



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

ZÁVISLOST PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ POVRCHŮ VOZOVEK NA OHLADITELNOSTI KAMENIVA A DOPRAVNÍM ZATÍŽENÍ

DEPENDANCE OF PAVEMENT SURFACE SKID RESISTANCE
ON AGGREGATE POLISHING AND TRAFFIC LOADING

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JAROSLAVA DAŠKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2013

Bibliografická citace VŠKP

DAŠKOVÁ, Jaroslava. *Závislost protismykových vlastností povrchů vozovek na ohladitelnosti kameniva a dopravním zatížení*: Brno, 2013. 170 s., 7 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

Abstrakt

Bezpečnost silničního provozu je komplexní problém. Ovlivňuje ji především řidič, vozidlo a povrch vozovky. Tato disertační práce se zaměřila na povrchové vlastnosti vozovek a to zejména protismykové vlastnosti povrchu vozovek, které přímo ovlivňují brzdnou dráhu vozidel a vedení vozidla ve směrových obloucích a tím i dopravní nehodovost. Práce se zabývá trvanlivostí protismykových vlastností povrchu vozovek, druhem použitých vrstev a ohladitelností kameniva použitého v obrusné vrstvě. Cílem této práce bylo vyvinout metodiku pro zlepšení trvanlivosti protismykových vlastností povrchů vozovek a zavedení funkční zkoušky pro jejich posuzování.

Abstract

Road safety is a complex problem. It is influenced mainly by the driver, the vehicle and the road surface. This thesis is focused on the road surface properties and especially skid resistance that directly affect the braking distance and keeping the vehicle in the horizontal curves and thus traffic accidents. The thesis deals with the durability of pavement surface skid resistance, the type of pavement layers and aggregate polishing used in wearing course. The aim of this thesis was to develop the methodology for improvement of road surfaces skid resistance durability and implementation of functional test for their assessment.

Klíčová slova

Makrotextura, mikrotextura, protismykové vlastnosti povrchu vozovky, součinitel tření, dopravní zatížení, dopravní nehodovost, ohladitelnost kameniva, metoda dle Wehnera/Schulzeho, obrusná vrstva

Key words

Macrotexture, microtexture, pavement surface skid resistance, friction coefficient, traffic loading, road accidents, aggregate polishing, Wehner/Schulze method, wearing course

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autorky
Jaroslava Dašková

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc. za jeho odborné rady, které mně pomohly při vypracování této disertační práce. Dále také kolegům z Ústavu pozemních komunikací za pomoc a podporu a také v rámci spolupráce na výzkumných projektech firmám Consultest, s.r.o., PavEx Consulting, s.r.o., Měření PVV, Pragoprojekt a.s. a Skanska a.s.

Také bych ráda poděkovala celé rodině a přátelům, zejména manželovi Ondřejovi.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	HLAVNÍ CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	9
3	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	9
3.1	Pojmy.....	9
3.1.1	Obecné pojmy.....	9
3.1.2	Pojmy z oblasti bezpečnosti silničního provozu.....	10
3.1.3	Pojmy povrchových vlastností vozovek (PVV)	11
3.1.4	Pojmy druhů povrchů vozovek.....	13
3.2	Studie vztahu mezi počtem dopravních nehod a protismykovými vlastnostmi povrchů vozovek.....	14
3.3	Tření na povrchu vozovky	21
3.3.1	Tření vozovky.....	21
3.3.1.1	Podélné tření	21
3.3.1.2	Boční tření	24
3.3.1.3	Mechanismus tření	25
3.3.1.4	Faktory ovlivňující tření vozovky.....	27
3.3.1.4.1	Vlastnosti povrchu vozovky	27
3.3.1.4.2	Parametry jedoucího vozidla	27
3.3.1.4.3	Vlastnosti pneumatiky	27
3.3.1.4.4	Faktory prostředí	28
3.3.1.5	Fyzikální jevy	30
3.3.1.6	Povrchová textura vozovky.....	30
3.3.1.7	Faktory ovlivňující makrotexturu	33
3.4	Metody měření tření a textury povrchu	34
3.4.1	Historie měření protismykových vlastností povrchů vozovek	34
3.4.1.1	Ve světě	34
3.4.1.2	V České republice.....	36
3.4.2	Tření	39
3.4.3	Zhodnocení zkušebních zařízení na měření tření povrchu vozovky	41
3.4.4	Makrotextura	42
3.4.4.1	Bodová měření makrotextury	42
3.4.4.2	Kontinuální měření makrotextury.....	45
3.5	Indexy tření.....	45
3.5.1	Friction number	46
3.5.2	International Friction Index IFI	46
3.5.3	European Friction Index EFI.....	48
3.5.4	Skid Resistance Index SRI	48
3.5.5	Vztahy indexů.....	49
3.5.5.1	Mikrotextura	49
3.5.5.2	Makrotextura.....	49
3.5.5.3	Tření (mikrotextura a makrotextura).....	50
3.6	Vývoj kritérií pro protismykové vlastnosti povrchů vozovek	51
3.7	Trvanlivost protismykových vlastností povrchů vozovek.....	55
3.8	Zkušební metody použité v disertační práci	56
3.8.1	Stanovení hodnoty ohladitelnosti PSV (Polished Stone Value) dle ČSN EN 1097-8 [22].....	56

3.8.2	Metoda dle Wehnera/Schulzeho dle prEN 12697-49 [28]	58
3.8.2.1	Výroba zkušebních těles	61
3.8.2.2	Mozaikové uspořádání kameniva většího než 8 mm	61
3.8.2.3	Směs kameniva a mastixu	62
3.8.2.4	Postup výroby tělesa z písku	63
3.8.2.5	Zkušební tělesa odebraná z asfaltových vrstev (SMA nebo AC)	64
3.8.2.6	Zkušební tělesa odebraná z cementobetonových vozovek	64
3.8.2.7	Korelace zkoušky zrychlené ohladitelnosti a W/S	64
3.8.2.8	Výpočet hodnoty PWS	65
3.8.3	Střední hloubka textury povrchu vozovky zjištěná odměrnou metodou dle ČSN EN 13036-1 [23]	65
3.8.4	Součinitel tření zjištěný kyvadlem dle ČSN EN 13036-4 [8]	66
3.8.5	Součinitel podélného tření povrchu vozovky zjištěný dynamickým měřicím zařízením dle ČSN 73 6177 [5]	67
3.9	Hluk	68
3.10	Dopravní zatížení	70
3.10.1	Způsoby zjištění intenzit dopravy	70
3.10.2	Způsoby průzkumu intenzity dopravy	70
3.10.3	Druhy vozidel	71
3.10.4	Vyhodnocení průzkumu intenzit dopravy	71
3.10.4.1	Skupiny vozidel	72
3.10.4.2	Charakter provozu na komunikaci	72
3.10.5	Stanovení ročního průměru denních intenzit	73
3.10.6	Základní charakteristiky dopravního zatížení	73
3.10.7	Vliv intenzity dopravy na protismykové vlastnosti povrchů vozovky	74
3.11	Přehled obrusných vrstev vozovek	76
3.11.1	Typy asfaltových obrusných vrstev	76
3.11.2	Cementobetonové kryty	77
3.11.2.1	Technologická opatření pro vytvoření protismykových vlastností povrchů vozovek	78
3.11.2.2	Zhotovení textury povrchu	78
3.11.2.2.1	Podélné texturování jutou	79
3.11.2.2.2	Podélné texturování umělým trávnikem	79
3.11.2.2.3	Příčné texturování ocelovým koštětem	79
3.11.2.2.4	Texturování odstraněním povrchové malty	80
3.11.2.3	Ošetřování	80
3.11.3	Údržba povrchu vozovek	81
3.11.4	Údržba povrchu CB krytu	82
3.11.4.1	Texturování do tvrdého betonu	82
3.11.4.1.1	Broušení betonového povrchu	82
3.11.4.1.2	Frézování betonového povrchu	82
3.11.4.1.3	Otryskání	83
3.11.4.1.4	Drážkování	84
3.11.4.2	Výměna CB desek	84
3.11.4.3	Překrytí povrchu CBK nátěrem, mikrokobercem nebo tenkým asfaltovým kobercem	85
4	METODIKA ŘEŠENÍ	86
5	VÝSLEDKY	87
5.1	Vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na dopravní nehodovost	87
5.1.1	Stanovení požadovaných charakteristik protismykových vlastností povrchů vozovek	91
5.1.2	Výpočet brzdné dráhy	92
5.2	Závislost protismykových vlastností povrchů vozovky na dopravním zatížení	95
5.2.1	Dopravní zatížení	95

5.2.2	Závislost součinitele podélného tření na dopravním zatížení a ohladitelnosti kameniva	
PSV		96
5.2.2.1	Úseky asfaltových obrusných vrstev nenamáhaných vodorovnými silami.....	96
5.2.2.2	Úseky asfaltových obrusných vrstev namáhaných vodorovnými silami	108
5.2.2.3	Úseky cementobetonových krytů.....	118
5.2.3	Nastavení zařízení pro stanovení ohladitelnosti kameniva (PSV).....	121
5.2.4	Závislost součinitele podélného tření na dopravním zatížení a ohladitelnosti μ_{PWS}	123
5.2.4.1	Měření asfaltových obrusných vrstev zařízením W/S.....	123
5.2.4.2	Měření cementobetonových krytů vozovek zařízením W/S	127
5.2.4.3	Ohladitelnosti kameniva získaná zařízením W/S.....	133
5.2.4.4	Rozsah měření metodou dle W/S.....	139
5.3	Technologická opatření pro zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek.....	141
5.3.1	Vymývání beton	141
5.3.2	Negativní textura vytvořená hrablem	143
5.3.3	Otryskání vodním paprskem.....	145
5.3.4	Pokusné úseky s více druhy povrchových úprav CB vozovek	146
5.3.4.1	Odpočívka Křenovice	146
5.3.4.2	Tunely na SOKP	147
5.3.4.3	Letiště Václava Havla a R48.....	149
5.3.4.4	Tunely Dobrovského v Brně	150
6	ZÁVĚR.....	152
	SEZNAM LITERATURY	154
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKTRATEK A SYMBOLŮ.....	159
	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN S JEDNOTKAMI.....	162
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	164
	SEZNAM TABULEK	168
	SEZNAM GRAFŮ.....	169
	SEZNAM PŘÍLOH	170

1 ÚVOD

Téma disertační práce s názvem „Závislost protismykových vlastností povrchů vozovek na ohladitelnosti kameniva a dopravním zatížení“ vzniklo během řešení výzkumného projektu Ministerstva dopravy ČR 1F45B/064/120 „Protismykové charakteristiky povrchů pozemních komunikací měřené podle evropských norem pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu“ řešeného v letech 2004 až 2007. Význam protismykových vlastností povrchů vozovek na nehodovost, který řešitelský kolektiv zjistil, je naprosto alarmující. Podobná zjištění byla získána i ve vyspělých státech Evropy a zavedením měření a následných opatření mají tyto státy čtvrtinovou relativní úmrtnost při dopravních nehodách a dále ji snižují (v ČR klesá pomaleji).

Rozhodující podmínkou při řešení disertační práce bylo využití:

- dat o nehodách dodaných Policií ČR,
- dat z měření protismykových vlastností povrchů vozovek firmou Měření PVV – Nekula, Plachý,
- zkušebních zařízení laboratoře Ústavu pozemních komunikací Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně,
- zkušebních zařízení laboratoře firmy Consultest, s.r.o.,
- zkušebních zařízení laboratoře Ústavu pro dopravní vědy Fakulty stavební Technické univerzity ve Vídni.

2 HLAVNÍ CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavní cíle této disertační práce jsou:

- Provedení rešerše odborné literatury týkající se problematiky protismykových vlastností povrchů vozovek a jejich zjišťování různými zkušebními metodami.
- Prokázání vlivu protismykových vlastností povrchů vozovek a velikosti dopravního zatížení na nehodovost.
- Vyhodnocení měření na vozovce i v laboratoři pro zpracování podkladů na stanovení požadovaných hodnot protismykových vlastností povrchů vozovek, hodnot ohladitelnosti kameniva a pro uplatnění laboratorního posuzování trvanlivosti protismykových vlastností povrchů vozovek.
- Získání zkušeností se zkouškou dle Wehnera/Schulzeho, která je v ČR nová a zatím nezavedená, a zúčastnit se normotvorného procesu v Evropské unii.
- Cílem této práce je přispět ke zlepšení dlouhodobých protismykových vlastností povrchů vozovek lepší kontrolou, specifikováním odolných úprav anebo pravidelných cyklů údržby a oprav povrchu vozovky a návrh metodik umožňujících simulovat vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek v laboratoři a urychlit uplatnění nových technologií obrusných vrstev nebo jejich úprav.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Bezpečnost silničního provozu je komplexním problémem, kterou ovlivňuje především řidič motorového vozidla, stav vozidla a vozovka. Jednou z důležitých vlastností vozovky jsou povrchové a zvláště protismykové charakteristiky. V této části disertační práce bude popsán současný stav této problematiky.

3.1 Pojmy

Pokud se zaměříme na vozovku jako zpevněnou část pozemní komunikace, poté se vychází ze základních pojmů spolehlivosti konstrukcí, která je přizpůsobena pro danou funkci silničního provozu. Základní pojmy jsou uvedeny v následujícím textu.

3.1.1 Obecné pojmy

Spolehlivost vozovky je schopnost vozovky umožnit bezpečný, plynulý, rychlý, hospodárný a komfortní provoz silničních vozidel v požadovaném časovém úseku; Základní charakteristikou spolehlivosti vozovky je její provozní způsobilost a únosnost, trvanlivost obrusné vrstvy, udržitelnost a opravitelnost. Bezpečnost konstrukce je zde chápána jako bezpečnost silničního provozu, která je zajištěna protismykovými vlastnostmi povrchů vozovek.

Provozní způsobilost je vlastnost povrchu vozovky a je hodnocena klasifikací aktuálních parametrů protismykových vlastností povrchů vozovek, podélné a příčné nerovnosti, případně dopravního hluku při odvalování pneumatik. [41]

Neproměnné parametry jsou parametry, které se bez stavebního zásahu nemění. Jedná se především o pasportizační popis (zejména šířkové uspořádání PK a prvky příčného profilu), směrové a výškové vedení trasy, příčný sklon vozovky, skladba konstrukce vozovky, druh podloží, objekty a uspořádání křižovatek. [41]

Proměnné parametry jsou parametry vozovky, které se mění působením dopravního zatížení, klimatickými vlivy a stárnutím materiálů a charakterizují se stanovenými nebo statisticky vyhodnocenými hodnotami protismykových vlastností povrchů vozovky, podélné a příčné nerovnosti, vyhodnocením poruch vozovky, dobou životnosti obrusné (krytové) vrstvy a únosností vozovky [4].

Trvanlivost obrusné vrstvy je její schopnost odolávat vlivům dopravy a klimatickým vlivům; při navrhování údržby nebo oprav se používají pojmy předpokládané a zbytkové doby životnosti vrstvy, jako doby do provedení její údržby nebo opravy při daném dopravním zatížení. Vlivem mechanických, chemických a jiných procesů dochází k poškození konstrukčních vrstev vozovek, tj. ke snižování trvanlivosti obrusné vrstvy ztrátou protismykových vlastností povrchů vozovek s projevy nerovností, trhlin a až ztráty únosnosti konstrukce vozovky. Kumulace poškození vede ke vzniku poruch vozovky a dochází tak k poruchám: povrchu, obrusné vrstvy, krytu vozovek, všech asfaltových vrstev nebo cementobetonového krytu a konstrukce vozovky včetně porušení podloží. [41]

Doba životnosti vozovky je doba, po kterou je vozovka schopna zajistit požadovanou provozní způsobilost při dané intenzitě dopravy.

Dopravní zatížení vozovky je zatížení skladbou vozidel (parametry náprav vozidel, normová náprava) a jejich intenzitou, s přihlédnutím k jejich vývoji. Z hlediska účinků na vozovku mají nejvyšší vliv těžká nákladní vozidla. Jako běžné měřítko se bere průměrná denní intenzita provozu těžkých nákladních vozidel (TNV) v příčném profilu vozovky v jednom jízdním pruhu za 24 hodin.

Návrhové období vozovky je doba, během níž nemá být vozovka zesilována nebo rekonstruována. [41]

3.1.2 Pojmy z oblasti bezpečnosti silničního provozu

Dopravní nehoda je událost v silničním provozu (havárie, srážka a podobně), při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla (dle vyhlášky FMV č. 99/1989 Sb., O pravidlech provozu na pozemních komunikacích).

Evidence dopravních nehod je podle zákona o silničním provozu vedena Policií České republiky a obsahuje: údaje o účastnících dopravní nehody, údaje o vozidlech, která měla účast na dopravní nehodě, údaje o místě a době dopravní nehody, údaje o příčinách dopravní nehody. Kromě toho

existuje ještě Centrální evidence dopravních nehod vedená Ministerstvem vnitra, do které Policie České republiky předává aktualizované podklady.

Dopravní nehodovost se udává různými poměry (např. počet úmrtí, počet zraněných, počet nehod na 1 km, rok, atd.).

Riziko dopravní nehody je faktor udávající možnost výskytu dopravní nehody na určitém úseku za určitou dobu. Mohou být spojeny s počtem obyvatelstva, počtem registrovaných automobilů nebo s počtem ujetých vozokilometrů. Většinou se uvádí roční hodnoty.

Usmrčená osoba je ta, která zemře při dopravní nehodě na místě, nebo do 30 dnů od data nehody.

Osobní nehoda je ta, při níž došlo k usmrcení nebo zranění zúčastněných osob.

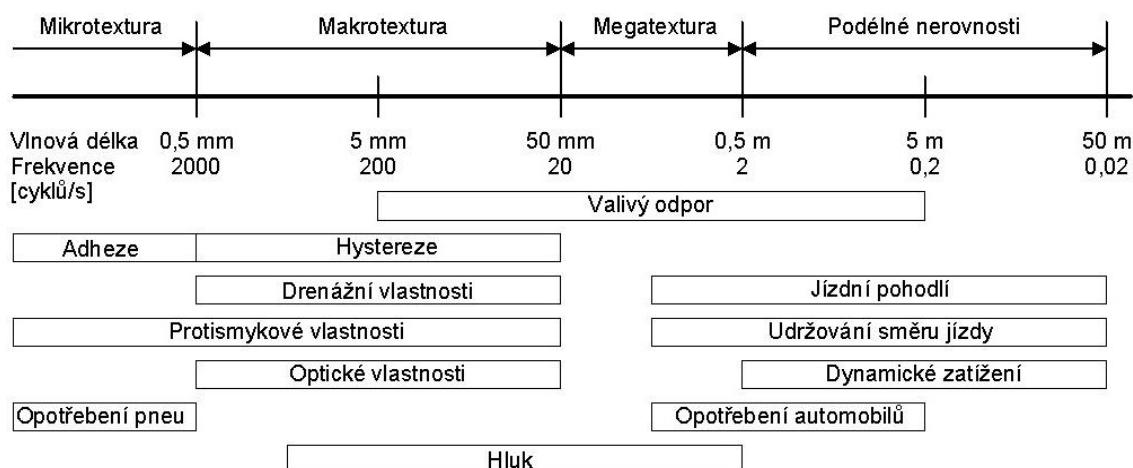
3.1.3 Pojmy povrchových vlastností vozovek (PVV)

Protismykové vlastnosti povrchů vozovek jsou schopnost povrchu vozovky zatížené dopravou zajišťovat prostřednictvím tření spolupůsobení mezi pohybující se pneumatikou a povrchem vozovky. Protismykové vlastnosti povrchů vozovek lze posuzovat na základě zjištění součinitele tření. [5]

Tření je jev, který vzniká při pohybu tělesa v těsném kontaktu s jiným tělesem. Většinou je třením míněno tření mezi pevnými tělesy, tření s kapalnými nebo plynými tělesy se označuje jako odpor prostředí. Při každém tření existuje třecí síla, která působí vždy proti pohybu (příp. proti změně klidového stavu u klidového tření). Práce potřebná k překonání třecí síly se mění třením převážně v teplo a také způsobuje mechanické opotřebení obou povrchů. Smykové tření (vlečné tření, kinematické tření) je tření, které vzniká mezi tělesy při jejich posuvném pohybu. [3]

U dynamických metod měření tření jde o pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou měřicího kola, které je přitěžováno předepsanou svislou silou a brzděno na předepsaný poměr skluzu nebo odkloněno od podélné osy; vyvozená třecí síla působí na kontaktní ploše podélně nebo bočně, přičemž tření je specifikováno jako součinitel tření.

Textura povrchu vozovky je morfologické uspořádání částic materiálu vytvářejícího povrch vozovky daný jeho mikrotexturou a makrotexturou (textura je definována odchylkou povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu a vlnovou délkou). Tyto dvě veličiny spolu korespondují, proto se zavedlo názvosloví založené na délce vlny, které je schematicky zachyceno na obrázku 1. [5]



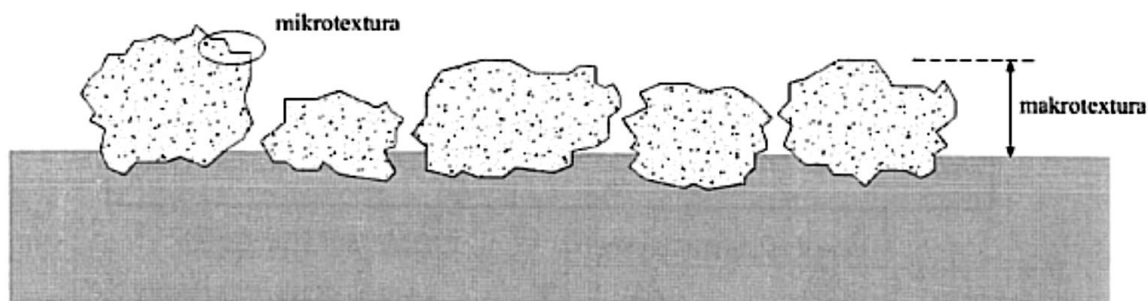
Obrázek 1 Názvosloví z hlediska vlnové délky, její frekvence a vliv na různé charakteristiky [58]

Mikrotextura – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry menšími než 0,5 mm odpovídající vlnovým délkám textury v třetinooktávových pásmech se střední vlnovou délkou do 0,5 mm; je dána velikostí a tvarem výstupků jednotlivých zrn kameniva (obrázek 2).

Makrotextura – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 mm až 50 mm odpovídající vlnové délce textury v třetinooktávových pásmech s průměrnou vlnovou délkou od 0,5 mm do 50 mm; makrotexturu je tvořena hrubými a jemnými frakcemi kameniva nebo povrchovou úpravou CB povrchů (obrázek 2).

Megatextura – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 50 mm až 500 mm odpovídající vlnové délce textury v třetinooktávových pásmech se středí vlnovou délkou v rozsahu 63 mm až 500 mm.

Nerovnost – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 m až 50 m odpovídající vlnové délce textury v třetinooktávových pásmech se středí vlnovou délkou v rozsahu 0,63 m až 50 m. [5]



Obrázek 2 Specifikace mikrotextury a makrotextury [5]

Rovnost povrchu vozovky je vlastnost povrchu vozovky daná geometrickým uspořádáním povrchu vozovky v souladu s projektovou dokumentací a ovlivňující pohodlí a bezpečnost jízdy.

Měřicí rychlost je rychlost, kterou měřicí zařízení jede po povrchu zkoušeného úseku vozovky.

Tolerance rychlosti je povolená odchylka od zvolené měřicí rychlosti.

Měřená stopa je část povrchu vozovky odpovídající zpravidla pravé nebo levé jízdní stopě, kde dochází ke koncentraci pojezdů většiny vozidel.

Rychlost skluzu je relativní rychlost mezi pneumatikou měřicího kola a pojížděným povrchem zkoušené vozovky na kontaktní ploše. Protože je měřicí kolo brzděno, je jeho obvodová rychlost menší, než je měřicí rychlost.

Poměr skluzu – je podíl rychlosti skluzu a měřicí rychlosti, který se vypočítá z údajů spínačů rychlosti umístěných na měřicím vozidle a na měřicím kole; vyjadřuje se v procentech a může se pohybovat od 0 % do 100 %; hodnota 0 % znamená nebrzděné měřicí kolo, hodnota 100 % znamená zcela zablokované měřicí kolo. [5]

$$\text{poměr skluzu} = \frac{\text{rychlost skluzu}}{\text{měřicí rychlost}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Národní referenční zařízení je dynamické zařízení na měření součinitele podélného tření povrchu vozovky, které splňuje požadavky uvedené v příloze B normy ČSN 73 6177.

Součinitel tření zjištěný kyvadlem (Pendulum Test Value PTV) vyjadřuje ztrátu kinetické energie při tření standardní pryžové třecí patky kyvadla po zkoušeném povrchu vozovky; hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem vyjadřuje kvalitu mikrotextury měřeného povrchu.

Vodorovné drenážní vlastnosti povrchu vozovky (čas vytékání vody pro délku úseku 25 mm) jsou schopnost povrchu vozovky odvádět vodu z kontaktní plochy mezi pneumatikou a vozovkou; zkouška se provádí stacionárním výškoměrem a používá se na všech hladkých neporézních površích (o střední hloubce profilu povrchu vozovky menším než 0,4 mm); provádí se buď na vozovce, nebo v laboratoři.

Součinitel podélného tření povrchu vozovky f_p zjištěný dynamickým měřicím zařízením vyjadřuje vztah mezi podélnou silou a svislou silou podle rovnice (2) při smykovém tření pneumatiky měřicího kola na zkoušeném povrchu vozovky v podélném směru.

$$f_p = \frac{\text{podélná (boční) síla v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla působící v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]}} \quad (2)$$

Součinitel bočního tření povrchu vozovky f_b zjištěný dynamickým měřicím zařízením vyjadřuje vztah mezi boční silou při daném odklonu osy měřicího kola od podélné osy měřicího zařízení v místě dotyku pneumatiky se zkoušeným povrchem vozovky a svislou silou podle rovnice (2). [5]

3.1.4 Pojmy druhů povrchů vozovek

Hutněná asfaltová směs je směs kameniva obalená asfaltem s případným použitím přísad. Podle současného třídění směsí se u nás nejčastěji používá 5 druhů směsí s odlišným složením kameniva,

množství a druhů pojiva a obsažené mezerovitosti ve směsi (viz kapitola 3.11.1); tyto vlastnosti jsou důležité pro protismykové vlastnosti obrusných vrstev asfaltových směsí.

Nátěr je povrchová úprava vytvořená z vrstvy pojiva nanesené na povrch vozovky pomocí rozstřikovače pojiva a z vrstvy kameniva nanesené na pojivo pomocí podrtovače. Vrstva kameniva se skládá ze zrn uložených co nejtěsněji vedle sebe a rozprostírá se co nejdříve na rozstříknuté pojivo. V případě, že se úprava použije při větších podélných nebo příčných sklonech vozovky, je možný i opačný postup, a to nanést vrstvu pojiva z ředěného asfaltu nebo z asfaltové emulze na rozprostřenou vrstvu kameniva. [4]

Kalová vrstva je povrchová úprava sestávající ze směsi minerálního kameniva, vody, asfaltové emulze a přísad, která je na místě smíchána a položena. Kalové vrstvy zhotovené z kameniva hrubších frakcí jsou často označovány jako mikrokoberce. V případě zhotovení s kamenivem jemnější frakce (např. maximální velikost zrna 4 mm), jsou označovány často jako kalové zákryty. [66]

Cementobetonový kryt je betonová vrstva schopná nést přímé dopravní zatížení a působení prostředí. Podle druhu spár se dělí na nevyztužený kryt se spárami, vyztužený kryt se spárami a spojitě vyztužený kryt. [4]

3.2 Studie vztahu mezi počtem dopravních nehod a protismykovými vlastnostmi povrchů vozovek

Bezpečnost silničního provozu je dána, jak už bylo uvedeno, interakcí řidiče, vozidla a povrchu vozovky. Samozřejmě nejvyšší vliv má řidič, obvykle je při nehodách v policejních protokolech uvedeno, že řidič nepřizpůsobil jízdu stavu a podmínkám povrchu vozovky. Moderní vozidla jsou vybavována řídicími systémy pro napravení chyb řidiče a pneumatiky jsou speciálně konstruovány pro očekávané stavy povrchu (zimní a letní pneumatiky apod.). Jaký je však vliv vlastní pozemní komunikace na bezpečnost silničního provozu se sledovalo jen v dílčích studiích.

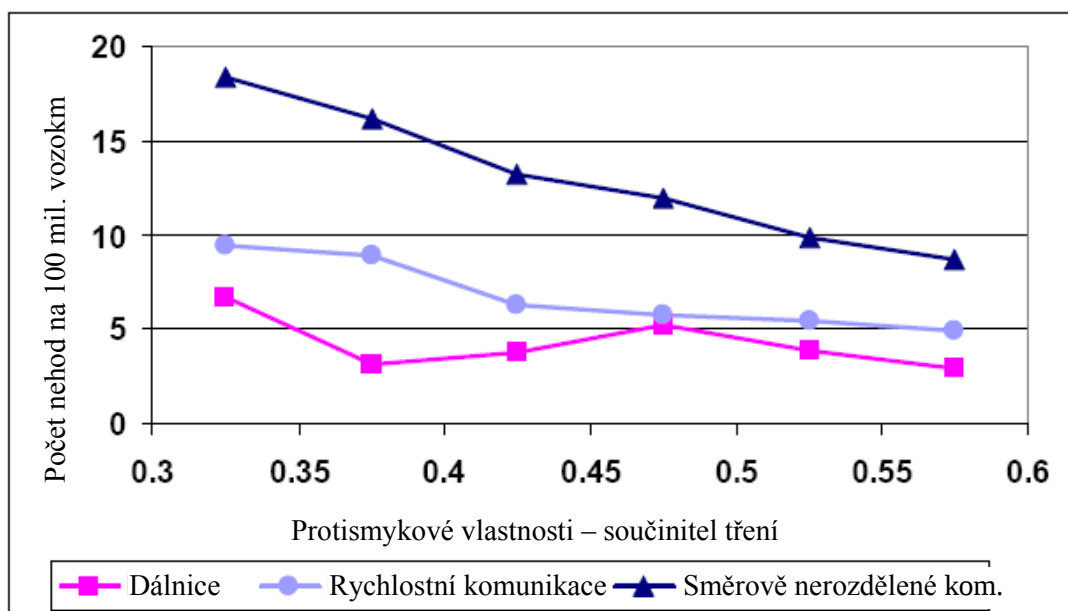
V roce 1999 byl ve Velké Británii zahájen výzkum [59], jehož cílem bylo nalezení vztahu mezi protismykovými vlastnostmi povrchů vozovek a nehodovostí. Výsledky tohoto výzkumu, jež byly do normových požadavků zavedeny v roce 2004, vyústily nejen ke stanovení nových protismykových požadavků, ale měly také vliv na změnu přístupu k této problematice.

Měření protismykových vlastností povrchů vozovek ve Velké Británii bylo zavedeno v rámci správy a údržby vozovek v roce 1988. V tříletém cyklu se provádělo měření zařízením SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine) se specifikací povrchových vlastností materiálů pomocí f_b . Metodika vyhodnocování byla vyvinuta následným zkoumáním vztahu mezi protismykovými vlastnostmi a nehodovostí na 1000 km dlouhém vzorku komunikací. [59]

Pro analýzu dopravních nehod byla sestavena databáze, která obsahovala informace o stavu a geometrii vozovky, dopravním zatížení a počtu dopravních nehod. V této databázi byla silniční síť

rozdělena na úseky, jejichž délka byla u dálnic 500 m a u ostatních silnic 200 m. Stanovení délek těchto úseků bylo kompromisem mezi délkou potřebnou pro dostatečně přesné určení místa dopravní nehody a délkou co nejvíce homogenní části. U specifických míst, jako jsou okružní křižovatky, příjezdy ke křižovatkám a podobně, byly délky sledovaných úseků navrženy kratší. Stav vozovky a geometrie vozovky byly dostupné z pravidelného rutinního měření anglické silniční sítě. Dále bylo extrahováno z databáze dopravních nehod 100 000 nehod se zraněním, přičemž byly brány v úvahu i ty dopravní nehody, které se staly za sucha, vzhledem k tomu, že bylo někdy těžké rozhodnout, zda byla vozovka v době, kdy se dopravní nehoda stala, mokrá či jen vlhká.

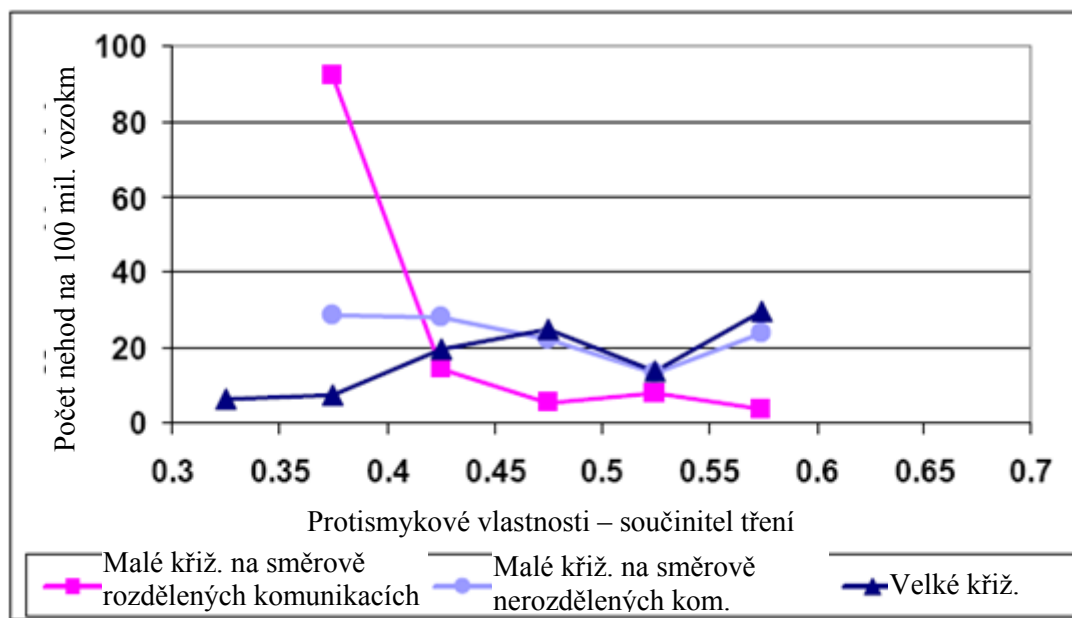
„Úseky bez zvýšeného nebezpečí nehod“ jsou úseky, které jsou bez křižovatek, směrových oblouků o menších poloměrech nebo významných podélných sklonů. Na obrázku 3 je patrný vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody u těchto úseků. Je sice vidět zvýšení rizika dopravní nehody při snížení hodnot protismykových vlastností povrchů vozovek, ale toto zvýšení není příliš výrazné zejména pro dálnice, kde závislost je kolísající a rychlostní komunikace, kde závislost vykazuje nárůst až o 80 % při havarijních protismykových vlastnostech povrchů vozovky. U směrově nerozdělených komunikací je vidět výraznější zvýšení rizika dopravní nehody, riziko se zvyšuje na více než dvojnásobek při havarijní klasifikaci protismykových vlastností povrchů vozovek, což je samozřejmě dáno větším množstvím kolizních situací, které mohou na směrově nerozdělených komunikacích vzniknout. [59]



Obrázek 3 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody na „úsecích bez zvýšeného nebezpečí nehod“ [59]

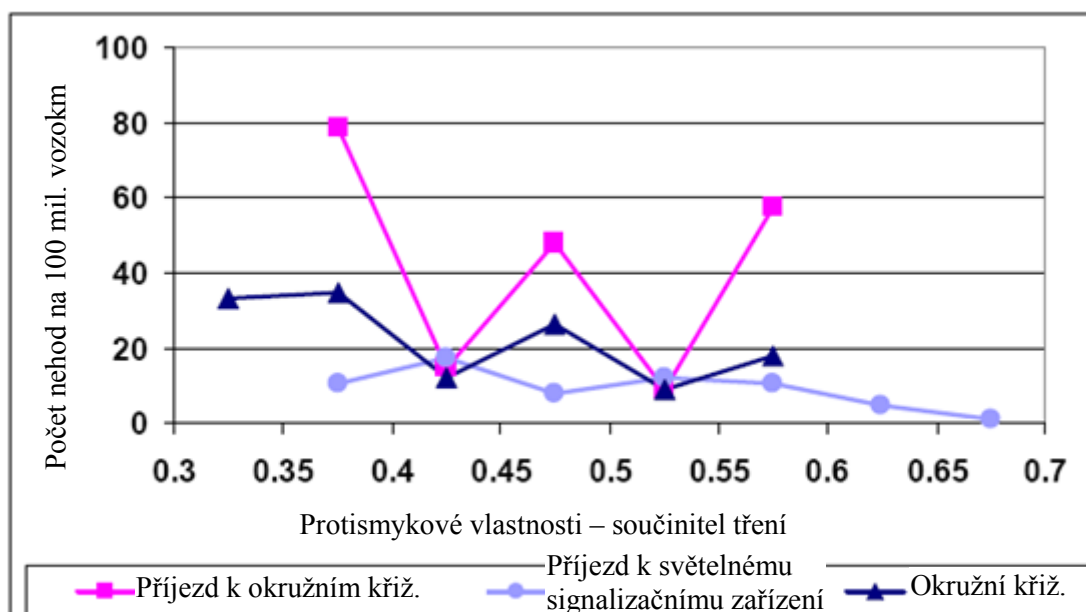
Riziko dopravní nehody je u křižovatek obecně větší než u „úseků bez zvýšeného nebezpečí nehod“, jak je patrné z obrázku 4. U malých křižovatek na směrově rozdělených komunikacích je riziko dopravní nehody poměrně nízké, ovšem při nižších hodnotách protismykových vlastností toto riziko

prudce stoupá. U malých křižovatek na směrově nerozdělených komunikacích je vidět poměrně znatelný trend se změnou protismykových vlastností povrchů vozovek. Naopak u velkých křižovatek nebyl nalezen žádný vztah mezi protismykovými vlastnostmi a nehodovostí. Možné vysvětlení tohoto jevu je, že velké křižovatky jsou navrženy dostatečně komfortně, takže nedochází k tolika kolizním situacím, kdežto malé křižovatky na směrově nerozdělených komunikacích nabízí mnohem více kolizních bodů. [59]



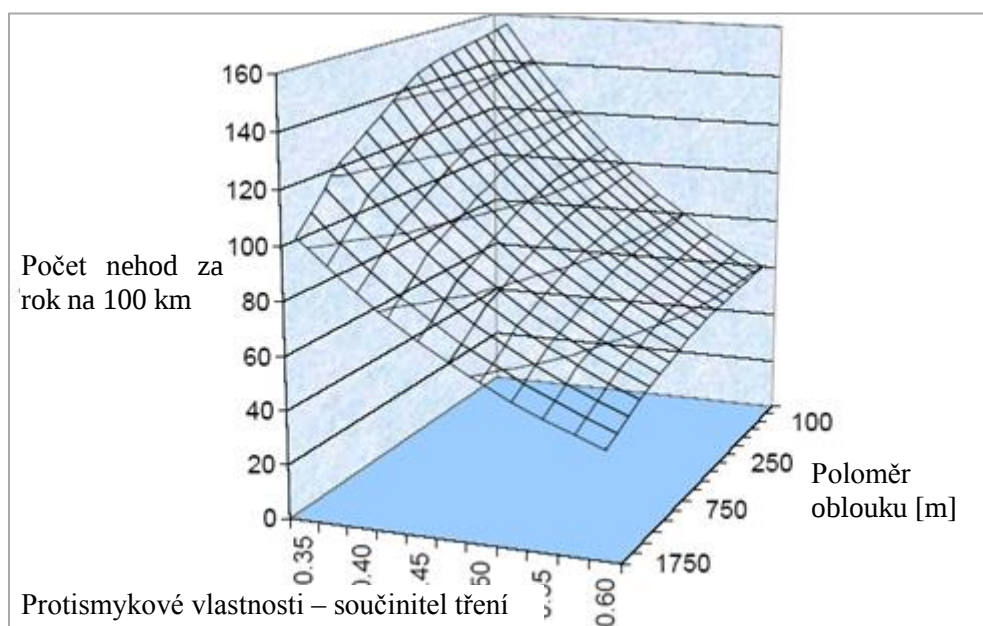
Obrázek 4 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody na křižovatkách [59]

Protismykové vlastnosti povrchů vozovek u okružních křižovatek a směrových oblouků s poloměrem menším než 100 m se měří při rychlosti 20 km/h, ovšem pro lepší srovnání jsou na obrázku 5 hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek přepočítány na rychlost 50 km/h. Na tomto obrázku je vidět vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody u příjezdů k okružním křižovatkám, u příjezdů ke světelnému signalizačnímu zařízení a u okružních křižovatek. Pro okružní křižovatky a pro příjezdy ke světelnému signalizačnímu zařízení lze spatřit hodnoty rizika dopravní nehody, které se přibližně nachází pod rizikem dopravní nehody stanoveným na malých křižovatkách na směrově rozdělených i směrově nerozdělených komunikacích. U příjezdů k okružním křižovatkám je vidět, že riziko dopravní nehody je mnohem vyšší, ovšem výsledky nedávají jednoznačnou odpověď, což bylo pravděpodobně způsobeno nedostatečným množstvím dat. [59]

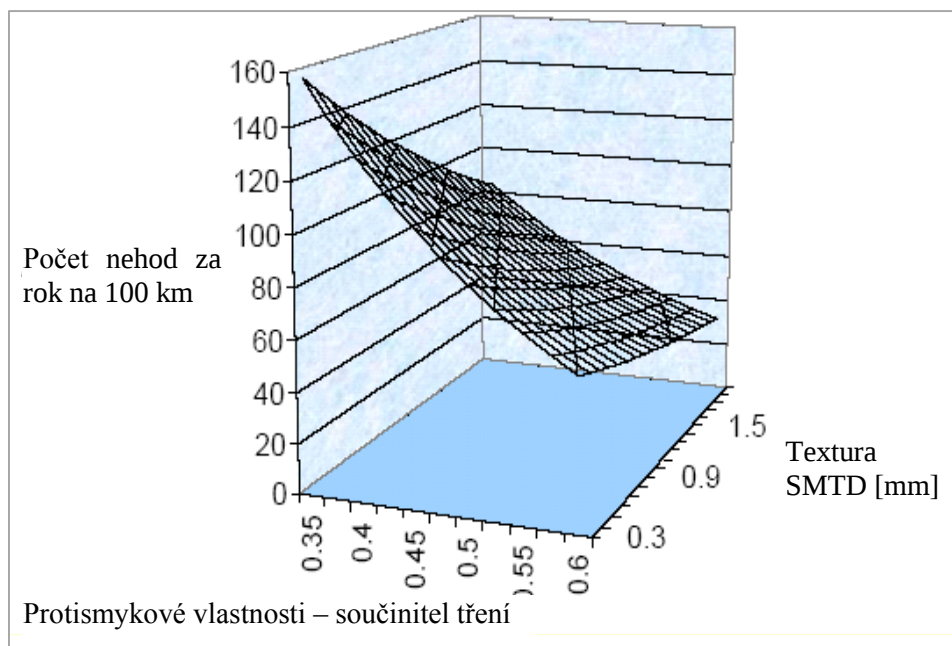


Obrázek 5 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody u příjezdů ke křižovatkám a u okružních křižovatek [59]

U směrových oblouků byl nalezen poměrně silný vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na riziko dopravní nehody, což je patrné z následujícího obrázku 6, kde je vyhodnocen vztah na směrově nerozdělených komunikacích, které se vyznačují větším počtem kolizních bodů, než je tomu na směrově rozdělených komunikacích. Pro podélné sklony byla provedena stejná analýza jako pro směrové oblouky, ale výsledky byly dvojznačné pravděpodobně pro nedostatek sledovaných komunikací se strmým podélným sklonem a tedy nedostatečným množstvím dat.



Obrázek 6 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi, poloměrem směrového oblouku a počtem dopravních nehod [59]



Obrázek 7 Závislost roční míry nehodovosti na 100 km na součiniteli bočního tření a textuře SMTD [56]

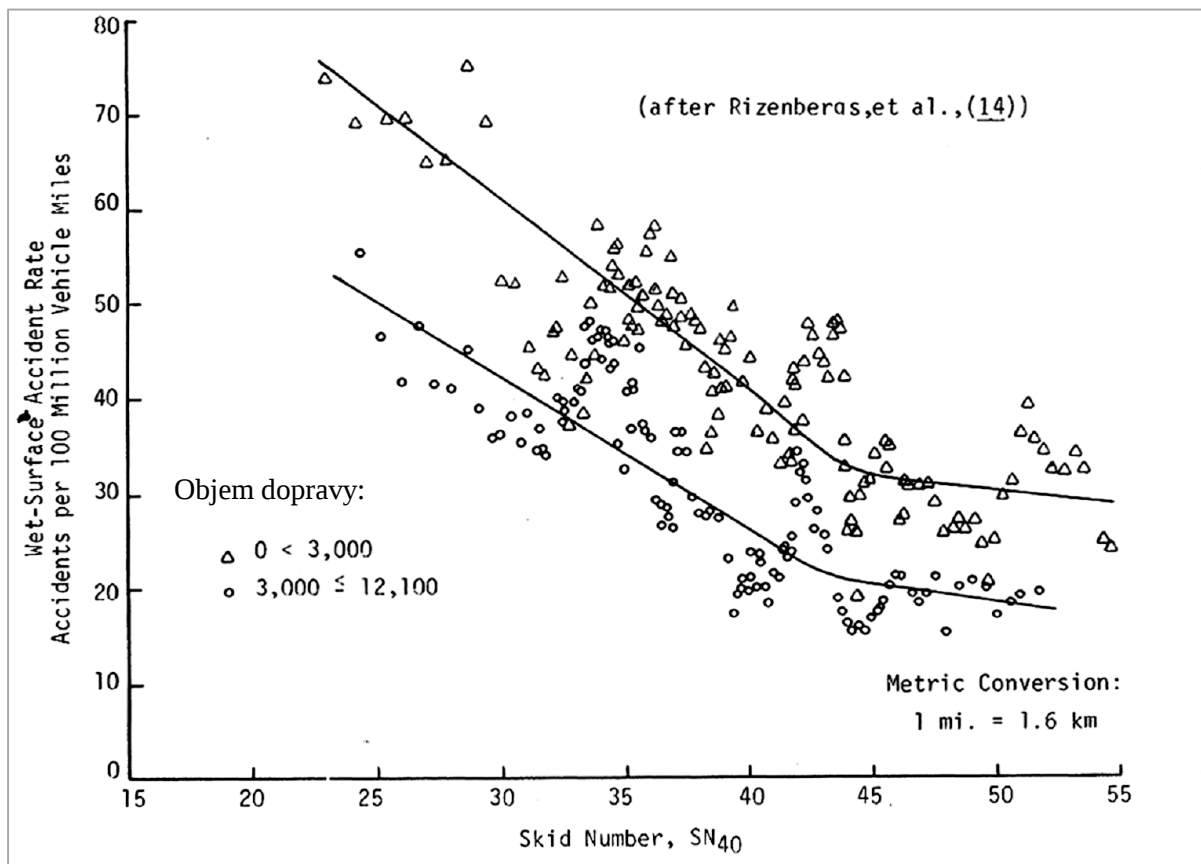
Silná závislost nehodovosti se projevila i u povrchové vlastnosti – hodnoty textury SMTD (Sensor Measured Texture Depth), jak je vidět na obrázku 7. Hodnota SMTD se určuje jako průměr směrodatných odchylek měření laserem profilu vozovky od proložené parabolické křivky.

Výsledkem celé analýzy bylo stanovení požadavků protismykových vlastností povrchů vozovky na definovaných kategoriích (viz tabulka 8).

Je těžké vyčíslit přesný vztah mezi nehodami a protismykovými vlastnostmi, ale provedené empirické výzkumy ukazují zvyšující se počet nehod za mokra (za stejných podmínek ostatních faktorů jako rychlost a intenzita dopravy). Následuje souhrn mnoha publikovaných výzkumů. K vyjádření protismykových vlastností povrchů vozovek se užívá několik charakteristik v závislosti na měřicí metodě a zařízení.

- Giles a kol. 1962, Cairney 1997 – vyhodnoceno 120 míst, kde se staly nehody se smykem a 100 namátkově vybraných míst s podobnou intenzitou dopravy, výsledky ukázaly malé riziko nehody při tření (Skid Number SN, rozsah 0 – 100 jednotek) větším než 60, zato riziko výrazně narůstá s třením pod hodnotou 50.
- McCullough a Hankins 1966 – vybráno 571 míst v Texasu, doporučena minimální hodnota tření 0,40 (rozsah 0 – 1) při rychlosti 48 km/h, hodnota byla získána podle nárůstu nehodovosti v závislosti na tření.
- Rizenbergs a kol. 1972 – data byla získána z mezistátních silnic a dálnic v Kentucky, byla zjištěna zvyšující se nehodovost, pokud je f_p při rychlosti 64 km/h se zablokováním kolem

menší než 40. Závislost nehodovosti vyjádřená počtem nehod za 100 milionů vozomil na hodnotě SN je uvedena v obrázku 8. [1]



Obrázek 8 Závislost míry nehodovosti za mokra na součiniteli tření při 64 km/h [56]

- Miller a Johnson 1973, Cairney 1997 – byla shromážděna data o nehodovosti 2 roky před a po opravě povrchu na dálnici M4 v Anglii (500 nehod), součinitel tření měřený při rychlosti 80 km/h se zlepšil z hodnoty 0,40 na 0,50, výsledkem bylo snížení počtu nehod o 28 % za sucha a o 63 % za mokra, průměrně o 45 %.
- Schulze a kol. 1976 – v Německu byla provedena studie zaměřená na podíl nehod za mokra, hodnota FN (Friction Number) byla měřena při rychlosti 80 km/h, přestože se ukázal velký rozptyl v datech, poměr nehod za mokra stoupá s klesajícími protismykovými vlastnostmi povrchů vozovek.
- Kamel a Gartshore 1982 – v rámci studie byly vybrány úseky s vysokou nehodovostí a nízkými protismykovými vlastnostmi v Ontariu, které byly opraveny novým povrchem. Nehodovost se snížila na křižovatkách o 46 % celkově, o 21 % za sucha a o 71 % za mokra, na dálnici se snížila o 29 %, 16 % za sucha a 54 % za mokra.
- OECD 1984 – byla odhalena lineární závislost nehod a tření v USA, v Evropě výzkum tuto závislost označuje jako nelineární.

- Gandhi a kol. 1991 – studie v Puerto Ricu ukázala statisticky významnou závislost hodnoty z měřicího zařízení Mu-Meter (viz obrázek v tabulce 2) na poměru nehod za mokra/sucha, pomocí lineární regrese byla hodnota R^2 pro tyto dvě proměnné 0,55.
- Craus a kol. 1991 – studie vztahu hodnot Mu-Meteru a nehodovosti na dálnici v Izraeli, pokud je průměrná hodnota Mu-Meter > 37 , může se celková nehodovost snížit o 7,5 %. [1]
- McLean 1995 – při vyhodnocení silnic v Anglii před a po opravě povrchu bylo zjištěno, že nehodovost se zvýšila kvůli zlepšené kvalitě jízdy, přičemž řidiči mají tendenci používat nové silnice a zvyšovat na nich rychlost.
- Gothie 1996 – byly provedeny 3 různé studie, kde bylo prokázáno, že při snížení koeficientu bočního tření SFC - Sideway Force Coefficient (obdoba českého f_b) z hodnoty 0,6 na hodnotu 0,5 stoupá nehodovost při jízdě na povrchu za mokra nejméně o 50 % a snížení hodnoty SFC o 0,05 zvyšuje riziko a závažnost nehod o 50 %.
- Larson 1999 – francouzský výzkum objevil pětinasobný nárůst nehodovosti za mokra na okruhu Bordeaux, když se hodnota SFC snížila z hodnoty větší než 0,60 na hodnotu menší než 0,50, také se ukázalo, že riziko nehod za mokra významně stoupá při odhadnuté hloubce textury ETD - Estimated Texture Depth (viz kapitola 3.3.1.6) menší než 0,4 mm.
- Xiao a kol. 2000 – výzkumníci na institutu v Pensylvánii vyvinuli dva fuzzy modely určené pro předpověď nehod za mokra, modely se použily pro ověření zlepšení bezpečnosti při změně vstupních parametrů (SN, rychlost, denní intenzita, mokrá vozovka, atd.), snížení nehod o 60 % lze dosáhnout při zvýšení hodnoty SN z 33,4 na 48.
- Wallman a Astrom 2001 – bylo provedeno komplexní vyhodnocení měření tření a nehodovosti a ukázalo se, že zlepšení tření sníží nehodovost:

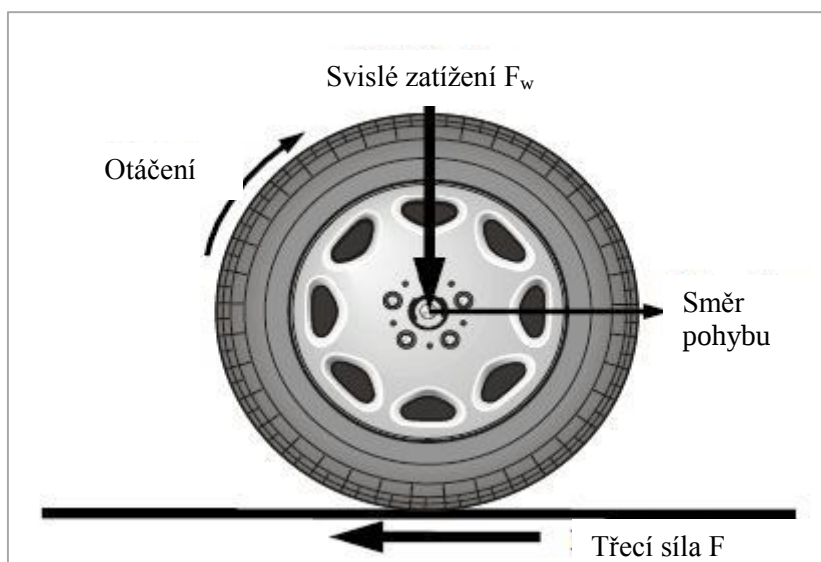
Interval tření	míra nehodovosti (počet zranění na milion vozokm)
$< 0,15$	0,80
0,15 – 0,24	0,55
0,25 – 0,34	0,25
0,35 – 0,44	0,20

- Bray 2002 – ve studii bylo vybráno 40 úseků s neobvykle vysokou nehodovostí za mokra, které byly opraveny novým povrchem. Analýzy ukázaly snížení o 740 nehod (540 za mokra).
- Kuttesch 2004 – studie ukázala, že nehody se stávají více za mokra a se snižující se hodnotou f_p stoupá nehodovost.
- Viner 2004 – uvádí příklad směrově nerozdělené komunikace, kde riziko nehody se sníží o polovinu zvýšením hodnoty tření na dvojnásobek. [1]

3.3 Tření na povrchu vozovky

3.3.1 Tření vozovky

Součinitel smykového tření je fyzikální veličina, která udává poměr třecí síly a kolmé tlakové síly mezi tělesy při smykovém tření. Hodnoty součinitele smykového tření závisí na konkrétní dvojici látek (na povrchu a drsnosti těles), mezi nimiž smykové tření probíhá. Je obvykle menší, než součinitel klidového tření. [3]



Obrázek 9 Zjednodušené schéma třecí síly působící na pohybující se kolo [55]

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (3)$$

Kde μ bezrozměrný součinitel tření,

F tečná třecí síla mezi vzorkem pneumatiky a vodorovným povrchem [N],

F_w svislé zatížení [N].

Tření vozovky hraje podstatnou roli v udržení vozidla na silnici, dává řidiči schopnost kontrolovat a manévrovat bezpečně s jeho vozidlem v podélném i příčném směru. Je klíčovým vstupem při geometrickém navrhování silnic jako ve stanovení minimální délky pro zastavení, minimálního směrového poloměru, minimálního poloměru výškového vedení a maximálního převýšení směrových oblouků. Všeobecně platí, že čím vyšší je tření, tím větší má kontrolu řidič nad vozidlem. [1]

3.3.1.1 Podélné tření

Podélné tření vzniká mezi otáčející se pneumatikou v podélném směru a povrchem vozovky při volném pohybu nebo při konstantním brzdění. Při jízdě bez brzdění je relativní rychlost mezi pneumatikou a vozovkou nulová (uváděná jako rychlost skluzu). Při konstantním brzdění se rychlost skluzu zvyšuje od nuly do potenciálního maxima rychlosti vozidla. Následující matematický vztah vysvětluje rychlost skluzu [1]:

$$S = V - V_p = V - (0,68 \cdot \omega \cdot r) \quad (4)$$

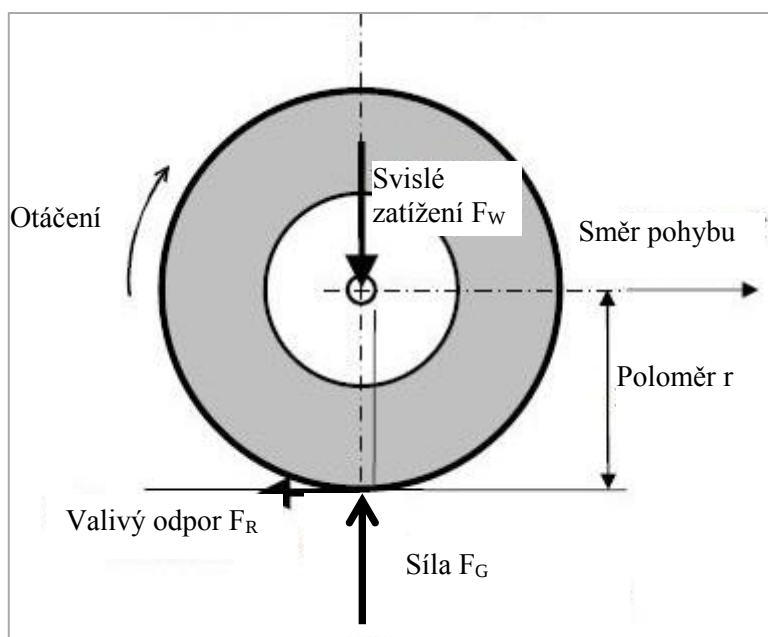
Kde S rychlost skluzu [km/h],
 V rychlost vozidla [km/h],
 V_p průměrná obvodová rychlost pneumatiky [km/h],
 ω úhlová rychlost pneumatiky [rad/s],
 r poloměr pneumatiky [m].

Proti tomu při volném pohybu pneumatiky je V_p rovno rychlosti vozidla a S rovno nule. Pro plně blokové nebo brzděné kolo je V_p rovno nule a rychlost skluzu je rovna rychlosti vozidla. Blokové kolo se také nazývá 100% skluz a volně pohybující se kolo má 0% skluz. Následující matematický vztah udává formulaci pro poměr skluzu [1]:

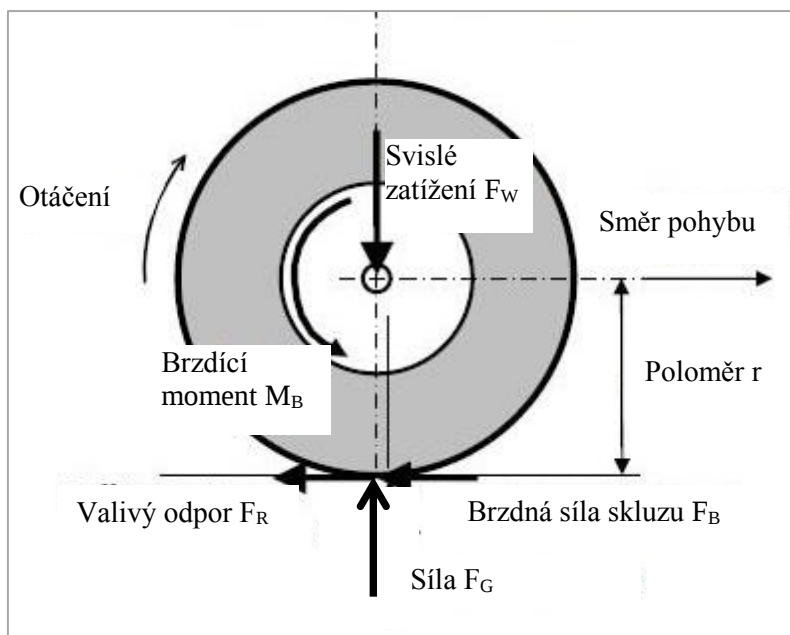
$$SR = \frac{(V - V_p)}{V} \cdot 100 = \frac{S}{V} \cdot 100 \quad (5)$$

Kde SR poměr skluzu [%],
 V rychlost vozidla [km/h],
 V_p průměrná obvodová rychlost pneumatiky [km/h],
 S rychlost skluzu [km/h].

Obrázek 10 ukazuje gravitační sílu na volně se pohybující pneumatice. Pohyb vozidla způsobuje moment síly. F_R je síla, která se nazývá valivý odpor a která se musí překonat rotací pneumatiky.



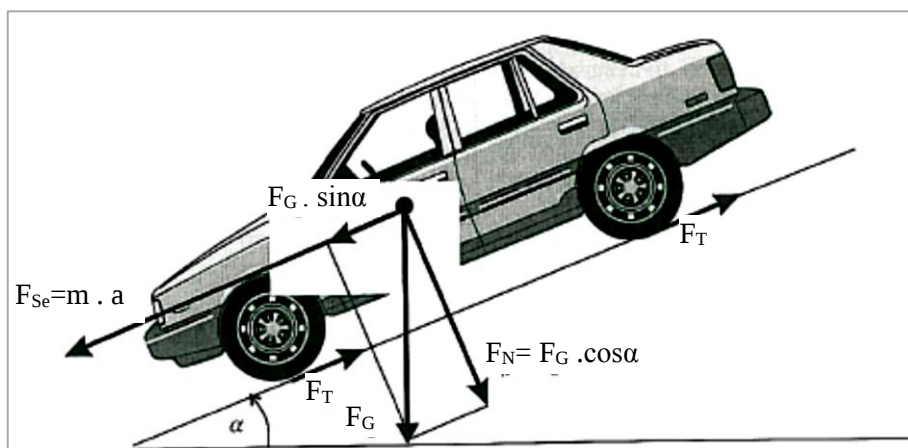
Obrázek 10 Síly na volně se pohybující pneumatice při konstantní rychlosti na suchém povrchu [1]



Obrázek 11 Síly a momenty při konstantním brzdění kola na suchém povrchu [1]

Při konstantním brzdění (obrázek 11) je nutné započítat další sílu nazývanou brzdná síla skluzu F_B , která vytváří moment M_B . Celková třecí síla je suma síly při volném pohybu F_R a síly při brzdění F_B .

Při jízdě ve svahu se tíhová síla F_G rozloží na složku kolmou k vozovce (normálná) a na složku rovnoběžnou s vozovkou. Setrvačná síla F_{Se} a složka tíhové síly $F_G \cdot \sin \alpha$ účinkují proti třecí síle F_T , která působí tangenciálně ve styku kola s vozovkou, jak je znázorněno na obrázku 12.



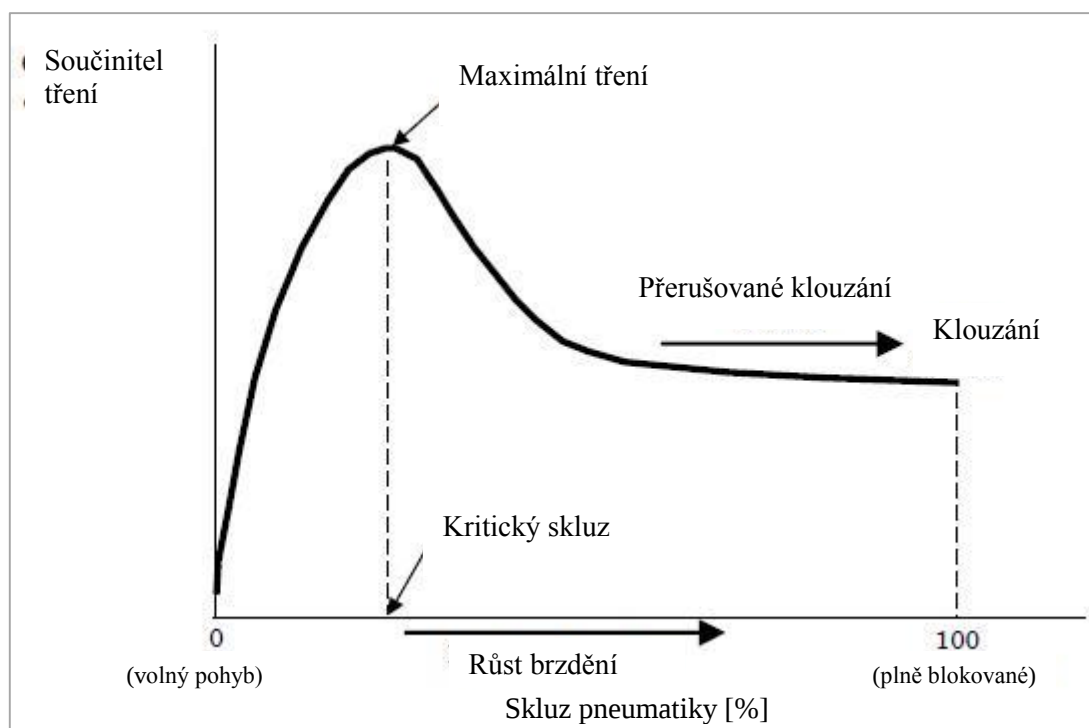
Obrázek 12 Rovnováhy sil při brzdění (jízda z kopce) [63]

Z výše uvedeného vyplývá, že vztah (3) lze pro reálné vozidlo a vozovku upravit:

$$\mu = \frac{F}{F_w} + F_R \pm \text{podélný sklon vozovky} \quad (6)$$

Obrázek 13 ukazuje vztah, který je základem systému ABS (Anti-locking Brake System), který využívá přední strany maxima koeficientu tření a minimalizuje ztrátu tření kvůli skluzu. Vozidla s ABS jsou navrhována tak, aby zapínala a vypínala opakovaně brzdění, takže skluz je držen blízko

hodnoty maxima. Brzdění je vypnuto před dosažením maximální hodnoty a zapnuto na určitý čas nebo na daná procenta. Hodnota maximálního podélného tření se obvykle vyskytuje mezi 15 % a 20 % skluzu. [1, 55]



Obrázek 13 Tření povrchu versus skluz pneumatiky [55]

3.3.1.2 Boční tření

Boční síly působí na vozidlo při průjezdu směrovými oblouky, při vyrovnávání příčných sklonů (přejíždění mezi jízdními pruhy) nebo povětrnostních vlivů. Vztah mezi silami působícími na pneumatiku vozidla a povrchem vozovky je:

$$F_s = \frac{V^2}{15 \cdot R} - e \quad (7)$$

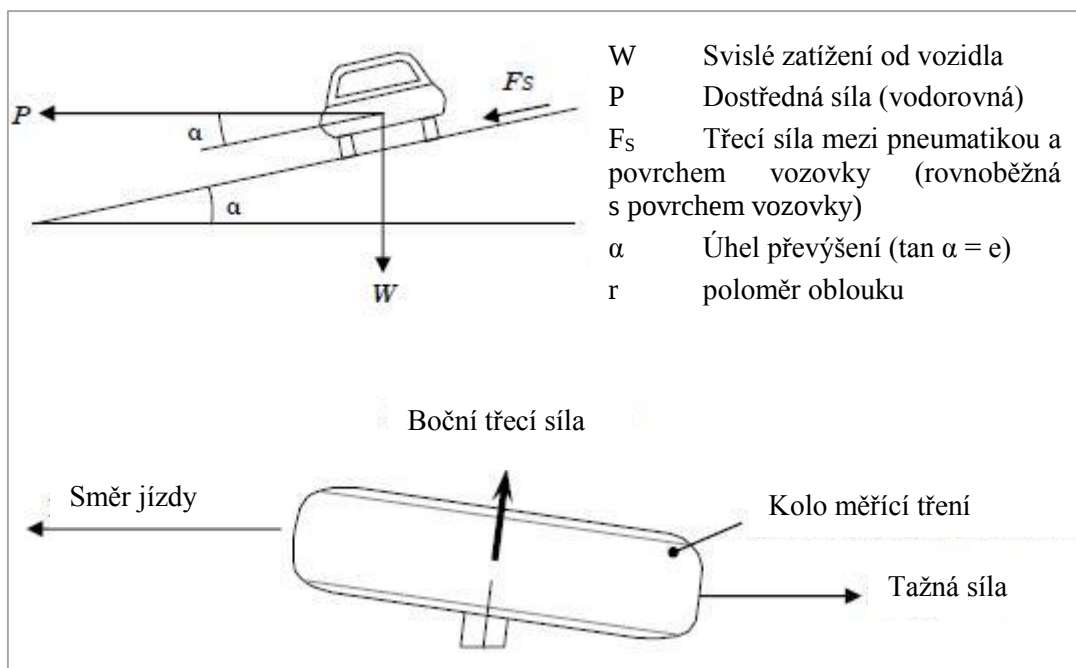
Kde F_s boční třecí síla [N],

V rychlost vozidla [km/h],

R poloměr stopy v těžišti vozidla [m],

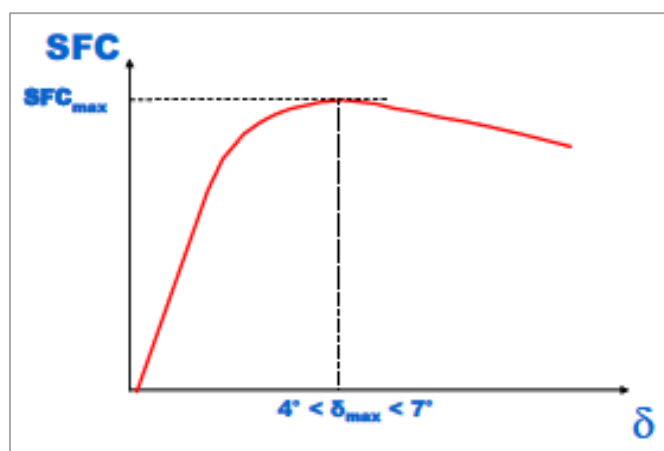
e převýšení vozovky [m/m]

Rovnice (7) je založena na diagramu sil z obrázku 14, který ukazuje, jak vliv boční třecí síly působí jako protiváha dostředné síle vyvolané bočním pohybem vozidla.



Obrázek 14 Dynamika vozidla jedoucího obloukem s konstantním poloměrem a rychlostí, síly působící na otáčející se kolo [1]

Maximální hodnota bočního tření SFC (f_b) nastává u lehkých vozidel mezi 4° a 7° pootočení pneumatiky od směru jízdy, u nákladních vozidel mezi 6° a 10° . [15]

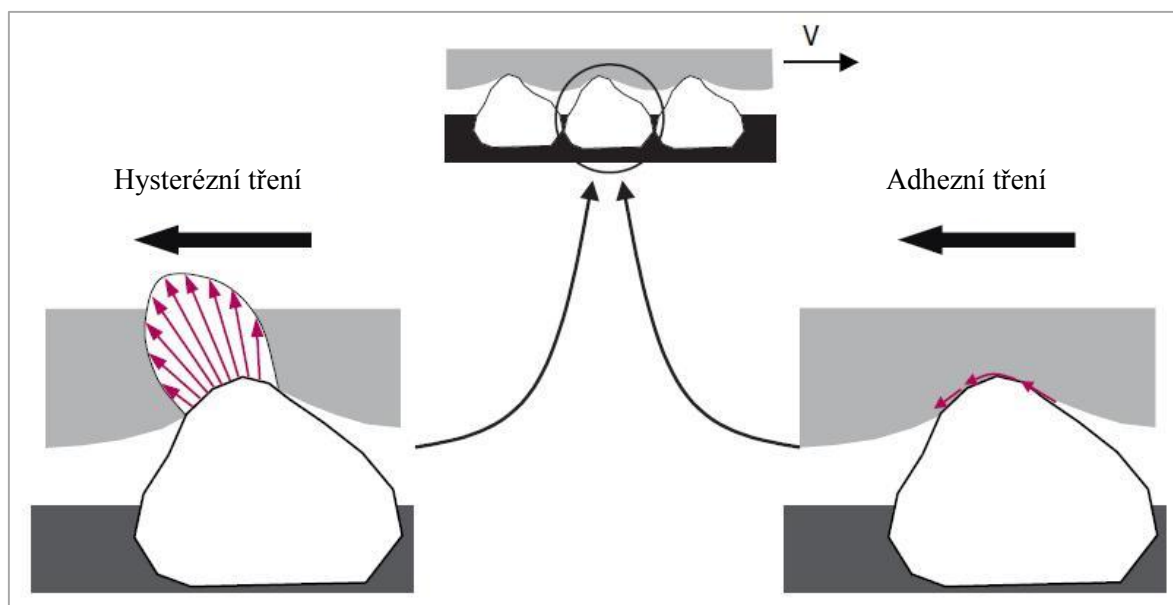


Obrázek 15 Průběh koeficientu bočního tření SFC lehkého vozidla při změně úhlu skluzu [15]

3.3.1.3 Mechanismus tření

Tření vozovky je výsledkem složité součinnosti mezi dvěma základními komponenty třecí síly – adhezí a hysterezí (obrázek 16). Adheze (přilnavost) je tření, které vzniká v malém měřítku dočasným propojením pryže pneumatiky a povrchem vozovky, a klesá se zvyšující se rychlostí. Hysterezní složka třecí síly vzniká ztrátou energie v důsledku deformace pneumatiky vozidla smýkáním přes výstupky. Když se pneumatika stlačuje proti povrchu vozovky, rozložení napětí způsobuje uložení deformační energie do pryže. Jak se pneumatika vrací do původního stavu, část uložené energie se obnoví a zbytek se ztratí v podobě tepla (hystereze), která je nevratná. Vzniklé napětí v pneumatice

není symetricky rozděleno po ploše dotyku, ale jeho maximum je posunuté ve směru jízdy vozidla. Pneumatika se na drsném povrchu vozovky dotýká minerálních částic jen částečně. V místě, kde se pneumatika přestává dotýkat povrchu vozovky, lze rozeznat poměry napětí, rozlišené podle hystereze, vyvolané deformacemi pryže (tlakové napětí) a podle adheze, což je výsledek smykových napětí působících mezi dotykovými plochami. Hystereze souvisí hlavně s makrotexturou (závisí na existenci výstupků na povrchu vozovky) a adheze s mikrotexturou. [1, 55, 58]



Obrázek 16 Mechanismus tření mezi vozovkou a pneumatikou [10]

Ačkoli existují i jiné složky tření povrchu, jsou zanedbatelné v porovnání se složkami adheze a hystereze. Proto je možné na tření pohlížet jako na součet třecích sil hysterézní a adhezní.

$$F = F_A + F_H \quad (8)$$

Obě složky závisí na mnoha faktorech, jako například na vlastnostech povrchu vozovky, přítomnosti vody na povrchu vozovky a vlastnostech pneumatiky. [10] Pryž je viskoelastický materiál, jehož tlumící a pružné charakteristiky jsou závislé na frekvenci deformací a teplotě. Hysterézní tření se zvýší zvětšením objemu pryže, která se podílí na deformaci se současným zvětšením spotřeby tlumící energie. [58]

Vzhledem k tomu, že se adhezní síla vyvinula na rozhraní pneumatiky a vozovky, je nejvíce ovlivněna mikronerovnostmi (mikrotexturou) částic kameniva obsaženými na povrchu vozovky. Hysterézní síla vzniká v pneumatice a je nejvíce ovlivněna makronerovnostmi (makrotexturou) tvořící povrch podle návrhu směsi anebo použitou technologií. Výsledkem tohoto jevu je, že adheze určuje celkové tření na hladkých površích a suchých vozovkách, zatímco hystereze je dominantní složkou na mokřích a drsných površích vozovky (proto vznikají otisky pneumatik při akceleraci či deceleraci). [1, 10]

3.3.1.4 Faktory ovlivňující tření vozovky

Faktory ovlivňující síly tření na vozovce mohou být rozděleny do 4 skupin – vlastnosti povrchu vozovky, parametry jedoucího vozidla, vlastnosti pneumatiky a faktory prostředí. Tabulka 1 uvádí různé prvky těchto skupin. Protože každý prvek hraje roli při definování tření vozovky, musí se tření brát jako proces namísto přirozené vlastnosti vozovky. Důležitější faktory jsou vyznačeny tučně. Z těchto vlivů lze sledovat místními správci pozemních komunikací mikrotexturu a makrotexturu, vlastnosti materiálu vozovky a rychlost skluzu. [1]

Tabulka 1 Faktory ovlivňující tření vozovky [1]

Vlastnosti povrchu vozovky	Parametry jedoucího vozidla	Vlastnosti pneumatiky	Faktory prostředí
Mikrotextura Makrotextura Megatextura/nerovnosti Vlastnosti materiálu Teplota	Rychlost skluzu - Rychlost vozidla - Brzdění Řídící manévry - Zatačení - Předjíždění	Otisk stopy Vzorek pneumatiky a jeho stav Složení pryže a tvrdost Tlak v pneumatice Zatížení Teplota	Počasí - Vítr - Teplota - Voda (déšť, rosa) - Sníh a led Nečistoty - Posyp (sůl, písek) - Špína, bláto, drť

3.3.1.4.1 Vlastnosti povrchu vozovky**Textura povrchu**

Povrchová textura vozovky je charakterizována nerovnostmi na povrchu. Tyto nerovnosti se pohybují od mikroúrovně obsažených na jednotlivých zrnech kameniva po nerovnosti v délce několika metrů. Dvě úrovně textury, které převážně ovlivňují tření, jsou mikrotextura a makrotextura (viz obrázek 1).

Mikrotextura je zodpovědná zejména za tření vozovky při nízkých rychlostech, zatímco makrotextura ovlivňuje jednak omezení vzniku aquaplaningu, při kterém pneumatika není v kontaktu s povrchem vozovky, a dále tření způsobené hysterezí při vysoké rychlosti.

3.3.1.4.2 Parametry jedoucího vozidla**Rychlost skluzu**

Koeficient tření mezi pneumatikou a vozovkou se mění s různým stupněm skluzu. Výrazně se zvýší s vyšším skluzem na maximální hodnotu obvykle okolo 10 % až 20 % skluzu. Tření se pak snižuje na hodnotu známou jako koeficient kluzného tření, které nastává při 100% skluzu (viz obrázek 13).

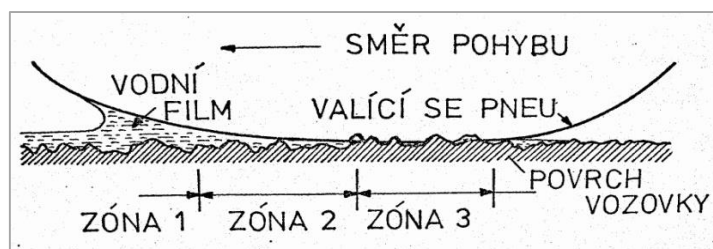
3.3.1.4.3 Vlastnosti pneumatiky**Vzorek a stav pneumatiky**

Dezén pneumatiky (tj. typ, vzor a hloubka) a jeho stav mají významný vliv na odvádění vody, která zůstává na povrchu vozovky. Voda zachycená mezi pneumatikou a vozovkou se může vytlačit přes

kanálky textury povrchu a vzorku pneumatiky. Hloubka dezénu je zejména důležitá při jízdě vozidel přes tlustý vodní film při vysokých rychlostech. [1]

Kontaktní plochu pneumatiky a vozovky za přítomnosti vodního filmu lze rozdělit do tří zón znázorněných v obrázku 17:

- Zóna 1 – voda vytváří nepřerušovaný spojitý vodní film a vyvíjí tlak, který má tendenci zvedat pneumatiku,
- Zóna 2 – voda je postupně odváděna, výčnělky povrchu vozovky tvoří nespojitý vodní film,
- Zóna 3 – voda byla vytlačena, mezi pneumatikou a vozovkou dochází ke kontaktu, vytváří se zde tření. [10]



Obrázek 17 Zóny interakce pneumatiky s vozovkou za přítomnosti vodního filmu [58]

Tlak v pneumatice

Podhuštěná pneumatika může významně snižovat tření při vysokých rychlostech. Tato pneumatika umožňuje zřízení středu běhounu a vydutí, čímž sevře drenážní kanálky ve vzorku a sníží kontaktní tlak. Tím se voda zadrží na povrchu vozovky spíše, než aby mohla protékat vzorkem běhounu.

Přehuštěná pneumatika nemá velký vliv na hodnotu tření vozovky. Tato pneumatika snižuje odvádění vody a získá vyšší tlak na vytlačení vody z pod pneumatiky vozidla. [1]

3.3.1.4.4 Faktory prostředí

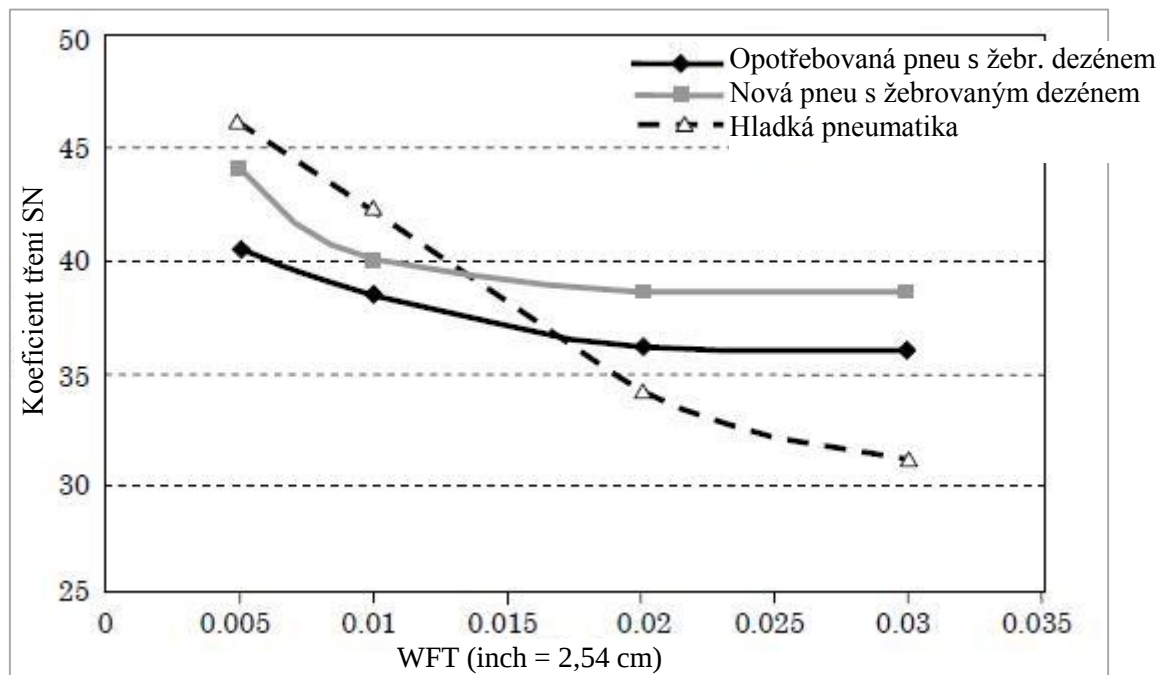
Teplota

Automobilové pneumatiky jsou viskoelastické materiály a jejich vlastnosti mohou být výrazně ovlivněny změnami teplot a jinými tepelnými vlastnostmi (tepelná vodivost a měrné teplo). Výzkum ukazuje, že tření mezi vozovkou a pneumatikou obecně klesá s rostoucí teplotou okolí (vzduchu), přestože se to těžko stanovuje.

Voda

Voda ve formě srážek nebo kondenzace může působit jako mazadlo a výrazně sníží tření mezi pneumatikou a vozovkou. Účinek tloušťky vodního filmu WFT (Water Film Thickness) na tření je minimální při nízkých rychlostech (< 32 km/h) a výrazný při vysokých rychlostech (> 64 km/h). Obrázek 18 ukazuje exponenciální závislost koeficientu tření na mokré vozovce se vzrůstajícím WFT.

Účinek WFT je ovlivněn dezénem pneumatiky a jejím stavem, opotřebované pneumatiky jsou více citlivé na WFT.



Obrázek 18 Efekt tloušťky vodního filmu WFT na tření [1]

Velmi malé množství vody může výrazně snížit tření mezi vozovkou a pneumatikou. Výsledky zkoušek sponzorovaných v USA FHWA (Federal Highway Administration) z roku 1987 ukazují, že 0,05 mm vodního filmu na povrchu vozovky může snížit koeficient tření o 20 % až 30 % hodnoty koeficientu tření za sucha.

Aquaplaning způsobují tři faktory: rychlost vozidla, vodní film na vozovce a typ a hloubka dezénu pneumatik. K aquaplaningu dochází, když se pneumatika vozidla oddělí od povrchu vozovky vodním tlakem, který se hromadí na rozhraní pneumatiky a vozovky a způsobuje pokles tření na úroveň blízkou nule. Je to složitý jev několika parametrů zahrnující hloubku vody, rychlost vozidla, makrotexturu povrchu, hloubku vzorku pneumatiky, tlak v pneumatice a kontaktní plochu pneumatiky.

Makrotextura povrchu a hloubka vzorku pneumatiky ovlivňují počátek dynamického aquaplaningu dvěma způsoby. Přímý vliv mají kvůli zajištění odtoku vody na rozhraní pneumatiky a vozovky a nepřímo při větší makrotextuře, protože je potřeba vyšší vrstva vody, aby způsobila aquaplaning. Povrch musí však také mít vhodnou mikrotexturu k vytvoření přiměřeného tření.

Sníh a led

Sníh a led na povrchu vozovky představují nejnebezpečnější podmínky pro vozidla při brzdění a zatáčení. Úroveň tření mezi pneumatikami a vozovkou je taková, že téměř každé náhlé brzdění nebo náhlá změna směru končí zablokovanými koly a ztrátou stability vozidla.

Kontaminace

Znečišťující látky běžně se vyskytující na silnicích jsou nečistoty, písek, olej, voda, sníh a led. Jakékoliv znečištění na styku pneumatiky a vozovky bude mít nepříznivý dopad na tření mezi pneumatikou a vozovkou. Cizí materiály působí jako kuličky v kuličkovém ložisku nebo jako mazivo mezi pístem a válcem v motoru snižující tření mezi dvěma povrchy. Tlustší vrstva nebo více viskózní kontaminace ještě více snižuje tření mezi vozovkou a pneumatikou. Brusný účinek tvrdých nečistot, jako je písek, urychluje opotřebení povrchu vozovky i pneumatiky. [1]

3.3.1.5 Fyzikální jevy

Změny protismykových vlastností obrusné vrstvy vozovky z asfaltové směsi se v čase mění přinejmenším čtyřmi jevy:

- Odstranění pojiva – po položení obrusné vrstvy je na povrchu zrn kameniva asfaltový film, který pokud nevykazuje adhezivní vlastnosti (např. asfalt modifikovaný pryžovým granulátem), působí jako mazivo na povrchu vozovky. K odstranění asfaltového pojiva ze zrn kameniva dochází dopravou, proto se doporučuje měření protismykových vlastností povrchu vozovek po určité době provozu.
- Mechanické opotřebení – způsobuje tření mezi pneumatikou vozidla a povrchem vozovky, je zvýšeno přítomností prachu, dochází k odstranění hran zrn kameniva a vytváření nového reliéfu kameniva (multiminerální hornina – měkké minerály vytvoří prohlubně a tvrdší minerály výstupky na povrchu zrn kameniva) = rozdílná ohladitelnost kameniva.
- Sezónní změny – vlivem viskózního přetváření povrchu vozovky se na konci léta snižuje makrotextura a naopak v průběhu zimy se makrotextura zvyšuje, změny protismykových vlastností povrchu vozovek se blíží sinusovému průběhu.
- Stárnutí materiálů – závisí na klimatických podmínkách (střídání teplot, působení kyslíku, kyselá dešť), u kameniva se může zvyšovat mikrotextura a stárnutí asfaltu působí na zvyšování makrotextury. [12]

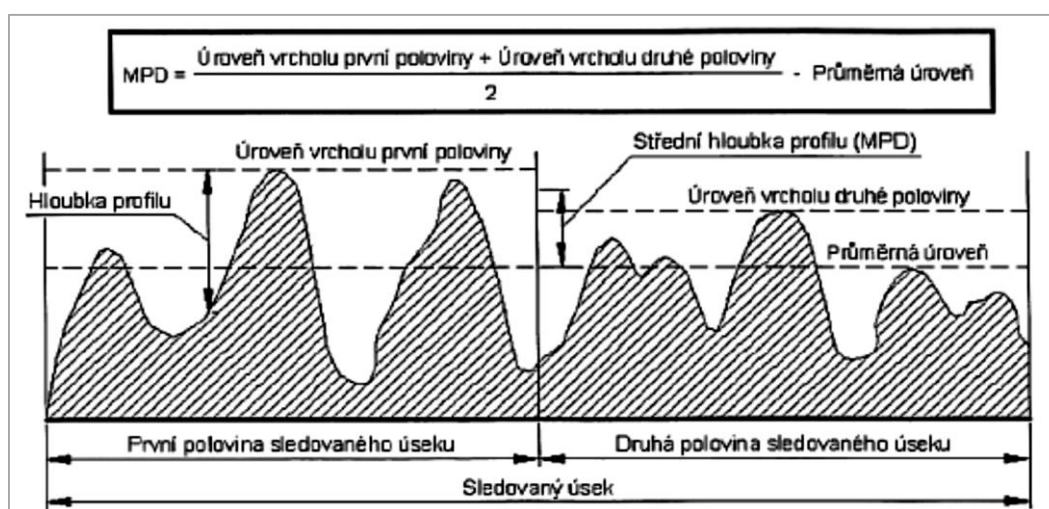
3.3.1.6 Povrchová textura vozovky

Vlnová délka textury je vzdálenost mezi periodicky se opakujícími částmi křivky; při analýze běžných profilů povrchu mají členy Fourierovy řady rovnoměrné rozložení vlnových délek.

Střední hloubka textury povrchu vozovky zjištěná odměrnou metodou (Mean Texture Depth MTD) – vyjadřuje střední hloubku textury povrchu vozovky určenou vztahem mezi daným objemem skleněných kuliček a plochou, na které kuličky vyplní beze zbytku prohlubně na povrchu vozovky; hodnota MTD vyjadřuje velikost makrotextury měřeného povrchu.

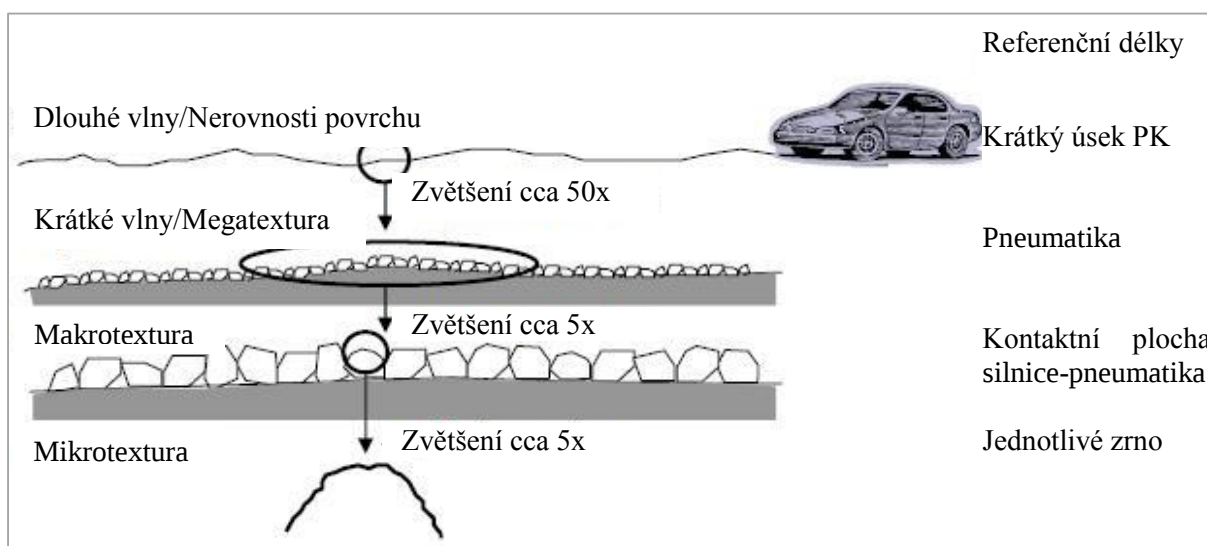
Střední hloubka profilu povrchu vozovky (Mean Profile Depth MPD) – vypočítaná z podrobného podélného profilu makrotextury snímaného pomocí laserových systémů na filtrované délce od 0,5 m do 50 mm, která je naznačena na obrázku 19.

Odhadnutá hloubka textury (Estimated Texture Depth ETD) – termín použitý pro postup, při kterém je k odhadu průměrné hloubky textury (MTD) použita průměrná hloubka profilu (MPD) a transformační rovnice. [5]



Obrázek 19 Princip výpočtu hloubky profilu povrchu vozovky MPD [5, 25]

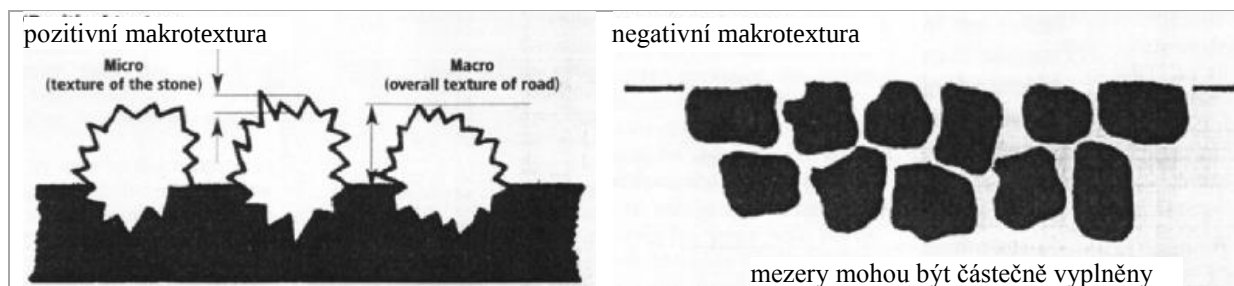
Vlnová délka megatextury delší než horní limit 500 mm je definována jako dlouhá vlna nebo nerovnost. Obrázek 20 dokládá rozsahy tří textur a také čtvrté úrovně (dlouhá vlna/nerovnost) reprezentující vlnovou délku větší než horní limit megatextury 500 mm (viz obrázek 1).



Obrázek 20 Zjednodušená ilustrace různých rozsahů textury [55]

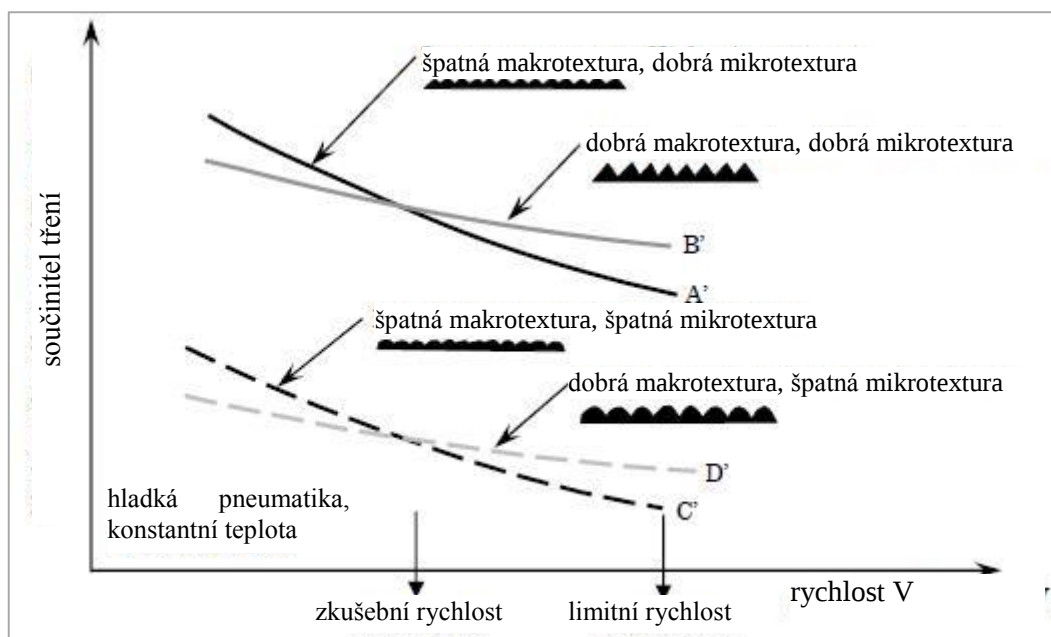
Makrotexturu lze rozdělit na pozitivní a negativní (obrázek 21). Pozitivní makrotextura vytváří vystupující nerovnosti z povrchu a negativní vytváří prohlubně v povrchu. Pozitivní makrotextura se

vytváří posypem kameniva a zatlačením do povrchu, negativní makrotextura vzniká vytvořením mezerovitosti nebo odstraněním materiálu z povrchu (např. drážkováním, odstraněním malty apod.). [62]



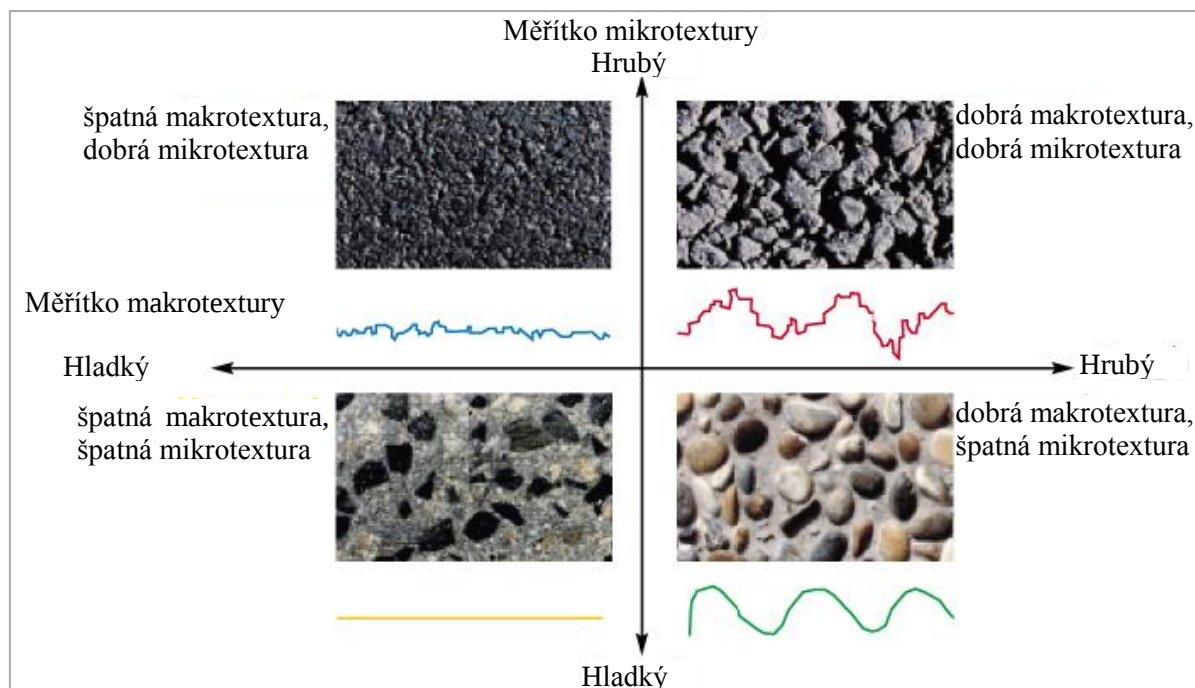
Obrázek 21 Idealizovaná pozitivní a negativní makrotextura [62]

Obrázek 22 ukazuje relativní vlivy mikrotextury, makrotextury a rychlosti na tření vozovky. Mikrotextura ovlivňuje velikost tření pneumatiky a makrotextura má vliv na závislost tření na rychlosti. Při nízkých rychlostech dominuje mikrotextura při mokré a suché úrovni tření. Při vyšších rychlostech usnadňuje kvalitní makrotextura odvod vody, takže adhezní složka tření poskytnutá mikrotexturou je obnovena částmi zrn kameniva nad vodou. Hystereze se zvyšuje exponenciálně s rychlostí a při rychlosti vozidla blízké 105 km/h představuje až 95 % tření.



Obrázek 22 Efekt mikrotextury a makrotextury na tření mezi pneumatikou a vozovkou při různých rychlostech [1]

V praxi neexistují hranice mezi úrovněmi textury, jedna přechází v druhou. Následující obrázek 23 dokumentuje rozsah textur, které se mohou vyskytovat na pozemních komunikacích. Právě makrotextura a mikrotextura mají největší vliv na protismykové vlastnosti povrchů vozovek a tření mezi pneumatikou a vozovkou. [54]



Obrázek 23 Možné extrémy mikrotextury a makrotextury [54]

3.3.1.7 Faktory ovlivňující makrotexturu

Faktory, které ovlivňují texturu povrchu související s kamenivem, pojivem a vlastnostmi směsi jsou následující:

- Maximální zrno kameniva – velikost největšího kameniva v asfaltové směsi nebo ve vymývaném betonu poskytne dominantní vlnovou délku makrotextury,
- Typ hrubého kameniva – výběr hrubého kameniva bude ovlivňovat druh kameniva, kubický tvar zrna, tvarový index a trvanlivost,
- Typ jemného kameniva – kubický tvar zrna a trvanlivost jemného kameniva budou ovlivňovány vybraným materiálem, a zda je drcené,
- Viskozita a obsah pojiva – obsah pojiva s nízkou viskozitou může způsobit vypocení pojiva mnohem snadněji, než vysoce viskózní pojiva. Také velké množství pojiva může způsobit vypocení pojiva, které překryje povrch, který úplně ztrácí mikrotexturu a makrotexturu,
- Čára zrnitosti směsi – zejména drenážní povrch bude mít vliv na obsah mezer vozovky,
- Mezerovitost – zvýšený obsah vzduchových mezer zvyšuje propustnost vody a zlepšuje tření a snižuje hluk,
- Tloušťka vrstvy – vyšší tloušťka vrstvy s porézním povrchem zvětšuje možnost rozptýlení vody,
- Velikost textury – velikost úpravy povrchu CB krytu jako striáž, drážkování, broušení a tažení trávniku ovlivňuje makrotexturu, a tím i tření a hluk,
- Rozmístění makrotextury – prostor mezi drážkami nezvětšuje jen amplitudu některých vlnových délek makrotextury, ale ovlivňuje i hlukové frekvenční spektrum,

- Orientace makrotextury – orientace textury CB krytu může být příčná, podélná a diagonální ve směru k dopravě. Orientace ovlivňuje vibrace pneumatik a tím i hluk,
- Izotropní a anizotropní makrotextura – konzistence textury povrchu ve všech směrech minimalizuje delší vlnové délky, tím snižuje hluk. [1]

3.4 Metody měření tření a textury povrchu

Měření tření povrchu vozovky a textury se provádí posledních 50 let. Bylo vyvinuto a používáno mnoho různých typů zařízení na měření těchto vlastností a jejich rozdíly (principy, postupy a způsob zpracování a záznamu dat) mohou být významné.

Samotné měření tření lze provádět několika komerčně vyráběnými zařízeními, která mohou pracovat s pevným nebo proměnným skluzem, při rychlostech až 160 km/h a s různými podmínkami měřící pneumatiky, jako je zatížení, velikost, vzorek, konstrukce a tlak huštění. Texturu povrchu vozovky, jak mikrotexturu, makrotexturu nebo megatexturu, lze měřit různými způsoby, včetně použití zařízení s kontaktem pryže, objemové a drenážní metody.

Obecně platí, že měřící zařízení vyžadující uzavření jízdního pruhu jsou jednodušší a relativně levné, zatímco zařízení měřící za provozu jsou složitější, dražší a vyžadují větší nároky na údržbu a obsluhu. [1]

3.4.1 Historie měření protismykových vlastností povrchů vozovek

3.4.1.1 *Ve světě*

V roce 1906 byl ve Velké Británii zřízen parlamentní výbor, aby vyšetřil příčiny dopravních nehod a ustanovil systém sledování protismykových vlastností povrchů vozovek. Vyšší rychlosti motorových vozidel na stejných městských komunikacích brzy způsobovaly zvýšení počtu a závažnosti dopravních nehod za smyku. Výzkum ukázal potřebu stanovit limity kluzkosti, aby ceny nových protismykových povrchů příliš nepřevyšovaly náklady z dopravních nehod a měření protismykových vlastností povrchů vozovek. Měření v Národní fyzikální laboratoři se neosvědčilo. Statické měření koeficientu tření může sloužit jen ke kontrole vstupních materiálů. Závislost protismykových vlastností povrchů vozovek na rychlosti vozidla a počasí si vyžádalo standardizované zkoušky. Na konci dvacátých let byl představen koncept zařízení na měření boční a brzdné síly tření, které bylo později zkonstruováno.

Koeficient bočního tření SFC (Sideway Force Coefficient) se měřil motocyklem, u kterého mohla být pneumatika sajdkáry pootočena o 20° od směru jízdy (obrázek 24). Specifikovala se hladká pneumatika a jako standardní rychlost bylo zvoleno 30 mil/hod (48 km/h).



Obrázek 24 Motocykl se sajdkárou na měření bočního součinitele tření [7]

Po druhé světové válce byl motocykl nahrazen řadou měřicích vozidel, která měla nakloněnou pneumatiku umístěnou v podvozku (obrázek 25). Rychlý pokrok v elektronice zlepšil i metody záznamu měření.



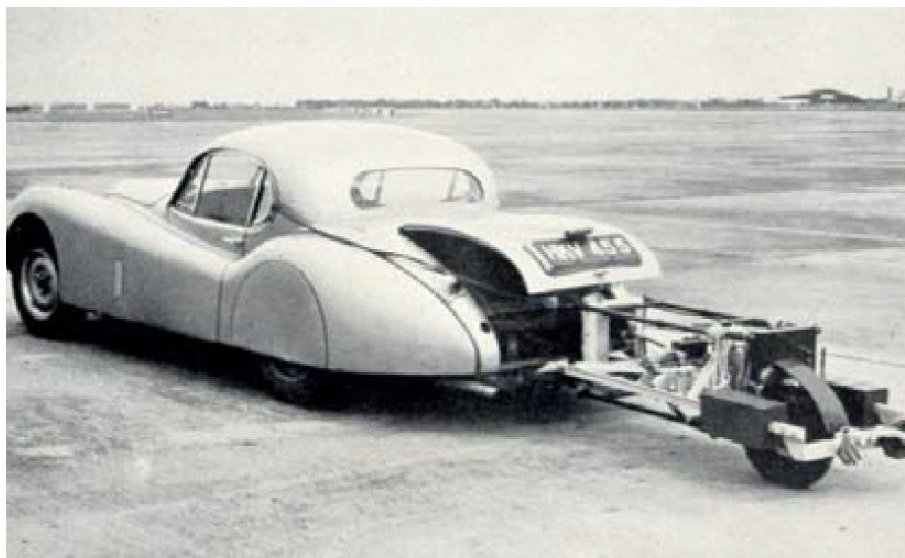
Obrázek 25 Vozidlo měřící boční sílu [7]

Protože smyk převážně nastává na mokré vozovce, běžná měření protismykových vlastností povrchů vozovek požadovala předchozí smáčení povrchu vozovky vodou. Proto vzniklo zařízení vyvinuté výzkumnou laboratoří TRRL (Transport and Road Research Laboratory) s vlastní nádrží na vodu – SCRIM (obrázek 26). Povrch vozovky je smáčen před měřicí pneumatikou, což dovoluje měření za plného provozu.



Obrázek 26 Zařízení na kontinuální měření bočního součinitele tření [7]

Koeficient brzdící síly BFC (Braking Force Coefficient) byl měřený zablokovanou pneumatikou vozidla v pohybu, resp. brzdný moment za smyku. Byly vyvinuty různé druhy tažených zařízení (obrázek 27). Tažená pneumatika je zablokována na asi 2 s a potom puštěna na zaznamenání měření. Kvůli rozdílům v měřicí metodě nejsou hodnoty SFC a BFC stejné. Koeficient BFC je přibližně 0,8 násobek hodnoty koeficientu bočního tření SFC.



Obrázek 27 Přívěs na měření brzdné síly [7]

3.4.1.2 V České republice

V roce 1968 založil Ing. Emil Šlachta, CSc. ve Výzkumném ústavu dopravním (VÚD) skupinu terénních měřících metod. Do této skupiny byly zakoupeny nebo vyvinuty různé unikátní přístroje – např. viagraf pro měření únosnosti vozovky, dynamometrický přívěs VÚD-1 pro měření protismykových vlastností povrchů vozovek (obrázek 28), kyvadlo pro měření mikrotextury, profilometr pro měření makrotextury atd. [6]



Obrázek 28 Dynamometrický přívěs VÚD-1 tažený Tatrou 603 s výkonnějším motorem (vlevo) a VÚD-2 s tažným vozidlem Mercedes (vpravo) [6]

V době, kdy se v bývalém Československu s měřením povrchových vlastností začínalo, se hledaly vhodné zkoušky, které by umožnily časově úsporné měření silniční sítě a dlouhodobé sledování její kvality a následně i potřeby údržby nebo opravy. Při měření povrchových vlastností byla sledována celá řada souvisejících závislostí, např. u protismykových vlastností povrchů vozovky hodnoty součinitele tření dosažitelné za sucha a za mokra, hodnoty při různých procentech prokluzu měřicího kola při různých měřících rychlostech, za různých podmínek na vozovce (náledí, sníh atd.), s různými měřicími pneumatikami a další. V dopravní skupině terénních měřících metod se také připravovaly jednoznačné postupy používání různých měřících zařízení a stanovovaly se hodnoty vhodné (použitelné) pro hodnocení povrchových vlastností tak, aby bylo možné zpracovat novou ČSN. Ambicí bylo měřit také při vyšších a vysokých rychlostech – předpokládalo se i měření protismykových vlastností povrchů letištních ploch. Proto bylo v roce 1971 zakoupeno tažné vozidlo Mercedes, které dosahovalo dostatečného zrychlení. Zároveň byl vyvinut nový dynamometrický přívěs VÚD-2 (obrázek 28), který měl na tehdejší dobu moderní záznam měřených hodnot na děrnou pásku. Dynamometrický přívěs VÚD měřil součinitel podélného tření se 100% prokluzem měřicího kola. Proto nebylo možné provádět kontinuální měření, ale měřily se kratší úseky (4–8 m) v intervalu 100 m až 200 m. Na konci osmdesátých let minulého století bylo pro měření protismykových vlastností povrchů vozovky postupně vyvinuto měřící zařízení TRT – Tatra Runway Tester (obrázek 29).



Obrázek 29 Zařízení TRT v původním provedení (vlevo) a zabudované do nosného vozidla FORD Transitzit (vpravo) [6]

Zařízení TRT bylo původně vyvíjeno pro měření součinitele podélného tření na letištních plochách. Teprve začátkem devadesátých let minulého století byla následně vyvinuta silniční verze zařízení TRT. Zařízení TRT mělo měřicí kolo umístěno v nosném vozidle. Jeho spouštění a zvedání, stejně jako přítlak k měřenému povrchu, bylo zajištěno hydraulickým systémem. Požívaný prokluz měřicího kola byl běžně 25 %, ale zařízení umožňovalo měření v rozsahu prokluzu 0–99 %. Návaznost na výsledky měření dynamometrickým přívěsem VÚD–2 byla zajištěna několikaletým porovnávacím měřením a stanovením přepočítacích vztahů. Následně byly výsledky dosavadních měření na dlouhodobě sledovaných úsecích přepočítány na úroveň výsledků měření zařízením TRT. Zařízení TRT bylo testováno Mezinárodní organizací civilního letectví (ICAO) v USA na dráze kosmodromu NASA (National Aeronautics and Space Administration) a má certifikaci pro měření letištních ploch. Konstrukce zařízení byla v době svého vzniku velmi moderní, v oboru měření povrchových vlastností ojedinělá, a dosud patří k nejlepším systémům v Evropě. Jeho velkou předností je, že v jednom pojezdu měří jak protismykové vlastnosti povrchů vozovek, tak i mezinárodní index nerovnosti IRI (International Roughness Index). Když nosné vozidlo Tatra 613 dosloužilo, bylo kompletní zařízení TRT zabudováno do vozidla Ford Transitzit (obrázek 29 vpravo), včetně motoru z Tatry 613. [6]

Další měřicí zařízení GripTester (GT) bylo do ČR zakoupeno v roce 2004. Zařízení GT (obrázek 30) slouží k měření protismykových vlastností povrchů vozovek. Výrobcem je skotská firma Findlay Irvine. Zařízení má dvě nosná kolečka, prostřední kolečko má speciální pneumatiku (speciální složení běhounu, bez vzorku), která je oproti „nosným kolečkům“ brzděna – skluz 15 %. Na tomto kolečku je také čítač impulzů, který slouží k měření ujeté vzdálenosti. Pod měřicí kolečko je dávkována voda, která vytváří souvislý vodní film o tloušťce 0,25 mm. Voda je dávkována dle rychlosti měření. Součinitel tření – Grip Number je na měřicím kolečku snímán tenzometry, které snímají vodorovnou a svislou sílu, ze které se Grip Number vypočítá. Dále jsou naměřená data přenášena do řídicí jednotky umístěné v kabině auta. V kabině sedí operátor, který hlídá rychlost pojezdu a zaznamenává orientační body potřebné k následnému vyhodnocení. Měřicí auto má v zadní části umístěna 3 tažná zařízení,

díky nimž je možné protismykové vlastnosti povrchů vozovek měřit v obou měřících stopách a také mezi stopami. V autě je také umístěn zásobník na vodu a dávkovací zařízení.



Obrázek 30 Zařízení GripTester, pohled na měřící kolo (vlevo) a při měření

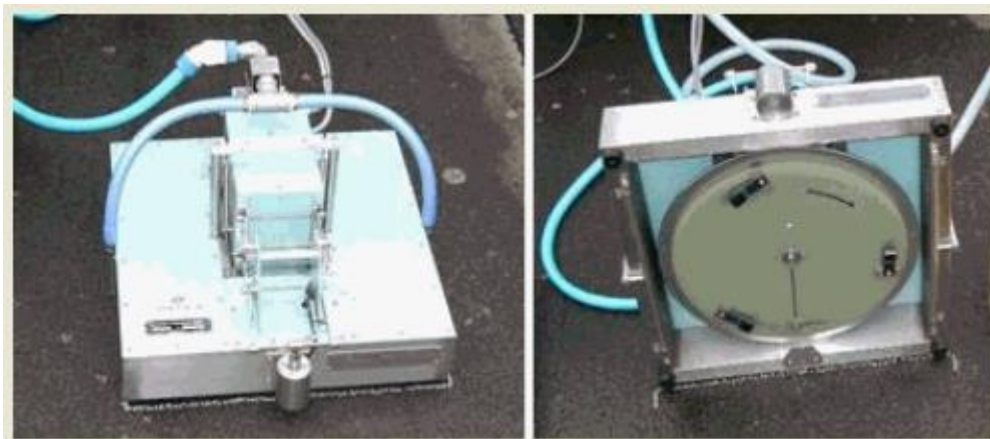
3.4.2 Tření

Dvě nejčastěji používané nepřímé metody na měření charakteristik tření vozovky v laboratoři nebo při nízkých rychlostech v terénu jsou kyvadlo TRRL (British Pendulum Tester BPT) a Dynamic Friction Tester (DFT). Obě tato zařízení měří třecí vlastnosti stanovením ztráty kinetické energie prokluzu kyvadla nebo rotujícího disku při kontaktu s povrchem vozovky. Ztráta kinetické energie je přeměněna na třecí sílu a tím na tření vozovky. Tato dvě měřící zařízení jsou přenosná a snadno ovladatelná. DFT má výhodu měření závislosti tření vozovky při různých rychlostech. [1]

Součástí kyvadla TRRL (Transport and Road Research Laboratory) je třecí patka ze standardní pryže, upevněná na konci ramene kyvadla a přitlačována ke zkoušenému povrchu pomocí pružiny. Po uvolnění ramene kyvadla z vodorovné polohy se zjišťuje ztráta kinetické energie způsobená pohybem třecí patky po zkoušeném povrchu, což se projeví v délce kyvu na kalibrované stupnici kyvadla. [8] Zkušební podmínky byly vybrány tak, aby hodnoty odečítané na kalibrované stupnici přístroje odpovídaly hodnotě protismykových vlastností SRV (Skid Resistance Value) vzorkované pneumatiky při rychlosti 30 mil/hod (48 km/h). Kyvadlo TRRL hodnotí plochu povrchu vozovky, která většinou nezohledňuje hloubku textury. Proto hodnoty koeficientu bočního tření SFC a koeficientu brzdící síly BFC nemusí korelovat s hodnotou SRV. Hlavními výhodami měřícího zařízení jsou přenositelnost a jednoduchost. [7]

Zařízení Dynamic Friction Tester (DFT) pracuje na principu měření točivého momentu, který otáčí třemi malými pryžovými patkami po kruhové dráze na měřeném povrchu při různých rychlostech (obrázek 31). Skládá se z vodorovného otáčejícího se disku se třemi odpruženými pryžovými patkami

a zařízení na dávkování vody. Rozsah rychlosti je obvykle od 5 km/h do 90 km/h. Výstupem měření je graf koeficientu tření jako funkce rychlosti skluzu. [29]



Obrázek 31 Zařízení Dynamic Friction Tester [29]

Vysokorychlostní měření protismykových vlastností povrchů vozovky využívají jednu nebo dvě měřicí pneumatiky pro určení vlastnosti tření vozovky v jednom nebo čtyřech režimech: blokové kolo, boční tření, pevný prokluz nebo proměnný prokluz. Nejvíce používanou metodou v USA je blokové kolo, které je určeno k měření tření povrchu při nouzovém brzdění vozidla bez ABS. Na rozdíl od metody bočního tření a pevného skluzu, má blokové kolo při rychlosti skluzu rychlost vozidla, což znamená, že pneumatika je blokována a nemůže se otáčet. [1]

Výsledky zkoušky blokováného kola jsou zaznamenány jako číslo tření FN (Friction Number) nebo SN (Skid Number), které je vypočítáno z následujících rovnic:

$$FN(V) = 100 \cdot \mu = 100 \cdot \frac{F}{W} \quad (9)$$

Kde V rychlost měřicí pneumatiky [km/h],
 μ součinitel tření [-],
 F tažná horizontální síla působící na kolo [N],
 W svislé zatížení působící na kolo [N]. [1]

Zkouška blokováného kola obvykle pracuje při rychlosti 64 km/h až 96 km/h. Měření lze provádět hladkou nebo žebrovanou pneumatikou. Žebrovaná pneumatika na rozdíl od hladké není citlivá na tloušťku vodního filmu, a proto téměř nezohledňuje vliv makrotextury vozovky. [1]

Metoda boční síly určuje schopnost vozidla udržet stabilitu ve směrových obloucích. Koeficient boční síly SFC se počítá následovně:

$$SFC(V, \alpha) = 100 \cdot \frac{F_s}{W} \quad (10)$$

Kde V rychlost měřicí pneumatiky [km/h],

α	úhel otočení [°],
F_s	boční třecí síla [N],
W	svislé zatížení působící na pneumatiku [N]. [1]

Zařízení s pevným skluzem simulují vozidlo vybavené ABS. Tato zařízení udržují konstantní prokluz, zpravidla mezi 10 % a 20 %, zatímco svislé zatížení působí na měřicí pneumatiku. Třecí síla je měřena ve směru jízdy mezi pneumatikou a vozovkou a poměr skluzu se počítá následovně:

$$\text{poměr skluzu} = \frac{V - r_e \cdot \omega}{V} \cdot 100 \quad (11)$$

Kde poměr skluzu poměr rychlosti skluzu ke zkušební rychlosti [%],

V rychlost vozidla, měřicí pneumatiky [m/s],

r_e efektivní valivý poloměr [m],

ω úhlová rychlost měřicí pneumatiky [rad/s]. [1]

Tato zařízení jsou více citlivá na mikrotexturu kvůli nízké rychlosti skluzu.

Zařízení s proměnným skluzem měří třecí sílu předem stanoveným souborem poměrů skluzu. [1]

3.4.3 Zhodnocení zkušebních zařízení na měření tření povrchu vozovky

Existuje velké množství dynamických měřicích zařízení, která se používají k určení protismykových vlastností povrchů vozovky. Jejich principem je měřicí kolo vedené po vozovce, které je brzděno nebo nakloněno od podélného směru, čímž dochází ke skluzu mezi pneumatikou měřicího kola a vozovkou. Zjišťuje se odpor kola při dané rychlosti. Stopa měřicího kola se vlhčí vodou, přičemž většina měřicích zařízení tvoří vodní film o velikosti 0,5 mm. Zařízení se liší typem a velikostí měřicí pneumatiky, velikostí přítláčné síly a velikostí skluzu měřicího kola.

Od počátku měření tření se téměř v každém státě vyvinulo měřicí dynamické zařízení, které sledovalo vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek na daném území. Proto vzniklo nejen v Evropě ale i ve světě mnoho pokusů o sjednocení měřicích hodnot součinitele tření. Výsledkem jsou indexy IFI (International Friction Index), EFI (European Friction Index) a SRI (Skid Resistance Index) (viz kapitola 3.5.2. až 3.5.5.).

Zařízení měřící tření za plné rychlosti jsou popsána a zobrazena v tabulce 2.

Tabulka 2 Přehled zkušebních metod tření za provozu [1]

Zkušební metoda	Zařízení		
Blokované kolo		Švédský Skiddometer BV 11 (obr. vlevo) Německý Stuttgarter Reibungsmesser SRM SRT-3 (obr. vpravo)	
Boční síla		Britský Mu-Meter (obr. vpravo) Britský SCRIM Německý SKM Rakouský RoadSTAR (obr. vlevo)	
Pevný prokluz		ASFT (obr. vlevo) Saab Britský GripTester (obr. vpravo) Finský BV-11 ROAR	
Proměnný prokluz		České TRT (obr. vlevo) Francouzský IMAG Norský RUNAR (obr. vpravo) Systémy ROAR a SALTAR	

3.4.4 Makrotextura

Pro měření textury se používají metody bodového měření a kontinuálního měření za provozu. Pro vyhodnocení se v Evropě běžně používají evropské normy, jak je uvedeno v tabulce 3.

3.4.4.1 Bodová měření makrotextury

Bodová zařízení měřící makrotexturu vyžadují uzavření jízdního pruhu. Mezi tyto metody patří měření hloubky makrotextury odměrnou metodou MTD (anglický výraz – SPM Sand Patch Method), výtoková metoda OT_P (anglický výraz – OFM Outflow Meter) a metoda CTM (Circular Texture Meter). [1]

Tabulka 3 Zkušební metody pro posouzení makrotextury [24]

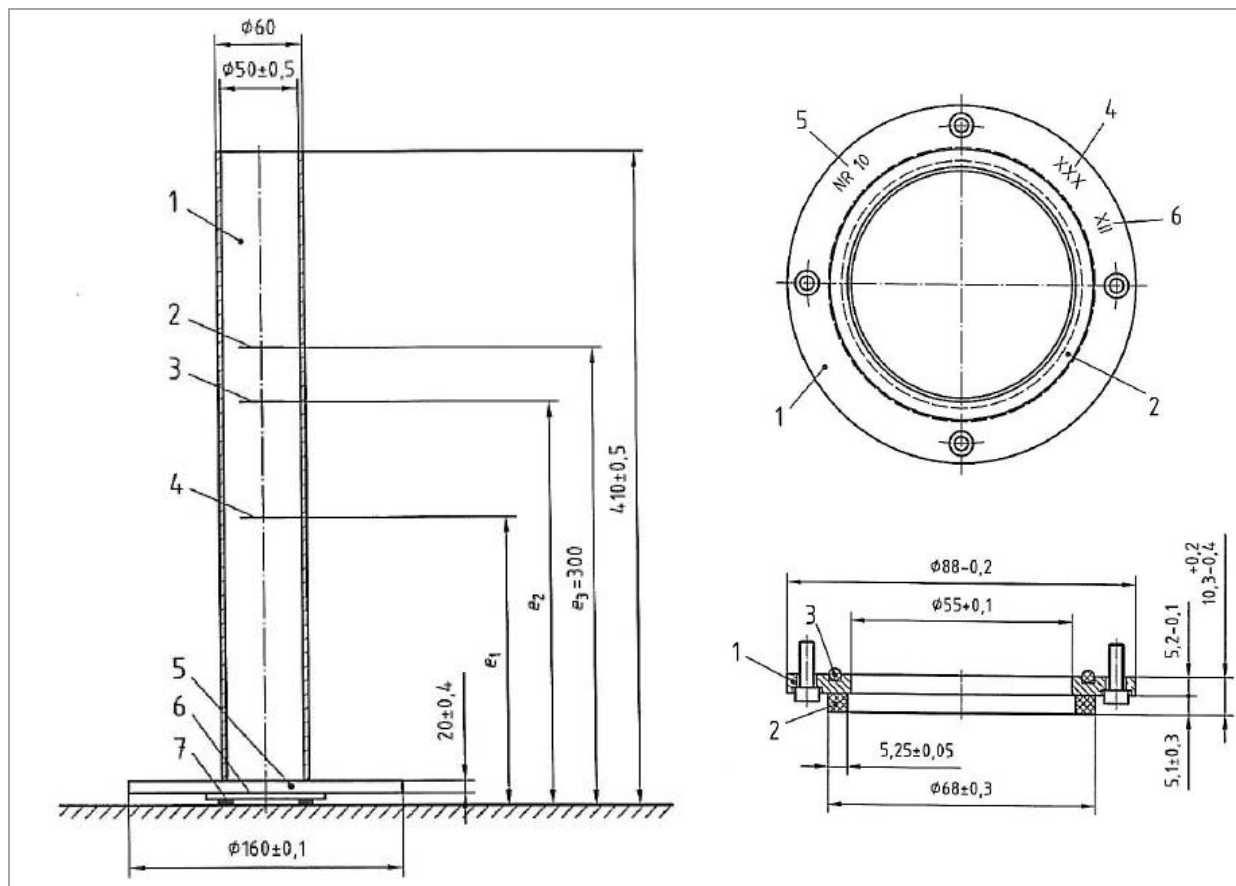
Zkušební metody		Rozsah platnosti (vyjádřený jako průměrná hloubka profilu, MPD)
EN 13036-1	Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou	0,25 mm až 5 mm
ISO 13473-1	Stanovení průměrné hloubky profilu (MPD)	0 mm až 5 mm
EN 13036-3	Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky	0 mm až 0,4 mm

Hloubky makrotextury odměrnou metodou MTD je lokální objemová zkušební metoda, která hodnotí makrotexturu povrchu vozovky rozprostřením známého množství skleněných kuliček (balotiny) do kruhu na čistý povrch a měřením průměrů kruhu. Postup zkoušky je popsán v kapitole 3.8.3. [1]

Hodnota OT_P je údaj, který se zjistí výtokovou metodou a udává se v sekundách. Jedná se o objemovou zkušební metodu, která měří drenážní vlastnosti relativně hladkých povrchů, kdy se napodobuje odvádění vody z povrchu kontaktní plochy pneumatiky s vozovkou. Na povrch se umístí výtokoměr, naplní se vodou a zaznamenává se doba, za kterou hladina vody poklesne z úrovně horní značky na úroveň spodní značky. Výtokoměr se skládá z pevného průhledného plastového válce o výšce 400 mm a vnitřního průměru 50 mm, který je nalepen na mosazný zatěžovací prstenec. Mosazný nosný prstenec s přesným pryžovým kroužkem musí být sešroubován se spodní stranou zatěžovacího prstence. Celková hmotnost výtokoměru je 3500 g. Kalibrace se provádí na rovné skleněné tabuli, kdy po dobu 5 minut nesmí klesnout hladina vody. Na délce 25 m musí být změřeno nejméně 10 hodnot. Celá spodní část výtokoměru se ponoří do vody, aby se navlhčil pryžový kroužek, který se pak postaví na zkušební povrch. Výtokoměr se naplní pitnou vodou a změří se čas, za který hladina vody poklesne z úrovně horní značky na úroveň spodní značky. Výsledná hodnota OT_P je průměr výsledků ze zkušebních míst. Vysoká hodnota OT_P značí hladký uzavřený povrch a nízká hodnota OT_P naopak hrubý drenážní povrch. [24]

Popis obrázku 32:

- Výtokoměr (1 pevný průhledný plast, 2 horní značka, 3 prostřední značka, 4 spodní značka, 5 mosazný zatěžovací prstenec, 6 mosazný nosný prstenec, 7 pryžový kroužek),
- Nosný prstenec (1 nosný prstenec, 2 přesný pryžový kroužek, 3 těsnění, 4 značka výrobce, 5 číslo série, 6 datum skončení životnosti).



Obrázek 32 Výtokoměr a jeho nosný prstenec [24]

Zařízení CTM je bezkontaktní laserové zařízení, podobné zařízení Dynamic Friction Tester (DFT), měřící profil povrchu vozovky v kruhových dráhách o průměru 286 mm ve vzdálenostech 0,868 mm po obvodu. Laserový snímač se otáčí přibližně 76 mm nad povrchem rychlostí 6 m/min a tvoří profil stopy povrchu, který je přenášén a uložen v přenosném počítači. Z profilu se mohou vypočítat dvě různé hodnoty makrotextury – MPD (Mean Profile Depth) a RMS (Root Mean Square). MPD je dvojrozměrný odhad třidimenzionálního MTD vyjadřující průměr nejvyšších vrcholů profilu vyskytujících se v osmi samostatných částech tvořících měřený kruh. RMS je statistická hodnota, která vyjadřuje, jak moc se měřený profil odchyluje od modelového profilu. [1, 29]



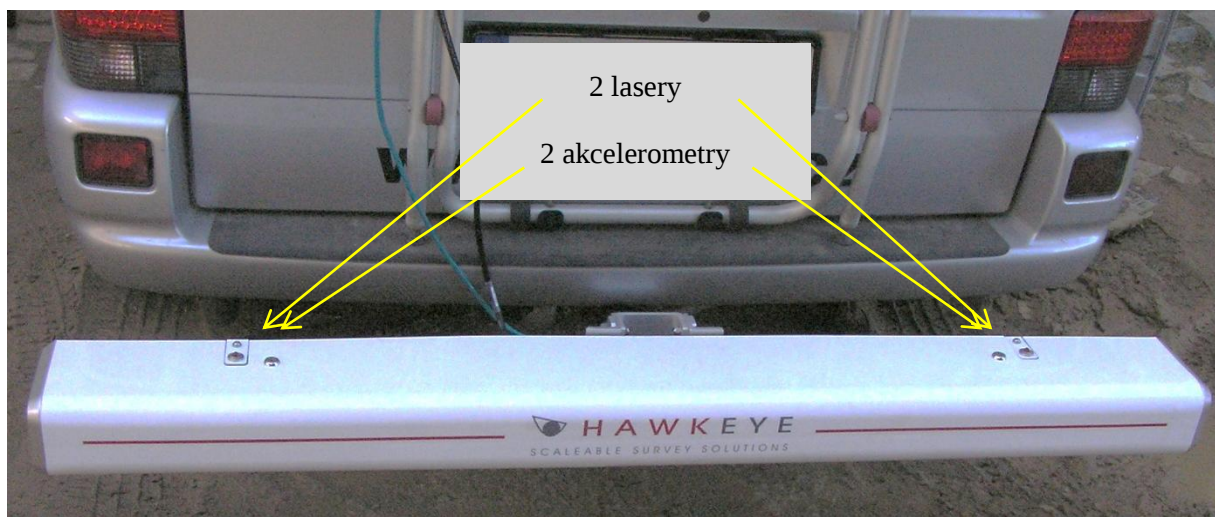
Obrázek 33 Zařízení CTM [29]

3.4.4.2 *Kontinuální měření makrotextury*

Vysokorychlostní metody na charakterizaci povrchu vozovky jsou obvykle založeny na bezkontaktním profilování. Příkladem těchto zařízení jsou vozidla ARAN (Automatic Road Analyzer) a ARGUS (Automatic Road Condition Graduating Unit System), která byla nebo jsou v ČR provozována v rámci Systému hospodaření s vozovkou.

Vzorkovací interval nesmí být větší než 1 mm. Profil se rozdělí na 100 mm úseky, ve kterých se určí dvě špičkové hladiny ve stejných polovinách a ty se zprůměrují. Průměrná hloubka profilu (MPD) pro každý jednotlivý profil je určena jako aritmetický průměr dvou špičkových hladin minus průměrná hladina profilu (viz obrázek 19). [25]

Dalším provozovaným zařízením je australský systém Hawkeye 1000, který provozuje výzkumná skupina v rámci projektu AdMaS (Advanced Materials, Structures and Technologies). Systém má volitelný počet laserů, kterými lze měřit mezinárodní index nerovnosti IRI, podélný profil, průměrná hloubka profilu MPD i SMTD (Sensor Measured Texture depth). Dalším příslušenstvím jsou digitální kamera, GPS a akcelerometr, které umožňují měření vzdáleností na mapě i v obrázcích z videa. [37]



Obrázek 34 Lišta Hawkeye 1000 se zabudovanými laserovými snímači

3.5 Indexy tření

Indexy tření se používají už dlouhou dobu. V roce 1965 ASTM (American Society for Testing and Materials) začalo používat Skid Number (SN) jako alternativu koeficientu tření. Později AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) přijalo tuto metodu a změnilo terminologii SN na Friction Number (FN). V devadesátých letech vyvinul PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) Mezinárodní index tření (IFI – International Friction Index) založený na mezinárodní harmonizaci. Používání indexu tření umožnilo harmonizaci různě citlivých principů měření tření mikrotextury a makrotextury.

3.5.1 Friction number

FN nebo SN je hodnota měřená zablokovaným kolem reprezentující průměrný koeficient tření na testovaném úseku. Je vypočítána pomocí rovnice (9). Vykazované hodnoty jsou v rozsahu 0 až 100, kde 0 představuje žádné tření a 100 úplné tření.

Hodnoty FN jsou všeobecně určeny podle rychlosti, při které se zkouška provádí, a podle typu použité pneumatiky. Např. FN40R = 36 (hodnota tření je 36, měřená při rychlosti 40 mil/hod a s žebrovanou pneumatikou; ribbed = žebrovaný dezén, smooth = hladká pneumatika).

3.5.2 International Friction Index IFI

PIARC sponzoroval v roce 1992 mezinárodní harmonizaci, do které se zapojilo 16 států. Experiment zahrnoval 54 míst v Belgii a ve Španělsku (všechny běžné povrchy včetně nátěrů a drenážních protismykových vrstev) a 51 různých měřících systémů. Vyhodnoceny byly různé typy měřících zařízení jako blokové kolo, pevný skluz, ABS, proměnný skluz, boční síla, kyvadlo a některé prototypy. Textura povrchu byla měřena pískem, profilometry laserem, opticky a výtokovou metodou. [13]

Hlavním výsledkem byl vývoj indexu IFI. IFI standardizuje závislost tření na rychlosti prokluzované pneumatiky. Závislost tření na relativní rychlosti automobilové pneumatiky se vyjadřuje sklonem hodnot tření měřených pod a nad rychlostí 60 km/h, které jsou uvedeny jako hodnota exponenciálního modelu indexu IFI. Sklon je nazýván S_p (Speed Number) a bývá v rozsahu 1 km/h až 500 km/h.

Experiment PIARCu potvrdil, že S_p vyjadřuje míru vlivu makrotextury na tření mokrého povrchu na rychlosti skluzu pneumatiky. Makrotextura má hlavní podíl na vlastnostech, které mají vliv na bezpečnost tření. Nejznámějším důvodem je drenážní schopnost, kterou makrotextura má během nebo po dešti. Tato schopnost minimalizuje nebezpečí aquaplaningu. Opotřebování nebo vyhlazení makrotextury může být interpretováno z hodnoty S_p , která se časem mění. [1, 13]

IFI je složený ze dvou parametrů – $F(60)$ a S_p a je založený na matematickém modelu koeficientu tření jako funkce rychlosti skluzu a makrotextury. S_p a $F(60)$ jsou počítány z následujících rovnic:

$$S_p = a + b \cdot TX \quad (12)$$

Kde S_p sklon IFI,

a, b konstanty závislé na použité metodě na měření makrotextury,

MPD: $a=14,2$ a $b=89,7$

MTD: $a=-11,6$ a $b=113,6$

TX měření makrotextury MPD nebo MTD [mm].

$$FR(60) = FR(S) \cdot e^{\left(\frac{S-60}{S_p}\right)} \quad (13)$$

Kde $FR(60)$ upravená hodnota měření tření $FR(S)$ při rychlosti skluzu S na rychlost 60 km/h,

$FR(S)$ hodnota tření při vybrané rychlosti skluzu S ,

S rychlost skluzu [km/h].

$$F(60) = A + B \cdot FR(60) + C \cdot TX \quad (14)$$

Kde $F(60)$ IFI získané z korelace rovnice (14),

A, B konstanty závislé na měřicím zařízení,

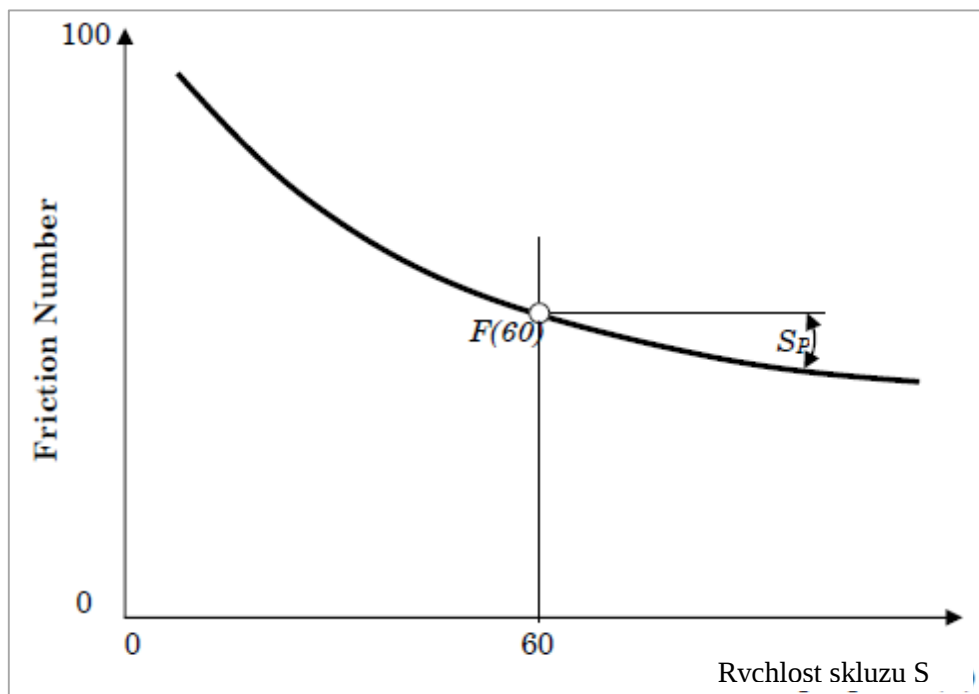
C konstanta pro měření používající hladkou pneumatiku.

Předchozí rovnice může být používána na nastavení měření prováděných při jiných rychlostech než standardních (64 km/h) a na výpočet FN40:

$$FN(S) = FN_V \cdot e^{\frac{S-V}{S_p}} \quad (15)$$

Měření při nízkých rychlostech, např. 32 km/h nebo jedno měření při vysoké rychlosti 96 km/h, může být tak upravena na FN40 nastavením $S = 64$ km/h a V měřicí rychlostí (32 km/h nebo 96 km/h).

Použití IFI k odhadu hodnoty tření při jakékoliv rychlosti je znázorněno na obrázku 35. Hodnoty S_p a $F(60)$ stačí ke stanovení jakékoliv hodnoty tření při jiné rychlosti.



Obrázek 35 Model indexu IFI [1]

Hodnota S_p povrchu vozovky může být měřena zařízením, které měří makrotexturu. S_p lze získat i minimálně dvěma měřeními povrchu při různé rychlosti stejným vozidlem. Některá zařízení měří zároveň obě třecí síly i makrotexturu. [1]

3.5.3 European Friction Index EFI

V letech 1997–1998 byly provedeny další analýzy a testy ke srovnání měřících zařízení na protismykové vlastnosti povrchů vozovek. Cílem bylo přizpůsobit definici IFI zařízením používaných v Evropě a aktualizovat nově používané povrchy vozovek. Výsledkem byl návrh indexu EFI. Návrh používá průměr všech používaných zařízení k definici společné stupnice a používá matematické modely, které zohledňují vliv textury a rychlosti. Aby systém účinně fungoval, znamená to pravidelnou kalibraci jednotlivých zařízení a ustanovení pro nová měřící zařízení. Hlavní rozdíl mezi IFI a EFI je, že EFI používá jako referenční rychlost skluzu 30 km/h místo 80 km/h. V roce 1998 skupina CEN/TC227/WG5 podala návrh na prEN 13036-2, která popisuje Skid Resistance Index místo EFI (kapitola 3.5.4). [2]

EFI je definován jako:

$$EFI = A + B \cdot F_{30} \quad (16)$$

$$\text{kde} \quad F_{30} = F \cdot e^{\frac{S-30}{S_0}} \quad (17)$$

$$S_0 = a + b \cdot MPD \quad (18)$$

V praxi jsou parametry A, B specifické pro měřící zařízení, ale koeficienty a, b použité v modelu PIARC byly nahrazeny pevnými hodnotami pro MPD nebo MTD:

$$S_0 = 57 + 56 \cdot MPD \quad (19)$$

$$S_0 = 43 + 70 \cdot MTD \quad (20)$$

Zvolené modely analýzy se nehodily na měřící zařízení GripTester, které má pravděpodobně malý rozsah rychlosti skluzu, a narušovalo tak celý proces kalibrace k referenční rychlosti. [2]

3.5.4 Skid Resistance Index SRI

Stanovení společného indexu protismykových vlastností (SRI) z výsledků měření součinitele tření prováděného různými měřícími zařízeními a doplňkového měření makrotextury se vypočítá pomocí následujících rovnic. [14]

Měřením se zjistí hodnota součinitele tření (F , bezrozměrná) a skutečná rychlost skluzu (S , v km/h).

Rychlost skluzu (S) se odvodí z měřící rychlosti (V) pomocí následujícího vzorce v závislosti na postupu zkoušky použitého zařízení:

- Pro měření součinitele podélného tření: $S = V \cdot \text{poměr skluzu}$

Poznámka 1 Pro systémy se zablokováním měřícím kolem je poměr skluzu roven jedné.

- Pro měření součinitele bočního příčného tření: $S = V \cdot \sin(\text{úhel odklonu})$

Poznámka 2 Úhel odklonu je úhel tvořený ekvatoriální rovinou kola a směrem jízdy vozidla. [14]

Měřením makrotextury se zjistí střední hloubka profilu (MPD) zkušebního úseku podle ČSN EN ISO 13473-1. Toto je preferovaná metoda. Není-li k dispozici odpovídající profilometr, lze makrotexturu měřit pomocí odměrné metody podle ČSN EN 13036-1, kterou se zjistí střední hloubka textury zkušebního úseku (MTD, v mm). [14]

$$SRI = B \cdot F \cdot e^{\frac{S-30}{S_0}} \quad (21)$$

$$S_0 = a \cdot MPD^b \quad (22)$$

Kde F naměřený součinitel tření při rychlosti skluzu S v km/h [-],

a, b a B parametry specifické pro použité zařízení měřící součinitel tření.

Hodnoty MPD lze odhadnout z MTD pomocí vzorce [14]:

$$MPD = (5 \cdot MTD - 1)/4 \text{ pro } MTD > 0,2 \quad (23)$$

$$MPD = 0 \text{ pro } MTD < 0,2 \quad (24)$$

3.5.5 Vztahy indexů

Bylo provedeno mnoho studií na korelaci různých měřících metod tření a textury. Zjištěné korelace jsou důležité při určování vlivu mikrotextury a makrotextury na tření mezi pneumatikou a vozovkou. [1]

3.5.5.1 Mikrotextura

V současné době není žádná přímá metoda na měření mikrotextury. Z tohoto důvodu se používá náhradní zařízení. V minulosti se nejčastěji používalo kyvadlo TRRL (kapitola 3.8.1), které zjistí hodnotu tření za mokra při nízké rychlosti. Novější zkušební zařízení je DFT (kapitola 3.4.2), které měří tření v závislosti na rychlosti skluzu v rozsahu 0 km/h až 90 km/h. Zařízení DFT při rychlosti 20 km/h se používá ve světě více, jako náhrada hodnoty PTV. [1]

3.5.5.2 Makrotextura

Základní indexy používané na charakterizaci makrotextury jsou MTD a MPD. Změny mezi jednotlivými parametry umožňují následující rovnice:

Odhad MTD (Estimated Mean Texture Depth) odvozený z měření MPD (kapitola 3.4.4.2.):

$$ETD = 0,80 \cdot MPD + 0,20 \quad (25)$$

Odhad MTD odvozený z měření MPD získaným metodou CTM (kapitola 3.4.4.1):

$$ETD = 0,947 \cdot MPD + 0,069 \quad (26)$$

Odhad MTD odvozený z měření OT_p pomocí výtokoměru (kapitola 3.4.4.1):

$$ETD = \frac{3,114}{OT_p} + 0,656 \quad (27)$$

3.5.5.3 Tření (mikrotextura a makrotextura)

Prokázalo se, že při použití kombinace hladké a žebrované pneumatiky lze předvídat FN při vyšších rychlostech z mikrotextury a makrotextury. Vztahy (rovnice (28) až rovnice (30)) jsou založeny na měření makrotextury odměrnou metodou (MTD), příp. PTV pro mikrotexturu. Podobné rovnice mohou být stanoveny na základě jiných metod měření (MPD u makrotextury a DFT(20) u mikrotextury). IFI umožňuje řešení pomocí následujících rovnic:

$$PTV = 20 + 0,405 \cdot FN40R + 0,039 \cdot FN40S \quad (28)$$

$$MTD = 0,039 - 0,0029 \cdot FN40R + 0,0035 \cdot FN40S \quad (29)$$

Kde	PTV	hodnota kyvadla TRRL [-],
	FN40R	FN při 64 km/h s žebrovanou pneumatikou [-],
	FN40S	FN při 64 km/h s hladkou pneumatikou [-],
	MTD	střední hloubka textury [mm]. [1]

Soustava rovnic ukazuje, že PTV je řádově více závislé na žebrované pneumatice než na hladké. Naopak je to u makrotextury. [1]

$$FN40R = 1,19 \cdot FN40S - 13,3 \cdot MTD + 13,3 \quad (30)$$

Měření tření s hladkou pneumatikou a měření textury za účelem stanovení IFI může být použito pro předpověď FN40R. Nicméně, PTV není příliš reprodukovatelné a rovnice jsou platné jen pro korelované kyvadlo. Proto byly vytvořeny i následující rovnice [1]:

$$FNS = 15,5 \cdot MPD + 42,6 \cdot DFT(20) - 3,1 \quad (31)$$

$$FNR = 4,67 \cdot MPD + 27,1 \cdot DFT(20) + 32,8 \quad (32)$$

A korelace FN40R jako funkce FN40S a MPD je:

$$FN40R = 0,735 \cdot FN40S - 1,78 \cdot MPD + 32,9 \quad (33)$$

3.6 Vývoj kritérií pro protismykové vlastnosti povrchů vozovek

Protismykové vlastnosti povrchů vozovky se v průběhu životnosti obrusné vrstvy zatěžováním a klimatickými účinky výrazně mění a jejich pokles vede ke zvyšování nehodovosti. K omezení vlivu na nehodovost se musí stanovit prahové hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek pro převzetí nových vrstev a pro provádění údržby a oprav. Na druhé straně je třeba hledat takové materiály, které protismykové vlastnosti povrchů vozovek a dobu jejich životnosti ovlivní a prodlouží.

C. G. Giles vydal v padesátých letech 20. století ve Velké Británii kritéria protismykových vlastností povrchů vozovek různých typů pozemních komunikací na základě detailních měření míst, kde byly hlášeny dopravní nehody se smykem za mokra. Nalezl prahové hodnoty koeficientu bočního tření SFC, na površích s nižšími hodnotami se pravděpodobnost nehody se smykem výrazně zvyšovala. Tato kritéria v roce 1968 upravila a zjednodušila B. E. Sabey. Její doporučení byla přijata Marshallovým výborem v roce 1970 jako cílové hodnoty protismykových hodnot povrchů, které povedou k přípravě údržby a jsou uvedeny v tabulce 4. [7] Tabulky 5 až 7 dokumentují vyšetřované úrovně tření (Investigatory level IL) v závislosti na umístění úseku v dalších zemích. Pokud měřená hodnota tření klesne pod IL, má dojít k bližšímu šetření, zda je potřeba např. umístit varovné značky, a provést podrobnější analýzu dat o měření a dopravních nehodách a rozhodnout o naléhavosti údržby nebo opravy daného úseku.

Tabulka 4 Kategorie míst a požadované hodnoty SFC přijaté Marshallovým výborem [7]

Kategorie místa	Typ místa	Měřicí rychlost km/h (mil/hod)	Koeficient bočního tření SFC
A	Okružní křižovatky Oblouky s poloměrem menším než 150 m na směrově nerozdělené silnici Podélné sklony 5 % (1:20) nebo větší nebo delší než 100 m Příjezdy ke světelně řízeným křižovatkám na směrově nerozdělených silnicích	50 (30)	0,55
B	Silnice přesahující rychlost vyšší než 95 km/h Páteřní a hlavní silnice a další s více než 200 vozidly za den na místních komunikacích (součet za oba směry)	50 (30) 80 (50)	0,50 0,45
		50 (30)	0,50
C	Přímé silnice s mírnými stoupáními a oblouky bez křižovatek a bez nějakého prvku, jako je smíšená doprava	50 (30)	0,40

Tabulka 5 Požadované úrovně tření pro různé kategorie (Nový Zéland, 2002) [1]

Kategorie	Definice místa	Vyšetřovaná úroveň tření (SFC)
1	Příjezdy k železničním přejezdům, světelně řízené křižovatky, přechody pro chodce, křižovatky, jednopruhové mosty	0,55
2	Směrové oblouky < 250 m, podélný sklon > 10 %	0,50
3	Příjezdy ke křižovatkám, podélné sklony 5 až 10 %, mimoúrovňové křižovatky včetně ramp	0,45
4	Směrově nerozdělené komunikace	0,40
5	Směrově rozdělené komunikace	0,35

Tabulka 6 Požadované úrovně tření pro různé kategorie (VicRoads, 1996) [1]

Kategorie místa	Popis místa	Vyšetřovaná úroveň tření (SFC50)	
		Primární a sekundární silnice > 2500 vozidel/den v jízdním pruhu	Sekundární silnice < 2500 vozidel/den v jízdním pruhu
1	Světelně řízené křižovatky Přechody pro chodce Železniční přejezdy Příjezdy k okružním křižovatkám	0,55	0,50
2	Směrové oblouky s poloměrem ≤ 250 m Podélné sklony ≥ 5 % a delší než 50 m Rampy mimoúrovňových křižovatek	0,50	0,45
3	Křižovatky	0,45	0,40
4	Směrově nerozdělené silnice	0,40	0,35
5	Směrově rozdělené silnice	0,35	0,30
		Vyšetřovaná úroveň (SFC20)	
6	Směrové oblouky s poloměrem ≤ 100 m	0,60	0,55
7	Okružní křižovatky	0,55	0,50

Tabulka 7 Kategorie poptávky tření používané v Marylandu (2003) [1]

Kategorie místa	Popis místa	Potřebná hodnota FN	Vyžadovaná kategorie
1	Příjezd k železničním přejezdům, světelně řízeným křižovatkám, přechodům pro chodce, okružním křižovatkám, křižovatkám	55	Vysoká
2	Směrové oblouky s poloměrem < 250 m, podélné sklony > 10 %, rampy mimoúrovňových křižovatek delší než 50 m	50	Vysoká
3	Příjezdy ke křižovatkám, podélné sklony 5 až 10 %	45	Vysoká
4	Směrově nerozdělené silnice	40	Nízká
5	Směrově rozdělené silnice	35	Nízká

Poznámka: Kategorie jsou založeny na postupu vyvinutém VicRoads v Austrálii, který byl adaptován pro USA.

Výzkum ve Velké Británii (viz kapitola 3.2) vedl k jinému pohledu na stanovení požadavků odolnosti proti smyku na definovaných kategoriích, jak je vidět z tabulky 8, požadavky nejsou definovány pevně, ale rozpětím hodnot. Nižší, tmavě vybarvené hodnoty odolnosti proti smyku slouží jako základní požadavky pro většinu komunikací. Vyšší požadavky musí být stanoveny tam, kde to místní podmínky vyžadují, např. místa s vysokou intenzitou dopravy. Tento výzkum byl inspirací k revizi českých předpisů na protismykové vlastnosti povrchů vozovek. [48]

Tabulka 8 Kategorie míst ve Velké Británii (2004) a vyšetřované úrovně tření (IL) [48]

Kategorie a definice míst		IL (Investigatory level) při 50 km/h							
		0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
A	Dálnice								
B	Směrově rozdělené komunikace								
C	Směrově nerozdělené komunikace								
Q	Příjezdy k malým a velkým křižovatkám a ke kruhovému objezdu, plochy křižovatek								
K	Příjezdy k přechodům pro chodce a další riskantní místa								
R	Okružní křižovatky								
G1	Podélný sklon 5 až 10 % delší než 50 m								
G2	Podélný sklon nad 10 % delší než 50 m								
S1	Poloměr směrového oblouku < 500 m - směrově rozdělené								
S2	Poloměr směrového oblouku < 500 m - směrově nerozdělené								

Poznámky:

- IL odolnosti proti smyku je průměrná hodnota na odpovídající délce úseku.
- IL pro kategorie A, B a C platí pro 100 m dlouhý úsek (někdy 50 m) nebo na délku úseku, když je kratší.
- IL pro kategorie Q, K, G a S se průměrují po 50 m s ohledem na funkci, ale mohou se i prodloužit.
- IL pro kategorii R je založen na 10 m úsecích.
- Zbytky úseků kratší než polovina průměrované sekce se připojují k předcházející sekci.

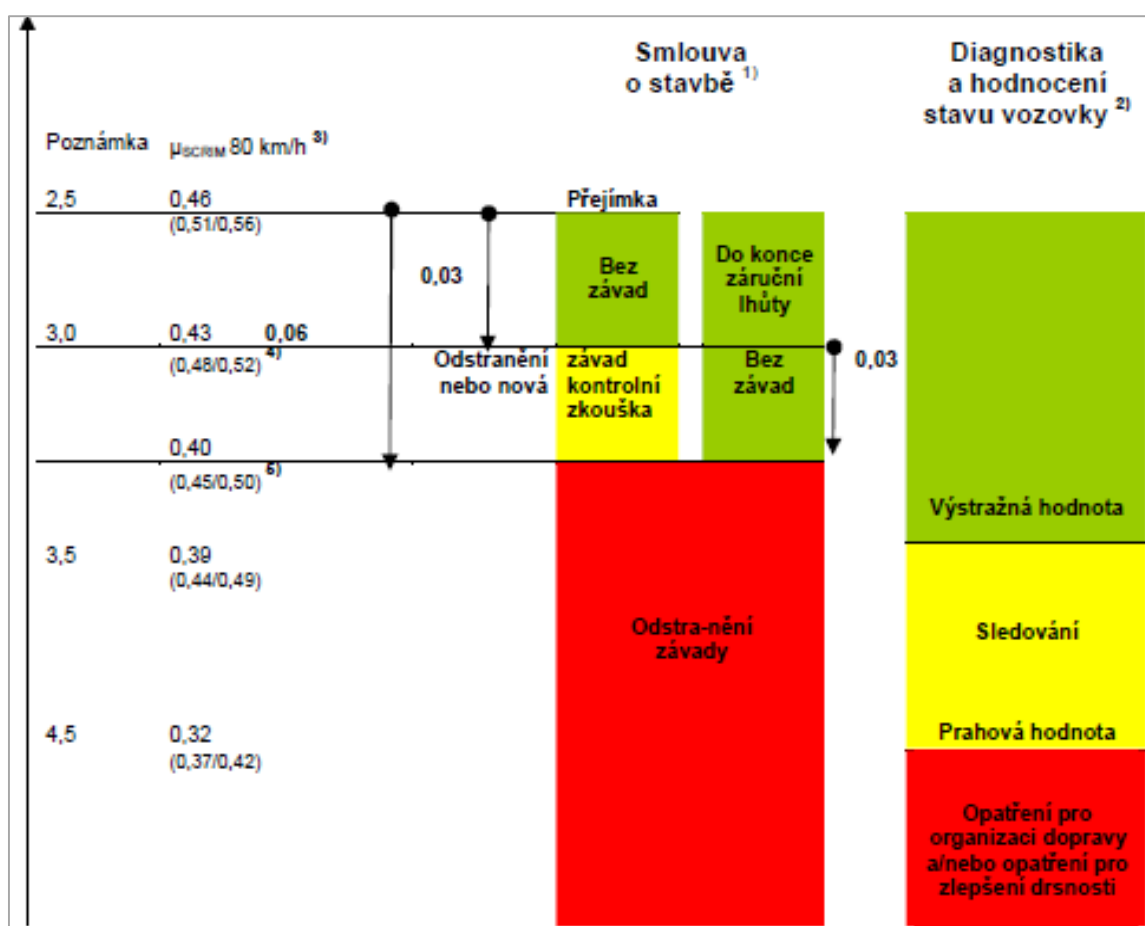
Pro měření se používá dvou zařízení – SCRIM (viz obrázek 26) a RoadSTAR (viz obrázek v tabulce 2), hodnocení vychází z německé pětistupňové klasifikační stupnice. [48]

Následující tabulka 9 a obrázek 36 dokumentují požadavky na protismykové vlastnosti povrchů vozovek v sousedních státech – Rakousku a Německu.

Tabulka 9 Požadavky na protismykové vlastnosti povrchů vozovek v Rakousku [48]

	Ocenění stavu	Součinitel bočního tření	
		SCRIM	RoadSTAR
		v=80km/h	v=60km/h
Cílová hodnota	1,5	0,53	0,75
Úbytková hodnota	2,5	0,46	0,59
Zaručená hodnota	3,0	0,43	0,52
Varovná hodnota	3,5	0,39	0,45
Mezní hodnota	4,5	0,32	0,38

Předpis FGSV 401 (Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen) z roku 2003: Požadavky na koeficient bočního tření, které je nutno v rámci smlouvy o stavbě prokázat měřicí metodou SCRIM při přejímce a na konci záruční lhůty pro reklamaci a hodnocení závad, jsou na obrázku porovnány s hodnotami zjištěnými při diagnostice a hodnocení stavu vozovky. [43, 48]

**Obrázek 36 Požadavky na koeficient bočního tření u měřicí metody SCRIM z července 2003 (Německo) [43]**

Poznámky:

- ¹⁾ doplňující technické smluvní podmínky a směrnice pro stavbu asfaltových krytů vozovek,
- ²⁾ informační list pro hodnocení protismykových vlastností za vlhka, vydání 2003,
- ³⁾ hodnoty v závorkách pro rychlosti měření 60 km/h podle Všeobecného oběžníku pro silniční stavitelství ARS 24/2003 ze dne 7. července 2003,
- ⁴⁾ při přejímce: 0,53,
- ⁵⁾ na konci záruční lhůty: 0,49.

3.7 Trvanlivost protismykových vlastností povrchů vozovek

Nejdůležitějším požadavkem na povrchy vozovek z hlediska bezpečnosti silničního provozu je dlouhodobá trvanlivost povrchových vlastností. Toto je téma, kterému bylo v rámci disertační práce věnováno nejvíce měření.

Mikrotextura hraje důležitou roli u vzniku třecích sil při kontaktu pneumatik s vozovkou a primárně se řídí vlastností kameniva použitého na povrchu vozovky. Asfaltové pojivo a cementová malta mohou ovlivnit mikrotexturu, hlavně po pokládce povrchu, ale kamenivo tvoří podstatnou část asfaltových a cementobetonových směsí, tím slouží jako základní kontaktní médium s pneumatikami vozidla.

Kamenivo lze obecně vnímat jako hrubé (větší než 2 mm) a jemné (písek, přírodní nebo drcené kamenivo menší než 2 mm). Obecně platí, že hrubé kamenivo má vliv na protismykové vlastnosti povrchů vozovek asfaltových směsí, zatímco jemné reguluje tyto vlastnosti u cementobetonových krytů. Výjimkou jsou jemnozrné asfaltové směsi a CB kryty, ve kterých je při pokládce záměrně odhaleno hrubé kamenivo (např. vymývaný beton) nebo bude odhaleno později (broušení, drážkování, otryskání, atd.). [1]

Hlavní vlastnosti kameniva, které ovlivňují tření vozovky, jsou:

- Mineralogické a petrografické vlastnosti (struktura a tvrdost minerálu),
- Fyzikální a geometrické vlastnosti (ostrohranost, tvar a textura),
- Mechanické vlastnosti (otěr, ohladitelnost),
- Trvanlivost (zdravost).

Na druhu horniny závisí předcházející vlastnosti. Hornina je definována jako heterogenní směs tvořená různými minerály, někdy i organickými složkami, vulkanickým sklem či kombinací těchto komponentů. Výjimku tvoří monominerální horniny, které jsou tvořeny pouze jedním minerálem (vápenec). Rozměry krystalů nebo zrn se také mohou měnit – hrubé (granit), jemné (aplit). [3, 11]

Z hlediska bezpečnosti silničního provozu a nákladů na výstavbu, údržbu a opravu vozovek je nejdůležitější vlastností mikrotextura a její ztráta nazývána jako ohladitelnost. Pro stanovení

ohladitelnosti byly vyvinuty a jsou používány v následujícím textu popsané metody včetně přípravy zkušebních těles a postupu měření.

3.8 Zkušební metody použité v disertační práci

V následující kapitole budou popsány metody laboratorních měření protismykových vlastností povrchů vozovek, které byly v disertační práci použity.

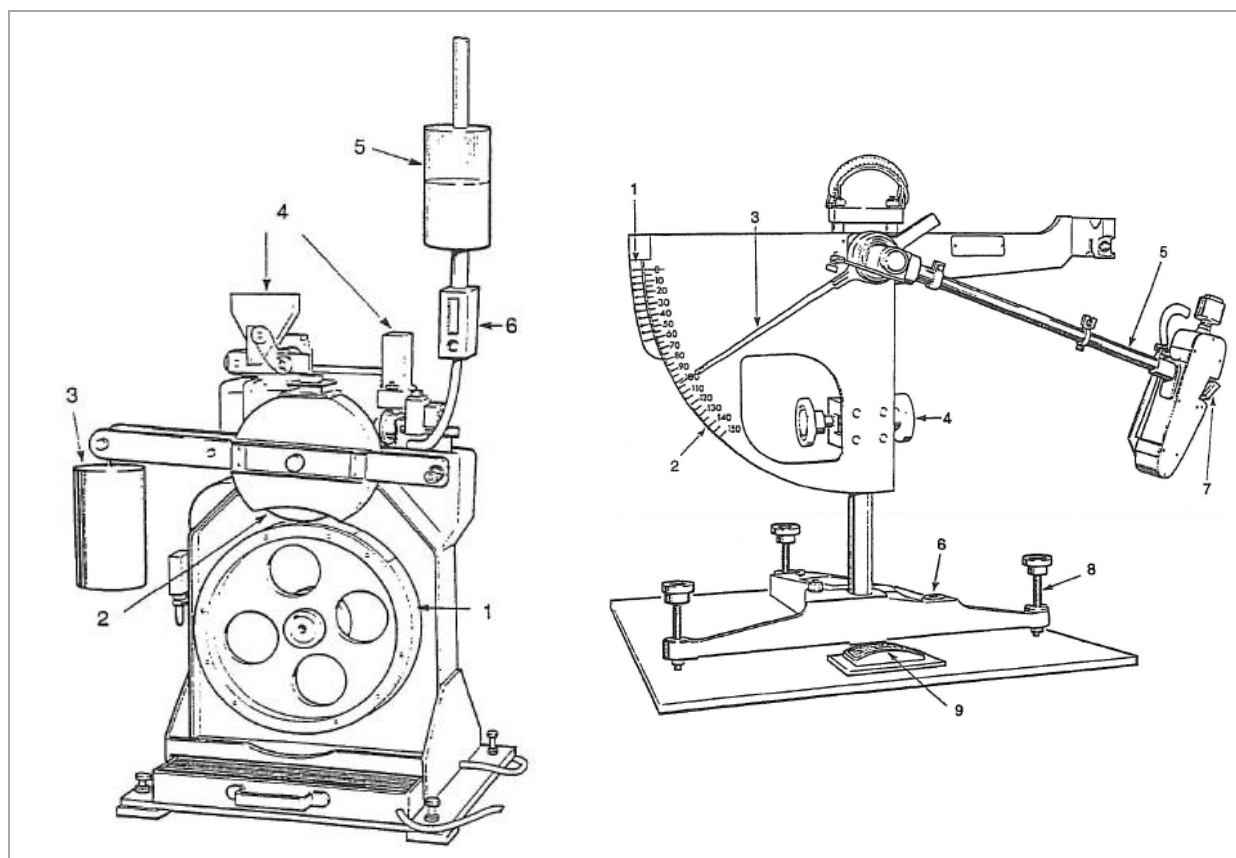
3.8.1 Stanovení hodnoty ohladitelnosti PSV (Polished Stone Value) dle ČSN EN 1097-8 [22]

Zkouška zrychlené ohladitelnosti je pravděpodobně nejrozšířenější metodou na stanovení ohladitelnosti kameniva používaného do obrusných vrstev. Metoda byla vyvinuta ve 40. letech 20. století laboratoří TRRL v Anglii a do národní normy se ve Velké Británii dostala v roce 1967. [36]

Na zkoušku se používá kamenivo, které propadne sítí 10 mm a zůstane na síti 7,2 mm. Vzorek kameniva se promyje a vysuší a odstraní se všechna zrna s nevyhovujícím tvarovým indexem. Připraví se čtyři vzorky od každého kameniva a čtyři vzorky ze srovnávacího kameniva, které má střední hodnotu ohladitelnosti 50 až 60. Na nosné kolo se uchytlí 14 zakřivených vzorků po obvodu, které se otáčí rychlostí 320 otáček za minutu, a na jejich povrch se přitlačí kolo s pneumatikou tmavé barvy (hrubé). Dávkovacím zařízením se rovnoměrně omývají vzorky směsí vody a zrnitého smirku (zrnitost 0,3/0,6) rychlostí 27 g/min po dobu 180 minut. Potom se vymění kolo s pneumatikou za světlou barvu (jemné) a do dávkovacího zařízení se použije smirková moučka a pokračuje se ve zkoušce dalších 180 minut. Smirková moučka (zrnitost 0,02/0,05) se dává rychlostí 3 g/min. Vzorky se důkladně promyjí a uloží se do vody o teplotě 20 °C po dobu 30 minut až 120 minut. [22]

Popis obrázku 37:

- Přístroj na zrychlené ohlazení (1 nosné kolo, 2 plné kolo s pneumatikou, 3 závaží, 4 plnicí zařízení, 5 dávkování vody, 6 vodoměr),
- Přístroj na stanovení tření (1 stupnice F, 2 kalibrační stupnice, 3 ručička, 4 šroub pro svislé nastavení, 5 kyvadlo, 6 vodováha, 7 pryžová patka, 8 vyrovnávací šroub, 9 držák zkušebního vzorku) zvaný kyvadlo TRRL.



Obrázek 37 Přístroj na zrychlené ohlazení (vlevo) a na stanovení tření (vpravo) [22]

Při zkoušce se přístroj na stanovení tření (kyvadlo TRRL) nastaví do vodorovné polohy, vyzkouší se volný kyv a upevní se vzorek, aby se úzká třecí patka (šířka $31,75 \pm 0,5$ mm, délka $25,4 \pm 1,0$ mm) pohybovala v obráceném směru, než je směr pohybu kola. Výškou ramene kyvadla se nastaví délka dotyku se vzorkem (76 ± 1) mm. Povrch vzorku a třecí patky se důkladně navlhčí vodou a pětkrát se provede odečet hodnoty tření. Zaznamenaná se průměrná hodnota z posledních tří čtení. Hodnota PSV se vypočte z následujícího vztahu:

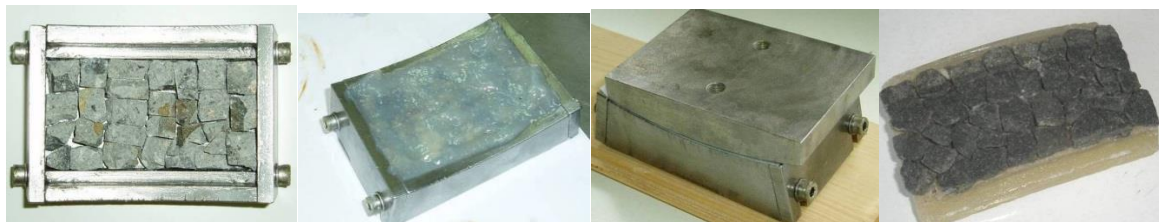
$$PSV = S + 52,5 - C \quad (34)$$

Kde S průměrná hodnota čtyř vzorků zkoušeného kameniva,
C průměrná hodnota čtyř vzorků srovnávacího kameniva.

Tabulka 10 Kategorie pro minimální hodnoty ohladitelnosti [38]

Hodnota PSV	Kategorie PSV
≥ 68	PSV ₆₈
≥ 62	PSV ₆₂
≥ 56	PSV ₅₆
≥ 50	PSV ₅₀
≥ 44	PSV ₄₄
mezilehlé hodnoty a hodnoty < 44	PSV _{deklarovaná}
Bez požadavků	PSV _{NR}

Požadavky na hodnotu PSV jsou specifikovány v TKP kapitole 7 [64] a národních přílohách ČSN EN 13108-1 až 7 [39]. Běžně se vyžaduje PSV_{50} pro obrusné vrstvy S a +, pro ostatní $PSV_{\text{deklarovaná}48}$. Pro úseky se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti povrchů obrusné vrstvy, tj. pro úseky třídy dopravního zatížení III a vyšší v závislosti na směrovém a výškovém vedení a umístění úseku v trase (např. ve směrových obloucích o poloměru menším než 250 m, v klesání a stoupání větším než 8 %, před a v úrovňových křižovatkách, před přechody a železničními přejezdy), nesmí deklarovaná hodnota PSV směsi hrubého kameniva nebo pro zdrsňující posyp klesnout pod 53, ale ve zdůvodněných případech (nehodové úseky) se doporučuje PSV_{56} . [39]



Obrázek 38 Postup výroby zkušebního tělesa (forma s vyskládaným kamenivem, zalití lepidlem, přitížení zkušebního tělesa, hotový vzorek) [50]

3.8.2 Metoda dle Wehnera/Schulzeho dle prEN 12697-49 [28]

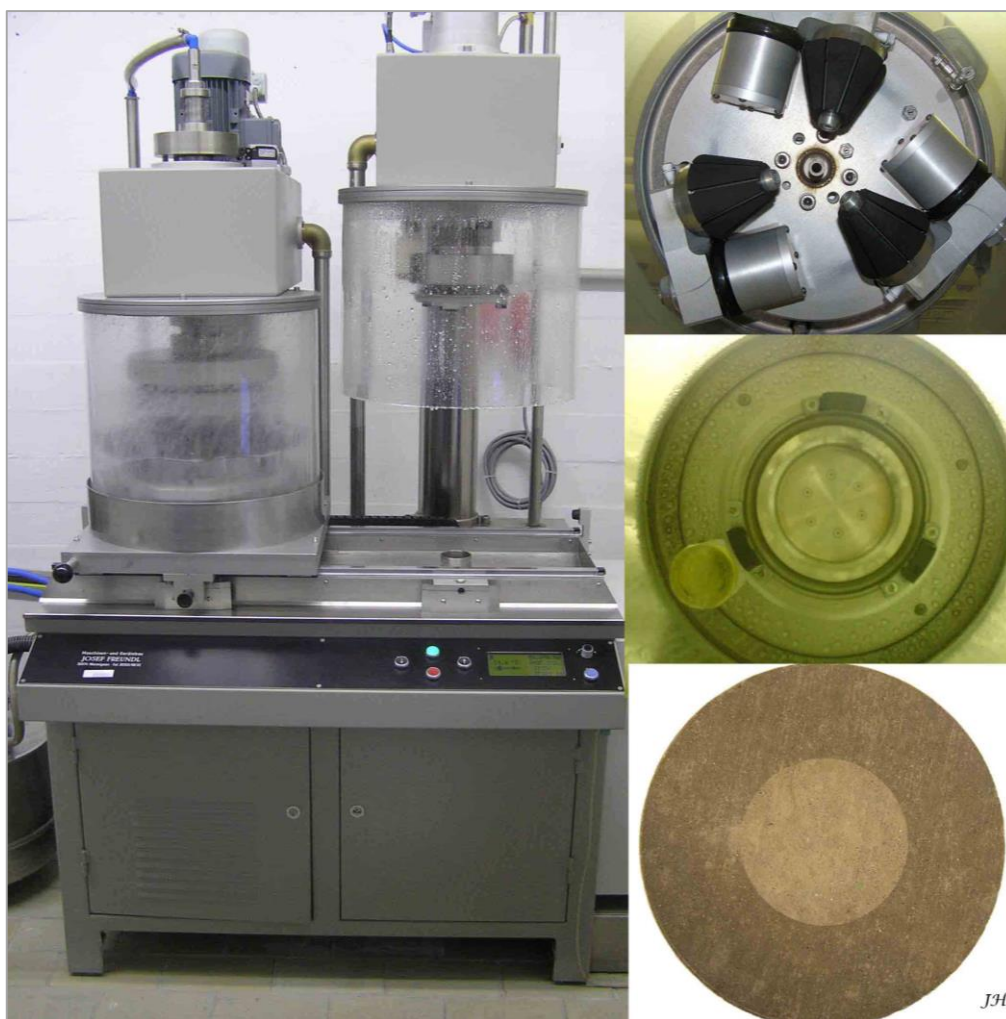
Německé zkušební zařízení vyvinuté na Ústavu pro dopravní plánování a silniční stavitelství na Technické univerzitě v Berlíně v 60. letech 20. století profesory Wehnerem a Schulzem se používalo pravidelně na hodnocení ohladitelnosti písku a kameniva. Oproti známé britské metodě zrychlené ohladitelnosti (PSV) vyvinuté ve 40. letech 20. století se měřila větší a plochá zkušební tělesa. Cílem bylo zavést simulaci skutečného stavu na povrchu vozovky. [16]

Měřicí zařízení bylo na začátku složeno ze dvou samostatných zařízení vyrobených bývalou firmou Tonindustrie. Ohlazovací jednotka simulovala pojezdy dopravou (obrázek 39 vlevo) a zkušební jednotka prováděla samotné měření tření na ohlazeném povrchu (obrázek 39 vpravo). Zlom pro zkušební zařízení nastal na začátku roku 2000, kdy se firma Maschinen- und Gerätebau Josef Freundl ve spolupráci s TU v Berlíně pod vedením Univ. - Prof. Dr. sc. techn. ETH S. Huscheka rozhodla vyrobiť nové zařízení. Nové zařízení mělo ještě jedno stanoviště pro umývání povrchu zkušební vzorku po ohlazování od křemenné moučky. Poté vznikla novější verze, která již stanoviště pro umývání povrchu zahrnula do ohlazovací hlavy (obrázek 40). Institut dopravního stavitelství vlastní navíc mobilní verzi zařízení Wehner/Schulze, které umožňuje měření provádět přímo na vozovce. [17, 36]



Obrázek 39 Původní ohlazovací (vlevo) a zkušební (vpravo) zařízení Wehner/Schulze[16]

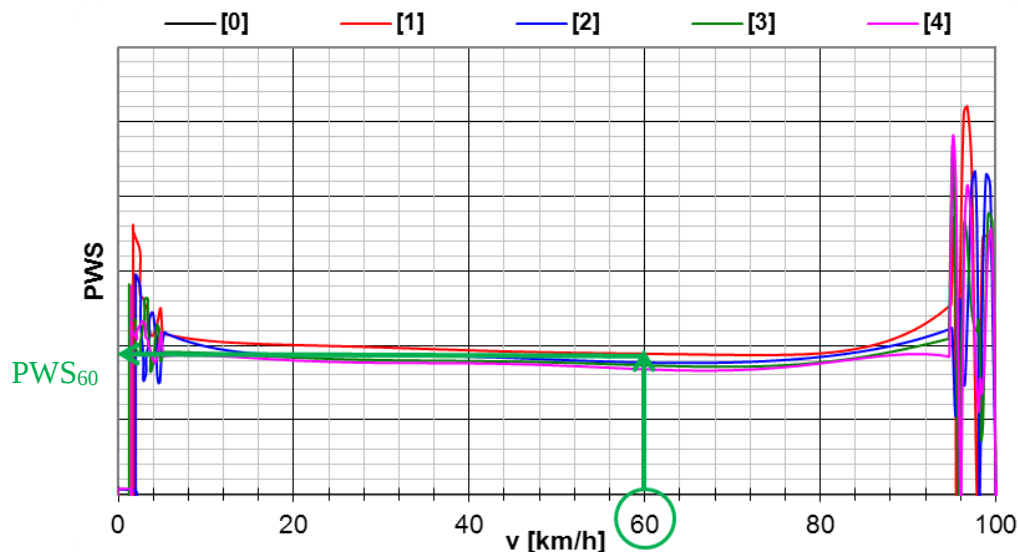
Měřicí zařízení 2. generace se skládá ze dvou rotačních hlav, jedné na ohlazování a druhé na měření tření povrchu tělesa. Další důležitou součástí je zkušební stůl s integrovaným převodníkem točivého momentu. Další součástí je kontejner na směs vody a křemenné moučky s čerpadlem a kompresor na vzduch. Simulace provozu vozidel se provádí třemi pryžovými kuželíky rotujícími po vzorku s frekvencí 500 otáček za minutu (rychlost 17 km/h), kuželíky šířky 60 mm pojíždí, resp. ohlazují plochu asi 305 cm². Tlak mezi kuželíky a vzorkem je 0,4 N/mm² (dotykový tlak pneumatiky je pro osobní auta zhruba 0,25 N/mm²). Kuželíky se skládají z kovového kužele, na kterém je nanesena pryž o tloušťce 8,8 mm s drážkami hloubky asi 4,5 mm a šířky 3,5 mm. Mezi kuželíky a vzorkem je skluz 0,5 % až 1 %. Během rotací se přidává křemenná moučka (< 0,063 mm) na ohlazení povrchu vzorku, na jeden litr vody se přidává 60 g křemenné moučky. Směs vody a křemenné moučky se aplikuje rychlostí 5 l/min. [17, 36]



Obrázek 40 Zařízení Wehner/Schulze při ohlazovacím procesu (vpravo ohlazovací kuželíky, měřicí patky a vývrt po zkoušce)

Programem lze nastavit požadovaný počet pojezdů kuželíků (zpravidla násobky 90 000 cyklů). Po zastavení se povrch očistí od křemičitého prachu 600 pojezdy kuželíků (120 sekund) a poté se vzorek přesune pod hlavu na měření tření. Tato hlava se skládá ze tří pryžových patek (každá má plochu 4 cm²), patky jsou široké 14,5 mm a pryž na kovovém nosiči má tloušťku asi 4,5 mm. Měřená plocha má 82 cm² a obvodovou délku 565 mm. Tlak mezi patkami a vzorkem je přibližně 0,2 N/mm². Obvodová rychlost zkušebního tělesa se při měření snižuje brzděním z rychlosti 100 km/h až do zastavení. Voda o teplotě 10 °C je přidávána rychlostí 20 l/min na zkoušený povrch. Tím se získá křivka průběhu tření na rychlosti. Před měřením na zkušebním povrchu se patky kalibrují na drátoskleněné desce o známé hodnotě tření (0,095 – 0,115). Nové pryžové patky se kontrolují na ocelové desce, která má na povrchu vyfrézované zkosené kvádry o spodní délce strany 1 mm a horní 0,5 mm. Protismykové vlastnosti povrchů vozovek se měří po každém zastavení pojezdů. Počet cyklů lze individuálně měnit, ale zavedený berlínský postup končí po 180 000 pojezdech kuželíků. Pro předpověď vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek se používá více cyklů. Naměřená hodnota se značí PWS (Polierwert nach Wehner/Schulze = ohladitelnost podle Wehnera a Schulzeho)

a stanovuje se pro rychlost 60 km/h. Ve skutečnosti se měří hodnoty tření v daných podmínkách v závislosti na počtu otáček zařízení. [17, 36] Záznam skutečného měření je uveden v obrázku 41.



Obrázek 41 Průběh hodnoty μ_{PWS} v závislosti na rychlosti po 4 cyklech ohlazování

3.8.2.1 Výroba zkušebních těles

Jako zkušební těleso se používá přímo vývrt z vozovky, měření jsou tedy prováděna na skutečném povrchu vozovky bez nějakých úprav vzorků, nebo na laboratorně vyrobených deskách či vzorcích. Lze vyrobit a zkoušet i vzorky kameniv frakcí 2/5, 4/8, 8/11, 11/16 mm nebo písků 0/2 mm.

3.8.2.2 Mozaikové uspořádání kameniva většího než 8 mm

Zkušební tělesa se vytvářejí vyskládáním drobného kameniva frakce 8/11 mm do formy o průměru 225 mm, aby zůstalo co nejméně volných mezer mezi jednotlivými zrny (obrázek 42). Kamenivo musí být bez prachu a suché. Jednotlivá zrna mají mít kubický tvar s rovnou, plochou nebo hladkou stranou, aby co nejvíce přiléhala k sobě, a zároveň je nutné dávat zrna na přeskáčku, aby nelícovala. Kolem zrn kameniva se vysype pomocí štětečku písek frakce 0,2/0,4 mm do třetiny výšky zrn kameniva, aby připravené dvousložkové lepidlo neproteklo mezi zrna kameniva, přičemž se nesmí se zrna kameniva pohnout. Na druhu horniny písku nezáleží. Přibližně vrchní třetina výšky zrn kameniva má zůstat holá, aby se zrna mohla obalit lepidlem, což je vidět na obrázku 43. S velkou pečlivostí se písek vpravuje do všech dutin a štěrbin mezi zrna kameniva i pod ně. Vyplnění spár pískem by se mělo provádět na stejném místě jako kladení první vrstvy lepidla z epoxidové pryskyřice, protože při přemísťování může dojít k nechtěnému posunu a přeskupení zrn kameniva. Příslušná množství dvou složek a plniva křemenné moučky se smíchají v nádobě na homogenní hmotu bez bublinek vzduchu nebo hrudek. Nádobkám se složkami lepidla se musí dobře otřít hrdlo a musí se dobře uzavřít, aby se nezměnily vlastnosti lepidla. První vrstva lepidla je hustší na usazení zrn kameniva a druhá je tekutější na vyrovnání povrchu. Druhá vrstva se nanáší asi po hodině tuhnutí první vrstvy lepidla, přesněji v době, kdy se z této vrstvy po dotyku prstem již nevytahuje lepidlo ve formě vlákna. Při tuhnutí musí být

vzorek na absolutně vodorovném povrchu. Druhá vrstva lepidla tuhne asi 5–6 hodin. Potom se může oddělit zkušební vzorek od formy. Pokud se nějaké lepidlo dostalo přes písek a mohlo by zkreslit výsledek měření, doporučuje se jej opatrně odstranit nožem. [32]



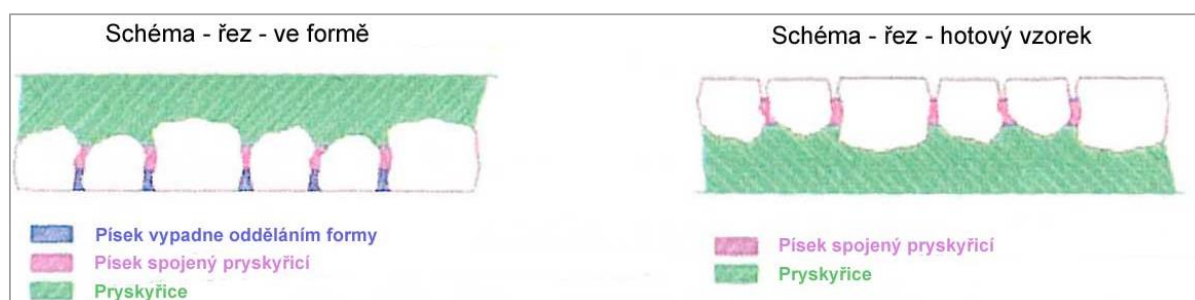
Obrázek 42 Forma, poskládané kamenivo vysypané pískem připravené na zalití lepidlem a hotový vzorek

Zkušební zařízení a pomůcky pro stanovení ohleditelnosti kameniva zrnitosti 8/11 v zařízení W/S:

- Forma – ocelová deska s utahovatelnou obručí a plastovým páskem s vnitřním průměrem 225 mm a výškou 18 mm,
- Imbusový klíč, pinzety, štětce, lopatka, laboratorní váhy, lžice na míchání, latexové rukavice, nádoba na míchání lepidla o objemu 1 l.

Materiály, látky:

- Zkoušené kamenivo 8/11 (vysušené po mokrému třídění),
- Písek zrnitosti 0,2–0,4 mm,
- Křemenná moučka Millisil W6 (< 0,063 mm),
- Dvousložková epoxidová pryskyřice – MC-Dur 1200 VK.



Obrázek 43 Schéma řezu vyrobeného zkušebního tělesa mosaikového kameniva [36]

3.8.2.3 Směs kameniva a mastixu

Pro výrobu tělesa kameniva a mastixu je nutná válcová forma výšky 200 mm a průměru 225 mm a v laboratoři vyrobený mastix, který obsahuje přibližně 70 % fileru a 30 % silničního asfaltu 20/30. Mastix a kamenivo zrnitosti 8/11 mm se nahřeje v laboratorní sušárně na teplotu 200 °C až 230 °C. Kovová válcová forma vytřená separačním prostředkem se postaví na vibrační stůlek a naplní se asi do

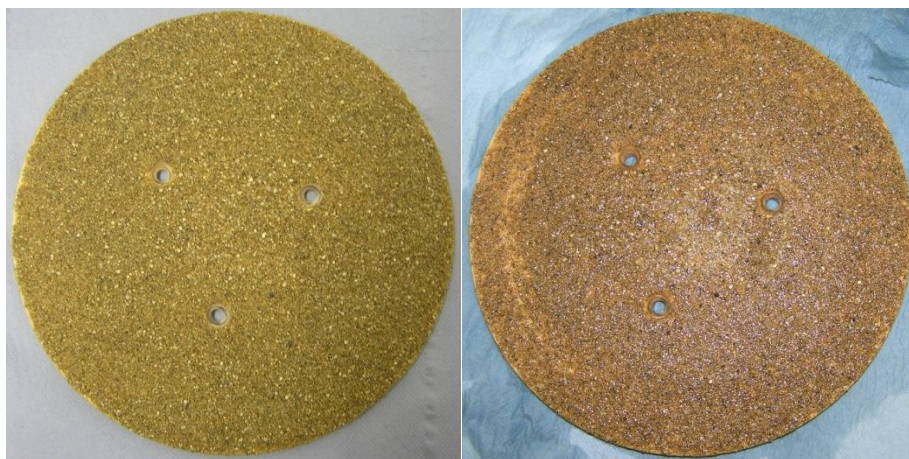
třetiny výšky kamenivem. Vibracemi se kamenivo zhutní a postupně se přidává mastix, až se zaplní všechny mezery. Tento postup se opakuje ještě dvakrát do zaplnění celé formy. Po vychlazení směsi ve formě se na diamantové pile uříznou vzorky po 40–50 mm. Plochy řezu nesmí obsahovat jakékoliv výstupky nebo rýhy. Vzorky se očistí a uloží se při teplotě $(5 \pm 3)^\circ\text{C}$. Před samotným zkoušením v zařízení W/S se musí plochy řezu vyhladit účinkem pískování. Díky pískovací kabině se u zrn kameniva odstraní okolní mastix a také ho zdrsní. [36]

Výroba těles s mozaikovým vyskládáním kameniva vyžaduje dvakrát více času, ale není k ní potřeba více zařízení (asfaltové pojivo, diamantová pila, kabina na pískování). Z válcové formy se rozřezáním získá více zkušebních povrchů najednou. Ruční pokládání kameniva do mozaiky nezajišťuje reprezentativnost povrchu kameniva, ale měří se stávající mikrotextura lomových ploch na kamenivu. Kamenivo v mastixu zaručuje libovolné poskládání kameniva jeho zhutněním. Řezáním se naruší lomové plochy jednotlivých zrn kameniva, které se modelují jeho pískováním, ale to dostatečně neodpovídá skutečnosti. Jeho dalšími nevýhodami jsou možné nerovnosti při řezání, možnost kolísání tlaku při pískování může způsobit nepravidelnosti na povrchu tělesa a znečištěný písek může dosáhnout různého zdrsnění, což zvýší rozptyl výsledků zkoušky. Mikrotexturu lomových ploch přirozeně ovlivňuje ohladitelnost kameniva, proto se jeví jako více odpovídající hodnota u poskládané mozaiky. [36]

3.8.2.4 Postup výroby tělesa z písku

Z kameniva zrnitosti 0/2 mm se připraví frakce 0,2/0,4 mm mokrým síťováním, usuší se při teplotě 120°C v laboratorní sušárně, kdy na jednu desku je potřeba cca 200 g. Dřevěné desky (tloušťky 9 mm a průměru 225 mm) se utěsní ze spodní strany v místech pro upevnění třemi šrouby. Desky jsou opatřeny lakem pro ochranu jejich povrchu. Na ně se rovnoměrně nanese dvousložkové lepidlo. Kamenivo se rozprostírá sítím 0,5 mm, které se poté zaválcuje tapetovým válečkem ve všech směrech. Nepřilepená zrna písku se odstraní mechanicky, např. kartáčem nebo vzduchem. Potom se vyvrtají otvory pro šrouby $\varnothing 6$ mm. Zkušební vzorek lze měřit po jednom dni zasychání lepidla. [32]

Na obrázku 44 jsou příklady vyrobených zkušebních vzorků písků.



Obrázek 44 Vzorek připravený k měření a po 90 000 pojezdech zařízením W/S s viditelnou stopou měřících patek

3.8.2.5 Zkušební tělesa odebraná z asfaltových vrstev (SMA nebo AC)

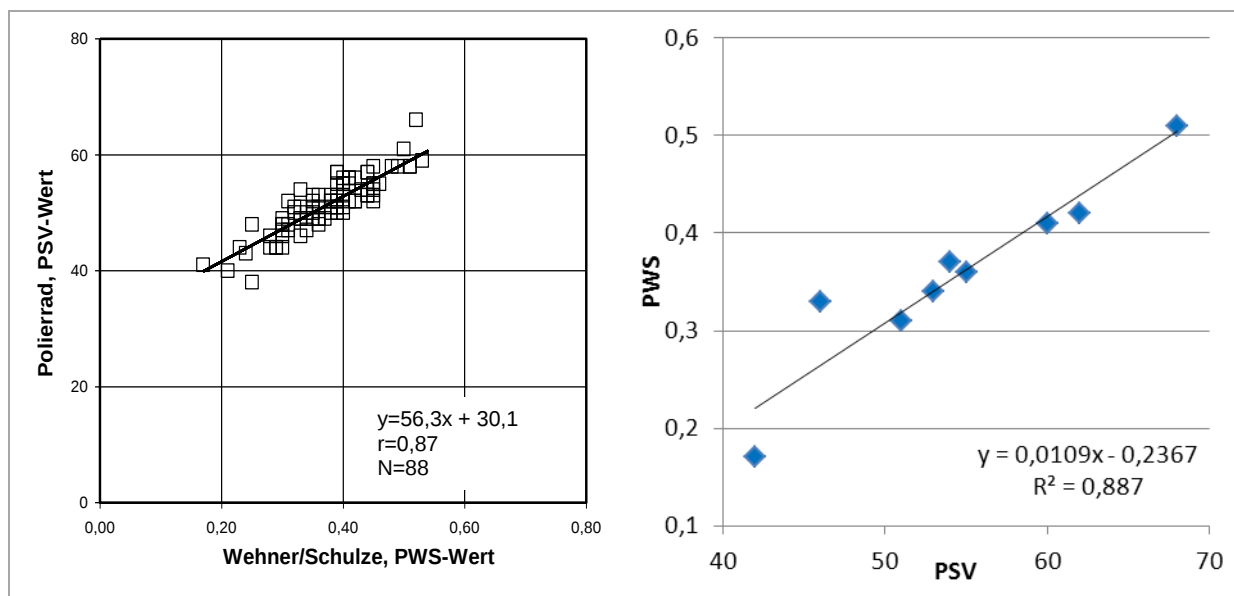
Povrch vozovky, na kterém se odeberou jádrové vývrty, musí být rovný a čistý. Při laboratorní výrobě zkušebních těles v lamelovém nebo segmentovém zhutňovači se deska nechá zchladit a odstraní se asfaltové pojivo z povrchu zrn kameniva pískováním (např. 2 minuty tlakem od 2 do 4 barů korundem zrnitosti 0,5/1 mm). [32]

3.8.2.6 Zkušební tělesa odebraná z cementobetonových vozovek

Z cementobetonového krytu lze odebrat také jádrový vývrt o průměru 225 mm. U vývrtu je obzvláště důležité jej provést kolmo k povrchu vozovky. Nové povrchy mají abrazivní účinky na ohlazovací kuželíky a měřící patky, proto je vhodné povrch vzorku nejdříve pískovat. Zkušební vzorky lze i vyrobit do speciálně připravených forem.

3.8.2.7 Korelace zkoušky zrychlené ohladitelnosti a W/S

Anglická výzkumná organizace TRL, TU v Berlíně a laboratoř na Novém Zélandu prováděly srovnávací zkoušky mezi výsledky zkoušky ohladitelnosti podle ČSN EN 1097-8 a v zařízení Wehner/Schulze. Příklad korelace je vyjádřen v obrázku 45. Z grafu TU v Berlíně vyplývá mnohem větší citlivost ohladitelnosti získané v novém zkušebním zařízení W/S, tj. dvaceti jednotkám hodnoty PSV odpovídá čtyřicet jednotek hodnoty PWS. [18, 33, 34]



Obrázek 45 Korelace výsledků PSV a PWS na kamenivu 8/11 [18, 34]

3.8.2.8 Výpočet hodnoty PWS

Dle předběžné normy prEN 12697-49 se hodnota protismykových vlastností povrchů vozovek stanovuje vzorcem:

$$\mu_{PWS} = \mu_m - \mu_{km} + \mu_{ref} \quad (35)$$

Kde μ_{PWS} jednotlivý výsledek laboratorního měření protismykových vlastností,

μ_m naměřená hodnota koeficientu tření při rychlosti 60 km/h,

μ_{km} střední naměřená hodnota kontrolní desky před a po měření protismykových vlastností, tj. korekce na patky,

μ_{ref} známá hodnota měření protismykových vlastností na kontrolní desce, tj. korekce na patky na referenční zařízení,

PWS průměr dvou nebo více jednotlivých výsledků μ_{PWS} .

3.8.3 Střední hloubka textury povrchu vozovky zjištěná odměrnou metodou dle ČSN EN 13036-1 [23]

Materiál známého objemu nebo hmotnosti se nasype na očištěný zkoušený povrch vozovky. Stěrkou s pryžovou třecí plochou se materiál pečlivě rozprostírá do plochy kruhového tvaru, dokud se prohlubně v povrchu nezaplní do roviny s vrcholky kameniva. Stěrka se lehce přitlačuje k vozovce, aby se dotýkala vrcholků kameniva na povrchu. Změří se a zaznamenají minimálně čtyři hodnoty průměru kruhové plochy vyplněné materiálem. Tyto průměry musí být na obvodu kruhové plochy rovnoměrně rozmístěny. Vypočítá se a zaznamená aritmetický průměr změřených průměrů kruhové plochy. [23]



Obrázek 46 Zkouška na zjištění makrotextury včetně potřebných pomůcek

Střední hloubka makrotextury povrchu vozovky MTD se vypočítá podle rovnice:

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (36)$$

Kde MTD střední hloubka textury [mm],

V objem materiálu [mm³],

D aritmetický průměr změřených průměrů kruhové plochy vyplněné materiálem [mm].

Tabulka 11 Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou [5]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MTD	≥ 0,75	0,74 až 0,60	0,59 až 0,50	0,49 až 0,38	≤ 0,37

3.8.4 Součinitel tření zjištěný kyvadlem dle ČSN EN 13036-4 [8]

Na měření součinitele tření se používá stejné kyvadlo TRRL, jaké je popsáno v kapitole 3.8.1 s tím rozdílem, že šířka pryžové třecí patky je $76,2 \pm 0,5$ mm a délka $25,4 \pm 1,0$ mm. Součástí kyvadla je třecí patka ze standardní pryže, upevněná na konci ramene kyvadla a přitlačovaná ke zkoušenému povrchu pomocí pružiny. Po uvolnění ramene kyvadla z vodorovné polohy se zjišťuje ztráta kinetické energie způsobená pohybem třecí patky po zkoušeném povrchu obrusné vrstvy, což se projeví v délce kyvu na kalibrované stupnici kyvadla. Měření v terénu probíhá na zkoušeném povrchu ve směru jízdy vozidel a zaznamená se teplota mokrého povrchu, v laboratoři lze měřit vzorky o rozměrech (110 x 150) mm.

Kyvadlo se postaví nad měřený povrch tak, aby se kyvadlo volně kývalo nad měřeným místem. V laboratoři se kyvadlo postaví na pevný povrch, na který je možné připevnit měřený vzorek. Libela kontroluje vodorovnost kyvadla. Před měřením se zkontroluje volný kyv, zda se ručička zastaví nad nulou. Výška ramene se nastaví, aby se třecí patka při kyvu po povrchu dotýkala celou šířkou. Nastaví se délka prokluzu třecí patky (126 ± 1) mm pro širokou patku a (76 ± 1) mm pro úzkou patku. Potom se kyvadlo aretuje a kyvadlo se vrátí do vodorovné polohy. Měřený povrch a třecí patka se dostatečně navlhčí vodou. Rameno kyvadla se uvolní tlačítkem z vodorovné polohy, zachytí se při zpětném kyvu a odečte se poloha ručičky na stupnici. Po dokončení zkoušky se zkontroluje délka prokluzu, teplota mokrého povrchu a vodorovnost zařízení. Hodnota PTV je průměr z požadovaného počtu zkoušek, která se koriguje podle teploty navlhčeného povrchu. [8]



Obrázek 47 Měření kyvadlem na vozovce

Tabulka 12 Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem [5]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
PTV	≥ 70	69 až 60	59 až 50	49 až 40	≤ 39

3.8.5 Součinitel podélného tření povrchu vozovky zjištěný dynamickým měřicím zařízením dle ČSN 73 6177 [5]

Měření probíhá na čistém povrchu ve směru pohybu dopravních prostředků, zpravidla v jízdní stopě. Během jízdy měřicího zařízení se povrch vozovky v měřené stopě smáčí vodou v parametrech dle výrobce měřicího zařízení. Základní rychlost pro měření v celé délce je obvykle 60 km/h, u nepříznivých směrových poměrů i nižšími rychlostmi a s ohledem na maximální dovolenou rychlost i vyššími rychlostmi. Záznam hodnot součinitele podélného tření f_p je v intervalu minimálně 1 m. Hodnoty se vyrovnávají na požadovanou měřicí rychlost dle následujícího vztahu, pokud výrobce neuvádí jiný:

$$F_p' = a \cdot e^{b \cdot v} \quad (37)$$

Kde F_p' vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření [-],

a, b parametry exponenciální funkce,

e $e = 2,718,$

v měřicí rychlost [km/h]. [5]

Dále se hodnoty vyrovnávají na referenční teplotu, aby se získala nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření, pokud zařízení nemá definován přepoččet, potom se použije vztah:

$$F_p = F_p' = \frac{0,004}{3} (30 - t_{vm}) \quad (38)$$

Kde F_p nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření [-],

F_p' vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření [-],

t_{vm} teplota povrchu mokré vozovky [°C],

v měřicí rychlost [km/h]. [5]

Národním referenčním zařízením je stanoveno měřicí zařízení TRT (Tatra Runway Tester) popsané v kapitole 3.4.1.2, ostatní měřicí zařízení musí podle něj přepočítat výsledky měření. Toto zařízení má podélný řízený skluz, který se běžně provozuje při 25 %, měření probíhá hladkou pneumatikou dle směrnic ASTM na tloušťce vodního filmu 0,5 mm. [5, 26]

Pokud se uvádí hodnota součinitele podélného tření f_p s malým písmenem, je hodnota získána dynamickým měřicím zařízením, hodnota F_p s velkým písmenem je už přepočtena a korigována na měřicí rychlost a nejnižší roční teplotu.

3.9 Hluk

Protismykové vlastnosti povrchů vozovek jsou jen jednou z vlastností povrchu, která ovšem ovlivňuje tu nejpodstatnější vlastnost – bezpečnost silničního provozu. Dalšími vlastnostmi, které je třeba při hodnocení vlastností povrchu popsat, jsou vlivy na hlučnost silničního provozu.

Lze navrhnout obrusnou vrstvu s výborným kamenivem s nízkou ohladitelností, která bude mít vysokou hodnotu makrotextury, ale tato vozovka potom může vykazovat zvýšenou hlučnost povrchu, která je obzvláště v zástavbě velmi nežádoucí. Hlavně u cementobetonových krytů je známa hlučnost, která je výsledkem požadovaných protismykových vlastností povrchů vozovek. Při vývoji nových povrchů je proto nutné sledovat i tyto vlastnosti a návrh úprav vozovky bude vždy kompromisem požadovaných vlastností.

Emise hluku ze silničních vozidel je přičítána třem hlavním zdrojům: hluk pohonu (včetně motoru, hnací jednotky, výfukového a sacího systému), hluk interakce pneumatiky a vozovky a aerodynamický hluk. Hlučnost motoru je hlavním zdrojem při nízkých rychlostech, tj. pod 30 km/h pro osobní automobily a 50 km/h pro nákladní automobily, zejména ve fázi zrychlování. Nad touto rychlostí se

stává dominantním zdrojem hluk od pneumatik. Aerodynamický hluk se zvyšuje s rychlostí, ale předpokládá se, že převládá hluk od interakce pneumatika – vozovka, alespoň při rychlostech nižších než 130 km/h. [54]

Hluk od interakce pneumatiky a vozovky je generován pomocí čtyř obecných procesů:

- Náraz dezénového bloku pneumatiky na povrch vozovky v tzv. kontaktní zóně.
- Vibrace generované z dezénových bloků, které jsou deformovány při kontaktu povrchu vozovky a po opětovném uvolnění se jim vrátí tvar.
- Sání vzduchu vznikající mezi drážkami dezénového bloku, které jsou postupně stlačovány a deformovány. Z drážek je vytlačován vzduch otáčením pneumatiky a zvyšuje se tlak na sousedící dezénové bloky.
- Vibrace v kostře pneumatiky vyvolané její deformací a obnovením při kopírování tvaru povrchu vozovky. [54]

V následujícím textu budou vyjmenovány metody, které se používají k porovnání akustických vlastností vozovek:

- Statistická metoda při průjezdu SPB (Statistical Pass-By Method) – se používá pro klasifikaci povrchu vozovky podle vlivu na dopravní hluk. Vozidla v dopravním proudu projíždějí kolem bočního mikrofону. Při měření se zaznamenává typ vozidla, rychlost a maximální hladina hluku L_{Amax} . Metoda je popsána v normě EN ISO 11819-1 Akustika – Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk – Část 1: Statistická metoda při průjezdu.
- Metoda malé vzdálenosti CPX (Close Proximity Method) – se používá ke kontinuálnímu zaznamenávání průměrné hladiny akustického tlaku pro stanovené referenční rychlosti pro každý úsek vozovky. Používá se referenční pneumatika na měřícím automobilu nebo na přívěsu za automobilem, v blízkosti pneumatiky jsou upevněny mikrofóny. Normalizace metody se připravuje jako EN ISO 11819-2. Metoda CPX je méně omezující a méně nákladná. Měří se hluk vyzařovaný pneumatikami motorového vozidla.
- Controlled Pass-By (CPB),
- Coast by (CB),
- On-board sound intensity (OBSI – používána v USA, podobná CPX). [40]

3.10 Dopravní zatížení

Jak vyplývá z požadavků trvanlivosti na protismykové vlastnosti povrchů vozovek, je jedním z důležitých faktorů zajištění protismykových vlastností povrchů vozovek velikost dopravního zatížení. Dopravní zatížení je definováno druhem vozidel a jejich četností.

3.10.1 Způsoby zjištění intenzit dopravy

Dle TP 189 [21] se intenzita dopravy na pozemní komunikaci zjišťuje těmito způsoby [21]:

- Využitím výsledků předchozích dopravních průzkumů.
- Provedením a vyhodnocením dopravního průzkumu.

V České republice jsou dostupné zejména tyto zdroje informací o intenzitě dopravy [21]:

- Dlouhodobé sčítání dopravy – úsek pozemní komunikace může být přiřazen k místu dlouhodobého sčítání dopravy. To se provádí automatickými detektory dopravy, které jsou umístěny především na komunikacích vyššího dopravního významu, zejména dálnicích a silnicích I. třídy. Ve specifických případech i na silnicích II. a III. třídy a místních komunikacích.
- Celostátní sčítání dopravy – je základní informací o intenzitách automobilové dopravy. Probíhá v pětiletém cyklu na vybrané komunikační síti, která zahrnuje všechny dálnice, silnice I. a II. třídy. Ve specifických případech i na silnicích III. třídy a místních komunikacích.
- Využití výsledků jiných dopravních průzkumů – v některých obcích se pravidelně provádí dopravní průzkumy motorové, cyklistické i pěší dopravy. Jejich využitelnost pro daný účel je však třeba zvážit s ohledem na způsob průzkumu.

Pokud nejsou zjištěné údaje pro daný účel dostatečné, je možné provést vlastní dopravní průzkum. [21]

3.10.2 Způsoby průzkumu intenzity dopravy

Způsob, metoda a zvolená doba dopravního průzkumu závisí na [21]:

- účelu, pro který mají být získaná data využita,
- požadované přesnosti výsledků průzkumu.

Možné způsoby průzkumu [21]:

- Ruční – výhodou je operativnost a možnost přesnějšího rozlišení druhů vozidel. Nevýhodou je skutečnost, že přesnost je ovlivněna lidským faktorem a také obtíže při vysokých intenzitách dopravy. Je obtížně použitelný pro dlouhodobé průzkumy (více jak několik hodin). Ruční průzkum se provádí náležitě poučenou a způsobilou osobou, která zaznamenává projíždějící vozidla do předem připraveného formuláře (případně do technického zařízení). Podoba formuláře je závislá na délce průzkumu, potřebném členění (jak časovém, tak druhů vozidel).

- Průzkum pomocí technických prostředků – je vhodný pro dlouhodobější průzkumy (několik dnů), přesnost je závislá na kvalitě technického prostředku a jeho instalace, nevýhodou je nutnost instalace technického prostředku. K průzkumu pomocí technických prostředků jsou nejčastěji využívány:
 - detektory zabudované nebo připevněné k vozovce – hadice, indukční smyčky,
 - radarové a infračervené detektory – umístěné v blízkosti vozovky (některé typy umožňují zaznamenat i intenzitu cyklistické a pěší dopravy),
 - videodetekce – pořízení a analýza provozu systému pro automatické vyhodnocení obrazu,
 - kombinovaný (například videozáznam provozu s následným ručním vyhodnocením).

Intenzita dopravy se obvykle sleduje odděleně po směrech a v časovém rozlišení alespoň po hodinách. [21]

3.10.3 Druhy vozidel

Pro sledování intenzit dopravy se doporučuje dělit vozidla na tyto druhy [21]:

- M – motocykly – jednostopá motorová vozidla, sajdkáry,
- O – osobní automobily – bez přívěsů i s přívěsy, dodávkové automobily, mikrobusy,
- N – nákladní automobily – lehké, střední a těžké nákladní automobily, traktory, speciální nákladní automobily,
- A – autobusy – vozidla určená pro přepravu osob a jejich zavazadel, která mají víc než 9 míst (včetně kloubových autobusů a autobusů s přívěsy),
- K – nákladní soupravy – přívěsové a návěsové nákladní soupravy.

Pro výpočet zatížení komunikace těžkými nákladními vozidly (TNV) je nutné dělit druhy vozidel při dopravním průzkumu podrobněji. [21]

3.10.4 Vyhodnocení průzkumu intenzit dopravy

Metodika stanovení odhadu ročního průměru denních intenzit na základě krátkodobého průzkumu je založena na přepočtu intenzity dopravy zjištěné během krátkodobého dopravního průzkumu pomocí koeficientů charakterizujících denní, týdenní a roční variace intenzit dopravy. [21]

Přepočtové koeficienty jsou stanoveny odděleně pro [21]:

- skupiny vozidel,
- charakter provozu na komunikaci – daný zejména kategorií a třídou komunikace (a u silnic II. a III. třídy podílem rekreační dopravy),
- období roku, ve kterém je průzkum prováděn.

3.10.4.1 Skupiny vozidel

Při přepočtech výsledku průzkumu na celodenní intenzity dopravy se používá skupina přepočtových koeficientů pro příslušný druh vozidel podle tabulky 13. [21]

Tabulka 13 Skupiny vozidel sledovaných při dopravních průzkumech [21]

Skupina vozidel	Druhy vozidel při průzkumu
O	osobní automobily – bez přívěsu i s přívěsy, dodávkové automobily
M	motocykly – jednostranná motorová vozidla bez přívěsu i s přívěsy
N	nákladní automobily – lehké, střední a těžké nákladní automobily, speciální nákladní automobily
A	autobusy – vozidla určená pro přepravu osob a jejich zavazadel, která mají víc než 9 míst (včetně kloubových autobusů a autobusů s přívěsy)
K	nákladní soupravy – přívěsové a návěsové soupravy nákladních vozidel
S	vozidla celkem

Pokud nesledujeme druhy vozidel, použijeme koeficienty pro vozidla celkem. [21]

3.10.4.2 Charakter provozu na komunikaci

Charakter provozu na pozemní komunikaci se odráží i ve variacích intenzit dopravy. Přepočtové koeficienty uváděné v těchto technických podmínkách jsou určeny zpracováním dat na vybraných stanovištích pozemních komunikací v České republice. Takto stanovené koeficienty nemohou postihnout celý rozsah variací intenzit dopravy, je možné provést delší dopravní průzkumy a stanovit si pro konkrétní případy vlastní přepočtové koeficienty. To se doporučuje vždy, pokud komunikace má specifický charakter provozu – motorová doprava. [21]

Charakter provozu na komunikaci je daný zejména její kategorií a třídou. Jsou stanoveny skupiny podle tabulky 14. [21]

Tabulka 14 Skupiny komunikací podle charakteru provozu [21]

Skupina komunikací – charakter provozu	Kategorie a třída komunikace
D	dálnice
R	silnice I. třídy – rychlostní silnice
E	silnice I. třídy se statutem mezinárodní silnice („E“) (včetně průjezdních úseků těchto silnic)
I	silnice I. třídy bez statutu mezinárodní silnice (včetně průjezdních úseků těchto silnic)
II	silnice II. a III. třídy (včetně průjezdních úseků silnic)
M	místní komunikace (tj. bez průjezdních úseků silnic) úcelové komunikace
Z	komunikace napojující parkoviště obchodních zařízení (obvykle komunikace účelové)

3.10.5 Stanovení ročního průměru denních intenzit

Doba průzkumu se volí s ohledem na:

- účel průzkumu,
- potřebnou přesnost výsledků,
- charakter dopravy.

Před průzkumem se zjistí, zda provoz na sledovaném úseku nebude ovlivněn mimořádnými událostmi (uzavírky a dopravní omezení na komunikacích, akce s dopady na dopravu – např. významné kulturní nebo sportovní události).

Ke zjištění ročního průměru denních intenzit dopravy (RPDI) se průzkum provádí:

- v běžné pracovní dny,
- v měsících duben, květen, červen, září a říjen.

Doporučené doby pro provedení průzkumu a odhadu přesnosti stanovení ročního průměru denní intenzity dopravy (určeného postupem podle TP 189) jsou uvedeny v tabulce 15. [21]

Tabulka 15 Doporučené denní doby pro provedení průzkumu v běžný pracovní den a odhad odchylky odhadu ročního průměru denních intenzit dopravy[21]

Doba průzkumu		Předpokládaná odchylka odhadu RPDI
14:00-16:00 nebo 15:00-17:00	2h	±20 %
7:00-11:00	4h	±14 %
13:00-17:00	4h	±14 %
7:00-11:00 a 13:00-17:00	8h	±10 %
5:00-21:00	16h	±7 %

3.10.6 Základní charakteristiky dopravního zatížení

Z hlediska účinku vozidel na porušování konstrukcí vozovek se evidují nákladní vozidla. Tento základní předpoklad se obvykle použije i pro stanovení vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek, neboť na opotřebení povrchu má vliv dotykový tlak pneumatik na povrch vozovky a vodorovné síly a ty jsou nejvyšší právě u nákladních vozidel.

Nákladní souprava byla v metodice Celostátního sčítání dopravy v letech 2005 (CSD) a předchozích uvažována jako dvě vozidla – tažné vozidlo je zařazeno do skupiny N2 (N3) a přípojné vozidlo do příslušné skupiny PN2 (PN3 a NS). [20]

Původní vzorec pro výpočet TNV:

$$TNV = 0,1 \cdot N1 + 0,9 \cdot N2 + PN2 + N3 + PN3 + 1,3 \cdot NS + A + PA \quad (39)$$

Kde N1 Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t) bez přívěsu i s přívěsy,
 N2 Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5-10 t) bez přívěsu i s přívěsy,
 PN2 Přívěsy středních nákladních vozidel,

N3 Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost přes 10 t) bez přívěsů i s přívěsy a tahače návěsů,

PN3 Přívěsy těžkých nákladních vozidel,

NS Návěsy,

A Autobusy bez přívěsů i s přívěsy,

PA Přívěsy autobusů [20]

V roce 2010 se nákladní vozidla s přívěsy a tahače s návěsy, na rozdíl od předchozích výsledků CSD, počítají za jedno vozidlo, protože automatické sčítání pomocí radarů rozlišuje pouze délku vozidla. Pro zdůraznění této změny bylo upraveno označení kategorií vozidel i vzorec pro výpočet TNV. [20]

Nový vzorec výpočtu TNV:

$$TNV = 0,1 \cdot LN + 0,9 \cdot SN + 1,9 \cdot SNP + TN + 2,0 \cdot TNP + 2,3 \cdot NSN + A + AK \quad (40)$$

Kde LN Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t) bez přívěsů i s přívěsy,

SN Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10 t) bez přívěsů,

SNP Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10 t) s přívěsy,

TN Těžké nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) bez přívěsů,

TNP Těžké nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) s přívěsy,

NSN Návěsové soupravy nákladních vozidel,

A Autobusy,

AK Autobusy kloubové [20]

$$RPDI = C_1 \cdot RPDI \quad (41)$$

Kde pro jednopruhové komunikace $C_1 = 1,00$,

pro obousměrné komunikace s

- jedním jízdním pruhem v jednom směru $C_1 = 0,50$,

- dvěma jízdními pruhy v jednom směru $C_1 = 0,45$,

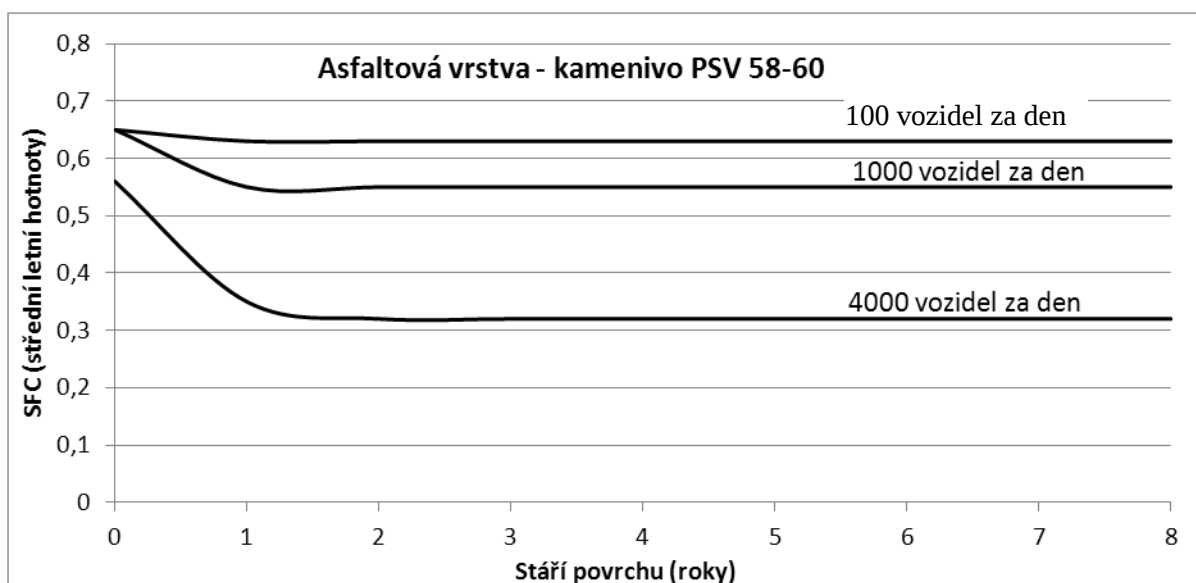
- třemi a více jízdními pruhy v jednom směru $C_1 = 0,40$. [41]

3.10.7 Vliv intenzity dopravy na protismykové vlastnosti povrchů vozovky

Se zvyšujícím se počtem vozidel se zvyšuje počet manévrů a tím i riziko nehody, obzvláště při vysokých rychlostech.

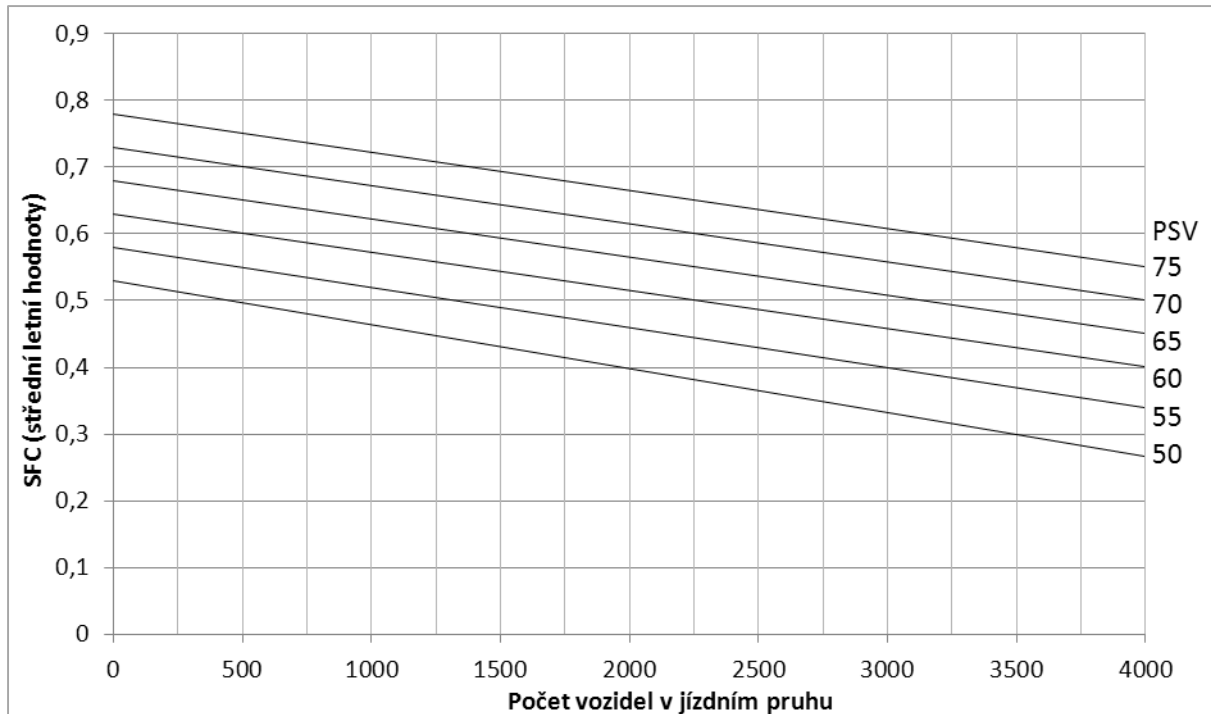
Výzkumné zprávy publikované Szatkovskim a Hoskingem ukazují, že střední letní hodnoty koeficientu bočního tření SFC na nových vozovkách obvykle klesnou v prvním roce na úroveň, kterou

už poté příliš nemění. Tato úroveň závisí na hodnotě ohladitelnosti kameniva PSV a intenzitě dopravy. Typické výsledky na asfaltové vrstvě s předobaleným kamenivem s PSV 58 až 60 jsou zachyceny v obrázku 48. [1]



Obrázek 48 Efekt dopravy na protismykové vlastnosti povrchů vozovky [7]

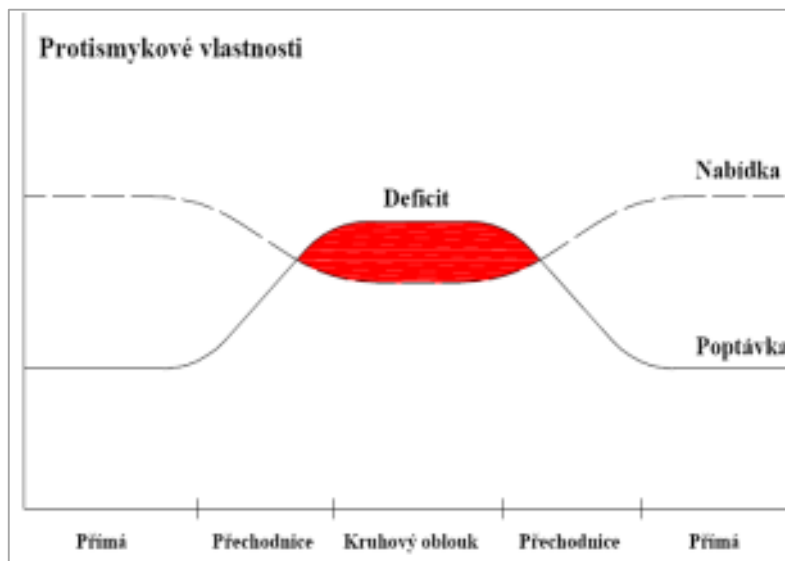
Zkoušky na různých vozovkách s kamenivem s různou hodnotou ohladitelnosti PSV vedly k návrhu vztahů zobrazených v obrázku 49 mezi parametry SFC, PSV a intenzitou dopravy.



Obrázek 49 Protismykové vlastnosti asfaltových povrchů při různých intenzitách dopravy [7]

Při stejném objemu dopravy může její složení (procenta nákladních vozidel v dopravním proudu) významně ovlivnit potřebu tření. Hlavní dva důvody jsou:

- Brzdná vzdálenost nákladních vozidel je výrazně delší.
- Nákladní vozidla mají nižší schopnost řídicích manévřů než osobní automobily.



Obrázek 50 Znárodnění vlivu vodorovných sil na snižování protismykových vlastností povrchů vozovek (nabídka) a jejich potřeby pro bezpečnou jízdu (poptávka) [50]

Je třeba ještě zdůraznit, že na vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek při užívání vozovek má podstatný vliv vyšší namáhání povrchů vozovek účinkem vodorovných sil při pravidelném brzdění, ve stoupání a ve směrových obloucích. Tyto vodorovné síly rychleji ohlazují povrch vozovky a zrychlují pokles protismykových vlastností povrchů vozovek oproti poklesu v místech, kde vodorovné síly z pohybu vozidla nevznikají. Naopak při řízení vozidla za výskytu vodorovných sil vzniká vyšší potřeba protismykových vlastností povrchů vozovek. Nemohou-li protismykové vlastnosti povrchů vozovek být s jistou rezervou nabídnuty a jsou nižší než požadované minimální, vozovka přispívá k nehodovosti, což je patrné z obrázku 50.

3.11 Přehled obrusných vrstev vozovek

Dále následuje seznam a popis možných asfaltových obrusných vrstev a povrchových úprav cementobetonových krytů včetně jejich údržby.

3.11.1 Typy asfaltových obrusných vrstev

Základní druhy asfaltových obrusných vrstev, které se vyskytují na pozemních komunikacích v ČR, jsou: asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO), litý asfalt (MA), asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM), asfaltový koberec mastixový (SMA) a asfaltový koberec drenážní (PA).

Asfaltové směsi s plynulou čarou zrnitosti jsou:

- Asfaltový beton (AC) má plynulou čáru zrnitosti (Fullerova parabola), na kostře zhutněné směsi se podílí všechny frakce kameniva vzájemným dotykem jednotlivých zrn, který dosahuje nejnižší možné mezerovitosti ve směsi kameniva. [45]

- Litý asfalt (MA) je směs kameniva a asfaltového pojiva, případně dalších přísad, která se nehutní. Obsah asfaltového pojiva je vyšší (až 9,5 %), kamenivo nevytváří kostru směsi, ale pouze vyplňuje pojivo. Směs litého asfaltu neobsahuje vzduchové mezery. [45]

Asfaltové směsi s přerušnou čarou zrnitosti (typ makadam) dosahují vysoké mezerovitosti kostry kameniva. Část kameniva kostru vytváří, část ji vyplňuje nebo nevyplňuje. [45]

- Asfaltový koberec mastixový (SMA) je určen pro obrusné vrstvy vysoce zatížených úseků. Nosnou kostru tvoří nejhrubší a částečně též druhá nejhrubší frakce kameniva, zbývající kamenivo je výplňové a společně s asfaltovým pojivem a kamennou moučkou vytváří asfaltovou maltu – mastix, která vzájemně tmelí zrna nosné kostry. Obsah asfaltu je ve srovnání s asfaltovým betonem vyšší (6-8 %). Aby nedocházelo ke stékání asfaltového pojiva, používají se stabilizační přísady – celulózová vlákna např. TECHNOCEL, TOPCEL. [45]
- Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM) je používán jako obrusná vrstva o tloušťce 20 – 30 mm, ve které jsou frakce kameniva odstupňovány tak, aby umožnily vytvoření otevřené povrchové struktury. [45]
- Drenážní koberec (PA) je asfaltová směs s vysokou mezerovostí, vyšší než 17 %. Nosnou kostru tvoří nejhrubší frakce kameniva (až 70 %). V ČR se jako pojivo používá buď asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRmB), nebo polymerem modifikovaný asfalt s celulózovými vlákny (PmB). Drenážní koberec odvádí vodu vlastní směsí, která po nepropustném podkladě stéká na okraj vozovky, a snižuje hlučnost jízdy vozidel. [45]

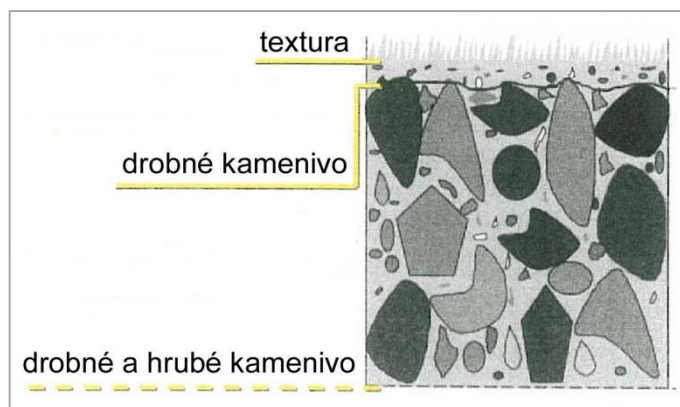
3.11.2 Cementobetonové kryty

Jako cementobetonový kryt se většinou uvažuje jednovrstvá nebo dvouvrstvá konstrukce z cementového betonu, nejčastěji umístěvaný na dálnice.

Mezi povrchové úpravy cementobetonových krytů řadíme nejčastěji se vyskytující taženou jutu a dříve používanou striáž a další (např. vymývaný beton, negativní textura hrablem, tažené kokosové vlákno, umělá trávnicková rohož, použití různých košťat atd.).

Povrch cementobetonové vozovky lze rozdělit do tří úrovní (obrázek 51): [35]

- V důsledku hutnicích a vibračních vlivů strojů na pokládku se tvoří na povrchu CB krytu jemná vrstva malty, jejíž tloušťka byla naměřena 0,6 mm až 1,2 mm: nejvrchnější, první úroveň povrchové malty, se skládá z velmi jemných materiálů (fíler a cement) a z vody; pod ní ležící druhá úroveň povrchové malty, která obsahuje vedle výše uvedených materiálů také písek. Vodní součinitel je v maltě na povrchu vyšší než u samotného betonu.
- Pod povrchovou maltou následuje třetí úroveň s vlastním složením betonu, to znamená vedle písku je to především hrubší kamenivo a cement.



Obrázek 51 Úrovně povrchu cementobetonové vozovky [35]

3.11.2.1 Technologická opatření pro vytvoření protismykových vlastností povrchů vozovek

Povrchová malta musí být pokud možno trvanlivá. K tomuto účelu je obzvlášť nutné dbát na následující:

- Dostatečný obsah cementu,
- Druh cementu (zpravidla portlandský cement CEM I 32,5R),
- Nízký vodní součinitel (pod 0,45).
- Průměrný obsah vzduchu v betonu za den musí činit nejméně 4 % objemu, naopak vysoké vyvíjení vzduchu v betonu může vést k nízké pevnosti povrchové malty nebo dokonce k pěnovému betonu s nízkou pevností, nepatrné odolnosti proti otěru a nízké odolnosti vůči mrazu a rozmrazovacím solím a nakonec je nevyhnutelné pečlivé dodatečné ošetření.
- Písek určuje protismykové vlastnosti povrchů vozovek, písek frakce 0/2 mm nebo 0/4 mm musí být odolný proti ohlazování, vhodné jsou homogenní písky složené z minerálů s menší ohladitelností, ohladitelnost písek by měla být určována zkouškou dle Wehnera/Schulzeho (kapitola 3.8.2) s minimální hodnotou 0,55.
- Hrubé kamenivo určuje protismykové vlastnosti povrchů vozovek ve 3. fázi, horní beton musí obsahovat alespoň 50 % hmotnosti drceného kameniva nad 8 mm a alespoň 35 % hmotnosti drceného kameniva, drcené kamenivo musí odpovídat alespoň kategorii PSV₅₀, vymývaný beton alespoň PSV₅₃. [44]

3.11.2.2 Zhotovení textury povrchu

Povrchy betonových vozovek mohou být opatřeny jak v čerstvém stavu po uhlazení tak i ve ztvrdlém stavu rozdílnými texturami. Texturování v čerstvém stavu je zpravidla hospodárnější metoda. U čerstvého betonu jsou obvyklé tyto metody:

- Podélné texturování jutou nebo umělým trávíkem, nebo i kombinace,
- Příčné texturování ocelovým koštětem,
- Texturování odstraněním malty.

Další kombinace jsou zkoumány a zkoušeny. K texturování ztvrdlých vozovek se nabízí mechanické opracování nebo provedení nové vrstvy na povrch vozovky. [44]

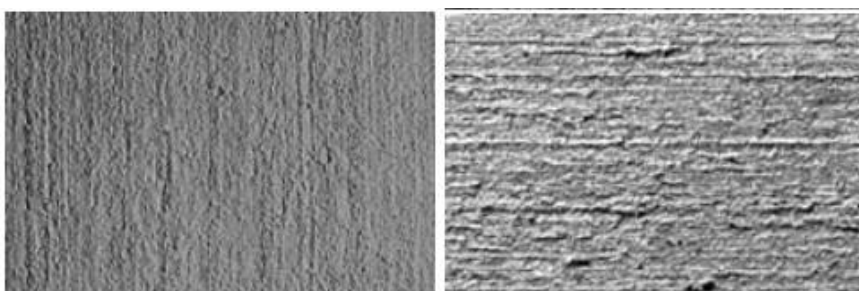
3.11.2.2.1 Podélné texturování jutou

Podélná textura do čerstvého betonového povrchu jutovou tkaninou je klasifikována jako nízkohlučná úprava. Juta se vleče z pracovní plošiny po čerstvém betonu, je upevněna tak, aby byla vlečena po betonu bez záhybů. Hmotnost juty by měla být nejméně 300 g/m² a délka vlečené juty nejméně 2 m. Juta se musí závčas vymýt nebo vyměnit. Před prvním použitím se musí juta lehce navlhčit. [44]

- Hmotnost, struktura a délka po betonu vlečené juty musí být sladěna s konzistencí betonu, obsahem malty atd.
- Je nutné zohlednit rychlost pokládky a tím rychlost pojezdu pracovní plošiny,
- Malé změny vlastností betonu, především zpracovatelnost, která je podmíněna nevyhnutelným kolísáním výchozích materiálů a změnami počasí při pokládce, mohou způsobit zanikání textury nebo její nerovnoměrnost. [44]

3.11.2.2.2 Podélné texturování umělým trávnikem

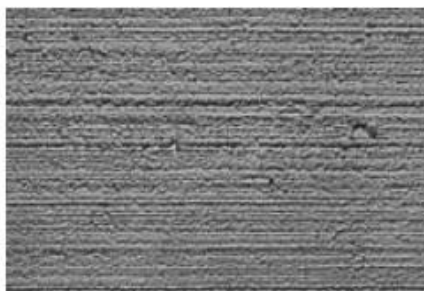
Aktuální měření ukazují, že úseky provedené touto úpravou alespoň zpočátku vykazují menší hluk a kvalitní protismykové vlastnosti povrchů vozovek. Často vznikají výrazně hrubší povrchy než s jutou. Vysokou plošnou hmotností zhruba 2000 g/m² se vtiskne hlubší textura než s jutou. Umělý trávník částečně vytáhne na povrch malé frakce kameniva. I umělý trávník se musí vyčistit nebo vyprat, když textura zaniká nebo se stává nepravidelnou. Rozdíly jsou ve výšce (20 mm až 30 mm) a druhu vláken. [44]



Obrázek 52 Podélné texturování jutou a umělým trávnikem [31]

3.11.2.2.3 Příčné texturování ocelovým koštětem

Tento povrch je hlučnější než podélně texturované povrchy. Textura v příčném směru je ale lepší z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek. Druh ocelových štětů koštěte (tuhost, rozměry, uspořádání) musí být sladěn vlastnostmi povrchové malty. Při provádění se musí zohlednit, že úhel nastavení koštěte a přítlak v souvislosti s maltou na povrchu mají značný vliv na hloubku textury. Z koštěte je nutné pravidelně odstranit ulpívající jemnou maltu. [44] Texturu lze vytvořit buď ručně, nebo mechanicky koštětem, které vyrábí 1,5 mm – 3 mm hluboké pruhy, může být orientován podélně nebo příčně k ose komunikace. [31]

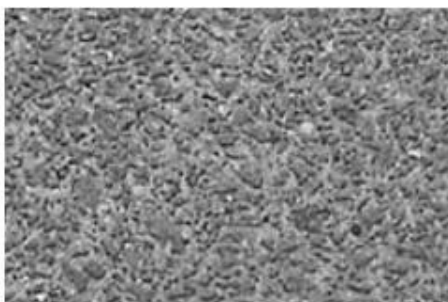


Obrázek 53 Texturování ocelovým koštětem [31]

3.11.2.2.4 Texturování odstraněním povrchové malty

Vymývaný beton je všeobecně užívaný hovorový termín (z německého Waschbeton). Přesnější název je odhalené kamenivo (z anglického Exposed aggregate), protože plocha betonu není vymývána ale kartáčována. Na základě malého maximálního zrna na povrchu a větší hloubky textury sjednocuje tato technologie vysoké a trvanlivé protismykové vlastnosti povrchů vozovek s nízkou hlučností. Výsledky měření na německých a rakouských dálnicích ukazují, že tento povrch je málo hlučný stejně jako texturovaný povrch v podélném směru jízdy.

Povrch vzniká analogicky jako způsob stavby s tenkým horním betonem s tím rozdílem, že zde je povrchová malta z ještě čerstvého betonu vykartáčována a 3. fáze je k dispozici již od počátku. Ihned po pokládce se z pracovní plošiny nastříká kombinovaný zpomalující prostředek tuhnutí a prostředek k dodatečnému ošetření betonu, který zamezí hydrataci cementu v nejvrchnější vrstvě a zároveň zabráňuje vyschnutí čerstvého betonu. Jakmile je beton dostatečně ztvrdlý a pojízdný, je neztvrdlá malta z povrchu vykartáčována a odstraněna pomocí motorizovaného ocelového koštěte tak, aby vznikl stejnoměrný povrch z vymývaného betonu, na kterém je obnažena frakce kameniva 4/8 mm. Poté se pro ošetření povrchu betonu nastříká ze zařízení pohyblivého se na pracovní lávce běžný ošetřovací prostředek. Komůrka pro spáry se provádí zpravidla po vykartáčování povrchové malty. [44]



Obrázek 54 Povrch vymývaného betonu [31]

3.11.2.3 Ošetřování

Cílem ošetření je především snížení nepříznivých vlivů na cementobetonový kryt vozovky a pokud možno snížit vysychání a zahřívání betonu na minimum. Vypařující se voda odebírá teplo a betonový

kryt tvrdne na horní straně při příznivější nižší teplotě nebo dokonce při nižší teplotě než ve spodní oblasti.

K ošetření se zpravidla nejprve nastříká na čerstvý betonový povrch kapalný ošetřovací prostředek, který ve značné míře zabraňuje odpařování vody z čerstvého betonu. Při betonování v teplých ročních obdobích by se měly používat speciální ošetřovací prostředky se zvýšeným součinitelem reflexe, které vedle ochrany před odpařováním vody díky své světlé barvě snižují zahřívání betonu. [44]

3.11.3 Údržba povrchu vozovek

Mezi údržbové technologie nacházející se na PK je možné počítat emulzní kalový zákryt, mikrokoberec, postřík, nátěr, bezpečnostní protismykovou úpravu BPÚ (Rocbinda) a tryskovou metodu.

Emulzní asfaltová vrstva je směs minerálního kameniva, asfaltové emulze a přísad položená na povrch vrstvy vozovky za studena. Po vyštěpení asfaltové emulze je možno vrstvu ihned užívat. Rozlišujeme emulzní kalové zákryty a emulzní mikrokoberce. [46]

Emulzní kalový zákryt (EKZ) je tenká kalová vrstva, která je provedena při použití modifikované asfaltové kationaktivní emulze a kameniva. Kalové zákryty jsou vhodné k ochraně proti pronikání vody, k prodloužení životnosti asfaltových povrchů, pro dosažení jednotného optického vzhledu, omezení vzniku a šíření poruch a pro dosažení bezprašnosti krytu. EKZ lze provádět na všech typech asfaltových vrstev s výjimkou drenážního koberce PA, na cementobetonových krytech a na dlažbách. [46]

Emulzní mikrokoberec (EMK) je kalová vrstva, která je provedena při použití modifikované asfaltové kationaktivní emulze a minimálně dvou frakcí kameniva (maximální velikost zrna zpravidla $D \leq 11$ mm). EMK může sloužit ke zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovky. [46]

Postříky jsou tenké vrstvy asfaltového pojiva, naneseného na povrch obrusné či jiné konstrukční vrstvy pomocí rozstřikovače pojiva. Jsou vhodné při údržbě PK k prodloužení životnosti asfaltových povrchů. [46]

Nátěr je povrchová úprava vytvořená z vrstvy pojiva nanesené na povrch vozovky pomocí rozstřikovače pojiva a z vrstvy kameniva nanesené na pojivo pomocí podrt'ovače. Nátěr se používá na zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek, ochranu staré vozovky proti pronikání vody, prodloužení životnosti vozovky, šíření poruch v obrusné vrstvě nebo uzavření povrchu nové úpravy. Lze použít i na cementobetonové kryty. [46]

Bezpečnostní protismykové úpravy (BPÚ) povrchů vozovek poskytují díky použité technologii a kvalitním materiálům vysoké hodnoty součinitele tření a zároveň jsou schopné odolávat velkému dopravnímu zatížení a udržet tak velmi dobré protismykové vlastnosti povrchů vozovky po celou dobu své životnosti. Jedná se o tenké vrstvy prováděné za studena nebo za horka s použitím speciálních

pojiv a kameniva, případně jiných zdrsňujících materiálů. BPÚ jsou určeny spíše pro menší plošné rozsahy, protože jejich pokládka je z největší části prováděna ručně. [42] Nejznámější úpravou je Rocbinda, která se nanáší na stávající vozovku. Na povrch vozovky se rozprostře polyuretanová pryskyřice a posype bauxitovým kamenivem, které se urovná košťaty a přebytek se odstraní zametením.

Trysková metoda spočívá v nanesení vrstvy pojiva a kameniva na očištěný poškozený povrch vozovky pomocí speciálního zařízení na výpravu vozovek pod tlakem. Jedná se o speciální typ nátěrové technologie. [41]

3.11.4 Údržba povrchu CB krytu

Mezi údržbové technologie CB krytů se řadí tryskání tlakovou vodou, broušení, jemné frézování a tryskání ocelovými kuličkami.

3.11.4.1 Texturování do tvrdého betonu

Pro všechny staré betonové kryty, které byly v důsledku vysokého dopravního zatížení silně ohlazené, a mají tak nedostatečné protismykové vlastnosti povrchů vozovek, a pro úseky, u nichž je v důsledku nepříznivého podélného nebo příčného sklonu nedostatečné odvodnění nebo pro případy poškození existuje několik možností nápravy:

- Broušení betonového povrchu,
- Frézování betonového povrchu,
- Otryskání betonového povrchu,
- Drážkování v podélném nebo příčném směru. [44]

3.11.4.1.1 Broušení betonového povrchu

Broušení diamantovými kotouči vytváří podélnou texturu jako manšestr. Jako zařízení se používají pilové kotouče namontované hromadně na řezací hlavě. Hlava vyrábí 164-197 rýh/m a může odstranit 3-20 mm z povrchu. [31]



Obrázek 55 Povrch CB krytu broušený diamantovými kotouči [55]

3.11.4.1.2 Frézování betonového povrchu

Používá se fréza s osazenými noži s ostřím ze speciálních slitin.

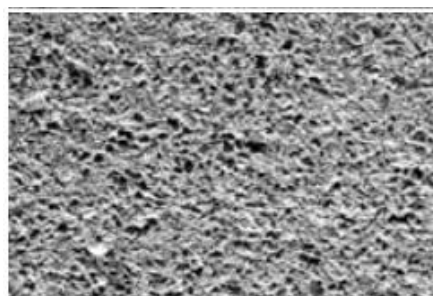


Obrázek 56 Frézovaný povrch CBK [51]

Na rozdíl od broušení je frézování podstatně razantnější technologií. Při frézování povrchu CBK dojde vždy k odstranění vrstvy cementobetonové malty a k obnažení hrubého kameniva. Po odfrézování má povrch CBK velmi dobrou makrotexturu, a také mikrotextura frézováním narušeného hrubého kameniva je velmi dobrá. Na čerstvě odfrézovaném povrchu CBK se bezpochyby vždy naměří vysoké hodnoty součinitele tření. Životnost z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek potom závisí hlavně na ohladitelnosti hrubého kameniva a na ukotvení zrn v betonu, který musí zajistit, aby se kamenná zrna nevylamovala.

3.11.4.1.3 Otryskání

Otryskaný povrch je povrch vyrobený zařízením, které vrhá abrazivní medium na povrch vozovky v uzavřeném krytu. Abrazivní medium narazí na povrch a odstraní tenkou vrstvu malty a kameniva. Hloubka odstranění je kontrolována a prach je vysáván. [31]



Obrázek 57 Otryskaný povrch CBK [31]

Jednou z nejpoužívanějších úprav povrchů CBK s nevyhovujícími protismykovými vlastnostmi bylo v minulosti otryskání kluzkého povrchu ocelovými kuličkami. Tato údržbová technologie je pro obnovu protismykových vlastností povrchů vozovek nevhodná, protože není schopná obnovit makrotexturu povrchu CBK. Obnovení mikrotextury je nedostatečné a nezaručí ani krátkou životnost úpravy.

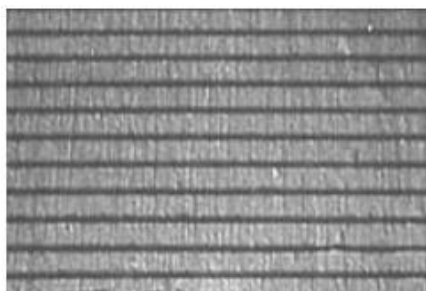
Tryskání tlakovou vodou je pro údržbu úseků CBK s nevyhovujícími protismykovými vlastnostmi vhodnější technologií, než tryskání ocelovými kuličkami. Velký tlak, kterého vodní paprsek dosáhne, umí povrch CBK také zcela narušit. Proto je u této technologie velmi důležité nastavit tlak vodního paprsku na takovou hodnotu, aby se na povrchu CBK jen zlepšila makrotextura.

Broušení i frézování povrchů CBK jsou stejně jako otryskání povrchu tlakovou vodou vhodné technologie pro opravy úseků s nevyhovujícími protismykovými vlastnostmi povrchů CBK. Mají také stejná rizika jako tryskání tlakovou vodou, kdy hrozí takové narušení povrchu CBK, které může způsobit korozi povrchu nebo až tvorbu výtluků. Při broušení může být problém opačný. Narušení cementobetonové malty může být tak malé, že pneumatiky projíždějících vozidel povrch opět vyhladí do původního stavu. Pokud by se tyto technologie měly ve větší míře používat k odstraňování souvislých úseků, bude vždy nutné napřed intenzitu broušení nebo frézování vyzkoušet na pokusném poli.

3.11.4.1.4 Drážkování

Při drážkování diamantovými kotouči se vytvářejí drážky řezané do povrchu podélně na PK a příčně na letištích. Drážky jsou běžně 6 mm hluboké, 3 mm široké a rozteč bývá 20 mm. Na letištích jsou většinou 6 mm hluboké, 6 mm široké s roztečí 40 mm. [31] Diamantové drážkování příčné a podélné, může poskytnout odpovídající charakteristiky tření. [30]

Technologie podélného drážkování, jako zdrsňující úpravy kluzkých povrchů CBK nebyla v ČR zatím použita. Na několika místech dálnic ČR bylo použito šikmých drážek pro odvod vody z povrchu CBK v místech s malým příčným sklonem. Měření součinitele tření v těchto místech však neprokázalo žádný vliv příčného drážkování na protismykové vlastnosti povrchů CBK.



Obrázek 58 Drážkovaný povrch CBK [31]

3.11.4.2 Výměna CB desek

Výměna CB desek není technologií primárně určenou pro zlepšení protismykových vlastností povrchů CBK. K výměně CB desek dochází prakticky na všech starších úsecích dálnic a rychlostních silnic v ČR, kde ještě nebyl použit kotvený CBK. Pro názorný příklad byla vybrána dálnice D1 v úseku Rousínov – Vyškov, kde bylo v minulých letech vyměněno větší množství CB desek. Již první měření protismykových vlastností povrchů vyměněných CB desek naznačovaly nevyhovující technologii úpravy povrchu. Při použití technologie výměny CB desek je proto vhodné použít také technologii zdrsnění povrchu, která odpovídá původnímu stavu. To znamená na starších površích CBK příčnou striáž a na novějších taženou jutu, aby byla zachována homogenita povrchu CBK a nedocházelo na opravených deskách k velkým změnám protismykových vlastností povrchů vozovek.

3.11.4.3 Překrytí povrchu CBK nátěrem, mikrokobercem nebo tenkým asfaltovým kobercem

Technologie překrytí povrchu CBK nátěrem, mikrokobercem nebo tenkým asfaltovým kobercem je zřejmě nejstarší úpravou, která obnovuje protismykové vlastnosti povrchů CBK. Z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek jsou nejstarší úseky na dálnici D11 sledovány již od roku 1997.

Zvláště mikrokoberce vykazují dlouhou životnost z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek a také prodlužují životnost CBK. Rizikem při použití technologie překrytí povrchu CBK je spojení překrývající vrstvy s CBK. Proto je vhodné před pokládkou překrývající vrstvy původní povrch očistit například tlakovou vodou nebo brokováním. V případě zcela vyhlazených povrchů je dobré narušit cementobetonovou maltu na povrchu CBK například broušením nebo tlakovou vodou.

4 METODIKA ŘEŠENÍ

Pro dosažení cílů disertační práce byl zvolen následující postup řešení:

- Prokázat vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na nehodovost a stanovit charakteristické hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek pro jejich klasifikaci pomocí srovnání databáze dopravních nehod a výsledků měření protismykových vlastností povrchů vozovek zařízením TRT.
- Shromáždění dostupných dat z měření protismykových vlastností povrchů obrusných vrstev dlouhodobě sledovaných úseků, výběr vhodných lokalit pro odběr směsi s rozbořem a zkouškou zrychlené ohladitelnosti dle ČSN EN 1097-8. Sledované úseky byly rozděleny na přímé části a části se zvýšeným namáháním vodorovnými silami (směrové oblouky, křižovatky, přechody pro chodce apod.). V rámci práce bylo provedeno dlouhodobé sledování vybraných úseků pro stanovení životnosti protismykových vlastností obrusných vrstev vozovek.
- Stanovit vliv dopravního zatížení, makrotextury a mikrotextury na výsledné protismykové vlastnosti povrchů vozovek.
- Vyhodnocení shromážděných dat na vybraných úsecích se stanovením metodiky dalšího postupu pro hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek pro různé typy obrusných vrstev. Výsledkem budou návrhy na změny ČSN EN a TP týkající se požadavků na ohladitelnost kameniva pro různé obrusné vrstvy v závislosti na velikosti a způsobu zatížení vozovek pozemních komunikací.
- Získávání zkušeností s měřením v zařízení W/S pro předpověď protismykových vlastností povrchů vozovek.
- Účast v mezinárodním výzkumu, revize norem a předpisů týkajících se protismykových vlastností povrchů vozovek.

Zkušební metody použité v disertační práci jsou popsány v kapitole 3.8.

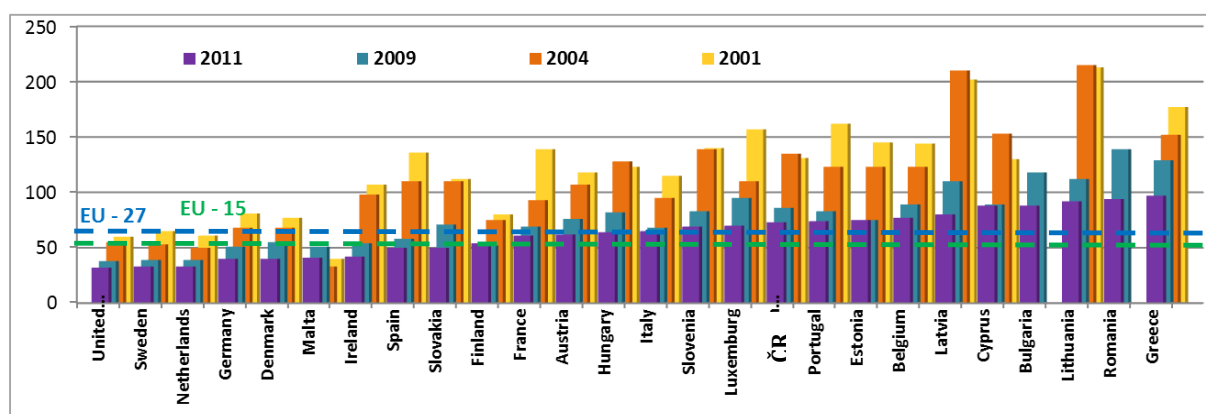
5 VÝSLEDKY

V následující kapitole je popsána praktická část disertační práce sestávající ze stanovení závislosti protismykových vlastností povrchů vozovek na dopravní nehodovosti a dopravním zatížení. Dále jsou charakterizovány vhodné technologie pro zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek.

5.1 Vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na dopravní nehodovost

Snižování nehodovosti a hlavně jejich následků vyjádřených počtem zemřelých při dopravních nehodách se stalo významným cílem Evropské unie. V Bílé knize o dopravě [60] z roku 2001 byl definován rozsáhlý program bezpečnosti, který měl do roku 2010 snížit počet úmrtí na silnicích na polovinu. Tuto Bílou knihu přijala také ČR a Česká silniční společnost vyhlášením Národní strategie bezpečnosti silničního provozu do roku 2010, jejímž záměrem bylo snížení počtu usmrcených v silničním provozu na 50 % úrovně roku 2002, tj. na 650 usmrcených osob v roce 2010. Skutečnost v roce 2010 byla 785 usmrcených.

Obrázek 59 demonstruje vyhodnocení evropských států v počtu úmrtí při nehodách na milion obyvatel. Nelichotivá situace byla zaznamenána zejména v případě nově přijatých členů EU včetně ČR. ČR z původního 15. místa mezi zeměmi EU v roce 2001 poklesla na 17. místo v roce 2011. ČR se soustředila na výstavbu dálnic a rychlostních silnic, které potom mají relativní nehodovost několikanásobně nižší než nahrazené silnice, ale v řádu 10 let nemohou podstatně ovlivnit celkovou nehodovost.

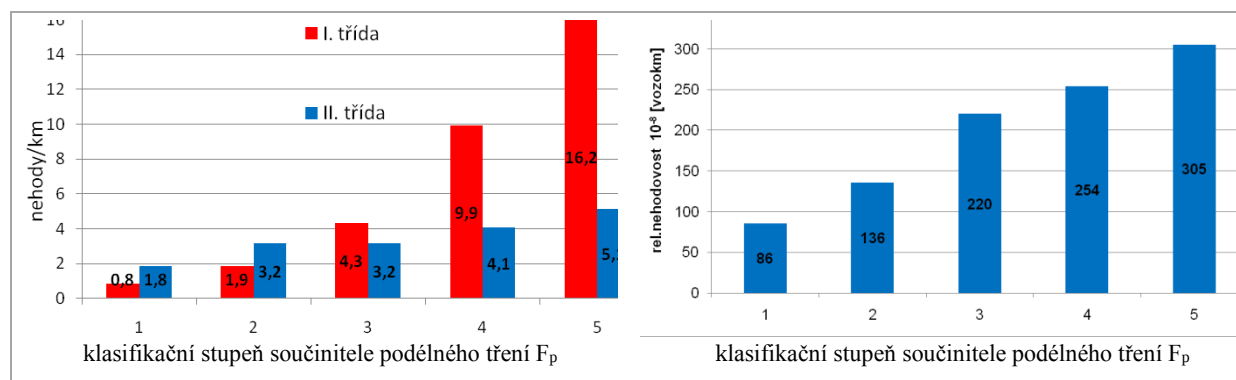


Obrázek 59 Počet úmrtí na milion obyvatel v letech 2001-11 [61]

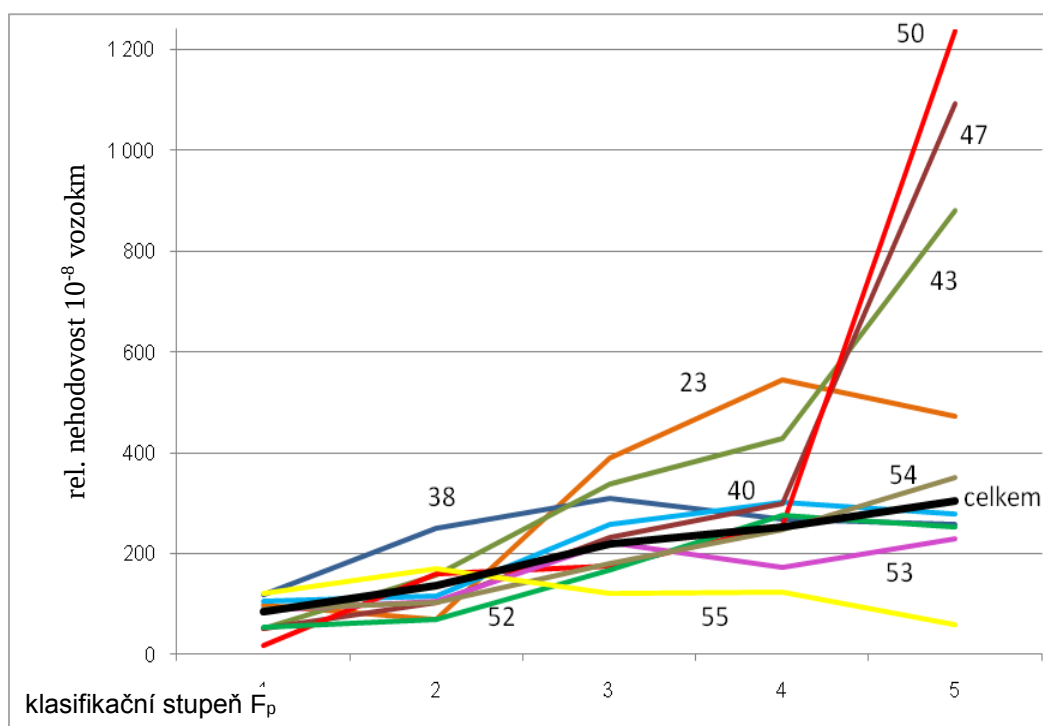
Propojení databáze dopravních nehod a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek je zachyceno na obrázku 60 (vlevo), kde je v diagramu vyjádřena závislost průměrného ročního počtu nehod na přepočtený 1 km silnice I. a II. třídy z let 2003 a 2004 v okresech Brno-venkov a Vyškov v závislosti na hodnocení součinitele podélného tření.

Nehody na celé síti silnic I. třídy v Jihomoravském kraji (s výjimkou čtyřpruhových směrově rozdělených silnic) v roce 2005 jsou již v obrázku 60 (vpravo) vyjádřeny relativní nehodovostí (počet

nehod na 10^{-8} vozokilometrů v daném roce) v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek a v obrázku 61 jsou tyto závislosti uvedeny pro jednotlivé silnice v daném souboru silnic. Nejvyšší závislost relativní nehodovosti na protismykových vlastnostech povrchů vozovek měly silnice s vysokou intenzitou dopravy a s obtížným směrovým a výškovým vedením. Nehodovost se v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek velmi zvyšuje (mezi klasifikací protismykových vlastností povrchů vozovek ve stupni 2 a 5 je v průměru zaznamenán nárůst nehodovosti na 2,2násobek a nárůsty nehodovosti na jednotlivých silnicích jsou 5násobné až 12násobné).



Obrázek 60 Vliv hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek na počet nehod přepočtený na 1 km silnice ve dvou okresech 2003-4; relativní nehodovost na silnicích I. třídy v Jihomoravském kraji

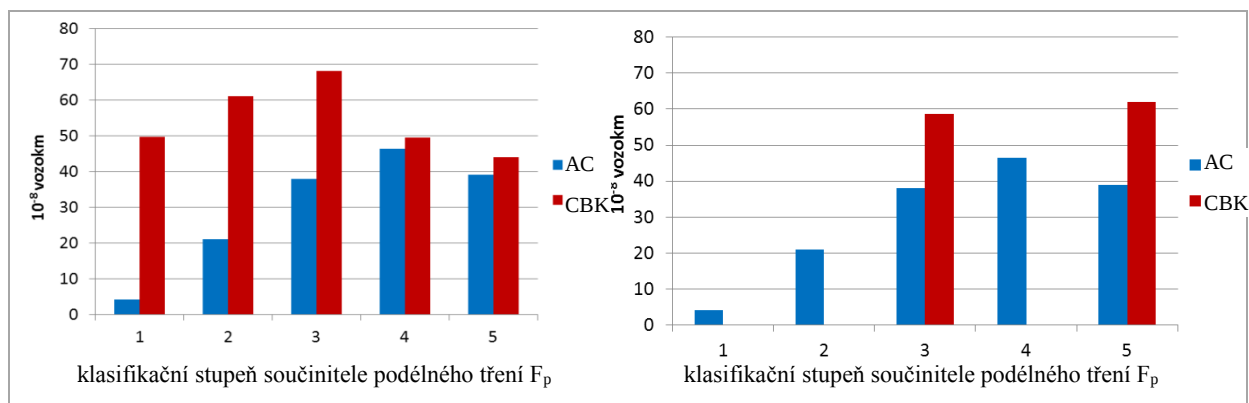


Obrázek 61 Relativní nehodovost na jednotlivých silnicích Jihomoravského kraje v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek

Ke zkoumání závislosti nehodovosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek u dálnic byl vybrán úsek dálnice D5, u kterého byly podrobně analyzovány dopravní nehody. Povrch dálnice je rozdělen na asfaltový (dále AC) v km 41 až 88,5 (s výjimkou cementobetonového krytu CBK v tunelu Valík) a v km 88,5 až 150, kde je CBK střídáný s úseky s asfaltovým povrchem na mostech, na vysokých násypech nebo po provedené údržbě povrchu asfaltovým kobercem mastixovým a emulzním mikrokobercem v celkové délce 9,3 km ze 123 km délky jízdních pásů. Všem evidovaným nehodám v databázi Policie ČR z let 2006 až 2009 byl přiřazen odpovídající povrch dle staničení. Problém lokalizace vznikl na úseku s CBK (od km 88,5) při snaze odlišit nehody, které se staly na povrchu AC nebo CBK. Úseky AC jsou někde jen krátké (od 70 m) a někde delší (nejvýše 730 m). Pokud je nehoda lokalizována na AC povrchu, potom prvopočátek nehody mohl být již na povrchu předešlém (CBK) a naopak. Ve formulářích o nehodách je často uveden jiný povrch, než odpovídá lokalizaci staničením. Proto se v uvedených analýzách úseky s CBK s krátkými podúseky AC v km 88,5 až 150 zatřídily jen jako CBK úseky s tím, že střídání úseků s CB a AC je základní charakteristikou těchto vozovek a je třeba připustit, že v místech přechodů AC a CB je snížena bezpečnost silničního provozu.

Celkově na AC i CB povrchu dálnice D5 došlo na 1 km dálnice ročně průměrně k 3,8 nehodám. Průměrná intenzita dopravy je na úseku s AC povrchem vyšší (podle sčítání dopravy v roce 2005 byla intenzita dopravy 26 000 vozidel za 24 h) než na CB úseku (16 800 vozidel za 24 h), protože část dopravy je cílová do Plzně a okolí. Přesto po uvážení intenzity dopravy je relativní nehodovost na povrchu CBK průměrně o 58 % vyšší než na AC povrchu.

Závislost relativní nehodovosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek potom vyjadřuje obrázek 62 (vlevo). Relativní nehodovost na AC površích na dálnici vyjadřuje vysokou závislost na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek a je oproti nehodovosti na AC površích silnic I. třídy 6krát až 20krát nižší. To je vidět při srovnání rozsahu svislých os v obrázku 62 (vlevo) a obrázku 60 (vpravo). Vozovky s CB povrchem tuto závislost nehodovosti na klasifikačním stupni protismykových vlastností povrchů vozovek nevyjadřují.

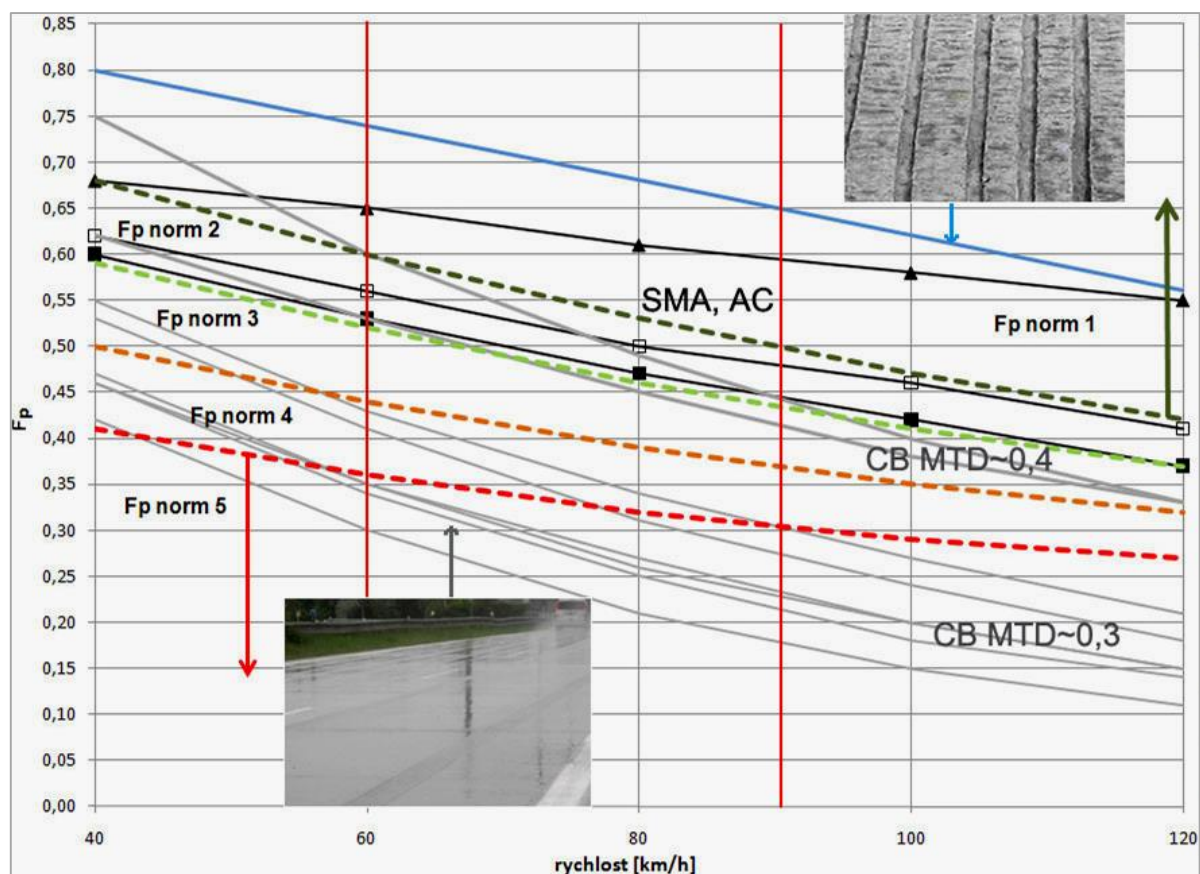


Obrázek 62 Závislost relativní nehodovosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek AC a CBK povrchů dálnice D5 pro měřicí rychlost 60 km/h (vlevo) a 90 km/hod (vpravo)

AC povrchy v současnosti dosahují vysokých hodnot makrotextury, zejména v případě mastixových koberců do zrnitosti 11 mm a asfaltových betonů o zrnitosti do 16 mm (průměrná hloubka makrotextury MTD je zpravidla vyšší než 0,75 mm). Povrch CBK má nižší makrotexturu (MTD nižší než 0,40 mm), a proto se vzrůstající rychlostí měření hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek rychle klesá. Závislost součinitele tření F_p na měřicí rychlosti na vybraných charakteristických úsecích dokumentuje obrázek 63 (tmavé tučné čáry platí pro F_p AC, šedé pro CBK, čárkované jsou meze závislosti F_p v klasifikačních stupních a modrá čára je CBK s negativní texturou). Z obrázku 63 vyplývá, že hodnocení úseků CBK při měřicí rychlosti 60 km/h klasifikačním stupněm 1 a 2 poklesne při měřicí rychlosti vyšší než 90 km/h na klasifikační stupeň 3. Úseky CBK, které jsou při měřicí rychlosti 60 km/h hodnoceny klasifikačním stupněm 3 až 5, jsou všechny při měřicí rychlosti vyšší než 90 km/h hodnoceny klasifikačním stupněm 5.

Pokud se použilo hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek klasifikačními stupni stanovenými pro rychlost vyšší než 90 km/h, potom relativní nehodovost obou úseků je zobrazena v obrázku 62 (vpravo).

Poměrně malý soubor osobních nehod zatím není důvodem pro hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek dálničních vozovek s CBK při měřicí rychlosti 90 km/h. Jemnozrnný povrch CBK zřejmě dokáže zajistit poměrně vysoké tření při nízkých rychlostech a zabránit zvýšeným následkům nehod, než dojde k jeho ohlazení. Podstatné snížení hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek nastane až po vyhlazení povrchu, což se projeví zejména při měření rychlostí 60 km/h. Protismykové vlastnosti povrchů vozovek i na dálnicích ovlivňují nehodovost a je třeba protismykové vlastnosti povrchů vozovek měřit, provádět opatření při nízkých protismykových vlastnostech povrchů vozovek a hledat povrchy vozovek, které by protismykové vlastnosti povrchů vozovek zlepšily a měly dlouhodobou trvanlivost.



Obrázek 63 Porovnání křivek součinitele tření F_p různých povrchů ve vztahu k rychlosti

5.1.1 Stanovení požadovaných charakteristik protismykových vlastností povrchů vozovek

Měření protismykových vlastností povrchů vozovek se provádí za nejméně příznivých podmínek dle [5]:

- hladkou měřicí pneumatikou,
- povrch se zkrápí vodou s dosažením tloušťky vodního filmu na povrchu vozovky nejméně 0,5 mm,
- měřicí kolo je buď zablokováno (neotáčí se) nebo je rychlost otáčení snížena o 15 % až 25 % (modelují se podmínky vozidla vybaveného systémem ABS),
- měření se provádí při několika rychlostech, aby se stanovila závislost součinitele tření na měřicí rychlosti.

Výsledkem řešení, oponentních jednání a normalizačních procesů bylo stanovení požadovaných protismykových vlastností povrchů vozovek do tabulky 16 a 17 v normě ČSN 73 6177 [5], předpise TP 87 [41] a požadavků na ohladitelnost kameniva v úsecích se zvýšeným namáháním obrusných vrstev do výrobních norem [39], které čerpaly rovněž z výsledků této disertační práce. Revize se navíc inspirovala britským výzkumem (viz tabulka 8).

Pro hodnocení kontinuálního měření se hodnoty součinitele podélného tření F_p zprůměrují po 20 m. Průměrná nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření z úseků o délce 20 m se porovná

s hodnotícím kritériem dle tabulky pro příslušnou měřicí rychlost a přiřadí se jí odpovídající klasifikační stupeň 1 až 5.

Tabulka 16 Hodnocení součinitele podélného tření F_p [5]

Měřicí rychlost [km/h]	Klasifikační stupeň				
	1	2	3	4	5
40	$F_p \geq 0,68$	0,67 až 0,59	0,58 až 0,50	0,49 až 0,41	$F_p \leq 0,40$
60	$F_p \geq 0,60$	0,59 až 0,52	0,51 až 0,44	0,43 až 0,36	$F_p \leq 0,35$
80	$F_p \geq 0,53$	0,52 až 0,46	0,45 až 0,39	0,38 až 0,32	$F_p \leq 0,31$
100	$F_p \geq 0,47$	0,46 až 0,41	0,40 až 0,35	0,34 až 0,29	$F_p \leq 0,28$
120	$F_p \geq 0,42$	0,41 až 0,37	0,36 až 0,32	0,31 až 0,27	$F_p \leq 0,26$

Tabulka 17 Požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek a textury povrchu vozovky [5]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
F _p , PTV ¹⁾					
1. Požadavek na zvýšené protismykové vlastnosti podle A.1.4					
2. D, R, RMK, Silnice, MK					
MTD ¹⁾ , MPD ¹⁾					
3. PK s dovolenou rychlostí vyšší než 50 km·h ⁻¹					
4. PK s dovolenou rychlostí 50 km·h ⁻¹ a nižší					
	Přejímka povrchu vozovky pro uvedení úseku do provozu				
	Posouzení povrchu vozovky na konci záruční doby ²⁾				
	Plán souboru opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky				
	Provedení opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky ³⁾				

¹⁾ Měření textury lze pro posouzení protismykových vlastností použít jako závazné jen u PK s dovolenou rychlostí 50 km·h⁻¹ a nižší za podmínky, že proběhne současně jak měření PTV, tak i měření MTD nebo MPD a oba parametry jsou hodnoceny minimálně klasifikačním stupněm 3. V ostatních případech je měření textury pouze orientační a pro závazné posouzení se musí použít dynamické měřicí zařízení pro zjišťování součinitele tření.

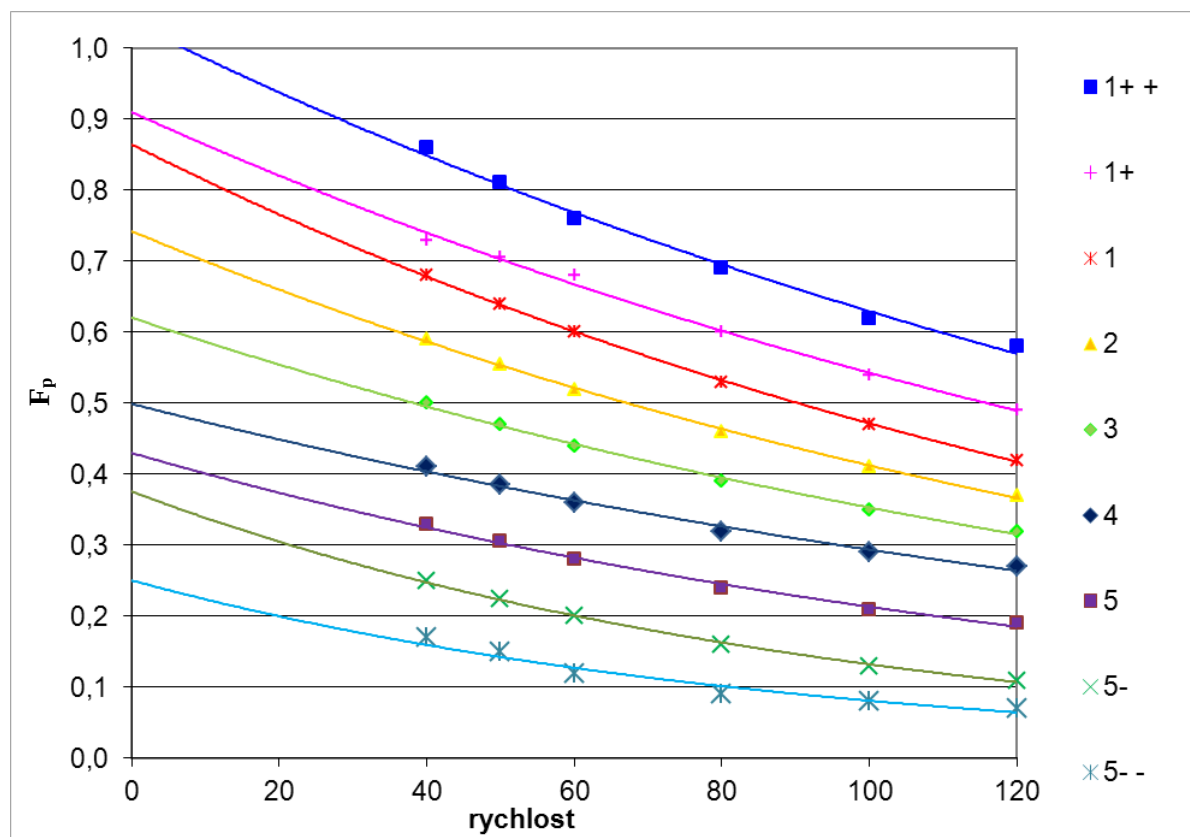
²⁾ Délka záruční doby podle TKP kapitola 1, příloha 7, tab.1 nebo podle smluvních podmínek.

³⁾ Do doby provedení opatření se na úseku osadí dopravní značky A 8 „Nebezpečí smyku“ s dodatkovou tabulkou E 6a „Za mokra“, případně se sníží nejvyšší dovolená rychlost jízdy dopravní značkou B 20a.

5.1.2 Výpočet brzdné dráhy

Naměřené hodnoty součinitele tření mezi měřicí pneumatikou a povrchem vozovky, včetně závislosti na rychlosti měření, se zařazují do klasifikačních stupňů. Do výpočtu brzdné dráhy byly zapojeny krajní průběhy součinitele podélného tření z tabulky 16 a ty byly rozšířené o nejvyšší klasifikace 1++ odpovídající součiniteli tření na bezpečnostní protismykové úpravě (BPÚ) dle [42] až po nejhorší klasifikaci 5-- velmi kluzkého mokrého povrchu, který má protismykové vlastnosti povrchů vozovek srovnatelné s náledím. Závislost průběhů všech F_p na rychlosti je vyjádřena na obrázku 64, přičemž měření zařízením TRT odpovídá vozidlu s ABS (skluz 25 %), avšak převedením dle rovnice (42) lze

získat charakteristiky vozidla bez ABS. Model vozidla s brzděním se zablokovanými koly splňuje starší měřicí zařízení VÚD-2 (viz obrázek 28), a to při skluzu pneumatiky 100 %.



Obrázek 64 Hodnoty F_p získané dle [5] v závislosti na rychlosti proložené exponenciální závislostí

$$f_{p(VÚD-2)} = -0,039 + 0,915 \cdot f_{p(TRT)} \quad (42)$$

Danými body uvedenými v obrázku 64 a přepočítané na zařízení VÚD-2 byla proložena exponenciální funkce. Hodnoty f_p se přenásobily tíhovým zatížením g , aby se zachovala adhezni podmínka při brzdění:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot f_p \quad (43)$$

Kde m hmotnost vozidla [kg],

a brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

g tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] (počítáno s hodnotou $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),

f_p koeficient podélného tření [-].

Zpomalení při brzdění a je podle rovnice (43) vyjádřeno hodnotou $10 \cdot f_p$ a po zkonstruování křivek závislosti zpomalení vozidla na rychlosti se stanovily jejich rovnice (44) v MS Office, ze kterých se následně mohla stanovovat délka brzdné dráhy.

Exponenciální závislost zpomalení na rychlosti:

$$a = A \cdot e^{B \cdot v} \quad (44)$$

Doba brzdění z 50, 60 a 100 km/h na 0 km/h:

$$t = \frac{-1 + e^{B \cdot v}}{A \cdot B \cdot e^{B \cdot v}} \quad (45)$$

Délka brzdné dráhy:

$$s = \frac{\ln\left(-\frac{1}{t \cdot A \cdot B - 1}\right) \cdot t}{B} - \frac{\ln\left(-\frac{1}{t \cdot A \cdot B - 1}\right)}{B^2 \cdot A} + \frac{t}{B} \quad (46)$$

Kde A, B parametry regresní funkce,

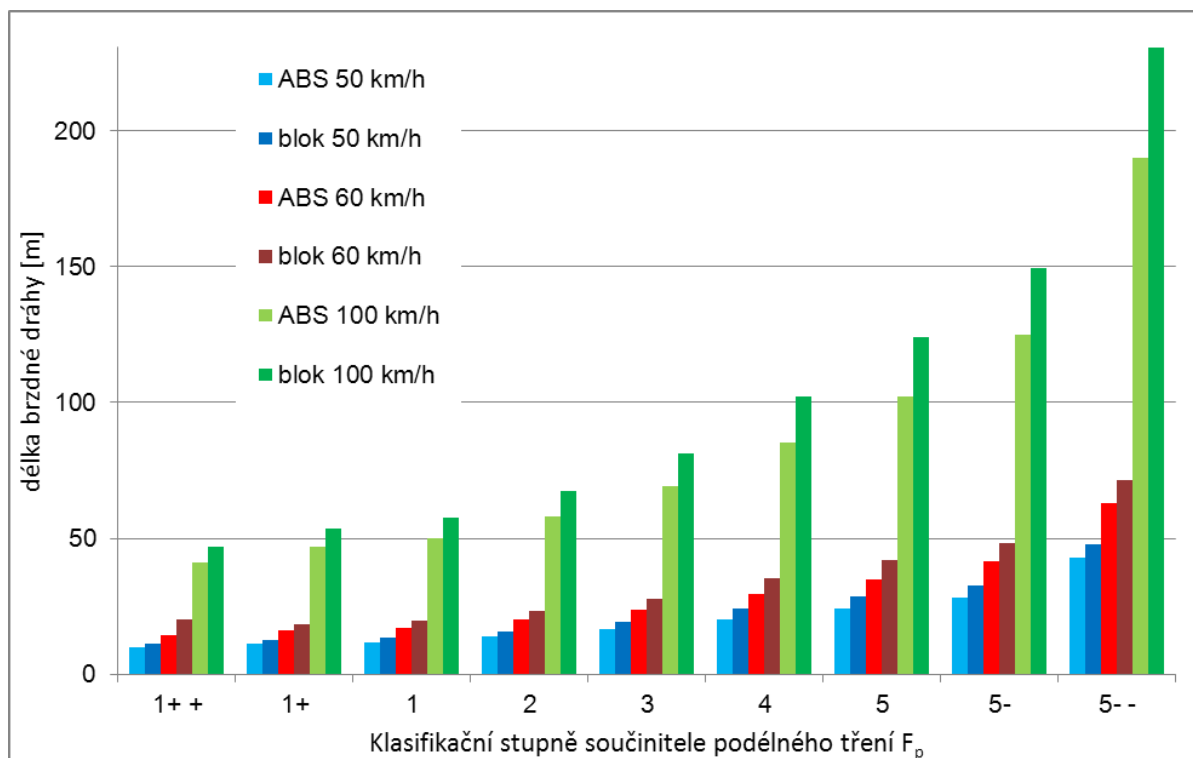
v rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

t čas [s],

s brzdná dráha [m],

a brzdné zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

V následujícím obrázku 65 jsou pro relativní srovnání uvedeny čisté brzdné dráhy vozidla při rychlosti jízdy 50 km/h, 60 km/h a 100 km/h (tj. dráha bez vzdálenosti ujeté za reakční dobu řidiče a dobu náběhu brzd). Lze upozornit na rozdíl mezi brzdou dráhou vozidla při rychlosti 60 km/h a 50 km/h. Stejně brzdné dráhy mezi oběma rychlostmi se dosáhne při zvýšení hodnoty součinitele tření o dva klasifikační stupně. O přínosu snížení rychlosti jízdy v obci se nepochybuje, ale přínos zvýšených protismykových vlastností povrchů vozovek se v ČR většinou zanedbává. Dále je třeba zdůraznit exponenciální růst brzdné dráhy, zejména s rapidním nárůstem od klasifikace 3 a 4.



Obrázek 65 Brzdné dráhy [m] povrchů vozovek v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek pro vozidlo s ABS a se zablokovanou pneumatikou

5.2 Závislost protismykových vlastností povrchů vozovky na dopravním zatížení

5.2.1 Dopravní zatížení

Měření hodnot protismykových vlastností povrchů vozovek je formou zápisu koeficientu podélného tření F_p v čase pomocí dynamického přístroje TRT při rychlostech 40, 60, 80 a 100 km/h. Měření v jednotlivých letech nejsou pravidelná, v některých letech měření nebylo provedeno vůbec. Pro možnost následného vyhodnocení poklesu protismykových vlastností povrchů vozovek bylo měření většinou prováděno v pravém jízdním pruhu (pro pomalá vozidla) ve středu i ve stopě vozidel a ve stopě levého (rychlého) pruhu. Nejvíce hodnot bylo snímáno ve stopě pravého pruhu, ve středu pravého pruhu a v pruhu levém byla četnost měření výrazně nižší.

Koeficient tření F_p byl zařízením TRT snímán jako průměr po 20 m. Poté byl proveden průměr hodnot F_p po celém úseku. Ze statistického hlediska je nutno vypočtené průměry koeficientu tření F_p přepočítat na 5% kvantil. Výsledné hodnoty jsou pro přehledné zpracování sledovaných jevů transformovány do grafů v následujících kapitolách. S využitím výsledků sčítání dopravy na dálniční a silniční síti v letech 1990, 1995, 2000, 2005 a 2010 byly vyneseny závislosti koeficientu podélného tření F_p na počtu přejezdů těžkých nákladních vozidel TNV. K jednotlivým datům uskutečněných měření F_p jsou přiřazeny sumy projetých TNV od pokládky zkoumaného krytu. Přepočet TNV na hodnoty pro nejvíce zatížený pruh je proveden pomocí vztahu (41).

Současně byly na všech úsecích provedeny jádrové vývrty o průměru 150 mm pro detailní popis a následný rozbor, které jsou popsány u každého úseku v následujících kapitolách. Pomocí extrakce se získalo kamenivo z obrusné vrstvy (frakce 8/11) na stanovení hodnoty ohladitelnosti kameniva dle ČSN EN 1097-8. Na některých úsecích byla zároveň zjištěna hodnota střední hloubky textury MTD dle ČSN EN 13036-1.

5.2.2 Závislost součinitele podélného tření na dopravním zatížení a ohladitelnosti kameniva PSV

5.2.2.1 Úseky asfaltových obrusných vrstev nenamáhaných vodorovnými silami

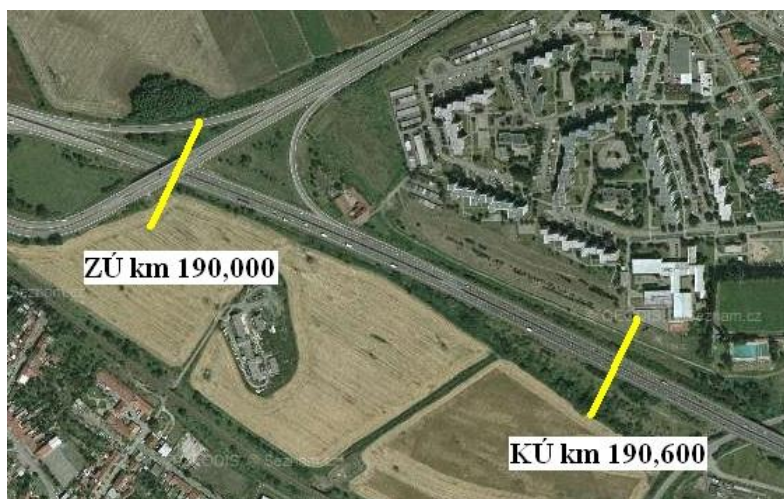
Pro analýzu protismykových vlastností povrchů vozovek bylo vybráno 14 úseků na českých dálnicích, úseky jsou vedené směrově v přímé nebo v obloucích o velkých poloměrech.

Úsek č. 1 se nachází nedaleko Prahy a je nazvaný Jesenice – Průhonice (sčítací úsek 1-8023). Jeho délka je 1000 m a je umístěn do staničení dálnice D1 km 11,000 – 10,000. V této části je dálnice D1 šestipruhovou směrově rozdělenou komunikací. Realizace obrusné vrstvy BBTM 11 byla provedena v roce 1998. Kamenivo do obrusné vrstvy pochází z lokality Měrunice a jedná se o čedič. Jako pojivo do směsi byl použit modifikovaný asfalt Evatech. Čedič je původem vyvřelá výlevná hornina bez křemene. V literatuře [47] se uvádí hodnota ohladitelnosti tohoto kameniva PSV 51.



Obrázek 66 Úsek 1 D1 km 11 – 10 [57]

Druhý úsek je na dálnici D1 v délce 600 m ve staničení km 190,000 – 190,600 (sčítací úsek 6-8691). Protismykové vlastnosti povrchů vozovek byly měřeny na pravém dvoupruhovém jízdním pásu. Obrusná vrstva vozovky je tvořena úpravou SMA 16 s využitím pojiva Starfalt 60-90 a byla položena v roce 1994. Kamenivo v obrusné vrstvě pochází z lomu Olbramovice, jedná se o horninu granodiorit. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti kameniva PSV 48.



Obrázek 67 Úsek 2 D1 km 190 – 190,6[57]

Úsek č. 3 je dlouhý 3400 m a nachází se na komunikaci D1 ve staničení 190,600 – 194,000 km (sčítací úsek 6-8691). Směrově se zde nachází 2 protisměrné oblouky, jejichž poloměry jsou dostatečně velké, aby řidič nemusel při jízdě nijak zásadně měnit směr jízdy. Za druh úpravy krytu byl zvolen SMA 11 s využitím droby z lomu Jakubčovice. Asfalt byl použit modifikovaný typu Starfalt 60-90. Pokládka byla realizována v roce 1996. V literatuře [47] se uvádí hodnota ohladitelnosti kameniva PSV 59.



Obrázek 68 Úsek 3 D1 km 190,6 – 194 [57]

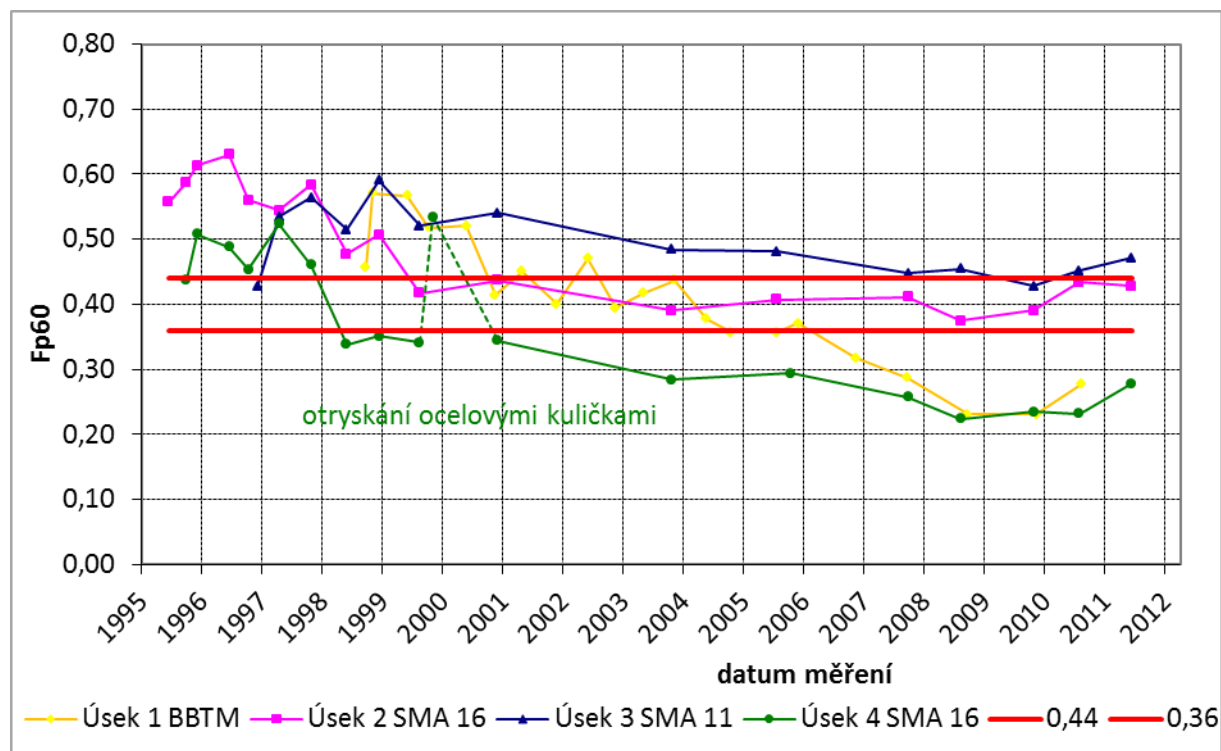
Zvolený úsek č. 4 délky 913 m komunikace D1 je situován ve staničení 196,197 – 197,110 km (sčítací úseky 6-8692 a 6-8801). Část úseku dlouhá 650 m je prvkem mimoúrovňového křížení komunikací D1 s D2. Měření protismykových vlastností povrchů vozovek bylo provedeno v pravém jízdním pruhu. Kryt vozovky je tvořen směsí SMA 16, jehož pokládka byla provedena v září 1995. Jako kamenivo do obrusné vrstvy byl použit amfibolovec z lomu Želešice. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 49.



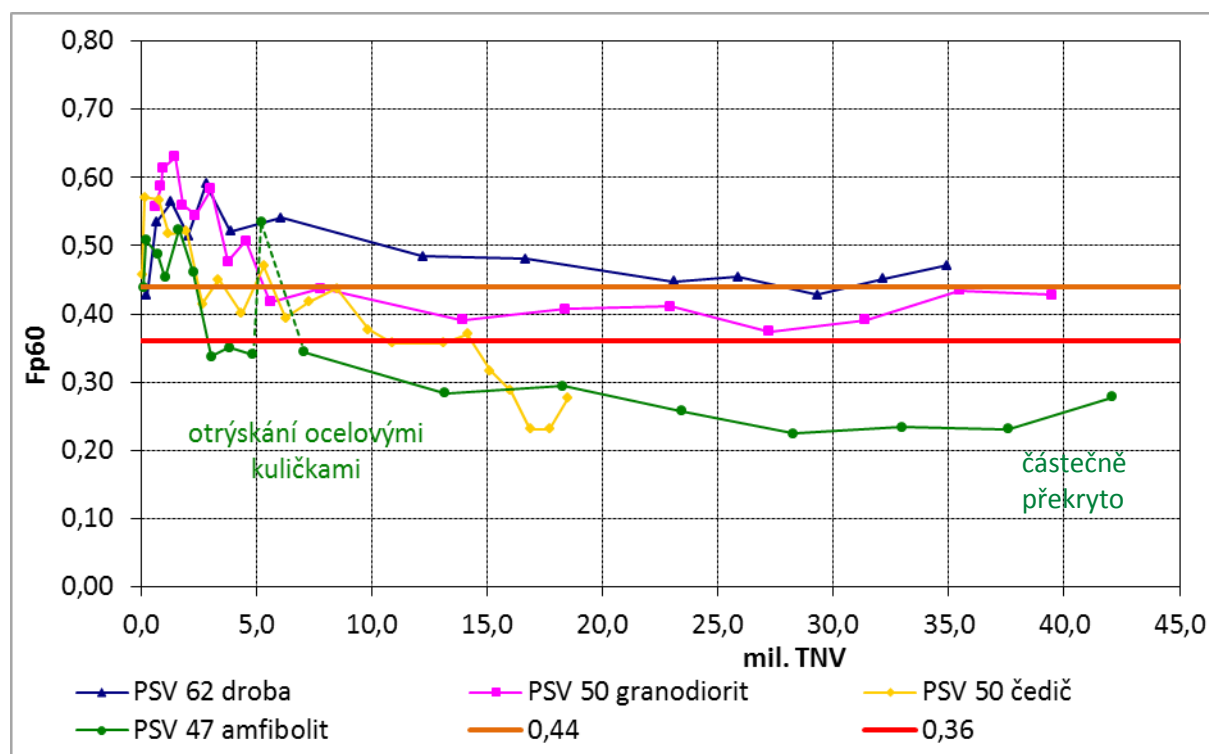
Obrázek 69 Úsek 4 D1 km 196,2 – 197,1 [57]

Z průběhu trendu grafu 1 a 2 prvního úseku (žlutá čára) lze sledovat počáteční zvýšení protismykových vlastností povrchů vozovek, které trvá krátkou dobu cca 2 měsíce (0,2 mil. pojezdů TNV). Poté křivka zaujímá klesající tendenci. Po celkovém projetí 2,4 mil. TNV se úsek dostává do klasifikačního stupně 4, do stupně 5 se zatřídí po projetí 11 mil. TNV (6 let). Čára vývoje koeficientu podélného tření druhého úseku (růžová čára) po pokládce zaujímá rostoucí tendenci, což je způsobeno ojížděním asfaltového pojiva. Maximální hodnoty $F_{p60} = 0,63$ bylo dosaženo asi po roce provozu (cca 1 mil. TNV). Poté po projetí dalších 4,3 mil. TNV, což trvalo 3 roky, křivka dosahuje hraniční hodnoty pro přechod do nevyhovujícího stavu, kde zůstává dalších 12 let. Trend průběhu F_{p60} třetího úseku (modrá čára) za celou pozorovanou dobu, kromě období ojetí pojiva a jednoho měření v roce 2009, nedosáhl hraniční hodnoty $F_{p60} = 0,44$ a 15 let si drží vynikající výsledky protismykových vlastností povrchů vozovek. Z průběhu čáry čtvrtého úseku (zelená čára) lze konstatovat, že po počátečním zvýšení hodnoty součinitele tření, se hodnoty F_p neustále snižují. Po ojetí asfaltového filmu z kameniva se koeficient podélného tření nijak výrazně nezvýšil. Po projetí 3 mil. TNV poklesly protismykové vlastnosti povrchů vozovky do havarijního stavu. Proto byla provedena údržba povrchu otryskáním ocelovými kuličkami. Tato úprava zvýšila F_{p60} až na hodnotu 0,53, ale při dalším měření (po 13 měsících) protismykových vlastností povrchů vozovky už byly hodnoty F_p v původním stavu. Následně se F_{p60} udržoval v rozmezí 0,2 – 0,3, což souvisí také se snižováním makrotextury ve spojitosti s vyjížděním kolejí.

Z provedených měření vyplývá zejména nespolehlivost popisu vývoje závislosti protismykových vlastností povrchů vozovky na stanovené ohladitelnosti PSV. Kameniva granodiorit a čedič měla stejná PSV, ale odlišný vývoj protismykových vlastností povrchů vozovky. Protože některá měření PSV se nezdála být spolehlivá, byla provedena kontrola zařízení na určení zrychlené ohladitelnosti kameniva dle [22], jak je uvedeno dále. Proto se provedla další porovnání vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek na dálničních úsecích.



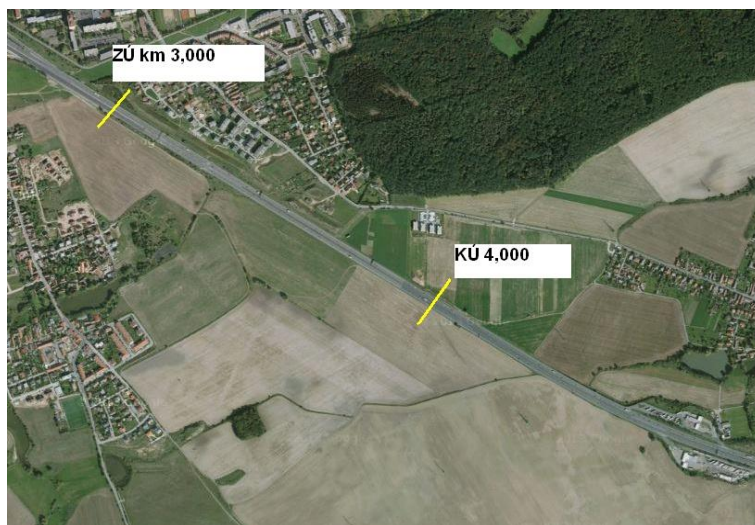
Graf 1 Hodnoty součinitele podélného tření v závislosti na stáří ohrusné vrstvy



Graf 2 Hodnoty součinitele podélného tření v závislosti na počtu projetých TNV

Úsek č. 5 je umístěn na dálnici D1 ve staničení 3,000 – 4,000 km (sčítací úsek 1-8025) a nachází se v blízkosti exitu 2 Chodov. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy vedena v přímé. Dálnice je v této části šestipruhá, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v pravém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Ohrusná vrstva krytu je provedena z SMA 11 S s podrcením. Realizována byla

v roce 1999. Kamenivo obrusné vrstvy je směs amfibolitu a vápence, získané z lomových lokalit Stříbrná Skalice, Holý Vrch a Čertovy Schody. Obsah pojiva ve směsi je 6,1 %. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 46.



Obrázek 70 Úsek 5 D1 km 3,0 – 4,0 [57]

Další úsek č. 6 je na dálnici D1 ve staničení 75,820 – 76,698 km (sčítací úsek 2-8019), který se nachází v blízkosti exitu 75 Hořice. Délka úseku je 878 m, směrově je tato část trasy v oblouku s velkým poloměrem a je ve stoupání. Dálnice je v této části pětipruhová směrově rozdělená s pruhem pro pomalá vozidla v pravém jízdním pásu. Měření byla prováděna v pravém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrusná vrstva krytu je provedena ze směsi SMA 11 S. Kamenivo obrusné vrstvy je rula, obsah pojiva je 6,1 %.



Obrázek 71 Úsek 6 D1 km 75,8 – 76,7 [57]

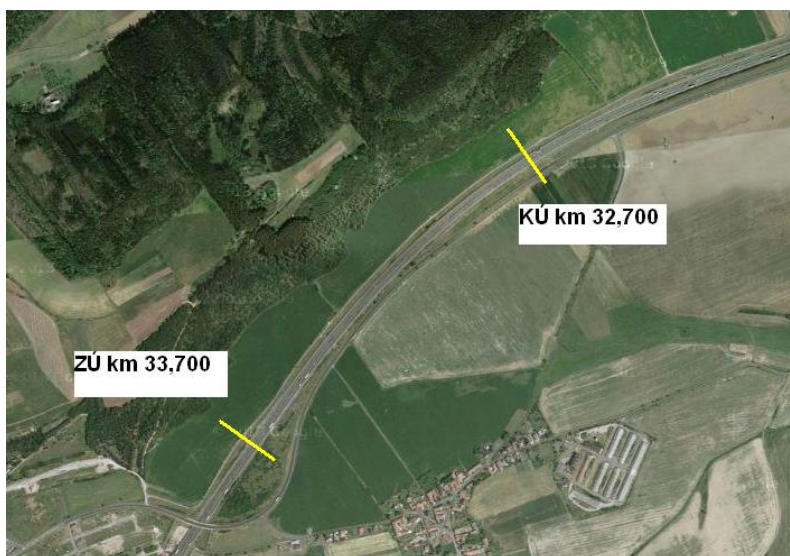
Úsek č. 7 dálnice D2 ve staničení 26,400 – 24,710 km (sčítací úsek 6-8730) se nachází v blízkosti exitu 25 Hustopeče. Délka úseku je 1690 m, směrově je tato část trasy vedena v přímé i v oblouku. Dálnice je v této části čtyřpruhová směrově rozdělená pozemní komunikace. Měření byla prováděna

v levém jízdním pásu a v pomalém pruhu. Původní obrušná vrstva krytu byla z tenkého asfaltového koberce realizovaného v roce 1992, v roce 1996 byla provedena z SMA 11 S. Kamenivo obrušné vrstvy je droba a pochází z lokality Jakubčovice, obsah pojiva je 7,0 %. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 59.



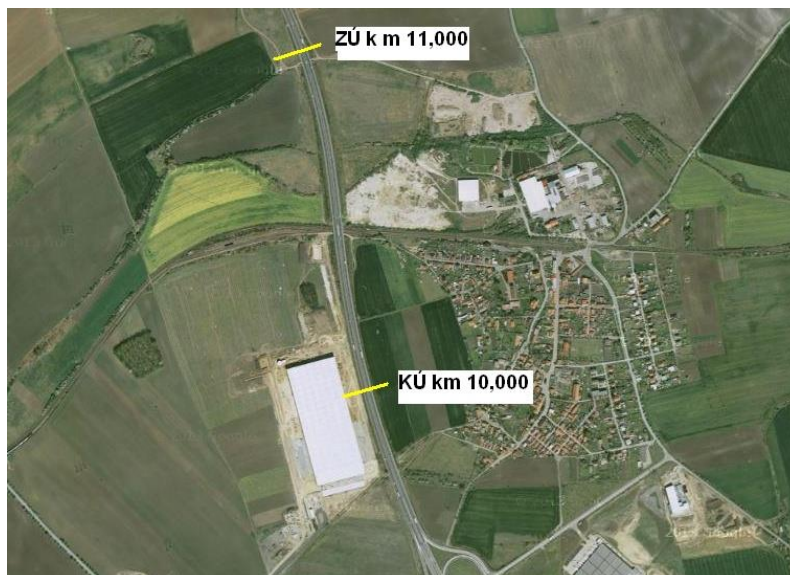
Obrázek 72 Úsek 7 D2 km 26,4 – 24,7 [57]

Úsek č. 8 dálnice D5 se nachází ve staničení 33,700 – 32,700 km (sčítací úsek 1-8160), který se je v blízkosti exitu 28 Bavoryně. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy v přímé a v oblouku. Dálnice je v této části čtyřpruhová komunikace, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v levém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrušná vrstva krytu je provedena z SMA 11 S. Obrušná vrstva byla realizována v roce 1995. Kamenivo obrušné vrstvy je směsí spilitu a čediče, obsah pojiva je 6,6 %.



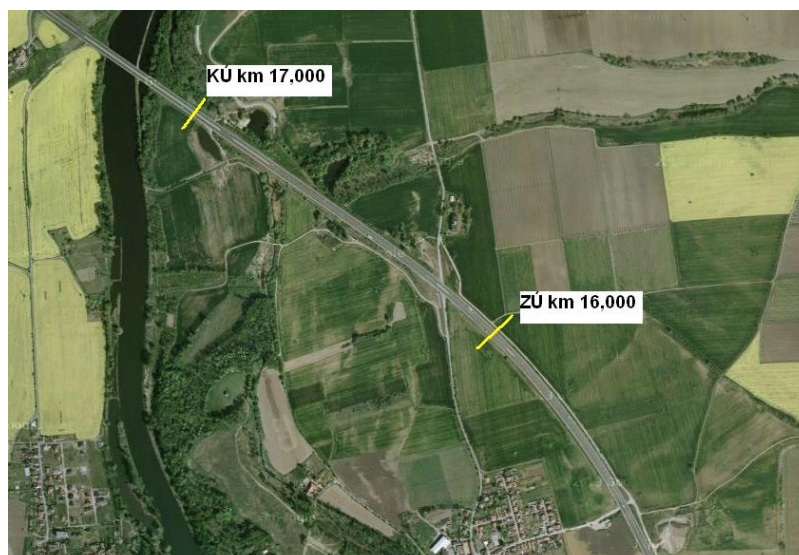
Obrázek 73 Úsek 8 D5 km 33,7 – 32,7 [57]

Úsek č. 9 se nachází na dálnici D8 ve staničení 11,000 – 10,000 km (sčítací úsek 1-8210), který je v blízkosti exitu 9 Úžice. Délka úseku je 1 000 m, směrově je tato část trasy na rozmezí dvou oblouků s mezipřímým úsekem. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v levém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrusnou vrstvou krytu je SMA 11 S. Realizována byla v roce 1997. Kamenivem obrusné vrstvy je čedič z lokality Libochovany a vápenec z Holého Vrchu a Loděnice. Obsah pojiva je 6,1 %, literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 51.



Obrázek 74 Úsek 9 D8 km 11,0 – 10,0 [57]

Další úsek č. 10 je na dálnici D8 ve staničení 16,000 – 17,000 km (sčítací úsek 1-8210), který se nachází v blízkosti exitu 18 Nová Ves. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy ve většině své délky v přímé. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená komunikace. Měření byla prováděna v pravém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrusná vrstva krytu je provedena ze směsi SMA 11 S. Realizována byla v roce 1997. Kamenivo obrusné vrstvy je směs čediče a vápence z lomových lokalit Libochovany, Holý Vrch a Loděnice, obsah pojiva je 6,3 %. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 51.



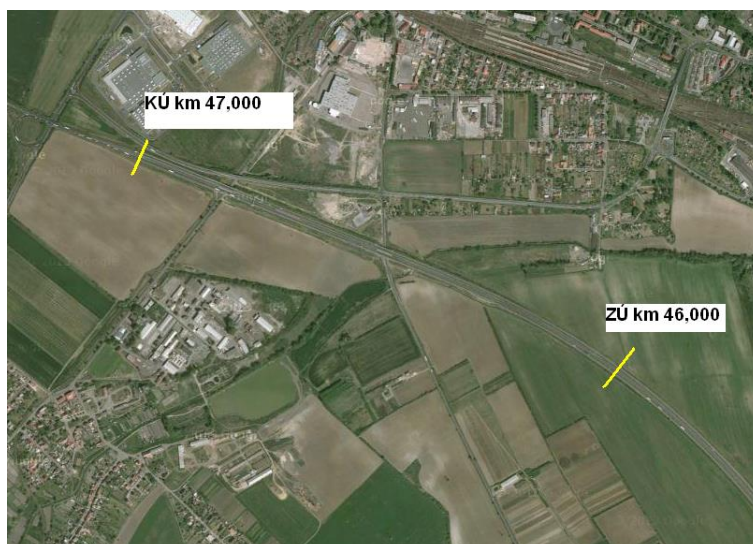
Obrázek 75 Úsek 10 D8 km 16,0 – 17,0 [57]

Dále byl zkoumán úsek č. 11 dálnice D8 ve staničení 41,000 – 42,000 km (sčítací úsek 4-8232), který se nachází v blízkosti exitu 45 Lovosice - východ. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy ve většině své délky v přímé. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v pravém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrusná vrstva krytu je provedena z SMA 11 S s podrcením. Realizována byla v roce 1998. Kamenivo obrusné vrstvy je čedič, obsah pojiva je 6,5 %.



Obrázek 76 Úsek 11 D8 km 41,0 – 42,0 [57]

Úsek č. 12 je částí dálnice D8 ve staničení 46,000 – 47,000 km (sčítací úsek 4-8233), který se nachází v blízkosti exitu 45 Lovosice - východ. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy v oblouku. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v pravém jízdním pásu, v pomalém pruhu. Obrusnou vrstvou krytu je SMA 11 S s podrcením. Vrstva byla realizována v roce 1998. Kamenivo obrusné vrstvy je čedič a vápenec z lomových lokalit Libochovany, Holý Vrch a Loděnice, obsah pojiva ve směsi je 6,0 %. Literatura [47] uvádí hodnotu ohladitelnosti PSV 51.



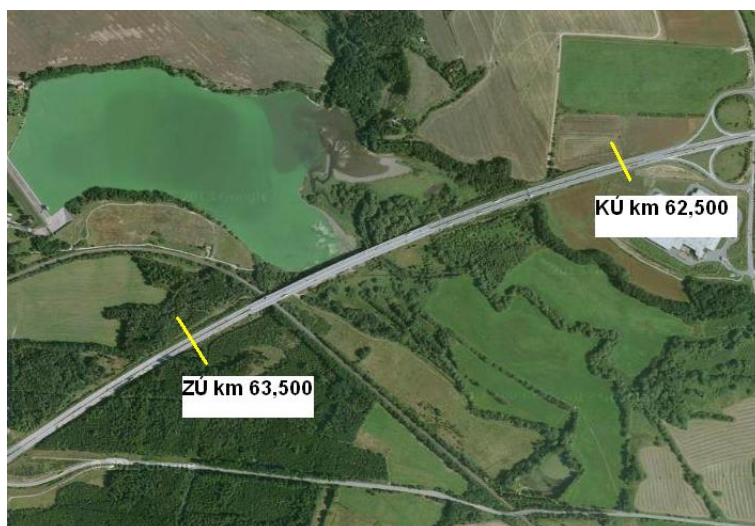
Obrázek 77 Úsek 12 D5 km 46,0 – 47,0 [57]

Následuje úsek č. 13 dálnice D8 ve staničení 1,000 – 2,000 km (sčítací úsek 1-8200). Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy v přímé i v oblouku. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená komunikace. Měření byla prováděna v pomalém (krajním) pruhu v obou směrech. Krytem vozovky je vrstva ACO 16 položená v roce 1993. Kamenivo obrusné vrstvy je směs spilitu a čediče.



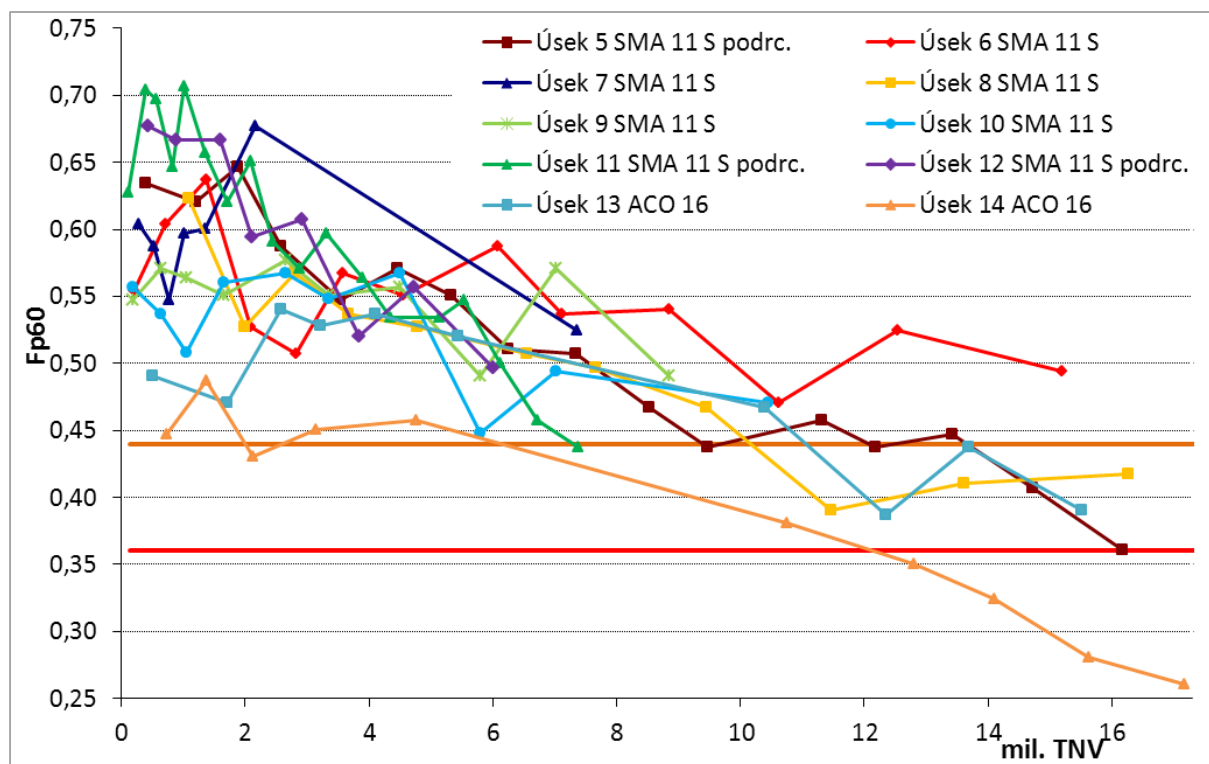
Obrázek 78 Úsek 13 D8 km 1,0 – 2,0 [57]

Úsek č. 14 dálnice D5 ve staničení 63,500 – 62,500 km (sčítací úsek 3-8182) se nachází v blízkosti exitu 62 Rokycany. Délka úseku je 1000 m, směrově je tato část trasy ve většině své délky v přímé. Dálnice je v této části čtyřpruhová, směrově rozdělená. Měření byla prováděna v pomalém (krajním) pruhu v levém pásu (směr Praha). Obrusná vrstva krytu je provedena z ACO 16. Realizována byla v roce 1993. Kamenivo obrusné vrstvy je spilit.

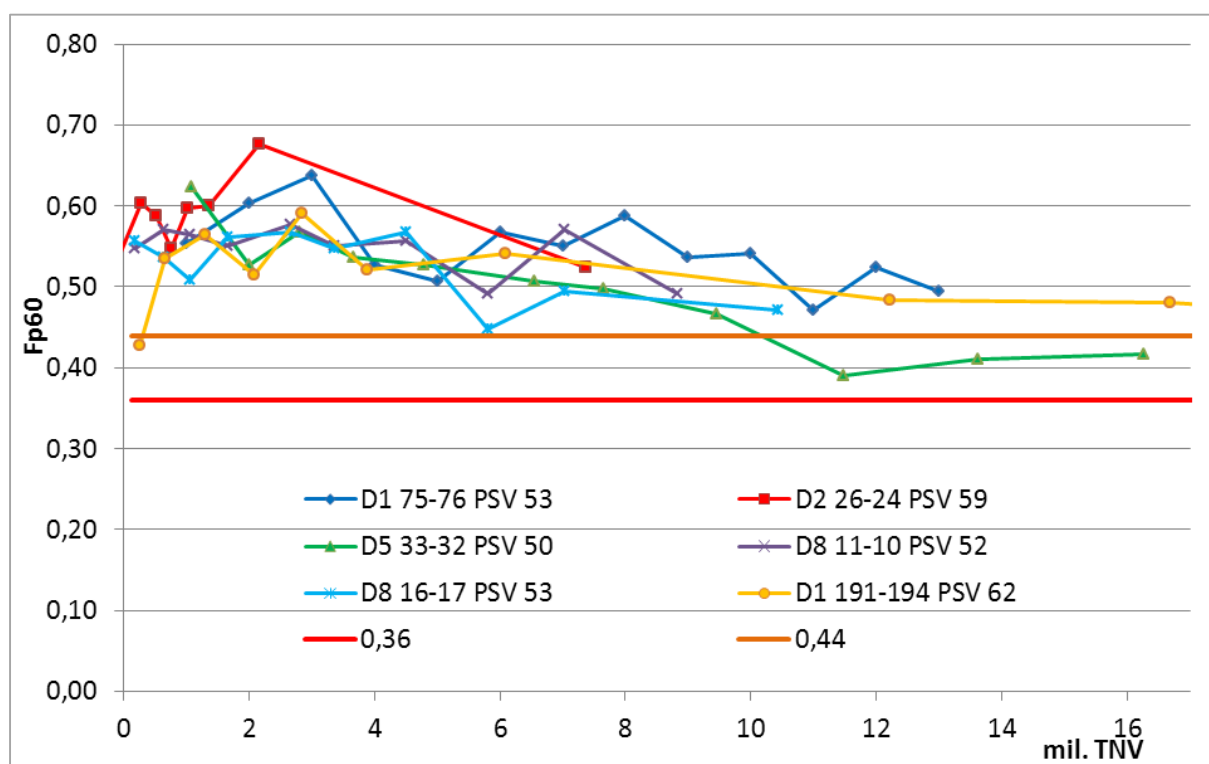


Obrázek 79 Úsek 14 D5 km 63,5 – 62,5 [57]

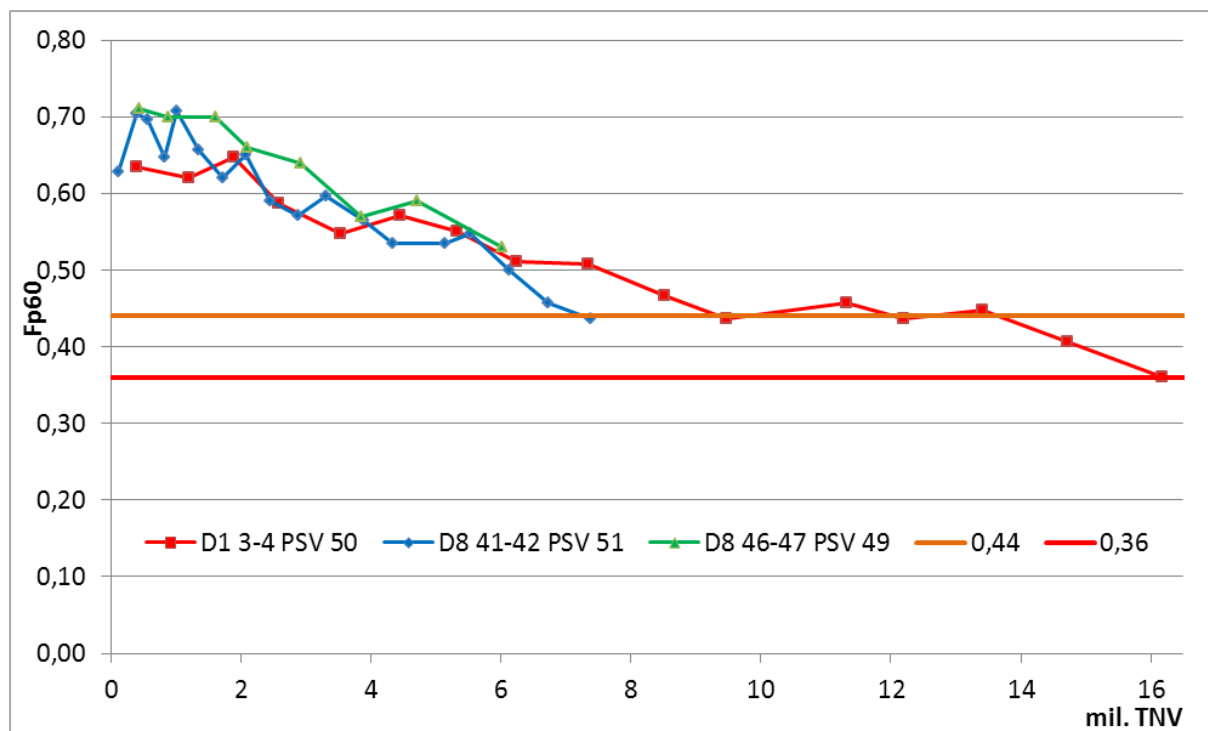
Pro porovnání vývoje sledovaných hodnot součinitele tření byly použity údaje naměřené při rychlosti 60 km/h, které jsou uvedeny v grafu 3. Nejlepšího dlouhodobého průběhu F_p dosahoval úsek č. 6, kde je použitým kamenivem rula. Následuje úsek č. 7 s drobou. Středních hodnot průběhů součinitele tření je dosahováno na úseku č. 9 a 10 (komunikace se směsí čediče a vápence). Velice nízkých hodnot součinitele podélného tření je postupem času dosaženo na úseku č. 5 (amfibolit a vápenec), úseku č. 8 (spilit a čedič) a úsecích č. 11 a 12 (čedič). Nejhorší tvary křivek průběhů F_p náleží posledním dvěma čedičovým úsekům č. 13 a 14 s obrušnou vrstvou ACO. U vrstev s mastixovým kobercem se v prvních letech projevil vliv vyšší makrotextury než u vrstev s asfaltovým betonem.

Graf 3 Přehled průběhu F_{p60} v závislosti na počtu přejezdu TNV

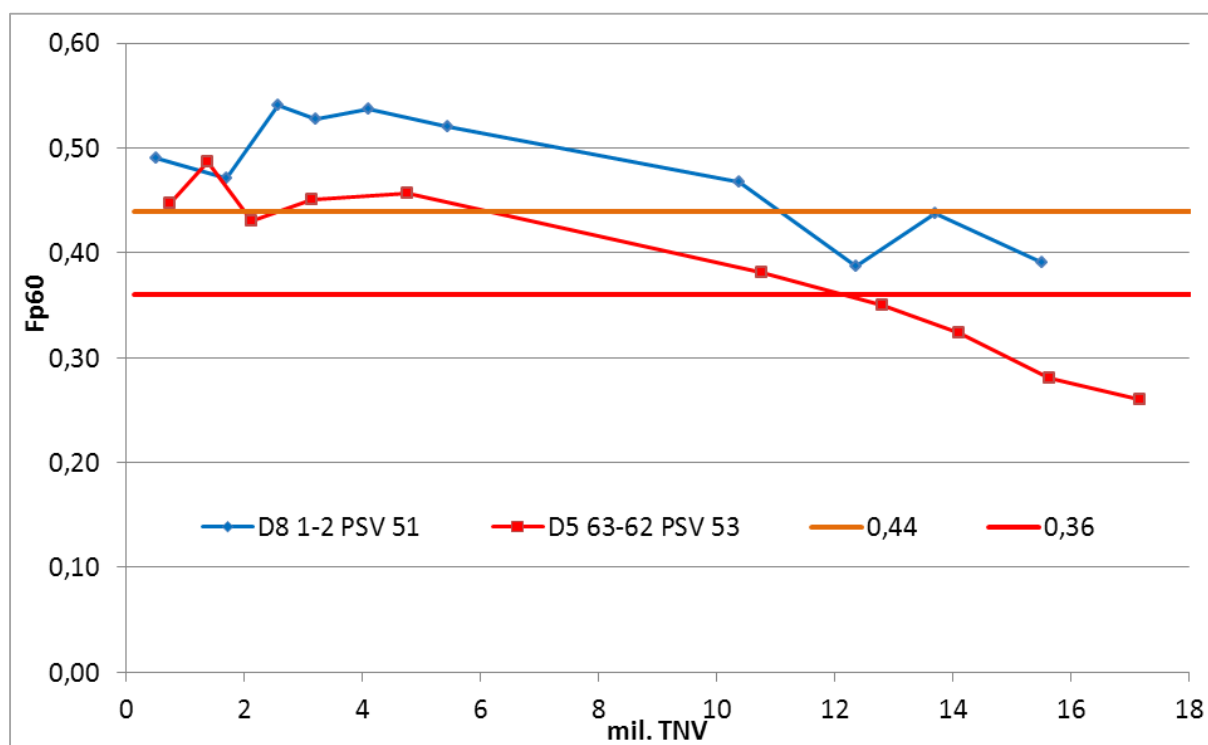
Na grafu 4 je zachyceno srovnání vývoje hodnoty F_{p60} v závislosti na počtu TNV pro obrusnou vrstvu z asfaltového koberce mastixového bez podrcení a graf 5 zobrazuje stejnou závislost pro asfaltový koberec mastixový s podrcením. Z grafů je možné odhadnout, že asfaltové koberce mastixové s podrcením dosahují zpočátku kvalitnějších protismykových vlastností povrchů vozovek, ale po určité době provozu (cca 4 miliony TNV) se hodnota F_{p60} srovnává s asfaltovými koberci mastixovými bez podrcení. Graf 6 zachycuje závislost hodnoty F_{p60} na počtu TNV pro obrusnou vrstvu z asfaltového betonu se zrnitostí do 16 mm. Úseky s asfaltovými betony ACO měly podobný průběh vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek. Úseky č. 13 (převážně spilit) a 14 (spilit) jsou více ovlivněny vývojem makrotextury a mikrotextury. Zvyšování hodnoty makrotextury (ztráta asfaltového tmele) zlepšuje protismykové vlastnosti povrchů vozovek. Po nějaké době se odhalí kamenivo, které špatnou mikrotexturou větších vystupujících zrn podstatně snižuje součinitel podélného tření.



Graf 4 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem SMA 11



Graf 5 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem SMA 11 s podrcením



Graf 6 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem ACO 16

Hodnoty ohladitelnosti PSV kameniv jednotlivých úseků z literatury [47] byly ověřeny v laboratoři, jejich hodnoty jsou srovnány v tabulce 18. Nejvyšší hodnoty ohladitelnosti se dle předpokladů naměřily na zkoušeném vzorku droby (59). Celkem očekávaná je hodnota ohladitelnosti ruly (53)

i nepříliš výrazné směsi kameniv amfibolitu a vápence (50). Stejně tak jsou naměřené hodnoty ohladitelnosti u směsi dvou nepříliš kvalitních kameniv spilitu a čediče zjištěny v očekávané úrovni (50). Čedič, který je použit u čtyř úseků, je typický velkým rozsahem měřených hodnot v závislosti na různých vlivech (např. lomová lokalita i fáze postupu těžby). I v těchto případech se hodnoty PSV pohybují od lepších 53 a 52 (úsek č. 6 a 5, s příměsí vápence), do poměrně nízkých 51 a 49 (úsek č. 7 a 8). Ze srovnání vlivu hodnoty PSV na trvání protismykových vlastností povrchů vozovek u obrusné vrstvy ACO je vidět, že na úseku s PSV 51 nedošlo v době měření k poklesu hodnot F_p pod hranici havarijního stavu, zatímco na úseku s PSV 53 ano. Vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek tak u úseků s asfaltovým betonem nelze hodnotit jen na základě získaných hodnot ohladitelnosti kameniva, ale je potřeba zjistit více charakteristik, zejména hodnoty makrotextury, která nebyla na těchto úsecích změřena.

Tabulka 18 Souhrn dálničních úseků a hodnoty ohladitelnosti kameniva PSV

Číslo úseku (staničení)	obrusná vrstva	kamenivo	PSV dle [47]	PSV naměřené
1 D1 (11,000 – 10,000)	BBTM 11	čedič	51	50
2 D1 (190,000 – 190,600)	SMA 16	granodiorit	48	50
3 D1 (190,600 – 194,000)	SMA 11	droba	59	62
4 D1 (196,197 – 197,110)	SMA 16	amfibolit	49	47
5 D1 (3,000 – 4,000)	SMA 11 S s podrcením	amfibolit, vápenec	46	50
6 D1 (75,820 – 76,698)	SMA 11 S	rula	50	53
7 D2 (26,400 – 24,710)	SMA 11 S	droba	55	59
8 D5 (33,700 – 32,700)	SMA 11 S	spilit, čedič	52	50
9 D8 (11,000 – 10,000)	SMA 11 S	čedič, vápenec	49	52
10 D8 (16,000 – 17,000)	SMA 11 S	čedič, vápenec	50	53
11 D8 (41,000 – 42,000)	SMA 11 S s podrcením	čedič	48	51
12 D8 (46,000 – 47,000)	SMA 11 S s podrcením	čedič, vápenec	46	49
13 D8 (1,000 – 2,000)	ACO 16	spilit, čedič		51
14 D5 (63,500 – 62,500)	ACO 16	spilit		53

5.2.2.2 Úseky asfaltových obrusných vrstev namáhaných vodorovnými silami

Úseky byly vybírány dle dostupných měření součinitele podélného tření. Dle mapy měření byla vybrána jedna potenciálně vhodná lokalita v Jihomoravském kraji a v Moravskoslezském kraji byly následně vybrány další tři potenciálně vhodné lokality. Další úsek byl vybrán v Praze, který obsahoval část v přímé a část s křižovatkami a směrovým obloukem. V těchto pěti lokalitách byla provedena detailnější měření protismykových vlastností povrchů vozovek společně se stanovením vlivu ohladitelnosti použitého kameniva PSV na vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek. Vybrané úseky se nacházejí na komunikacích I. třídy (kromě úseku v Praze), tedy na významných tazích

z hlediska ČR. V Jihomoravském kraji se úsek nachází na komunikaci I/50 blízko obce Kožušice. Ostatní úseky jsou v Moravskoslezském kraji na komunikaci I/11 u obcí Milotice nad Opavou a Horní Životice a v obci Nové Sedlice. Všechny úseky obsahují směrové oblouky, podélné klesání, křižovatky, přechody pro chodce, železniční přejezd, autobusovou zastávku nebo kombinací těchto rizikových míst.

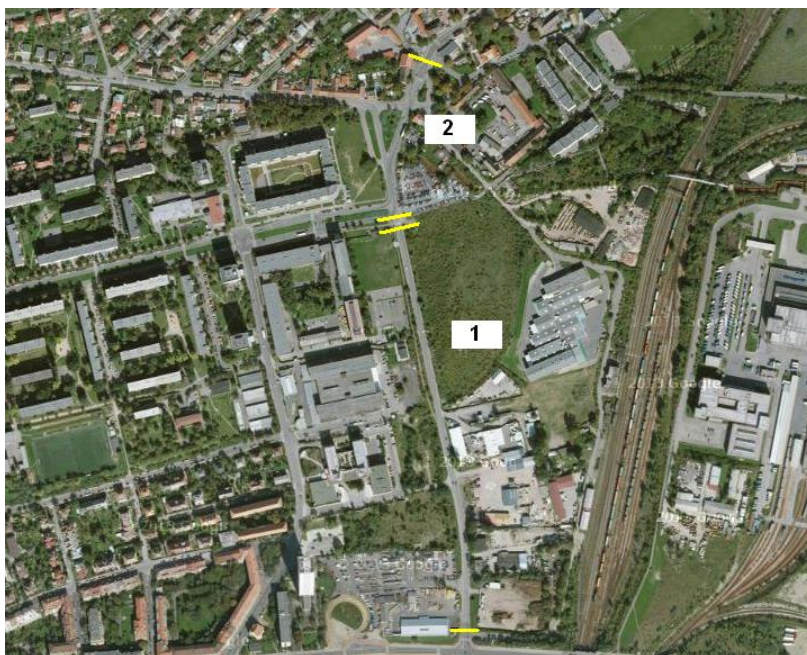
Měření dynamickými zařízeními GripTesterem a TRT bylo prováděno jednou rychlostí 60 km/h. V nepřehledných lokalitách nebo v úsecích se směrovými oblouky o malém poloměru proběhla měření rychlostí 40 km/h nebo 50 km/h. V každém úseku bylo měřeno vždy v jízdní stopě vozidla i mimo stopu.

Kvůli stanovení zvýšeného vlivu horizontálního zatížení byly grafy dlouhodobého vývoje součinitele podélného tření sestaveny pro jednotlivé úseky do 2 vývojů závislosti součinitele podélného tření na počtu těžkých nákladních vozidel (TNV). První závislost odpovídala vždy přímému úseku v oblasti bez výrazného vlivu horizontálního zatížení (mimo klesání nebo stoupání, oblouk a zpomalování). Druhá křivka odpovídala oblasti s předpokládaným výrazným vlivem horizontálního zatížení (viz následující grafy). Výchozí hodnotou pro obě závislosti byl součinitel podélného tření měřený mimo jízdní stopu, ve kterém lze předpokládat 5 – 10 % zatížení z celkového zatížení TNV. Požadavky na ohladitelnost kameniva PSV do obrusné vrstvy vozovek jsou stanoveny přiřazením výsledných hodnot ohladitelnosti kameniva PSV k sestaveným grafům dlouhodobého vývoje podélného součinitele tření.

Na většině úseků byla provedena měření makrotextury volumetrickou metodou (balotinou). Podle výsledků se měřený povrch zařadí do příslušné kategorie dle TP 87: Odpovídající stav povrchu vozovky dle měření MTD.

Následuje popis sledovaných úseků:

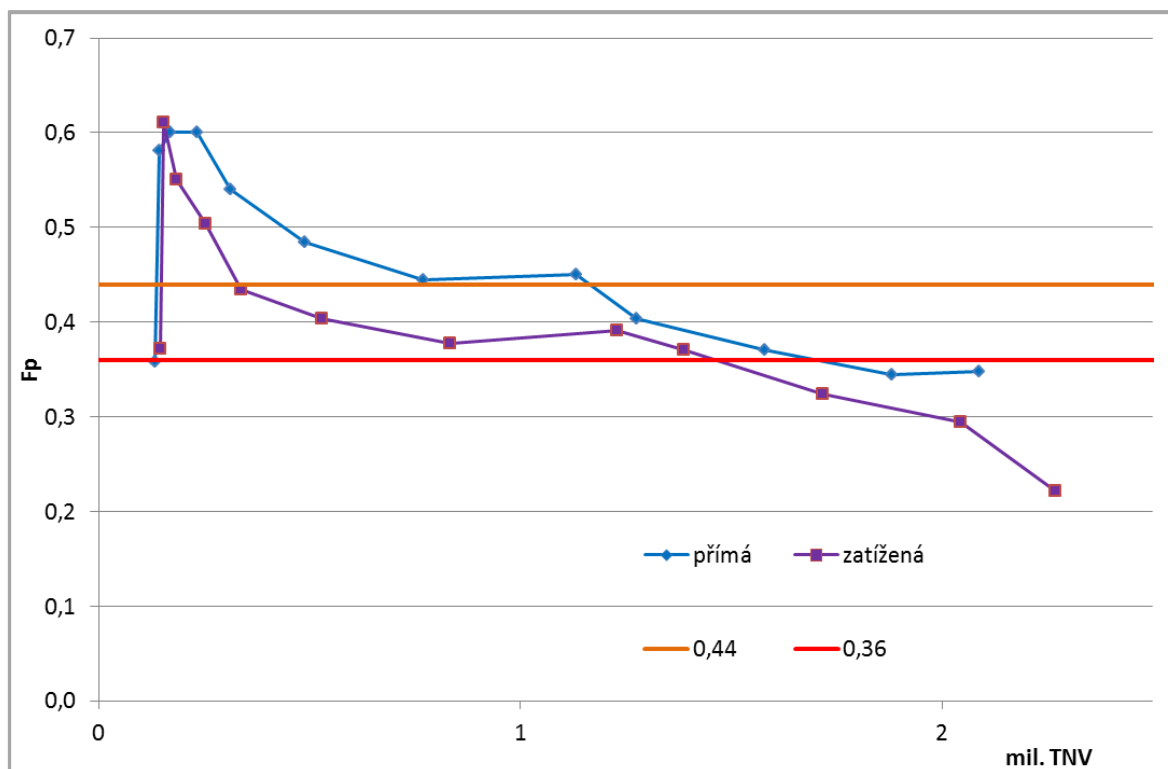
Úsek č. 15 je část ulice Dřevčická v Praze (sčítací uzly 10025 – 10055). Jedná se o městskou komunikaci, která je rozdělena na dva úseky. První úsek je přímá část komunikace, kde není provoz nijak omezován a nedochází tak k nárůstu působících vodorovných sil. Druhý úsek začíná přibližně v místě křížení s ulicí Počernickou a v jeho části se nacházejí dvě křižovatky, přičemž větší část komunikace je v oblouku. Dochází zde tedy ke zvýšenému namáhání vodorovnými silami převážně od brzdění a akceleraace. Oba úseky mají stejnou povrchovou úpravu, kde obrusnou vrstvou je směs SMA 11 S, která byla položena v roce 1994. Měření protismykových vlastností povrchů vozovky na této ulici byla prováděna v době před pokládkou nové obrusné vrstvy a krátce po ní a pokračovala také během prvních deseti let životnosti komunikace.



Obrázek 80 Úsek 15 – ulice Dřevčická v Praze [57]

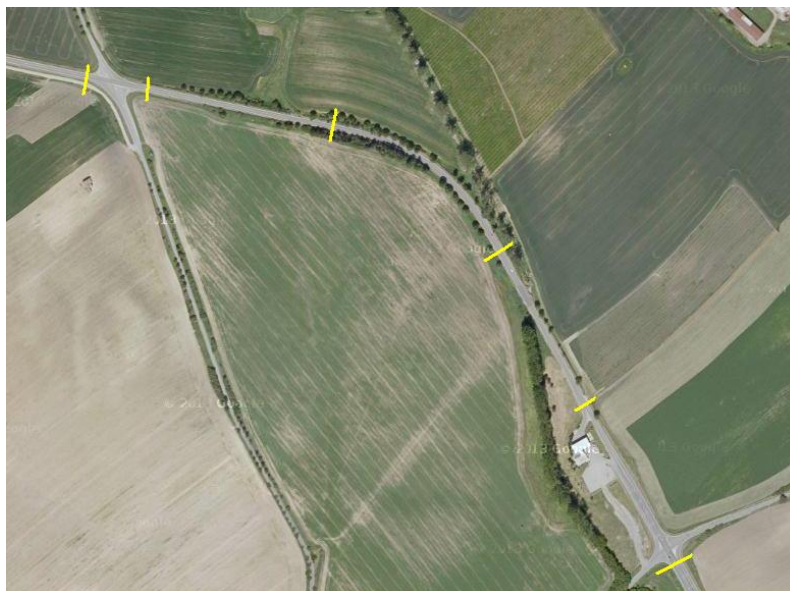
Na grafu 7 je znázorněn rozdíl rychlosti poklesu jednotlivých průběhů protismykových vlastností povrchu obrusné vrstvy SMA 11 S během životnosti konstrukce vozovky úseku 15. Z grafu vyplývá, že rychlost poklesu protismykových vlastností povrchů vozovky je rozdílná již od prvních měsíců provozu na nové obrusné vrstvě. U úseku se zvýšeným namáháním klesá úroveň protismykových vlastností povrchů vozovky výrazně rychleji. Postupně se tento pokles ustálí a strmost poklesu součinitele tření je v dalších letech téměř totožná až do devátého roku životnosti, kdy opět dochází k poklesu protismykových vlastností povrchů vozovky na druhé části úseku.

Přímý úsek dosáhne nejprve klasifikačního stupně 4 – nevyhovující stav přibližně po 1,2 mil. TNV a následně stupně 5 – havarijní stav po 1,7 mil. TNV. Oproti tomu dosáhne úsek se zvýšeným namáháním nevyhovujícího stavu již po 0,3 mil. TNV a do havarijního stavu se měřené hodnoty součinitele tření dostanou po průjezdu 1,5 mil. TNV. Je tedy zřejmé, že jedná-li se o úseky s totožným povrchem a se stejně velkým působícím dopravním zatížením, jsou výsledné rozdíly způsobeny odlišným namáháním.



Graf 7 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v ulici Dřevčická v Praze

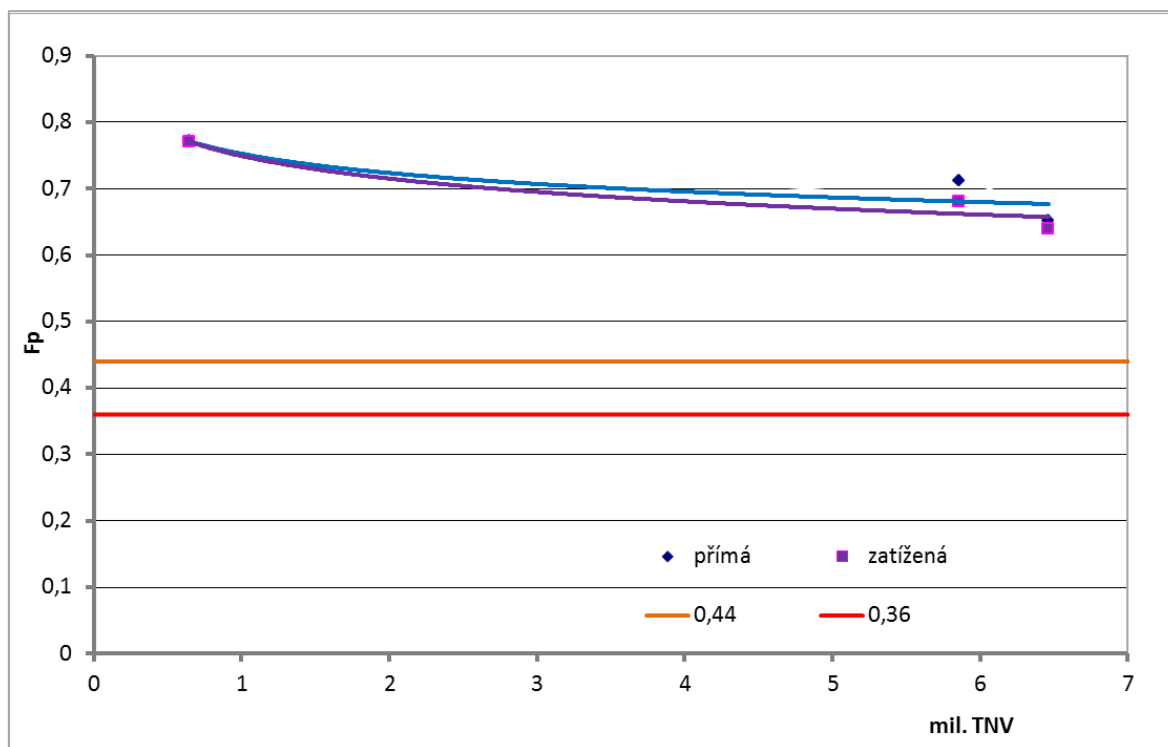
Další měřený úsek č. 16 se nachází na silnici I/50 v extravilánu u obce Kožušice a odpovídá délce 2050 m. V tomto úseku se nachází 1 směrový oblouk, 2 křižovatky, 1 mostní konstrukce a čerpací stanice. Komunikace v úseku je obousměrná s jedním jízdním pruhem. Pokládka obrusné vrstvy SMA 11 S byla provedena v roce 1993 a použitým kamenivem je droba (Jakubčovice).



Obrázek 81 Úsek 16 u obce Kožušice [57]

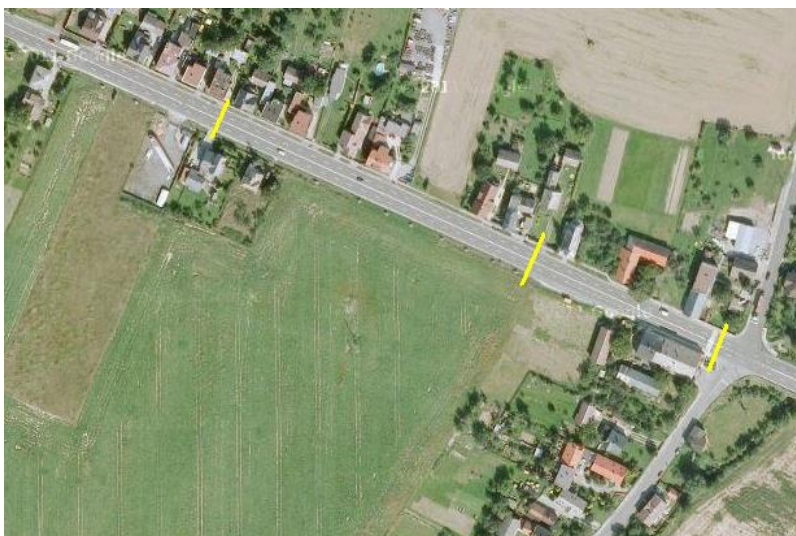
Při poměrně velkém zatížení úseku dosahuje součinitel tření díky použití kameniva s kvalitními protismykovými vlastnostmi velmi dobrých výsledků, jak je patrné z grafu 8. U obou křivek došlo

pouze k mírnému poklesu. Přímý i zatížený úsek jsou zatím v klasifikačním stupni 1. Oblast křižovatky je velmi dobře viditelná ze všech směrů a vozidla stačí dostatečně včas přizpůsobit svoji rychlost blížícímu se místu křížení.

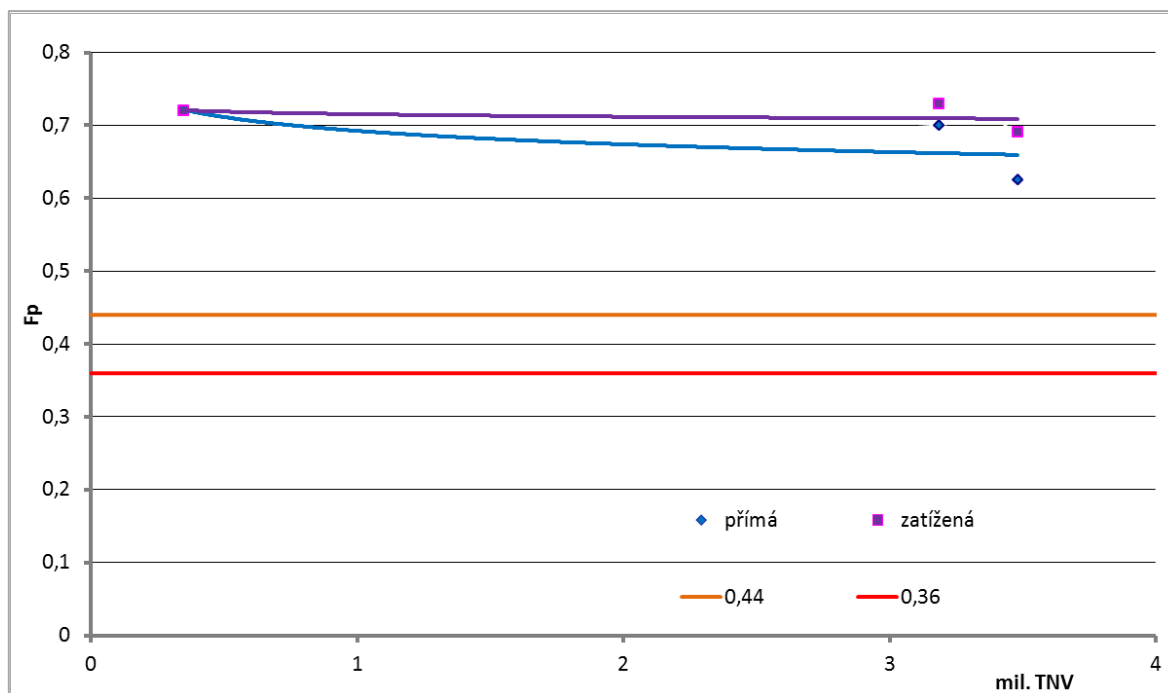


Graf 8 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Kozušice

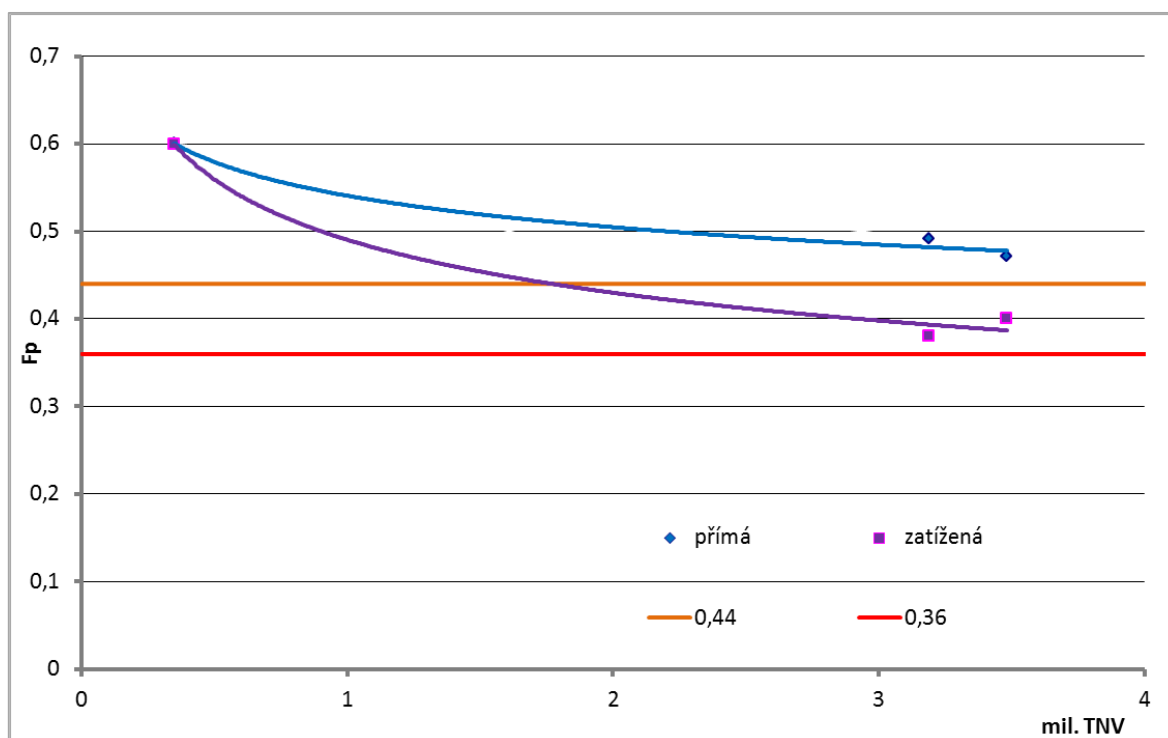
Měřený úsek č. 17 se nachází na silnici I/11 v průtahu obcí Nové Sedlice a odpovídá délce 490 m. V tomto úseku se nachází 2 křižovatky, přechod pro chodce a zastávka autobusové dopravy IDS. Komunikace je obousměrná s dvěma jízdními pruhy bez výraznějšího stoupání nebo klesání. Pokládka obrusné vrstvy ACO 11+ byla provedena v roce 1995 a použitým kamenivem je droba.



Obrázek 82 Úsek 17 v obci Nové Sedlice[57]



Graf 9 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v obci Nové Sedlice, pomalý pruh



Graf 10 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v obci Nové Sedlice, rychlý pruh

Úsek je v celé délce přehledný, proto mají řidiči dost času reagovat na přechod pro chodce a světelně řízenou křižovatku. V pomalém pruhu není součinitel tření snižován vlivy horizontálního zatížení kvůli opakovanému vybočení vozidel osobní a autobusové dopravy. Ze sestaveného grafu 9 lze pozorovat, že součinitel tření měřený v jízdní stopě dosahuje dokonce lepších výsledků než v běžně

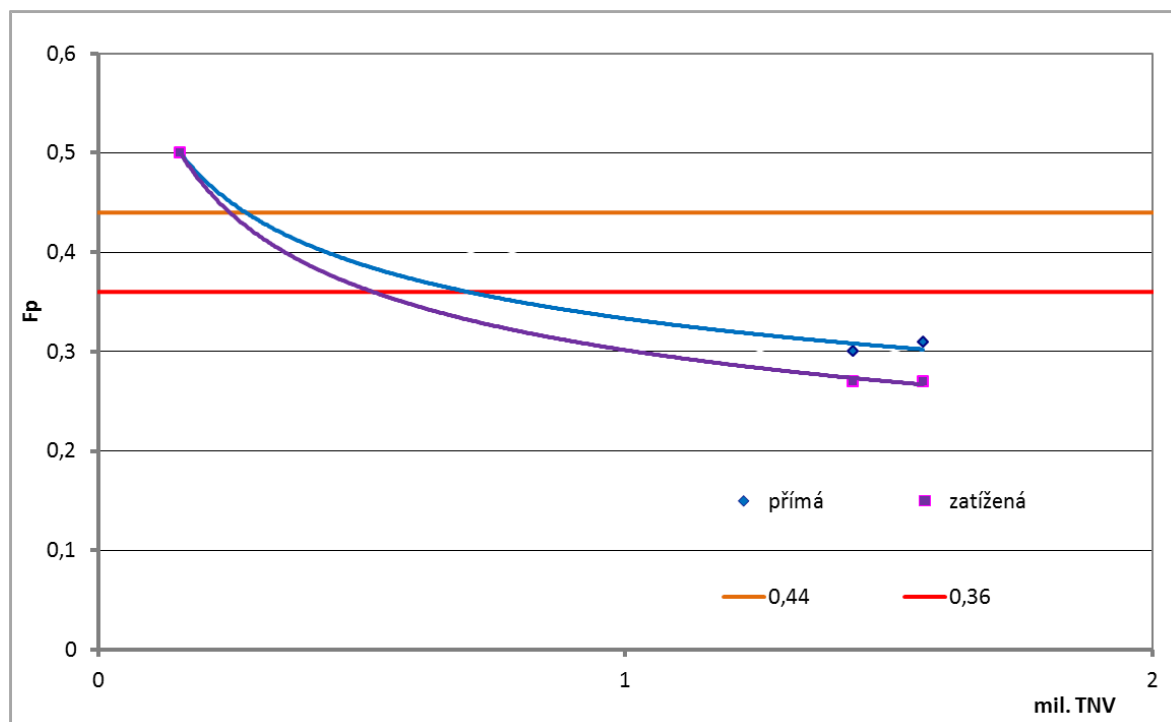
zatíženém úseku v přímé. V rychlém pruhu (graf 10) je vliv křižovatky a přechodu pro chodce evidentní, rozdíl výsledných součinitelů tření odpovídá hodnotě 0,09.

Úsek č. 18 se nachází na silnici I/11 v extravilánu mezi obcemi Horní Životice a Horní Benešov a odpovídá délce 2700 m. V tomto úseku se nachází 3 směrové oblouky, křižovatka, přechod pro chodce a zastávka autobusové dopravy IDS. Komunikace je v úseku obousměrná s jedním jízdním pruhem v každém směru. Pokládka obrušné vrstvy ACO 11+ byla provedena v roce 1996 a použitým kamenivem je převážně čedič.



Obrázek 83 Úsek 18 u obce Horní Životice [57]

Křivka v grafu 11 odpovídající oblasti před přechodem pro chodce, kde se vlivem horizontálního zatížení předpokládají snížené protismykové vlastnosti povrchů vozovek, dosahuje oproti přímému úseku nižších hodnot. Přímý i zatížený úsek dosáhly klasifikačního stupně 5 přibližně po průjezdu 0,5 mil. TNV, resp. 0,7 mil. TNV.



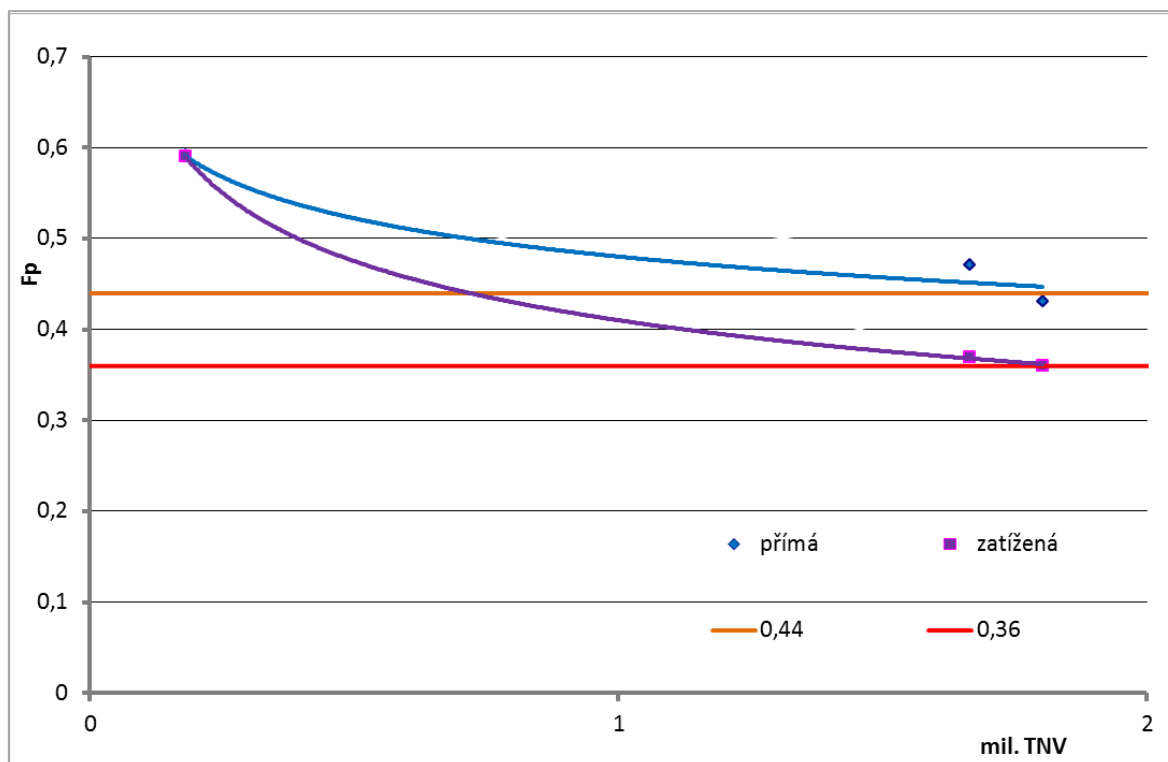
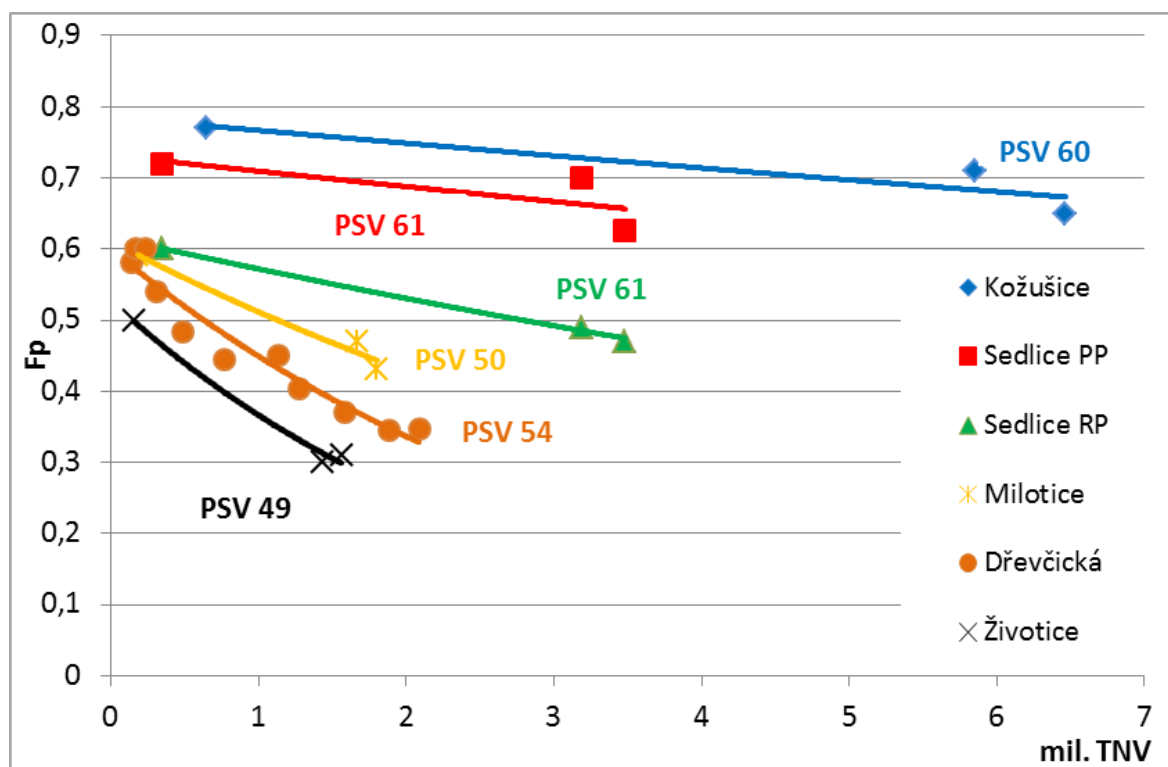
Graf 11 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Horní Životice

Měřený úsek č. 19 se nachází na silnici I/11 v extravilánu u obce Milovice nad Opavou ve směru na Bruntál a je dlouhý 1880 m. První část úseku se nachází v klesání a obsahuje 3 směrové oblouky. Konec úseku se nachází v rovině a obsahuje křižovatku s přechodem pro chodce. Komunikace v úseku je obousměrná s jedním jízdním pruhem v každém směru. Pokládka obrusné vrstvy ACO 11+ byla provedena v roce 1996 a použitým kamenivem je převážně čedič.



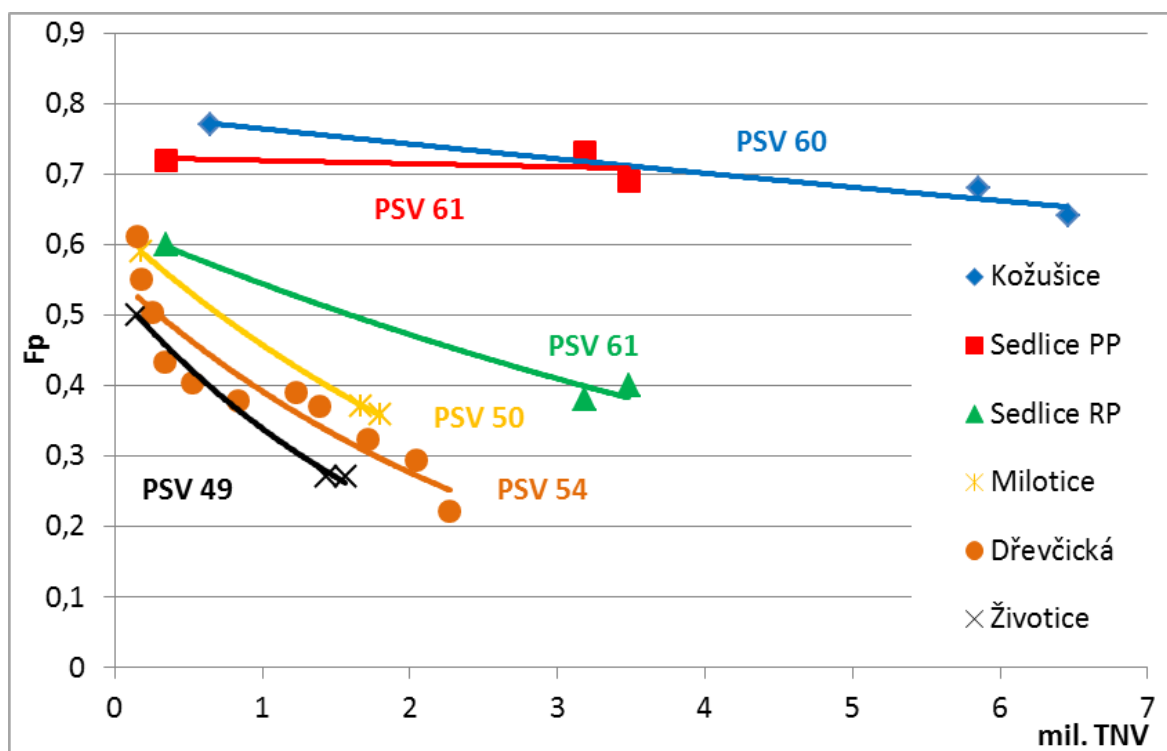
Obrázek 84 Úsek 19 u obce Milovice nad Opavou [57]

Křivka odpovídající oblasti před přechodem pro chodce v grafu 12 dosahuje proti přímému úseku nižších hodnot. Součinitel tření se v jízdní stopě přímého úseku pohybuje na hranici klasifikačního stupně 3 a 4, přičemž zatížený úsek na hranici 4 a 5.

Graf 12 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Milotice nad OpavouGraf 13 Průběh F_{p60} na přímých úsecích nezatížených vodorovnými silami

V grafu 13 jsou zaznamenány výsledky dlouhodobého vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek částí jednotlivých úseků nezatížených vodorovnými silami a v grafu 14 jsou zaznamenány výsledky dlouhodobého vývoje na jednotlivých úsecích v místech se zvýšenou zátěží. Z obou grafů je

patrné, že v přímém nezatíženém úseku dosahuje součinitel podélného tření ve všech případech nižšího poklesu než v oblasti s vyšším zatížením. V obou grafech dosahují nejlepšího výsledku úseky č. 16 Kožušice (makrotextura 0,82) a č. 17 Nové Sedlice (makrotextura 0,37), přičemž u obou byla použitým kamenivem droba. U obou grafů nejnižších hodnot dosáhly úseky č. 18 Životice (makrotextura 0,35) a č. 19 Milotice (makrotextura 0,51), u kterých byl použit jako kamenivo čedič.



Graf 14 Průběh F_{p60} v místech zvýšeného namáhání vodorovnými silami

Výsledky měření hodnot MTD a PSV uvedené v tabulce 19 potvrdily rozdílné hodnoty ohladitelnosti PSV pro jednotlivé typy kameniva. Nejlepších hodnot PSV dosahuje ve všech úsecích jednoznačně droba, která má hodnoty okolo 60.

Nejnižších hodnot PSV dosahuje čedič, který ve sledovaných úsecích dosáhl hodnot 49 a 50. Při srovnání naměřených hodnot ohladitelnosti kameniva PSV s grafy dlouhodobého vývoje podélného součinitele tření jednotlivých úseků (grafy 7 až 12) se při použití droby potvrzují velmi nízké projevy vlivu horizontálního zatížení na obrusné vrstvy vozovek (úsek č. 16 a č. 17). Naopak při srovnání naměřených hodnot ohladitelnosti kameniva PSV s grafy dlouhodobého vývoje součinitele podélného tření jednotlivých úseků při použití čediče jako kameniva se potvrzují velmi vysoké projevy vlivu horizontálního zatížení na obrusné vrstvy vozovek (úsek č. 18 a č. 19). Znamená to, že trvanlivost hodnoty PSV kameniva droba je ze všech sledovaných kameniv nejdelší a v případě kameniva čedič nejkratší.

Je-li tedy životnost komunikace v úsecích se zvýšeným namáháním od vodorovných sil z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek tak výrazně zkrácena, je nutné zvýšit požadavky na

použité materiály v obrušných vrstvách, popřípadě zahrnout tyto požadavky do plánování údržby a opravy.

Tabulka 19 Přehled výsledků na sledovaných úsecích

č.	lokalita	druh úpravy	kamenivo	MTD jízdní stopa/mimo stopu	PSV	F _p po 1 mil. TNV přímý/zatížený
15	ulice Dřevčická	SMA 11	břidlice + spilit	0,80/0,89	54	0,45/0,38
16	I/50 Kožušice	SMA 11 S	droba	0,82/0,84	60	0,74/0,74
17	I/11 Nové Sedlice (pomalý; rychlý)	ACO 11+	droba	0,37/0,69	61	0,71/0,69; 0,54/0,49
18	I/11 Horní Životice - Horní Benešov	ACO 11+	čedič	0,35/0,58	49	0,34/0,30
19	I/11 Milotice nad Opavou	ACO 11+	směs čedič	0,51/0,54	50	0,48/0,41

5.2.2.3 Úseky cementobetonových krytů

Všechny doposud popsané úseky měly asfaltovou obrušnou vrstvu, proto byly pro srovnání zvoleny i 2 cementobetonové kryty, aby se ukázalo, zda se podobná závislost projeví i u CBK.

Úsek č. 20 na D5 v km 136,6 je součástí stavby 0512 a leží mezi sjezdy na Mlýnec a Svatou Kateřinu. Výstavba započala v červnu 1994 a do provozu byla uvedena v listopadu roku 1997. Dálnice je postavena v kategorii D 26,5/120. Měření součinitele podélného tření f_p bylo provedeno ve staničení km 136,600 – 137,200 (směr Rozvadov) v rychlém i pomalém jízdním pruhu obou dopravních pásů. Zkušební vývrt byl odebrán v odstavném pruhu, jedná se tedy o původní povrch. Betonáž CBK probíhala od dubna do července roku 1997. Kamenivo do obrušné vrstvy krytu pochází z lokalit Litice (spilit => hodnota ohladitelnosti PSV 50), Trnčí (PSV 51), Tlučná a Dřenice (šterkopísek).



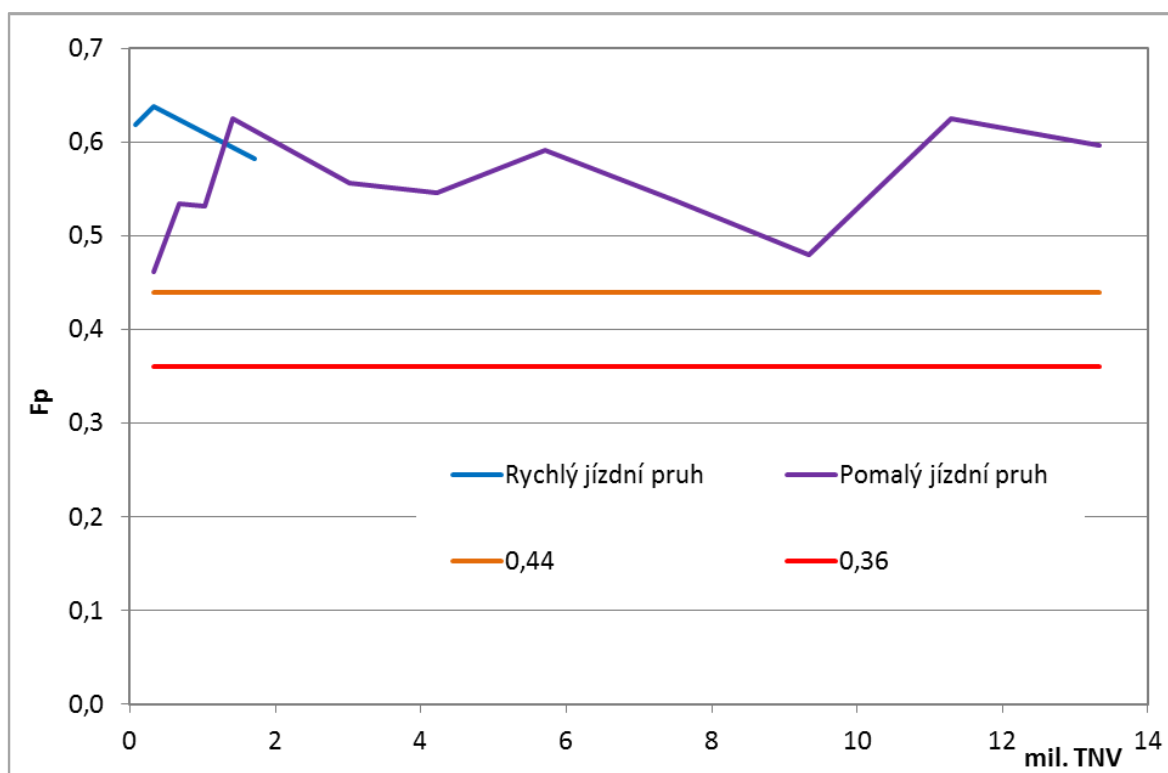
Obrázek 85 Úsek 20 D5 km 136,6 – 137,2 [57]

Úsek č. 21 na D5 v km 92,2 je součástí stavby 0511 a nachází se mezi sjezdy na Nýřany a Plzeň-západ. Výstavba započala v červnu 1994 a stavba byla uvedena do provozu v listopadu roku 1997. Dálnice je postavena v kategorii D 26,5/120. Měření součinitele podélného tření f_p bylo provedeno ve staničení km 92,200 – 91,700. Zkušební vývrt byl odebrán v odstavném pruhu, tzn. s původním povrchem. Betonáž CBK probíhala od července 1996 do června 1997. Kamenivo do obrusné vrstvy krytu pochází z lokality Litice (spilit PSV 50) a Tlučná (šterkopísek).



Obrázek 86 Úsek 21 D5 km 92,2 – 91,7 [57]

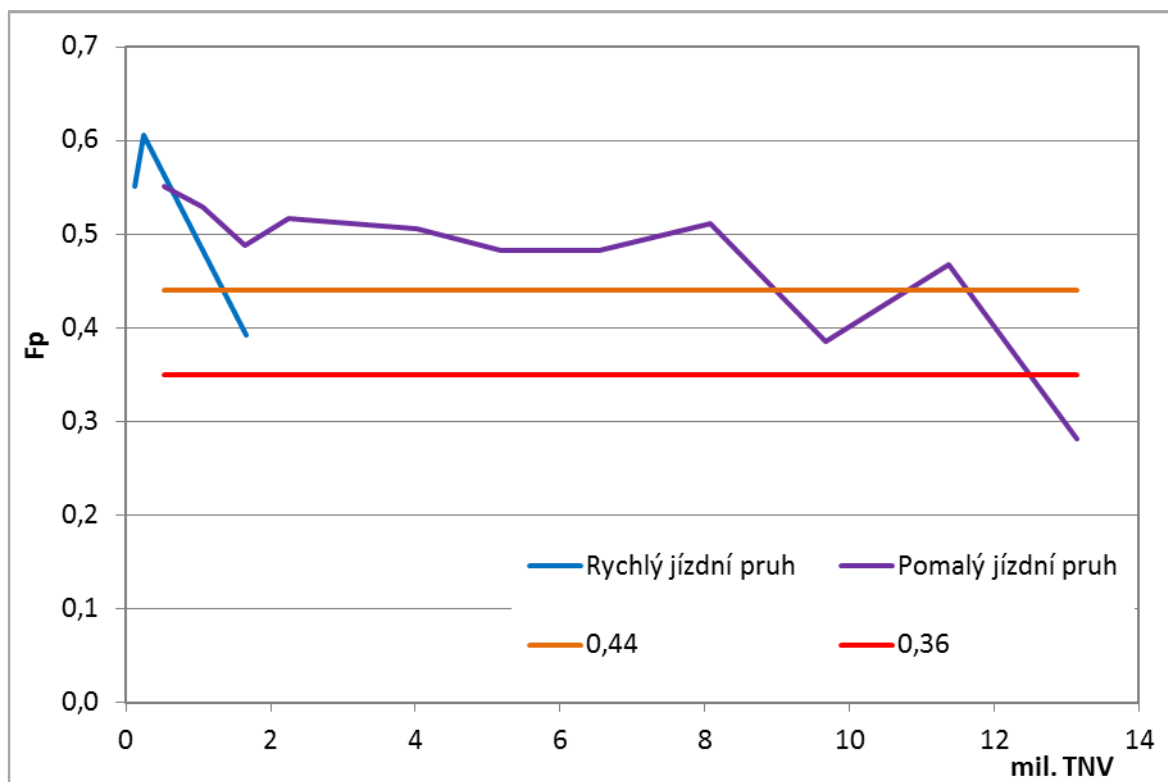
Z grafu 15 vývoje protismykových vlastností povrchů vozovky v závislosti na počtu projetých těžkých nákladních vozidel v pomalém a rychlém jízdním pruhu pravého i levého dopravního pásu úseku v km 136,6 lze vidět změny v závislosti součinitele F_p na čase a účinku projetých TNV až do počtu 13 milionů. V pomalých pruzích došlo ke změnám součinitele tření, ale součet změn povrchu a účinkem zatížení (lze předpokládat změny makrotextury a mikrotextury) se po 13 milionech přejezdů TNV na součiniteli F_p neprojevil negativně. Naopak u rychlého pruhu, kde bychom spíše předpokládali jen účinek zvýšení makrotextury s nízkým účinkem opotřebení povrchu pneumatikami, byl pokles protismykových vlastností povrchů CBK výrazný. Z hlediska hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek se při posledním měření u rychlého jízdního pruhu pravého pásu jedná o klasifikační stupeň 2 a povrch vozovky pomalého jízdního pruhu pravého pásu je hodnocen klasifikačním stupněm 1.



Graf 15 Vztah F_p a zatížení TNV na D5 km 136,6 (úsek 20)

Z grafu 16 můžeme vyčíst do zatížení cca 8 mil. přejezdů TNV nízký pokles hodnot součinitele tření F_p v pomalém i rychlém jízdním pruhu obou dopravních pásů (dokonce nižší než v případě úseku 20). Po projetí 13 mil. TNV v pomalém jízdním pruhu levého dopravního pásu jsou již protismykové vlastnosti povrchů vozovky hodnoceny klasifikačním stupněm 5, přičemž po výstavbě byly hodnoceny klasifikačním stupněm 2. Obdobný vývoj lze shlédnout i u rychlého pruhu, kdy v levém dopravním pásu klesá hodnocení na klasifikační stupeň 4, ovšem při mnohem menším dopravním zatížení TNV (cca 1,7 mil. TNV). Z uvedených grafů vyplývá, že dopravní zatížení na povrch CBK, resp. jeho protismykové vlastnosti povrchů vozovek, může (nikoli musí) mít výrazný vliv. Z tohoto zjištění můžeme usuzovat, že významný vliv na životnost protismykových vlastností povrchů vozovek má především samotný CBK vozovky (původní makrotextura, provedení povrchu).

Naměřené hodnoty MTD dle [23] můžeme považovat za hodnoty z „původního“ povrchu, jelikož měření byla provedena v odstavném pruhu. Výsledky MTD = 0,4 mm a 0,3 mm jsou hodnoceny klasifikačním stupněm 5 (resp. 4). Na úseku 21 v km 92,2 je povrch CBK tvořen jemnou vrstvou malty, jata minimálně upravila povrch bez vytvoření textury, na rozdíl od úseku 20 v km 136,6, kde se na protismykových vlastnostech povrchů vozovky podílí odhalená zrna písku.

Graf 16 Vztah F_p a zatížení TNV na D5 km 92,2 (úsek 21)

Tabulka 20 Přehled úseků s cementobetonovým krytem

č.	lokalita	druh úpravy	kamenivo	MTD	PSV
20	D5 km 136,6	CB juta	ŠP + spilit	0,40	54
21	D5 km 92,2	CB juta	ŠP + spilit	0,30	60

5.2.3 Nastavení zařízení pro stanovení ohladitelnosti kameniva (PSV)

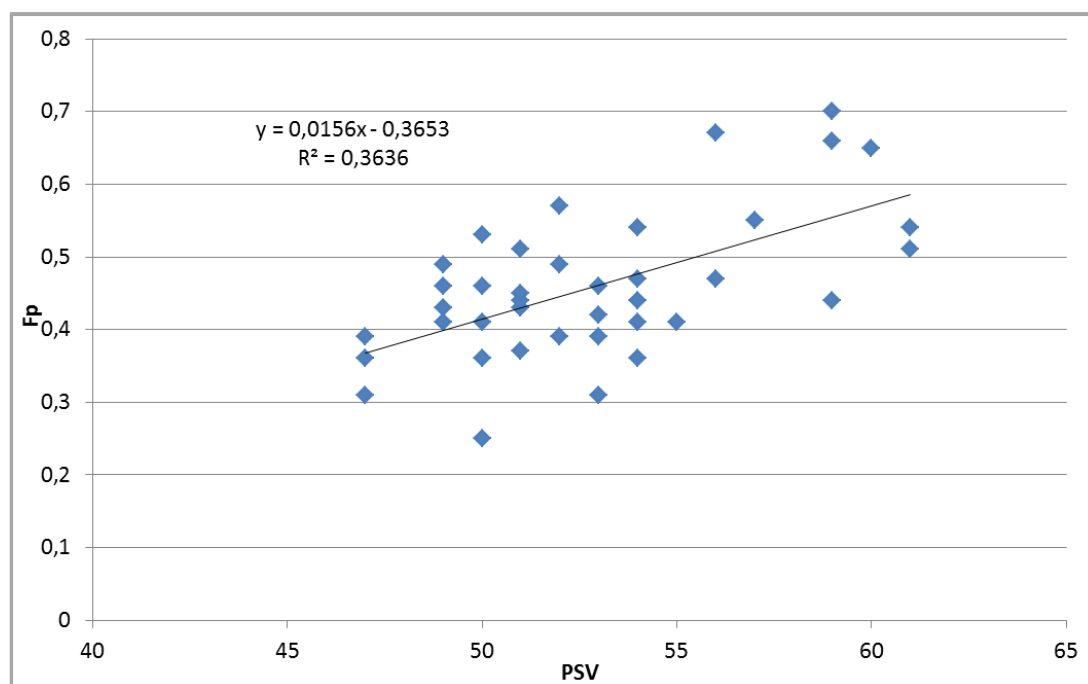
Metoda je podrobněji popsána v kapitole 3.8.1. Na zkoušení se používá kamenivo, které propadne sítí 10 mm a zůstane na síti 7,2 mm. Pro jedno kamenivo se připraví čtyři vzorky a čtyři vzorky srovnávacího kameniva. Na nosném kole se ohlazují nejprve hrubou pneumatikou s přidáním směsi vody a zrnitého smirku a poté s jemnou pneumatikou za použití směsi vody se smirkovou moučkou. Na stanovení tření se používá kyvadlo TRRL. Vzorek kameniva se upevní tak, aby se třecí patka pohybovala v obráceném směru, než se vzorek pohyboval na nosném kole. Povrch vzorku a třecí patky se hodně navlhčí vodou a provede se odečet hodnoty tření.

V průběhu řešení docházelo k výkyvům hodnot PSV referenčního kameniva, které i vizuálně jevílo různé stupně ohlazení. Z toho důvodu došlo k ověření postupu měření a bylo zjištěno:

- Původní dávkování vody při ohlazování hrubým brusivem bylo používáno v množství 90 ml/h, nově bylo sníženo na 45 ml/h, tato hodnota byla nastavena i v revizi ČSN EN.

- Dávkování vody při ohlazování jemným brusivem bylo používáno stejné jako v případě hrubého brusiva. Podle ČSN EN bylo nově nastaveno na 5 ml/h až 6 ml/h.
- Násypka pro hrubé brusivo je poměrně malá. Část zrn brusiva z dávkovacího pásu dopadne na ostatní stěny násypky mimo tu, která je smáčena dávkovanou vodou zajišťující plynulé dávkování brusiva. Vysokou absorpcí vody se potom brusivo nalepuje na stěny násypky a dochází k nepravidelnému dávkování brusiva, které se ze stěn naráz uvolní. Proto byla k dávkovacímu pásu připevněna plastová zarážka usměrňující tok brusiva do násypky, čímž se omezilo nalepování brusiva a zlepšila se plynulost dávkování brusiva. Množství brusiva bylo nastaveno na 24 g/min. Je třeba opatrně nastavovat dávkovací zařízení, neboť nádobka nad pásem není dostatečně pevně upevněna k části s dávkovacím pásem a je možno nádobku silou naklonit tak, že se může změnit mezera nad pásem a tím se změní dávkování brusiva.
- Dávkování jemného brusiva má rovněž konstrukční vadu. Pomalu se otáčející pás dávkuje souvislou vrstvu brusiva, která se při ohybu na konci pásu uvolní v délce 3 mm naráz. Tím se dávkuje brusivo nekontinuálně a část brusiva se nepřichytí na zvlhčované pogumované kolo a jako prach spadne na kolo se vzorky, rozprašuje se mimo potřebnou oblast a neúčastní se ohlazování vzorků. Tato vada byla odstraněna vložením plastové zarážky, která skokové dávkování brusiva zachytí a propustí plynule všechno množství před pádem další dávky brusiva.

Do grafu 17 byly použity hodnoty výsledků měření všech předchozích úseků a úseků, které byly zahrnuty do srovnání zkoušek ohladitelnosti kameniva PSV a PWS. Graf 17 vyjadřuje míru závislosti součinitele podélného tření F_p na hodnotě ohladitelnosti PSV, která není příliš silná. Proto se další řešení práce orientovalo na „nové“ zkušební zařízení Wehner/Schulze, které lépe naplňuje cíle této práce. Lze jím měřit jak vývrty z obrusných vrstev, tak i vzorky vyrobené v laboratoři a zároveň umožňuje simulovat dopravní zatížení a měřit průběh protismykových vlastností povrchů vozovek v závislosti na něm. Jedná se o funkční zkoušku, protože věrněji simuluje ohlazování povrchu vzorku i měření součinitele μ_{PWS} pomocí brzdění pryžové patky z rychlosti 100 km/h na nulovou rychlost. Při zkoušce je možné zkoušet protismykové vlastnosti reálného povrchu obrusné vrstvy na jádrovém vývrtu. Postup navíc umožňuje snadné provedení několika cyklů ohlazování na jednom zkušebním tělese.



Graf 17 Závislost součinitele podélného tření F_p na ohladitelnosti kameniva PSV

5.2.4 Závislost součinitele podélného tření na dopravním zatížení a ohladitelnosti μ_{PWS}

Zpracované výsledky a poznatky plynou celkem ze 139 zkušebních těles, z toho je 37 cementobetonových krytů, 63 vzorků z asfaltových vrstev a 39 vzorků kameniv z lomu nebo rozpuštěných z vývrtů. Tabulky s popisem úseků, ze kterých byly odebrány vzorky pro zkoušku ohladitelnosti PWS, jsou uvedeny v příloze 1.

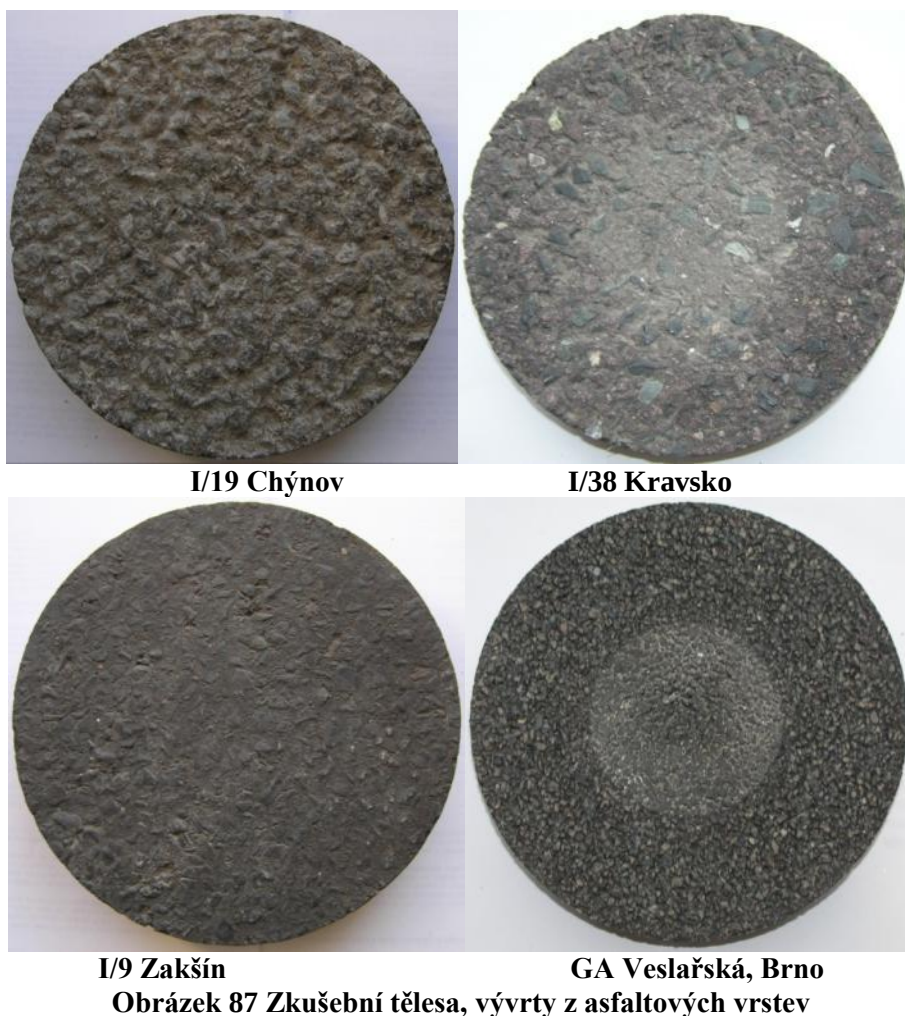
5.2.4.1 Měření asfaltových obrusných vrstev zařízením W/S

Výsledky měření protismykových vlastností povrchů vozovek metodou W/S lze nejvíce ovlivnit výběrem místa odběru jádrového vývrtu. Záleží na četnosti pojezdů již provozovaného povrchu, na ojetí asfaltového filmu z čerstvě položené obrusné vrstvy, na druhu pojiva, které ovlivňuje rychlosti ojetí, a na množství hrubého kameniva na povrchu atd. Příklady jádrových vývrtů asfaltových obrusných vrstev jsou na obrázku 87.

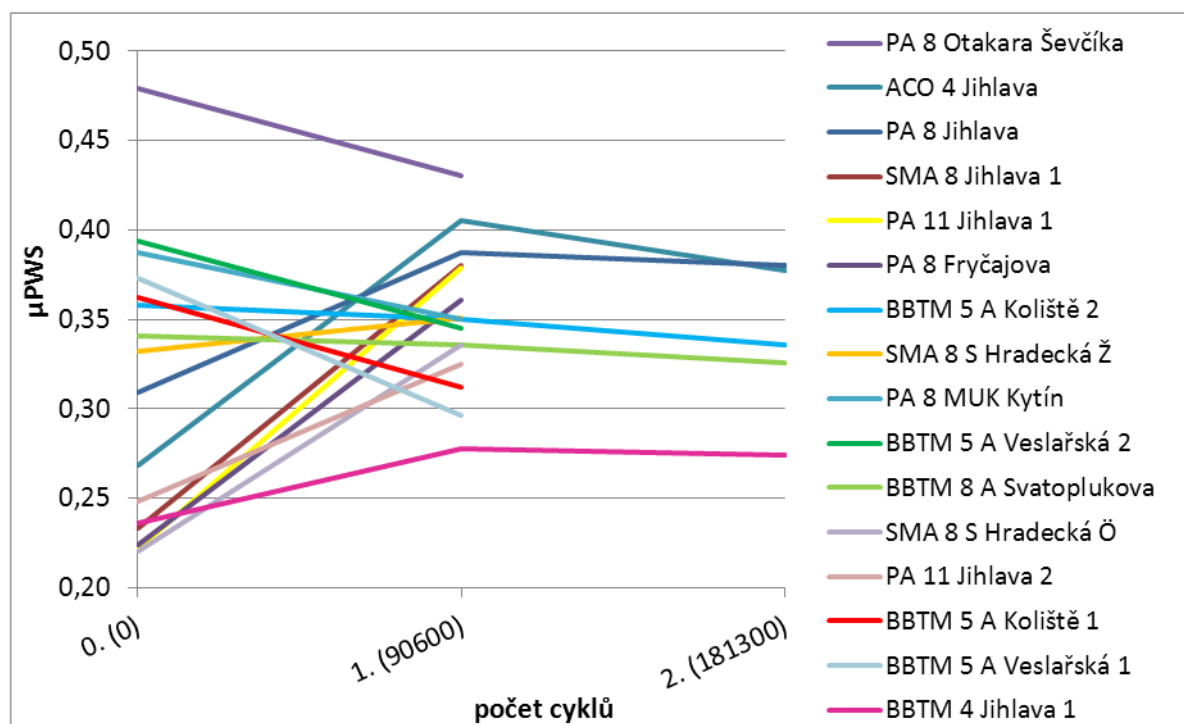


D2 25,1

I/50 Buchlovice směr Brno

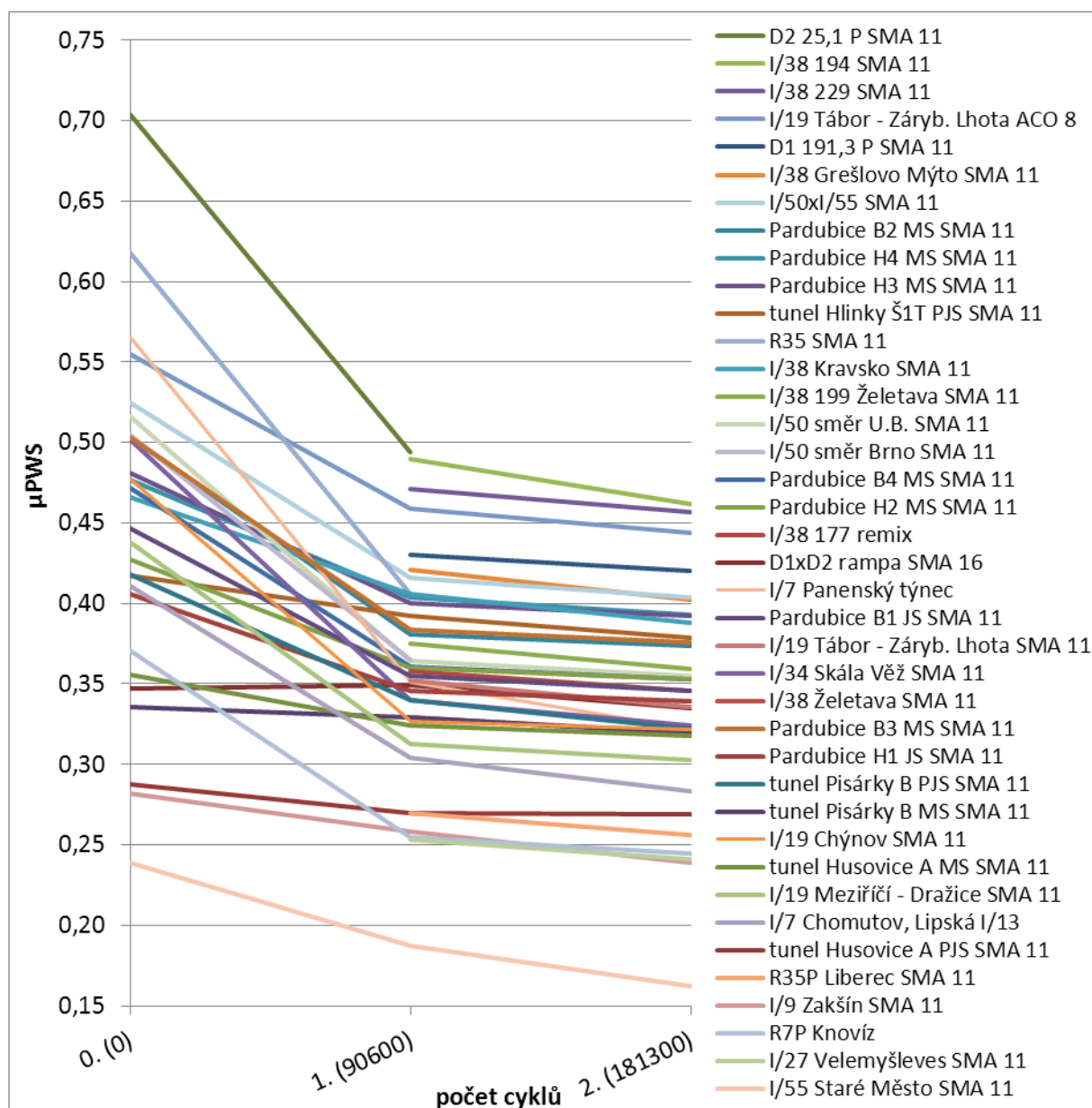


Graf 18 ukazuje různé průběhy počátečních (nulových) hodnot měření protismykových vlastností povrchů vozovek metodou W/S na asfaltových směsích nově položených obrusných vrstev. Vývrty byly odebrány v odstavných pruzích, v blízkosti vodících proužků nebo mimo jízdní stopu, záleží na třídě a lokalizaci pozemní komunikace. Legenda v grafu 18 je seřazena sestupně dle hodnoty μ_{PWS} v prvním cyklu. Pokud se vývrty neodeberou hned po pokládce v době uzavírky silničního provozu, je pravděpodobné, že už mohly být poježděné, zvláště ve městech, a na povrchu zrn kameniva již nemusí být asfaltový film. Proto ne všechny hodnoty μ_{PWS} stouply po prvním měření. Kvůli absenci zpevněných krajnic nemohly být jádrové vývrty odebrány mimo jízdní pruhy. Hodnoty ohladitelnosti μ_{PWS} se před ohlazováním nacházely ve velice širokém rozpětí 0,22 až 0,48. Po prvním cyklu ohlazování se interval hodnot ohladitelnosti μ_{PWS} mírně zúžil.



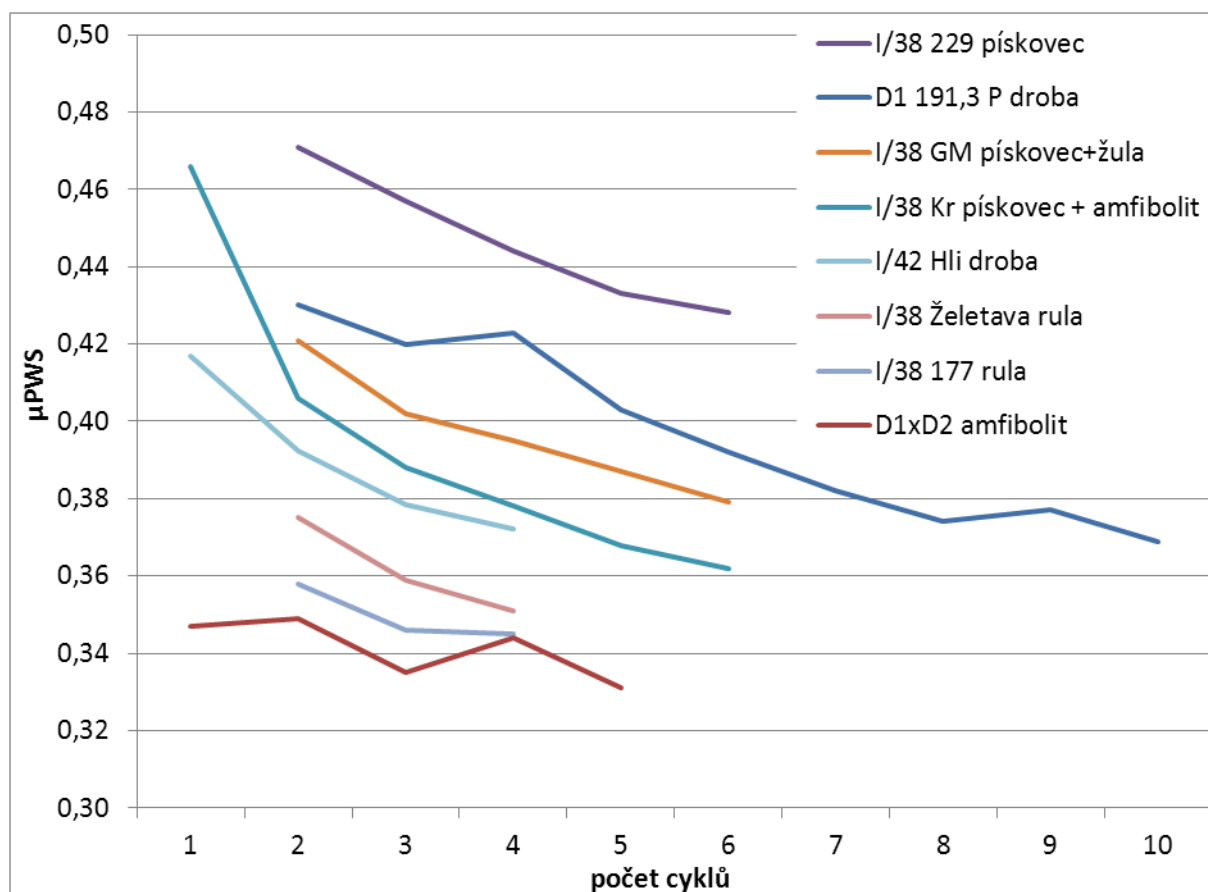
Graf 18 Průběh μ_{PWS} u nových asfaltových obrusných vrstev

V grafu 19 už nejsou obsaženy výsledky zkušebních těles z nových obrusných vrstev. Geometrická podobnost čar jednotlivých měření se zvýšila, protože hodnota μ_{PWS} se po prvním cyklu ohlazování většinou snížila. Je to z toho důvodu, že z povrchu odebraných jádrových vývrtů již byl odstraněn film pojiva dopravním provozem. Odebrané vzorky jsou různého stáří a obsahují různé druhy asfaltového pojiva a kameniva. Většinou byly odebrány v odstavném pruhu, pokud to dané poměry umožňovaly. Zkoušené vývrty bez výrazné makrotextury (zrna kameniva jsou „utopena“ v asfaltovém pojivu) mají po počátečním (nulovém) měření skoro rovnoběžný průběh protismykových vlastností povrchů vozovek, zatímco nárůst μ_{PWS} po nulovém měření zpravidla znamená, že kamenivo bylo obalené asfaltovým filmem a následnými pojezdy ohlazovacími kuželíky se odhalila zrna kameniva. Spojnice jednotlivých μ_{PWS} po prvním a druhém cyklu ohlazování jsou pro jednotlivé povrchy téměř rovnoběžné, jejich hodnoty závisí nejvíce na druhu a kvalitě použitého kameniva. Legenda v grafu 19 je seřazena dle hodnoty μ_{PWS} v prvním cyklu a to sestupně.



Graf 19 Počáteční hodnoty μ_{PWS} u asfaltových obrusných vrstev

Dlouhodobá měření (předpověď) protismykových vlastností povrchů vozovek provedená na jádrových vývrtech jsou hodnotami μ_{PWS} znázorněna v grafu 20. Jednotlivé průběhy hodnot μ_{PWS} odpovídají hodnotám předpokládané ohladitelnosti kameniva PSV, i když jasně patrný vliv mají i druhy obrusných vrstev a stáří povrchů. Nejvyšších hodnot parametru μ_{PWS} dosáhl povrch vozovky s použitým pískovcem, drobou a jejich směsmi a nejhorších výsledků naopak dosáhl povrch s rulou a amfibolitem.



Graf 20 Dlouhodobá měření μ_{PWS} u asfaltových obrusných vrstev

5.2.4.2 Měření cementobetonových krytů vozovek zařízením W/S

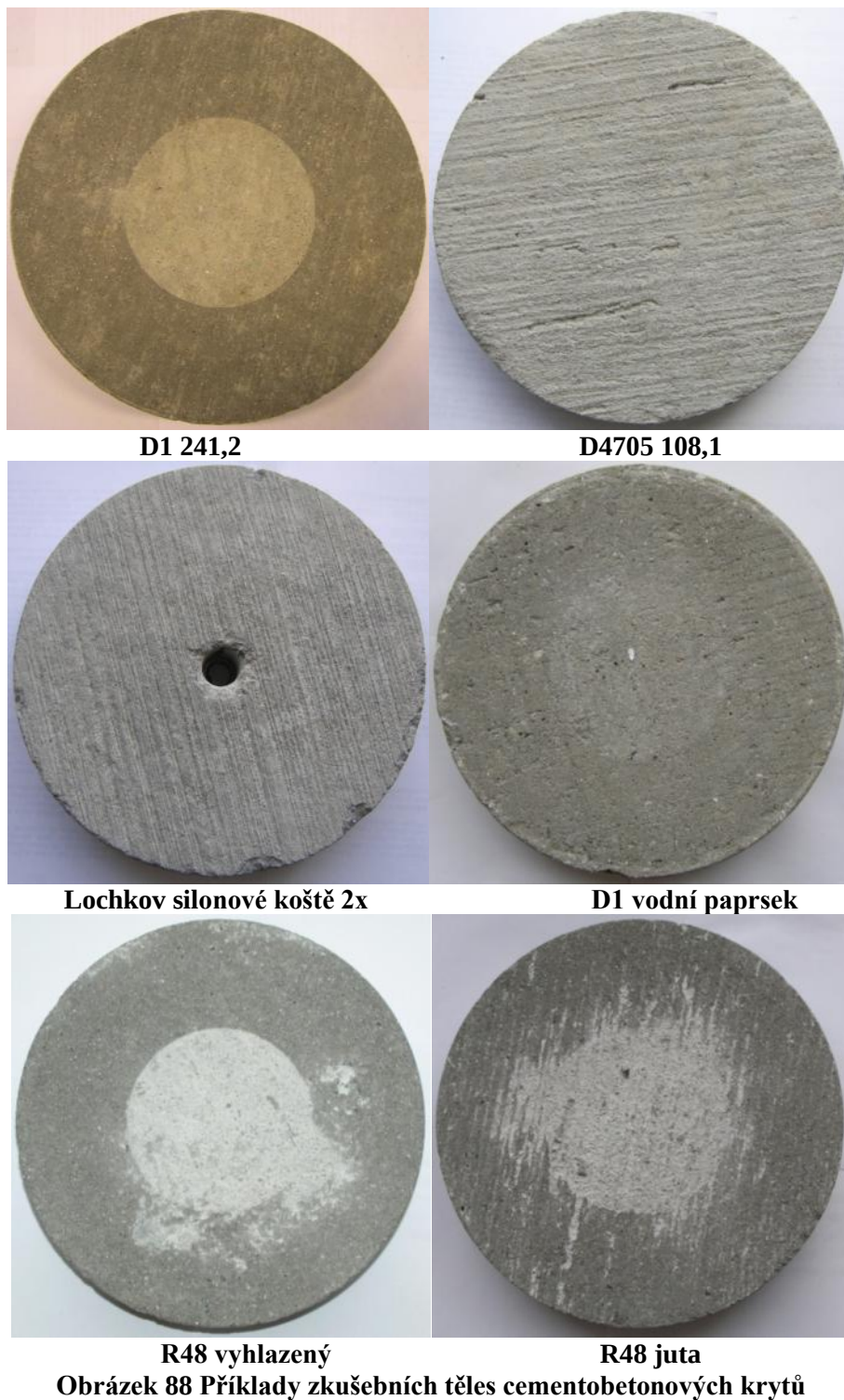
Byly odebrány zkušební vzorky (jádrové vývrty) z různých cementobetonových krytů, jak různého stáří, tak s různou povrchovou úpravou a s různým kamenivem. Ověření zkoušky W/S probíhalo ve dvou fázích, zjištění počátečních hodnot protismykových vlastností povrchů vozovek a dlouhodobé měření, tj. předpověď protismykových vlastností povrchů vozovek. Počátečními hodnotami měření povrchu vozovek se myslí max. 2 cykly ohlazování zařízením Wehner/Schulze, nulté (počáteční) měření není u CB krytů příliš vhodné vzhledem k abrazivním účinkům cementové malty na ohlazovací kuželíky a měřicí patky, zejména u nových CB krytů. Dlouhodobá měření jsou vhodná k posouzení vývoje protismykových vlastností v čase, tj. stanovení počtu ohlazovacích cyklů do dosažení nevyhovující úrovně protismykových vlastností.

Následující tabulka 21 sumarizuje informace o odebraných jádrových vývrtech z CB krytů, jejich stáří a použitou povrchovou úpravu. V obrázku 88 jsou uvedeny příklady zkušebních těles po ohlazení metodou W/S.

Tabulka 21 Souhrn zkušebních vývrtů z CBK

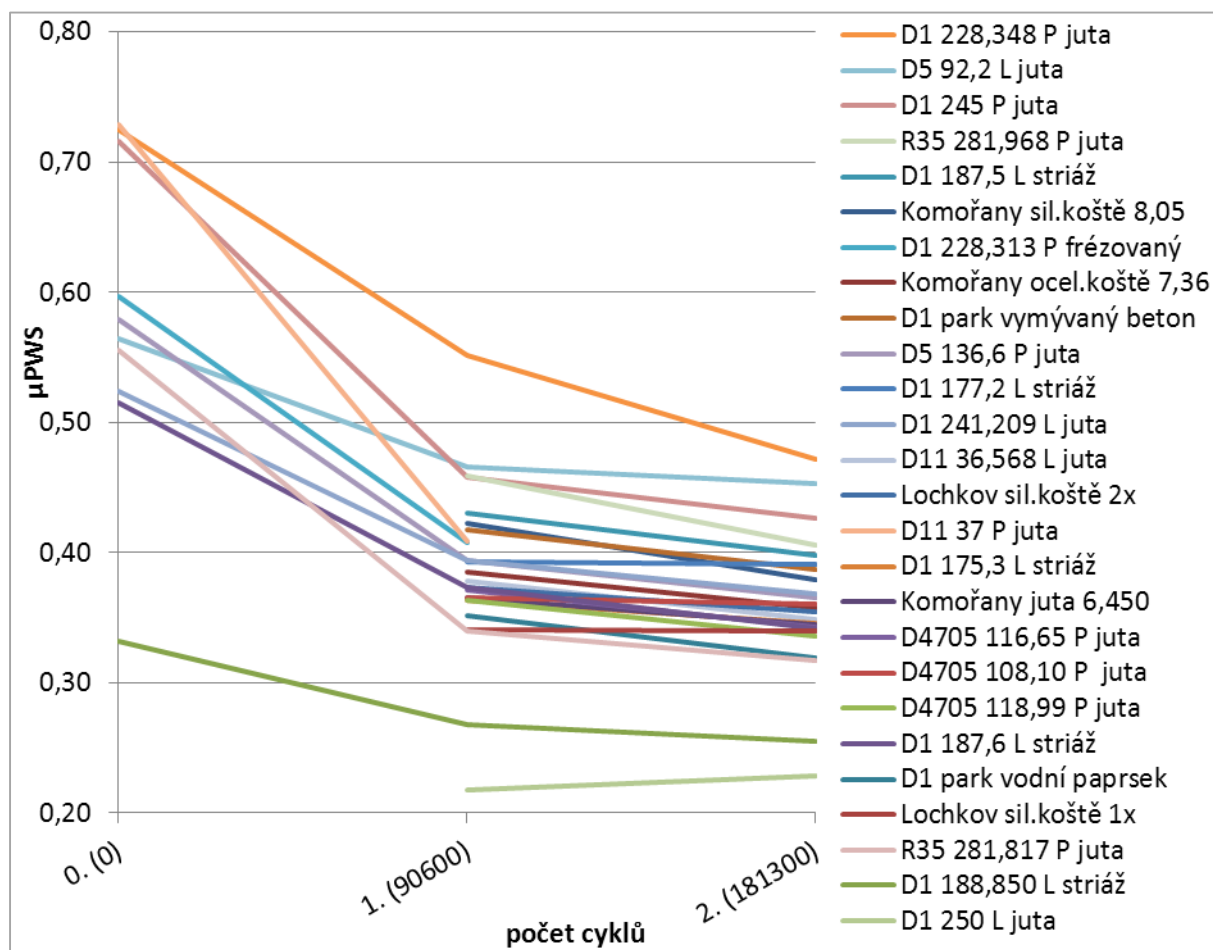
Rok pokládky	Stáří obrusné vrstvy [rok]	Povrchová úprava	Počet jádrových vývrtů
1971	42	striáž	5
1992-1999	14 - 21	juta	8
2005-2009	4-8	juta	7
2009	4	silonová a ocelová košťata, vymývaný, otryskání tlakovou vodou	7
2012	1	vyhlazené, juta	10

**D1 188,8****D1 177,2****D1 228,3****R35 281,8**



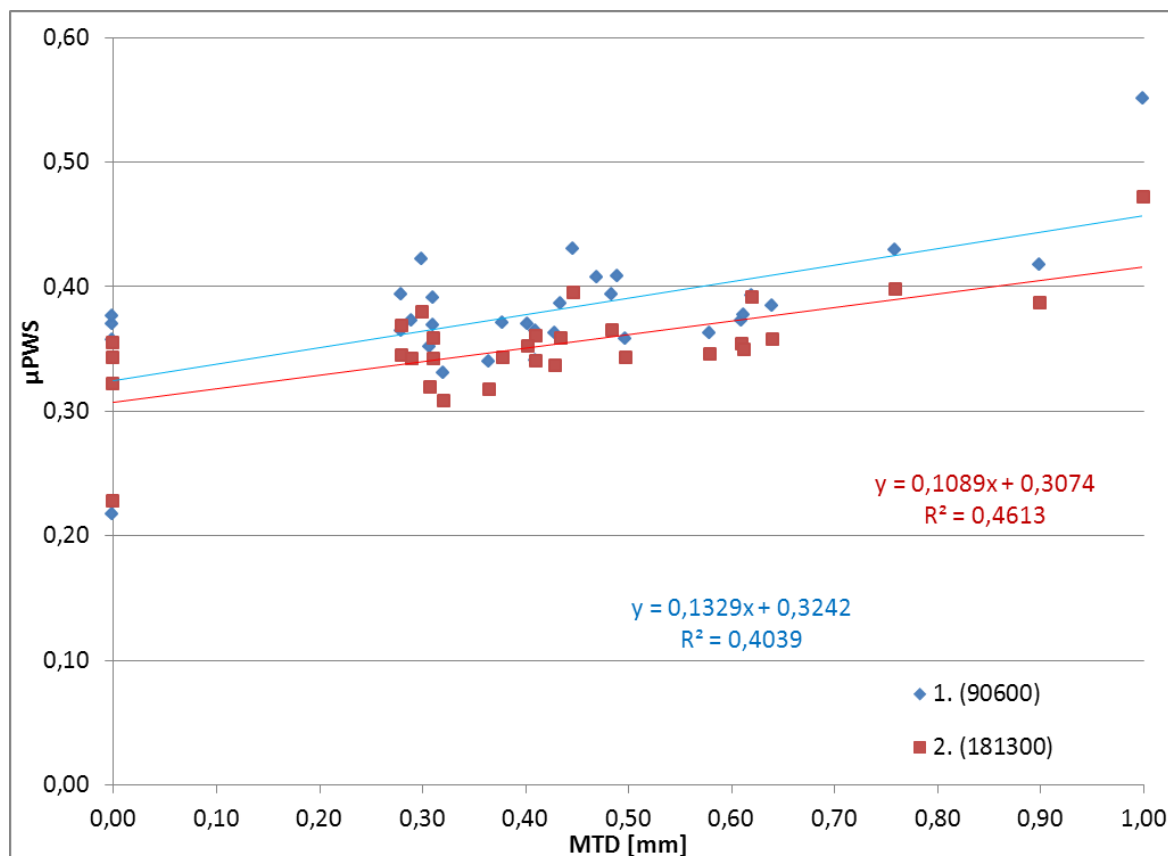
Nové CB kryty zkoušené krátkodobým měřením obsahují ostré výčnělky (před ohlazením), proto se u nich, po zkušenostech s rychlým opotřebením brzdící pryžové patky, ustoupilo od měření hodnoty nultého cyklu, tj. hodnoty μ_{PWS} před jeho vystavením účinkům ohlazování. Lze se tedy jen domnívat, že jejich počáteční hodnota může korespondovat s počáteční hodnotou f_p stanovenou měřením povrchu vozovky zkušebním zařízením za podmínek mokrého povrchu s hladkou pneumatikou s řízeným prokluzem pneumatiky v hodnotě 15 % nebo 25 % (podle typu zkušebního zařízení).

V grafu 21 jsou uvedeny hodnoty μ_{PWS} povrchů jednotlivých vývrtů z CB krytů po prvním a druhém cyklu ohlazování zařízením W/S.



Graf 21 Průběh prvních hodnot μ_{PWS} zkušebních těles na CB vozovkách

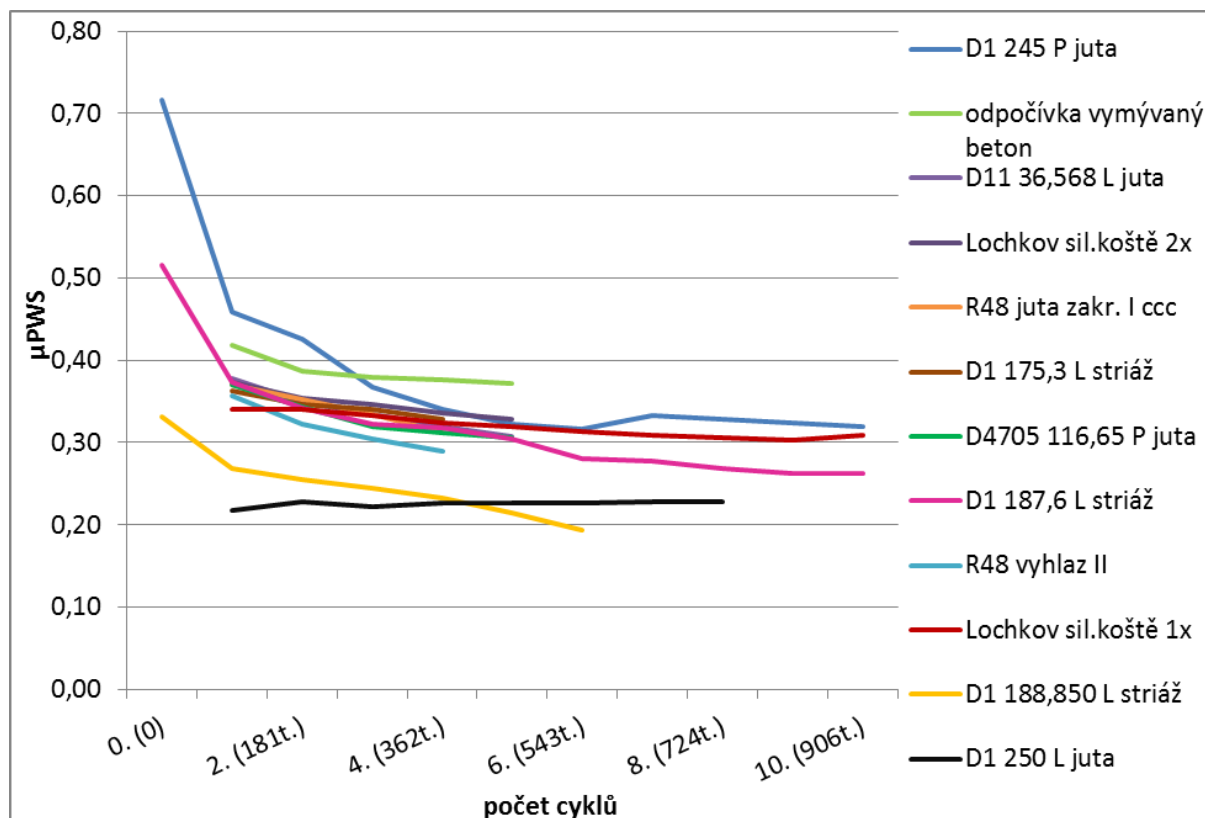
Stejně jako u asfaltových zkušebních těles se výsledky po prvním cyklu seřadí přibližně rovnoběžně s ohledem na použitou povrchovou úpravu a makrotexturu povrchu, což dokládá graf 22, ve kterém je zachycena závislost součinitele μ_{PWS} a hloubky textury MTD. U zkušebních těles z CB krytu nedochází k nárůstu hodnoty μ_{PWS} po prvním cyklu ohlazování, jako tomu bylo v případě některých jádrových vývrtů odebraných z vozovek s asfaltovým povrchem. U CB vozovek totiž nedochází k ojetí povrchového filmu asfaltového pojiva a k obnažení zrn kameniva.



Graf 22 Závislost μ_{PWS} na MTD u cementobetonových krytů po 1. a 2. cyklu ohlazování

V rámci staveb CBK byly vytvořeny pokusné úseky a místa pro odběr vývrtů na Pražském okruhu, dálniční odpočívce Křenovice a při stavbě R48. Zkoušela se vytvořit povrchová textura různými košťaty, vymetením cementové malty, tryskáním tlakovou vodou a vytvořením negativní textury pomocí ocelového hrabla. Pro porovnání se zkoušely i protismykové vlastnosti vyhlazených povrchů pomocí zednické lžice a ručně tažené juty vykroužené na budoucí vývrt Ø 225 mm do čerstvého CB krytu.

Výsledky dlouhodobých měření μ_{PWS} jednotlivých povrchových úprav CB krytů jsou znázorněny v grafu 23. Dokládají vývoj součinitele tření v závislosti na počtu otáček při vyhlazování povrchu pomocí křemičitého prachu. Na vybraných vzorcích bylo prováděno až 10 cyklů, tedy téměř milion cyklů pojezdů zařízením W/S.



Graf 23 Průběh hodnot μ_{PWS} pro dlouhodobá měření na CB vozovkách

Nejlepší výsledky se projeví na úseku s taženou jutou na D1v km 245 z roku 2005 a dobrých výsledků dosáhl i vymývaný beton na odpočívce u Křenovic. Zkoušením nejstarších úseků z roku 1971 bylo snahou dokladovat vývoj protismykových vlastností povrchů vozovek při vystavení povrchu účinkům těžkých nákladních vozidel (TNV) v celkovém počtu více než 33 milionů za dobu provozu. Zkušební těleso bylo připraveno z okraje vozovky při středním dělicím pásu, povrch tedy nebyl vozidly poježděn (D1 187,6). Pomalý jízdní pruh v blízkosti vývrtu vykazoval naprosté ojetí cementové malty a je v tomto stavu rovněž nebezpečně kluzký, neboť povrch je tvořen velkými zrny kameniva (do 32 mm) ze snadno ohladitelného vápence. Na povrchu CBK je ještě zastoupeno kamenivo do 8 mm granodiorit Olbramovice a těžný písek zrnitost 0/4 mm. Namáhání vývrtu D1 187,6 v zařízení W/S rovněž vyhladilo povrch CB krytu, ale odebraný vývrt neobsahoval při povrchu velká zrna vápencového kameniva. Ohlazováním zkušební tělesa se vyhladila křemenná nebo granodioritová zrna do velikosti 4 mm a větší zrna při povrchu z vápence vytvořila spíše makrotexturu, neboť se rychleji opotřebovala účinkem křemenných zrn ohlazovacího prachu. Přesto bylo naměřeno velmi nízkých hodnot μ_{PWS} , mnohem nižších, než je hodnota f_p .

Nejhorsí výsledky z měření μ_{PWS} mají úseky D1 188,85, který byl odebrán z jízdní stopy pravého jízdního pruhu před výměnou desky, a D1 v km 250, kde od začátku pokládky CBK nebyla vytvořena kvalitní textura a cementovou maltu na povrchu neodstranilo ani 8 cyklů ohlazování v zařízení W/S.

5.2.4.3 Ohladitelnost kameniva získaná zařízením W/S

Pro měření ohladitelnosti kameniva zařízením W/S bylo zvoleno 37 zkušebních těles kameniva a 2 druhy písků, které se přidávají do ohrusných vrstev včetně vápence, který se vyskytuje pouze u starých povrchů. Výběr kameniva se zaměřil na co nejširší pokrytí nejčastěji se vyskytujících druhů kameniv v ČR.

Kameniva používaná do ohrusných vrstev byla získaná přímo v lomu (označena L) nebo extrakcí jádrového vývrtu (označena V) a jsou následujícího druhu:

- Pískovec – zpevněný klastický sediment, jehož nejcharakterističtější složkou jsou zrna pískové frakce,
- Droba – sedimentární hornina vzniklá především v mořském prostředí, barva horniny je nejčastěji šedá a velikost zrn je různá, od jemné po hrubou. Jedná se v podstatě o zvláštní druh pískovce, který je tvořený zrny křemene, živce a několika jinými minerály a úlomky hornin v jílovité původní hmotě,
- Rula – hornina vzniklá intenzivní regionální metamorfózou z vyvřelých hornin nebo sedimentů,
- Žula – (granit) kyselá hlubinná magmatická hornina, v podstatě složená z křemene, živců a menšího množství tmavých minerálů,
- Diorit – je intruzivní magmatická hornina vyznačující se hrubým zrnem a tmavou barvou. Jedná se v podstatě o alternativu andezitové lávy nacházející se ve velkých hloubkách,
- Granodiorit – je intruzivní hrubozrnná hornina, která se objevuje v bílé, šedé nebo černé barvě,
- Diabas – je intruzivní magmatická hornina se středně zrnitou strukturou a tmavou barvou. Tmavý je díky obsahu amfibolu a biotitu,
- Melafyr – vyvřelá hornina, připomíná čedič a andezit,
- Křemenný porfyr – vyvřelá hornina obsahující velké krystaly,
- Granulit – regionálně vzniklá metamorfovaná hornina,
- Amfibolit – regionálně metamorfovaná hornina zelenavě černé barvy, složená hlavně z obecného amfibolu a plagioklasu,
- Čedič – (bazalt) nejčastější výlevná magmatická hornina na povrchu Země,
- Vápenec – usazená hornina, jejíž hlavní složkou je uhličitán vápenatý CaCO_3 ,
- Písek – těžený se zaoblenými plochami povrchu zrn a písek stejného původu a předrcený s lomovými plochami zrn. [65]

Jednotlivá kameniva umístěná na vyrobených zkušebních tělesech jsou zachycena na obrázku 89.



drcený písek Zálezlice



pískovec Tasovice



droba Luleč



pískovec s amfibolitem



droba I/50xI/55



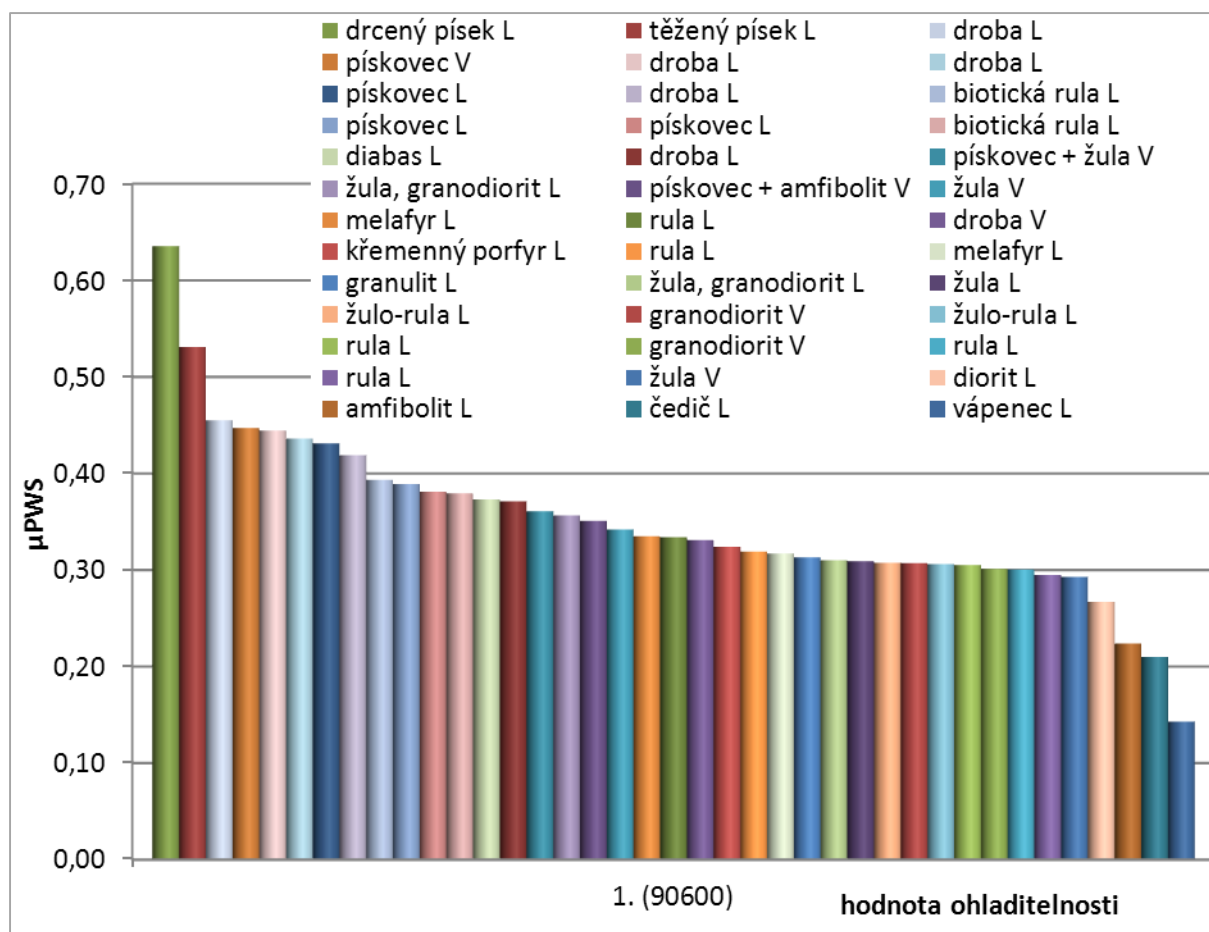
granulit Plešovice



Měření se provedla podle postupu používaného v laboratoři TU ve Vídni. Kamenivo se ohlazuje 90.000 pojezdy kuželíky za současného sypaní křemenného prachu, následně se změří hodnota tření, která vyjadřuje ohladitelnost μ_{PWS} .

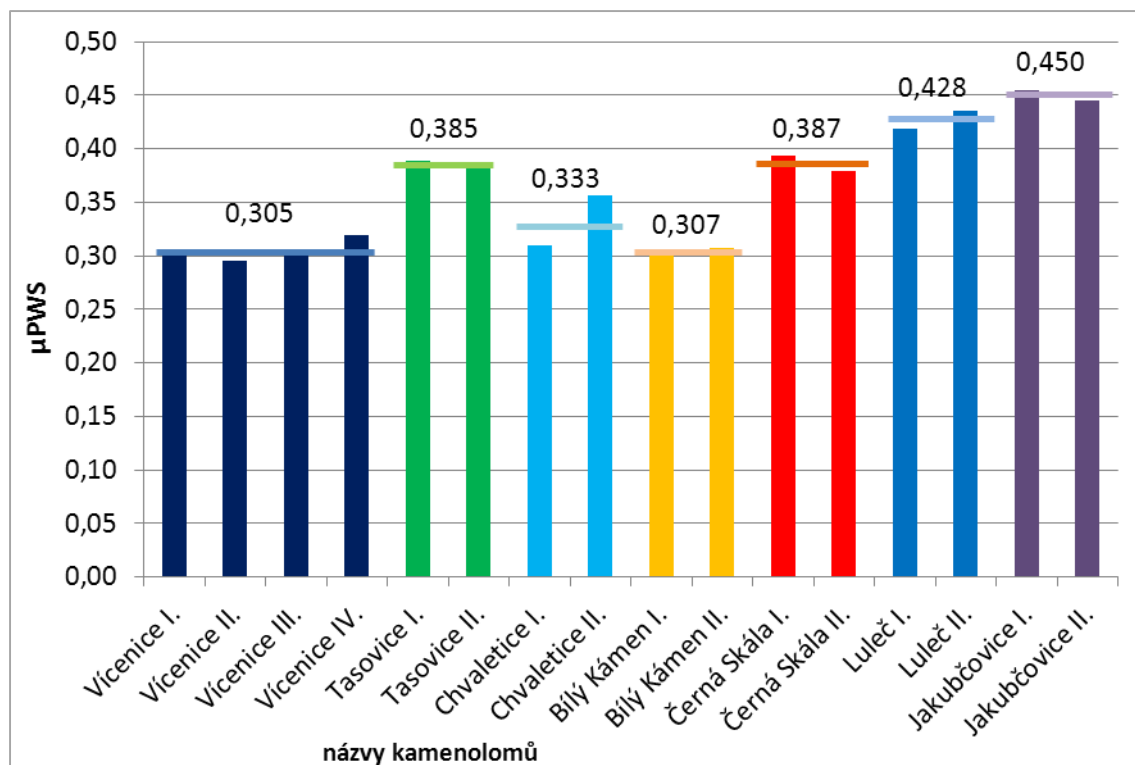
Nejlepších výsledků dle předpokladů dosahují droby a pískovce, které obsahují drobné částčky písku nahrazující se po odlomení dalšími. Nejhorších výsledků dosáhly amfibolit, čedič a vápenec. Zajímavý výsledek přináší směs pískovce a amfibolitu. Samotný amfibolit je zařazen mezi nejhoršími, ale jeho kombinace s pískovcem ho přesouvá mezi kvalitní kameniva z hlediska ohladitelnosti. Protože prozatím neexistují nastavená kritéria pro měření zařízením W/S, z následujícího grafu 24 se jeví jako vhodné nastavit mezní kritéria takto: menší než 0,20 nebezpečné, menší než 0,30 nevhodné, do 0,40 dobré, nad 0,40 výborné po 90.000 pojezdech.

Měření ohladitelnosti μ_{PWS} zkušebních těles vyvrtaných z obrusných vrstev je ale více vypovídající hodnotou, protože lépe simuluje reálné podmínky skutečné obrusné vrstvy vozovky a má přednost před výsledkem ohladitelnosti kameniva, která může potlačit úpravu povrchu a různé zastoupení kameniv.

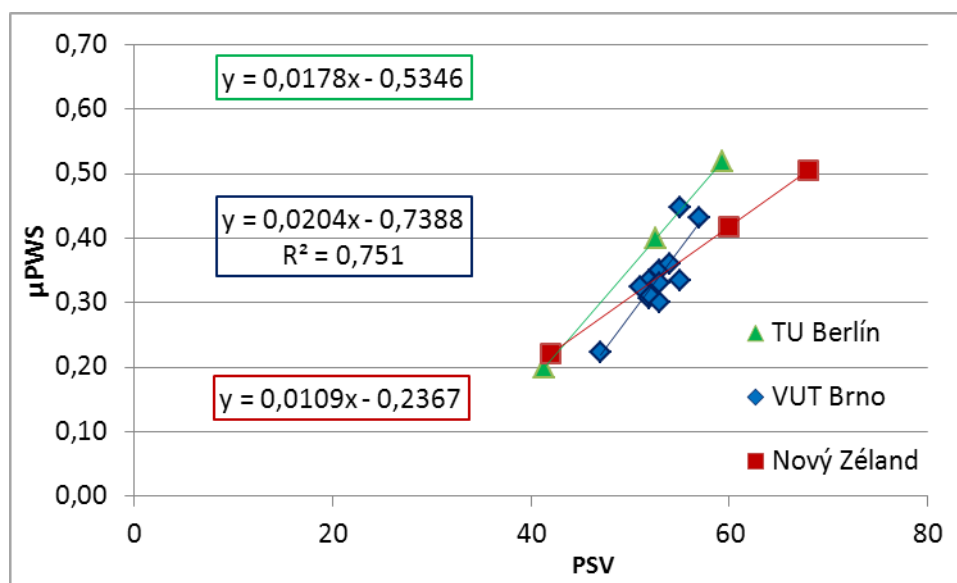


Graf 24 Hodnoty ohladitelnosti kameniva μ_{PWS} , popisky jsou seřazeny sestupně

V dalším grafu 25 byly jednotlivé kamenolomy zastoupeny více vyrobenými vzorky na měření ohladitelnosti μ_{PWS} . Pro zjištění hodnoty přesnosti měření byly jednotlivé výsledky zprůměrovány pro lokality kameniva a spočítána odchylka jednotlivého výsledku od průměru pro ohladitelnost kamenolomu. Ve zdroji [28] je ve verzi z roku 2011 uveden požadavek na odchylku měření 0,022 po prvním cyklu ohlazování. Samotné výsledky měření splňovaly požadavek s velkou rezervou kromě vzorku z kamenolomu Chvaletice, což ale může být způsobeno malou navázkou kameniva, ze kterého byla zkušební tělesa vyráběna a kdy nebyla možnost dostatečně vybírat zrna kameniva s vhodnějším tvarem na vyskládání zkušební plochy vzorku.

Graf 25 Určení přesnosti měření μ_{PWS} u kameniva

Porovnáním výsledků ohladitelnosti dle britské metody zrychleným ohlazováním PSV dle [22] a zkouškou Wehner/Schulze byla dosažena dobrá korelace. Zkouška dle W/S má větší vypovídající schopnost, pro naše výsledky v grafu 26 odpovídá 10 dílkům hodnoty PSV 25 dílků μ_{PWS} , což lépe rozlišuje jednotlivá kameniva z hlediska ohladitelnosti. Pro porovnání byly do grafu vloženy korelace jiných laboratoří z obrázku 45.



Graf 26 Korelace ohladitelnosti kameniva metodou zrychlené ohladitelnosti a podle W/S

Bylo také provedeno posouzení směsných kameniv použitých pro výrobu asfaltových směsí SMA, tzn. kameniv s velmi rozdílnou ohladitelností. Pro měření bylo k dispozici pět kameniv, tři z nich byla získána extrakcí z vývrtu a dvě byla odebrána přímo v lomu. Celkem se jednalo o kameniva ze dvou lokalit: Tasovice – pískovec, žula a Želešice – amfibolit. Vzorky vyrobené z kameniva získaného extrakcí z odebraného vývrtu z vozovky po 8 letech provozování silnici I/38 jsou v grafu 27 označeny „vývrt“.

Podíl složek kameniv v odebraných obrusných vrstvách SMA:

- Tasovice pískovec 57 % a Želešice amfibolit 43 %,
- Tasovice pískovec 16 % a Tasovice žula 84 %.

Tabulka 22 Výsledky PSV a μ_{PWS} na vzorcích kameniva

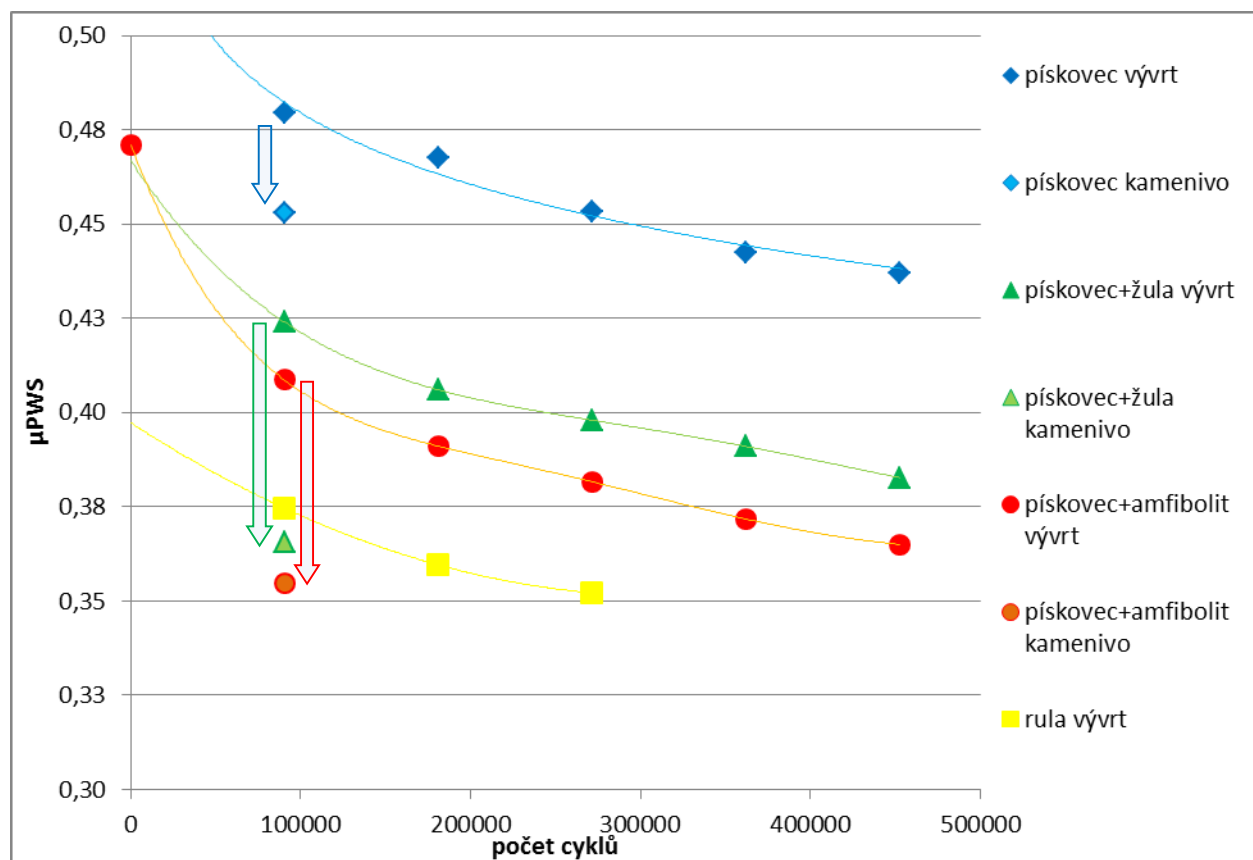
Druh kameniva	PSV	μ_{PWS}
Želešice - amfibolit (lom)	49	23
Rančířov – rula (vývrt)	52	32
Tasovice + Želešice (vývrt)	53	36
Tasovice pískovec + žula (vývrt)	54	42
Tasovice – pískovec (vývrt)	55	45
Tasovice - pískovec (lom)	57	44

Z naměřených hodnot ohladitelnosti (tabulka 22) μ_{PWS} kameniva vyplývá vyšší citlivost zkoušky W/S, rozdíl mezi nevyhovujícím kamenivem s PSV 49 a velmi dobrým kamenivem s PSV 57 je s ohledem na reprodukovatelnost zkoušky nespolehlivý. Na druhé straně výsledky μ_{PWS} výrazně odlišily nevyhovující, průměrné a velmi dobré kamenivo z hlediska ohladitelnosti. Výrazné je odlišení směsných kameniv. V [64] se uvádí, že v případě použití směsi hrubého kameniva do obrusné vrstvy z více lokalit lze použít kamenivo s hodnotou PSV nižší, pokud hodnota $\text{PSV}_{\text{EKVIV}}$ splňuje požadavky ohladitelnosti stanovené na kamenivo obrusných vrstev podle příslušných předpisů [39], přičemž $\text{PSV}_{\text{EKVIV}}$ je vážený průměr PSV jednotlivých složek směsi hrubého kameniva, kde váhou je hmotnostní podíl složky v jeho směsi a současně hodnota PSV žádné složky nebude nižší než 50.

Hodnota PSV amfibolitu – kameniva z lomu Želešice je nižší než 50 a kamenivo by se nemělo do obrusných vrstev pro vyšší dopravní zatížení používat. $\text{PSV}_{\text{EKVIV}}$ první uvedené směsi kameniv Tasovice a Želešice je 53,6, která při zkoušce zrychlené ohladitelnosti PSV vyšla 53, hodnoty si tedy vzájemně odpovídají. Určením hodnoty μ_{PWS} kameniva vychází hodnocení podstatně méně optimisticky.

Pro směs obou kameniv z lomu Tasovice, za předpokladu PSV žuly 51, by $\text{PSV}_{\text{EKVIV}}$ byl v hodnotě rovněž 52, naměřená hodnota PSV je ovšem 54 (za předpokladu PSV žuly 52, tedy stejně PSV jako má měřená rula z lomu Rančířov, by hodnota $\text{PSV}_{\text{EKVIV}}$ byla 52,8). Naměřená hodnota PSV zařazuje

kamenivo výše ($PSV = 54$). Vypočítaná hodnota tedy podceňuje výrazný vliv odolného kameniva proti ohlazování v malém množství a hodnota μ_{PWS} potvrzuje vyšší vliv.



Graf 27 Výsledky měření součinitele tření μ_{PWS} asfaltových směsí na jádrových vývrtech v porovnání s kamenivem získanými jejich extrakcí

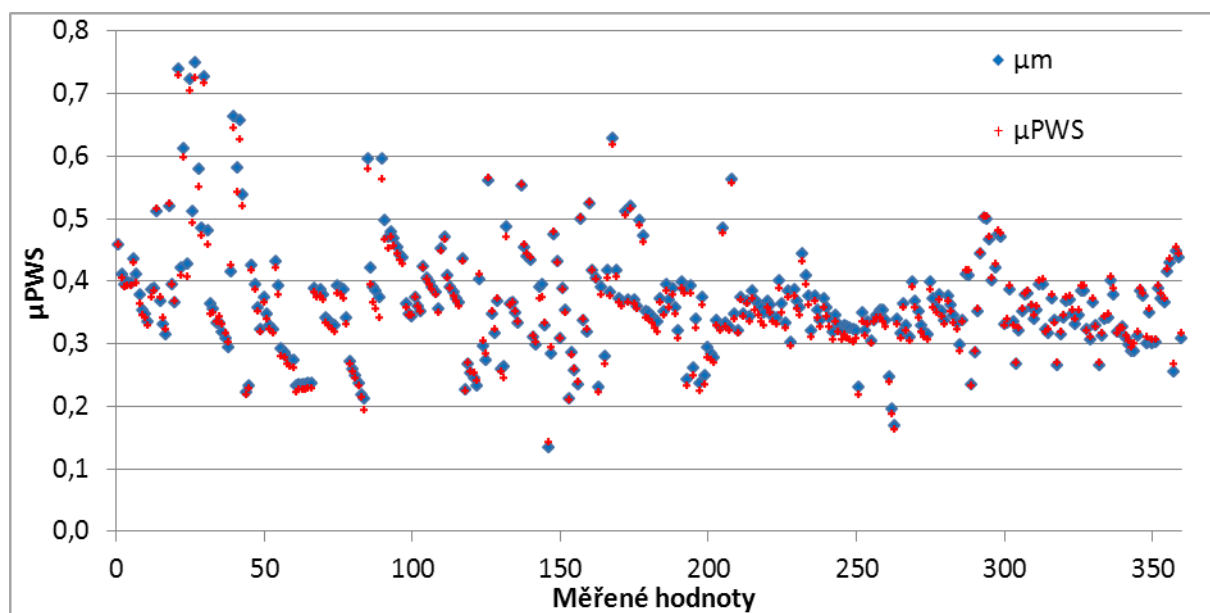
Zkušební těleso vyskládané z jednotlivých zrn kameniva poskytuje podstatně nižší součinitele tření v zařízení W/S než je možné naměřit na povrchu vývrtu (graf 27). Výsledky na směsi lze ale považovat za spolehlivější a reálně vyjadřují vliv kameniv a celé směsi na výsledné protismykové vlastnosti povrchů vozovky.

Použitím zařízení W/S pro měření ohladitelnosti kameniva byly získány zkušenosti pro další rozvoj sledování protismykových vlastností povrchů vozovek. Zkouška umožní zrychlené ohlazování vzorků kameniva.

5.2.4.4 Rozsah měření metodou dle W/S

Graf 28 ukazuje rozpětí všech hodnot součinitelů tření metodou W/S na všech dosud naměřených površích μ_m a zároveň korigovaných hodnot μ_{PWS} 0,135 až 0,750, jsou patrné jen velmi malé rozdíly, které eliminují rozdílné chování patek při měření. Tato kontrola patek korekcemi před a po měření dle vztahu (35) nemá velký vliv na hodnotu μ_{PWS} , maximální rozdíl je 8 %, v průměru je hodnota μ_m o 1,5 % vyšší.

Z grafu 28, kde jsou výsledky všech jádrových vývrtů i vyrobených zkušebních vzorků kameniv, se jeví jako vhodné rozdělit jednotlivé stupně po desetínách jako u samotných kameniv, tedy do hodnoty 0,2 nebezpečné, do 0,3 nevhodné, do 0,4 dobré a nad 0,4 výborné.



Graf 28 Rozpětí naměřených hodnot μ_m a korigovaných hodnot μ_{PWS}

Z dosavadních zkušeností z měření vyplývá, že zařízení lze používat na všechny obrusné vrstvy získané jádrovými vývrty nebo výrobou v laboratoři a také na kameniva různých frakcí. U zkušebních těles asfaltových obrusných vrstev je důležité vhodně zvolit místo odběru jádrového vývrtu, protože množství asfaltového pojiva na povrchu zrn kameniva a velikost makrotextury ovlivňují měřené hodnoty μ_m . U jádrových vývrtů z cementobetonového krytu se po zkušenostech s abrazivními účinky na ohlazovací kuželiky i měřící patky doporučuje měřit tření až po 1. cyklu ohlazování. Ke stanovení hodnoty ohladitelnosti kameniva získaného v lomech nebo z vyextrahovaného vývrtu bude dle výsledků stačit vyrobit dvě tělesa při dostatečné navážce kameniva (min. 2 kg na 1 zkušební vzorek).

5.3 Technologická opatření pro zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek

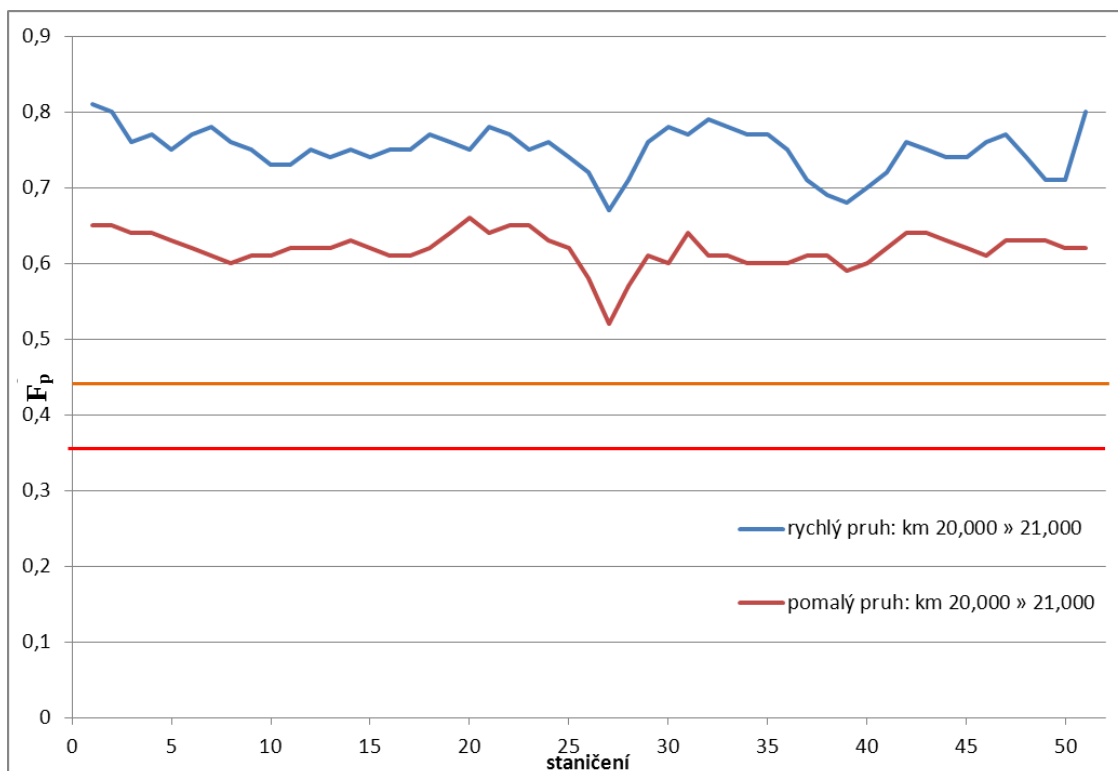
Příčná striáž, vytvořená ocelovým koštětem jako jediná technologie zdrsnění povrchů CBK až do začátku 90-tých let minulého století, byla schopna zajistit požadované hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek již po dobu 35 let. Povrch zdrsněný příčnou striáží má i přes četné poruchy stále dobrou makrotexturu, která s mikrotexturou cementobetonové malty nebo kvalitního hrubého kameniva udržuje dobré hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek i při vysokých rychlostech. Z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek je zdrsnění povrchu CBK příčnou striáží vhodnou technologií. Pro její další použití by však musel být vyřešen problém s hlučností takto zdrsněného povrchu.

Úprava povrchu CB krytů joutou se používá od 90. let minulého století kvůli snížení hlučnosti do té doby používaného zdrsnění příčnou striáží. Tyto povrchy upravené taženou jutou však v posledních letech okamžitě po pokládce, ještě před uvedením do provozu, mívají nehomogenní povrch s hodnocením protismykových vlastností povrchů vozovek od klasifikačního stupně 1 až po stupeň 5. Makrotextura je prakticky v celém úseku nevyhovující, místy je hodnota MTD pod 0,2. Po dvou maximálně pěti letech provozu většina úseků nesplňuje požadavky na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek. Technologie úpravy povrchu CBK vlečenou jutou se podle posledních výsledků měření protismykových vlastností povrchů vozovek jeví jako naprosto nevhodná. Pokud ale bereme v úvahu výsledky měření na dříve položených úsecích, je zřejmé, že starší úpravy povrchu CBK vlečenou jutou jsou schopny splňovat požadavky na protismykové vlastnosti povrchů vozovek i po 18 letech provozu.

Proto se v posledních pěti letech začaly zkoušet jiné úpravy povrchu CBK, aby se našla alternativní řešení, která by lépe splňovala požadavky na protismykové vlastnosti povrchů vozovek.

5.3.1 Vymývaný beton

Příkladem prozatím velmi dobrých protismykových vlastností povrchů vozovek na vymývaných CBK je rakouská dálnice A5 z Vídně do Mikulova v úseku Schrick – Eibesbrunn, která byla uvedena do provozu v roce 2010. Výsledky součinitele podélného tření tohoto úseku jsou zaznamenány v obrázku 90.

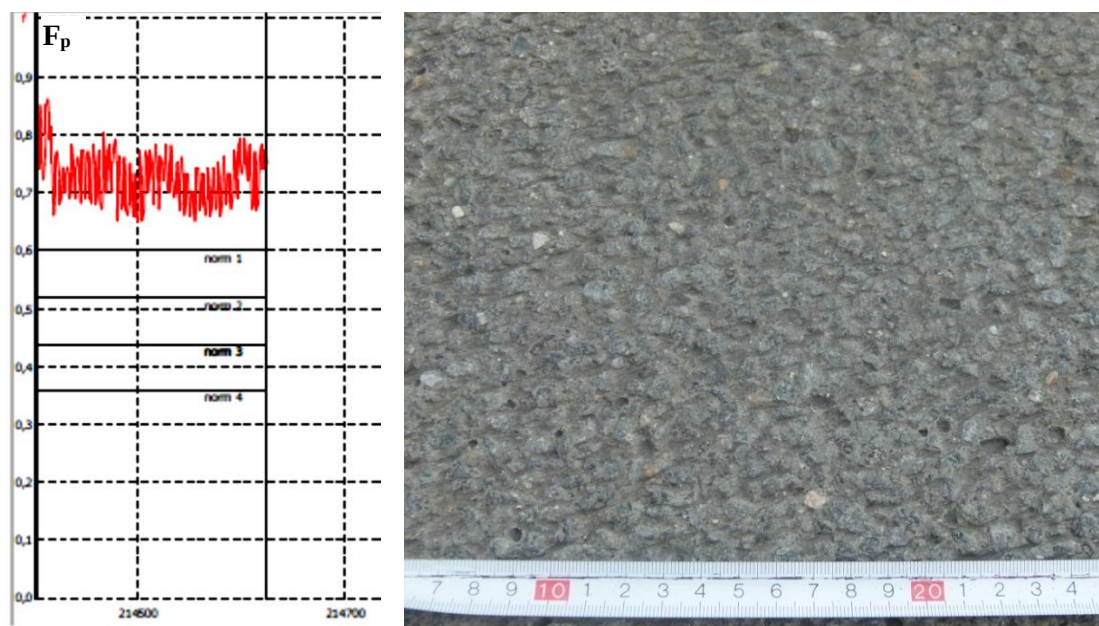


Obrázek 90 Průběh součinitele podélného tření F_p na dálnici A5, v rychlém a pomalém pruhu [51]

Starší úsek vymývaného povrchu CBK na silnici B 221 – okruh kolem Vídně na ulice Neubaugürtel obsahuje nevhodné hrubé kamenivo (vápenec a čedič), které má nevyhovující ohladitelnost (PSV). Na těchto úsecích, kde je intenzivní provoz převážně osobních aut, došlo k vyhlazení hrubého kameniva na povrchu CBK a naměřené hodnoty součinitele podélného tření jsou na úrovni náledí.

Další úsek provedl zhotovitel DSP a.s. v první polovině roku 2012 v délce cca 300 m na silničním okruhu kolem Prahy (SOKP). Protože tato část okruhu není pojížděna, výsledky o dlouhodobém vývoji protismykových vlastností povrchů vymývaného betonu budou známy až po realizaci navazujícího úseku a jeho zprovoznění. Obnažené kamenivo bylo použito frakce HDK 4/8 mm.

Nejnovější úsek vymývaného betonu je na D1 v km 214,4 – 214,6 ve směru na Vyškov položený na podzim roku 2012 firmou Strabag a.s. Povrch zachycený na obrázku 91 zatím vykazuje vysoké hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek, hodnota MTD měřená v odstavném pruhu se pohybuje okolo 1,3. Použité kamenivo rula (Nemojov u Pelhřimova) by mělo splňovat požadavky na ohladitelnost kameniva.



Obrázek 91 Diagram závislosti F_p na ujeté dráze na D1 214,4 – 214,6 a detail povrchu

5.3.2 Negativní textura vytvořená hrablem

Zkušební úsek upravený příčným drážkováním s negativní texturou byl zvolen podle zahraničních výborných zkušeností jako možná varianta pro zvýšení protismykových vlastností povrchů na CBK. Na SOKP byl vyhrazen úsek dlouhý 216 m. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 23.

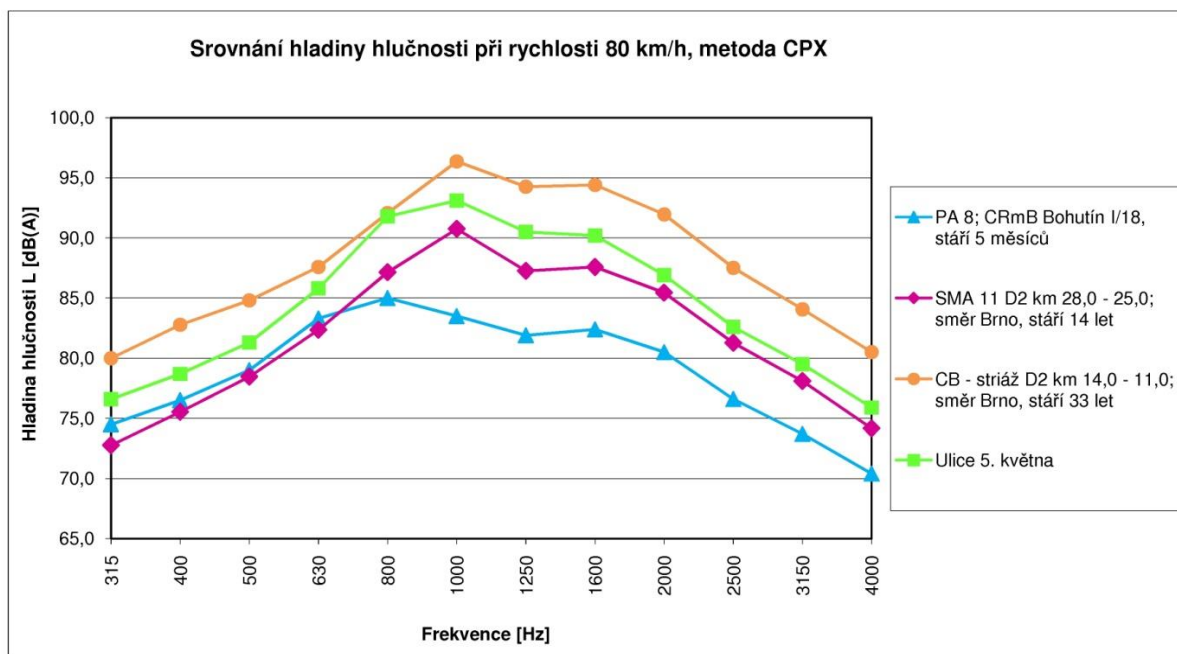
Tabulka 23 Měření provedené na nové úpravě negativní textury vytvořené hrablem

	MTD [mm]	MPD	F_p (TRT)	Metoda CPX (80 km/h) [dB (A)]
Pomalý pruh	0,79	0,40	0,60	99
Rychlý pruh	0,63	0,43	0,75	96

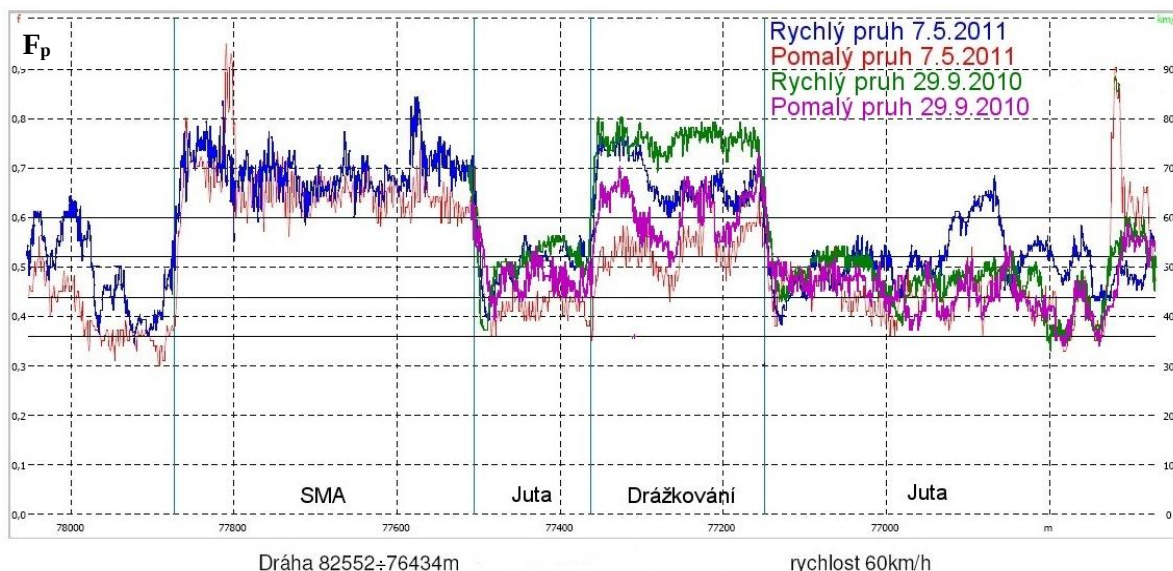
Pokusný úsek s negativní texturou měl po pokládce výborné výsledky součinitele podélného tření f_p okolo hodnoty 0,75 (klasifikace 1), CB kryt s taženou jutou v okolí měl pouze 0,48 (klasifikace 3). Zlepšily se i hodnoty MPD měřené vozidlem ARAN, tažená juta cca 0,18 (klasifikace 5), úprava drážkami 0,4 (klasifikace 3) a nejvyšší hodnoty byly na povrchu SMA (most) cca 1,1 (klasifikace 1). Výsledky MTD byly značně rozdílné, když se pohybovaly od výborných hodnot 1,8 až po nevyhovující 0,39 v klasifikaci 4. Drážky koštětem se vytvářely ručně, takže nebyla zajištěna jejich konstantnost. Hloubka drážek byla různá. Ta závisí na nastavení úhlu plochých pružin vůči povrchu, rychlosti tažení a působící síle na koště, pomocí něhož se drážky vytvářely. Hodnoty PTV nevykazovaly rozdíly mezi úpravou taženou jutou a drážkami. Je to dáno tím, že mikrotextura je v obou případech vytvořena stejně – taženou jutou.

Při porovnání závislosti hladiny hlučnosti na frekvenci při různých rychlostech a pro jednotlivé jízdní pruhy měřenou metodou CPX (viz kapitola 3.9) bylo zjištěno, že při rychlosti 80 km/h byly hodnoty v pravém jízdním pruhu v celém frekvenčním rozsahu vyšší o cca 3 dB (A). Porovnáme-li hodnoty

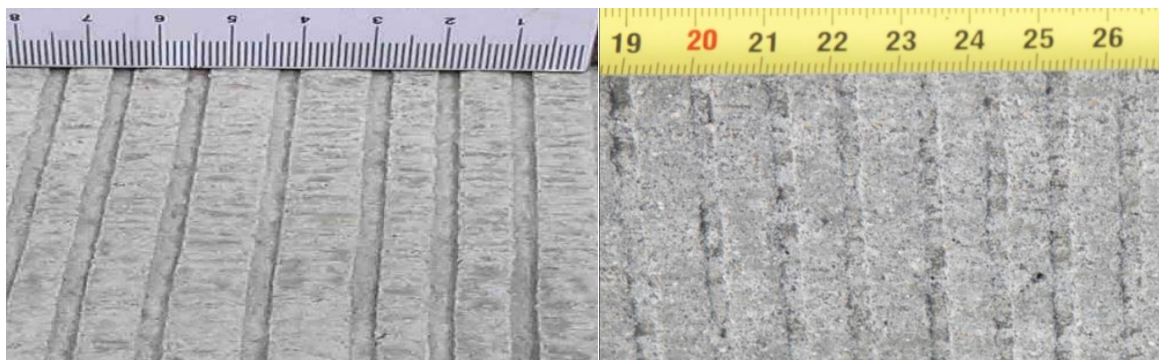
ekvivalentních hladin CB krytu s negativní texturou s příčnými drážkami (stáří 5 měsíců), CB kryt s úpravou vlečenou jutou (stáří 5 let), SMA 11 (stáří 14 let) a CB s úpravou striáží (stáří 33 let) zjistíme, že negativní textura nemá výrazně vyšší hlučnost, jak se předpokládalo kvůli hlubokým rýhám. Při vyšších rychlostech jsou hodnoty u CB s negativní texturou srovnatelné s hodnotou ekvivalentní hladiny krytu SMA 11.



Obrázek 92 Srovnání ekvivalentní hladiny hlučnosti v závislosti na frekvenci CBK s příčnou striáží a asfaltovými obrusnými vrstvami [51]



Obrázek 93 Vývoj součinitele podélného tření na negativní textuře na R1 [52]



Obrázek 94 Porovnání detailu drážek na novém a ojetém povrchu CBK

V dalším užívání vozovky dopravním zatížením, které odpovídá třídě dopravního zatížení S (větší než 7500 TNV), je nejnápadnější postupné odstraňování a ohlazování cementové malty na povrchu CBK. Ze všech měření, která byla od doby výstavby daného úseku Pražského okruhu po dané době provedena, je patrné na obrázku 93 zhoršování protismykových vlastností povrchů vozovek, především v pomalém pruhu vlivem účinku TNV. Opotřebení se projevilo zejména snížením hloubky drážek, snížením průměrné hloubky textury o průměrně 3 klasifikační stupně a snížením součinitele tření o 2 až 3 klasifikační stupně.

V současnosti už nejsou drážky skoro patrné (obrázek 94), cementová malta, která tvořila výstupky, byla odstraněna pojezdy TNV.

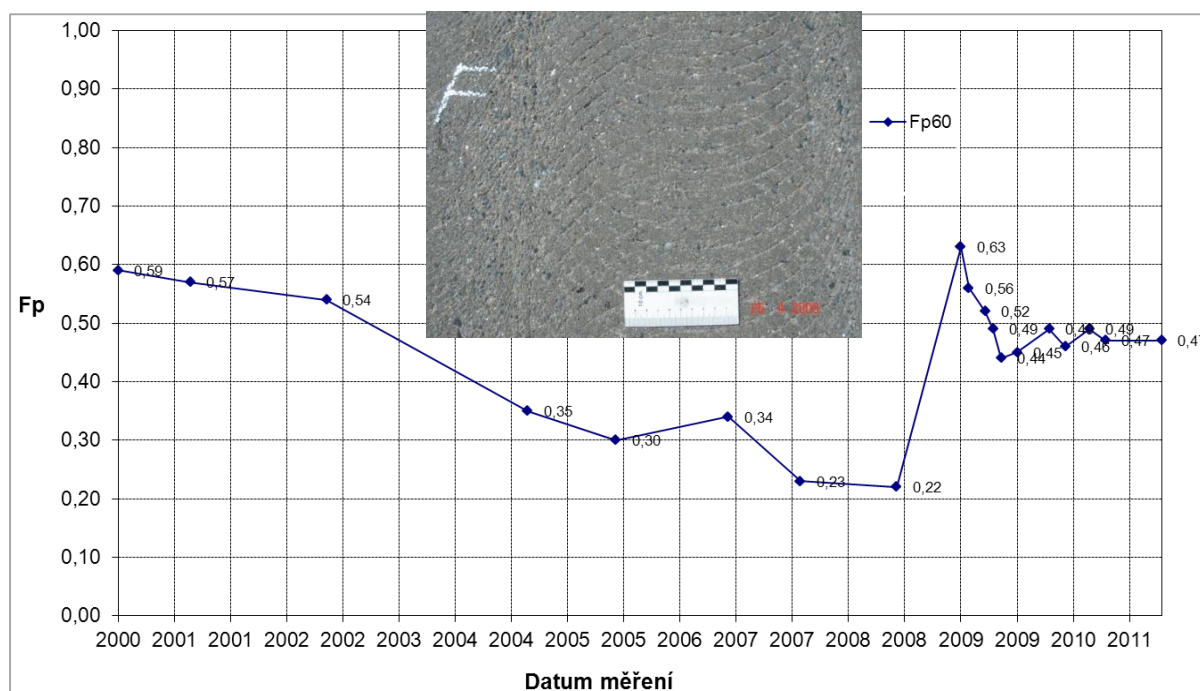
5.3.3 Otryskání vodním paprskem

Na CB krytu silničního okruhu kolem Prahy bylo poprvé vyzkoušeno otryskání vodním paprskem v květnu roku 2009 na R1 v km 25,0 až 25,1 na vnějším jízdním pruhu v levém jízdním pásu. Tato technologie pro zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek se nazývá waterblasting (vysokotlaký vodní paprsek). Celkem bylo provedeno zdrsnění v sedmi různých variantách s různě širokými pracovními záběry, při kterých byl ověřován různý účinek zdrsnění (vytvoření makrotextury) v závislosti na rychlosti pojezdu, tlaku a poloze dvou rotačních hlavic (za sebou, vedle sebe nebo s částečným překrytím). Došlo k podstatnému zlepšení stávajících hodnot F_p , které před zdrsněním vykazovaly hodnoty F_p v jízdních stopách v mezích 0,27 až 0,33 a po zdrsnění se hodnoty F_p zvýšily na 0,55 až 0,65, což odpovídá dosavadnímu hodnocení stupněm 1 až 2. Makrotextura dle hodnocení odměrnou metodou MTD dle ČSN 73 6177 rovněž potvrzuje podstatné zvýšení a to z hodnot 0,18 na původním povrchu až na hodnoty 0,69. Pracovní záběry, které se nachází v jízdních stopách, jsou dále sledovány a měřeny.

V tabulce 24 jsou uvedeny výsledky měření v jednotlivých stopách (B až H2) po provedené úpravě povrchu CB krytu a v obrázku 95 je graf závislosti součinitele podélného tření měřený ve stopě F levá v čase s detailem povrchu.

Tabulka 24 Přehled pokusných polí otryskaných vodním paprskem na R1

Záběr	F _p před	F _p po	MTD před [mm]	MTD po [mm]
B	0,27	0,58	0,18	0,50
C	0,29	0,55		0,50
D	0,33	0,61		0,69
E	0,43	0,65		0,56
F levá	0,44	0,64		0,48
F pravá	0,31	0,56		0,48
G	0,31	0,64		0,59
H1	0,34	0,57		0,37
H2	0,33	0,57		0,37

**Obrázek 95 Závislost součinitele podélného tření v čase na R1, 25,1 – 25,0, pole F levá**

Další úseky byly provedeny tak, aby vedly ke zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovky na stavbě D4705, SOKP a hlavně v tunelech, kde se v současnosti hledá technologie ke zlepšení jejich špatného stavu a kde se zkoušely různé intenzity mytí i tlaková voda (tunely Klimkovice, Cholutice, Lochkov, Dobrovského, Pisárky, atd.).

5.3.4 Pokusné úseky s více druhy povrchových úprav CB vozovek

5.3.4.1 Odpočívka Křenovice

Na odpočívce Křenovice u dálnice D1 se v rámci výstavby vyzkoušely některé způsoby úpravy cementobetonového krytu. Na površích se změřily protismykové vlastnosti povrchů vozovky a hluk. Úseky nelze dále sledovat, protože na odpočívce se dostavěly příčné vyvýšené obrubníky, kvůli nimž

už u některých nešla změřit hlučnost, protože je znemožněn průjezd přes pokusná pole s dostatečnou rychlostí.

Tabulka 25 Výsledky měření na odpočívce Křenovice

Druh úpravy povrchu CBK	MTD [mm]	PTV	F_p (TRT)	Metoda CPX (40 km/h) [dB (A)]
Příčná striáž koštětem	0,39	54	0,51	85
Umělý trávnik, vlas 50 mm	0,52	61	0,48	83
Sítovina z kokosového vlákna	0,51	63	0,55	
Otryskaný tlakovou vodou	0,47	76	0,66	
Vymývaný beton	0,90	57	0,42	84
Tažená juta	0,41	64	0,49	83
Juta větší gramáže	0,33	66	0,54	84

Na odpočívce Křenovice měla nejlepší výsledky po porovnání součinitelů podélného tření F_p a měření kyvadlem PTV úprava CBK s povrchem otryskaným vodním paprskem. Nejlepší výsledky hodnot MTD se projevily na vymývaném betonu, protože tato úprava vytváří povrchovou strukturu podobnou asfaltovým směsím. Z měření hluku uvedeného v tabulce 25 vyplývá, že hodnoty hladiny hlučnosti v oblasti nízkých frekvencí se navzájem liší v průměru o 3 dB (A) při rychlosti 40 km/h. Porovnáním získaných hodnot je patrné, že úprava povrchu CBK – umělý trávnik a klasická juta nejlépe vyhovují jak protihlukovým, tak i protismykovým požadavkům. Získané výsledky součinitele podélného tření F_p a hlučnosti byly získány jen při rychlosti 40 km/h a hodnocení při vyšších rychlostech bude jistě rozdílné. Projeví se zejména makrotextura, která při vyšších rychlostech způsobí menší pokles měřeného F_p a sníží se hladiny hlučnosti při nízkých frekvencích. Pro takové hodnocení nebylo vhodné použití různých povrchů na malé ploše odpočívky. V tomto směru bylo mnohem výhodnější situování pokusných úseků na vlastní trasu dálnice, jak bylo provedeno na Pražském okruhu.

5.3.4.2 Tunely na SOKP

Tunel Cholupice a Lochkov jsou součástí SOKP otevřeného v září 2010. Na CB krytu se vyzkoušely různé úpravy košťaty pro zjištění jejich trvanlivosti z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek. Povrchové úpravy už nejsou v tunelu patrné, velká část byla zbroušena kvůli podélným nerovnostem a další při otryskání vodním paprskem kvůli zlepšení protismykových vlastností povrchů vozovek.

V tabulce 26 jsou uvedeny měřené protismykové vlastnosti povrchů vozovky v tunelech SOKP.

Tabulka 26 Výsledky měření protismykových vlastností povrchů vozovek tunelů SOKP

	MTD [mm]	PTV	F _p (TRT)	IRI [m/km] levý, střední, pravý pruh	Metoda CPX (60 km/h) [dB (A)]
Cholupice (Komořany)					
Silonový kartáč	0,30	62	0,53	3,0±2,1, 2,4±1,7, 2,4±1,8	96
Tvrdý silonový kartáč	0,66	70	0,51		96
Ocelový kartáč	0,64	64	0,56		95
Tažená juta mimo tunel	0,28	64			
Lochkov (Slivenec)					
Ocelové koště	0,44	58	0,42	1,3±0,9,	93
Silonové koště	0,41	53	0,41	1,3±0,9,	93
Silonové koště dvakrát	0,61	56	0,39	1,4±0,8	93

Průměrné hodnoty součinitele podélného tření F_p v tunelu Cholupice byly ve všech pruzích hodnoceny klasifikačním stupněm 2 a mezinárodní index nerovnosti IRI (požadavky jsou uvedeny v tabulce 27) byl ve všech pruzích také hodnocen klasifikačním stupněm 2. Výsledky měření byly ovlivněny znečištěním povrchu CBK. Výsledky MTD ukazují lepší hodnoty u hrubého silonového a ocelového koště než u silonového, které bylo dokonce v klasifikaci 5. Pro srovnání byl zvolen povrch tažený jutou před vjezdovým portálem tunelu, kde je MTD taktéž v havarijní klasifikaci. Hodnoty PTV jsou ve všech případech na dobré úrovni – klasifikace 1 nebo 2. Z porovnání jednotlivých hodnot ekvivalentních hladin je patrné, že všechny úseky jsou vůči sobě navzájem vyrovnané. Při rychlosti 60 km/h se liší maximálně o 1 dB (A). Z těchto výsledků lze usoudit, že odlišné způsoby úpravy povrchu cementobetonového krytu po délce tunelu jsou z pohledu hluku ekvivalentní.

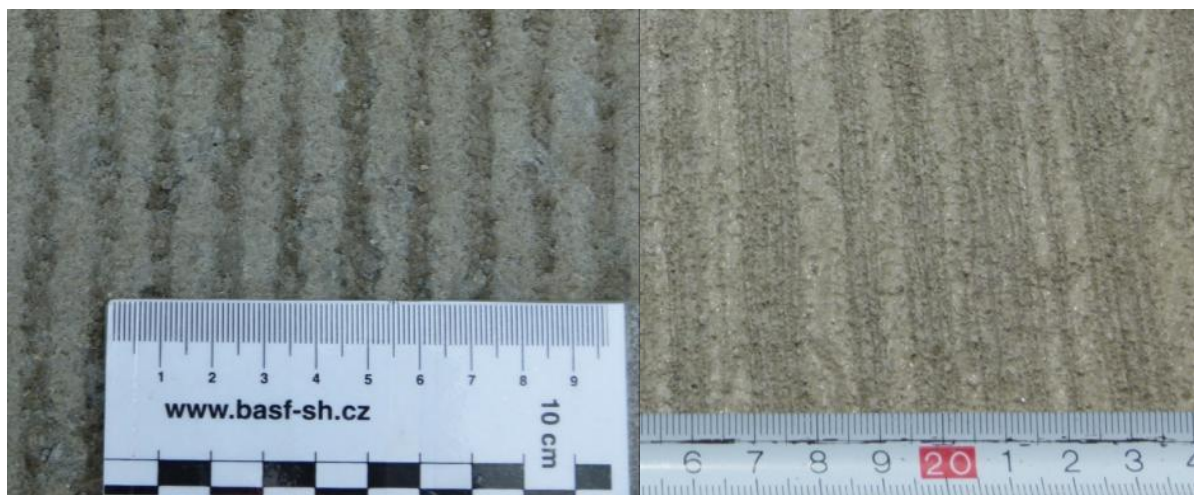
Tabulka 27 Hodnocení podélné a příčné nerovnosti povrchu vozovky [41]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
Parametr					
Podélná nerovnost pro úsek 20 m – mezinárodní index nerovnosti IRI [m/km]	≤ 1,9	2,0 – 3,0	3,1 – 4,2	4,3 – 6,3	> 6,3

Grafy IRI v tunelu Lochkov ve všech pruzích vyhovovaly požadavkům normy na převzetí nové vozovky, ale zároveň ukazovaly podélné nerovnosti na pracovních spárách jednotlivých pracovních dnů. Výsledky MTD ukazovaly lepší hodnoty u dolního portálu tunelu, kdy ve dvou pracovních dnech pokládky byl povrch přejížděn koštětem dvakrát, na hodnotách PTV se toto neprojevalo. Povrch ve středním pruhu se lišil od levého i pravého pruhu, což je způsobeno stísněnými podmínkami v tunelu a tedy vyššími drážkami od koště na krajích vozovky. Z hlediska měření hluku se neprojevily výrazné rozdíly ve zjištěných hladinách hlučnosti. Po měřené délce tunelu nebylo dosaženo významných rozdílů hladin hlučnosti pro jednotlivé jízdní pruhy.

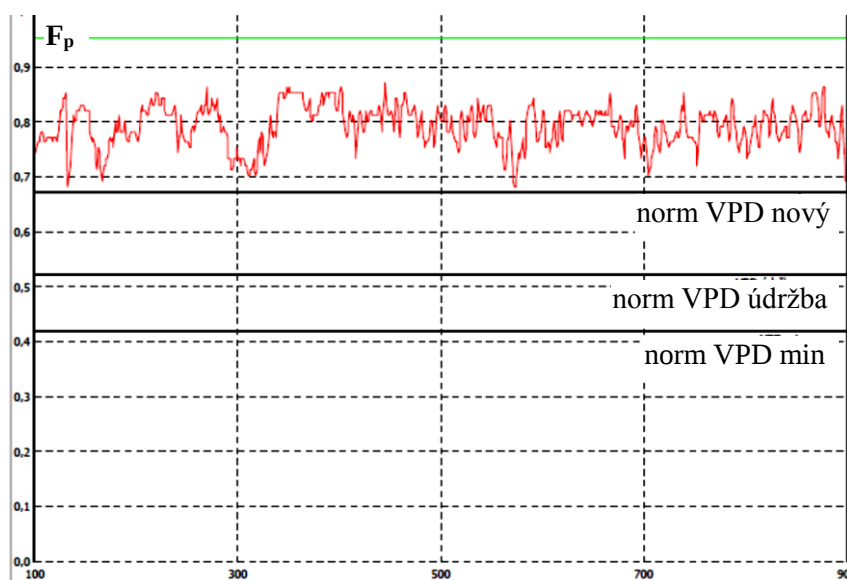
5.3.4.3 Letiště Václava Havla a R48

Další pokusné úseky s negativní texturou byly vytvořeny na letišti v Praze a na R48 Rychaltice – Frýdek-Místek v roce 2012, u těchto úseků se povrchová úprava hrablem realizovala strojově. To umožňovalo nastavení sklonu, síly a rozteče drážek. Při pokládce na letišti bylo vyzkoušeno několik variant úprav povrchu CBK – mechanicky taženým ocelovým kartáčem s jemnými štětinami, ocelovým kartáčem s hrubými štětinami, plastovým kartáčem a ručně taženým koštětem.



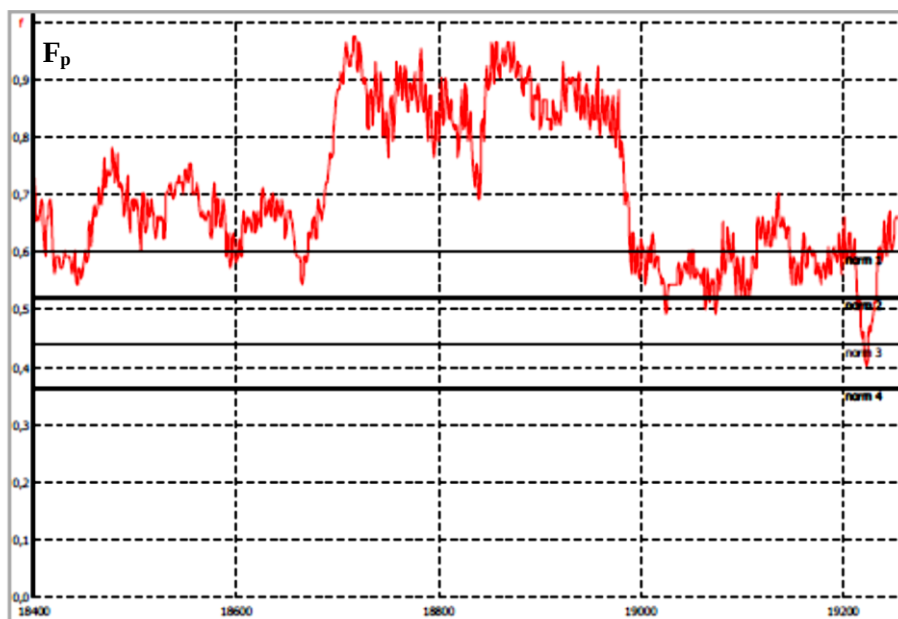
Obrázek 96 Detail provedených povrchových textur na letišti Ruzyně

Na protismykové vlastnosti povrchů vozovky na letišti se vyžadovaly vyšší hodnoty (vyznačeny v obrázku 97), než jsou stanoveny v normě pro PK. Proto byla zvolena právě tato úprava. Na komunikaci spojující vzletové dráhy se vyzkoušely různé štětiny a košťata, nejlepší úprava (detail na obrázku 96 vpravo) se potom použila pro hlavní dráhu.



Obrázek 97 Příklad průběhu F_p ve staničení jedné z úprav na letišti Ruzyně [52]

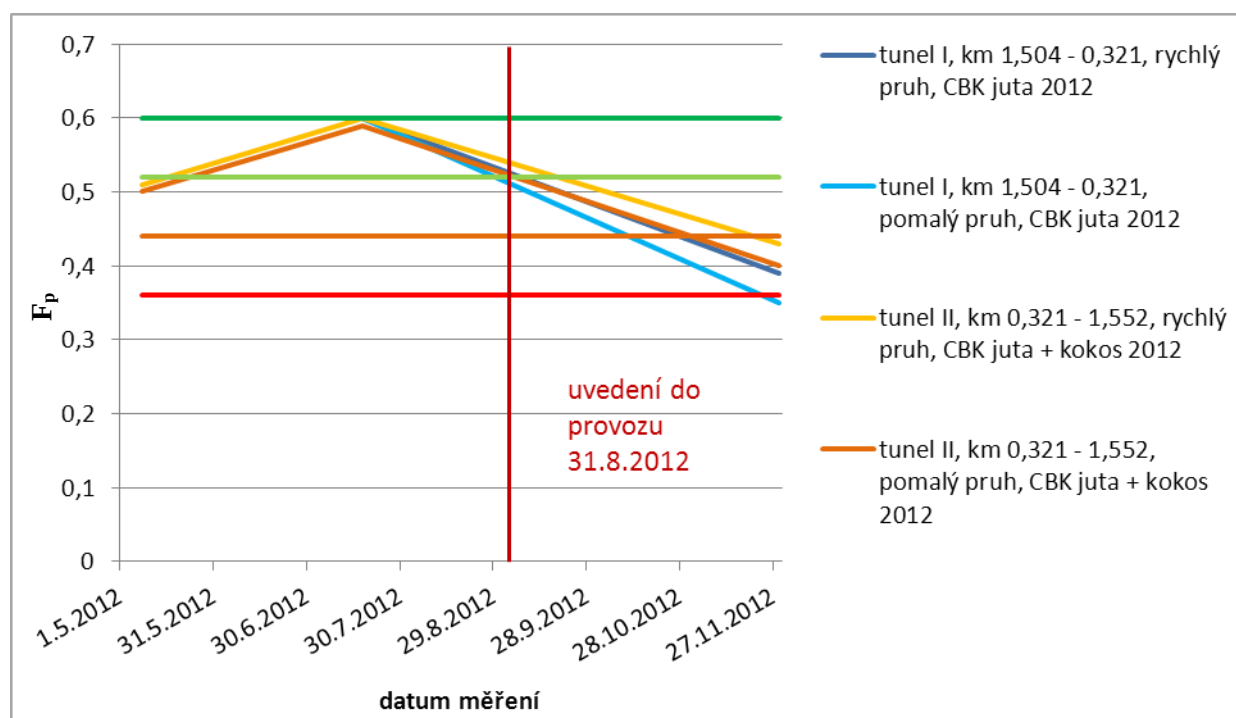
Pokusný úsek na R48 je v délce cca 300 m. Výsledky měření ještě na podzim dosahovaly vysokých hodnot F_p , ještě vyšších než první úprava negativní texturou na SOKP a jsou uvedeny v obrázku 98.

Obrázek 98 Diagram závislosti F_p na ujeté dráze na R48 [52]

5.3.4.4 Tunely Dobrovského v Brně

Vzhledem k tomu, že u vozovek v tunelech se v poslední době řeší jejich nižší protismykové vlastnosti povrchů vozovek než u vozovek mimo tunel, rozhodla se firma Skanska v tunelech Dobrovského vyzkoušet dvě různé povrchové úpravy. První klasickou povrchovou úpravu dle projektové dokumentace pomocí tažené juty a druhou povrchovou úpravu pomocí tažené juty z kokosového vlákna. Tato nově odzkoušená povrchová úprava díky vlastnosti kokosového vlákna (je tvrdší a ostřejší) vytváří na povrchu výraznější stopy. V první fázi odpovídá postup úpravy jako při použití „klasické“ juty. Po přetažení povrchu klasickou jutou je povrch ještě přetažen jutou z kokosového vlákna. Dá se říct, že tato povrchová úprava se provádí dvojitém přetažením povrchu jutou. Tímto postupem byly realizovány oba tunelové tubusy. Vždy cca polovina vozovky v každém tubusu byla realizována klasicky pomocí technologie tažené juty a druhá polovina pomocí technologie tažené juty z kokosového vlákna. Z důvodu eliminace vlivu ochranného parotěsného postříku na protismykové vlastnosti povrchů vozovek byl v tunelu I (Královo pole – Žabovřesky) použit ochranný parotěsný postřík na bázi vosku (Emcoril B VM). V tunelu II (Žabovřesky – Královo Pole) byl použit ochranný postřík na bázi akrylátu (Emcoril AC) – oba od výrobce MC-Bauchemie s.r.o. Dle měření součinitele podélného tření neměla změna povrchové úpravy výrazný vliv, tažená juta dosahovala dokonce o něco lepších výsledků (asi o 0,04 vyšší hodnoty). Postřík na bázi akrylátu měl vyšší počáteční hodnoty při měření součinitele F_p , ale provozem se hodnoty v obou tubusech srovnaly.

Graf vývoje součinitele podélného tření F_p před a po uvedení do provozu je na obrázku 99.



Obrázek 99 Závislost součinitele podélné tření v čase v tunelech Dobrovského [52]

Nedostatkem zvýšení makrotextury bývá zvýšená hlučnost, proto jsou v tabulce 28 uvedeny výsledky měření hluku odvalovanou pneumatikou podle normy ČSN ISO/CD 11819-2 na různě upravených površích CBK ve srovnání s asfaltovým kobercem mastixovým (SMA) a drenážním kobercem s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (PA 8 CRmB). Negativní textura CBK přispívá ke snížení hlučnosti ve srovnání s povrchem vytvořeným jutou, nedosahuje však účinku povrchů z drenážního koberce.

Tabulka 28 Porovnání ekvivalentních hladin hluku L_{Aeq}

Rychlost měření [km/h]	Úsek s úpravou povrchu a stáří vrstvy				
	CBK striáž 33 let	CBK juta 1 rok	CBK negativní textura 5 měsíců	SMA 11 mm 14 let	PA 8 CRmB 1 rok
	Ekvivalentní hladina hluku s filtrem A – L_{Aeq} , [dB (A)]				
80	102	99	98	96	92
110	108	104	103	101	-

6 ZÁVĚR

Protismykové vlastnosti povrchů vozovky mohou zkrátit brzdnou dráhu vozidel a zároveň vyhodnocením nehodovosti byl prokázán vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na nehodovost. Na základě stanovení vlivu protismykových vlastností povrchů vozovek na nehodovost byly vymezeny požadované hodnoty součinitele podélného tření v jednotlivých fázích doby životnosti obrusné vrstvy (ČSN 73 6177 [5] a TP 87 [41]) s tím, že pro místa se zvýšenou potřebou protismykových vlastností povrchů vozovek (křižovatky, železniční přejezdy, přechody pro chodce, směrové oblouky o malých poloměrech, velká stoupání a klesání) jsou stanoveny vyšší hodnoty protismykových vlastností povrchů vozovek (viz tabulka 17).

Dopravní zatížení ovlivňuje dobu životnosti obrusných vrstev z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek. Je to dáno ohlazováním zrn kameniva na povrchu obrusné vrstvy (mikrotextura) a změnou makrotextury povrchu. Dosavadní laboratorní zkouška zrychlené ohladitelnosti kameniva popisovala jen změnu mikrotextury a její výsledky nebyly přesné. Přesto byla prokázána výrazná závislost vývoje součinitele podélného tření na velikosti dopravního zatížení a způsobu a namáhání vodorovnými silami. Tento poznatek byl zapracován do předpisů pro navrhování a provádění obrusných vrstev: ČSN EN 13108 části 1 – 7 [39, tabulka Požadavky na vlastnosti kameniva v Národní příloze NA].

Jedním z cílů bylo nalezení a ověření metodiky pro laboratorní posuzování trvanlivosti protismykových vlastností povrchů vozovek. Proto se významná část práce zaměřila na ověření použitelnosti zkušebního zařízení Wehner/Schulze na zrychlené ohlazování kameniva v laboratoři, které se jeví jako spolehlivé. Změny mikrotextury i makrotextury stanovuje přímo měřením součinitele tření při rychlosti od 100 km/h až do zastavení. Měření tření v závislosti na ohlazování se provádí přímo na kamenivech a na obrusných vrstvách připravených jak v laboratoři tak odebraných z vozovky pomocí jádrových vývrtů. Bylo zjištěno, že tímto zařízením lze simulovat zrychlené ohlazování odpovídající vývoji protismykových vlastností povrchů vozovek měřených dle ČSN 73 6177 na dlouhodobě sledovaných úsecích.

Normotvorný proces popisující zařízení a měření zařízením Wehner/Schulze není v EU ještě ukončen (prEN 12697-49), je zpracováván v pracovní skupině CEN TC227/WG1. Účastnila jsem se semináře k ověření této zkoušky evropskými státy (NL, GB, F, CH, D, CZ). Výsledky disertační práce se využijí pro zpracování normy a ke stanovení požadavků na národní úrovni. Předběžně se jeví jako vhodné nastavit požadované kategorie pro ohlazení kameniv zkráceným postupem zkoušení po 90.000 pojezdech zařízení takto: hodnota tření μ_{PWS} menší než 0,2 bude označovat kameniva pro použití do obrusných vrstev jako nebezpečná, menší než 0,3 jako nevhodná, do 0,40 dobrá, nad 0,40 výborná.

Mezi konkrétní výsledky patří poznatek, že přidáním části kameniva s vysokou odolností proti ohlazení do kameniva s nízkou odolností se životnost protismykových vlastností povrchů vozovek

značně prodlouží. Tím je možné dosahovat trvanlivých povrchů vozovek jen dovezením malého množství kvalitního kameniva do oblasti, kde se toto kamenivo nevyskytuje bez podstatného zvýšení nákladů na výrobu asfaltových směsí.

Zvláštní kapitolou jsou cementobetonové kryty. Jejich protismykové vlastnosti povrchů vozovek ve většině případů nejsou závislé na použitém hrubém kamenivu a písku v betonu, ale nejvíce na technologickém postupu při pokládce a následném zdrsnění povrchu. Zatímco CBK zdrsňené příčnou striáží staré více než 33 až 43 let mají do dnešních dnů vyhovující protismykové vlastnosti povrchů vozovek, tak nově pokládané CBK zdrsňené taženou jutou jsou stále častěji z hlediska protismykových vlastností povrchů vozovek v havarijním stavu ihned po pokládce. Proto by se do doby, než se vyřeší jejich protismykové vlastnosti povrchů vozovek, neměla provádět úprava taženou jutou. Není zatím znám důvod podstatného zhoršení protismykových vlastností povrchů vozovky a jejich trvanlivosti, ale zařízení W/S může přispět k jejímu řešení modelováním trvanlivosti.

V rámci řešení výzkumných projektů se téma protismykových vlastností povrchů vozovek přednášelo na odborných konferencích, na seminářích (MD ČR, Kulatý stůl) nebo školeních (STEPS, Policie ČR), protože to, jak ovlivňují dopravní nehodovost, se týká každého účastníka silničního provozu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Hall J.W., Smith K.L., Titus-Glover L.: *Applied Research Associates, Inc., Champaign, IL, Wambold J.C., CDRM, Inc., State College, PA, Yager T.J., NASA Langley Research Center, Hampton, VA, Rado Z., Pennsylvania Transportation Institute, University Park, PA NCHRP: Guide for Pavement Friction.* 2009. 257 p.
- [2] Descornet G., Schmidt B., Boulet M., Gothié M., Do M.-T., Fafié J., Van den Bol M., Alonso M., Roe P., Forest R., Viner H.: *HERMES Final Report. Forum of European National Highway Research Laboratories.* 2006. ISSN 1362-6019, 321 p.
- [3] en.wikipedia.org/wiki/
- [4] ČSN 73 6100-1 *Názvosloví pozemních komunikací – Část 1: Základní názvosloví.* ÚNMZ. Říjen 2008.
- [5] ČSN 73 6177 *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek.* ÚNMZ. Září 2009.
- [6] Šachlová Z., Michková V. *Protismykové vlastnosti vozovek. Silniční obzor 12/2012.* ISSN 0322-7154, s. 339-344.
- [7] Croney P., Croney D. *The Design and Performance of Road Pavements.* ISBN 0-07-014451-6. 510 stran. 1998.
- [8] ČSN EN 13036-4 *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadla.* ÚNMZ. Duben 2012.
- [9] Delanne Y., Gothié M.: *Influence of road wetness on the skid resistance performance of tires. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées.* April-May-June 2005. Pp. 23-34.
- [10] Tan M.-T.: *Relationship between microtexture and skid resistance. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées.* April-May-June 2005. Pp. 117-136.
- [11] Lédée V., Delalande G., Dupont P.: *Skid resistance and aggregates. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées.* April-May-June 2005. Pp. 91-116.
- [12] Do M.-T., Tang Z., Kane M., Larrard F.: *Experimental simulation and modeling of pavement surface polishing by road traffi., Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées.* April-May-June 2007. N°267.
- [13] Cenek P.D., Jamieson N.J., Towler J.I.: *The influence of texture depth on skidding resistance. Tranzit New Zealand Conference.* New Zealand. 10 p., 1997.
- [14] ČSN P CEN TS 13036-2 *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 2: Stanovení protismykových vlastností povrchu vozovky pomocí dynamických měřicích zařízení.* ÚNMZ. Říjen 2010.
- [15] Do, M.-T., Roe, P., *D04 Report on state-of-the-art of test methods , WP2 Harmonisation of skid resistance and choice of reference surfaces. Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects.* 89 p. December 2008.
- [16] Dames, J.: *The influence of polishing resistance of sand on skid resistance of asphalt concrete, Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies.* ASTM STP 1031. W.E. Meyer and J. Reichert, Eds. American Society for Testing and Materials.

- Philadelphia. 1990. pp. 14-29. dostupné:
(http://books.google.cz/books?id=Cs873t6yZfIC&pg=PA15&lpg=PA15&dq=wehner+schulze&source=bl&ots=WnJPwSEOFD&sig=FZftkxCtUC3JQaNEbkHfA_Djfls&hl=cs&ei=TrmbSb2OB4Xo0AWTqdzhBQ&sa=X&oi=book_result&resnum=6&ct=result#PPA29,M1)
- [17] Do, M. - T., Tang, Z., Kane, M., Larrard, F. de. Laboratory test method for the prediction of the evolution of road-skid resistance with traffic. SURF 2008. Portorož. 12 s.
- [18] Huscek, S.: Ohladitelnost kameniva a protismykové vlastnosti vozovek. Seminář Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2007. ISBN 978-80-214-3429-5.
- [19] Celostátní sčítání dopravy na dálniční a silniční síti v letech 1990 – 2010. Ředitelství silnic a dálnic ČR.
- [20] Kachtík, J. Vyhodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek na rampách dálničních křižovatek: diplomová práce. Brno, 2011. 99 s., 36 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
- [21] TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. ISBN 978-80-87394-06-9, 76 s. Červen 2012.
- [22] ČSN EN 1097-8 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti. ÚNMZ. Únor 2010.
- [23] ČSN EN 13036-1 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou. ÚNMZ. Listopad 2010.
- [24] ČSN EN 13036-3 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky. ÚNMZ. Leden 2004.
- [25] ČSN EN ISO 13473-1 Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu. ÚNMZ. Listopad 2004.
- [26] ČSN P CEN/TS 15901-4 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 4: Postup pro stanovení protismykových vlastností povrchu vozovek pomocí zařízení s řízeným podélným skluzem (LFCT): Tatra Runway Tester (TRT). ÚNMZ. Listopad 2010.
- [27] ČSN P CEN/TS 15901-7 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 7: Postup pro stanovení protismykových vlastností povrchu vozovky pomocí zařízení pro měření podélného stálého poměru skluzu (LFCG): GripTester ®. ÚNMZ. Listopad 2010.
- [28] prEN 12697-49 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 49: Determination of friction after polishing. CEN. October 2011.
- [29] <http://www.pti.psu.edu/allFacilities>
- [30] <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/t504036.cfm>
- [31] http://www.pavement.com/Concrete_Pavement/Technical/Fundamentals/index.asp

- [32] *Validatie van de Wehner/Schulze proef, Bijlage 1 Prüfanweisung „Prüfung mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze“.* Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Oktober 2010. 112 p.
- [33] Dunford A.: *The Wehner Schulze machine and its potential use to improve aggregate specification.* In *International Conference Managing Road and Runway Surfaces to improve safety.* Cheltenham. England. 2008. (<http://www.saferroads.org.uk/2008papers.asp#anc13>)
- [34] Arampamoorthy H., Patrick J.: *Potential of the Wehner-Schulze test to predict the on-road friction performance of aggregate.* NZ Transport Agency research report 443. 34 p. ISBN 978-0-478-37191-8. 2011.
- [35] Fleicher W., Wolf Th.: *Herstellung von griffigen und lärmarmen Betonfahrbahndecken. Festschrift anlässlich des 65. Geburtstages von Univ. Prof.Dr. sc. Techn. ETH Siegfried Huschek sowie 50 Jahre Strassenwesen an der Technischen Universität Berlin.* TU Berlin. August 2005. 322 s.
- [36] Kirchmaier L.: *Einfluss feiner Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten im Strassenbau. Grundlegende Untersuchungen zum Polierverhalten mit dem /rühgerät nach Wehner/Schulze neuer Bauart. Dissertation.* Technische Universität Wien. 2011.
- [37] <http://www.arrb.com.au/Equipment-services/Hawkeye-1000-Series.aspx>
- [38] ČSN EN 13043 *Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch.* ÚNMZ. Duben 2004. + Změna Z1 (červen 2006) a Změna Z2 (březen 2008).
- [39] ČSN EN 13108 *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály – Část 1 – 7 (říjen 2006 a březen 2008) + Opravy Opr. 1 (prosinec 2008).*
- [40] *Metody klasifikace, ověřování a sledování akustických vlastností povrchů vozovek, Revue générale 2010. Silnice mosty 4/2010. s. 52-55.*
- [41] TP 87 *Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek.* Ministerstvo dopravy. Odbor silniční infrastruktury. Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební. 2010. 105 s.
- [42] TP 213 *Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek.* Ministerstvo dopravy. Odbor silniční infrastruktury. IMOS Brno, a.s. září 2009. 15 s.
- [43] *Deutscher Asphaltverband e.V.: Asfaltové obrusné vrstvy s požadovanými protismykovými vlastnostmi. Katalog postupů a opatření pro plánování a provedení, překlad německého předpisu Sdružením pro výstavbu silnic Praha.* 2008. 19 s.
- [44] *Fleischer W.: Protismykové vlastnosti krytů betonových vozovek – zkušenosti z Německa. Betonové vozovky 2004. Slavkov u Brna.* 2004. 12 s. ISBN 80-239-3552-6.
- [45] Hýzl P.: *Praktické aplikace v pozemních komunikacích, modul 6 Asfaltové směsi, studijní opory Vysoké učení technické v Brně.* 2006, 28 s.
- [46] Kudrna J.: *Návrh a stavba vozovek. Krytové vrstvy vozovek. Studijní materiál pro seminář.* (dostupný: <http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/DT%203%20Asfaltove%20vrstvy.pdf>). 2010.
- [47] *Katalog přírodního kameniva v České republice. Soupis kamenolomů, pískoven, vápenek a cementáren.* IMOS Brno, a.s. Listopad 1998.
- [48] 1F45B/064/120 *Protismykové charakteristiky povrchů pozemních komunikací měřené podle evropských norem pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu.* Poskytovatel: MD0 -

- Ministerstvo dopravy (MD), Hlavní příjemce: Vysoké učení technické v Brně, Spoluřešitelé: Consultest s.r.o., Měření PVV – Leoš Nekula, PavEx Consulting, s.r.o, STRADIS, s.r.o., ASPK, s.r.o. Období řešení projektu: 2004-2007.
- [49] 1M0579 Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí Poskytovatel: MSM - Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT), Hlavní příjemce: České vysoké učení technické v Praze/Fakulta stavební, Období řešení projektu: 2005-2011.
- [50] CG723-065-910 Účinek dopravního zatížení na snižování protismykových vlastností povrchů vozovek a stanovení požadavků na ohladitelnost kameniva. Poskytovatel: MD0 - Ministerstvo dopravy (MD), Hlavní příjemce: Vysoké učení technické v Brně/Fakulta stavební, Spoluřešitelé: Consultest s.r.o., Měření PVV – Leoš Nekula, PavEx Consulting, s.r.o. Období řešení projektu: 2007-2011.
- [51] CG923-038-910 Zlepšení trvanlivosti protismykových vlastností nově položených i opravených povrchů cementobetonových krytů vozovek s vysokým dopravním zatížením Poskytovatel: MD0 - Ministerstvo dopravy (MD), Hlavní příjemce: Vysoké učení technické v Brně/Fakulta stavební, Spoluřešitelé: Consultest s.r.o., Měření PVV – Leoš Nekula. Období řešení projektu: 2009-2010.
- [52] TA01031562 Technologie úprav povrchu cementobetonových krytů pro zvýšení bezpečnosti a snížení hlučnosti silničního provozu. Poskytovatel: TA0 - Technologická agentura České republiky (TA ČR), Hlavní příjemce: Vysoké učení technické v Brně/Fakulta stavební, Spoluřešitelé: Consultest s.r.o., Skanska a.s., Měření PVV – Leoš Nekula. Období řešení projektu: 2011-2014.
- [53] 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. Poskytovatel: TA0 - Technologická agentura České republiky (TA ČR), Hlavní příjemce: Vysoké učení technické v Brně/Fakulta stavební, Spoluřešitelé: Consultest s.r.o., Měření PVV – Leoš Nekula, Pragoprojekt a.s. Období řešení projektu: 2012-2016.
- [54] Kane M., Scharnigg K., D10 Report on different parameters influencing skid resistance, rolling resistance and noise emissions, WP3 Road surface properties – skid resistance/rolling resistance/noise emissions. Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects. 95 p. August 2009.
- [55] Hall J. W. Jr.: Pavement texture and friction. Applied Research Associates, inc. September 2007. (dostupný: <http://www.captg.ca/docs/pdf/07presentations/PavementTexture.pdf>)
- [56] Evans L. D.: Effects of texture Options. How important is pavement surface texture? Applied Research Associates, inc. Prezentace 2007.
- [57] <https://maps.google.cz/>
- [58] Vojtěšek, A. Měření a hodnocení protismykových vlastností pozemních komunikací. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. Brno, 2007. Vedoucí disertační práce: doc. RNDr. Josef Dalík, CSc., prof. Salvatore Cafiso, doc. Ing. Jan Kudrna, CSc.
- [59] Viner, H., Sinhal, R., Parry, S.: Výzkum odolnosti proti smyku ve Velké Británii „Review of UK Skid Resistance Policy“, PIARC International Symposium „SURF2004“, Toronto, 2004; překlad A. Vojtěšek, J. Kudrna.

- [60] *White paper – European transport policy for 2010: time to decide – Office for official publications of the European Communities, 2001*
- [61] http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/
- [62] *Bullas J.C.: Slippery when DRY?- Low dry friction and binder-rich road surfaces. Transportation Research Group. Safer Roads Conference 2005. 19 s.*
- [63] *Bradáč A. a kol.: Soudní inženýrství. ISBN 80-7204-057-X. Brno 1997. 720 s.*
- [64] *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací (TKP). Kapitola 7. Hutněné asfaltové vrstvy. Praha 2008. 29 s.*
- [65] <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?spilit>
- [66] *Dvořák J., Nedvěd J., Neuvirt V., Valentin V.: Školení o evropských normách pro stavbu vozovek 5 – Nátěry a kalové vrstvy (SENS 5). Sdružení pro výstavbu silnic Praha. 2009. 96 s.*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKTRATEK A SYMBOLŮ

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials (úřad spravující pokyny pro návrh a výstavbu dálnic v USA)

ABS Anti-locking brake system

ACO Asphalt concrete (asfaltový beton pro obrusné vrstvy)

AdMaS Advanced Materials, Structures and Technologies (výzkumný projekt VUT v Brně)

ARAN Automatic Road Analyzer

ASFT Airport Surface Friction Tester

ASTM American Society for Testing and Materials (organizace pro tvorbu norem a předpisů v USA)

BBTM Béton Bitumineux Très Mince (asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy)

BFC Braking Force Coefficient

BPÚ Bezpečnostní protismyková úprava

CBK Cementobetonový kryt

CEN Comité Européen de Normalisation (evropský výbor pro normalizaci)

CPB Controlled Pass-By

CPX Close Proximity Method (metoda malé vzdálenosti)

CRmB Crumb rubber modified asphalt (asfaltové pojivo s přídavkem granulátu drcené pryže)

CSD Celostátní sčítání dopravy

CTM Circular Texture Meter

ČSN Česká technická norma

DFT Dynamic Friction Tester

DSP Dálniční stavby Praha

EFI European Friction Index

EKZ Emulzní kalový zákryt

EMK Emulzní mikrokoberec

ETD Estimated Texture Depth

FGSV Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (rakouské normy a předpisy)

FHWA Federal Highway Administration (federální úřad pro správu silnic v USA)

FN	Friction Number (hodnota tření)
GPS	Global Positioning System
GT	GripTester
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace civilního letectví)
IDS	Integrovaný dopravní systém
IFI	International Friction Index (Mezinárodní index tření)
IL	Investigatory level (vyšetřovací úroveň)
IRI	International Roughness Index (Mezinárodní index nerovností)
LA	Litý asfalt
MD ČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MP	Metodický pokyn
MPD	Mean Profile Depth (střední hloubka profilu povrchu vozovky)
MTD	Mean Texture Depth (střední hloubka textury povrchu vozovky)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku)
OBSI	On-board sound intensity
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj)
OFM	Ouflow Meter
PA	Porous asphalt (drenážní koberec)
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses (světová silniční organizace)
PK	Pozemní komunikace
PmB	Polymer modified bitumen (modifikovaný asfalt s celulózovými vlákny)
PSV	Polished Stone Value (ohladitelnost kameniva)
PTV	Pendulum Test Value (součinitel tření zjištěný kyvadlem)
PVV	Povrchové vlastnosti vozovek
PWS	Polierwert nach Wehner und Schulze
RMS	Root Mean Square
RPDI	Roční průměr denních intenzit

SCRIM	Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine
SFC	Sideway Force Coefficient
SPM	Sand Patch Method
SRI	Skid Resistance Index
SKM	Seitenkraftmessverfahren
SMA	Stone Mastic Asphalt (asfaltový koberec mastixový)
SMTD	Sensor Measured Texture Depth
SN	Skid Number (hodnota tření)
SOKP	Silniční okruh kolem Prahy
SPB	Statistical Pass-By Method (statistická metoda při průjezdu)
SRV	Skid Resistance Value (hodnota tření)
TC	Technical Committee
TKP	Technické kvalitativní podmínky staveb
TNV	Těžké nákladní vozidlo
TP	Technický předpis
TRRL	Transport and Road Research Laboratory (výzkumná organizace ve Velké Británii)
TRT	Tatra Runway Tester
TU	Technická Univerzita
TX	Texture
VÚD	Výzkumný ústav dopravní
W/S	Wehner/Schulze
WG	Work Group
WTF	Water Film Thickness (tloušťka vodního filmu)

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN S JEDNOTKAMI

D	aritmetický průměr [mm]
e	převýšení vozovky [m/m]
F	tečná třecí síla mezi vzorkem pneumatiky a vodorovným povrchem [N]
F_B	brzdná síla skluzu [N]
F_G	tíhová síla rozloží na složku kolmou k vozovce [N]
F_N	normální složka tíhové síly [N]
f_p	součinitel podélného tření [-]
F_p	nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření [-]
$F_p^{\sim}$	vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření [-]
F_R	valivý odpor [N]
F_S	boční třecí síla [N]
F_{Se}	setrvačná síla [N]
F_T	třecí síla [N]
F_w, W	svislé zatížení [N]
I_m	intenzita dopravy daného druhu vozidla zjištěná v době průzkumu [voz/doba průzkumu]
$k_{d,t}$	přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenní průměr denních intenzit dopravy [-]
$k_{m,d}$	přepočtový koeficient intenzity dopravy v době průzkumu na denní intenzitu dopravy dne průzkumu [-]
$k_{t,RPDI}$	přepočtový koeficient týdenního průměru denní intenzity dopravy na roční průměr denních intenzit dopravy [-]
L_{Aekv}	ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB(A)]
L_{Amax}	maximální hladina hluku [dB(A)]
OT_p	čas vytékání vody povrchem vozovky [s]
P	dostředná síla [N]
r	poloměr pneumatiky [m]
r_e	efektivní valivý poloměr [m]
S	rychlost skluzu [km/h]

S_p	Speed Number [-]
SR	poměru skluzu [%],
t_{vm}	teplota povrchu mokré vozovky [°C]
V	rychlost vozidla, měřící pneumatiky [km/h]
V_p	průměrná obvodová rychlost pneumatiky [km/h]
α	úhel otočení [°]
μ	součinitel tření [°C]
μ_{km}	střední naměřená hodnota kontrolní desky před a po měření protismykových vlastností, tj. korekce na patky [-]
μ_m	naměřená hodnota koeficientu tření při 60 km/h [-]
μ_{PWS}	jednotlivý výsledek laboratorního měření protismykových vlastností[-]
μ_{ref}	známá hodnota měření protismykových vlastností na kontrolní desce, tj. korekce na patky na referenční zařízení [-]
ω	úhlová rychlost pneumatiky [rad/s]
vozokm	dopravní výkon vyjadřující počet vozidel na 1 km silnice

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Názvosloví z hlediska vlnové délky, její frekvence a vliv na různé charakteristiky [58]	12
Obrázek 2 Specifikace mikrotextury a makrotextury [5]	12
Obrázek 3 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody na „úsecích bez zvýšeného nebezpečí nehod“ [59]	15
Obrázek 4 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody na křižovatkách [59]	16
Obrázek 5 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi a rizikem dopravní nehody u příjezdů ke křižovatkám a u okružních křižovatek [59]	17
Obrázek 6 Vztah mezi protismykovými vlastnostmi, poloměrem směrového oblouku a počtem dopravních nehod [59]	17
Obrázek 7 Závislost roční míry nehodovosti na 100 km na součiniteli bočního tření a textuře SMTD [56]	18
Obrázek 8 Závislost míry nehodovosti za mokra na součiniteli tření při 64 km/h [56]	19
Obrázek 9 Zjednodušené schéma třecí síly působící na pohybující se kolo [55]	21
Obrázek 10 Síly na volně se pohybující pneumatice při konstantní rychlosti na suchém povrchu [1]	22
Obrázek 11 Síly a momenty při konstantním brzdění kola na suchém povrchu [1]	23
Obrázek 12 Rovnováhy sil při brzdění (jízda z kopce) [63]	23
Obrázek 13 Tření povrchu versus skluz pneumatiky [55]	24
Obrázek 14 Dynamika vozidla jedoucího obloukem s konstantním poloměrem a rychlostí, síly působící na otáčející se kolo [1]	25
Obrázek 15 Průběh koeficientu bočního tření SFC lehkého vozidla při změně úhlu skluzu [15]	25
Obrázek 16 Mechanismus tření mezi vozovkou a pneumatikou [10]	26
Obrázek 17 Zóny interakce pneumatiky s vozovkou za přítomnosti vodního filmu [58]	28
Obrázek 18 Efekt tloušťky vodního filmu WFT na tření [1]	29
Obrázek 19 Princip výpočtu hloubky profilu povrchu vozovky MPD [5, 25]	31
Obrázek 20 Zjednodušená ilustrace různých rozsahů textury [55]	31
Obrázek 21 Idealizovaná pozitivní a negativní makrotextura [62]	32
Obrázek 22 Efekt mikrotextury a makrotextury na tření mezi pneumatikou a vozovkou při různých rychlostech [1]	32
Obrázek 23 Možné extrémní mikrotextury a makrotextury [54]	33
Obrázek 24 Motocykl se sajdkárou na měření bočního součinitele tření [7]	35
Obrázek 25 Vozidlo měřící boční sílu [7]	35
Obrázek 26 Zařízení na kontinuální měření bočního součinitele tření [7]	36
Obrázek 27 Přívěs na měření brzdné síly [7]	36
Obrázek 28 Dynamometrický přívěs VÚD-1 tažený Tatrou 603 s výkonnějším motorem (vlevo) a VÚD-2 s tažným vozidlem Mercedes (vpravo) [6]	37

Obrázek 29 Zařízení TRT v původním provedení (vlevo) a zabudované do nosného vozidla FORD Tranzit (vpravo) [6]	38
Obrázek 30 Zařízení GripTester, pohled na měřicí kolo (vlevo) a při měření	39
Obrázek 31 Zařízení Dynamic Friction Tester [29].....	40
Obrázek 32 Výtokoměr a jeho nosný prstenec [24]	44
Obrázek 33 Zařízení CTM [29]	44
Obrázek 34 Lišta Hawkeye 1000 se zabudovanými laserovými snímači	45
Obrázek 35 Model indexu IFI [1].....	47
Obrázek 36 Požadavky na koeficient bočního tření u měřicí metody SCRIM z července 2003 (Německo) [43].....	54
Obrázek 37 Přístroj na zrychlené ohlazení (vlevo) a na stanovení tření (vpravo) [22].....	57
Obrázek 38 Postup výroby zkušebního tělesa (forma s vyskládaným kamenivem, zalití lepidlem, přitížení zkušebního tělesa, hotový vzorek) [50]	58
Obrázek 39 Původní ohlazovací (vlevo) a zkušební (vpravo) zařízení Wehner/Schulze[16] ..	59
Obrázek 40 Zařízení Wehner/Schulze při ohlazovacím procesu (vpravo ohlazovací kuželíky, měřící patky a vývrt po zkoušce)	60
Obrázek 41 Průběh hodnoty μ_{PWS} v závislosti na rychlosti po 4 cyklech ohlazování	61
Obrázek 42 Forma, poskládané kamenivo vysypané pískem připravené na zalití lepidlem a hotový vzorek	62
Obrázek 43 Schéma řezu vyrobeného zkušebního tělesa mosaikového kameniva [36]	62
Obrázek 44 Vzorek připravený k měření a po 90 000 pojezdech zařízením W/S s viditelnou stopou měřících patek	64
Obrázek 45 Korelace výsledků PSV a PWS na kamenivu 8/11 [18, 34]	65
Obrázek 46 Zkouška na zjištění makrotextury včetně potřebných pomůcek	66
Obrázek 47 Měření kyvadlem na vozovce	67
Obrázek 48 Efekt dopravy na protismykové vlastnosti povrchů vozovky [7].....	75
Obrázek 49 Protismykové vlastnosti asfaltových povrchů při různých intenzitách dopravy [7]	75
Obrázek 50 Znázornění vlivu vodorovných sil na snižování protismykových vlastností povrchů vozovek (nabídka) a jejich potřeby pro bezpečnou jízdu (poptávka) [50].....	76
Obrázek 51 Úrovně povrchu cementobetonové vozovky [35]	78
Obrázek 52 Podélné texturování jutou a umělým trávnikem [31]	79
Obrázek 53 Texturování ocelovým koštětem [31]	80
Obrázek 54 Povrch vymývaného betonu [31]	80
Obrázek 55 Povrch CB krytu broušený diamantovými kotouči [55].....	82
Obrázek 56 Frézovaný povrch CBK [51]	83
Obrázek 57 Otryskaný povrch CBK [31]	83
Obrázek 58 Drážkovaný povrch CBK [31]	84
Obrázek 59 Počet úmrtí na milion obyvatel v letech 2001-11 [61]	87

Obrázek 60 Vliv hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek na počet nehod přepočtený na 1 km silnice ve dvou okresech 2003-4; relativní nehodovost na silnicích I. třídy v Jihomoravském kraji.....	88
Obrázek 61 Relativní nehodovost na jednotlivých silnicích Jihomoravského kraje v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek.....	88
Obrázek 62 Závislost relativní nehodovosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek AC a CBK povrchů dálnice D5 pro měřicí rychlost 60 km/h (vlevo) a 90 km/hod (vpravo).....	90
Obrázek 63 Porovnání křivek součinitele tření F_p různých povrchů ve vztahu k rychlosti.....	91
Obrázek 64 Hodnoty F_p získané dle [5] v závislosti na rychlosti proložené exponenciální závislostí	93
Obrázek 65 Brzdné dráhy [m] povrchů vozovek v závislosti na hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek pro vozidlo s ABS a se zablokovanou pneumatikou	95
Obrázek 66 Úsek 1 D1 km 11 – 10 [57].....	96
Obrázek 67 Úsek 2 D1 km 190 – 190,6[57].....	97
Obrázek 68 Úsek 3 D1 km 190,6 – 194 [57].....	97
Obrázek 69 Úsek 4 D1 km 196,2 – 197,1 [57].....	98
Obrázek 70 Úsek 5 D1 km 3,0 – 4,0 [57].....	100
Obrázek 71 Úsek 6 D1 km 75,8 – 76,7 [57].....	100
Obrázek 72 Úsek 7 D2 km 26,4 – 24,7 [57].....	101
Obrázek 73 Úsek 8 D5 km 33,7 – 32,7 [57].....	101
Obrázek 74 Úsek 9 D8 km 11,0 – 10,0 [57].....	102
Obrázek 75 Úsek 10 D8 km 16,0 – 17,0 [57].....	103
Obrázek 76 Úsek 11 D8 km 41,0 – 42,0 [57].....	103
Obrázek 77 Úsek 12 D5 km 46,0 – 47,0 [57].....	104
Obrázek 78 Úsek 13 D8 km 1,0 – 2,0 [57].....	104
Obrázek 79 Úsek 14 D5 km 63,5 – 62,5 [57].....	105
Obrázek 80 Úsek 15 – ulice Dřevčická v Praze [57]	110
Obrázek 81 Úsek 16 u obce Kožušice [57].....	111
Obrázek 82 Úsek 17 v obci Nové Sedlice[57].....	112
Obrázek 83 Úsek 18 u obce Horní Životice [57]	114
Obrázek 84 Úsek 19 u obce Milotice nad Opavou [57]	115
Obrázek 85 Úsek 20 D5 km 136,6 – 137,2 [57].....	118
Obrázek 86 Úsek 21 D5 km 92,2 – 91,7 [57].....	119
Obrázek 87 Zkušební tělesa, vývrty z asfaltových vrstev.....	124
Obrázek 88 Příklady zkušebních těles cementobetonových krytů	129
Obrázek 89 Zkušební tělesa kameniv vyrobené v laboratoři.....	135
Obrázek 90 Průběh součinitele podélného tření F_p na dálnici A5, v rychlém a pomalém pruhu [51].....	142
Obrázek 91 Diagram závislosti F_p na ujeté dráze na D1 214,4 – 214,6 a detail povrchu	143

Obrázek 92 Srovnání ekvivalentní hladiny hlučnosti v závislosti na frekvenci CBK s příčnou striáží a asfaltovými obrušnými vrstvami [51].....	144
Obrázek 93 Vývoj součinitele podélného tření na negativní textuře na R1 [52].....	144
Obrázek 94 Porovnání detailu drážek na novém a ojetém povrchu CBK.....	145
Obrázek 95 Závislost součinitele podélného tření v čase na R1, 25,1 – 25,0, pole F levá ..	146
Obrázek 96 Detail provedených povrchových textur na letišti Ruzyně	149
Obrázek 97 Příklad průběhu F_p ve staničení jedné z úprav na letišti Ruzyně [52].....	149
Obrázek 98 Diagram závislosti F_p na ujeté dráze na R48 [52]	150
Obrázek 99 Závislost součinitele podélné tření v čase v tunelech Dobrovského [52].....	151

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Faktory ovlivňující tření vozovky [1]	27
Tabulka 2 Přehled zkušebních metod tření za provozu [1]	42
Tabulka 3 Zkušební metody pro posouzení makrotextury [24]	43
Tabulka 4 Kategorie míst a požadované hodnoty SFC přijaté Marshallovým výborem [7]	51
Tabulka 5 Požadované úrovně tření pro různé kategorie (Nový Zéland, 2002) [1]	52
Tabulka 6 Požadované úrovně tření pro různé kategorie (VicRoads, 1996) [1]	52
Tabulka 7 Kategorie poptávky tření používané v Marylandu (2003) [1]	52
Tabulka 8 Kategorie míst ve Velké Británii (2004) a vyšetřované úrovně tření (IL) [48]	53
Tabulka 9 Požadavky na protismykové vlastnosti povrchů vozovek v Rakousku [48]	54
Tabulka 10 Kategorie pro minimální hodnoty ohladitelnosti [38]	57
Tabulka 11 Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou [5]	66
Tabulka 12 Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem [5]	67
Tabulka 13 Skupiny vozidel sledovaných při dopravních průzkumech [21]	72
Tabulka 14 Skupiny komunikací podle charakteru provozu [21]	72
Tabulka 15 Doporučené denní doby pro provedení průzkumu v běžný pracovní den a odhad odchylky odhadu ročního průměru denních intenzit dopravy [21]	73
Tabulka 16 Hodnocení součinitele podélného tření F_p [5]	92
Tabulka 17 Požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek a textury povrchu vozovky [5]	92
Tabulka 18 Souhrn dálničních úseků a hodnoty ohladitelnosti kameniva PSV	108
Tabulka 19 Přehled výsledků na sledovaných úsecích	118
Tabulka 20 Přehled úseků s cementobetonovým krytem	121
Tabulka 21 Souhrn zkušebních vývrtů z CBK	128
Tabulka 22 Výsledky PSV a μ_{PWS} na vzorcích kameniva	138
Tabulka 23 Měření provedené na nové úpravě negativní textury vytvořené hrablem	143
Tabulka 24 Přehled pokusných polí otryskaných vodním paprskem na R1	146
Tabulka 25 Výsledky měření na odpočívce Křenovice	147
Tabulka 26 Výsledky měření protismykových vlastností povrchů vozovek tunelů SOKP	148
Tabulka 27 Hodnocení podélné a příčné nerovnosti povrchu vozovky [41]	148
Tabulka 28 Porovnání ekvivalentních hladin hluku L_{Aeq}	151

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Hodnoty součinitele podélného tření v závislosti na stáří ohrusné vrstvy	99
Graf 2 Hodnoty součinitele podélného tření v závislosti na počtu projety TNV	99
Graf 3 Přehled průběhu F_{p60} v závislosti na počtu přejezdu TNV	105
Graf 4 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem SMA 11	106
Graf 5 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem SMA 11 s podrcením	107
Graf 6 Porovnání závislosti hodnoty F_{p60} na celkovém počtu TNV úseků s povrchem ACO 16	107
Graf 7 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v ulici Dřevčická v Praze	111
Graf 8 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Kožušice	112
Graf 9 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v obci Nové Sedlice, pomalý pruh	113
Graf 10 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku v obci Nové Sedlice, rychlý pruh	113
Graf 11 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Horní Životice	115
Graf 12 Průběh F_{p60} na přímém a zatíženém úseku u obce Milotice nad Opavou.....	116
Graf 13 Průběh F_{p60} na přímých úsecích nezatížených vodorovnými silami.....	116
Graf 14 Průběh F_{p60} v místech zvýšeného namáhání vodorovnými silami	117
Graf 15 Vztah F_p a zatížení TNV na D5 km 136,6 (úsek 20).....	120
Graf 16 Vztah F_p a zatížení TNV na D5 km 92,2 (úsek 21).....	121
Graf 17 Závislost součinitele podélného tření F_p na ohladitelnosti kameniva PSV	123
Graf 18 Průběh μ_{PWS} u nových asfaltových ohrusných vrstev	125
Graf 19 Počáteční hodnoty μ_{PWS} u asfaltových ohrusných vrstev.....	126
Graf 20 Dlouhodobá měření μ_{PWS} u asfaltových ohrusných vrstev.....	127
Graf 21 Průběh prvních hodnot μ_{PWS} zkušebních těles na CB vozovkách.....	130
Graf 22 Závislost μ_{PWS} na MTD u cementobetonových krytů po 1. a 2. cyklu ohlazování....	131
Graf 23 Průběh hodnot μ_{PWS} pro dlouhodobá měření na CB vozovkách.....	132
Graf 24 Hodnoty ohladitelnosti kameniva μ_{PWS} , popisky jsou seřazeny sestupně	136
Graf 25 Určení přesnosti měření μ_{PWS} u kameniva	137
Graf 26 Korelace ohladitelnosti kameniva metodou zrychlené ohladitelnosti a podle W/S ..	137
Graf 27 Výsledky měření součinitele tření μ_{PWS} asfaltových směsí na jádrových vývrtech v porovnání s kamenivem získanými jejich extrakcí.....	139
Graf 28 Rozpětí naměřených hodnot μ_m a korigovaných hodnot μ_{PWS}	140

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Tabulka úseků měřených zařízením Wehner/Schulze

Příloha 1 Tabulka úseků měřených zařízením Wehner/Schulze

č.	CB úseky označení místa JV	povrchová úprava	datum získání JV	MTD [mm]	kamenivo ohrubné vrstvy	rok poklád ky	hodnoty μ _{PWS}											
							0. (0)	1. 90t.	2. 181t.	3. 271t.	4. 362t.	5. 453t.	6. 543t.	7. 634t.	8. 724t.	9. 815t.	10. 906t.	
1	Komořany sil.košť	CB, silonové košť	22.9.2009		0/4 4/8 Dobříň (štěrkopísek), 8/16 Krhanice (granodiorit), 16/22 Jistec, CEM Mokrá	2009	0,422	0,379										
2	Komořany ocel.košť	CB, ocelové košť	22.9.2009			2009	0,385	0,357										
3	Komořany tvrd.sil.košť	CB, tvrdé sil. košť	22.9.2009	0,44		2009												
4	Komořany juta 6,450	CB, juta	22.9.2009			2009	0,365	0,345										
5	Lochkov sil.košť 2x	CB, sil. košť, 2x	13.8.2009		0/4 Ledčice (štěrkopísek), 4/8 8/16 16/32 Sýkořice (spilit), CEM Mokrá	2009	0,373	0,354	0,347	0,336	0,329							
6	Lochkov sil.košť 1x	CB, sil. košť, 1x	13.8.2009			2009	0,341	0,340	0,333	0,324	0,319	0,314	0,309	0,306	0,303	0,309		
7	D1 odpočívka vodní	CB, tryskani vodou	6.8.2009	0,31		2009	0,352	0,319										
8	D1 odpočívka vymývaný beton	CB, vymývaný	6.8.2009		4/8 Jakubčovice (droba)	2009	0,418	0,387	0,380	0,377	0,372							
9	D1 188,850 L	CB, striáž	1.4.2010	0,34	Bratčice (štěrkopísek), Předklášteří (žulorula), Lažánky (vápenec)	1971	0,332	0,268	0,255	0,245	0,232	0,214	0,194					
10	D1 187,6 L	CB, striáž	7.9.2008			1971	0,515	0,373	0,342	0,323	0,318	0,304	0,281	0,278	0,268	0,263	0,263	
11	D1 187,5 L	CB, striáž	7.9.2008			1971	0,430	0,398										
12	D1 175,3 L	CB, striáž	7.9.2008		Bratčice (štěrkopísek), Lažánky (vápenec),	1971	0,363	0,346	0,341	0,329								
13	D1 177,2 L	CB, striáž	7.9.2008		Ořechov, Olbramovice (žula)	1971	0,393	0,391										
14	D1 228,313 P	CB, fréz.drážky	9.6.2008		Ostrožská Nová Ves (štěrkopísek), Olbramovice (granodiorit)	1992	0,597	0,408										
15	D1 228,348 P	CB, juta	9.6.2008			1992	0,725	0,551	0,472									
16	D1 241,209 L	CB, juta	23.6.2008		Tovačov (štěrkopísek), Bělkovice, Luleč	2005	0,524	0,394	0,368									
17	D1 245 P	CB, juta	23.6.2008		(droba)	2005	0,716	0,458	0,426	0,367	0,340	0,323	0,316	0,333	0,328	0,324	0,320	

18	D1 250 L	CB, juta	6.8.2009		2009	0,218	0,228	0,222	0,226	0,227	0,227	0,228	0,228
19	D4705 108,10 P	CB, juta	22.7.2009		0/4 Tovačov (šterkopísek), 4/8	2009	0,365	0,360					
20	D4705 116,65 P	CB, juta	22.7.2009	0,38	Podhůra (droba), 8/16	2009	0,371	0,343	0,319	0,312	0,306		
21	D4705 118,99 P	CB, juta	22.7.2009	0,43	11/22 Hrabůvka (droba), CEM Mokrá	2009	0,363	0,336					
22	D5 136,6 P	CB, juta	11.4.2010	0,48	0/4 4/8 Tlučná (šterkopísek), 8/16	1997	0,579	0,394	0,365	0,356	0,342		
23	D5 92,2 L	CB, juta	11.4.2010	0,29	Litice (spilit), 16/32 Trnčí (spilit)	1996	0,564	0,466	0,453				
24	D11 37 P	CB, juta	23.7.2008		Dobříň (šterkopísek),	1999	0,729	0,409					
25	D11 36,568 L	CB, juta	23.7.2008	0,61	Plaňany (rula)	1999	0,378	0,349	0,335	0,319	0,307		
26	R35 281,817 P	CB, juta	9.6.2008	0,37	Tovačov (šterkopísek),	1997	0,555	0,340	0,317				
27	R35 281,968 P	CB, juta	9.6.2008		Bělkovice, Hrabůvka (droba)	1997	0,459	0,406	0,390				
28	R48 vyhlaz I ccc	CB, hladítko+nátěr	19.10.2012	< 0,3		18.10.2012	0,370	0,343	0,331				
29	R48 vyhlaz II	CB, hladítko	19.10.2012	< 0,3			0,357	0,322	0,305	0,289			
30	R48 juta zakr. I ccc	CB, kruh.juta+nátěr	19.10.2012	0,40			0,370	0,352	0,334	0,312			
31	R48 juta zakr. II	CB, kruh.juta	19.10.2012	0,31			0,391	0,358	0,341				
32	R48 juta	CB, juta	19.10.2012	0,32	0/4 4/8 Tovačov (šterkopísek), 8/16		0,331	0,308					
33	R48 vyhlaz I ccc	CB, hladítko+nátěr	20.10.2012	< 0,3	11/22 Hrabůvka (droba), CEM Hranice	19.10.2012	0,377	0,355	0,346				
34	R48 vyhlaz II	CB, hladítko	20.10.2012	0,31			0,369	0,342	0,326				
35	R48 juta zakr. I ccc	CB, kruh.juta+nátěr	20.10.2012	0,50			0,358	0,343	0,327				
36	R48 juta zakr. II	CB, kruh.juta	20.10.2012	0,44			0,387	0,358	0,349				
37	R48 juta	CB, juta	20.10.2012	0,45			0,431	0,395					

č.	Asf. úseky označení místa JV	povrchová úprava	datum získání JV	MTD [mm]	PSV	kamenivo ohrubné vrstvy	rok poklá dky	hodnoty μ_{PWS}									
								0. (0)	1. 90t.	2. 181t.	3. 271t.	4. 362t.	5. 453t.	6. 543t.	7. 634t.	8. 724t.	9. 815t.
38	D1 191,3 P	SMA 11	7.9.2008		61	Jakubčovice (droba)	1996		0,430	0,420	0,423	0,403	0,392	0,382	0,374	0,377	0,369
39	D1xD2 rampa	SMA 16	2008		47	Želešice (amfibolit)	1995	0,347	0,349	0,335	0,344	0,331					
40	D2 25,1 P	SMA 11	8.8.2008		59	Luleč (droba)	1997	0,704	0,494								
41	GA Fryčajova Brno	PA 8	2012	0,87	59	Luleč (droba)	11.11	0,224	0,361								
42	GA Otakara Ševčíka Brno	PA 8	2011	0,98	59	Luleč (droba)	2010	0,479	0,430								
43	GA JI obalovna	PA11, PA8 VUT	13.9.2011	1,15	52	0/4, 4/8 Rančířov (rula)	8.11	0,309	0,387	0,380							
44	GA JI obalovna	SMA 8	13.9.2011	1,08	52	0/4, 4/8 Rančířov (rula)	8.11	0,233	0,380								
45	GA JI obalovna	BBTM 4	13.9.2011			0/4 Rančířov (rula), 2/4 Vicenice (rula)	8.11										
46	GA JI obalovna	ACO 4	13.9.2011				8.11	0,268	0,405	0,377							
47	GA JI obalovna	BBTM 4	13.9.2011	0,60			8.11	0,236	0,278	0,274	0,269						
48	GA JI obalovna	SMA 8	13.9.2011			0/4, 4/8 Rančířov (rula)	8.11										
49	GA JI obalovna	ACO 4	13.9.2011			0/4 Rančířov (rula), 2/4 Vicenice (rula)	8.11										
50	GA JI obalovna	PA 11	13.9.2011		52	0/4, 4/8, 8/11 Rančířov (rula)	8.11	0,222	0,379								
51	GA JI obalovna	SMA 8	13.9.2011		52	0/4, 4/8 Rančířov (rula)	8.11										
52	GA JI obalovna	PA 11 VUT	13.9.2011	2,49	52	0/4, 4/8, 8/11 Rančířov (rula)	8.11	0,248	0,325								
53	I/38 177	remix	22.10.2010	1,02	52	Rančířov (rula)			0,358	0,346	0,345						
54	I/38 199 Želetava	SMA 11	22.10.2010	1,20		Rančířov (rula)			0,375	0,359	0,351						
55	I/38 229	SMA 11	22.10.2010	1,67	54	Tasovice (pískovec)			0,471	0,457	0,444	0,433	0,428				
56	I/38 Kravsko	SMA 11	11.11.2010	0,91	53	Tasovice (pískovec) + Želešice (amfibolit)		0,466	0,406	0,388	0,378	0,368	0,362				
57	I/38 Grešlovo Mýto	SMA 11	11.11.2010	0,96	54	Tasovice (pískovec + žula)			0,421	0,402	0,395	0,387	0,379				
58	R9	SMA 11	2010	1,11		rula		0,471	0,361	0,366							

59	I/38 Želetava	SMA 11	22.10.2010	1,00	52	Rančířov (rula)		0,329	0,320
60	I/38 194	SMA 11	22.10.2010		52	Rančířov (rula)		0,490	0,462
61	I/34 Skála Věž	SMA 11	6.4.2011		54	žula + rula		0,502	0,340 0,324
62	I/19 Chýnov	SMA 11	6.4.2011	1,26	55			0,477	0,327 0,322
63	I/19 Tábor-Záryb. Lhota	ACO 8	6.4.2011	0,73	55	žula		0,555	0,459 0,444
64	I/19 Tábor-Záryb. Lhota	SMA 11	6.4.2011	0,58	52	čedič		0,352	0,336
65	I/19 Meziříčí - Dražice	SMA 11	6.4.2011	1,04	51	žula		0,438	0,313 0,303
66	I/38xI/23 R35P	slurry seal	6.4.2011	1,23					
67	Liberec, Vesec-Dl. Most	SMA 11	10.8.2011	1,26	49	čedič		0,270	0,256
68	R35	SMA 11	10.8.2011		52	čedič		0,618	0,406
69	I/9 Zakšín	SMA 11	10.8.2011		47	čedič		0,282	0,258 0,239
70	I/27 Velemyšleves	SMA 11	10.8.2011	0,87	47	čedič		0,253	0,241
71	I/7 Chomutov, Lipská I/13	SMA 11	10.8.2011	0,58		čedič		0,411	0,304 0,283
72	Chomutov	SMA 11	11.8.2011	1,38	50	čedič			
73	I/7 Panenský Týnec	SMA 11	11.8.2011	0,74	51	čedič		0,565	0,351 0,322
74	R7P Knovíz	SMA 11	11.8.2011	0,68	51	vápenec		0,371	0,255 0,245
75	GA MUK Kytín	PA 8 s CRmB	11.8.2011	1,29		Zbraslav (spilit)	2009	0,387	0,350
76	I/50 směr U.B.	SMA 11	13.9.2012		53	droba, granodiorit		0,516	0,364 0,355
77	I/50 směr Brno	SMA 11	13.9.2012		52	droba, granodiorit		0,505	0,365
78	I/50xI/55	SMA 11	13.9.2012		53	Luleč (droba)		0,525	0,416 0,404
79	I/55 Staré Město přechod	SMA 11	10.12	0,30	52	fonolit, čedič		0,239	0,187 0,162
80	GA Hradecká Ž Brno	SMA 8S	10.12	0,87	54	Luleč (droba)	2012	0,332	0,351
81	GA Hradecká ÖMV Brno	SMA 8S	10.12	0,76	55	Luleč (droba)	2012	0,220	0,336

82	GA Veslařská 1 Brno	BBTM 5 A	10.12	0,58		granodiorit, žula	2012	0,373	0,296			
83	GA Veslařská 2 Brno	BBTM 5 A	10.12	0,58		granodiorit	2012	0,394	0,345			
84	GA Koliště 1 Brno	SAL + BBTM 5 A	10.12	0,56		granodiorit	2012	0,362	0,312			
85	GA Koliště 2 Brno	SAL + BBTM 5 A	10.12	0,61		žula, granodiorit	2012	0,358	0,350	0,336		
86	GA Svatoplukova Brno	BBTM 8 A	10.12	0,74	52	granodiorit, žula	2012	0,341	0,336	0,326		
87	Pisárky B MS	SMA 11	24.5.2013			droba (zvětralá)	1997	0,336	0,330	0,320	0,321	0,316
88	Pisárky B PJS	SMA 11	24.5.2013			droba (zvětralá)	1997	0,418	0,340	0,322	0,311	0,325
89	Hlinky Š1T PJS	SMA 11	24.5.2013			droba (zvětralá)	2007	0,417	0,393	0,379	0,372	
90	Hlinky Š1T MS	SMA 11	24.5.2013			droba (zvětralá)	2007	0,232	0,329	0,334	0,327	0,325
91	Husovice A PJS	SMA 11	24.5.2013			droba	1998	0,288	0,270	0,269	0,269	
92	Husovice A MS	SMA 11	24.5.2013			droba	1998	0,356	0,324	0,318	0,317	0,314
93	Pardubice B1 JS	SMA 11	9.4.2013			čedič + žula		0,447	0,355	0,346	0,344	
94	Pardubice B2 MS	SMA 11	9.4.2013			čedič + žula		0,504	0,381	0,374		
95	Pardubice B3 MS	SMA 11	9.4.2013			čedič + žula		0,503	0,384	0,376		
96	Pardubice B4 MS	SMA 11	9.4.2013			čedič + žula		0,472	0,361	0,353	0,349	
97	Pardubice H1 JS	SMA 11	9.4.2013			žula + diorit		0,406	0,346	0,339	0,408	
98	Pardubice H2 MS	SMA 11	9.4.2013			žula + diorit		0,428	0,360	0,353		
99	Pardubice H3 MS	SMA 11	9.4.2013			žula + diorit		0,481	0,401	0,392		
100	Pardubice H4 MS	SMA 11	9.4.2013			žula + diorit		0,477	0,404	0,393	0,388	

č.	Kameniva označení místa JV	lom, rozpuštěný vývrt	datum	PSV	kamenivo	hodnoty μ_{PWS}
						1. (90 000 cyklů)
101	pískovec L	Tasovice	2010	57	pískovec	0,431
102	droba L	Luleč	2010		droba	0,371
103	rula L	Rančířov	2010	52	rula	0,334
104	žula L	Lhota Rapotina	2010		křemenný diorit	0,309
105	čedič L	Libochovany	2010		čedič	0,210
106	amfibolit L	Želešice	2010	47	amfibolit	0,224
107	vápenec L	Lánov	2010		vápenec	0,143
108	těžený písek L	Zálezlice	6.09		těžený písek	0,531
109	drcený písek L	Zálezlice	6.09		drcený písek	0,636
110	pískovec + amfibolit V	I38 T+Z	11.2010	53	pískovec + amfibolit	0,351
111	pískovec + žula V	I38 Tas c+s	11.2010	54	pískovec + žula	0,361
112	pískovec V	I38 Tas vývrt	10.10	55	pískovec	0,447
113	žula V	5a I/19 JČ+Vys V	8.11		žula	0,293
114	granodiorit V	I/50 sm. Brno V	10.12	52	droba, granodiorit	0,307
115	granodiorit V	I/50 sm U.B. V	10.12	53	droba, granodiorit	0,301
116	droba V	I/50xI/55 V	10.12	53	droba	0,331
117	žula V	2b I/19 Lejčkov kříž.	8.11		rula	0,342
118	melafyr L	Košťálov L	11.12	55	melafyr	0,335
119	granulit L	Plešovice L	11.12	52	granulit	0,313
120	křemenný porfyr L	Těškov L	11.12	51	křemenný porfyr	0,324
121	rula L	Vícenice I.	4.13		rula	0,305
122	rula L	Vícenice II.	4.13		rula	0,295
123	rula L	Vícenice III.	4.13		rula	0,301
124	rula L	Vícenice IV.	4.13		rula	0,319
125	pískovec L	Tasovice I.	4.13		pískovec	0,389

126	pískovec L	Tasovice II.	4.13	pískovec	0,381
127	žula, granodiorit L	Chvaletice I.	4.13	žula, granodiorit	0,310
128	žula, granodiorit L	Chvaletice II.	4.13	žula, granodiorit	0,357
129	žulo-rula L	Bílý Kámen I.	5.13	žulo-rula	0,306
130	žulo-rula L	Bílý Kámen II.	5.13	žulo-rula	0,308
131	biotická rula L	Černá Skála I.	5.13	biotická rula	0,394
132	biotická rula L	Černá Skála II.	5.13	biotická rula	0,380
133	diabas L	Chrtínky	5.13	diabas	0,373
134	droba L	Luleč I.	5.13	droba	0,419
135	droba L	Luleč II.	5.13	droba	0,436
136	diorit L	Masty	5.13	diorit	0,267
137	droba L	Jakubčovice I.	5.13	droba	0,455
138	droba L	Jakubčovice II.	6.13	droba	0,445
139	melafyr L	Košťálov	6.13	melafyr	0,317