

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2025

Bc. Tadeáš Šustr

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Měření a hodnocení protismykových vlastností cementobetonových krytů
Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Tadeáš Šustr**
Osobní číslo: **D23446**
Studijní program: **N0732A260017 Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Měření a hodnocení protismykových vlastností cementobetonových krytů**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Popište metody, zásady a zařízení pro měření protismykových vlastností cementobetonových krytů a proveďte měření včetně zhodnocení protismykových vlastností na vybraných úsecích. Formulujte závěr a doporučení na základě výsledků měření.

Předpokládané části práce:

Úvod a cíle práce, zvolené metody

Teoretická část – základní pojmy, technické předpisy, rešerše literatury

Experimentální část – měření protismykových vlastností (lokalita, podmínky, přístroje, postup, hodnoty)

Vyhodnocení získaných dat a formulace doporučení

Závěr

Práci vypracujte v českém jazyce v rozsahu a podrobnostech stanoveném vedoucím práce.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek
ČSN 73 6175: Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek
ČSN EN 13036-4: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem
EN 13036-1: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou
EN ISO 13473-1: Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu
Další literatura dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Borecký, Ph.D.**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. ledna 2025**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. července 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Měření a hodnocení protismykových vlastností cementobetonových krytů jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 31. 01. 2025

Tadeáš Šustr v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladislavu Boreckému, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Chtěl bych také poděkovat společnosti CEMEX Czech Republic s.r.o. za možnost měření a poskytnutí podkladů pro diplomovou práci. Dále bych chtěl poděkovat Leteckým službám Hradec Králové za poskytnutí měřicího vozidla SAAB a možnost měření protismykových vlastností na odbavovací ploše. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za jejich neustálou podporu, trpělivost a motivaci během mého studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na protismykové vlastnosti cementobetonových krytů, přičemž se věnuje jejich definici, faktorům, které je ovlivňují, a metodám jejich měření. Experimentální část práce se soustředí na analýzu protismykových vlastností pomocí odměrné metody, kyvadlového testu a měření prováděného vozidlem SAAB SFT.

KLÍČOVÁ SLOVA

Protismykové vlastnosti, cementobetonový kryt, odměrná metoda, kyvadlo, SAAB SFT

TITLE

Measurement and evaluation of skid resistance of cement concrete pavements

ANNOTATION

The diploma thesis focuses on the skid resistance properties of cement concrete pavements, focusing on their definition, the factors that influencing them, and the methods of their measurement. The experimental part of the thesis is focused on the analysis of skid resistance properties using the volumetric technique, the pendulum tester, and measurements performed with the SAAB SFT vehicle.

KEYWORDS

Skid resistance, cement concrete pavements, volumetric technique, pendulum tester, SAAB SFT

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM GRAFŮ	13
ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	14
1 TEORETICKÁ ČÁST	15
1.1 Protismykové vlastnosti	15
1.1.1 Definice protismykových vlastností	15
1.1.2 Faktory ovlivňující protismykové vlastnosti	18
1.2 Cementobetonové kryty	29
1.2.1 Historie cementobetonových krytů	29
1.2.2 Charakteristika a typy cementobetonových krytů	33
1.2.3 Požadavky na cementobetonový kryt	38
1.2.4 Provádění cementobetonových krytů	41
1.2.5 Obnova protismykových vlastností cementobetonových krytů	44
1.3 Metody měření protismykových vlastností	47
1.3.1 Historie měření protismykových vlastností	47
1.3.2 Metody a vybavení pro měření protismykových vlastností	50
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	64
2.1 Výběr a popis měřených úseků	64
2.2 Provádění měření	70
2.3 Vyhodnocení naměřených dat	91
2.3.1 Vyhodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem	91
2.3.2 Vyhodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěnou odměrnou metodou	96
2.3.3 Vyhodnocení protismykových vlastností povrchu vozovky zjištěných měřícím vozidlem SFT	98
3 ANALÝZA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	101
ZÁVĚR	114
ZDROJE	116
SEZNAM PŘÍLOH	122

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Fyzikální definice součinitele tření	16
Obr. 2 Mikrotextura a makrotextura obrusné vrstvy [56].....	19
Obr. 3 Rozdělení textury vozovky podle vlnové délky [56]	19
Obr. 4 Součinitel tření v závislosti na druhu kameniva a vlhkosti [6].....	20
Obr. 5 Ruční míchání čerstvého betonu pro stavbu pozemní komunikace [23]	30
Obr. 6 Woodward Avenue, Detroit, stát Michigan [28]	31
Obr. 7 Příčný řez spojitě vyztuženým cementobetonovým krytem [37]	38
Obr. 8 Pokládka čerstvého betonu do pevných bočnic na ulici Sladkovského v Pardubicích .	42
Obr. 9 Pokládka cementobetonového krytu [25]	44
Obr. 10 Vlevo tryskání kovových částic, vpravo tryskání vodou [64]	45
Obr. 11 Vlevo hlava frézy, vpravo brusný kotouč [64]	45
Obr. 12 Obnova protismykových vlastností pomocí emulzního mikrokoberce [64].....	46
Obr. 13 Motocykl s postranním vozíkem pro měření protismykových vlastností [2]	48
Obr. 14 Citroën Traction Avant s pátým kolem pro měření protismykových vlastností [2][44]	48
Obr. 15 Měřicí zařízení SCRIM [2]	49
Obr. 16 Princip MPD [60]	51
Obr. 17 Vlevo Pojízdny profilometr s vysokou rychlostí měření [52], vlevo profilometr s nízkou rychlostí měření [53].....	52
Obr. 18 Schéma výtokoměru [62].....	53
Obr. 19 Griptester [17].....	56
Obr. 20 TRT – Tatra 613 [46]	57
Obr. 21 Měřicí vozidlo TRT [18].....	58
Obr. 22 Modernizované vozidlo TRT [20].....	59
Obr. 23 Měřicí vozidlo SCRIM [16].....	61
Obr. 24 T2GO (vlevo) a VTI (vpravo) [10]	62
Obr. 25 Vlevo nahoře PERVIA 20, vpravo nahoře PERVIA 30, vlevo dole PERVIA 10 a vpravo dole podlahový halový beton.....	65
Obr. 26 LKHK [50].....	67
Obr. 27 Ulice Sladkovského [51].....	68

Obr. 28 Kyvadlo MATEST A113	71
Obr. 29 Schéma měřících míst LKHK	73
Obr. 30 Měření v areálu CEMEX	75
Obr. 31 Schéma měřících míst na ulici Sladkovského	76
Obr. 32 Vlevo měření na ulici Sladkovského, vpravo měření na LKHK	79
Obr. 33 Pomůcky pro měření odměrnou metodou	82
Obr. 34 Měření makrotextury odměrnou metodou na ulici Sladkovského	83
Obr. 35 Měřicí vozidlo SAAB 900 SFT	84
Obr. 36 Tiskárna s fotopapírem a řídicí panel	85
Obr. 37 Kalibrace měřícího kola pomocí posuvných saní	86
Obr. 38 Měřicí vozidlo ASFT	89
Obr. 39 Digitalizace systému, vlevo SAAB SFT, vpravo Škoda ASFT	89

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Faktory ovlivňující protismykové vlastnosti vozovky [5]	18
Tab. 2 Součinitele tření v závislosti na klimatických podmínkách [2].....	27
Tab. 3 Dělení CB krytů [63].....	39
Tab. 4 Požadované zrnitost kameniva [63]	40
Tab. 5 Klasifikační stupeň pro danou měřící rychlost a součinitel podélného tření [56]	63
Tab. 6 PTV LKHK 11.9.2024	73
Tab. 7 PTV LKHK 6.11.2024	74
Tab. 8 PTV CEMEX – areál 1.10.2024.....	74
Tab. 9 PTV CEMEX – hala 1.10.2024.....	75
Tab. 10 PTV Sladkovského 5.11.2022	76
Tab. 11 PTV Sladkovského 14.3.2023	77
Tab. 12 PTV Sladkovského 27.6.2023	77
Tab. 13 PTV Sladkovského 20.2.2024 – 1	77
Tab. 14 PTV Sladkovského 20.2.2024 – 2	78
Tab. 15 PTV Sladkovského 17.7.2024	78
Tab. 16 PTV Sladkovského 23.11.2024	78
Tab. 17 MTD Sladkovského 23.11.2024.....	80
Tab. 18 MTD LKHK 11.9.2024.....	81
Tab. 19 MTD LKHK 6.11.2024.....	81
Tab. 20 SFT LKHK 11.9.2024 Tax A	87
Tab. 21 SFT LKHK 11.9.2024 Tax B	87
Tab. 22 SFT LKHK 6.11.2024 Tax A	88
Tab. 23 SFT LKHK 6.11.2024 Tax B	88
Tab. 24 Souhrn měření.....	90
Tab. 25 Oprava průměru naměřených teplot dle teploty povrchu [57].....	91
Tab. 26 Klasifikační stupně dle opravené hodnoty PTV [56]	91
Tab. 27 Vyhodnocení PTV LKHK 11.9.2024.....	92
Tab. 28 Vyhodnocení PTV LKHK 6.11.2024.....	92
Tab. 29 Vyhodnocení PTV CEMEX – areál 1.10.2024	93

Tab. 30 Vyhodnocení PTV CEMEX – hala 1.10.2024.....	93
Tab. 31 Vyhodnocení PTV Sladkovského 5.11.2022.....	94
Tab. 32 Vyhodnocení PTV Sladkovského 14.3.2023.....	94
Tab. 33 Vyhodnocení PTV Sladkovského 27.6.2023.....	94
Tab. 34 Vyhodnocení PTV Sladkovského 20.2.2024 – 1.....	95
Tab. 35 Vyhodnocení PTV Sladkovského 20.2.2024 – 2.....	95
Tab. 36 Vyhodnocení PTV Sladkovského 17.7.2024.....	95
Tab. 37 Vyhodnocení PTV Sladkovského 23.11.2024.....	96
Tab. 38 Klasifikační stupně dle vypočítané hodnoty MTD [56].....	96
Tab. 39 Klasifikační stupně dle vypočítané hodnoty MTD pro letištní plochy [65]	97
Tab. 40 Vyhodnocení MTD LKHK 11.9.2024	97
Tab. 41 Vyhodnocení MTD LKHK 6.11.2024	97
Tab. 42 Vyhodnocení MTD Sladkovského 23.11.2024	98
Tab. 43 Hodnoty pro hodnocení protismykových vlastností SFT [55]	99
Tab. 44 Vyhodnocení SFT LKHK 11.9.2024	99
Tab. 45 Vyhodnocení SFT LKHK 6.11.2024	100

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Vliv klasifikačního stupně protismykových vlastností na počet nehod [1]	17
Graf 2 Závislost součinitele tření na stáří povrchu vozovky [9]	22
Graf 3 Vývoj protismykových vlastností během 48 měsíců [8]	23
Graf 4 Závislost rychlosti na brzdě dráze při různých součinitelích tření [10]	25
Graf 5 Závislost rychlosti na součiniteli tření [11]	26
Graf 6 Závislost teploty povrchu (PT) na součiniteli tření [12]	26
Graf 7 Závislost teploty cementobetonového a asfaltového povrchu [13]	27
Graf 8 Podíl jednotlivých typů povrchů na území ČR v roce 1965 [22]	33
Graf 9 Využití jednotlivých typů cementobetonových krytů v Severní Americe [36]	36
Graf 10 Počet pohybů na LKHK [49]	67
Graf 11 Vliv teploty na neopravené hodnoty PTV	101
Graf 12 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV	102
Graf 13 Vliv teploty na opravené průměry hodnot PTV dle normy	103
Graf 14 Vliv teploty na opravené průměry hodnot PTV navrženou korekcí	104
Graf 15 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – logaritmická spojnice trendu ..	105
Graf 16 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – lineární spojnice trendu	105
Graf 17 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – exponenciální spojnice trendu	105
Graf 18 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – polynom 3. stupně	106
Graf 19 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – polynom 5. stupně	106
Graf 20 Vliv teploty na průměry hodnot PTV a SFT	107
Graf 21 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch s nátěrem	108
Graf 22 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch bez nátěru	108
Graf 23 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch s nátěrem	109
Graf 24 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch bez nátěru	109
Graf 25 Závislost MTD a PTV 11.9.2024	110
Graf 26 Závislost MTD a PTV 6.11.2024	110
Graf 27 Závislost MTD a PTV 23.11.2024	111
Graf 28 Závislost průměrných hodnot MTD a PTV	111
Graf 29 Poměr mezi hodnotami MTD a PTV	112

ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Protismykové vlastnosti povrchů pozemních komunikací jsou zásadním faktorem ovlivňujícím bezpečnost silničního provozu. Jejich význam spočívá v přenosu sil mezi pneumatikou vozidla a vozovkou, což ovlivňuje nejen brzdnou dráhu, ale také stabilitu vozidla při různých provozních podmínkách. Tyto vlastnosti mají zásadní roli při minimalizaci rizika nehod, zejména za nepříznivých klimatických podmínek, jako jsou déšť, námraza nebo sníh. V kontextu neustálého zvyšování intenzity dopravy a rostoucích požadavků na bezpečnost silniční infrastruktury se stává hodnocení a optimalizace těchto vlastností nepostradatelnou součástí dopravního inženýrství.

Cílem této práce je podrobně analyzovat problematiku protismykových vlastností povrchů vozovek a provést experimentální měření na vybraných úsecích komunikací za použití odlišných metod. Tyto metody zahrnují přímé i nepřímé přístupy, které se liší nejen principem měření, ale také citlivostí na různé faktory ovlivňující výsledné hodnoty. Součástí práce je také vyhodnocení vzájemných závislostí mezi jednotlivými metodami měření a proměnnými, jako jsou teplota povrchu či stáří povrchu. Tímto způsobem je možné poskytnout nejen praktická doporučení pro hodnocení povrchů, ale také přispět k lepšímu pochopení faktorů, které ovlivňují bezpečnost dopravy.

Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. Teoretická část se zaměřuje na popis základních fyzikálních principů a charakteristiku parametrů, jež ovlivňují protismykové vlastnosti. Podrobně jsou popsány mikrotextura a makrotextura povrchu, význam tření a součinitele tření, stejně jako vliv klimatických podmínek a vlastností pneumatik na přilnavost k povrchu vozovky. Dále jsou zde rozebrány metody měření používané v praxi, jejich výhody, omezení a aplikace v různých podmínkách.

V první části experimentální části budou vypsány měřené úseky včetně charakteristiky, geografické polohy a počtů měření na jednotlivých površích. Cílem experimentální práce pak bude stanovit protismykové vlastnosti (klasifikační stupně) povrchu vozovky pomocí tří základních metod. První metodou bude zjišťování součinitele tření povrchu vozovky pomocí kyvadla. Druhou metodou je měření střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou, která zohledňuje vztah makrotextury k protismykovým vlastnostem. Poslední metodou bude měření za použití měřicího vozidla SFT.

V závěru experimentální části bude provedena analýza naměřených dat, zaměřená na závislosti mezi jednotlivými metodami měření a vybranými faktory, jako jsou teplota a stáří povrchu.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato kapitola se věnuje protismykovým vlastnostem cementobetonových krytů, přičemž se zaměřuje na jejich definici a faktory, které tyto vlastnosti ovlivňují. Dále jsou podrobně popsány cementobetonové kryty, včetně jejich historie, požadavků a postupů pokládky. V závěrečné části kapitoly jsou uvedeny metody měření protismykových vlastností, doplněné o přehled jejich historického vývoje.

1.1 Protismykové vlastnosti

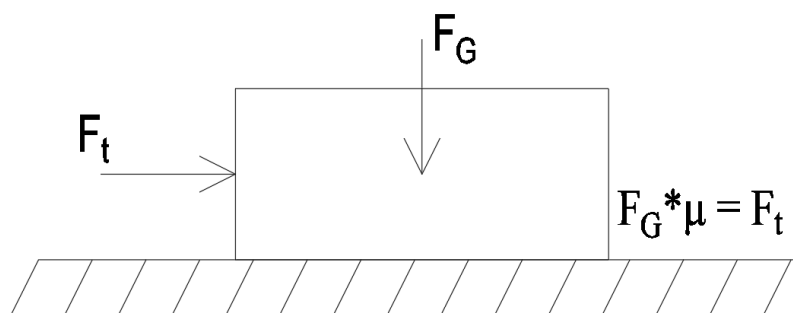
Protismykové vlastnosti představují zásadní parametr ovlivňující bezpečnost a provozuschopnost pozemních komunikací. Tyto vlastnosti jsou definovány schopností povrchu vozovky zajišťovat dostatečnou přilnavost mezi pneumatikou a povrchem, a tím umožňovat bezpečné brzdění, akceleraci a ovladatelnost vozidla. Protismykové vlastnosti jsou ovlivňovány mnohými faktory, které jsou podrobně rozebrány v této kapitole.

1.1.1 Definice protismykových vlastností

Základní funkce povrchu vozovky v tomto kontextu spočívá v zajištění dostatečné úrovně tření, které umožňuje interakci mezi pneumatikou a povrchem. Tření lze chápat jako odpor, který brání relativnímu pohybu mezi dvěma povrchy, v tomto případě mezi pneumatikou a vozovkou. Čím lepší je tření, tím vyšší je stabilita vozidla, což snižuje riziko smyku a ztráty kontroly nad vozidlem. [56]

Z fyzikálního hlediska (viz obr. 1) lze protismykové vlastnosti popsat pomocí součinitele tření μ . Tento součinitel je dán poměrem mezi tíhovou silou F_G a vodorovnou silou F_t . Tíhová síla F_G se vypočítává jako součin hmotnosti tělesa m a tíhového zrychlení g , které má hodnotu přibližně $9,81 \text{ m/s}^2$. Tato síla představuje působení gravitace na těleso, například vozidlo, které se pohybuje po povrchu vozovky. [2]

Na druhé straně vodorovná síla F_t vyjadřuje sílu, která je nutná k překonání odporu povrchu, aby došlo k pohybu tělesa, v tomto případě vozidla [2]. Poměr těchto dvou sil, tíhové a vodorovné, určuje součinitel tření, který je výsledným ukazatelem pro hodnocení protismykových vlastností povrchu, například pro měření protismykových vlastností letištních ploch.



Obr. 1 Fyzikální definice součinitele tření

Z pohledu dopravního stavitelství není možné přímo ovlivnit vodorovnou sílu F_t , tedy sílu potřebnou k pohybu vozidla po povrchu. Lze však přímo ovlivňovat součinitel tření μ , který je zásadním faktorem pro bezpečnost jízdy. Tento součinitel tření závisí na kvalitě povrchu vozovky, konkrétně na její textuře, jako jsou mikrotextura a makrotextura, které mohou být optimalizovány během navrhování a výstavby komunikace. Zlepšením povrchu je možné zvýšit tření mezi pneumatikou vozidla a vozovkou, což přispívá k lepšímu ovládní vozidla a zkrácení brzdné dráhy.

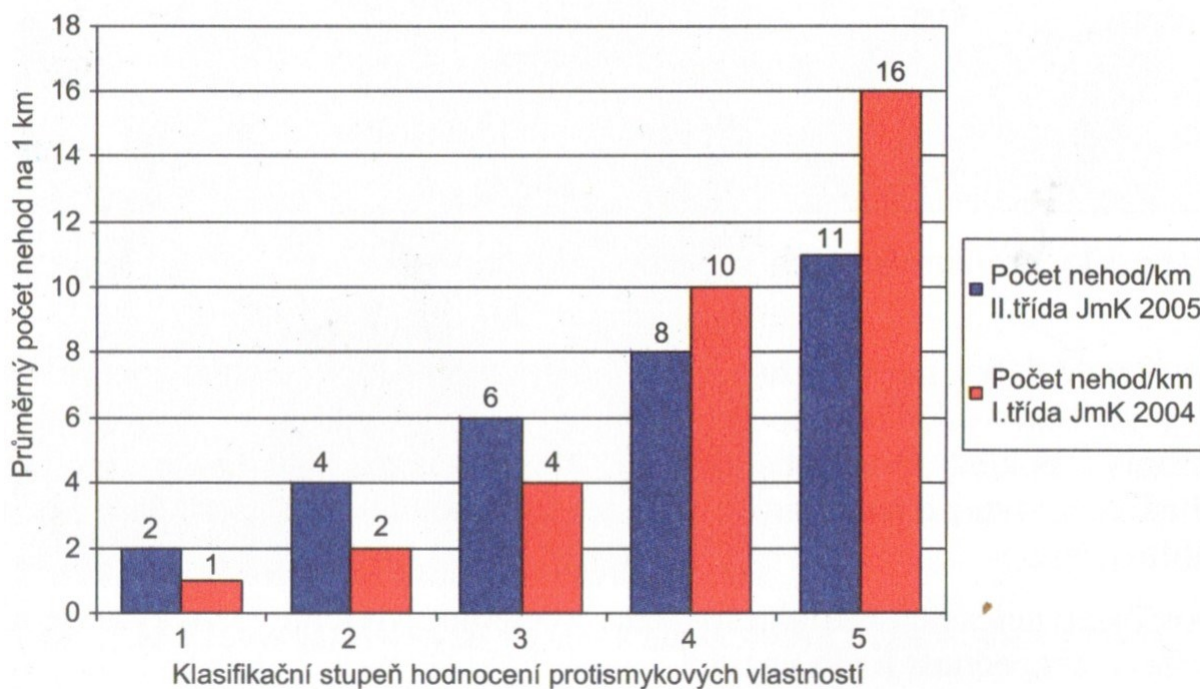
Podélné nerovnosti a různé povrchové defekty, které se mohou vyskytovat jak na tuhých, tak na netuhých vozovkách, jako jsou například výtluky, hrboly nebo jiné poruchy povrchu mohou negativně ovlivnit tíhovou sílu F_G . Tyto nerovnosti mohou způsobit dodatečné vertikální pohyby vozidla, které vedou k náhlým změnám zrychlení. Toto zrychlení, v kombinaci s hmotností vozidla, může ovlivnit rovnováhu sil působících na vozidlo, což následně negativně ovlivní celkový součinitel tření. V důsledku toho dochází ke zhoršení součinitele tření μ , což znamená, že vozidlo má horší přilnavost k vozovce. To může vést ke zhoršené ovladatelnosti vozidla, delším brzdným drahám a zvýšenému riziku nehod. Z tohoto důvodu je v dopravním stavitelství kladen velký důraz na minimalizaci nerovností a poruch povrchu vozovky, aby byla zajištěna co nejvyšší hodnota součinitele tření a tím i bezpečnost silničního provozu.

Protismykové vlastnosti jsou běžně hodnoceny na škále od velmi dobrých až po havarijní stav. Tento klasifikační systém zahrnuje pět stupňů, které pomáhají stanovit, zda je povrch vozovky bezpečný pro provoz [57]:

1. Velmi dobré protismykové vlastnosti
2. Dobré protismykové vlastnosti
3. Vyhovující protismykové vlastnosti
4. Nevyhovující protismykové vlastnosti
5. Havarijní stav

Tento systém hodnocení poskytuje důležitou zpětnou vazbu pro údržbu a opravy komunikací, což je klíčové pro udržení bezpečnosti na silnicích.

Grafické znázornění průměrného počtu nehod na kilometr silnice I. a II. třídy v JmK



Graf 1 Vliv klasifikačního stupně protismykových vlastností na počet nehod [1]

Z přiloženého grafu 1, který znázorňuje data vztahující se k rokům 2004 a 2005, lze vyvodit několik důležitých závěrů ohledně závislosti dopravních nehod na kvalitě protismykových vlastností silnic. U silnic II. třídy je zřejmé, že počet nehod roste lineárně s horším se klasifikačním stupněm protismykových vlastností. To znamená, že se zde zhoršení povrchu

projevuje přibližně rovnoměrným nárůstem nehodovosti, tedy každé zhoršení protismykových vlastností vede k přibližně stejnému přírůstku počtu nehod.

Podle grafu 1 lze pozorovat, že kritická úroveň, kdy dochází k prudkému nárůstu počtu nehod, se nachází v bodě, kdy povrch vozovky přechází z 3. do 4. klasifikačního stupně. Tento přechod znamená změnu stavu povrchu z vyhovujícího, který stále splňuje minimální bezpečnostní požadavky, do nevyhovujícího stavu, který již nespĺňuje kritéria potřebná pro bezpečný provoz. V tomto bodě dochází k zásadnímu zhoršení protismykových vlastností, což výrazně zvyšuje riziko dopravních nehod. Jakmile vozovka dosáhne této úrovně, negativní vliv na bezpečnost se stává mnohem intenzivnějším.

Tento rozdíl mezi silnicemi I. a II. třídy může být způsoben nejen rozdílným dopravním zatížením, ale také odlišnými rychlostními limity a intenzitou dopravy. U silnic I. třídy, kde jsou vyšší rychlosti běžné, se zhoršení protismykových vlastností projeví mnohem vážněji, což vysvětluje rychlejší nárůst počtu nehod. Naopak u silnic II. třídy, kde jsou rychlosti obvykle nižší a dopravní zatížení méně intenzivní, je vztah mezi stavem povrchu a nehodovostí více rovnoměrný.

Kromě protismykových vlastností existují i další důležité charakteristiky povrchu, které ovlivňují jízdní komfort a bezpečnost. Patří sem zejména nerovnosti povrchu, které mají vliv nejen na pohodlí jízdy, ale také na celkovou stabilitu vozidla. Dalším faktorem je hluk, který vzniká při styku pneumatiky s povrchem vozovky a může ovlivnit jak komfort řidiče, tak okolní prostředí. [1]

1.1.2 Faktory ovlivňující protismykové vlastnosti

Protismykové vlastnosti závisí na mnoha faktorech, které lze rozřadit do čtyřech základních skupin (viz tab. 1), a to vlastnosti povrchu, parametry vozidel, parametry pneumatik a klimatické podmínky [5]:

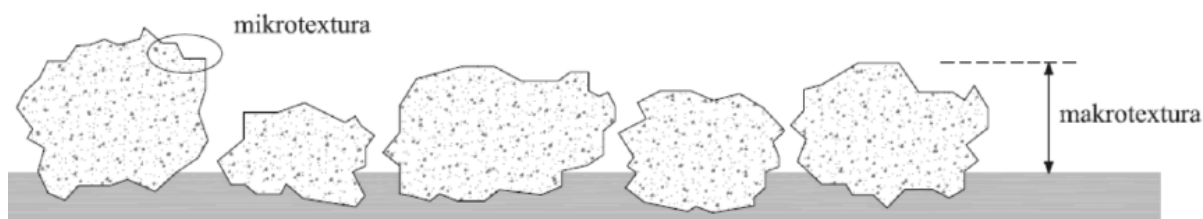
Povrchové vlastnosti	Parametry vozidel	Parametry pneumatik	Klimatické podmínky
Mikrotextura	Rychlost vozidla	Dezén pneumatiky	Teplota
Makrotextura	Zatížení vozidla	Hloubka dezénu	Intenzita deště
Vlastnosti kameniva		Tlak v pneumatice	Znečištění
Stáří povrchu			

Tab. 1 Faktory ovlivňující protismykové vlastnosti vozovky [5]

Mikrotextura a makrotextura

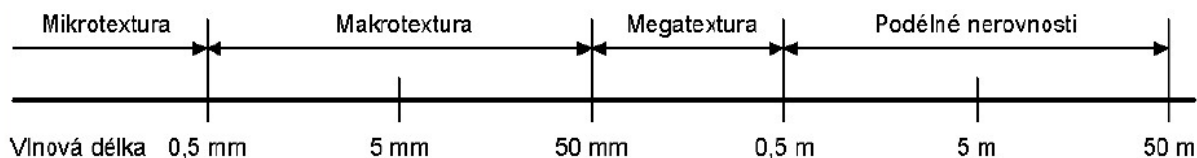
Mezi nejvýznamnější parametry ovlivňující protismykové vlastnosti patří mikrotextura a makrotextura (viz obr. 2) povrchu vozovky. Mikrotextura se vyznačuje ostrohranností a tvarem jednotlivých zrn kameniva, což vytváří drobné výstupky na povrchu vozovky. Tyto výstupky se charakterizují jako odchylky od ideálně hladkého povrchu, s velikostí menší než 0,5 mm. Makrotextura představuje větší odchylky, které se pohybují v rozmezí od 0,5 mm do 50 mm, jedná se tak o uspořádání samotných zrn v povrchu vozovky a má přímý vliv na odvod vody, čímž zvyšuje adhezi pneumatiky k povrchu za mokra. [56]

Makrotextura u cementobetonových krytů je vytvářena po pokládce obrusné vrstvy pomocí vlečné juty, nebo pomocí kartáčů. U letištních ploch je třeba, aby makrotextura byla hrubší. To je z důvodu, aby bylo zajištěno efektivní odvodnění a minimalizováno riziko aquaplaningu, jelikož letadla jsou vybavena specifickými typy pneumatik a dosahují při přistání a vzletu mnohem vyšších rychlostí než silniční vozidla [21].



Obr. 2 Mikrotextura a makrotextura obrusné vrstvy [56]

Do textury vozovky dále řadíme megatexturu a podélné nerovnosti (viz obr. 2), které však nemají žádný vliv na protismykové vlastnosti vozovky, mají však svůj vliv na bezpečnost a komfort jízdy po pozemní komunikaci. Megatextura, která zahrnuje odchylky větší než 50 mm a zároveň menší než 0,5 m. Podélné nerovnosti jsou pak odchylky větší než 0,5 m. [1] [56]

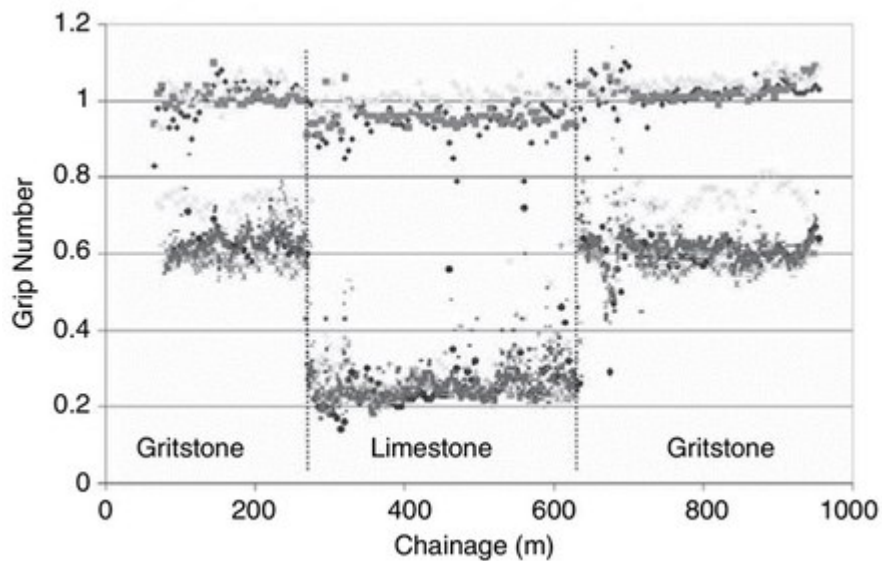


Obr. 3 Rozdělení textury vozovky podle vlnové délky [56]

Mezi další povrchové vlastnosti řadíme nerovnosti povrchu vozovky a hluk, který je vyvolán přejezdem pneumatiky vozidla po povrchu vozovky.

Kamenivo

Kamenivo představuje základní složku obrusných vrstev, ať už se jedná o asfaltové, nebo betonové povrchy, které tvoří mikrotexturu. Samotná Mikrotextura a parametry kameniva závisí na geologickém původu [6]. Například těžené kamenivo má obvykle hladší povrch, což negativně ovlivňuje jeho protismykové vlastnosti. Na druhou stranu kamenivo, které je získáno procesem drcení, se vyznačuje ostrými hranami a hrubší texturou, což výrazně zlepšuje jeho schopnost poskytovat protismykové vlastnosti.



Obr. 4 Součinitel tření v závislosti na druhu kameniva a vlhkosti [6]

Z uvedeného obrázku 4 je patrné, že u suchých povrchů jsou hodnoty součinitele tření (grip number) pro pískovec (gritstone) a vápenec (limestone) téměř totožné. Avšak v případě vlhkého povrchu dochází k výrazným rozdílům mezi těmito materiály. Zatímco mokřý pískovec vykazuje snížení součinitele tření přibližně o 35 %, což odpovídá hodnotě kolem 0,65, vápenec vykazuje mnohem větší pokles. U něj dochází k poklesu součinitele tření o zhruba 70 %, což ho snižuje na hodnotu 0,25. Tento rozdíl jasně poukazuje na to, že geologický původ jednotlivých typů kameniva mají významný dopad na jejich protiskluzové vlastnosti. Z toho vyplývá, že při výběru kameniva pro obrusné vrstvy je nutné brát v úvahu nejen povrchový materiál, ale i jeho chování v různých podmínkách, aby byly zajištěny co nejlepší jízdní vlastnosti a bezpečnost vozovky.

Parametry použitého kameniva a jeho optimální množství v obrusné vrstvě vozovky mají zásadní roli při zajišťování dobrých protismykových vlastností. Správný výběr kameniva přispívá nejen k vytvoření povrchu s vysokou přilnavostí, ale také k dlouhodobé udržitelnosti těchto protismykových charakteristik. [3]

Kamenivo z vyvřelých nebo přeměněných (metamorfovaných hornin) vykazují menší náchylnost k ohlazení. S rostoucím podílem minerálů, jako je kalcit a dolomit, se náchylnost k ohlazení dále snižuje. [6]

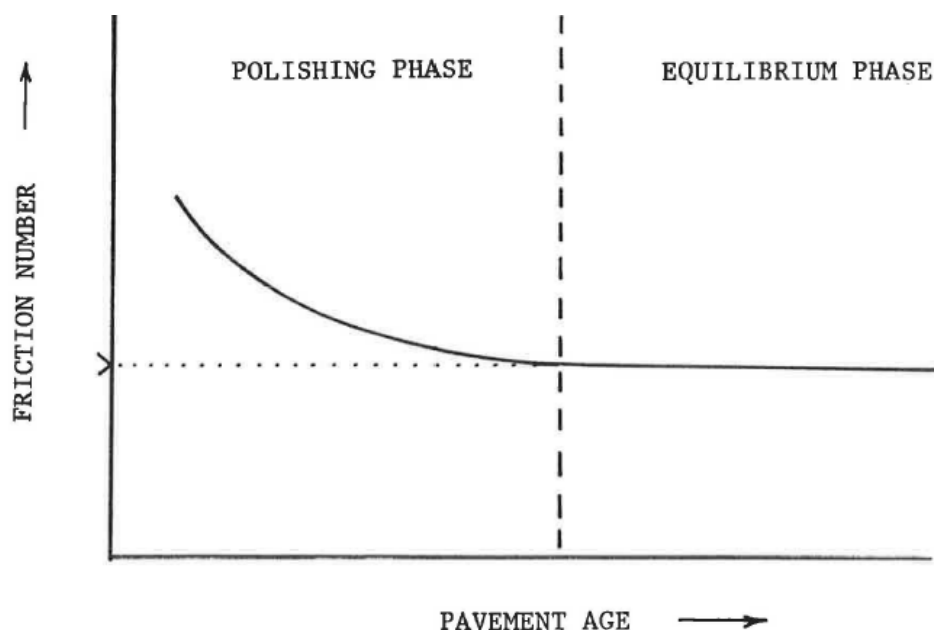
Štěpnost nerostů hraje rovněž významnou roli v procesu ohlazení kameniva. Čím menší má nerost štěpnost a čím jemnější je velikost jeho zrn, tím větší je jeho odolnost vůči postupnému ohlazení při používání. [7]

Mezi nejdůležitější faktory, které mají přímý vliv na zachování těchto protismykových vlastností, patří ohladitelnost použitého kameniva. Ohladitelnost se týká odolnosti jednotlivých zrn kameniva proti mechanickému opotřebení a postupnému zaoblování jejich ostrých hran vlivem provozu. Čím je kamenivo odolnější vůči ohlazení, tím déle si vozovka zachová své původní protismykové vlastnosti.

Výběr kameniva s vysokou odolností proti ohlazení snižuje zároveň nároky na časté opravy a údržbu komunikace vlivem ztráty protismykových vlastností.

Stáří povrchu

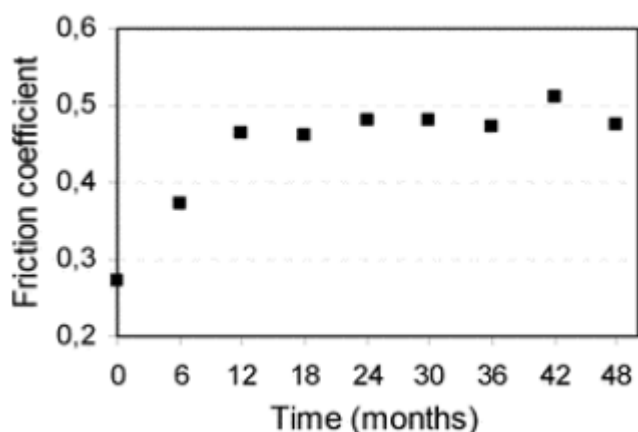
Protismykové vlastnosti vozovek se postupem času nevyhnutelně zhoršují, a to především vlivem abrazivního působení dopravy. Tento efekt je kumulativní, což znamená, že s narůstající intenzitou dopravy dochází k postupnému opotřebení obrusné vrstvy. V důsledku toho se kamenivo, které tvoří povrch vozovky, postupně ohlazuje, což vede ke ztrátě jeho původních protismykových vlastností. Tento proces je urychlován především nákladní dopravou, ať už jde o lehká nákladní vozidla, středně těžké nákladní automobily s přívěsem nebo bez něj, těžká nákladní vozidla rovněž s přívěsem nebo bez něj, stejně jako návěsové soupravy a autobusy. Tato vozidla výrazně přispívají k mechanickému opotřebení povrchu, protože jejich hmotnost a frekvence používání vozovky výrazně zvyšují míru namáhání obrusné vrstvy, což vede k urychlení procesu ohlazování a stárnutí povrchu. Tento dlouhodobý vliv dopravy musí být zohledněn při navrhování a údržbě silnic, aby byly zachovány co nejlepší jízdní podmínky po návrhové období pozemní komunikace. [5][58]



Graf 2 Závislost součinitele tření na stáří povrchu vozovky [9]

Z grafu 2 je patrné, že proces stárnutí povrchu neprobíhá neomezeně. Po určité době dosáhne povrch kameniva stavu, kdy je již natolik ohlazený, že se další výrazná degradace součinitele tření téměř zastaví. Tento stav lze označit za stabilní fázi (ekvilibrum phase), kdy nedochází k dalšímu snižování součinitele tření, protože kamenivo již ztratilo většinu své původní drsnosti. Nicméně tento stav může odpovídat klasifikačním stupňům 4 a 5.

Po výstavbě a otevření pozemní komunikace dochází v relativně krátkém časovém období ke zlepšení protismykových vlastností povrchu. Tento jev je způsoben tím, že při projíždění vozidel dochází k postupnému vymývání počátečního filmu pojiva, který pokrývá povrch vozovky. Jak se tento pojivový film opotřebovává a odstraňuje, dochází k postupnému obnažování jednotlivých zrn kameniva, čímž se zlepšuje jak mikrotextura, tak makrotextura povrchu. Nicméně po dokončení tohoto procesu a po dalším průjezdu vozidel začne docházet k postupnému opotřebování kameniva a tím i ke zhoršování protismykových vlastností. [5]



Graf 3 Vývoj protismykových vlastností během 48 měsíců [8]

Z přiloženého grafu 3 vyplývá, že nárůst protismykových vlastností po výstavbě vlivem obnažování kameniva trvá zhruba jeden rok. Po uplynutí tohoto přibližně jednoletého období se však protismykové vlastnosti vozovky ustálí a dosáhnou stabilního stavu. Od této chvíle již nedochází k dalšímu výraznému zlepšování, ale naopak postupně dochází ke zhoršování protismykových vlastností, a to v závislosti na intenzitě dopravy, klimatických podmínkách a dalších faktorech.

Mimo dopravu mají na stárnutí povrchu a s tím související změnu protismykových vlastností vliv i klimatické podmínky. Teplotní výkyvy, mráz, déšť a působení slunečního záření postupně ovlivňují strukturu a kvalitu vozovky. Například opakované cykly zamrznání a rozmrznání vody mohou způsobit mikrotrhliny v povrchu, které vedou k narušení obrusné vrstvy. Voda se dostává do těchto trhlin, kde při dalším zamrznutí roztahuje materiál a postupně oslabuje jeho soudržnost. Dlouhodobé působení deště navíc může smývat pojivové složky z povrchu a tím přispívat k urychlení opotřebení kameniva. Sluneční záření a zejména ultrafialové paprsky zase urychlují degradaci asfaltových směsí, což vede k jejich křehnutí a následné ztrátě pružnosti. Tím se povrch stává náchylnějším k praskání a ohlazení, což opět negativně ovlivňuje protismykové vlastnosti. Kromě asfaltových povrchů jsou klimatické podmínky a doprava významnými faktory ovlivňujícími stárnutí i u cementobetonových povrchů. I když je cementobetonový povrch odolnější vůči některým vlivům, jako je teplotní roztažnost nebo působení ultrafialového záření, není zcela imunní vůči opotřebení. Například cykly zamrznání a rozmrznání vody mohou způsobovat vznik mikrotrhlin také v cementobetonovém povrchu. Tyto trhliny se s časem zvětšují, což vede k degradaci povrchu a následnému snížení protiskuzových vlastností. Navíc voda může způsobit erozi a narušovat povrchový cementový film, který se postupně opotřebovává a ztrácí svou původní texturu. [8]

Parametry pneumatik

Dezén pneumatik a jeho hloubka jsou dalším významným faktorem ovlivňujícím protismykové vlastnosti vozidla, zejména na mokřém povrchu vozovky. Dezén, tedy vzorek na běhounu pneumatiky, pomáhá v odvádění vody z prostoru mezi pneumatikou a povrchem vozovky. Pokud je povrch vozovky pokrytý vodou, sněhem nebo jinými nečistotami, může dojít ke ztrátě přilnavosti pneumatik. [3]

Funkcí dezénu je prostřednictvím speciálně navržených drážek a kanálků umožnit účinný odvod vody a dalších nežádoucích materiálů mimo oblast přímého kontaktu mezi pneumatikou a vozovkou. Když je voda správně odváděna, zvyšuje se kontaktní plocha mezi pneumatikou a povrchem, což výrazně zlepšuje přilnavost, i za nepříznivých klimatických podmínek, jako jsou silné deště, mokřý sníh nebo bláto. Tento proces pomáhá zabránit nebezpečnému jevu, známému jako aquaplaning, při kterém se mezi pneumatikou a vozovkou vytváří vrstva vody, jež může vést ke ztrátě kontroly nad vozidlem. [3]

Hloubka dezénu přímo ovlivňuje schopnost odvádět vodu. S postupným opotřebením pneumatik dochází k mělkosti dezénových drážek, což omezuje efektivitu odvodu vody a snižuje protismykové vlastnosti, zejména na mokřé vozovce. Čím hlubší je dezén, tím více vody dokáže pneumatika odvést, a tím lépe se vozidlo přizpůsobí různým povětrnostním podmínkám.

Nedostatečné nahuštění pneumatik může vyústit k uzavření vody uprostřed styku pneumatiky s vozovkou a současnému zamezení odtoku vody skrze kanálky. To může vyústit ke snížení rychlosti, při které dochází k aquaplaningu. [3]

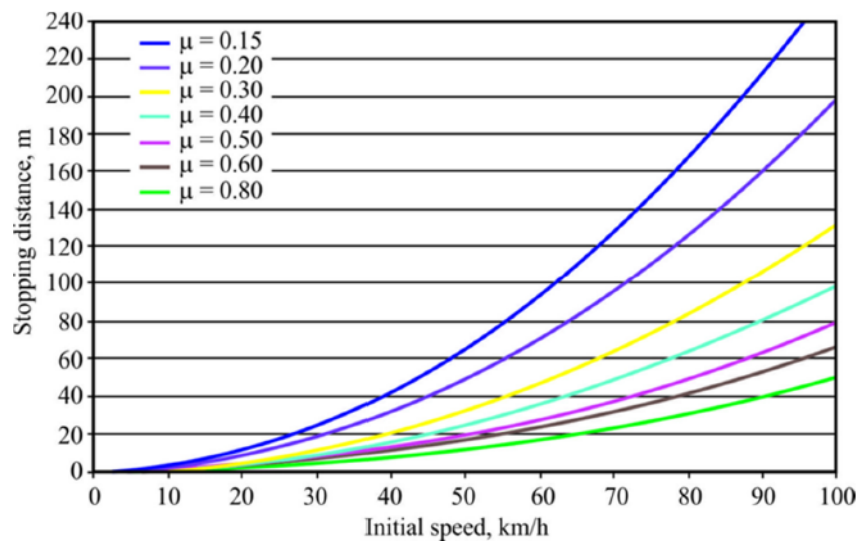
Pro dobré protismykové vlastnosti je v neposlední řadě třeba dbát i na správné složení materiálu samotné pneumatiky.

Na letištních plochách často dochází k jevu zvanému "gumování," který představuje problém především při přistání letadel. Když letadlo dosedne na povrch, náhlá změna rychlosti mezi pneumatikami a povrchem způsobí zvýšené odírání a usazování gumy z pneumatik na povrchu. Tyto vrstvy gumy postupně zakrývají jemnou mikrotexturu povrchu, aniž by výrazně zanášely makrotexturu. Tento nános má však za následek výrazné zhoršení protismykových vlastností, zejména za mokra, kdy se zvyšuje riziko skluzu a snižuje se bezpečnost při přistávání letadel. [21]

Rychlost vozidla

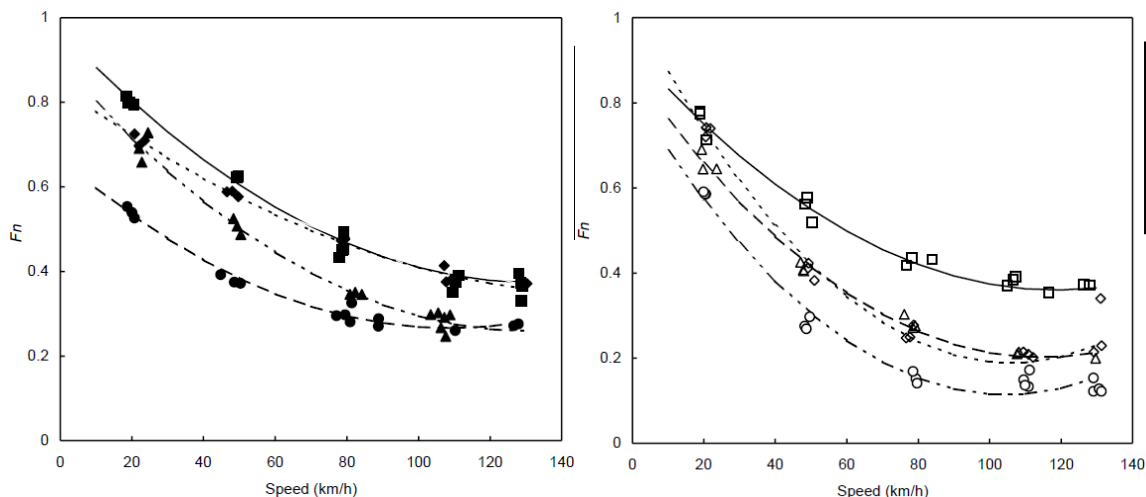
Rychlost vozidla je zásadním parametrem při jízdě na mokré vozovce, protože čím vyšší je rychlost, tím větší je riziko, že pneumatika nebude schopna dostatečně účinně odvádět vodu zpod svého kontaktu s vozovkou. Při překročení určité rychlosti se mezi povrchem pneumatiky a vozovkou začne vytvářet vodní vrstva, což způsobí, že pneumatika ztratí přímý kontakt s vozovkou a vozidlo se dostává do aquaplaningu. V tomto okamžiku se vozidlo ocitne na vrstvě vody, čímž dochází ke ztrátě přilnavosti a následnému skluzu. [5]

Dalším aspektem, který je ovlivněný rychlostí, je brzdná dráha. Z grafu 4 je patrné, že s klesajícím součinitelem tření mezi vozovkou a pneumatikou se výrazně mění chování vozidla při brzdění. Konkrétně lze pozorovat, že čím nižší je tento součinitel, tím rychleji se prodlužuje brzdná dráha vozidla s rostoucí rychlostí. Jinými slovy, při horších protismykových vlastnostech, dochází ke strmějšímu nárůstu brzdné dráhy při zvyšování rychlosti.



Graf 4 Závislost rychlosti na brzdné dráze při různých součinitelích tření [10]

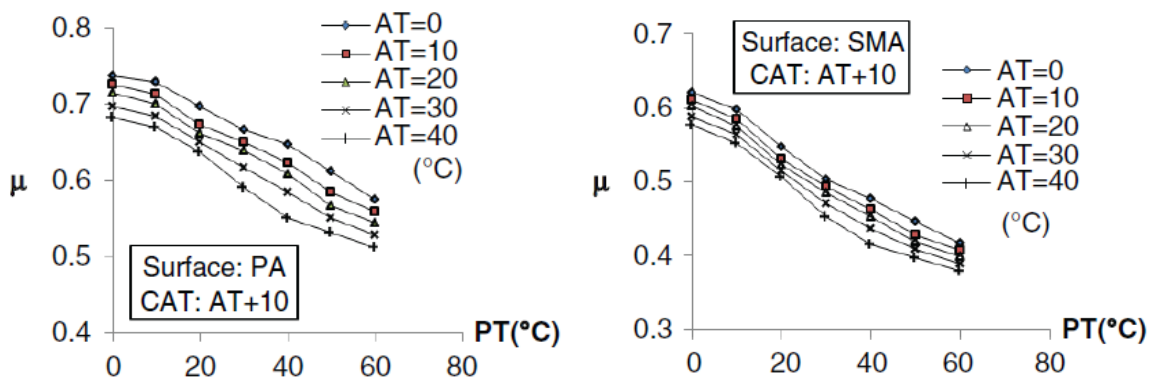
Laboratoř TRL (TRANSPORT RESEARCH LABORATORY) provedla výzkum závislosti rychlosti na součiniteli tření na různých površích (viz graf 5), například cementobetonový kryt, asfaltový koberec drenážní, asfaltový koberec mastixový, litý asfalt atd. Výzkum ukázal, že nejnižší součinitel tření na většině typech površích je při rychlosti přibližně 100 km/h. V mnoha případech byl zjištěn mírný nárůst součinitele tření v intervalu rychlosti od 100 do 130 km/h. Výsledná závislost součinitele tření na rychlosti je kvadratická. [11]



Graf 5 Závislost rychlosti na součiniteli tření [11]

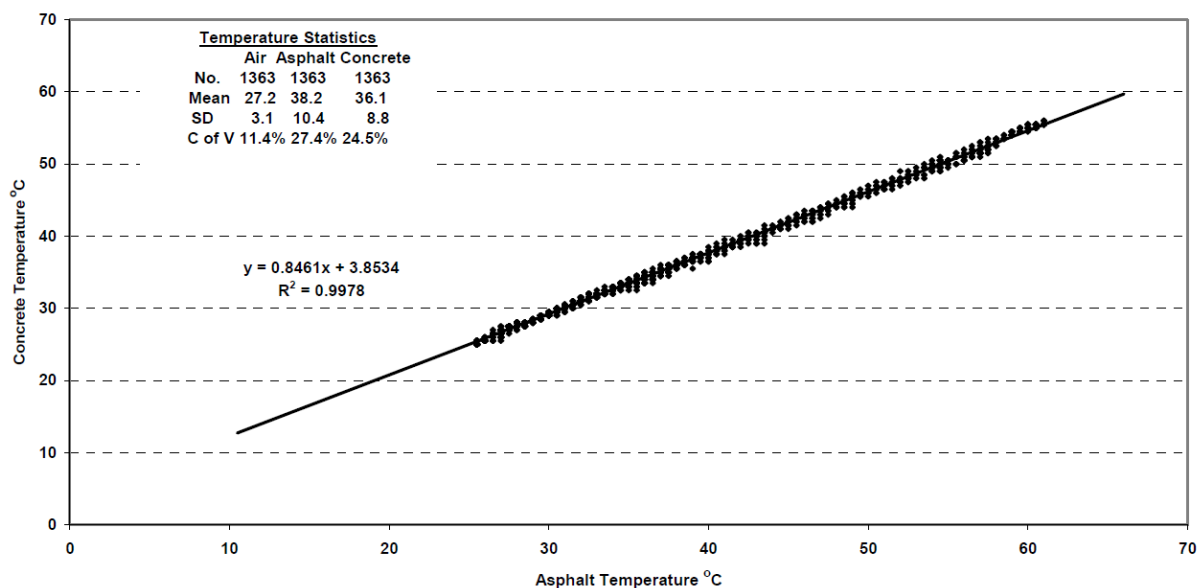
Klimatické podmínky

S rostoucí teplotou povrchu vozovky dochází k postupnému snižování součinitele tření mezi pneumatikami vozidel a vozovkou (viz graf 6). Výzkumy ukazují, že nejnižší hodnoty součinitele tření jsou zaznamenány v letních měsících, kdy teploty dosahují svého maxima, zatímco nejvyšší hodnoty bývají obvykle naměřeny na jaře, kdy jsou teploty stále mírné a povrch vozovky není vystaven extrémnímu zahřívání. Vysoké teploty v létě způsobují, že se v místě styku mezi pneumatikou a povrchem vozovky vytváří tenký film rozpouštějícího se asfaltu a pneumatiky, který může zhoršit přilnavost pneumatiky k vozovce. [12]



Graf 6 Závislost teploty povrchu (PT) na součiniteli tření [12]

Z následujícího grafu 7 je zřetelně vidět, že cementobetonový povrch se při vyšších teplotách zahřívá méně než povrch asfaltový. Díky této vlastnosti je cementobetonová vozovka méně náchylná k negativním vlivům zvyšující se teploty, zejména pokud jde o ztrátu protismykových vlastností.



Graf 7 Závislost teploty cementobetonového a asfaltového povrchu [13]

V následující tabulce 2 jsou popsány naměřené součinitele tření v závislosti na různých klimatických podmínkách. Překvapivé jsou výsledky součinitele tření u povrchu s mokrým listím, který vykazuje velmi podobné výsledky jako povrch s ledovou vrstvou.

Povrch listů rostlin je pokryt voskovitou vrstvou, která odpuzuje vodu. Kvůli této vlastnosti se voda usazuje na spadeném listí a vytváří velmi kluzký film na povrchu vozovky. [4]

Klimatické podmínky	Součinitel tření μ
Suchý povrch bez nečistot	0,80 – 1,00
Mokrý povrch bez nečistot	0,70 – 0,80
Povrch s uježděným sněhem	0,20 – 0,30
Čerstvě nasněžený sníh/břečka	0,20 – 0,50
Ledová vrstva na povrchu	0,15 – 0,30
Kombinace povrchu s neuježděným povrchem s ledovou vrstvou	0,15 – 0,25
Povrch s mokrým listím	0,05 – 0,20
Mokrý povrch s ledovou vrstvou	0,05 – 0,10

Tab. 2 Součinitele tření v závislosti na klimatických podmínkách [2]

Bylo vypočítáno, že riziko dopravní nehody výrazně roste v závislosti na hodnotě součinitele tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky. Konkrétně u obrusných vrstev, kde je součinitel

tření menší než 0,45, je pravděpodobnost vzniku nehody až 20krát vyšší než na vozovkách, kde je tento součinitel vyšší než 0,60. Pokud hodnota součinitele tření klesne dokonce pod 0,30, pravděpodobnost nehody se dramaticky zvýší až 300krát. [10]

1.2 Cementobetonové kryty

Cementobetonové kryty představují jednu z nejdůležitějších konstrukčních vrstev používaných při výstavbě nejen pozemních komunikací. Vyznačují se vysokou pevností, odolností vůči zatížení a dlouhou životností, díky čemuž nacházejí široké uplatnění zejména na dálnicích, letištních plochách a komunikacích s intenzivním provozem. Tato kapitola se věnuje jejich základní charakteristice, historii použití, požadavkům na konstrukci a materiál a postupům při jejich pokládce.

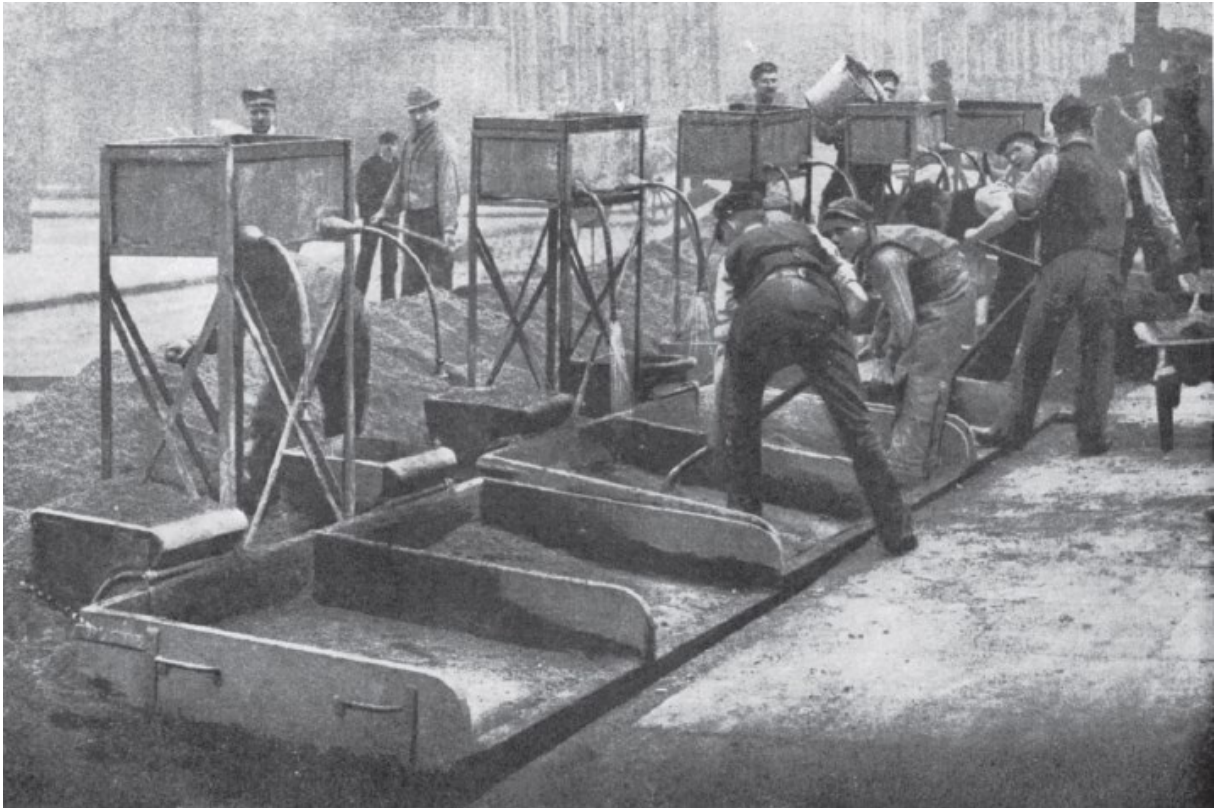
1.2.1 Historie cementobetonových krytů

Historie betonových krytů sahá až do doby antického Říma, kdy byly položeny základy pro mnoho stavebních technologií, které se v určité podobě používají dodnes. První známé zmínky o použití betonu v silniční infrastruktuře pocházejí právě z této éry. Tehdejší cesty však nebyly monolitické, jak je známe dnes, ale byly tvořeny z jednotlivých betonových dílů. Tyto díly vznikaly pomocí připravených dřevěných forem, které byly naplněny čerstvým betonem. Po zatvrdnutí byly tyto betonové segmenty jednotlivě uspořádány vedle sebe tak, aby tvořily spojitou a pevnou cestu. Tento způsob výstavby lze svým principem přirovnat k dnešním dlážděným povrchům, i když se od té doby výrazně posunuly technologie, materiály a velikosti těchto dlažebních prvků. [27]

V roce 1825 byly v Londýně poprvé použity betonové desky na stavbu úseku pozemní komunikace, který byl dlouhý 2,5 kilometru. Tyto desky však nebyly použity samostatně, ale byly pokryty vrstvou drceného kameniva. Další experimenty během 19. století s využitím cementobetonu ukázaly, že cementobeton může být účinný pro podkladní vrstvy o tloušťce 150 mm. Tato tloušťka byla výsledkem zkoumání předchozích testovacích úseků, které potvrdily její dostatečnou pevnost a trvanlivost. Přestože se cementobeton ukázal jako slibný materiál pro silniční stavby, jeho širší využití jako finálního krytu bylo prozatím odloženo. Hlavním důvodem byla nedostatečná mechanizace, která by umožnila efektivní výrobu a pokládku větších objemů betonu. [23]

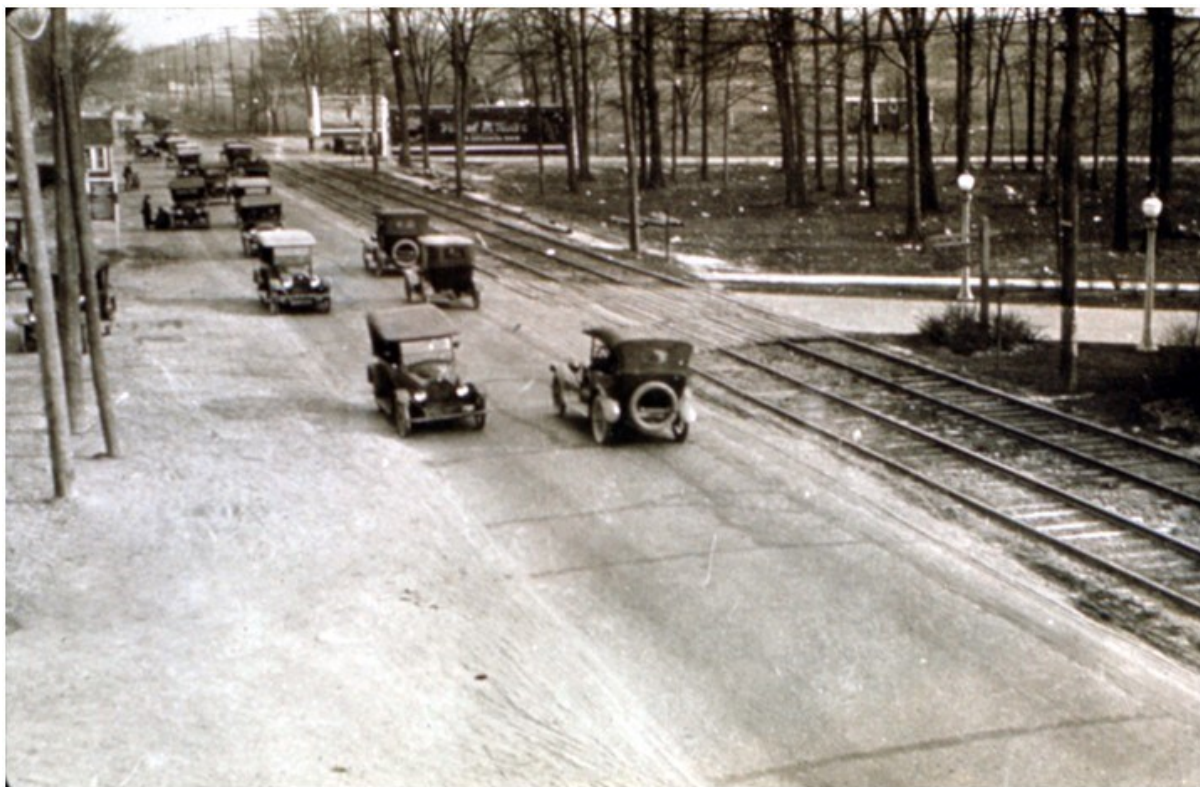
V tomto období probíhala příprava betonu přímo na kraji komunikace (viz obr. 5), kde se směs jednotlivých složek míchala ručně nebo pomocí základních mechanických zařízení. Jakmile byl beton připraven, byl přemísťován na místo pokládky za pomoci koleček. Po převezení na určené místo bylo nutné beton pečlivě zhutnit, aby se zajistila jeho pevnost a soudržnost. Tento proces zhutňování probíhal manuálně, kdy dělníci používali ruční pýchovadla. Tento

postup, využívaný až do přelomu 19. a 20. století, byl postupně nahrazen mechanizací, která umožnila pokládat, rozhrnovat a uhlazovat beton s větší přesností a efektivitou. [23][29]



Obr. 5 Ruční míchání čerstvého betonu pro stavbu pozemní komunikace [23]

V roce 1909 byl v americkém státě Michigan postaven úsek silnice s cementobetonovým krytem. Tento úsek měřil přibližně jeden kilometr a byl realizován na Woodward Avenue ve městě Detroit (viz obr. 6). Náklady na tuto průkopnickou stavbu dosáhly tehdejších 14 000 amerických dolarů, což byla na svou dobu značná investice. Požadavky na výstavbu kvalitnějších a pohodlnějších silnic začaly výrazně narůstat v souvislosti s rozvojem automobilového průmyslu, který byl zásadně ovlivněn masovou výrobou vozidel značky Ford, konkrétně se jednalo o výrobu legendárního modelu Ford T. [28][30]



Obr. 6 Woodward Avenue, Detroit, stát Michigan [28]

Hlavním důvodem pro volbu cementobetonu byla tehdejší omezená dostupnost drceného kameniva v dané lokalitě vhodného pro asfaltové povrchy, což přinutilo stavitele využít dostupné šterkové a vápencové kamenivo. Dalším důležitým faktorem byla jeho ekonomická výhodnost, nižší náklady na výstavbu a dlouhodobou údržbu v porovnání s jinými materiály představovaly značnou výhodu, která přispěla k jeho volbě. Kromě toho se cementobetonové kryty vyznačovaly menším negativním dopadem na životní prostředí, zejména pokud jde o znečištění okolí při samotné výstavbě i během provozu. V této době se zároveň ukázalo, že beton nabízí značnou výhodu při testování jeho kvality. Při pokládce bylo možné odebrat část čerstvého betonu pro válcové vzorky, které se následně po 28 dnech zkoušely na pevnost v laboratorních podmínkách. Tato metoda testování se ukázala být mnohem jednodušší a efektivnější než u jiných typů povrchů, což přispělo k větší jistotě ohledně dlouhodobé kvality vozovky. Stavba tohoto úseku silnice navíc poskytla cenné zkušenosti s využitím cementobetonu jako vrchní vrstvy na silnicích, čímž se otevřely nové možnosti pro budoucí rozvoj a použití tohoto materiálu v dalších dopravních projektech. [23][30]

Ve 30. letech 20. století došlo k výraznému nárůstu využívání cementobetonových povrchů, což bylo způsobeno předešlými pozitivními zkušenostmi s jejich používáním. Například ve Velké Británii bylo v roce 1926 přibližně 300 km cementobetonových komunikací, avšak

o necelých deset let později, v roce 1935, už tato délka činila kolem 5000 km. Podobný trend byl pozorován i v Německu, kde se od roku 1933 začala rozsáhle budovat silniční, a především dálniční síť. Do konce druhé světové války tak Německo vybudovalo zhruba 4000 km cementobetonových silnic a dálnic. [23]

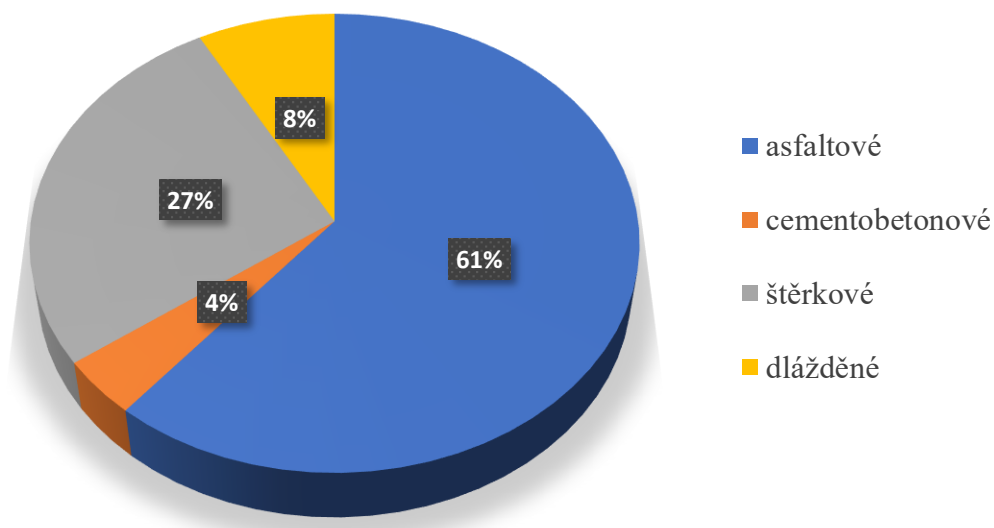
V průběhu 50. let 20. století se do popředí zájmu dostal spojitě vyztužený cementobetonový kryt, který se začal využívat díky celé řadě výhod, jež přinášel. Jednou z předností tohoto typu krytu bylo výrazné snížení výskytu poruch na spárách, což zvyšovalo celkovou životnost a spolehlivost vozovek. Současně s tímto pokrokem v konstrukci cementobetonových krytů se začala využívat také kontinuální technika pokládky. Tento technologický posun umožnil výrazně zvýšit efektivitu výstavby a snížit celkové náklady, protože díky mechanizaci bylo možné snížit počet pracovníků na stavbě ze 100 na pouhých 25. [31]

V 70. letech 20. století došlo k významnému pokroku v technologii betonových konstrukcí zavedením tzv. drátkobetonu [23]. Tento inovativní materiál se od klasického betonu odlišoval tím, že namísto tradiční betonářské výztuže obsahoval ocelová vlákna, která byla přidávána do čerstvého betonu během výroby. Přítomnost ocelových vláken měla hned několik výhod. Kromě zvýšení tahové pevnosti betonu, což přispívalo k jeho odolnosti, se tato vlákna podílela i na omezení tvorby povrchových trhlin, které často vznikaly v důsledku smršťování betonu při jeho tvrdnutí.

V tomto období se v Evropě začala výrazně rozvíjet výstavba silnic s cementobetonovými kryty. Příkladem je Anglie, kde se tyto kryty postupně začlenily do silniční infrastruktury, ačkoli jejich rozšíření není tak masivní jako v jiných zemích, dodnes tvoří přibližně 4 % z celkové délky silniční sítě, což stále představuje významný podíl, zejména s ohledem na zaměření na asfaltové povrchy. Ještě výraznější vliv měla technologie cementobetonových krytů v Belgii, kde se tento typ povrchu prosadil ve velké míře. Belgické dálnice jsou z přibližně 40 % právě cementobetonovými kryty, což ukazuje na jejich významnou roli v tamní infrastruktuře. [32][33]

Před druhou světovou válkou byly na území tehdejšího Československa nejběžnějším typem vozovek šterkové cesty, které dominovaly na většině silniční sítě. Na frekventovanějších trasách, kde bylo nutné zajistit větší odolnost povrchu, byly využívány dlažební kryty. Ve 30. letech 20. století však došlo k zásadnímu pokroku v oblasti silniční výstavby. Tento pokrok byl podpořen novými teoretickými poznatky z mechaniky zemin, moderní výrobou asfaltových a hydraulických pojiv, a později také vývojem nových stavebních strojů, jako byly

grejdry, buldozery a soupravy pro pokládku asfaltových i cementobetonových směsí. Tyto inovace vedly k postupnému rozvoji tzv. zpevněných, tedy bezprašných vozovek. Po druhé světové válce se podíl zpevněných krytů výrazně zvýšil. V roce 1950 tvořily 21 % všech vozovek, v roce 1960 to bylo již 48 %, v roce 1965 (viz graf 8) se podíl vyšplhal na 73 % a do roku 1969 vzrostl na 83 %. V současnosti se v České republice nachází pouze 1 % prašných vozovek, což svědčí o významném posunu ve výstavbě moderní silniční sítě. [22]



Graf 8 Podíl jednotlivých typů povrchů na území ČR v roce 1965 [22]

1.2.2 Charakteristika a typy cementobetonových krytů

Cementobetonové kryty se řadí mezi tuhé silniční kryty. Cementobetonové kryty mají mnoho benefitů oproti častěji používaným asfaltovým krytům [24]:

- vysoká odolnost proti bodovému či nápravovému zatížení – Díky jejich vyšší tuhosti je zatížení účinně rozloženo na větší plochu, což zásadně přispívá k odolnosti proti poškození,
- vyšší odolnost proti uniklým provozním kapalinám nebo chemickým látkám,
- použití při nižších únosnostech podkladních vrstev,
- vyšší odolnost proti vysokým teplotám,
- jednoduchá výstavba.

Těmito vlastnostmi se cementobetonové kryty osvědčují v různých náročných podmínkách. Běžně jsou využívány na dálnicích, průmyslových plochách, pojezdových, vzletových a přistávacích drahách, autobusových zastávkách či zálivech [24].

Cementobetonové kryty, přestože mají řadu výhod, nejsou bez nevýhod, které mohou mít vliv na jejich využitelnost a dlouhodobou udržitelnost. Jednou z hlavních nevýhod je vyšší finanční náročnost na údržbu, která zahrnuje složitější a časově náročnější opravy v porovnání s jinými typy povrchů, například asfaltovými kryty.

K poškození cementobetonových povrchů může dojít z několika důvodů, přičemž jedním z nich jsou nevhodné postupy užívané během výstavby. Nedostatečné zhutnění betonu, špatné umístění výztuže nebo nesprávné ošetření povrchu během tuhnutí může mít za následek vznik trhlin, snížení pevnosti nebo další defekty, které zkracují životnost povrchu. Dalším faktorem jsou velké teplotní rozdíly, například prudké změny mezi horkými letními dny a mrazivými zimními nocemi, způsobují roztažnost a smršťování betonu, což vede k výskytu trhlin nebo jiných strukturálních poruch [34]. Kromě těchto příčin je faktorem také přetěžování vozovky, které často vzniká v důsledku intenzivního provozu těžkých nákladních automobilů, přesahujících povolené limity zátěže, takové přetěžování vede ke vzniku četných poruch.

Obecně lze cementobetonové povrchy rozdělit do tří skupin podle vyztužení [35]:

- Nevyztužený cementobetonový kryt se spárami
- Vyztužený cementobetonový kryt se spárami
- Spojitě vyztužený cementobetonový kryt

Nevyztužený cementobetonový kryt se spárami

Nevyztužený cementobetonový kryt, jak napovídá název, neobsahuje žádné přidané výztuže kromě kotev a kluzných trnů, které jsou umístěny na jednotlivých spárách. Tento typ konstrukce vyžaduje velkou pečlivost při návrhu spárořezu, zejména co se týká přesných rozměrů betonových desek a optimálního poměru jejich stran. Správné rozmístění a návrh smršťovacích spár je zásadní hlavně během procesu tvrdnutí betonu, kdy spáry snižují riziko vzniku nežádoucích smršťovacích trhlin. Jedná se tak o nejrozšířenější typ cementobetonového povrchu na světě. [1]

U nevyztuženého krytu se předpokládá, že tahová pevnost betonu nebude překročena, aby tak nedošlo k trhlinám či jiným deformacím z přetížení. Pevnost betonu v tahu se přitom obecně pohybuje mezi 1/5 až 1/10 jeho pevnosti v tlaku.

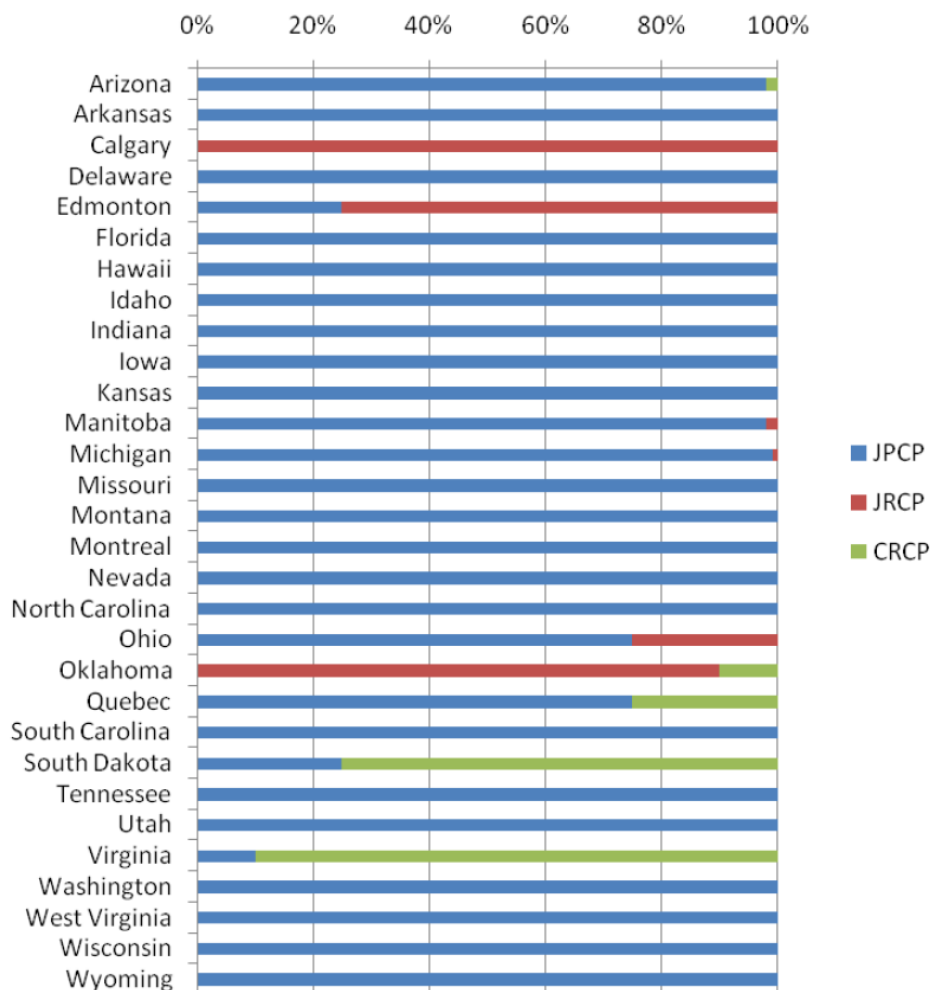
Mezi hlavní místa, kde se tento typ krytu využívá, patří autobusové zastávky, dálnice a silnice pro motorová vozidla, které vyžadují dlouhou životnost a schopnost odolat vysoké zátěži způsobené intenzivní dopravou, zejména těžkými nákladními automobily. Na letištích

se používá v kombinaci s tzv. „chudým betonem,“ který podporuje tvorbu smršťovacích spár bez výrazných povrchových trhlin [24]. Dále se často využívají na zemědělských a průmyslových plochách, kde jsou vystaveny nejen pohybu těžké techniky, ale také agresivním chemickým látkám či jiným vlivům, jež by mohly méně odolné povrchy snadno poškodit. [34]

V městských oblastech v Indii, jako je Mumbai, je nevyztužený cementobetonový kryt často využíván i na silnicích. Kryt se zde vytváří tradičními technologickými postupy, které zahrnují pečlivé rozložení smršťovacích a dilatačních spár s kluznými trny a kotvami. K dosažení vhodné makrotextury, která zvyšuje protismykové vlastnosti, je povrch krytu zpravidla upraven kartáčováním. [24]

Podle údajů uvedených v grafu 9 lze pozorovat, že na území Severní Ameriky je nejběžněji používaným typem cementobetonového krytu varianta nevyztuženého krytu se spárami. Tato technologie je rozšířena především díky své jednoduchosti, nižším nákladům na výstavbu a dostatečné odolnosti při standardních provozních podmínkách. Výrazně převažuje v mnoha oblastech Severní Ameriky, což naznačuje její univerzální použitelnost pro většinu typů komunikací.

Nicméně, existují i výjimky, kde jsou preferovány odlišné typy cementobetonových krytů, například ve městech Calgary a Edmonton či státě Oklahoma je častěji aplikován vyztužený cementobetonový kryt se spárami. Další výjimkou jsou státy Jižní Dakota a Virginie, kde převažuje spojitě vyztužený cementobetonový kryt.



Graf 9 Využití jednotlivých typů cementobetonových krytů v Severní Americe [36]

Vyztužený cementobetonový kryt se spárami

Tento typ cementobetonového krytu je charakteristický použitím betonářské výztuže nebo kari sítí, které zajišťují zvýšenou pevnost a stabilitu celé konstrukce. V praxi se často uplatňuje kombinace vyztuženého a nevyztuženého cementobetonového krytu, což umožňuje efektivně optimalizovat náklady a zároveň splnit technické požadavky v konkrétních částech komunikace. Vyztužený cementobetonový kryt se v této kombinaci obvykle používá na místech, která jsou vystavena nejintenzivnějšímu namáhání. Typickým příkladem jsou přechody mezi cementobetonovým a živičným krytem, kde rozdílné vlastnosti obou materiálů mohou vést k problémům, pokud není zajištěna dostatečná pevnost. Dalším častým případem je jeho využití na vjezdových větvích kruhových objezdů, kde dochází k častému zastavování a rozjíždění vozidel, což na konstrukci vozovky vytváří výrazné bodové zatížení. Vyztužený cementobetonový kryt je tedy ideální volbou pro taková místa, protože jeho konstrukce dokáže lépe odolávat těmto specifickým podmínkám a prodloužit tak životnost celé vozovky.

Použití výztuže v cementobetonových krytech přináší několik zásadních výhod, mezi něž patří například možnost zmenšit tloušťku betonové desky, která může být díky tomu redukována až na hodnotu 200 mm. Tato minimální tloušťka je přitom stanovena s ohledem na požadované krytí výztuže, které zajišťuje její ochranu a dlouhodobou funkčnost. Další významnou výhodou použití výztuže je možnost prodloužit délku jednotlivých betonových desek až na 25 metrů, což přispívá k vyšší efektivitě při výstavbě a zároveň snižuje počet spár mezi deskami. Přestože teoreticky lze dosáhnout této maximální délky, v běžné praxi se však obvykle volí délka desek okolo 10 metrů. Tento kompromis je preferován zejména kvůli snížení namáhání v okolí spár, které vzniká vlivem zatížení dopravou i teplotními změnami. Kratší desky lépe odolávají teplotní roztažnosti, čímž se snižuje riziko vzniku trhlin a dalších poruch, což přispívá k delší životnosti celé vozovky. Výztuž je zpravidla umístěna ve středu tloušťky desky, což umožňuje rovnováhu kladných i záporných momentů působících na desku, která přispívá k rovnoměrnému ohybu desky a podporuje vyšší únosnost vozovky, jelikož rozkládá zatížení rovnoměrněji po celé ploše desky . [6]

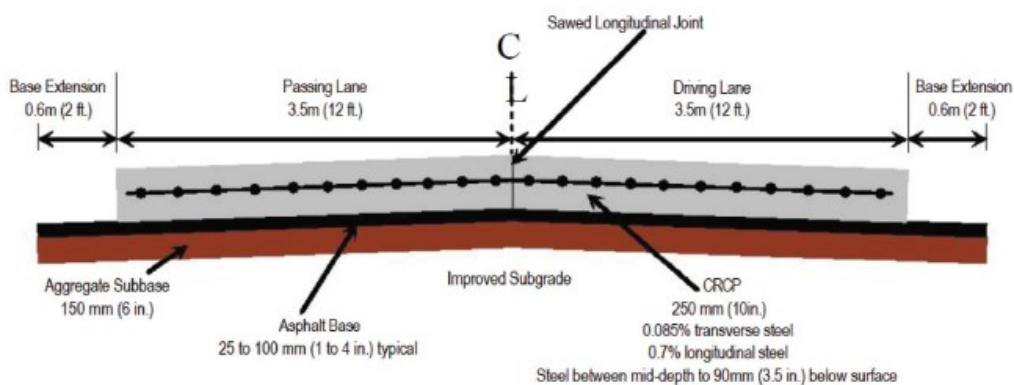
Vyztužený cementobetonový kryt se používá především v situacích, kdy by mohlo dojít k použití materiálů nižší kvality nebo k méně preciznímu provedení. Tento typ krytu se proto volí i tam, kde existuje riziko, že by určité části povrchu nemusely splňovat požadované standardy, což by mohlo ohrozit integritu celé konstrukce. Výztuž v betonu zvyšuje odolnost povrchu proti těmto možným nedostatkům a napomáhá zachování funkčnosti krytu. Tento přístup se uplatňuje například v průmyslových areálech různých velikostí, od menších až po velké areály, kde projektanti mohou mít obavy, zda by konstrukce nevyztuženého krytu splnila veškeré požadavky na kvalitu a odolnost. Dále je vyztužený cementobetonový kryt vhodný i pro oblasti, kde hrozí neočekávané nerovnoměrné sedání podloží. Díky výztuži je kryt schopný odolat různým tlakům a nerovnoměrnému zatížení, což pomáhá předcházet vzniku prasklin nebo deformací, které by mohly způsobit nerovnosti povrchu. [24]

Spojité vyztužený cementobetonový kryt

Tento typ cementobetonového krytu je charakteristický tím, že obsahuje kontinuální podélnou výztuž, která zajišťuje stabilitu a pevnost desky. Na rozdíl od jiných řešení se v tomto případě nevyžívají příčné spáry pro kontrolu roztažnosti, což však neznamená, že by bylo možné vytvořit dlouhou monolitickou desku zcela bez spár. V reálných podmínkách se běžně připouští vznik smršťovacích spár, jejichž vzdálenost se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 2 metrů, tyto spáry se formují přirozeně jako důsledek smršťování betonu během jeho tvrdnutí. [37].

Tato metoda má své omezení zejména kvůli tomu, že pro tento typ krytu dosud nebyla vyvinuta dostatečně přesná návrhová metodika. K dnešnímu dni není k dispozici analytický postup, který by umožnil detailní výpočty a návrh tohoto povrchu na základě přesných fyzikálních modelů. [24]

Z obrázku 7 je zřetelně viditelné, že výztuž je umístěna přibližně ve středu tloušťky cementobetonové desky, a zároveň je patrné, že plocha výztuže standardně činí přibližně 0,7 % celkové plochy desky. Kromě podélné výztuže je na obrázku znázorněna i příčná výztuž. Ta plní důležitou funkci, protože slouží nejen k uchycení podélných výztužných prvků, ale také k zajištění jejich přesného umístění během realizace. Díky příčné výztuži je zajištěno, že podélná výztuž zůstane pevně na svém místě.



Obr. 7 Příčný řez spojitě vyztuženým cementobetonovým krytem [37]

Spojitě vyztužený cementobetonový kryt nachází své největší uplatnění na dlouhých a souvislých úsecích, kde je jeho využití z hlediska odolnosti a funkčnosti nejvýhodnější. Tento typ krytu je proto nejčastěji aplikován na dálnicích a silnicích určených pro motorová vozidla, které vyžadují vysokou nosnost a odolnost vůči zatížení. Kromě toho se spojitě vyztužený cementobetonový kryt velmi často využívá i v oblasti letecké infrastruktury, zejména při stavbě vzletových a přistávacích drah, kde je kladen důraz na maximální stabilitu povrchu a jeho schopnost odolat intenzivnímu provozu těžkých letadel.

1.2.3 Požadavky na cementobetonový kryt

Podle normy ČSN 73 6123-1 lze cementobetonové kryty rozdělit do tří hlavních kategorií, označovaných jako CB I, CB II a CB III. Toto členění vychází buď z specifikace komunikace, na které má být kryt použit, nebo z předpokládané třídy dopravního zatížení, která se na dané komunikaci očekává. Pro správnou volbu typu krytu je důležité se řídit odpovídajícími

hodnotami uvedenými v tabulce 3 této normy, která uvádí specifické požadavky na jednotlivé kategorie v závislosti na intenzitě dopravního zatížení.

Specifikace komunikace	Třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114 Změny Z1 ^a	Doporučené nejnižší zařazení do skupiny
Letištní dráhy a plochy, dálnice, rychlostní silnice, rychlostní místní komunikace, silnice I. třídy	S, I–III	CB I
Silnice II. a III. třídy, sběrné místní komunikace, obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy	III–V	CB II
Obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy, dočasné komunikace a účelové komunikace	IV–VI	CB III
^a Netýká se letištních drah a ploch.		

Tab. 3 Dělení CB krytů [63]

Každá skupina cementobetonových krytů je definována specifickými požadavky, které se týkají několika základních parametrů. První z těchto požadavků se vztahuje na použitý typ cementu a jeho potřebné množství, které má zajistit optimální pevnost a trvanlivost betonu. Dále je kladen důraz na kvalitu použitého kameniva, přičemž je pečlivě zvažována jeho křivka zrnitosti, což ovlivňuje soudržnost a strukturu výsledného betonu. V neposlední řadě musí ztvrdlý beton splňovat určité technické parametry a standardy, které zajišťují požadovanou pevnost, odolnost vůči opotřebení a stabilitu krytu v různých klimatických a dopravních podmínkách.

Pro cementobetonové kryty kategorie CB I je specifikováno použití cementu typu CEM I 42,5, a to ve stanoveném množství minimálně 350 kg/m³. Tento požadavek na typ cementu i jeho množství zajišťuje vysokou pevnost a odolnost betonové vrstvy. U krytů CB II a CB III jsou povoleny i další varianty cementů, což umožňuje větší flexibilitu při výběru materiálu. Kromě cementu typu CEM I (s pevností 32,5 nebo 42,5) lze v těchto kategoriích využít i cementy CEM II/A a CEM II/B, opět s pevnostmi 32,5 nebo 42,5. Pro skupinu CB II platí stejný požadavek na minimální množství cementu, tedy 350 kg/m³, aby bylo dosaženo odpovídající pevnosti betonu. U krytů CB III, které jsou vystaveny nižšímu zatížení, může být minimální množství cementu mírně sníženo na 330 kg/m³, což stále zajišťuje dostatečnou stabilitu a odolnost povrchu. [63]

V případě kameniva používaného pro jednotlivé skupiny cementobetonových krytů platí rozdílná pravidla v závislosti na konkrétní kategorii. Pro kryty ve skupinách CB I a CB II je povoleno výhradně drcené kamenivo, které svými vlastnostmi poskytuje potřebnou stabilitu a odolnost povrchu, zejména při vysokém dopravním zatížení. Skupina CB III ovšem umožňuje

i využití těžného kameniva, což nabízí širší výběr materiálů a často přináší finanční úspory při konstrukci méně zatěžovaných povrchů. Rozdíly se dále projevují také v požadavcích na zrnitost použitého kameniva. Podle tabulky 4 je pro CB I a CB II stanoven menší přípustný obsah jemných zrn o frakci 0,25 až 4 mm, a naopak vyšší podíl hrubších frakcí, které se pohybují v rozmezí 8 až 32 mm. [63]

síta (mm)	propad (% hm.)	
	skupina CB I, CB II	skupina CB III
32	100	100
16	51–72	48–82
8	37–51	33–65
4	28–42	24–52
2	20–34	16–43
1	14–26	11–34
0,5	8–18	6–22
0,25	3–9	1–11

Tab. 4 Požadované zrnitost kameniva [63]

Na závěr jsou stanoveny specifické požadavky, které musí splňovat ztvrdlý beton u každé ze skupin cementobetonových krytů. U krytů ze skupiny CB I a CB II se vyžaduje, aby beton dosahoval minimální pevnosti v tlaku na úrovni C 30/37. Dále je zde stanovena také minimální pevnost betonu v tahu ohybem, která musí být alespoň 4,5 MPa, tento požadavek může být na letištích ještě zvýšen pro zajištění vyšší odolnosti vůči intenzivnímu provozu a těžkému zatížení. Dále je nutné, aby beton splňoval specifické požadavky na odolnost vůči vlivům prostředí, přičemž stupeň odolnosti je stanoven na úroveň XF4 a XD3. To znamená, že kryt musí vykazovat odolnost proti mrazu a rozmrazovacím se současným vlivem CHRL (XF4) a současně i proti chemicky agresivnímu prostředí (XD3). [63]

U skupiny CB III je minimální pevnost stanovena na C 25/30, což představuje nižší hodnotu oproti krytům CB I a CB II, a minimální pevnost v tahu ohybem zde činí 4,0 MPa. Pro kryty ze skupiny CB III je navíc stupeň vlivu prostředí určen specificky pro každou stavbu na základě konkrétní projektové dokumentace, což umožňuje přizpůsobit konstrukci aktuálním podmínkám dané lokality a využití. [63]

1.2.4 Provádění cementobetonových krytů

U provádění cementobetonových krytů rozeznáváme dva základní postupy. Prvním z nich je tzv. tradiční technika, která využívá pevného dřevěného bednění a následně kontinuální technika, která používá posuvné bednění. [1][24]

Tradiční technika (pevné bočnice)

Pracovní postup zahrnuje přesné umístění podélného bednění, které může být dřevěné nebo kovové, v místech plánovaných podélných spár [38]. Dřevěné bednění je často upřednostňováno díky své nižší hmotnosti, což usnadňuje manipulaci, a nižším pořizovacím nákladům. Bednění je třeba instalovat velmi přesně a pevně upevnit, aby během betonáže nedošlo k jeho posunu či pohybu. Správná poloha bednění má zásadní vliv na rovnost povrchu i na výškovou úroveň krytu, což přímo ovlivňuje kvalitu výsledné komunikace [1].

Bednění zůstává na svém místě po celou dobu procesu, dokud beton nezatvrdne natolik, aby si povrch udržel stabilitu. Obvykle lze bednění odstranit přibližně po šesti hodinách od pokládky cementobetonového krytu, avšak tato doba se může lišit podle použité receptury betonu. V jednodušších případech je možné beton hutnit pomocí ručních ponorných vibrátorů ve spojení s latěmi nebo válci. [39]

U rozsáhlejších nebo technicky náročnějších stavebních projektů se často ukazuje jako výhodné využití traverzové mechanizace, která umožňuje efektivnější a preciznější manipulaci s čerstvým betonem. Tato mechanizace je navržena tak, aby zajišťovala plynulé a kontinuální rozhrnování betonu po celé pracovní ploše, čímž se usnadňuje rovnoměrné rozložení materiálu. Zároveň traverzová mechanizace přispívá k důkladnému zhutnění betonu a uhlazení výsledného povrchu cementobetonového krytu do požadovaného tvaru a sklonů, čímž se výrazně zjednodušuje dodržení technických parametrů projektu. Vizualizaci celého procesu lze najít na obrázku 8, kde je názorně ukázán způsob práce traverzové mechanizace.



Obr. 8 Pokládka čerstvého betonu do pevných bočnic na ulici Sladkovského v Pardubicích

Tento pracovní postup má řadu výhod. Jednou z nich je vysoká flexibilita, která umožňuje snadné použití i na složitějších tvarech nebo menších plochách, kde by jiné technologie byly příliš nákladné nebo komplikované. Další výhodou je, že tento postup nevyžaduje rozsáhlé využití těžké mechanizace, což snižuje náklady na výstavbu. Současně je možné tuto techniku aplikovat i v omezených prostorech nebo v obtížně dostupném terénu. [39]

Na druhé straně má metoda i své nevýhody. Mezi nejvýraznější patří časová náročnost, která vyplývá z požadavků na precizní umístění a upevnění bednění. Každé bednění je třeba pravidelně kontrolovat a pečlivě usazovat, aby výsledný betonový povrch odpovídal požadovaným kvalitativním normám. Další komplikací je nutnost vytvořit smršťovací spáry v přesně určeném čase, pokud se spáry nerealizují včas, hrozí, že beton začne praskat na nežádoucích místech, což může zhoršit jeho vzhled i trvanlivost [24].

Pro vytváření smršťovacích spár existují dva hlavní způsoby. První spočívá v jejich dodatečném vytvoření po vytvrnutí betonu, kdy se do hotového povrchu provádějí řezy. Druhou možností je použití plastových induktorů, které se vkládají přímo do čerstvého betonu a slouží jako slabá místa, která kontrolují vznik trhlin a zajišťují, že se spáry objeví pouze na požadovaných místech [24]. Tímto postupem se minimalizuje riziko nekontrolovaného praskání betonu.

Kontinuální technika (posuvné bočnice)

Tato technika spočívá v použití bednění, které je součástí finišeru. Tento způsob s sebou přináší určité specifické požadavky na kvalitu a vlastnosti čerstvého betonu. Čerstvý beton musí mít dobré tixotropní vlastnosti, aby po odstranění bednění nedocházelo k nežádoucím změnám tvaru či klesání, které by narušilo požadovanou rovinnost a hladkost povrchu. Kromě toho je pro zajištění hladkého a přesného povrchu rozhodující také samotný finišer, který vyrovnává a udržuje povrch betonu ve správné niveletě. [1]

Při provádění této techniky je finišer zpravidla veden po přesně určené dráze, která může být nastavena dvěma způsoby. Prvním způsobem je využití vodícího drátu, který slouží jako fyzická opora a přesný referenční bod pro správný pohyb finišeru. Druhou možností je použití moderního optického vedení, kde je směr a rovnost povrchu kontrolována laserovou technologií. Tento způsob nejen zvyšuje přesnost provedení, ale umožňuje také rychlejší reakce na případné změny nebo odchylky v terénu, což přispívá ke kvalitě výsledného betonového krytu. [1]

Pracovní postup pokládky cementobetonového krytu probíhá tak, že se před finišer dopravují nákladní automobily vybavené sklopnou korbou, které přivážejí čerstvý beton. Ten se vysypává přímo na podkladní vrstvu ve formě několika oddělených hromad. Tyto hromady betonu se následně rovnoměrně rozprostírají speciálními rozhrnovači, které zajistí základní rozmístění materiálu po celé ploše určené k pokládce. [25]

Poté se dostává k čerstvému betonu samotný finišer (viz obr. 9), který tento čerstvý beton rovnoměrně rozhrnuje po celé šířce komunikace. K tomu využívá distribuční mechanismy, které beton rozhrnují a pokrývají plochu v požadované vrstvě. Následně se beton zhutňuje pomocí ponorných vibrátorů, které jsou součástí finišeru. Současně s tím finišer automaticky ukládá kluzné trny do předem stanovených míst příčných spár, v místech podélných spár jsou pak automaticky ukládány kotvy. [25]



Obr. 9 Pokládka cementobetonového krytu [25]

Aby bylo dosaženo homogenního a kvalitního povrchu, je nezbytné, aby finišer pracoval nepřetržitě. Tento souvislý pohyb finišeru napomáhá minimalizovat případné nehomogenity v tuhnutí a vzhledu povrchu. Protismyková úprava se na hotový povrch aplikuje následně, což se provádí pomocí vlečné juty, kokosové geotextilie nebo různými typy kartáčů, například silikonovými nebo ocelovými. Konečný povrch je ještě ošetřen speciálním postřikem, který slouží jako ochrana proti nežádoucímu odparu vody z čerstvého betonu, čímž se zajistí optimální podmínky pro tuhnutí a dosažení potřebné pevnosti vozovky. [1][25]

1.2.5 Obnova protismykových vlastností cementobetonových krytů

Protismykové vlastnosti cementobetonových krytů lze obnovit dvěma hlavními způsoby, které se volí podle míry opotřebení povrchu a konkrétních podmínek dané komunikace. První metoda spočívá v odebrání vrstvy z povrchu cementobetonového krytu, což se provádí různými technikami, jako je plošné frézování, kdy se povrch mechanicky zbrousí do požadované hloubky, čímž se vytvoří nový protismykový povrch (viz obr. 11). Dalšími technikami jsou rýhování povrchu pro lepší přilnavost nebo využití tryskání, a to buď tlakovým paprskem písku, kovových částic, vody, nebo chemických látek, které napomáhají povrch upravit a zdrsnit, čímž dojde k obnově potřebných protismykových vlastností (viz obr. 10). [26]



Obr. 10 Vlevo tryskání kovových částic, vpravo tryskání vodou [64]



Obr. 11 Vlevo hlava frézy, vpravo brusný kotouč [64]

Druhý postup obnovy protismykových vlastností spočívá naopak v přidávání materiálů na povrch krytu (viz obr. 12). Tento způsob zahrnuje aplikaci zdrsňujících nátěrů, například asfaltových či polymerových směsí, které se obvykle doplňují posypem, aby byl povrch dostatečně zdrsňený. Jindy se používají velmi tenké kalové vrstvy, které jsou na bázi asfaltu, polymerů nebo pryskyřic, a slouží ke zlepšení přilnavosti povrchu, aniž by došlo k většímu navýšení jeho výšky. [26]



Obr. 12 Obnova protismykových vlastností pomocí emulzního mikrokoberce [64]

Při obnově protismykových vlastností cementobetonových vozovek pomocí různých technologií je nezbytné věnovat pozornost pečlivé přípravě podkladu. V praxi to znamená, že je nutné důkladně upravit stávající poškozený povrch, což zahrnuje nejen odstranění všech nečistot, ale také případných zbytků starého materiálu, který by mohl narušit adhezi nově pokládaných vrstev. Kromě toho je důležité provést opravy menších výtluků a prasklin, aby bylo zajištěno, že podklad bude mít dostatečnou pevnost a celistvost pro následnou aplikaci nových vrstev. Jakmile je povrch takto ošetřen, je možné přistoupit k využití jednotlivých technologií na obnovu protismykových vlastností, a to v souladu s příslušnými normami a metodikami, které stanovují konkrétní požadavky na každý technologický postup. Tato příprava je zásadní pro dlouhou životnost a efektivitu provedených úprav. [26][64]

Protismykové vlastnosti cementobetonových vozovek lze zlepšit také jejich zesílením, kdy se na původní vozovku aplikuje nová vrstva, která přináší potřebné technické parametry. Tato nová vrstva může být vytvořena buď opět z cementobetonového materiálu, nebo alternativně z asfaltu, podle konkrétních požadavků na zatížení dané komunikace, ochraně životního prostředí a nákladech na opravu. Pro zajištění optimálního spojení mezi starou a novou vrstvou se mezi ně často vkládají různé mezivrstvy. Tyto mezivrstvy mohou sloužit k vyrovnání nerovností, jako je tomu u vyrovnávací vrstvy, nebo mohou plnit funkci kluzné vrstvy, která umožňuje nezávislý pohyb vrstev a snižuje riziko prasklin. Dále je běžně používána ochranná mezivrstva, která zabraňuje prokopírování spár ze spodní vrstvy do nového krytu, čímž se zajišťuje delší životnost a stabilita povrchu i jeho protismykových vlastností. [26][64]

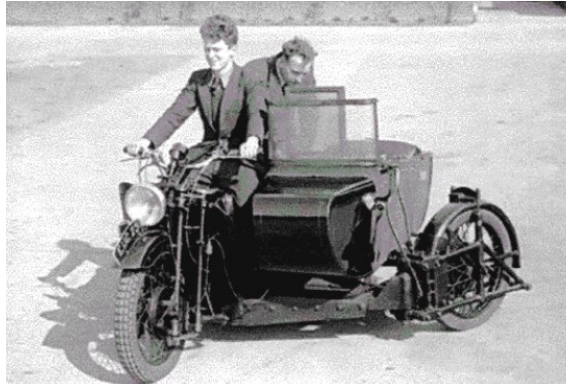
1.3 Metody měření protismykových vlastností

Tato kapitola se věnuje problematice měření protismykových vlastností povrchů, které jsou zásadní pro zajištění bezpečnosti v dopravě. Nejprve se zaměřuje na historický vývoj měření protismykových vlastností, kde jsou popsány milníky a postupný vývoj používaných technik. V následující části je uveden přehled metod, včetně jejich principů, výhod a omezení s ohledem na různé aplikační situace. Pro jednotlivé metody jsou dále popsány přístroje a vybavení využívané při měřeních, včetně jejich základních principů a technických specifikací.

1.3.1 Historie měření protismykových vlastností

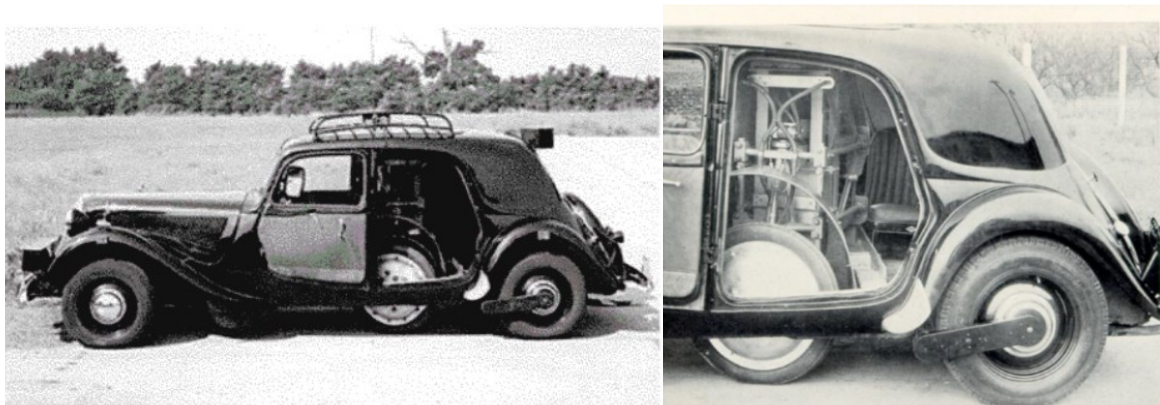
Vývoj metod pro měření protismykových vlastností se začal formovat přibližně před sto lety, v době, kdy se začala rozvíjet automobilová doprava. První polovina 20. století přinesla nejen nárůst počtu vozidel na pozemních komunikacích, ale i jejich zvyšující se rychlosti, což vedlo k nutnosti inovací v oblasti bezpečnosti provozu. K zásadním změnám došlo v konstrukci kol, kdy ocelová a dřevěná kola postupně nahradila modernější pryžová, což zlepšilo jízdní vlastnosti vozidel, ale také zvýšilo požadavky na kvalitu povrchu pozemních komunikací [2]. Ve městech byly cesty často dlážděné v kombinaci s kolejnicemi tramvají, zatímco na venkově šlo většinou o nezpevněné povrchy, které přestávaly vyhovovat rostoucímu provozu a vyššímu zatížení vozidel. [14]

Prvním měřicím zařízením, které se začalo využívat k hodnocení vlastností povrchu vozovek, byl motocykl s postranním vozíkem, jehož konstrukce je zachycena na obrázku 13. Toto zařízení bylo vyvinuto a poprvé představeno ve Velké Británii během první čtvrtiny 20. století, kdy představovalo průlom v technice měření. Kolo bočního vozíku bylo speciálně upraveno, vybaveno hladkou pneumatikou bez jakéhokoliv dezénu, a bylo natočeno pod úhlem 20° vůči směru jízdy. Tento úhel natočení umožňoval přesné měření součinitele bočního tření. Přestože od té doby došlo k výraznému technologickému pokroku, princip tohoto způsobu měření zůstal zachován a je využíván i v současnosti. [43]



Obr. 13 Motocykl s postranním vozíkem pro měření protismykových vlastností [2]

V průběhu 40. let 20. století došlo k dalšímu významnému kroku ve vývoji technologií pro měření vlastností vozovek, kdy bylo představeno měřicí vozidlo vybavené takzvaným pátým kolem [44]. Inspirací pro konstrukci tohoto zařízení byl dříve využívaný motocykl s postranním vozíkem, který se osvědčil jako funkční základ. Pro stavbu nového měřicího vozu byl vybrán Citroën z řady Traction Avant (viz obr. 14). Tento automobil byl v tehdejší době považován za pokrokový díky své samonosné karoserii, pohonu předních kol a nezávislému zavěšení přední nápravy, což z něj činilo ideální platformu pro instalaci a provoz měřicího zařízení. Podobně jako u původního motocyklu s vozíkem bylo i zde měřicí kolo natočeno pod daným úhlem, což umožňovalo zjišťování součinitele bočního tření. Tato inovace přinesla nejen vyšší efektivitu, ale i přesnost měření, a stala se dalším krokem ve vývoji moderního hodnocení povrchových vlastností vozovek.



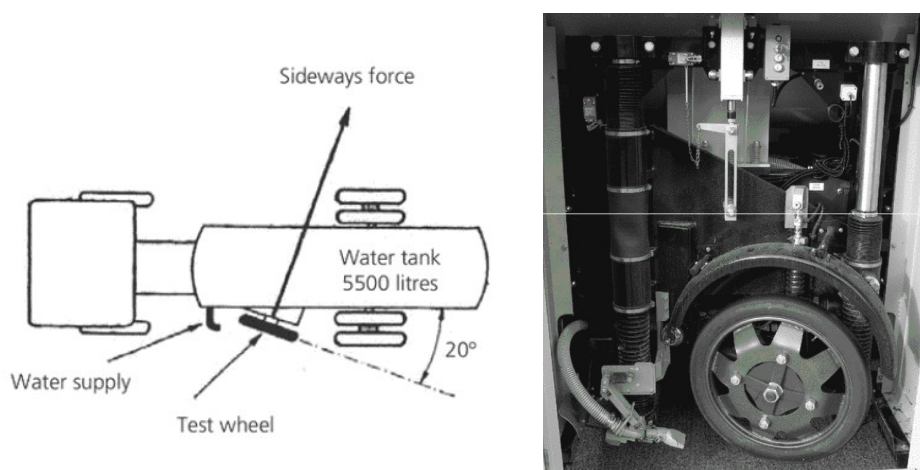
Obr. 14 Citroën Traction Avant s pátým kolem pro měření protismykových vlastností [2][44]

Dalším významným krokem ve vývoji bylo vytvoření přívěsu, který již nesl brzděné kolo [14]. Tento přívěs umožnil ještě přesnější a spolehlivější měření, protože brzděné kolo lépe simulovalo reálné podmínky, kterým jsou vozidla vystavena na silnici.

V 60. letech 20. století došlo k významnému posunu ve vývoji technologií pro měření protismykových vlastností vozovek, kdy bylo představeno přenosné měřicí zařízení, které se rychle stalo standardem v oboru a je používáno dodnes [14]. Toto zařízení, známé jako měřicí kyvadlo, bylo navrženo tak, aby bylo snadno přenosné a umožňovalo provádět měření přímo na místě. Kyvadlo bylo vybaveno speciálním segmentem z pryže, který simuloval chování automobilové pneumatiky při kontaktu s vozovkou.

V 60. letech se v oblasti měření protismykových vlastností silnic objevil další významný pokrok, když laboratoř ve Spojeném království TRL (Transport Research Laboratory) představila nový koncept měřicího vozidla SCRIM (viz obr. 15) (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) [2]. Tento koncept je založen na principu měření součinitele bočního tření z měřicího vozidla Citroën, ale s přidáním objemné nádrže na vodu, jak je vidět na obrázku 15.

V roce 1971 byla zahájena výroba vozidel SCRIM na základě licenční dohody s britskou společností WDM Limited [45]. Tato vozidla se stala průkopníky ve svém oboru a jejich výroba postupně prošla výrazným technologickým vývojem. V následujících letech byly implementovány četné inovace, které výrazně přispěly ke zlepšení výkonu a spolehlivosti těchto zařízení. Mezi hlavní vylepšení patřila především digitalizace měřicích systémů, která zahrnovala nasazení moderních hardwarových a softwarových technologií, umožňujících přesnější sběr a zpracování dat. Kromě toho byly identifikovány a následně upraveny některé konstrukční prvky, které zpočátku vykazovaly nižší spolehlivost [45]. Díky těmto úpravám došlo ke zrobustnění zařízení, což zvýšilo jejich životnost i odolnost při náročných provozních podmínkách. Tím se vozidla SCRIM stala ještě efektivnějšími a lépe přizpůsobenými požadavkům uživatelů.



Obr. 15 Měřicí zařízení SCRIM [2]

1.3.2 Metody a vybavení pro měření protismykových vlastností

V dnešní době je k dispozici široké spektrum různých měřících zařízení, která slouží k přesnému stanovení protismykových vlastností povrchu vozovek. Tato zařízení se liší v několika klíčových parametrech, jako je rychlost prováděného měření, typ a vlastnosti použité pneumatiky, zatížení měřícího kola nebo množství vody, které je používáno pro zkrápění [10].

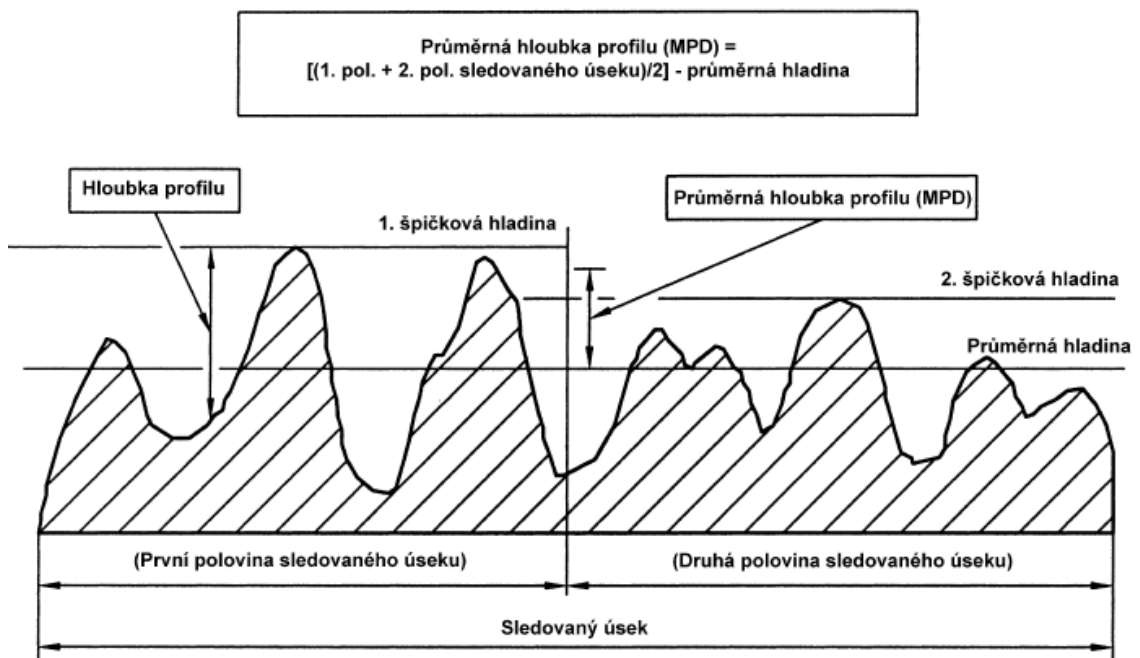
Pro konkrétní metody měření protismykových vlastností existují specializované přístroje navržené pro konkrétní metody měření protismykových vlastností. V České republice rozlišujeme pět základních měřících metod pro měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek dle ČSN 73 6177:

- Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD – Mean profile depth)
- Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výtokoměrem (OT_p)
- Zjišťování součinitele podélného a bočního tření povrchu vozovky dynamickým měřícím zařízením (f_p a f_b)
- Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem (PTV)
- Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD – Mean texture depth)

Zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD)

Pomocí této metody je možné s využitím profilometrů (viz obr. 17) provádět podrobnou analýzu makrotextury povrchu vozovky, avšak není možné zaznamenat a případně vyhodnotit mikrotexturu povrchu. [1]

Tento přístup se používá pro stanovení průměrné hloubky profilu obrusné vrstvy (viz obr. 16). Měření se obvykle provádí přímo na dané pozemní komunikaci, kde je možné zachytit reálné podmínky a vlivy, kterým je povrch vystaven během provozu. Nicméně tato metoda může být aplikována i v laboratorním prostředí [59].



Obr. 16 Princip MPD [60]

Měření nesmí probíhat za deště či sněžení, výjimkou mohou být zařízení, u kterých je prověřeno, že při těchto podmínkách měří validní údaje. U nových povrchů může být problém se zařízeními založených na optické bázi kvůli příliš lesklému a tmavému povrchu. [59]

Minimální vzdálenost pro měření MPD je 1,0 m. Je doporučeno měřit s přerušením maximálně 10% délky měření úseku. Vertikální rozlišení měření by mělo být 0,05 mm a lepší. [59]

Samotné profilometry dělíme dle čtyřech základních parametrů [61]:

1. Mobilita

- a) Pojízdny, vysoká rychlost – umístěno na vozidle s rychlostí 60 km/h a vyšší
- b) Pojízdny, nízká rychlost – umístěno na vozidle s rychlostí menší než 60 km/h
- c) Stacionární, rychlé – umístění na vozovce
- d) Stacionární, pomalé – umístění na vozovce, uzavření provozu na testované komunikaci

2. Dotyk s vozovkou

- a) Dotyková zařízení – čidlo se dotýká povrchu komunikace
- b) Bezdotyková zařízení – čidlo se nedotýká povrchu komunikace

3. Princip činnosti

- a) Laserový profilometr – pro měření je využíváno elektrooptické zařízení, kdy dochází k odrazu vyzařovaného laseru od povrchu vozovky zpět do optické čočky

- b) Profilometr se světelnými záblesky – vyzařovaný úzký světelný svazek, vytvářející na vozovce tenkou čáru, je zaznamenán pomocí video kamery z úhlu; nevýhodou je, že se při vzorkování nemůže zařízení pohybovat z důvodu rozmazání profilové stopy
- c) Hrotový profilometr – jedná se o dotykové zařízení, kdy se pomocí jehly, která se dotýká povrchu, zaznamenávají pohyby pomocí výstupních elektrických signálů
- d) Ultrazvukový profilometr – vyzařovaný ultrazvukový paprsek je odrážen od vozovky do mikrofonu, čas potřebný pro vyslání a následný příjem je převeden na odpovídající vzdálenost

4. Druh měření

- a) Obecné zaznamenání profilové křivky – využívá se pro kvalitativní odhad textury
- b) Měření průměrné hloubky textury (MPD)
- c) Měření rozdělení amplitud profilu
- d) Jiná měření amplitud odvozených z profilových křivek
- e) Měření spektra textury



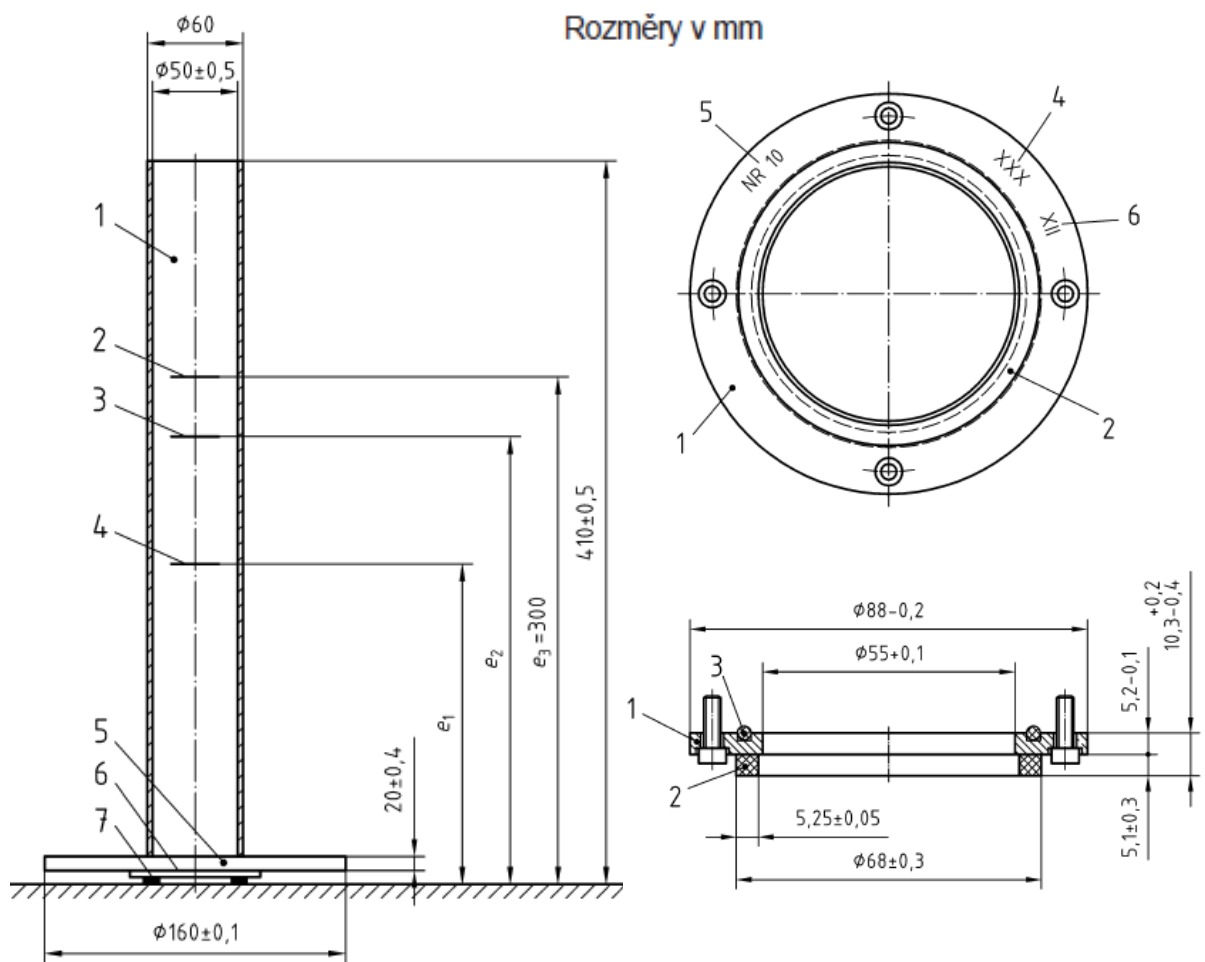
Obr. 17 Vlevo Pojízdný profilometr s vysokou rychlostí měření [52], vlevo profilometr s nízkou rychlostí měření [53]

Zjišťování vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky stacionárním výtokoměrem (OT_p)

Tato metoda slouží k hodnocení protismykových vlastností povrchu, obdobně jako metoda MPD, a rovněž se zaměřuje na zkoušku makrotextury. V tomto případě se ale jedná o měření drenážních vlastností povrchu vozovky, které se provádí s využitím speciálního přístroje – výtokoměru. Test může být realizován buď přímo na vozovce v reálných podmínkách, nebo v kontrolovaném prostředí laboratoře. [62]

Je nezbytné, aby zkoušený povrch byl reprezentativní pro celkový stav vozovky, což je důležité pro získání spolehlivých výsledků. Při samotné zkoušce se simuluje odvádění vody z povrchu, jak by k tomu docházelo při dešti. Základem této metody je naplnění výtokoměru vodou, který je umístěn přímo na zkoumaném povrchu. Měří se doba, za kterou voda klesne z horní hladiny na spodní značku výtokoměru [62].

Výtokoměr se skládá z průhledného plastového válce, na kterém jsou vyznačeny 3 značky (horní, prostřední a spodní), a z nosného mosazného prstence (viz obr. 18).



Legenda

- 1 pevný průhledný plast
- 2 horní značka
- 3 prostřední značka
- 4 spodní značka
- 5 mosazný zatěžovací prstenec (z materiálu MS 58)
- 6 mosazný nosný prstenec podle obrázku 2
- 7 pryžový kroužek

Legenda

- 1 nosný prstenec
- 2 přesný pryžový kroužek
- 3 těsnění
- 4 značka výrobce (příklad)¹⁾
- 5 číslo série (příklad)
- 6 datum skončení životnosti

Obr. 18 Schéma výtokoměru [62]

Princip spočívá v dosednutí přesného pryžového kroužku po celém svém obvodu k povrchu komunikace, kdy voda může odtékat pouze pod tímto kroužkem mezi zrnky kameniva v obrusné vrstvě (makrotexturou).

Aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího výsledku měření, je nutné na vybraném úseku vozovky o délce 25 metrů provést minimálně deset samostatných měření. Tato jednotlivá měření slouží k zachycení různých drobných variací povrchu. Z naměřených hodnot se následně vypočítá průměrná hodnota, která poskytuje reprezentativní obraz o stavu povrchu dané pozemní komunikace. [62]

Zjišťování součinitele podélného a bočního tření povrchu vozovky dynamickým měřicím zařízením (f_p a f_b)

Obecným cílem této zkoušky je především stanovit, jak se mění součinitel tření povrchu vozovky v závislosti na měřicí rychlosti v různých situacích. U podélného tření se zaměřuje na vztah mezi součinitelem tření a rychlostí při předem stanoveném poměru skluzu, což umožňuje lépe pochopit, jak se vozovka chová při brzdění nebo zrychlování. Na druhé straně, u bočního tření se zkoumá závislost součinitele tření na rychlosti při konkrétním úhlu odklonu kola, což poskytuje cenné informace o přilnavosti vozovky během zatáčení či jiného bočního pohybu vozidla. [56]

Existují dvě základní metody, jak přistupovat k měření protismykových vlastností povrchu vozovky. K tomu slouží zařízení, které lze rozdělit do následujících tří základních skupin [10]:

- Zařízení pro měření podélného tření (LFC – Longitudinal friction coefficient)
- Zařízení pro měření bočního tření (SFC – Sideway friction coefficient)
- Stacionární/pomalou se pohybující zařízení

První metodou je tzv. řízené blokování kola, při kterém je měřicí kolo umístěno rovnoběžně s měřenou vozovkou (LFC) [1]. Principem je rozdílná rychlost otáčení měřicího kola vůči rychlosti samotného měřicího vozidla, čímž dochází k řízenému prokluzu. Tento prokluz je vyjádřen v procentech a umožňuje přesné nastavení míry skluzu kola při měření. Pokud je nastaven prokluz na 0 %, měřicí kolo se otáčí volně bez výrazného tření vůči povrchu, tedy bez skluzu. Naopak při hodnotě 100 % je kolo zcela zablokováno, což znamená, že neumožňuje žádný pohyb vůči povrchu. Optimální hodnota prokluzu, která je používána při většině měření, je 15 % nebo 25 %, tato hodnota poskytuje ideální rovnováhu, kdy nedochází k blokování kola a zároveň zajišťuje nejkratší brzdnou dráhu [1]. Během tohoto

měření je zjišťována hodnota součinitele podélného tření f_p . K této metodě jsou využívána zařízení pro měření podélného tření, kam spadají měřicí zařízení jako BV-8, BV-11, ADHERA, Grip Tester, RoadSTAR, ROAR DK, ROAR NL, RWS NL, SRM, TRT, SRT-3 a IMAG [10].

Griptester

Griptester je přívěsný tříkolový měřicí vozík, který je běžně tažen dodávkovým vozidlem. Toto tažné vozidlo je vybaveno nádrží na vodu, jejíž objem určuje maximální vzdálenost, kterou je možné bez přerušení změřit. V případě, že je Griptester tažen vozidlem, je nádrž na vodu umístěna právě na tomto vozidle, aby zajišťovala konstantní zavlažování měřicího kola během celého procesu měření. Kromě toho je však Griptester vybaven i vlastní menší nádrží, která slouží v situacích, kdy je vozík tlačěn obsluhou manuálně, například v omezených nebo stísněných prostorách, kde nelze použít tažné vozidlo (viz obr. 19).

Griptester byl původně vyvinut v 80. letech 20. století a jeho prvotním účelem bylo měření protiskluzových vlastností na přistávacích plochách pro helikoptéry na vrtných plošinách, kde byl kvůli omezenému prostoru vozík tlačěn ručně. Díky své všestrannosti a spolehlivosti se však postupně začal využívat i na širším spektru povrchů, včetně dálnic, letištních ploch, a dokonce i chodníků. Dnes je Griptester jedním z nejrozšířenějších zařízení pro měření protiskluzových vlastností povrchů, a to jak v dopravní infrastruktuře, tak v letectví. [2]

Princip měření spočívá v tom, že měřicí kolo vozíku má pevně nastavený poměr rychlosti otáčení vůči rychlosti, kterou se vozík pohybuje. Například při standardní měřicí rychlosti 50 km/h se měřicí kolo otáčí rychlostí 7 km/h, což vytváří prokluz kola přibližně 15 %. Maximální měřicí rychlost Griptesteru může dosahovat až 130 km/h, avšak při vyšších rychlostech může dojít ke snížení stability vozíku, což může ovlivnit přesnost měření. Z tohoto důvodu se pro optimální výsledky doporučuje měření provádět při nižších rychlostech. [2]

Jednou z hlavních výhod Griptesteru je jeho kompaktní velikost, která ho činí mnohem lépe skladovatelným než větší měřicí vozidla. Díky svým menším rozměrům je snadnější nejen ho převážet, ale i uložit, což je praktické zejména pro společnosti nebo organizace, které mají omezený prostor pro skladování techniky. Navíc je Griptester díky své přenositelnosti flexibilnější, což umožňuje jeho využití i v oblastech, kde by větší měřicí vozidla, jako například SCRIM, měla problém operovat.

Další významnou výhodou Griptesteru jsou nižší pořizovací náklady. Ve srovnání s jinými specializovanými měřicími vozidly, jako je SCRIM, které jsou vybaveny pokročilou technologií a mají i větší nároky na údržbu, je Griptester cenově dostupnější variantou.

To ho činí vhodnou volbou pro menší organizace nebo správce komunikací, kteří chtějí efektivně monitorovat protismykové vlastnosti povrchů, aniž by museli investovat do drahého vybavení. [17]

Jednou z dalších výhod, které stojí za zmínku, je také velmi jednoduchá obsluha Griptesteru. Zařízení bylo navrženo tak, aby jeho používání bylo co nejméně náročné, což zjednodušuje práci obsluze a zároveň šetří čas. Operátoři nepotřebují složité školení ani hluboké technické znalosti, což znamená, že samotný proces měření může probíhat rychle a efektivně. Kalibrace, která je nezbytná pro zajištění přesnosti měření, je u Griptesteru rovněž velmi snadná, tento proces trvá pouhých 10 minut. [17]



Obr. 19 Griptester [17]

TRT

TRT je zkratka označující Tatra Runway Tester, což napovídá, že původní měřicí vozidlo vycházelo z automobilu značky Tatra, konkrétně modelu 613 (viz obr. 20). Kvůli konstrukci tohoto modelu, který má motor umístěný v zadní části, bylo nutné měřicí kolo umístit do prostoru zadních sedadel. V této oblasti se nacházela také nádrž na vodu o objemu 400 litrů, která byla nezbytná pro provádění měření [46].

V době vývoje tohoto vozidla existovalo pouze jediné jiné měřicí zařízení značky SAAB, což vytvořilo potřebu navrhnout a vyrobit domácí měřicí vůz schopný splnit obdobné úkoly. Tatra Runway Tester byl primárně určen k měření protismykových vlastností na letištních plochách, jako jsou vzletové a přistávací dráhy. Současně však jeho konstrukce umožňovala využití i na běžných pozemních komunikacích, což rozšířilo možnosti jeho praktického uplatnění. [47]



Obr. 20 TRT – Tatra 613 [46]

V roce 1989 bylo vyvinuto nové vozidlo TRT výzkumným kolektivem z Výzkumného ústavu dopravního (VÚD) v Brně pod vedením odborníka Ing. A. Bazaly, CSc. Vozidlo je založeno na platformě Ford Transit (viz obr. 21). Po několika letech vývoje a zkoušek prošlo zařízení v roce 1992 přísnou homologací od Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO – International Civil Aviation Organization) ve zkušebních laboratořích NASA v USA. Tento úspěch potvrdil jeho spolehlivost a přesnost, a to nejen pro použití na pozemních komunikacích, ale i pro aplikace v letectví. Měřicí vozidlo TRT bylo v České republice zvoleno jako národní referenční zařízení pro měření součinitele tření povrchu vozovky v souladu s normou ČSN 73 6177. [18]

Jednou z hlavních technických výhod měřicího vozidla TRT je jeho brzděné měřicí kolo, které je hydraulicky ovládané a umožňuje precizní nastavení prokluzu v rozsahu od 0 % do 100 %. Toto nastavení zajišťuje flexibilitu a přesnost při měření různých typů tření i pro experimentální měření. Další významnou vlastností je hydraulicky ovládaný přítlak měřicího kola, který se pohybuje v rozmezí 700 až 1200 N, což umožňuje přizpůsobení podmínek měření podle požadavků konkrétního povrchu. Díky těmto technologiím je zařízení ideální pro měření součinitele podélného a bočního tření, jak je popsáno v kapitole 1.3.3. [18]



Obr. 21 Měřící vozidlo TRT [18]

V roce 2019 došlo k významné modernizaci tohoto zařízení, což přineslo zlepšení jeho technických parametrů i uživatelského komfortu. Modernizovaná verze TRT je nyní postavena na platformě nákladního vozidla Mercedes-Benz Sprinter 319 CDI (viz obr. 22). Nové brzděné měřící kolo je vybaveno elektromagnetickým retardérem, který zajišťuje ještě větší přesnost při řízení měření. Přítlak kola k povrchu vozovky je nově regulován pneumatickým systémem, oproti původnímu hydraulickému. Měřící vozidlo používá speciální pneumatiku bez dezénu ASTM (American Society for Testing and Materials), která je určena pro přesná měření tření, jako u jiných měřících zařízení. Nádrž na vodu, kterou je vozidlo vybaveno, má kapacitu 700 litrů, což umožňuje provádění delších měřících úseků bez nutnosti častého doplňování vody. [19]

Jednou z výrazných výhod tohoto zařízení je možnost úplného sklopení měřícího kola přímo do vnitřku vozidla [19]. Tento mechanismus umožňuje bezpečné uschování měřícího kola během přepravních nebo nepracovních fází, což snižuje riziko jeho poškození při jízdě po běžných komunikacích nebo při parkování. Díky tomuto sklopení se kolo stává chráněné před vlivy okolního prostředí, a zároveň vozidlo získává větší mobilitu, protože odstranění vystupujícího měřícího prvku eliminuje překážky, které by mohly komplikovat jeho provoz. Tento prvek rovněž zlepšuje celkovou aerodynamiku a usnadňuje údržbu měřícího zařízení.

TRT je navrženo pro měření na různých typech povrchů, včetně pozemních komunikací a letištních ploch, což z něj činí univerzální zařízení. Standardní měřící rychlost je 60 km/h, což je ideální pro většinu komunikací. Na dálnicích lze dosáhnout rychlosti měření až 80 km/h,

což umožňuje rychlé a efektivní vyhodnocení protismykových vlastností i na rozsáhlých dopravních úsecích bez nutnosti omezení provozu na těchto komunikacích. [19]



Obr. 22 Modernizované vozidlo TRT [20]

Druhým přístupem je dosažení skluzu kola pomocí jeho odklonu (SFC) [1]. K tomuto přístupu jsou používána zařízení pro měření bočního tření, která pracují na principu natočení měřicího kola do určitého úhlu vůči směru pohybu vozidla. Ačkoliv se měřící vozidlo pohybuje stále v podélném směru pozemní komunikace, tak se při této metodě měří součinitel bočního tření f_b . Do této skupiny patří například měřící zařízení jako SCRIM a SKM [10]. Tento úhel naklonění vytváří boční síly, které působí na měřící kolo, a umožňuje tak analyzovat boční tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky. Měřící kolo je při testování obvykle odkloněno od podélné osy vozovky pod úhlem 20° , což je standardní hodnota, která byla již zmíněna v kapitole 1.3.1. Norma ČSN 73 6177, která stanovuje postupy měření součinitele bočního tření, také definuje odklon měřicího kola právě ve výši 20° .

SCRIM

Měřící vozidlo, které nachází své využití po celém světě, představuje univerzální nástroj pro různé druhy měření a analýz povrchů komunikací. V evropských zemích je jeho využití nejrozšířenější ve Velké Británii, kde bylo samotné vozidlo vyvinuto. Na americkém kontinentu pak našlo své uplatnění v několika státech, mezi které patří například Texas, Virginie, Florida, Indiana či Washington [41]. Na obrázku 23 je zobrazeno měřící vozidlo na platformě Volvo.

Toto speciálně upravené nákladní vozidlo je vybaveno pátým kolem, které je umístěno v dráze levého kola vozidla, jak je vidět na obrázku 15. Jednou z jeho hlavních funkcí je možnost neustálého zkrápění tohoto měřicího kola vodou z nádrže s objemem až 7000 litrů, kterou má vozidlo k dispozici [40].

Kapacita nádrže na vodu je navržena s ohledem na specifické požadavky, které stanovuje konkrétní investor. Tyto požadavky mohou vycházet z plánovaného způsobu využití vozidla, frekvence jeho provozu či očekávané spotřeby vody během jeho činnosti. Zároveň je třeba zohlednit technické možnosti samotného výrobce vozidla, který může být omezen konstrukčními parametry nebo maximální nosností daného modelu. V USA se můžeme setkat s většími objemy nádrží ve srovnání s Evropou. Tento rozdíl je dán zejména výrazně delšími silničními a dálničními úseky, které je potřeba pokrýt během jedné jízdy, což vyžaduje vyšší zásobu vody pro zajištění efektivního provozu vozidla. Výsledná velikost nádrže tedy kombinuje požadavky uživatele, technické možnosti výrobce a specifické geografické podmínky daného regionu.

Při měřicí rychlosti 50 km/h činí průměrná spotřeba vody přibližně 0,95 litru za sekundu, při rychlosti 80 km/h je to 1,64 litru za sekundu [15]. Tyto hodnoty jasně ukazují, že rychlost měření má přímý vliv na spotřebu vody. Vyšší rychlost zvyšuje efektivitu práce a umožňuje rychlejší pokrytí měřicích úseků, ale zároveň klade větší nároky na zásobu vody ve vozidle. Zvýšená spotřeba vody při vyšší rychlosti pak znamená, že intervaly mezi jednotlivými doplněními nádrže se zkracují, což může ovlivnit celkovou efektivitu měření. Při zmíněné průměrné spotřebě vody a za předpokladu určitého objemu nádrže na vodu lze přitom pokrýt až 100 kilometrů měřicího úseku bez nutnosti přerušování práce kvůli doplňování vody.

Měřicí kolo lze natočit do libovolného úhlu v závislosti na požadavcích konkrétního měření, čímž se dosahuje požadovaného skluzu. Pneumatika tohoto kola, o rozměrech 3.00 x 20 palců, je vyrobena z přírodní gumy s přesně specifikovanou hodnotou odolnosti, aby bylo dosaženo konzistentních výsledků [42]. Kromě toho je třeba zmínit, že pneumatika nemá žádný dezén, což zajišťuje přesnější měření tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky, jelikož nemůže dojít k opotřebení samotného dezénu pneumatiky. V minulosti se na měřicí kolo umísťovalo závaží o hmotnosti 200 kg, které mělo zajistit konstantní přítlak během měření. Dnes však tato metoda byla nahrazena modernější technologií, a zatížení kola se nyní sleduje pomocí speciálních snímačů. Tyto snímače umožňují přesně zaznamenat zatížení v reálném čase a kompenzovat jakékoli výkyvy, které by mohly nastat v důsledku naklánění vozidla nebo

nerovností na povrchu vozovky. Tato vylepšení přispěla k větší přesnosti a spolehlivosti měření. [15]

Jedním z mála nevýhod tohoto zařízení je jeho omezená schopnost provádět měření na komplikovaných místech, jako jsou okružní křižovatky nebo hustě obydlené oblasti, vzhledem ke své velikosti. V těchto případech je vozidlo nuceno měřit pouze rychlostí 20 km/h, což může ovlivnit kvalitu a přesnost získaných dat [15].



Obr. 23 Měřící vozidlo SCRIM [16]

Pomalou jedoucí měřící zařízení se využívá především ke stanovení protismykových vlastností vodorovného dopravního značení. Díky pomalé jízdě mohou tato měřící zařízení zachytit i drobné odchylky a přesně analyzovat protismykové vlastnosti za určitých klimatických podmínkách, například při moku. Do této kategorie spadají měřící zařízení jako T2GO nebo VTI Portable Friction Tester, zobrazená na obrázku 24 [10].



Obr. 24 T2GO (vlevo) a VTI (vpravo) [10]

Při provádění měření je nezbytné dodržovat určitá omezení, která zajišťují přesnost a spolehlivost získaných výsledků. Jedním z omezení je teplota mokrého povrchu vozovky, která by měla zůstat v rozmezí od +5 °C do +40 °C [56]. Pokud by teplota klesla pod spodní hranici, nebo naopak přesáhla horní limit, mohlo by dojít ke zkreslení naměřených hodnot a tím i ke snížení vypovídací hodnoty výsledků. Dalším zásadním omezením je geometrie měřeného úseku, konkrétně minimální poloměr oblouků, který musí být větší než 35 metrů [56]. Dodržení tohoto parametru je nutné pro správnou funkci měřícího zařízení a zachování přesnosti měření.

Měřicí rychlost, která se musí dodržovat s tolerancí maximálně $\pm 5\%$, je odvislá od maximální dovolené rychlosti na dané pozemní komunikaci [56]:

- Pro dovolenou rychlost 130 km/h je měřicí rychlost 60, 80, 100, nebo 120 km/h
- Pro dovolenou rychlost 90 nebo 110 km/h je měřicí rychlost 40, 60, 80, nebo 100 km/h
- Pro dovolenou rychlost 50 km/h je měřicí rychlost 40, 50, nebo 60 km/h, avšak lze zvolit i rychlost 30 km/h

Proces vyhodnocení naměřených hodnot probíhá porovnáním s danými kritérii uvedenými v tabulce 5. Na základě této tabulky je každému úseku komunikace přiřazen klasifikační stupeň v rozmezí od 1 do 5, přičemž každý stupeň odpovídá konkrétnímu stavu povrchu a jeho vlastnostem. Tento postup umožňuje systematické hodnocení kvality komunikace a poskytuje přehled o tom, zda povrch splňuje požadované parametry, případně kde je třeba provést úpravy

či opravy. Klasifikační stupně slouží zároveň jako podklad pro plánování údržby či dalšího zlepšování stavu komunikace.

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

Tab. 5 Klasifikační stupeň pro danou měřicí rychlost a součinitel podélného tření [56]

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato kapitola se zaměřuje na popis měření prováděných v rámci diplomové práce. V úvodu budou představena jednotlivá měřicí místa včetně jejich charakteristik a významu pro danou problematiku. Následně budou podrobně popsány použité metody měření spolu s přehledem měřících přístrojů, jejich specifikací a principů fungování. Součástí kapitoly je rovněž metodika měření, která definuje postupy, podmínky a aspekty nutné pro dosažení přesných a reprodukovatelných výsledků. V závěru kapitoly bude provedeno vyhodnocení získaných dat na základě platné legislativy.

2.1 Výběr a popis měřených úseků

Tato kapitola se zaměřuje na výběr měřených úseků a jejich podrobný popis. Popisuje metodiku výběru, charakteristiku jednotlivých lokalit a jejich význam pro účely měření. Pro účely měření byly vybrány celkem 3 lokace. První úsek je odbavovací plocha na letišti v Hradci Králové, druhým úsekem je ulice Sladkovského v Pardubicích a třetím z nich jsou povrchy v areálu betonárny Cemex v Pardubicích.

Každé z uvedených míst je charakteristické odlišnými vlastnostmi a specifickými požadavky na výsledný cementobetonový povrch, přestože základní materiál je stejný. Jedním z klíčových rozdílů je typ dopravních prostředků, které se na těchto místech pohybují. Na letištní ploše se očekává provoz zcela odlišný od silničního úseku v intravilánu, kde se pohybují zejména osobní automobily a městská hromadná doprava. Tento rozdíl ovlivňuje nároky na konstrukci povrchů, konkrétně na pevnostní charakteristiky materiálu, podélné a příčné sklony a také na hloubku makrotextury, která má vliv na odvod vody a protismykové vlastnosti.

Dalším zásadním faktorem je vliv okolního prostředí. Letiště, které je z bezpečnostních důvodů umístěno v otevřeném prostoru bez vysokých překážek v ochranných pásmech, je vystaveno jiným klimatickým podmínkám než měřicí úsek na ulici Sladkovského. Tento úsek je obklopen hustou zástavbou, což snižuje přímý vliv okolního prostředí, například větru nebo slunečního záření.

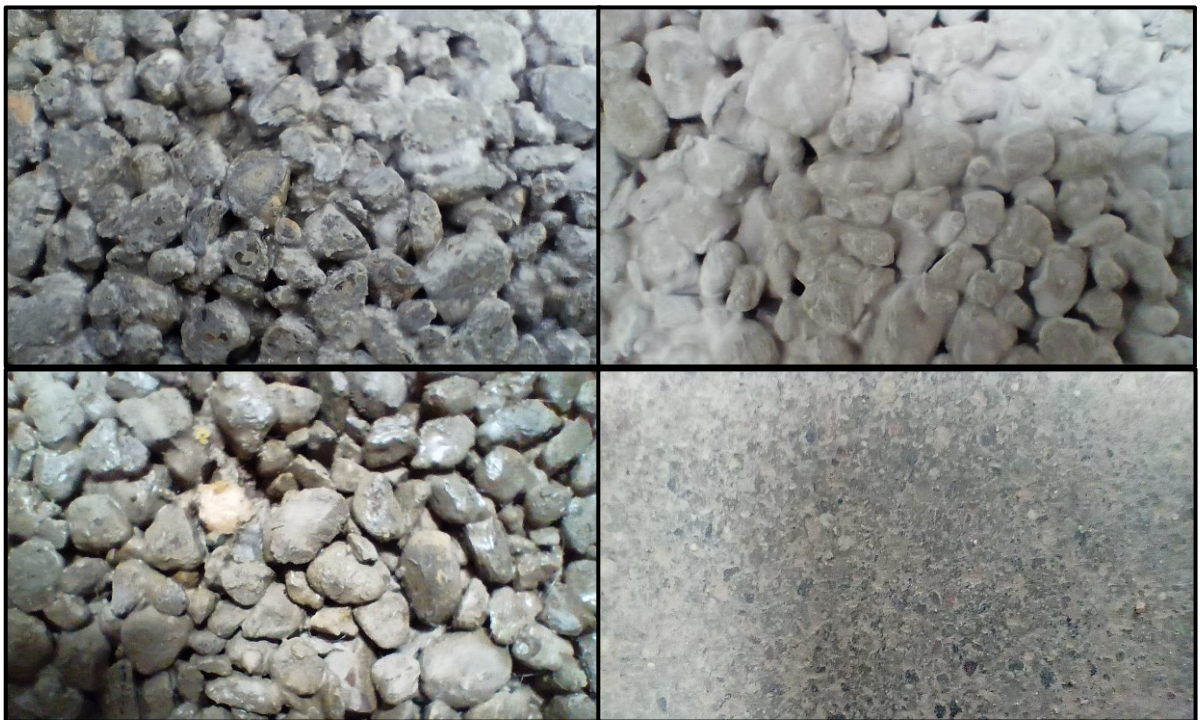
Měřené povrchy nacházející se v areálu betonárny mají zase jiné vlastnosti a požadavky, jako je například vyšší mezerovitost nebo odlišná hloubka makrotextury, což je odlišuje od letištních ploch i intravilánových komunikací.

Betonárna Cemex v Pardubicích

V rámci areálu betonárny Cemex byly pro měření zvoleny dva odlišné typy betonových povrchů (viz obr. 25), Prvním z těchto povrchů je mezerovitý beton s obchodním názvem PERVIA, který se vyznačuje schopností propouštět vodu. Druhým typem povrchu je podlahový beton speciálně navržený pro použití v průmyslových halách s vyšší pevností a odolností vůči mechanickému zatížení, které je v těchto prostředích běžné.

Společnost Cemex nabízí celkově 3 produkty [48]:

- PERVIA 10 s minimální pevností v talku 10 MPa a s mezerovitostí 25 %,
- PERVIA 20 s minimální pevností v talku 20 MPa a s mezerovitostí 20 %,
- PERVIA 30 s minimální pevností v talku 30 MPa a s mezerovitostí 15 %.



Obr. 25 Vlevo nahoře PERVIA 20, vpravo nahoře PERVIA 30, vlevo dole PERVIA 10 a vpravo dole podlahový halový beton

Pro účely provedení měření byly využity všechny uvedené produkty. V případě produktu PERVIA 20 však byla provedena ještě doplňková měření zahrnující různé povrchové úpravy. Testován byl například povrch obarvený speciálním pigmentem a dále povrch, který byl chemicky očištěn od vápenných výkvětů. Jako jediný z produktů byl PERVIA 20 vystaven vlivům okolního prostředí, čímž bylo možné analyzovat jeho chování v reálných podmínkách. Naopak měření vlastností povrchů PERVIA 10 a PERVIA 30 probíhalo v uzavřené hale, kde byly zkoušky realizovány na testovacích vzorcích v kontrolovaných podmínkách.

Podlahový beton použitý pro měření v uzavřené hale má sice recepturu shodnou jako běžný beton, avšak vykazuje několik zásadních odlišností, které ho činí specifickým pro dané aplikace. Tento typ betonu obsahuje rozptýlenou výztuž, která se skládá z jemných drátků rozmístěných v celé jeho struktuře. Tyto drátky zajišťují rovnoměrné rozložení tahových sil a přispívají k vyšší pevnosti a celkové odolnosti materiálu.

Kromě toho je povrch tohoto betonu dále upravován procesem nazývaným pancéřování, které výrazně zlepšuje jeho vlastnosti. Tento proces zahrnuje použití leštících zařízení, kdy se během fáze tuhnutí betonu roznese na zaschlý povrch vsypová směs. Tato směs se následně zapracuje a vyleští, čímž vzniká mimořádně pevný a odolný povrch. Tato úprava zvyšuje pevnost povrchu až na 120 MPa a odolnost vůči mechanickému poškození, čímž je beton ideální pro prostory s vysokým zatížením, jako je právě zmíněná hala. Avšak díky procesu leštění povrch ztrácí makrotexturu, což znamená, že jeho protismykové vlastnosti se výrazně zhoršují.

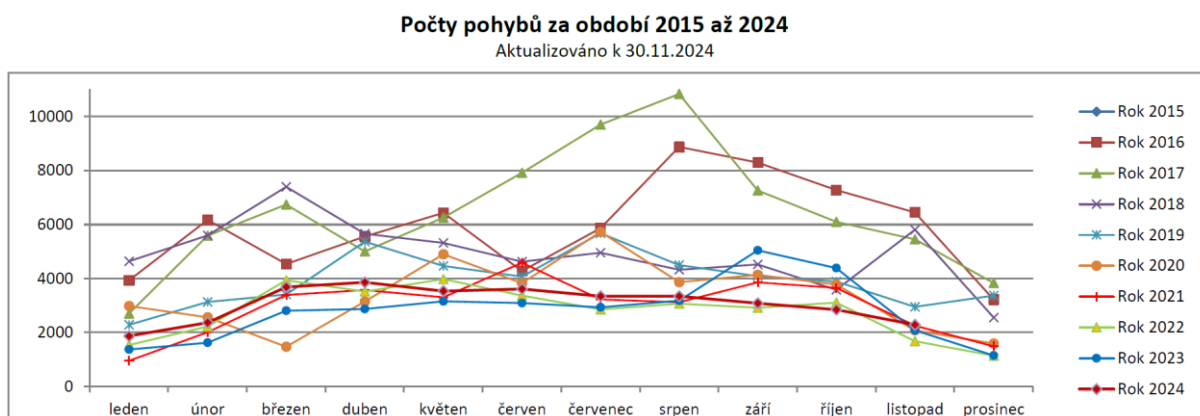
Letiště Hradec Králové (LKHK)

Na letišti byla pro účely měření zvolena konkrétní odbavovací plocha (viz obr. 26), která je označena jako M2 a M3, a její poloha je definována GPS souřadnicemi 50.2496472° N, 15.8445194° E s nadmořskou výškou 240 metrů nad mořem. Tato plocha je primárně určena k odbavování letadel, což zahrnuje jejich dočasné umístění během manipulace, doplnění pohonných hmot a dalších provozních činností. Rozměry odbavovací plochy jsou přibližně 400 × 80 metrů, což ji činí dostatečně prostornou pro měření protismykových vlastností. Zároveň byla tato plocha vybrána díky své rovné a homogenní povrchové struktuře, která umožňuje provádět měření potřebná pro analýzu protismykových vlastností cementobetonového povrchu.



Obr. 26 LKHK [50]

Původně zamýšlenou volbou pro provedení měření byla přistávací a vzletová dráha (RWY), nicméně z důvodu vysoké intenzity provozu během plánované doby měření, jak ilustruje graf 10, nebylo možné tuto plochu využít. Na RWY by bylo během měření přibližně 5 pohybů letadel za hodinu, což by způsobovalo časté přerušování a znemožnilo by provádění kontinuálních měření. Kvůli těmto provozním omezením byla RWY jako lokalita vyřazena a pozornost se zaměřila na odbavovací plochu, která se vyznačuje výrazně nižší intenzitou provozu a umožnila realizaci měření za optimálních podmínek.

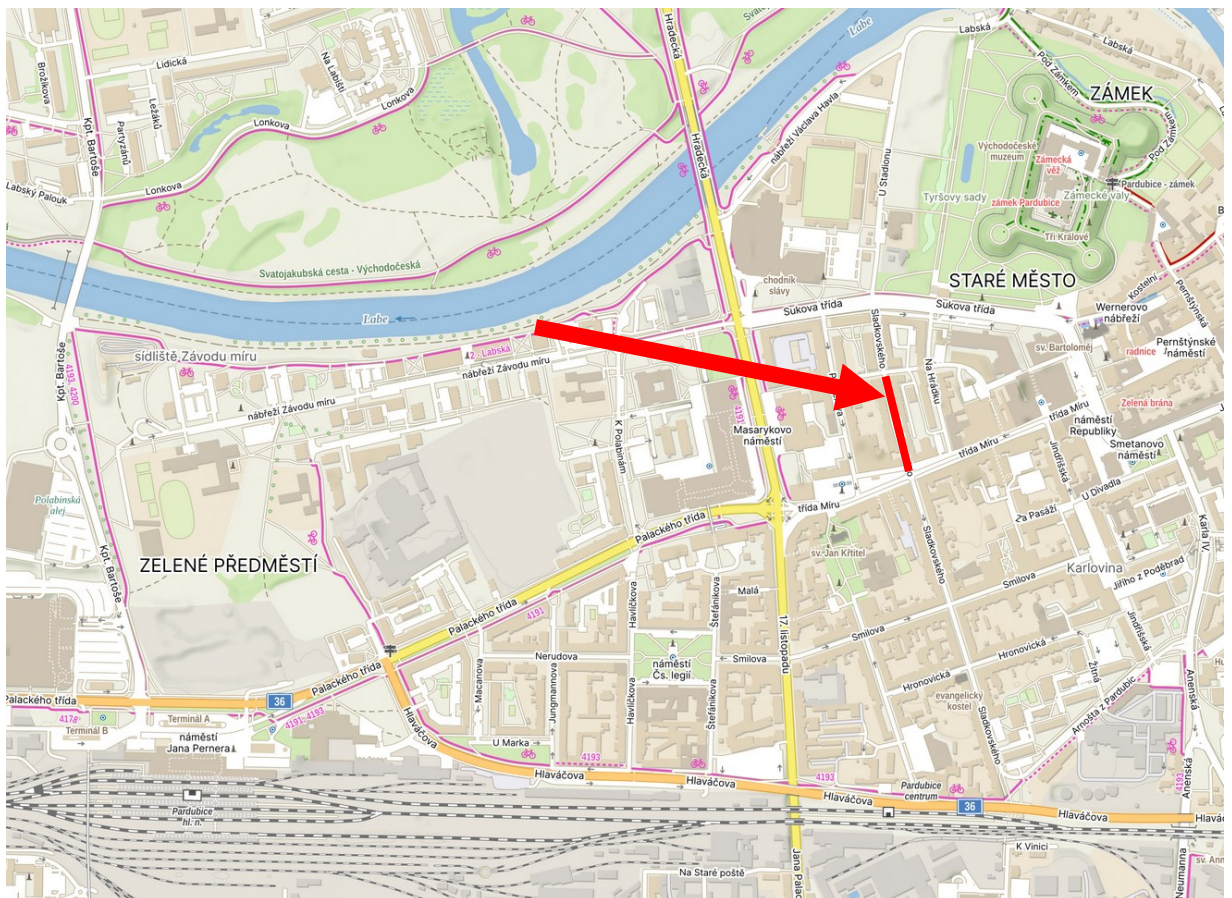


Graf 10 Počet pohybů na LKHK [49]

Povrch této odbavovací plochy je klasifikován označením PCN 33R/B/XTT. Tento parametr specifikuje, že se jedná o cementobetonový povrch s konstrukcí vozovky postavenou na podloží střední únosnosti, které má charakteristiku únosnosti přibližně 80 MN/m³ v intervalu od 60 do 120 MN/m³. Dále tento povrch umožňuje zatížení pneumatikami s tlakem až 1,75 MPa. Klasifikace „T“ odkazuje na technické hodnocení, které bylo zpracováno na základě odborných studií zaměřených na charakteristiky vozovek a aplikaci teorie jejich chování. [65]

Ulice Sladkovského v Pardubicích

Tato ulice se nachází v centru krajského města Pardubice (viz obr. 27) a její střed je určen GPS souřadnicemi 50.0354519° N, 15.7736222° E a nadmořskou výškou 220 metrů nad mořem. V minulosti byl povrch této komunikace tvořen žulovou dlažbou, avšak v roce 2022 prošla ulice výraznou rekonstrukcí, během níž byl stávající kryt nahrazen jednovrstvým cementobetonovým povrchem. Nový cementobetonový kryt je z obou stran upnut do odvodňovacích žlabů, které zároveň sloužily jako bednění při pokládce čerstvého betonu.



Obr. 27 Ulice Sladkovského [51]

Jedná se o dvoupruhovou směrově nerozdělenou komunikaci, která je situována v obytné zóně. V této oblasti dochází především k pomalému pohybu vozidel, což odpovídá charakteru této komunikace jakožto místní komunikace III. třídy, tedy obslužné komunikace určené pro zajištění přístupu k okolním nemovitostem a doplňkové dopravy. Ulice spojuje dvě významné třídy města – Sukovu třídu a třídu Míru, což jí přidává na důležitosti z hlediska městské dopravní infrastruktury.

Komunikace je z obou stran lemována převážně pětipodlažními obytnými domy, které svými rozměry výrazně omezují přímý dopad slunečního záření na povrch komunikace. V kombinaci se světlou barvou cementobetonového krytu tento faktor významně přispívá k tomu, že povrch vozovky nenabývá tak vysokých teplot jako v jiných částech města (viz. Graf 7). Tento jev je pozitivní zejména z hlediska komfortu obyvatel přilehlých budov, neboť okolní teploty v letních měsících zůstávají v příznivějších hodnotách, což snižuje celkové tepelné zatížení této hustě osídlené oblasti.

2.2 Provádění měření

Tato kapitola se věnuje výběru metod pro měření protismykových vlastností na vybraných úsecích. Hlavním cílem je představit zvolenou metodiku, která zahrnuje nejen popis jednotlivých kroků měření, ale také podrobný přehled o použitých měřicích přístrojích a zařízeních. Pro realizaci tohoto měření byly vybrány celkem tři různé metody, přičemž každá z nich zahrnuje odlišné aspekty hodnocení povrchových vlastností vozovek.

První metodou je zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem, které je široce využíváno díky své jednoduchosti a schopnosti poskytnout okamžité výsledky lokálního hodnocení mikrotextury a makrotextury povrchu. Druhou metodou je zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou, která poskytuje údaje o makrotextuře povrchu. Poslední zvolenou metodou je měření protismykových vlastností za použití speciálního měřicího vozidla SFT (surface friction tester), které umožňuje kontinuálně měřit součinitel tření povrchu vozovky na vybrané délce měřeného úseku.

Výběr těchto tří metod byl proveden s ohledem na dostupnost potřebných měřicích zařízení, která jsou k dispozici v rámci Univerzity Pardubice a LSHK (Letecké služby Hradec Králové). Kombinace těchto metod umožňuje komplexnější analýzu protismykových vlastností vozovek, přičemž každá z nich přináší specifické informace, jež se vzájemně doplňují.

Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem

Tato metoda je navržena k přímému hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, přičemž výsledkem měření je hodnota PTV (pendulum test value). Tato hodnota slouží jako klíčový ukazatel kvality povrchu, který se následně porovnává s tabulkami obsahujícími normativní limity. Na základě tohoto srovnání lze určit, zda povrch splňuje požadované standardy protismykových vlastností. Samotné měření bylo realizováno, jak je z názvu zřejmé, pomocí speciálního zařízení známého jako kyvadlo, konkrétně se jedná o model od výrobce MATEST s označením A113 (viz obr. 28).



Obr. 28 Kyvadlo MATEST A113

Kyvadlo je složeno z několika základních částí, které společně zajišťují přesnost a spolehlivost měření. Mezi tyto části patří robustní podstavec opatřený stavěcími šrouby a libelou pro vyrovnaní zařízení do vodorovné polohy, jednotková stupnice pro odečítání naměřených hodnot a uvolňovací mechanismus, který umožňuje provádět měření z vodorovné polohy ramene. Hlavním prvkem je samotné rameno, na němž je umístěna třecí patka. Tyto patky jsou dostupné ve dvou šířkách (úzké a široké) a ve dvou typech pryže (55 a 96). Pro účely měření byla zvolena široká třecí patka o šířce 76,2 mm, délce 25,4 mm a tloušťce 6,35 mm, díky které je možné získat pomocí čtení na stupnici přímo hodnotu PTV. Pro všechna měření byla použit typ pryže 55, který odpovídá měřením povrchů s automobilovou dopravou (odvalující se pneumatikou).

Proces měření zahrnuje několik kroků dle ČSN EN 13036-4, které musí být provedeny s vysokou pečlivostí, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších hodnot. Nejprve je nezbytné zařízení umístit na požadované místo měření, přičemž je důležité zajistit, aby se rameno pohybovalo ve stejném směru jako doprava na zkoumané vozovce. Poté se pomocí stavěcích šroubů a libely kyvadlo nastaví do přesné vodorovné polohy. Následuje kalibrace tření ložiska ramene, aby při volném pohybu ručička na stupnici ukazovala hodnotu 0,0. Dalším krokem je nastavení

prokluzu třecí patky na zkoumaném povrchu, což vyžaduje, aby se patka při kmitu smýkala po vzdálenosti 126 mm s maximální odchylkou 1 mm.

Jakmile je kyvadlo správně nastaveno a všechny předchozí kroky dokončeny, může začít samotné měření. Před zahájením testování je však nezbytné zajistit, aby povrch měřené vozovky byl zcela čistý a bez nečistot. K tomu se obvykle používá štětec, kterým se z povrchu odstraní prach, drobné kamínky a další volné částice. Pokud se na povrchu nachází odolnější nečistoty může být použita také voda k důkladnému omytí měřené plochy. Tímto postupem se eliminuje riziko, že by nečistoty ovlivnily přesnost naměřených hodnot. Samotné měření spočívá ve vykonání pěti opakovaných kmitů kyvadla. Během každého měření musí být zajištěno, že povrch zkoumané vozovky i třecí patka jsou dostatečně navlhčené.

Měření protismykových vlastností proběhlo na všech čtyřech měřících místech za různých teplotních podmínek. Na letišti v Hradci Králové (viz obr. 32) byla měření realizována ve dvou termínech, konkrétně dne 11. září 2024 a následně 6. listopadu 2024 (viz tab. 6 a 7). Každý měřící den zahrnoval měření na deseti konkrétních místech. Tato místa byla zvolena tak, aby zahrnovala střed osm po sobě jdoucích cementobetonových desek (viz obr. 29), přičemž měření proběhla rovněž na krajních částech první a osmé desky. Pro získání co nejpřesnějších výsledků byla měření prováděna s kyvadlem umístěným ve stopách měřícího kola vozidla SFT, a to rovnoměrně v obou směrech, pět měření v jednom směru a pět ve směru opačném. Celkově bylo za oba měřící dny provedeno 100 kmitů kyvadla, což zajistilo dostatečně velký a statisticky průkazný vzorek dat.



Obr. 29 Schéma měřících míst LKHK

LKHK – 11.9.2024	T _{povrch} –17,0 °C				Zataženo	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr
Kraj 1. desky	81	80	79	82	79	80,2
1. deska	70	69	65	70	69	68,6
2. deska	69	69	68	68	69	68,6
3. deska	76	77	78	76	79	77,2
4. deska	78	80	79	80	80	79,4
5. deska	76	77	76	77	78	76,8
6. deska	73	72	75	71	71	72,4
7. deska	75	76	76	78	78	76,6
8. deska	72	75	75	75	76	74,6
Kraj 8. desky	78	79	80	79	80	79,2

Tab. 6 PTV LKHK 11.9.2024

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C			Jasno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr
Kraj 1. desky	82	83	84	85	85	83,8
1. deska	84	83	83	83	83	83,2
2. deska	80	81	81	81	82	81
3. deska	82	82	83	83	84	82,8
4. deska	79	80	81	80	81	80,2
5. deska	80	82	81	81	80	80,8
6. deska	80	81	80	80	81	80,4
7. deska	79	80	81	80	82	80,4
8. deska	79	78	79	79	79	78,8
Kraj 8. desky	79	80	79	80	81	79,8

Tab. 7 PTV LKHK 6.11.2024

V areálu společnosti CEMEX proběhlo měření 1. října 2024 na různých typech betonových povrchů (viz obr. 30), přičemž se kladl důraz na vyhodnocení vlivu vnějších podmínek na jejich vlastnosti. Na povrchu mezerovitého betonu typu PERVIA 20, který byl přímo vystaven vlivům okolního prostředí, bylo provedeno celkem 12 měření (viz tab. 8). Tato měření zahrnovala čtyři testy na neošetřeném povrchu, další čtyři na povrchu chemicky očištěném od vápenných výkvětů a zbylá čtyři na povrchu opatřeném speciálním barevným pigmentem. Kromě toho byla provedena čtyři měření v uzavřené hale (viz tab. 9) na zkušebních vzorcích betonu PERVIA 10 a další dvě měření na vzorcích betonu PERVIA 30. V uzavřené hale byl zkoumán podlahový beton, na kterém bylo provedeno celkem tři měření.

CEMEX – 1.10.2024		T _{povrch} –11,0 °C			Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr
PERVIA 20 – 1	71	72	70	70	69	70,4
PERVIA 20 – 2	73	74	72	74	73	73,2
PERVIA 20 – 3	78	78	78	77	75	77,2
PERVIA 20 – 4	69	70	70	69	70	69,6
PERVIA 20 – ošetřený – 1	73	74	75	73	71	73,2
PERVIA 20 – ošetřený – 2	74	72	73	74	72	73,0
PERVIA 20 – ošetřený – 3	72	75	74	74	74	73,8
PERVIA 20 – ošetřený – 4	77	74	75	74	76	75,2
PERVIA 20 – barevný – 1	86	85	82	83	80	83,2
PERVIA 20 – barevný – 2	79	79	78	79	72	77,4
PERVIA 20 – barevný – 3	71	75	76	74	75	74,2
PERVIA 20 – barevný – 4	76	74	74	75	73	74,4

Tab. 8 PTV CEMEX – areál 1.10.2024

CEMEX – 1.10.2024		T _{povrch} – 20,0 °C				
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr
PERVIA 30	74	73	72	70	70	71,8
PERVIA 30	70	71	67	70	69	69,4
PERVIA 30	65	67	71	70	73	69,2
PERVIA 30	70	70	69	70	72	70,2
PERVIA 10	80	76	75	75	74	76,0
PERVIA 10	78	76	77	75	75	76,2
Podlahový beton – 1	47	45	45	45	45	45,4
Podlahový beton – 2	50	51	52	51	52	51,2
Podlahový beton – 3	48	46	46	46	45	46,2

Tab. 9 PTV CEMEX – hala 1.10.2024



Obr. 30 Měření v areálu CEMEX

Nejvyšší počet měření byl realizován na ulici Sladkovského (viz obr. 32), kde testování probíhalo v několika různých termínech (viz tab. 10 až 16): 5. listopadu 2022, 14. března 2023, 27. června 2023, 20. února 2024 (dvě samostatná měření), 17. července 2024 a 23. listopadu 2024. V každém z těchto měřících dnů bylo provedeno celkem osm měření (viz obr. 31), která zahrnovala osm cementobetonových desek v obou jízdních pásech komunikace. Konkrétně se jednalo o čtvrtou, pátou, devátou a desátou desku ve směru k třídě Míru.

Tento rozsáhlý počet měření umožnil rozsáhlý podklad pro následnou analýzu protismykových vlastností komunikace za různých podmínek a v různých časových obdobích.



Obr. 31 Schéma měřicích míst na ulici Sladkovského

Ulice Sladkovského – 5.11.2022	T _{povrch} – 13,0 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr
1L	62	64	65	70	68	65,8
2L	69	71	72	74	75	72,2
3L	75	79	81	83	85	80,6
4L	79	82	82	85	85	82,6
1P	65	73	74	75	73	72,0
2P	67	68	70	71	71	69,4
3P	73	74	75	75	79	75,2
4P	80	83	84	85	87	83,8

Tab. 10 PTV Sladkovského 5.11.2022

Ulice Sladkovského – 14.3.2023		T _{povrch} – 12,4 °C				Zataženo	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	85	84	82	83	84	83,6	
2L	76	76	78	77	75	76,4	
3L	79	82	80	83	83	81,4	
4L	73	72	73	71	70	71,8	
1P	71	69	68	72	71	70,2	
2P	74	72	72	73	73	72,8	
3P	75	75	76	79	78	76,6	
4P	81	80	81	81	82	81,0	

Tab. 11 PTV Sladkovského 14.3.2023

Ulice Sladkovského – 27.6.2023		T _{povrch} – 21,5 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	70	71	69	73	76	71,8	
2L	69	70	72	76	70	71,4	
3L	80	78	85	77	80	80,0	
4L	67	66	68	69	68	67,6	
1P	63	63	61	63	64	62,8	
2P	67	67	66	66	67	66,6	
3P	64	62	62	62	63	62,6	
4P	73	72	72	74	75	73,2	

Tab. 12 PTV Sladkovského 27.6.2023

Ulice Sladkovského – 20.2.2024		T _{povrch} – 8,6 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	81	80	80	80	80	80,2	
2L	80	82	81	82	84	81,8	
3L	75	75	74	74	75	74,6	
4L	86	86	89	85	85	86,2	
1P	77	76	76	76	76	76,2	
2P	82	80	79	79	80	80,0	
3P	76	76	78	78	77	77,0	
4P	80	80	82	82	82	81,2	

Tab. 13 PTV Sladkovského 20.2.2024 – 1

Ulice Sladkovského – 20.2.2024		T _{povrch} – 8,5 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	75	75	76	75	79	76,0	
2L	81	80	80	81	82	80,8	
3L	80	82	80	79	79	80,0	
4L	83	83	80	81	84	82,2	
1P	80	81	80	80	80	80,2	
2P	85	81	81	82	82	82,2	
3P	85	85	85	80	85	84,0	
4P	100	95	100	100	95	98,0	

Tab. 14 PTV Sladkovského 20.2.2024 – 2

Ulice Sladkovského – 17.7.2024		T _{povrch} – 26 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	75	74	74	75	75	74,6	
2L	82	74	77	77	79	77,8	
3L	74	76	79	75	75	75,8	
4L	72	71	71	71	73	71,6	
1P	74	75	75	74	72	74,0	
2P	70	70	70	69	70	69,8	
3P	73	72	74	75	74	73,6	
4P	70	70	71	72	74	71,4	

Tab. 15 PTV Sladkovského 17.7.2024

Ulice Sladkovského – 23.11.2024		T _{povrch} – 5 °C				Oblačno	
PTV	1. kyv	2. kyv	3. kyv	4. kyv	5. kyv	Průměr	
1L	77	78	77	78	78	77,6	
2L	81	80	80	79	80	80,0	
3L	79	80	80	79	80	79,6	
4L	83	83	84	84	84	83,6	
1P	80	80	81	80	80	80,2	
2P	84	85	85	85	86	85,0	
3P	84	84	84	84	85	84,2	
4P	89	89	89	90	90	89,4	

Tab. 16 PTV Sladkovského 23.11.2024



Obr. 32 Vlevo měření na ulici Sladkovského, vpravo měření na LKHK

Jednou z hlavních výhod této metody je kompaktnost samotného měřicího zařízení, které je snadno přenosné a nevyžaduje složité podmínky pro přepravu nebo uskladnění. Díky své jednoduché konstrukci umožňuje rychlé a snadné provádění měření, což se projeví především při provádění opakovaných měření nebo měření v různých lokalitách. Další významnou výhodou je schopnost provádět měření nejen v terénu, ale také v kontrolovaných laboratorních podmínkách, což umožňuje dosažení konzistentnějších výsledků v případě potřeby standardizovaných testů.

Rychlost provedení jednotlivých měření je dalším benefitem této metody. Ve srovnání s jinými technologicky pokročilými zařízeními, jako jsou například ASFT nebo SCRIM, lze testy realizovat velmi efektivně, což šetří čas i personální kapacity. Navíc je cena tohoto zařízení výrazně nižší než u zmíněných pokročilejších systémů využívajících senzory a výpočetní techniku. Nižší náklady činí tuto metodu přístupnější pro menší organizace nebo projekty s omezeným rozpočtem.

Na druhou stranu je třeba zmínit i nevýhody spojené s touto metodou. Především se jedná o nižší přesnost výsledků ve srovnání s modernějšími a technologicky pokročilejšími přístroji. Přesnost měření je zde do značné míry závislá na obsluze zařízení, což znamená, že lidský faktor může ovlivnit konzistenci a spolehlivost získaných dat. To může být problém zejména v situacích, kdy je třeba provádět detailní analýzy s velmi přesnými výsledky.

Zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou

Tato metoda představuje velmi jednoduchý a finančně nenáročný způsob, jak zjistit hloubku makrotextury povrchu. Ve srovnání s měřením pomocí kyvadla je tato metoda ještě ekonomičtější, nicméně, s nižší pořizovací cenou je spojena i určitá míra kompromisu v přesnosti měření, což je třeba vzít v úvahu při rozhodování o vhodnosti jejího použití.

Výstupem měření je hodnota označovaná jako MTD (mean texture depth), tedy střední hloubka makrotextury povrchu. Tato hodnota poskytuje kvalitativní ukazatel pro hodnocení povrchových vlastností z hlediska protismykových parametrů, ačkoli není tak přesná jako výstupy některých pokročilejších metod.

Měření na ulici Sladkovského proběhlo 23. listopadu 2024 (viz tab. 17), kde bylo pro analýzu zvoleno osm měřících míst. Tato místa byla identická s lokalitami, na kterých probíhalo dříve měření pomocí kyvadla. Tento přístup umožnil přímé porovnání naměřených hodnot mezi oběma metodami a zajištění konzistentních podmínek pro vyhodnocení vlastností povrchu.

Ulice Sladkovského – 23.11.2024	T _{povrch} – 5 °C			Oblačno	
MTD	D1	D2	D3	D4	Průměr [cm]
1L	42,6	41,3	42,4	42,9	42,3
2L	40,8	41,5	39,9	40,5	40,7
3L	41,2	42,8	41,6	40,7	41,6
4L	42,9	41,7	42,7	40,3	41,9
1P	43,3	42,8	41,3	44,1	42,9
2P	41,1	42,2	40,6	41,8	41,4
3P	40,3	38,7	40,0	39,4	39,6
4P	41,7	40,3	41,0	41,1	41,0

Tab. 17 MTD Sladkovského 23.11.2024

Na letišti v Hradci Králové proběhla měření ve dvou termínech, konkrétně 11. září 2024 a 6. listopadu 2024 (viz tab. 18 a 19). Pro měření byla stejně jako na ulici Sladkovského vybrána místa, která odpovídala místům použitým při dřívějších testech kyvadlovou metodou, tedy deset míst pro jeden měřící den. To umožnilo sledovat souvislosti mezi výsledky jednotlivých metod a odhalit případné odchylky způsobené technickými nebo povětrnostními podmínkami.

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C			Zataženo
MTD	D1	D2	D3	D4	Průměr [cm]
Kraj 1. desky	46,6	47,3	48,1	47,5	47,4
1. deska	41,5	43,0	42,4	44,7	42,9
2. deska	43,0	46,3	45,6	42,6	44,4
3. deska	44,7	46,7	47,3	42,9	45,4
4. deska	45,3	49,7	43,5	46,7	46,3
5. deska	44,9	42,8	41,7	46,4	44,0
6. deska	42,8	45,3	43,5	44,1	43,9
7. deska	42,7	45,2	41,6	41,7	42,8
8. deska	42,6	40,7	42,5	44,4	42,6
Kraj 8. desky	45,4	43,5	45,9	43,6	44,6

Tab. 18 MTD LKHK 11.9.2024

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C			Jasno
MTD	D1	D2	D3	D4	Průměr [cm]
Kraj 1. desky	46,1	46,3	45,9	44,7	45,8
1. deska	45,9	43,7	45,5	48,9	46,0
2. deska	46,9	42,2	45,4	43,3	44,5
3. deska	42,3	46,7	44,1	46,1	44,8
4. deska	45,4	43,1	42,2	43,7	43,6
5. deska	41,2	41,1	42,2	44,7	42,3
6. deska	43,7	43,1	42,4	44,9	43,5
7. deska	43,5	46,5	43,9	47,2	45,3
8. deska	45,2	43,3	43,4	41,5	43,4
Kraj 8. desky	43,3	45,6	45,1	43,2	44,3

Tab. 19 MTD LKHK 6.11.2024

V areálu společnosti Cemex nebylo měření makrotextury realizováno. Důvodem byla specifika povrchů, které tento typ měření prakticky znemožňovala. V případě podlahového betonu by použití metody bylo irelevantní, neboť tento typ povrchu má minimální makrotexturu, která neumožňuje efektivní rozptřeni skleněných kuliček potřebných pro měření. U mezerovitých betonů PERVIA se navíc vyskytuje další zásadní problém, kvůli vysoké míře propustnosti a mezerovitosti materiálu by skleněné kuličky propadávaly skrze povrch, čímž by byla narušena samotná metodika. Tyto charakteristiky zcela vylučují použití standardní metody měření makrotextury na daných typech povrchů, což zároveň zdůrazňuje potřebu volby specifických metod odpovídajících vlastnostem měřených materiálů.

V těchto případech by bylo vhodnější uvažovat o využití senzorových měřicích zařízení, která by umožnila analyzovat povrchové vlastnosti i u specifických betonů s minimální

makrotexturou nebo naopak vysokou mezerovitostí. Metody založené na senzorové technologii, jako jsou laserové skenery či ultrazvukové přístroje, poskytují přesnější a detailnější údaje, aniž by byly ovlivněny omezeními tradičních manuálních technik.

Pro provedení měření jsou nutné následující pomůcky (viz obr. 33):

- ocelový kartáč,
- štětec,
- odměrný válec s předem známým objemem,
- homogenní materiál – skleněné kuličky,
- stěrka k rozprostírání materiálu,
- pravítko,
- zástěna proti větru.



Obr. 33 Pomůcky pro měření odměrnou metodou

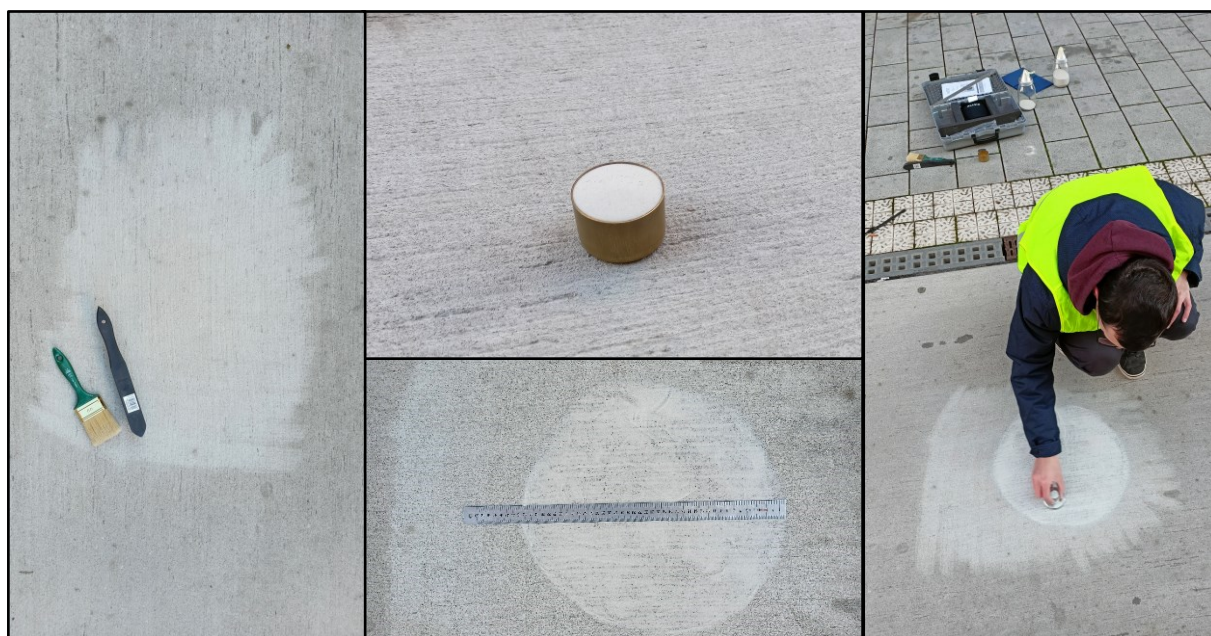
Postup při měření byl prováděn v několika na sebe navazujících krocích (viz obr. 34) dle příslušné normy ČSN EN 13036-1, přičemž důraz byl kladen na pečlivost a dodržování standardizovaných postupů, aby byla zajištěna co nejvyšší přesnost výsledků. Nejprve bylo nutné důkladně vyčistit povrch, na kterém měření probíhalo. K tomuto účelu byl použit ocelový drátěný kartáč pro odstranění větších nečistot. Po hrubém očištění následovalo jemnější dočištění štětcem, kterým byly odstraněny zbylé částice prachu a nečistot, jež by mohly ovlivnit rovnoměrné usazení měřícího materiálu a následně zkreslit výsledky.

Dalším krokem bylo, v případě potřeby, přistavení zástěny proti větru. Tato zástěna byla použita na LKHK (viz obr. 33), kde by vítr mohl rozfoukat jemné skleněné kuličky používané pro měření, což by negativně ovlivnilo přesnost výsledků a vyžadovalo opakování měření. Na ulici Sladkovského nebyla zástěna vzhledem k vysoké zástavbě použita.

Po přípravě měřicí plochy a vytvoření vhodných podmínek byl odměrný válec naplněn skleněnými kuličkami až po horní okraj, přičemž se lehkým poklepáváním na válec dosáhlo zhutnění obsahu. Tento krok byl důležitý pro dosažení přesného objemu kuliček, který odpovídá požadovaným parametrům měření. Po zhutnění byl válec případně dosypán, aby jeho obsah opět dosahoval plného objemu.

Obsah válce byl poté vysypán na předem očištěnou měřicí plochu. Pomocí speciální sěrky byly skleněné kuličky rozprostřeny do kruhového tvaru. Důraz byl kladen na to, aby kuličky rovnoměrně vyplnily makrotexturu povrchu a nevznikaly tak mezery, které by mohly zkreslit výsledky měření.

Nakonec byl změřen průměr kruhu byl na čtyřech různých místech, aby byla eliminována odchylka způsobená případnou nepravidelností kruhu. Průměrná hodnota těchto měření byla následně použita pro výpočet hloubky makrotextury povrchu, čímž bylo měření kompletní.



Obr. 34 Měření makrotextury odměrnou metodou na ulici Sladkovského

Stejně jako u metody měření pomocí kyvadla je i zde velkou výhodou kompaktnost a snadná přenositelnost zařízení. Další podobností je jednoduchost samotného měření, které lze realizovat s minimálním zaškolením obsluhy. Také tato metoda vyniká svou rychlostí,

což ocení především projekty vyžadující častá nebo opakovaná měření na různých lokalitách. Podobně jako metoda kyvadlem je i tato metoda finančně dostupná, což ji činí vhodnou volbou pro menší organizace nebo projekty s omezeným rozpočtem.

Podobně jako metoda měření kyvadlem má i odměrná metoda své limity, zejména v oblasti přesnosti. Výsledky jsou částečně závislé na lidském faktoru, protože kvalita měření se odvíjí od manuálního provedení jednotlivých kroků. Na rozdíl od modernějších metod využívajících senzory a výpočetní techniku zde může docházet k vyšším odchylkám mezi jednotlivými měřeními.

Měření protismykových vlastností za použití měřicího vozidla SFT

Měření součinitele podélného tření bylo prováděno za použití speciálně upraveného vozidla SAAB 900 vybaveného pátým kolem (viz obr. 35). Vozidlo je vybaveno centrálním počítačem Friction Tester Computer SC 2000 R, který obsahuje řídicí software a má celkovou paměť o kapacitě 128 kB [66]. Tento počítač slouží k zpracování a ukládání dat získaných během měření. Systém je doplněn zesilovačem signálu, jenž přijímá informace z měřicích čidel sledujících krouticí moment a rychlost otáčení měřicího kola. Vozidlo bylo vyvinuto společností SARSYS v 70. letech 21. století a jeho konstrukce byla optimalizována právě pro potřeby měření protismykových vlastností povrchů [54].



Obr. 35 Měřicí vozidlo SAAB 900 SFT

Pro snadné ovládání, kalibraci měřicího mechanismu a nastavení jednotlivých parametrů měření je SAAB vybaven odnímatelným řídicím panelem (viz obr. 36). Tento panel obsahuje

analogovou stupnicí, alfanumerický displej pro zobrazování hodnot a tlačítka umožňující snadné ovládání a přizpůsobení měření dle aktuálních požadavků. Vzhledem k absenci moderních komunikačních rozhraní a nedostatečné podpory aktuálních technologií, není možné zobrazení či přímý export naměřených dat do digitálních formátů. Pro zajištění exportu a uchování naměřených hodnot proto slouží integrovaná tiskárna na fotorpapír (viz obr. 36). Tento systém umožňuje záznam naměřených údajů ve fyzické formě, což bylo v době vývoje technologie standardním postupem. Naměřená data jsou tištěna přímo na fotorpapír v podobě grafů, které pak mohou být dále analyzovány manuálně pomocí naskenování a vyhodnocení v grafickém softwaru.



Obr. 36 Tiskárna s fotorpapírem a řídicí panel

Z důvodu absence nádrže na vodu, která by umožňovala zajištění potřebného zkráplení povrchu během měření, bylo přistoupeno k realizaci tzv. provozního měření. Tento typ měření probíhá za aktuálních podmínek prostředí, tedy bez umělého zajištění specifických podmínek, jako je například vlhkost povrchu. Tímto způsobem získané výsledky reflektují reálné provozní situace, které odpovídají stavu povrchu v daném čase, avšak nemusí být plně srovnatelné s výsledky měření provedených za standardizovaných laboratorních nebo kontrolovaných podmínek, jako například měření protismykových vlastností kyvadlem.

Měření bylo realizováno na letišti v Hradci Králové, které proběhlo na odbavovací ploše. V areálu společnosti Cemex nebylo měření realizováno, neboť zde nebylo možné zajistit kontinuální průběh měření. Na ulici Sladkovského se měření neuskutečnilo kvůli absenci platné

technické prohlídky a chybějícím registračním značkám. Měření probíhala ve dvou termínech, konkrétně 6. listopadu 2024 (viz tab. 20 a 21) a 11. září 2024 (viz tab. 22 a 23). Během každého měřicího dne bylo provedeno deset měření, přičemž pět měření bylo realizováno v jednom směru a pět ve směru opačném.

Začátek měření byl vždy stanoven po dosažení požadované měřicí rychlosti vozidla a spuštěním měřicího kola. Ukončení měření bylo definováno dosažením konce první nebo osmé cementobetonové desky v závislosti na směru jízdy. Tyto body byly zřetelně označeny kužely, což umožnilo určení konce měřicího úseku. Po dokončení měření vozidlem SAAB byly v oblasti stopy měřicího kola následně prováděny další testy pomocí odměrné metody a kyvadla, jak je popsáno v předchozích kapitolách. Tímto přístupem bylo dosaženo komplexního hodnocení protismykových vlastností testovaných povrchů.

Před zahájením měření bylo nezbytné provést kalibraci měřicího kola (viz obr. 37), což bylo nezbytné pro zajištění přesnosti získaných dat. Tento proces probíhal za pomoci speciálně navržených posuvných saní, které umožňovaly správné nastavení měřicího systému. Nejprve byl měřicí automobil pečlivě zajištěn proti pohybu, aby nedošlo k jeho posunu během kalibrace. Poté byl z vozidla vyjmut řídicí panel a byl připojen k dedikovanému konektoru umístěnému v zadní části automobilu. Po připojení řídicího panelu byly pod kola vozidla přisunuty posuvné sáně a bylo spuštěno měřicí kolo, které dosedlo do žlábků v kalibračních saních, přičemž bylo postupováno dle instrukcí zobrazených na řídicím panelu.



Obr. 37 Kalibrace měřicího kola pomocí posuvných saní

Po úspěšné kalibraci bylo možné zahájit měřicí proces. Nejprve byla nastavena požadovaná měřicí vzdálenost, která byla přizpůsobena konkrétním podmínkám testování.

Pro lepší orientaci a přehlednost byly definovány dva měřicí modely, označené jako Tax A a Tax B, které specifikovaly jízdu v jednom směru a následně v opačném směru. Po dosažení požadované rychlosti vozidla, která byla stanovena na 40 m/h (což odpovídá 64 km/h), bylo spuštěno měřící kolo na povrch vozovky. Jakmile se kolo dostalo do kontaktu s povrchem, bylo spuštěno kontinuální měření. Samotné měření probíhalo až do okamžiku dosažení konce měřícího úseku, který byl předem označen kuzelem pro snadnou identifikaci. V tomto bodě bylo měření ukončeno zvednutím měřícího kola, čímž byl testovací proces ukončen. Následovalo okamžité vytištění naměřených dat prostřednictvím integrované tiskárny na fotopapír. Tento postup se opakoval, dokud nebylo provedeno všech 10 měření (5 v jednom směru a dalších 5 ve směru opačném).

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C			Zataženo	
SFT	TaxA1	TaxA2	TaxA3	TaxA4	TaxA5	Průměr
Kraj 1. desky		0,76			0,78	0,77
1. deska		0,81	0,83	0,80	0,77	0,80
2. deska	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82
3. deska	0,85	0,83	0,84	0,83	0,82	0,83
4. deska	0,83	0,81	0,81	0,83	0,82	0,82
5. deska	0,83	0,81	0,80	0,79	0,81	0,81
6. deska	0,81	0,81	0,81	0,80	0,78	0,80
7. deska	0,81	0,83	0,82	0,82	0,78	0,81
8. deska	0,84	0,82	0,81	0,79	0,74	0,80
Kraj 8. desky	0,81	0,79	0,83	0,82	0,82	0,81

Tab. 20 SFT LKHK 11.9.2024 Tax A

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C			Zataženo	
SFT	TaxB1	TaxB2	TaxB3	TaxB4	TaxB5	Průměr
Kraj 1. desky	0,76	0,71	0,78	0,78	0,73	0,75
1. deska	0,82	0,81	0,80	0,80	0,80	0,81
2. deska	0,83	0,79	0,80	0,82	0,77	0,80
3. deska	0,83	0,82	0,81	0,80	0,83	0,82
4. deska	0,82	0,70	0,81	0,84	0,78	0,79
5. deska	0,78	0,76	0,74	0,77	0,80	0,77
6. deska	0,82	0,81	0,79	0,81	0,82	0,81
7. deska	0,83	0,83		0,81	0,82	0,82
8. deska	0,84	0,82			0,817	0,83
Kraj 8. desky	0,80	0,78				0,79

Tab. 21 SFT LKHK 11.9.2024 Tax B

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C			Zataženo	
SFT	TaxA1	TaxA2	TaxA3	TaxA4	TaxA5	Průměr
Kraj 1. desky	0,89	0,80	0,83	0,79	0,80	0,82
1. deska	0,82	0,85	0,86	0,84	0,84	0,84
2. deska	0,89	0,87	0,87	0,84	0,85	0,87
3. deska	0,90	0,88	0,89	0,86	0,88	0,88
4. deska	0,91	0,89	0,89	0,84	0,83	0,87
5. deska	0,91	0,85	0,84	0,85	0,83	0,86
6. deska	0,84	0,84	0,81	0,83	0,83	0,83
7. deska	0,86	0,85	0,84	0,85	0,82	0,84
8. deska	0,85	0,82	0,80	0,82	0,82	0,82
Kraj 8. desky	0,81	0,83	0,86	0,83	0,84	0,83

Tab. 22 SFT LKHK 6.11.2024 Tax A

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C			Zataženo	
SFT	TaxB1	TaxB2	TaxB3	TaxB4	TaxB5	Průměr
Kraj 1. desky	0,85	0,81	0,81	0,82	0,83	0,82
1. deska	0,87	0,85	0,87	0,82	0,85	0,85
2. deska	0,87	0,87	0,86	0,85	0,85	0,86
3. deska	0,89	0,88	0,86	0,85	0,87	0,87
4. deska	0,86	0,84	0,83	0,83	0,84	0,84
5. deska	0,85	0,80	0,77	0,82	0,83	0,81
6. deska	0,89	0,86	0,87	0,85	0,86	0,87
7. deska	0,90	0,88	0,85	0,84	0,86	0,86
8. deska	0,84	0,82	0,83	0,83	0,85	0,83
Kraj 8. desky		0,84	0,86	0,79	0,85	0,84

Tab. 23 SFT LKHK 6.11.2024 Tax B

V průběhu této práce byla příležitost blíže se seznámit s moderním měřicím zařízením ASFT (viz obr. 38), které je integrováno na platformě vozidla Škoda Octavia a je využíváno na brněnském letišti (LKTb). Toto zařízení představuje významný technologický pokrok ve srovnání se staršími modely, jako je vozidlo SAAB 900. Mezi jeho hlavní přednosti patří přítomnost nádrže na vodu pro zkrápnění měřeného povrchu, což umožňuje provádět měření za standardizovaných a kontrolovaných podmínek. Tato funkce umožňuje dosažení konzistentních výsledků v měření protismykových vlastností povrchu. Kromě mechanických vylepšení se zařízení vyznačuje i pokročilou digitalizací celého měřicího procesu (viz obr. 39). Naměřená data jsou zpracovávána pomocí integrovaného softwarového systému a mohou být

přímo exportována v digitální podobě. Tato možnost významně usnadňuje jejich další analýzu, archivaci i sdílení.



Obr. 38 Měřicí vozidlo ASFT



Obr. 39 Digitalizace systému, vlevo SAAB SFT, vpravo ŠKODA ASFT

Shrnutí měření

V tabulce 24 je shrnutí všech provedených měření. Obsahuje přehledný soupis počtu jednotlivých měřících bodů či úseků a celkového počtu získaných hodnot pro každou z použitých metod. Kromě těchto údajů jsou v tabulce uvedena také data jednotlivých měření.

Počet měřících bodů	CEMEX	Sladkovského	LKHK
MTD	0 bodů	8 bodů	10 bodů
PTV	21 bodů	8 bodů	10 bodů
SFT	0 bodů	0 bodů	1 úsek
Počet naměřených dat	CEMEX	Sladkovského	LKHK
MTD	0	32	80
PTV	105	280	100
SFT	0	0	189
Data měření	CEMEX	Sladkovského	LKHK
5.11.2022		PTV	
14.3.2023		PTV	
27.6.2023		PTV	
20.2.2024		PTV	
17.7.2024		PTV	
11.9.2024			PTV, MTD, SFT
1.10.2024	PTV		
6.11.2024			PTV, MTD, SFT
23.11.2024		PTV, MTD	

Tab. 24 Souhrn měření

2.3 Vyhodnocení naměřených dat

V této kapitole budou vyhodnocena naměřená data s ohledem na platné legislativní předpisy a příslušné normy. Postup vyhodnocení bude vycházet z aktuálních technických specifikací, které stanovují kritéria pro hodnocení kvality a bezpečnosti získaných údajů. Výsledkem vyhodnocení bude zařazení hodnoceného povrchu do příslušných klasifikačních stupňů.

2.3.1 Vyhodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem

Z každého měřicího místa (pěti naměřených hodnot kyvů) se nejprve vypočítá průměrná hodnota, která reprezentuje základní výsledek měření. Tato hodnota však ještě podléhá korekci, která zohledňuje teplotu povrchu, jak je předepsáno v normě ČSN EN 13036-4 (viz tab. 25). Po aplikaci teplotní úpravy je takto opravená hodnota porovnána s tabulkovými referenčními hodnotami uvedenými v příloze A.2 normy ČSN 73 6177 (viz tab. 26). Výsledkem je zařazení měřených povrchů do jednoho z pěti klasifikačních stupňů, kde stupeň 1 označuje nejlepší možný výsledek a stupeň 5 naopak nejhorší.

Naměřená teplota °C	Oprava naměřené hodnoty
36 až 40	+3
20 až 35	+2
23 až 29	+1
19 až 22	0
16 až 18	-1
11 až 15	-2
8 až 10	-3
5 až 7	-4

POZNÁMKA Oprava podle teploty může být ovlivněna texturou povrchu vozovky.

Tab. 25 Oprava průměru naměřených teplot dle teploty povrchu [57]

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

Tab. 26 Klasifikační stupně dle opravené hodnoty PTV [56]

LKHK

Na odbavovací ploše letiště Hradec Králové (LKHK) bylo provedeno měření, jehož výsledky byly z velké části zařazeny do nejvyššího klasifikačního stupně 1 (viz tab. 27 a 28), což svědčí o vynikajících protismykových vlastnostech povrchu. Nicméně, při hodnocení se ukázalo, že dvě z naměřených hodnot spadají do klasifikačního stupně 2 (viz tab. 27).

Celkově lze konstatovat, že protismykové vlastnosti odbavovací plochy jsou z hlediska hodnot PTV hodnoceny jako vysoce kvalitní a splňují požadavky na bezpečný provoz.

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
Kraj 1. desky	80,2	-1	79,2	1
1. deska	68,6	-1	67,6	2
2. deska	68,6	-1	67,6	2
3. deska	77,2	-1	76,2	1
4. deska	79,4	-1	78,4	1
5. deska	76,8	-1	75,8	1
6. deska	72,4	-1	71,4	1
7. deska	76,6	-1	75,6	1
8. deska	74,6	-1	73,6	1
Kraj 8. desky	79,2	-1	78,2	1

Tab. 27 Výhodnocení PTV LKHK 11.9.2024

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
Kraj 1. desky	83,8	-4	79,8	1
1. deska	83,2	-4	79,2	1
2. deska	81	-4	77,0	1
3. deska	82,8	-4	78,8	1
4. deska	80,2	-4	76,2	1
5. deska	80,8	-4	76,8	1
6. deska	80,4	-4	76,4	1
7. deska	80,4	-4	76,4	1
8. deska	78,8	-4	74,8	1
Kraj 8. desky	79,8	-4	75,8	1

Tab. 28 Výhodnocení PTV LKHK 6.11.2024

CEMEX

Z provedených měření v areálu společnosti CEMEX lze jednoznačně vyvodit závěr, že povrch ošetřený chemickými prostředky dosahuje lepších protismykových vlastností ve srovnání s neošetřeným povrchem (viz tab. 29). Tato skutečnost potvrzuje, že aplikace chemického ošetření může významně přispět ke zvýšení bezpečnosti povrchu v praktickém využití. Na druhou stranu bylo zjištěno, že samotné barvení povrchu mezerovitého betonu nemá na protismykové vlastnosti žádný prokazatelný vliv (viz tab. 29).

Dále bylo zjištěno, že v laboratorních podmínkách vykazuje mezerovitý beton typu PERVIA 10 lepší protismykové vlastnosti než beton typu PERVIA 30 (viz tab. 30). Tento rozdíl naznačuje,

že struktura a složení těchto betonů má zásadní vliv na jejich protismykové charakteristiky.

Pokud jde o podlahový beton, bylo zjištěno, že kvůli absenci výraznější makrotextury nevyhovuje z hlediska protismykových vlastností požadavkům na povrchy určené k poježdění vozidel. Je však důležité zmínit, že tento typ betonu nebyl navržen s ohledem na poježdění, a jeho primární využití tedy nespočívá v zajištění vysoké míry adheze při pohybu vozidel (viz tab. 30).

CEMEX – 1.10.2024		T _{povrch} – 11,0 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
PERVIA 20 – 1	70,4	-2	68,4	2
PERVIA 20 – 2	73,2	-2	71,2	1
PERVIA 20 – 3	77,2	-2	75,2	1
PERVIA 20 – 4	69,6	-2	67,6	2
PERVIA 20 – ošetřený – 1	73,2	-2	71,2	1
PERVIA 20 – ošetřený – 2	73,0	-2	71,0	1
PERVIA 20 – ošetřený – 3	73,8	-2	71,8	1
PERVIA 20 – ošetřený – 4	75,2	-2	73,2	1
PERVIA 20 – barevný – 1	83,2	-2	81,2	1
PERVIA 20 – barevný – 2	77,4	-2	75,4	1
PERVIA 20 – barevný – 3	74,2	-2	72,2	1
PERVIA 20 – barevný – 4	74,4	-2	72,4	1

Tab. 29 Vyhodnocení PTV CEMEX – areál 1.10.2024

CEMEX – 1.10.2024		T _{povrch} – 20,0 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
PERVIA 30	71,8	0	71,8	1
PERVIA 30	69,4	0	69,4	2
PERVIA 30	69,2	0	69,2	2
PERVIA 30	70,2	0	70,2	1
PERVIA 10	76,0	0	76,0	1
PERVIA 10	76,2	0	76,2	1
Podlahový beton – 1	45,4	0	45,4	4
Podlahový beton – 2	51,2	0	51,2	3
Podlahový beton – 3	46,2	0	46,2	4

Tab. 30 Vyhodnocení PTV CEMEX – hala 1.10.2024

Ulice Sladkovského

Z analýzy vyhodnocených dat lze pozorovat zlepšení protismykových vlastností sledované vozovky. Na počátku měření, tedy během období 5.11.2022 až 27.6.2023, byly hodnoty protismykových vlastností zařazeny do klasifikačních stupňů 1 až 2 (viz tab. 31 až 33).

V následujících měřeních již všechny hodnoty spadaly výhradně do klasifikačního stupně 1 (viz tab. 34 až 37).

Ulice Sladkovského – 5.11.2022		T _{povrch} – 13,0 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	65,8	-2	63,8	2
2L	72,2	-2	70,2	1
3L	80,6	-2	78,6	1
4L	82,6	-2	80,6	1
1P	72,0	-2	70,0	1
2P	69,4	-2	67,4	2
3P	75,2	-2	73,2	1
4P	83,8	-2	81,8	1

Tab. 31 Vyhodnocení PTV Sladkovského 5.11.2022

Ulice Sladkovského – 14.3.2023		T _{povrch} – 12,4 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	83,6	-2	81,6	1
2L	76,4	-2	74,4	1
3L	81,4	-2	79,4	1
4L	71,8	-2	69,8	2
1P	70,2	-2	68,2	2
2P	72,8	-2	70,8	1
3P	76,6	-2	74,6	1
4P	81,0	-2	79,0	1

Tab. 32 Vyhodnocení PTV Sladkovského 14.3.2023

Ulice Sladkovského – 27.6.2023		T _{povrch} – 21,5 °C		
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	71,8	0	71,8	1
2L	71,4	0	71,4	1
3L	80,0	0	80,0	1
4L	67,6	0	67,6	2
1P	62,8	0	62,8	2
2P	66,6	0	66,6	2
3P	62,6	0	62,6	2
4P	73,2	0	73,2	1

Tab. 33 Vyhodnocení PTV Sladkovského 27.6.2023

Ulice Sladkovského – 20.2.2024				
T _{povrch} – 8,6 °C				
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	80,2	-3	77,2	1
2L	81,8	-3	78,8	1
3L	74,6	-3	71,6	1
4L	86,2	-3	83,2	1
1P	76,2	-3	73,2	1
2P	80,0	-3	77,0	1
3P	77,0	-3	74,0	1
4P	81,2	-3	78,2	1

Tab. 34 Vyhodnocení PTV Sladkovského 20.2.2024 – 1

Ulice Sladkovského – 20.2.2024				
T _{povrch} – 8,5 °C				
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	76,0	-3	73,0	1
2L	80,8	-3	77,8	1
3L	80,0	-3	77,0	1
4L	82,2	-3	79,2	1
1P	80,2	-3	77,2	1
2P	82,2	-3	79,2	1
3P	84,0	-3	81,0	1
4P	98,0	-3	95,0	1

Tab. 35 Vyhodnocení PTV Sladkovského 20.2.2024 – 2

Ulice Sladkovského – 17.7.2024				
T _{povrch} – 26,0 °C				
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	74,6	+1	75,6	1
2L	77,8	+1	78,8	1
3L	75,8	+1	76,8	1
4L	71,6	+1	72,6	1
1P	74,0	+1	75	1
2P	69,8	+1	70,8	1
3P	73,6	+1	74,6	1
4P	71,4	+1	72,4	1

Tab. 36 Vyhodnocení PTV Sladkovského 17.7.2024

Ulice Sladkovského – 23.11.2024 T _{povrch} – 5,0 °C				
PTV	Průměr	Oprava	Výsledné PTV	Klas. st.
1L	77,6	-4	73,6	1
2L	80,0	-4	76	1
3L	79,6	-4	75,6	1
4L	83,6	-4	79,6	1
1P	80,2	-4	76,2	1
2P	85,0	-4	81	1
3P	84,2	-4	80,2	1
4P	89,4	-4	85,4	1

Tab. 37 Vyhodnocení PTV Sladkovského 23.11.2024

2.3.2 Vyhodnocení střední hloubky textury povrchu vozovky zjištěnou odměrnou metodou

Pro určení střední hloubky textury povrchu (MTD) je využíván následující vzorec [67]:

$$MTD = \frac{4V}{\pi * D^2}$$

kde MTD je střední hloubka textury v mm, V objem materiálu/objem odměrného válce v mm³, D aritmetický průměr z průměru kruhu (rozprostřený materiál) v mm.

Při provádění výpočtu byl objem válce stanoven na základě jeho geometrických parametrů, konkrétně průměru a výšky. Po provedení výpočtů bylo určeno, že objem válce činí V = 82661,049 mm³.

Po výpočtu hodnoty MTD je tato hodnota dále srovnána s referenčními hodnotami uvedenými v příloze A.3 normy ČSN 73 6177 (viz tab. 38). Na základě tohoto porovnání je povrch klasifikován do jednoho z pěti klasifikačních stupňů. Tento postup je obdobný jako při vyhodnocování protismykových vlastností pomocí měření kyvadlem, kde jsou také výsledné hodnoty přiřazovány k příslušným kategoriím podle daných kritérií.

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

Tab. 38 Klasifikační stupně dle vypočítané hodnoty MTD [56]

Pro hodnocení a stanovení klasifikačního stupně pro MTD letištních ploch byly využity referenční hodnoty uvedené v tabulce 39. Nejlepší dosažitelné hodnoty, odpovídající optimálním vlastnostem povrchu, jsou označeny písmenem „E“. Naopak nejméně vyhovující hodnoty, které poukazují na nedostatečnou hloubku makrotextury, nesou označení „A“.

Klasifikační stupeň	E	D	C	B	A
MTD	2,54 až 1,01	1,00 až 0,51	0,50 až 0,25	0,24 až 0,15	0,14 až 0,10

Tab. 39 Klasifikační stupně dle vypočítané hodnoty MTD pro letištní plochy [65]

LKHK

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že převážná většina naměřených hodnot spadá do klasifikačního stupně D (viz tab. 40 a 41), což naznačuje dobrou kvalitu povrchu z hlediska hloubky makrotextury. Výjimku tvoří čtyři naměřené hodnoty, které byly zařazeny do klasifikačního stupně C, což ukazuje na o něco nižší úroveň v těchto konkrétních případech (vyhovující stav). Celkově však lze povrch na základě těchto výsledků hodnotit jako dobrý pro daný účel, protože hloubka makrotextury splňuje stanovené požadavky na funkčnost povrchu v souladu s příslušnými normami a standardy.

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C	
MTD	Průměr D [cm]	Výsledné MTD [mm]	Klas. st.
Kraj 1. desky	47,4	0,47	C
1. deska	42,9	0,57	D
2. deska	44,4	0,53	D
3. deska	45,4	0,51	D
4. deska	46,3	0,49	C
5. deska	44,0	0,54	D
6. deska	43,9	0,55	D
7. deska	42,8	0,57	D
8. deska	42,6	0,58	D
Kraj 8. desky	44,6	0,53	D

Tab. 40 Vyhodnocení MTD LKHK 11.9.2024

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C	
MTD	Průměr D [cm]	Výsledné MTD [mm]	Klas. st.
Kraj 1. desky	45,8	0,50	C
1. deska	46,0	0,50	C
2. deska	44,5	0,53	D
3. deska	44,8	0,52	D
4. deska	43,6	0,55	D
5. deska	42,3	0,59	D
6. deska	43,5	0,56	D
7. deska	45,3	0,51	D
8. deska	43,4	0,56	D
Kraj 8. desky	44,3	0,54	D

Tab. 41 Vyhodnocení MTD LKHK 6.11.2024

Ulice Sladkovského

Z analýzy výsledných klasifikačních stupňů (viz tab. 42) je zřejmé, že většina naměřených hodnot spadá do klasifikačního stupně 2, což indikuje dobrý stav povrchu z hlediska hodnocených parametrů. Nicméně je třeba zmínit, že dvě měřené hodnoty byly zařazeny do klasifikačního stupně 3, který značí vyhovující stav.

Ulice Sladkovského – 23.11.2024		T _{povrch} – 5 °C	
MTD	Průměr D [cm]	Výsledné MTD [mm]	Klas. st.
1L	42,3	0,59	3
2L	40,7	0,64	2
3L	41,6	0,61	2
4L	41,9	0,60	2
1P	42,9	0,57	3
2P	41,4	0,61	2
3P	39,6	0,67	2
4P	41,0	0,63	2

Tab. 42 Vyhodnocení MTD Sladkovského 23.11.2024

2.3.3 Vyhodnocení protismykových vlastností povrchu vozovky zjištěných měřícím vozidlem SFT

Pro vyhodnocení získaných dat a jejich správnou interpretaci byla využita tabulka 43, která obsahuje hodnoty definující protismykové vlastnosti povrchu. Mezi těmito hodnotami je uvedena hodnota MFL (Minimum Friction Level), která představuje minimální úroveň tření, při jejímž nedosažení je dráha za mokra klasifikována jako kluzká. Dalším důležitým ukazatelem je MPL (Maintenance Planning Level), tedy úroveň tření, při jejímž dosažení je doporučeno zahájit plánování a realizaci opatření zaměřených na zvýšení protismykových vlastností. Poslední sledovanou hodnotou je ND/CFL (New Design/Construction Friction Level), což je úroveň tření, kterou by měl povrch vykazovat po výstavbě nebo rekonstrukci pohybové plochy. [55]

Měřicí zařízení	65 km/h			95 km/h		
	MFL	MPL	ND/CFL	MFL	MPL	ND/CFL
Airport Surface Friction Tester ASFT Industries AB	0,50	0,60	0,82	0,34	0,47	0,74
SARSYS Friction Tester Scandinavian Airport and Road Systems AB (SARSYS)	0,50	0,60	0,82	0,34	0,47	0,74

Tab. 43 Hodnoty pro hodnocení protismykových vlastností SFT [55]

LKHK

Ze zpracovaných výsledků klasifikace vyplývá, že během měření provedeného dne 6. listopadu 2024 (viz tab. 45) se většina hodnot pohybovala v kategorii ND/CFL, výjimku tvořila pouze jedna hodnota, která spadla do kategorie MPL.

Při měření uskutečněném dne 11. září 2024 (viz tab. 44) bylo zaznamenáno, že 14 měřených hodnot odpovídalo klasifikaci MPL, zatímco zbývajících 6 hodnot bylo stále v klasifikaci ND/CFL. Navzdory většímu počtu hodnot v kategorii MPL je třeba zdůraznit, že se tyto hodnoty pohybovaly těsně pod hranicí vyžadovanou pro zařazení do kategorie ND/CFL. Tento fakt naznačuje, že povrch stále vykazuje solidní protismykové vlastnosti.

Celkové hodnocení tedy naznačuje, že protismykové vlastnosti povrchu jsou na velmi dobré úrovni, a to i přesto, že některé hodnoty spadají do kategorie, která upozorňuje na možnou potřebu preventivních zásahů.

LKHK – 11.9.2024		T _{povrch} –17,0 °C			
SFT	Rychlost [km/h]	Tax A	Klasifikace	Tax B	Klasifikace
Kraj 1. desky	65	0,77	MPL	0,75	MPL
1. deska	65	0,80	MPL	0,81	MPL
2. deska	65	0,82	ND/CFL	0,80	MPL
3. deska	65	0,83	ND/CFL	0,82	ND/CFL
4. deska	65	0,82	ND/CFL	0,79	MPL
5. deska	65	0,81	MPL	0,77	MPL
6. deska	65	0,80	MPL	0,81	MPL
7. deska	65	0,81	MPL	0,82	ND/CFL
8. deska	65	0,80	MPL	0,83	ND/CFL
Kraj 8. desky	65	0,81	MPL	0,79	MPL

Tab. 44 Vyhodnocení SFT LKHK 11.9.2024

LKHK – 6.11.2024		T _{povrch} –6,0 °C			
SFT	Rychlost [km/h]	Tax A	Klasifikace	Tax B	Klasifikace
Kraj 1. desky	65	0,82	ND/CFL	0,82	ND/CFL
1. deska	65	0,84	ND/CFL	0,85	ND/CFL
2. deska	65	0,87	ND/CFL	0,86	ND/CFL
3. deska	65	0,88	ND/CFL	0,87	ND/CFL
4. deska	65	0,87	ND/CFL	0,84	ND/CFL
5. deska	65	0,86	ND/CFL	0,81	MPL
6. deska	65	0,83	ND/CFL	0,87	ND/CFL
7. deska	65	0,84	ND/CFL	0,86	ND/CFL
8. deska	65	0,82	ND/CFL	0,83	ND/CFL
Kraj 8. desky	65	0,83	ND/CFL	0,84	ND/CFL

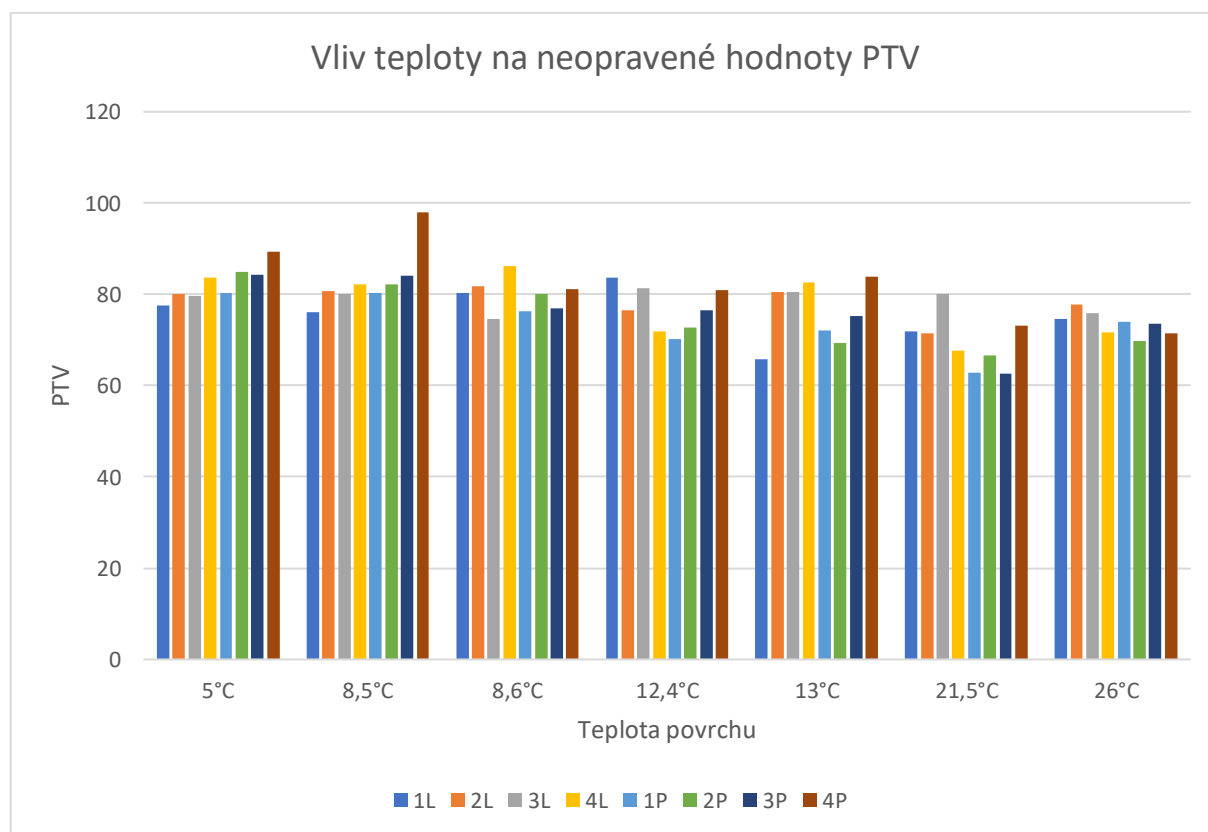
Tab. 45 Vyhodnocení SFT LKHK 6.11.2024

3 ANALÝZA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V první části této kapitoly bude zkoumán vliv teploty na protismykové vlastnosti a následně bude rozebrán vliv stáří povrchu. Další část kapitoly se zaměří na vzájemné závislosti měřených parametrů, jako je střední hloubka makrotextury (MTD) a hodnoty protismykových vlastností (PTV a SFT).

Vliv teploty na protismykové vlastnosti

Vliv teploty na protismykové vlastnosti povrchů cementobetonových desek na ulici Sladkovského je detailně znázorněn na grafu 11, kde lze pozorovat, že hodnoty protismykových vlastností postupně klesají s rostoucí teplotou. Tento trend plně odpovídá teorii uvedené v podkapitole *Klimatické podmínky* kapitoly 1.1.2, která se zabývá vlivem teploty na protismykové vlastnosti.



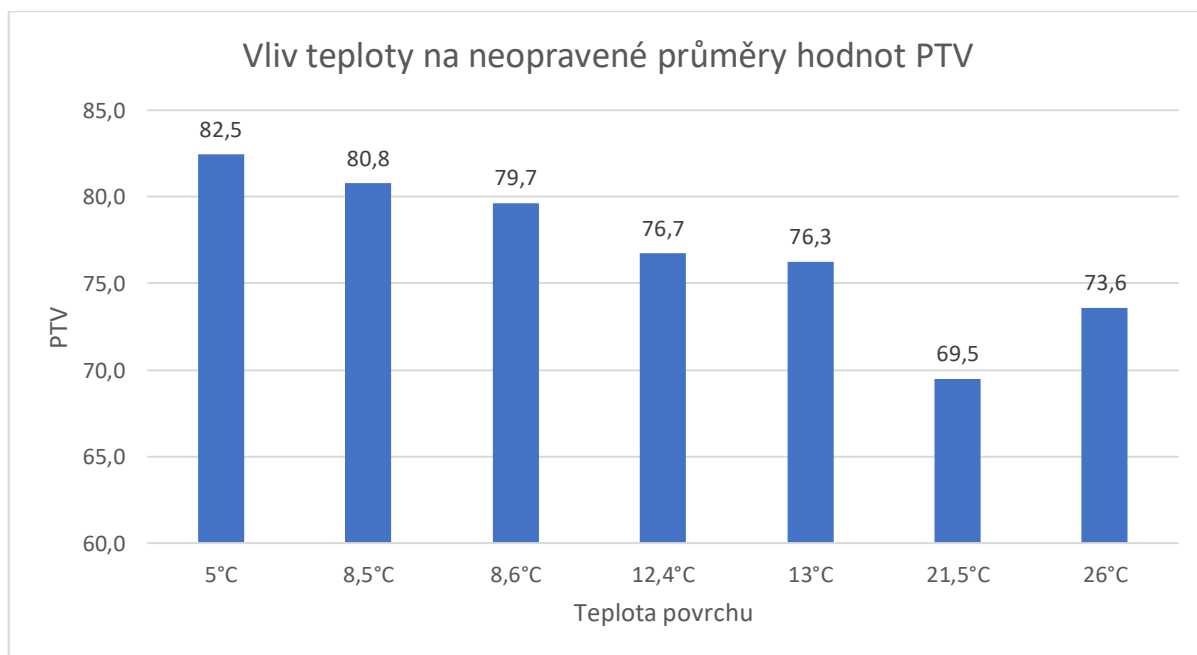
Graf 11 Vliv teploty na neopravené hodnoty PTV

Nicméně tato skutečnost je ještě názorněji patrná na grafu 12, který ukazuje průměrné hodnoty protismykových vlastností všech cementobetonových desek v rámci jednotlivých měřicích dnů. Tato vizualizace umožňuje snadnější pochopení celkového vlivu teploty na protismykové

vlastnosti povrchů, protože eliminuje případné odchylky jednotlivých měření a zdůrazňuje obecný trend.

Hodnota PTV naměřená při teplotě 21,5 °C vykazuje odchylku od očekávaného trendu, neboť by podle dosavadních předpokladů měla být tato hodnota v rozmezí 73,6 až 76,3. Tato odchylka může být výsledkem několika faktorů. Jedním z možných vysvětlení je nesprávné nastavení měřicího zařízení, konkrétně kyvadla, které mohlo způsobit zkreslení naměřených hodnot. Je nezbytné zohlednit možnost chyby v kalibraci nebo manipulaci s přístrojem, což by mohlo vést k nepřesným výsledkům. Další možnou příčinou by mohl být samotný charakter cementobetonového povrchu, který se za určitých podmínek, například při specifické kombinaci teploty a vlhkosti, může chovat odlišně.

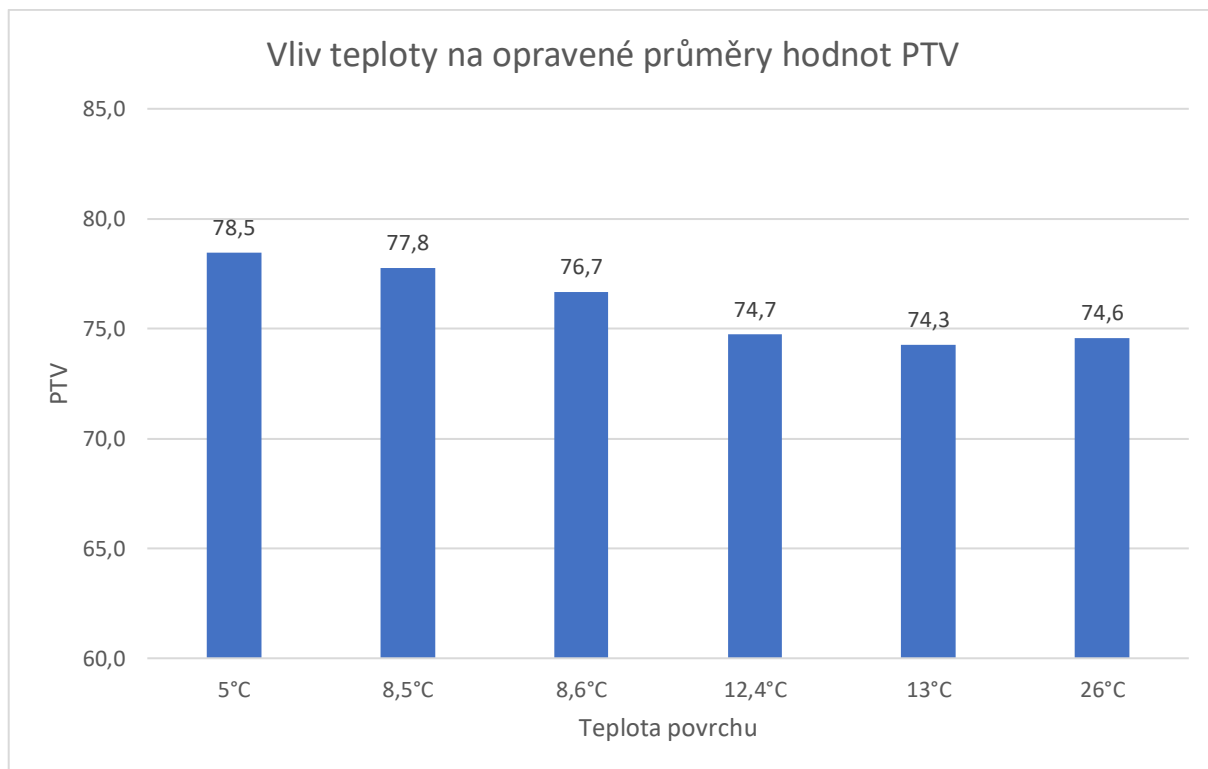
Pro přesnější interpretaci by bylo vhodné provést dodatečná měření, která by pomohla ověřit tuto odchylku a případně identifikovat její příčinu. Opakování experimentu za stejných podmínek, včetně důkladné kontroly a kalibrace měřicího zařízení, by mohlo potvrdit, zda se jedná o náhodný výkyv nebo o jev, který naznačuje určité materiálové vlastnosti povrchu.



Graf 12 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV

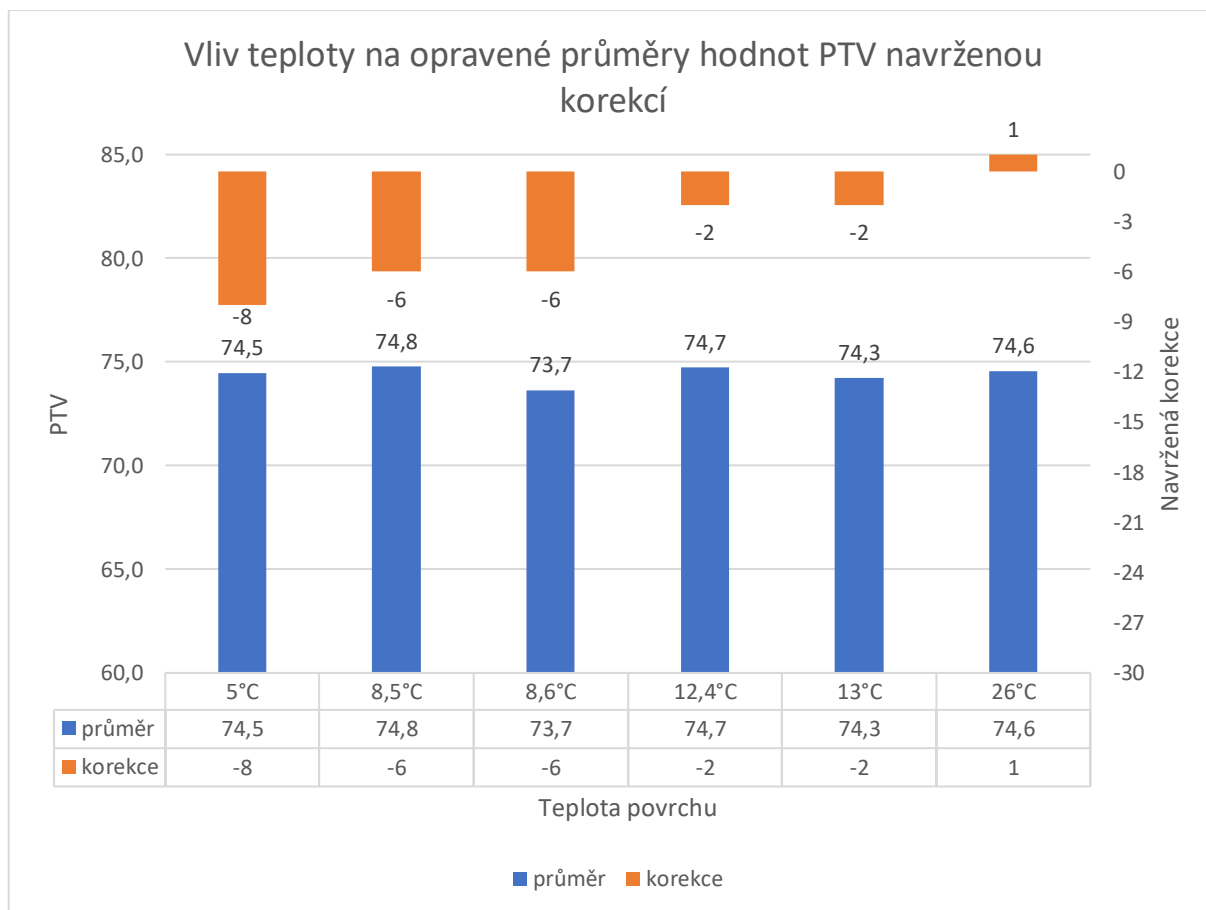
Z grafu 13, ve kterém byla z analýzy vynechána hodnota PTV naměřená při teplotě 21,5 °C (jak bylo zmíněno v předchozí části), je zřetelně patrná závislost teploty na opravených hodnotách PTV podle příslušné normy. I přes normovou korekci si lze povšimnout, že opravené hodnoty nižších teplot nevykazují zcela konstantní hodnoty nýbrž rovnoměrný trend a stále

dochází k určitým odchylkám. Tato nerovnoměrnost ukazuje na potřebu přesnější korekce, která by lépe reflektovala skutečný vztah mezi teplotou a protismykovými vlastnostmi povrchu.



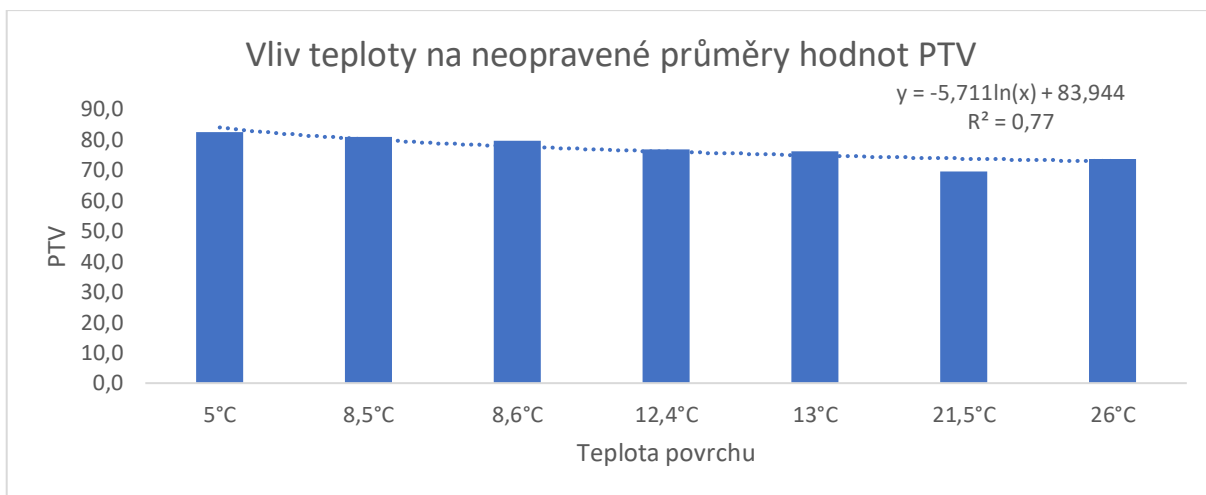
Graf 13 Vliv teploty na opravené průměry hodnot PTV dle normy

S ohledem na uvedenou problematiku navrhuji novou korekci hodnot, která vychází z předpokladu, že pro teploty 12,4 °C, 13,0 °C a 26,0 °C není změna korekce nutná, tedy hodnota korekce u těchto hodnot je zachována dle normy (viz tab. 25). Pro nižší teploty jsou pak navrženy nové korekční hodnoty, které byly stanoveny na základě analýzy trendu měřených dat. Navržené korekce pro jednotlivé měřící body jsou znázorněny na grafu 14.

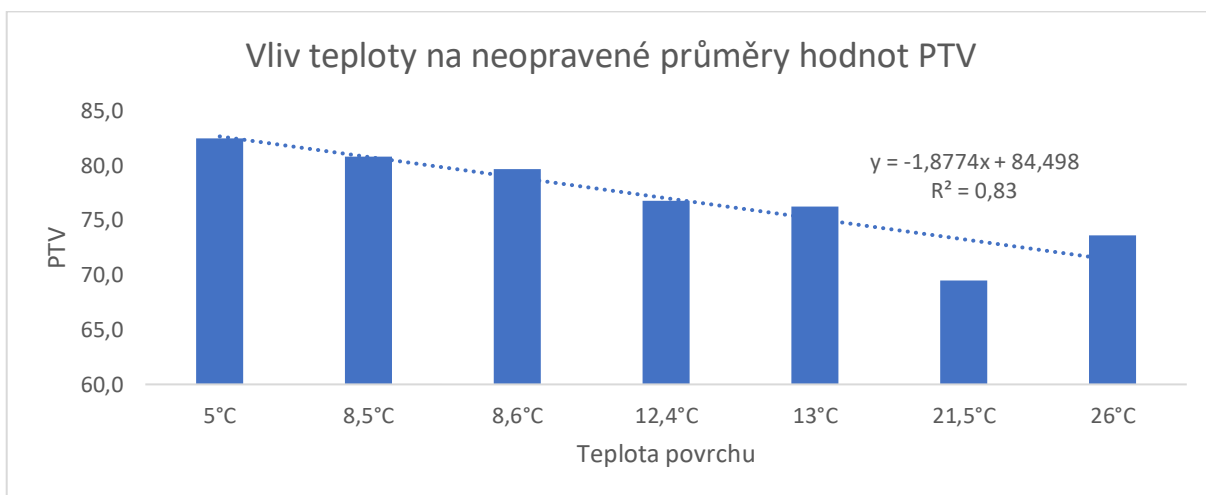


Graf 14 Vliv teploty na opravené průměry hodnot PTV navrženou korekcí

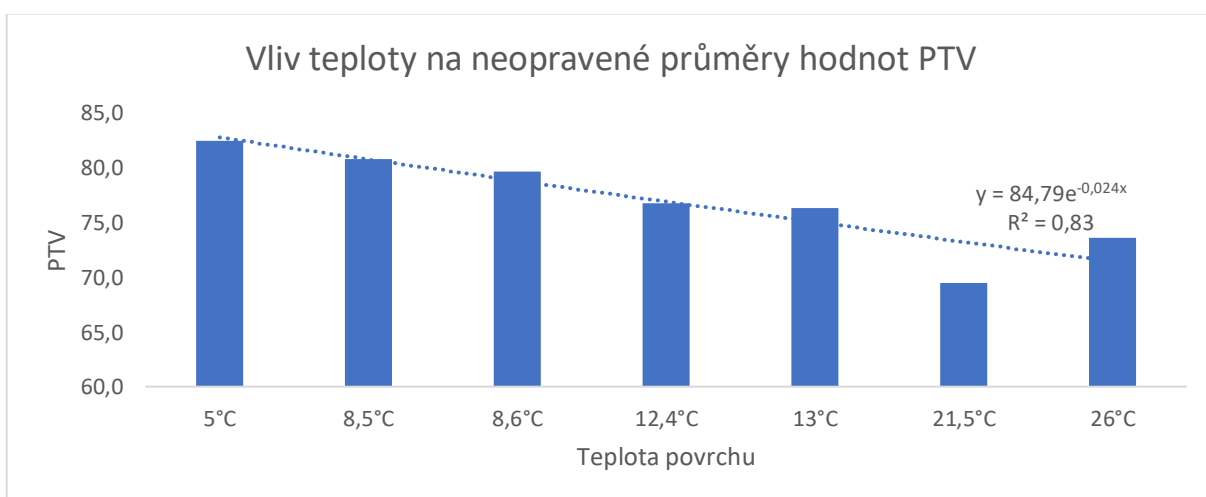
Na dalších grafech, konkrétně grafu 15 až graf 19, je pak analyzováno, jak různé matematické modely popisují závislost protismykových vlastností na teplotě. Z těchto analýz vyplývá, že nejvyšší hodnotu koeficientu determinace R^2 , konkrétně $R^2 = 0,97$, dosahuje polynom pátého stupně, což značí velmi přesné přizpůsobení modelu naměřeným hodnotám. Pro účely dalších analýz je však praktičtější použít polynom třetího stupně, který i přes nižší hodnotu koeficientu determinace $R^2 = 0,88$ nabízí dostatečnou přesnost a současně jednodušší interpretaci a aplikaci výsledků. Tato volba je zejména vhodná pro modely nebo analýzy, kde je důležitá vyváženost mezi složitostí modelu a jeho praktickou použitelností.



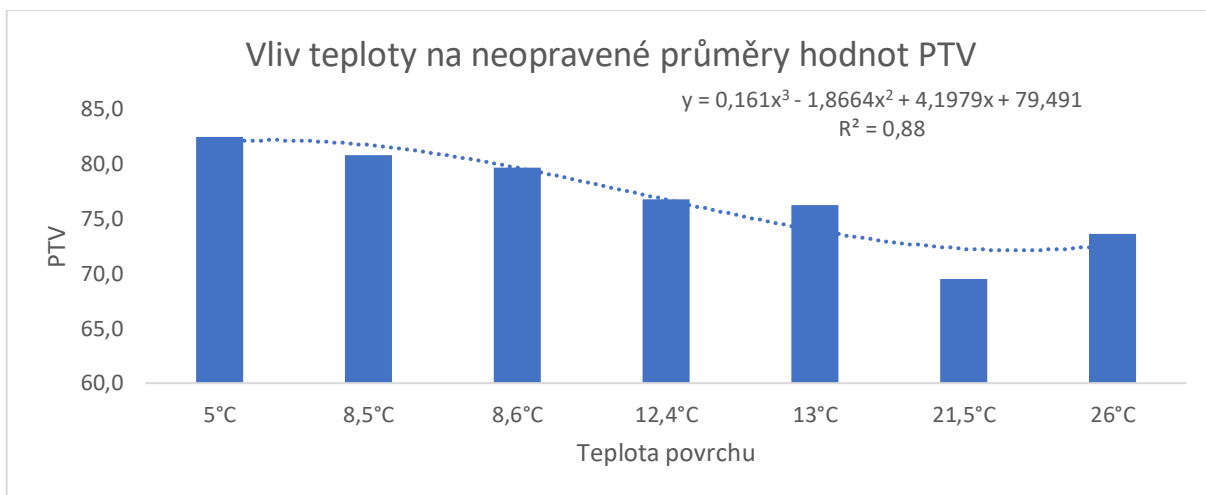
Graf 15 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – logaritmická spojnice trendu



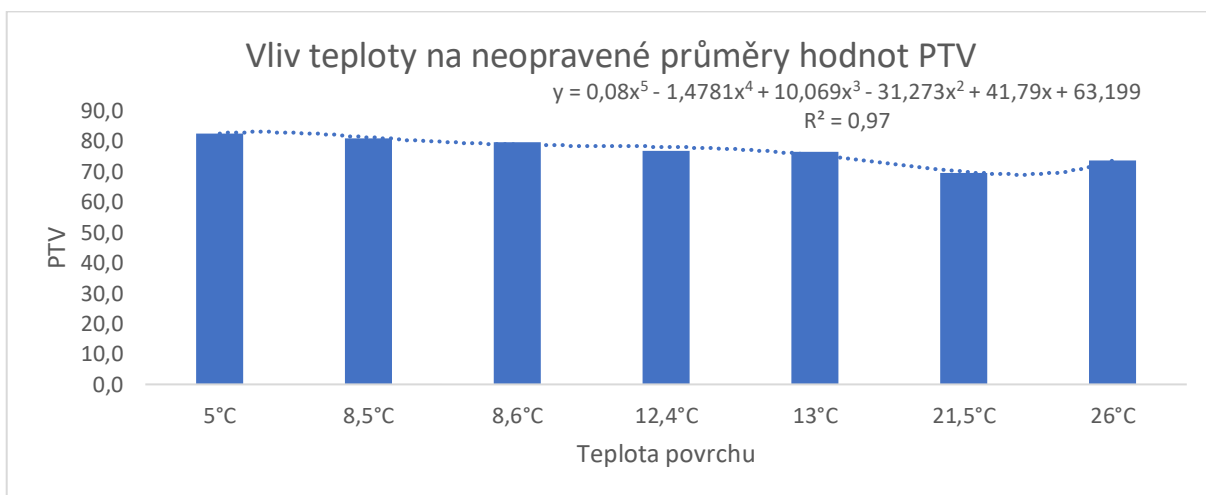
Graf 16 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – lineární spojnice trendu



Graf 17 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – exponenciální spojnice trendu



Graf 18 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – polynom 3. stupně

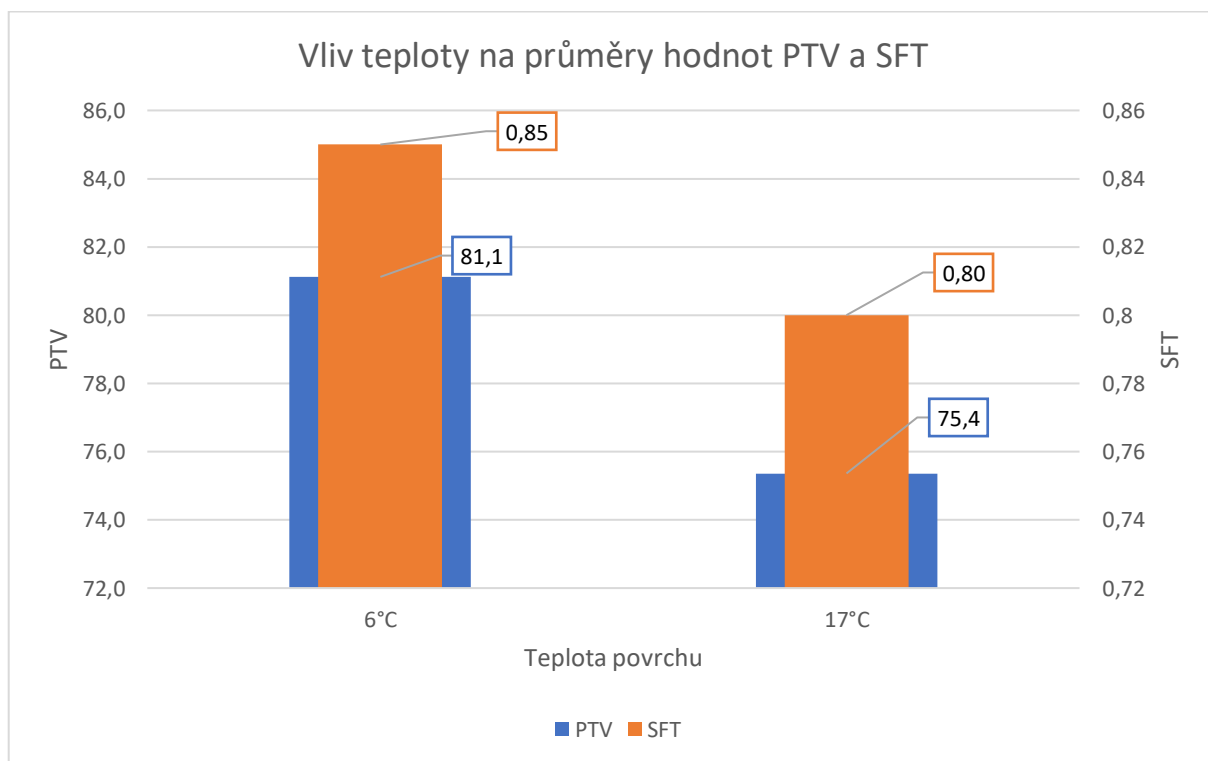


Graf 19 Vliv teploty na neopravené průměry hodnot PTV – polynom 5. stupně

Z grafu 20 je opět viditelná závislost teploty na protismykových vlastnostech, přičemž tentokrát se jedná o měření provedená na letišti LKHK. Stejně jako v případě měření na ulici Sladkovského lze pozorovat, že s rostoucí teplotou povrchu dochází k poklesu hodnot protismykových vlastností. Tento trend je patrný napříč různými měřicími metodami a potvrzuje obecně známou skutečnost o vlivu teploty na chování povrchů.

Při bližším pohledu na naměřená data si můžeme všimnout, že tato teplotní závislost je téměř identická jak pro měření provedená metodou kyvadla, tak i pro měření realizovaná pomocí automobilu SFT. Tato konzistence mezi oběma přístupy naznačuje, že oba měřicí systémy poskytují srovnatelné výsledky a spolehlivě reflektují vliv teploty na protismykové vlastnosti povrchů.

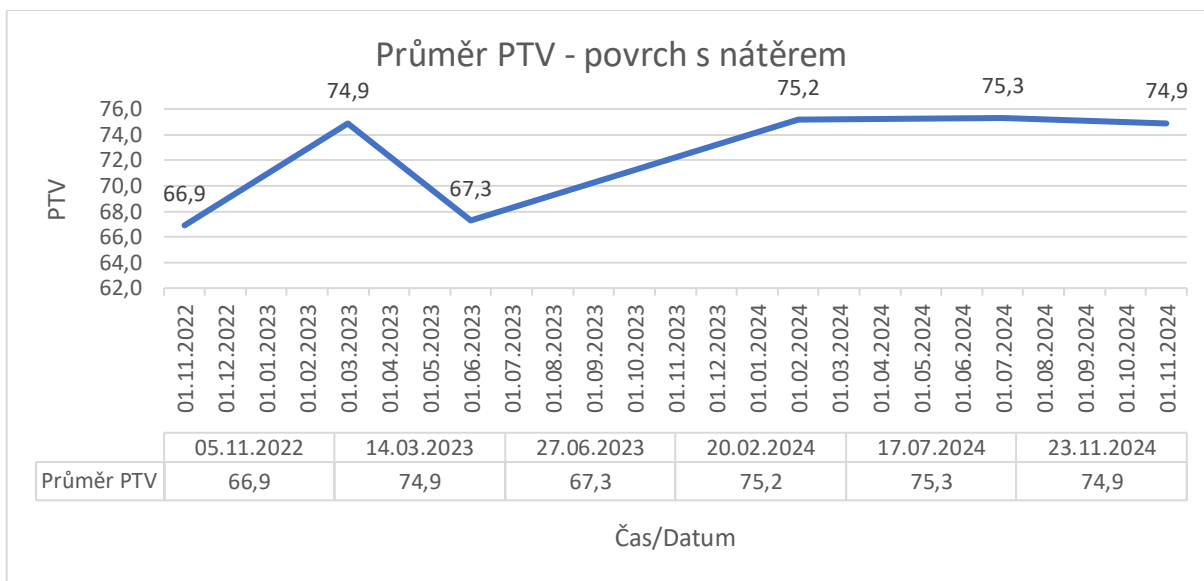
Nicméně vzhledem k tomu, že měření byla provedena pouze během dvou měřicích dnů, nelze na základě dostupných dat sestavit regresní křivku, která by přesně kvantifikovala vztah mezi teplotou a protismykovými vlastnostmi. Pro podrobnější analýzu by bylo zapotřebí více dat, která by umožnila detailnější statistické zpracování a vytvoření přesnějšího matematického modelu této závislosti.



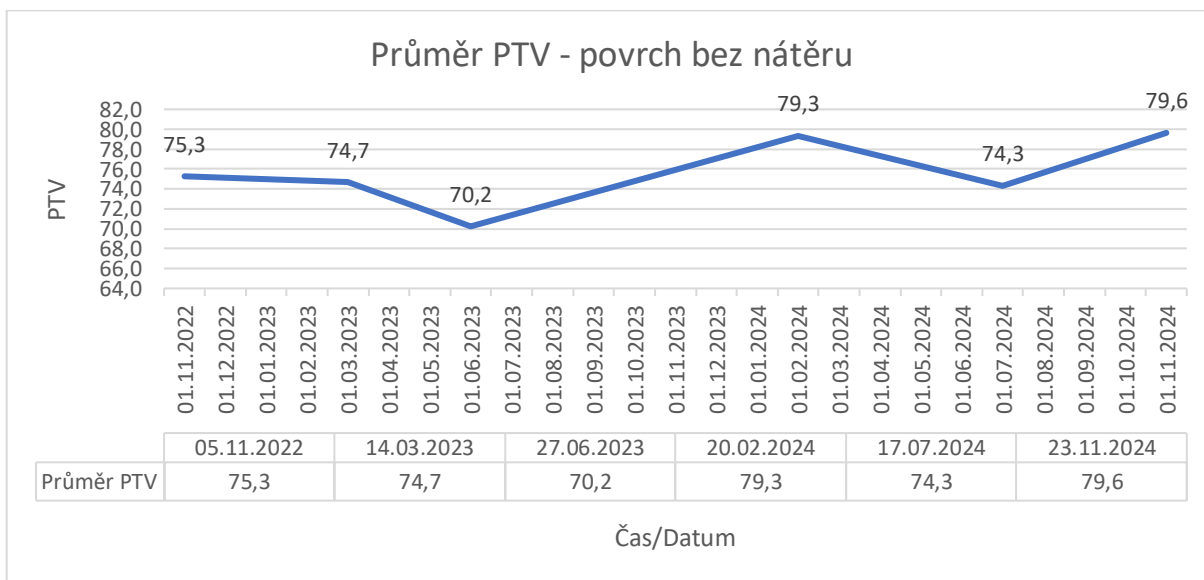
Graf 20 Vliv teploty na průměry hodnot PTV a SFT

Vliv stáří povrchu na protismykových vlastnostech

Vliv stáří povrchu na protismykové vlastnosti povrchů lze pozorovat vzhledem k počtu měření a vzhledem k tomu, že se na povrchu začalo měřit od doby rekonstrukce pouze na ulici Sladkovského. Tento případ tak poskytuje příležitost k vyhodnocení změn, které nastávají v čase. Aby však bylo možné tyto změny správně interpretovat, je nutné analyzovaný úsek rozdělit do dvou samostatných částí. První část zahrnuje měřicí body 1L a 1P, které se nacházejí na úseku opatřeném nátěrem (viz graf 21). Druhá část úseku, která není opatřena nátěrem (viz graf 22), zahrnuje měřicí body 2–4L a 2–4P.



Graf 21 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch s nátěrem

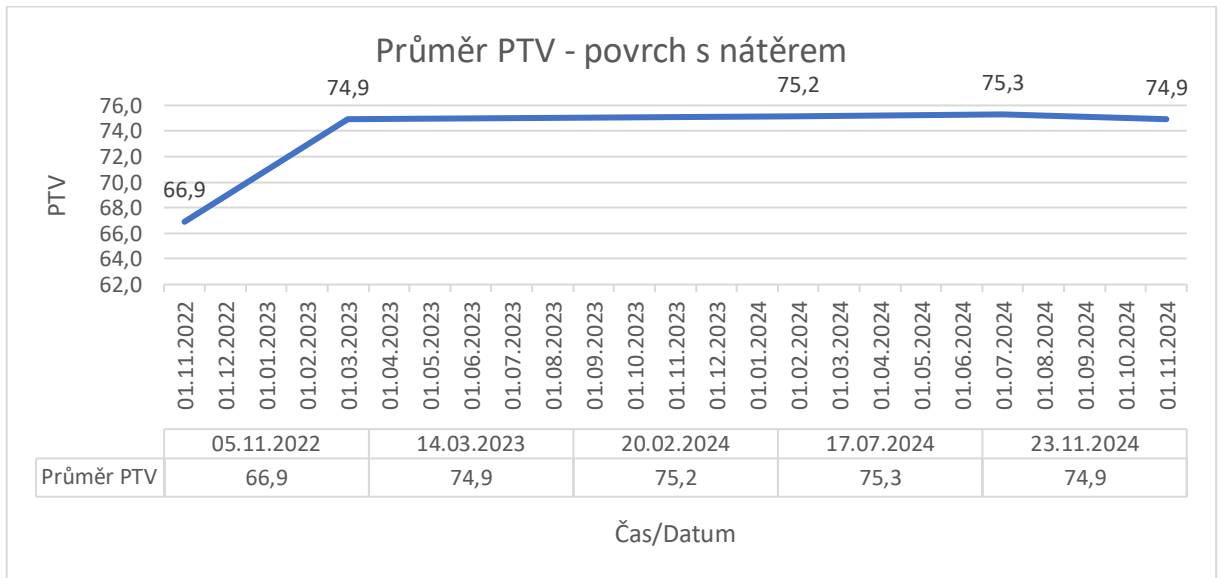


Graf 22 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch bez nátěru

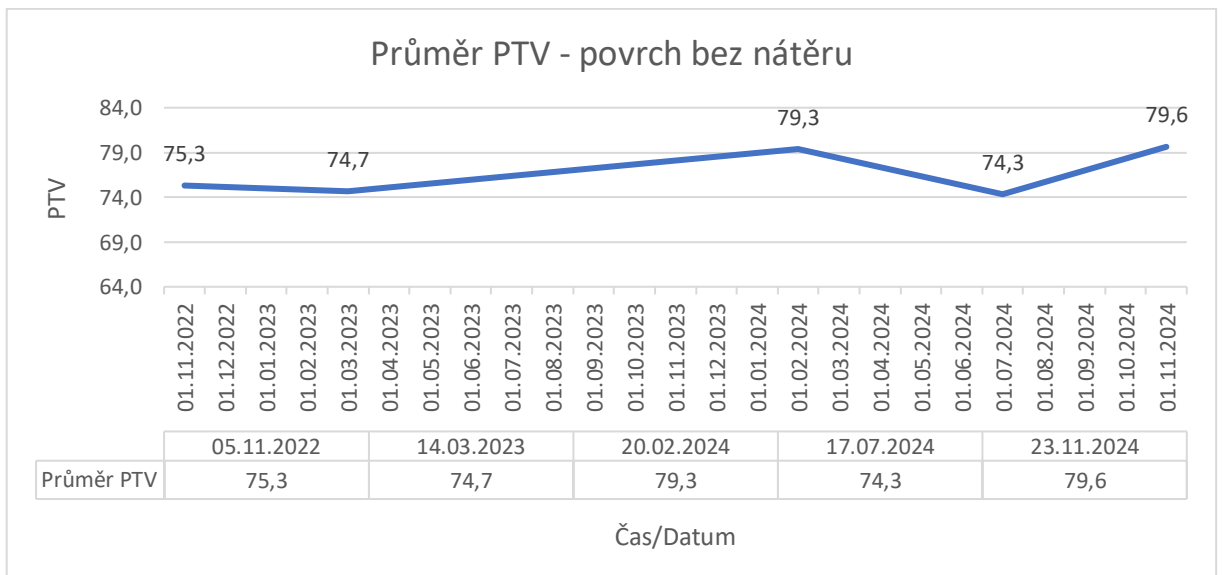
Při bližším pohledu na výsledky měření je zřejmé, že hodnoty získané dne 27. 6. 2023 neodpovídají očekávanému trendu. Tyto hodnoty vykazují odchylku, kterou lze vysvětlit shodou s předchozí analýzou vlivu teploty na protismykové vlastnosti, kdy bylo měření realizováno při teplotě povrchu 21,5 °C. Tento rozpor naznačuje, že chyba pravděpodobně nastala v důsledku nesprávného nastavení měřícího zařízení, nebo nedodržení postupu při měření.

Vyloučíme-li měření z 27.6.2023, lze pozorovat postupný nárůst protismykových vlastností (viz graf 23 a 24), což naznačuje, že stáří povrchu má významnou roli v jejich vývoji. Tento vývoj potvrzuje platnost teorie o vlivu stáří povrchu na jeho protismykové vlastnosti,

jak je zřejmé z podkapitoly *Stáří povrchu* kapitoly 1.1.2, která se zabývá vlivem stáří povrchu na protismykové vlastnosti. Z analýzy vyplývá, že povrch opatřený nátěrem vykazuje rychlejší nárůst protismykových vlastností ve srovnání s povrchem bez nátěru. Tento rychlý nárůst však není bez omezení, ačkoliv povrch s nátěrem vykazuje rychlejší zlepšení, jeho maximální hodnoty PTV zůstávají nižší než hodnoty naměřené na povrchu bez nátěru.



Graf 23 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch s nátěrem

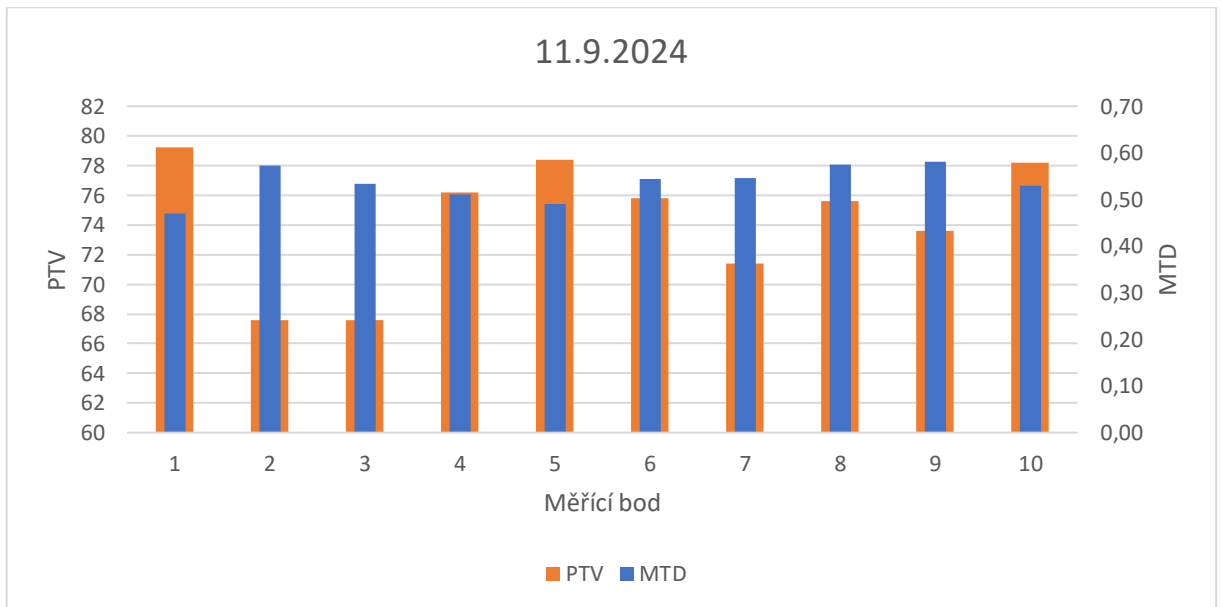


Graf 24 Vliv stáří povrchu na průměru opravené hodnoty PTV – povrch bez nátěru

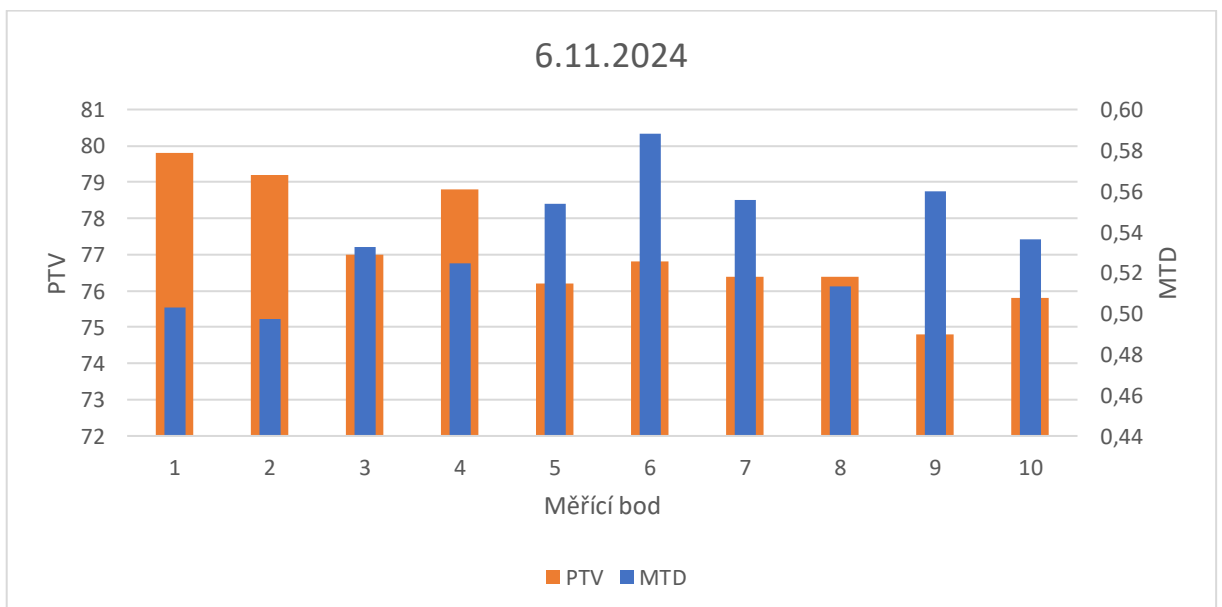
Závislost MTD na PTV a SFT

Z grafů 25 až 28 je zřejmé, že nebylo možné prokázat jasnou závislost mezi střední hloubkou makrotextury (MTD) a opravenými hodnotami PTV o teplotu. Jelikož hodnoty MTD vykazují

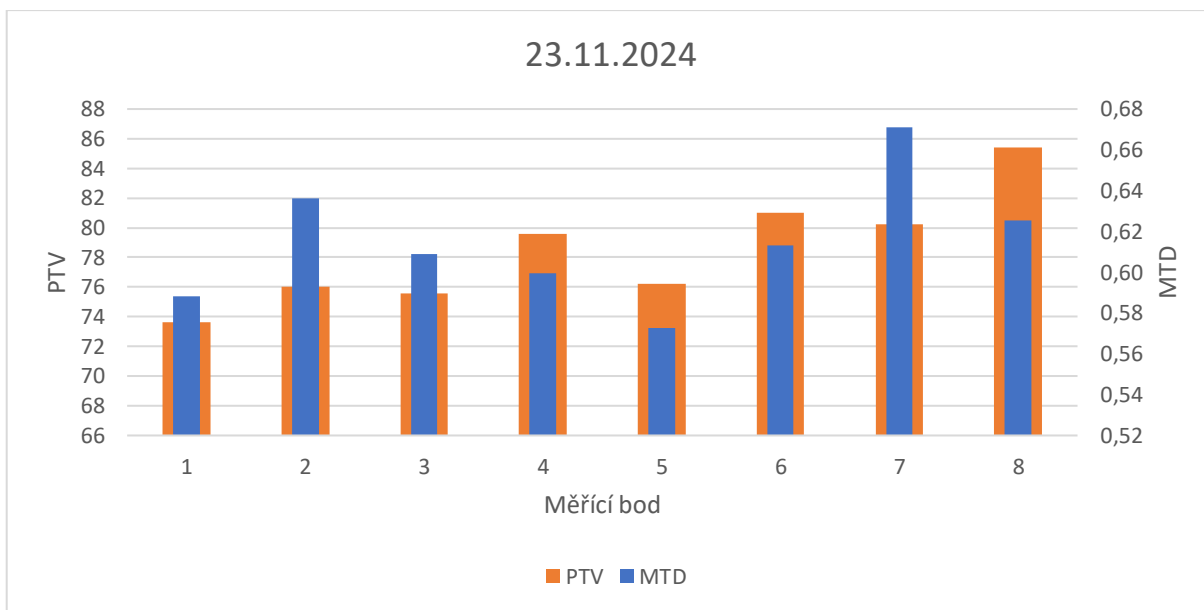
ve většině měřících bodů relativní stabilitu, hodnoty PTV naopak značně kolísají. Tento rozdílný charakter obou proměnných naznačuje, že protismykové vlastnosti, reprezentované hodnotami PTV, jsou ovlivňovány faktory, které nejsou přímo závislé pouze na střední hloubce makrotextury povrchu.



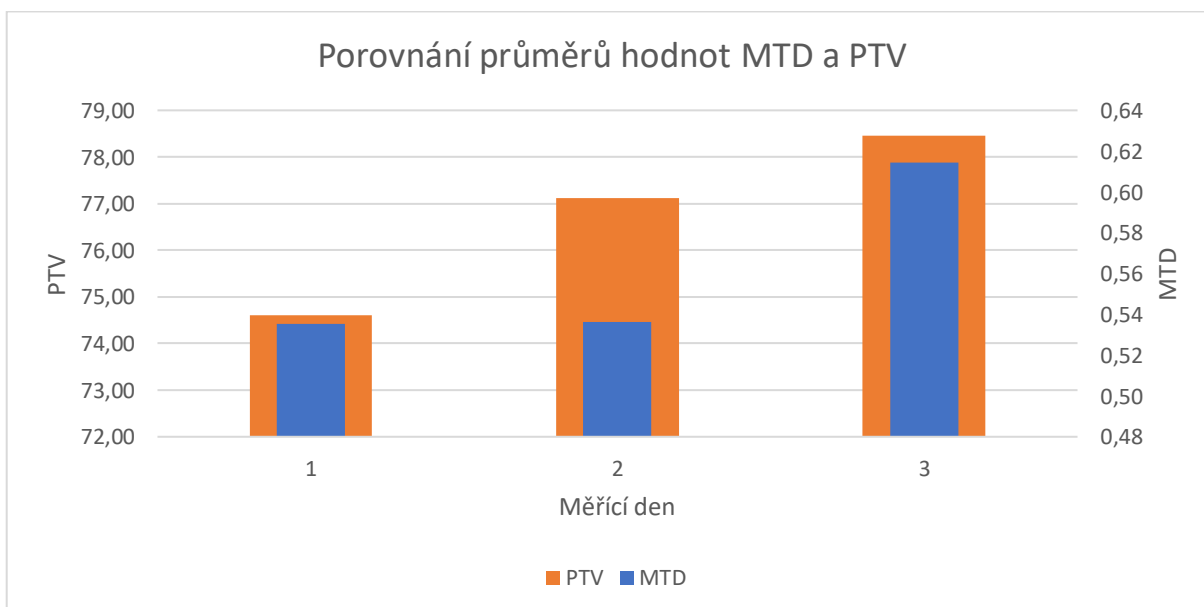
Graf 25 Závislost MTD a PTV 11.9.2024



Graf 26 Závislost MTD a PTV 6.11.2024

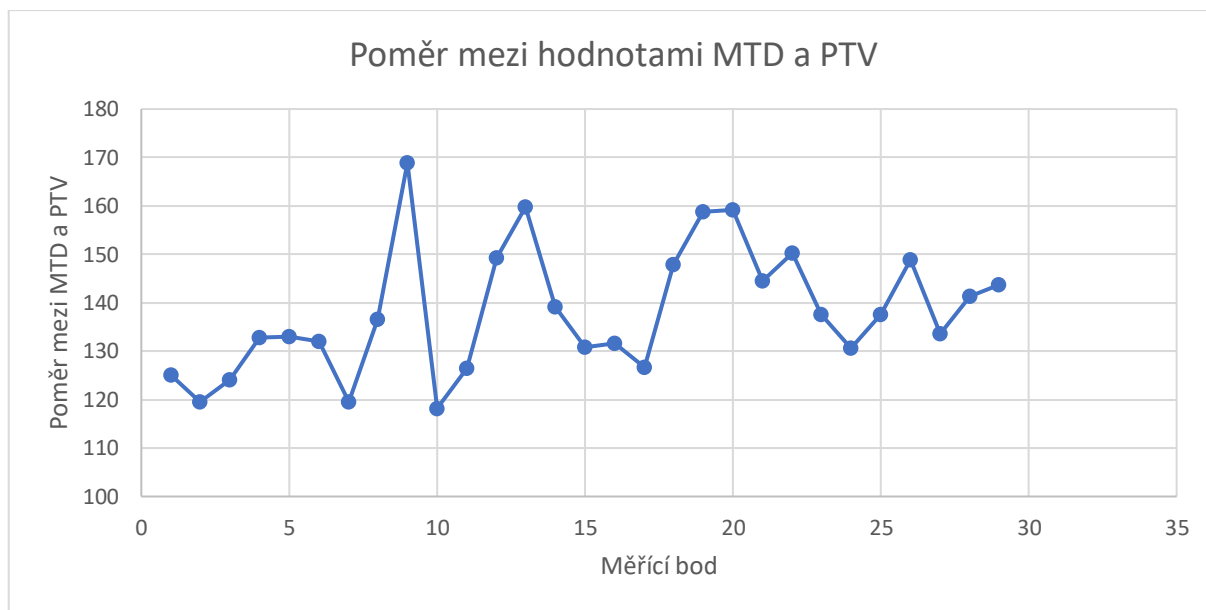


Graf 27 Závislost MTD a PTV 23.11.2024



Graf 28 Závislost průměrných hodnot MTD a PTV

Poměr mezi těmito dvěma veličinami, konkrétně mezi stálostí hodnot MTD a kolísavostí hodnot PTV, je podrobně znázorněn na grafu 29. Tento graf názorně ukazuje, že kolísání hodnot PTV může být výsledkem kombinace více proměnných, jako jsou například aktuální klimatické podmínky, stav povrchu, nebo jeho specifická mikrotextura. Tyto faktory společně způsobují, že měření PTV nevykazuje přímou korelaci s hodnotami MTD, a tím ztěžují jednoznačné určení závislosti mezi těmito veličinami.



Graf 29 Poměr mezi hodnotami MTD a PTV

Závislost mezi střední hloubkou makrotextury (MTD) a součinitelem tření (SFT) se také neprokázala, jelikož průměrné hodnoty MTD z jednotlivých měření vycházejí 0,54 (11.9.2024 a 6.11.2024), naproti tomu průměrný součinitel tření vychází 0,80 (11.9.2024) a 0,85 (6.11.2024). Tento rozdíl v průměrných hodnotách naznačuje, že součinitel tření není přímo ovlivňován hloubkou makrotextury povrchu. Výsledky ukazují, že protismykové vlastnosti, reprezentované hodnotami SFT, závisí spíše na jiných faktorech, jako je mikrotextura povrchu, aktuální podmínky prostředí, konkrétně teploty povrchu, nebo vlastnosti samotného měřicího zařízení.

Závislost PTV na SFT

Z grafu 20 je jasně patrná určitá závislost mezi hodnotami součinitele tření získanými prostřednictvím měřicího vozidla SFT a hodnotami PTV, získanými měřením pomocí kyvadla. Rozdíl mezi těmito hodnotami lze vysvětlit rozdílnými podmínkami měření – měření provedené pomocí vozidla SFT probíhalo na suchém povrchu, zatímco měření kyvadlem bylo realizováno na mokřém povrchu. Tento rozdíl umožňuje stanovit pokles protismykových vlastností povrchu vlivem přítomnosti vody a zároveň umožňuje definovat korelační součinitel mezi oběma metodami měření.

Je však nutné poznamenat, že závěry vycházejí pouze ze dvou realizovaných měření, což představuje nedostatečný vzorek dat pro přesnou analýzu. Aby bylo možné tuto závislost potvrdit a ověřit její obecnou platnost, bylo by nutné provést větší počet měření za různých podmínek.

Na základě dosavadních dat lze uvést, že z měření realizovaného dne 11. září 2024 byl stanoven koeficient ve výši 94,21, zatímco měření ze dne 6. listopadu 2024 přineslo koeficient 95,86. Průměrná hodnota tohoto koeficientu, vypočítaná na základě uvedených dvou měření, činí 95,04. Tato hodnota může sloužit jako orientační ukazatel závislosti mezi oběma metodami, avšak pro přesnější analýzu by bylo zapotřebí zahrnout další měření.

ZÁVĚR

Tato práce se věnovala analýze protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací, jejich měření a vyhodnocení. Teoretická část poskytla přehled o základních fyzikálních aspektech, které ovlivňují protismykové vlastnosti, včetně významu mikrotextury a makrotextury povrchu, parametrů pneumatik a klimatických podmínek. Dále byly popsány měřicí metody využití v praktické části, jejich principy, výhody a omezení.

Praktická část práce se zaměřila na provedení experimentálních měření na třech specifických lokalitách, které byly vybrány tak, aby reprezentovaly různé druhy povrchů a měřicích podmínek. První lokalitou byl areál betonárny CEMEX, kde probíhalo měření primárně pomocí kyvadla. Výsledky ukázaly, že mezerovitý beton, zejména pokud je pravidelně udržován a čištěn od vápenných výkvětů, dosahuje velmi dobrých protismykových vlastností. Naproti tomu podlahový beton v hale, který byl rovněž zkoumán, nevykazoval dostatečné hodnoty z hlediska protismykových požadavků. Tento beton je však koncipován především pro zajištění vysoké pevnosti, což vysvětluje jeho nižší kvality v oblasti protismykových vlastností.

Druhou lokalitou byla odbavovací plocha letiště v Hradci Králové, kde byla použita kombinace všech tří metod – odměrné metody, kyvadla a automobilu SFT. Výsledky z této lokality ukázaly, že povrch plochy splňuje vysoké standardy protismykových vlastností, a to napříč všemi použitými metodami. To dokládá kvalitní provedení a údržbu letištní plochy, která musí zajišťovat bezpečný provoz v náročných podmínkách. Díky provedení měření pomocí kyvadla a SFT bylo možné určit závislost mezi těmito metodami, avšak pro přesnější výsledky by bylo zapotřebí vyššího počtu měření za různých klimatických podmínek. Navazující výzkum by se tak mohl věnovat podrobnější analýze pro stanovení této závislosti za různých klimatických podmínek.

Poslední lokalitou byla ulice Sladkovského, kde byla měření realizována pomocí kyvadla a odměrné metody. Výjimečnost této lokality spočívala v tom, že měření protismykových vlastností zde byla prováděna kontinuálně od doby rekonstrukce povrchu, což umožnilo detailně sledovat změny těchto vlastností v čase. Tento přístup vedl k podrobné analýze vlivu stáří povrchu na jeho protismykové vlastnosti, což představuje důležitý přínos pro dlouhodobé hodnocení komunikací.

Na základě získaných výsledků byly analyzovány různé závislosti, jako je vliv klimatických podmínek, stáří povrchu či jeho stavu na hodnoty naměřené jednotlivými metodami. Bylo potvrzeno, že stáří povrchu má pozitivní vliv na zlepšování protismykových vlastností, což odpovídá teoriím uvedeným v teoretické části práce. Rovněž byla prokázána závislost protismykových vlastností, kdy se zvyšující se teplotou klesají protismykové vlastnosti, což ukazuje na nutnost zohlednění klimatických podmínek při návrhu a údržbě komunikací.

Na druhou stranu se nepodařilo vztah mezi střední hloubkou makrotextury a protismykovými vlastnostmi jednoznačně prokázat, což naznačuje složitost této problematiky a potřebu dalších výzkumů. Navazující práce by mohla zahrnovat rozsáhlejší měření prováděná za různých podmínek a na větším počtu lokalit s rozdílnými vlastnostmi povrchů. Takový přístup by mohl pomoci identifikovat, zda a za jakých okolností existuje přímá vazba mezi střední hloubkou makrotextury a protismykovými vlastnostmi měřenými metodou kyvadlem či SFT.

Celkově tato práce přináší ucelený pohled na problematiku hodnocení protismykových vlastností cementobetonových povrchů. Výsledky a poznatky získané v rámci této práce nejen potvrzují některé stávající teorie, ale také přispívají k lepšímu pochopení vlivů různých faktorů na protismykové vlastnosti povrchů, čímž mohou posloužit jako podklad pro další výzkum.

ZDROJE

- [1] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] CUDWORTH, David a RAHMAN, Mujib. *Deterioration and Maintenance of Pavements*. Online. 2nd ed. ICE Publishing, 2023. ISBN 978-1-5231-5799-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDMPE000X/deterioration-maintenance/deterioration-maintenance>.
- [3] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2009. *Guide for Pavement Friction*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23038>.
- [4] *Explaining why wet leaves can be as slippery as ice on the road*. Online. 2023, 7.2.2024. Dostupné z: <https://cnycentral.com/news/local/explaining-why-wet-leaves-can-be-as-slippery-as-ice-on-the-road>.
- [5] KUMAR, Abhinav a GUPTA, Ankit, YI, Zhang (ed.). Review of Factors Controlling Skid Resistance at Tire-Pavement Interface. Online. *Advances in Civil Engineering Volume 2021, Issue 1*. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2021/2733054>.
- [6] WALSH, Ian D.; HUNTER, Robert N.; DARRALL, Leslie; MATTHEWS, Paul; JAMESON, Paul et al. *ICE Manual of Highway Design and Management*. Online. ICE Publishing, 2011. ISBN 978-1-62870-400-6. Dostupné také z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpICEMHDM1/toc?b-q=ICE%20Manual%20of%20Highway%20Design%20and%20Management&include_synonyms=no&q=ICE%20Manual%20of%20Highway%20Design%20and%20Management&sort_on=default.
- [7] LI, Guangfan; HUANG, Yong a CHEN, Chaohe. *Advanced Building Materials*. Online. Trans Tech Publications, 2011. ISBN 978-1-61344-688-1. Dostupné také z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpABM00002/toc?b-q=Advanced%20Building%20Materials%202011&include_synonyms=no&q=Advanced%20Building%20Materials%202011&sort_on=default.
- [8] HUANG, Baoshan; TUTUMLUER, Erol; AL-QADI, Imad L.; PROZZI, Jorge a SHU, Xiang. *Paving Materials and Pavement Analysis - Proceedings of Sessions of GeoShanghai 2010, June 3–5, 2010 Shanghai, China*. Online. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2010. ISBN 978-1-68015-595-2. Dostupné také z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpPMPAPSG6/toc?b-q=Paving%20Materials%20and%20Pavement%20Analysis%20-%20Proceedings%20of%20Sessions%20of%20GeoShanghai%202010%2C%20June%203%20E2%80%935%2C%202010%20Shanghai%2C%20China&include_synonyms=no&q=Paving%20Materials%20and%20Pavement%20Analysis%20-%20Proceedings%20of%20Sessions%20of%20GeoShanghai%202010%2C%20June%203%20E2%80%935%2C%202010%20Shanghai%2C%20China&sort_on=default.
- [9] SKERRITT, William H. Aggregate type and traffic volume as controlling factors in bituminous pavement friction. Online. In: . 1418. Transportation Research Board, 1993. ISBN

0309055660. ISSN 0361-1981. Dostupné také z:
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1418/1418-004.pdf>.

[10] ANDRIEJAUSKAS, Tadas; VOROBOVAS, Viktoras a MIELONAS, Valdas. Evaluation of skid resistance characteristics and measurement methods. Online. In: *The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING"*. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2014. ISBN 78-609-457-640-9. ISSN 029-7092. Dostupné také z: <http://enviro.vgtu.lt>.

[11] ROE, P.G.; PARRY, A.R. a VINER, H.E. High and low speed skidding resistance: the influence of texture. Online. In: *TRL REPORT*. 367. Nantes, France: Transport Research Laboratory, 1998. ISSN 0968-410. Dostupné také z: <http://worldcat.org/issn/0968410>.

[12] SRIRANGAM, Santosh Kumar; ANUPAM, Kumar; SCARPAS, Tom a KASBERGEN, Cor. Influence of Temperature on Tire–Pavement Friction: Analyses. Online. In: *Transportation Research Record*. 2369. National Academy of Sciences, 2013, s. 114 - 124. Dostupné z: <https://doi.org/10.3141/2369-13>.

[13] BARAN, Ed. Temperature influence on skid resistance measurement. Online. In: *3rd International Road Surface Friction Conference Gold Coast, Queensland – 15 – 18 May 2011*. Gold Coast Queensland, Australia, 2011. Dostupné také z: <https://saferroadsconference.com/conference-papers-2011/>.

[14] FWA, Tien Fang. Determination and prediction of pavement skid resistance—connecting research and practice. Online. *Journal of Road Engineering, Volume 1*. 2021, s. 43-62. ISSN 2097-0498. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2021.12.001>.

[15] SANDERS, P.D. *Characterising the measurements made by sideways-force skid resistance devices*. Online. TRL, 2021. ISBN 978-1-913246-90-7. Dostupné také z: <https://trl.co.uk/publications/characterising-the-measurements-made-by-sideways-force-skid-resistance-devices>.

[16] *Eyes on the road*. Online. In: WDM Driving innovation for an ever changing world. 2016. Dostupné také z: <https://www.wdm.co.uk/case-studies/eyes-on-the-road>.

[17] Skid Resistance (Surface Friction) Tester. Online. Mastrad Limited. [cca 2000]. Dostupné také z: <https://www.mastrad.com/griptest.htm>.

[18] STRYK, Josef a NEKULA, Leoš. Měřicí vozidlo osazené různými diagnostickými technikami pro měření parametrů vozovek a jejich blízkého okolí, měření za vysokých rychlostí. Online. In: *Centre for effective and sustainable transport infrastructure*. 2013. Dostupné také z: http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2013/Seznam_TL_2013.htm.

[19] STRYK, Josef. Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek: Dokončení modernizace vozidla TRT pro měření protismykových vlastností povrchů vozovek. Online. In: *Centrum dopravního výzkumu*. 2019. Dostupné také z: <https://www.cdv.cz/tacr-gama/>.

[20] *Měření protismykových vlastností povrchů vozovek*. Online. In: *Centrum dopravního výzkumu*. Dostupné také z: <https://shopcdv.cz/products/mereni-protismykovych-vlastnosti-povrchu-vozovek>.

- [21] KAZDA, Antonín a CAVES, Robert E. *Airport Design and Operation*. Online. 3rd ed. Emerald Publishing, 2015. ISBN 9781784418700. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAD0E0013/airport-design-operation/airport-design-operation>.
- [22] *Silnice a dálnice v České republice: vývoj stezek, cest, silnic a dálnic na našem území od nepaměti až po současnost*. Online. Rudná: Agentura Lucie, 2009. ISBN 978-80-87138-14-4. Dostupné z: http://toc.nkp.cz/NKC/201002/contents/nkc20102028376_1.pdf.
- [23] LAY, Maxwell; METCALF, John a SHARP, Kieran. *Paving Our Ways*. Online. CRC Press, 2020. ISBN 9780367520786. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781003056300>.
- [24] NEWMAN, John a CHOO, Ban Seng. *Advanced Concrete Technology*. Online. 4th ed. Elsevier, 2003. ISBN 978-0-08-052656-0. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpACTVS00R/advanced-concrete-technology/advanced-concrete-technology>.
- [25] RUŽIČKA, Jan. Provádění cementobetonových vozovek ve Středisku betonových vozovek – Metrostav Infrastructure a.s. Online. In: *Metrostav Infrastructure a. s.*. 2021. Dostupné také z: <https://silnice-zeleznice.cz/silnice/provadeni-cementobetonovych-vozovek-ve-stredisku-betonovych-vozovek-metrostav-infrastructure-a-s-600>.
- [26] GSCHWENDT, Ivan. *Vozovky: obnova, zesilování a rekonstrukce*. ASB. Architektura, stavebnictví, bydlení. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-005-5.
- [27] *A Complete History of Concrete*. Online. Mr.Pavement. 20 October 2017. Dostupné také z: <https://www.mrpavement.com/about-us/blog/just-for-fun/1757/>.
- [28] *A site dedicated to preserving the history of concrete pavements*. Online. Historical Concrete Pavement Explorer. 2016. Dostupné také z: <https://explorer.acpa.org/explorer/places/united-states/michigan/detroit/street/first-mile-of-concrete-pavement-woodward-avenue-detroit-mi/>.
- [29] DEAN, Amy M. *100 year history of paving compaction milling iron*. Online. International Society for Concrete Pavements. 13 March 2016. Dostupné také z: <https://www.concretepavements.org/2016/03/13/a-100-year-history-of-paving-compaction-milling-iron/>.
- [30] *Woodward Ave History*. Online. Wayne County. 2017. Dostupné také z: <https://www.waynecounty.com/departments/publicservices/roads/woodward-ave-history.aspx>.
- [31] PASKO JR., Thomas J. *Concrete Pavements - Past, Present, and Future*. Online. UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Federal Highway Administration. July/August 1998. Dostupné také z: <https://highways.dot.gov/public-roads/julyaugust-1998/concrete-pavements-past-present-and-future>.
- [32] *Concrete roads programme*. Online. National Highways. Dostupné také z: <https://nationalhighways.co.uk/our-roads/concrete-roads/>.
- [33] JASENSKI, A. *CONCRETE ROADS: THE SIGNIFICANCE OF INTERNATIONAL TECHNOLOGY TRANSFERS IN THE DEVELOPMENT OF A ROAD CONSTRUCTION*

- TECHNIQUE IN THE 20TH CENTURY*. Online. PIARC. World Road Association. 2007. Dostupné také z: <https://nationalhighways.co.uk/our-roads/concrete-roads/>.
- [34] RENS, Luc. *Guide for design of "Jointed plain concrete pavements"*. Online. EUPAVE. European Concrete Paving Association. April 2020. Dostupné také z: <https://www.eupave.eu/>.
- [35] *PCC Pavement*. Online. PAVEMENT INTERACTIVE. 24 October 2006. Dostupné také z: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/pcc-pavement/>.
- [36] *Concrete Pavements Basic*. Online. ACPA. American Concrete Pavement Association. 24 October 2006. Dostupné také z: <https://www.acpa.org/>.
- [37] TYSON, Sam a HALSTED, Greg. *Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) - Executive Brief*. Online. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Federal Highway Administration. 2016. Dostupné také z: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_listing.cfm?areas=Design.
- [38] *Concrete Paving Basics*. Online. American Concrete Pavement Association. 09 December 1994. Dostupné také z: http://overlays.acpa.org/concrete_pavement/technical/fundamentals/Concrete_Paving_Basics.asp.
- [39] *Fixed Form Paving*. Online. Pavement Interactive. 24 October 2006. Dostupné také z: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/construction/placement/fixed-form-paving/>.
- [40] VECTRA EQUIPMENT. *SCRIM Measurement of adhesion*. Online. Dostupné také z: <https://www.nextroad.com/en/product/scrिम/>.
- [41] WDM. *American Trials: Reducing off-road and skid related accidents*. Online. October 2016. Dostupné také z: <https://www.wdm.co.uk/news/us-highway-survey>.
- [42] VIC ROADS. *Measurement and Interpretation of Skid Resistance using SCRIM Machine*. Online. November 2018. Dostupné také z: https://www.vicroads.vic.gov.au/~/_media/files/technical-documents-new/test-methods/.
- [43] INTERNATIONAL ROAD FEDERATION. *In-depth Study Reports from the World Survey of Current Research and Development on Roads and Road Transport: Conducted in Cooperation with the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*. Online. U.S. Government Printing Office, 1973. Dostupné také z: https://books.google.cz/books/about/In_depth_Study_Reports_from_the_World_Su.html?id=fpe7WQbnGIMC&redir_esc=y.
- [44] MCHALE, Michael. *Providing appropriate levels of skid resistance*. Online. In: . Edinburgh: Scottish Road Research Board, July 2020. Dostupné také z: www.transport.gov.scot.
- [45] ROE, P.G. a SINHAL, R. *Recent Developments To The SCRIM Measurement Technique In The UK*. Online. In: . 2005. Dostupné také z: <https://saferroadsconference.com/wp-content/uploads>.
- [46] *Tatra 613 Runway Tester (TRT)*. Online. T613ky. Leden 2012. Dostupné také z: <https://t613ky.estranky.sk/clanky/t613-runway-tester.html>.

- [47] PEČÁK, Radek. *Tatra Runway Tester měla pět kol. Před 35 lety vznikaly v JZD*. Online. TipCars. 2024. Dostupné také z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/historie-specialni-tatry-613-runway-tester-082024.html>.
- [48] PERVIA® *vodopropustný beton*. Online. CEMEX CZECH REPUBLIC. 2023. Dostupné také z: <https://www.cemex.cz/produkty-a-sluzby/produkty/beton/pervia>.
- [49] LSHK. *Letecké služby Hradec Králové*. Online. 2022. Dostupné také z: <https://lshk.cz/>.
- [50] VÁCHA, Martin. *Omezení provozu na letišti Hradec Králové od 30.4. do 6.5. 2012*. Online. In: Pilotinfo. 2012. Dostupné také z: <http://www.pilotinfo.cz/z-letist/ceska-republika/omezeni-provozu-na-letisti-hradec-kralove-od-30-4-do-6-5-2012>.
- [51] SEZNAM.CZ, A.S. *Mapová aplikace Mapy.cz*. Online. Dostupné také z: <https://mapy.cz/>.
- [52] PAVETESTING. *High Speed Profilometer*. Online. 2009. Dostupné také z: <https://pavetesting.com/high-speed-profilometer/>.
- [53] ARRB SYSTEMS. *Walking Profiler G3*. Online. 2017. Dostupné také z: <https://arrbsystems.com/product/walking-profiler-g3/>.
- [54] SARSYS-ASFT. *SARSYS-ASFT friction measuring system*. Online. 2018. Dostupné také z: <https://www.sarsys-asft.com/measuring-system>.
- [55] KOLÍN, Lukáš & kol. *Metodický pokyn pro měření charakteristik tření povrchu rwy (kalibrační měření) na letištích v ČR*. Online. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. 2019. Dostupné také z: <https://www.caa.cz/>.
- [56] ČSN 73 6177 *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek*. 2015.
- [57] ČSN EN 13036-4 *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu - Zkouška kyvadlem*. 2012.
- [58] TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. 2024.
- [59] ČSN EN ISO 13473-1 *Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 1: Určování průměrné hloubky profilu*. 2019.
- [60] ČSN ISO 13473-2 *Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 2: Terminologie a základní požadavky vztahující se k analýze profilu textury vozovky*. 2003.
- [61] ČSN ISO 13473-3 *Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 3: Specifikace a klasifikace profilometrů*. 2004.
- [62] ČSN EN 13036-3 *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 3: Měření vodorovných drenážních vlastností povrchu vozovky*. 2004.
- [63] ČSN 73 6123-1 *Stavba vozovek - Cementobetonové kryty - Část 1: Provádění a kontrola shody*. 2014
- [64] TP 92 *Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem*. 2010.
- [65] L14 *Letecký předpis letiště*. 2009.

[66] SM-05-2017 *Návod k obsluze a údržbě zařízení Friction Tester Sarsys SFT SAAB 900.* 2017.

[67] ČSN EN 13036-1 *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou.* 2010.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A.1: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – LKHK

Příloha A.2: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – CEMEX

Příloha A.3: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – ulice Sladkovského

Příloha B.1: Protokoly ze zkoušky odměrnou metodou – LKHK

Příloha B.2: Protokoly ze zkoušky odměrnou metodou – ulice Sladkovského

Příloha C.1: Měření SFT – LKHK

PŘÍLOHA A.1: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – LKHK

Zkouška kyvadlem (PTV)
metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu



LKHK

Datum, čas, klimatické podmínky a povrch vozovky

11.9.2024, 10:30, zatáčka

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: 17°C Teplota vzduchu: 16°C

Kraj 1. desky	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	81	80	79	82	79	80,2	-1	79,2	1
1. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	69	65	70	69	68,6	-1	67,6	2
2. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	69	69	68	68	69	68,6	-1	67,6	2
3. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	76	77	78	76	79	77,2	-1	76,2	1
4. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	78	80	79	80	80	79,4	-1	78,4	1
5. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	76	77	76	77	78	76,8	-1	75,8	1
6. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	72	75	71	71	72,4	-1	71,4	1
7. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	75	76	76	78	78	76,6	-1	75,6	1
8. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	72	75	75	75	76	74,6	-1	73,6	1
Kraj 8. desky	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	78	79	80	79	80	79,2	-1	78,2	1

Zkouška kyvadlem (PTV)
metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu

LCHK

Datum, čas, klimatické podmínky a povrch vozovky

6.11.2024, 10:00, jasno

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: 6°C Teplota vzduchu: 6°C

Kraj 1. desky	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	82	83	84	85	85	83,8	-4	79,8	1
1. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	84	85	85	85	85	85,2	-4	79,2	1
2. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	81	81	81	82	81,0	-4	77,0	1
3. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	82	82	83	83	84	82,8	-4	78,8	1
4. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	80	81	80	81	80,2	-4	76,2	1
5. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	82	81	81	80	80,8	-4	76,8	1
6. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	81	80	80	81	80,4	-4	76,4	1
7. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	80	81	80	82	80,4	-4	76,4	1
8. deska	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	78	79	79	79	78,8	-4	74,8	1
Kraj 8. desky	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	80	79	80	81	79,8	-4	75,8	1

PŘÍLOHA A.2: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – CEMEX

Zkouška kyvadlem (PTV)
metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu



CEMEX

Datum, čas, klimatické podmínky a povrch vozovky

1.10.2024, 8:30, oblačno

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: 11°C Teplota vzduchu: 10°C

PERVIA 20 - 1	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	71	72	70	70	69	70,4	-2	68,4	2
PERVIA 20 - 2	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	74	72	74	73	73,2	-2	71,2	1
PERVIA 20 - 3	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	78	78	78	77	75	77,2	-2	75,2	1
PERVIA 20 - 4	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	69	70	70	69	70	69,6	-2	67,6	2
PERVIA 20 - ošetřený - 1	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	74	75	73	71	73,2	-2	71,2	1
PERVIA 20 - ošetřený - 2	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	73	72	74	72	73,0	-2	71,0	1
PERVIA 20 - ošetřený - 3	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	72	75	74	74	74	73,8	-2	71,8	1
PERVIA 20 - ošetřený - 4	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	77	74	75	74	76	75,2	-2	73,2	1
PERVIA 20 - barevný - 1	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	86	85	82	83	80	83,2	-2	81,2	1
PERVIA 20 - barevný - 2	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	79	78	79	72	77,4	-2	75,2	1

Zkouška kyvadlem (PTV)
metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu

PERVIA 20 – barevný – 3	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	71	75	76	74	75	74,2	-2	72,2	1

PERVIA 20 – barevný – 4	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	76	74	74	75	75	74,4	-2	72,4	1

Teplota povrchu: 20...°C Teplota vzduchu: 20...°C

PERVIA 30	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	73	72	70	70	71,8	0	71,8	1

PERVIA 30	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	71	67	70	69	69,4	0	69,4	2

PERVIA 30	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	65	67	71	70	73	69,2	0	69,2	2

PERVIA 30	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	70	69	70	72	70,2	0	70,2	1

PERVIA 10	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	76	75	75	74	76,0	0	76,0	1

PERVIA 10	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	78	76	77	75	75	76,2	0	76,2	1

Podlahový beton – 1	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	47	45	45	45	45	45,4	0	45,4	4

Podlahový beton – 2	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	50	51	52	51	52	51,2	0	51,2	3

Podlahový beton – 3	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	48	46	46	46	45	46,2	0	46,2	4

PŘÍLOHA A.3: Protokoly ze zkoušky kyvadlem – ulice Sladkovského

5.11.2022, oblačno

Vyhodnocení:

Naměřená teplota °C	Oprava naměřené hodnoty
36 až 40	+3
20 až 35	+2
23 až 29	+1
19 až 22	0
16 až 18	-1
11 až 15	-2
8 až 10	-3
5 až 7	-4

POZNÁMKA Oprava podle teploty může být ovlivněna texturou povrchu vozovky.

1905/L1:

Teplota povrchu: 12,5°C

Teplota vzduchu: 16,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	62	64	65	70	68	65,8	-2	63,8

1905/L2:

Teplota povrchu: 12,5°C

Teplota vzduchu: 16,5°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	69	71	72	74	75	72,2	-2	70,2

1576/P1:

Teplota povrchu: 13,3°C

Teplota vzduchu: 16,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	65	73	74	75	73	72,0	-2	70,0

1576/P2:

Teplota povrchu: 13,3°C

Teplota vzduchu: 16,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	67	68	70	71	71	69,4	-2	67,4

1906/L1:

Teplota povrchu: 13,8°C

Teplota vzduchu: 17,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	75	79	81	83	85	80,6	-2	78,6

1906/L2:

Teplota povrchu: 13,5°C

Teplota vzduchu: 16,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	79	82	82	85	85	82,6	-2	80,6

1891/P1:

Teplota povrchu: 13,5°C

Teplota vzduchu: 17,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	73	74	75	75	79	75,2	-2	73,2

2059/P2:

Teplota povrchu: 13,8°C

Teplota vzduchu: 16,0°C

Kyv	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV
PTV	80	83	84	85	87	84,0	-2	82,0

Datum, čas a klimatické podmínky

Úterý 14.03.2023 v 11:00, zataženo 14 °C, povrch vozovky 12,4 °C

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	85	84	82	83	84	83,6	-2	81,6	1

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	71	68	69	72	71	70,2	-2	68,2	2

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	76	76	78	77	75	76,4	-2	74,4	1

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	72	72	73	73	72,8	-2	70,8	1

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	82	80	83	83	81,4	-2	79,4	1

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	75	75	76	79	78	76,6	-2	72,6	1

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	72	73	71	70	71,8	-2	69,8	2

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	81	80	81	81	82	81,0	-2	79,0	1

Datum, čas a klimatické podmínky

Úterý 27.06.2023 v 10:00, oblačno, povrch vozovky 21,5 °C

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	71	69	73	76	71,8	0	71,8	1

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	63	63	61	63	64	62,8	0	62,8	2

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	69	70	72	76	70	71,4	0	71,4	1

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	67	67	66	66	67	66,6	0	66,6	2

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	78	85	77	80	80,0	0	80,0	1

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	64	62	62	62	63	62,6	0	62,6	2

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	67	66	68	69	68	67,6	0	67,6	2

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	72	72	74	75	73,2	0	73,2	1

Úloha č. 8 – Zkouška kyvadlem (PTV) – metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu

Datum, čas a klimatické podmínky

Úterý 09:00 20.02.2024, vzduch 6,5 °C, povrch vozovky 8,55 °C

Naměřené hodnoty a vyhodnocení

Měření na krytu z cementobetonových desek

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	81	80	80	80	80	80,2	-3	77	1

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	82	81	82	84	81,8	-3	79	1

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	75	75	74	74	75	74,6	-3	72	1

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	86	86	89	85	85	86,4	-3	83	1

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	77	76	76	76	76	76,2	-3	73	1

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	82	80	79	79	80	80	-3	77	1

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	76	76	78	78	77	77	-3	74	1

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	80	82	82	82	81,2	-3	78	1

20.02.2022

Úloha č. 8 – Zkouška kyvadlem (PTV)
metoda pro zjištění protismykových vlastností povrchu



Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $5,5^{\circ}\text{C}$

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	45	45	46	45	49	40	-3	67	2

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	81	80	80	81	82	80,8	-3	47,8	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	82	80	81	81	80	-3	47	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	83	83	80	81	84	82,2	-3	49,2	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	81	80	80	80	80,2	-3	47,2	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	85	81	81	82	82	82,2	-3	49,2	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	85	85	85	80	85	84	-3	81	1

Teplota povrchu: $8,5^{\circ}\text{C}$ Teplota vzduchu: $8,5^{\circ}\text{C}$

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	100	95	100	100	95	98	-3	95	1

Datum, čas, klimatické podmínky a povrch vozovky

12.07.2024; 15:00; 24°C, 26°C, oslaveno

Místo měření

Měření bylo provedeno v Pardubicích na ulici Sladkovského. V části ulice s cementobetonovými deskami bylo provedeno ve středu 4-té, 5-té, 9-té a 10-té desce na pravé i levé části silnice v místě vnější jízdní stopy. Na části s asfaltovým krytem bylo měření provedeno v místě druhého a parkovacího místa na pravé i levé části silnice v místě vnější jízdní stopy.



Obrázek 1 – Ulice Sladkovského v Pardubicích s označenými místy, na kterých bylo provedeno měření

Tabulka A.1 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem (PTV)

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

Tab. 1 Opravy hodnot PTV v závislosti na teplotě měřeného povrchu [2]

Naměřená teplota [°C]	5 - 7	8 - 10	11 - 15	16 - 18	19 - 22	23 - 29	30 - 35	36 - 40
Oprava PTV (ΔPTV)	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	75	74	74	75	75	74,6	+1	25,6	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	74	77	77	79	77,8	+1	78,8	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	76	79	75	75	76,8	+1	77,8	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	72	71	71	71	73	71,6	+1	72,6	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	74	75	75	74	72	74,0	+1	75,0	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	70	70	70	69	69,8	+1	70,8	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	73	72	74	75	74	73,6	+1	74,6	1

Teplota povrchu: 26...°C Teplota vzduchu: 24...°C

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	70	70	71	72	74	71,4	+1	72,4	1

Datum, čas, klimatické podmínky a povrch vozovky

28.11.2024, 10:00, se, oslaco

Místo měření

Měření bylo provedeno v Pardubicích na ulici Sladkovského. V části ulice s cementobetonovými deskami bylo provedeno ve středu 4-té, 5-té, 9-té a 10-té desce na pravé i levé části silnice v místě vnější jízdní stopy. Na části s asfaltovým krytem bylo měření provedeno v místě druhého a parkovacího místa na pravé i levé části silnice v místě vnější jízdní stopy.



Obrázek 1 – Ulice Sladkovského v Pardubicích s označenými místy, na kterých bylo provedeno měření

Tabulka A.1 – Hodnocení součinitele tření povrchu vozovky zjištěné kyvadlem (PTV)

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

Tab. 1 Opravy hodnot PTV v závislosti na teplotě měřeného povrchu [2]

Naměřená teplota [°C]	5 - 7	8 - 10	11 - 15	16 - 18	19 - 22	23 - 29	30 - 35	36 - 40
Oprava PTV (ΔPTV_i)	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

1 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	77	78	77	78	78	77,6	-4	73,6	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

2 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	81	80	80	79	80	80,0	-4	76,0	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

3 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	79	80	80	79	80	79,6	-4	75,6	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

4 - Vlevo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	83	83	84	84	84	83,6	-4	79,6	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

1 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	80	80	81	80	80	80,2	-4	76,2	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

2 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	84	85	85	85	86	85,0	-4	81,0	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

3 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	84	84	84	84	85	84,2	-4	80,2	1

Teplota povrchu: 5 °C Teplota vzduchu: 5 °C

4 - Vpravo	1	2	3	4	5	Průměr	Oprava	Opravené PTV	Klasifikační stupeň
PTV	89	89	89	90	90	89,4	-4	85,4	1

PŘÍLOHA B.1: Protokoly ze zkoušky odměrnou metodou – LKHK

LKHK

Datum, čas a klimatické podmínky

11. 9. 2024; 10:30; zataženo; $V = 82661,049 \text{ mm}^3$

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Kraj 1. – desky	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	46,6	43,8	48,1	42,5	47,7	0,47	C

1. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	41,5	43,0	42,4	44,7	42,9	0,57	D

2. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,0	46,8	45,6	42,6	44,4	0,53	D

3. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	44,7	46,7	42,3	42,9	45,4	0,51	D

4. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	45,3	49,7	43,5	46,7	46,3	0,49	C

5. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	44,9	42,8	41,7	46,4	44,0	0,54	D

6. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	42,8	45,3	45,5	44,1	45,9	0,55	D

7. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,7	45,2	41,6	41,7	42,8	0,57	D

8. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	42,6	40,7	42,5	44,4	42,6	0,58	D

Kraj 8. → desky	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	45,4	43,5	48,9	43,6	44,6	0,53	D

LKH4

Datum, čas a klimatické podmínky

6. 11. 2024 ; 10:00 ; jasno ; $V = 82661,049 \text{ m}^3$

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

Kraj 1. – desky	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	46,1	46,3	45,9	44,2	45,8	0,50	C
1. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	45,9	43,7	45,5	48,9	46,0	0,50	C
2. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	46,9	42,2	45,4	43,3	44,5	0,53	D
3. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	42,3	46,7	44,1	46,1	44,8	0,52	D
4. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	45,4	43,1	42,2	43,7	43,6	0,55	D
5. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	41,2	41,1	42,2	44,7	42,3	0,59	D
6. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,7	43,1	41,4	44,9	43,5	0,56	D
7. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,5	46,5	43,9	42,2	45,3	0,51	D
8. deska	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	45,2	43,3	43,4	41,5	43,4	0,52	D
Kraj 8. → desky	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,3	45,6	45,1	43,2	44,3	0,54	D

PŘÍLOHA B.1: Protokoly ze zkoušky odměrnou metodou – ulice Sladkovského

ulice Sladkovského
Datum, čas a klimatické podmínky

28.11.2024, 10:00, Sladkov, $V = 82661,049 \text{ m}^3$

Naměřené hodnoty a vyhodnocení - Měření na krytu z cementobetonových desek

1 – Vlevo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	42,6	41,3	42,4	42,9	42,3	0,59	3

2 – Vlevo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	40,8	41,5	39,9	40,5	40,7	0,64	2

3 – Vlevo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	41,2	42,8	41,6	40,7	41,6	0,61	2

4 – Vlevo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	42,9	44,7	42,7	40,3	41,9	0,60	2

1 – Vpravo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	43,3	42,8	41,3	44,1	42,9	0,57	3

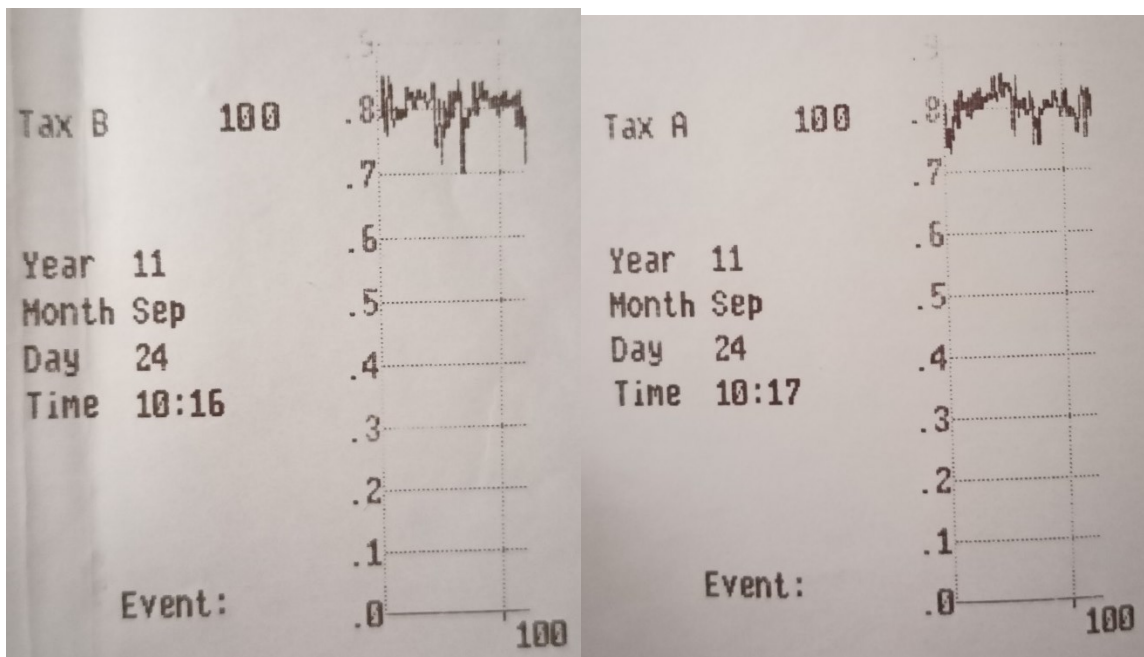
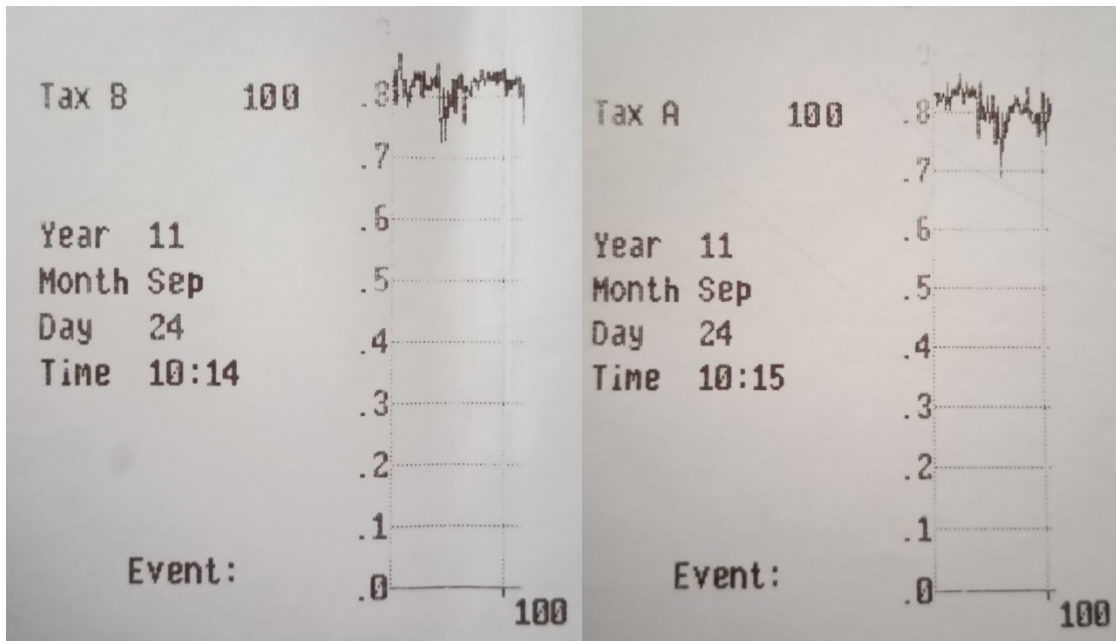
2 – Vpravo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	41,1	42,2	40,6	41,8	41,4	0,61	2

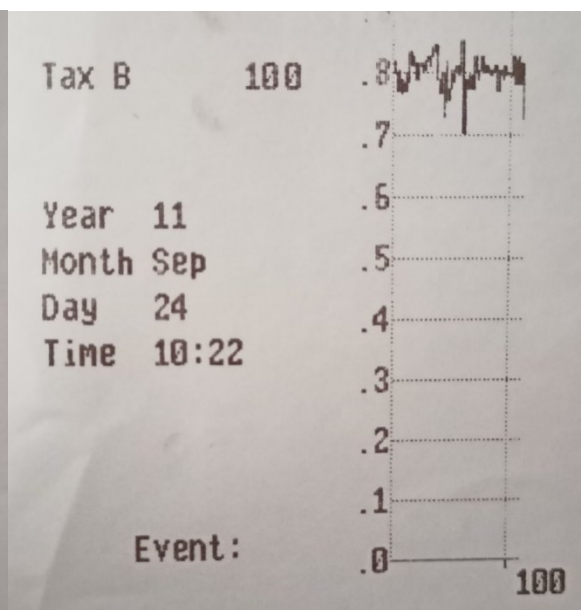
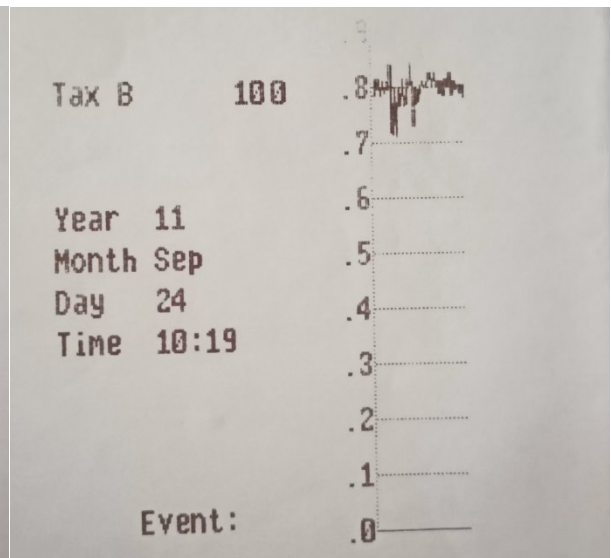
3 – Vpravo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	40,3	38,7	40,0	39,4	39,6	0,67	2

4 – Vpravo	1	2	3	4	Průměr	Výsledné MTD	Klasifikační stupeň
MTD	44,7	40,3	41,0	41,1	41,0	0,63	2

PŘÍLOHA C.1: Měření SFT – LKHK

11.9.2024





6.11.2024

