



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Lukáš Vopava

ADHEZE PNEUMATIK A JEJÍ MĚŘENÍ

Bakalářská práce

2013

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak panu Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. a rovněž panu Ing. Karlu Kociánovi za jejich odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za cenné rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a mentální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám žádný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20. srpna 2013

.....

Podpis

Název práce: Adheze pneumatik a její měření
Autor: Lukáš Vopava
Obor: Dopravní systémy a technika
Druh práce: Bakalářská práce
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D
Ústav soudního znalectví v dopravě K622
Fakulta dopravní, ČVUT v Praze
Počet stran: 67
Počet příloh: 5
Jazyk: Čeština

Abstrakt:

Předmětem bakalářské práce „Adheze pneumatik a její měření“ je seznámit se základními teoretickými fyzikálními principy adheze, faktory ovlivňující přilnavost vozidel a základními měřicími metodami za účelem zjištění součinitele adheze.

Klíčová slova: adheze, protismykové vlastnosti vozovky, měření součinitele adheze, statistika nehodovosti

Title: Road Adhesion Coefficient and its Estimation
Author: Lukáš Vopava
Branch: Transportation Systems and Technology
Document Type: Bachelor thesis
Thesis advisor: Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D
Department of Forensic Experts in Transportation K622
Faculty of Transportation Sciences, CTU in Prague
Number of pages: 67
Number of appendices: 5
Language: Czech

Abstract:

This Bachelor Thesis „Road Adhesion Coefficient and its Estimation” discusses theory of skid resistance roadway and its measuring, comprehension of basic physical principles, factors affecting adhesion of road vehicles and basic measuring techniques for estimation of road adhesive coefficient at different surfaces

Keywords: adhesion, skid resistance of road, measuring adhesion, accident statistics

Obsah

1	Úvod	10
2	Rozdělení adheze	11
	2.1 Mechanická adheze	11
	2.2 Chemická adheze	11
	2.3 Disperzní adheze	11
	2.4 Elektrostatická adheze	12
	2.5 Difuzní adheze	12
3	Tření	13
	3.1 Tření statické	13
	3.2 Tření smykové	15
	3.3 Tření valivé	15
	3.4 Základní zákonitosti adheze	16
	3.5 Součinitel adheze pneumatiky	17
	3.6 Adhezní elipsa	19
	3.7 Směrová úchylna a vznik kolmé síly	20
4	Adheze za různých stavů vozovky a pneumatik	22
	4.1 Vliv rychlosti	22
	4.2 Vliv skluzu kola	24
	4.3 Vliv množství vody	24
	4.3.1 Aquaplaning	25
	4.4 Vliv makro- a mikrotextury povrchu vozovky	26
	4.5 Vliv teploty	28
	4.6 Vliv ročního období	29
	4.7 Vliv dezénu pneumatiky	29
	4.8 Vliv složení pryže běhounu pneumatiky	30
	4.9 Vliv ojetí dezénu	30
	4.10 Vliv huštění pneumatik	31
	4.11 Vliv znečištění vozovky	31
	4.12 Vliv zatížení kola	32
	4.13 Vliv polohy jízdní stopy na vozovce	33
	4.14 Vliv stáří vozovky	33
5	Platné normy ČSN	34
	5.1 ČSN 73 6177 – Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek	37

5.1.1	Základní definice.....	38
5.2	ČSN EN 13036-1 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovek odměrnou metodou.....	39
5.3	ČSN EN 13036-3 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovek.....	40
5.3.1	Základní definice.....	40
5.4	ČSN EN 13036-4 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem ...	40
5.4.1	Základní definice.....	41
5.5	ČSN EN ISO 13473-1 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 1: Určování průměrné hloubky profilu.....	41
5.5.1	Základní definice.....	41
5.6	ČSN EN ISO 13473-2 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 2: Terminologie a základní požadavky vztahující se k analýze profilu textury vozovky	42
5.7	ČSN EN ISO 13473-3 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 3: Specifikace a klasifikace profilometrů.....	42
6	Metody měření	43
6.1	Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem	43
6.2	Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou	45
6.3	Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky	47
6.4	Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výškoměrem.....	49
6.5	Zjišťování součinitele podélného tření dynamickým měřicím zařízením.....	51
6.6	Zjišťování součinitele bočního tření dynamickým měřicím zařízením...	53
7	Národní referenční zařízení	54
8	Systémy a úpravy povrchu zlepšující adhezní podmínky.....	55
8.1	<i>Systém ABS</i>	55
8.2	Bezpečnostní protismykové úpravy (BPÚ)	57
9	Statistika nehodovosti	60
10	Závěr.....	62
11	Seznam použité literatury	63
12	Seznam obrázků a tabulek.....	65
13	Seznam příloh.....	67

Seznam použitých zkratk

např. – například

apod. – a podobně

tzv. – tak zvaně

PTV – Pendulum Test Value

ETD – odhadnutá hloubka textury

MPD – střední hloubka profilu (Mean Profile Depth)

OT_p – výsledná hodnota času vytékání

ABS – Anti-lock Brake System

EDS – elektronický uzávěr diferenciálu

MSR – regulace brzdného momentu motoru

ASR – systém regulace prokluzu kol

EBD – elektronický rozdělovač brzdné síly

ESP – elektronický stabilizační program

BPÚ – bezpečnostní protismykové úpravy

ČSN – česká státní norma

TP – technické podmínky

CEN – Evropský výbor pro normalizaci

TRT – Tatra Runway Tester

ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic

ČR – Česká republika

Seznam použitých veličin a jejich zkratk

<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Veličina</u>
α	[°]	Úhel sklonu
α_0	[°]	Úhel tření
R	[N]	Reakce podložky
F_n	[N]	Kolmá složka tíhy
G	[N]	Tíha
N	[N]	Kolmá reakce podložky (normálová síla)
T	[N]	Tečná složka reakce roviny (tečná síla)
F_t	[N]	Tečná složka tíhy
f_0	[-]	Součinitel smykového tření ve statické poloze
f	[-]	Součinitel smykového tření

Adheze pneumatik a její měření

e	[m]	Posunutí
r	[m]	Poloměr
F	[N]	Tažná síla
f_v	[-]	Součinitel valivého tření
μ	[-]	Součinitel adheze
S	[%]	Skluz
c	[m]	Hlavní poloosa elipsy
d	[m]	Vedlejší poloosa elipsy
μ_x	[-]	Adheze v podélném směru
μ_y	[-]	Adheze v příčném směru
δ	[°]	Směrová úchylka
F_K	[N]	Boční síla
v	[m/s]	Rychlost
f_p	[-]	Součinitel podélného tření
f_b	[-]	Součinitel bočního tření
p	[Pa]	Tlak
Z_K	[N]	Zatížení kola
v_{1-5}	[-]	Jednotlivé hodnoty každého kyvu
v_j	[-]	Konstantní hodnota dosažena po třech kyvech
V	[m ³]	Objem
D	[m]	Aritmetický průměr
f	[Hz]	Frekvence
λ	[m]	Vlnová délka
F_p'	[-]	Vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření
F_p	[-]	Nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření
t_{vm}	[°C]	Teplota povrchu mokré vozovky

1 Úvod

Když se vysloví pojem adheze, českým ekvivalentem přilnavost, vybaví se většině mužské populace právě přilnavost mezi vozovkou a kolem s pneumatikou. Ale není to pouze doprava, kde hraje adheze významnou roli. Pojem adheze můžeme najít i v jiných odvětví, třeba v lékařství, hydrobiologii, stavebnictví nebo právu. V lékařství pod pojmem adheze najdeme pooperační srůst dvou tkání. Adhezních principů využívá i stomatologie. A to u umělých zubních protéz, kdy protéza drží na horní čelisti díky přilnavosti. Dále pojem adheze najdeme v hydrobiologii. Zde úzce souvisí s kohezí, českým ekvivalentem soudržnost. Tyto dva pojmy výrazně ovlivňují život vodních organismů. Jestliže je koheze větší než přilnavost, jde o povrch nesmáčivý (hydrofobní). Je-li naopak adheze větší než koheze, jedná se o povrch smáčivý (hydrofilní). Ve stavebnictví se pod pojmem adheze dopátráme k chování zemin a jejich přilnavosti k pilotám. Obecně má zemina větší přilnavost k pilotám dřevěným než ocelovým. V právu se potkáme s pojmy adhezní řízení či adhezní smlouva. Fyzikálních adhezních principů se využívá též v lakování, lepení nebo tmelení. Za dopravu ještě zmiňme adhezi mezi dvojkolím železničního vozidla a hlavou kolejnice. Předmětem této práce je upozornit na problematiku nejčastěji se vyskytující adheze, a to té u dopravních prostředků, způsobenou přilnavostí mezi kolem s pneumatikou a povrchem vozovky. Práce seznámí se základní fyzikální principy, faktory ovlivňující přilnavost vozidel a způsoby zjišťování součinitele adheze.

Kvalita přilnavosti je závislá na protismykových vlastnostech vozovky a zajišťuje bezpečnost silničního provozu. Svou roli protismykové vlastnosti hrají hlavně při změně směru jízdy či brzdění vozidla. Při těchto dějích je na povrch vozovky přenášeno přes styk s pneumatikou vodorovné zatížení. Všichni asi tuší, že největší přilnavost bude na dokonale suché vozovce, kde se součinitel adheze pohybuje v rozmezí 0,6 – 1. Tyto hodnoty však můžeme razantně navýšit, použijeme-li pneumatiku bez vzorku a zahřátou na provozní teplotu. Tak můžeme získat hodnotu součinitele adheze výrazně vyšší až 2,5. Toho se využívá především u motoristických sportů, zejména pak ve Formuli 1 nebo Moto GP.

2 Rozdělení adheze

Adheze souvisí s molekulovou strukturou. Při tom se ale dále uplatňují fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly. Mechanizmy adheze můžeme rozdělit na pět základních druhů, a to na adhezi mechanickou, chemickou, disperzní, elektrostatickou a difuzní.

2.1 Mechanická adheze

Adhezivní materiály vyplní dutiny nebo póry povrchů a drží je pospolu vzájemným blokováním. Blokovací jevy jsou pozorovány na délkách různých rozsahů. Příkladem mechanické adheze je například šití, suchý zip nebo textilní lepidla.

2.2 Chemická adheze

K chemické vazbě dochází, když při spojení povrchové atomy dvou různých povrchů tvoří iontovou, kovalentní nebo vodíkovou vazbu. Nejsilnější spojení vznikají v místech, kde atomy dvou materiálů sdílejí své elektrony (iontová nebo kovalentní vazba). Slabší vazby vznikají, pokud atom vodíku v jedné molekule je přitahován k atomu dusíku nebo kyslíku v jiné molekule. Tento jev se nazývá vodíková vazba. Technické zásady při chemické adhezi jsou poměrně jednoduché. Pokud povrchové molekuly mohou tvořit vazby, pak povrchy budou spojovány prostřednictvím sítě z těchto vazeb. To znamená, že iontové a kovalentní síly jsou účinné pouze na malé vzdálenosti (méně než nanometr). Obecně platí, povrchy s potencíonálem vytvořit chemickou vazbu je třeba uvést velmi blízko sebe, což ovšem způsobí, že tyto vazby jsou dosti křehké.

2.3 Disperzní adheze

V disperzní adhezi, která je také jinak označovaná jako absorpční adheze, jsou dva materiály drženy pohromadě pomocí van der Waalovy síly. Jedná se o podobnou analogii jevu smáčení a absorpce. Tato síla zajišťuje přitažlivost mezi dvěma molekulami, z nichž každá má mírně záporný nebo kladný náboj. Van der Waalovy síly postačují, je-li kontakt dostatečný, k dobré pevnosti spojení díky svému velkému počtu. Menší pevnost spojení je spojena se smáčením povrchu, které proto musí být co nejdokonalejší.

2.4 Elektrostatická adheze

Tento druh adheze předpokládá pro spojení vytvoření dvojité vrstvy vzniklou při dotyku dvou rozdílných vodivých materiálů jako základ pro vznik adheze. To má za následek obdobnou strukturu jakou má kondenzátor a vytváří se zde aktivní elektrostatické síly mezi materiály. Jakmile materiály od sebe oddělíme, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise.

2.5 Difuzní adheze

Difuzní adheze vzniká vzájemnou difuzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (např. polymery) mohou navzájem difundovat. Průběh difuze je závislý na především na čase, teplotě, viskozitě a relativní molekulové hmotnosti polymerů.

3 Tření

Tření a adheze jsou pojmy, které jsou vůči sobě nevyhraněné a jejichž zákonitosti se prolínají v poměrech přenosů sil ve stykové ploše povrchu vozovky s elementy pryže běhounu pneumatiky. Jedno z možných rozdělení těchto pojmů může být [4]:

- pojem tření pro poměry při smýkání
- pojem adheze pro poměry bez posunu anebo s nepatrnými posuny ve stykové ploše při odvalování kola

Třením nazýváme jev, který vzniká při posouvání nebo valení tělesa po podložce. Na styčné ploše mezi tělesem a podložkou vzniká síla, která působí proti směru pohybu. Tuto sílu označujeme jako sílu tření. Na první pohled se tření jeví jako jev nežádoucí, který snižuje efektivnost strojů. Na stranu druhou si ale nedokážeme život bez tření představit. Chůzi, jízdu vozidel a mnoho dalších věcí můžeme uskutečnit především díky tření.

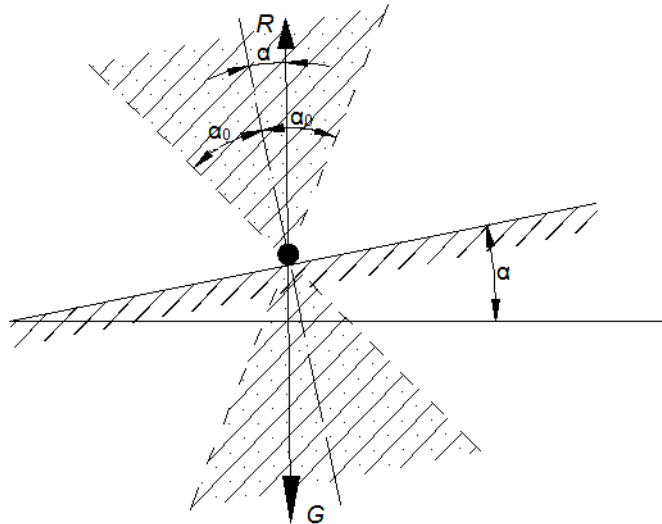
Základní rozdělení tření je na tření vnitřní a vnější. Zde se budu zabývat pouze třením vnějším, které je dále možno rozdělit na tření statické, smykové a valivé. K vnitřnímu tření dochází mezi částicemi uvnitř jednoho tělesa.

Síly tření nejsou závislé na souřadnicích relativního rozmístění sil na rozdíl od elastických nebo gravitačních sil. Síly tření mohou záviset na rychlostech relativního pohybu stýkajících se těles. Práce sil smykového tření je závislá na tvaru trajektorie relativního přemístění stýkajících se ploch těles. Síly tření jsou nepotenciálními silami.

3.1 Tření statické

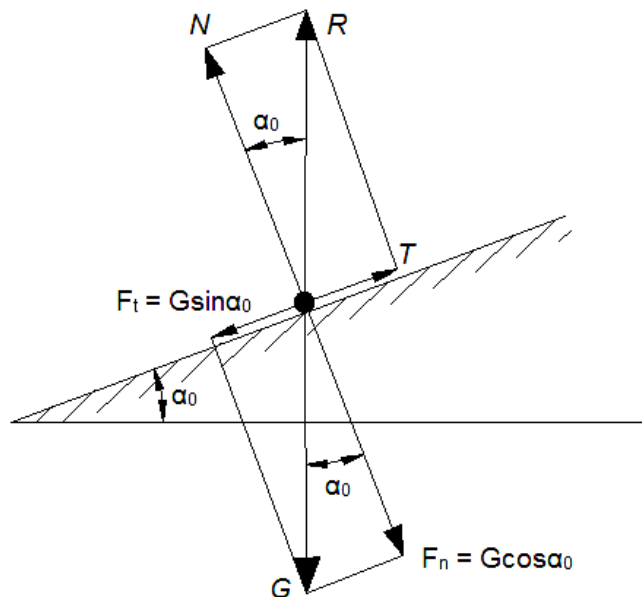
Dáme-li na nakloněnou rovinu těleso malých rozměrů, zpozorujeme, že těleso zůstane na nakloněné rovině v klidu. Tento jev nastane, je-li úhel sklonu α menší než jistá mezní hodnota α_0 . Úhel α_0 závisí na drsnosti povrchů obou těles a je tím větší, čím drsnější povrchy těles jsou. Takto je definován, úhel tření v klidu a podmínka lpění ($\alpha \leq \alpha_0$) znázorněná na obr. 1.

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 1 – Úhel tření [5]

Jestliže je rovina nakloněna právě o úhel α_0 , tedy těleso je stále v klidu, vyrušují se síly tíha tělesa G s reakcí podložky R . Nastane-li to tak, vyruší se i síly kolmé k nakloněné rovině (kolmá složka tíhy F_n a kolmá reakce podložky N) - ukázáno na obr.2. Tento úkaz nachází uplatnění u stání vozidla na svahu.



Obr. 2 – Rovnováha na nakloněné rovině [5]

Úhel tření α_0 je stále jeden a ten samý pro dva dané povrchy, takže síla tření je přímo úměrná tlakové síle, jíž těleso působí na druhé. To je znění tzv. Amonton – Coulombova zákona smykového tření [3].

$$T = f_0 N \quad (1)$$

Součinitel smykového tření ve statické poloze f_0 je závislý podobně jako úhel tření α_0 na drsnosti povrchů styčných ploch a vlastnostech stýkajících se látek.

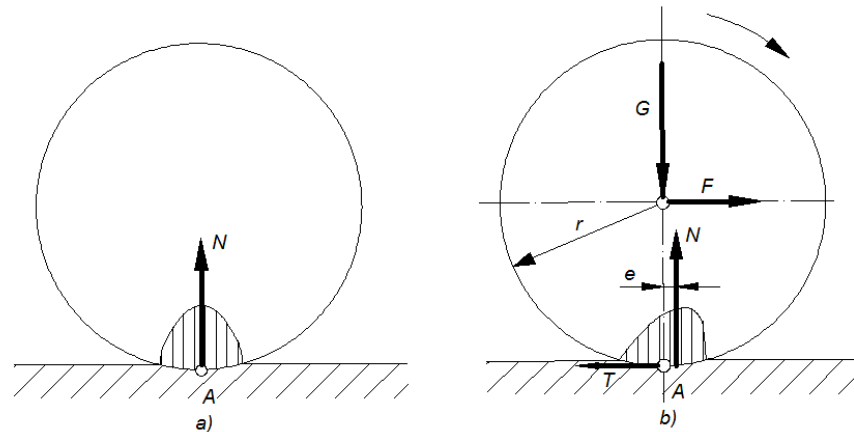
3.2 Tření smykové

Zvětšíme-li lehce úhel nakloněné roviny na obr. 2 nad mezní hodnotu úhlu tření za klidu (statické tření) α_0 , těleso na nakloněné rovině se začne pohybovat. Očekávali bychom, že se těleso bude pohybovat pomalu rovnoměrným pohybem dolů po nakloněné rovině. Místo toho se ale pohybuje pohybem zrychleným. Vysvětlit to můžeme tím, že když se těleso uvede do pohybu, součinitel tření se zmenší a v průběhu pohybu zůstává na této hodnotě. Tento součinitel smykového tření f se nazývá součinitel smykového tření za pohybu a je menší než součinitel smykového tření v statické poloze ($f \leq f_0$).

Při jízdě automobilu se toto tření uplatní, když se vozidlo dostane do smyku. Smyk je způsoben tak, že se prokluz pneumatiky změní na skluz tím, jak se posouvají elementy pneumatiky proti elementům vozovky na stykové ploše.

3.3 Tření valivé

Pokud se valí těleso kruhového tvaru po tělese jiném, na které je pohybující se těleso přitlačeno určitou silou, působí proti pohybu valivé tření. Toto valivé tření vznikne v důsledku toho, že se v místě styku podložka a valící se těleso deformují. Dotyk těles nastane na velmi malé ploše určité velikosti, nikoli v bodě nebo přímce. Jestliže jsou tělesa proti sobě v klidu, je rozložení měrných tlaků na dotyku takové, jako je zobrazeno na obr. 3a., tedy výslednice N prochází ideálním bodem dotyku. Začne-li se ale těleso vlivem tažné a třecí síly valit, jsou měrné tlaky rozloženy nesouměrně a to takový způsobem, že větší tlaky jsou na straně náběžné, jak je znázorněno na obr. 3b.



Obr. 3 – Vznik valivého tření [5]

Výsledkem je, že výslednice N měrných tlaků nepůsobí přímo v místě ideálního dotyku, ale je vůči němu posunuta o vzdálenost e ve směru pohybu. Z podmínek rovnováhy pak vyplývá vztah:

$$e = \frac{F}{N} r = \frac{F}{G} r \quad (2)$$

Má-li zůstat těleso v klidu a nenastat valení, musí být posunutí e vždy menší nebo alespoň rovno mezní vzdálenosti, již nazýváme součinitel valivého tření f_v ($e \leq f_v$).

Tento jev je možno spatřit u pohybujícího se automobilu, kdy na dotykové ploše vozovky a pneumatiky jsou si složky akce a reakce rovny a kdy nedochází k měřitelným skluzům elementů povrchu vozovky vůči elementům pneumatiky, nýbrž pouze k prokluzům.

3.4 Základní zákonitosti adheze

Takto jak je odvozen Amonton – Coulombův zákon pro smykové tření, a platí pro suché tření mezi tuhými materiály. Zde se ale vyskytuje problém. Účinnost Amonton – Coulombova u tření pryže je nedokonalá, protože tření mezi povrchem vozovky a pneumatikou je závislé na styčné ploše, na přítláčné síle a rychlosti skluzu.

Adheze pneumatik a její měření

Tab. 1 – Porovnání tření tuhých těles a pryže [2]

<u>Tuhá tělesa</u>	<u>Pryž</u>
<i>Amonton – Coulombův zákon platí</i>	<i>Amonton – Coulombův zákon neplatí</i>
Tření je nezávislé na tvaru a na velikosti styčné plochy. (Jde o plochu zjevnou – skutečná plocha je z důsledku tvrdosti značně menší.)	Skutečná styčná plocha je u pružných těles relativně velká, při velké normálové síle se shoduje se zjevnou styčnou plochou.
Třecí tangenciální síla je úměrná přitlačné normálové síle; jejich poměr je konstantní (nezávislé na rychlosti skluzu) a označuje se jako součinitel tření.	Poměr tangenciální třecí síly a přitlačné normálové síly není konstantní.
Tangenciální třecí síla právě potřebná k vyvolání skluzu je o málo větší než síla potřebná k udržení skluzu. Tato síla je pak v širším rozmezí rychlostí skluzu téměř nezávislá na rychlosti. Přejed z klidu do pohybu je náhlý. Existuje jasně určená mez přilnavosti.	Přejed z klidu do pohybu je postupný. Mez přilnavosti je nevýrazná.

3.5 Součinitel adheze pneumatiky

Hodnota součinitele tření pneumatiky se zpravidla pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,9. Ve výjimečných případech může hodnota součinitele tření větší než jedna. Příkladem mohou být pneumatiky pro závodní vozy jako formule 1 či monster trucky. Tyto pneumatiky jsou vyráběny ze super měkké pryže s hladkou běhounovou plochou (bez dezénu – tzv. „sleek“). Jsou-li pneumatiky dobře zahřáté a vozovka je dokonale suchá a hladká, hodnota součinitele adheze značně vzrůstá (až $\mu = 2,5$). Jedná se tedy až o lepidlo pneumatik.

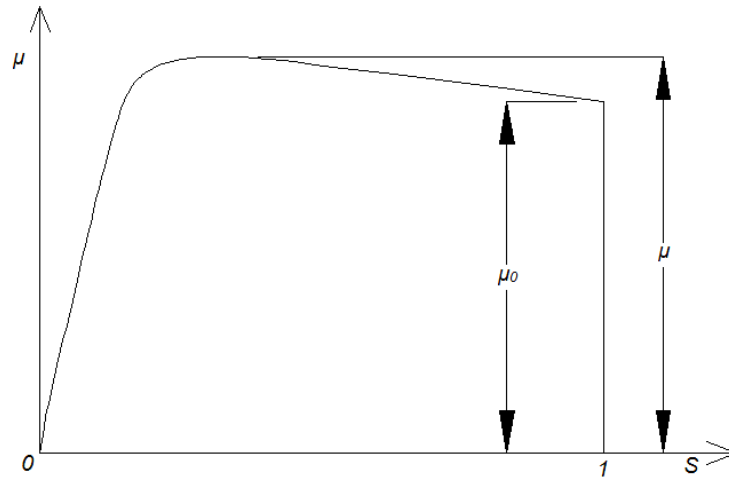
Adheze pneumatik a její měření

Tab. 2 – Součinitel adheze na různém povrchu [7]

<u>Povrch vozovky</u>		<u>Součinitel adheze μ</u>
beton	suchý	0,8 - 1,0
	mokrý	0,5 - 0,8
asfalt	suchý	0,6 - 0,9
	mokrý	0,3 - 0,8
dlažba	suchá	0,6 - 0,9
	mokrá	0,3 - 0,5
makadam	suchý	0,6 - 0,8
	mokrý	0,3 - 0,5
polní cesta	suchá	0,4 - 0,6
	mokrá	0,3 - 0,4
tráva	suchá	0,4 - 0,6
	mokrá	0,2 - 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 - 0,4
náledí	0°C	0,05 - 0,10
	-10°C	0,08 - 0,15
	-20°C	0,15 - 0,20

Znázorníme-li graficky součinitel tečného tření a vzniklý skluz, získáme tak skluzovou charakteristiku pneumatiky (Obr. 4.). Nejvyšší hodnoty součinitele adheze dosahujeme zpravidla za skluzu 15 – 30 %.

Adheze pneumatik a její měření



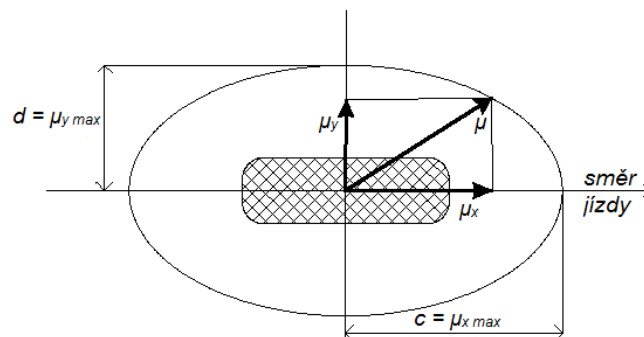
Obr. 4 – Skluzová charakteristika pneumatiky [8]

Velikost součinitele adheze μ ovlivňují především tyto vlivy:

- vlastnosti povrchu pneumatik
- vlastnosti povrchu vozovky
- poměry ve stopě kola
- rychlost jízdy

3.6 Adhezní elipsa

Adhezní síla je na styku pneumatiky a vozovky využita na brzdění a rozjezd ve směru podélném a na boční vedení ve směru kolmém. Jedná se však o jedinou sílu a rozdělení její složek na podélnou X a příčnou Y lze zobrazit adhezní elipsou, jinak také Kammova kružnice. Adhezní elipsa určuje součtovou adhezi, kterou lze maximálně využít v požadovaném směru.

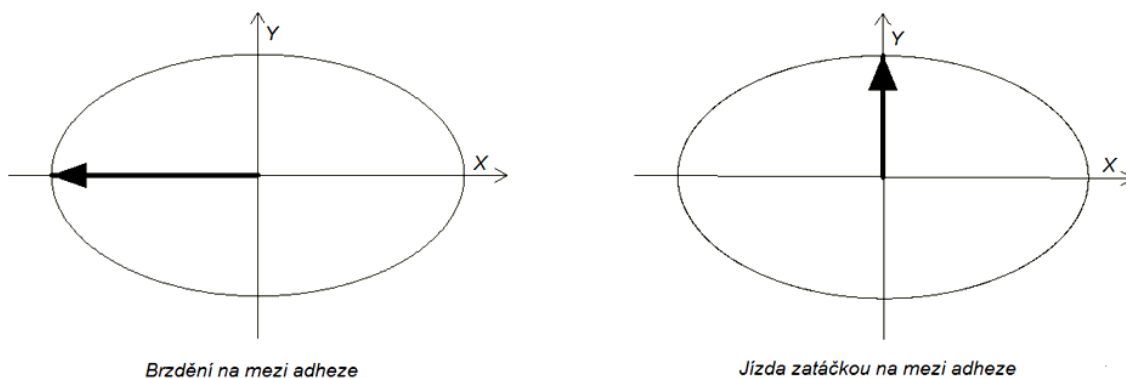


Obr. 5 – Adhezní elipsa [7]

Vektorový součet využití adheze ve směru příčném a podélném udává využití adheze na styku vozovky s kolem. Výsledný součet nemusí dosahovat mezní hodnoty součinitele adheze μ , nesmí ji ale překročit. Maximální využití adheze při brzdění v zatáčce:

$$\mu_x = \frac{c}{d} \sqrt{d^2 - \mu_y^2} \quad (3)$$

Jestliže využijeme všechnu využitou adhezi na zpomalování vozidla, pak ve vektorovém součtu na vedení kola v příčném směru nám nezůstane nic. Chybí nám zde tedy boční síla potřebná pro zatáčení (brzdění na mezi adheze). Jedeme-li však v oblouku mezní rychlostí, všechna využitá adheze využita k překonání odstředivé síly vyvoláním síly dostředivé, a tak nám nezůstane nic na brzdění. Zabrzdíme-li, vozidlo projede zatáčku větším poloměrem (jízda zatáčkou na mezi adheze). Tyto mezní situace jsou znázorněny Obr. 6 a, b.

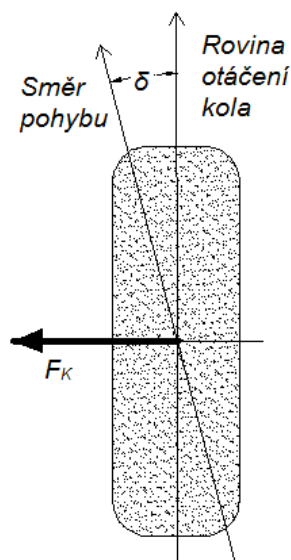


Obr. 6 a, b – Mezní situace v adhezni elipse [7]

3.7 Směrová úchylka a vznik kolmé síly

Jestliže se pružné kolo odvaluje, dojde ke vzniku síly, kterou způsobí již velmi malá směrová úchylka δ podélné roviny otáčení kola od směru pohybu. Tato síla působí ve styku kola s vozovkou a je k rovině kola kolmá.

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 7 – Směrová úchylka kola a vznik boční síly [7]

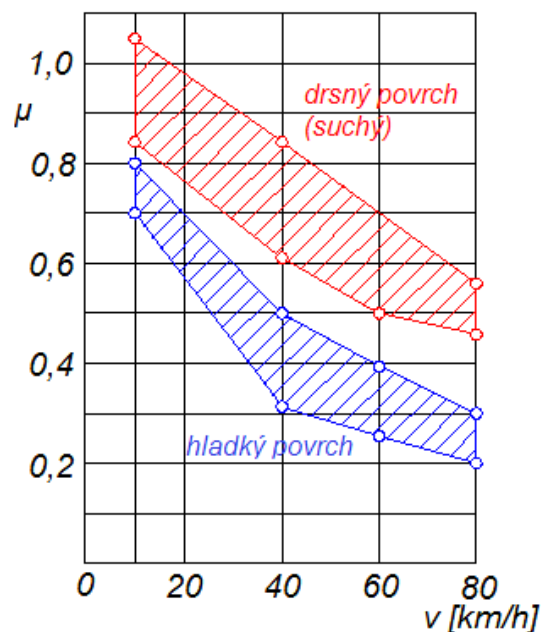
Z průběhu boční síly závislé na velikosti úchylky vyplývá, že při směrové úchylce cca do $\delta = 14^\circ$ diagonální pneumatiky je závislost lineární. Po dosažení této úchylky se přeměňuje odvalování kola v boční smyk kola. Radiální pneumatiky mají maximum směrové úchylky dříve.

Boční síly, které jsou zapříčiněné směrovou úchylkou kol, jsou silami vnějšími a vyvolávají zatáčení vozidla.

4 Adheze za různých stavů vozovky a pneumatik

4.1 Vliv rychlosti

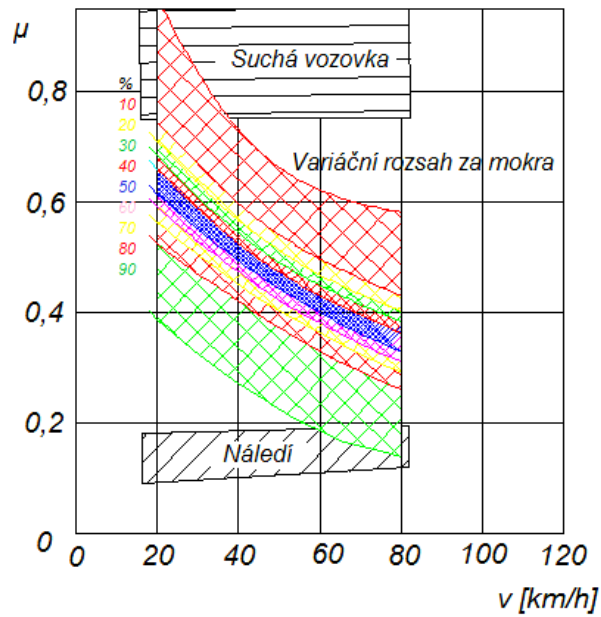
Vzájemné působení na styku pneumatiky a vozovky je ovlivněno rychlostí jízdy a tím i součinitel adheze. Hodnota součinitel adheze klesá, jestliže se zvětšuje rychlost jízdy. S tím se musí počítat hlavně u brzdění. Za rychlosti 80 km/h je pokles adheze okolo 50% oproti hodnotě při rychlosti nízké (obr. 8).



Obr. 8 – Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy [8]

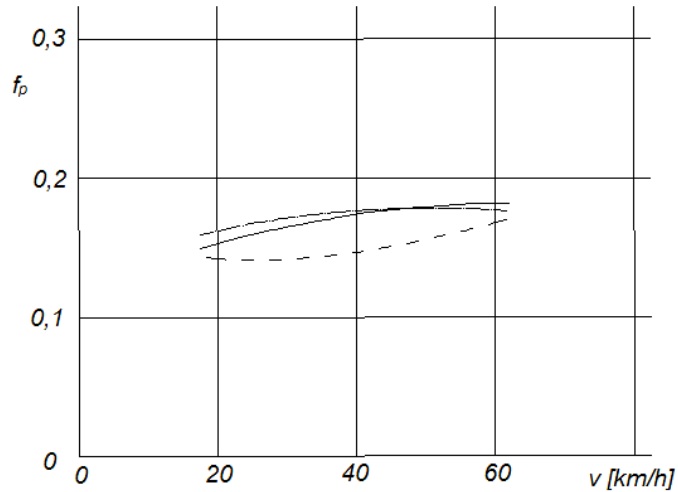
Na suchém povrchu vozovky je součinitel adheze nezávislý na absolutní rychlosti jízdy. Ovlivňuje ho míra skluzu po povrchu vozovky. Hodnota součinitele adheze u vozovky pokryté tajícím sněhem nebo mokré značně klesá při zvyšující se rychlosti jízdy z různých počátečních hodnot a libovolně strmě na různých površích vozovky. [4]

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 9 – Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek [4]

Povrch, kde hodnota součinitele adheze stoupá v závislosti na zvyšující se rychlosti, je led se suchým povrchem nebo ujetý sníh. Hodnoty však stoupají velmi nepatrně.

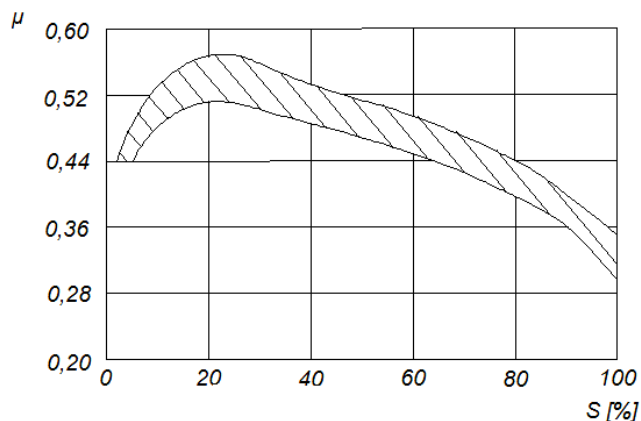


Obr. 10 – Adheze na ledě se suchým povrchem (při teplotě -3°C) [4]

4.2 Vliv skluzu kola

Pokud je dopředná rychlost větší než rychlost obvodová brzděného kola, pak můžeme hovořit o skluzu kola. Prokluz může nastat v případě rychlé akcelerace, kdy je naopak dopředná rychlost menší než rychlost obvodová.

Míra skluzu, stejně jako vliv rychlosti jízdy, se kterou se kombinuje, ovlivňuje vzájemné působení mezi vozovkou a pneumatikou, a tím opět přímo hodnotu součinitele adheze. Největší adhezní možnosti v podélném směru má pneumatika, jež se po povrchu vozovky odvaluje se skluzem 15 – 30 %, což znázorňuje skluzová charakteristika.



Obr. 11 – Vliv brzděného skluzu na součinitel adheze [9]

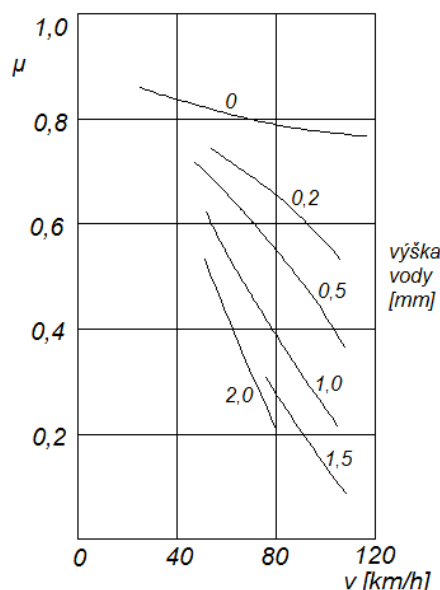
4.3 Vliv množství vody

Množství vody na vozovce ovlivňuje interakci pneumatiky s vozovkou, a tím přímo i hodnotu součinitele adheze.[4]

Využívají se zde pojmy výpočtová a vztažná tloušťka vodního filmu. Výpočtová tloušťka je určena podílem objemu vody a příslušné plochy vozovky. Se skutečnou tloušťkou vodního filmu je shodná pouze na bezvadně hladké ploše, tedy bez textury. Převýšení hladiny nad výstupky textury je udáno vztažnou tloušťkou.

Pokud povrch vozovky není zaplaven, tak do rychlostí 50 km/h velikost vodní vrstvy pod pneumatikou nehraje žádnou roli. Teprve až od rychlosti 50 km/h má tloušťka vodního filmu vliv na hodnotu součinitele adheze. Zvyšuje-li se rychlost, dostává se mezi povrch vozovky a pryž běhounu vodní klín a postupně se zmenšuje

styková plocha, až vnikne pod pneumatikou souvislá vrstva vody. To má za následek prudký pokles součinitele adheze na hodnoty 0,01 – 0,001. Tento jev nazýváme aquaplaning.



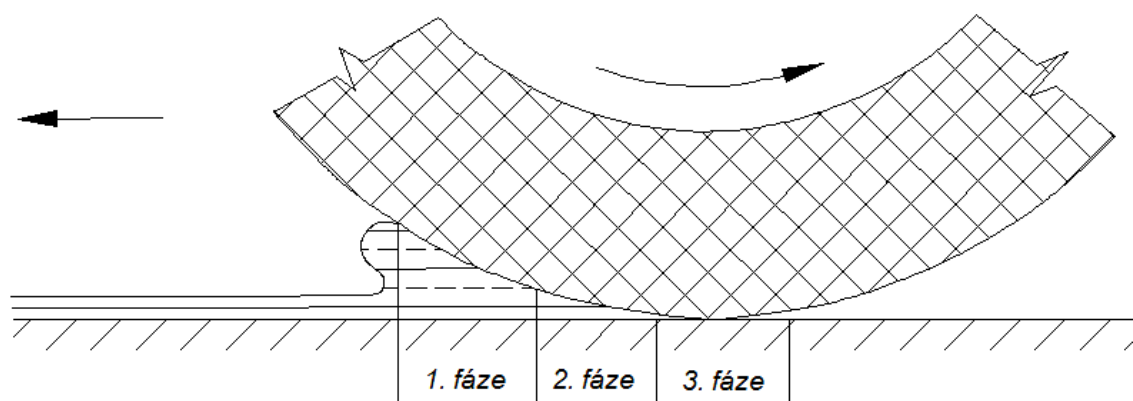
Obr. 12 – Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu [9]

4.3.1 Aquaplaning

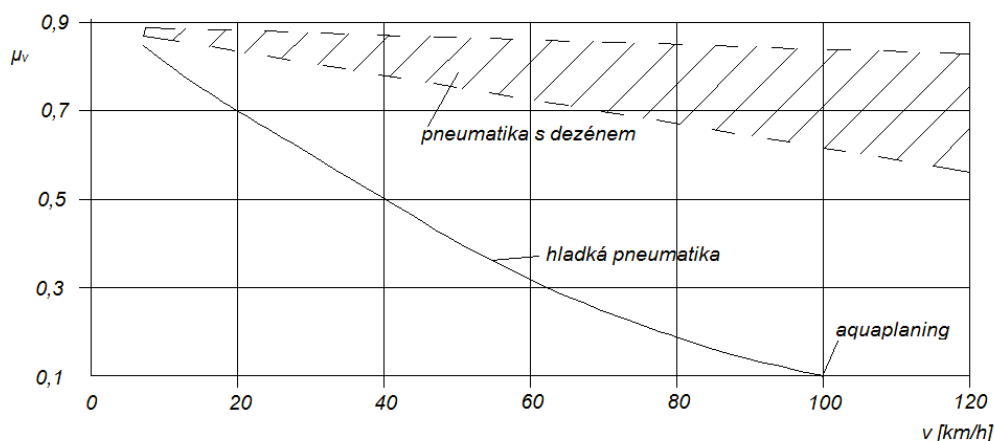
Tento stav nastane, pokud pneumatika ztratí úplný kontakt s vozovkou vlivem vytvoření souvislé vodní vrstvy, což vede k tomu, že se vozidlo stává neovladatelným. Tloušťka vodního filmu na vozovce je závislá na intenzitě deště. Voda ovšem z vozovky odtéká ve směru výsledného sklonu, a proto riziko vzniku aquaplaningu je největší v okolí levotočivých zatáček, kde při směrově rozdělených komunikacích mohou vznikat kaluže, které jsou jen těžko rozpoznatelné. [4]

Tab. 3 – Závislost kritických rychlostí pro vznik aquaplaningu na tloušťce vodního filmu a velikosti deště [4]

Tloušťka vodního filmu	Hloubka deště	
	<u>1,6 mm</u>	<u>8,0 mm</u>
do 2 mm	cca 120 km/h	> 140 km/h
4 - 6 mm	90 km/h	110 km/h
6 - 8 mm	80 km/h	90 km/h
10 - 14 mm	60 km/h	70 km/h



Obr. 13 – Vznik aquaplaningu: 1. fáze – nepřenesený vodní film; 2. fáze – částečně přenesený vodní film; 3. fáze - kontakt [9]



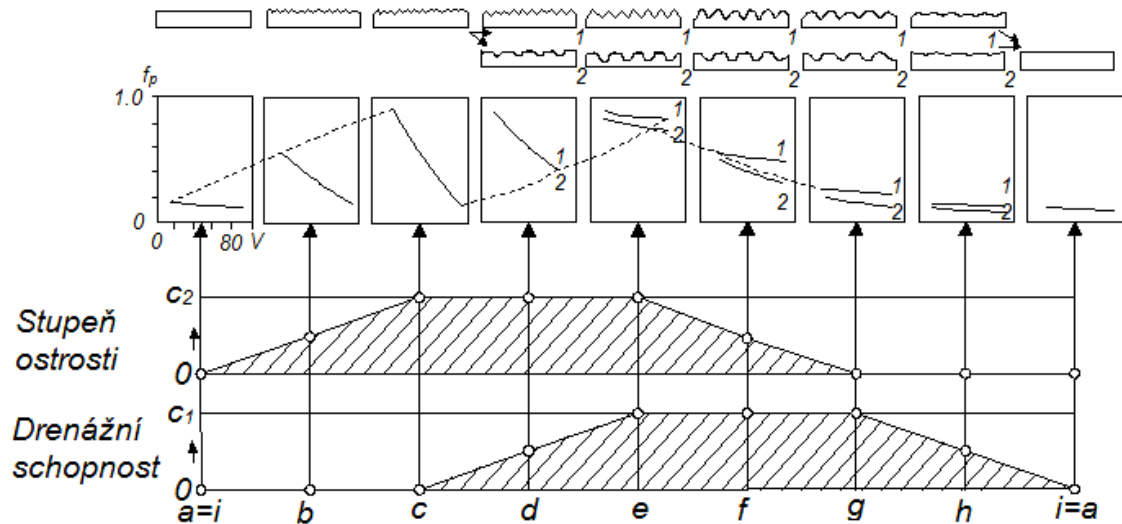
Obr. 14 – Vliv profilu pneumatiky na vznik aquaplaningu [9]

4.4 Vliv makro- a mikrotextury povrchu vozovky

Textura povrchu vozovky je morfologické uspořádání částic materiálu vytvářející povrch vozovky [4].

Vliv na adhezi má textura povrchu především za mokra. Mikrotextura určuje při malé rychlosti velikost hodnot součinitele adheze, kdežto makrotextura má za následek velikost poklesu součinitele adheze při zvyšující se rychlosti. To způsobí, že povrch vozovky bez mikrotextury je kluzký za mokra, i kdyby měl výraznou makrotexturu. [4]

Adheze pneumatik a její měření



- 1 drenážní systém mezi zrnny
- 2 vtlačený (vybroušený) drenážní systém
- C_1 největší možná ostrost
- C_2 neúčinnější drenážní systém

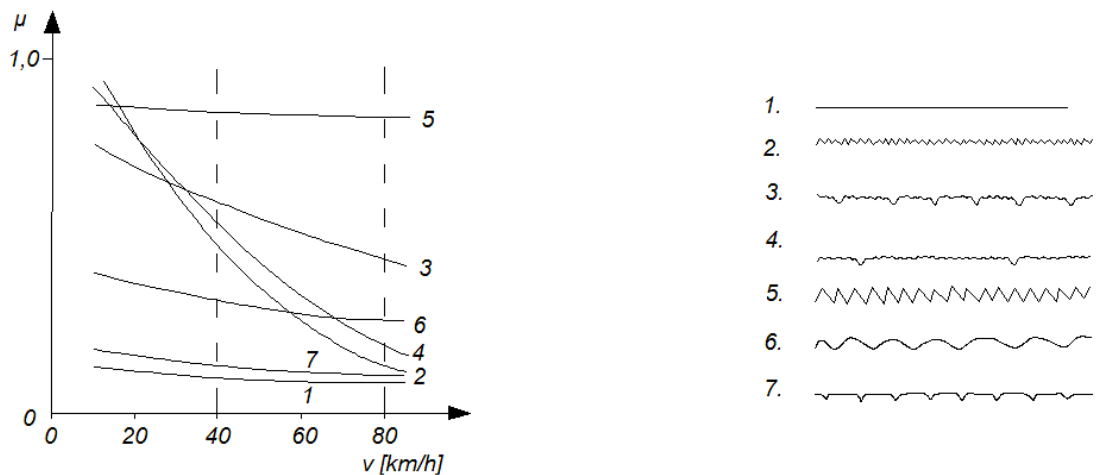
Obr. 15 – Vliv textury na součinitel adheze za mokra [2]

Z grafu lze vyčíst tyto zákonitosti [2]:

- Stupeň ostrosti textury (mikrotextura) a v mnoha případech i drenážní schopnost povrchu (makrotextura) určuje strmost čáry závislosti součinitele tření na rychlosti jízdy.
- Při nízké rychlosti je stupeň ostrosti textury určující pro hodnotu součinitele tření. Toto probíhá nezávisle na drenážní schopnosti povrchu vozovky. O odvádění vody ze stykové plochy se stará pneumatika.
- Při vyšších rychlostech je hodnota součinitele tření určena drenážní schopností povrchu vozovky. Závisí to ale i se stupněm ostrosti textury. Součinitel tření při nízkých rychlostech za mokra je vždy větší než součinitel tření při rychlostech vyšších. Není to ovlivněno ani tím, kdyby byla drenážní schopnost povrchu vozovky největší.
- Je-li drenážní schopnost povrchu vozovky konstantní, pak sklon čáry je závislý pouze na stupni ostrosti textury. Jestliže se stupeň ostrosti textury zvyšuje, roste sklon čáry (přechod z typu a na c).

Adheze pneumatik a její měření

- Je-li stupeň ostroty textury konstantní, pak sklon čáry je závislý pouze na drenážní schopnosti povrchu vozovky. Jestliže se drenážní schopnost povrchu vozovky zvyšuje, klesá sklon čáry (přechod z typu c na e).
- Je-li drenážní schopnost povrchu vozovky velmi vysoká, zůstává čára skoro vodorovná. Výška čáry v grafu je určena stupněm ostroty textury (typ e, f, g).
- Je-li stupeň ostroty textury velmi nízký, zůstává čára skoro vodorovná při velmi nízkých hodnotách, a to nezávisle na drenážní schopnosti povrchu vozovky (typ g, h, i).



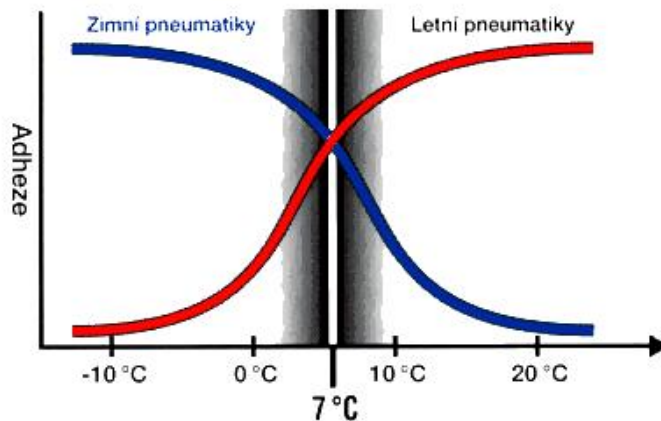
Obr. 16 – Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze [9]

4.5 Vliv teploty

Jestliže teplota vozovky stoupá v rozmezí 0 – 20°C, hodnota součinitele adheze za mokra nepatrně klesá. Zvyšuje-li se teplota vozovky i nadále, klesají hodnoty součinitele adheze zcela minimálně.

Výraznější vliv na součinitel adheze má teplota tuhnutí. Ten roste s teplotou padající pod bod tuhnutí. Máme-li led s mokrým povrchem, můžeme předpokládat hodnotu součinitele adheze 0,05 – 0,12.

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 17 – Adheze pneumatik v závislosti na teplotě [17]

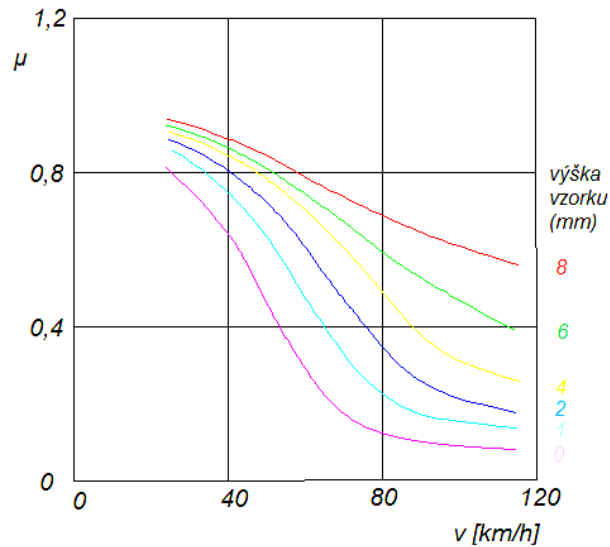
4.6 Vliv ročního období

I faktor ročního období působí na hodnoty součinitele adheze. Za mokra jsou nejkluzčí povrchy vozovek v létě. Je to zapříčiněno tím, že se povrch vozovky v suchém a teplém období obroušuje. Tyto obroušené částičky s vlivem provozu na vozovce zatlačují do měkčích povrchů. Když se ochladí, povrch vozovky lehce zkřehne a pak jsou vlivem vody tyto částičky z textury vymílané. Jak je vidět z tohoto cyklu, regenerace drsnosti povrchu vozovky probíhá v zimním období.

4.7 Vliv dezénu pneumatiky

Odlišné protismykové vlastnosti poskytují též různé dezény pneumatik. Největší vliv má hloubka a tvar vzorku. Výška vzorku běhounu ovlivňuje součinitel adheze, což se zejména projeví na mokřém povrchu vozovky. Nový vzorek běhounu má také lepší přilnavost na kluzké vozovce oproti vzorku ojetému.

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 18 – Závislost součinitele adheze na rychlosti a výšce vzorku [8]

Svou roli hraje také tvar vzorku (pásový lamelový, čistě pásový, šípový). Na silnici v obvodovém směru má pásový lamelový tvar vzorku vyšší součinitel adheze než zbývající dva tvary. Je to způsobeno tím, že zachytává více hranami vzorku o výčnělky povrchu vozovky. Naopak čistý pásový tvar vzorku přenáší lépe boční síly a využívá se u nepoháněných kol traktorů. Pokud chceme současně přenášet síly boční i hnací, tak je výhodné použít pneumatiku se šípovým vzorkem.

4.8 Vliv složení pryže běhounu pneumatiky

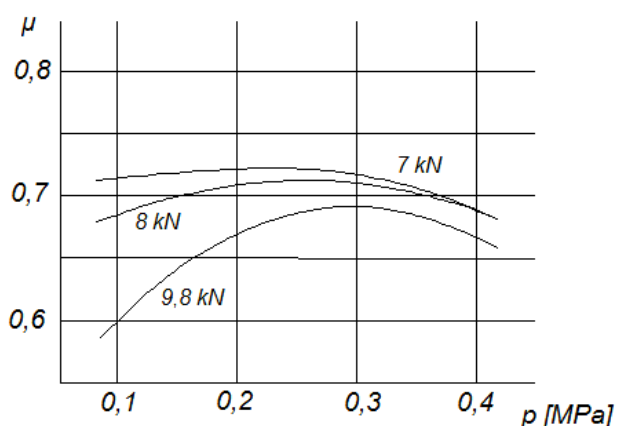
Pneumatiky, jež jsou vyrobené z měkčí pryže, mají lepší součinitel adheze za mokra i sucha. Platí se za to ale tím, že takovéto pneumatiky nemají dlouhou životnost. Typickým příkladem těchto pneumatik jsou pneumatiky používané ve formuli 1, kde jejich životnost se pohybuje v rámci několika kol.

4.9 Vliv ojetí dezénu

Na suchém povrchu vozovky mají ojeté pneumatiky dobrý součinitel adheze. To se ale radikálně mění, pokud se z vozovky suché stane vozovka mokrá. Na mokré vozovce je to tím patrnější, jestliže se hloubka vzorku pneumatiky klesne pod 1,6 mm. Nejhorší adhezi má pneumatika bez vzorku na mokré vozovce, kde může snadno dojít k aquaplaningu.

4.10 Vliv huštění pneumatik

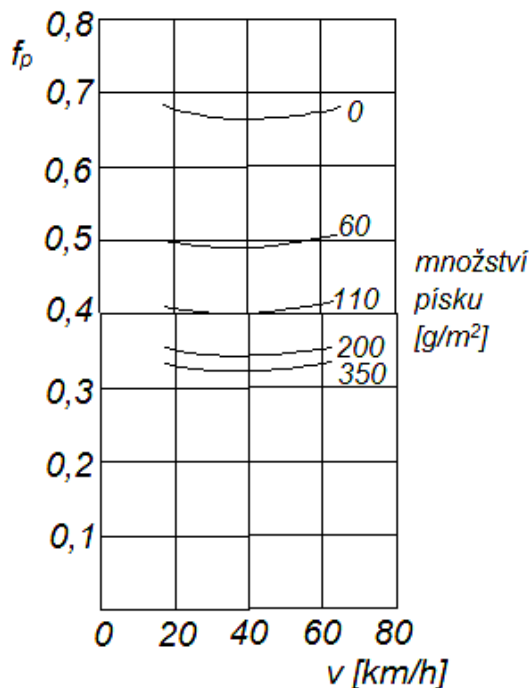
Snížíme-li nepatrně v pneumatice přetlak, zvětší se styková plocha s povrchem vozovky. Za sucha to může zapříčinit zvětšení využitelné adhezní síly. Mírné podhuštění pneumatik nezpůsobí prodloužení brzdné dráha. Jestliže jsou pneumatiky špatně nahuštěny, tak se styková plocha mezi povrchem vozovky a pneumatikou zmenšuje. Je-li pneumatika přehuštěna, zmenšuje se styková plocha směrem k centru. Naopak podhustí-li se pneumatika, vede to ke zmenšení směrem od centra, které je odlehčováno.



Obr. 19 – Závislost součinitele adheze na tlaku huštění (suchý beton) [8]

4.11 Vliv znečištění vozovky

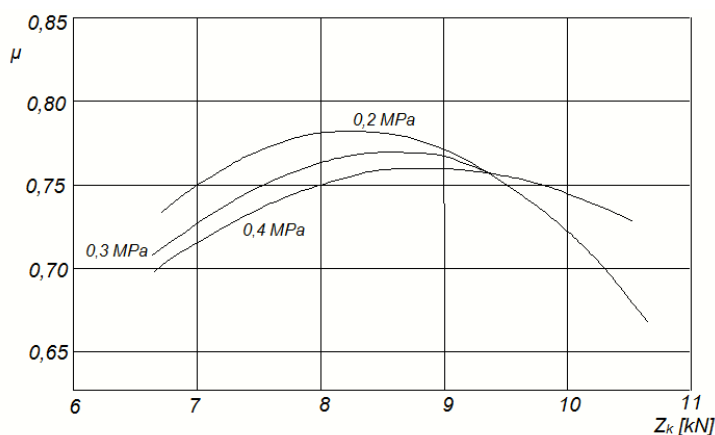
Vyskytnou-li se na vozovce nečistoty (písek, štěrk, hlína), změní se povrchu vozovky jeho protismyková vlastnost. Mohou vzniknout odlišné podmínky při styku vozovky s pneumatikou. Většina nečistot se projevuje na mokré vozovce, ale písek snižuje hodnotu součinitele adheze i za sucha.



Obr. 20 – Hodnoty součinitele adheze pod zablokovaným kolem při znečištění vozovky pískem [4]

4.12 Vliv zatížení kola

Součinitel adheze nepodléhá Amonton – Coulombovu zákonu, tudíž je nezávislý na přítláčné síle. Přesto působí zatížení kol na vzájemné působení pneumatiky a vozovky. Závislost součinitele adheze na přítláčné síle se kombinuje s mírou skluzu kola. Tento vliv na hodnoty součinitele adheze není nijak veliký a je zahrnut v rozpětí možných hodnot součinitele adheze.



Obr. 21 – Závislost součinitele adheze na zatížení kola (suchý beton) [8]

4.13 Vliv polohy jízdní stopy na vozovce

Na vozovkách, kde je dlouhodobě provoz o velké intenzitě, dochází tímto faktorem k ovlivnění součinitele adheze. Nejpatrnější rozdíl v protismykových vlastnostech povrchu vozovky je vidět na silnicích vícepruhových, kde jsou nejvíce pojížděny a ohlazeny krajní pruhy oproti ostatním. V jednotlivých jízdních pruzích jsou ohlazeny stopy, které přísluší rozchodu kol nákladních automobilů, protože pneumatiky na těchto vozidlech obrušují povrch vozovky podstatně více než pneumatiky u vozidel osobních.

4.14 Vliv stáří vozovky

Je-li vozovka nově udělána, tak se její drsnost po zahájení provozu zlepšuje. Je to způsobeno tím, že uválcovaný povrch mění svou charakteristickou texturu a také se obrušují povrchy zrn kameniva. Po dlouhodobějším provozu ovlivňují součinitel adheze pouze sezónní změny.

5 Platné normy ČSN

Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek je velmi důležité při přejímce nových úseků silnic nebo výměně povrchů při uvedení do provozu. Proto se touto problematikou zabývají české i evropské normy a také technické podmínky. V České republice zaštiťuje vydávání českých a přejímání (překládání) evropských norem Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dříve Český institut pro normalizaci). Schválené evropské normy CEN (Evropský výbor pro normalizaci) musejí dát členové CEN status národní normy. Česká republika je členem CEN.

Tab. 4 – Přehled platných českých technických norem

Číslo normy	Název normy	Datum vydání	Jazyk
ČSN 73 6177	Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek	Září 2009	Čeština
ČSN EN 13036-1	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou	Listopad 2010	Čeština
ČSN EN 13036-3	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky	Leden 2004	Čeština
ČSN EN 13036-4	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem	Duben 2012	Čeština
ČSN EN ISO 13473-1	Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu	Listopad 2004	Čeština
ČSN EN ISO 13473-2	Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 2: Terminologie a základní požadavky vztahující se k analýze profilu textury vozovky	Prosinec 2003	Čeština

Adheze pneumatik a její měření

ČSN EN ISO 13473-3	Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 3: Specifikace a klasifikace profilometrů	Září 2004	Čeština
--------------------------	--	--------------	---------

Tab. 5 – Přehled předběžných českých norem

Číslo normy	Název normy	Datum vydání	Jazyk
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 měřících zařízení	Říjen 2010	Čeština
ČSN P CEN/TS 15901-1	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 1: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení s podélným fixním poměrem skluzu (LFCS) – Zařízení RoadSTAR	Květen 2010	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-2	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 2: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení s podélným řízeným skluzem (LFCRNL) – Zařízení ROAR	Květen 2010	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-3	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 3: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení s podélným řízeným skluzem (LFCA) – Zařízení ADHERA	Květen 2010	Angličtina
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)	Listopad 2010	Čeština
ČSN P	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a	Květen	Angličtina

Adheze pneumatik a její měření

CEN/TS 15901-5	letištích ploch – Část 5: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení s podélným řízeným skluzem (LFCRDK) – Zařízení ROAR	2010	
ČSN P CEN/TS 15901-6	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 6: Postup pro stanovení protismykových vlastností povrchu vozovky měřením součinitel bočního tření (SFCS) : SCRIM	Listopad 2010	Čeština
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	Listopad 2010	Čeština
ČSN P CEN/TS 15901-8	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 8: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek měřením součinitele příčného tření (SFCD) – Zařízení SKM	Květen 2010	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-9	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 9: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek měřením součinitele podélného tření (LFCD) – Zařízení DWWNL	Květen 2010	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-10	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 10: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení pro měření podélného tření pomocí zablokovaného kola (LFCSK) – Zařízení Skiddometer BV-8	Květen 2010	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-11	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 11: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení pro měření podélného tření pomocí zablokovaného kola (LFCSR) – Zařízení SRM	Září 2011	Angličtina
ČSN P CEN/TS 15901-12	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 12: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek za použití zařízení	Září 2011	Angličtina

	s podélným řízeným skluzem – Zařízení BV11 a Saab friction tester (SFT)		
ČSN P CEN/TS 15901-13	Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Část 13: Postup pro stanovení protismykových vlastností vozovek měřením součinitele příčného tření (SFCO) – Zařízení Odoliograph	Září 2011	Angličtina

5.1 ČSN 73 6177 – Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek

Tato norma ČSN 73 6177 je základní dokument, v oblasti protismykových vlastností povrchů. Určuje, jakým způsobem provádět měření a následné vyhodnocování. V dřívější době byla norma rozdělena na dvě samostatné normy ČSN 73 6177 Měření protismykových vlastností vozovek a ČSN 73 6195 Hodnocení protismykových vlastností vozovek. Nejnovější znění normy je platné od září 2009 a jsou v něm určité změny oproti normě předešlé. V této nahrazující normě je upuštěno od již nepoužívaných zkušebních metod. Těmi metodami byly zkoušky zjišťující součinitele podélného tření pomocí dynamometrickým přívěsem VÚD-2 a součinitele bočního tření použitím zařízení DRS-01. Vypuštěné zkušební metody jsou nahrazeny převzatou zkouškou vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky z evropských norem. Nově je zde také připojena příloha B, která stanovuje požadavky na národní referenční zařízení měřící součinitel podélného tření povrchu vozovek.

V normě je uveden seznam možných zkušebních metod, které lze pro měření protismykových vlastností povrchů vozovek použít. Provádění metod je zde vysvětleno nebo jsme odkázáni na převzaté evropské normy. Norma také uvádí základní definice týkající se zmiňované problematiky.

V normě jsou uvedeny tyto zkušební metody [10]:

- Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem (PTV – Pendulum Test Value)
- Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD – Mean Texture Depth)
- Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD – Mean Profile Depth)
- Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výtokoměrem (OT_p – čas vytékání vody pro délku úseku 25mm)
- Zjišťování součinitele podélného tření dynamickým měřicím zařízením (f_p)
- Zjišťování součinitele bočního tření dynamickým měřicím zařízením (f_b)

5.1.1 Základní definice

Tření [10]:

- odolnost proti relativnímu pohybu mezi dvěma tělesy, která jsou v kontaktu
- u dynamických metod 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
- tření je specifikováno jako součinitel tření

Protismykové vlastnosti[10]:

- schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajišťovat prostřednictvím tření spolupůsobení mezi pohybující se pneumatikou a povrchem vozovky
- protismykové vlastnosti lze posuzovat na základě zjištění součinitele tření

Textura povrchu vozovky [10]:

- morfologické uspořádání částic materiálu vytvářejícího povrch vozovky daný jeho mikro a makrotexturou
- textura je definována odchylkou povrchu od ideálně rovného povrchu a vlnovou délkou
- tyto dvě veličiny spolu korespondují, proto se zavedlo názvosloví založené na délce vlny

Mikrotextura [10]:

- 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

Makrotextura [10]:

- odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 mm až 50 mm odpovídající vlnovým délkám textury v třetinooktávových pásmech s průměrnou vlnovou délkou od 0,5 mm do 50mm
- makrotextura je tvořena hrubými a jemnými frakcemi kameniva nebo povrchovou úpravou CB povrchů

Měřená stopa [10]:

- část povrchu vozovky odpovídající zpravidla pravé nebo levé jízdní stopě, kde dochází ke koncentraci pojezdů většiny vozidel

Rychlost skluzu [10]:

- relativní rychlost mezi pneumatikou měřicího kola a pojížděným povrchem zkoušené vozovky na kontaktní ploše, protože je měřící kolo brzděno, je jeho obvodová rychlost menší, než je měřící rychlost

Poměr skluzu [10]:

- je podíl rychlosti skluzu a měřící rychlosti, který se vypočítá z údajů snímačů rychlosti umístěných na měřícím vozidle a na měřícím kole
- vyjadřuje se v procentech a může se pohybovat od 0 % do 100 %; hodnota 0 % znamená nezabrzdné měřící kolo a hodnota 100 % znamená zcela zablokované měřící kolo.

$$\text{poměr skluzu} = \left(\frac{\text{rychlost skluzu}}{\text{měřící rychlost}} \right) * 100(\%) \quad (4)$$

5.2 ČSN EN13036-1 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou

Nejnovější vydání této evropské normy z listopadu 2010 nahrazuje předešlou normu z roku 2002.

V normě je více upřesněno zkušební zařízení i pomocí obrázků. Nová přesnost měření je doložena na výsledcích, kterých bylo dosaženo při kontrolních měření ve Francii.

V minulosti byla tato metoda známa pod pojmem „Metoda zjišťování makrotextury vozovky pískem“. Postupem času byl písek nahrazen skleněnými kuličkami.

Principem metody je určení průměrné hloubky makrotextury povrchu vozovky za použití známého objemu materiálu, který je rozmístěn po povrchu vozovky tak, aby ji vyplnil. Na postup nemá charakteristika mikrotextura vliv. Je-li použita s dalšími fyzikálními zkouškami, mohou být výsledky zjištěné tímto postupem použity také pro vhodnost konstrukčních materiálů vozovky či charakteristiku zvukové pohltivosti.

5.3 ČSN EN 13036-3 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky

Nejnovější vydání této evropské normy z ledna 2004 nahrazuje předešlou normu z roku 2003. Změna oproti předcházející normě je, že tato norma je převzata do ČSN z evropských norem překladem.

Touto zkouškou se zjišťuje makrotextura povrchu vozovky určením vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky za použití stacionárního měřicího zařízení (výtokoměru). Jedná se o zkoušku, která není v České republice až tak používána. Je možno ji nahradit posouzením makrotextury odměrnou metodou.

5.3.1 Základní definice

Vodorovné drenážní vlastnosti [12]:

- schopnost textury povrchu vozovky zajistit odvádění vody pod pohybující se pneumatikou

5.4 ČSN EN 13036-4 – Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem

Nejnovější vydání této evropské normy z dubna 2012 nahrazuje předešlou normu z roku 2005. V normě je více upřesněn popis měřícího zařízení s měřící metodou. Navíc je zde rozšířeno ověřování funkčnosti kyvadla a jeho kalibrace.

Touto zkouškou zjistíme protismykové vlastnosti povrchu za použití přenosného měřícího zařízení. V úvahu při výběru místa měření musíme brát, že touto zkušební metodou stanovíme protismykové vlastnosti povrchu malé plochy (0,01 m²). Zkouška může být také provedena v laboratorním prostředí.

5.4.1 Základní definice

Hodnota tření zjištěna kyvadlem (PTV) [13]:

- veličina vyjadřující ztrátu kinetické energie při tření normované pryže třecí patky po zkoušeném povrchu

5.5 ČSN EN ISO 13473-1 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu

Nejnovější vydání této evropské normy z listopadu 2004 nahrazuje předešlou normu z roku 2000.

V této normě najdeme popis metody zjišťující makrotexturu povrchu vozovky. Zjištění makrotextury povrchu vozovky se provádí měřením profilové křivky povrchu a následným výpočtem hloubky textury tohoto profilu. Cílem této metody je získat mezinárodně přijatelný postup pro určení hloubky textury povrchu vozovky, který bude alternativou k metodě odměrné.

5.5.1 Základní definice

Profil [14]:

- dvourozměrný popis povrchu
- profil je popsán, jestliže se snímač, jako je špička jehly nebo laserový paprsek, pohybuje po povrchu nebo na něj svítí

Vlnová délka textury [14]:

- vzdálenost mezi periodicky se opakujícími částmi křivky
- při analýze běžných profilů mají členy Fourierovy řady rovnoměrné rozložení vlnových délek

5.6 ČSN EN ISO 13473-2 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 2: Terminologie a základní požadavky vztahující se k analýze profilu textury vozovky

Tato norma byla zavedena mezi české normy v prosinci 2003.

V této normě najdeme definice termínů, výrazů a také parametry, jež se týkají analýzy textury vozovky a to silnic a letištních ploch. Definuje hlavně pojmy používaná při zjišťování charakteristik vozovek. Například opotřebení pneumatiky, tření nebo hlukové emise styku pneumatika – silnice.

5.7 ČSN EN ISO 13473-3 – Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 3: Specifikace a klasifikace profilometrů

Tato norma byla zavedena mezi české normy v září 2004.

Cílem této normy je pokus vytvořit porovnání různých profilometrů a stanovit potřebné požadavky pro stavění vozovek. Jsou zde uvedeny požadavky, které musejí profilometry splňovat, aby se zajistila přesnost a smysluplnost měření. Najdeme zde i návod ke klasifikaci profilometrů.

6 Metody měření

6.1 Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem

Pro uskutečnění tohoto měření protismykových vlastností povrchu vozovky potřebujeme pevný nekovový ruční kartáč, vodováhu nejméně jeden metr dlouhou, ocelové pravítko s přesností 1mm, anemometr s přesností 2 m/s, radiační (pyrometr) nebo elektrický teploměr s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, nádobku s čistou vodou nebo rozprašovač a samozřejmě nejdůležitější součást měření kalibrované zkušební zařízení – kyvadlo.



Obr. 22 – Kyvadlo [25]

Jelikož se v příčných směrech značně různí protismykové vlastnosti povrchu vozovek některých materiálu, uskutečňuje se zkouška kyvadlem na nejzatíženější ploše, např. v jízdní stopě. K provedení zkoušek je potřeba vybrat nejméně tři místa měření, jež nesmí být vzdálena od sebe více než 400 mm. Počet zkoušek nutných ke zjištění hodnot PTV se odvíjí od heterogenity povrchu. Měření protismykových vlastností lze provádět v terénu nebo v laboratorním prostředí.

Před postavením kyvadla na vozovku je potřeba vozovku drátěným kartáčem očistit a omýt vodou, neměříme-li schválně na znečištěném povrchu. Na takto upravený povrch postavíme kyvadlo takovým způsobem, aby se při měření kývalo rameno kyvadla ve směru jízdy vozidel, a pomocí stavěcích šroubů a libely se nastaví podstavec kyvadla do vodorovné polohy. Následně změříme teplotu mokrého

Adheze pneumatik a její měření

měřeného povrchu. Měření ovlivňuje mnoho faktorů a při některých nelze měření vůbec provádět. Příkladem ovlivňujícího faktoru je sklon vozovky. Měření lze provést do sklonu vozovky 10 %. Zkoušku také není možno uskutečnit, je-li teplota vlhkého povrchu vozovky nebo třecí patky mimo rozmezí 5°C až 40°C nebo liší-li se teplota vody o více než 15°C teploty vzduchu. Dalším krokem je nastavení stupnice. To se provede tak, že rameno kyvadla připevněné ke svislému sloupku se nadzdvihne, aby byl možný volný kyv ramene. A tření ložiska, v kterém se otáčí ručička, se nastaví tak, aby se ručička zastavila na stupnici v bodě 0. Pro kontrolu se tak koná dvakrát. Máme-li takto nastavenou stupnici, přistoupíme k nastavení výšky ramene kyvadla tak, aby se při kyvu po povrchu dotýkala třecí patka celou svou šířkou a byla nastavena správná délka prokluzu. Je-li měřicí přístroj takto nastaven, můžeme přejít k samotnému měření. Nejprve navlhčíme třecí patku a zkoušený povrch. Poté uvolňovacím mechanismem spustíme rameno kyvadla z vodorovné polohy. Začne-li se kyvadlo vracet zpět, zachytíme jej a odečteme na stupnici na celé číslo polohu ručičky. Tento postup provedeme pětkrát za sebou. Povrch a třecí patku musíme však opětovně navlhčit. Hodnoty se nesmí lišit o více jak tři jednotky. Nastane-li však tato chyba, provádí se měření znovu, dokud tři čtení za sebou nejsou konstantní. Po dokončení měření se zkontroluje, zda nebylo hnuto s nastavením. Jestliže zjistíme, že tomu tak bylo, musí se celé měření opakovat znovu.

Hodnotu PTV zjistíme výpočtem průměru z pěti naměřených hodnot pomocí vzorce:

$$PTV = \frac{\sum v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5} \quad (5)$$

kde,

$v_1 - v_5$ jsou jednotlivé hodnoty každého kyvu

Nebo se hodnota $PTV = v_j$

kde,

v_j je konstantní hodnota dosažená po třech kyvech

Tab. 6 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV [10]

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

6.2 Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou

Na provedení této zkušební metody je potřeba si připravit kartáč na očištění povrchu, určité množství stejnorodého materiálu, zásobník o známém objemu, stěrku na rozprostření materiálu, kryt kryjící měřené místo před poryvy větru, měřicí zařízení pro změření vyplněné plochy a laboratorní váhy pro odměření přesného množství materiálu.



Obr. 23 – Zařízení pro měření hloubky makrotextury povrchu [26]

Před měřením si důkladně zkontrolujeme a prohlédneme místo, kde budeme zkoušku provádět. Vybereme povrch vozovky, který je suchý, homogenní a hlavně se na něm neobjevují žádné nestandardní závady lokálního typu, jako jsou například spáry či trhliny. Když jsme takový povrch vozovky vybrali, je nutné ho pomocí drátěného a měkkého štětinového kartáče očistit tak, aby byly odstraněny úlomky a uvolněná zrna kameniva z povrchu vozovky, a poté okolo měřeného místa umístit kryt chránící ho před větrem.

Adheze pneumatik a její měření

Dalším krokem je naplnění zásobníku suchým homogenním materiálem (v ČR se používá materiál vysušený do ustálené hmotnosti při 105°C [11]) až po jeho horní okraj. Za materiál musí být použity plné skleněné kuličky, které mají předepsanou zrnitost. Ta je dána taková, že alespoň 90 % jejich hmotností propadne sítím 0,25 mm a zbytek zůstane zadržen na síti 0,18 mm. Jestliže máme k dispozici laboratorní váhy, určíme hmotnost skleněných kuliček v zásobníku a toto zjištěné množství skleněných kuliček pak použijeme pro každé další měření.

Jsme-li již takto připraveni na provedení zkoušky, vysypeme skleněné kuličky o známé hmotnosti či objemu na očištěnou plochu povrchu vozovky. Připravenou stěrku rozprostřeme skleněné kuličky tak, že stěrku lehce přitlačujeme k povrchu vozovky, aby se dotýkala vrcholů kameniva na povrchu vozovky. Tímto stylem rozprostřeme pečlivě skleněné kuličky do plochy kruhového tvaru. Rozprostíráme je tak dlouho, dokud nejsou prohlubně v povrchu vozovky zaplněny do roviny s vrcholky kameniva. U takto vyplněné kruhové plochy pak změříme její průměr. Průměry změříme alespoň na čtyřech místech vyplněné plochy, které musí být rozmístěny po obvodu plochy rovnoměrně. Ze změřených hodnot poté stanovíme aritmetický průměr a podle vzorce pro výpočet střední hloubky textury (6) vypočteme střední hloubku makrotextury povrchu vozovky.

Vzorec pro výpočet střední hloubky textury:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2} \quad (6)$$

kde,

MTD	střední hloubka textury [mm]
V	objem materiálu (vnitřní objem zásobníku) [mm ³]
D	aritmetický průměr změřených průměrů vyplněné kruhové plochy [mm]

Na zkoušeném povrchu vozovky musí stejný pracovník vykonat alespoň čtyři měření, jež nejsou od sebe rozmístěny rovnoměrně (v ČR se na daném úseku zvolí při každém měření 3 zkušební místa tak, aby obsáhla povrchy se zvýšeným namáháním (ve směrových obloucích, před křižovatkami, přechody pro chodce apod.) popřípadě místa, kde je povrch vozovky vizuálně kluzký [11]). Za výsledek

průměrné hloubky makrotextury povrchu vozovky je považován aritmetický průměr jednotlivých hodnot.

Tab. 7 – Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD [10]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MTD	$\geq 0,75$	0,74 – 0,60	0,59 – 0,50	0,49 – 0,38	$\leq 0,37$

6.3 Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky

V této zkušební metodě se měří textura povrchu vozovky pomocí profilometrů. Ty mohou být kontaktní či bezkontaktní. Při použití kontaktní metody se jako čidlo používá jehla, která má přesně stanovené své rozměry a je přitlačována k povrchu vozovky takovou silou, aby jehla nezpůsobila poškození povrchu. U bezkontaktní metody se používají laserová, elektrooptická nebo akustická čidla. Ať se použije jakákoli metoda, musí být konečný výstup přímo úměrný profilu textury. Metoda je opět ovlivněna mnoha faktory. Tyto vlivy jsou např. povětrnostní podmínky, úhel čidel k povrchu vozovky či měřící rychlost. Nejvíce měření ovlivňuje měřící rychlost. Ta musí být taková, aby byly splněny požadavky na šířku pásma a vzorkování. Rychlost může při spektrální analýze ovlivnit frekvenční měřítko.

$$f = v * \lambda^{-1} \quad (7)$$

kde,

f je frekvence na stupnici frekvenčního analyzátoru [Hz]

v je rychlost profilometru [m/s]

λ je vlnová délka textury [m]

Před měřením se musí měřící zařízení kalibrovat a následně ideálně provést spojitě měření. V praxi se však měří na úseku dlouhém 100 m rovnoměrně rozděleném na 10 oddílů nebo na úseku rozděleném na 16 rovnoměrných oddílů bez ohledu na délku úseku. Při čtení profilu nám mohou vzniknout neplatná čtení způsobená zastíněním světla v hlubokých prohlubních povrchu. Tato čtení nesmí ovlivnit konečný výsledek. Z uvedeného důvodu nesmí být takováto čtení částí profilu nebo jsou nahrazeny odpovídající hodnotou či interpolací. Aby se minimalizovaly

vlivy šumu, přechodů a vysokofrekvenční složky, používají se filtrace horní a dolní propustí. Filtraci horní propustí se filtrují prostorové frekvence pod 10 m^{-1} odpovídající vlnové délce textury 100 mm. Filtraci horní propustí lze nahradit potlačením sklonu, to znamená výpočtem regresní přímky přes všechny hodnoty profilu a odečtením této křivky od profilu. Filtrací dolní propustí se odstraňují prostorové frekvence nad 400 m^{-1} odpovídající vlnové délce 2,5 m. Touto filtrací se dosáhne, aby byly vymezeny špičkové hladiny profilu. Tato hladina se dále v každém sledovaném úseku rozdělí na dva stejné intervaly a pro každý se určí nejvyšší špička. Výsledná špičková hladina úseku se stanoví aritmetickým průměrem těchto dvou částí. Odečteme-li od aritmetického průměru průměrnou hladinu profilu, získáme průměrnou hloubku profilu. Tu pak můžeme podle vzorce (8) transformovat na odhadnutou hloubku textury.

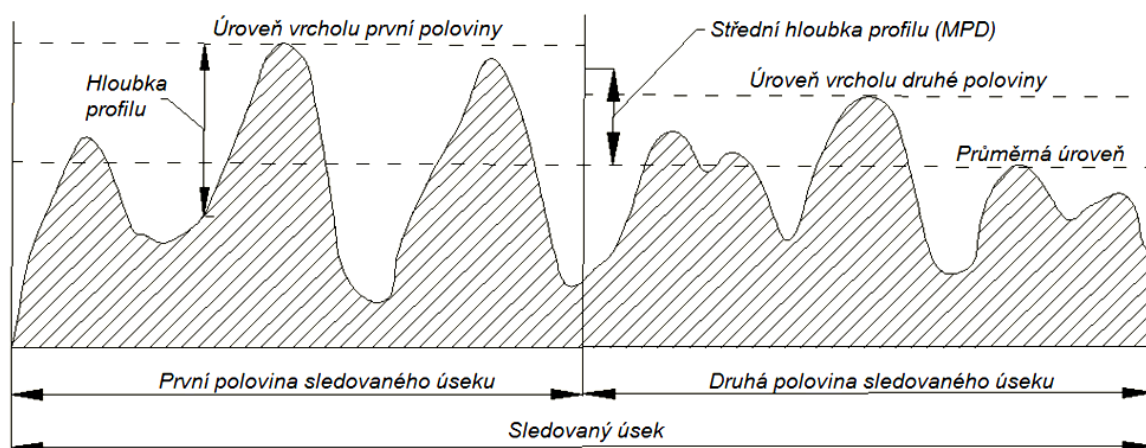
$$ETD = 0,2 + (0,8 * MTD) \quad (8)$$

kde,

ETD je odhadnutá hloubka textury [mm]

MTD je průměrná hloubka profilu [mm]

$$MPD = \frac{\text{Úroveň vrcholu první poloviny} + \text{Úroveň vrcholu druhé poloviny}}{2} - \text{průměrná úroveň} \quad (9)$$



Obr. 24 – Princip výpočtu střední hloubky profilu povrchu vozovky [1]

Tab. 8 – Hodnocení střední hloubky profilu povrchu vozovky MPD [10]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MPD	$\geq 0,69$	0,68 – 0,50	0,49 – 0,37	0,36 – 0,22	$\leq 0,21$

6.4 Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výtokoměrem

Pro vykonání této zkušební metody si musíme připravit měkký kartáč, nádobu s pitnou vodou, láhev pro doplnění vody do výtokoměru, vědro na vodu pro zvlhčování pryžového proužku, stopky s přesností 0,1 s a nejdůležitější věc výtokoměr.



Obr. 25 – Výtokoměr [12]

Jelikož je vodorovná drenážní vlastnost povrchu vozovky značně odlišná v každém příčném řezu komunikace, musíme zkoušku vykonávat na části vozovky, která je nejvíce zatížena silniční dopravou. Místo provádění zkoušky musíme vybrat způsobem, aby plocha byla homogenní a neobsahovala žádné lokální vady jako např. spáry či trhliny, ale naopak aby byla plocha co nejvíce reprezentativní. Zjištění vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky bude záležet na variabilitě povrchu a od toho se odvíjí počet vzorků potřebných pro její zjištění. Před měřením musí být udělán podrobný plán měření a místa, kde se zkoušky uskuteční a musí se zaznamenat.

Před začátkem provádění zkoušky je nutné výtokoměr ponořit do vody a to z důvodu, aby se navlhčil pryžový kroužek výtokoměru. A poté ho umístit na

povrch vozovky ve vertikální poloze. Musíme dát pozor, aby pryžový kroužek nebyl v kontaktu s ojedinělými vyčnívajícími zrny kameniva nebo ojedinělým poklesem vozovky. Je-li výtokoměr takto připraven, naplníme ho pitnou vodou a pomocí stopek změříme čas, za který klesne hladina vody z úrovně horní značky do úrovně spodní značky, které jsou vyznačeny na stěně výtokoměru. Poznameníme hodnoty, kdy se hladina dostane do úrovně značek. Tyto hodnoty pak následně od sebe odečteme a výsledek zaznameníme. Nastat může také situace, kdy je výtok vody z výtokoměru velice pomalý. Nastane-li tento stav a hladina vody ve výtokoměru bude po třech minutách měření na úrovni prostřední značky, která je v jedné třetině od horní značky mezi horní a dolní značkou, měření zastavíme a poznameníme tuto dobu. Hodnoty pak od sebe opět odečteme jako při prvním popsáném způsobu. Jestliže chceme dostat výsledek pro zkušební místo, musíme rozdíl hodnot vynásobit šesti.

Po provedení měření se musí výtokoměr zdvihnout z měřeného povrchu a dát do takové polohy, aby nebyl pryžový kroužek stlačen a mohl se vrátit zpět do původního stavu.

Plocha, kde se provádí měření, nazýváme zkušební pole. Obvykle je délka zkušebního pole 25 m a šířka se odvíjí od velikosti zkoušeného objektu. Standardně se na takto dlouhém úseku dělá 10 měření po 2,5 metrech. Nikdy jich však nesmí být méně.

Výsledná hodnota času vytékání OT_p zkoušeného pole se stanoví aritmetickým průměrem jednotlivých měření. Ve výpočtech se teplotní korekce neprovádí.

Vzorec pro výpočet času vytékání:

$$OT_p = \frac{OT_1 + OT_2 + \dots + OT_{10}}{10} \quad (10)$$

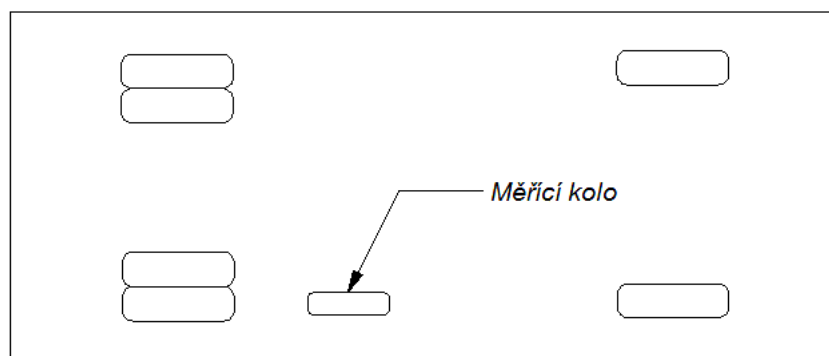
Kde,

OT_p čas vytékání pro délku povrchu 25 m

$OT_1 \dots OT_{10}$ čas vytékání na zkušebním místě 1... zkušebním místě 10

6.5 Zjišťování součinitele podélného tření dynamickým měřícím zařízením

Na provedení měření potřebujeme elektrický teploměr pro zjištění teploty povrchu mokré vozovky a teploty vzduchu a měřící zařízení. Měření se může provádět na jakémkoliv úseku vozovky o délce 1000 m. Jedinou podmínkou je pouze dodržet bezpečnou vzdálenost na rozjezd na požadovanou měřící rychlost a brzdou dráhu pro bezpečné zastavení. Měření probíhá kontinuálně při konstantní rychlosti nebo při rychlostech různých. O maximální rychlosti měření rozhodne vedoucí měření, kdy vezme v potaz podmínky na měřeném úseku. Konstantní rychlostí bývá většinou rychlost 60 km/h. Měření v režimu různých rychlostí se řídí podle nejvyšší dovolené rychlosti na měřené komunikaci. Je-li dovolenou rychlostí 130 km/h, měří se rychlostmi 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h a 120 km/h. Ovšem je-li dovolenou rychlostí 50 km/h, pak se měří rychlostmi 40 km/h, 50 km/h a 60 km/h, nebo 30 km/h, 40 km/h a 50 km/h. Takto získáme vztah mezi součinitelem tření a měřící rychlostí. Při vlastním měření musí být povrch smáčen v měřené stopě (tloušťka vodního filmu, šířka smáčené stopy).



Obr. 26 – Schéma zařízení pro měření součinitele podélného tření [1]

Při vyhodnocování zkoušky se kromě výpočtu součinitele podélného tření (f_p) zaznamenávají i další parametry pro další zpracování (podélné a svislé síly, přítlak měřícího kola, poměr skluzu, měřící rychlost, teplotu mokrého povrchu vozovky, teplotu vzduchu, počasí a datum s časem měření). Hodnota součinitele podélného tření se vypočítá podle vzorce:

$$\text{součinitel tření } (f_p) = \frac{\text{podélná síla v místě dotyku pneumatiky měřícího kola s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla v místě dotyku pneumatiky měřícího kola s vozovkou [N]}} \quad (11)$$

Adheze pneumatik a její měření

Takto vypočtené hodnoty se vyrovnávají na požadovanou měřicí rychlost buď podle předpisu výrobce či technických specifikací měřícího zařízení. Nemá-li měřicí zařízení definovaný přepoččet, používá pro přepoččet vzorec:

$$Fp' = a * e^{b*v} \quad (12)$$

kde,

Fp' je vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření

a , b jsou parametry exponenciální funkce (uvedeny v normě)

$e = 2,718$

v je měřicí rychlost

Poté se přepočtou vyrovnané hodnoty součinitele podélného tření (Fp') na referenční teplotu. Tímto přepočtem získáme nejnižší roční hodnotu součinitele podélného tření (Fp). Docílíme toho opět pomocí technickou specifikací měřícího zařízení nebo vztahu:

$$Fp = Fp' - \frac{0,004}{3} (30 - t_{vm}) \quad (13)$$

kde,

Fp je nejnižší roční hodnota součinitele podélného tření

Fp' je vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření

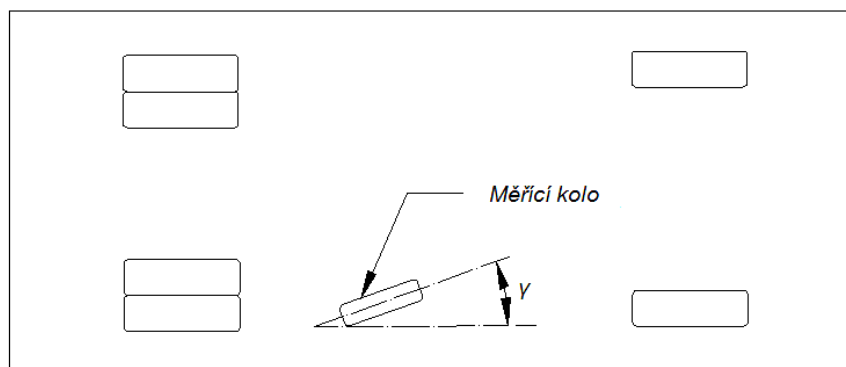
t_{vm} je teplota povrchu mokré vozovky [$^{\circ}C$]

Tab. 9 – Hodnocení protismykových vlastností Fp [10]

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

6.6 Zjišťování součinitele bočního tření dynamickým měřícím zařízením

Tento typ zkoušky je v podstatě stejný jako zkouška pro získání součinitele podélného tření. Přípravy měření, postup měření, záznam výsledků a následně jejich vyhodnocení je stejné jako u zkoušky zjišťování součinitele podélného tření dynamickým měřícím zařízením, která je popsána v předchozím bodě. Jediná odlišnost od zkoušky zjišťování součinitele podélného tření je, že tato zkouška se nemůže provádět ve směrových obloucích s poloměrem menším než 35 m. Při měření je měřící kolo odkloněno od podélné osy cca o 20°.



Obr. 27. – Schéma zařízení pro měření součinitele bočního tření [1]

7 Národní referenční zařízení

Jestliže chceme na území České republiky provádět měření protismykových vlastností vozovek výše popsanými postupy, musí se pro měřicí zařízení vypočítat převodní vztah, aby naměřené hodnoty odpovídaly úrovni hodnot zjištěné národním referenčním zařízením (tab. 9). Takto zajistíme jednotnost a porovnatelnost naměřených hodnot. Převodní vztah určujeme pomocí regresní analýzy podle zvláštního předpisu (TP 207). Pokud se ale regresivní analýzou převodní vztah nepodaří získat a zařízení nedostane Oprávnění k měření součinitele tření povrchu vozovek pozemních komunikací, pak toto zařízení nesmí být na území České republiky provozováno za účelem měření součinitele tření. Za národní referenční zařízení bylo určeno zařízení Tatra Runway Tester (TRT). Důvodem je, že tímto zařízením se v České republice měří a výsledky jsou uloženy a archivovány již od roku 1975.



Obr. 28 – Tatra 613 Runway Tester [18]



Obr. 29 – Nový Tatra Runway Tester (skříň Ford Tranzit) [19]

8 Systémy a úpravy povrchu zlepšující adhezní podmínky

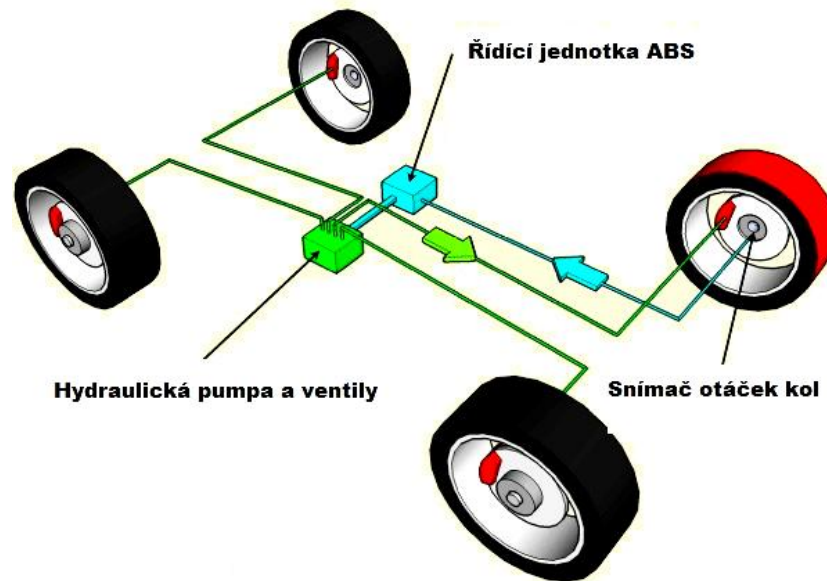
Okamžité adhezní poměry mezi pneumatikou kola a povrchem vozovky můžeme zlepšit dvojnásobkem. V prvním případě zlepšíme adhezní poměry pomocí systémů zabudovaných ve vozidle, jež zlepšují brzdění a stabilitu jízdy vozidla. V současné době již existuje v luxusnějších vozidlech celá řada těchto systémů. Mezi nejznámější a asi nejdéle používaný systém patří bezesporu systém ABS (Anti-lock Brake Systém). Ale jmenujme i další z těchto systémů. Jsou jimi EDS (elektronický uzávěr diferenciálu), MSR (regulace brzdného momentu motoru), ASR (systém regulace prokluzu kol), EBD (elektronický rozdělovač brzdné síly) a ESP (elektronický stabilizační program). A v případě druhém udělat na povrchu vozovky bezpečnostní protismykové úpravy, např. Rocbinda, Coldgrip, Rapidstop.

8.1 Systém ABS

Protiblokovací systém byl vynalezen ve 30. letech 19. století původně v letecké dopravě. První automobil se zabudovaným systémem ABS byl vyroben v roce 1966 a první komerční využití našel tento systém u vozidel Mercedes-Benz třídy S a konkurenčního BMW třídy 7. A pak se už počet instalací systému ABS pomalu zvyšoval.

Když řidič při nastalé kritické jízdní situaci zmačkne prudce brzdový pedál, může to mít za následek zablokování kol hlavně na zledovatělé či mokré vozovce. To má za následek ztrátu směrové stability a vozidlo se stává neovladatelné. Tento stav často končí slykem vozidla. Aby tyto situace nenastaly, hlídá systém ABS. Jestliže řídicí jednotka rozezná blokování jednoho z kol, sníží okamžitě tlak v brzdové soustavě a umožní plynulé dobrzdění vozidla. Dalším kladným bodem systému ABS je, že většinou zkracuje brzdnou dráhu. Systém ABS se skládá ze snímače otáček kol, hydraulické pumpy a ventilů a samozřejmě řídicí jednotky systému (obr. 30)

Adheze pneumatik a její měření



Obr. 30 – Schéma systému ABS [21]

Činnost systému ABS poznáme podle přerušovaného brzdění, brzdící pedál jakoby „kope“. Na bezchybnou funkci systému ABS neustále dohlížejí bezpečnostní systémy ve vozidle a zjistí-li nějakou závadu na systému, musí jej vypnout a informovat o tom řidiče rozsvícením kontrolky.

Na systém ABS je kladeno mnoho požadavků [9]:

- během regulovaného brzdění musí být zachována říditelnost a stabilita vozidla
- nutná řídicí korekce (natáčení volantu) musí být co nejmenší, také při brzdění na vozovce s různou přilnavostí na levé a pravé straně vozidla
- regulace musí pracovat v celém rychlostním rozsahu vozidla
- regulační soustava musí optimálně využívat přilnavosti kol k vozovce, přičemž říditelnost má přednost před zkrácením brzdné dráhy
- regulace brzdění se musí velmi rychle přizpůsobit změnám přilnavosti vozovky
- také při brzdění na nerovné (vlnité) vozovce musí být vozidlo ovladatelné při libovolně prudkém brzdění; regulace brzdění musí rozeznat aquaplaning a vhodně na něj reagovat
- je-li rozeznána závada funkce ABS, musí dojít k vypnutí protiblokovací soustavy a řidič musí být o závadě informován (kontrolka ABS)
- při poruše ABS musí být zachována plná funkčnost základní brzdové soustavy bez ABS

8.2 Bezpečnostní protismykové úpravy (BPÚ)

Plochy, které jsou ošetřeny bezpečnostní protismykovou úpravou, jsou menších rozsahů. Je to z důvodu, jelikož se pokládka BPÚ provádí ve většině případech ručně. BPÚ je tenká vrstva nanášena na povrch vozovky za tepla nebo za studena při použití speciální pojiv a kameniva nebo jiných zdrsňujících materiálů. Za studena se používají pojiva termosetová, jenž se přidáním iniciátoru vytvrzují chemickou reakcí (např. epoxidová nebo akrylová pryskyřičná pojiva). Při nanášení za tepla se používají pojiva termoplastická, jež se zvyšující teplotou měknou a tečou a po ochlazení se vracejí opět do původního pevného skupenství (např. pryskyřičná pojiva na bázi esterů). Takto upravený povrch nám poskytuje vysoké hodnoty součinitele tření, odolnost proti velkému dopravnímu zatížení a zajišťuje velmi dobré protismykové vlastnosti povrchu vozovky po dobu své životnosti. Životnost BPÚ se odvíjí od třídy dopravního zatížení. Je-li třída dopravního zatížení > 7500 těžkých nákladních vozidel za den, předpokládá se životnost BPÚ minimálně po dobu 5 let. Při třídě dopravního zatížení 3501 – 7500 těžkých nákladních vozidel za den odhaduje se životnost BPÚ cca. 8 let. A zda je třída dopravního zatížení nižší, předpokládá se životnost BPÚ samozřejmě vyšší než 8 let.

Primární funkcí bezpečnostních protismykových úprav je zkracování brzdných drah vozidel. A sekundární funkcí je optické zvýraznění nebezpečných úseků, protože se BPÚ většinou pokládají v barevném provedení.

Pro výběr úseku komunikace, na kterém by bylo vhodné provést BPÚ, je určující četnost dopravních nehod a jejich příčiny, hlavně pak ty situace, při kterých dojde ke smyku vozidla. Proto se při výběru vychází z databází dopravních nehod Policie ČR v propojenosti s výsledky měření protismykových vlastností povrchů vozovek uložených v registrech ŘSD ČR odboru silniční databanky Ostrava. Jestliže nejsou výsledky pro potřebnou komunikaci k dispozici, provede se měření protismykových vlastností povrchu vozovky, ze kterých se poté vychází. Proto se BPÚ nejvíce uplatní na úsecích pozemních komunikací, kde je zvýšené namáhání vodorovnými silami, které kladou větší požadavky na protismykové vlastnosti.



Obr. 31 – Ukázka bezpečnostní protismykové úpravy [23]

Uplatnění BPÚ na úsecích pozemní komunikace [22]:

- bezprostředně před potenciálními místy vzniku dopravních nehod (přechody pro chodce, úroňové křižovatky, železniční přejezd)
- ve směrovém oblouku s poloměrem < 250 m
- ve směrovém oblouku s příčným sklonem neodpovídající jeho poloměru
- v místech se špatnými rozhledovými podmínkami anebo jinými nepříznivými místními podmínkami
- v klesání > 8 % v kombinaci s jiným výše uvedeným nepříznivým vlivem nebo vlivy

Délka pokládky BPÚ se na rovných úsecích pozemních komunikacích odvíjí od nejvyšší dovolené rychlosti danou místní úpravou (tab. 10.). Ve směrových obloucích a v místech, kde dochází ke kombinaci podmínek pro uplatnění BPÚ, je nutné délku pokládky BPÚ posoudit individuálně pro každé místo. Musí se však vždy dodržet minimální délka BPÚ uvedená v tab. 10.

Adheze pneumatik a její měření

Tab. 10 – Minimální délky BPÚ [22]

Nejvyšší dovolená rychlost daná místní úpravou	Minimální délka BPÚ (L_{min}) nutná pro zastavení před potenciálním místem vzniku dopravních nehod	Minimální délka BPÚ (L_{min}) před potenciálním místem vzniku dopravních nehod ve směrovém oblouku nebo klesání
50 km/h	30 m	10 m
60 km/h	35 m	15 m
70 km/h	40 m	20 m
80 km/h	45 m	25 m
90 km/h	55 m	35 m

Jestli má BPÚ požadované vlastnosti, se kontroluje průkazními a kontrolními zkouškami. Průkazní zkouškou se ověřuje tahová přilnavost BPÚ a soudržnost zdrsňujícího materiálu či kameniva s pojivem. Hodnota součinitele tření se zjišťuje pomocí střední hloubky makrotextury zjištěná odměrnou metodou (MTD) a kyvadla (PTV). Při kontrolních zkouškách se pro zjištění součinitele tření používá zkouška dynamickým zařízením (F_p) a zkouška kyvadlem (PTV).

9 Statistika nehodovosti

V kapitolách uvedených výše je vysvětlena problematika přilnavosti kola s povrchem vozovky pomocí základních principů adheze. Uvedeny jsou zde základy fyzikální podstaty adheze, též vlivy, jež adhezi ovlivňují, a v neposlední řadě měřicí metody, kterými lze součinitel adheze zjistit. Tato kapitola se zabývá statistikou nehodovosti mezi roky 2009 až 2012, které Policie ČR zveřejňuje každoročně prostřednictvím Ředitelství služby dopravní policie. Statistikou se zabývám až od roku 2009, jelikož od tohoto roku byla změněna metodika sběru dat, neboť bylo uzákoněno, že policie již nemusí být volána ke každé vzniklé dopravní nehodě. Statistika nám ukazuje, že na každé vzniklé dopravní nehodě se podílejí jakékoli možné adhezní podmínky a stav vozovky. Proto Policie ČR ve svých statistikách stavu vozovek rozlišuje do deseti různých kritérií.

V příloze jsou uvedeny tabulky Přehledu nehodovosti mezi roky 2009 až 2012. Z těchto tabulek je pak sestavena výsledná tabulka 11. V této výsledné tabulce je vytvořen procentuální pokles nebo nárůst počtu dopravních nehod vzniklých na území České republiky na jednotlivých stavech vozovky. Výsledky jsou vztaženy k roku 2009. V této výsledné tabulce je možno zpozorovat, že na nejčastěji vyskytujících se površích, tedy povrch suchý znečištěný i neznečištěný, je vidět mírný nárůst počtu dopravních nehod. Způsobeno je to s největší pravděpodobností tím, že zimy nejsou již tak tuhé a dlouhé, jako tomu bylo v roce 2010, a tento stav povrchu vozovky se tak vyskytuje častěji. Tento jev je patrný na grafu uvedeném v příloze, kdy v roce 2010 prudce vzrostl počet dopravních nehod na náledí a sněhové pokrývce. Mohla za to jedna z nejchladnějších zim za posledních 40 let a s tím spojená sněhová nadílka. Například ve středních Čechách napadlo nejvíce sněhu za posledních 50 let. Nárůst dopravních nehod na suchých površích můžeme též vysvětlit zhoršujícími adhezními podmínkami na stávajících komunikacích. Ty jsou zhoršeny zvyšující se dopravním zátěží komunikace a nánosy šterku.

Adheze pneumatik a její měření

Tab. 11 – Celkový přehled nehodovosti mezi roky 2009 – 2012 v ČR podle stavu vozovky

Přehled nehod podle stavu vozovky	2009	2010	2011	2012
Povrch suchý, neznečištěný	46395	45274	53726	56168
% změna počtu nehod k roku 2009	-	-2.42	15.80	21.06
Povrch suchý, znečištěný	420	415	480	503
% změna počtu nehod k roku 2009	-	-1.19	14.29	19.76
Povrch mokrý	20641	17895	16060	17445
% změna počtu nehod k roku 2009	-	-13.30	-22.19	-15.48
Na vozovce je bláto	95	93	84	100
% změna počtu nehod k roku 2009	-	-2.11	-11.58	5.26
Náledí, ujetý sníh - posypané	1788	3188	1046	1749
% změna počtu nehod k roku 2009	-	78.30	-41.50	-2.18
Náledí, ujetý sníh - neposypané	3407	5281	2828	3448
% změna počtu nehod k roku 2009	-	55.00	-16.99	1.20
Rozlitý olej, nafta	36	45	40	31
% změna počtu nehod k roku 2009	-	25.00	11.11	-13.89
Souvislá sněhová vrstva, rozbředlý sníh	1799	3099	571	1646
% změna počtu nehod k roku 2009	-	72.26	-68.26	-8.50
Náhlá změna stavu vozovky	60	70	122	82
% změna počtu nehod k roku 2009	-	16.67	103.33	36.67
Jiný stav vozovky	174	162	180	232
% změna počtu nehod k roku 2009	-	-6.90	3.45	33.33

10 Závěr

Měření a posuzování hodnot protismykových vlastností povrchu vozovek je velmi potřebná a důležitá věc. V minulosti byla na komunikacích ve vlastnictví státu měření prováděna za účelem zjišťování povrchových vlastností vozovek poměrně častá věc prostřednictvím měřících vozů. Bohužel v posledních letech byla tato činnost výrazně omezena z důvodu finančních prostředků. Je také fakt, že tyto metody, které se v současnosti používají, jsou poměrně zastaralé. Proto se v tomto směru otevírají velké možnosti. Budoucnost vidím v používání moderních technologií. Mezi tyto technologie bych určitě zařadil využití 3D skeneru nebo jiných měřících laserových zařízení. Myslím si, že by tyto nové postupy i urychlily celé měření, neboť v současnosti používaná odměrná metoda je velice zdoluhavá.

Je však velice žádoucí tuto činnost opět urychleně obnovit, což si už pomalu začíná uvědomovat i samotné Ministerstvo dopravy. Je potřeba zlepšit správné hospodaření s vozovkou. K tomu se využívá systém RoSy. Tento systém se používá za účelem sledování a hodnocení stavu vozovek a plánování údržby a opravy vozovek. V rámci měření na komunikacích ve vlastnictví státu se zjistilo k roku 2010, že s ohledem na protismykové vlastnosti vozovek je nevyhovujících 23,1% dálnic, 20,6% rychlostních silnic a 9,3% silnic I. třídy, kde byla prováděna měření. A tato čísla je potřeba urychleně změnit s ohledem na bezpečnost silničního provozu a nehodovost, které protismykové vlastnosti vozovky bezprostředně ovlivňuje. Musím ale s politováním říci, že za současného politického a finančního rozpoložení státu, to půjde jen pomalu a velice stěží.

Při psaní práce mě teoretické principy adheze a měření protismykových vlastností vozovky velice zaujaly, že jsem se rozhodl na ně navázat ve své diplomové práci. Na Ústavu soudního znaleství v dopravě pod ČVUT Fakultou dopravní jsem členem týmu, který pracuje na nových metodách detekce protismykových vlastností vozovky. Naším cílem je na zjišťování protismykových vlastností používat právě technologii 3D skeneru. Chtěli bychom, aby se tato zkouška stala plnohodnotnou zkouškou a byla zařazena mezi oficiálně používané metody a nahradila tak zastaralou zkoušku odměrnou metodou. Je to však běh na dlouhou trať a my jsme teprve na začátku, ale nepochybuji, že budeme úspěšní.

11 Seznam použité literatury

- [1] Nekula, L., a kolektiv, Školení technických norem a předpisů STEPS: STEPS 3 – Údržba a opravy vozovek, povrchové vlastnosti vozovek, Sdružení pro výstavbu silnic Praha, Praha, 2010
- [2] Šachl, J., Problematika měření protismykových kvalit povrchu vozovek, Kandidátská disertace, 1974
- [3] Horák, Z., Krupka, F., Základy technické fyziky I., Vydavatelství ČVUT, Praha, 1971
- [4] Šachl (st.), J., Šachl (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silničních nehod, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě, 2008
- [5] Horák, Z., Krupka, F., Šindelář, V., Technická fyzika, Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1961
- [6] Javorskij, B., M., Selezněv, Ju., A., Přehled elementární fyziky, SNTL, Praha, 1989
- [7] Bradáč, A., a kolektiv, Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1997
- [8] Vala, M., Tesař, M., Teorie a konstrukce silničních vozidel I., Univerzita Pardubice, Pardubice, 2002
- [9] Vlček, F., Dynamika motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2000
- [10] ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009
- [11] ČSN EN 13036-1: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010
- [12] ČSN EN 13036-3: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2004
- [13] ČSN EN 13036-4: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012
- [14] ČSN EN ISO 13473-1: Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu, Český normalizační institut, Praha, 2004
- [15] ČSN EN ISO 13473-2: Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 2: Terminologie a základní požadavky vztahující se k analýze profilu textury vozovky, Český normalizační institut, Praha, 2003

- [16] ČSN EN ISO 13473-3: Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 3: Specifikace a klasifikace profilometrů, Český normalizační institut, Praha, 2004
- [17] Internetový odkaz: http://www.autosklop.cz/tr_rady_o_pneu.php [staženo: 16. 5. 2013]
- [18] Internetový odkaz:
<http://www.tatra-club.com/graphics/msgboard/8312/full/t613tester2.jpg>
[staženo 15. 6. 2013]
- [19] Internetový odkaz: http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/trt.pdf
[staženo 15. 6. 2013]
- [20] Internetový odkaz: http://www.pjpk.cz/te_po.htm [staženo 18. 6. 2013]
- [21] Internetový odkaz: <http://brake-o-rama.com/brake-repair-service/abs-light/>
[staženo 18. 6. 2013]
- [22] TP 213: Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek, Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, Praha, 2009
- [23] Internetový odkaz: <http://www.rapidcom.cz/o-rapidcom.php> [staženo 18. 6. 2013]
- [24] Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice za roky 2009 – 2012, Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky Praha, 2009 – 2012
- [25] Internetový odkaz:
<http://www.highwaysmaintenance.com/testing/pendlum1.jpg> [staženo 15. 7. 2013]
- [26] Internetový odkaz:
<http://www.fsv.cvut.cz/svoc/2010/registrd.php?Akce=SHOW&SID=20>
[staženo 15. 7. 2013]
- [27] Internetový odkaz:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
[staženo 15. 7. 2013]

12 Seznam obrázků, tabulek a příloh

seznam obrázků

Obr. 1 – Úhel tření [5].....	14
Obr. 2 – Rovnováha na nakloněné rovině [5]	14
Obr. 3 – Vznik valivého tření [5].....	16
Obr. 4 – Skluzová charakteristika pneumatiky [8].....	19
Obr. 5 – Adhezní elipsa [7]	19
Obr. 6 – Mezní situace v adhezní elipse [7]	20
Obr. 7 – Směrová úchylka kola a vznik boční síly [7]	21
Obr. 8 – Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy [8]	22
Obr. 9 – Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek [4].....	23
Obr. 10 – Adheze na ledě se suchým povrchem (při teplotě – 3° C) [4].....	23
Obr. 11 – Vliv brzdného skluzu na součinitel adheze [9].....	24
Obr. 12 – Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu [9].....	25
Obr. 13 – Vznik aquaplaningu: 1. fáze – nepřenesený vodní film; 2. fáze – částečně přenesený vodní film; 3. fáze - kontakt [9].....	26
Obr. 14 – Vliv profilu pneumatiky na vznik aquaplaningu [9].....	26
Obr. 15 – Vliv textury na součinitel adheze za mokra [4].....	27
Obr. 16 – Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze [9]	28
Obr. 17 – Adheze pneumatik v závislosti na teplotě [17].....	29
Obr. 18 – Závislost součinitele adheze na rychlosti a výšce vzorku [8]	30
Obr. 19 – Závislost součinitele adheze na tlaku huštění (suchý beton) [8].....	31
Obr. 20 – Hodnoty součinitele adheze pod zablokovaným kolem při znečištění vozovky pískem [4]	32
Obr. 21 – Závislost součinitele adheze na zatížení kola (suchý beton) [8].....	32
Obr. 22 – Kyvadlo [13]	43
Obr. 23 – Zařízení pro měření hloubky makrotextury povrchu [11].....	45
Obr. 24 – Princip výpočtu střední hloubky profilu povrchu vozovky [1]	48
Obr. 25 – Výtokoměr [12]	49
Obr. 26 – Schéma zařízení pro měření součinitele podélného tření [1].....	51
Obr. 27 – Schéma zařízení pro měření součinitele bočního tření [1].....	53
Obr. 28 – Tatra 613 Runway Tester [18].....	54
Obr. 29 – Nový Tatra Runway Tester (skřín Ford Tranzit) [19]	54
Obr. 30 – Schéma systému ABS [21].....	56

Obr. 31 – Ukázka bezpečnostní protismykové úpravy [23]	58
--	----

seznam tabulek

Tab. 1 – Porovnání tření tuhých těles a pryže [2].....	17
Tab. 2 – Součinitel adheze na různém povrchu [7]	18
Tab. 3 – Závislost kritických rychlostí pro vznik aquaplaningu na tloušťce vodního filmu a velikosti dezénu [4].....	25
Tab. 4 – Přehled platných českých technických norem.....	34
Tab. 5 – Přehled předběžných českých norem	35
Tab. 6 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem PTV [10]	45
Tab. 7 – Hodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěné odměrnou metodou MTD [10].....	47
Tab. 8 – Hodnocení střední hloubky profilu povrchu vozovky MPD [10]	49
Tab. 9 – Hodnocení protismykových vlastností Fp [10].....	52
Tab. 10 – Minimální délky BPÚ [22]	59
Tab. 11 – Celkový přehled nehodovosti mezi roky 2009 – 2012 v ČR podle stavu vozovky	61

13 Seznam příloh

Tabulka 1: Přehled nehodovosti za rok 2009 [24]

Tabulka 2: Přehled nehodovosti za rok 2010 [24]

Tabulka 3: Přehled nehodovosti za rok 2011 [24]

Tabulka 4: Přehled nehodovosti za rok 2012 [24]

Graf 1: Vývoj nehodovosti mezi roky 2009 – 2012

CD s elektronickou verzí

Adheze pneumatik a její měření

Tabulka 1: Přehled nehodovosti za rok 2009 [24]

Přehled nehod podle stavu vozovky	ČR	% podíl	Hlavní město Praha	Středočeský kraj	Jihočeský kraj	Západočeský kraj	Severočeský kraj	Východočeský kraj	Jihomoravský kraj	Severomoravský kraj
Povrch suchý, neznečištěný	46395	62.01	10560	6874	1906	2711	7081	4523	4734	8006
Povrch suchý, znečištěný	420	0.56	34	76	33	59	74	22	61	61
Povrch mokrý	20641	27.59	4221	3145	885	1625	3882	1823	1766	3294
Na vozovce je bláto	95	0.13	9	10	8	5	17	13	16	17
Náledí, ujetý sníh - posypané	1788	2.39	271	274	96	120	273	192	197	365
Náledí, ujetý sníh - neposypané	3407	4.55	366	570	180	307	661	340	296	687
Rozlitý olej, nafta	36	0.05	5	5	1	8	8	1	5	3
Souvislá sněhová vrstva, rozbředlý sníh	1799	2.40	91	198	83	137	367	259	178	486
Náhlá změna stavu vozovky	60	0.08	0	8	7	4	8	3	11	19
Jiný stav vozovky	174	0.23	26	23	7	13	28	17	19	41

Adheze pneumatik a její měření

Tabulka 2: Přehled nehodovosti za rok 2010 [24]

Přehled nehod podle stavu vozovky	ČR	% podíl	Hlavní město Praha	Středočeský kraj	Jihočeský kraj	Plzeňský kraj	Ústecký kraj	Královéhradecký kraj	Jihomoravský kraj	Moravskoslezský kraj	Olomoucký kraj	Zlínský kraj	Kraj Vysočina	Pardubický kraj	Liberecký kraj	Karlovarský kraj
Povrch suchý, neznečištěný	45274	59.95	11829	5745	1800	1531	4046	2179	3818	4390	2588	1127	1335	2063	1959	864
Povrch suchý, znečištěný	415	0.55	26	80	37	16	47	12	47	43	24	13	21	6	26	17
Povrch mokrý	17895	23.70	4173	2364	584	753	1776	830	1241	1945	910	381	597	710	1148	483
Na vozovce je bláto	93	0.12	12	12	4	1	11	7	10	8	8	4	5	1	7	3
Náledí, ujetý sníh - posypané	3188	4.22	704	453	130	131	382	147	139	408	115	59	137	158	144	81
Náledí, ujetý sníh - neposypané	5281	6.99	919	807	207	182	701	260	250	718	277	137	183	230	269	141
Rozlítý olej, nafta	45	0.06	9	5	1	4	2	3	1	5	3	0	2	5	1	4
Souvislá sněhová vrstva, rozbředlý sníh	3099	4.10	488	377	120	187	236	247	131	353	197	55	100	178	300	130
Náhlá změna stavu vozovky	70	0.09	2	13	4	5	7	3	4	10	10	4	3	1	2	2
Jiný stav vozovky	162	0.21	28	14	12	3	9	9	9	22	24	0	7	5	8	12

Adheze pneumatik a její měření

Tabulka 3: Přehled nehodovosti za rok 2011[24]

Přehled nehod podle stavu vozovky	ČR	% podíl	Hlavní město Praha	Středočeský kraj	Jihočeský kraj	Pízeňský kraj	Ústecký kraj	Královéhradecký kraj	Jihomoravský kraj	Moravskoslezský kraj	Olomoucký kraj	Zlínský kraj	Kraj Vysočina	Pardubický kraj	Liberecký kraj	Karlovarský kraj
Povrch suchý, neznečištěný	53726	71.50	13083	6941	2091	2022	4912	2652	4475	5704	3105	1491	1651	2589	2166	844
Povrch suchý, znečištěný	480	0.64	34	78	50	24	44	19	39	56	27	15	22	21	39	12
Povrch mokrý	16060	21.37	3028	2238	623	833	1712	872	1169	1624	821	316	606	738	1017	463
Na vozovce je bláto	84	0.11	3	10	6	9	6	9	8	6	9	4	1	3	6	4
Náledí, ujetý sníh - posypané	1046	1.39	112	133	59	48	85	59	55	165	49	34	77	55	81	34
Náledí, ujetý sníh - neposypané	2828	3.76	256	394	141	127	300	149	160	403	180	134	189	138	169	88
Rozlitý olej, nafta	40	0.05	15	3	3	3	2	0	1	1	2	0	1	0	6	3
Souvislá sněhová vrstva, rozbředlý sníh	571	0.76	20	43	23	32	42	59	20	70	59	15	35	25	97	31
Náhlá změna stavu vozovky	122	0.16	9	22	10	6	13	7	3	18	8	3	3	2	18	3
Jiný stav vozovky	180	0.24	12	27	9	3	10	17	11	24	17	2	9	11	21	7

Adheze pneumatik a její měření

Tabulka 4: Přehled nehodovosti za rok 2012 [24]

Přehled nehod podle stavu vozovky	ČR	% podíl	Hlavní město Praha	Středočeský kraj	Jihočeský kraj	Píseňský kraj	Ústecký kraj	Královéhradecký kraj	Jihomoravský kraj	Moravskoslezský kraj	Olomoucký kraj	Zlínský kraj	Kraj Vysočina	Pardubický kraj	Liberecký kraj	Karlovarský kraj
Povrch suchý, neznečištěný	56168	69.00	13624	7142	2084	2144	5106	2745	5048	5398	3111	2222	2051	2503	2202	788
Povrch suchý, znečištěný	503	0.62	32	88	52	15	41	28	53	60	36	24	20	12	32	10
Povrch mokrý	17445	21.43	3540	2331	690	931	1786	931	1169	1844	771	508	732	796	1029	387
Na vozovce je bláto	100	0.12	15	10	4	4	8	14	13	7	5	2	5	4	6	3
Náledí, ujetý sníh - posypané	1749	2.15	187	221	111	96	136	130	83	217	110	48	124	122	114	50
Náledí, ujetý sníh - neposypané	3448	4.24	268	536	173	140	348	246	188	436	232	144	244	188	200	105
Rozlítý olej, nafta	31	0.04	5	3	1	5	4	2	1	2	0	0	1	0	4	3
Souvislá sněhová vrstva, rozbředlý sníh	1646	2.02	101	223	75	103	98	173	87	151	113	67	107	95	208	45
Náhlá změna stavu vozovky	82	0.10	4	10	8	3	9	6	7	11	9	1	5	2	7	0
Jiný stav vozovky	232	0.28	19	31	9	12	15	6	21	19	19	9	6	4	57	5

Adheze pneumatik a její měření

Graf 1: Vývoj nehodovosti mezi roky 2009 až 2012

