformaci od trhlin, či od saturace. Na dotvarování betonu lze z hlediska mechaniky pohlížet jako na stárnoucí materiál, proto není možné viskoelastickou deformaci jednoznačně rozložit na elastickou a viskózní část (mladý beton má nízký modul pružnosti a velkou viskózní část, u starého betonu to platí naopak, beton stárne).

Celková relativní deformace na 18 strunových tenzometrech je na Obrázku 15. Nulová deformace (s odečteným vlivem teploty) byla stanovena na 11.00 ve dne betonáže CBK, tj. hodnota mladého betonu krátce po konci tuhnutí. To bylo učiněno kvůli počátečnímu nulovému napětí desky. Na Obrázku 16 je vidět vliv denních cyklů teplot a ročních kolísání teplot. Minimální deformace je $-620 \mu\epsilon$ změřená na čidle W32 7. 1. 2020. Maximální deformace slabě přesáhne nulu v letních měsících $+51 \mu\epsilon$ na čidlech W6x v příčném směru dne 27. 6. 2019. Celková deformace má vliv na příčné spáry, kdy dochází k jejich otevírání. Pro minimální hodnotu deformace v podélném směru $-560 \mu\epsilon$ z 1. 7. 2020 dojde k největšímu otevření příčné spáry $-560 \cdot 5,0 = 2,8 \text{ mm}$. Vlivem dlouhodobého vysychání se tato hodnota ještě zvětší.



Obr. 15: Průběhy celkové relativní deformace na čidlech

Zajímavější informace poskytují relativní deformace s očištěným vlivem teploty na Obrázku 16. Zde je třeba zvolit součinitel délkové teplotní roztažnosti α , který se pro beton běžně pohybuje v rozmezí $6-12 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$. Konzervativně je vzata hodnota $10 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$. Zde je dobře vidět autogenní smrštění v příčném směru (černé křivky), kde dilataci a kontrakci desky není příliš bráněno. Autogenní smrštění dosáhne hodnoty $-75 \mu\epsilon$ po 14 dnech od betonáže a dále se významně nezvětšuje. Tato hodnota je optimističtější než z modelu B4, kde dosahuje autogenní smrštění hodnoty $-170 \mu\epsilon$ ve 14 dnech. Stejně tak smršťování od vysychání dle Obrázku 14 dosahuje hodnot $-100 \mu\epsilon$ po 24 měsících, na Obrázku 16 se jedná o hodnotu pouze $0-20 \mu\epsilon$. Tento nesoulad si vysvětlujeme tím, že deska příliš nevysychá a dochází k její saturaci deštěm.



Obr. 16: Průběhy relativní deformace na čidlech $\varepsilon - \varepsilon T$

Křivost desky

Deska CBK se chová jako tenká deska, kde lze uplatnit Kirchhoffovu teorii tenkých desek. Při předpokladu rovinnosti průřezu a zanedbání vlivu smyku lze určit křivosti z rozdílů relativních deformací:

$$\text{Celková křivost } \kappa = (\varepsilon_d - \varepsilon_h)/h \quad (2)$$

$$\text{Křivost od teploty } \kappa_T = (\varepsilon_{d,T} - \varepsilon_{h,T})/h \quad (3)$$

kde h je vzdálenost strunových tenzometrů po výšce desky (190 mm). Přepočtené křivosti z deformací jsou na Obrázku 17. Křivosti v podélném směru κ_1 , κ_2 , κ_3 jsou srovnatelné a jejich dvojnásobnou integrací lze určit zvedání příčných hran desky za předpokladu, že tato křivost je konstantní po délce desky. V létě dosahuje deska křivosti i $\sim 400 \mu\epsilon/m$, pro desku délky 5 m je pak extrémní zvednutí příčné hrany (včetně vlivu teploty)

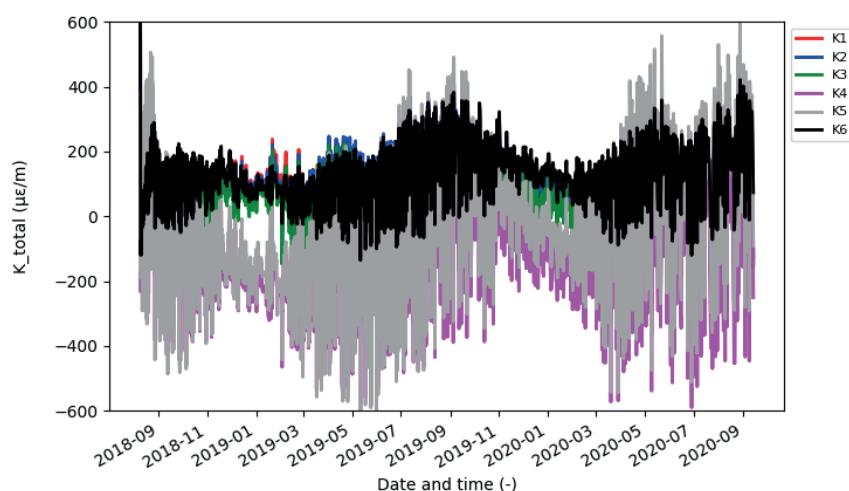
$$w = 0,5 \cdot 400 \cdot 2,5^2 = 1,25 \text{ mm} \quad (4)$$

Maximální záporná křivost je $-386 \mu\epsilon/m$ ze 17. 5. 2019. To způsobuje zvednutí středu desky o

$$w = 0,5 \cdot 386 \cdot 2,5^2 = 1,2 \text{ mm} \quad (5)$$

Následné simulace ukazují, že nadzvednutí středu desky oproti rohu je pro charakteristický letní den max. 0,75 mm. Tato nižší hodnota v simulacích je dána charakteristickým letním dnem, přesnějším polem teplot a zanedbáním vysychání. Křivosti κ_4 , κ_5 jsou srovnatelné a značí volné okraje desky, kde není výrazněji bráněno ohybu. Maximum dosahuje $+620 \mu\epsilon/m$ ze dne 27. 8. 2020 a minimum $-680 \mu\epsilon/m$ ze dne 17. 5. 2019.

V příčném směru jsou extrémní křivosti středu desky $\kappa_6 -139 \mu\epsilon/m$ ze dne 5. 11. 2019 a $+421 \mu\epsilon/m$ ze dne 27. 8. 2020. Tato křivost je srovnatelná s podélnou křivostí uprostřed desky κ_3 a značí symetrické chování desky v příčném i podélném směru dle očekávání. Křivosti u volných příčných hran $\kappa_{4,5}$ jsou přirozeně větší díky malému vlivu vlastní tíhy desky na ohybový moment.



Obr. 17: Celkové křivosti desky v 6 měřících místech

NUMERICKÉ MODELÝ DESKY

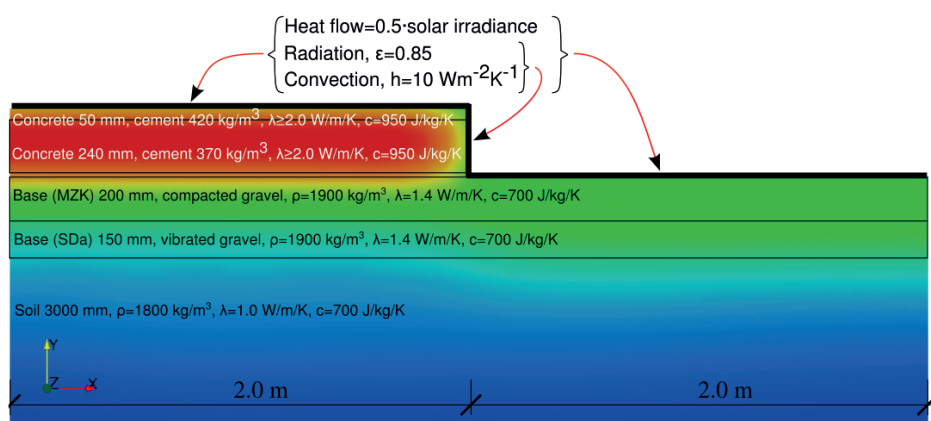
Pro interpretaci a posouzení naměřených výsledků byl vytvořen slabě sdružený 3D termo-mechanický model.

Model vedení tepla

Úloha nestacionárního vedení tepla je formulována jako:

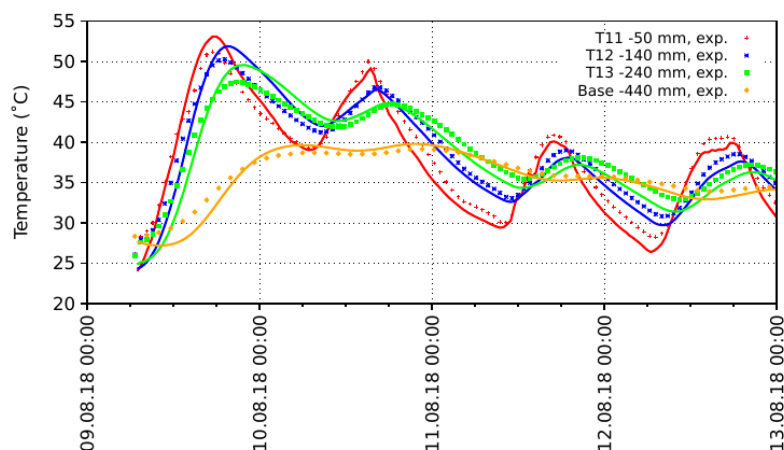
$$-\nabla^T q(x) + \bar{Q}(x, t) = \rho(x) c_v(x) \frac{(\partial T(x, t))}{\partial t} \quad (6)$$

kde q je teplotní tok, $\bar{Q}$ je teplo uvolněné hydratací cementu, T je teplotní pole. Přidružené okrajové podmínky a materiálové parametry jsou shrnuty na Obrázku 18. Model je implementován v programu OOFEM [7].



Obr. 18: Schéma modelu vedení tepla s materiálovými parametry

Model zahrnuje hydrataci cementu, která se aproximuje čtyřparametrickým modelem z izotermní kalorimetrie. Podkladní systém je modelován v tloušťce 3,35 m (MZK, ŠD a PI), neboť nelze zanedbat tepelnou kapacitu materiálu pod deskou. Validace modelu pro první dny byla prezentována s velmi dobrou shodou [3], viz Obrázek 19.

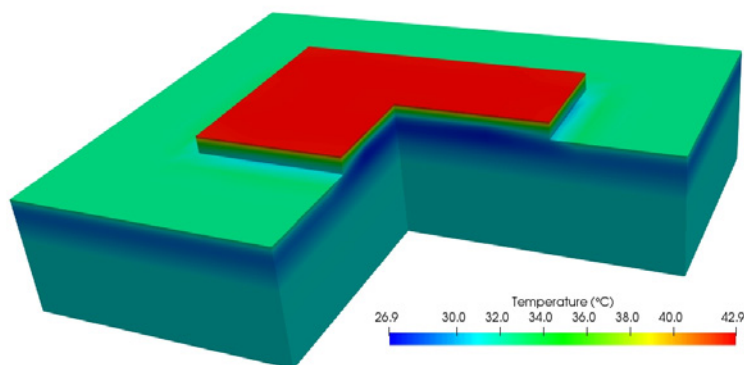


Obr. 19: Validace modelu vedení tepla

Monitoring ukázal, že oslunění desky se nejvíce podílí na vzestupu teploty v desce, proto byl vybrán charakteristický letní den s následujícími parametry:

- teplota vzduchu osciluje mezi 15-35 °C se střední hodnotou 25 °C,
- sluneční energie s amplitudou 700 W/m².

Teplotní pole v čase 15:40 je na Obrázku 20, kdy teplota na povrchu desky dosahuje denního maxima 42,9°C.

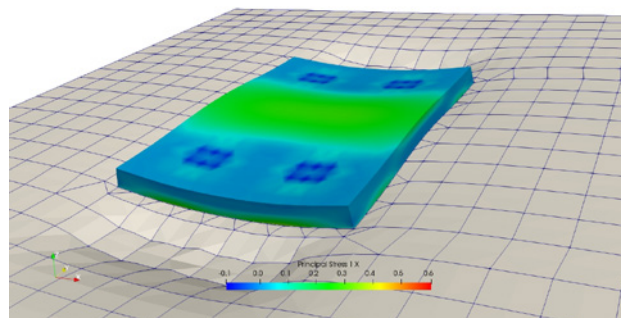


Obr. 20: Model vedení tepla s teplotním polem v čase 15:40.

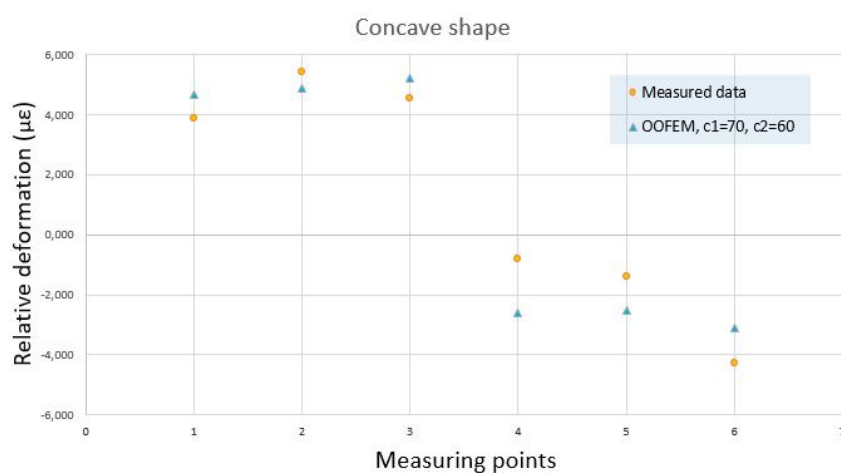
Mechanický model

Mechanický model uvažuje cementobetonovou desku jako diskretizované 3D kontinuum s modulem pružnosti $E = 37,5$ GPa a podkladní systém jako Winkler-Pasternekovo podloží s parametry $c_1 = 70$ MNm⁻³ a $c_2 = 60$ MNm⁻¹. Model je implementován v programu OOFEM [7]. Mezi deskou a podložím jsou vloženy 1D kontaktní prvky, které zajišťují separaci desky od podloží.

Parametry Winkler-Pasternekova modelu byly určeny ze statické zatěžovací zkoušky desky pomocí 2 nákladních vozidel a porovnáním s naměřenými deformacemi v desce, viz Obrázek 21. Deska byla zatěžována pro vyvození konkávního a konvexního tvaru, maximální změna relativní deformace v místech tenzometrů byla 14 $\mu\epsilon$, které odpovídá změna napětí $35 \cdot 14 = 490$ kPa. V modelu se největší napětí vyskytuje v oblasti kol a dosahuje hodnot ± 600 kPa, viz Obr. 8.



Obr. 21: Vyvození konkávního tvaru a hlavní napětí v mechanickém modelu.



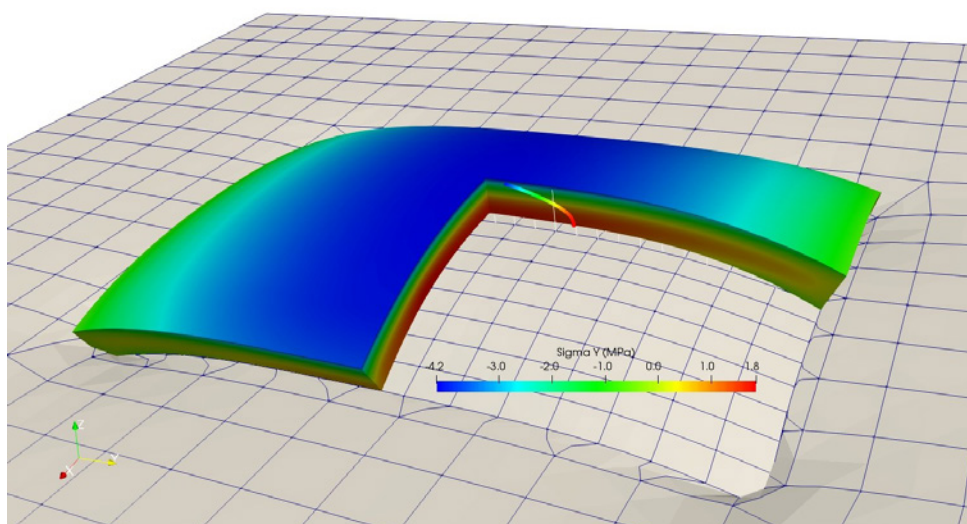
Obr. 22: Validace relativní deformace pro konkávní tvar

Sdružený termo-mechanický model

Při časové diskretizaci úlohy se využívá slabého (jednosměrného) sdružení, kdy v každém kroku teplotní pole vstupuje do mechanické úlohy a mechanická úloha zpětně neovlivňuje úlohu vedení tepla. Tímto postupem je možno detailně simulovat chování desky s různou volbou okrajových a počátečních podmínek. Zde se omezíme pouze na vliv teploty a vlastní tíhy pro chování desky během charakteristického letního dne, bez vlivu dopravy.

Deformovaný tvar desky ve 14.00 h je na Obrázku 23. Napětí σ_y se pohybuje mezi -4,2 a +1,8 MPa, první hlavní napětí dosahuje nejvyšší hodnoty 2,0 MPa. Separace desky od podloží dosahuje ve středu hodnoty 0,2 mm, rozdíl svislého posunu roh desky-střed je 0,75 mm. Na sklopeném řezu je vidět nelineární průběh napětí v důsledku nelineárního průběhu teploty.

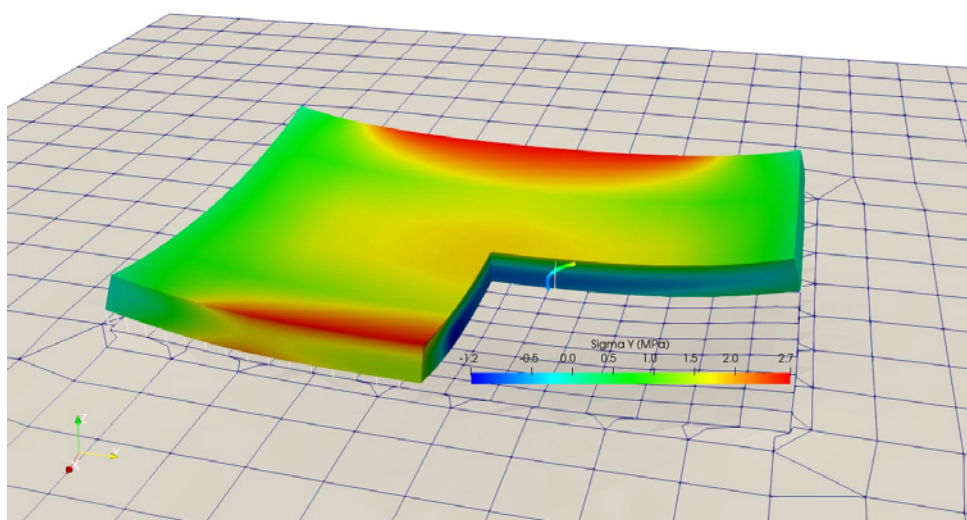
Maximální záporná křivost v letních měsících κ_3 se pohybuje okolo -150 $\mu\epsilon/m$, simulace udává hodnotu -161 $\mu\epsilon/m$ v poměrně dobré shodě.



Obr. 23: Deformovaný tvar desky v čase 14:00 h.

Deformovaný tvar desky ve 2.00 h je na Obrázku 24 pro noční vychladnutí. Zde se napětí σ_y pohybuje mezi -1,3 a 2,7 MPa, první hlavní napětí dosahuje max. hodnoty 2,9 MPa. Separace desky od podloží dosahuje v rozích hodnot 0,24 mm, nadzvednutí rohů oproti středu desky je 0,5 mm. Na sklopeném řezu je vidět nelineární průběh napětí v důsledku nelineárního průběhu teploty. Vychládání desky vede k poměrně velkým tahovým napětím na horním líci. K dalšímu zvětšení napětí dojde při zatížení okrajů desky dopravou, šokovému ochlazení například studeným deštěm, rychlému vyschnutí povrchu desky snížením relativní vlhkosti vzduchu atd. Maximální kladná křivost v letních měsících κ_3 se pohybuje okolo +300 $\mu\epsilon/m$, simulace udává hodnotu +311 $\mu\epsilon/m$ v poměrně dobré shodě.

Z monitoringu desky a následného vyhodnocení modelem plyne, že fluktuace letních teplot vyvoluje přibližně čtyřnásobné tahové napětí než doprava (2,7 MPa vs. 0,6 MPa). S ohledem na únavu materiálu se jedná o kombinaci monocyklického zatížení teplotou na velkém rozkmitu napětí oproti vysoko cyklickému zatížení dopravou s menším rozkmitem napětí. Tento přístup v návrhových normách zatím chybí. Geometricky nelineární model vylučuje superpozici účinků jednotlivých stavů, dává však dobrou představu o chování desky na pružném podloží pro různé zatěžovací stavy.



Obr. 24: Deformovaný tvar desky v čase 2:00 h.

NAVRHOVANÉ ZMĚNY V ČSN 73 6123-1

V současné době je hlavním technickým předpisem pro provádění CBK, tedy zejména ČSN 73 6123-1 Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody (červen 2014). Tato norma ve svém článku 6.1 Druh cementu a Tabulce 3 – Doplnující vlastnosti cementů do vozovkových betonů umožňuje pro CB I použití pouze čistého portlandského cementu CEM I. V rámci výzkumného projektu a pilotního projektu byl prokázán pozitivní vliv příměsi jemně mleté vysokopecní strusky na zpomalení hydratace betonu a tím snížení rizika vzniku trhlin v této počáteční fázi. Aby bylo možné tyto inovované receptury standardně používat, je potřeba revidovat uvedenou normu, a to zejména v uvedeném článku tímto navrhovaným způsobem:

Použité cementy a příměsi a návrh receptury betonu by měly směřovat k dosažení pomalé hydratace betonu, aby nedocházelo ke vzniku mikrotrhlin již v tomto počátečním stádiu.

Pro všechny skupiny cementobetonových krytů se může zpravidla používat portlandský cement CEM I pevnostní třídy 32,5 nebo 42,5.

Je možno použít i následující cementy podle ČSN EN 197-1 ed.2 pevnostní třídy 32,5 nebo 42,5:

- portlandský cement CEM I
- portlandský struskový cement CEM II/A-S nebo CEM II/B-S s deklarovaným obsahem jemně mleté granulované vysokopecní strusky

Dále je možné použít portlandský cement CEM I v kombinaci s příměsí jemně mleté granulované vysokopecní strusky (JMS) dle ČSN EN 15167-1.

Cement musí splňovat požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti uvedené v čl. 4.2. ČSN EN 13877-1:2013, ČSN EN 197-1, ed.2 a následující doplňující Tabulka 1.

Tabulka 1. Doplnující vlastnosti cementů do vozovkových betonů

Druh zkoušky	Parametr pro skupinu cementobetonových krytů	
	CB I	CB II, CB III
Druh cementu (ČSN EN 197-1 ed.2)	CEM I 42,5	CEM I 32,5 resp. 42,5
		CEM II/A-S 32,5 resp. 42,5
		CEM II/B-S 32,5 resp. 42,5
Ztráta žíháním	max. 3 % hmotnosti cementu	Bez požadavku
Obsah trikalcialuminátu C_3A ve slínku ($C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3$)	max. 8 %	Bez požadavku
Počátek tuhnutí	min. 1,5 h	Bez požadavku
Jemnost mletí (Blaine)	max. 350 m ² .kg ⁻¹	max. 400 m ² .kg ⁻¹
Na ₂ O _{ekv.}	max. 0,80 %	Bez požadavku

1) Za předpokladu, že jemně mletá vysokopecní struska obsažená ve struskovém cementu má jemnost mletí (Blaine) v rozmezí 400–480 m²/kg.

2) Pro kombinaci CEM I s příměsí JMS musí hmotnost JMS tvořit 15–40 % z celkové hmotnosti pojiva.

Při použití pouze CEM I je jemnost mletí omezena na max. 300 m²/kg.

Samozřejmě je potřeba upravit i související články a případně i další technické předpisy, které se na uvedená ustanovení odkazují.

ZÁVĚR

Laboratorní testy i zkušební úsek prokázaly vhodnost směsného portlandského cementu s pomalou hydratací na stavby CBK:

- Dochází ke snížení vývinu hydratačního tepla, nižším teplotám a v důsledku ke zmenšení napětí během ochlazování CBK.
- Navržené směsné pojivo prokázalo přibližně třináásobnou odolnost k trhlinkování.
- Betony z daného směsného pojiva splňují bez obtíží třídu C30/37 i odolnost proti CHRL.
- Model vedení tepla dobře koresponduje s naměřenými teplotami během prvních několika dní. Tím se ověřilo, že jsou podchyceny důležité termální jevy (hydratace, oslunění, proudění vzduchu, záření desky, vedení tepla).
- Sluneční záření tvoří důležitou složku namáhání CBK, tento vliv se projevuje v rychlém ohřívání desky a vzniku přibližně dvakrát vyšších záporných teplotních křivostí než křivostí kladných. Návrhové předpisy uvažují stejné křivosti, kladné i záporné od vlivu teploty. Zde je prostor pro korekci předpisů (TP170) na reálná data.
- Fluktuace teplot vzduchu způsobuje očekávanou změnu křivosti desky i její namáhání, v létě dochází k rozdílům výšek roh-střed až o 0,75 mm.
- Autogenní smrštění na desce bylo změřeno $-75 \mu\epsilon$ po 14 dnech od betonáže a dále se významně nezvětšuje.
- Smrštění od vysychání bylo v ročním odstupu změřeno pouze $-20 \mu\epsilon$. Při čistém vysychání by tato hodnota dosáhla $-100 \mu\epsilon$. Pokles vlhkosti v desce tedy musí být nižší, důvodem je pravděpodobně saturace deštěm a zemní vlhkostí.
- Zatěžovací zkouška desky CBK prokázala malé hodnoty deformace a napětí od zatížení vozidly. 3D mechanický model CBK úspěšně validoval tuto zatěžovací zkoušku.
- Zatížení teplotou během letních měsíců vyvoluje přibližně čtyřnásobné napětí oproti zatěžovací zkoušce. Zde je velký prostor v návrhových předpisech, které vliv fluktuace teploty na únavu téměř neuvažují.
- Projekt byl řešen za podpory Ředitelství silnic a dálnic ČR (ISPROFIN č. 5001150001), Technologické agentury České republiky (TH03020404) a grantového projektu ČVUT v Praze SGS20/107/OHK1/2T/11.

Zdroje

- [1] K. Hall et al.: Long-Life Concrete Pavements in Canada and Europe, report FHWA-PL-07-027, 2007
- [2] J. Hlavatý, V. Šmilauer, B. Slánský, R. Dvořák: Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek – část I. Silniční obzor. 2019, 80(6), 164-168.
- [3] J. Hlavatý, V. Šmilauer, B. Slánský, R. Dvořák: Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek – část II. Silniční obzor. 2019, 80(7-8), 193-197.
- [4] R. Bárta: Chemie a technologie cementu, ČSAV, 1961
- [5] R. Burrows: The visible and invisible cracking of concrete, Americal Concrete Institute, 1998
- [6] B. Slánský, R. Dvořák: Opatření k prodloužení cementobetonových krytů vozovek, sborník Betonové vozovky 2018.
- [7] B. Patzák B. a D. Rypl: Object-oriented, parallel finite element framework with dynamic load balancing. Advances in Engineering Software, 47(1):35–50, 2012.
- [8] Deutschen Zement-bund: Betonstrassenbau in Deutschland, 1936.
- [9] V. Šmilauer et al.: Hygro-mechanical modeling of restrained ring test: COST TU1404 benchmark. Construction and Building Materials. 2019
- [10] Z.P. Bažant et al.: Model B4 for creep, drying shrinkage and autogenous shrinkage of normal and high-strength concretes with multi-decade applicability, Materials and Structures, 2015.

2. blok:
**Budoucnost
betonových
vozovek
a diagnostika**

Herausforderungen für den Bau von Betonstraßen in der Zukunft

Em.Univ.-Prof. Dr.techn. Dr.-Ing. e.h. Rupert Springenschmid, Technische Universität München

Tel.: +49 89 881674

E-mail: rspringenschmid@gmx.de

Der Schwerverkehr auf Autobahnen und Fernstraßen wird in den nächsten 30 Jahren um mehr als 60% zunehmen. Wenn das bestehende Netz nicht erheblich erweitert wird, sind immer mehr Staus unvermeidlich. Im Laufe der Jahre werden die Anforderungen des Klimaschutzes immer größer, ebenso die Proteste der Bevölkerung gegen neue Autobahnen und gegen Werke zur Gewinnung von Rohstoffen, also gegen Steinbrüche und Kiesgruben. Der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften wird immer größer werden. Wir können diese negativen Entwicklungen nicht ändern, müssen sie aber bei unserer Arbeit berücksichtigen.

Wir wissen, dass jede Baustelle, jede Erneuerung einer Fahrbahn viel Geld kostet und die Umwelt belastet. Unser wichtigstes Ziel muss sein, Fahrbahnen so zu bauen, dass sie möglichst viele Jahrzehnte gut genutzt werden können und nur wenig Instandhaltung erfordern. Der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften zwingt uns die Bauvorschriften zu vereinfachen und auf das Notwendigste zu beschränken. Auch eine bessere kooperative Zusammenarbeit von Auftraggeber und Auftragnehmer führt zu besseren Straßen.

1. ÜBERBLICK

Wenn man größere Zeiträume des Betonstraßenbaues überblickt, dann drängen sich **zwei wichtige Folgerungen** auf.

(1): Die **Voraussetzungen**, die Bedingungen für den heutigen Straßenbau **haben sich geändert** und werden sich in der Zukunft **noch weiter ändern**. Das müssen wir bei unserer Arbeit berücksichtigen

(2). Die bisherige Entwicklung des Betonstraßenbaues ist eine **Erfolgsgeschichte**. Während die alten Betondecken auf Autobahnen mit ihren Raumfugen und schlechten Unterbau bald rumpelig, also schlecht befahrbar wurden, haben die modernen Betondecken eine **hervorragende Qualität**, Bild 1.

Sie sind **eben** und **griffig** und haben den **Lärm mindernde Oberflächen**. Sie haben **Fugen**, der Autofahrer nicht mehr sieht und **nicht mehr spürt**. Sie bieten einen sehr hohen Fahrkomfort, vergleichbar mit den besten Asphaltstraßen. Aber sie sind dauerhafter.

Maßgebend für unsere heutigen Bauweisen sind die inzwischen erarbeiteten **ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen** des Betonstraßenbaues und die **Pionierarbeit der Baufirmen** und der **Hersteller** der nötigen **Baumaschinen**. Wir brauchen heute auch **weniger**, aber **viel höher qualifizierte Arbeitskräfte**.

Es waren die Straßenbauer in diesem Lande, der damaligen Tschechoslowakei, ich erinnere mich noch genau, die als erste in Mitteleuropa mit einem Gleitschalungs- Fertiger gearbeitet haben, obwohl es schwieriger war damit Dübel und Anker einzubauen.

Erwarten sie bitte von mir hier nicht Lösungen von Details, wie man Betonstraßen noch perfekter bauen sollte. Ich versuche vielmehr eine **Prognose**, welche Bedingungen wir für den **Straßenbau der Zukunft** haben werden und welche **Folgerungen** sich daraus für uns ergeben.



Bild 1: Moderne Betondecken bieten höchsten Fahrkomfort. Fugen sind nicht mehr zu spüren. Autobahn A 8 bei München

2. VERSUCHEN EINER PROGNOSE.

2.1 Verkehr

Tschechien liegt wie Österreich und Deutschland in der **Mitte Europas**. Kulturell ein Vorteil für alle. Aber, was den Verkehr betrifft, ist die Mitte Europas ein großer Nachteil. Der Verkehr auf unseren Autobahnen und Fernstraßen wurde und wird **immer stärker**.

Ein Beispiel: Für die deutsche Autobahn A 1 wurde 1970 eine Brücke über den Rhein gebaut. Man rechnete mit 32 000 Fahrzeugen täglich, heute sind es aber 120 000 Fahrzeuge, fast **viermal** so viele. Noch größer ist der Anteil der Lkws geworden. Lkws die obendrein viel schwerer sind als jene vor 50 Jahren.

Der **freie Warenverkehr in der Europäische Union** wird auch in der Zukunft zunehmen. Wie stark wissen wir nicht. Rechnen wir **nur 1,5 %** pro Jahr, dann sind dies in **30 Jahren 60 %**, nach **46 Jahren verdoppelt sich dann der Verkehr**. Aber wir wissen nicht, ob der Verkehr sich nicht schon nach **25 Jahren** verdoppelt. Bei **Prognosen**, ob privat oder amtlich, weiß man immer **erst nachher**, ob sie richtig oder falsch waren. Aber wir wissen, dass eine Verdopplung des Verkehrs immer öfter zu einem Kollaps führen muss.

Als Bauingenieure sind wir gefordert **voraus zu denken**, sind gefordert **voraus ahnen**, was die Zukunft bringt. **Wir bauen die Infrastruktur nicht für morgen, sondern für die künftigen Generationen.**

2.2 Mangel an Facharbeiter

Das größte Problem für viele Baufirmen ist heute schon der **Mangel an qualifizierten Facharbeitern und Ingenieuren**. Nicht nur bei Baufirmen **fehlt es an Nachwuchs**, auch bei der Bauaufsicht, bei Behörden, oft sogar bei der Polizei, bei Gerichten, ja auch bei den Lehrern. Kleinfamilien mit einem oder zwei Kindern sind die Regel, oder Familien nur einem Hund. Nach den Gesetzen der Mathematik wird es **von Jahr zu Jahr immer weniger junge Menschen** geben. Davon auch **noch weniger** junge Leute, die bereit sind, **auf Baustellen als Ingenieure oder Maschinenführer nötigenfalls täglich 12 Stunden Verantwortung zu tragen**. In den nächsten Jahrzehnten wird es zwangsläufig immer **weniger Firmen** geben, die noch genügend hoch qualifizierte Mitarbeiter haben, um gute Straßen zu bauen zu können. Sie brauchen Mitarbeiter, die nicht nur die wichtigsten Vorschriften kennen, sondern auch wissen wie man die Anforderungen erfüllt. Was hilft es die Ausschreibung einer Betondecke höchster Qualität, wenn keine Baufirma mehr die dazu nötigen erfahrenen Facharbeiter hat.

2.3 Proteste der Bürger

Wir leben heute in einem **Wohlstand**, der **vor Jahrzehnten noch undenkbar** war. Früher mussten wir jede Woche **48 Stunden** arbeiten, weil wir noch **alles selber produzieren** mussten. Heute arbeiten die meisten Leute oft nur mehr **38 Stunden**. Wir beziehen viele Waren aus **Ländern mit niedrigeren Löhnen**. **Voraussetzung** dazu ist ein **freier Warenverkehr**.

38 Stunden Arbeitszeit bedeutet auch viel **mehr Freizeit**. Die Menschen haben auch viel Zeit um **gegen Veränderungen**, auch **gegen den Bau neuer Straßen zu protestieren**. Ohne Rücksicht darauf, ob sie dabei nicht **an dem Ast sägen, auf dem wir alle sitzen**.

Ein Beispiel: In Bayern hat man für den Bau der **Autobahn A 94 von München** zum ostbayrischen Industriegebiet, die kürzeste Verbindung nach **Wien und Ungarn, 34 Jahre** gebraucht. Immer wieder hat die örtliche Bevölkerung gegen den Bau **protestiert, mit Klagen bei Gerichten**, ermuntert von Rechtsanwälten, Presse und Fernsehen. Während der 34 Jahre ging der immer stärker werdende Verkehr weiter durch **zu enge Straßen** und **dicht besiedelte Orte**. Es gab viele Unfälle, die **mehr Todesopfer** forderten, als der **Brückeneinsturz im italienischen Genua**.

2.4 Mangel an Rohstoffen

Um bauen zu können, brauchen wir Gesteinskörnungen, also **Sand, Kies, Splitt und Schotter**, besonders viel für Straßen. Für einen Kilometer Betondecke sind oft 400 Lkw-Ladungen nötig, [1]. Unsere Bürger wollen aber **keine Kiesgruben** und **keine Steinbrüche**, sie sollen stillgelegt, **keinesfalls erweitert** werden. Sie begründen ihren Protest mit dem Schutz der Landschaft, sie klagen bei Gerichten.

Die Folge ist, dass immer weniger Werke Kies, Sand und Splitte liefern können und das Material oft aus sehr **weit entfernten Werken heran transportiert** werden muss. Das bedeutet viel **mehr Lkw-Verkehr**.

Die Straßendecken **dünnere zu machen**, damit man weniger verbraucht, wäre ein **großer Fehler**. Weil mit dünneren Decken eine kürzere Lebensdauer erwarten lassen, also früher erneuert werden. **Jede Erneuerung belastet die Umwelt und belastet die Bürger**.

2.5 Forderungen der Autofahrer

Wir müssen und wollen auch dem Bürgern Straßen und Autobahnen anbieten, die die **höchste Qualität** haben, die auch bei Nässe **griffig** sind und auf denen der Verkehr nur **wenig Lärm** verursacht. Aber noch

viel wichtiger ist den Autofahrern, dass sie **unbehindert fahren** können und sie nicht immer wieder in **Staus** stecken bleiben. Bild 2.



Bild 2: Staus ärgern die Autofahrer. Die Verzögerungen belasten auch immer mehr die Wirtschaft.

Staus wegen **zu viel Verkehr**, Staus wegen **Baustellen**, Staus wegen **Unfällen**. Unsere Straßen reichen oft schon für den heutigen Verkehr nicht mehr aus. In der Zukunft wird es immer **mehr Staus** und **immer mehr Klagen der Bürger über Staus** geben.

Wir Ingenieure werden beschimpft, wir bekommen die Prügel, obwohl die Schuldigen wo anders sitzen.

Wir können die negativen Voraussetzungen für den Straßenbau nicht ändern. Aber wir müssen sie bei unserer Arbeit berücksichtigen [2]. Wir dürfen den Kopf nicht in den Sand stecken.

3. WAS KÖNNEN WIR TUN, WAS MÜSSEN WIR TUN?

3.1 Lebensdauer

Wir müssen unsere Autobahnen und Straßen so bauen, dass sie **länger genutzt** werden können, noch länger als die bisherigen gebauten. Das gilt auch für die Brücken. Auch so bauen, dass sie möglichst wenig Reparaturen und möglichst wenig Instandhaltung erfordern.

Als Ingenieure wissen wir doch, wie viel wir **heute noch** von der Infrastruktur des 19. Jahrhunderts, den Wasserbauten oder Eisenbahntrassen nutzen. Viele Brücken unserer Eisenbahn sind schon **über 100 Jahre alt**. Was täten wir, wenn wir sie alle neu bauen müssten?

Zurzeit wird der 64 km lange **Brenner-Basis-Tunnel** für die Eisenbahn von Österreich nach Italien gebaut. Man baut ihn so, dass eine Lebensdauer von **mindestens 200 Jahren** zu erwarten ist. Fahrbahnen von Straßen können nicht so lange dem Verkehr standhalten, aber **mit Beton erreichen wir eine größere Lebensdauer**. Die letzte der 1936 für die ersten deutschen Autobahnen gebauten Betondecken auf der A 11 wurde erst 2009, also nach **73 Jahren** erneuert [3]. **Beton altert nicht**.

Unsere Straßendecken **so dauerhaft wie möglich** so bauen, ist wichtiger als beim Bau **Kosten** einzusparen, und wichtiger als die **Schonung der Umwelt** beim Bau. **Denn jede Erneuerung, jede Baustelle kostet Geld, belastet die Bürger und belastet die Umwelt. Je später sie nötig ist, desto besser.**

Eine um **3 bis 5 cm dickere Betondecke ist dauerhafter** und macht sie **sicherer gegen Überlastung**. Das kostet nur wenig mehr, keine 5 %. Und sollten es einmal 10 % sein, wenn damit die Fahrbahn **20 Jahre länger** dem Verkehr standhält, also erst 20 Jahre später erneuert werden muss, ist dies immer noch ein großer Vorteil für den Verkehr und für das Klima für die nächsten Generationen.

Wenn Betonstraßen nach Jahrzehnten nicht mehr genügend eben oder nicht mehr genügend griffig sind, können wir sie abschleifen, Bild 3.



Bild 3: Fräse mit Diamant-Trennscheiben zur Wiederherstellung von Ebenheit, Griffigkeit und lärmindernder Eigenschaften

Mit **Grinding** und **Grooving** haben wir Verfahren, um Oberflächen zu erneuern [4]. Wir erreichen damit wieder nahezu die ursprüngliche Qualität der Fahrbahnoberfläche, Bild 4.



Bild 4: Durch Grinding verbesserte Oberfläche

3.2 Ziele der Forschung

Für die Forschung muss das wichtigste Ziel sein, noch bessere Voraussetzungen für die **größte technisch mögliche Nutzungsdauer** zu schaffen. Dabei ist das **Verhalten in der Praxis** der maßgebende, der beste Lehrmeister. Theorien, Berechnungen, Prüfverfahren und Regelwerke sind nicht mehr als **Hilfsmittel**, oft sehr wichtige. Alte **Betonfahrbahnen**, die **erneuert** werden müssen und auch solche, die schon **20 und 40 Jahre** unter Verkehr stehen, sollten künftig **kritisch untersucht** werden. Zum Beispiel ob bei speziellen Verhältnissen die **Entwässerung** verbessert werden muss? Wie **unterschiedliche Tragschichten** das Langzeitverhalten der Fahrbahndecke beeinflussen?

Die internationale Zusammenarbeit, der **Austausch von Erfahrungen mit anderen Ländern** mit ähnlichen Verhältnissen ist hierfür besonders wertvoll.

3.3 Schutz der Umwelt

Straßen müssen so gebaut werden, dass der **Verbrauch an Energie**, die Emission von **CO₂** möglichst gering bleibt. Dabei dürfen die entstehenden verschiedenen CO₂ Emissionen **nicht einzeln bewertet** werden. Für die Umwelt **maßgebend** ist die **Summe**, die quantitative Entwicklung, also alle CO₂ Emissionen für den **Bau** und über die Zeit der **Nutzung** zusammen gerechnet. Auch dazu ist entscheidend, wie lange eine Fahrbahn dem Verkehr dienen kann, ohne Erneuerung.

Für die Emissionen des Verkehrs ist der **Rollwiderstand der Fahrzeuge** wichtig. Durch eine auch nur minimale **Verminderung des Rollwiderstandes**, wie durch gute Betonstraßen, bringt schon bei einem Verkehr von nur **5.000 Lkws täglich**, im Laufe der Jahrzehnte sehr **große Einsparungen**. Die Emissionen beim Bau und bei Herstellung der Baustoffe sind im Vergleich dazu sehr klein.

Für dauerhafte Straßen brauchen wir gute Zemente. Straßenbauzemente müssen einen hohen Gehalt an Klinker haben. Beim Brennen von Klinker entsteht CO₂. Die Zementindustrie kommt deswegen in die Kritik von Leuten, die **nur** die Zementproduktion sehen, **nicht die Gesamtheit, nicht den Verkehr und nicht die größere Lebensdauer guter Betondecken**.

3.4 Anforderungen beim Bau neuer Betondecken

Unsere Bauweisen müssen **robuster** werden, um **Risiken zu minimieren**. Wir müssen mit weniger hochqualifizierten Ingenieuren und weniger Facharbeitern das Auslangen finden.

Die **technische Komplexität** der Bauweisen muss **reduziert** werden. Unsere Bauweisen müssen **weniger empfindlich für Abweichungen** von der geplanten Ausführung gemacht werden.

Unsere Bauvorschriften müssen **vereinfacht und besser** an die **Verhältnisse auf Baustellen** angepasst werden. **Ungerechtfertigte Anforderungen an die Genauigkeit** müssen herausgenommen werden. Sind wir doch ehrlich, wie oft wurden Anforderungen festgeschrieben, von denen wir nur wussten, dass sie gut sind für gute Straßen, manchmal haben wir das auch nur vermutet, **ohne** zu fragen, ob sie **auch notwendig** sind, ob man das Ziel nicht auf einfachere Weise erreichen kann. Etwa, sind alle unsere Anforderungen an die **Gesteinskörnungen wirklich notwendig**? Sind die durch zu hohe Anforderungen verursachten Kosten und Belastungen durch lange Transportwege wirklich nötig für die Dauerhaftigkeit der Straße? Ist es nicht besser, die Tragfähigkeit durch **größere Schichtdicken** sicherzustellen und nicht durch **schwer erzielbare Anforderungen an die Festigkeit** des Betons. Bei den Hydraulisch (d.h. mit Zement) Gebundenen Tragschichten (HGT) haben wir doch gelernt, dass ausreichende Dicke wichtiger als höhere Festigkeit ist.

Ja, wir müssen **heilige Kühe schlachten**. **Akademische Spielereien** gehören nicht in Vorschriften für Baustellen.

Auch die **Prüfverfahren** müssen besser den **Verhältnisse der Praxis** entsprechen. Die Prüfung der **Spaltzugfestigkeit von Bohrkernen** aus der fertigen Betondecke ist theoretisch begründbar, für die Praxis aber **viel zu empfindlich** [5]. Wir wissen doch dass Zugprüfungen von Beton bei weitem nicht so robust und zuverlässig sind wie Prüfungen der Druckfestigkeit.

Fazit: Straßen werden **nicht um so besser**, je genauer alle Details beschreiben werden und je umfassender auch die neuesten Forschungsergebnisse berücksichtigt werden. Sie werden umso besser je besser die Anforderungen sich auf das Notwendige beschränken und die Möglichkeiten der Baufirmen mit den noch vorhandenen Facharbeitern, berücksichtigen,

3.6 Kooperation zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer

Gute Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, eine **Vertrauenskultur** bringt **Vorteile für alle Beteiligten**. Gute Kooperation führt auch zu **besseren Bauwerken**. **Streitfälle** sind möglichst zu **vermeiden** [6]. Wir brauchen die **wenigen guten Ingenieure**, die wir in der Zukunft noch haben, damit die **Baustellen gut laufen**. Sie sollen ihre Zeit nicht für **Streitfällen mit Rechtsanwälten und Gerichten** verschwenden müssen.

4. SCHLUSS

Ich komme zum Schluss. Wir dürfen uns nicht beirren lassen von Menschen, die nur an die Bilanzen am Ende des Jahres sehen, die nur an Schlagzeilen in der Tagespresse oder an die nächste Parlamentswahl denken.

Zu den **Tugenden guter Bauingenieure** gehörte es immer schon, weit in die Zukunft zu blicken, zum Nutzen der nächsten Generationen.

LITERATUR

- [1] Hofmeister, Chr.: Verkehrswege im Wandel. Griffig 1/2019 S. 6. Gütegemeinschaft Verkehrswege aus Beton.
- [2] Springenschmid, R.: Erkenntnisse aus der Geschichte des Betonstraßenbaues; Betonstraßentagung 2019, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Straße und Autobahn 1/2020, S. 42
- [3] Anger, R.: Betonfahrbahnen – eine Erfolgsgeschichte am Beispiel der BAB A 11 in Brandenburg; Straße und Autobahn 7/2010, S. 473
- [4] Skarabis, J.: Grinding – die Betonoberfläche der Zukunft? Straße und Autobahn 8/2019, S. 673
- [5] Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis, 2 Auflage, 2018 Beuth Verlag, Berlin
- [6] Österreichische Bautechnische Vereinigung. Merkblatt Kooperative Projektabwicklung, Wien 2018

Výzvy pro stavbu betonových vozovek v budoucnosti

Em. Univ. Prof. Dr. techn. Dr. Ing. e.h. Rupert Springenschmid

Technická univerzita Mnichov

Tel.: +49 89 881674

E-mail: rspringenschmid@gmx.de

Doprava těžkými užitkovými vozidly na dálnicích a rychlostních silnicích v příštích 30 letech vzroste o více než 60 %. Nebude-li stávající síť podstatně rozšířena, budou nevyhnutelně také častěji vznikat dopravní kolony. V průběhu příštích let porostou požadavky na ochranu klimatu, zesílí protesty obyvatel proti novým dálnicím, ale i proti kamenolomům a pískovnám, tedy místům těžby stavebních materiálů. Nedostatek kvalifikovaných pracovních sil se bude stále prohlubovat. Tyto negativní tendence nemůžeme změnit, musíme je ovšem při své práci brát v úvahu.

Víme, že každá stavba, každá rekonstrukce vozovky stojí spoustu peněz a že představují zátěž pro životní prostředí. Naším nejdůležitějším cílem musí být, abychom stavěli vozovky, které bude možné bez problémů využívat po dobu několika desetiletí a které budou vyžadovat co nejméně stavební údržby. Nedostatek kvalifikované pracovní síly nás pak donutí také ke zjednodušování stavebních předpisů a jejich omezení na nezbytné minimum. Cestou k lepším silnicím je však také lepší spolupráce mezi objednateli a zhotoviteli.

1. REKAPITULACE

Z hodnocení delších časových úseků výstavby betonových vozovek lze vyvodit **dva významné závěry**.

(1) Předpoklady a podmínky pro současné stavby silnic **se změnily** a budou se v budoucnu **měnit i nadále**. Tuto okolnost musíme při své práci zohlednit

(2) Dosavadní vývoj stavby betonových vozovek můžeme označit za **historii úspěchu**. Zatímco staré dálniční cementobetonové kryty se svými prostorovými spárami a špatným podkladem byly brzy hrbolaté, čímž tedy byly špatně pojízdne, moderní betonové vozovky mají **vynikající kvalitu**, obr. 1.

Jsou **rovné** a **drsné**, se sníženou hlučností. Mají **spáry**, avšak řidič je **již nevidí ani nepocituje**. Poskytují velmi vysoký jízdní komfort, a to srovnatelný s nejlepšími asfaltovými vozovkami. Betonové vozovky však jsou trvanlivější.

Rozhodující pro naše dnešní stavební postupy jsou **inženýrsko-vědecké základy**, které byly v průběhu doby pro stavby betonových vozovek vypracovány a **pionýrská práce stavebních firem a výrobců** potřebných **stavebních strojů**. V současnosti sice potřebujeme méně **pracovních sil**, avšak s **mnohem vyšší kvalifikací**.

Byli to právě silniční stavaři této země, tehdejšího Československa, jak si ještě dnes přesně vzpomínám, kteří jako první ve střední Evropě pracovali s finišerem s kluznými bočnicemi, ačkoli tak bylo obtížnější osadit kluzné trny a kotvy.

Nečekejte prosím ode mne, že tady předložím řešení detailů, jak se mají ještě dokonaleji betonové vozovky stavět. Pokusím se spíše o jakousi **prognózu**, jaké budou podmínky pro stavby **silnic budoucnosti** a jaké **důsledky** z toho pro nás vyplývají.



Obr. 1: Moderní cementobetonové kryty poskytují nejvyšší jízdní komfort. Spáry již necítíme.
Dálnice A 8 u Mnichova

2. POKUS O PROGNÓZU

2.1 Doprava

Česká republika leží stejně jako Rakousko a Německo ve **středu Evropy**. Z kulturního hlediska je to výhoda pro všechny. Pokud jde však o dopravu, představuje střed Evropy obrovskou nevýhodu. Intenzita dopravy na našich dálnicích a rychlostních silnicích stále zesilovala a bude **zesilovat i nadále**.

Příklad: Pro německou dálnici A1 byl v roce 1970 postaven most přes Rýn. Počítalo se s 32 tisíci vozidel denně, momentálně je jich ale 120 000, tedy téměř **čtyřikrát** víc. Ještě více vzrostl podíl nákladních automobilů, které jsou navíc k tomu mnohem těžší než před 50 lety.

Volný pohyb zboží v Evropské unii poroste i v budoucnu. Jak silně nevíme. Budeme-li počítat **jen se 1,5 %** ročně, bude to za **30 let 60 %**, po **46 letech se pak doprava zdvojnásobí**. Nevíme ovšem, zda se doprava nezdvojnásobí již za **25 let**. Pokud jde o **prognózy**, ať soukromé nebo státních institucí, víme vždy až **ex post**, zda byly správné, nebo chybné. Víme ale, že zdvojnásobení dopravy nutně musí vést ke stále častějším kolapsům.

Jako stavební inženýři jsme povinni **myslet dopředu**, jsme povinni **předvídat**, co budoucnost přinese. **Infrastrukturu nestavíme pro zítřek, nýbrž pro budoucí generace.**

2.2 Nedostatek kvalifikované pracovní síly

Velkým problémem mnoha stavebních firem je již dnes **nedostatek kvalifikovaných dělníků a inženýrů**. **Dorost chybí** nejen stavebním firmám, nýbrž i stavebnímu dozoru, úřadům, často i policii, na soudech, ba dokonce i mezi učiteli. Pravidlem jsou malé rodiny s jedním nebo se dvěma dětmi, nebo rodiny, které mají jen psa. Podle zákonů matematiky bude **rok co rok pořád méně a méně mladých lidí**. A mezi nimi také **ještě méně těch, kteří budou ochotni nést odpovědnost na stavbách**, jako jsou **inženýři nebo obsluha stavebních strojů, v nutných případech až 12 hodin denně**. V nejbližších desetiletích bude nutně stále **méně firem**, které budou mít dostatek natolik vysoce kvalifikovaných zaměstnanců, aby dokázaly stavět dobré silnice. Potřebují zaměstnance, kteří nejen znají důležité předpisy, nýbrž i vědí, jak požadavky v nich obsažené plnit. Co pomůže, když se vypíše výběrové řízení na cementobetonový kryt vyšší kvality, když žádná stavební firma k tomu nebude mít potřebné zkušené odborníky?

2.3 Protesty občanů

Žijeme v **blahobytu**, který byl **před několika desetiletími ještě nemyslitelný**. Dříve jsme museli každý týden odpracovat **48 hodin**, protože jsme ještě museli **všechno vyrábět sami**. Dnes většina lidí často týdně odpracuje již jen **38 hodin**. Spoustu zboží odebíráme ze **zemí s nižšími mzdami**. **Předpokladem** toho je **volná doprava zboží**.

Pracovní doba 38 hodin týdně také znamená mnohem **více volného času**. Lidé mají více času na to, aby **protestovali proti změnám**, a tedy i **proti stavbě nových silnic**. Bez ohledu na to, zda tím **nepodřezávají větev, na níž všichni sedíme**.

Příklad: V Bavorsku se na stavbu **dálnice A 94 z Mnichova** do východobavorské průmyslové zóny, tedy nejkratší spojnice s **Vídni a Maďarskem, potřebovalo 34 let**. Místní obyvatelé stále znovu a znovu proti této stavbě **protestovali a podávali žaloby u soudů**. Povzbuzovali je k tomu právníci, tisk a televize. Během těchto 34 let byla stále intenzivnější doprava vedena **příliš úzkými silnicemi a hustě osídlenými obcemi**. Došlo k mnoha nehodám, které si vyžádaly **více smrtelných obětí než pád mostu v italském Janově**.

2.4 Nedostatek surovin

Aby bylo možné stavět, potřebujeme kamenivo, tedy **písek, štěrk, drť**, obzvláště mnoho pro stavby silnic. Na jeden kilometr cementobetonového krytu je často zapotřebí 400 naložených nákladních vozidel, [1]. Naši občané však nechtějí **žádné pískovny ani kamenolomy**, ty je podle nich třeba uzavřít, **v žádném případě nerozšiřovat**. Svůj protest zdůvodňují ochranou krajiny a podávají žaloby.

V důsledku toho může stále méně podniků dodávat štěrk, písek a drť a materiál se často musí **přepravovat ze vzdálených těžišť**. To znamená **více nákladní dopravy**.

Provádět kryty vozovek **slabší**, aby se spotřebovalo méně surovin, by bylo **velikou chybou**. Protože od slabších krytů lze očekávat kratší životnost, tedy jejich dřívější obnovu. **Každá obnova zatěžuje jak životní prostředí, tak občany**.

2.5 Požadavky řidičů

Musíme a chceme občanům nabídnout silnice a dálnice s **vysokou kvalitou**, které jsou i za mokra **drsné** a vykazují **nízkou hlučnost**. Ale pro řidiče je ještě mnohem důležitější, aby **mohli jet bez překážek** a aby stále znovu nezůstávali stát v **dopravních kolonách**, obr. 2.



Obr. 2: Dopravní kolony budí u řidičů hněv. Zpožděné práce zatěžují také stále více ekonomiku.

Kolony způsobené **příliš vysokou intenzitou dopravy**, kolony kvůli **stavebním pracím**, kolony kvůli **nehodám**. Naše silnice často už dnes nepostačují stávající intenzitě dopravy. V budoucnu bude **dopravních kolon stále více a stále více bude také stížností občanů na ně**.

Viníci sedí jinde, ale nadávat se bude na nás, jsme to my, kdo schytá výprask.

Negativní předpoklady pro výstavbu silnic změnit nemůžeme. Ale musíme je při své práci brát v úvahu [2]. Nesmíme strkat hlavu do písku.

3. CO MŮŽEME UDĚLAT? CO MUSÍME UDĚLAT?

3.1 Životnost

Dálnice a silnice musíme stavět tak, aby mohly být **využívány déle**, a to ještě déle než ty, které jsme stavěli doposud. Totéž platí i pro mosty. I ty musíme také stavět tak, aby potřebovaly co nejméně oprav a co nejméně údržby.

Jako odborníci přece víme, jaký podíl infrastruktury z 19. století, kolik vodních staveb nebo železničních tratí využíváme **ještě dnes**. Mnoho našich železničních mostů je **starých již více než 100 let**. Co bychom dělali, kdybychom je všechny museli postavit nově?

V současné době se staví 64km dlouhý **Brennerský patní tunel**, který bude sloužit železnici z Rakouska do Itálie. Staví se tak, aby jeho očekávaná životnost byla **nejméně 200 let**. Vozovky silničních komunikací nemohou dopravě odolávat po takto dlouhou dobu, ale **s betonem dosáhneme delší životnosti**. Poslední betonová vozovka postavená pro první německé dálnice na A 11 v roce 1936 byla obnovena až v roce 2009, tedy po **73 letech** [3]. **Beton nestárne**.

Stavět kryty vozovek **tak trvanlivé, jak je jen možné**, je důležitější než při stavbě ušetřit **náklady**, a důležitější než **ochrana životního prostředí** při stavbě. **Neboť každá obnova, každé práce na silnici, stojí peníze a představují zátěž nejen pro občany, ale i pro životní prostředí. Čím později toto bude zapotřebí, tím lépe.**

Cementobetonový kryt tlustší o 3 až 5 cm má delší životnost a snáze odolává přetížení. Stojí jenom o málo víc, není to ani o 5 %. A pokud by to jednou mělo být 10 %, pokud takto vozovka bude intenzivní dopravě odolávat o **20 let déle**, tedy pokud bude muset být obnovena až o 20 let později, je to pořád ještě velká výhoda pro dopravu a pro klima, v nichž budou žít příští generace.

Pokud po desetiletích betonové silnice už nebudou dostatečně rovné nebo dostatečně drsné, můžeme je zbrousit, obr. 3.



Obr. 3: Fréza s diamantovými řeznými kotouči pro obnovu rovnosti, drsnosti a snížení hluchosti

Technologie **broušení a drážkování (Grinding, Grooving)** nám poskytují dostatečné možnosti obnovy povrchů [4]. Jejich pomocí dosáhneme znovu téměř původní kvality povrchu vozovky, obr. 4.



Obr. 4: Povrch zlepšený broušením

3.2 Cíle výzkumu

Nejdůležitějším cílem výzkumu musí být vytvářet ještě lepší předpoklady **pro delší technicky možnou délku životnosti**. **Chování v praxi** je zde rozhodující, je to nejlepší učitel. Teorie, výpočty, zkušební metody a soubory předpisů již nejsou za **pomocné prostředky**, i když jsou velmi důležité. Staré **betonové vozovky**, které se musí obnovit, a také vozovky, které jsou v provozu již **20 a 40 let**, by se měly v budoucnu podrobit **kritickému zkoumání**. Zodpovědět by se mělo například: zda by se ve speciálních případech nemělo vylepšit **odvodnění**? Jak **různé podkladní vrstvy** ovlivňují dlouhodobé chování krytu vozovky?

Mezinárodní spolupráce, **výměna zkušeností s ostatními zeměmi, které mají obdobné podmínky**, jsou pro tyto účely obzvlášť cenné.

3.3 Ochrana životního prostředí

Silnice se musí stavět tak, aby **spotřeba energie** a emise **CO₂** zůstaly co nejnižší. Vznikající emise CO₂ se přitom **nesmějí hodnotit izolovaně**. Pro životní prostředí je **směrodatný součet**, kvantitativní vývoj, tedy veškeré emise CO₂ související se **stavbou, ale i vznikající během jejího užívání**. I zde hraje rozhodující roli, jak dlouho dokáže vozovka bez obnovy sloužit dopravě.

Pro emise z dopravy je důležitým ukazatelem **odpor valivého tření vozidel**. Seběmenší snížení **odporu valivého tření**, jako například díky dobrým betonovým silnicím, přináší již jen při intenzitě dopravy pouhých **5.000 nákladních vozidel denně** během desetiletí velmi **vysoké úspory**. Emise při stavbě a výrobě stavebních materiálů jsou ve srovnání s tímto faktorem navíc velmi malé.

Pro silnice s dlouhou životností potřebujeme dobré cementy. Silniční cementy musí mít vysoký obsah slinku. Při pálení slinku vzniká CO₂. Cementářský průmysl je proto terčem kritiky lidí, kteří vidí **pouze** výrobu cementu, **nikoli celek, dopravu a delší životnost dobrých betonových vozovek**.

3.4 Požadavky na stavbu nových betonových vozovek

Naše konstrukce staveb musí být **masivnější**, aby se minimalizovala **rizika**. Musíme se obejít s menším počtem vysoce kvalifikovaných inženýrů i s menším počtem kvalifikovaných dělníků.

Musí se **omezit technická komplexnost** stavebních technologií. Naše stavební technologie musí být **méně citlivé na odchylky** od plánovaného provedení.

Musíme **zjednodušit naše stavební předpisy** a musíme je **lépe adaptovat na poměry na stavbě**. **Neopodstatněné požadavky na přesnost** se musí vyjmout. Řekněme si otevřeně, jak často byly předepsány požadavky, o nichž jsme věděli jen to, že jsou dobré pro dobré silnice, mnohdy jsme to také jen tušili, **aniž** bychom se ptali, zda jsou **také nezbytné** a zda by se cíle nemohlo dosáhnout jednodušším způsobem. A možná jsou všechny naše požadavky na **kamenivo skutečně nutné**? Jsou příliš vysoké požadavky pro trvanlivost silnic příčinou finančních nákladů a zatížení dlouhých přepravních cest skutečně nezbytné? Není lepší zajistit únosnost **většími tloušťkami vrstev**, a nikoli **těžko docílitelnými požadavky na pevnost betonu**? U hydraulicky (tzn. cementem) stmelených podkladních vrstev jsme si přece již ověřili, že dostatečná tloušťka je důležitější než vyšší pevnost.

Ano, **posvátnou krávu** musíme **porazit**. **Akademické hrátky** nepatří do předpisů pro stavby.

Praktickým poměrům musí také lépe odpovídat **zkušební postupy**. Zkouška **pevnosti betonu v příčném tahu na jádrových vývrtech** z hotového cementobetonového krytu je teoreticky zdůvodnitelná, pro praxi,

avšak **příliš citlivá** [5]. My přece víme, že tahové zkoušky betonu nejsou ani zdaleka tak masivní a spolehlivé jako zkoušky pevnosti v tlaku.

Shrnutí: Silnice nebudou **o to lepší**, když budou vždy přesněji popsány veškeré detaily a vždy rozsáhle zohledněny také nejnovější výsledky výzkumu. Budou tím lepší, čím více se požadavky omezí na to nejnужnější a zohlední se možnosti stavebních firem s kvalifikovanými pracovníky, které zatím ještě mají k dispozici.

3.5 Součinnost mezi objednatelem a zhotovitelem

Dobrá spolupráce mezi objednatelem a zhotovitelem a **atmosféra důvěry** přináší **výhody pro všechny zúčastněné**. Dobrá součinnost vede také k **lepšímu stavebnímu dílu**. **Sporům** je třeba pokud možno se **vyvarovat** [6]. Potřebujeme **to málo dobrých inženýrů**, kteří nám v budoucnu ještě zůstanou k tomu, aby práce na **stavbách probíhaly řádně**. Neměli by svůj čas marnit **řešením sporných případů s advokáty a na soudech**.

4. ZÁVĚR

Přicházím k závěru. Nesmíme se nechat mást lidmi, kteří dohlédnou pouze k bilancím ke konci roku, kteří myslí jen na palcové titulky v denním tisku nebo na příští parlamentní volby.

Ke **ctnostem dobrých stavebních inženýrů** vždycky patřilo, že dokázali k užitku příštích generací vidět daleko do budoucnosti.

ZDROJE

- [1] Hofmeister, Chr.: Verkehrswege im Wandel. Griffig 1/2019 S. 6. Gütegemeinschaft Verkehrswege aus Beton
- [2] Springenschmid, R.: Erkenntnisse aus der Geschichte des Betonstraßenbaues; Betonstraßentagung 2019, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Straße und Autobahn 1/2020, S. 42
- [3] Anger, R.: Betonfahrbahnen – eine Erfolgsgeschichte am Beispiel der BAB A 11 in Brandenburg; Straße und Autobahn 7/2010, S. 473
- [4] Skarabis, J.: Grinding – die Betonoberfläche der Zukunft? Straße und Autobahn 8/2019, S. 673
- [5] Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis, 2. Auflage, 2018 Beuth Verlag, Berlin
- [6] Österreichische Bautechnische Vereinigung. Merkblatt Kooperative Projektabwicklung, Wien 2018

Měření hlučnosti povrchů cementobetonových krytů vozovek metodou malé vzdálenosti (CPX)

Ing. Vítězslav Krivánek, Ph.D.

Centrum dopravního výzkumu v. v. i.

Tel. : +420 601 321 681

E-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

Příspěvek shrnuje poznatky získané dlouhodobým pravidelným sledováním a monitoringem změn hlučnosti povrchů vozovek s cementobetonovým krytem na dálniční síti v ČR. Dílčí prezentované výsledky pochází především ze sledování v rámci rekonstrukce D1 (Praha – Brno), kde je uplatňován povrch s obnaženým kamenivem (vymývaný beton) a jsou doplněny výsledky měření úpravy povrchu pomocí vlečené juty D1 (Brno – Ostrava), popřípadě provedenými dodatečnými úpravami povrchu vozovky broušením (nově uplatňována technologie grinding). Měření jsou prováděna metodou CPX (v souladu s normou ČSN ISO 11819-2 [7]), která je dle mezinárodní pracovní skupiny CEN TC 227/WG5 [4] i dle TP 259 [19] doporučovanou metodou pro charakterizaci hlučnosti povrchů vozovek pozemních komunikací.

METODA CPX

K monitoringu hlučnosti povrchů komunikací v EU je především využívána doporučená dynamická metoda Close-ProXimity method (CPX) [6]. Měření metodou CPX je na rozdíl od SPB [6] metody výrazně rychlejší, ekonomičtější, praktičtější, méně náročné na podmínky měření a lze snáze vyloučit dílčí rušivé vlivy. Nevýhodou CPX metody jsou především náročnější požadavky na vlastní měřicí vybavení a konstrukci, včetně potřebné přesnosti veškerého vybavení s možností synchronního měření akustických i neakustických parametrů [20]. Řada evropských zemí uvažuje o zařazení hlučnosti povrchu vozovky mezi proměnné sledované parametry v rámci systému hospodaření s vozovkami, proto i Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (dále CDV) se v rámci svých výzkumných činností aktivně od roku 2011 zabývá měřením hlučnosti jednotlivých typů povrchů vozovek pozemních komunikací na území ČR.

Základy metody měření jsou obsaženy v normě ISO 11819-2:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2 [7], která je doplněna specifikací ISO/TS 11819-3:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference tyres [8], jenž popisuje použití předepsané referenční pneumatiky při měření metodou CPX, jelikož je nutné jejich vhodné skladování včetně maximální opotřebovanosti, aby se korekce na tvrdost pneumatiky vešla do vymezeného intervalu [20]. Je nezbytné brát v potaz i technickou specifikaci ISO/TS 13471-1:2017 Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method [9], která stanovuje postupy pro určení vlivu teploty na emise hluku styku pneumatika/vozovka.

CDV využívá zavedený systém měření, který je popsán v certifikované metodice s názvem „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“, kde je zavedena také korekce na vlastní teplotu povrchu [12], který byl měřen. Je rozdíl, pokud na vozovku svítí v létě ostré slunce nebo se jedná

o povrch situovaný ve stínu, např. v tunelu, kdy u obou míst může být stejná teplota vzduchu, avšak teplota povrchu se může lišit až o 20°C [3]. CDV dlouhodobě využívá vlastní ověřený specializovaný přívěs [10], jež byl vytvořen na základě doporučení CEN TC 227/WG5 při přípravě uvedených předmětných ISO norem (chráněn UV č. 20507), na němž je namontována pneumatika Tigerpaw Uniroyal 225/60 R16 SRTT [2], což je standardní pneumatika pro referenční testy v automobilovém průmyslu (v souladu s ASTM F2493-08), která je plně v souladu s ISO/TS 11819-3, tedy i dříve provedená měření odpovídají požadavkům a doporučením uvedených v platné normě ISO 11819-2 z roku 2017.

Od roku 2011 do roku 2017 bylo pracovníky CDV změřeno a vyhodnoceno jak v rámci opakovaných periodických měření, tak i v rámci výzkumných aktivit (projekty TA01030459 [13], TE01020168 [11], TA04021486 [15]) v terénu na území ČR metodou CPX na celkovou délku přes 4 000 km jednotlivých typů vozovek (jak asfaltových, tak betonových) z hlediska jejich hlučnosti [13], [15]. Tato rozsáhlá datová základna byla využita při tvorbě příloh národního předpisu technických podmínek Ministerstva dopravy ČR – TP 259: Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností [19], které platí od prosince 2017.

TP 259 definuje požadavky na použité materiály a stanovuje způsob značení asfaltových směsí pro dané nízkohlučné obrusné vrstvy. Jsou uvedeny technické požadavky na jednotlivé typy asfaltové směsi, způsob údržby a ověřování účinku snížené hlučnosti. Pro fázi pokládky obrusných vrstev se sníženou hlučností jsou vyjmenována některá specifika, jež je důležité dodržet. Hodnocení hlučnosti povrchů vozovek v TP 259 [19] je jednoznačně popsáno v příloze B: „Postup pro prokazování a sledování účinku snížené hlučnosti na styku obrusné vrstvy a pneumatiky pojezdového vozidla.“, které se provádí dle metody CPX – ukázka měřicího systému je na obrázku 1.



Obr. 1: Ukázka měření v terénu metodou CPX v souladu s ISO 11819-2 pomocí měřicího přívěsu.

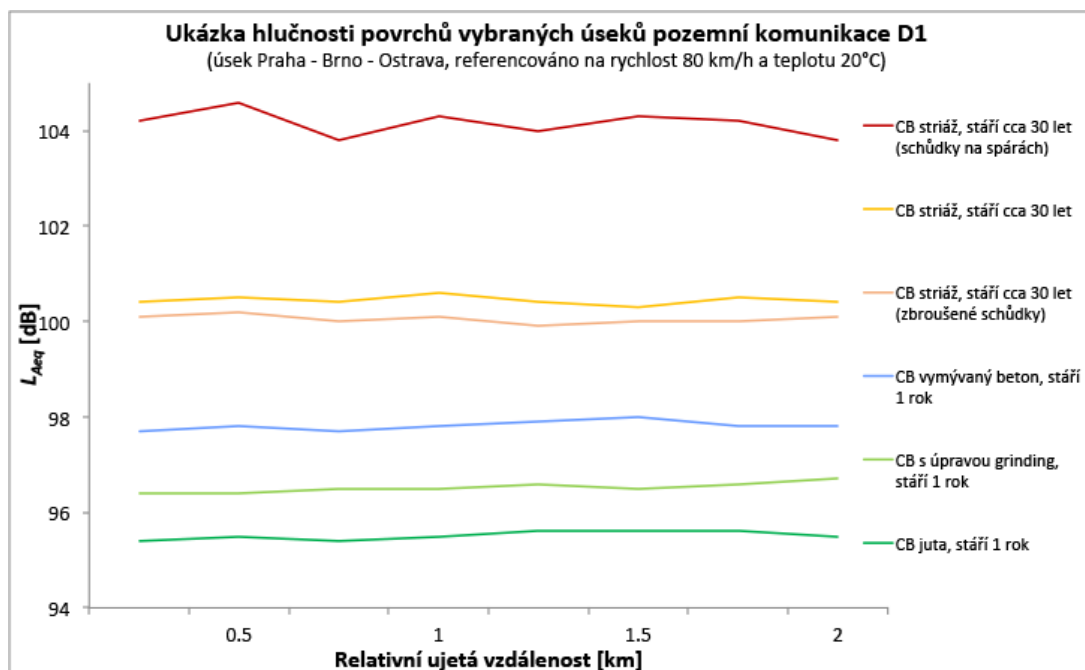
TP 259 zavádí národní srovnávací základnu a stanovuje „referenční ekvivalentní hladina akustického tlaku A na styku pneumatika/vozovka“, z důvodů hodnocení a porovnání akustické účinnosti jednotlivých technologií (tedy pro hodnocení vlastního produktu - asfaltové obrusné vrstvy). Z akustického hlediska není důležité, jak moc technicky špatný byl stav vozovky před provedením opravy (záměny obrusné vrst-

vy). Naopak pro porovnání účinnosti jednotlivých technologií obrusných vrstev se sníženou hlučností je důležité, jaké změny bylo dosaženo po rekonstrukci či obnově, a proto je nutné uvádět veškeré naměřené hodnoty, respektive uvádět rozdíl vůči referenční hodnotě, jelikož hodnocení pomocí absolutního rozdílu hodnot před a po pokládce nevypovídá o kvalitě nového povrchu vlastní obrusné vrstvy vozovky [14]. Absolutní srovnání v daném místě může sloužit jako pomocný údaj při hodnocení celkových změn a dopadů expozice hluku v daném prostoru do okolí pozemní komunikace. Měřením dle přílohy B v TP 259 jsme tedy schopni prokázat, že povrch je nízkohlučný a k jakému přínosu takový nový výrobek přispívá, ovšem nejsme schopni prokázat dodržení hygienických limitů na fasádě chráněných objektů, jež se provádí dle ISO 1996-2, kdy k celkové hlukové zátěži v daném místě může přispívat (a zpravidla přispívá) více zdrojů hluku současně.

V rámci CB krytů v současnosti obdobný předpis neexistuje, metoda CPX je ovšem univerzální a CDV měří i hodnotí v rámci svých výzkumných aktivit jak AB, tak CB kryty vozovek. Ke konci roku 2020 datová základna všech vyhodnocených měření narostla přibližně na 6 000 km i díky dalším výzkumným projektům (TL02000258, účelová neinvestiční dotace MD 2018–2020 [16]). Některá dílčí data by tak bylo možné využít i k případnému nastavení hodnocení CB krytů, respektive k nastavení jednotného přístupu pro všechny AB i CB vozovky z hlediska jejich hlučnosti na styku pneumatika/vozovka. Převládajícím zdrojem hluku je hluk generovaný kontaktem pneumatiky s vozovkou. U současných osobních vozidel se spalovacím či vznětovým motorem je to již od rychlosti cca 40 km/h, u vozidel s elektromotorem již dokonce od rychlostí cca 20 km/h [18]. Proto stav obrusné vrstvy vozovky pozemní komunikace s rozvojem elektromobility bude hrát stále významnější roli v celkové hlukové zátěži ze silničního provozu pro veškeré platné rychlostní limity. Změny akustických charakteristik povrchů vozovek v průběhu jejich užívání mají z tohoto důvodu bezprostřední vliv na celkovou generovanou úroveň hluku ze silničního provozu [4] a z toho vyplývá, že jejich hodnocení a posuzování má zásadní význam pro zmenšení negativních dopadů na životní prostředí, potažmo zdraví člověka.

DÍLČÍ VÝSLEDKY MĚŘENÍ METODOU CPX PRO VOZOVKY S CB KRYTEM

CPX představuje dynamickou metodu, tedy je tak možné mít kontinuální údaje vyhodnocované po určitých délkách, tj. rozdělit komunikaci na dílčí vyhodnocované úseky, což je pro hodnocení hlučnosti povrchu výhodnější, než mít hlučnost stanovenou pouze staticky, tedy v daném bodě [5]. Ukázka monitoringu složeného z různých míst a let pro dálnici D1 pro jednotlivé typy CB krytů je uvedena na obrázku 2. Je zřejmé, že hlučnost povrchů vozovek kolísá, a to většinou tím výrazněji, čím se jedná o starší, popřípadě poškozenější povrch, což má svoji logiku, jelikož vliv degradace povrchu a poškození s časem narůstá, častěji vznikají místa, která jsou z akustického hlediska výrazně horší. Díky tomu je v daném vyhodnocovaném úseku komunikace vyšší hlučnost nebo naopak, část komunikace vykazuje nižší poškození povrchu a nebo zde byly příznivější klimatické vlivy a z tohoto důvodu je hlučnost v daném úseku nižší.

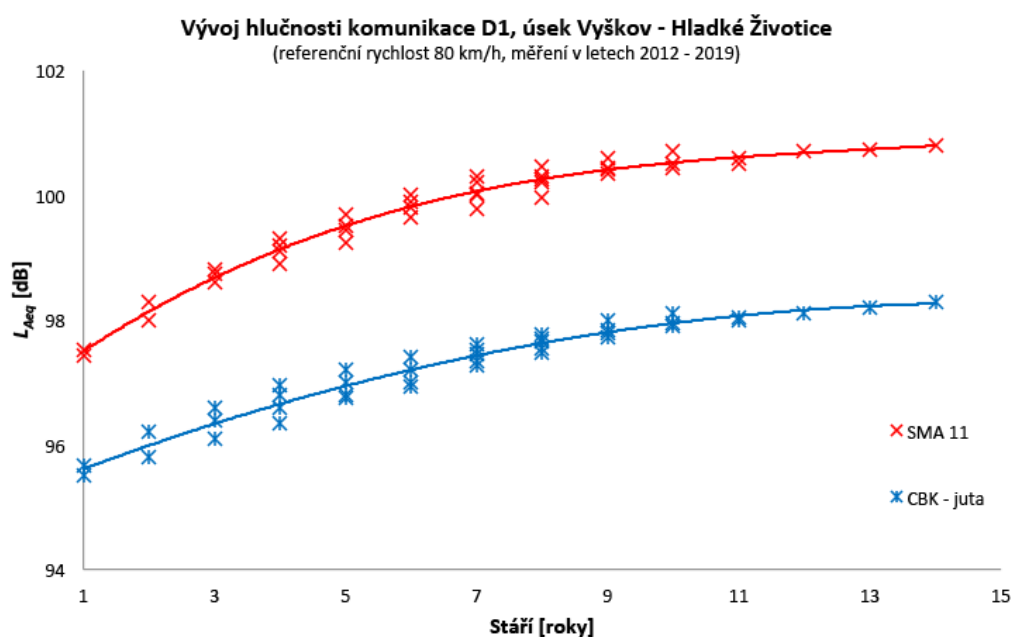


Obr. 2: Ukázka různé hlučnosti cementobetonových krytů získané pomocí metody CPX pro různý stav a stáří vozovky.

Z výsledků na obrázku 2 vyplývají i další zajímavé informace pro CB kryty. Nejvyšší hluk, který se šíří v důsledku styku pneumatiky s vozovkou, je na starém CB krytu s úpravou pomocí striáže, kde navíc vůči sobě jsou výškově posunuty jednotlivé desky, tzv. schůdky (naměřena hlučnost cca 104 dB) – v obrázku znázorněna červená křivka. Jde o „extrémní příklad“, kdy se jedná o část původní staré D1. Když na tomto místě došlo po čase ke zbroušení schůdků, povrch vozovky byl „vyrovnán“, došlo následně k výraznému snížení hlukové zátěže vznikající na styku pneumatika/vozovka v tomto extrémním případě skoro až o cca 4 dB – tedy lze říci, že vhodnou údržbou lze hlučnost povrchu snížit. Jsou-li cementobetonové kryty bez schůdků a nerovností, při nichž vznikají významné rázy, téměř až „impulsní hluk“, pak nevykazují vyšší hlučnost než běžné asfaltové vrstvy stejného stáří. V rámci modernizace D1 se využívá CB kryt s úpravou povrchu obnaženým kamenivem (vymývaný beton), který má nižší hlučnost, než při využití úpravy pomocí striáže, ale je o trochu hlučnější než úprava pomocí juty. Nově zkoušená technologie grindingu [1] u CB krytů z hlediska hluku je někde mezi technologií s obnaženým kamenivem a jutou, vše je názorně vidět v obrázku 2, kde jsou uvedeny reálné naměřené hodnoty v ČR. Hlučnost však není jediný parametr a je tak nutné si uvědomit, byť specializovanými asfaltovými obrusnými směsmi se sníženou hlučností, se lze dostat s hlukem výrazněji pod technologii CB juta (tj. specializované asfaltové směsi jsou tišší), že ve prospěch CB krytů vůči asfaltovým vozovkám hovoří delší životnost. Dalším důležitým parametrem je bezpečnost – především protismykové vlastnosti povrchů vozovek. Technologie striáže je sice nejhlučnější, avšak i po 30 letech vykazují některé úseky dobré protismykové vlastnosti, kdežto u technologie s vlečenou jutou jsou v současné době již po dvou letech protismykové vlastnosti nevyhovující. Technologie vymývaného betonu se v ČR začala ve větší míře uplatňovat s modernizací D1 (tj. přibližně 5 let) a momentálně s ohledem na nedostatek vhodného kameniva do horní vrstvy krytu se nově zkouší technologie grindingu aplikovaná přímo po pokládce CB krytu (již dříve se používala jako technologie údržby). U těchto technologií tak z hlediska zaznamenávání vývoje jejich hlučnosti v čase bude třeba sběr a analýza dat ideálně po dobu plánované životnosti.

Úprava pomocí juty u CB vozovek se používá delší dobu, např. na D1 mezi Brnem a Ostravou, kde jsou úseky různého stáří. V rámci srovnání různých úseků, které tvoří tuto dálnici (odlišného stáří na stejné pozemní komunikaci), je možné prezentovat křivku zachycující dlouhodobé změny z hlediska akustického

chování povrchu vozovky, což nám dává lepší a názornější představu postupného akustického vývoje. Jelikož i zde v rámci probíhajícího systematického sběru dat doposud nemáme k dispozici takto dlouhodobé řady změřené na jednom místě (životnost tohoto typu CB krytu je stále delší než prvopočátky měření), jsou tato data hlučnosti povrchu vozovky hodnocena a zpracována z více úseků komunikace. Na obrázku 3 je znázorněno dlouhodobé srovnání hlučnosti běžné obrusné směsi (SMA 11) a nízkohlučné úpravy cementobetonového krytu (vlečené juty) na dálnici D1, jedná se o složené měření z let 2012–2019 na úsecích bez výraznějších poruch. Naznačeného dlouhodobého vývoje v úseku dálnice D1 Vyškov – Hladké Životice je získáno sloučením opakovaných měření na různě starých krytových souvrstvích, díky kterému je dosaženo komplexnějšího a podrobnějšího sledování akustické životnosti daného povrchu (delší časová křivka pro dané stáří povrchu).



Obr. 3: Dlouhodobé srovnání vývoje hlučnosti obrusné vrstvy SMA a nízkohlučné úpravy cementobetonového krytu (juty) na dálnici D1, měření z let 2012–2019.

Díky postupné modernizaci komunikace D1 mezi Prahou a Brnem lze sledovat a doplňovat údaje o akustických změnách mezi asfaltovým a betonovým krytem vozovky, kdy je tak možné dát dílčí podklady (data z měření) pro hodnocení, zda je z akustického hlediska lepší použít asfalt nebo beton. V rámci modernizace D1 je vrchní obrusná asfaltová směs typu SMA 11 S, v případě CB vozovky se jedná o vymývaný beton. Při využití všech historických dat z výzkumných projektů (TA01030459, TA04021486, TE01020168, TL02000258, účelová neinvestiční dotace MD 2018–2020) je možné seřadit měření v jednotlivých letech dohromady – pravidelná opakovaná měření na jednotlivých úsecích, pak lze tedy seřadit naměřené hlučnosti do jednotlivých skupin, tj. vytvořit vztah mezi dobou používání (stářím povrchu) a hodnotou naměřené hladiny akustického tlaku, která by měla korespondovat s generovanou hlukovou zátěží automobilů pohybujících se po této pozemní komunikaci. Vývoj celkových agregovaných výsledků hlučnosti v rámci rekonstrukce D1 je patrný z tabulky 1. Výsledky prokazují, že celková průměrná hodnota hlučnosti pro povrch asfaltový koberec mastixový a cementobetonový kryt s obnaženým kamenivem je de facto totožná. Dále je však zřejmé, že lokálně naměřené hodnoty mohou vykazovat významnější rozdíly, které sice odpovídají nejistotám měření, přesto však je patrná vyšší diference u CB vozovky. Jedná se o výsledky měření provedených přímo v terénu (in-situ) a je tedy nutné počítat s tím, že výsledky nebudou vždy

identické. Proto je rozptyl naměřených hodnot získaných na různých místech dálnice D1 očekávaný a je způsoben mnoha vlivy, jako např. klimatickými podmínkami v době měření i jejich dlouhodobým působením v daném místě měření, vlastní počáteční kvalitou vrstvy po pokládce, intenzitou a složením dopravy v místě měření aj. Vyšší rozptyl hlučnosti u CB vozovky může být závislý na preciznosti pokládky tohoto krytu. Vliv akustického stavu vozovky je ovlivněn tím, zda jde o ideálně rovný povrch nebo zda vozidlo při přejezdu přes betonové desky lehce poskakuje a vytváří tak vyšší akustickou energii [17]. Tyto rozdílné vstupní vlastnosti se dále v čase příliš nemění, jelikož proces postupné běžné degradace povrchu vozovky je v podstatě stálý, což je zřejmé i z výsledků v tabulce 1. V budoucnu se hodnoty mohou více lišit v souvislosti s nárůstem poruch vozovky (vyjeté koleje, výtluky, rozlámání či posun CB desek, popřípadě vznik schůdků, aj.). Samozřejmě rozptyl měření souvisí s celkovým počtem provedených měření. I z toho je zřejmé (viz tabulka 1), že není moudré a vhodné provádět hodnocení jakéhokoli typu povrchu vozovky pouze v rámci jedné lokality, potažmo jednoho měření, ale pro minimalizaci rizik špatného hodnocení (a to v pozitivním i negativním smyslu – tj. nadhodnocení, respektive podhodnocení výsledků) je nutný dostatečně velký statistický soubor (různé lokality) se sérií opakovaných měření (pravidelné roční měřicí kampaně).

Tabulka 1: Souhrnný přehled naměřených dat z jednotlivých úseků na dálnici D1, v letech 2014–2019 pro obrusnou vrstvu SMA a cementobetonový kryt s povrchem s obnaženým kamenivem (vymývaný beton).

Povrch	Stáří v letech a odpovídající hlučnost v decibelech					
	0	1	2	3	4	5
CBK - vymývaný (průměr)	97,6	98,0	98,5	98,9	99,0	99,3
CBK - vymývaný (minimum)	96,7	97,1	97,7	97,8	98,0	99,1
CBK - vymývaný (maximum)	98,7	99,1	99,3	99,5	99,6	99,7
CBK - vymývaný (rozdíl)	2,0	2,0	1,6	1,7	1,6	0,6
SMA 11S (průměr)	97,7	98,2	98,6	98,9	99,1	99,3
SMA 11S (minimum)	97,4	97,8	98,1	98,4	98,6	99,1
SMA 11S (maximum)	98,2	98,8	99,1	99,2	99,5	99,5
SMA 11S (rozdíl)	0,8	1,0	1,0	0,8	0,9	0,4
Počet měřených úseků	11	26	18	12	8	6

ZÁVĚR

Metoda CPX je průkazná i pro sledování dlouhodobého akustického vývoje povrchů cementobetonových krytů vozovek. Na rozdíl od asfaltových vozovek nemají vozovky s CB krytem v současné době v ČR usměrňující předpis (v částečné analogii na TP 259). Obecně však lze říci, že by bylo vhodné nastavit podmínky/parametry pro všechny typy povrchů, než jen specializovaně pro úzkou separátní skupinu „nízkohlučných povrchů“. Bohužel v současné době nelze poskytnout na všechny otázky ohledně akustického chování povrchů vozovek jednoznačnou odpověď, pro potvrzení či vyvrácení některých předpokladů lze doporučit i nadále pokračovat v dlouhodobém sledování i v dalších letech, jelikož minimálně u CB vozovek je předpokládána životnost vozovky výrazně vyšší než u AB vozovek a jejich technologií. Nelze pak relevantně odpovědět na otázky, jak bude vypadat hlučnost na D1 za 20 roků právě z důvodu současné modernizace D1, kdy jsou aplikovány nově používané technologie CB krytu s obnaženým kamenivem. První zkušební úsek tohoto typu byl v ČR realizován v roce 2012. (U technologie grindingu aplikované přímo po pokládce CB krytu byl první zkušební úsek realizován na konci roku 2018.)

Na druhou stranu průběžné výsledky potvrzují, že z hlediska hlučnosti na styku pneumatika/vozovka, jenž tvoří dominantní složku hluku z automobilového provozu na dálnici (v souvislosti s rychlostí dopravního proudu), kde se CB vozovky díky vyšší životnosti/únosnosti primárně vyžívají, jsou hodnoty hlučnosti pro asfaltový koberec mastixový a cementobetonový kryt s obnaženým kamenivem de facto stejné. Tj. není nezbytně nutné realizovat běžné asfaltové povrchy na dálniční síti z důvodu (významně) nižší hlučnosti. Změřené údaje v rámci modernizace D1 tento argument podporují.

I u cementobetonových krytů vozovek lze dosáhnout snížení hlučnosti. Použije-li se místo technologie vymývaného povrchu technologie s vlečenou jutou, lze dosáhnout snížení hluku v úrovni až 3,0 dB, v případě využití technologie grindingu (místo technologie vymývaného betonu) se na prvních pokusných úsecích prokázalo snížení hluku v úrovni cca 1,5 dB.

Všechny tyto nové technologie bude vhodné z dlouhodobého hlediska dále sledovat, a to i ve vztahu k trvanlivosti protismykových vlastností povrchů vozovek.

ZDROJE

- [1] ALTE-TEIGELER, R., ALTE-TEIGELER, O., *Grinding – The new technique for low-noise and even concrete surfaces (Broušení – Nová technologie zajišťující nízkou hladinu hluku a rovné cementobetonové kryty)*, Betonové vozovky, 7. konference s mezinárodní účastí, 2018, Praha. ISBN 978-80-906541-2-9.
- [2] ASTM F2493-08 Standard Specification for P225/60R16 97S Radial Standard Reference Test Tire.
- [3] BÜHLMANN, E., ZIEGLER, T., Temperature effects on tyre/road noise measurements. *Inter Noise 2013*, 15. – 18. 9. 2013, 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Innsbruck, Austria.
- [4] HAIDER, M. et al., Status of the EU-Project ROSANNE. *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 2946-2955, ISSN: 2352-1465, DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.415.
- [5] HAMMER, E., STEINER, S., DIAS, M., BÜHLMANN, E., Long-term acoustical performance a low noise road surfaces in urban areas in Switzerland, *Proceedings of Euronoise 2015*, C. Glorieux, Ed., Maastricht, 31. 5. - 3. 6. 2015, pp. 1315 - 1320, ISSN: 2226-5147.
- [6] ISO 11819-1:1997, Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 1: Statistical Pass-By method.
- [7] ISO/CD 11819-2:2017 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.
- [8] ISO/TS 11819-3:2017, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference Tyres.
- [9] ISO/TS 13471-1:2017 Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method.
- [10] KŘIVÁNEK, V., Měření hlučnosti styku pneumatika/vozovka metodou CPX s využitím systému PULSE LAN-XI. In *Setkání uživatelů PULSE*, Blansko 28. - 31. 5. 2012. Spectris Praha spol. s.r.o., květen, 2012, s. 36 – 41. ISBN 978-80-904648-2-7.
- [11] KŘIVÁNEK, V., Změny hlukové absorpčních vlastností silničních povrchů a vliv čištění povrchů na zlepšení negativních dopadů hluku na životní prostředí, technický list k WP 5 projektu CESTI TE01020168, 2017.
- [12] KŘIVÁNEK, V., et al. *Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže*, 55 s. Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, prosinec 2014, ISBN 978-80-86502-82-3.
- [13] KŘIVÁNEK, V., et al., *Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání*. Závěrečná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2015. 88 s. Zadavatel: Technologická agentura ČR.
- [14] KŘIVÁNEK, V. et al. *Dlouhodobé hodnocení hlučnosti povrchů vozovek. Certifikovaná metodika*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2017. 52 s. ISBN 978-80-88074-53-3.
- [15] KŘIVÁNEK, V., et al, *Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek*. Zkrácená odborná závěrečná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2018. 12 s. Zadavatel: Technologická agentura ČR.
- [16] KŘIVÁNEK, V., et al., *Analýza a monitoring změn hlučnosti povrchů pozemních komunikací*. Závěrečná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2019. 39 s. Zadavatel: MD ČR.

- [17] KŘIVÁNEK, V., MARKOVÁ, P., EFFENBERGER, K., Dlouhodobá změna hlučnosti povrchů pozemních komunikací a jejich hodnocení. *Hygiena*. 2019, 64(1), 5-9. DOI: 10.21101/hygiena.a1612. ISSN 18026281.
- [18] MISDARIIS, N., PARDO, L-F.: The sound of silence of electric vehicles – Issues and answers. InterNoise, 2017, China.
- [19] VALENTIN, J., MONDSCHIEIN, P., BUREŠ, P., KŘIVÁNEK, V., Technické podmínky 259 *Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností*, schváleno Ministerstvem dopravy čj. 121/2017-120-TN ze dne 21. listopadu 2017 s účinností od 1. prosince 2017, 26 s
- [20] WEHR R., FUCHS A., A combined approach for CPX tyre hardness and temperature correction. In: *Proceedings of the INTER-NOISE 2016 - 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future*, 2016, pp. 2986 – 2991.

Poděkování

Tento příspěvek čerpá z dat měření, které byly získány na základě řešení projektu Technologické agentury ČR č. TL02000258 „Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek“, č. TA04021486 „Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek“, č. TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu“, č. TA01030459 „Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání“ a projektu „Analýza a monitoring změn hlučnosti povrchů pozemních komunikací“ financovaného Ministerstvem dopravy účelovou neinvestiční dotací na podporu rozvoje činnosti veřejné výzkumné instituce v resortu dopravy – Centra dopravního výzkumu, v. v. i. na základě Rozhodnutí č. j. 199/2019-710-VV/1.

Tento příspěvek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

Concrete pavements in tunnels: benefits, design and construction guidelines based on some Belgian case-studies

Prof. Anne Beeldens, PhD, eng.¹

¹ consulting engineer, AB-Roads, Belgium

E-mail: A.Beeldens@ab-roads.com

Sustainability is one of the key parameters for the design of pavements. Not only the longevity, but also safety, environmental impact, comfort, land use,... become more and more important for the implementation of new roads. To minimise the impact on the environment and to maximise the social acceptance of the road more and more highways, city highways, ring roads and even local roads are constructed as tunnels. This does only minimise the environmental impact, by lowering the noise and guiding the air, but gives also the possibility to redesign the landscape at the surface.

To ensure the safety and reliable availability to traffic, a good design and an appropriate choice of materials for the tunnel pavement is needed. Concrete pavements and especially continuous reinforced concrete pavements are highly suitable for this application. The low maintenance, the high reliability, the good durability as well as the incombustibility and the non-toxicity contribute to the safety in the tunnels and the overall sustainability of the road network.

This paper focusses first on the overall qualities and design aspects of concrete pavements in tunnels. Consequently two projects are presented: the newly built highway A11/E34 between Knokke and Zeebrugge at the Belgian coast, where CRCP is applied in the tunnels as well in the open trench. The second project is the closure of the ring road of Antwerp by the Oosterweel link, which is an important liaison in the Trans European Transport Network. In this project, tunnels are not only used to cross the river Scheldt and the Albert Canal, but also the existing ring road, with a viaduct, will be reconstructed as a tunnel allowing to give land for leisure back to the city.

Keywords: Tunnels, CRCP, concept and execution details

1 INTRODUCTION

Boosted by the increasing global awareness of sustainability principles and the importance for limiting and mitigating the effect of the climate change, the road owners are enlarging the design requirements taking into account the impact on the environment, the needs of the surrounding community and the economic parameters over the whole lifetime of the structure.

This paper presents two projects from Belgium, where tunnels (open or closed) were introduced to mitigate the impact of the traffic on the surrounding without jeopardizing the mobility. In both cases, CRCP is or will be used in the tunnels in order to obtain a durable pavement with reduced maintenance, high safety level, good ride qualities and low noise production.

The first project is the highway E34, connecting the existing highway E34 with the E40 and improving in that way the accessibility of the port of Zeebrugge at the coast of Belgium. This increases safety, by separating the heavy sea port traffic from the local traffic without limiting the expansion possibilities of the port. In addition, special attention is given to the environmental impact and to the multimodality of the project, taking into account the demands of the port industry – a good and fluent connection with a high reliability – of the farming industry – as few as possible splitting up and good accessibility to the farming land – of the nature reserves – preserving a good habitat, especially for the birds – of the local Polder villages – reducing the impact as much as possible – and of the tourists – preserving the wide views on the Polder and giving the possibility to cycle through them.

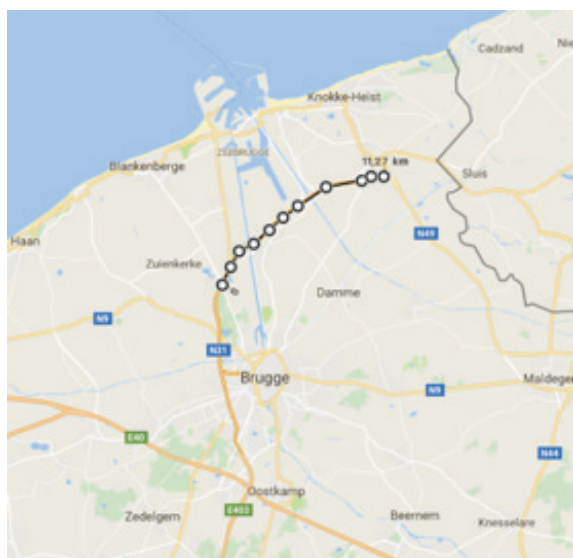


Figure 1: The new segment of the E34 (A11)

Therefore, the project is much more than the new connection between the E34 and the E40. A re-evaluation of the underlying road network was done and a large increase of the bicycle road network was developed.

For the tunnels and the open trench, Continuously Reinforced Concrete was chosen as pavement (CRCP).

The second project is the Oosterweel connection, named after an abandoned village in what is now the port area of Antwerp. It is a project that aims to complete the circle of the Antwerp Ring. It will create a new passage on the north-western part of the Ring allowing freight traffic from the left bank of the river Scheldt to travel north to the Netherlands and east to Germany without having to pass around the south of the city. The initial plan was to construct several viaducts, but the demands for a better quality of life in the city enforced the authorities to abandon the viaduct idea and to shift to several tunnels. In the same idea of minimizing the impact of the traffic on the environment, the existing ring road will be lowered in an open trench, which will then finally be covered, not only reducing in that way the level of the traffic noise, but also giving back space to the city which will result in a green ring around Antwerp. Also in this project, CRCP is chosen as the main pavement material, not only for the tunnel sections but for all pavements of the highway in order to resist the heavy traffic for a lifetime of 30 to 40 years.

2 REQUIREMENTS FOR TUNNEL PAVEMENTS

2.1 General requirements

A tunnel pavement has in principle no special demands compared to the pavement outside the tunnel, except for some different circumstances to be taken into account. A major one is the safety in the tunnel, in particular the possibility for a good evacuation and rescue when a fire starts. Another important aspect is the availability of the road network, which especially in a tunnel with limited access points implies a low maintenance and long service life.

Concrete pavements, doweled JPCP (jointed plain concrete pavements) and especially CRCP (continuously reinforced concrete pavements) are very well suited to be used in tunnels. Concrete is a non-combustible material, which does not emit toxic gases when subjected to fire and which retains a very important part of its structural capacity even at high temperatures (1). Concrete is not flammable, and therefore does not contribute to the fire load which, inside the tunnel, determines the risk of fire and the magnitude and consequences arising from it. In Austria as well as in Spain, regulations are put in place in which concrete is to be used obligatory in tunnels longer than 1 km in order to ensure the necessary safety.

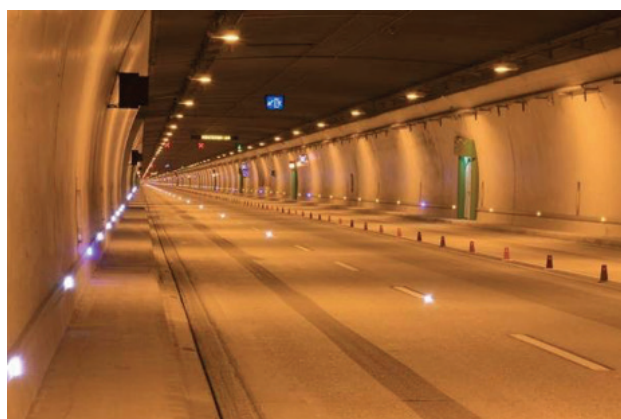


Figure 2: The Juan Carlos I Tunnel in Spain with a jointed slab concrete pavement (1)

Concrete pavements in tunnels have additional advantages:

- Due to the brightness of the concrete, the lighting can be reduced, without jeopardizing the visibility. This results in fewer lights and less energy consumption;
- Concrete pavements, when constructed with polishing resisting aggregates, have a very high friction coefficient, resulting in a good skid resistance, which is maintained over the life time. As there is normally no water on the pavement, the breaking distance will be shorter in the tunnel as for the higher friction coefficient;
- Concrete pavements require low maintenance, mainly limited to the maintenance of the joints;
- Concrete pavements add weight to the tunnel, which is often wanted to prevent floating of the tunnel.

2.2 Tunnel pavement structure

The design of the concrete pavement does not alter from the classic design. However, the temperature gradient over the thickness of the pavement is much more limited, as there is no direct sun in the tunnel and the structure can profit from the presence of the concrete floor of the tunnel, providing a very stiff base layer. Therefore, the thickness of the concrete can be slightly reduced and the base layer itself can be omitted.

The concrete pavement can be a doweled jointed plain concrete pavement, but in order to minimise the maintenance even more, a continuously reinforced concrete pavement is the standard for highly trafficked roads in Belgium.

Following pavement structures with a continuously reinforced concrete pavement are typical in Belgium:

Outside of tunnel on soil	Inside the tunnel
25 cm CRCP, with 0,75% of reinforcement, one lift or two lift (wet-in-wet) concrete	21 to 25 cm CRCP
50 mm sandwich layer in dense asphalt	50 mm sandwich layer in dense asphalt 50 mm porous asphalt as drainage layer or water impermeable protection of the concrete tunnel floor
25 cm of lean concrete	concrete tunnel floor
> 20 cm drainage sand	
Geotextile on the soil	
Longitudinal reinforcement ratio : 0.75%	
9 cm covering for double layered CRCP	8 to 9 cm covering
Single or double layered	Single layered (except in open trench where a single or double layered CRCP is applied)

The addition of porous asphalt beneath the sandwich layer is a technique coming from the asphalt pavements in tunnels, if there is a risk of water infiltration. The porous asphalt layer will avoid that a water pressure is directly built up on the asphalt. On the other hand, the presence of the porous asphalt will distribute the water in such a way that it will not be possible any more to indicate the exact spot of the leakage. Moreover, the concrete pavement will be less influenced by a water pressure due to the presence of water coming through a crack or a joint in the tunnel as will be an asphalt pavement. Therefore it has been decided to eliminate the porous asphalt interlayer in the case of the project Oosterweel and to put the sandwich layer directly on the tunnel floor, with an impermeable protection layer on the tunnel floor.

2.3 Execution of the concrete pavement in the tunnel

The construction of concrete in a tunnel is similar to the construction of a classic pavement. However, the logistics may be more complicated, due to the limited space available in width and in height. More details are given in (1)

If CRCP is used the concrete needs to be placed in two phases to allow the transport of the material. If the clearance allows it, the transport is done in normal dump trucks. Alternative solutions include the following:

- concrete mixer trucks (although the output may be reduced: the discharge time of a truck with a capacity of 8 m³ can exceed 10 minutes when long delivery chutes are needed)
- side dump trucks (fig. 3)
- ejector trucks, with a box and a piston which expels the concrete into the paver (fig. 4).

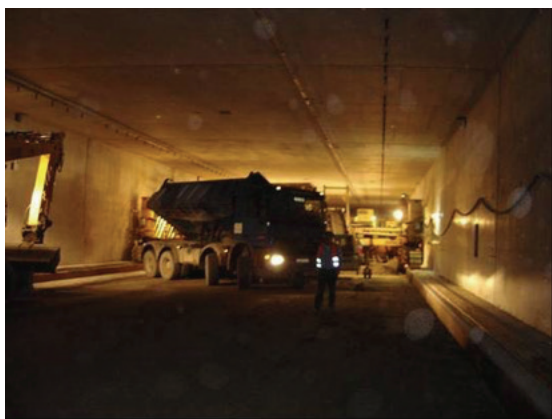


Figure 3: Side dump truck (1)



Figure 4: Ejector truck

The concrete pavement can be placed in one or in two layers, wet-in-wet. If space is limited, a mobile transfer conveyors can be used to allow concrete to pass over elements placed in front of the paver (e.g. dowels). A similar option can be adopted when constructing the pavement in two layers simultaneously. For the supply to the rear paver of concrete for the upper layer, a conveyor belt assembled on the front paver can be used (fig. 5).



Figure 5: Two layer concrete pavement, wet-in-wet: supply of concrete of the upper layer over the first slipform paver

The use of concrete with an air entrainer is advised outside but also inside the tunnels. The air entrainer will not only increase the resistance to scaling in the presence of de-icing salts, but it will also decrease the internal pressure which results from the increase of temperature during a fire, due to the formation of small pores and air bubbles, which act as expansion chambers.

The surface finishing is by preference an exposed aggregate surface in order to decrease the rolling noise as much as possible. The concrete composition has to be adopted to this method of surface finishing, by having at least 20% of aggregates between 4 and 6 mm in the case of a one layered concrete, or by limiting the size of the aggregates in the top layer to 6,3 mm or 10 mm maximum.

2.4 Special requirements for CRCP in tunnels

In Belgium, the standard structure for a heavily trafficked motorway is CRCP. The concept has altered slightly over the years, resulting in the structure as shown in Table 1. The longitudinal reinforcement percentage is 0,75%.

In order to optimize the crack pattern, crack initiating saw cuts are applied just after concreting. These saw cuts are placed every 1,20m and have a depth of 40 mm and a length of 400 mm. The crack initiators have to be seen within 24 hours after concreting (2).



Figure 6: Cutting of the active crack control immediately after washing of the surface each 1,20m. At the height of the gully (still covered with plastic), an extra saw cut is applied

In order to reduce the rolling noise, more and more double layered CRCP, placed wet-in-wet, are applied, but also with a single layered CRCP, with an exposed aggregate surface and an optimised aggregate size distribution, low noise levels can be obtained. In tunnels it is advised to use single layered CRCP. The gain in noise reduction will be very limited in the tunnel and the logistics for a two lift pavement are much more complicated in the tunnel as often lateral space is not available.

CRCP has the advantage that it is a continuous pavement, only at the beginning and the end, anchoring abutments need to be foreseen in order to prevent the movement of the CRCP. These abutments are placed outside the tunnel. The anchor lugs are placed in the soil. The transition between the structure in the tunnel and the structure on the soil is made with a raft plate in order to prevent differential settlements at the transition zone.

3 THE E34, THE ACCESS TO THE HARBOUR OF ZEEBRUGGE

3.1 General

The E34 is a new constructed highway, which runs partly next to the harbour and partly through the Polder with his wide views and natural habitat for birds. In order to reduce the impact on the surroundings and especially to preserve the wide views on the polder, a large part of the highway was deepened and put in a tunnel or in an open trench.

The project is a public private project. As traffic is not that dense, the choice for the pavement was made for asphalt. However, for the tunnel and the open trench, the choice was a double layered CRCP. This is not only because of the increased safety due to the higher resistance towards fire, but also because of the increased durability, low maintenance and higher light reflectance. The choice for a double layered CRCP was made as not all parts were covered and therefore the noise abatement needed to be as high as possible.

The CRCP was placed continuously over the different tunnel segments and open trenches without interruption in 2 phases: right lane and safety lane and consequently the left lane. The choice for a double layered concrete pavement, placed wet-in-wet, with a top layer with a maximum aggregate size of 6,3 mm, results in a low noise pavement, comparable to an SMA 0/10.



Figure 7: Construction of the two-layered concrete in the open trench and tunnel

The A11 has two lanes in each direction, 3,75 m wide each and an emergency lane with a variable width. At the left side, a safety lane of 2,02 m wide is foreseen, as shown in Figure 8. The pavement is placed on the 1 m thick concrete floor of the tunnel, with a double asphalt interlayer, 50 mm sandwich layer (dense asphalt concrete ABT) on 50 mm porous asphalt. The tunnel floor is founded on piles and serves as base layer for the concrete pavement.

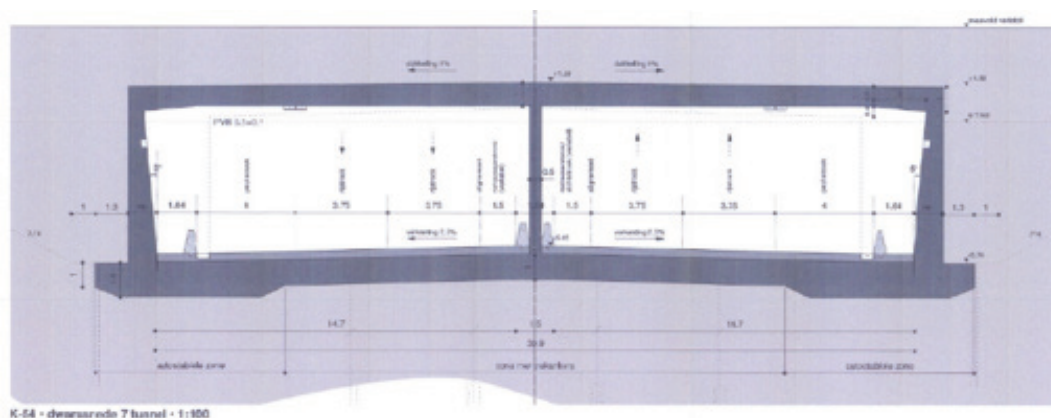


Figure 8: Cross section of the tunnel segment on the E34

More information can be found in (3).

3.2 Execution

The execution of the concrete pavement in the trench and the tunnel does not alter significantly from a classic CRCP. As the height of the tunnel exceeded 5 m, no special measures needed to be taken for the transport of the concrete, which was done by open bins. If the height is limited, smaller bins need to be on place to transport the concrete to the slipform paver.

On the tunnel floor, an asphalt interlayer, 50 mm thick, is placed, on which the transverse and longitudinal reinforcement is placed. Beneath that dense asphalt layer, an additional porous asphalt layer was placed.

The construction of the concrete pavement is done in different phases: first the emergency lane and the half of the right lane (as the width of the emergency lane altered significantly over the length of the pavement) and consequently the other half of the right lane and the left lane. No transverse constructions joints were placed in the pavement, as concreting went on 24/7. The first pavement, direction of Knokke was placed between March and June of 2016, the second pavement, direction of Antwerp was placed between 20th March and 3rd of April 2017.

The tie bars present at the longitudinal construction joint were automatically inserted in the fresh concrete by the slipform paver during concreting of the bottom layer. No super smoother was used after the first slipform paver in order to obtain a rough surface for better adhesion with the top layer.

The top layer was placed with a second slipform paver, following very closely the first one, Figure 9. The concrete was delivered in mixers. After the second slipform paver, a super smoother was used. As an exposed aggregate surface was asked for, a retarder and consequently a plastic sheet, well secured at the sides, was added on the surface, as can be seen in Figure 10.



Figure 9: Evolution of the construction works: placement of the reinforcement on the asphalt layer – supply of the concrete for the underlayer in a ben– spreading of the concrete with a crane – further spreading and compaction of the concrete for the underlayer with a first slipform paver – supply of the concrete for the top layer in a mixer – spreading of the concrete with crane – further spreading and compaction with slipform paver – spreading of retarder and placing of plastic sheet over the surface



Figure 10: Placing and securing of the plastic sheet with wooden beams

Within 24 hours after concreting, the surface was brushed, as shown in Figure 11. Three passes of the brush were made, first in combination with water, followed by dry brushing. It is important to clean thoroughly the surface of the asphalt layer, as can be seen in Figure 12, next to the freshly placed concrete in order to optimize the adhesion between the concrete and the asphalt. This will increase the life time of the concrete.



Figure 11: Exposure of the aggregates at the surface of the CRCP



Figure 12: Cleaning of the asphalt layer next to freshly placed concrete after exposure of the aggregates at the surface

The saw cuts for the active crack control are made just after and for the second phase even during the brushing of the surface. This resulted in a very well distributed crack pattern, with 70% up to 85% of the cracks starting from a crack initiator. The average distance between the cracks was between 1,40 m and 2,30 m, with a slightly higher distance between the cracks in the tunnel compared to the open trench, due to the reduced thermal stresses.

4 OOSTERWEEL CONNECTION, THE DIRECT ACCESS TO THE HARBOUR OF ANTWERP AND THE CLOSURE OF THE RING ROAD R1

4.1 General

The Oosterweel link extends over a length of approximately 15 km. By means of several new tunnels under the river Scheldt and the Albert canal, the Oosterweel link will connect the E17 (Ghent) and the E34/N49 (Bruges) on the left bank with the E19/A12 motorways towards the Netherlands and E34/E313 towards Liège, Germany and Luxembourg.



Figure 13: The Oosterweel link, completing the unfinished Ring Road with a new set of tunnels and replacing the current Ring Road Viaduct by tunnels and open trenches to be covered over time

The Oosterweel link has been conceived for heavy truck traffic and will shift important traffic streams of the southern axis, to a more northern, shorter trajectory through the port. Therefore, all pavements are to be made in CRCP, except for the pavements in some particular places, where the structure does not allow a thicker pavement and the weight has to be limited.

To minimize the impact, the Oosterweel link has been designed largely, as an underground infrastructure. This approach will result in a functional road link, giving optimal access to the port and the surrounding industrial and economic clusters, while respecting the demands of an urban region in terms of the environment, quality of life and spatial planning.

This will result in a green corridor around Antwerp, giving space next to the Albert canal back to the city to be used for leisure, bicycle lanes and walking paths.



Figure 14: Rehabilitation of the area above the new tunnels of the Oosterweel link – before (left) and after (right)

4.2 CRCP in the tunnel

The connection between the left bank and the right bank of the Scheldt will be made by a tunnel, with 3 lanes in each direction, an escape route in the middle and a bicycle lane at the other side.



Figure 15: Tunnel under the river Scheldt, with CRCP as road pavement

The CRCP, 25 cm thick is placed on an asphalt sandwich layer, 50 mm thick and a porous asphalt layer beneath to ensure drainage of the water, which could leak through the tunnel elements. The tunnel floor is used as base layer.

The CRCP will be built in one layer, in different phases. First, the right lane and middle lane will be constructed, followed by the left lane. Attention will be put on the position of the longitudinal joint. Especially at the right lane, this joint should not coincide with the wheel path of the heavy traffic.

5 CONCLUSIONS

The urge to minimise the environmental impact of road networks drives the designers towards the use of tunnels or trenches, especially in the surroundings of cities, natural reserves,... This implies extra demands for the pavements to ensure the safety in the tunnel and a high reliability and availability of the road.

Concrete pavements and especially CRCP is ideal for the application as pavement in tunnels. The low maintenance, the longevity, the non-combustibility are important parameters in addition to the good ride quality, the reduced noise production and the high light reflectance.

Two case studies from the Belgian highway network are presented and demonstrate the feasibility of CRCP in tunnels.

REFERENCES

- [1] Jofré, Carlos, Romero, Joaquin en Rueda, Rafael. Contribution of concrete pavements to the safety of tunnels in case of fire. sl: EUPAVE, 2010.
- [2] *Recent developments in the design and construction of CRCP – Towards a more durable concept*. Rens Luc, Beeldens Anne, De Winne Pieter. Prague: International Symposium on Concrete Roads, 2014.
- [3] *Two case studies of two lift CRCP on Belgian highways: the open tunnel on the E34 and the ring road of Couvin (E420)*. Beeldens Anne, Vinckier Brecht, Lambert Geert, Balfroid Nathalie. Berlin: International Symposium on Concrete Roads, 2018.

Betonová vozovka v tunelech: výhody a doporučení pro návrh a konstrukci vycházející z některých belgických případových studií

Prof. Anne Beeldens, PhD, eng.¹

¹ konzultační inženýrka

AB-Roads, Belgie,

Tel.: +32 486913596

Mail: a.beeldens@ab-roads.com

Udržitelnost je jedním z klíčových kritérií pro konstrukci vozovek. Pro realizaci nových komunikací je stále důležitější nejen životnost, ale také bezpečnost, dopad na životní prostředí, pohodlí, využívání ploch.... Aby byl minimalizován dopad na životní prostředí a maximalizována společenská přijatelnost komunikací, stále více dálnic, městských magistrál, obchvatů a dokonce i místních komunikací je konstruováno jako tunely. Tím je nejen minimalizován dopad na životní prostředí snížením hluku a směřováním vzduchu, ale vzniká také možnost provést nové krajinné úpravy na jejich povrchu.

Aby byla zajištěna bezpečnost a spolehlivá dopravní dostupnost, je pro vozovku v tunelu nutný dobrý návrh a vhodný výběr materiálů. Betonové vozovky a zejména vozovky se spojitě vyztuženým cementobetonovým krytem jsou pro tento účel maximálně vhodné. Nenáročná údržba, vysoká spolehlivost, dobrá životnost i nehořlavost a netoxičita přispívají k bezpečnosti v tunelech a k celkové udržitelnosti silniční sítě.

Tento příspěvek se nejprve zaměřuje na celkové vlastnosti a konstrukční aspekty betonových vozovek v tunelech. Následně jsou představeny dva projekty: nově vybudovaná dálnice A11/E34 mezi Knokke a Zeebrugge na belgickém pobřeží, kde je vozovka se spojitě vyztuženým cementobetonovým krytem (CRCP) použita jak v tunelech, tak i na zahluběných silničních komunikacích. Druhým projektem je dokončení okružní komunikace v Antverpách spojkou Oosterweel, která je důležitou spojnici v transevropské dopravní síti. V tomto projektu nebudou tunely použity pouze k překonání řeky Šeldy a Albertova kanálu, ale formou tunelu bude také provedena rekonstrukce stávajícího obchvatu s nadjezdem, což umožní navrátit zpět do města plochy pro volnočasové aktivity.

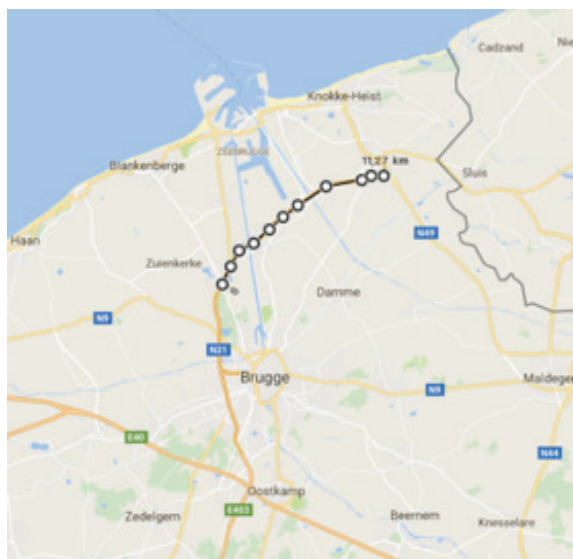
Klíčová slova: Tunely, CRCP (spojitě vyztužená cementobetonová deska), způsob a podrobnosti provedení

1 ÚVOD

Díky rostoucímu globálnímu povědomí o zásadách udržitelnosti a důležitosti omezování a zmírňování dopadů změn klimatu rozšiřují vlastníci komunikací konstrukční požadavky s ohledem na dopad na životní prostředí, potřeby okolní komunity a ekonomické parametry po celou dobu životnosti konstrukce.

Tento příspěvek představuje dva projekty z Belgie, kde byly za účelem zmírnění dopadu dopravy na okolí vybudovány tunely a zahloubené komunikace, aniž by byla ohrožena mobilita. V obou případech se na těchto stavbách použila nebo použije CRCP, aby vznikl odolný kryt vozovky s minimálními nároky na údržbu, vysokou úroveň bezpečnosti, dobrými jízdními vlastnostmi a nízkou hlučností.

Prvním projektem je dálnice E34, která spojuje stávající dálnici E34 s E40 a tím zlepšuje dostupnost přístavu Zeebrugge na pobřeží Belgie. Díky oddělení silného provozu v okolí námořního přístavu od místního provozu se zvýší bezpečnost, aniž by se tím omezily možnosti rozšiřování přístavu. Zvláštní pozornost je dále věnována dopadům na životní prostředí a multimodalitě projektu s přihlédnutím k požadavkům přístavního průmyslu (dobré a plynulé dopravní spojení s vysokou spolehlivostí), zemědělského průmyslu (co nejméně rozparcelování a dobrý přístup k zemědělské půdě), přírodních rezervací (zachování přirozeného prostředí a sídlišť zejména pro ptactvo), místních vesnic v poldrech (co největší snížení dopadu) a turistického ruchu (zachování výhledů na poldry spolu s možností projíždět jimi na kole).



Obr. 1: Nový segment E34 (A11)

Proto projekt představuje mnohem více než nové spojení mezi E34 a E40. Bylo provedeno přehodnocení výchozí silniční sítě a byla vytvořena rozsáhlá síť cyklostezek. Pro tunely a zahloubené silniční komunikace byl jako vozovka zvolen spojitě vyztužený cementobetonový kryt (CRCP).

Druhým projektem je Oosterweelská spojka, pojmenovaná po opuštěné vesnici v oblasti dnešního přístavu v Antverpách. Jedná se o projekt, jehož cílem je dokončit obchvat Antverp. Vytvoří se nové propojení v severozápadní části okružní komunikace, které umožní nákladní dopravě z levého břehu řeky Šeldy projíždět na sever do Nizozemska a na východ do Německa, aniž by musela projíždět jižní částí města. Prvotním plánem bylo postavit několik mostů, avšak požadavky na lepší kvalitu života ve městě přiměly úřady opustit tuto myšlenku a přiklonit se k tunelům. Ve stejném duchu minimalizace dopadu dopravy na životní prostředí bude stávající okružní komunikace zahloubena a toto zahloubení bude následně za-

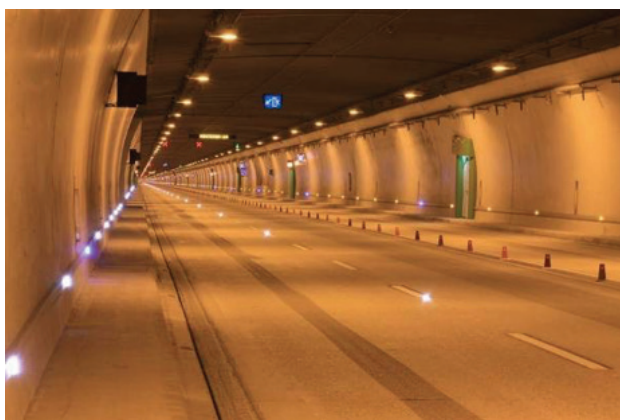
kryto, čímž se nejen sníží hladina hluku z dopravy, ale do města se také vrátí plochy, které vytvoří zelený okruh kolem Antverp. Také v tomto projektu je CRCP zvolen jako hlavní kryt vozovky nejen pro tunelové úseky, ale pro všechny dálniční vozovky, aby odolával silnému provozu po dobu životnosti 30 až 40 let.

2 POŽADAVKY NA KRYTY V TUNELECH

2.1 Všeobecné požadavky

Na kryt v tunelu v zásadě nejsou ve srovnání s kryty mimo tunel kladeny žádné zvláštní požadavky, kromě toho, že je potřeba vzít v úvahu několik odlišných okolností. Hlavní z nich je bezpečnost v tunelu, zejména možnost dobré evakuace a záchrany v případě vzniku požáru. Dalším důležitým aspektem je dostupnost silniční sítě, což zejména v tunelu s omezenými přístupovými body předpokládá nízké nároky na údržbu a dlouhou životnost.

Cementobetonové kryty, JPCP (spojitě nevyztužená cementobetonová deska) s kluznými trny a zejména CRCP (spojitě vyztužená cementobetonová deska), jsou pro použití v tunelech velmi vhodné. Beton je nehořlavý materiál, který při vystavení ohni neuvolňuje toxické plyny, a i při vysokých teplotách si zachovává velmi důležitou část svých statických vlastností (1). Beton není hořlavý, a proto nepřispívá k požárnímu zatížení, které určuje uvnitř tunelu riziko požáru a rozsah a následky z něj vyplývající. V Rakousku i ve Španělsku existují předpisy, podle kterých je v tunelech delších než 1 km povinně používán beton, aby byla zajištěna nezbytná bezpečnost.



Obr. 2: Tunel Juan Carlos I ve Španělsku s nevyztuženým cementobetonovým krytem se spárami (1)

Cementobetonové kryty v tunelech mají další výhody:

- Díky jasnému betonu lze snížit intenzitu osvětlení, aniž by byla ohrožena viditelnost. Výsledkem je menší počet osvětlovacích těles a nižší spotřeba energie;
- Cementobetonové kryty, pokud jsou pokládány s přísadami odolnými proti obrušování, mají velmi vysoký součinitel tření, což má za následek dobrou odolnost proti smyku, která přetrvává po celou dobu životnosti. Vzhledem k tomu, že se na vozovce obvykle nevyskytuje voda, bude brzdná dráha v tunelu kratší, pokud jde o vyšší koeficient tření;
- Cementobetonové kryty vyžadují minimální údržbu, omezující se hlavně na údržbu spár;
- Cementobetonové kryty zvyšují hmotnost tunelu, což je často žádané z důvodu zabránění pohybu tunelu.

2.2 Konstrukce vozovky v tunelu

Konstrukce betonové vozovky se od klasického provedení neliší. Teplotní gradient ve vrstvě krytu je však mnohem omezenější, protože v tunelu nepůsobí přímé slunce a konstrukce může těžit z přítomnosti betonového podkladu tunelu, který poskytuje velmi tuhou základovou vrstvu. Proto může být tloušťka betonu mírně snížena a samotná podkladní vrstva může být vynechána. Cementobetonový kryt může být nevyztužený se spárami opatřenými trny, avšak v Belgii se z důvodu ještě větší minimalizace údržby používá pro silně zatížené komunikace spojitě vyztužená betonová deska.

V Belgii jsou typické níže uvedené konstrukce vozovky se spojitě vyztuženým cementobetonovým krytem:

Vně tunelu na zemině	Uvnitř tunelu
25 cm CRCP, s 0,75% vyztužení, jednovrstvový nebo dvouvrstvový beton (metodou mokrá do mokrého)	21 až 25 cm CRCP
50 mm sendvičová vrstva z hutné asfaltové směsi	50 mm sendvičová vrstva z hutné asfaltové směsi 50 mm porézní asfaltová vrstva jako drenážní vrstva nebo vodotěsná ochrana betonové podlahy tunelu
25 cm hubeného betonu	betonová podlaha tunelu
> 20 cm drenážního písku	
Geotextilie na zemině	
Stupeň podélného vyztužení: 0,75%	
9 cm krytí výztuže v případě dvouvrstvové CRCP	8 až 9 cm krytí výztuže
Jedno nebo dvouvrstvový kryt	Jednovrstvový kryt (vyjma zahloubených silničních komunikací, kde se aplikuje jedno nebo dvouvrstvový kryt CRCP)

Přidání porézní asfaltové vrstvy pod sendvičovou vrstvu je technologie, která vzešla z konstrukce asfaltových vozovek v tunelech, kde existuje riziko infiltrace vody. Porézní asfaltová vrstva zabrání, aby voda vytvářela přímý tlak na asfaltový kryt. Na druhé straně přítomnost pórovité asfaltové vrstvy rozvede vodu takovým způsobem, že již nebude možné určit přesné místo průsaku. Kromě toho cementobetonový kryt bude méně ovlivněn tlakem vody v důsledku přítomnosti vody procházející trhlinou nebo spárou v tunelu než asfaltový kryt. Proto bylo rozhodnuto v případě projektu Oosterweel nepoužít porézní asfaltovou mezivrstvu a vložit sendvičovou vrstvu přímo na dno tunelu s nepropustnou ochrannou vrstvou.

2.3 Provedení betonového krytu v tunelu

Pokládka cementobetonového krytu v tunelu je obdobou pokládky klasického krytu. Logistika však může být komplikovanější z důvodu omezeného prostoru, který je k dispozici co do výšky i co do šířky. Více podrobností je uvedeno v (1)

Pokud se použije CRCP, musí být beton pokládán ve dvou fázích, aby byl umožněn transport materiálu. Pokud to světlá výška dovoluje, provádí se přeprava běžnými sklápěcími nákladními vozidly. Mezi alternativní řešení patří:

- autodomíchávače betonu (i když může dojít ke snížení výkonu: doba vykládky autodomíchávače s objemem 8 m³ může přesáhnout 10 minut, pokud jsou zapotřebí dlouhé skluzné žlaby)
- nákladní vozidla s bočním vyklápěním (obr. č. 3)
- nákladní vozidla s výtlačným čelem, kde je beton pomocí pístu vytlačen do finišeru (obr. č. 4).



Obr. 3: Nákladní vozidlo s bočním vyklápěním (1)



Obr. 4: Nákladní vozidlo s výtlačným čelem

Cementobetonový kryt lze pokládat v jedné nebo ve dvou vrstvách, metodou mokrý do mokrého. Pokud je prostor omezený, lze použít mobilní dopravníky, které umožňují, aby byl beton transportován přes prvky umístěné před finišerem (např. kluzné trny). Podobně lze postupovat při provádění vozovky ve dvou vrstvách současně. Pro dodávku betonu před zadní finišer pokládající horní vrstvu lze použít dopravníkový pás namontovaný na předním finišeru (obr. 5).



Obr. 5: Dvouvrstvý cementobetonový kryt, prováděný metodou mokrý do mokrého: dodávka betonu horní vrstvy přes první finišer s kluznými bočnicemi

Použití provzdušňovací přísady do betonu se doporučuje v exteriéru, ale také uvnitř tunelů. Provzdušňovací přísada do betonu nejen zvýší odolnost proti usazování vodního kamene z důvodu přítomnosti silniční posypové soli, ale v důsledku tvorby malých pórů a vzduchových bublin, které fungují jako expanzní komory, také sníží vnitřní tlak, který vzniká zvýšením teploty během požáru.

Jako úprava povrchu cementobetonového krytu se upřednostňuje technologie obnažení kameniva, aby se co nejvíce snížil hluk vznikající odvalováním pneumatik. Složení betonu musí být přizpůsobeno této metodě povrchové úpravy tím, že bude obsahovat alespoň 20% kameniva o velikosti zrna od 4 do 6 mm v případě jednovrstvového betonu, nebo omezením velikosti kameniva v horní vrstvě na 6,3 mm nebo maximálně 10 mm.

2.4 Zvláštní požadavky na CRCP v tunelech

V Belgii je standardní použití CRCP pro silně zatížené dálnice. Koncept se v průběhu let mírně změnil, z čehož vyplynula konstrukce uvedená v tabulce č. 1. Procento podélné výztuže je 0,75%.

Za účelem optimalizace struktury trhlin se ihned po betonáži provedou řezy iniciující trhliny. Tyto řezy jsou umístěny ve vzdálenosti každých 1,20 m a mají hloubku 40 mm a délku 400 mm. Řezy iniciující trhliny je třeba provést do 24 hodin po betonáži (2).



Obr. 6: Realizace aktivní kontroly trhlin řezem bezprostředně po omytí povrchu ve vzdálenosti každých 1,20 m. Ve výšce vpusti (dosud zakryté plastem) je realizován další řez.

Za účelem snížení hluku vznikajícího odvalováním pneumatik se provádí stále více dvouvrstvových CRCP metodou mokrý do mokrého, ale také jednovrstvových CRCP, s úpravou povrchu krytu technologií obnaženého kameniva s optimalizovaným rozložením velikosti kameniva, čímž lze dosáhnout nízkých úrovní hluku. V tunelech se doporučuje použít jednovrstvou CRCP. Užitek ze snížení hluku je v tunelu velmi omezený a logistika realizace dvouvrstvového krytu je v tunelu mnohem komplikovanější, protože často není k dispozici boční prostor.

CRCP má tu výhodu, že se jedná o spojitou desku, pouze na začátku a na konci je třeba počítat s kotvícími opěrami, aby se zabránilo pohybu CRCP. Tyto opěry jsou umístěny mimo tunel. Kotevní oka jsou umístěna v zemi. Přechod mezi konstrukcí v tunelu a konstrukcí uložené na zemině se provádí pomocí základové desky, aby se zabránilo nerovnoměrnému sedání v přechodové zóně.

3 E34, PŘÍJEZD DO PŘÍSTAVU ZEEBRUGGE

3.1 Všeobecně

E34 je nově postavená dálnice, která vede částečně kolem přístavu a částečně přes poldr s výhledy do široké krajiny, který tvoří přirozené sídliště pro ptactvo. Aby se snížil dopad na okolí a zejména se zachovaly pohledy na poldr, byla velká část dálnice uložena do tunelu nebo zahloubena.

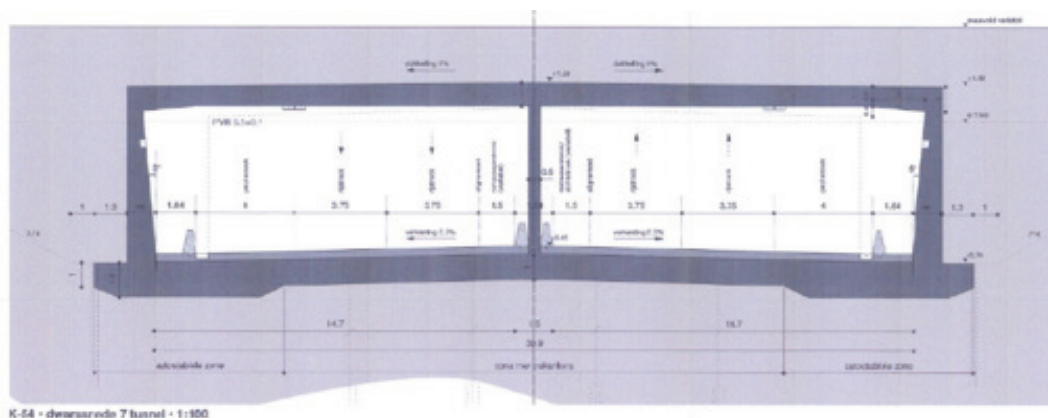
Projekt je veřejně-soukromým projektem. Protože provoz není až tak hustý, byla zvolena asfaltová vozovka. Pro tunel a zahloubené části však byla zvolena dvouvrstvová CRCP. A to nejen kvůli zvýšené bezpečnosti díky vyšší odolnosti proti ohni, ale také kvůli delší životnosti, minimální údržbě a vyšší odrazivosti světla.

Byla zvolena dvouvrstvová CRCP, protože ne všechny části dálnice jsou zakryty, a proto musí být snížení hluku co nejvyšší. CRCP byl položen přes různé segmenty tunelu a zahloubené části bez přerušení ve 2 fázích: pravý jízdní pruh a odstavný pruh a následně levý jízdní pruh. Dvouvrstvový cementobetonový kryt provedený technologií mokrý do mokrého, s horní vrstvou s maximální velikostí kameniva 6,3 mm, byl zvolen z důvodu nízké hlučnosti srovnatelné s SMA 0/10 (asfaltový koberec mastixový).



Obr. 7: Realizace dvouvrstvového cementobetonového krytu na zahloubené komunikaci a v tunelu

A11 má dva jízdní pruhy v každém směru, oba široké 3,75 m, a odstavný pruh o různé šířce. Na levé straně se předpokládá odstavný pruh široký 2,02 m, jak je znázorněno na obrázku č. 8. Vozovka je umístěna na betonovém dně tunelu o tloušťce 1 m, s dvojitou asfaltovou mezivrstvou, 50 mm sendvičovou vrstvou (hutný asfaltový beton ABT) na 50 mm porézní asfaltové směsi. Dno tunelu je založeno na pilotech a slouží jako podkladní vrstva pro cementobetonový kryt.



Obr. 8: Řez segmentem tunelu na E34

Více informací je uvedeno v (3).

3.2 Provedení

Provedení cementobetonového krytu zahloubené komunikace a v tunelu se významně neliší od klasického CRCP. Vzhledem k tomu, že výška tunelu přesahuje 5 m, nebylo nutné provádět žádná zvláštní měření z důvodu přepravy betonu, která se uskutečnila v otevřených zásobnících. Pokud je výška omezená, je nutno na stavenišťe umístit menší zásobníky pro přepravu betonu k finišeru.

Na dně tunelu je položena asfaltová mezivrstva o tloušťce 50 mm, na kterou se umísťuje příčná a podélná výztuž. Pod touto hutnou asfaltovou vrstvou byla položena další porézní asfaltová vrstva.

Pokládka cementobetonového krytu probíhá v různých fázích: nejprve se provádí odstavný pruh a polovina pravého jízdního pruhu (přičemž se šířka odstavného pruhu výrazně mění po celé délce vozovky) a následně druhá polovina pravého jízdního pruhu a levý jízdní pruh. Ve vozovce nebyly provedeny žádné příčné pracovní spáry, protože betonování probíhalo 24 hodin denně, sedm dní v týdnu. První vozovka ve směru na Knokke byla položena mezi březnem a červnem 2016, druhá vozovka ve směru na Antverpy byla položena mezi 20. březnem a 3. dubnem 2017.

Kotvy do podélné pracovní spáry byly automaticky uloženy finišerem s kluznými bočnicemi do čerstvého betonu během betonáže spodní vrstvy. Po přejezdu prvního finišeru nebyly použity žádné hladicí lišty, aby povrch betonu zůstal drsný pro lepší přilnavost k horní vrstvě.

Horní vrstva byla položena druhým finišerem s kluznými bočnicemi, který následoval velmi těsně za prvním, obrázek č. 9. Beton byl dodáván v domíchávačích. Po přejezdu druhého finišeru byla použita hladicí lišta. Jelikož byl předepsán vymývaný povrch, byl na povrch betonu nastříkán zpomalovač tuhnutí a následně plastová fólie, dobře zajištěná po stranách, jak je vidět na obrázku č. 10.



Obr. 9: Postup stavebních prací: uložení výztuže na asfaltovou vrstvu – dodávka betonu pro podklad v zásobníku – rozprostření betonu pomocí bagru – další rozprostření a zhutnění betonu pro podklad prvním finišerem s kluznými bočnicemi – dodávka betonu pro horní vrstvu v domíchávači – rozprostření betonu bagrem – další rozprostření a zhutnění finišerem s kluznými bočnicemi – nástřik zpomalovače tuhnutí a pokládka plastové fólie na povrch



Obr. 10: Položení a zajištění plastové fólie pomocí dřevěných trámek

Do 24 hodin po betonáži bylo provedeno vymetání povrchu, jak je znázorněno na obrázku č. 11. Byly provedeny tři průjezdy kartáče, nejprve v kombinaci s vodou, následně na sucho. Je důležité důkladně vyčistit povrch asfaltové vrstvy kolem čerstvě položeného betonu, jak je znázorněno na obrázku č. 12, aby se optimalizovala přilnavost mezi betonem a asfaltem. Tím se prodlouží životnost cementobetonového krytu.



Obr. 11: Obnažení kameniva na povrchu CRCP



Obr. 12: Čištění asfaltové vrstvy vedle čerstvě položeného cementobetonového krytu po vymývání povrchu

Řezy pro aktivní kontrolu trhlin jsou prováděny těsně po vymetání a pro druhou fázi dokonce i během vymetání povrchu. To má za následek velmi dobře distribuovanou strukturu trhlin, přičemž 70% až 85% trhlin vycházelo z řezu iniciujícího vznik trhliny. Průměrná vzdálenost mezi trhlinami byla mezi 1,40 m a 2,30 m, s mírně větší vzdáleností mezi trhlinami v tunelu ve srovnání se zahloubenými úseky v důsledku sníženého tepelného namáhání.

4 OOSTERWEELSKÁ SPOJKA, PŘÍMÉ PROPOJENÍ DO ANTVERPSKÉHO PŘÍSTAVU A DOKONČENÍ OKRUŽNÍ KOMUNIKACE R1

4.1 Všeobecně

Oosterweelská spojka se rozprostírá v délce přibližně 15 km. Prostřednictvím několika nových tunelů pod řekou Šeldou a Albertovým kanálem spojí Oosterweelská spojka E17 (Gent) a E34/N49 (Bruggy) na levém břehu s dálnicemi E19/A12 ve směru na Nizozemsko a E34/E313 ve směru na Lutych Německo a Lucembursko.



Obr. 13: Oosterweelská spojka představující dostavbu nedokončeného okruhu vybudováním nové série tunelů a nahrazením současného mostu na okružní komunikaci tunely a zahloubenými komunikacemi, které mají být následně zakryty

Oosterweelská spojka je koncipována pro těžkou nákladní dopravu a posune důležité dopravní toky jižní osy na severnější a kratší trajektorii procházející přístavem. Proto musí být všechny kryty provedeny jako CRCP, s výjimkou krytů na některých konkrétních místech, kde konstrukce neumožňuje větší tloušťku krytu a kde musí být omezena hmotnost.

Aby se minimalizoval dopad stavby, byla Oosterweelská spojka navržena převážně jako podzemní infrastruktura. Výsledkem tohoto přístupu bude funkční silniční spojení umožňující optimální přístup k přístavu a okolním průmyslovým a ekonomickým klastrům při respektování požadavků městského regionu, pokud jde o životní prostředí, kvalitu života a územní plánování.

Výsledkem bude zelený koridor kolem Antverp, který navrátí plochy kolem Albertova kanálu zpět do města, aby mohly být využívány pro volnočasové aktivity či jako cyklistické a turistické stezky.



Obr. 14: Sanace oblasti nad novými tunely na Oosterweelské spojnici - před (vlevo) a po (vpravo)

4.2 CRCP v tunelu

Propojení mezi levým a pravým břehem řeky Šeldy bude provedeno tunelem se 3 jízdními pruhy v každém směru, únikovým koridorem uprostřed a jízdním pruhem pro cyklisty na druhé straně.



Obr. 15: Tunel pod řekou Šeldou s CRCP jako krytem vozovky

CRCP o tloušťce 25 cm je položen na asfaltovou sendvičovou vrstvu o tloušťce 50 mm a porézní asfaltovou vrstvu položenou pod ní, aby byl zajištěn odtok vody, která by mohla prosakovat prvky tunelu. Dno tunelu se využívá jako podkladní vrstva.

CRCP bude provedena v jedné vrstvě, v různých fázích. Nejprve bude položen pravý a střední jízdní pruh a poté levý. Pozornost bude věnována poloze podélné spáry. Zvláště v pravém jízdním pruhu by tato spára neměla být ve stopě kol těžké dopravy.

5 ZÁVĚRY

Nutnost minimalizovat dopady silničních sítí na životní prostředí vede projektanty k využívání tunelů nebo zahlobených komunikací, zejména v okolí měst, přírodních rezervací apod. Z toho vyplývají další požadavky na vozovku, na zajištění bezpečnosti v tunelu a na vysokou spolehlivost a dostupnost komunikací.

Cementobetonové kryty a zejména CRCP jsou ideální pro použití jako kryty v tunelech. Kromě dobré kvality jízdy, snížené hlučnosti a vysoké odrazivosti světla jsou důležitými parametry i minimální údržba, dlouhá životnost a nehořlavost.

Byly představeny dvě případové studie z belgické dálniční sítě, které ukazují proveditelnost CRCP v tunelech.

ZDROJE

- [1] Jofré, Carlos, Romero, Joaquin en Rueda, Rafael. Contribution of concrete pavements to the safety of tunnels in case of fire. sl: EUPAVE, 2010.
- [2] *Recent developments in the design and construction of CRCP – Towards a more durable concept.* Rens Luc, Beeldens Anne, De Winne Pieter. Prague: International Symposium on Concrete Roads, 2014.
- [3] *Two case studies of two lift CRCP on Belgian highways: the open tunnel on the E34 and the ring road of Couvin (E420).* Beeldens Anne, Vinckier Brecht, Lambert Geert, Balfroid Nathalie. Berlin: International Symposium on Concrete Roads, 2018.

3. blok:
**Opravy, údržba –
nové technologie
a materiály**

Roller compacted concrete – successful construction of a test track

Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH
Dr. Johannes Horvath, Lafarge Zementwerke
DI Sebastian Spaun, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie
Dr. Stefan Krispel, Smart Minerals GmbH
Tel.: +43 664 / 88500390
E-mail: peyerl@smartminerals.at

Road surfaces are one of the most important parts of general infrastructure in modern cities. Therefore the use of roller compacted concrete (RCC), as a possible application for state- and municipal-roads, was investigated. The first step for a larger application of RCC was building a testing track in the south of Austria. The RCC testing track was built with a common asphalt paver with a special compaction pile and subsequently compacted with a static roller. The tested mechanical and durability parameters showed a good performance for further applications of this building type.

Building the testing track was one part of a big research project called EcoRoads. The aim of this project is to explore the application of concrete roads for the low level traffic network and for industrial areas. For this purpose an association called EcoRoads was founded in 2016 - members are a large number of companies from the cement and ready-mixed concrete industry as well as the construction industry. The scientific knowledge gained in the course of the research is made available to members, the construction industry and educational institutions.

DIFFERENT BUILDING TYPES OF CONCRETE ROADS FOR VARIOUS APPLICATIONS

Most of the existing concrete roads were built for high level traffic network especially for motorways. Beside this application several areas with heavy traffic loads like roundabouts, bus lanes and intersections are built in concrete. On the lower level of the street network, concrete roads have only a little importance.

With the standard construction method, concrete pavements were built with two different pavers, one for the lower course the other for the upper course. Hereby heavy pavers with a fixed paving width for the construction phase are used. This building method is well established for building high level road network and is used for areas with a high amount of heavy traffic or wherever a long service life is necessary. To build concrete pavements in small sections, pavement concrete with super-plasticizer is used. Thus, the side forms used for the construction have to be set in the correct high. Afterwards the flowable concrete is applied in the formwork and compacted by striking with a rake. The surface is completed with a levelling lath down along the edge of the side form. Both of these construction types are described in the Austrian standard RVS 08.17.02 [1].

The mentioned construction methods are justified for high level traffic network like motorways and several urban areas with heavy traffic, but they are not useful and mostly too expensive for rural roads. An alternative to the conventional concrete pavement is the use of roller compacted concrete. For this method a special earth-moist concrete formulation with very low water content is used. This concrete can be paved with a modified asphalt paver and is compacted afterwards with roller – similar to the asphalt paving. This construction method has already been used in several countries for the fast and cost effective fixing of industrial areas, for example in North Amerika, Poland and Spain [2, 3]. The aim of the research work was to optimize this construction method for the making of concrete roads for the low-level road network, so that durable concrete roads can be produced with regionally available raw materials and locally available machine technology.

CONCRETE TECHNOLOGY

For the production of roller compacted concrete (RCC), the same raw materials as used in the production of conventional road concrete can be used, like rounded or broken aggregates, cement and, if necessary, additives. In order to achieve the highest possible degree of compaction, it is essential, when selecting the individual components, that the concrete is composed similarly to cement-stabilized base layers [4]. Another important criterion is the green strength of the concrete. This means that the fresh (green) concrete is so stable, that it no longer changes its geometric shape after the sliding formwork is pulled off. Roller compacted concrete also must be so stable after the paver, that it can be compacted with heavy rollers in a further step without significantly sinking of the roller into the poured concrete. To achieve this property, roller compacted concrete formulations with very low water content and resulting low W / B ratio have to be produced.

The required composition of the roller compacted concrete must be determined by means of appropriate preliminary tests. Therefor are currently no specific regulations for the creation of such traffic areas in Austria available. RVS 08.17.01 [4] or the German leaflet for the construction of base courses and base courses with roller compacted concrete for traffic areas [5] provide some clues.



Picture 1: Mixture of Roller compacted concrete in the laboratory (RCC)

PAVING TECHNOLOGY

The concrete pavers in use so far are basically designed for use in the high-level road network. The main features are a constant and large paving width over larger sections of the road, as well as large concrete paving capacities and crawler tracks outside the paver lane. This conventional paving method is often not appropriate for the construction of roads in the low-level road network, since the widths of traffic routes often vary and the additional space for crawler tracks is often not available. In addition, it is important to be able to drive through construction site short after paving because of crossing roads as well as house driveways.

In order to guarantee the flexibility required in the installation of RCC, a new paver was selected that is different from conventional concrete pavers. The basic machine configuration of the device corresponds to an asphalt paver with a crawler track situated in the production lane and a bunker for receiving the concrete. With these devices it is possible to pave both concrete and asphalt. The consistency of the concrete has to be earth-moist to ensure that the concrete already has the required stability when processed with the paver.

In addition to the most frequently used single-tamper compaction pile, a high-compaction or double tamper pile, which is particularly suitable for both thick asphalt paving and for paving concrete, was used. When using such a double tamper pile, it is possible to achieve a very high level of pre-compaction that subsequent compaction with a tandem roller is sufficient. Double tamper piles have already proven their work in practice, especially when the paving thickness is between 15 and 30 cm. After paving the surface has to be finally compacted with rollers weighing 8 to 12 tons. Thanks to this additional compaction, a homogeneous, closed and even concrete surface can be achieved. Picture 1 shows the paver with the high-compaction pile.



Picture 2: Paver with the high-compaction pile

TESTING TRACK

To test the new construction method and to collect important empirical data, an access road to a quarry was built as a test track for rolled concrete in spring 2019, a part of the EcoRoads project. The route was selected because of the different installation situations that occur in practice, such as curves, inclines

and different installation widths. Further that route is also used on a large extent by trucks as it is used as an access to a recycling facility.

The first step in implementing the test track was the development of concrete recipes in the laboratory of the Smart Minerals GmbH in Vienna. Since the test track is located far away from urban areas, the availability of potential concrete suppliers was limited, but it was always a concern to produce the rolled concrete with the locally available concrete raw materials.

Initially different concrete compositions were examined in the laboratory as part of preliminary tests. Both the production of proctor test specimens to determine the optimal water content and the production of concrete mixtures to determine the hardened concrete properties were achieved. Based on the findings from the laboratory tests, recipes were selected for implementation and installed in different sections of the testing track. The length of the track is around 500 m with a maximum gradient of seven percent. The following table 1 shows the variations of the recipes used as well as the determined compressive strength of drill cores drawn after 28 days.

Table 1: Concrete composition

Concrete Composition	
CEM II/B-S 42,5 N (DZ)	280–330 kg
Sand 0/4	880–940 kg
Gravel 4/8	360–390 kg
Gravel 8/16	580–630 kg
Water	120–125 kg
W/C-ratio	0,38–0,43
Compresssion strength	
Compression strength (drill core)	40–55 N/mm ²

A tracked paver with an operating weight of around 21.4 t was used for this testing track in southern Styria. This machine has a theoretical paving output of 1,100 t / h and a maximum pave width of 13 m. The paving speed selected was 1.8 m / min in order to optimally adapt the compaction performance of the compaction pile to the requirements. The tamper pile was adjusted to around 1,600 rpm, just below the maximum. This setting made it possible to combine a very high compaction performance with smooth and even floating behavior of the surface.

Afterwards the concrete was compacted with a twelve-tonne smooth drum roller. During the construction of the track, both the concrete composition and the compaction as well as the final surface treatment (smoothing, application of a broom stroke) were varied, so that as many aspects as possible of the concrete installation and the resulting concrete properties could be examined. The extensive support of the concrete paving as well as the assessment of the fresh and hardened concrete properties made it possible to systematically derive connections between concrete paving and concrete properties as well as the resulting resistance properties.

The following illustrations give an impression of the concrete installation and various post-processing options.



Picture 3: Paving process



Picture 4: Compaction with drum roller



Picture 5: Realized surface after cutting the joints

SOURCE

- [1] RVS 08.17.02: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2011
- [2] EUPave Guidline: Roller compacted concrete: making concrete pavements available to the whole pavement building industry, Carlos Jofré 2019
- [3] Guide for roller compacted concrete pavements, National Concrete Pavement Technology Center Iowa State University 2010
- [4] RVS 08.17.01: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2009
- [5] Merkblatt für den Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton für Verkehrsflächen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2000

Válcovaný beton – úspěšná realizace zkušebního úseku

Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH
Dr. Johannes Horvath, Lafarge Zementwerke
DI Sebastian Spaun, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie
Dr. Stefan Krispel, Smart Minerals GmbH
Tel.: +43 664 / 88500390
E-Mail: peyerl@smartminerals.at

Povrchy komunikací tvoří jednu z nejdůležitějších částí obecné infrastruktury v moderních městech. Proto byla zkoumána možnost použití válcovaného betonu (RCC) pro státní silnice, silnice nižších tříd, místní a účelové komunikace. Prvním krokem pro rozsáhlejší aplikaci RCC byla realizace zkušebního úseku na jihu Rakouska. Zkušební úsek byl položen za pomoci běžného finišeru pro pokládku asfaltových vrstev s vysokým stupněm hutnění a následně dokončen hutněním statickým válcem. Zkoušené mechanické parametry a parametry trvanlivosti ukázaly dobré výsledky a vhodnost tohoto typu pokládky.

Vybudování zkušebního úseku bylo součástí velkého výzkumného projektu s názvem EcoRoads. Cílem tohoto projektu je prozkoumat využití betonových vozovek na dopravních sítích s nízkou intenzitou dopravy a v průmyslových oblastech. Pro tento účel byla v roce 2016 založena asociace s názvem EcoRoads. Jejími členy je velké množství společností pracujících jak v oblasti výroby cementu a transportbetonu, tak i ve stavebnictví. Vědecké poznatky získané při výzkumu jsou poskytovány členům asociace, stavebnímu průmyslu a vzdělávacím institucím.

RŮZNÉ TYPY KONSTRUKCE BETONOVÝCH VOZOVEK PRO RŮZNÁ VYUŽITÍ

Většina stávajících betonových vozovek byla vybudována pro dopravní síť s vysokou intenzitou dopravy, jako jsou zejména dálnice. Kromě dálnic byl cementobetonový kryt používán i pro konstrukci některých dalších komunikací s vysokým zatížením, jako jsou kruhové objezdy, jízdní pruhy pro autobusy a křižovatky. Pro silniční síť s nižší intenzitou dopravy mají betonové vozovky jen malé využití.

Při použití standardních konstrukčních metod byly cementobetonové kryty pokládány pomocí dvou tandemových finišerů: jednoho pro spodní vrstvu a druhého pro horní vrstvu. Při pokládce jsou přitom používány těžké finišery s pevnou šířkou aplikačního rámu. Tato stavební metoda je dobře zavedená pro stavbu silnic vyšších tříd a používá se pro oblasti s vysokou intenzitou provozu nebo tam, kde je vyžadována dlouhá životnost krytu. K výstavbě betonových vozovek v krátkých úsecích se pro kryt vozovky používá litý beton se superplastifikátorem. Proto musí být boční bednění použité při pokládce nastaveno na správnou výšku. Do bednění se pak aplikuje litý beton, který se zhutní pomocí vibrátoru. Povrch je dokončen pomocí nivelační lišty vedené okrajem bočního bednění. Oba tyto typy konstrukcí jsou popsány v rakouské normě RVS 08.17.02 [1].

Zmíněné konstrukční metody jsou vhodné pro dopravní síť s vysokou intenzitou dopravy, jako jsou dálnice a některé městské oblasti se silným provozem; pro komunikace nižších tříd však příliš vhodné nejsou a obvykle jsou i příliš nákladné. Alternativou ke konvenčnímu cementobetonovému krytu je použití válcovaného betonu. Pro tuto metodu se používá speciální zvlhlý beton s velmi nízkým obsahem vody. Tento beton lze pokládat pomocí modifikovaného finišeru pro pokládku asfaltových směsí s následným zhutněním pomocí válce – podobně jako u pokládky asfaltových směsí. Tato konstrukční metoda již byla použita v několika zemích k rychlým a nákladově efektivním řešením v průmyslových oblastech například v Severní Americe, Polsku a Španělsku [2, 3]. Cílem výzkumné práce bylo optimalizovat tuto konstrukční metodu pro stavbu betonových vozovek na silničních sítích s nízkou intenzitou dopravy, aby bylo možno budovat trvanlivé silnice z regionálně dostupných surovin a s využitím lokálně dostupné strojní technologie.

TECHNOLOGIE BETONU

Pro výrobu válcovaného betonu (RCC) lze použít stejné suroviny jako pro výrobu běžného silničního betonu, jako je těžené nebo drcené kamenivo, cement, přísady a v případě nutnosti i příměsi. Pro dosažení nejvyššího možného stupně zhutnění je při výběru jednotlivých složek zásadní, aby měl beton podobné složení jako cementem stabilizované podkladní vrstvy [4]. Dalším důležitým kritériem je počáteční pevnost betonu. To znamená, že čerstvě položený beton musí být tak stabilní, aby po odstranění posuvného bednění již neměnil svůj geometrický tvar. Válcovaný beton musí být po aplikaci finišerem také natolik stabilní, aby jej bylo možné v dalším kroku zhutnit těžkými válci, aniž by došlo k výraznému zaboření válce do položeného betonu. Pro dosažení této vlastnosti musí být použity betonové směsi s velmi nízkým obsahem vody a výsledným nízkým vodním součinitelem (w/c).

Požadované složení válcovaného betonu musí být stanoveno pomocí příslušných průkazných zkoušek. V současné době neexistují v Rakousku žádné zvláštní předpisy pro navrhování dopravních staveb, které by splňovaly tyto požadavky. Některá vodítka mohou být získána v normě RVS 08.17.01 [4] nebo v německém průvodci pro stavbu podkladních vrstev z válcovaného betonu.



Obr. 1: Betonová směs pro RCC

TECHNOLOGIE POKLÁDKY

Dosud používané finišery pro pokládku betonu jsou v zásadě navrženy pro použití na silničních sítích s vysokou intenzitou dopravy. Hlavními rysy jsou konstantní a velká šířka pokládky pro delší úseky komunikací, velké objemy pokládaného betonu a pásy finišeru umístěné mimo pokládaný pruh. Tato konvenční metoda pokládání betonu není vždy vhodná pro stavbu silnic nižších tříd, protože šířky komunikací se často liší a další prostor pro pásy finišeru není obvykle k dispozici. Kromě toho je zde důležitý požadavek na projíždění stavenišť krátce po pokládce betonu z důvodu křížení silnic a existence příjezdových cest k domům.

Pro zaručení flexibility požadované při pokládce RCC byl zvolen finišer, který se liší od konvenčních finišerů pro pokládku betonu. Základní strojní konfigurace zařízení odpovídá finišeru pro pokládku asfaltových směsí, s pásem umístěným v pracovním pruhu a zásobníkem pro příjem betonu. Tato zařízení je možno použít pro pokládku jak betonu, tak i asfaltových směsí. Konzistence betonu musí být zavlhlá, aby byla zajištěna požadovaná stabilita betonu při zpracování finišerem.

Místo nejčastěji používané technologie pro běžné hutnění byla použita technologie pro vysoké zhutnění pokládané směsi. Alternativou může být využití technologie dvojího hutnění, která je obzvláště vhodná, jak pro pokládku asfaltového krytu velké tloušťky, tak i pro pokládku betonu. Při použití této technologie je možno dosáhnout tak vysoké úrovně předběžného zhutnění, že následně postačuje dokončení pomocí tandemového válce. Použití této technologie se již v praxi osvědčilo, a to zejména při tloušťce vrstvy mezi 15 a 30 cm. Po pokládce musí být povrch finálně zhutněn válci o hmotnosti 8 až 12 tun. Díky tomuto dodatečnému zhutnění lze dosáhnout homogenního, uzavřeného a rovnoměrného betonového povrchu. Obrázek 2 ukazuje finišer s vysokým stupněm zhutnění.



Obr. 2: Finišer s vysokým stupněm zhutnění

ZKUŠEBNÍ ÚSEK

K ověření nové konstrukční metody a shromáždění důležitých empirických dat byla v rámci projektu Eco-Roads na jaře 2019 realizována přístupová komunikace k lomu jako zkušební úsek pro válcovaný beton. Tento úsek byl vybrán, protože se zde v praxi objevují různé situace vyžadující různé způsoby řešení, jako

jsou zatačky, nakloněné roviny a různé aplikační šířky. Tato komunikace je dále ve velké míře využívána také kamiony, protože slouží jako přístupová cesta k recyklačnímu zařízení.

Prvním krokem při realizaci zkušebního úseku byl vývoj konkrétních receptur v laboratoři společnosti Smart Minerals GmbH ve Vídni. Jelikož se zkušební úsek nachází daleko od městských oblastí, byla omezena dostupnost potenciálních dodavatelů betonu; v zájmu projektu ale vždy bylo vyrábět válcovaný beton s využitím místně dostupných surovin.

Nejprve byla v laboratoři v rámci průkazných zkoušek ověřena různá složení betonu. Byla provedena Proctorova zkouška pro stanovení optimálního obsahu vody a vyrobeny záměsi betonu pro stanovení vlastností ztvrdlého betonu. Na základě výsledků laboratorních zkoušek byly vybrány receptury pro realizaci a tyto pak byly použity v různých částech zkušebního úseku. Délka úseku je kolem 500 m s maximálním sklonem sedmi procent. Následující tabulka 1 uvádí použité receptury a naměřené pevnosti v tlaku na jádrových vývrtech po 28 dnech zrání.

Tabulka 1: Složení betonu

Složení betonu	
CEM II/B-S 42,5 N (DZ)	280–330 kg
Písek 0/4	880-940 kg
Štěrka 4/8	360-390 kg
Štěrka 8/16	580-630 kg
Voda	120-125 kg
Vodní součinitel W/C	0,38-0,43
Pevnost v tlaku	
Pevnost v tlaku (na jádrovém vývrtu)	40–55 N/mm ²

Pro tento zkušební úsek v jižním Štýrsku byl použit pásový finišer s provozní hmotností kolem 21,4 t. Tento finišer má teoretický výkon pokládky 1100 t / h a maximální šířku pokládky 13 m. Zvolená rychlost pokládky byla 1,8 m / min, aby hutnící výkon optimálně odpovídal požadavkům. Frekvence vibrací přechování byla nastavena přibližně na 1600 ot / min, což je hodnota těsně pod maximem. Toto nastavení umožnilo kombinovat velmi vysoký zhutňovací výkon s dosažením hladkého a rovného povrchu.

Poté byl beton zhutněn dvanáctitunovým válcem s hladkým bubnem. Při stavbě úseku se měnilo složení betonu, způsob hutnění i finální povrchová úprava (vyhlazení, kartáčování), aby bylo možno posoudit co nejvíce aspektů pokládky a výsledných vlastností celého díla. Rozsáhlá podpora přípravy i realizace celé této akce, která zahrnovala rovněž posouzení vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu, umožnila systematicky odvodit souvislosti mezi vlastnostmi betonu a betonovým povrchem a stejně tak vyhodnotit i jejich vliv na dosahovanou odolnost i trvanlivost.

Následující obrázky poskytují představu o pokládce betonu a různých možnostech následného zpracování.



Obr. 3: Proces pokládky



Obr. 4: Hutnění pomocí bubnového válce



Obr. 5: Realizovaný povrch po řezání spár

ZDROJE

- [1] RVS 08.17.02: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2011
- [2] EUPave Guidline: Roller compacted concrete: making concrete pavements available to the whole pavement building industry, Carlos Jofré 2019
- [3] Guide for roller compacted concrete pavements, National Concrete Pavement Technology Center Iowa State University 2010
- [4] RVS 08.17.01: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2009
- [5] Merkblatt für den Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton für Verkehrsflächen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2000

Whitetopping – první pilotní projekt v ČR

Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D., SKANSKA a.s.

Tel.: +420 737 257 261

E-mail: Bohuslav.Slansky@skanska.cz

Ing. Ladislav Vysloužil, SKANSKA a.s.

Tel.: +420 737 257 521

E-mail: Ladislav.Vyslouzil@skanska.cz

Ing. Petr Bijok, DOPRAVOPROJEKT Ostrava a.s.

Tel.: +420 731 655 011

E-mail: P.Bijok@dpova.cz

Od roku 2018 je vyvíjena intenzivní aktivita ve směru k realizaci pilotních projektů oprav vozovek technologií whitetopping (WT). V roce 2018 zpracovalo Vysoké učení technické v Brně (prof. Rudolf Hela) pro Ředitelství silnic a dálnic ČR výzkumnou zprávu [1] ve spolupráci s autory článku a s technickou konzultací prof. Anne Beeldens z Belgie. Provedená práce shrnuje přehledně zahraniční zkušenosti, metody navrhování a technologie provádění oprav vozovek metodou WT. Na podkladu diagnostického průzkumu odpočívky Ladrná na dálnici D2 v KM 44,2 pak materiál představuje návrh opravy vozovky metodou WT a konstrukční zásady a pokyny pro realizaci. Tato zpráva je v současné době jediným komplexním podkladem v ČR, který problematiku WT popisuje. Na tuto práci VUT Brno [1] navázalo Ředitelství silnic a dálnic ČR zadáním zpracování projektové dokumentace oprav dvou dálničních odpočívek s využitím technologie WT.

WHITETOPPING OBECNĚ

Opravy vozovek metodou whitetopping (dále WT z ang. „Whitetopping“) byly vyvinuty v USA. První zkušební úseky byly realizovány v roce 1991. Oprava spočívá vždy v překrytí původní vozovky novou poměrně tenkou vrstvou cementobetonového krytu, která je buďto spojena s podkladem, nebo je spojení záměrně zabráněno. Hlavním cílem je využít z velké části původní konstrukci vozovky, tedy její reziduální únosnost. V případě spojení původní a nové vrstvy vozovky se navíc využívá kompozitního chování obou vrstev. Původní asfaltová vrstva vozovky pak přenáší převážně tahová napětí a nový cementobetonový kryt tlaková napětí, tím je s výhodou využito pozitivních vlastností obou materiálů. Oprava technologií WT má zajistit opravu krytu vozovky zlepšením jeho vlastností, tj. únosnosti, odolnosti proti trvalým deformacím a protismykových vlastností. Tím dochází k úspoře nákladů a času na realizaci a prodloužení životnosti stávající konstrukce vozovky. Technologie opravy WT může být ve většině případů časově i ekonomicky vhodnější než kompletní rekonstrukce vozovky a může zajistit další fungování vozovky bez opakování vzniku trvalých deformací, než např. oprava AB vozovky obnovou krytových vrstev nebo kompletní rekonstrukcí na CB vozovku.

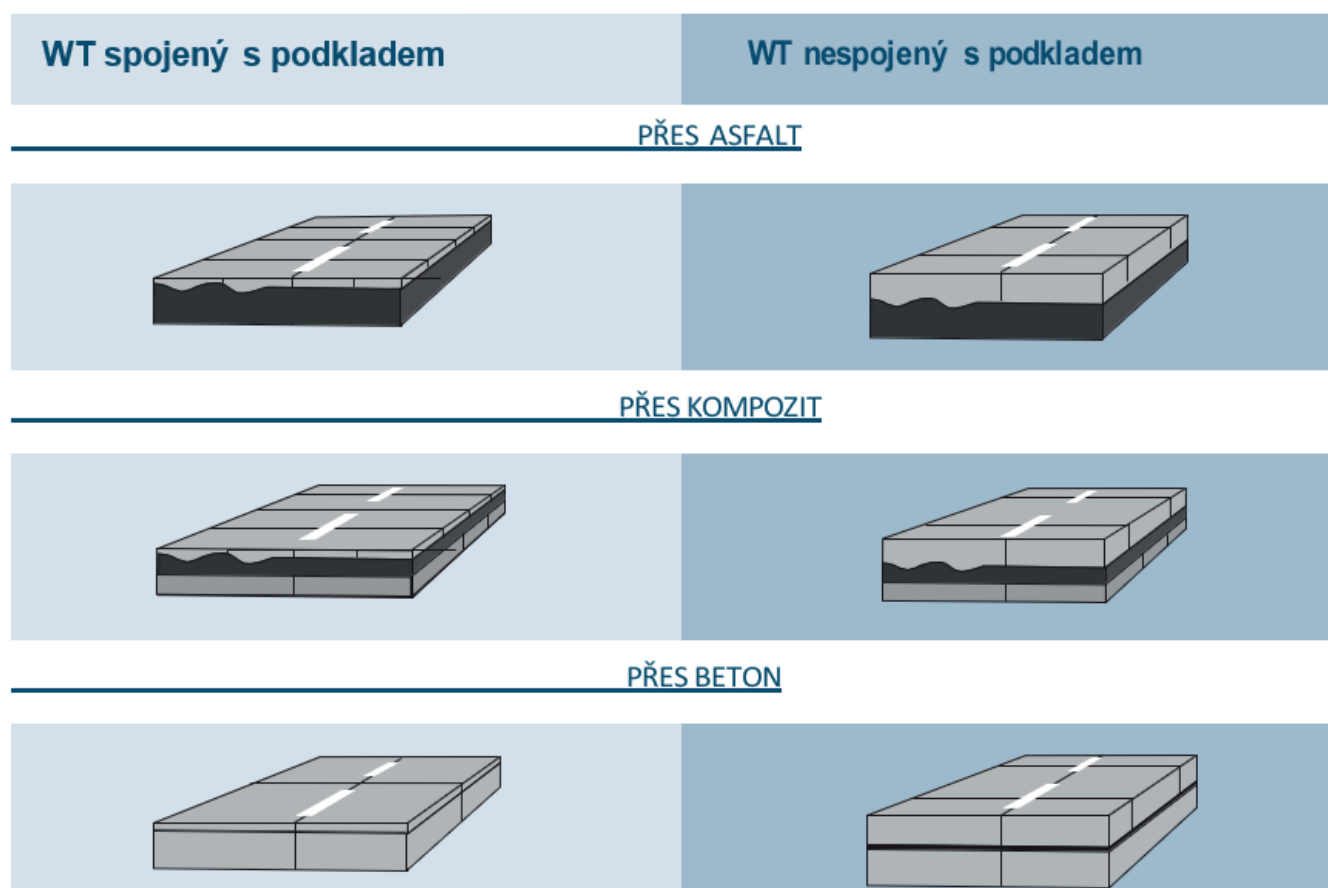
V USA je metoda WT pro opravy vozovek využívána úspěšně již více než 30 let. Tomu odpovídá také rozsáhlá dostupná předpisová základna, kterou je pro navrhování možné využít. Komplexní pohled poskytuje např. dokument [2].

V evropských zemích je možné opravy vozovek realizované metodou WT nalézt např. ve Francii, Belgii, Německu. WT zde nachází uplatnění zejména při opravách zatížených ploch úrovněných křižovatek a dálničních odpočívек. Nejblíže prostředí podmínek České republiky je Německo, které má v předpisové základně např. podklady [2,3,4], které řeší parametry pro návrh spojeného WT na AB a jsou založena na práci prof. Jochena Eida [5]. Prof. J. Eid popsal návrhovou metodu a zpracoval návrh katalogu oprav vozovek s vrstvou WT.

ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ WT

Opravy vozovek metodou WT se dělí na dvě základní skupiny (znázorněno na Obrázku 1):

- WT spojený s podkladem,
- WT nespojený s podkladem.



Obr. 1: Přehled možných typů a aplikací WT [1]

WT spojený s podkladem

Jedná se o vhodnou metodu oprav vozovek, které mají dobré, homogenní parametry únosnosti a vrstvy krytu vozovky nevykazují nespojení v ploše asfaltového souvrství. Oprava spočívá defacto ve výměně krytových vrstev za novou CB vozovku, přičemž za klíčový parametr je považováno vytvoření spojení vrstvy WT a podkladu. Vozovka pak funguje jako jeden kompozitní celek a mezi vrstvou WT a původní konstrukční vrstvou dochází k přenosu napětí od zatížení. Spojený WT je zpravidla navrhován v tloušťkách jako tenký (10-20 cm) nebo ultratenký (5-10 cm). Tyto minimální tloušťky je možné navrhovat právě s ohledem na spojení vrstvy WT a AB do kompozitního celku.

Pro realizaci spojeného WT na AB kryt je dána minimální zbytková tloušťka vrstev AB vozovky, která má být minimálně 8 cm. Ovlivnění stávající nivelety povrchu je tak závislé na původní celkové tloušťce krytu a musí být posouzeno, zda je možné případné nadvýšení provést.

Povrch, na který má být WT aplikován musí být kompaktní, případné poruchy (rozpady vrstev, tenké neúnosné podklady) musí být vhodným způsobem sanovány. V místech trhlin musí být realizována sanační opatření přímo na trhlíně nebo musí být vrstva WT nad trhlínou vyztužena, aby nedošlo k jejímu kopírování k povrchu.

Podle zvolené tloušťky desky je následně navržen spárořez. Vzdálenost spár je u podkladu z AB vrstev zpravidla navrhována jako 12-18ti násobek tloušťky desky. Velikost dilatačních celků tak bývá zpravidla mezi 0,9-2,4 m. Frekvence spár je tedy výrazně vyšší než u běžné CB vozovky. Důvodem vyšší frekvence spár je zejména potřeba eliminovat napětí v místě spojení vyvolané vlivem smrštění betonu při tuhnutí, od teploty a tím zajistit zachování spojení vrstvy WT s podkladem.

Pro realizaci spojeného WT na CB kryt je za předpokladu vytvoření dokonalého spojení starého a nového CB krytu možné okopírovat původní kadenci spár, avšak i v tomto případě je možné k eliminaci rizika vzniku nespojení provést úpravu s vyšší kadencí spár.

U tenkých a ultratenkých WT se příčné ani podélné spáry nevyztužují s ohledem na malé tloušťky CB krytu.

WT nespojený s podkladem

Tento postup je naopak vhodný pro opravy vozovek, jejichž stav je z hlediska únosnosti špatný a rozsah poruch krytu indikuje havarijný stav vozovky. Jedná se tedy o metodu částečné rekonstrukce stávající vozovky.

Nespojený je aplikován buďto přímo na stávající povrch (AB i CB), který může být podle výsledku diagnostického průzkumu vozovky vhodným způsobem homogenizován. Spojení nové vrstvy WT a původní vozovky nevzniká, resp. je mu zabráněno např. vložením geosyntetika, a nespojený WT je realizován prakticky jako běžný CB kryt. Tloušťka nespojeného WT je zpravidla od 20 cm až do 25 cm a téměř vždy dochází ke změně nivelety komunikace, což má dopad do odvodnění, příslušenství a navazujících komunikací. Kadence řezání spár odpovídá zásadám pro CB kryt a stejně tak i vyztužování podélných a příčných spár.

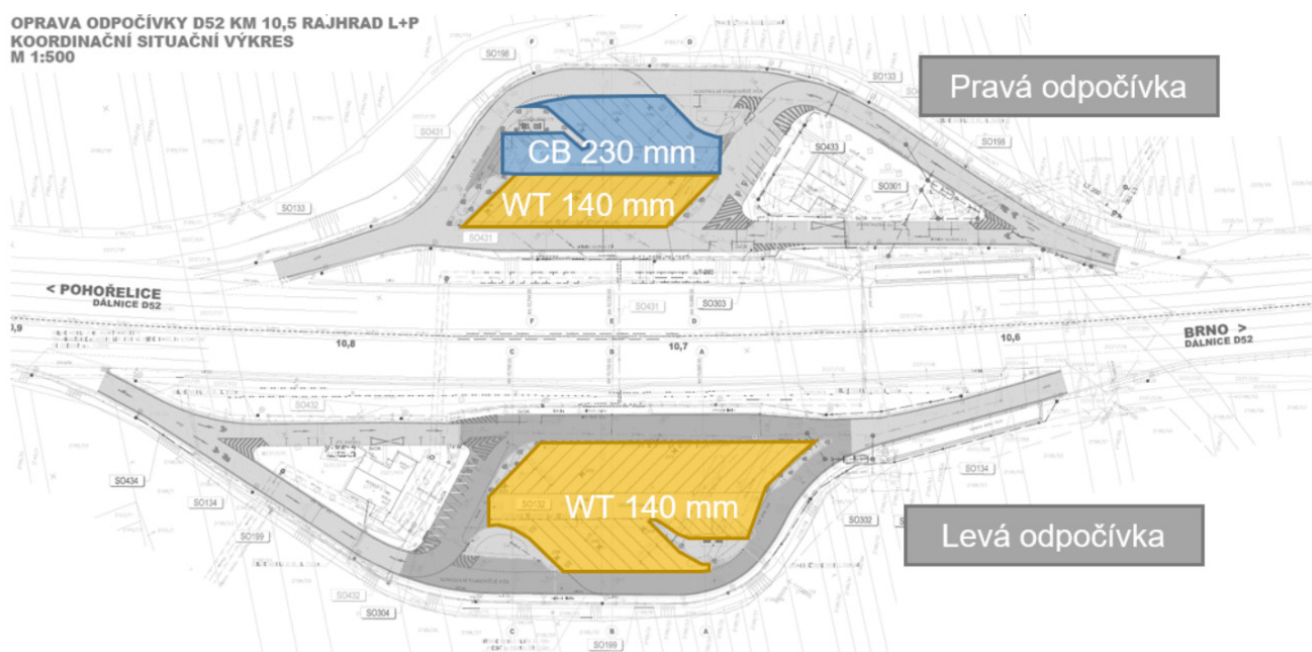
U obou metod provádění WT je kladen důraz na parametry použitého betonu. Doporučován je beton s pomalejším náběhem pevnosti, který vykazuje nízké hodnoty smrštění. Toho lze dosáhnout použitím přísad redukující smrštění nebo vláken a důsledným dodržováním zásad pro pokládku a ošetřování betonu. Cílem je maximálně předejít vzniku smršťovacích trhlin a u spojeného WT vzniku delaminací vlivem napětí od smrštění betonu.

PRVNÍ PILOTNÍ PROJEKT: OPRAVA ODPOČÍVKY D52 KM 10,5 RAJHRAD

Projektovou dokumentaci zpracovala v roce 2019 společnost PK-OSSENDORF s.r.o. a v roce 2020 byla v rámci výběrového řízení vybrána společnost SKANSKA a.s. k realizaci stavby. Realizace stavby probíhá v roce 2020. Detail posuzované odpočívky popisuje Tabulka 1. Stavba zahrnuje realizaci spojeného WT na AB podklad na dvojici odpočívek na dálnici D52. Rozsah návrhu aplikace technologie WT je zřejmý z Obrázku 2.

Tabulka 1. Technické parametry odpočívky

Původní vozovka	Typ WT	Tloušťka [mm]	Aplikace WT	Celková projektovaná plocha WT [m ²]	Současná skladba odpočívky	Tloušťka [cm]	
						Vpravo	Vlevo
asfaltobetonová s podkladem SC	spojený na AB povrch	140	plocha odstavných stání pro kamiony a průjezdné komunikace	3603	Asfaltový beton (AB)	18-25	15-20
					Směs stmelená cementem (SC)	19-24	19-24
					Písek (P)	21-24	21-33



Obr. 2: Projektovaný rozsah aplikace WT na odpočívce

Z pohledu únosnosti ověřené podle TP87 metodou rázových zatěžovacích zkoušek vykazovala vozovka pravé i levé odpočívky výborné parametry. Stav povrchu vozovky byl hodnocen podle TP87 u pravé odpo-

čívky stupněm 2-dobry, u levé odpočívky byl stav povrchu v místech odstavných stání pro kamiony hodnocen stupněm 5-havarijní. Poruchy se vyskytovaly zejména v krytové vrstvě a představovaly zejména výtlučky, deformace a trhliny, vysprávkky, nepravidelné hrboly. U části plochy pravé odpočívky byly zjištěny nespojení mezi asfaltovými vrstvami, které by při návrhu WT neměly být ponechány. Výskyt nespojení v podkladních AB vrstvách je pro aplikaci WT kritický z pohledu únosnosti a životnosti nové vozovky. Proto byl na části odstavných ploch odpočívky vpravo navržen povrch z CB a na části WT, jak je zřejmé z obrázku výše.

Na pravé odpočívce bylo možné s ohledem na větší tloušťku stávajících AB vrstev navrhnout realizaci spojeného WT v tloušťce 140 mm bez nadvýšení. Na levé odpočívce byla zjištěna menší tloušťka stávajících AB vrstev, a proto bylo navrženo nadvýšit kryt o 7 cm, aby pod vrstvou WT zůstala minimální doporučená tloušťka AB 70-80 mm.

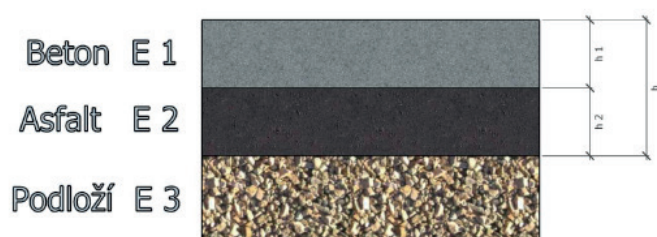
Výsledný návrh konstrukce vozovky byl proveden následovně:

• Whitetopping	WT	140 mm
• Asfaltový beton	AB	min. 80 mm
• Směs stmelená cementem	SC	dle stavu
• Písek	P	dle stavu

Základní principy návrhu a posouzení

Posouzení WT bylo provedeno s využitím materiálu [1,3,4]. Základ navrhování WT používá teorii a vztahy odvozené pro betonové desky uložené na pružném poloprostoru pro jednotlivá umístění zatížení na ploše desky.

Posouzení CB vozovky dle TP170 nebylo možné použít, jelikož výpočet nepočítá se spojením vrstev CB a AB. Posouzení návrhu tloušťky WT bylo tedy provedeno dle metodiky MEYERHOF. Jedná se o teorii vícevrstvého systému pružného podloží a následně návrhu betonové desky na elastickém podkladu. Základem návrhu je výpočet konstanty "k" modulu podloží, elastické délky odpovídající konstantě "k" a poměru modulů pružnosti jednotlivých vrstev skladby vozovky (viz obr. 3). Pro stanovení hodnoty "k" je zde využito vícevrstvého systému beton – asfalt – podkladní vrstvy podle jejich modulu pružnosti a tloušťky.



Obr. 3: Model vozovkového souvrství

Zatížení vozovky bylo uvažováno v souladu s čl. 4.2.2.2 TP170. Výsledkem posouzení je výpočet maximálního ohybového momentu od kombinace maximálního návrhového zatížení, smrštění a vlivu teploty pro daný rozměr desky.

ZKUŠEBNÍ ÚSEK

K ověření chování navržené receptury betonu pro WT byl nejprve proveden zkušební úsek ve vlastní provozovně Skanska na staré AB vozovce, která byla odfrézována silniční frézou. Primárně šlo o ověření základních parametrů betonové směsi (pevnost, smrštění, odolnost proti CHRL), která byla navržena ze

směsného cementu za účelem omezení smrštění a zpomalení hydratace. Dále byla na jádrových vývrtech ze zkušebního úseku zkoušena spojení mezi vrstvou CB a původní AB vozovky zkouškou spojení vrstev podle ČSN 736160, kap. 7.3., protože v českém prostředí neexistuje normovaný postup pro zkoušení spojení CB a AB vrstvy.

Pokládka byla realizována ve čtyřech variantách:

- na podklad navlhčený vodou,
- podklad ošetřený polymerním dispersním spojovacím nátěrem 5 min před betonáží,
- podklad suchý bez ošetření,
- podklad ošetřený spojovacím nátěrem 60 min před betonáží.

Na vývrtech průměru 150 mm byly provedeny zkoušky s výsledky s hodnotami 16-35 kN, tedy vyššími než 15 kN, což je směrná hodnota pro kontrolu spojení AB vrstev vozovky. Podle výsledků zkoušek nebyl vliv aplikovaného spojovacího můstku podstatný. Nejhorších hodnot bylo ale dosaženo u povrchu navlhčeného vodou, což bylo následně promítnuto do postupu realizace vlastního pilotního projektu.

REALIZACE OPRAVY ODPOČÍVKY D52 RAJHRAD KM 10,5

Frézování, příprava podkladu

V souladu s projektem opravy odpočívky a ZTKP bylo v místech plánované aplikace WT provedeno frézování silniční frézou. Frézování má zajistit dostatečnou makrotexturu povrchu AB, aby mohlo dojít k jeho spojení s CB. U odpočívky vlevo byl po odfrézování AB vrstev povrch kompaktní, zjištěné poruchy byly sanovány výměnou porušených částí podkladní asfaltové vrstvy s nadvýšením min. o 1 cm, aby bylo možné povrch znovu zfrézovat k vytvoření potřebné makrotextury. Veškeré trhliny byly uzavřeny a pasivní, nebylo je tedy nutné sanovat. K omezení jejich kopírování do povrchu CB byly přemostěny výztužnou sítí KARI 100/100/10 mm osazenou do vrstvy CBK.

U odpočívky vpravo bylo po odfrézování AB vozovky zjištěno, že stav asfaltových vrstev je významně horší, než se předpokládalo podle projektu. Zbytková AB vrstva měla dostatečnou tloušťku (8 cm), ale vykazovala ve velkém rozsahu rozpad povrchu. Proto bylo rozhodnuto o realizaci standardní CB vozovky v tl. 230 mm.

Pokládka WT

Povrch byl před pokládkou mírně zavlhlý nebo suchý. Spojovací můstek byl použit jen lokálně, aby bylo možné případně vysledovat rozdíly v chování. Na důkladně očištěný povrch byl položen finišerem CB kryt (WT) v tloušťce 140 mm. Pokládka byla provedena v šikmých pruzích podle uspořádání stání vozidel, což komplikovalo spárořez i samotnou pokládku. Proto byl použit menší finišer Bidwell 5000 (Obrázek 4) s betonáží do bočnic. Rohové partie byly zhutněny ručními vibrátory a povrch byl upraven ručními hladítky. Podél štěrbinových žlabů a obrub byla vložena oddělovací vložka z polystyrenu tloušťky 2 cm. V okolí kanalizačních šachet a vpustí byly dílčí desky vyztuženy podle zásad pro CB kryty. Makrotextura povrchu byla vytvořena pomocí tažené juty.



Obr. 4: Pokládka vrstvy Whitetoppingu finišerem

Beton pro WT

Návrh složení betonové směsi byl proveden pro kryt CB I se specifickými požadavky pro WT:

- minimalizace smrštění betonu (ČSN 73 1320) max. 0,5 mm/m, ideálně ještě nižší
- směsný cement CEM II/A-S nebo CEM II/B-S, příp. mletá struska jako příměs při výrobě betonu v kombinaci s cementem CEM I (pro zpomalení hydratace)
- vodní součinitel $w/c \leq 0,4$
- teplota betonové směsi při pokládce v rozmezí 18-27 °C.
- třída pevnosti v tahu ohybem (ČSN EN 12390-5) F 4,5

Řezání a těsnění spár

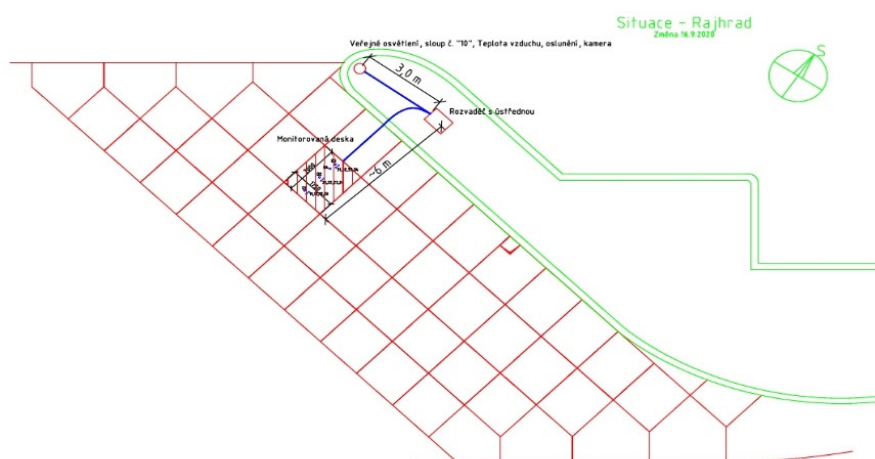
K řezání spár bylo přistoupeno následující den, tj. po 20 hodinách od pokládky a byly řezány kotoučovou strojní pilou do hloubky 1/2 tloušťky desky. Minimální rozměr desky byl 1,75 m, maximální 2,52 m, přičemž poloha spár byla volena tak, aby neležely v jízdních stopách vozidel. Spáry nebyly vyztužovány kluznými trny (kromě podélných spár koncových polí v přechodu na AB vozovku). Následně byly spáry rozšířeny do hloubky 20 mm na šířku 8 mm a vyplněny pružnou dvoukomponentní polysulfidovou záplivkou za studena. Obdobně byly upraveny obvodové pracovní spáry ovšem na šířku 10 mm. Pohled na hotovou vrstvu WT s prořezanými spárami je na Obrázku 5.



Obr. 5: Úsek zhotovený technologií WT

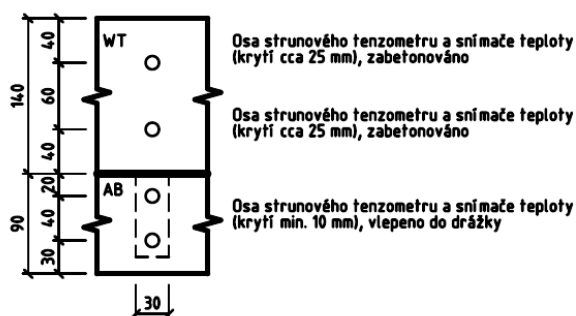
Monitoring

Součástí stavby je zřízení měřicího a sledovacího zařízení pro monitoring během a po realizaci plochy WT. Zařízení je osazeno ve vybrané desce WT ve třech místech (2x na okraji, 1x uprostřed) a vždy ve třech úrovních (2x ve WT, 2x v asfaltové podkladní vrstvě) – viz obr. 7. Konkrétní pozice měřené desky je znázorněn na Obrázku 6.

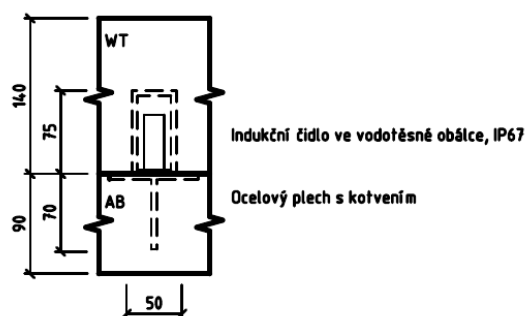


Obr. 6: Schématické znázornění úseku WT s vyznačenou deskou s instalovanými snímači

Svislý řez strunovými tenzometry



Svislý řez indukčním čidlem



Obr. 7: Svislý řez měřicího bodu se strunovými tenzometry a indukčním čidlem

Sledovány jsou parametry, které slouží k ověření chování konstrukce v průběhu výstavby a za provozu v intervalu 15 min:

- měření průběhu deformací v hotové konstrukci pomocí strunových tenzometrů
- měření delaminace mezi betonovou a asfaltovou vrstvou s použitím induktivních snímačů s rozlišením $<0,005\text{ mm}$ (řez snímačů je znázorněn na Obrázku 7)
- měření průběhu teplot v hotové konstrukci v místě každého strunového tenzometru
- měření průběhu teploty vzduchu ve standardní výšce 2 m
- měření průběhu intenzity slunečního osvětlení

Součástí je také kontrola případné delaminace WT nedestructivní metodou v celé ploše odpočívky.

ZÁVĚR

Realizace pilotního projektu opravy vozovky odpočívky D52 Rajhrad metodou spojeného whitetoppingu na AB podklad je první opravou realizovanou touto metodou na území ČR. Jako klíčové se ukázalo, že je nezbytné provedení důkladné diagnostiky stávající vozovky před vlastním návrhem a následně kontrola a odstranění poruch zjištěných po odfrézování vozovky. Technologie spojeného WT na AB podklad může být efektivní metodou opravy stávajících středně zatížených vozovek, které jsou v dobrém stavu z hlediska únosnosti a porušení a je u nich žádoucí odstranit dlouhodobě opakovaný vznik poruch způsobených pomalu se pohybující dopravou, tj. trvalé deformace, případně rozpad povrchu krytu vozovky.

Důležitá bude analýza dat zjištěných monitoringem z pohledu popisu statického působení kompozitní vozovky a zpřesnění návrhové metody.

Dalším připravovaným pilotním projektem technologie WT je Dálniční odpočívka D2 Ladná km 44,2. Projektovou dokumentaci zpracovala v roce 2018 rovněž společnost PK-OSSENDORF s.r.o., realizace by měla probíhat v roce 2021.

ZDROJE

- [1] Hela, R. a kol. – Technologické podklady pro opravy asfaltových nebo betonových vozovek technologií WHITETOPPING, Závěrečná zpráva, VUT Brno, 09/2018
- [2] Guide to Concrete Overlays, Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements, TB 021-03P, ACPA 2014, USA, third edition,
- [3] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RStO 01, FGSV Verlag, Köln, 2001
- [4] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RStO 12, FGSV Verlag, Köln, 2012
- [5] Merkblatt für die Whitetopping Bauweise, MWT – R2, FGSV Verlag, Köln, 2012
- [6] Jochen A. Eid – Theoretische und experimentelle Untersuchungen dünner Betondecken auf Asphalt (Whitetopping), Technická univerzita Mnichov, Zkušební úřad pro dopravní infrastrukturu (spisová řada č. 85). Dizertační práce 2012 München
- [7] Oprava odpočívky D2 Ladná vlevo KM 44,5, PK-OSSENDORF s.r.o., PDPS 12/2018
- [8] Oprava odpočívky D52 km 10,5 Rajhrad L+P, PK-OSSENDORF s.r.o., PDPS 08/2019
- [9] Vyhodnocení zkušebního úseku Oprava odpočívky D52 km 10,5 Rajhrad L+P, zpráva č. 10-2020, SKANSKA a.s.
- [10] Šmilauer, V., Slánský, B. – Projekt monitoringu – Osazení monitoringu pro Whitetopping na odpočívce D52 km 10,5 Rajhrad L

Precast concrete slabs for construction and repairing – high quality in short time

T. Alte-Teigeler

Otto Alte-Teigeler GmbH, Bietigheim, Germany

Tel.: +49 8106 24290

E-mail: tim.alte-teigeler@oat.de

Roads as a part of infrastructure are the basis of a well-running economy. Therefore, it is necessary to keep restrictions caused by bad conditions or repair works to a minimum. High quality of construction and maintenance as well as fast systems for maintenance are the aims to provide a good infrastructure.

A new way to achieve high quality of pavements for construction and maintenance is the use of precast concrete slabs. They are produced under specific conditions so there are less unpredictable negative influences and the application in situ is fast. This technique can, for example, be used for repairing destroyed concrete slabs, implementing additional expansion joints or even building new smaller fields, e.g. bus stops.

1. INTRODUCTION

A functioning infrastructure is the backbone of an economy. Against this background, it is extremely important that the roads have high availability and the effect on traffic is minimised as much as possible. With the tight budgets of the public sector the costs here are of special importance, not only for the new construction but also for the preservation during the useful life. Besides the life-cycle costs also the costs for the road users caused by traffic disturbance, the so-called user-delay costs, affect the economy. Therefore, it is necessary to provide repairing methods which allow to reduce the time frame for the maintenance as much as possible. Conventional methods of concrete maintenance, for instance fast-hardening concrete, require quite a long time before the road can be opened to traffic again. Thus, the aim is to develop new techniques to achieve high quality in a short-term roadblock.

In the last years there were trials and research projects to investigate the possibilities and the limits of industrial precast concrete slabs. In a first step, theoretical and technical principles were developed and the practical application was tested in field tests. In the beginning it was important to find a way to dimension slabs with different shapes according to the damages found on the roads. For first estimations on the durability the projects were combined with different measuring systems. In the second step the experiences from the first researches were analysed to develop and optimise the system in order to get different solutions suiting to the variety of damages occurring in the fields. The method nowadays finds more and more acceptance and will be implemented into guidelines and regulations as well as it has already been used in several rehabilitation projects.

Precast slabs are produced under specified conditions without being dependent on the weather and other contingencies. Consequently, the product provides a continuously high quality. In addition, the risk on site is minimised as the concrete is already hardened. Therefore, the repairing process is sped up and it is possible to use almost the entire time of the roadblock without the currently required time for hardening of the concrete.

2. THEORETICAL CONSIDERATIONS

Road pavements are stressed by both environmental as well as physical loads caused by traffic. The resistance against those impacts is mainly provided by the thickness of the pavement and the material properties, in particular strength and rigidity. But it is also important to have a look at the connection between single slabs or in this case between the existing pavement and the precast slab.

For dimensioning the slabs, besides the situation of the traffic loads, the situations of transport and installation have also to be taken into account. Up to now in general the precast slabs are produced with reinforced concrete and are dimensioned according to DIN EN 1992-1-1 to have sufficient safety for transport and installation. But as we are talking about roadworks it is not necessary to apply the safety concept of the DIN EN 1990 for dimensioning of the installed situation, thus the partial safety factors can be modified (Riwe et al, 2012).

Another important point is the connection between bordering precast slabs respectively a precast slab and the remaining pavement as it is essential to transfer the transverse force. For example, it is possible to work with dowels and anchor bars. The bars can be installed after applying the precast slab by cutting slots into the new and the remaining concrete surface. When the bars are installed the slots are back-filled with mortar. However, this method is time-consuming and it has to be assumed that the closure has disadvantages concerning the durability.

One way to limit this problem to the remaining concrete is to install the anchors or dowels into the precast slab during the production process. An even better way is to drill holes into the remaining concrete after removal of the damaged part. Into these holes the dowels or anchors are mounted with an epoxy glue. The precast slab has notches on the lower side where the dowels and anchors fit in.

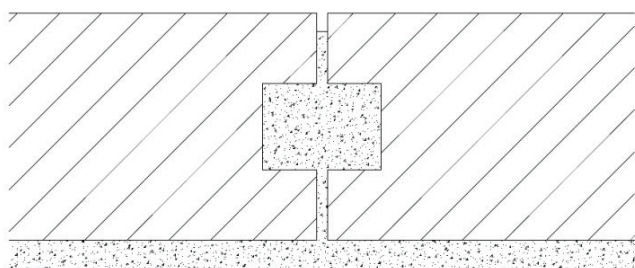


Fig. 1: Connection by groove-groove

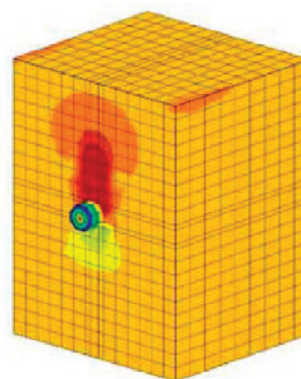


Fig. 2: FEA graphic of a connection with dowel

These notches are filled with a silicate resin that is also used to fill the hollows in between the precast slab and the bearing course. Thus, there are no weak points on the surface and the durability should be improved compared to the subsequently installed bars.

Other methods which are still under investigation are, for example, grooves in both, the remaining concrete and the precast slab (figure 1), or tongue and groove if there are more consecutive precast slabs.

Especially if only a part of a slab is taken, e.g. in case of broken angles (figure 3), the effect on the remaining pavement has to be considered as well. In such a case a round precast slab (figure 4) is a very good solution considering the resulting tensions (Becker et al, 2013). Naturally, when changing whole slabs or a part of it without producing angles inside the remaining slab the problem of different tensions depending on the shape of the precast slab is of minor relevance.

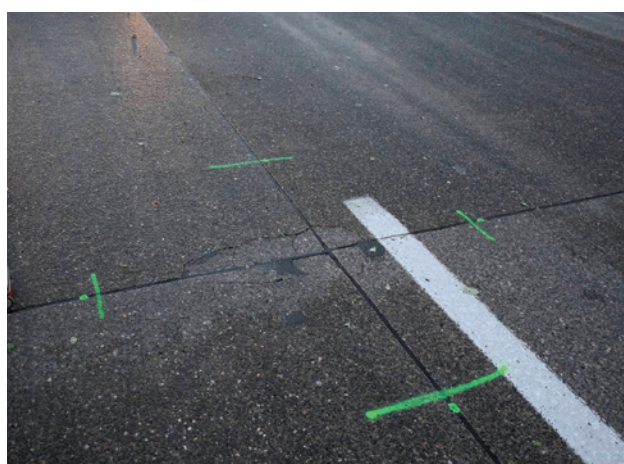


Fig. 3: Broken angles of concrete slabs



Fig. 4: Installed round precast slab

For a durable repair it is necessary to provide a stable and all-over bedding on the bearing course. Steps between the precast slab and the existing pavement are prevented by a consistent and durable level of the bedding. This guarantees that there occurs no deformation in the underground and that the dowels and anchors do not become the support of the precast slab.

Concerning the loading capacity it is an advantage if there is a good and durable bond between the precast slab and the bearing course as that improves the transfer of the transverse forces.

There are different possibilities to embed the precast slabs. One option is to put the precast slab on a bedding of very fine unbound aggregates. However, with this material it is difficult to reach a stable and even bedding that is also accurate regarding to the level. In addition, a liquid material e.g. silicate resin can be injected into the hollows and so an over-all bedding can be achieved. But still the quality of the compaction and the level of the fine aggregates is essential. In general, it can be assumed that the fine unbound material is not stable against rearrangements and thus the durability can suffer.

Another option is to adjust the level of the precast slab directly on the bearing layer or by using the bordering slabs. Nowadays, the remaining hollow between the bearing course and the precast slab is injected with silicate resin. This liquid material can flow even into small hollows and is self-levelling so it equalises the unevenness of the bearing course and provides an all-over bedding for the precast slab. The strength of the silicate resin is similar to the one of concrete but the deformation behaviour is different. If the bottom side of the precast slab is rough enough, e.g. through sandblasting, a bond between the

injecting material and the slab is produced. As already mentioned this has a positive effect on the loading capacity of the pavement. Needless to say that, besides the bedding material and the bond, also the loading capacity of the base course is vital for the system and its durability.

Precast slabs vary depending on the connection, the shape, the bedding, the loads and so on. Every slab has different conditions and so the dimensioning has to be adjusted according to the circumstances. In order to calculate the thickness, the required reinforcement and other parameters it is common to use existing computer programs for Finite Elements Analysis (FEA) (figure 2). The occurring tensions in the precast slabs can be determined by the input of the material characteristics, the loading capacities of the base course, the implemented connection system to bordering slabs, the traffic loads and so on. With this result the plans for manufacturing the slabs can be produced.

3. APPLYING OF THE PRECAST SLABS

In Germany there have been several field tests with precast slabs in different environments in the past years e.g. highways, airports, bus stops or separated testing areas. In those tests round precast slabs as well as rectangular ones were applied. Since two years there have been some projects to apply precast slabs in order to rehabilitate concrete highways after being locally destroyed by traffic accidents. This chapter describes the method how the precast slabs are currently applied.

In case of repairing damaged concrete pavements, the job starts with taking drill cores to investigate the conditions such as the thickness of the slab, the bond to the base course, the state of the base course and so on. With this information the precast slab can be dimensioned, planned and produced. Then the work on site starts with deep cuts and the removal of the broken slab or part of it. If it is a newly built pavement this step can be skipped. Next it is necessary to check the bearing course concerning loading capacity and level and, if required, to improve the found bearing layer. Afterwards, the connection to the remaining pavement has to be installed. Usually that happens by drilling holes into the bordering slabs to insert the dowels.

After those preparations the laying of the precast slab or slabs can start. The slabs can be moved from the truck to the place of appliance by excavator or, if it is too heavy, by mobile crane. Implemented stud bolts or belts that are pulled underneath the slab are used to attach it to the lifter.

In tests with consecutive slabs different connection methods have been used, but the majority of the applications were made with inserted dowels in the first implemented slab and notches for the dowels in the following slab.

After placing the slab respectively the slabs the level has to be adjusted. In some cases, this is done with traverses that are laying on the bordering pavement. With these traverses it is possible to adjust the level according to the existing pavement, but the bordering slabs respectively pavement have to be stable and fixed. Thus, it only works for single precast slabs. In cases with consecutive slabs or where it is not possible to use the bordering slabs a system with stamps is used. With at least three of those adjustment devices the level of the slab can be adjusted, independent from the bordering conditions. Each slab can be adjusted for itself. After fixing the slabs in their final position the hollows underneath and the notches for the dowels or other connection systems are injected with silicate resin. Subsequently, the levelling instruments have to be released so the load transfer by the bedding is guaranteed. In addition, the joints and the holes on the surface have to be sealed against the entry of water into the underground.

4. EXAMPLES IN PRACTICE

On airports the unaffected operation of the air traffic takes top priority. Thus, maintenance has to be done during the short flight breaks, usually at night-time. In this example a slab including two built-in components, a light signal and a cable slot, on a taxiway was broken (figure 5). The aim was to exchange the broken slab and to install the light signal in the same night without any disturbance of the air traffic.

The exact measures of the slab as well as the thickness and the bearing course (figure 6) were investigated a couple of weeks in advance to the installing of the precast slab. The plans were drawn and the precast slabs were produced. The specialty about that slab was that the two built-in components as well as the duct for the cable connecting those two places had already been installed in the precast slab during the production process. Therefore, it was not necessary to install the instruments in an additional time-consuming working shift.

The repair had to be executed at the end of November. Thanks to the advantage of precast slabs that are already completely hardened, there was a low risk of exceeding the working time before air traffic continued. Even though the investigations in advance let assume that there was no bond between the concrete slab and the bearing course, it occurred after the deep cuts that the slab could not be easily lifted for removal. Some parts of the slab had to be destroyed by air hammer in order to remove the remaining parts. The bearing course was cleaned and the holes for the dowels and anchor bars were drilled into the bordering slabs. The hole of the cable slot was sealed so that no injection material could get in. Followingly, the precast slab was lifted into the prepared hole and levelled by traverses according to the surrounding slabs (figure 7). The hollows underneath the precast slab were injected with silicate resin. After the resin was hardened a hole was drilled through it to reach the cable that has been placed in the bearing layer (figure 8). The light signal was connected and the holes of the stud bolts were filled with stainless-steel screws. Due to the time-consuming problem regarding the removal of the old slab it was not possible to seal the joints in the same night shift, thus the repair was completed in the following night. However, on the whole it was a successful project as the slab was exchanged in a high quality without any disturbance to the air traffic. The built-in components were installed without degradation of the concrete slab or the surface and it is assumed that the failure mode “cracks” initialized by the light signal will not occur again.



Fig. 5: Damaged concrete slab with two built-in components



Fig. 6: Drill core of a concrete slab and bearing course without bond



Fig. 7: Levelling of the slab by traverses through the cable slot



Fig. 8: Pulling the cable of the light signal

Another example was a bus stop with a length of about thirty metres and a width of three metres. As concrete is the preferred material in heavy load areas, especially if the heavy vehicles are standing, braking and accelerating, it was a great opportunity to use precast slabs. Usually concrete has to harden for a couple of days before the pavement can be opened to traffic. Because of the precast slabs the opening followed directly on the paving of the bordering asphalt road. Overall, 13 consecutive precast slabs were applied. The connection between the slabs varied in order to investigate the advantages and disadvantages of the different methods. Also the way of lifting the precast slabs from the truck to the final position diversified. In this project the bearing course and the surroundings, just as sidewalk, neighbouring road pavement and so on, were renewed as well. The paving of the asphalt followed after the installation of the precast slabs. Thus, the precast slabs had to be adjusted independently without support of the pavement next to them. In the middle of the bus stop was a manhole that had to be included in the slabs. As the project included some extensive works besides the installation of the precast slabs, the road section was completely blocked to the traffic. However, it was important to reduce the restrictions as much as possible. The works on the sidewalk and the bus shelter were executed before the works on the road pavement.



Fig. 9: Laying by stud bolts



Fig. 10: Laying by belts

The preparation of the bearing course was accomplished in advance. The precast slabs were laid with a mobile crane by two methods, some with stud bolts (figure 9) others with belts pulled around the slabs (figure 10). The slabs were levelled by implemented adjustment systems (figure 11) as it was not possible to use the bordering pavement as a reference. Because of the gap between the precast slabs and the next construction elements a blocking had to be erected around the precast slabs to prevent the liquid silicate resin to flow off. Then the hollows were injected (figure 12) and the level adjustment systems were released. Finally, the joints were sealed.

Within only one day the bus stop with a length of thirty metres was accomplished including all the back-work and could have been opened to the traffic. But as the paving of the asphalt was not completed in the same shift and was executed the next day the opening followed some days later. Nevertheless, the project showed that repair work with concrete can be sped up and traffic restrictions can be minimized.



Fig. 11: Levelling by implemented adjustment system



Fig. 12: Injection of the silicate resin to fill the hollows

5. SUMMARY AND PROSPECT

In Germany precast slabs are getting more and more common for road maintenance. In the past years there were some trials and research projects which showed that with this method it is possible to shorten the duration of traffic disturbance, e.g. on roads with heavy traffic or airfields. Due to those experiences there were some projects of applying precast slabs in order to repair damaged concrete pavements and the method is about to be implemented in guidelines for concrete rehabilitation.

The preparations for that repair method are extensive as it is required to investigate the conditions such as thickness of the pavement, loading capacity and so on. The measures have to be determined precisely to dimension the precast slab and to draw the plans that are used to produce the precast slabs in advance under protected conditions. This leads to a constantly high quality and to the fact that on site there is no risk of getting problems with the hardening of the concrete. Furthermore, even when the weather conditions are not suitable for pouring concrete in situ, precast slabs can be installed. Thus, a wider time frame for maintenance works is available.

Regarding the adjustment of the level there are different options such as traverses or implemented systems for levelling with a following injection of silicate resin or simply relying on the exactly prepared base course. For example, dowels and anchor bars, groove-groove or tongue-groove systems can be used for

the connection between bordering slabs. These variants are still under investigation and development in order to find the best solution for future projects. However, already today precast slabs are a good solution for a quickly executed maintenance in case of damaged concrete pavements.

Nevertheless, there is still a huge potential to improve and research. In order to make them more economic precast slabs should be standardized in shape and size, so that the production becomes less expensive and the time of preparation is reduced. The adjusting and connecting systems as well as the way of bedding are also subjects to investigate.

REFERENCES

- [1] Becker, Christoph; RIWE, Axel; Tschernack, Tanja; Villaret, Stephan; WIELAND, Marko (2013): Artikel in "Straße und Autobahn 9/2013: "Modulares Schnellreparatursystem – Betonfertigteil"
- [2] Riwe, Axel.; Tschernack, Tanja; Villaret, Stephan: Schlussbericht - Forschungsprojekt FE 89.0279/2012, Bundesanstalt für Straßenwesen: "Machbarkeitsstudie zum Einsatz von vorgefertigten Betonfertigteilen zur schnellen Sanierung lokaler Schadstellen", 2012
- [3] DIN EN 1992-1-1 Eurocode 2: "Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau"; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- [4] DIN EN 1990 Eurocode: "Grundlagen der Tragwerksplanung"; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

Parts of this article are results of the research project HESTER funded by the German Ministry of Education and Research (No. of grant: 13XP5000C)

Prefabrikované betonové desky pro stavbu a opravy – vysoká kvalita za krátkou dobu

T. Alte-Teigeler

Otto Alte-Teigeler GmbH, Bietigheim, Německo

Tel.: +49 8106 24290

E-mail: Tim.Alte-Teigeler@oat.de

Silnice jsou jako součást infrastruktury základem dobře fungující ekonomiky. Proto je nutné udržet na minimu omezení způsobená špatným stavem krytu nebo opravami. Pro zajištění dobré infrastruktury je nutná vysoká kvalita stavby a údržby a rychle prováděná údržba.

Nový způsob, jak dosáhnout vysoké kvality vozovek z hlediska konstrukce a údržby, je použití prefabrikovaných betonových desek. Tyto desky jsou vyráběny za specifických podmínek, v souvislosti s nimi se tedy může vyskytnout méně nepředvídatelných negativních vlivů a jejich instalace na místě je rychlá. Tuto techniku lze použít například k opravě poškozených betonových desek, zřizování dodatečných dilatačních spár nebo dokonce k výstavbě nových menších ploch, jako jsou např. autobusové zastávky.

1. ÚVOD

Fungující infrastruktura je páteří ekonomiky. V této souvislosti je nesmírně důležité, aby byly k dispozici kvalitní silnice a aby provoz na nich byl ovlivňován co nejméně. Vzhledem k napjatému rozpočtu veřejného sektoru je velmi důležitá výše nákladů, a to nejen na novou stavbu, ale také na její údržbu po celou dobu životnosti. Kromě nákladů na životní cyklus ovlivňují ekonomiku také náklady způsobené účastníkům silničního provozu narušením plynulosti dopravy, tzv. náklady na zpoždění uživatelů komunikací. Proto je nutné zajistit metody oprav, které umožní co nejvíce zkrátit dobu nutnou pro omezení provozu na komunikaci. Konvenční způsoby údržby betonu, například rychle tuhnoucí beton, vyžadují poměrně dlouhou dobu, než může být silnice znovu otevřena pro provoz. Cílem je vyvíjet nové technologie k dosažení vysoké kvality při krátkodobém uzavření komunikace.

V posledních letech proběhly pokusy a výzkumné projekty, které měly prověřit možnosti a omezení použití průmyslově vyráběných prefabrikovaných betonových desek. V prvním kroku byly vyvinuty teoretické a technické principy, praktická aplikace byla vyzkoušena na zkušebních úsecích. Na začátku bylo důležité najít způsob, jak dimenzovat desky různých tvarů podle porušení, zjištěných na silnicích. Pro první odhady životnosti byly projekty kombinovány s různými měřicími systémy. Ve druhém kroku byly analyzovány zkušenosti z prvních výzkumů. Cílem bylo vyvinout a optimalizovat systém pro získání různých možností řešení různých typů poruch na komunikacích. Metoda je dnes stále více uznávána a bude implementována do pokynů a předpisů; také již byla použita v několika sanačních projektech.

Prefabrikované desky se vyrábějí za stanovených podmínek bez závislosti na počasí a jiných okolnostech. Díky tomu je tento výrobek dodáván v trvale vysoké kvalitě. Navíc je minimalizováno riziko na stavbě, protože beton je již vyztužený. Z toho důvodu se proces oprav zrychlil a je možné využít téměř celou dobu uzavírky, bez potřeby počítat s dobou nutnou pro vytvrzení betonu.

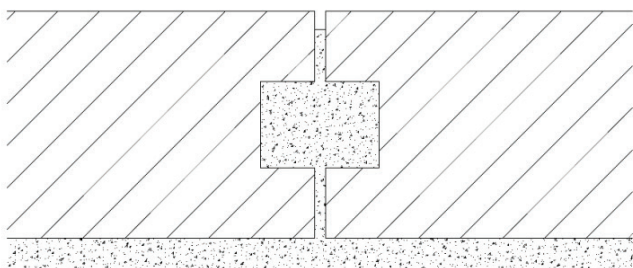
2. TEORETICKÉ ÚVAHY

Kryty vozovek jsou namáhány jak klimatickými, tak i mechanickými zátěžemi způsobenými dopravou. Odolnost proti těmto dopadům je dána především tloušťkou krytu a vlastnostmi materiálu, zejména pevností a tuhostí. Je však také důležité brát v úvahu i spojení mezi jednotlivými deskami nebo v tomto případě mezi stávajícím krytem a prefabrikovanou deskou.

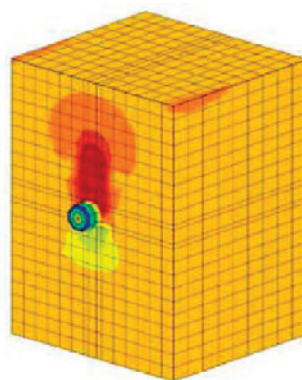
Při dimenzování desek je třeba vzít v úvahu kromě dopravního zatížení také situaci při přepravě a instalaci. Dosud se prefabrikované desky obecně vyráběly ze železobetonu a byly dimenzovány podle DIN EN 1992-1-1 tak, aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost pro přepravu a instalaci. Jelikož se však jedná o práce na silnici, není nutné aplikovat na dimenzování posuzované situace bezpečnostní koncepci DIN EN 1990, lze upravit dílčí bezpečnostní faktory (Riwe et al, 2012).

Dalším důležitým bodem je spojení mezi koncovými prefabrikovanými deskami, respektive prefabrikovanou deskou a stávající vozovkou, protože je nezbytné přenášet příčnou sílu. Je například možné pracovat s hmoždinkami a kotevními tyčemi. Tyče lze instalovat po aplikaci prefabrikované desky vyříznutím otvorů do nového a stávajícího betonového povrchu. Po instalaci tyčí jsou vyříznuté otvory vyplněny maltou. Tato metoda je ale časově náročná a je třeba předpokládat, že maltové výplně mohou mít nižší životnost.

Jedním ze způsobů, jak omezit tento problém pouze na stávající beton, je instalace kotev nebo hmoždinek do prefabrikované desky během výrobního procesu. Ještě lepší řešení je vyvrtat otvory do stávajícího betonu po odstranění poškozených desek. Do těchto otvorů jsou hmoždinky nebo kotvy upevněny epoxidovým lepidlem. Prefabrikovaná deska má na spodní straně zářezy, do kterých hmoždinky a kotvy zapadnou.



Obr. 1: Spojení drážka-drážka

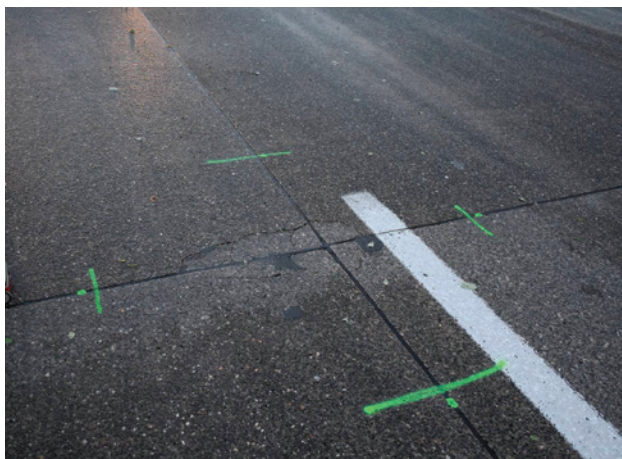


Obr. 2: FEA grafika spojení s hmoždinkou

Tyto zářezy jsou vyplněny silikátovou pryskyřicí, která se také používá k vyplnění dutin mezi prefabrikovanou deskou a podkladní vrstvou. Na povrchu krytu tedy nejsou žádná slabá místa a životnost by měla být delší ve srovnání s dodatečně instalovanými tyčemi.

Další metody, které jsou stále předmětem výzkumu, jsou například drážky ve stávajícím betonu i v prefabrikované desce (obrázek 1) nebo pero a drážka, pokud existuje více po sobě následujících prefabrikovaných desek.

Zejména pokud je vybourána pouze část desky, např. v případě vzniklých úhlů (obrázek 3), je třeba vzít v úvahu také vliv na stávající vozovku. Vzhledem k výslednému napětí je v takovém případě velmi dobrým řešením kruhová prefabrikovaná deska (obrázek 4) (Becker a kol., 2013). Když měníte celé desky nebo jejich část bez vytváření úhlů uvnitř stávající desky, má problém různých napětí v závislosti na tvaru prefabrikované desky přirozeně malý význam.



Obr. 3: Lomené úhly betonových desek



Obr. 4: Nainstalovaná kruhová prefabrikovaná deska

Pro kvalitní opravu, která bude mít delší životnost, je nutné zajistit stabilní a celoplošné uložení na podkladní vrstvě. Stálá a odolná podkladní vrstva zabrání tvorbě schodků mezi prefabrikovanou deskou a stávajícím krytem. To zaručuje, že nedojde k žádné deformaci pod deskou a že hmoždinky a kotvy nebudou prefabrikovanou desku podepírat.

Pokud jde o únosnost, je výhoda, pokud existuje dobré a odolné spojení mezi prefabrikovanou deskou a podkladní vrstvou, protože to zlepšuje přenos příčných sil.

Existují různé možnosti pro zabudování prefabrikovaných desek. Jednou z možností je položit prefabrikovanou desku na podkladní vrstvu z velmi jemného nestmeleného kameniva. S tímto materiálem je však obtížné zajistit stabilní a rovnoměrnou podkladní vrstvu, jejíž výška je také přesná. Je však třeba dodat, že lze do dutin injektovat kapalným materiálem, např. silikátovou pryskyřici, a tak je možné dosáhnout celoplošného podložení uložené desky. Přesto je kvalita zhutnění a výška jemného kameniva zásadní. Obecně lze předpokládat, že jemný nestmelený materiál není stabilní proti přeskupení, což může mít negativní vliv na životnost.

Další možnost je nastavit výšku prefabrikované desky přímo na podkladní vrstvu nebo pomocí koncových desek. V současné době je do dutiny mezi podkladní vrstvou a prefabrikovanou deskou injektována silikátová pryskyřice. Tento kapalným materiál může proudit i do malých dutin a je samonivelační, takže vyrovnává nerovnosti podkladní vrstvy a pro prefabrikovanou desku vytváří celoplošnou podkladní vrstvu. Pevnost silikátové pryskyřice je podobná jako pevnost betonu, ale deformační chování je jiné. Pokud je spodní strana prefabrikované desky dostatečně drsná, čehož lze dosáhnout např. pískováním, vytvoří se spojení mezi injektovaným materiálem a deskou. Jak již bylo uvedeno, toto má pozitivní vliv na únosnost

vozovky. Není třeba dodávat, že kromě materiálu podkladní vrstvy a spojení je pro systém a jeho životnost zásadní také únosnost podkladní vrstvy.

Prefabrikované desky se liší v závislosti na napojení, tvaru, podkladní vrstvě, zatížení apod. Každá deska má jiné podmínky, a proto musí být dimenzování upraveno podle okolností. Pro výpočet tloušťky, požadované výztuže a dalších parametrů se běžně používají existující počítačové programy pro analýzu konečných prvků (FEA) (obrázek 2). Vznikající napětí v prefabrikovaných deskách lze určit zadáním materiálových charakteristik, únosnosti podkladní vrstvy, realizovaného systému spojení s koncovými deskami, dopravního zatížení apod. S tímto výsledkem lze sestavit plány na výrobu desek.

3. POUŽITÍ PREFABRIKOVANÝCH DESEK

V minulých letech proběhlo v Německu několik zkušebních aplikací prefabrikovaných desek v různých prostředích, např. na dálnicích, letištích, autobusových zastávkách nebo na samostatných zkušebních úsecích. Při těchto zkušebních aplikacích byly použity kruhové i obdélníkové prefabrikované desky. V průběhu posledních dvou let proběhlo několik projektů použití prefabrikovaných desek za účelem oprav cementobetonových krytů dálnic poté, co byly lokálně porušeny při dopravních nehodách. Tato kapitola popisuje metodu, jak jsou v současnosti prefabrikované desky používány.

V případě oprav poškozeného cementobetonového krytu začíná práce diagnostikou - odebráním jádrových vývrtů ke zjištění potřebných informací, jako je tloušťka desky, spojení s podkladní vrstvou, zjištění stavu podkladní vrstvy a podobně. S těmito informacemi lze prefabrikovanou desku nadimenzovat, naprojektovat a vyrobit. Práce na staveništi pak začíná hlubokými řezy a odstraněním porušené desky nebo jejích částí. V případě nově budovaného krytu lze tento krok přeskočit. Dále je nutné zkontrolovat podkladní vrstvu z hlediska únosnosti a tloušťky a případně vyměnit stávající podkladní vrstvu v souladu s požadavky. Poté musí být provedeno napojení na stávající kryt. To se obvykle děje vyvrtáním otvorů pro vložení hmoždinek do krajních desek.

Po těchto přípravách může začít pokládání prefabrikované desky nebo desek. Desky lze přesunout z kamionu na místo zabudování pomocí bagru nebo v případě vysoké hmotnosti pomocí mobilního jeřábu. K připevnění zvedacího zařízení slouží závrtné šrouby nebo pásy, které jsou protaženy pod desku.

Při zkouškách s deskami položenými vedle sebe byly použity různé způsoby spojování, většinou ale realizace proběhla pomocí hmoždinek zasunutých v první pokládané desce a zářezů pro hmoždinky ve vedlejší desce.

Po položení desky nebo desek musí být nastavena jejich výška. V některých případech lze toto provést pomocí traverz, které leží na krajních deskách stávajícího krytu. U těchto traverz je možné nastavit výšku podle stávající vozovky; krajní desky, případně kryt, ale musí být stabilní a pevné. Z toho důvodu je tento způsob vhodný pouze pro jednotlivé prefabrikované desky. V případech desek uspořádaných vedle sebe nebo tam, kde není možné využít krajní desky, se používá systém s hevery. S nejméně třemi těmito nastavovacími zařízeními lze výšku desky upravit nezávisle na podmínkách daných krajními deskami stávajícího krytu. Výška každé desky může být nastavena samostatně. Po upevnění desek do konečné polohy se do dutin pod nimi a do zářezů pro hmoždinky nebo jiné spojovací systémy injektuje silikátová pryskyřice. Následně musí být uvolněny nivelační přístroje, takže je zatížení přenášeno podkladní vrstvou. Kromě toho musí být spáry a otvory na povrchu utěsněny proti vniknutí vody do prostoru pod deskami.

4. PŘÍKLADY Z PRAXE

Na letištích má nejvyšší prioritu nerušený letový provoz. Údržbu je tedy třeba provádět během krátkých přestávek mezi jednotlivými lety, obvykle v noci. V tomto příkladu byla na pojezdové dráze porušena deska včetně dvou vestavěných komponent, světelné signalizace a otvoru na kabely (obrázek 5). Cílem bylo vyměnit poškozenou desku a nainstalovat světelnou signalizaci v průběhu jedné noci bez narušení leteckého provozu.

Přesné rozměry desky, ale i tloušťka a podkladní vrstva (obrázek 6) byly prověřeny několik týdnů před instalací prefabrikované desky. Byly nakresleny plány a vyrobeny prefabrikované desky. Zvláštností této desky bylo to, že dvě vestavěné součásti a také kanálek pro kabel spojující tato dvě místa již byly do prefabrikované desky nainstalovány během výrobního procesu. Proto nebylo nutné tato zařízení instalovat v průběhu časově náročné pracovní směny.

Oprava musela být provedena na konci listopadu. Díky prefabrikovaným deskám, které byly již zcela vytvrzeny, bylo riziko překročení vymezené doby před zahájením leteckého provozu nízké. I když při diagnostice nebylo zjištěno žádné spojení mezi betonovou deskou a podkladní vrstvou, po provedení hlubokých řezů se ukázalo, že desku není možné snadno zvednout a odstranit. Některé části desky musely být rozbity pneumatickým kladivem, aby se daly zbývající části odstranit.



Obr. 5: Poškozená betonová deska se dvěma vestavěnými součástmi



Obr. 6: Jádrový vývrt z betonové desky a podkladní vrstva bez spojení



Obr. 7: Vyrovnání desky traverzami



Obr. 8: Protahování kabelu světelné signalizace otvorem pro kabely

Podkladní vrstva byla očištěna a do krajních desek byly vyvrtány otvory pro hmoždinky a kotevní tyče. Otvor kabelové rýhy byl utěsněn, aby se dovnitř nemohl dostat žádný injektovaný materiál. Následně byla prefabrikovaná deska zvednuta do připraveného otvoru a vyrovnána traverzami podle okolních desek (obrázek 7). Prohlubně pod prefabrikovanou deskou byly zaplněny injektováním silikátové pryskyřice. Po vytvrzení pryskyřice byl do desky vyvrtán otvor pro kabel umístěný v podkladní vrstvě (obrázek 8). Byla připojena světelná signalizace a do otvorů závrtných šroubů byly instalovány šrouby z nerezové oceli. Vzhledem k časově náročnému problému s odstraněním staré desky nebylo možné utěsnit spáry ve stejné noční směně; oprava proto byla dokončena následující noc. Celkově však byl tento projekt úspěšný, protože výměna desky byla ve vysoké kvalitě a letecký provoz nebyl narušen. Vestavěné součásti byly nainstalovány bez poškození betonové desky či povrchu; předpokládá se, že porucha inicializovaná zabudovanou světelnou signalizací již nenastane.

Dalším příkladem byla autobusová zastávka o délce asi třiceti metrů a šířce tří metrů. Protože pro úseky s vysokým zatížením je preferovaným materiálem beton, a to zejména tam, kde těžká vozidla stojí, brzdí a zrychlují, byla to skvělá příležitost pro použití prefabrikovaných desek. Beton musí obvykle několik dní tvrdnout, než může být vozovka uvedena do provozu. Prostor pro prefabrikované desky přímo navazoval na okolní asfaltový kryt. Celkově bylo použito 13 vedle sebe položených prefabrikovaných desek. Byla použita různá napojení mezi deskami, aby bylo možné vyzkoušet výhody a nevýhody různých metod. Také se lišil způsob zvedání prefabrikovaných desek z kamionu a jejich umísťování do konečné polohy. V tomto projektu byla rovněž obnovena podkladní vrstva a okolí, chodník, sousední kryt a další prvky. Po instalaci prefabrikovaných desek následovala pokládka asfaltových vrstev. Prefabrikované desky tedy musely být nastaveny samostatně bez podpory navazujícího krytu. Uprostřed autobusové zastávky byla šachta, která musela být zapracována do desek. Jelikož kromě instalace prefabrikovaných desek zahrnoval projekt i několik rozsáhlejších prací, byl provoz na tomto silničním úseku zcela uzavřen. Toto omezení však bylo nutné co nejvíce zredukovat. Práce na chodníku a přístřešek autobusové zastávky byly realizovány před pracemi na krytu.

Podkladní vrstva byla připravena předem. Prefabrikované desky byly pokládány pomocí mobilního jeřábu dvěma způsoby, některé pomocí závrtných šroubů (obrázek 9), jiné pomocí pásů protažených kolem desek (obrázek 10).



Obr. 9: Pokládka pomocí závrtných šroubů



Obr. 10: Pokládka pomocí pásů

Protože nebylo možné využít okolní kryt jako referenční, byly desky vyrovnány pomocí nainstalovaných systémů pro nastavení výšky (obrázek 11). Z důvodu mezery mezi prefabrikovanými deskami a sousedními konstrukčními prvky, bylo nutné postavit hrazení okolo prefabrikovaných desek, které zabránilo odtoku kapalné křemičité pryskyřice. Poté byly injektovány dutiny (obrázek 12) a byly odstraněny systémy pro nastavení výšky. Nakonec byly utěsněny spáry.

Během jediného dne byla dokončena autobusová zastávka o délce třiceti metrů včetně veškerých souvisejících prací, bylo tedy možné její uvedení do provozu. Protože ale pokládka asfaltových vrstev nebyla dokončena ve stejné směně, ale až další den, bylo otevření o několik dní posunuto. Projekt nicméně ukázal, že je možno opravy betonu zrychlit a tím minimalizovat dopravní omezení.



Obr. 11: Vyrovnání pomocí systému pro stanovení výšky k vyplnění dutin



Obr. 12: Injektování silikátové pryskyřice

5. SHRNUTÍ A VYHLÍDKY

V Německu jsou prefabrikované desky stále více využívány pro údržbu silnic. V minulých letech proběhly některé pokusy a výzkumné projekty, které ukázaly, že pomocí této metody je možné zkrátit omezení provozu např. na silnicích se silným provozem nebo na letištích. Vzhledem k těmto zkušenostem se uskutečnilo několik projektů použití prefabrikovaných desek k opravě poškozených betonových krytů. Tato metoda bude brzy zavedena do směrnic pro opravy betonu.

Přípravy na tento způsob opravy jsou rozsáhlé, protože je nutné prověřit podmínky, jako je tloušťka krytu, únosnost apod. Rozměry musí být určeny přesně, aby prefabrikovaná deska mohla být správně nadimenzována, a musí být zpracovány projekty, které se použijí pro výrobu prefabrikovaných desek předem a za stanovených podmínek. To vede k trvale vysoké kvalitě a k tomu, že na staveništi nehrozí riziko problémů s tvrdnutím betonu. Prefabrikované desky lze navíc nainstalovat i v případech, kdy povětrnostní podmínky nejsou vhodné pro betonování na místě. K dispozici je tedy širší časový rámec pro provádění údržby.

Pokud jde o nastavení výšky, existují různé možnosti, jako jsou traverzy nebo implementované systémy pro vyrovnávání s následnou injektáží silikátovou pryskyřicí; další možností je příprava velmi přesné podkladní vrstvy. Pro spojení mezi koncovými deskami lze použít například hmoždinky a kotevní tyče, systémy drážka-drážka nebo systémy pero-drážka. Tyto varianty jsou stále předmětem zkoušek a vývoje, aby

bylo možno najít co nejlepší řešení pro budoucí projekty. Již dnes jsou však prefabrikované desky dobrým řešením pro rychlé provedení údržby v případě poškození betonového krytu.

Potenciál ke zlepšení a výzkumu je však stále obrovský. Pro ekonomičtější využití, zlevnění výroby a zkrácení doby přípravy, by tvary a velikosti prefabrikovaných desek měly být standardizovány. Předmětem zkoumání jsou rovněž systémy nastavení výšky, napojování desek a provedení podkladní vrstvy.

ZDROJE

- [1] Becker, Christoph; Riwe, Axel; Tschernack, Tanja; Villaret, Stephan; WIELAND, Marko (2013): Artikel in "Straße und Autobahn 9/2013: "Modulares Schnellreparatursystem – Betonfertigteil"
- [2] Riwe, Axel.; Tschernack, Tanja; Villaret, Stephan: Schlussbericht - Forschungsprojekt FE 89.0279/2012, Bundesanstalt für Straßenwesen: "Machbarkeitsstudie zum Einsatz von vorgefertigten Betonfertigteilen zur schnellen Sanierung lokaler Schadstellen", 2012
- [3] DIN EN 1992-1-1 Eurocode 2: "Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau"; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- [4] DIN EN 1990 Eurocode: "Grundlagen der Tragwerksplanung"; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

Části tohoto článku jsou výsledkem výzkumného projektu HESTER financovaného německým Ministerstvem školství a výzkumu (grant číslo 13XP5000C).



4. blok:

Další možnosti využití cementobetonových krytů

Anwendungsbereiche für Verkehrsflächen aus Beton

Dipl.-Ing. Martin Langer

Tel.: +49 89 / 360555-5720

E-mail: Martin.Langer@strabag.com

Straßen und Verkehrsflächen müssen hohen Belastungen durch Verkehr und Umwelteinflüssen standhalten. Ein lange Nutzungsdauer mit geringem Unterhaltungsaufwand rückt durch das stetig steigende Verkehrsaufkommen zunehmend in den Vordergrund. Betondecken weisen eine hohe Tragfähigkeit auf und sind verformungsstabil bei jeder Belastung und Temperatur. Oberflächen mit Waschbetontextur zeigen sich dauerhaft lärmindernd und griffig und bieten durch eine gute und gleichbleibende Ebenheit einen hohen Fahrkomfort. Vor allem aber können bei sachgerechter Planung und Ausführung Lebensdauern von 30 Jahren und mehr ohne größere Erhaltungsmaßnahmen erreicht werden.

Die Betonbauweise ist durch diese Vorzüge seit Jahrzehnten eine Standardbauweise im deutschen Fernstraßennetz. Aber auch andere Verkehrsflächen wie Kreisverkehre, Rastanlagen, Busverkehrsflächen, Kreuzungsbereiche, und Logistikflächen können hohen Beanspruchungen unterliegen. Zunehmend stellt deshalb die Betonbauweise auch für diese Verkehrsflächen eine interessante Alternative dar.

In Deutschland ist der Betonstraßenbau durch die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB) geregelt. Dieses Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) ist jedoch seit jeher vorrangig auf den Bau von Autobahnen ausgerichtet. Die Praxis hat nun gezeigt, dass für die Anwendung der Betonbauweise in anderen Verkehrsflächen zusätzliche Hinweise erforderlich sind, welche das bestehende Regelwerk in einigen Bereichen ergänzen und präzisieren. Vor allem Details in der Konstruktion sowie die zweckmäßige Anordnung der Fugen mit entsprechenden Plattengeometrien sind wesentliche Bausteine für das Gelingen der Betonverkehrsfläche

Um diese Lücke zu schließen, hat die FGSV deshalb im Jahr 2013 eine neue Merkblattreihe eröffnet (Abbildung 1). Das Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton (M VaB) ist in drei Teilen gegliedert.

- Teil 1 (Ausgabe 2013): Kreisverkehre, Busverkehrsflächen und Rastanlagen
- Teil 2 (Ausgabe 2015): Stadt- und Landstraßen sowie plangleiche Knotenpunkte mit Hinweisen zur baulichen Erhaltung
- Teil 3 (Ausgabe 2018): Container- und Logistikflächen



Abbildung 1: Merkblätter für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton (M VaB), Teile 1 bis 3

KREISVERKEHRE

Kreisverkehre unterliegen durch die Schubbeanspruchung der Kurvenfahrten in der Kreisfahrbahn und den Bremskräften in der Kreisverkehrszufahrt hohen Beanspruchungen. Nach positiven Erfahrungen in der Schweiz und in Österreich wurde im Jahr 2007 in Deutschland ein erster Kreisverkehr in Betonbauweise hergestellt (Abbildung 2). Seitdem wird vor allem bei hohen Schwerverkehrsanteilen vermehrt diese Bauweise gewählt; der 100. Kreisverkehr wurde 2018 eingeweiht.

Die Betondecke der Kreisfahrbahn wird grundsätzlich in Kreissegmentplatten eingeteilt. Eine mittlere tangentielle Fuge kann erforderlich sein, um günstige Plattengeometrien zu ermöglichen (Abbildung 4). Aufgrund der permanenten Überrollung sollte diese Fuge zusätzlich verdübelt werden, um eine Querkraftübertragung zu gewährleisten. Der Betoneinbau erfolgt bei kleineren Kreisverkehren im Handeinbau, jedoch ist auch der maschinelle Einbau möglich (Abbildung 3). Kreisfahrbahn und Zu- und Ausfahrten sollten durch eine unverdübelte Raumfuge mit Unterlagsschwelle getrennt werden (Abbildung 5). Borde und Bordrinnen können als Klebeborde oder mit Ortbetonbauweise ausgeführt werden, um die Dauerhaftigkeit zu erhöhen.

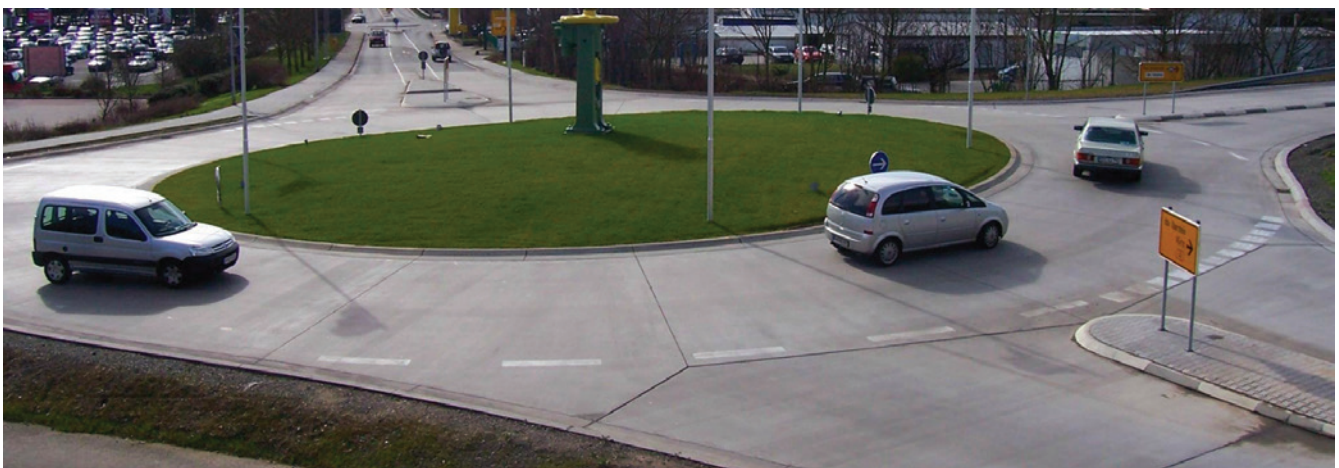


Abbildung 2: Kreisverkehr Bad Sobernheim (Ausführung 2007), erster Betonkreisverkehr in Deutschland



Abbildung 3: Kreisverkehr B471 Bergkirchen (Ausführung 2019), Betoneinbau der Kreisfahrbahn mit Fertiger

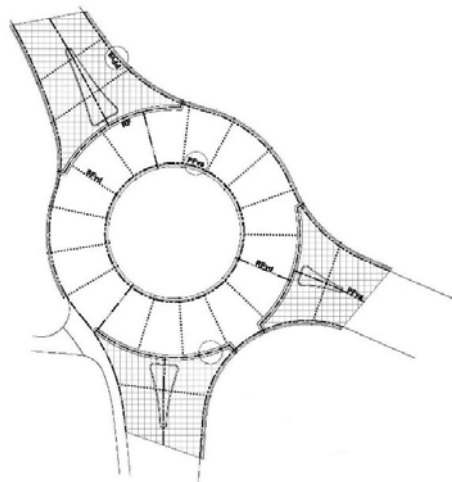
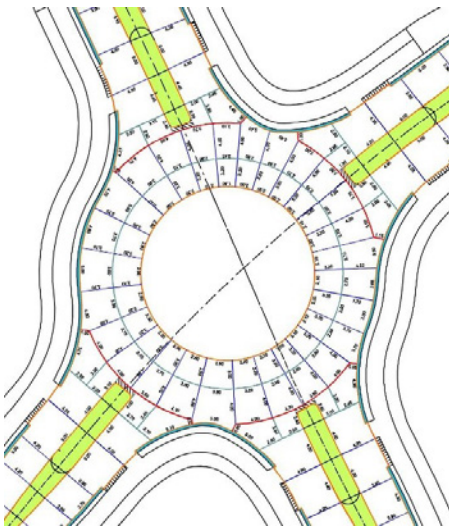


Abbildung 4: verschiedene Möglichkeiten der Fugenanordnungen in Kreisverkehren

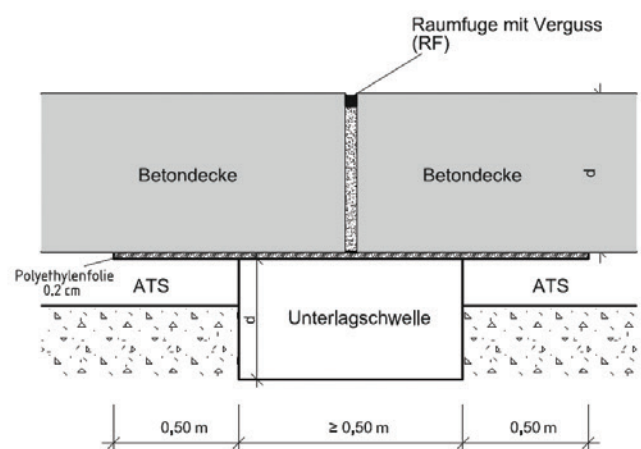


Abbildung 5: Unterlagsschwelle unter unverdübelter Raumfuge in Kreisverkehren

RASTANLAGEN

Für hochbelastete Lkw-Stellflächen hat sich seit jeher die Betonbauweise bewährt. Für die Fugenanordnung in den üblicherweise schräg angeordneten Lkw-Parkständen sind zwei gleichwertige Fugenanordnungen üblich (Abbildung 9):

- Ausrichtung der Fugen orthogonal zu den angrenzenden Fahrgassen
- Ausrichtung der Fugen orthogonal zu den Lkw-Stellflächen

Bei beiden Anordnungen sind im Bereich der zu den Fugen schräg verlaufenden Flächenbegrenzungen unregelmäßige Plattengeometrien (sogenannte „Bischofsmützen“) anzuordnen, um ungünstig spitze Plattenwinkel zu vermeiden. Die Bewehrung der Bischofsmützen ist in der Regel nicht erforderlich.

Der Bereich der geometrisch höchst vielfältig gestalteten Zwischeninseln bedarf stets einer individuellen Fugenplanung. Auch hier ist die Ausführung von Klebe- oder Ortbeton-Borden zweckmäßig. Die Fahrgassen zwischen den Lkw-Stellflächen sind zweckmäßigerweise ebenfalls in Beton auszuführen. In vielen Fällen ist eine mittig verlaufende Längsfuge erforderlich (Abbildungen 6, 7 und 8).



Abbildung 6: Rastanlage A5 Bühl-Ost (Ausführung 2017), Betoneinbau der Lkw-Schrägparkständen mit Fertiger (Einbaubreite 18m)



Abbildung 7: Rastanlage A9 Fürholzen-West (Ausführung 2018), modernste Rastanlage Deutschlands, Lkw-Bereich vollständig in Betonbauweise

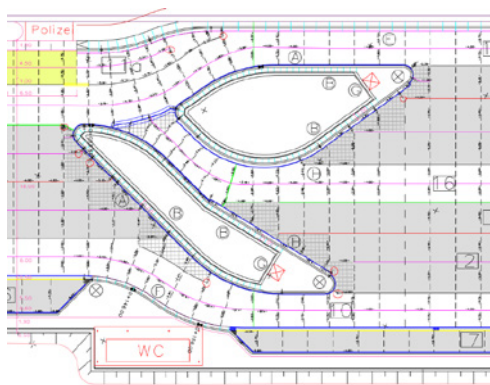


Abbildung 8: Rastanlage A9 Baarer Weiher West (Ausführung 2015), Fugenplanung und fertiggestellte Verkehrsfläche (Ausschnitt)

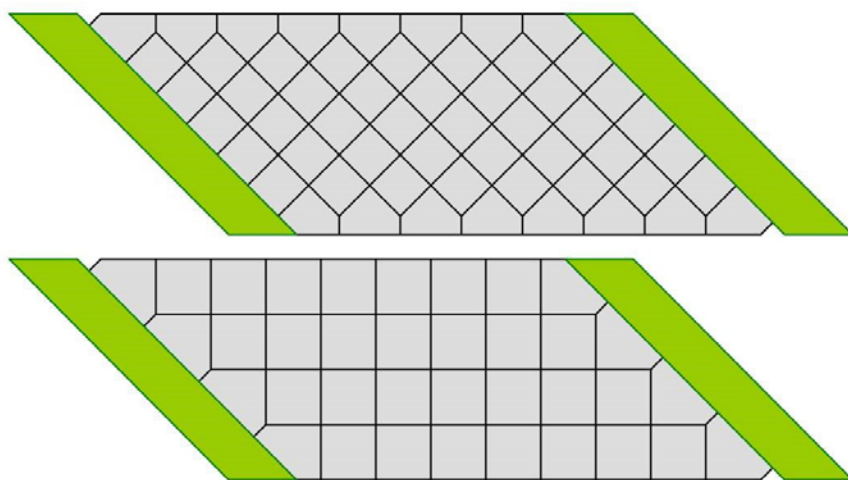


Abbildung 9: verschiedene Möglichkeiten der Fugenausrichtung in Lkw-Schrägparkständen (Systemskizze)

STADT- UND LANDSTRASSEN

Auch im Bereich von Landstraßen und innerstädtischen Straßen kann – vor allem bei höherem Schwerverkehrsanteil – die Ausführung Betonbauweise sinnvoll sein. Hier ist vor allem die Abstimmung zwischen Markierung und Fugenanordnung von Bedeutung; eine Überlagerung ist zu vermeiden (Abbildung 10 und 12).

Während bei Landstraßen der Beton wie auf der Autobahn in der Regel maschinell eingebaut wird, ist bei Stadtstraßen vor allem bei kleineren Flächen auch der Handeinbau zwischen stehender Schalung üblich (Abbildungen 11, 13 und 14).

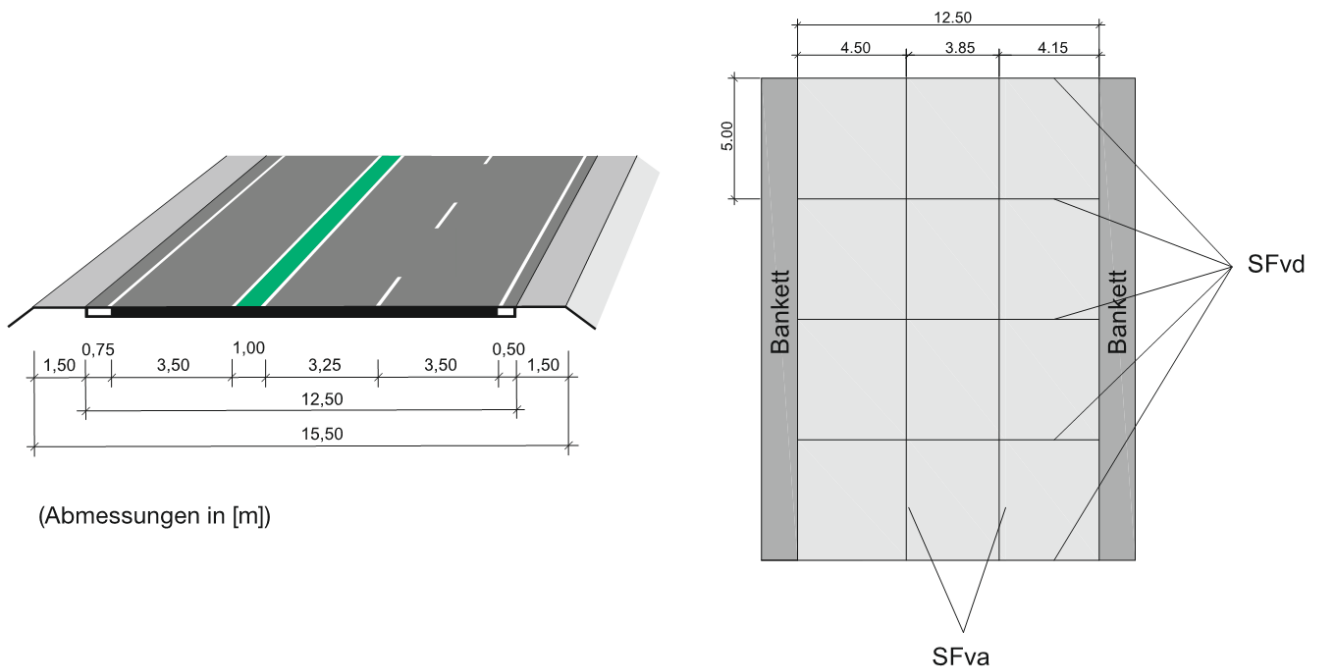


Abbildung 10: geeignete Fugenanordnung für den Regelquerschnitt RQ 15,5 der Entwurfsklasse 1 (EKL 1)



Abbildung 11: B96n Insel Rügen, Bundesstraße der Entwurfsklasse 1 (EKL 1) in Betonbauweise

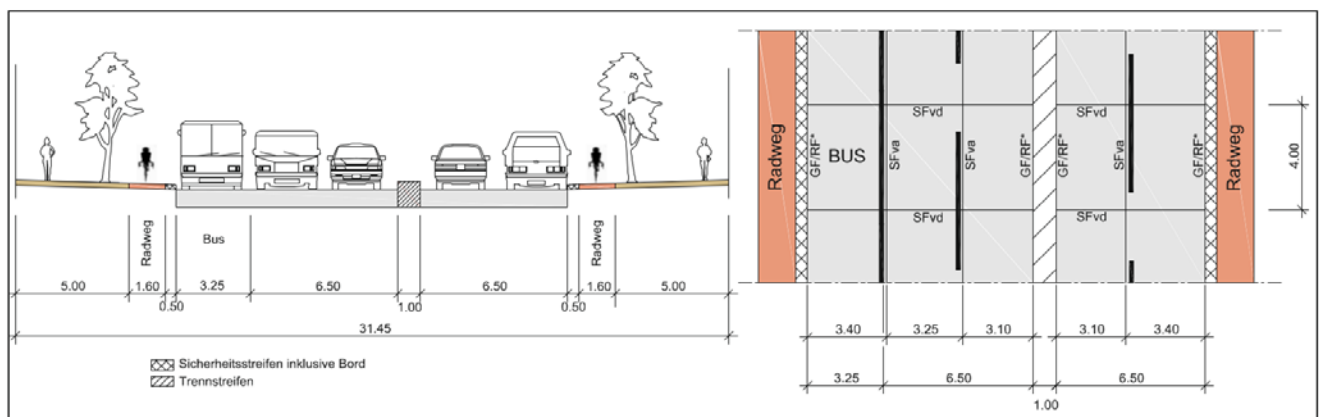


Abbildung 12: Beispielhafter Fugenplan einer innerstädtischen Verbindungsstraße (Typ 11.6)



Abbildung 13: Weil im Schönbuch, Ortsdurchfahrt in Betonbauweise



Abbildung 14: Wien, Schloss Schönbrunn, innerstädtische Betonstraßen

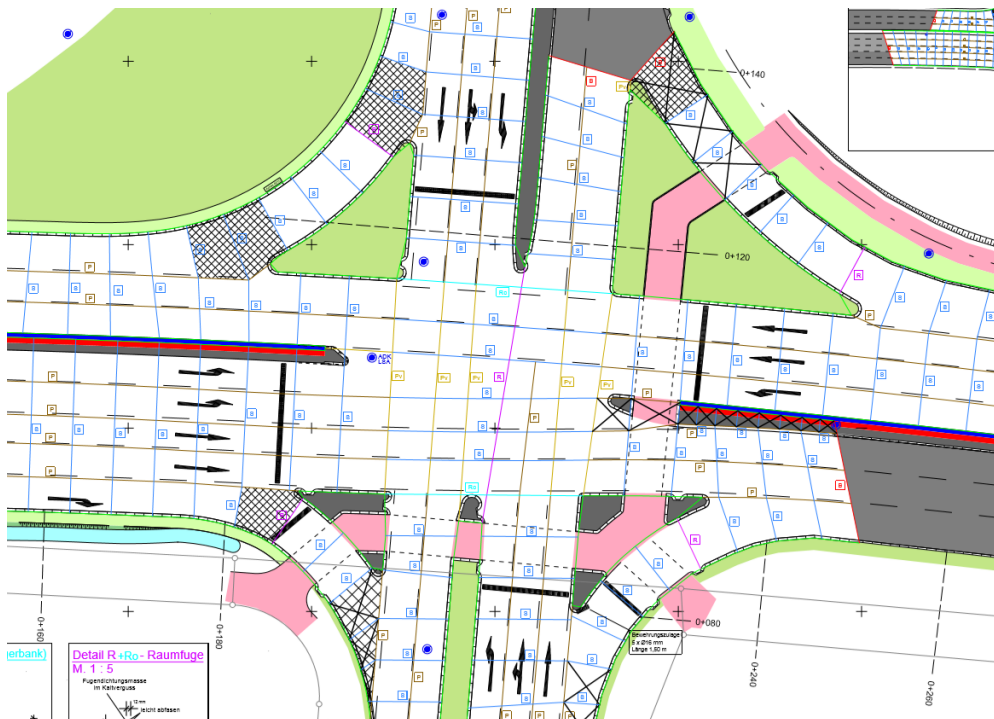
PLANGLEICHE KNOTENPUNKTE (KREUZUNGEN)

Kreuzungsbereiche können hochbelastete Verkehrsflächen sein. Sowohl durch Bremskräfte als auch durch stehenden Verkehr wird die Beanspruchung des sich vor der Kreuzung befindlichen Aufstellbereichs noch erhöht. In Beispiel aus der jüngsten Vergangenheit ist die Erneuerung des Kreuzungsbereiches Böblinger Straße / Gottlieb-Daimler-Straße / Dornierstraße und Böblingen. Neben der Erweiterung des Kreuzungsbereiches von vier auf fünf Spuren wurde aus Gründen der Dauerhaftigkeit die Betonbauweise gewählt. Größere Abschnitte wurden mit einem Fertiger ausgeführt. Kleinere, schwer zugängliche Bereiche erfolgten im Handeinbau.

Der Fugenanordnung in Kreuzungsbereich ist auf die verschiedenen Fahrspuren und auf die Markierung abzustimmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die innere, zentral Kreuzungsfläche in unterschiedlichen Richtungen überfahren wird. Da an einer Kreuzung mehrere Äste aus verschiedenen Richtungen zusammentreffen, ist die Anordnung einer oder mehreren unverdübelten Raumfugen zweckmäßig (Abbildungen 15 und 16).



Abbildung 15: Böblingen, Daimler-Knoten (Ausführung 2019)



Tabelle

Abbildung 16: Böblingen, Daimler-Knoten, Auszug Fugenplan

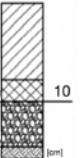
CONTAINER- UND LOGISTIKFLÄCHEN

Der im dritten Teil der Merkblattreihe behandelte Anwendungsbereich bildet gegenüber den ersten beiden Teilen eine Ausnahme. Bei Container- und Logistikflächen handelt es sich um durch Sonderfahrzeuge und Punktlasten besonders beanspruchten Flächen. Die Achslasten der mobilen Container-Umschlaggeräte können bis zu 100 Tonnen betragen. Die Container auf Abstellflächen erzeugen sehr hohe Einzel-punktlasten. Diese können bei ungünstiger Abstellkonfiguration (mehrrheilige Abstellung und Vierfach-stapelung) bis zu 120 Tonnen betragen. Gerade hier ist ein ausreichend bemessener Oberbau wesentlich für die Dauerhaftigkeit der Verkehrsfläche. Im Merkblatt wurde hierfür analog zu den Richtlinien für die

Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO) eine Standardisierung des Oberbaus vorgenommen (Tabelle 1). Da auch diese Flächen grundsätzlich unbewehrt ausgeführt werden, erfolgt die Dimensionierung wie bei gewöhnlichen Betonverkehrsflächen im ungerissenen Zustand. Beim Lastfall Containerabstellflächen wurde zusätzlich eine Windlast angesetzt (Abbildungen 17 und 18).

Tabelle 1: Erforderliche Betondeckendicke in Abhängigkeit der Lastkategorie Containerabstellung (Auszug)

Abstellung in Reihen	Stapelhöhe				
		1-fach	2-fach	3-fach	4-fach
eine Reihe (Grundriss)	Container 1 Container 2	A	C	D	G
mehrere Reihen (Grundriss)	Container 1 Container 2	B	E	G	H
	Container 3 Container 4				
	Container 5 Container 6				

Lastkategorie		A	B	C	D	E	F	G	H
	Betondeckendicke [cm] auf gebundener Tragschicht	26	31	36	42	45	48	52	60
									

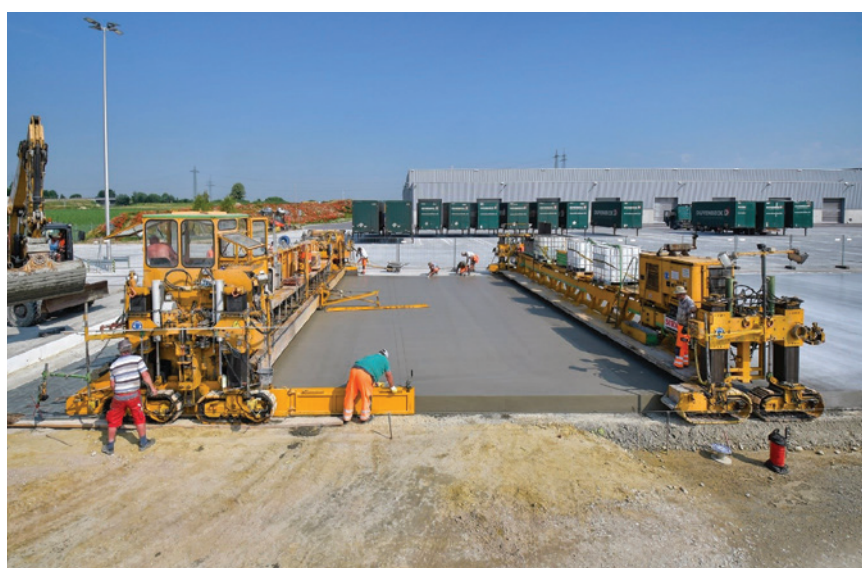


Abbildung 17: Logistikzentrum Wallersdorf (Ausführung 2017), Betoneinbau



Abbildung 18: Logistikzentrum Wallersdorf (Ausführung 2017), Fläche in Betrieb

QUELLEN

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB)
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013, 2015, 2018). Merkblätter für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton (M VaB), Teile 1 bis 3
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012). Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)
- [4] Grünewald, A. (2020). Betonbauweise für eine hoch belastete Straßenkreuzung, Update 56
- [5] Langer, M. (2019). FGSV-Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton: Containerflächen (M VaB, Teil 3), Griffig 1/2019

Oblasti využití betonových dopravních ploch

Ing. Martin Langer

Tel.: +49 89 / 360555-5720

E-mail: Martin.Langer@strabag.com

Silnice a dopravní plochy musí odolávat vysoké dopravní zátěži a vlivům okolního prostředí. V důsledku neustále rostoucí intenzity dopravy se do popředí zájmu odborníků stále větší měrou dostává téma dlouhé doby životnosti s nízkými náklady na údržbu. Cementobetonové kryty mají vysokou únosnost a deformační stabilitu při jakémkoliv zatížení a teplotě. Povrchy s texturou z vymývaného betonu prokazují dlouhodobě sníženou hlučnost a drsnost a poskytují při dobré konstantní rovnosti vysoký jízdní komfort. Především však lze jimi dosáhnout, při věcně správném projektu a provedení, životnosti 30 a více let, a to bez větších zásahů týkajících se stavební údržby a oprav.

Betonová technologie je v německé síti dálnkových silnic díky svým vynikajícím vlastnostem již po desetiletí technologií standardní. Vysokým namáháním však mohou být vystaveny i jiné dopravní plochy, jako okružní křižovatky, odpočívky, autobusové dopravní plochy, oblasti u křižovatek a logistické plochy. Betonová technologie tak proto znamená zajímavou alternativu také pro tyto dopravní plochy.

V Německu jsou stavby betonových komunikací upraveny Dodatečnými technickými smluvními podmínkami a směrnici pro stavby podkladních vrstev s hydraulickými pojivy a cementobetonové kryty vozovek (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB). Tento soubor předpisů Společnosti pro výzkum silničních komunikací a dopravy (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV) však je od počátku přednostně zaměřen na stavbu dálnic. Praxe nyní ukázala, že pro použití betonových technologií u jiných dopravních ploch je zapotřebí dalších předpisů, které stávající předpis v několika oblastech doplní a upřesní. Pro zdařilé provedení betonových dopravních ploch mají rozhodující význam především detaily konstrukce, stejně jako účelné uspořádání spár s odpovídající geometrií desek.

Aby se zacelily tyto mezery, začala společnost FGSV v roce 2013 vydávat novou řadu Návodů (obrázek 1). Návod pro projektování, konstrukci a stavbu betonových dopravních ploch (M VaB) je rozčleněn do tří oborů.

- Část 1 (rok vydání 2013): Okružní křižovatky, autobusové dopravní plochy a odpočívky
- Část 2 (rok vydání 2015): Městské a silniční komunikace ve volné krajině a jednoúrovňové křižovatky s odkazy ke stavební údržbě
- Část 3 (rok vydání 2018): Kontejnerové a logistické plochy

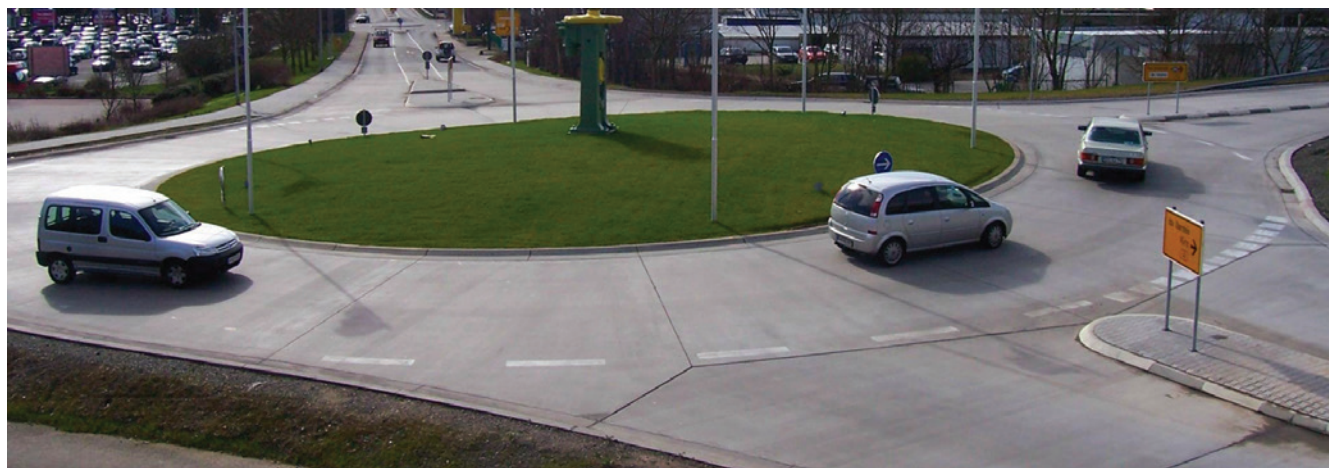


Obr. 1: Návod pro projektování, konstrukci a stavbu betonových dopravních ploch (M VaB), části 1 až 3

OKRUŽNÍ KŘIŽOVATKY

Okružní křižovatky jsou vystaveny vysokému smykovému namáhání jízdou v obloucích kruhové vozovky a brzdícím silám na příjezdu k okružní křižovatce. Po pozitivních zkušenostech ve Švýcarsku a Rakousku proto v roce 2007 byla v Německu provedena první okružní křižovatka betonovou technologií (obrázek 2). Této stavební technologii se od této doby dává přednost především v případech s vysokým podílem těžké dopravy. 100. kruhový objezd byl uveden do provozu v roce 2018.

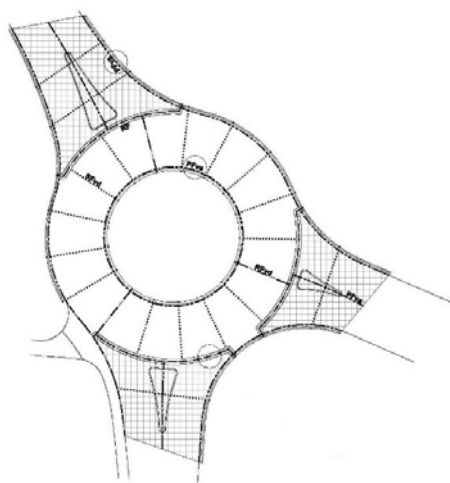
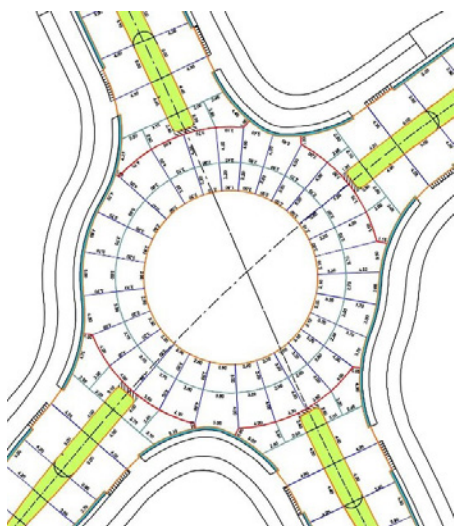
Betonový kryt okružní křižovatky je v zásadě rozčleněn do kruhových výsečí. Pro umožnění vhodných geometrií desek se může ukázat jako nezbytná střední tangenciální spára (obrázek 4). Vzhledem k permanentnímu přejíždění by tato spára měla být pro zajištění přenosu smykových sil navíc opatřena kluznými trny. Pokládka betonu se u menších okružních křižovatek provádí ručně, ale je možná i strojní pokládka (obrázek 3). Vozovka okružní křižovatky a vjezdy a výjezdy by se měly oddělit prostorovou spárou bez kluzných trnů s úložným prahem (obrázek 5). Obrubníky a žlaby s obrubníkem lze pro zvýšení trvanlivosti provést jako lepené, případně betonovat na místě.



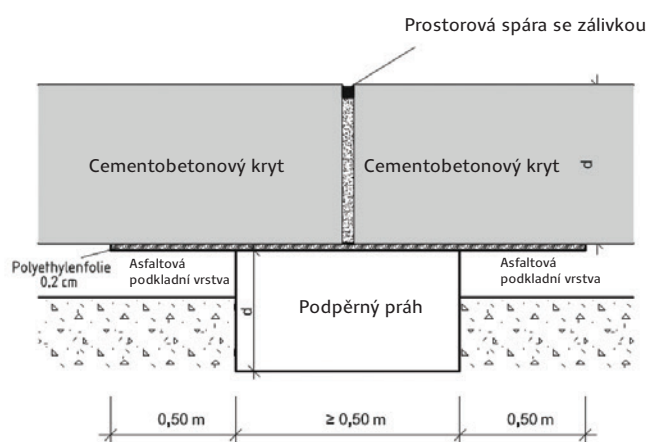
Obr. 2: Okružní křižovatka v Bad Sobernheim (realizace 2007), první betonová okružní křižovatka v Německu



Obr. 3: Okružní křižovatka B471 v Bergkirchenu (realizace 2019), pokládka cementobetonového krytu finišerem



Obr. 4: Různé možnosti uspořádání spár na okružních křižovatkách



Obr. 5: Úložný práh na okružních křižovatkách pod prostorovou spárou bez kluzných trnů

ODPOČÍVKY

Betonová technologie se od samého počátku osvědčila pro vysoce namáhané odstavné plochy pro nákladní vozidla. Pro uspořádání spár u běžně šikmo uspořádaných parkovacích stání pro nákladní vozidla se uplatňují obvykle dvě rovnocenná uspořádání (obrázek 9):

- orientace spár kolmo k přilehlým jízdním pruhům
- orientace spár kolmo k odstavným plochám pro nákladní vozidla

V obou případech u hranic ploch, které jsou orientované šikmo ke spárám, je třeba pro vyloučení ostrých úhlů použít nepravidelné geometrie desek (tzv. „biskupské čepice“). Vyztužení desek ve tvaru biskupských čepic zpravidla není zapotřebí.

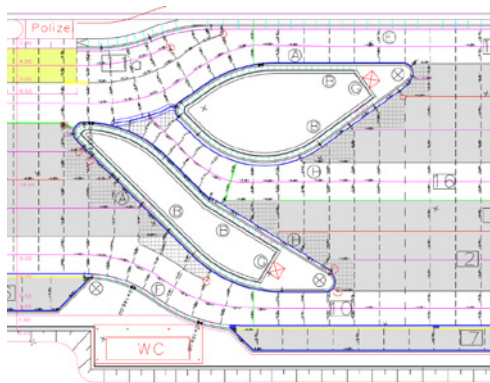
Oblast geometricky velmi mnohotvárných ostrůvků vyžaduje vždy individuální řešení spárořezu. Také zde je využití lepených nebo na místě betonovaných obrubníků účelné. Jízdní pruhy mezi odstavnými plochami pro nákladní vozidla se provádějí rovněž z betonu. V mnoha případech bývá zapotřebí podélné středové spáry (obrázky 6, 7 a 8).



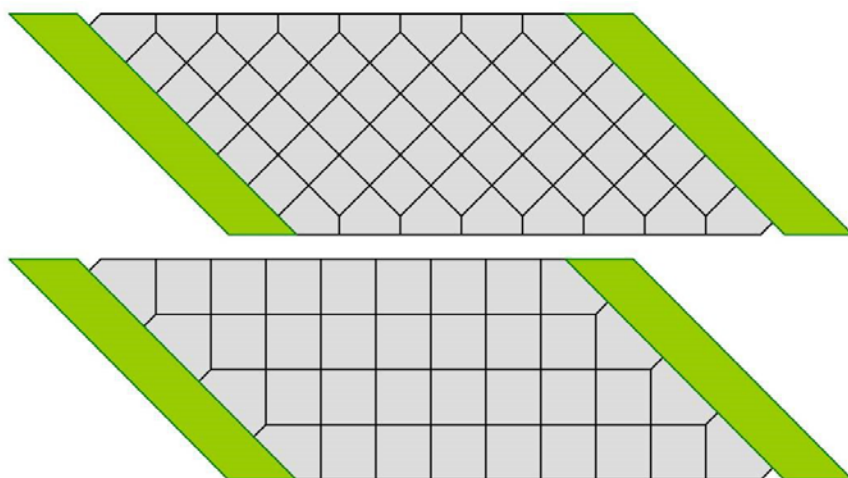
Obr. 6: Odpočívka A5 Bühl-Ost (realizace 2017), pokládka betonu šikmých odstavných ploch pro nákladní vozidla finišerem (šířka pokládky 18 m)



Obr. 7: Odpočívka A9 Fürholzen-West (realizace 2018), nejmodernější odpočívka v Německu, oblast pro nákladní vozidla je kompletně v betonu



Obrázek 8: Odpočívka A9 Baarer Weiher West (realizace 2015), plán spár a dokončená dopravní plocha (výřez)

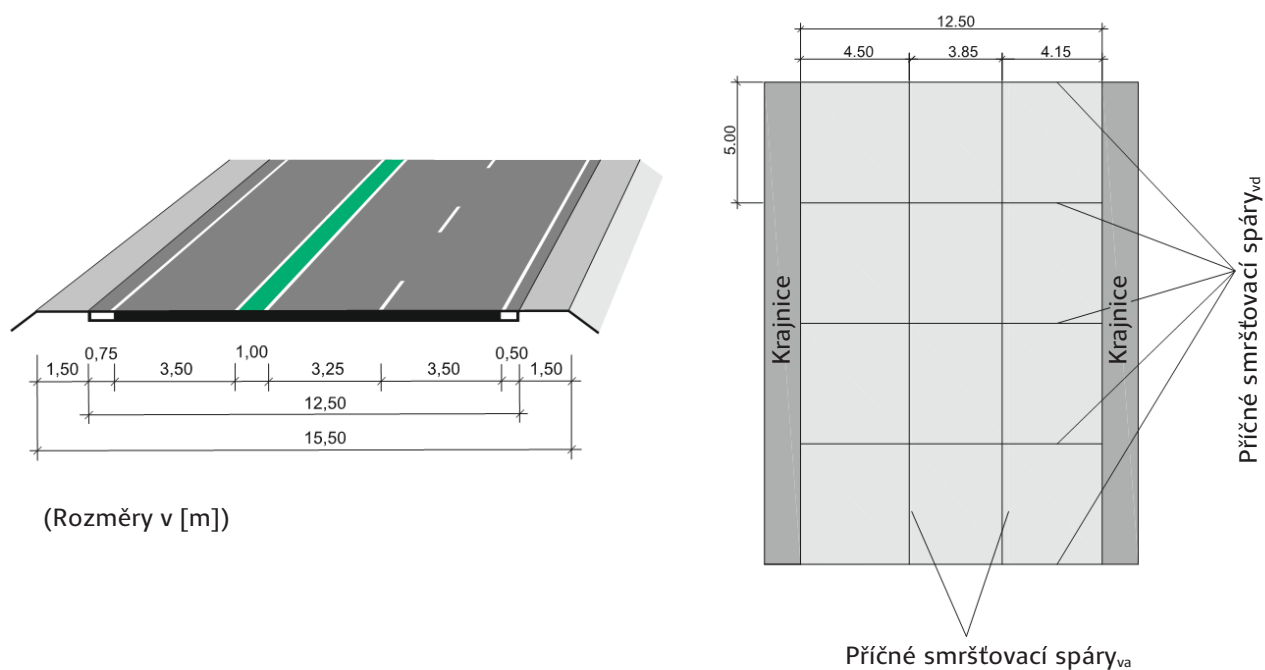


Obrázek 9: Různé možnosti uspořádání spár pro šikmá stání nákladních vozidel (systémový náčrt)

MĚSTSKÉ A SILNIČNÍ KOMUNIKACE VE VOLNÉ KRAJINĚ

Realizace betonové technologie je smysluplná také u silničních komunikací ve volné krajině a uvnitř měst – především při vyšším podílu těžké dopravy. Zde má význam zejména soulad mezi dopravním značením a uspořádáním spár, jejichž překrývání je nutno se vyvarovat (obrázek 10 a 12).

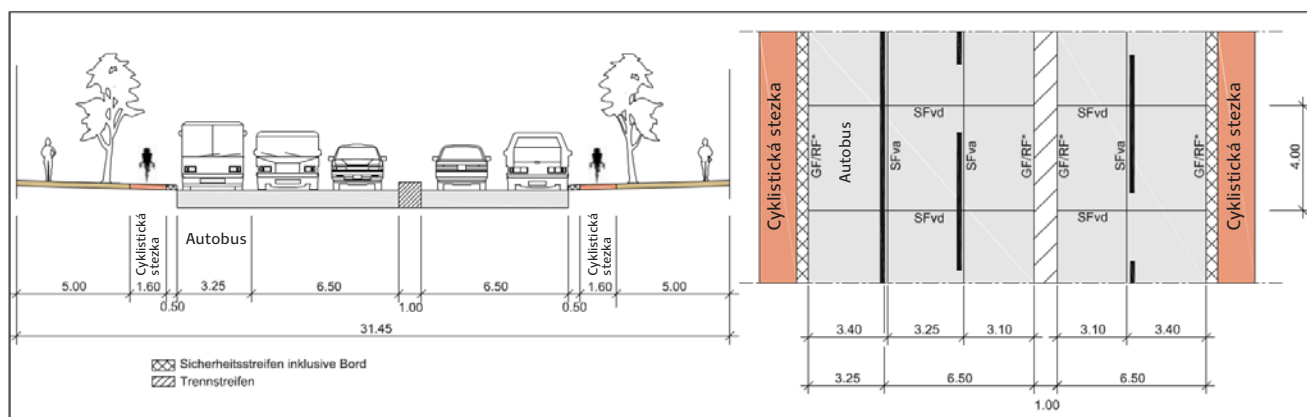
Zatímco u silničních komunikací ve volné krajině se beton stejně jako u dálnic zpravidla pokládá strojně, u městských komunikací, především u menších ploch, je obvyklá také ruční pokládka mezi svislá bednění (obrázky 11, 13 a 14).



Obr. 10: Vhodné uspořádání spár pro normální průřez RQ 15,5 projekt komunikace I. třídy (EKL 1)



Obr. 11: B96n ostrov Rujána, státní silnice I. třídy (EKL 1) betonovou technologií



Obr. 12: Vzorový příklad plánu spár vnitřní městské spojovací silnice (typ 11.6)



Obr. 13: Weil im Schönbuch, průtah obcí v betonové technologii



Obr. 14: Vídeň, zámek Schönbrunn, betonové silnice uvnitř města

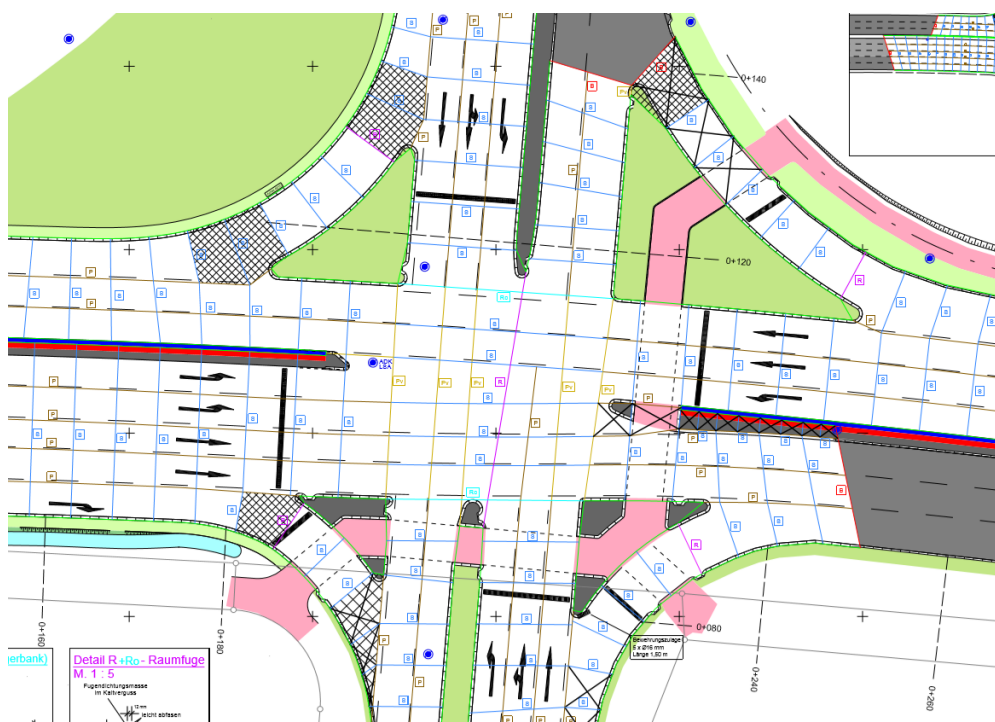
ÚROVNĚOVÉ KŘIŽOVATKY

Prostory křižovatek mohou být vysoce namáhanými dopravními plochami. Tato namáhání se dále ještě zvyšují jak brzdnými silami, tak stojící dopravou, tvořící se před křižovatkou. Příkladem z nedávné minulosti je rekonstrukce křižovatky v oblasti Böblinger Straße/Gottlieb-Daimler-Straße/ Dornierstraße a Böblingenu. Pro rozšíření křižovatky ze čtyř na pět jízdních pruhů byla zvolena z důvodů trvanlivosti betonová technologie. Větší úseky byly provedeny finišerem. V menších, hůře dostupných místech, byl beton položen ručně.

V plánu uspořádání spár v křižovatkách je třeba vzít v úvahu různé jízdní pruhy a dopravní značení. K tomu je třeba zohlednit, že vnitřní, centrální plochy křižovatky se v různých směrech přejíždějí. Protože se v křižovatce spojuje několik větví z různých směrů, je účelné provést jednu nebo více prostorových spár bez kluzných trnů (obrázky 15 a 16).



Obr. 15: Böblingen, křižovatka u firmy Daimler (realizace 2019)



Tabulka

Obr. 16: Böblingen, křižovatka u firmy Daimler, výtah, plán spár

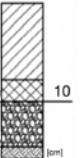
KONTEJNEROVÉ A LOGISTICKÉ PLOCHY

Třetí část řady Návodů je věnována oblasti, která je ve srovnání se dvěma prvními částmi výjimkou. U kontejnerových a logistických ploch se jedná o plochy zvláště namáhané speciálními vozidly a bodovým zatížením. Zatížení nápravou zařízení pro překládku kontejnerů mohou dosahovat až 100 tun. Kontejnery na odstavných plochách vytvářejí velmi vysoká bodová zatížení, jež mohou při nevhodné konfiguraci (složení ve více řadách a vícenásobné stohování) činit až 120 tun. Právě zde je dostatečně navržena horní stavba podstatná pro trvanlivost dopravní plochy. V Návodu byla pro tyto účely obdobně jako ve „Směrnících pro standardizaci horní stavby dopravních ploch“ (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus

von Verkehrsflächen“ (RStO) provedena standardizace horní stavby kontejnerových a logistických dopravních ploch (tabulka 1). Protože se i tyto plochy zásadně provádějí nevyztužené, probíhá dimenzování jako u běžných betonových dopravních ploch ve stavu bez trhlin. Při zatěžování kontejnerových odstavných ploch by mělo být navíc zohledněno zatížení větrem (obrázky 17 a 18).

Tabulka 1: Potřebná tloušťka cementobetonového krytu v závislosti na kategorii zatížení kontejnerových stání (výtah)

Abstellung in Reihen	Stapelhöhe				
		1-fach	2-fach	3-fach	4-fach
eine Reihe (Grundriss)	Container 1 Container 2	A	C	D	G
mehrere Reihen (Grundriss)	Container 1 Container 2	B	E	G	H
	Container 3 Container 4				
	Container 5 Container 6				

Lastkategorie		A	B	C	D	E	F	G	H
	Betondeckendicke [cm] auf gebundener Tragschicht	26	31	36	42	45	48	52	60
	Betondeckendicke [cm] auf gebundener Tragschicht								

Abstellung in Reihen

eine, mehrere Reihen

Grundriss

Stapelhöhe

Lastkategorie

Betondecke

Asphalttragschicht

Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel

Frostschuttschicht

Betondecke auf gebundener Tragschicht

složení v řadách

jedna, více řad

půdorys

výška stohování

kategorie zatížení

cementobetonový kryt

asfaltová podkladní vrstva

podkladní vrstva stmelená hydraulickým pojivem

podsypan

cementobetonový kryt na stmelené podkladní vrstvě



Obr. 17: Logistické centrum Wallersdorf (provedení 2017), pokládka betonu



Obr. 18: Logistické centrum Wallersdorf (realizace 2017), plocha v provozu

ZDROJE

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB)
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013, 2015, 2018). Merkblätter für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton (M VaB), Teile 1 bis 3
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012). Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)
- [4] Grünwald, A. (2020). Betonbauweise für eine hoch belastete Straßenkreuzung, Update 56
- [5] Langer, M. (2019). FGSV-Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton: Containerflächen (M VaB, Teil 3), Griffig 1/2019

Kolejové polní cesty – betonové, monolitické, prováděné strojní pokládkou

Ing. Daniel Houštecký

STRABAG, a.s.

Tel.: +420 602 299 315

E-mail: Daniel.Houstecky@strabag.com

Kolejové polní cesty jsou dnes nedílnou součástí infrastruktury a také krajiny u sousedů v Rakousku, Německu, ale třeba také ve Švýcarsku. Zvláště ve členité krajině Alp a podhůří se ukazuje jejich nerušivé začlenění do krajiny a pozitivní vliv, co se týká ochrany krajiny proti erozi. Pro investora je kolejová cesta nákladově velmi efektivní a z hlediska údržby nenáročná s dlouhou životností a vyhovuje jak provozu zemědělské mechanizace, tak pěším a cyklistům. V České republice je použití kolejové polní cesty zatím spíše raritou.



Kolejové cesty, které můžeme vidět u našich sousedů lze rozdělit na prefabrikované – z panelů s kapsami pro osazení výztuže v příčných spárách a monolitické pokládané buď ručně do bednění nebo pomocí finišeru s vlečenými bočnicemi. Kolejové cesty jsou v místech křížení, výhyben v obloucích či v údolnicích zpevněné v celé šíři vozovky.

U nás jsem výrobce, který by se zabýval výrobou panelů pro kolejové cesty nenašel, použít by se jako alternativa mohly polovegetační tvárnice či zámková dlažba. Osobně vidím velký nedostatek prefabrikovaných panelů ve směrových obloucích, kde je nutné panely buď různě vyskládat nebo dořezávat. Pokud nejsou panely připraveny pro osazení trny v příčných spárách je téměř jisté, že časem v těchto spárách vzniknou nerovnosti, jaké známe u panelových cest.



Jako celkem elegantní způsob provedení tohoto typu komunikací se zdá být monolitická pokládka betonových pásů finišerem pro pokládku betonových vozovek či rigolů.

Letos na jaře jsme tímto způsobem realizovali kolejovou cestu v Moravském krasu u Doubravice nad Svitavou.

Jedná se o polní cestu SO 102 - VC 12, resp. její část v délce 350m, realizovanou v rámci akce Společná zařízení v k.ú. Doubravice nad Svitavou. Investorem je ČR – SPÚ, Krajský pozemkový úřad pro Jihomoravský kraj, pobočka Blansko, dokumentaci vypracoval Ing. Ivo Podracký – vedoucí projektu Ing. Josef Koňářík z kanceláře AGERIS s.r.o.

Cesta je navržena v základním profilu jako kolejová se šířkou betonových pásů CB II 1,1m se zeleným středovým pásem 0,8m. Příčné spáry jsou po 1,7m, aby byl dodržen poměr desek a jsou vyztuženy kluznými trny DN 25 délky 500mm s roztečí 250mm. CB kryt je proveden v celé šířce vozovky v místech výhyben, sjezdů. V úsecích s podélným sklonem 7-12% je každou sedmou deskou proveden CB kryt včetně středového pásu a v úsecích se sklonem $>12\%$ každou pátou deskou. Povrchová úprava je příčná striáž ocelovým koštětem. Podklad pod CBK tvoří vrstva z ŠD tl.20cm s minimální únosností 80 Mpa.

Z pohledu realizace kolejové monolitické betonové cesty jsme řešili několik úkolů, jejichž vyřešení je podmínkou pro úspěšnou realizaci:

- Kvalitně a s dostatečným rozšířením (v našem případě 50cm) provedená podkladní vrstva vhodná pro pojezd pásy finišeru
- Úprava finišeru pro pokládku dvou pásů šířky 110cm s vynechaným středovým pásem šířky 80cm
- Strojní pokládku lze provést pouze ve výše uvedeném nastavení – dobetonávky výhyben a středového pásu byly provedeny ručně s vibrační lištou
- Zajistit složení a konzistenci betonové směsi tak, aby byla vhodná pro strojní pokládku při dopravě autodomíchávačem
- Postup prací zvolit tak, aby byl zajištěn přísun čerstvého betonu



Vlastní pokládka probíhala víceméně standardně jako jakási kombinace pokládky monolitických betonových rigolů a betonové vozovky. Beton třídy C 30/37 XF4 byl vyroben na betonárce TBG v Blansku a na stavbu dovezen autodomíchávači. Před finišer byl střídavě do upravených násypek vykládán za jízdy beton. Kluzné trny v příčných spárách, jejichž polohu jsme si rozměřili na obou stranách na úrovni lankodráhy, jsme osadili na pomocné koše a fixovali opatrným přisypáním betonové směsi.



Za finišerem jsme lokálně upravili hranu a provedli příčnou striáž ocelovým koštětem. Povrch položených pásů jsme ošetřili postřikem proti odpařování vody. V technologicky vhodnou chvíli po cca 14 - 18-ti hodinách jsme prořezali příčné spáry po 1,7 metrech v předznačených místech, kde jsou vloženy trny.



Problém nastal v největším stoupání, kde sklon dosahoval 18%, kdy dílem z důvodu velkého sklonu a dílem kvůli nezaklíněnému, otevřenému ŠD podkladu, jsme pokládku museli přerušit, protože pásy finišeru prokluzovali a nebylo možné zajistit plynulou pokládku. Takto jsme vynechali cca 50m cesty s největším spádem, které jsme posléze dobetonovali ručně s vibrační lištou.



Ručně jsme rovněž provedli betonáž středového pásu. Dobetonávky jsou s pásy kolejové cesty spojeny navrtanými kotvami.

Po této první zkušenosti s prováděním monolitické betonové polní cesty zastávám názor, že tento typ komunikace působí v krajině nerušivým dojmem a zcela vyhovuje pro využití jak hospodářskými stroji, tak turisty, pěšími i cyklisty. Strojní pokládka je pro pokládku kolejových cest vhodná. Přednosti této technologie se naplno ukáží, pokud se podaří minimalizovat nebo úplně vyloučit změny šířek betonových pásů či jiné úpravy tvaru vozovky, které vyžadují přestavbu finišeru. Podmínkou pro použití strojní pokládky je prostor pro vedení lankodráhy po obou stranách a kvalitní, dostatečně široký podklad pro pojezd pásů finišeru.



Přál bych si, abychom v budoucích letech zastihli v naší krajině kolejové polní cesty častěji než je tomu dosud.

ZDROJE

Internet, různé stránky

Experience with the construction of RCC in Spain

José María Merino – CEMEX EUROPE – Pavements Manager

Tel.: +34 650 953 061

E-mail: JoseMaria.Merino@cemex.com

The purpose of this communication is to share the experience accumulated in the past and in the present in the use of roller compacted concrete in Spain, while trying to propose some ideas about how the future of this material could be in pavements market in the country. The approach is technical, but it is also inevitably market-based, as it comes from a decade of experience promoting concrete pavement applications not only in Spain but in other operations of my company in Europe.

Roller-compacted concrete pavements are functionally and structurally similar to vibrated concrete pavements, differing from these in the lower moisture content of the mix and in the installation. Due to their dry consistency, RCCs are placed with the equipment used for asphalt pavements (asphalt pavers and compacting rollers), cement-treated layers and in some cases with earth-laying equipment (motor graders and compacting rollers). This fact confers certain advantages when combining the benefits of concrete pavements with the high execution rates of asphalt pavements, cement-treated layers and granular layers.

The cement content of an HCR is similar to that of a vibrated concrete manufactured in a readymix plant, with moisture content ranging between 10 and 14% with respect to the weight of the dry materials. Its behaviour is therefore similar to that of conventional concrete pavements, which owe their mechanical properties to the setting and hardening of Portland cement. But, in parallel, RCC requires in its placement that the compaction densities of the cement treated layers were reached.

The roller compacted concrete paving technique experienced a great boost in Spain in the 1970s, with numerous applications in different fields and types of road. Initially, the HCRs were used in the paving of rural roads, secondary roads and urban streets, and later they were introduced in high capacity roads as a base layer of vibrated concrete pavements and asphalt pavements, even having application in industrial areas. The thicknesses normally used range between 20 and 25 cm of compacted material, in a single layer, and can go to greater thicknesses in the case of execution in two layers executed with the "fresh on fresh" technique.

Initially, it was applied on rural roads in the northwest of Spain, mainly in the province of Barcelona. Construction costs were favourable when compared to other available techniques, as well as maintenance costs, also obtaining very durable pavements under demanding climatic and use conditions, given the high mechanical resistance of roller-compacted concrete. Other advantages found were the rapid commissioning, and the possibility of using local materials and equipment, which provided an economic advantage in its manufacture and execution. In 1987, about 4 million m² of low-volume roads had been paved with this technique. It should be noted that there are numerous examples of realizations from those years, which are currently in service and in magnificent condition, no less than three decades after their construction.

In 1986 there was an important milestone, with the approval of the update of the national "Instruction of the General Directorate of Roads on road structural sections on highways", which considered RCC among others as a material for highways construction according to its specific Technical Prescriptions. This fact opened the possibility of using this material as a base layer on highway pavements, as was done. Its use as a surface layer was and is limited to low-speed design roads, consistent with the surface regularities obtained in the execution of these pavements.

The pavement sections with RCC base layer were those formed by 8 cm of HMA on 25 cm of RCC and 20 cm of "suelocemento" (a 2,5 MPa CBGM material under Spanish road pavement standards). And 8 cm of HMA on 22 cm of RCC and 20 cm of "suelocemento". In both cases, over an "E2" or "E3" subgrade (esplanade). And for traffic between 2.000 and 4.000 heavy vehicles per day (hvpd) and between 800 and 2.000 hvpd respectively.

The introduction of RCC in the Spanish road regulations, as a basic material, took place in the context of the implementation by the administration of the "General Road Plan" for the period 1984-91. Under this plan, the construction of more than 4.000 km of high-capacity urban highways and roads was carried out, in order to link the various Spanish provincial capitals, and vibrated concrete was used in a very significant way as a pavement material. As a summary data for those years, it has been written that at the end of 1995 there were more than 1,600 km of two-lane road with concrete pavement in Spain. To this must be added the implementation of the use of cement treated layers in esplanades and bases: stabilized soil with cement, "suelocemento", "gravacemento" (a 4,5 MPa CBGM material under Spanish road pavement standards), and other CBGMs type materials like "hormigón magro" (a lean concrete).

The evaluation in 1988 of the Spanish experience on compacted concrete base layers led to the confirmation of its great advantages, some of them already mentioned. On the contrary, some drawbacks were detected, such as the afore-mentioned difficulty in achieving good surface regularity, or the appearance of shrinkage cracks, which were reflected on the surface of the bituminous pavement if the necessary precautions were not taken. It should be considered that the non-execution of joints had been common practice in the first years of use of RCC as a base layer. For this reason, cracks appearance was detected in distances between 7 and 50 meters.

Further evaluations carried out in 1993 led to the conclusion that, while the pavements with "gravacemento" (CBGM) had performed satisfactorily in most of the works built, on the contrary, the same did not happen with the compacted concrete. Important failures occurred with this material, which can be explained when climates with extreme temperature gradients and very heavy traffic occurred. The recommendation was then made to execute joints in the compacted concrete with spacings of less than 6 m.

Probably for this reason, the use of compacted concrete on highways did not have continuity. In fact, in the following revision / update of the national road regulations, the pavement standard known as "PG3", although the article corresponding to compacted concrete of PG3-1986 was not explicitly repealed, now RCC was not considered among the list of materials of the new road sections (2002-2003). Since the 90s, and without the support of national regulations, there is just evidence of some applications generally in the north of Spain, on roads rural areas and roads with low traffic intensity managed by regional councils and promoted by technicians from the Cement Industry.

The use of HCR, however, has had a diverse development in many countries of the world, generally associated with its use in low-speed highways, rural highways, and logistics and industrial applications, as well as load requirements and intensive uses.

At the end of the first decade of the 21st century, taking advantage of the experience of previous decades, and taking advantage of a certain joint effort of coordination with technicians from the cement industry from other American countries (USA, Mexico ...) and Europeans (UK, Poland , Czech Republic, Croatia, Latvia) we have been witnessing what we can call a modest relaunch of the technique. This relaunch is characterized in Spain by:

- The search for market niches where the solution fits especially due to its characteristics, the type of traffic, the logistics scenario associated with production, and the premature failure of other traditional solutions: logistics areas, industrial areas, rural roads, parking lots, etc.
- Collaboration with the local asphalt industry in the application, seeking their involvement and generating operational synergies
- Coordination with the local administration, a key element in promoting the technique
- The learning of the constructive methods that allow to solve or improve the limitations that led in the past to the abandonment of the technique. In this sense, fresh cutting procedures for joints have been implemented, which are currently available in short distances, to avoid cracking of the material, avoiding the formation of excessively long slabs that lead to significant problems in the medium term, both when the pavement it acts as a base as when it does as a rolling.

Among the difficulties for a greater implementation of the technique, mention should be made of the scarcity of concrete manufacturing plants equipped with a mixer. This fact, characteristic of the Spanish readymix concrete sector, severely limits the possibilities of undertaking projects of a minimum size with guarantees. Precisely to overcome this limitation, RCC has been manufactured in "suelocemento" / "gravacemento" plants or even discontinuous asphalt plants, transformed or adapted for this purpose, which illustrates the attractiveness that RCC offers to the asphalt producer / applicator.

The accumulated experience allows us to think that RCC has a future in Spain. Currently, tests are being carried out at the local level to implement the technique again as a base layer on roads with certain traffic in Spain. RCC is currently contemplated in some regional and municipal regulations. The technique has numerous advantages, which must be promoted by the whole cement and concrete industry in a coordinated effort.

Zkušenosti s použitím válcovaného betonu (RCC) ve Španělsku

José María Merino – CEMEX EUROPE – Vedoucí pro vozovky

Tel.: +34 650 953 061

E-mail: JoseMaria.Merino@cemex.com

Účelem tohoto příspěvku je podělit se o zkušenosti s používáním válcovaného betonu ve Španělsku, získané v minulosti i v současnosti a pokusit se nastínit některé možnosti, jak by v budoucnu mohl být ve Španělsku tento materiál používán při výstavbě vozovek. Přístup, který jsme zvolili, je zaměřen technicky, ale nevyhnutelně také ekonomicky, protože je založen na desítkách let zkušeností při propagaci betonových vozovek nejen ve Španělsku, ale i při působení naší společnosti v Evropě.

Válcem hutněné cementobetonové kryty jsou funkčně a konstrukčně podobné vibrovaným cementobetonovým krytům, liší se od nich nižším obsahem vlhkosti ve směsi a ve způsobu pokládky. Vzhledem ke své suché konzistenci se válcovaný beton pokládá zařízením používaným pro asfaltové kryty (finišery pro pokládku asfaltových směsí a zhutňovací válce), pro cementem stmelené vrstvy a v některých případech dokonce i pomocí zařízení pro pokládku zemin (motorové srovnávače a zhutňovací válce). Tato skutečnost přináší určité výhody při kombinování výhod cementobetonových a asfaltových krytů (které jsou budovány ve větším rozsahu), cementem zlepšených směsí a nestmelených směsí.

Obsah cementu v HCR (směsi pro válcovaný beton¹) je podobný obsahu cementu ve vibrovaném betonu, vyráběném v zařízeních na ready-mix beton, s obsahem vlhkosti v rozmezí od 10 do 14 % z hmotnosti suchých materiálů. Jeho chování je proto podobné jako u běžných cementobetonových krytů, které za své mechanické vlastnosti vděčí tuhnutí a tvrdnutí portlandského cementu. Válcovaný beton však musí být zhutněn tak, aby objemová hmotnost dosahovala objemové hmotnosti cementem stmelených vrstev.

Technologie válcem hutněných cementobetonových krytů zažívala velký rozmach ve Španělsku v 70. letech 20. století, kdy byla ve velké míře využívána v různých oblastech a na různých typech silnic. Zpočátku se HCR používaly pro kryty venkovských silnic, vedlejších silnic a městských ulic a později byly používány pro podkladní vrstvy vibrovaných cementobetonových krytů a asfaltových krytů na komunikacích s vysokou frekvencí provozu, a to i v průmyslových oblastech. Obvykle používané tloušťky jsou v rozsahu 20 až 25 cm zhutněného materiálu v jedné vrstvě; větší tloušťky mohou být pokládány ve dvou vrstvách, technikou „čerstvé na čerstvé“.

První aplikace válcovaného betonu se uskutečnily na venkovských silnicích na severozápadě Španělska, hlavně v provincii Barcelona. Ve srovnání s jinými dostupnými technologiemi byly náklady na stavbu příznivé; totéž platilo pro náklady na údržbu. Touto technologií byly budovány velmi odolné kryty vozovek pro náročné klimatické a provozní podmínky, vezmeme-li v úvahu vysokou mechanickou odolnost válcovaného betonu. Další zjištěné výhody zahrnovaly rychlé uvedení do provozu a možnost použití místních materiálů

¹ Poznámka překladatele

a zařízení, což při výrobě a pokládce představovalo ekonomickou výhodu. V roce 1987 byly touto technologií položeny asi 4 miliony m² silnic s nízkou intenzitou dopravy. Je třeba dodat, že existuje řada příkladů realizací z těchto let, které jsou minimálně tři desetiletí po výstavbě stále v provozu a ve skvělém stavu.

Rok 1986 byl významným milníkem, protože byla schválena aktualizace národních „Pokynů Generálního ředitelství silnic na konstrukce na dálnicích“, které považovaly válcovaný beton mimo jiné za materiál pro konstrukci dálnic podle konkrétních technických předpisů. Tato skutečnost otevřela možnost použití tohoto materiálu jako podkladní vrstvy na dálničních vozovkách. Jeho použití jako vrstvy krytu bylo a je v důsledku povrchových vlastností válcovaného betonu omezeno na komunikace s nízkou povolenou rychlostí.

Úseky vozovky s podkladní vrstvou z válcovaného betonu byly tvořeny 8 cm HMA (asfaltová vrstva) na 25 cm RCC (válcovaný beton) a 20 cm zeminy stmelené cementem (materiál CBGM 2,5 MPa podle španělských norem pro silniční komunikace). A 8 cm HMA na 22 cm RCC a 20 cm zeminy stmelené cementem. V obou případech na pláni „E2“ nebo „E3“. Pro dopravní zatížení mezi 2 000 a 4 000 těžkých vozidel za den (hvpd) a mezi 800 a 2 000 hvpd.

Zavedení RCC jako technologie pro podkladní vrstvy do španělských silničních předpisů státní správy proběhlo v souvislosti s realizací „Obecného plánu silnic“ pro období 1984-91. V rámci tohoto plánu byla provedena výstavba více než 4 000 km městských dálnic a silnic pro vysokou frekvenci provozu za účelem propojení různých hlavních měst španělských provincií; jako kryt vozovky byl použit většinou cementobetonový kryt. V rámci souhrnných údajů pro tyto roky bylo uvedeno, že na konci roku 1995 bylo ve Španělsku více než 1 600 km dvoupruhových silnic s cementobetonovým krytem. K tomu je třeba přidat používání cementem stmelených vrstev do plání a podkladních vrstev: zemina stmelená cementem (materiál CBGM 4,5 MPa podle španělských norem pro vozovky) a další materiály typu CBGM jako hubený beton.

Vyhodnocení španělských zkušeností s podkladními vrstvami z válcovaného betonu v roce 1988 vedlo k potvrzení jeho velkých výhod, z nichž některé již byly zmíněny. Byly ale zjištěny i některé nedostatky, jako například výše zmíněné potíže při dosahování dobré povrchové rovnosti nebo smršťovací trhliny, které se objevovaly na povrchu asfaltové vozovky, pokud nebyla provedena potřebná opatření. Je třeba vzít v úvahu, že v prvních letech používání RCC jako podkladní vrstvy nebylo vytváření spár běžnou praxí. Z toho důvodu vznikaly trhliny ve vzdálenostech mezi 7 a 50 metry.

Další hodnocení z roku 1993 vedla k závěru, že zatímco vozovky se zeminou stmelenou cementem (CBGM) fungovaly na většině dokončených staveb uspokojivě, při použití válcovaného betonu tomu tak nebylo. U tohoto materiálu došlo k závažným problémům, které lze zdůvodnit klimatem s extrémními teplotními výkyvy a velmi silným provozem. Poté bylo doporučeno řezat spáry ve ztuhlém betonu ve vzdálenostech menších než 6 m.

Pravděpodobně z tohoto důvodu nemělo použití válcovaného betonu na dálnicích pokračování. V následující revizi / aktualizaci vnitrostátních silničních předpisů nebyla norma pro vozovky známá jako „PG3“, nyní RCC, uvažována v seznamu technologií nových úseků silnic (2002-2003), ačkoli článek vztahující se k válcovanému betonu PG3-1986 nebyl výslovně zrušen. Od 90. let, bez podpory vnitrostátních předpisů, existují důkazy pouze o několika aplikacích na severu Španělska, na silnicích ve venkovských oblastech a na silnicích s nízkou intenzitou dopravy, které jsou spravovány regionálními radami a podporovány technikami z cementářského průmyslu.

Používání HCR se však v různých zemích světa vyvíjelo různě; HCR je obecně spojováno s použitím na silnicích s nízkou povolenou rychlostí, venkovských silnicích a v logistických a průmyslových oblastech, a rovněž s požadavky na zatížení a intenzitu provozu.

S využitím zkušeností z předchozích desetiletí i určitého společného úsilí a koordinace s techniky z cementářského průmyslu z jiných amerických zemí (USA, Mexiko ...) a z Evropy (Velká Británie, Polsko, Česká republika, Chorvatsko, Lotyšsko) jsme byli na konci prvního desetiletí 21. století svědky toho, co můžeme nazvat skromným oživením této technologie. Toto oživení ve Španělsku má tyto rysy:

- Hledání mezer na trhu, kde je možné použití válcovaného betonu díky svým vlastnostem, typu dopravy, logistickému scénáři, spojenému s výrobou a dřívějšímu neúspěchu jiných tradičních řešení: logistické a průmyslové oblasti, venkovské silnice, parkoviště apod.
- Při pokládce spolupráce s místním asfaltovým průmyslem, hledání možností pro jeho zapojení a vytváření provozní spolupráce
- Koordinace s místní správou, klíčovým prvkem při propagaci této technologie
- Použití konstrukčních metod, umožňujících vyřešit nebo zlepšit omezení, která v minulosti vedla k opuštění této technologie. V tomto smyslu bylo zavedeno řezání spár, které jsou v současné době řezány po krátkých vzdálenostech, aby se zabránilo vzniku trhlin a zamezilo se tvoření příliš dlouhých desek, což by ve střednědobém horizontu vedlo k významným problémům, a to jak v situaci, kdy vozovka slouží jako podkladní vrstva, tak i v případě použití jako krytu.

Rozsáhlejšímu provádění této technologie brání například nedostatek betonáren vybavených potřebnou míchačkou. Tato skutečnost, charakteristická pro španělský betonový sektor (ready-mix), výrazně omezuje možnosti realizace projektů, byť minimálního rozsahu v potřebné kvalitě. K překonání tohoto omezení je RCC vyráběn v závodech, které vyrábí zeminy / kamenivo stmelené cementem nebo dokonce ve výrobnách asfaltových směsí s přerušovaným provozem, transformovaných nebo přizpůsobených pro tento účel, což ilustruje atraktivitu, kterou RCC nabízí výrobcům asfaltových směsí i firmám, které je pokládají.

Na základě zkušeností jsme dospěli k názoru, že ve Španělsku má RCC budoucnost. V současné době probíhají na místní úrovni zkoušky k opětovnému zavedení této technologie ve Španělsku jako podkladní vrstvy na silnicích s vhodným provozem. RCC je v současné době zvažován v některých regionálních a obecních předpisech. Tato technologie má řadu výhod, které musí cementářský a betonářský průmysl podporovat koordinovaným úsilím.

Cementobetonový kryt CB II na projektě „Rekonštrukcia cesty III/1113“

Ing. Jan Málek
závod CB technologie
EUROVIA CS, a.s.
Tel.: +420 737 257 982
E-mail: Jan.Malek@eurovia.cz

Příspěvek popisuje přípravu a provádění cementobetonového krytu (dále jen „CBK“) na silnici III/1113 Malacky – Rohožník, kdy tato komunikace byla z důvodu extrémního zatížení těžkou nákladní dopravou navržena jako vozovka s betonovým krytem. V rámci daného projektu byla použita technologie dvouvrstvého betonového krytu. Dále byla upravena problematická místa malých směrových oblouků a provedeno zpomalení dopravy na vjezdech do obcí Malacky a Rohožník. Příspěvek se věnuje praktickým zkušenostem jak z pokládky, tak i dodávky čerstvé betonové směsi.

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROJEKTU

Investor stavby: Bratislavský samosprávný kraj

Zhotovitel stavby: ALPINE Slovakia, spol. s r. o.

Zhotovitel cementobetonového krytu: EUROVIA CS, a.s. org. zl. Slovensko, závod CB technologie

Dodavatel betonové směsi CB II: ALAS Slovakia, s.r.o.

Projektant stavby: Dopravoprojekt, a.s.

Silnice III/1113 spojující obce Malacky a Rohožník patří k nejvíce zatíženým komunikacím dané oblasti. Zejména intenzita nákladní dopravy z lomu Sološnice a cementárny Rohožník vysoce překračovala technické možnosti stávající komunikace jak z hlediska šířkového řešení, tak z hlediska vlastní konstrukce vozovky. Dlouhodobě se správce komunikace potýkal také s problémy zejména při tvorbě trvalých deformací asfaltového krytu. Všechny tyto důvody vedly k rozhodnutí o kompletní rekonstrukci včetně úpravy nevhodných směrových prvků trasy.

V roce 2009 byla zpracována technická studie rozšíření cesty III/50310, v rámci které byla pro řešené území posuzována jediná varianta s vyčíslením nákladů na rekonstrukci. V dokumentaci pro územní povolení bylo provedeno ekonomické porovnání variant jak asfaltového řešení, tak betonového. Z tohoto porovnání vzešlo jako ekonomicky nejvýhodnější řešení použití vozovky z CBK, kdy velkou roli v celém procesu rozhodování nesou následné náklady spojené s údržbou vozovky v čase životnosti stavby. Následně byla roku 2013 zpracována dokumentace pro stavební povolení, na kterou v roce 2017 navázala dokumentace pro realizaci stavby. Komunikace je navržena v kategorii C 9,5/80 a celková délka rekonstruovaného úseku je 7 785 m.

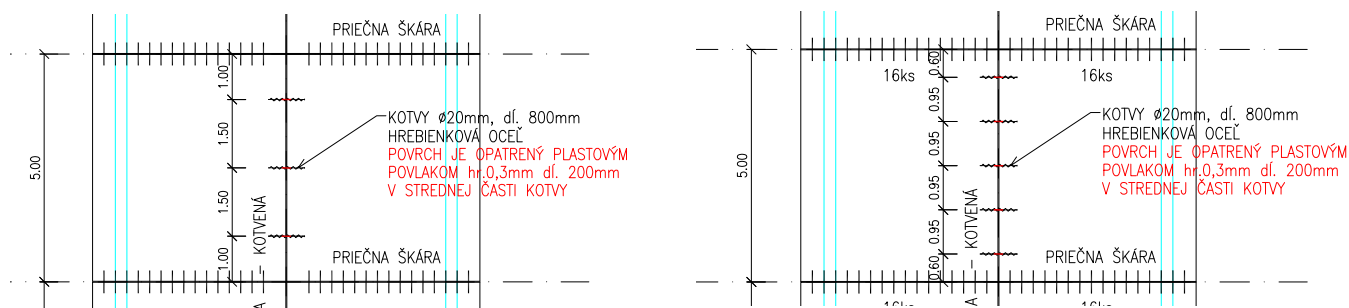
Jednou ze zajímavostí je, že původní řešení pro DSP počítalo s vozovkou navrženou na kategorii CB III, ale z důvodu zatížení komunikace a plánovaného přesunutí z kategorie III. třídy do II. třídy byl následně použit beton kategorie CB II.

2 FÁZE VÝBĚROVÉHO ŘÍZENÍ NA DODAVATELE STAVBY

Vlastní výběrové řízení na zhotovitele stavby proběhlo na podzim roku 2017. Velkou část dotazů v rámci soutěžního řízení tvořily zejména upřesňující informace spojené s realizací CBK. V původním řešení počítal projekt s variantou betonu CB II s povrchovou úpravou tzv. „vymetaný“ beton. Tato úprava povrchu betonového krytu se běžně používá na dálničních stavbách zejména z důvodu požadavku na velmi dobré protismykové vlastnosti vozovky. V rámci upřesňujících informací během výběrového řízení a z důvodu, že se jednalo o realizaci CBK na silnici III. třídy, bylo od této povrchové úpravy upuštěno a byla zvolena povrchová úprava striáží.

Jelikož se na takovémto druhu projektu betonová vozovka ještě nerealizovala, směřovaly další dotazy na možnost nahrazení střešovitého sklonu vozovky řešením s jednostranným příčným sklonem, čímž by byla umožněna pokládka dvouvrstvého CBK klasickým řešením běžně používaným u dálničních staveb. Tato možnost ale byla zejména z důvodu odvodnění vozovky a celkové koncepce směrově nerozdělené komunikace zamítnuta, a byla následně umožněna investorem i jednovrstvá pokládka. Ta umožňovala použití „menších“ finišerů a tedy i možnost realizace po jednotlivých jízdních pruzích. S tímto řešením byla spojená i etapizace výstavby, kdy v původním řešení se uvažovalo o několika etapách vlastní výstavby, které by se samozřejmě týkaly i realizace CBK. Z důvodu, že komunikace prochází vojenským prostorem, byl požadavek na neustálý přístup k jednotlivým objektům podél trasy, investor tedy požadoval zachování etap dle zadávací dokumentace. V rámci vlastní realizace ale bylo od jednotlivých etap upuštěno při zachování požadavku na průjezdnost stavby. Díky tomu byla umožněna maximálně plynulá výstavba a zejména pokládka CBK.

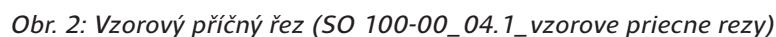
Jak již bylo uvedeno, nebyla umožněna pokládka betonové vozovky v celé šířce. Následně musel být tedy upraven počet kotev podélné spáry z důvodu, že se jedná o podélnou spáru pracovní a nikoliv řezanou. Tato úprava měla za následek navýšení počtu kotev podélné spáry a s tím spojeným požadavkem na jejich vrtání a vlepení.



Obr. 1: Úprava kotev podélné spáry (SO 100-00_04.2 Schema usporiadania skar, kotiev a trnov – ZmenaA 10_2017 vs. původní řešení)

Stavba byla projekčně řešena v rámci dokumentace územního rozhodnutí v roce 2013 a z tohoto roku je i řešení CBK. Jako podkladní vrstva není použita klasická cementová stabilizace, ale ve smyslu realizací betonových vozovek např. v Rakousku je jako podkladní vrstva použit asfaltový beton pro horní podkladní

CESTA III/1113 - KATEGÓRIA C 9,50/80
V PRIAMEJ



Pro zvolený druh betonu CB II bylo použito jedno z nejlepších drcených kameniv na Slovensku z lomu Soľošnica, kvalitní a dlouhodobě odzkoušený cement z cementárny Cemmac-Horné Srnie a stabilní přísady od firmy MC-Bauchemie. Stabilita výsledné směsi byla velmi důležitá zejména z důvodu, že betonáž probíhala v letních měsících. Jelikož teploty přes den dosahovaly běžně 30-ti stupňových hodnot, bylo z hlediska dodržení všech parametrů čerstvé betonové směsi přistoupeno k opatřením zajišťujících dosažení všech kvalitativních parametrů ČBS. Jedním z nejdůležitějších opatření bylo zahájení betonáží v časných ranních hodinách, kdy betonáž začínala pravidelně kolem 4-té hodiny ránní, kdy bylo zahájeno míchání směsi na betonárce Vysoká pri Morave.

V rámci laboratorního zkoušení prošel beton na stavbě standardní kontrolou akreditovanou zkušební laboratoří dle schváleného KZP stavby. Během pokládky CBK se sledoval hlavně obsah vzduchu, konzistence a teplota betonové směsi. Každá betonáž začínala dle dohody s dodavatelem betonové směsi kontrolou na betonáře technologem a laborantem společnosti Alas Slovakia.

4 ZKUŠENOSTI Z REALIZACE CEMENTOBETONOVÉHO KRYTU

Příspěvek pojednává o výjimečné realizaci CBK jak v porovnání staveb v Čechách, tak na Slovensku. V takovémto rozsahu nebyla nikdy cementobetonová vozovka na silnici nižší třídy použita. Jelikož jsme i my jako zhotovitel cementobetonových krytů neměli s takovouto realizací zkušenosti a neměli jsme tedy žádné porovnání z předešlé stavby, museli jsme této akci věnovat zvýšenou pozornost zejména v době přípravy vlastní realizace zakázky.

Nejprve byla na stole otázka způsobu vlastní pokládky CBK. Jako zhotovitel jsme chtěli zachovat požadavek projektu na dvouvrstvý betonový kryt, a tak jsme si ani nepřipouštěli možnost realizace jednovrstvého řešení. To by znamenalo použití podpůrných konstrukcí pro uložení kluzných trnů do příčných spár s tím, že použitím nosičů kluzných trnů dochází ke značnému zpomalení pokládky CBK, kdy je nutné nosiče zasypat betonem pomocí kolového bagru a následně provést zavibrování betonu, aby nedošlo vlivem pohybu finišeru k jejich posunutí. Abychom se tedy tomuto vyhnuli, rozhodli jsme se hned ze začátku přípravy projektu k realizaci dvouvrstvé pokládky CBK, kdy unikátní v celé pokládce je způsob použití dvou finišerů primárně určených pro jednovrstvou pokládku. Tímto řešením byla umožněna maximální rychlost pokládky CBK a dosažení kvalitativních parametrů betonové vozovky srovnatelných s vozovkou dálnic. Horní vrstva betonového krytu byla mezi finišery dávkována pomocí kolového bagru.



Obr. 3: Sestava finišerů Wirtgen SP 500

Další unikátní technologií bylo strojní zatlačování kotev do podélné spáry. Jelikož celá stavba byla betonována po polovinách, bylo třeba do podélné pracovní spáry osadit více než 7 750 ks kotev. Pokud by bylo použito klasické navrtávání kotev z boku, byla by tato činnost značně zdlouhavá a finančně náročná. Proto jsme se rozhodli zatlačovat kotvy strojně přímo při pokládce CBK. Před realizací panovaly obavy,

zda bude schopen beton zvládnout zatlačení 5-ti kusů kotev do jedné desky, aniž by tím došlo k spadnutí hrany, která se napojuje na sousední jízdní pruh. Naše počáteční obavy se nakonec nenaplnily a ověřili jsme si možnost strojního zatlačování kotev i pro další realizace.

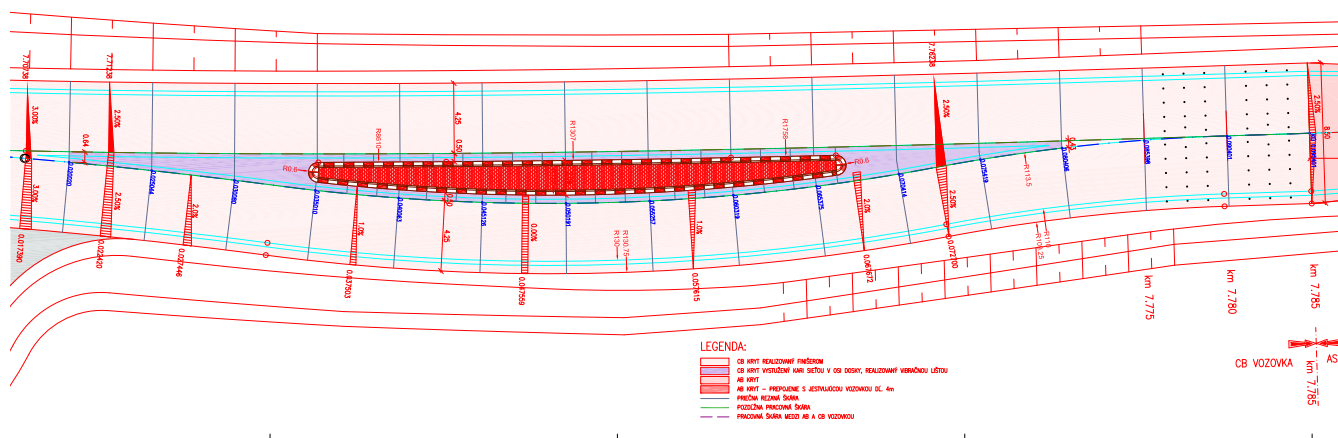


Obr. 4: Osazené kotvy v čerstvém betonu; elektrický ohradník podél denní betonáže

Jelikož se jednalo o betonový kryt s povrchovou úpravou striáží, bylo třeba před zahájením realizace stanovit druh této úpravy. Zhotovitel CBK se nejprve přikláněl spíše k provedení příčné striáže koštětem. Tato striáž má v dlouhodobém horizontu lepší trvanlivost protismykových vlastností, ale je zde vyšší hluchost při průjezdu vozidel. Proto bylo po dohodě s autorským dozorem a investorem přistoupeno k povrchové úpravě taženou jutou. Na provedeném zkušebním úseku proběhla jak zkouška, kde byla ověřena spolehlivost finišerů, tak i druh použité juty.

Dále bylo dle požadavku TKP 8/2011 odstavec 4.4 - Rozprestieranie a zhutňovanie betónu provedeno značení CB desek. Toto značení bylo provedeno po 100m raznicemi do čerstvého betonu. Zajímavostí je, že ačkoliv požadavek TKP 8/2011 je jednoznačný a museli jsme spolu s projektantem zvolit správný typ písma, velikost raznic a polohu čísel, tak pokud by byla provedena cesta s asfaltovým krytem, k žádnému značení kilometrů na vozovce nedochází.

Nedílnou součástí celé stavby bylo v rámci zpomalení vozidel u vjezdů do obcí Malacky a Rohožník navržení ostrůvků pro zpomalení dopravy. Jelikož se jedná o ostrůvky, které směrově „rozdělují“ cementobetonovou vozovku, byly navrženy dvě varianty. Buď celý prostor ostrůvků zrealizovat v asfaltovém řešení, nebo kompletně v betonovém. Z hlediska provádění CB krytu by bylo výhodnější provedení kompletní části ostrůvků v asfaltovém provedení, ale po jednání mezi všemi zúčastněnými stranami bylo použito řešení betonové. Tato varianta je nejlepší zejména z důvodu odolnosti betonové vozovky proti tvorbě trvalých deformací, které vznikají od brzdných sil zpomalující nákladní dopravy. Jelikož se v prostoru ostrůvku jedná ve velké míře o nepravidelné desky, byl CB kryt proveden vyztužený KARI sítí.



Obr. 5: Výkres řešení ostrůvku u vjezdu do obce Rohožník

Zajímavým problémem, se kterým se bylo třeba při pokládce CB krytu ještě vypořádat, bylo ochránění čerstvě položeného CBK před možným znehodnocením přechodem zvěře. Jelikož převážná část stavby prochází ve vojenských lesích, bylo riziko poničení od přechodu zvěře značné, a proto bylo přijato opatření, kdy se po obou stranách denního záběru natáhl elektrický ohradník, který dokonale zabránil přechodu zvěře a tedy nevratnému poničení povrchu CBK.

5 ZÁVĚR

Autoři článku se snažili přiblížit čtenářům své zkušenosti s realizací CB krytu na této ojedinělé zakázce. Zhotovitel se musel vypořádat se spoustou výzev spojených, jak s dvouvrstvou pokládkou, tak i přípravou z hlediska spolupráce na realizační dokumentaci stavby. Z hlediska dodávky betonů byla receptura i výroba nastavena tak, aby čerstvá betonová směs bez problému zvládala delší návozní trasy i horké letní počasí.

Z celkového pohledu na hotové dílo je třeba konstatovat, že použití CB krytů i na komunikacích nižších tříd, které jsou však silně zatíženy zejména nákladní dopravou, je jednoznačně správný krok. Cementobetonový kryt zaručuje vozovce dlouhou životnost a odolnost bez nutnosti velkých nákladů na údržbu a opravy. V tomto ohledu je třeba ocenit přístup investora dovést do realizace betonové řešení dané stavby. Moderně navržená rekonstrukce cesty III/1113 je zárukou jak zvýšení bezpečnosti silničního provozu, tak i zvýšení komfortu jízdy běžných účastníků silničního provozu.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za přispění autorského dozoru a odpovědného projektanta celé stavby Ing. Lubomíra Jurova z projekční kanceláře Dopravoprojekt a.s.



TEAMS WORK.

Protože jen týmová práce vede k úspěchu.

Věříme, že klíčovým faktorem úspěchu je vysoká profesionalita našich pracovníků, jejich nadšení pro společný cíl a schopnost spolupráce.

Pokládka cementobetonových vozovek je jednou z našich specializací v oboru dopravního stavitelství. Naši odborníci mají bohaté zkušenosti s výstavbou vozovek i letištních ploch. V tomto oboru patříme ke světové špičce, náš tým realizuje pokládky betonových vozovek nejen na stavbách v České republice, ale i v zahraničí. Podle druhu stavby a potřeb zákazníka provádíme nejrůznější druhy povrchové úpravy betonu, např. vymetání betonu, příčnou striáž koštětem, úpravu vlečenou jutou, nebo broušení – grinding. Spektrum našich služeb zahrnuje také zhotovení monolitických svodidel a různé profily betonových odvodňovacích prvků.



www.strabag.cz

STRABAG
TEAMS WORK.

SKANSKA

Poprvé v ČR

Whitetopping

Nová technologie pro opravy vozovek

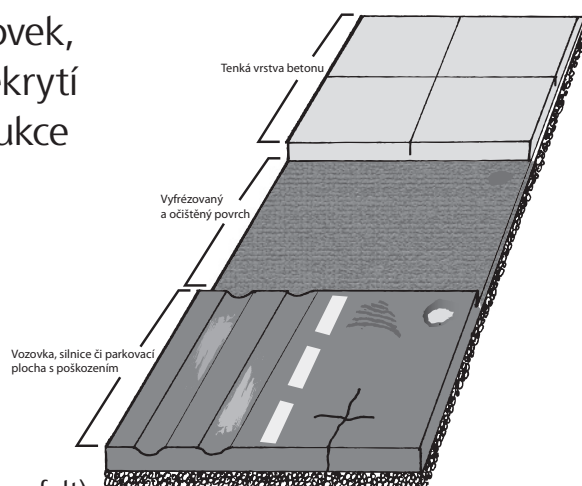


Whitetopping je technologie opravy vozovek, silnic a parkovacích ploch spočívající v překrytí původní asfaltové nebo betonové konstrukce tenkou vrstvou betonu.

Výhody:

- Odstranění původních poruch jako jsou např. vyjeté koleje, trhliny, degradace povrchu.
- Lepší odolnost proti trvalým deformacím původně asfaltových vozovek.
- Využití pozitivních vlastností obou materiálů (beton x asfalt).
- Efektivní způsob prodloužení životnosti původní vozovky.
- Úspora materiálu a jeho dopravy.
- V souladu s principy udržitelné výstavby.

Disponujeme ověřenou recepturou betonu s redukováním smrštění.



www.skanska.cz/whitetopping

A blue-tinted photograph of four people (three men and one woman) wearing white hard hats with the EUROVIA logo and high-visibility work jackets. They are smiling and looking towards the camera. The background is a blurred image of a highway interchange.

NA SPOLEČNÉ CESTĚ



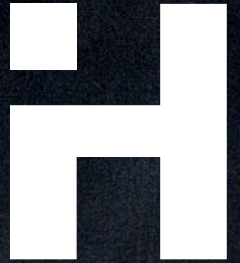
Patříme k nejvýznamnějším stavebním firmám v České republice, jsme jedničkou v oblasti dopravně-inženýrského stavitelství. Pověst skupiny EUROVIA CS stojí na kvalitní, včasné a odborně odvedené práci. Úspěšnou firmu z nás dělají především naši vysoce kvalifikovaní zaměstnanci. Jejich zkušenosti, odborné znalosti a svědomitý přístup ve spojení s tradicí naší společnosti a moderními technologiemi jsou pro nás klíčové.

Díky širokému portfoliu činností a celorepublikovému pokrytí dokáže skupina EUROVIA CS realizovat menší i velké zakázky. Disponujeme rovněž vlastní surovinovou základnou a moderním technickým i technologickým zázemím.

ČESKOMORAVSKÝ
STĚRK
HEIDELBERGCEMENT Group

ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group

ČESKOMORAVSKÝ
BETON
HEIDELBERGCEMENT Group



STABILNÍ PARTNER PRO STAVBU

 heidelbergcement.cz

Válcovaný beton

Dnes postavíme
a zítra jezdíte



Válcovaný beton (RCC) je inovativní řešení pro stavbu vozovek, které kombinuje dlouhodobou životnost a pevnost betonu se snadností pokládání asfaltu. Válcovaný beton je rychlý na výstavbu a stojí méně než konvenční materiály na vozovky.

- ▶ Rychlá technologie výstavby
- ▶ Trvanlivost – dlouhá životnost s minimální údržbou
- ▶ Vysoká mrazuvzdornost
- ▶ Odolnost vůči vyjíždění kolejí

CEMEX poskytuje kompletní realizaci vozovek z válcovaného betonu a současně poskytuje i další služby spojené s výstavbou komunikací – vypracování projektu na míru, zajištění projektové dokumentace pro stavební povolení, optimalizace návrhu složení vozovky a další související práce.



Zjistit více na www.cemex.cz/valcovany-beton.aspx

CEMPAVE

CEMEX



Pro lidstvo a ve prospěch planety. S nulovým dopadem na životní prostředí. **Tak stavíme!**



Připojili jsme se k závaznému slibu skupiny LafargeHolcim nulového dopadu na životní prostředí.

Připravujeme další procesy v naší cementárně snižující CO₂ na minimum.

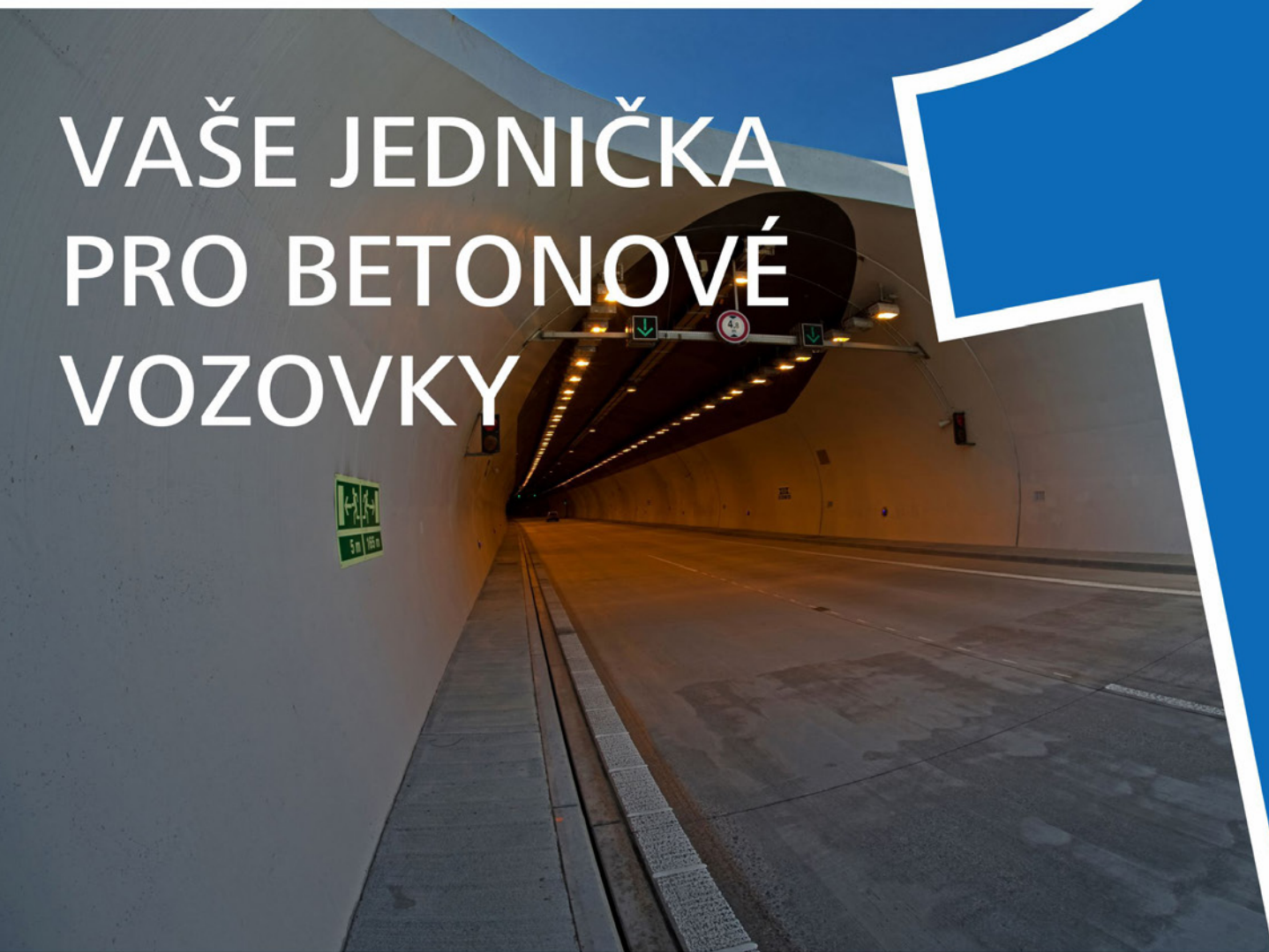
Přemýšlíme, jak přispět našimi cementy do uhlíkově neutrální výstavby.

Již dnes vám můžeme nabídnout „zelené“ výrobky.



Cement Hranice

VAŠE JEDNIČKA PRO BETONOVÉ VOZOVKY



www.cement.cz

Mediaální partneři



časopis
stavebnictví

materiály
pro stavbu _____

silnice
+ mosty





STRABAG a.s.
Kačírkova 982/4
158 00 Praha 5



Skanska a.s.
Křižíkova 682/34a
186 00 Praha 8



Svaz výrobců cementu ČR
K Cementárně 1261
153 00 Praha 5



EUROVIA CS, a.s.
U Michelského lesa 1581/2
140 00 Praha 4

Vydal: Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o.;
Na Cikánce 614/2, 153 00 Praha 5-Radotín; www.vumo.cz
ISBN 978-80-906541-5-0