

T A  
Č R

Program **Alfa**



**AdMaS**

# Metodika pro stanovení součinitele tření po ohlazení – cementobetonové kryty

Metodika vznikla v rámci řešení projektu TAČR TA02030479 Zavedení zrychlené laboratorní metody podle prEN 12697-49 k měření protismykových vlastností povrchů vozovek a jejich vývoje v závislosti na dopravním zatížení pro snížení nehodovosti a prodloužení životnosti obrusných vrstev.

V Brně, říjen 2016

## OBSAH

1.	CÍL METODIKY .....	3
2.	VLASTNÍ POPIS METODIKY .....	3
2.1.	Zdůvodnění potřeby nového zkušební postupu .....	3
3.	STANOVENÍ SOUČiniteLE TŘENÍ PO OHLAZENÍ .....	5
3.1.	Příprava vzorků.....	5
3.2.	Ohlazování.....	6
3.3.	Měření součinitele tření.....	6
3.4.	Výpočet součinitele tření.....	7
3.5.	Vztah mezi laboratorním měřením součinitele tření a měřením součinitele tření dynamickým měřicím zařízením na vozovce.....	8
3.6.	Vztah ohlazování laboratorního vzorku a dopravního zatížení.....	10
3.7.	Orientační přepoččet stávajících požadavků na protismykové vlastnosti povrchu vozovky podle přílohy A ČSN 73 6177.....	12
4.	SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“ .....	12
5.	POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY .....	13
6.	EKONOMICKÉ ASPEKTY.....	13
	DEDIKACE NA PROJEKT .....	14
	AUTOŘI .....	14
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	15
	PŘEDCHÁZEJÍCÍ PUBLIKACE .....	16

## 1. CÍL METODIKY

Protismykové vlastnosti povrchu vozovky jsou podle ČSN 73 6177 měřeny a hodnoceny na nových vozovkách pro přejímku prací, na konci záruční doby a dále se provádí měření pro zjištění provozní způsobilosti pozemních komunikací a letištních ploch. Při měření na konci záruční doby, která je běžně 5 let, ale není výjimkou ani 10 let, bylo zjištěno, že hlavně na pozemních komunikacích s velkým dopravním zatížením těžkými vozidly, je problémem zajistit požadovanou klasifikaci hodnocení protismykových vlastností. Cílem metodiky je tedy popis zkušební postupu, který pomocí simulace dopravního zatížení v laboratoři umožňuje predikci vývoje protismykových vlastností povrchu cementobetonových krytů jak na vývrtech ze stávajících vozovek, tak na vzorcích připravených v laboratoři.

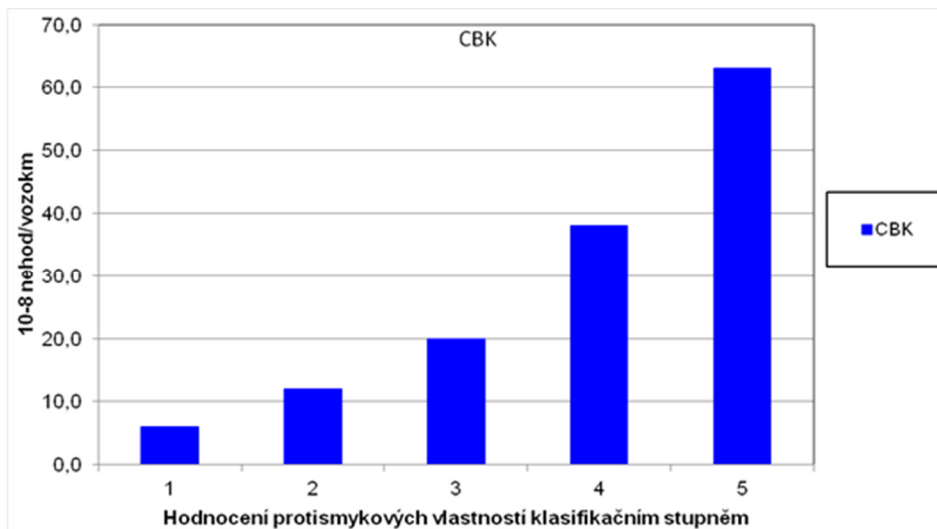
## 2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

### 2.1. Zdůvodnění potřeby nového zkušební postupu

Provedené výzkumy prokázaly souvislost mezi nedostatečnými protismykovými vlastnostmi povrchu vozovky a zvýšenou dopravní nehodovostí (obrázek 1). Proto jsou protismykové vlastnosti dnes stále častěji pravidelně sledovány na nových i stávajících vozovkách. I když počáteční kvalita protismykových vlastností povrchu vozovky je na požadované úrovni, tak působením dopravního zatížení může docházet k rychlému poklesu hodnot součinitele tření a tím i hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovky. Životnost protismykových vlastností byla doposud odhadována pouze na základě dlouhodobých měření daného povrchu vozovky. Zkušební metoda podle ČSN EN 12697-49 „Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 49: Stanovení součinitele tření po ohlazení“ umožňuje laboratorní stanovení vývoje součinitele tření v závislosti na počtu cyklů ohlazování, které simulují dopravní zatížení nejen na asfaltových směsích, ale i na cementobetonových krytech. Zkoušku lze provádět na vývrtech z již zhotovených vozovek, případně i na vzorcích zhotovených v laboratoři.

ČSN EN 12697-49 sice popisuje zkušební zařízení a konkrétní průběh procesu měření součinitele tření, nestanovuje ale, jak nakládat s výsledky zkoušky. Norma nepopisuje žádnou souvislost mezi daty získanými v laboratoři a součinitelem tření měřeným dynamickým měřicím zařízením na vozovce. Také laboratorní simulace dopravního zatížení není převedena na počet vozidel a výsledný vývoj součinitele tření po ohlazení nelze tedy nijak přepočítat na životnost protismykových vlastností povrchu vozovky. Samotné vyhodnocení měřených dat není dostatečně vysvětleno. Tato metodika tedy doplňuje normu o vztah mezi výsledky laboratorního měření a výsledky získanými přímo na

vozovce dynamickým měřicím zařízením. Dále stanovuje přepočítání počtu cyklů ohlazení na dopravní zatížení.



Obrázek 1 – Relativní nehodovost podle hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovky na cementobetonovém krytu dálnic



Obrázek 2 – Zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení

### 3. STANOVENÍ SOUČINITELE TŘENÍ PO OHLAZENÍ

Postup zjišťování součinitele tření po ohlazování je popsáno v ČSN EN 12697-49, metodika proto obsahuje jen jeho stručné shrnutí. Metodika byla zpracována pro verzi normy ze srpna 2014.

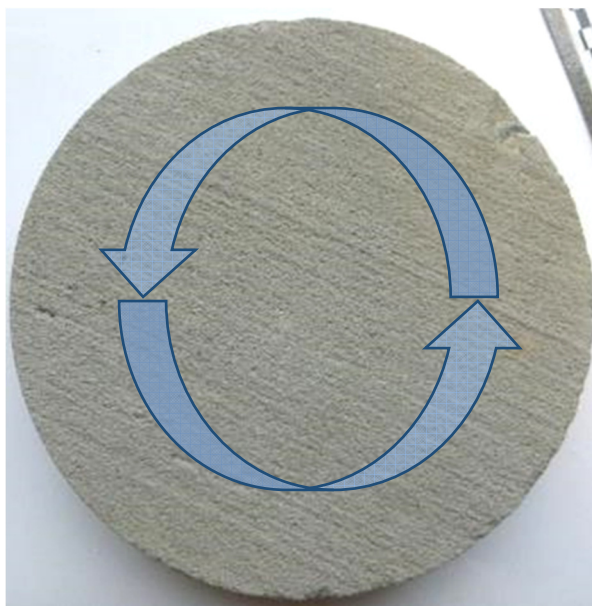
#### 3.1. Příprava vzorků

Zkušebními vzorky mohou být vývrtky z vozovky o průměru 225 mm nebo zkušební tělesa připravená v laboratoři (obrázek 3). ČSN EN 12697-49 doporučuje povrch vývrtů z nových vozovek před zkoušením otryskat pískem. U cementobetonových krytů ale není na povrchu asfaltové pojivo, takže se pískování neprovádí.



Obrázek 3 – Zkušební vzorky – vývrtky z vozovek (vlevo a uprostřed), vzorek vyrobený v laboratoři (vpravo)

V rámci výzkumného projektu byla ověřována využitelnost zkoušky „Stanovení součinitele tření po ohlazení“ na různých typech povrchových úprav cementobetonových krytů. Ukázalo se, že vozovky s cementobetonovým krytem texturovaným v jednom směru (příčná striáž, tažená juta atd.) nelze srovnávat s cementobetonovými kryty, které mají povrch s obnaženým kamenivem. Na cementobetonových krytech s povrchem texturovaným podélně nebo příčně pneumatika dynamického měřicího zařízení vždy přejíždí kolmo nebo podélně vůči vytvořené textuře, zatím co laboratorní měřicí hlava rotuje, a proto je její pohyb vzhledem k textuře odlišný (obrázek 4). Takto texturovaná zkušební tělesa lze využít ke vzájemnému srovnání např. více různých materiálů, nelze na ně ale uplatnit vztahy, které jsou uvedené v této metodice.



Obrázek 4 – Vývrt z betonové vozovky s povrchem upraveným jutou a vyznačenou stopou kluzných patek

### 3.2. Ohlazování

U nových cementobetonových krytů jsou obvykle naměřeny vysoké hodnoty součinitele tření. Proto se doporučuje zahájit zkoušku procesem ohlazování, protože při měření počátečního součinitele tření by mohlo dojít k poškození měřicích patek.

Ohlazovací hlava se třemi komolými pryžovými kuželíky se roztočí na požadované otáčky a přitiskne se k povrchu vzorku definovaným přitlakem. Současně se na vzorek přivádí směs vody a křemenné moučky ve stanoveném množství. Podle ČSN EN 12697-49 je jeden cyklus ohlazování obvykle roven 90 000 pojezdů kuželíky. Pro jiné účely připouští také 4 500, 7 500, 15 000, 22 500, 30 000, 45 000, 135 000, 180 000, 225 000 a 270 000 pojezdů. Kdy použít jiný počet pojezdů norma nespécifikuje.

### 3.3. Měření součinitele tření

Měřicí hlava s gumovými patkami se roztočí na rychlost 100 km/h a poté se spustí na povrch vzorku s definovaným přitlakem. Po spuštění již není měřicí hlava dále roztáčena a zpomaluje se pouze působením tření mezi gumovými patkami a povrchem měřeného vzorku. Po celou dobu zpomalování měřicí hlavy se měří krouticí moment  $M$ . Před měřením a po měření na zkoušeném vzorku se musí zjistit součinitel tření na kontrolní skleněné desce.

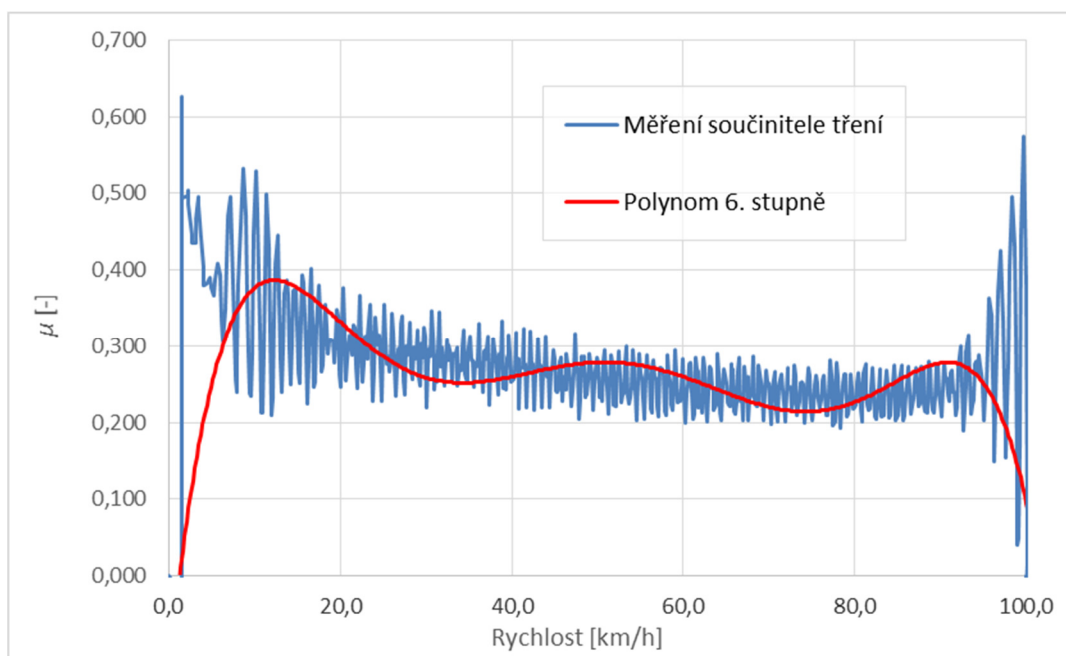
### 3.4. Výpočet součinitele tření

Výsledkem měření je průběh krouticího momentu  $M$  v závislosti na rychlosti přitisknuté a zpomalující se měřicí hlavy. Pro výpočet součinitele tření slouží následující vztah:

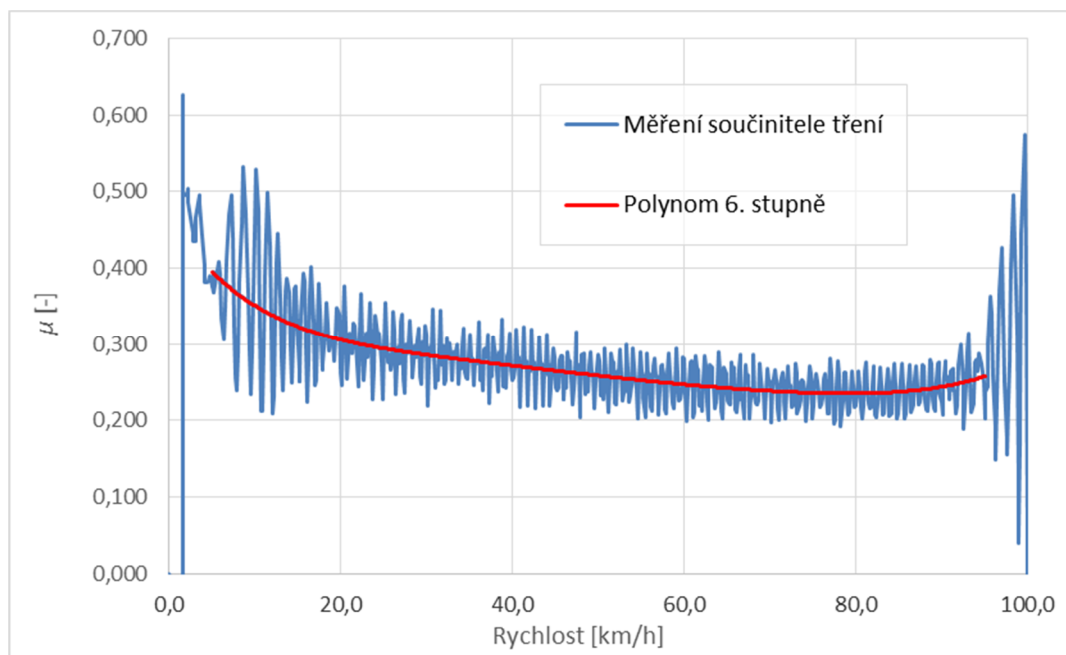
$$\mu = \frac{M}{253 \cdot 0,09}$$

EN 12697-49 uvádí ve vzorci nesprávnou hodnotu poloměru kružnice, kterou opisují měřicí patky (0,9 m), v ČSN EN 12697-49 je uvedena správná hodnota 0,09 m.

Graf závislosti součinitele tření  $\mu$  na rychlosti je nutné proložit polynomem 6. stupně. Výsledný součinitel tření  $\mu_m$  je střední hodnota součinitele tření z polynomů proložených grafy při rychlosti 60 km/h.



Obrázek 5 – Graf průběhu součinitele tření v závislosti na rychlosti s proložením polynomem 6. stupně pro oblast dat 100 – 0 km/h



Obrázek 6 – Graf průběhu součinitele tření v závislosti na rychlosti s proložením polynomem 6. stupně pro oblast dat 95 – 5 km/h

Z grafů na obrázcích 5 a 6 je patrné, že na počátku a na konci zpomalování měřicí hlavy mají hodnoty součinitele tření velký rozptyl. Norma neuvádí, zda se mohou i tyto hodnoty použít při proložení polynomem či nikoliv. Jejich zahrnutí do vyhodnocení ale může negativně ovlivnit výsledný polynom, což je patrné i z grafu na obrázku 5. Podle zkušeností je vhodné uvažovat pouze oblast dat, kde je součinitel tření stabilní a rovnoměrně klesající (rychlost přibližně 95 – 5 km/h).

Hodnota  $\mu_m$  se ještě koriguje za pomoci výsledků zjištěných na kontrolní skleněné desce:

$$\mu_{FAP} = \mu_m - \mu_{km} + \mu_{ref}$$

kde:  $\mu_{FAP}$  je korigovaný součinitel tření pro jednotlivé měření,  
 $\mu_m$  součinitel tření při rychlosti 60 km/h,  
 $\mu_{km}$  průměr z hodnot součinitele tření naměřených na kontrolní skleněné desce před a po měření na vzorku,  
 $\mu_{ref}$  známá hodnota součinitele tření na kontrolní skleněné desce.

### 3.5. Vztah mezi laboratorním měřením součinitele tření a měřením součinitele tření dynamickým měřicím zařízením na vozovce

Protismykové vlastnosti povrchu vozovky jsou charakterizovány součinitelem podélného tření  $F_p$ , který je zjišťován dynamickými měřicími zařízeními přímo na vozovce za provozu. Vlastnosti těchto

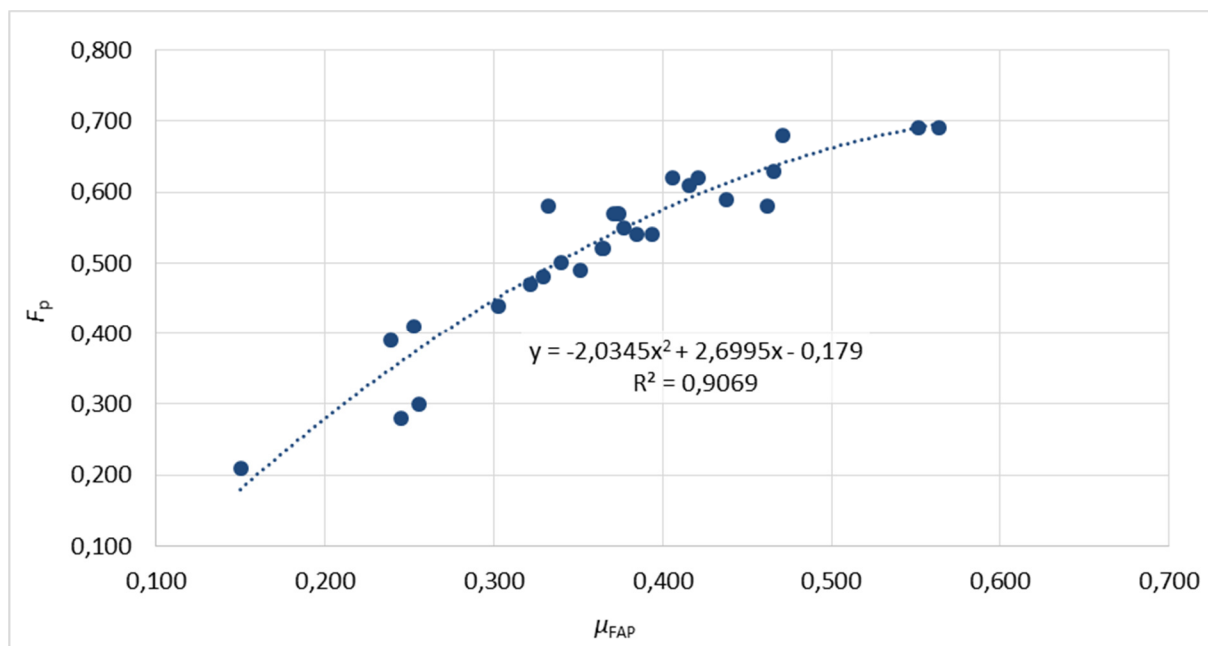


dynamických měřicích zařízení jsou samozřejmě odlišné, a proto měří i rozdílné hodnoty součinitele tření. Proto je nutné pro stanovení vztahu mezi hodnotami součinitele tření po ohlazení  $\mu_{FAP}$  získanými laboratorním měřením na vzorku a hodnotami součinitele podélného tření  $F_p$  získanými dynamickým měřením na povrchu vozovky, ze které byl laboratorní vzorek odebrán, a zvláště pokud chceme také používat hodnocení podle přílohy A ČSN 73 6177, použít národní referenční měřicí zařízení, z jehož hodnot je hodnocení stanoveno. Jiné měřicí zařízení může být použito jen v případě, že má stanoven převodní vztah na hodnoty národního referenčního zařízení.

Dynamická měřicí zařízení jsou také odlišná od laboratorního zařízení pro zjištění součinitele tření po ohlazení, např. různý přítlak na měřicí kolo/hlavu, jiný materiál měřicí pneumatiky/kluzných patek atd. Proto není možné přímo porovnávat hodnoty získané v laboratoři a na vozovce. Za tímto účelem byl stanoven přepočítací vztah mezi součinitelem tření po ohlazení  $\mu_{FAP}$  a součinitelem podélného tření  $F_p$  zjištěným národním referenčním zařízením, aby bylo možné laboratorní predikci součinitele tření, a tím i životnosti protismykových vlastností, použít k ověření cementobetonových krytů před jejich použitím při výstavbě nebo opravách pozemních komunikací.

Pro stanovení vztahu mezi měřeními na vozovce v laboratoři bylo odebráno celkem 26 vývrtů z vozovek s různým povrchem (SMA, CB kryt s obnaženým kamenivem, různá kameniva v obrusné vrstvě). Tyto typy povrchů je možné vzájemně srovnávat, protože mají podobné vlastnosti – textura povrchu je ve všech směrech stejná a protismykové vlastnosti jsou nejvíce ovlivněny obnaženým hrubým kamenivem. Body v grafu byly proloženy polynomem 2. stupně (obrázek 7). Výsledkem srovnání je následující rovnice:

$$F_p = -2,0345 * \mu_{FAP}^2 + 2,6995 * \mu_{FAP} - 0,1790$$

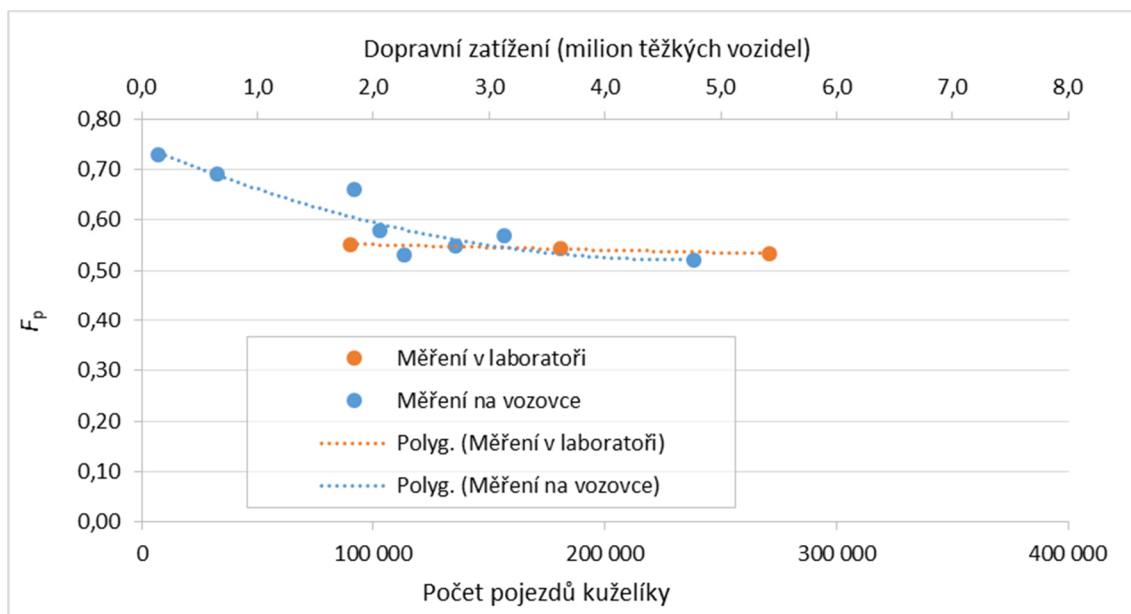


Obrázek 7 – Korelace mezi  $\mu_{FAP}$  a  $F_p$

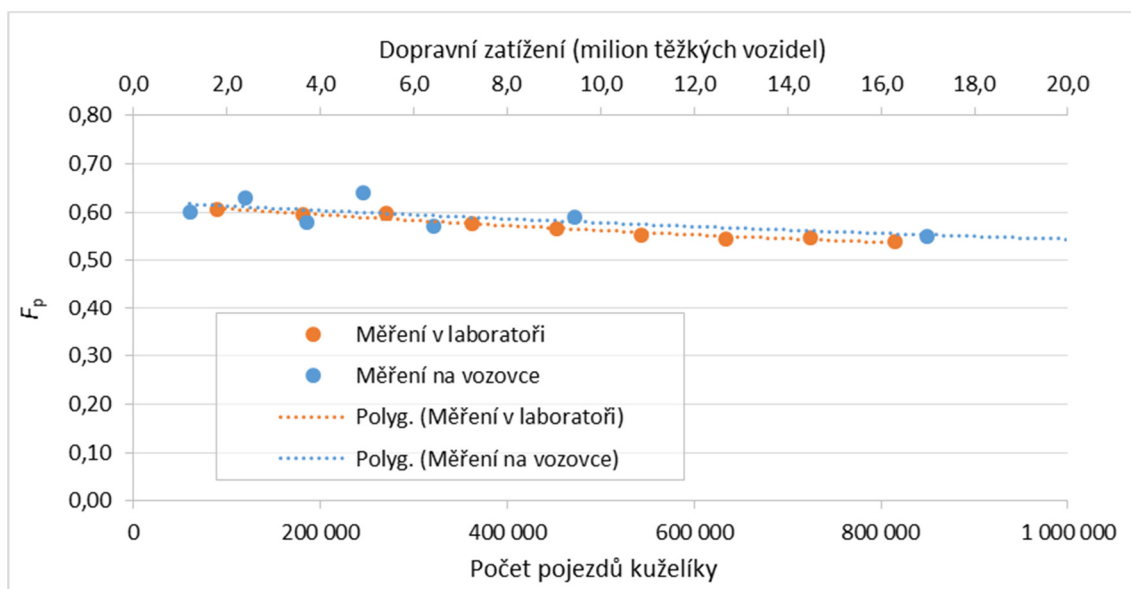
Uvedený vztah platí pouze pro vzorky s povrchem s obnaženým kamenivem. Pro jiné povrchové úpravy je třeba vztah stanovit individuálně.

### 3.6. Vztah ohlazování laboratorního vzorku a dopravního zatížení

Z vozovek s různým povrchem bylo odebráno celkem 28 vývrtů a ty byly ohlazeny v laboratoři. Výsledné laboratorní predikce součinitele tření byly srovnány s reálným vývojem součinitele podélného tření měřeného pravidelně přímo na vozovce. Hodnoty  $\mu_{FAP}$  byly přepočteny na  $F_p$  pomocí vztahu z grafu na obrázku 7. Vzájemné srovnání vývoje obou součinitelů tření je uvedeno v následujících grafech. Hodnoty jsou vztaženy jak k počtu pojezdů kuželíky, tak k dopravnímu zatížení na úseku pozemní komunikace.



Obrázek 8 – Srovnání laboratorní predikce součinitele tření s daty získanými přímo na vozovce (CB kryt s obnaženým kamenivem, kamenivo rula)



Obrázek 9 – Srovnání laboratorní predikce součinitele tření s daty získanými přímo na vozovce (SMA 11, kamenivo droba)

Z vzájemného srovnání vývoje součinitele tření v laboratoři a na vozovce byl také odvozen vztah mezi počtem pojezdů kuželíky a dopravním zatížením:

$$N = k \cdot TV$$

kde N je počet pojezdů kuželíky, TV je počet těžkých vozidel, k je určený koeficient.

Koeficient  $k$  vychází ze srovnání laboratorních hodnot součinitele tření po ohlazení s daty měřenými na vozovce po projetí určitého počtu vozidel. Jeho hodnota je určena  $k = 0,05$ , tedy 1 milion pojezdů kuželky je roven přejezdu 20 milionům těžkých vozidel.

### 3.7. Orientační přepoččet stávajících požadavků na protismykové vlastnosti povrchu vozovky podle přílohy A ČSN 73 6177

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty součinitele podélného tření pro klasifikační stupně 1 – 5 podle tabulky A.4 přílohy A ČSN 73 6177 – Hodnocení protismykových vlastností a orientační přepočtené hodnoty součinitele tření  $\mu_{FAP}$  zjištěných v laboratoři.

*Tabulka 1 – Hodnocení protismykových vlastností pro součinitel podélného tření  $F_p$  a orientační hodnocení pro laboratorní stanovení součinitele tření  $\mu_{FAP}$*

Měřicí rychlost 60 km/h	Klasifikační stupeň				
	1	2	3	4	5
$F_p$	$F_p \geq 0,60$	0,59 až 0,52	0,51 až 0,44	0,43 až 0,36	$F_p \leq 0,35$
$\mu_{FAP}$	$\mu_{FAP} \geq 0,424$	0,423 až 0,354	0,353 až 0,295	0,294 až 0,248	$\mu_{FAP} \leq 0,247$

Hodnocen je součinitel tření pouze při měřicí rychlosti 60 km/h, protože využitelnost výsledků stanovených při jiných měřicích rychlostech doposud nebyla u zkušební metody podle ČSN EN 12697-49 ověřena.

Predikce součinitele tření  $\mu_{FAP}$  zjištěného v laboratoři je pouze orientační a nemůže být závazným parametrem. Během zkoušky je simulováno pouze dopravní zatížení, není ale zohledněno stárnutí povrchu vozovky a vliv klimatických podmínek. Zkouška má sloužit především pro zhotovitele jako pomoc při výběru optimálního kameniva do betonu pro konkrétní dopravní zatížení a požadovanou dobu životnosti protismykových vlastností povrchu vozovky.

## 4. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

Norma ČSN EN 12697-49 sice popisuje laboratorní proces ohlazení a měření součinitele tření, neurčuje ale jak správně interpretovat výsledky zkoušky. V České republice nebyla tato zkušební metoda doposud používána a neexistují tedy žádné technické předpisy nebo technické podmínky doplňující a upřesňující ČSN EN 12697-49. V zahraničí jsou vztahy mezi laboratorní predikcí součinitele tření a skutečně naměřenými hodnotami také většinou teprve ve fázi výzkumu. Navíc není možné převzít zahraniční výsledky, protože každé laboratorní zařízení i dynamické měřicí systémy

pracují v jiném rozsahu hodnot a výsledky nejsou přímo srovnatelné s výsledky zařízení používaných v jiných státech.

## 5. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika pro stanovení součinitele tření po ohlazení umožní účelnější využívání této zkušební metody pro laboratorní predikci součinitele tření a tím i hodnocení protismykových vlastností povrchu cementobetonových krytů. Bude možné v krátkém čase ověřit životnost protismykových vlastností cementobetonových krytů s různými druhy obnaženého kameniva nejen před jejich použitím při výstavbě pozemních komunikací, ale také stanovit pravděpodobné hodnocení protismykových vlastností na konci záruční doby a v další době provozu, tím se vyhnout reklamacím a případným opravám – obnově protismykových vlastností cementobetonového krytu na konci záruční doby a v další době provozu pozemní komunikace. Predikce celkové doby životnosti protismykových vlastností cementobetonových krytů umožní jak správnou volbu kameniva podle dopravního zatížení, tak ověření vhodnosti použití nových materiálů.

## 6. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Na úsecích pozemních komunikací s protismykovými vlastnostmi povrchu vozovky, které nesplňují požadované hodnocení pro provozní způsobilost, byla prokázána násobně zvýšená dopravní nehodovost. Na těchto úsecích by měly být obnoveny protismykové vlastnosti údržbovými technologiemi – jemné frézování, broušení diamantovými kotouči, tryskání ocelovými kuličkami atd. Při použití nevhodného kameniva do betonu pro cementobetonový kryt vozovky, hlavně hrubého kameniva s nízkou odolností proti ohlazení, může tento stav nastat v krátkém čase po uvedení nové vozovky do provozu. Tím se ale vozovka ve svém životním cyklu velmi prodraží. Pokud ale ještě před výstavbou nebo opravou budou vlastnosti různých druhů kameniva a případně i jejich směsí předem ověřeny zkouškou stanovení součinitele tření po ohlazení, tak bude možné zvolit optimální kamenivo pro cementobetonový kryt daného úseku na základě znalosti dopravního zatížení a požadavku na kvalitu protismykových vlastností. Výsledkem bude nejen ekonomická úspora v životním cyklu vozovky, ale hlavně podstatné zvýšení bezpečnosti dopravy a snížení nehodovosti.

## DEDIKACE NA PROJEKT

Metodika byla zpracována v rámci řešení projektu TAČR TA02030479 Zavedení zrychlené laboratorní metody podle prEN 12697-49 k měření protismykových vlastností povrchů vozovek a jejich vývoje v závislosti na dopravním zatížení pro snížení nehodovosti a prodloužení životnosti obrusných vrstev.

## AUTOŘI

### **Ing. Pavla Nekulová**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, email: [nekulova.p@fce.vutbr.cz](mailto:nekulova.p@fce.vutbr.cz)

### **Ing. Jaroslava Dašková, Ph.D.**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, email: [daskova.j@fce.vutbr.cz](mailto:daskova.j@fce.vutbr.cz)

### **Leoš Nekula**

Měření PVV, email: [l.nekula@seznam.cz](mailto:l.nekula@seznam.cz)

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ČSN EN 12697-49 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 49: Stanovení součinitele tření po ohlazení. Srpen 2014.

ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek. Prosinec 2015.

Výsledky celostátního sčítání dopravy

ČSN 73 6123-1 Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody. Červen 2014.

ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu. Listopad 2008.

ČSN EN 13877-1 Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály. Říjen 2013.

## PŘEDCHÁZEJÍCÍ PUBLIKACE

DAŠKOVÁ, J.; KUDRNA, J., The experience with Wehner/Schulze procedure in the Czech Republic, příspěvek na konferenci V International Congress Sustainability of Road Infrastructures Roma 2012, ISSN 1877-0428, ISBN 978-88-902409-0-4, Sapienza - Universita di Roma, Rome, 2012

NEKULA, L. Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací: Část 6, Díl 3: Protismykové vlastnosti cementobetonových krytů vozovek – vymývaný beton. Silnice mosty. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2012, č. 3, s. 24 – 28. ISSN: 1804 - 8684.

NEKULOVÁ, P.; DAŠKOVÁ, J., Laboratorní zkouška pro zrychlené zjišťování životnosti protismykových vlastností stávajících i nových povrchů vozovek, příspěvek na konferenci Výskum a technický rozvoj v cestnom staviteľ'stve, ISBN 978-80-89565-16-0, Kongres STUDIO, spol. s r. o., Bratislava, 2014

DAŠKOVÁ, J.; NEKULOVÁ, P.; NEKULA, L., Proč využívat laboratorní zkoušku Wehner/Schulze při návrhu obrusných vrstev, příspěvek na konferenci Konference Asfaltové vozovky 2015, ISBN 978-80-903925-7-1, PRAGOPROJEKT, a.s., Praha, 2015

DAŠKOVÁ, J.; NEKULOVÁ, P.; KUDRNA, J., The Skid Resistance Evaluation in Accordance with the Wehner/Schulze Method, příspěvek na konferenci Resources, Environment and Engineering II, ISBN 978-1-138-02894-4, CRC Press/Balkema, The Netherlands, 2016

DAŠKOVÁ, J.; NEKULOVÁ, P.; NEKULA, L., Implementation of EN 12697-49 standard into practice, příspěvek na konferenci Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 1st - 3rd June 2016, ISBN 978-80-01-05962-3, Faculty of Civil Engineering and Guarant International s.r.o., Praha, 2016