

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

Vliv druhu asfaltového pojiva na povrchové vlastnosti vozovky

Influence of the Type of Asphalt Binder on the Surface Properties of the Pavement

Student:

Bc. Lukáš Moj

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

Ostrava 2022

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Moj**

Studijní program: N0732A260011 Stavební inženýrství - Dopravní stavby

Téma: **Vliv druhu asfaltového pojiva na povrchové vlastnosti vozovky**  
**Influence of the Type of Asphalt Binder on the Surface Properties of the Pavement**

Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

Zájmová komunikace se nachází v Moravskoslezském kraji a je rozdělená na tři 700m dlouhé úseky, kdy obrusná vrstva každého úseku, obsahuje jiný druh asfaltového pojiva. Úkolem studenta bude provést monitoring povrchu vozovky (protismykové vlastnosti, záznam poruch). Následně bude provedeno dílčí vyhodnocení vlastního měření a celkové vyhodnocení všech měření prováděných od roku 2019.

## Seznam doporučené odborné literatury:

KUDRNA, J. Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací. 1. vydání. VUT FAST, 2007. ISBN 978-80-214-3429-5.  
ČSN EN 13036-1 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou, 2010.  
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.  
ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek, 2009.  
TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2010.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2022

Datum odevzdání: 30.11.2022

Garant studijního programu: doc. Ing. Ivana Mahdalová, Ph.D.

V IS EDISON zadáno: 16.02.2022 15:01:18

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30.11.2022

.....

Bc. Lukáš Moj

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 9.5.2022

.....

Bc. Lukáš Moj

## **Anotace**

MOJ, Lukáš. *Vliv druhu asfaltového pojiva na povrchové vlastnosti vozovky*. Ostrava, 2022. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

Cílem diplomové práce bylo vypracovat rešerši na téma asfaltových pojiv. Diplomová práce obsahuje názvosloví a základní vlastnosti asfaltových pojiv. Potom se práce zabývá nanomateriály, které mohou být použity v silničním stavitelství. Diplomová práce nás seznamuje s důležitými parametry protismykových vlastností a zatřídění poruch netuhých vozovek. V praktické části je proveden monitoring povrchu vozovky, kde je zkoumána mikrotextura, makrotextura. Také je provedena vizuální prohlídka se záznamem poruch. Pro měření je vybrána komunikace rozdělena na tři úseky, které mají odlišnou brusnou vrstvu. Na závěr se vyhodnotily všechny tři úseky a určilo se, který úsek nejvíce vyhovuje bezpečnému provozu.

## **Klíčové slova**

Protismykové vlastnosti, monitoring povrchu vozovky, makrotextura, mikrotextura, asfalt, asfaltové pojivo, nanomateriály, poruchy, vozovka, měření

## **Annotation**

MOJ, Lukáš. *Influence of the Type of Asphalt Binder on the surface properties of the Pavement*. Ostrava, 2022. Diploma thesis. VŠB – TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering. p. supervisor Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

The aim of the thesis was to produce a research on the subject of asphalt binders. Diploma thesis contains the terminology and basic properties of asphalt binders. Then the work deals with nanomaterials that can be used in civil engineering. The thesis introduces us to important parameters of anti-skid properties and the classification of non-rigid road way faults. In the practical part, the road surface is monitored, where the microtexture, the macrotexture, is examined. A visual inspection is also carried out with a record of disturbances. For the measurements, the communication is selected divided into three sections, which have a different abrasive layer. At the end, all three sections were evaluated and the section most suited to safe operation was determined.

## **Key words**

Skid-free properties, road surface monitoring, macrotexture, microtexture, asphalt, asphalt binder, nanomaterials, road fault, roadway, measurement

## **Poděkování**

Především chci poděkovat mé vedoucí práce Ing. Denise Cihlářové, Ph.D. za její rady a odborné vedení, které mi poskytovala po celou dobu psaní této diplomové práce. V neposlední řadě, chci poděkovat mé rodině a přítelkyni, kteří pro mě byli hlavně psychickou podporou.

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Asfaltové pojiva .....	2
2.1. Názvosloví .....	2
2.2. Vlastnosti asfaltových pojiv .....	2
2.2.1. Zkoušky konvenční .....	3
2.2.2. Zkoušky funkční .....	5
2.3. Silniční asfalt .....	7
2.4. Modifikovaný asfalt .....	8
3. Nanomateriály v silničním stavitelství .....	11
3.1. Výzkum použití nanomateriálů pro opravu povrchu vozovky .....	13
4. Protismykové vlastnosti .....	14
5. Poruchy netuhých vozovek .....	18
6. Monitoring povrchu vozovky – praktická část diplomové práce .....	19
6.1. Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou .....	20
6.2. Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem .....	22
6.3. Záznam poruch .....	24
6.4. Nanomateriály testovány v rámci diplomové práce .....	25
7. Vyhodnocení úseku A .....	26
7.1. Vyhodnocení MTD úseku A .....	26
7.2. Vyhodnocení PTV úseku A .....	28



7.3.	Vizuální prohlídka úseku A .....	30
8.	Vyhodnocení úseku B .....	32
8.1.	Vyhodnocení MTD úseku B .....	33
8.2.	Vyhodnocení PTV úseku B .....	34
8.3.	Vizuální prohlídka úseku B .....	35
9.	Vyhodnocení úseku C .....	37
9.1.	Vyhodnocení MTD úseku C .....	37
9.2.	Vyhodnocení PTV úseku C .....	39
9.3.	Vizuální prohlídka úseku C .....	40
10.	Vyhodnocení všech úseků .....	41
10.1.	Vyhodnocení MTD .....	42
10.2.	Vyhodnocení PTV .....	43
10.3.	Vyhodnocení poruch .....	44
10.4.	Kriteriální hodnocení .....	45
11.	Závěr .....	47

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká verze evropské normy
SHRP	Strategic Highway Research Project – strategický dálniční výzkumný projekt
MTD	Mean Texture Depth – střední hloubka makrotextury
MPD	Mean Profile Depth – průměrná hloubka profilu
PTV	Pendulum Test Value – hodnota zkoušky kyvadlem
TP	technické podmínky
TRRL	Transport and Roads Research Laborator
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
PAV	Pressure Aging Vessel
PjP	pravý jízdní pruh
LjP	levý jízdní pruh
CNT	Carbon nano tube – uhlíkové nano trubice
ACO	asfaltový beton
PmB	Polymer modified Bitumen – polymerem modifikovaný asfalt

## 1. Úvod

Diplomová práce se zabývá monitoringem povrchu vozovky na zájmové komunikaci v Moravskoslezském kraji. Komunikace je rozdělena na tři 700 m dlouhé úseky, kdy na každém úseku je použitý jiný druh asfaltového pojiva v obrusné vrstvě. Asfaltové pojiva se neustále vyvíjí a Česko oproti zahraničním státům, by v tomhle nemělo zůstat pozadu. Proto jsou v rámci diplomové práce zkoumány vlastnosti technologie obrusných vrstev s příměsí nanomateriálů.

Teoretická práce je vypracována jako rešerše. Jsme v ní seznámeni s různými druhy asfaltových pojiv. V další části se zabývám vlastnostmi, které získáme za pomoci konvenčních a funkčních zkoušek. Dále jsou popsány získané zkušenosti s nanomateriály v silničním stavitelství. V poslední části jsou představeny důležité protismykové vlastnosti a poruchy netuhých vozovek.

Praktická část se zabývá monitoringem povrchu vozovky od roku 2019 do 2022. Na každém úseku jsou provedeny čtyři měření makrotextury pomocí odměrné metody a dvě měření mikrotextury metodou známou pod názvem zkouška kyvadlem. Během pochůzky je provedena vizuální prohlídka se záznamem poruch. Poté jsou vyhodnoceny všechny úseky na všechny tyto parametry. Zjišťuje se, jaké pojivo je nejvhodnější z hlediska protismykových vlastností a nejmenším výskytem poruch.

Závěr práce je věnován vyhodnocení všech měřených úseků a jejich vzájemné porovnání na měřené vlastnosti. Cílem je zjistit, která technologie obrusné vrstvy má nejlepší vlastnosti a zajišťuje bezpečný provoz na komunikaci.

## 2. Asfaltové pojiva

### 2.1. Názvosloví

**Pojivo** je ve stavebnictví materiál, který přilne ke kamenivu a zajistí soudržnost směsi. [1]

**Asfalt (bitumen)** je téměř netěkavý, přilnavý a hydroizolační materiál pocházející z ropy nebo přítomný v přírodním asfaltu, který je úplně nebo téměř úplně rozpustný v toluenu a při normální teplotě je velmi viskózní nebo téměř tuhý. [1]

**Asfaltové pojivo** je směs uhlovodíků, jejíž elasticko-viskózní chování se mění se změnou teploty. Jedná se o koloidní směs vysoce molekulárních uhlovodíků, v které je zastoupeno až kolem tisíce různých sloučenin. Ty se v zásadě rozdělují na tekuté složky (oleje, pryskyřice označované maltény) a pevné částice (asfaltény). [2]

**Silniční asfalt** je asfalt používaný k obalení kameniva a/nebo recyklovaného materiálu (tzv. R – materiál), používaný při výstavbě a údržbě pozemních komunikací a ve vodních stavbách. [1]

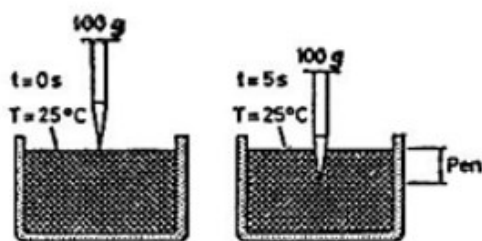
**Modifikovaný asfalt** je asfaltové pojivo, jehož reologické vlastnosti jsou při výrobě upraveny použitím jednoho nebo více chemických činidel [1]

### 2.2. Vlastnosti asfaltových pojiv

Mechanicko-fyzikální vlastnosti asfaltů jsou nejčastějším ukazatelem jejich chování při aplikaci v praxi. Tyto vlastnosti posuzujeme na základě zkoušek. Zkoušky rozdělujeme do dvou druhů skupin – zkoušky konvenční (penetrace jehlou, bod měknutí, bod lámavosti, vratná duktilita, viskozita, rozpustnost, bod vzplanutí, krátkodobé stárnutí, dlouhodobé stárnutí) a zkoušky funkční (oxidativní stárnutí, únavové vlastnosti). Funkční zkoušky asfaltových pojiv byly vyvinuty v rámci amerického výzkumného programu SHRP (Strategic Highway Research Project), materiál je zkoušen v podmínkách simulující skutečné namáhání asfaltových směsí v konstrukci vozovky. [2] [3] [4]

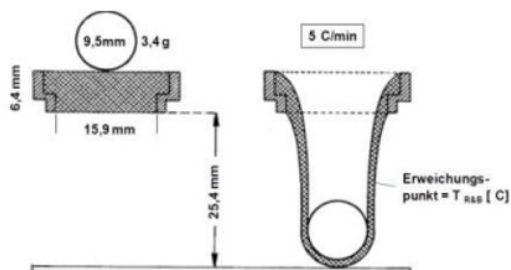
## 2.2.1. Zkoušky konvenční

**Penetrace jehlou (ČSN EN 1426) [5]** nám charakterizuje konzistenci asfaltu. Podstata metody spočívá ve stanovení průniku jehly za pomoci penetrometru do vzorku asfaltu (v 0,1 mm) při teplotě lázně 25 °C a zátěži 100 gramů po dobu pěti vteřin. Výsledkem je hloubka vpichu. Dle této zkoušky se provádí základní označení pojiv např. 50/70 (5 až 7 mm) [4]



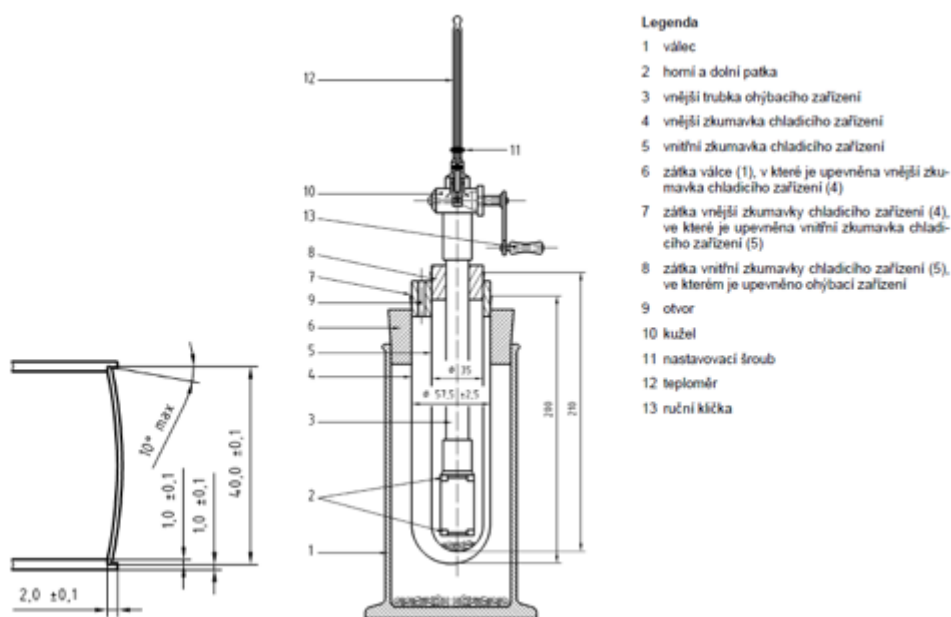
Obrázek 1- penetrace jehlou [4][5]

**Stanovení bodu měknutí (ČSN EN 1427) [6]**, také nazývána jako metoda kroužek kulička. Tato zkouška nám stanovuje horní hranici oboru plasticity, udává se ve °C, za touto hranicí přechází asfalt do tekutého stavu. Ocelová kulička průměru 9,5 mm, položená na vrstvě asfaltu tloušťky 6,4 mm, zahříváné předepsaným způsobem, pronikne vrstvou asfaltu a protáhne jí do hloubky 2,5 cm pod spodní okraj prstenu. [4]



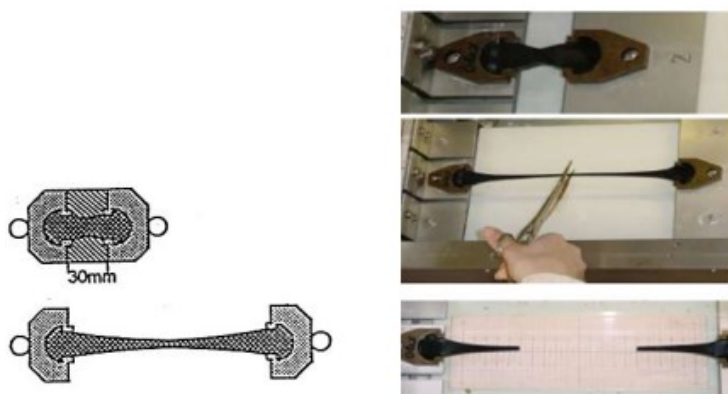
Obrázek 2- stanovení bodu měknutí [4]

**Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse (ČSN EN 12593) [7]**, tato zkouška nám vyjadřuje chování asfaltů za nízkých teplot. Výsledkem je teplota, při které se tenká vrstva asfaltového pojiva o stanovené a rovnoměrné tloušťce za definovaných podmínek zatížení zlomí. Asfaltové pojivo se nanese na kovový plíšek při dosažení rovnoměrné tloušťky vrstvy. Poté se plíšek ochlazuje a ohýbá, dokud vrstva asfaltového pojiva nepraskne. [4]



Obrázek 3- přístroj pro stanovení bodu lámavosti podle Fraasse [7]

**Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů (ČSN EN 13398) [8]**, vzorek asfaltu ve speciální formě se konstantní rychlostí protahuje při teplotě 25 °C na určenou vzdálenost 200 mm. Asfaltové vlákno se uprostřed přestřihne, po uplynutí třiceti minut se měří jeho zpětné přetvoření. [4]



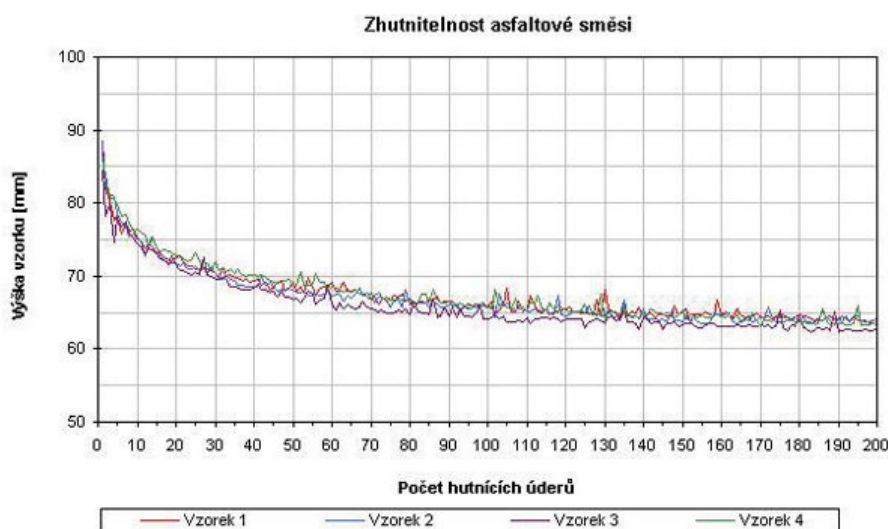
Obrázek 4- Vratná duktilita [4] [8]

### 2.2.2. Zkoušky funkční

Funkční zkoušky slouží k přiblížení vlastností asfaltových směsí ke skutečnému namáhání ve vozovce a vytvořit nový přístup pro navrhování asfaltových směsí. K jejich prosazení pomohl výzkumný program SHRP, ten byl zaměřen na propojení laboratorních zkoušek s reálným namáháním vozovek. Dokážou simulovat – proces výroby, dopravy, pokládky a hutnění asfaltové směsi, ale také chování asfaltové směsi v různých podmínkách zatížení a prostředí. Výsledek nám uvádí nejlepší vstupní parametry, pomocí kterých se zvýší kvalita výsledného produktu. Tyto zkoušky v budoucnu můžou omezit nutnost vysokých investic do opravy a údržby vozovek. Nevýhodou je vysoká cena zkušebních zařízení. [3]

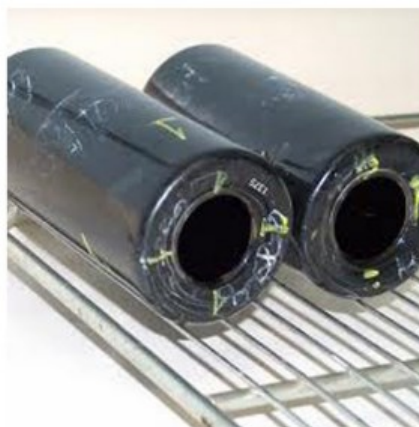
**Stanovení citlivosti asfaltových směsí k segregaci (ČSN EN 12697-15) [9]**, horký vzorek asfaltové směsi se umístí do nahřáté izolované kuželovité násypky a nechá se po otevření uzávěru propadnout na plošinu, na které se vytvoří kuželovitá figura. Otevře se malý prostor plošiny, který oddělí jemnou část směsi. Poté se otevře velký otvor, jímž propadá střední část figury. Na plošině zůstane nejhrubší část vzorku. [3]

**Zhutnitelnost (ČSN EN 12697-10) [10]**, princip zkoušky je založen na zhutňování asfaltové směsi za pomoci rázovým tzv. Marshallovým zhutňovačem. Při hutnění je zaznamenávána tloušťka tělesa v závislosti na počtu úderů. Poté se vytvoří křivka, jejíž parametry nám uvádí zhutnitelnost asfaltové směsi. Na grafu 1 můžeme vidět, že výška vzorku asfaltové směsi nejvíce klesá při prvních padesáti úderech mnohem rychleji než u následujících.[3]



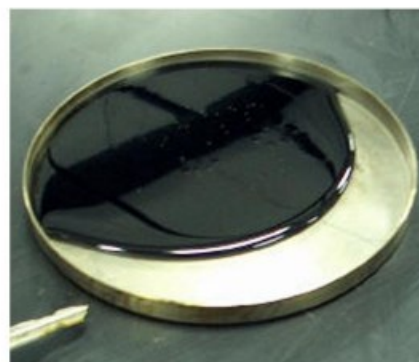
Graf 1- Zhutnitelnost asfaltové směsi [3]

**Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu – Metoda RTFOT (ČSN EN 12607-1) [11]** – zkouška nám simuluje krátkodobé stárnutí asfaltového pojiva, ke kterému dochází při výrobě asfaltové směsi na obalovně, během dopravy a pokládky. Pohybující se tenká vrstva asfaltu se ohřívá v sušárně při stanovené teplotě po danou dobu za vhánění horkého vzduchu do rotujících baněk. Kombinace účinků tepla a vzduchu se stanoví změnou hmotnosti v procentech nebo změnou vlastností asfaltového pojiva, jako jsou zkoušky konvenční (penetrace jehlou, bod měknutí atd.). [3] [4]



Obrázek 5 – Zkušební pec pro zkoušku RTFOT a asfaltové vzorky [4]

**Urychlené dlouhodobé stárnutí v tlakové nádobě – PAV (ČSN EN 14769) [11]** – podobná zkouška jako u metody RTFOT. Tenká nepohyblivá vrstva asfaltového pojiva se zahřívá při teplotě 100 °C a tlaku 2,07 MPa po dobu 20 hodin. Simuluje proces stárnutí pojiva ve vozovce po dobu cca 5 až 10 let. [3] [4]



Obrázek 6- zkušební přístroj PAV a vzorek na misce [4]



### 2.3. Silniční asfalt

První použití asfaltu na silnici se objevilo v roce 1824, kdy byly na Champs-Élysées v Paříži umístěny asfaltové bloky. Moderní silniční asfalt, jak ho známe nyní byl dílem belgického přistěhovalce Edwarda de Smedta na Columbijské univerzitě v New Yorku. Roku 1872 vytvořil Edward De Smedt moderní asfalt s maximální hustotou. První použití tohoto silničního asfaltu bylo v Battery Parku a na Fifth Avenue v New Yorku v roce 1872 a na Pennsylvania Avenue ve Washingtonu v roce 1877. [11]

Silniční asfalt se rozděluje na dvě hlavní skupiny, a to na **přírodní** a **ropné asfalty**.

**Přírodní asfalty** se vyskytují ve světě málo, největším zdrojem je jezero na ostrově Trinidad, v Evropě se nachází ložisko přírodního asfaltu v Albánii – Selenica. Asfalt pod názvem Trinidad Epuré se získává zahřátím na 160 °C a následným prolitím přes síta, na kterých se zachycují hrubé nečistoty a organické zbytky. Ovšem tento asfalt je příliš tvrdý na to, aby byl použit jako asfaltové pojivo. Proto se provádí jeho míchání s měkkým ropným asfaltem, který je běžně používán v silničním stavitelství. [2]



Obrázek 7- jezero Pitch Lake na ostrově Trinidad [13]

**Ropné asfalty** se získávají destilací surové ropy. Rozlišujeme tři základní druhy rop podle chemického a látkového složení:

- Asfaltické ropy – obsahují větší množství asfaltických látek
- Poloasfaltické ropy (poloparafinické) – malý obsah asfaltických látek
- Neasfaltické (parafinické) – nepatrné množství asfaltických látek

[2]

## 2.4. Modifikovaný asfalt

Vzhledem k neustálému navýšení dopravního zatížení a nárokům na životnost konstrukce je potřeba zvýšit kvalitu asfaltových pojiv. Řešením tohoto problému může být použití polymerem modifikované asfaltové pojivo. Historie modifikovaných asfaltů sahají do roku 1938, kdy v USA zkoušeli do silničních asfaltů přidávat síru. K širšímu využití pomohla první ropná krize, kdy se cena asfaltu výrazně zvýšila, tudíž se zvýšil požadavek na životnost. Od roku 1970 se objevily první polymery modifikované asfalty v Německu a Rakousku. Modifikované asfalty zlepšují chování asfaltových pojiv za nízkých a vysokých teplot. Asfaltové směsi vykazují odolnost proti tvorbě mrazových trhlin a tvorbě trvalých deformací.[2]

Přidáním přísad vylepšíme několik vlastností asfaltové směsi:

- Zlepšení přilnavosti asfaltu ke kamenivu
- Snížení bodu lámavosti
- Zvýšení bodu měknutí
- Zvýšení životnosti
- Lepší odolnost proti trvalým deformacím

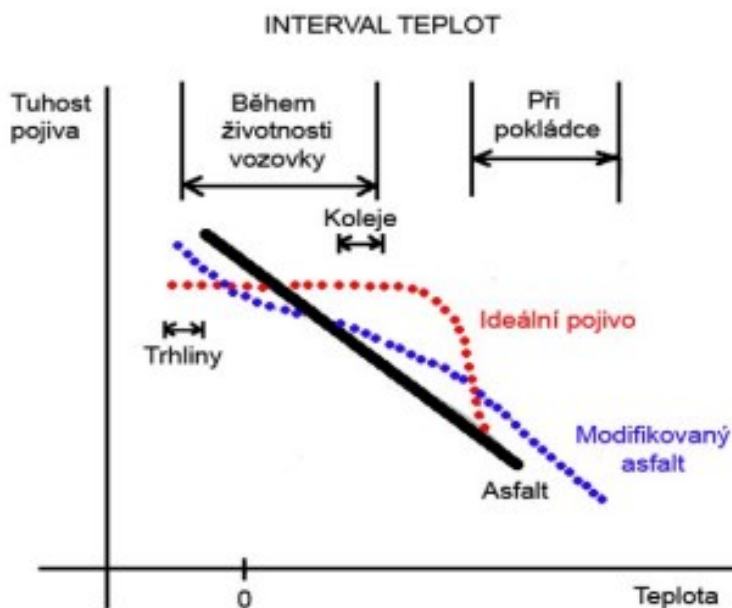
Nejčastějším typem používaných modifikátorů jsou polymery. Polymery jsou makromolekuly, v kterých se opakuje stejná skupina atomů. Další typy modifikátorů jsou latexy, vysokomolekulární vosky a recyklovatelné pneumatiky (drcená guma) – používané především pro tiché kryty vozovek tzv. gumoasfalt. [2] [4]

Polymery rozdělujeme do dvou skupin:

- Termosetické polymery – nevratně tvrdnou při zahřátí, tudíž se nepoužívají v dopravním stavitelství
- Termoplastické polymery – při zahřátí mají schopnost se vrátit do plastického stavu, vmíchávají se do asfaltů za vysokých teplot. Výsledná směs vyjadřuje vysokou viskozitu

Termoplastické polymery se dělí na plastomery a elastomery. Mezi plastomery řadíme polymery EVA (etylen vinyl acelát). Hlavní zástupce elastomerům je skupina polymerů SB a SBS (styren – butadien – styren). [4]

Níže můžeme vidět obrázek 8 porovnání modifikovaného asfaltu s klasickým silničním asfaltem. Přidáním elastomeru SBS dochází ke snížení citlivosti při vyšších teplotách a ztupšení vlastností za nízkých teplot. Modifikovaný asfalt se přibližuje tuhosti ideálního pojiva do asfaltových směsí. [4]



Obrázek 8 – graf tuhosti pojiva závislé na teplotě [4]

Praktickému ověření vlastností asfaltové směsi s vysoce modifikovaným pojivem byl vytvořen pokusný úsek firmou Skanska a.a. na základě výzkumného projektu TE01020168 Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure (CESTI). Na tomto úseku byl vyhotoven asfalt ACO 11S PmB 25/55-75 Styrelf. Úsek se nachází v areálu logistického centra,

předpokládá se vysoké bodové zatížení a působení velkých radiálních sil způsobeny těžkou nákladní dopravou. Pro porovnání byly laboratorní zkoušky vyhotoveny na silničním asfaltu 50/70 a modifikovaném asfaltu PmB 25/55-65. Na pojivech byly provedeny čtyři zkoušky vlastností asfaltových pojiv, které byly provedeny na nezestárlém pojivu a zestárlém pojivu metodou RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) a metodou PAV (Pressure Aging Vessel) popsané v kapitole 2.2.2. Zkoušky funkční. [14]

Zkoušky		Jednotky	50/70	PmB 25/55-65	PmB 25/55-75
Nezestárlé pojivo	Penetrace [4]	[0,1 mm]	63	35	42
	Bod měknutí K. K. [5]	[°C]	47,7	69,6	77
	Vratná duktilita při 25 °C [6]	[%]	-	70	88
	Silová duktilita při 10 °C [7]	[J/cm <sup>2</sup> ]	-	4	5,7
Zestárlé pojivo metodou RTFOT [10]	Penetrace [4]	[0,1 mm]	47	31	39
	Bod měknutí K. K. [5]	[°C]	52,4	78	85,5
	Zvýšení bodu měknutí [5]	[°C]	5	8,4	8,5
	Vratná duktilita při 25 °C [6]	[°C]	-	64	83
	Silová duktilita při 25 °C [7]	[J/cm <sup>2</sup> ]	-	1	1,3

Tabulka 1- vlastnosti nezestárlých pojiv a pojiv zestárlých metodou RTFOT [14]

Z tabulky č. 1 můžeme vyčíst viditelné rozdíly ve výsledcích vratné a silové duktility na nezestárlém pojivu. Výsledky značí vyšší odolnost pojiva PmB 25/55-75 proti tvorbě únavových trhlin, tvorbu trvalých deformací a delší životnost asfaltové směsi. [14]

Zkoušky		Jednotky	50/70	PmB 25/55-65	PmB 25/55-75
Zestárlé pojivo RTFOF + PAV [11]	Penetrace [4]	[0,1 mm]	20	22	29
	Bod měknutí K. K. [5]	[°C]	65,8	86,5	89
	Vratná duktilita při 25 °C [6]	[°C]	-	50	77
	Silová duktilita při 25 °C [7]	[J/cm <sup>2</sup> ]	-	-	2,5
Zestárlé pojivo 3x RTFOF	Penetrace [4]	[0,1 mm]	30	26	25
	Bod měknutí K. K. [5]	[°C]	58,8	87	91,5
	Vratná duktilita při 25 °C [6]	[°C]	-	59	72
	Silová duktilita při 25 °C [7]	[J/cm <sup>2</sup> ]	-	1,4	2,2

Tabulka 2- vlastnosti pojiv po stárnutí metodou RTFOT + PAV a modifikovanou metodou 3× RTFOT [14]

Na dalších zkouškách stárnutí používanou dle metodiky evropských norem pro modifikované asfalty, tedy kombinaci RTFOT + PAV, vidíme, že silniční asfalt prochází silnějším procesem stárnutí, ve srovnání s polymerem modifikovanými asfaltovými pojivy. Na základě těchto výsledků lze říct, že čím vyšší modifikace asfaltového pojiva, tím je vyšší životnost vozovky. [14]

Výsledky nám udávají vyšší odolnost asfaltu PmB 25/55–75 proti stárnutí ve srovnání s ostatními směsi, což značí podle předpokladu vyšší životnost netuhé vozovky.

### 3. Nanomateriály v silničním stavitelství

Nanotechnologie jsou ve světě slibnou a novou technologií materiálového průmyslu. Použitím nanomateriálu lze snadno změnit vlastnosti výrobku, ovšem tyto technologie jsou zkoušeny ve světě jen málo. Tato práce se zabývá monitoringem povrchu vozovky na úsecích, kde byly použity asfaltové směsi s příměsí 6 % nanosilik. Tyto směsi jsou následně vyhodnoceny a porovnány s klasickým silničním asfaltem.

Nanočástice je miniaturizovaná částice, která se měří v nanometrech (nm) a je často definována jako částice s alespoň jedním rozměrem, který je menší než 100 nm. V asfaltové konstrukci mají uplatnění především hliněné nano částice (nanojíl), bentonitový jíl, uhlíkové nano trubice (CNT – Carbon nano tubes), nanočástice oxidu křemičitého (tyto byly použity v obrusné vrstvě zkoumané v praktické části diplomové práce), oxidu hlinitého, hořčíku, vápníku a oxidu titaničitého. [34]

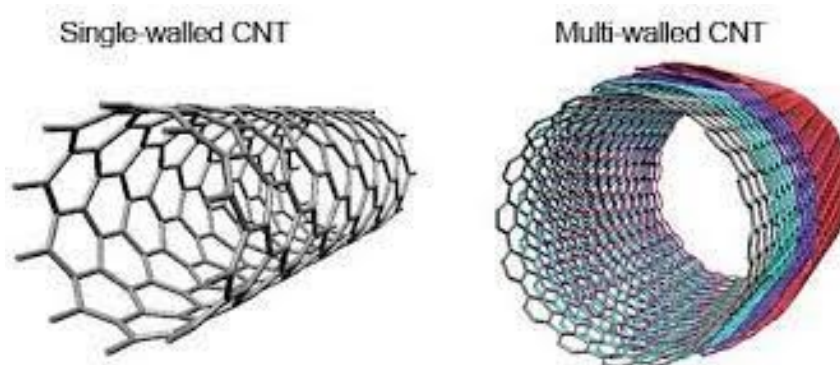
Nanojíl je jíl, který lze modifikovat tak, aby jíl byl kompatibilní s organickými monomery a polymery. Tyto nanokompozity se skládají ze směsi jednoho nebo více polymerů s vrstvenými křemičitany, které mají tloušťku vrstvy v řádu jednoho nm a velmi vysoký poměr stran. Běžné jíly jsou přirozeně se vyskytující minerály a podléhají přirozeným změnám v jejich tvorbě. Výsledkem separace hliněných kotoučů od sebe je nanojíl s velkou aktivní plochou (až 700-800 m<sup>2</sup>/g). To má za následek účinné působení mezi nanojílem a bitumenem a vylepšuje tak vlastnosti asfaltového pojiva. [34]

Polymerní nanokompozity jsou jedním z nejzajímavějších materiálů objevených v poslední době a fyzikální vlastnosti se úspěšně zlepšují, když se polymer modifikuje malým množstvím nanojílu pod podmínkou, že se jíl rozptýlí na nanoskopické úrovni. Nanojíly byly použity jako sekundární modifikátor pro další zlepšení vlastností modifikovaných asfaltových směsí. [34]

Bentonitový jíl (BT) a organicky modifikovaný bentonit (OBT) byly použity ke zpevnění a modifikaci asfaltového pojiva. Upravená asfaltová pojiva byla vyrobena tavením pod sonikací (akt aplikace zvukové energie k míchání částic ve vzorku) a velkým smykovým napětím. Upravené asfalty mají vyšší odolnost proti vyježdění kolejí na vozovce. Přidáním BT a OBT se

výrazně zlepšily nízkoteplotní reologické vlastnosti a odolnost vůči popraskání asfaltových vozovek. [34]

Dalším nanomateriálem používaným v silničním stavebnictví jsou uhlíkové nanotrubičky (CNT). Uhlíkové nanotrubičky jsou vrstva grafitu o tloušťce jednoho atomu srolovaná do bežešvého dutého válce o průměru řádově jednoho nanometru. Ve srovnání s ostatními stavebními materiály se vyznačují vynikajícími mechanickými vlastnostmi. Může dosahovat až 150 GPa pevnosti v tahu. Existují dva typy CNT v podobě jednostěnných a více stěnných trubek (obrázek č.9). Více stěnné jsou levnější a snáze se vyrábějí, ale vykazují nižší pevnost a tuhost. [34]



Obrázek 9- Uhlíková nano trubice CNT – vlevo jednostěnné, vpravo více stěnné [36]

V oblasti živichých pojiv a směsí bylo provedeno jen málo studií. Na základě provedených studií bylo zjištěno, že když se k základnímu asfaltu přidají CNT s dostatečně velkým procentem (více než 1 %), mohou významně ovlivnit reologické vlastnosti. Kromě těchto zlepšení, také sníží tloušťku vrstev a v důsledku toho sníží spotřebu kameniva na asfaltovou směs. Uhlíkové nano trubice poskytují posílení odolnosti proti ohlazení asfaltové směsi a odolnosti proti rozdílu teplot (snížení výskytu trhlin asfaltu). [34]

Do modifikovaných asfaltů se vkládají nanosilika nebo mikrosilika, kvůli vylepšení vlastností, jakými jsou – dlouhá životnost, zvýšení odolnosti proti agresivnímu prostředí a dlouhodobou stálost, odolnost proti vyježdění kolejí na vozovce. Nanosilika se přidávají do asfaltu v množství 4 % až 6 % na hmotnost asfaltového pojiva. Přidáním nanosiliky se snižuje viskozita pojiva, znamená to nižší potřebnou teplotu ztuhnutí, tím pádem i nižší cenu celého procesu. Další výhodou je zpomalení oxidační reakce a procesu stárnutí, díky změnám

chemických vazeb. Složení asfaltobetonové směsi s nanosiliky můžeme vidět v tabulce č.3. [15]

Složení směsi	%	Obj. hmotnost v kg/m <sup>3</sup>
Asfalt PmB 45/80–55	5-6	1 020
Kamenivo 0–4	44	2 790
Kamenivo 4–8	23	2 790
Kamenivo 8–11	29	2 763
Mikrosilika (na pojivo)	5	1 030
Nanosilika (na pojivo)	6	1 020
Mikromletý vápenc kam.	4	2 550

Tabulka 3- Složení asfaltobetonové směsi s nanosiliky [15]

### 3.1. Výzkum použití nanomateriálů pro opravu povrchu vozovky

Ve švýcarském výzkumném ústavu EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs und Forschungsanstalt – Federální ústav pro testování a výzkum materiálů) se zabývají novou technologií opravy trhlin na asfaltových vozovkách pomocí nanočástic. Použití nanočástic byla inspirována z poznatků medicíny, přesněji z metody magnetické hypertermie, která je využívána při léčbě nádorových onemocnění. Účelem výzkumu je druh léčitelného asfaltu, který by měl po použití nanočástic uzavřít trhliny v asfaltovém krytu, pokud jsou ještě malé. Ovšem, zda lze trhlínu pozorovat pouhým okem, je pro přidání nanosiliky příliš pozdě. [16]

Pro údržbu by bylo potřeba každoročně kontrolovat mikrotrhliny pozemní komunikace pojezdem speciálního vozidla, které vytváří magnetické pole. Tím, by se mikrotrhliny v asfaltové vrstvě opět uzavřely a životnost krytu by se prodloužila. Problémem této metody je vysoká cena. Vedoucí výzkumu Etienne Jeoffroy se domnívá že zná řešení problému, a to v podobě nanočástic, které jsou nepatrně větší než používané při léčbě nádorů, zato jsou mnohem levnější. Tato možnost v budoucnu otevírá asfaltu s nanočásticemi vstup na trh.[16]

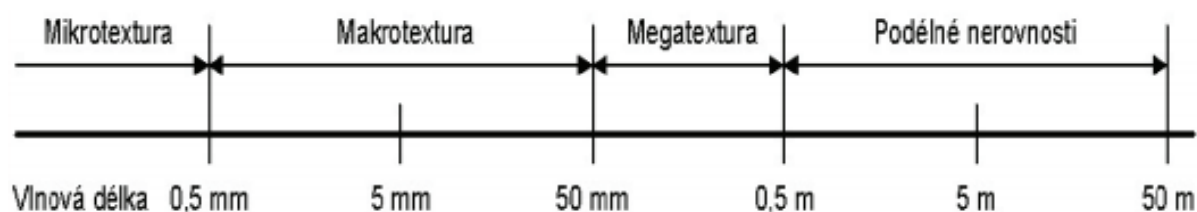
#### 4. Protismykové vlastnosti

Protismykové vlastnosti vozovek jsou důležitou součástí dopravního stavitelství, zejména kvůli bezpečnosti silničního provozu. Lepší protismykové vlastnosti, zmenší brzdovou dráhu a riziko smyku vozidla. Při dosažení vysokého součinitele tření můžeme zabránit dopravní nehodě.

Protismykové vlastnosti jsou schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajišťovat pomocí tření spolupůsobení mezi povrchem vozovky a pohybující se pneumatikou. Posuzují se na základě parametru součinitele tření. [17]

Tření je odolnost, která brání pohybu mezi dvěma tělesy např. pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou vozidla. [17]

Textura povrchu vozovky je vyobrazení prostorového umístění zrn kameniva na povrchu vozovky. Názvosloví textury povrchu se popisuje z hlediska vlnové délky (obrázek 10). Nejdůležitějšími parametry jsou mikrot textura a makrotextura. [17]

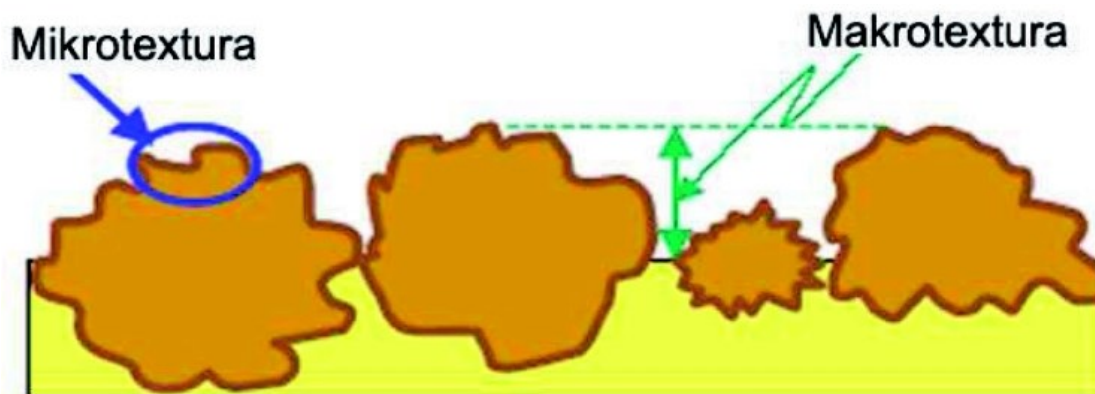


Obrázek 10- Názvosloví textury povrchu vozovky z hlediska vlnové délky [18]

Mikrot textura je dána velikostí zrn výstupků a tvarem kameniva. Je to rozdíl povrchu vozovky od dokonalého rovného povrchu s rozměry menšími než 0,5 mm. Mikrot textura přispívá k tření mezi povrchem vozovky a pneumatikou vozidla. [17]

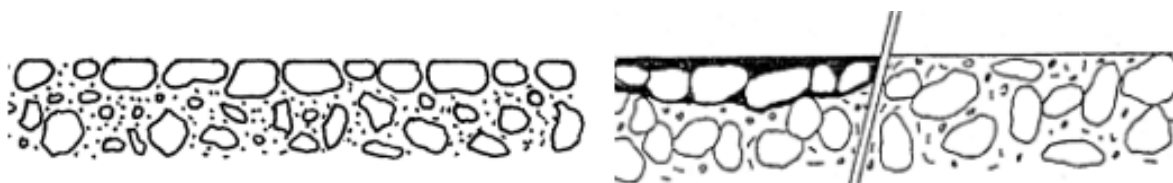
Makrotextura je dána velikostí frakce hrubého a jemného kameniva. Je to rozdíl povrchu vozovky od dokonalého rovného povrchu s rozměry od 0,5 mm do 5 mm. Makrotextura ovlivňuje vznik vodního filmu na povrchu vozovky a součinitel tření. [17]





Obrázek 11- mikrotextura a makrotextura [19]

Protismykové vlastnosti závisí na mikrotextuře, makrotextuře a na odolnosti ohladitelnosti kameniva.



Obrázek 12- vlevo ztráta mikrotextury, vpravo ztráta makrotextury [20]

Ztráta mikrotextury se projevuje lesklým, zaobleným a hladkým povrchem zrn kameniva. Vzniká při použití nekvalitního a snadno ohladitelného kameniva. [21]



Obrázek 13- ztráta mikrotextury asfaltové vozovky [21]

Za ztrátu makrotextury může především namáhání dopravou, kdy dochází k zatlačování zrn do povrchu nebo vystoupením asfaltového pojiva k povrchu obrusné vrstvy. Dalším důvodem je přebytek asfaltu u nátěrů tzv. pocení nebo nadměrného množství asfaltu v asfaltové směsi k poměru s kamenivem. Povrch se stává uzavřený, hladký a kluzký. Při ztrátě makrotextury dochází i ke ztrátě mikrotextury. [21]



Obrázek 14- pocení asfaltu – ztráta mikrotextury [21]

Na netuhých vozovkách můžeme vylepšit protismykové vlastnosti těmito způsoby:

- Posypání asfaltového nátěru drceným kamenivem frakce 2/4 a 4/8 mm
- Nahrazení asfaltové směsi / výměna obrusné vrstvy
- Zdrsněním povrchu pomocí frézování povrchu vozovky
- Pokládka mikrokoberce
- Emulzní kalový zákryt – směs drobného kamenivo 0/4 mm, asfaltová emulze, záměsová voda a přidáním stabilizátoru
- Bezpečnostní protismyková úprava – tenké vrstvy pokládané ručně za studena nebo za horka s použitím dvousložkového pojiva (epoxid/amin) s kamenivem nebo zdrsňujícím materiálem (žulové kamenivo frakce 1–3 mm), vhodná do kritických míst (směrové oblouky, přechody pro chodce) s možností vzniku nehody. Disponuje červenou barvou, tudíž upozorňuje řidiče na nebezpečí. [22] [23]



Obrázek 15- Bezpečnostní protismyková úprava ve směrovém oblouku

Posouzení protismykových vlastností povrchu vozovky se hodnotí klasifikačními stupni dle TP 87 (tabulka č. 4 a 5) [24]. Klasifikační stupně se hodnotí od 1 do 5, kdy klasifikační stupeň 1 by měla splňovat každá nová vozovka. V případě klasifikačního stupně 5 nesplňuje pozemní komunikace požadavky na bezpečnost a provozní způsobilost. Je potřeba provést údržbu nebo opravu vozovky, do této doby je nutností úsek označit dopravními značkami.

<b>Klasifikační stupeň</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Zkušební metody</b>					
Součinitel podélného tření $F_p$ , zařízení TRT pro měřicí rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\geq 0,60$	<b>0,59 – 0,52</b>	<b>0,51 – 0,44</b>	<b>0,43 – 0,36</b>	$\leq 0,35$
Součinitel tření zjištěný kyvadlem, PTV	$\geq 0,70$	0,69 – 0,60	0,59 – 0,50	0,49 – 0,40	$\leq 0,39$
Střední hloubka textury zjištěná odměrnou metodou, MTD	$\geq 0,75$	0,74 – 0,60	0,59 – 0,50	0,49 – 0,38	$\leq 0,37$
Střední hloubka profilu MPD,	$\geq 0,69$	0,68 – 0,50	0,49 – 0,37	0,36 – 0,22	$\leq 0,21$

Tabulka 4- hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [24]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
<b>F<sub>p</sub>, PTV</b>					
Požadavek na zvýšené protismykové vlastnosti					
D, R, RMK, Silnice, MK					
<b>MTD, MPD</b>					
PK s dovolenou rychlostí > 50 km/h					
PK s dovolenou rychlostí ≤ 50 km/h					

- Přejímka povrchu vozovky pro uvedení úseku do provozu
- Posouzení povrchu vozovky na konci záruční doby
- Plán souboru opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky
- Provedení opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky

Tabulka 5- požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [24]

## 5. Poruchy netuhých vozovek

V rámci diplomové práce se zabývám vizuální prohlídce na pozemní komunikaci a zápisu záznamu a vyhodnocení poruch. Užíváním pozemní komunikace dochází k poškození a porušování vozovek. Příčiny poruch mohou být: špatný návrh nebo opravy vozovky, špatný postup při výstavbě, nesprávné užívání, špatná údržba, živelná pohroma, přirozené opotřebení.

Poruchy zatřídíme do několika typů:

- Ztráta protismykových vlastností
- Ztráta hmoty
- Trhliny
- Deformace
- Jiné poruchy

[22]

Zatříděním a stanovením rozsahu poruch je základ pro údržbu a opravu pozemních komunikací, tvoří podklad pro ekonomické rozhodování o způsobu údržby a opravy. Poruchy ovlivňují bezpečnosti silničního provozu, rychlost, komfort a další porušování konstrukce

vozovky. Proto platí pravidlo, že čím dříve bude poškození komunikace objeveno, tím to bude z ekonomického hlediska menší ztráta (např. výměna pouze obrusné vrstvy, vysprávky). [22]

Sběr poruch lze provádět vizuální prohlídkou se záznamem do formulářů graficky nebo do tabulky, vizuální prohlídkou se záznamem do počítače, video/foto záznamem s vysokým rozlišením a lokalizací záběru, pomocí laserového zobrazovacího systému. Sběr poruch se neprovádí za špatného počasí (snížená viditelnost, déšť, mlha, sníh) nebo na znečištěné vozovce (bláto, posyp). Vizuální prohlídka při ručním záznamu je ovlivněna zejména osvětlením na viditelnost poruch, únava, zaškolení a zkušenosti pracovníků. [22]

## 6. Monitoring povrchu vozovky – praktická část diplomové práce

Cílem praktické části diplomové práce je monitoring povrchu vozovky, přesněji měření protismykových vlastností a vizuální prohlídky záznamu poruchy na zájmové komunikaci v Moravskoslezském kraji.

Jedná se o silnici II. třídy, která je rozdělena na tři úseky po cca 700 m (Úsek A, B a C), silnice má profil dvoupruhové komunikace kategorie S7,5. Z výsledků celostátního sčítání dopravy z roku 2020 [25] bylo zjištěno, že počet těžkých nákladních vozidel je rovno 508 voz/den, roční denní průměrná intenzita všech vozidel je 5322 voz/den.

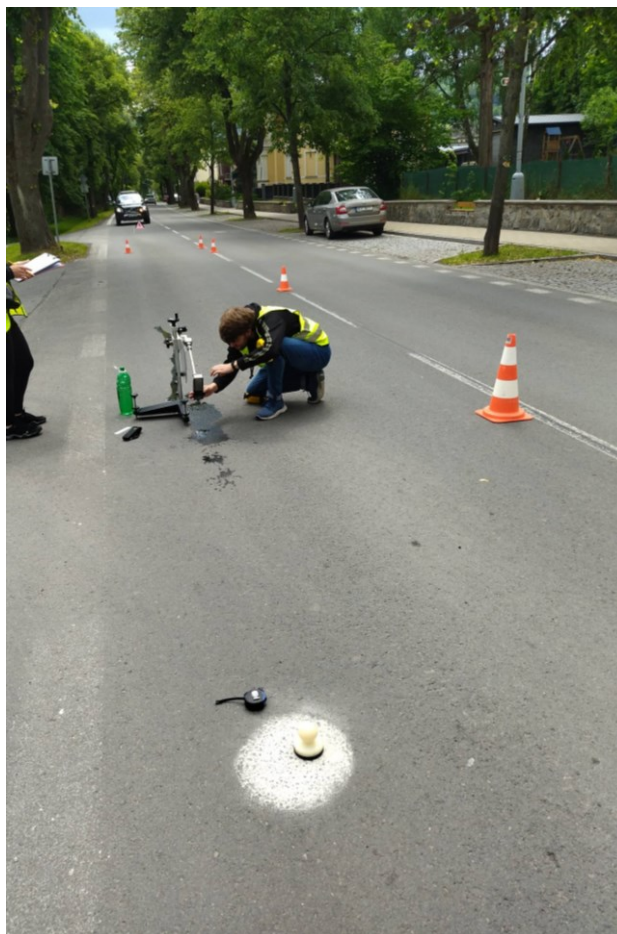
Úsek se nachází v horské oblasti, charakteristická hodnota indexu mrazu  $I_m$  je 500–600 °C den.

Na každém úseku je provedena jiná technologie pokládky obrusné vrstvy. Záměrem je zjistit, která obrusná vrstva bude mít nejlepší protismykové vlastnosti.

Od roku 2019 na této komunikaci došlo k sedmi nehodám. Pět nehod se obešlo bez zranění, dvě zbylé nehody byly s lehkým zraněním. Jedna z nich byla způsobena cyklistou v podnapilém stavu, druhá se stala na přechodě pro chodce, kdy dítě vběhlo řidiči do vozovky. [26].

Protismykové vlastnosti se budou měřit pomocí dvou metod: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou dle ČSN EN 13036-01 [27] a Metodou pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem dle ČSN EN 13036-4 [28], která nám udává mikrotexturu povrchu vozovky. Tyto zkoušky budou vyhodnoceny dle Technických podmínek 87 – Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. Dále byl proveden záznam

poruch Měření bylo prováděno od roku 2019, až do roku 2022. Vlastní měření proběhlo 14.6.2022. Během měření došlo k fotodokumentaci, která je uvedena v příloze 5.



Obrázek 16 – monitoring povrchu vozovky – měření PTV a MTD

Monitoring povrchu vozovky je prováděn v obou pružích ve směru jízdy ve vnější jízdni stopě – 0,75 m od konce zpevněné vozovky. Byly vybrány kritická místa – před přechodem pro chodce, ve směrových obloucích a před sjezdy z komunikace.

### 6.1. Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou

Měření bylo provedeno podle platné normy ČSN EN 13036-1 [27]. Vlastní měření bylo provedeno dne 14.06.2022. Na každém úseku byly provedeny čtyři měření. Klimatické podmínky byly příznivé pro vykonání správného výsledku měření. Počasí bylo jasné, teplota se pohybovala okolo 16-20 °C. Povětrnostní podmínky byly příznivé, tudíž nebyla použita zástěna proti větru. Výsledky vlastního měření jsou uvedeny v příloze č. 1.

**Pomůcky:** skleněné kuličky, válcový plastový kontejner s objemem minimálně 25 ml, stěrka k rozprostírání, drátěný kartáč, štětinový kartáč, svinovací metr, váha, tužka, protokoly

**Příprava na měření:** v laboratořích Vysoké školy Baňské – Technické univerzity Ostrava, Fakulty stavební bylo připraveno dvanáct vzorků skleněných kuliček v množství objemu 25 ml, pro rychlejší měření v terénu.

**Měření v terénu:** povrch asfaltové vozovky je odstraněn od nečistot a zbylých uvolněných zrn kameniva pomocí drátěného a následně štětinového kartáče. Poté se na očištěný povrch rovnoměrně rozprostře homogenní materiál (skleněné kuličky) ve stanoveném objemu 25 000 (25 ml)  $\pm$  150 mm<sup>2</sup>. Prostřednictvím stěrky rozprostřeme skleněné kuličky do tvaru kruhového průřezu, dokud není povrch zcela zaplněn do roviny s vrcholky kameniva. Změří se čtyři hodnoty průměru kruhové plochy vyplněné materiálem použitím svinovacího metru. Dané hodnoty průměru se zapíší do protokolu s přesností na milimetry. Výsledkem této zkoušky je střední hloubka makrotextury, kterou spočítáme pomocí rovnice (1).

Střední hloubka makrotextury povrchu vozovky MTD, se vypočítá podle rovnice (1) [27]:

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1)$$

Kde MTD – střední hloubka makrotextury (mm);

V – objem materiálu (tj. vnitřní objem válce) (mm<sup>3</sup>);

D – aritmetický průměr

Zkouška se vyhodnotí dle TP 87, kde zjistíme klasifikační stupeň měřeného místa (tabulka 4). Klasifikační stupně nám udávají bezpečnost a komfort silničního provozu. [24] [27]



Obrázek 17- Měření odměrnou metodou

## 6.2. Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem

Měření bylo provedeno podle platné normy ČSN EN 13036-4 [28]. Vlastní měření bylo provedeno dne 14.06.2022. Na každém úseku byly provedeny dvě měření. Klimatické podmínky byly příznivé pro vykonání správného výsledku měření. Počasí bylo jasné, teplota se pohybovala okolo 16-20 °C. Výsledky vlastního měření jsou uvedeny v příloze č.2.

**Pomůcky:** kyvadlo TRRL, třecí patka (typ 48 – PV0190/2), měřítko délky prokluzu, radiační teploměr, štětinový kartáč, PET láhev s vodou, tužka, protokoly

**Měření v terénu:** kyvadlo TRRL se postaví nad měřený povrch, tak aby kývalo ve směru jízdy vozidel. Stojan se ustanoví do vodorovné roviny pomocí tří stavěcích šroubů, tak aby bublina byla ve středu libely. Rameno kyvadla se ověří prokmitem naprázdno. Ručička kyvadla se musí na jednotkové stupnici zastavit na hodnotě 0, když této hodnoty nedosáhne nebo jí



přesáhne, tak se pomocí třecího kroužku upraví, dokud se prokmit nerovná 0. Povrch vozovky se očistí ručním kartáčem. Výška ramene kyvadla se nastaví prostřednictvím fixačního šroubu tak, aby délka prokluzu třecí patky odpovídala  $126 \pm 1$  mm, k tomu se použije měřítko délky prokluzu. Povrch vozovky se navlhčí společně s třecí patkou kyvadla. Teplota mokrého povrchu a třecí patky se měří radiačním teploměrem a zaznamenává s přesností na celý stupeň. Rameno kyvadla se uvolní z vodorovné polohy a zachytí se v počáteční fázi zpětného kyvu. Odečte se hodnota z jednotkové stupnice na nejbližší celé číslo. Tento postup se opakuje pětkrát. Jestliže se prvních pět hodnot liší více než o tři jednotky, postup se opakuje, dokud nejsou tři po sobě následující čtení stejné. Zkontroluje se vodorovná poloha kyvadla a provede se znovu kontrola ramena kyvadla prokmitem. Pro každou zkoušku se měří na třech místech vzdálených od sebe maximálně 400 mm, aby bylo možné získat průměrnou hodnotu měřeného místa. Výsledkem je hodnota PTV, která je opravena o naměřenou teplotu navlhčeného povrchu dle tabulky č.6.

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.

Tabulka 6- oprava hodnoty PTV naměřené při jiné teplotě navlhčeného povrchu než 20 °C [28]

Zkouška se vyhodnotí dle TP 87, kde zjistíme klasifikační stupeň měřeného místa (tabulka č.4). Klasifikační stupně nám udávají bezpečnost a komfort silničního provozu. [24]

Hodnota PTV se vypočítá jako průměr pěti kyvů podle rovnice (2) [28]:

$$PTV = \frac{\Sigma(v_1+v_2+v_3+v_4+v_5)}{5} \quad (2) \quad [28]$$

Kde PTV – hodnota tření zjištěná kyvadlem [-]

$v_1$  až  $v_5$  – jednotlivé hodnoty každého kyvu [-]



Obrázek 18- měření PTV – zkouška kyvadlem

### 6.3. Záznam poruch

Na všech úsecích došlo k vizuální prohlídce a zjištění stavu poruch vozovky. Prozkoumává se počet, druh povrchových poruch a rozsah poruch vedoucí ke ztrátě protismykových vlastností a rovinatosti. Zápis je proveden na všech úsecích po deseti metrech. Poruchy se dále zařídí dle TP 82 [22].

Vizuální prohlídka byla provedena ve dnech 6.11.2019, 29.06.2020, 27.05.2021 a 14.06.2022. Vizuální prohlídka byla proveden za příznivých povětrnostních podmínek. Sběr poruch byl proveden na celé šířce jízdních pruhů v obou směrech. Formuláře vlastního měření jsou uvedeny v příloze č.3. Záznam poruch proveden VŠB TUO – Fakultou stavební v roce 2021, kdy došlo k jediným poruchám na úsecích je uveden v příloze č.4.

#### 6.4. Nanomateriály testovány v rámci diplomové práce

Asfaltová stavební kompozice použitého pro úseky B a C je popsána v užitém vzoru CZ 31127 U1. V asfaltové směsi jsou obsažena amorfnní částice oxidu křemičitého  $\text{SiO}_2$  v množství 6 % hmotnosti asfaltové směsi. Amorfnní částice oxidu křemičitého jsou ve formě nanosilikátu o velikosti 1 nm až 1  $\mu\text{m}$ . Oxid křemičitý je hojná sloučenina po celé zemi, která se z velké části využívá v průmyslových odvětvích k výrobě silikagelů, koloidního oxidu křemičitého, snědého oxidu křemičitého. Nanosiliky jsou zajímavé částice, protože se aplikují v nově vznikajících oblastech, jako je medicína a dodávka léků. Amorfnní nanosilika je kvalifikována jako nanobiopesticidy. Nanočástice oxidu křemičitého se v průmyslu používají k vyztužení elastomerů. Výhoda těchto nanomateriálů spočívá v nízkých výrobních nákladech a ve vysoce kvalitních vlastnostech. [32]

Navržená asfaltová kompozice je vhodná pro stavbu a opravy komunikací. Lze je využít na stavbu a opravy vozovek, dálnic, chodníků, parkovacích ploch, závodních drah apod. Přidání nanosilikátu zlepší fyzikální parametry vozovky. Navržená asfaltová směs má nižší viskozitu v tekutém stavu (snadná zpracovatelnost), delší životnost, vysokou odolnost vůči povětrnostním a mechanickým vlivům a odolnost proti agresivnímu prostředí (odolnost proti solím). Povrchy vozovek při použití nepraskají a neodlupují se, jsou odolné proti vysokému dopravnímu zatížení. Mezi další výhody patří druhotné využití průmyslového odpadu, jako jsou amorfnní částice oxidu křemičitého vznikající při výrobě karbosilicia. [32]

## 7. Vyhodnocení úseku A

Jedná se o první měřený úsek, který je ve staničení od 0,000 – 0,700 km. Silnice se nachází v intravilánu. Úsek se nachází v centru města, maximální rychlost na komunikaci je 50 km/h. Na tomto úseku je položena obrusná vrstva ACO 11+ 50/70, s příměsí 6 % nanosilikátu – asfaltový beton pro obrusné vrstvy s velikostí maximálního zrna 11 mm s použitým pojivem, které dosahuje konzistence 50/70 (zkouška penetrace jehlou) s příměsí 6 % nanosilikátů ve tloušťce vrstvy 50 mm navrženo dle ČSN EN 13108-1. Úsek byl realizován až v roce 2020, proto nejsou uvedeny výsledky měření z roku 2019.

Na úseku A již proběhly tři měření 29.06.2020, 27.05.2021 a 14.06.2022. Níže jsou uvedeny tabulky, kde jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty těchto měření. Zároveň jsou vyhodnoceny podle TP 87.

Popis měřených míst:

- LjP; 0,205 – levý jízdní pruh ve staničení 0,205 km, před přechodem pro chodce
- PjP; 0,378 – pravý jízdní pruh ve staničení 0,378 km, cca 30 m (předpokládaná brzdná dráha) před sjezdem na vedlejší komunikaci
- LjP; 0,486 – levý jízdní pruh ve staničení 0,486 km, před přechodem pro chodce
- PjP; 0,668 – pravý jízdní pruh ve staničení 0,668 km, v místě začátku směrového oblouku

### 7.1. Vyhodnocení MTD úseku A

Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	měření: 30.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 2-4 [mm]
		Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]			
ACO 11+ 50/70 + 6%NS	LjP; 0,205	0,32	0,38	0,29	0,32	0,36	0,43	-0,06	0,11	0,05
	PjP; 0,378	0,37		0,34		0,39				
	LjP; 0,486	0,41		0,35		0,48				
	PjP; 0,668	0,42		0,31		0,49				

Klasifikační stupně dle TP 87

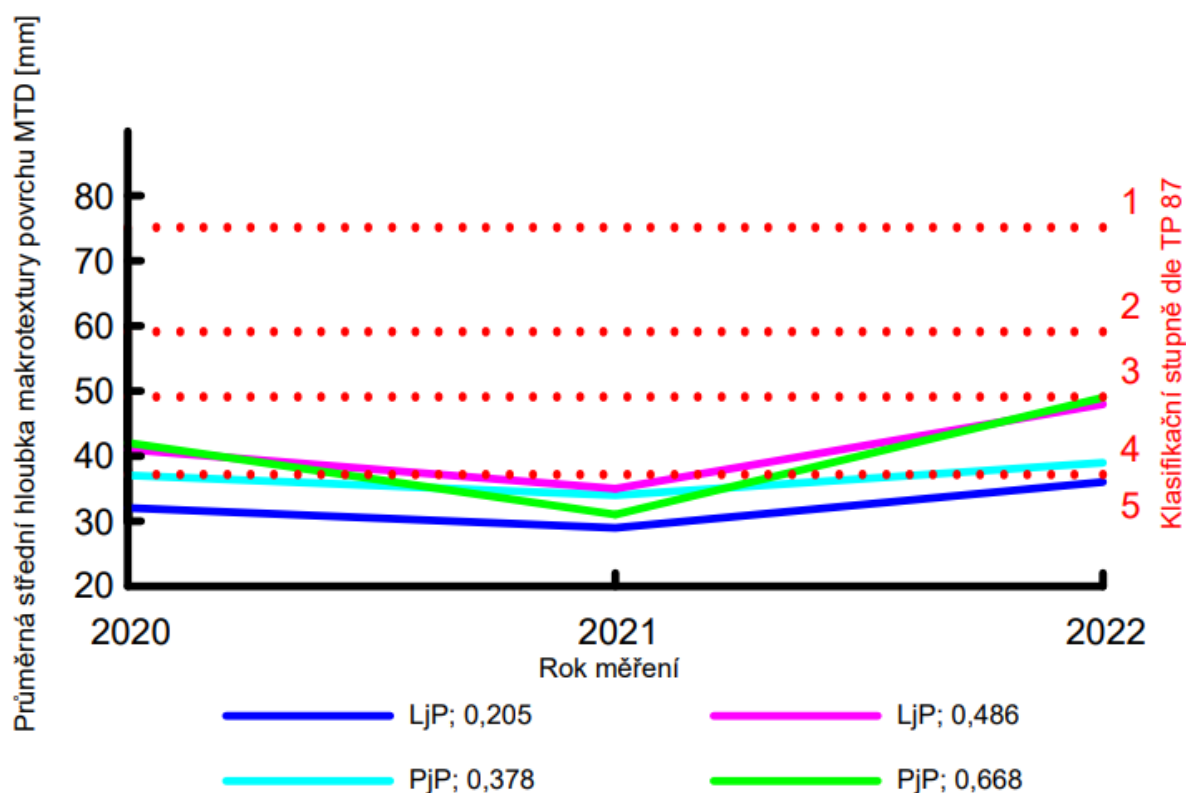
3 (0,59-0,5)
4 (0,49-0,38)
5 (<=0,37)

Tabulka 7- výsledky MTD úseku A

Z tabulky 7 můžeme vidět, že hodnota MTD na úseku A poklesla během prvního roku o 0,06 mm. Je to způsobeno dopravou na vozovce – úsek se nachází v centru města, kde převažuje pomalá doprava a dochází k brždění. Příčina poklesu hodnot střední hloubky makrotextury je způsobena snížením mezerovitosti obrusné vrstvy, která je vyvolána dohnutím konstrukční vrstvy od pohybu nákladních vozidel, což souvisí s výběrem exponovaných míst, kdy měření byla provedena ve vnějších jízdních stopách vozidel. Ovšem v roce 2022 můžeme vidět zpětný nárůst hodnoty makrotextury o 0,11 mm.

Můžeme konstatovat, že došlo za ten rok k dohnutím konstrukční vrstvy. Příčinou zvětšení střední hloubky je pojíždění a brždění vozidel, kdy se odlupují zrna kameniva od povrch vozovky. Další příčinou může být chyba v měření v roce 2021 mohl být povrch vozovky více zanesen nečistotami. Úsek A se nachází ve čtvrtém klasifikačním stupni, tudíž by se mělo uvažovat o zlepšení makrotextury na tomhle úseku.

Níže můžeme vidět vývoj makrotextury v grafu č.2. v dalších letech je očekáváno zvýšení střední hloubky makrotextury. Můžeme si všimnout, že se makrotextura chová na všech místech přibližně stejně.



Graf 2 – vývoj měření makrotextury úseku A



Obrázek 19- měření MTD ve staničení 0,489

## 7.2. Vyhodnocení PTV úseku A

Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	měření: 30.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 2-4 [mm]
		Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV (průměrná hodnota)	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV			
ACO 11+, 50/70 + 6% NS	PjP; 0,376	50	50	70	69	71	73	19	4	23
		51		64		74				
		50		72		74				
	LjP; 0,205	49	51	69	69	68	70	18	1	19
		52		70		72				
		52		68		69				

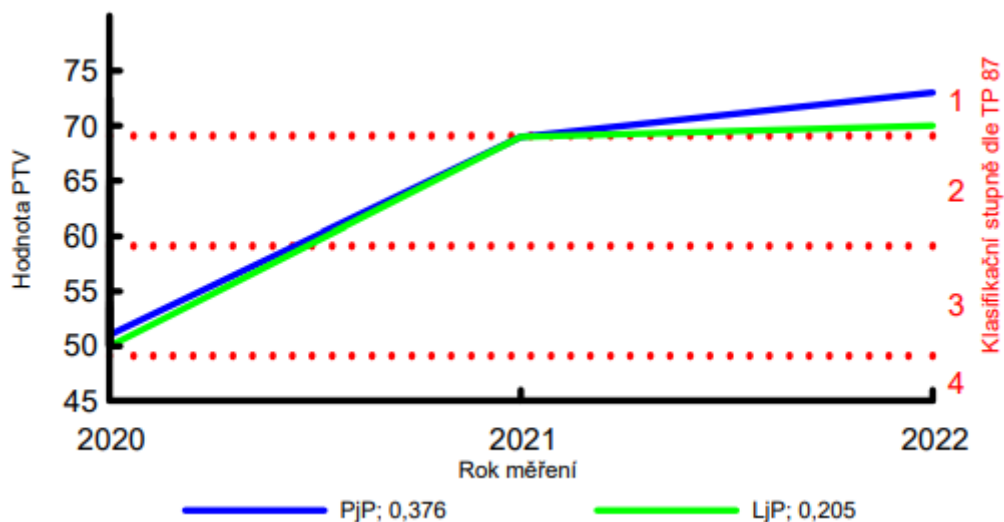
Klasifikační stupně dle TP 87

1 ( $\geq 0,70$ )
2 (0,69-0,60)
3 (0,59-0,50)
4 (0,49-0,40)
5 ( $\leq 0,39$ )

Tabulka 8 – výsledky PTV úseku A

Z tabulky 8 můžeme vidět že hodnota PTV se na úseku A každoročně navyšuje. Je to způsobeno dopravou na vozovce, která obrušuje zrna kameniva a zbavuje ho nečistot – zlepšení

mikrotextury vozovky. Zatímco měření v roce 2020 nám udává klasifikační stupeň 3 po dalším měření v roce 2021 a 2022 se zvýšila hodnota PTV a dosahuje klasifikačního stupně 1 ( $PTV > 70$ ), což je znázorněno v grafu č. 3. Během čtvrtého měření došlo k menšímu nárůstu, tudíž můžeme předpokládat, že v dalších letech by se neměla výrazně měnit. Mikrotextura úseku A je nyní zcela vyhovující pro bezpečný provoz.



Graf 3 - vývoj mikrotextury na úseku A



Obrázek 20 - měření PTV ve staničení 0,376

### 7.3. Vizuální prohlídka úseku A

Na úseku A byla provedena vizuální prohlídka zájmové komunikace. Na úseku se objevily poruchy pouze v roce 2021. Na úseku se nachází celkem tři poruchy, které byly zatříděny dle TP 82 [22]. Zápis poruch je uveden ve formulářích v příloze 4.

První poruchu (obr.21) klasifikujeme do skupiny – Ztráta hmoty, kdy ve staničení 0,697 – 0,6995 km v pravém jízdním pruhu dochází ke ztrátě asfaltového tmelu. Číslo katalogového listu z technických podmínek 82 je 06. Celková porušená plocha je 0,6 m<sup>2</sup> (0,013 %).



*Obrázek 21- první porucha úseku A*

Další dvě poruchy na tomto úseku klasifikujeme do skupiny – Trhliny, a to úzká podélná trhlina v pracovní spáře a úzká příčná trhlina v pracovní spáře. Číslo katalogových listu těchto poruch je 11 a 12. Poruchy se nachází ve staničení 0,6998-0,700 km (podélná) a 0,700 km (příčná) v levém jízdním pruhu.





*Obrázek 22- porucha 11, úzká podélná trhлина v pracovní spáře na úseku A*



*Obrázek 23 - porucha 12 úzká příčná trhлина v pracovní spáře na úseku A*

Porušená plocha se pohybuje okolo 0,01 %. Všechny tři poruchy se vyskytují v přechodových místech úseku A s úsekem B, lze tedy říci, že uvedené poruchy se nevyskytly s použitými technologiemi na jednotlivých úsecích.

## 8. Vyhodnocení úseku B

Jedná se o druhý měřený úsek, který je ve staničení od 0,700 – 1,400 km. Silnice se nachází v intravilánu. Na tomto úseku je položena obrusná vrstva ACO 11 S PmB 45/80-55, s příměsí 6 % nanosilikátu – asfaltový beton pro obrusné vrstvy s velikostí maximálního zrna 11 mm s modifikovaným pojivem Astech, které dosahuje konzistence 45/80-55 (zkouška penetrace jehlou – bod měknutí) s příměsí 6 % nanosilikátů ve tloušťce vrstvy 50 mm navrženo dle ČSN EN 13108-1. Jako přísada do pojiva byl použit Wetfix BE v 0,2 % z hmotnosti asfaltu.

Astech Colflex je pojivo do horkých asfaltových směsí. Je charakteristický především vysokou pružností a širokým rozsahem plasticity. Používá se v oblasti s extrémními klimatickými podmínkami nebo vysokým zatížením provozem na dané komunikaci. Další výhodou je dobrá odolnost proti vzniku únavových a mrazových trhlin. [29]

Wetfix BE je tekutá přísada určená pro za tepla míchaný asfalt, která podporuje přilnavost asfaltové směsi. Mezi její výhody patří nízká těkavost při vysokých teplotách asfaltové směsi, nižší viskozitu a snadné použití. [30]

Na úseku B již proběhly čtyři měření, a to ve dnech 6.11.2019, 29.06.2020, 27.05.2021 a 14.06.2022. Níže jsou uvedeny tabulky, kde jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty těchto měření. Dále jsou vyhodnoceny podle TP 87.

Popis měřených míst:

- PjP; 0,810 – pravý jízdní pruh ve staničení 0,810 km, v místě začátku směrového oblouku, kde předpovídáme brždění vozidel
- LjP; 0,867 – levý jízdní pruh ve staničení 0,867 km, v místě začátku směrového oblouku, kde předpovídáme brždění vozidel
- LjP; 1,135 – levý jízdní pruh ve staničení 1,135 km, před přechodem pro chodce
- PjP; 1,324 – pravý jízdní pruh ve staničení 1,324 km, přibližně 40 m před křižovatkou s vedlejší komunikací

## 8.1. Vyhodnocení MTD úseku B

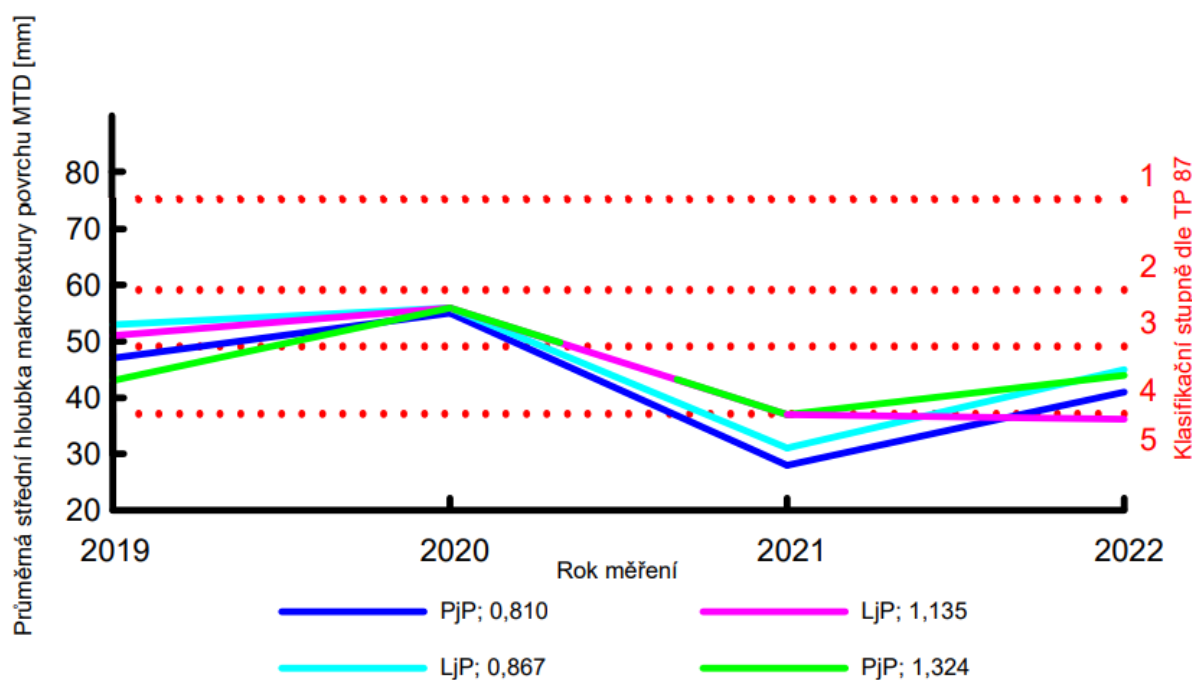
Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	měření: 6.11.2019		měření: 30.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 [mm]
		Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]				
ACO 115 Pmb 45/80-55 + 6%MS	PjP; 0,810	0,47	0,49	0,55	0,56	0,28	0,33	0,41	0,42	0,07	-0,23	0,09	-0,07
	LjP; 0,867	0,53		0,56		0,31		0,45					
	LjP; 1,135	0,51		0,56		0,37		0,36					
	PjP; 1,324	0,43		0,56		0,37		0,44					

Klasifikační stupně dle TP 87

3 (0,59-0,5)
4 (0,49-0,38)
5 (<=0,37)

Tabulka 9- výsledky MTD úsek B

Během prvního uplynulého půl roku došlo podle očekávání ke zlepšení makrostruktury a v dalších letech se očekávalo to stejné. Jenomže v roce 2021 došlo k vysokému zhoršení o -0,23 mm, to je způsobené snížením mezerovitosti obrusné vrstvy, která je vyvolána dohutněním od pohybu těžkých nákladních vozidel. V roce 2022 nám vykazuje hodnota MTD mírný nárůst o 0,09 mm. Úsek patří do klasifikačního stupně 4. Z grafu 4 nám vyplývá, že se makrotextura chová na všem měřených místech podobně.



Graf 4- vývoj měření makrotextury úseku B



Obrázek 24- měření MTD ve staničení 0,489

## 8.2. Vyhodnocení PTV úseku B

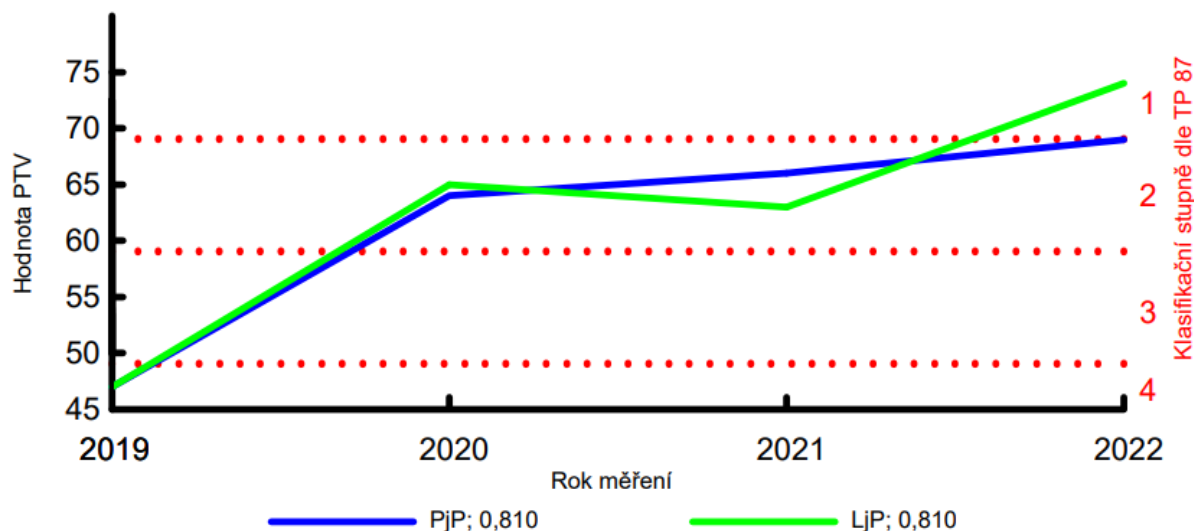
Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	měření: 6.11.2019		měření: 29.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 [mm]
		Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV (průměrná hodnota)	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV (průměrná hodnota)	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV				
ACO 11S PmB + 6% NS	PJP; 0,810	47	47	66	64	63	66	69	69	17	2	3	22
		46		63		67		73					
		48		62		67		65					
	LJP; 0,810	47	47	67	65	61	63	74	74	18	-2	11	27
		46		63		64		71					
		47		65		63		76					

Klasifikační stupně dle TP 87

1 (>=0,70)
2 (0,69-0,60)
3 (0,59-0,50)
4 (0,49-0,40)
5 (<=0,39)

Tabulka 10- výsledky PTV úsek B

Z výsledků můžeme konstatovat, že se na povrchu vozovky zlepšuje mikrotextura. Největší nárůst hodnoty PTV je zaznamenán po prvním roce, kdy se hodnota zvýší z klasifikačního stupně 4 na klasifikační stupeň 2. Zajímavostí je hodnota PTV na levém jízdním pruhu ve třetím měření klesla o hodnotu -2 a v následujícím roce se zvýšila o hodnotu 11. Nyní dosahuje klasifikačního stupně 1, komunikace je zcela bezpečná z hlediska mikrotextury povrchu vozovky.



Graf 5- vývoj mikrotextury úseku B

### 8.3. Vizuální prohlídka úseku B

Na úseku B byla provedena vizuální prohlídka zájmové komunikace. Na úseku se objevily poruchy pouze v roce 2021, tak jako u úseku A. Na úseku se nachází celkem dvě poruchy, které byly zaříděny dle TP 82 [22]. Zápis poruch je uveden ve formulářích v příloze 5.

První poruchu (obr.25) na tomto úseku klasifikujeme jako – Ztrátu hmoty, přesněji kaverna v povrchu vozovky, která je způsobena cizím tělesem v asfaltové směsi. Nachází se ve staničení 0,8 km v pravém jízdním pruhu. Jedná se o poruchu ve tvaru jamky. Jedná se o katalogový list 03.



Obrázek 25- porucha 03, kaverna na úseku B

Druhá a poslední porucha (obr.26), která se na úseku B vyskytuje je stejně jako u úseku A – Trhlina konkrétně úzká příčná trhlina v pracovní spáře. Nachází se ve staničení 1,386 km, na konci úseku B. Porucha se nachází v katalogovém listu 12. Velikost porušené plochy je 0,006 %.



*Obrázek 26- úzká příčná trhlina v pracovní spáře úseku B*

Stejně jako na úseku A se porucha vyskytuje v přechodovém místě, tudíž tato porucha nemá vliv na technologii pokládky asfaltové směsi.

## 9. Vyhodnocení úseku C

Jedná se o třetí měřený úsek, který ve staničení od 1,400 – 2,100 km. Silnice se nachází v extravilánu. Na tomto úseku je položena obrusná vrstva ACO 11 + 50/70 – asfaltový beton pro obrusné vrstvy s velikostí maximálního zrna 11 mm s pojivem, které dosahuje konzistence 50/70 (zkouška penetrace jehlou) ve tloušťce vrstvy 50 mm navrženo dle ČSN EN 13108-1.

Na posledním úseku C již proběhly čtyři měření, a to ve dnech 6.11.2019, 29.06.2020, 27.05.2021 a 14.06.2022. Níže jsou uvedeny tabulky, kde jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty měření mikrotextury a makrotextury. Poté jsou vyhodnoceny do klasifikačních stupňů podle TP 87.

Popis měřených míst:

- PjP; 1,471 – pravý jízdní pruh ve staničení 1,471 km, uprostřed směrového oblouku, kde dochází k brždění vozidel
- LjP; 1,836 – levý jízdní pruh ve staničení 1,836 km, v místě začátku směrového oblouku, kde předpovídáme brždění vozidel
- PjP; 1,913 – pravý jízdní pruh ve staničení 1,913 km, v místě začátku směrového oblouku, kde předpovídáme brždění vozidel
- LjP; 2,036 – pravý jízdní pruh ve staničení 2,036 km, konec úseku v přímé mezi dvěma směrovými oblouky

### 9.1. Vyhodnocení MTD úseku C

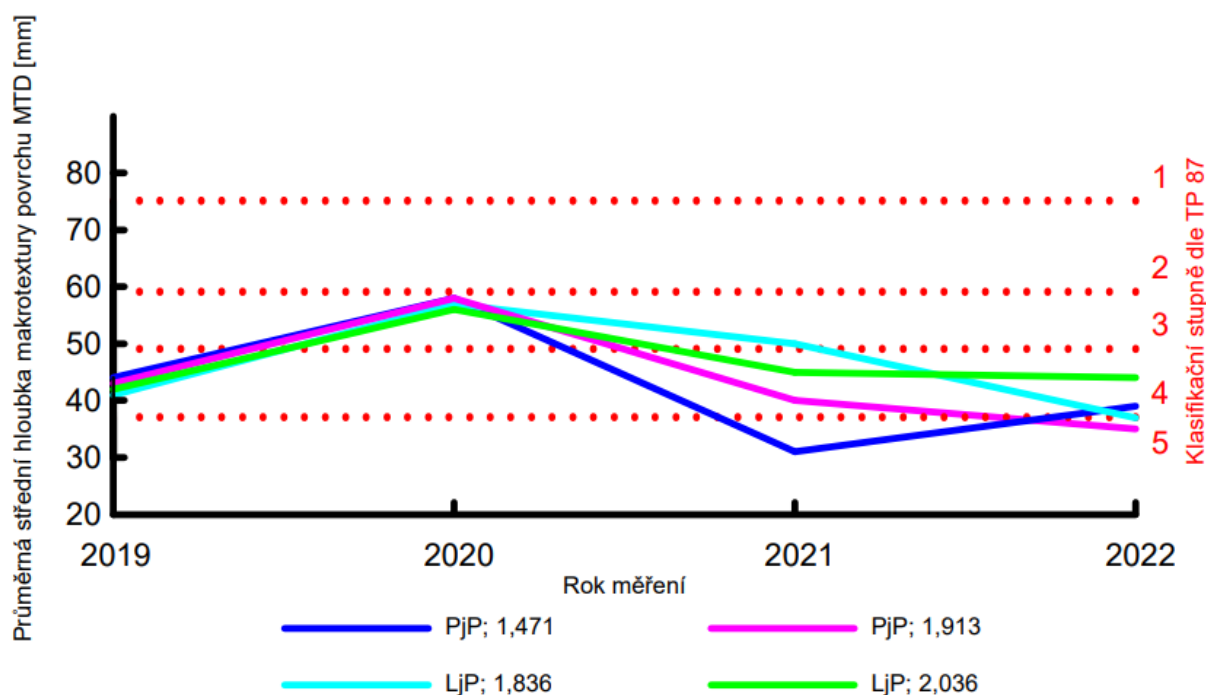
Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	měření: 6.11.2019		měření: 30.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 [mm]
		Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]	Průměrná střední hloubka makrotextury povrchu MTD [mm]				
ACO 11 + 50/70	PjP; 1,471	0,44	0,43	0,58	0,57	0,31	0,42	0,39	0,39	0,14	-0,15	-0,03	-0,04
	LjP; 1,836	0,41		0,57		0,5		0,37					
	PjP; 1,913	0,43		0,58		0,4		0,35					
	LjP; 2,036	0,42		0,56		0,45		0,44					

Klasifikační stupně dle TP 87

3 (0,59-0,5)
4 (0,49-0,38)
5 (<=0,37)

Tabulka 11 - výsledky MTD úsek C

Na posledním úseku můžeme vidět, že dochází ke stejným výsledkům jako na prvním a druhém úseku. Během prvního roku se střední hloubka makrotextury zvyšuje a dosahuje klasifikačního stupně 3, jenomže v následujících letech se makrotextura horší. Příčinou je ztuhnutí asfaltové směsi po jížděním a bržděním vozidel. V posledním roce je hodnota MTD nejmenší a patří do klasifikačního stupně 4. V grafu 6 můžeme vidět, že makrotextura v posledním roce nejvíce klesla ve staničení 1,836 km a 1,913 km. Tyto měřená místa se nachází před směrovým obloukem, kde dochází vždy k brždění vozidel na rozdíl od ostatních měřených míst.



Graf 6- vývoj makrotextury na úseku C



## 9.2. Vyhodnocení PTV úseku C

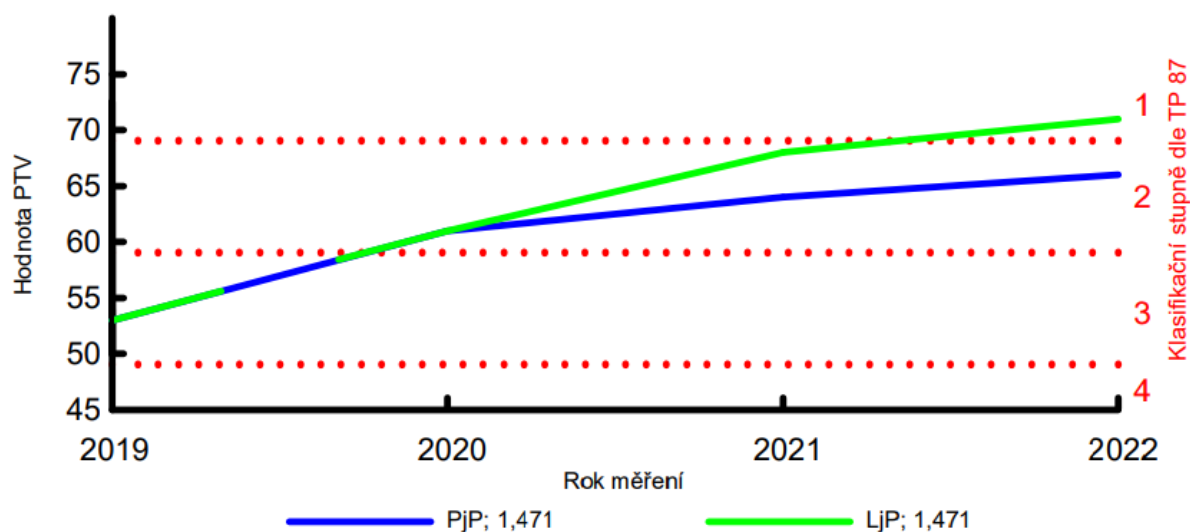
Povrch úseku	Měřené místo, staničení [km]	Označení v situaci	měření: 6.11.2019		měření: 29.6.2020		měření: 27.5.2021		měření: 14.6.2022		rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 [mm]				
			Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV (průměrná hodnota)	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV (průměrná hodnota)	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV	Hodnota PTV (tři vzdálené místa do 0,4 m)	Hodnota PTV								
ACO 11+ 50/70	PjP; 1,471	P15	52	53	60	61	65	64	64	66	8	3	2	13				
			56		62		63		66									
			50		61		64		67									
	LjP; 1,471	P16	53	53	62	61	68	68	69	71					8	7	3	18
			52		60		69		74									
			53		61		68		69									

Klasifikační stupně dle TP 87

1 (>=0,70)
2 (0,69-0,60)
3 (0,59-0,50)
4 (0,49-0,40)
5 (<=0,39)

Tabulka 12 - výsledky PTV úsek C

U mikrotextury naopak oproti makrotextuře došlo každým rokem ke zlepšení hodnoty PTV. Nejvíce došlo ke změně během prvního roku o celkovou hodnotu 8. Vzhledem k navýšení v každém roce úsek vykazuje velmi dobrou mikrotexturu a spadá do klasifikačního stupně 1-2. V dalších letech předpokládáme u obou měřených míst hodnotu PTV nad 70, tudíž úsek budeme klasifikovat do stupně 1. V grafu č.7 vidíme téměř konstantní navýšení hodnot PTV.



Graf 7- vývoj mikrotextury na úseku C



Obrázek 27 - měření PTV ve staničení 1,471

### 9.3. Vizualní prohlídka úseku C

Na posledním úseku došlo k jedné poruše při vizualní prohlídce v roce 2021. tak jako u předchozích úseku. Poruchy byly zatříděny dle TP 82 [22]. Zápis poruch je uveden ve formulářích v příloze 5.

Poruchu řadíme do skupiny – Deformací. Jedná se o poruchu z katalogového listu 22 – Místní hrbol. Rozsah porušené poruchy je 0,002 %.



*Obrázek 28- porucha 22, místní hrbol na úseku C*

Porucha 22, místní hrbol vznikla v důsledku výstavby cyklostezky podél zájmové komunikace. Můžeme tedy vyloučit, že se uvedená porucha vyskytla v souvislosti použití dané obrusné vrstvy.

## 10. Vyhodnocení všech úseků

Na základě všech měření od roku 2019 do roku 2022 je vytvořeno vyhodnocení všech úseků. V praktické části diplomové práce byl proveden monitoring povrchu vozovky. Mezi zkoumané parametry patří mikrotextura, makrotextura a záznam poruch na pozemní komunikaci. Pozemní komunikace se nachází v Moravskoslezském kraji, je rozdělena na tři úseky po 700 m. Na každém úseku je použita jiná technologie pokládky obrusné směsi, liší se použitým pojivem v obrusné vrstvě. Na prvním úseku A je položen asfaltový beton ACO 11+ 50/70 + 6 % nanosilikátu. U druhého úseku B je použita technologie modifikovaného asfaltového betonu ACO 11 S PmB 45/80–55 + 6 % nanosilikátu. Obrusná vrstva posledního úseku je asfaltový beton ACO 11+ 50/70.

## 10.1. Vyhodnocení MTD

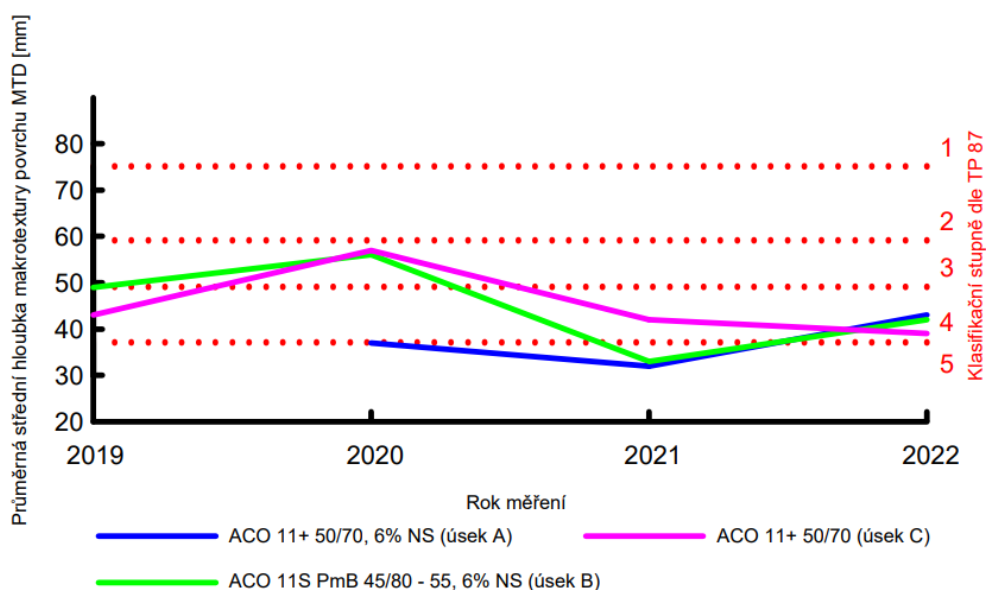
Měření makrotextury je řešeno odměrnou metodou, jejíž postup je popsán v kapitole 6.1. Na základě měření byla vypočítána střední hloubka makrotextury MTD a vyhodnocení je provedeno dle TP 87. Níže můžeme vidět tabulku 13 výsledků všech měřených úseků společně s grafem č.8, který nám ukazuje vývoj makrotextury.

Datum měření	2019	2020	2021	2022	rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 (2-4) [mm]
Povrch úseku	MTD	MTD	MTD	MTD				
ACO 11+ 50/70, 6% NS (úsek A)	-	0,38	0,32	0,43	-	-0,06	0,11	0,05
ACO 11 S PmB 45/80 - 55, 6% NS (úsek B)	0,49	0,56	0,33	0,42	0,07	-0,23	0,09	-0,07
ACO 11+ 50/70 (úsek C)	0,43	0,57	0,42	0,39	0,14	-0,15	-0,03	-0,04

Klasifikační stupeň dle TP 87

3 (0,59-0,5)
4 (0,49-0,38)
5 (<=0,37)

Tabulka 13- vyhodnocení makrotextury povrchu (MTD) všech úseků



Graf 8- vývoj makrotextury povrchu (MTD) všech úseků

Hodnoty MTD nám vykazují přibližně stejný průběh. Na úseku B a C během prvního roku dochází k nárůstu a dosahuje klasifikačního stupně 3, ovšem v roce 2021 došlo k výraznému poklesu. Tento pokles je způsoben dohutněním vrstvy od pohybu těžkých nákladních vozidel, tím dochází snížení mezerovitosti obrusné vrstvy. Na úseku A nastává k poklesu hodnot, již během prvního roku. Úsek A se nachází v centru města, tím pádem můžeme konstatovat, že k dohutnění vrstvy došlo dříve než u ostatních úseků. V roce 2022 klasifikujeme průměrnou střední hloubku makrotextury do klasifikačního stupně 4 na všech třech úsecích. Nejvyšší průměrnou hodnotu MTD během všech měření má úsek B a C - 0,45 mm.

## 10.2. Vyhodnocení PTV

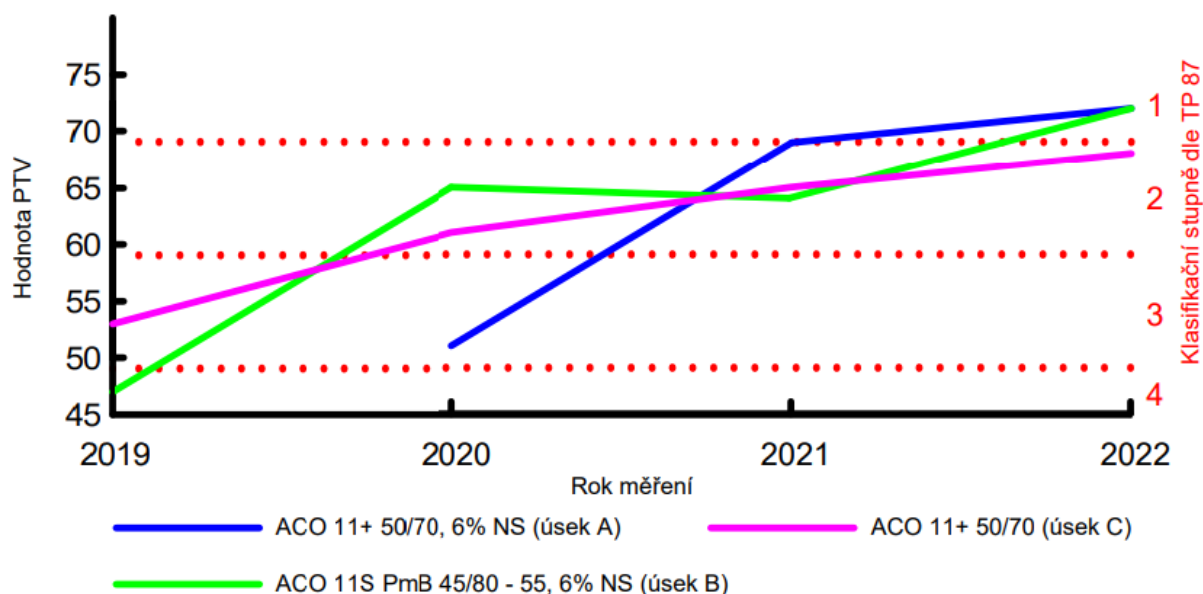
Měření mikrotextury bylo provedeno pomocí zkoušky kyvadlem TRRL. Postup metody najdeme v kapitole 6.2. Na základě měření byla vypočítána hodnota PTV a vyhodnocení je provedeno dle TP 87. Z tabulky 14 lze vyčíst výsledky všech měřených úseků společně s grafem, který nám ukazuje vývoj mikrotextury.

Datum měření	2019	2020	2021	2022	rozdíl měření 1-2 [mm]	rozdíl měření 2-3 [mm]	rozdíl měření 3-4 [mm]	rozdíl měření 1-4 (2-4) [mm]
Povrch úseku	PTV	PTV	PTV	PTV				
ACO 11+ 50/70, 6% NS (úsek A)	-	51	69	72	-	18	3	21
ACO 11 S PmB 45/80 - 55, 6% NS (úsek B)	47	65	64	72	18	-1	8	25
ACO 11+ 50/70 (úsek C)	53	61	65	68	8	4	3	15

Klasifikační stupeň dle TP 87

1 ( $\geq 0,70$ )
2 (0,69-0,60)
3 (0,59-0,50)
4 (0,49-0,40)

Tabulka 14- vyhodnocení mikrotextury povrchu (PTV) všech úseků



Graf 9 - vývoj mikrotextury povrchu (PTV) na všech úsecích

Mikrotextura se na všech úsecích výrazně odstupem let zvyšuje. Největší nárůst pozorujeme během prvního roku užívání pozemní komunikace na úseku A a úseku B je tato hodnota navýšena o hodnotu +18. Zvýšení mikrotextury je způsoben pojížděním a brzděním vozidel, kdy tření pneumatik obrušuje zrna kameniva a zbavuje ho nečistot. Na prvních dvou úsecích klasifikujeme hodnotu PTV dle TP 87 do klasifikačního stupně 1. Třetí úsek patří do klasifikačního stupně 2. Všechny úseky jsou zcela pro bezpečný provoz.

### 10.3. Vyhodnocení poruch

Na každém úseku byla provedena vizuální prohlídka se záznamem poruch. Postup je uveden v kapitole 6.3. Na všech úsecích došlo k nalezení pouze pěti poruch v roce 2021, které byly poté klasifikovány dle TP 82. V roce 2022 byly poruchy vyspraveny asfaltovou zálivkou. Na úsecích nebyly zjištěny žádné další poruchy, které by měly vliv na protismykové vlastnosti. Žádná z poruch v roce 2021 nebyla způsobena odlišnou technologií pokládky. Poruchy se vyskytují v přechodových místech úseků. Pouze porucha klasifikována jako místní hrbol je způsobena v důsledku výstavby přilehlé cyklostezky.

## 10.4. Kriteriaální hodnocení

Na základě přehledného vyhodnocení všech úseků je provedeno kriteriaální hodnocení, do níž vstupují parametry protismykových vlastností (mikrotextura, makrotextura). Poruchy, které se na úsecích nacházejí nebyly způsobeny chybou technologií pokládky, proto nejsou zahrnuty v kriteriaálním hodnocení, jelikož by všechny měly stejnou hodnotu. Všechny parametry mají stejnou váhu, jelikož jsou všechny stejně důležité. Nejlepší bodové hodnocení je 1, nejhorší hodnoty získají 3 body. Úsek s nejmenším výsledným číslem je považován jako nejlepší.

Datum měření	2019			2020		
	MTD	PTV	body	MTD	PTV	body
ACO 11+ 50/70, 6% NS (úsek A)	-	-	-	3	3	6
			-			2
ACO 11 S PmB 45/80 - 55, 6% NS (úsek B)	1	2	3	2	1	3
			1			1
ACO 11+ 50/70 (úsek C)	2	1	3	1	2	3
			1			1

Datum měření	2021			2022			Celkem
	MTD	PTV	body	MTD	PTV	body	
ACO 11+ 50/70, 6% NS (úsek A)	3	1	4	1	1	2	4,00
			2			1	
ACO 11 S PmB 45/80 - 55, 6% NS (úsek B)	2	3	5	2	1	3	3,5
			3			1	
ACO 11+ 50/70 (úsek C)	1	2	3	3	2	5	3,5
			1			2	

Tabulka 15 - kriteriaální hodnocení všech úseků

Před měřením bylo předpokládáno, že úsek C vzhledem ke klasickému použití pojiva bez modifikátorů bude dosahovat nejhorších výsledků. Nicméně výsledky za čtyři roky měření nám dokazují, že úsek C je srovnatelný s úsekem B, kde byl použit modifikovaný asfalt s příměsí 6 % nanosilikátu. Úsek A vykazuje nejhorší výsledky, důvodem je, že se nachází v centru města, kde je nejvíce zatížen těžkou pomalou dopravou ze všech třech úseků. Vzhledem k ekonomickému hledisku je nejlepší obrusná vrstva ACO 11+ 50/70 (úsek C),

jelikož dosahuje dobrých výsledků a předpokládáme nižší cenu oproti ostatním obrusným vrstev. Ovšem u úseku A a úseku B předpokládáme vyšší životnost obrusné vrstvy oproti úseku C. Po čtyřech letech, kdy byly provedeny měření, lze konstatovat, že druh asfaltového pojiva ovlivňuje protismykové vlastnosti z hlediska způsobeného dopravního zatížení a životnosti obrusné vrstvy. Všechny testované obrusné vrstvy jsou srovnatelné vzhledem k dopravnímu zatížení a délce užívání komunikace.



## 11. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vypracovat rešerši na téma asfaltových pojiv a monitoring povrchu vozovky na zájmové komunikaci. V teoretické části je seznámení s důležitými vlastnostmi asfaltových pojiv, které získáme pomocí zkoušek penetrací jehlou, stanovení bodu měknutí, stanovení vratné duktility, zhutnitelnost, stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu apod. Je popsán postup těchto zkoušek. Dále jsem se zabýval silničními a modifikovanými asfalty a použití nanomateriálu v silničním stavitelství, které se jeví jako budoucí technologie v tomto oboru. Nanomateriály jsou velmi dobrou příměsí do modifikovaných asfaltů a zlepšují zejména životnost vozovek.

V praktické části byl proveden monitoring povrchu vozovky na zájmové komunikaci v Moravskoslezském kraji. Tato komunikace je rozdělena na tři 700 m dlouhé úseky, kdy obrusná vrstva každého úseku, obsahuje jiný druh asfaltového pojiva. První úsek se nachází v intravilánu a její obrusná vrstva je ACO 11+ 50/70, s příměsí 6 % nanosilikátu. Na druhém úseku je položena obrusná vrstva ACO 11 S PmB 45/80-55, s příměsí 6 % nanosilikátu Na třetím úseku, který se nachází v intravilánu je položena obrusná vrstva ACO 11 + 50/70.

Na těchto úsecích proběhlo měření protismykových vlastností, pomocí dvou metod. Následně proběhlo dílčí vyhodnocení všech úseků vlastního měření z roku 2022 a celkové vyhodnocení všech měření prováděných od roku 2019. Pro měření byla vybrána kritická místa pro nebezpečí vzniku nehod – před přechodem pro chodce, ve směrovém oblouku, před sjezdy z měřené komunikace.

První metoda pro měření makrotextury se nazývá metodou odměrnou. Výsledkem je střední hloubka makrotextury, která je následně na všech úsecích vyhodnocena. Na každém úseku byly provedeny čtyři měření. Hodnoty nám ukazují na všech úsecích přibližně stejný průběh. Během prvního roku dochází k nárustu, ovšem v dalším dochází k výraznému poklesu. To bylo způsobeno dohutněním vrstvy od pohybu těžkých nákladních vozidel, čímž dochází ke snížení mezerovitosti. V roce 2022 patří všechny úseky do klasifikačního stupně 4.

Druhá metoda pro měření mikrotextury povrchu vozovky je zkouška kyvadlem. Na základě měření je vypočítána hodnota PTV. Na každém úseku byly provedeny dvě měření. Od roku 2019 se mikrotextura na všech úsecích zvyšuje a prokazuje větší bezpečnost provozu. Největší nárůst pozorujeme během prvního roku užívání komunikace, na úseku A a úseku B se hodnota

zvýšila o hodnotu +18. Zvýšení mikrotextury je zapříčiněno pojížděním a bržděním vozidel, kdy tření pneumatik obrušuje zrna kameniva a zbavuje ho nečistot. V roce 2022 se první dva úseky nachází v klasifikačním stupni 1, třetí úsek patří do klasifikačního stupně 2. Všechny úseky jsou zcela bezpečné pro provoz.

Dále byla provedena vizuální prohlídka se záznamem poruch. Na všech úsecích došlo k nalezení pouze pěti poruch, a to v roce 2021. Tyto poruchy nebyly způsobeny odlišnou technologií pokládky. Vyskytují se v přechodových oblastech úseků. Poslední úsek měl poruchu klasifikovanou jako místní hrbol, která byla způsobena v důsledku výstavby přilehlé cyklostezky.

Na základě měření bylo vypracováno kritériální hodnocení. Nejhůře dle vyhodnocení všech úseků dopadl úsek A důvodem je, že se nachází v centru města, kde je nejvíce zatížen těžkou pomalou dopravou. Překvapivým výsledkem je úsek C, který je srovnatelný s úsekem B, i když úsek B má podstatně lepší vlastnosti obrusné vrstvy. Když budeme přemýšlet nad neekonomičtější volbou pro obrusnou vrstvu je nejvýhodnější ACO 11 + 50/70. Ovšem u dalších dvou obrusných vrstev ACO 11+ 50/70, s příměsí 6 % nanosilikátu a ACO 11 S PmB 45/80-55, s příměsí 6 % nanosilikátu musíme počítat s dlouhodobou životností. Po čtyřech letech, kdy byly provedeny měření, lze konstatovat, že druh asfaltového pojiva ovlivňuje protismykové vlastnosti z hlediska způsobeného dopravního zatížení a životnosti obrusné vrstvy.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 12597 - *Asfalty a asfaltová pojiva – Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [2] VARAUS, Michal. *POZEMNÍ KOMUNIKACE II: MODUL 3 - ASFALTOVÁ POJIVA*. Brno, 2005. Studijní opory. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.
- [3] HÝZL, Petr a Michal VARAUS. Funkční zkoušky asfaltových směsí. *Stavebnictví 06-07/2007* [online]. 2007(06-07) [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-funkcni-zkousky-asfaltovych-smesi.html>
- [4] *Pozemní komunikace-navrhování a stavba: Asfaltová pojiva*. Ostrava, 2013, 19-35. Skripta. FAST VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [5] ČSN EN 1426 - *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [6] ČSN EN 1427 - *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [7] ČSN EN 12593 - *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [8] ČSN EN 13398 - *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [9] ČSN EN 12697-15 - *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 15: Stanovení citlivosti asfaltových směsí k segregaci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [10] ČSN EN 12607-1 - *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu - Část 1: Metoda RTFOT*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

- [11] ČSN EN 14769 - *Asfalty a asfaltová pojiva - Urychlené dlouhodobé stárnutí v tlakové nádobě (PAV)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [12] BELLIS, Mary. *Historie silnic* [online]. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://cs.eferrit.com/historie-silnic/>
- [13] *PO HLADINĚ JEZERA PITCH LAKE SE MŮŽETE PROJÍT. OPRAVDU. NENÍ V NĚM TOTIŽ VODA, ALE ASFALT* [online]. National Geographic Česko, 2013 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/po-hladine-jezera-pitch-lake-se-muzete-projit-opravdu-neni-v-nem-totiz-voda-ale-asfalt.html>
- [14] Praktické zkušenosti s novými typy vysoce modifikovaných asfaltových pojiv. *SILNICE ŽELEZNICE* [online]. 2018 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/prakticke-zkusenosti-s-novymi-typy-vysoce-modifikovanych-asfaltovych-pojiv/>
- [15] Nové trendy a vlastnosti některých nových typů modifikovaných asfaltů s přídavkem nanosiliky. *SILNICE ŽELEZNICE* [online]. 2018, 3 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-trendy-a-vlastnosti-nekterych-novych-typu-modifikovanych-asfaltu-s-pridavkem-nanosiliky/>
- [16] GAJDOŠOVÁ, Marie. Použití nanočástic u oprav trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem. *Silnice + mosty* [online]. 2019 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.silnice-mosty.cz/1129-pouziti-nanocastic-u-oprav-trhlin-na-vozovkach-s-asfaltovym-krytem/>
- [17] *Technologie stavby vozovek*. 1. Praha: INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [18] NEKULA, Leoš. *Školení o evropských a českých normách pro stavbu vozovek: Povrchové vlastnosti vozovek*. 2015.
- [19] Snížení dopravní nehodovosti v ČR je úspěchem nebo neúspěchem? *SILNICE ŽELEZNICE* [online]. 2011, 1 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <http://old.silnicezeleznice.cz/clanek/snizeni-dopravni-nehodovosti-v-cr-je-uspechem-nebo-neuspechem/>

- [20] KUDRNA, Jan. *DIAGNOSTIKA A MANAGEMENT VOZOVEK: MODUL 4 - PORUCHY NETUHÝCH VOZOVEK*. Brno, 2007. Studijní opory. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.
- [21] HÝZL, Petr. *Technologie stavby vozovek: Poruchy vozovek a jejich příčiny*. Brno. Přednáška. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.
- [22] Technické podmínky 82: Katalog poruch netuhých vozovek [online]. 2010. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_82.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_82.pdf)
- [23] Technické podmínky 213: Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek [online]. 1. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2009 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_213.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_213.pdf)
- [24] Technické podmínky 87: Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek [online]. 2. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_87.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_87.pdf)
- [25] *Sčítání dopravy* [online]. Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2020 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/silnice-a-dalnice/scitani-dopravy#zalozka-celostatni-scitani-dopravy-2020>
- [26] Centrum dopravního výzkumu. *Dopravní nehody v ČR* [online]. Centrum dopravního výzkumu, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz>
- [27] ČSN EN 13036-1: *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [28] ČSN EN 13036-4: *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu - Zkouška kyvadlem*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [29] *ASTECH - katalogový list*. Brno: COLAS CZ, 2016. Dostupné také z: <https://colas.cz/stavebni-material/astech>

- [30] *Wetfix BE – technický list*. Nouryon. Dostupné také z: <https://www.nouryon.com/globalassets/inriver/resources/technical-bulletin-asphalt-wetfix-be-global-en.pdf>
- [31] KUDRNA, Jan. *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací*. 1. vydání. VUT FAST, 2007. ISBN 978-80-214-3429-5.
- [32] *Užitný vzor 31 127: Asfaltová stavební kompozice*. 1. Ostrava: MEREX, 2017.
- [33] ČSN 73 6177 *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015
- [34] YANG, Jun. *A review of advances of Nanotechnology in asphalt mixtures*. Nanjing, China, 2013. Dostupné také z: <https://core.ac.uk/download/pdf/82813173.pdf> . School of Transportation, Southeast University, Nanjing.
- [35] MOJ, Lukáš. *Účinnost protismykových úprav na cementobetonových a asfaltových vozovkách*. Ostrava, 2021. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební.
- [35] KOUTNÁ, Martina. *Uhlíkové nanotrubičky (CNT) a jejich aplikační možnosti*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická.

## Seznam tabulek

Tabulka 1- vlastnosti nezestárých pojiv a pojiv zestárých metodou RTFOT [14] .....	10
Tabulka 2- vlastnosti pojiv po stárnutí metodou RTFOT + PAV a modifikovanou metodou 3× RTFOT [14].....	10
Tabulka 3- Složení asfaltobetonové směsi s nanosiliky [15] .....	13
Tabulka 4- hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [24].....	17
Tabulka 5- požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [24] .....	18
Tabulka 6- oprava hodnoty PTV naměřené při jiné teplotě navlhčeného povrchu než 20 °C [28] .....	23
Tabulka 7- výsledky MTD úsek A .....	26
Tabulka 8 – výsledky PTV úsek A.....	28
Tabulka 9- výsledky MTD úsek B .....	33
Tabulka 10- výsledky PTV úsek B .....	34
Tabulka 11 - výsledky MTD úsek C .....	37
Tabulka 12 - výsledky PTV úsek C .....	39
Tabulka 13- vyhodnocení makrotextury povrchu (MTD) všech úseků .....	42
Tabulka 14- vyhodnocení mikrotextury povrchu (PTV) všech úseků .....	43
Tabulka 15 - kritériální hodnocení všech úseků.....	45

## Seznam obrázků

Obrázek 1- penetrace jehlou [4][5] .....	3
Obrázek 2- stanovení bodu měknutí [4].....	3

Obrázek 3- přístroj pro stanovení bodu lámavosti podle Fraasse [7].....	4
Obrázek 4- Vratná duktilita [4] [8].....	4
Obrázek 5 – Zkušební pec pro zkoušku RTFOT a asfaltové vzorky [4].....	6
Obrázek 6- zkušební přístroj PAV a vzorek na misce [4].....	6
Obrázek 7- jezero Pitch Lake na ostrově Trinidad [13] .....	7
Obrázek 8 – graf tuhosti pojiva závislé na teplotě [4].....	9
Obrázek 9- Uhlíková nano trubice CNT – vlevo jednostěnné, vpravo více stěnné [36].....	12
Obrázek 10- Názvosloví textury povrchu vozovky z hlediska vlnové délky [18] .....	14
Obrázek 11- mikrotextura a makrotextura [19].....	15
Obrázek 12- vlevo ztráta mikrotextury, vpravo ztráta makrotextury [20] .....	15
Obrázek 13- ztráta mikrotextury asfaltové vozovky [21] .....	15
Obrázek 14- pocení asfaltu – ztráta mikrotextury [21] .....	16
Obrázek 15- Bezpečnostní protismyková úprava ve směrovém oblouku .....	17
Obrázek 16 – monitoring povrchu vozovky – měření PTV a MTD .....	20
Obrázek 17- Měření odměrnou metodou .....	22
Obrázek 18- měření PTV – zkouška kyvadlem .....	24
Obrázek 19- měření MTD ve staničení 0,489 .....	28
Obrázek 20 - měření PTV ve staničení 0,376 .....	29
Obrázek 21- první porucha úseku A .....	30
Obrázek 22- porucha 11, úzká podélná trhлина v pracovní spáře na úseku A .....	31
Obrázek 23 - porucha 12 úzká příčná trhлина v pracovní spáře na úseku A.....	31



Obrázek 24- měření MTD ve staničení 0,489 .....	34
Obrázek 25- porucha 03, kaverna na úseku B.....	35
Obrázek 26- úzká příčná trhлина v pracovní spáře úseku B.....	36
Obrázek 27 - měření PTV ve staničení 1,471 .....	40
Obrázek 28- porucha 22, místní hrbol na úseku C .....	41

### Seznam grafů

Graf 1- Zhutnitelnost asfaltové směsi [3].....	5
Graf 2 – vývoj měření makrotextury úseku A.....	27
Graf 3 - vývoj mikrotextury na úseku A .....	29
Graf 4- vývoj měření makrotextury úseku B .....	33
Graf 5- vývoj mikrotextury úseku B .....	35
Graf 6- vývoj makrotextury na úseku C .....	38
Graf 7- vývoj mikrotextury na úseku C .....	39
Graf 8- vývoj makrotextury povrchu (MTD) všech úseků .....	42
Graf 9 - vývoj mikrotextury povrchu (PTV) na všech úsecích .....	44

### Seznam příloh

Příloha 1 – Protokoly – odměrná metoda (makrotextura) vlastní měření 2022
Příloha 2 – Protokoly – zkouška kyvadlem (mikrotextura) vlastní měření 2022
Příloha 3 – Zápis záznamu poruch – vlastní vizuální prohlídka 2022
Příloha 4 – Zápis záznamu poruch – VŠB TUO Fakulta stavební 2021
Příloha 5 – Fotodokumentace