



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLASTNOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ TYPU SMA  
S R-MATERIÁLEM  
PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES OF SMA-TYPE WITH RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Luis Carlos Acuna Subia

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                                |                                                                   |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Studijní program</b>        | N3607 Stavební inženýrství                                        |
| <b>Typ studijního programu</b> | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| <b>Studijní obor</b>           | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby                             |
| <b>Pracoviště</b>              | Ústav pozemních komunikací                                        |

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                        |                                                      |
|------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>Student</b>         | Bc. Luis Carlos Acuna Subia                          |
| <b>Název</b>           | Vlastnosti asfaltových směsí typu SMA s R-materiálem |
| <b>Vedoucí práce</b>   | doc. Dr. Ing. Michal Varaus                          |
| <b>Datum zadání</b>    | 31. 3. 2017                                          |
| <b>Datum odevzdání</b> | 12. 1. 2018                                          |

V Brně dne 31. 3. 2017

---

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13 108.

Zkušební normy pro asfaltové směsi za horka řady ČSN EN 12697.

Kniha Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce bude zpracovat problematiku využití R-materiálu vyfrézován pouze ze směsi typu SMA (Asfaltový koberec mastixový). Bude provedeno stanovení vybraných empirických a funkčních parametrů na laboratorně vyrobených vzorcích asfaltových směsí odebraných z pokusného úseku. Porovnávání asfaltové směsi budou vyrobeny s různými kombinacemi vstupních materiálů.

## **Struktura diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
Doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je ověření a porovnání vlastností asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový, konkrétně směsi s označením SMA 11 S s modifikovaným asfaltovým pojivem PMB 45/80-55 nebo silničním asfaltovým pojivem 50/70 s pryžovým granulátem. Porovnání vlastností je provedeno pomocí funkčních zkoušek. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je rozebráno seznámení se s problematikou využívání směsi SMA, dále jsou uvedeny a popsány vybrané pojmy, které se týkají recyklací netuhých vozovek. Pozornost je věnována zejména recyklaci vozovek v České republice s důrazem na recyklaci za horka na obalovně, která umožňuje zvýšené dávkování R-materiálu do asfaltových směsí. V praktické části jsou zpracovány a vyhodnoceny výsledky funkčních zkoušek směsi SMA 11 S, které byly odebrány ze zkušebního úseku.

## **Klíčová slova**

asfaltová směs, asfaltové pojivo, asfaltový koberec mastixový, modifikované asfaltové pojivo, funkční zkoušky asfaltových směsí, kamenivo, obrusná vrstva, R-materiál, recyklace vozovek

## **Abstract**

The aim of the diploma thesis is to verify and compare the properties of bituminous stone mastic asphalt, namely SMA 11S with modified PMB 45 / 80-55 asphalt binder or 50/70 road bitumen binder with rubber granulate. Comparison of properties is performed using functional tests. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The theoretical part deals with the familiarization with the use of the SMA mixture, the selected concepts concerning recycling of non-leveled roads are described and described. Attention is paid especially to the recycling of roads in the Czech Republic with an emphasis on hot recycling on the incinerator, which allows increased dosing of Reclaimed-Asphalt into asphalt mixtures. In the practical part, the results of the functional tests of the SMA 11S mixture, which have been taken from the test section, are processed and evaluated.

## **Keywords**

asphalt mix, asphalt binder, stone mastic asphalt, modified asphalt binder, functional tests of asphalt mixtures, aggregates, rubble layer, Reclaimed Asphalt, road recycling

### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Luis Carlos Acuna Subia *Vlastnosti asfaltových směsí typu SMA s R-materiálem*. Brno, 2018. 78 s., 31 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2018

.....

podpis autora

Bc. Luis Carlos Acuna Subia

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2018

.....

podpis autora

Bc. Luis Carlos Acuna Subia

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval během zpracování diplomové práce, Ing. Tomáši Koudelkovi a Ing. Ivě Coufalíkové za pomoc v silniční laboratoři a při zpracování diplomové práce, zaměstnancům školní laboratoře za ochotu a pomoc v laboratoři. Dále děkuji své rodině za veškerou podporu během mého studia.

# Obsah

|        |                                                                                                    |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1      | ÚVOD .....                                                                                         | 11 |
|        | Recyklace asfaltových vozovek .....                                                                | 11 |
| 2      | CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....                                                                          | 13 |
| 3      | TEORETICKÁ ČÁST .....                                                                              | 15 |
| 3.1    | Asfaltový koberec mastixový .....                                                                  | 15 |
| 3.2    | Rozdělení a zatřídění recyklovatelného materiálu .....                                             | 16 |
| 3.3    | Získávání materiálů pro recyklaci .....                                                            | 17 |
| 3.3.1  | Frézování .....                                                                                    | 18 |
| 3.3.2  | Uplatnění frézování .....                                                                          | 19 |
| 3.4    | Skladování .....                                                                                   | 19 |
| 3.5    | Druhy recyklace netuhých vozovek .....                                                             | 20 |
| 3.5.1  | Recyklace na obalovně za horka .....                                                               | 20 |
| 3.5.2  | Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny .....                                     | 21 |
| 3.5.3  | Předehtřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny .....                                | 22 |
| 3.5.4  | Metoda Drum – mix používaná v kontinuálních obalovnách .....                                       | 23 |
| 3.6    | Použití R-materiálu ve směsích pro ohrusné vrstvy .....                                            | 24 |
| 3.7    | Použité zkoušky a zkušební metody .....                                                            | 25 |
| 3.8    | Stanovení zrnitosti kameniva .....                                                                 | 25 |
| 3.8.1  | Pomůcky .....                                                                                      | 25 |
| 3.8.2  | Výpočet .....                                                                                      | 26 |
| 3.9    | Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi .....                                                 | 27 |
| 3.9.1  | Zkušební prostředky a zařízení .....                                                               | 27 |
| 3.9.2  | Postup zkoušky .....                                                                               | 27 |
| 3.9.3  | Výpočet .....                                                                                      | 30 |
| 3.10   | Příprava zkušebních těles rázovým zhuťovačem .....                                                 | 31 |
| 3.10.1 | Zkušební zařízení a pomůcky .....                                                                  | 32 |
| 3.10.2 | Postup výroby .....                                                                                | 32 |
| 3.11   | Příprava zkušební těles zhuťovačem desek .....                                                     | 33 |
| 3.11.1 | Potřebné pomůcky .....                                                                             | 33 |
| 3.11.2 | Postup přípravy těles .....                                                                        | 33 |
| 3.12   | Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi .....                                           | 34 |
| 3.12.1 | Postup .....                                                                                       | 35 |
| 3.12.2 | Výpočet .....                                                                                      | 35 |
| 3.13   | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22) ..... | 36 |
| 3.13.1 | Pomůcky .....                                                                                      | 36 |
| 3.13.2 | Princip zkoušky .....                                                                              | 37 |
| 3.13.3 | Výpočet .....                                                                                      | 37 |
| 3.14   | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Tuhost (dle ČSN 12697-26)                           | 38 |

|        |                                                                                                                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.14.1 | Pomůcky.....                                                                                                                                     | 38 |
| 3.14.2 | Postup zkoušky .....                                                                                                                             | 39 |
| 3.14.3 | Výpočet.....                                                                                                                                     | 41 |
| 3.15   | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem (dle ČSN EN 12697-46)..... | 42 |
| 3.15.1 | Pomůcky.....                                                                                                                                     | 42 |
| 3.15.2 | Postup zkoušky .....                                                                                                                             | 43 |
| 3.15.3 | Výsledky .....                                                                                                                                   | 44 |
| 4      | PRAKTICKÁ ČÁST .....                                                                                                                             | 45 |
| 4.1.1  | Zkušební úsek – Silnice II/227 .....                                                                                                             | 45 |
| 4.1.2  | Návrh řešení .....                                                                                                                               | 46 |
| 4.2    | Použité materiály.....                                                                                                                           | 47 |
| 4.2.1  | Kamenivo.....                                                                                                                                    | 47 |
| 4.2.2  | Vápencová moučka .....                                                                                                                           | 48 |
| 4.2.3  | Asfaltové pojivo.....                                                                                                                            | 49 |
| 4.2.4  | Regenerační přísada .....                                                                                                                        | 50 |
| 4.2.5  | Celulózové vlákno S-CEL 7G .....                                                                                                                 | 50 |
| 4.3    | Výsledky provedených zkoušek .....                                                                                                               | 52 |
| 4.3.1  | Sítový rozbor.....                                                                                                                               | 52 |
| 4.3.2  | Objemové hmotnosti směsí .....                                                                                                                   | 53 |
| 4.3.3  | Příprava zkušebních těles.....                                                                                                                   | 55 |
| 4.3.4  | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22).....                                                | 58 |
| 4.3.5  | Vyhodnocení zkoušky pojíždění kolem .....                                                                                                        | 60 |
| 4.3.6  | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Tuhost (dle ČSN EN 12697-26).....                                                                 | 60 |
| 4.3.7  | Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem (dle ČSN EN 12697-46)..... | 63 |
| 4.3.8  | Vyhodnocení výsledků stanovení nízkoteplotních vlastností .....                                                                                  | 64 |
| 5      | ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE.....                                                                                                                       | 66 |
|        | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                                                                                                                    | 68 |
|        | SEZNAM OBRÁZKŮ .....                                                                                                                             | 72 |
|        | SEZNAM TABULEK .....                                                                                                                             | 74 |
|        | SEZNAM GRAFŮ.....                                                                                                                                | 75 |
|        | SEZNAM ROVNIC .....                                                                                                                              | 76 |
|        | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....                                                                                                         | 77 |
|        | SEZNAM PŘÍLOH .....                                                                                                                              | 78 |

# 1 ÚVOD

## Recyklace asfaltových vozovek

Recyklace vozovek je technologický proces, při kterém se materiál dříve zabudovaný v konstrukci získává zpět za účelem jeho opětovného použití. V dnešní době, kdy jsou kladeny stále větší požadavky na ochranu životního prostředí a ekonomickou úsporu, například snížením objemu odpadů a tím i potřeby prostoru skládek, získává recyklace vozovek a využití recyklovaných materiálů stále významnější postavení.

Další přínosy recyklace vozovek mohou být například snížení nákladů na výstavbu při stejné kvalitě provedení vozovky, snížení objemu přepravy na staveniště v případě recyklace na místě, tzn. nižší náklady na dopravu i méně škodlivých zplodin vypouštěných do ovzduší, využití druhotných surovin a snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů, menší zásahy do krajiny a u některých druhů recyklace také snížení energetické náročnosti. Jedním z dalších důvodů může být i vývoj ceny ropy, který má z dlouhodobějšího hlediska spíše stoupající charakter.

Samotná recyklace vozovek si klade tyto cíle: (1)

- Snížení spotřeby neobnovitelných přírodních zdrojů a maximální využití druhotných surovin
- Ochrana životního prostředí menšími zásahy do krajiny
- Ekonomický přínos (úspory, výhodnost, dlouhodobé dosažitelný efekt pro daňové poplatníky)
- Snížení potřeby prostoru skládek
- Prodloužení životnosti vozovky
- Homogenizace poškozené konstrukce vozovky se známkami degradace

Jak dochází k postupnému rozvoji této metody, zvyšuje se také podíl R-materiálu v konstrukcích vozovek, asfaltové vozovky se mohou považovat za zcela recyklovatelné a tím pádem bezodpadové.

V České republice se recyklovaný materiál při výrobě nových asfaltových směsí používá jen v omezeném množství, zejména v ložních a podkladních vrstvách. Do nejkvalitnějších směsí v obrusných vrstvách označovaných písmenem S se R-materiál nesmí v žádném případě používat. Jeho obsah se zvyšuje se snižující se kvalitou vrstvy a hloubkou jejího zabudování.

Velmi rozšířené použití R-materiálu je například v sousedním Německu, kde se používá až 80 % recyklátu do podkladních vrstev.

Použití recyklátů vyžaduje poměrně náročnou technologickou kázeň, ať už se jedná o proces frézování či bourání konstrukčních vrstev vozovky.

Uskladnění takto získaného R-materiálu nebo samotného zpracování na obalovnách, že je mnohdy výhodnější, zejména co se týká náročnosti, R-materiály vůbec nevyužívat nebo pouze do nižších konstrukčních vrstev.

Dle evropských směrnic bychom měli do roku 2020 zajistit, aby bylo recyklováno 70 % stavebního odpadu. V roce 2013 vyprodukovala Česká republika 1,5 milionu tun recyklovatelného materiálu, avšak recyklovala pouze 10 % z tohoto množství. (2)

## 2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je ověření a porovnání vlastností asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový SMA 11 S s modifikovaným asfaltovým pojivem PMB 45/80-55 a silničním asfaltovým pojivem 50/70 s pryžovým granulátem na funkčních vlastnostech asfaltových směsí.

Práce je členěna na dvě části – teoretickou a praktickou.

Cílem teoretické části je seznámení se s problematikou využívání SMA 11 S, vybranými pojivy, které se týkají recyklací netuhých vozovek a popisu recyklace vozovek využívaných v České republice s důrazem především na recyklaci za horka na obalovně, která umožňuje zvýšené dávkování R-materiálu do směsí. V této části je také popsán zkušební úsek, v rámci, kterého byly položeny různé varianty směsi SMA 11 S. Varianty se liší v obsaženém množství R-materiálu, použitého pojiva a přísad.

V praktické části jsou řešeny vybrané směsi SMA 11 S ze zkušebního úseku. Úkolem byla výroba zkušebních těles pro naměření požadovaných funkčních vlastností směsí. Vybrané směsi se liší vlastnostmi:

Tab. 2. 1 Asfaltové směsi

| Směs | Asfalt | R-materiál běžný | Celulózové vlákno | Pryžový granulát |            |
|------|--------|------------------|-------------------|------------------|------------|
| 1    | PMB    | -                | ano               | -                | Referenční |
| 4    | PMB    | 30 %             | ano               | -                | -          |
| 7    | 50/70  | -                | ano               |                  | -          |
| 14   | 50/70  | -                | -                 | ano              | -          |
| 16   | 50/70  | 30 %             | -                 | ano              | -          |

Na navržených asfaltových směsích byly provedeny tyto funkční zkoušky:

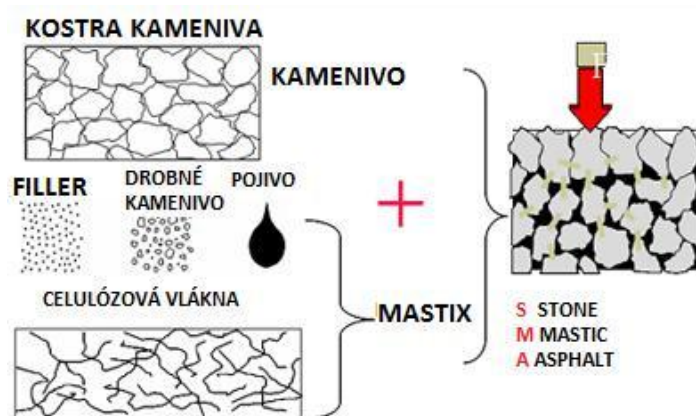
- Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22)
- Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Tuhost (dle ČSN 12697-26)
- Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem (dle ČSN EN 12697-46)

Změřené výsledky jsou porovnány s výsledky referenční směsi PMB bez R-materiálu s celulózovým vláknem.

### 3 TEORETICKÁ ČÁST

#### 3.1 Asfaltový koberec mastixový

Asfaltový koberec mastixový (SMA) je asfaltová směs určená do obrusných vrstev netuhých vozovek pozemních komunikací, které jsou vysoce zatíženy dopravou, například vytížené křižovatky, dálnice nebo letištní plochy. Vyznačuje se přerušenou čarou zrnitosti, nosnou kostru směsi tvoří nejhrubší a případně druhá nejhrubší frakce kameniva, zbývající kamenivo je výplňové a s asfaltovým pojivem a kamennou moučkou tvoří asfaltovou maltu neboli mastix. Mastix je tedy směs drobného kameniva s velikostí do 2 mm a kamenné moučky obalené asfaltovým pojivem. Mezerovitost směsi je podle druhu a intenzity dopravního zatížení od min. 3,0 % do max. 4,5 %. (14)



Obr. 3. 1 SMA princip (26)

Asfaltový koberec mastixový má své charakteristické vlastnosti, které jsou podrobně popsány v normě ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový. V současné době se připravuje aktualizace této normy, která změní určité charakteristiky. (54)

Tab. 3. 1 Aktualizace normy

| SMA 11 S            | Současná norma | Aktualizace   |
|---------------------|----------------|---------------|
| Mezerovitost        | 3,0 % - 4,5 %  | 2,5 % - 4,0 % |
| PRD AIR             | 5,00 %         | 6,00 %        |
| Teplota při PRD AIR | 50 °C          | 60 °C         |
| Teplota při WTS AIR | 51 °C          | 60 °C         |

|                        |        |               |
|------------------------|--------|---------------|
| Minimální obsah pojiva | 6,20 % | 6,4 % - 6,8 % |
|------------------------|--------|---------------|

Hodnocení vlastností zkoušených směsí v praktické části bude hodnoceno dle plánované aktualizace.

Tato asfaltová směs byla vyvinuta v 60. a 70. letech v Německu a byla původně určena pro pneumatiky s hřeby. Ve směsi je potřeba z důvodu vzájemného dotyku velkých zrn použít kvalitní kamenivo, a také obsah asfaltového pojiva je ve srovnání s asfaltovým betonem vyšší, přičemž se používají především modifikované asfalty a stabilizační přísady, např. celulózová vlákna, která zabraňují stékání pojiva z povrchu kameniva. (14)

Základní charakteristiky směsí typu SMA jsou tedy především vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací, odolnost proti tvorbě mrazových trhlin, díky příznivé makrotextuře také útlum dopravního hluku, pomalý proces stárnutí a dobrá přilnavost k podkladu. [18]

### 3.2 Rozdělení a zařazení recyklovatelného materiálu

Na úvod je potřeba definovat několik důležitých pojmů vztahujících se k recyklování vozovek.

Za R-materiál považujeme asfaltovou směs znovuzískanou odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi. Dále se může jednat o asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Obsahuje více jak 95 % asfaltových materiálů (Ra), s max. obsahem 5 % hmotnosti ostatních recyklovaných materiálů ( $R_c + R_b + R_u + X + Y + FL$ ). Řadíme ho mezi recyklovaný stavební materiál (RSM). (3)

R-materiál je určen především pro technologie recyklace za horka. Vyšší kvality dosahuje ten R-materiál, který je získáván odděleným frézováním ložní a obrusné vrstvy. Kvalitu R-materiálu ovlivňuje také způsob jeho skladování. Použitím R-materiálu se zabývá norma ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi-Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál. (1)

Dále rozeznáváme tyto termíny: (3)

- **Stavební a demoliční odpad (SDO)** – “ inertní odpad bez nebezpečných vlastností, u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám ”.
- **Recyklovaný stavební materiál (RSM)** – recyklát, který dále rozdělujeme:
  - Recyklát z betonu (Rc) – “recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových výrobků”.
  - Recyklát z vozovek – “recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem, případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin”.
  - Recyklát ze zdiva (Rb) – “recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (cihly, obkladačky, pórobeton) a betonu”.
  - Recyklát směsný – “získáme ho drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo”.
  - Jiné částice (X) – “jedná se o přilnavé částice (jemnozrnné jílovité zeminy a nečistoty), různorodé částice (železné a neželezné kovy), dřevo, plasty apod”.
  - Ostatní částice (Y) – “částice nestavebního charakteru, např. papír, textil, organické materiály apod”.
  - Plovoucí částice (FL) –“ jedná se o částice, které plavou na vodě, například plovoucí dřevo nebo polystyrén”.

### 3.3 Získávání materiálů pro recyklaci

R-materiál získáváme podle následujících bodů: (53)

- Vybouráním celé konstrukce vozovky nebo jejích jednotlivých vrstev.
- V jednom záběru je možné vybourat vrstvy stmelené asfaltovým pojivem, v dalším záběru potom zbývající vrstvy.
- Separované vybourání umožňuje opětovné zabudování asfaltem stmelených vrstev v asfaltových směsích.

- Při frézování lze asfaltový materiál získat studenou nebo teplou cestou
- Mělo by být postupováno po jednotlivých vrstvách (z důvodu různé kvality a různého zrnitostního složení).
- Specifickým postupem je použití recyklátu a hloubkové recyklace za studena na místě.

### 3.3.1 Frézování

Při frézování můžeme materiál získávat studenou cestou. Frézovat by se mělo po jednotlivých vrstvách, aby nedošlo k promíchání materiálu o různé kvalitě a o různém zrnitostním složení. (52) Toto se však v praxi často neděje.

Charakteristiky Silniční frézy, které se používají při frézování jsou třeba: (50)

- rychlost která může být mezi 5 km/h až 7,5 km/h.
- provozní rychlost mezi 84 m/min až 86 m/min
- provozní hmotnost mezi 18,4 t až 36,3
- otáčky při maximálním točivém momentu 2 100 ot./min.

Pro frézování můžeme používat různé druhy silničních fréz:

- malé
    - šířka frézovacího válce do 500 mm
    - záběrová hloubka do 210 mm
  - střední
    - šířka frézovacího válce 500 až 1000 mm
    - záběrová hloubka do 180 mm
  - velké
    - šířka frézovacího válce nad 1000 mm
    - záběrová hloubka do 350 mm
  - speciální (využití při sanačních pracích na frézování porušeného krytu v blízkosti kanalizačních poklopů, rigolů, uličních vpustí apod.)
    - šířka frézovacího válce do 350 mm
- záběrová hloubka do 100 mm. (1)



Obr. 3. 2 Příklad silniční frézy (4)

### 3.3.2 Uplatnění frézování

Kdy se může provádět uplatnění frézování:

- Na vozovkách, u nichž skončila životnost obrusné vrstvy.
- Na místních komunikacích, kde změna nivelety vozovky není možná (návaznost na chodníky a odvodnění).
- Na mostních objektech, kde nelze klást další asfaltové vrstvy s ohledem ke zvětšení stálého zatížení mostní konstrukce.
- Úprava příčného profilu po odstranění malých nerovností a deformací, které nepřevyšují 10 mm (následné provedení nátěru či mikrokoberce).
- Obnova drsnosti frézování v tloušťce do 10 mm. Jde o provizorní řešení obnovy provozní způsobilosti před definitivní úpravou povrchu vozovky.

(15)

## 3.4 Skladování

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, použití R-materiálu v konstrukčních vrstvách, a zvláště v obrusných, na které jsou kladeny nejvyšší požadavky ohledně kvality, úzce souvisí i s kvalitou přidávaného R-materiálu. R-materiál je tedy nutné frézovat po jednotlivých vrstvách, takto vyfrézovaný ho musíme poté skladovat ve vyhovujících podmínkách, tzn. v zastřešených skládkách s pevným podkladem, chránící proti vlhkosti, chránícím před účinkem slunečního záření. R-materiál by měl být uskladněn do výšky maximálně 4 metrů, aby bylo zabráněno samozhutňování. Před dalším zpracováváním R-materiálu je důležitá také jeho homogenizace, aby bylo dosaženo jeho konstantní zrnitosti.

(7)

V České republice dochází k frézování a skladování všech asfaltových konstrukčních vrstev dohromady, tedy jak obrusné, tak ložné a podkladní, ale často také například litého asfaltu. U těchto vrstev neznáme jejich původ a kvalitu, proto se dále předrcují na frakce 0/11 či 0/22 dle použití do konstrukčních vrstev. Vlivem skladování R-materiálu v nevyhovujících podmínkách a tím jeho značné vlhkosti, je reálné množství přidávaného R-materiálu cca 25 %. (2)



*Obr. 3. 3 Skládka recyklovaného materiálu (8)*

### 3.5 Druhy recyklace netuhých vozovek

Recyklace netuhých vozovek může probíhat z hlediska místa provádění buď na místě (in place) nebo v míchacím centru čili na obalovně (in plant), z hlediska technologie potom buď za studena, nebo za horka. Kombinací těchto postupů získáváme čtyři druhy recyklace vozovek – na místě za studena, na obalovně za studena, na místě za horka a na obalovně za horka. (24) V následující kapitole se budu věnovat jenom recyklaci na obalovně za horka, protože na zkušebním úseku byly použity směsi, do kterých byl přidán R-materiál na obalovně za horka.

#### 3.5.1 Recyklace na obalovně za horka

Výhody této technologie, která umožňuje přidání mezi 50 % až 70 %

R-materiálu, vhodnost z hlediska ochrany životního prostředí, šetření přírodních zdrojů, šetření úspory energií. (48)

V prvním kroku je R-materiál předrcen na frakce 0/11 (resp. 0/8) při použití do obrusných vrstev nebo 0/22 (resp. 0/16) při použití do ložních a podkladních vrstev.

V zásadě rozlišujeme tři druhy recyklace za horka na obalovně (Hot in-Plant Recycling), a to:

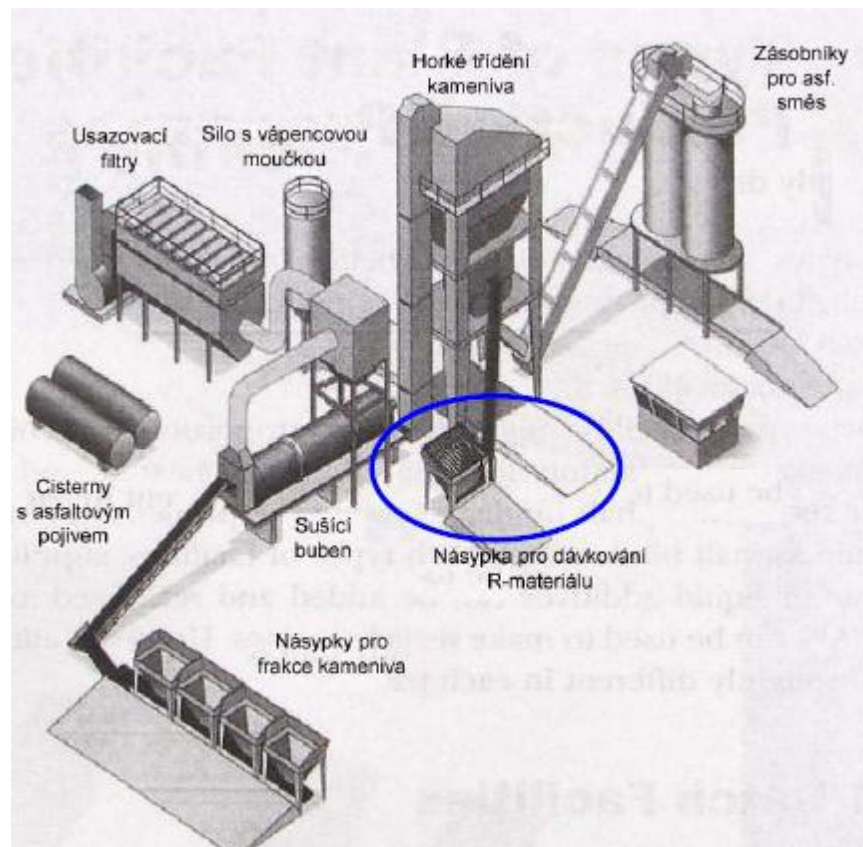
- Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny.
- Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny.
- Metoda Drum – mix používaná v kontinuálních obalovnách.

### **3.5.2 Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny**

Tato metoda se od metody předehřívání v paralelním bubnu používané v šaržových obalovnách liší především tím, že R-materiál není nutné předehřívát a můžeme ho dávkovat přímo do bubnu šaržové obalovny. Z tohoto důvodu je však nutné předehřát kamenivo na vyšší teplotu, než je teplota míchání, aby nedošlo ke snížení teploty pod předepsanou hodnotu. Čím více chceme použít R-materiálu, tím vyšší musí být teplota, na kterou budeme předehřívát kamenivo, což značně omezuje množství R-materiálu, které lze do nové asfaltové směsi přidat. V současné době je v České republice vybaveno zařízením pro přidávání R-materiálu za studena je cca 70 % šaržových obaloven. (25)

R-materiál je buď uskladněn v zásobnících a dávkován stejně jako kamenivo nebo se přidává do míchačky přes samostatnou váhu. Při této metodě se doporučuje přidávat maximálně 25 % R-materiálu, při dávkování je potřeba vypočítat gradaci přidávaného pojiva. R-materiál bývá často uskladněn v nevyhovujících podmínkách v nezastřešených skládkách a často obsahuje velké množství vlhkosti. Tato vlhkost se při kontaktu s horkým kamenivem začne odpařovat a velké množství vodní páry je poté nutné odvádět odvětrávacím zařízením. Dalším důvodem pro omezené použití R-materiálu při této metodě

výroby asfaltových směsí je špatné skládkování, které může negativně ovlivňovat výsledné asfaltové směsi. (7)



Obr. 3. 4 Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny (49)

### 3.5.3 Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny

Hlavní rozdíl proti přímému dávkování do míchačky šaržové obalovny je v tom, že recyklovaný materiál je nejprve předehříván v paralelním bubnu. Paralelním sušícím bubnem disponují v současné době pouze čtyři obalovny v České republice. Způsob zpracování R-materiálu pomocí paralelního bubnu umožňuje až 100 % přidání R-materiálu do asfaltové směsi. (17)



*Obr. 3. 5 Šaržová obalovna vybavená paralelním bubnem k předehřívání R-materiálu (9)*

R-materiál je tedy nejdříve umístěn do paralelního bubnu nacházejícího se v horní části obalovny. Poté jsou do něj přimíchány tzv. omlazovače pojiva neboli regenerační přísada. Tyto látky slouží ke znovuoživení neboli změkčení zestárlého pojiva, které se v R-materiálu nachází. Následně je recyklát předehříván na teplotu asi 120-135 °C a potom skladován v silu, z kterého může být již dávkován do míchačky šaržové obalovny a smíchán s kamenivem, pojivem, dalšími přísadami apod.

### **3.5.4 Metoda Drum – mix používaná v kontinuálních obalovnách**

Kontinuální výroba asfaltových směsí není v České republice příliš rozšířena, existuje u nás pouze jedna obalovna využívající tuto technologii. Hodí se především pro velké stavby s konstantní recepturou směsi, výrobní proces probíhá v nepřetržitém procesu a bez přestávky, přičemž jednotlivé komponenty jsou do mísícího procesu přidávány kontinuálně. Tento typ obaloven je rozšířen

zejména v USA, kde tvoří asi 80 % z celkového množství míchacích center a umožňuje přidávání zhruba 50 % R-materiálu. (10)



*Obr. 3. 6 Kontinuální obalovna využívající metodu Drum – mix (11)*

### **3.6 Použití R-materiálu ve směsích pro obrusné vrstvy**

V současné době česká norma neumožňuje přidávání recyklovaného materiálu do krytové vrstvy SMA.

Do kvalitních směsí používaných do obrusných vrstev s označením S, se tedy R-materiál nesmí používat, ale například do vrstvy ACP + (podkladní vrstva z asfaltového betonu) lze přidávat až 60 % recyklátu. (27) Evropské normy přesto povolují používání recyklátu do všech obrusných vrstev. U nás toto není umožněno zejména z důvodů obav před technologickou nekázní, nekvalitní výrobou apod.

- Pro efektivní využívání R-materiálu v obrusných vrstvách, jako je například vrstva z SMA 11 S, je tedy nutné dodržet několik podmínek. (12)
- Musí být k dispozici obalovna, která umožňuje zpracování většího množství recyklátu v recepturách, musíme mít dostatečnou znalost o přidávaném recyklátu.
- Recyklát musí být vyfrézován po jednotlivých konstrukčních vrstvách, a to v takových celcích, které nejsou znehodnoceny lokálními vysprávkami,

musí být zaručena dostatečná kvalita používaného kameniva v R-materiálu, zejména odolnost vůči obrušování, proti mechanickému poškození a odolnost proti cyklickému zmrazování a rozmrazování. (12)

Pokud tyto znalosti o daném kamenivu nemáme, je nutné provést zkoušky, které ověří vlastnosti a případnou možnost použití kameniva. (12)

### **3.7 Použité zkoušky a zkušební metody**

V této kapitole jsou popsány všechny zkoušky a zkušební metody, které byly v rámci diplomové práce při jejím zpracování použity. Výsledky těchto zkoušek jsou potom uvedeny v kapitole 4.3 *Výsledky provedených zkoušek*.

### **3.8 Stanovení zrnitosti kameniva**

Stanovení zrnitosti kameniva síťovým rozborem je nutné ke zjištění čáry zrnitosti, která ukazuje vzájemné zastoupení zrn ve směsi. Tato zkouška je popsána v normě ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor. (20)

Podstatou zkoušky je rozřídění materiálu pomocí sít o různých velikostech čtvercových otvorů do několika frakcí.

#### **3.8.1 Pomůcky**

Zkušební pomůcky potřebné k této zkoušce jsou především zkušební síta s otvory vyhovující normě a dalším požadavkům, prosévací stroj, sušárna, váhy s přesností  $\pm 0,1 \%$ , prací zařízení.



Obr. 3. 7 Prosévací stroj se sítý pro stanovení zrnitosti kameniva (21)

### 3.8.2 Výpočet

Z hmotností zůstatků na jednotlivých sítích se poté vypočítá procento hmotnosti z původní navážky  $M_1$  a také procento jemných částic ( $f$ ), které propadne nejjemnějším sítím o velikosti ok 0,063 mm a zachytne se na dně. Výpočet probíhá pomocí následujícího vztahu (20):

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} * 100$$

*Rovnice 1 Výpočet procenta jemných částic ze sítového rozboru*

kde  $M_1$  je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kg

$M_2$  je hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm, v kg

$P$  je propad sítím 0,063 mm, v kg

Závislost souhrnného procenta propadu na velikosti síta, kterým daná část navážky propadne, určuje vzájemné zastoupení velikostí jednotlivých zrn ve směsi. Tato skutečnost se vyjadřuje pomocí čáry zrnitosti. (5)

### **3.9 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi**

Maximální objemová hmotnost směsi je hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer. Společně s objemovou hmotností se používá především k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších vlastností vztahujících se k jejímu objemu. V normě ČSN 1297-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti jsou stanoveny tři postupy zjištění maximální objemové hmotnosti – volumetrický, hydrostatický a matematický. V této diplomové práci je použit volumetrický postup. (22)

Podstatou tohoto postupu je stanovení maximální objemové hmotnosti směsi z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem vody či rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru. (22)

#### **3.9.1 Zkušební prostředky a zařízení**

Ke stanovení maximální objemové hmotnosti směsi je použita odvzdušněná voda nebo rozpouštědlo (trichloretylen), sušárna vhodná k sušení vzorků udržující teplotu v rozmezí  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , špachtle k uvolňování vzorků, váhy s přesností 0,1 g, teploměr s přesností  $0,1 ^\circ\text{C}$ , vodní lázeň vhodných rozměrů udržující teplotu v rozmezí  $\pm 0,2 ^\circ\text{C}$ , pyknometr s těsně přiléhajícím nástavcem a zařízení pro vakuování.

#### **3.9.2 Postup zkoušky**

Po nahřátí vzorku asfaltové směsi v sušárně při max. teplotě  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  se vzorek rozdělil pomocí špachtle a poté ručně na částice a shluky, jejichž velikost byla maximálně 6 mm. Pokud není materiál dostatečně měkký tak, aby šel rozdělit ručně, zahříval se při teplotě  $110 ^\circ\text{C}$ , až do doby, kdy rozdělení bylo možné. Stanovila se hmotnost ( $m_1$ ) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu ( $V_p$ ) a vysušený zkušební vzorek se opatrně pomocí papírového trychtýře umístí do pyknometru a nechá se temperovat na okolní

teplotu. Poté se stanoví hmotnost ( $m_2$ ) pyknometru s nastavcem a vysušeným vzorkem.



*Obr. 3. 8 Pyknometry s asfaltovou směsí a destilovanou vodou (objem 500 ml) a s asfaltovou směsí a trichlorethylenem (objem 1000 ml) (23)*

Pyknometr se naplní buď rozpouštědlem, nebo destilovanou vodou do výšky maximálně 30 mm pod okraj. V případě destilované vody bylo ještě potřeba odstranit zachycený vzduch pomocí vakua, po dobu  $(15 \pm 1)$  minutu, kdy vzduch byl vytěsněn při zbytkovém tlaku 4 kPa.



*Obr. 3. 10 tlaková nádoba (16)*



*Obr. 3. 9 vakuová pumpa (16)*



*Obr. 3. 12 Zařízení k odstranění zachyceného vzduchu při stanovení max. objemové hmotnosti pomocí vody (16)*



*Obr. 3. 11 Snížení tlaku při odstraňování vzduchových bublin (16)*

Při odstraňování vzduchu v pyknometru je dobré s pyknometrem míchat nebo použít vibrační stůl, případně přidat malé množství dispergačního činidla.

Po naplnění pyknometru rozpouštědlem či destilovanou vodou se opatrně nasadil nástavec (styčné plochy nástavce a pyknometru byly namazány vazelínou) a pyknometr se nechal temperovat po dobu 120 minut (dle normy ČSN 12697-5+A1 se v případě vody má temperovat po dobu minimálně 30, ale maximálně 180 minut, při použití trichloretylenu po dobu minimálně 60, ale maximálně 180 min) na teplotu  $(25 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$  v případě rozpouštědla a  $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$  v případě vody, přičemž voda ve vodní lázni musí dosahovat přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru. Poté se pyknometr doplnil vodou či

rozpouštědlem o stejné zkušební teplotě jako vodní lázeň až po značku na nástavci.

Pyknometr se po uplynutí stanovené doby vyjme z vodní lázně a stanoví se jeho hmotnost ( $m_3$ ). Zkouška se pro každou asfaltovou směs prováděla 2x při použití vody a 1x při použití trichloretylenu. Rozdíl výsledků může být maximálně o 20 kg/m<sup>3</sup>, přičemž nižších hodnot by měla dosahovat voda z důvodu případného neodstranění všech vzduchových bublin.

### 3.9.3 Výpočet

Maximální objemová hmotnost  $\rho_{mv}$  asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem se vypočítala dle rovnice:

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - (m_3 - m_2) \div \rho_w}$$

*Rovnice 2 Výpočet maximální objemové hmotnosti*

|             |                                                                                                                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_{mv}$ | maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m <sup>3</sup> , stanovená                                                                                                        |
| $m_1$       | hmotnost pyknometru a nástavcem, v g                                                                                                                                               |
| $m_2$       | hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku, v g                                                                                                                               |
| $m_3$       | hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a vody či rozpouštědla, v g                                                                                                         |
| $V_p$       | objem pyknometru po naplnění po referenční značku nástavce, v m <sup>3</sup>                                                                                                       |
| $\rho_w$    | hustota vody nebo případně rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m <sup>3</sup><br>s přesností 0,1 kg/m <sup>3</sup><br>volumetrickým způsobem, s přesností 0,1 kg/m <sup>3</sup> |

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g přesností na 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v m<sup>3</sup> s přesností 0,5 x 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>. Veškerá procenta musela být vyjádřena s přesností 0,1 %.

Hustota vody při 25 °C je 997,1 kg/m<sup>3</sup>, při jiných teplotách je nutné použít

korekční faktor, hustota použitého trichloretylenu při 25 °C je 1453 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.10 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem je popsána v normě ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Tyto zkušební tělesa se používají především pro stanovení objemové hmotnosti a jiných technologických charakteristik, např. hodnota stability a přetvoření Marshallovou zkouškou podle EN 12697-34+A1 apod. (28)

Při přípravě těles se asfaltová směs (vyrobená v laboratoři či odebraná na staveništi) vytemperuje na potřebnou teplotu a nasype do ocelové formy pro hutnění. Poté se zhutňuje v rázovém zhutňovači pomocí hutního beranu pěchu, který padá z předepsané výšky požadovaným počtem rázů na horní povrch zkušebního tělesa. Zkušební těleso se poté nechá zchladnout na laboratorní teplotu. (28)



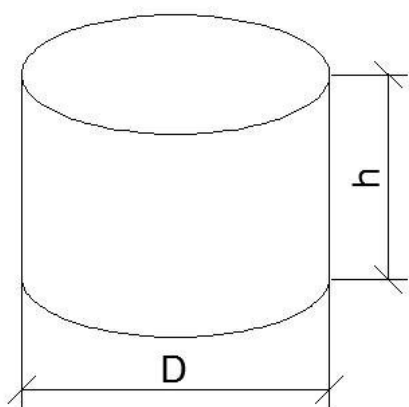
*Obr. 3. 13 rázový zhutňovač na výrobu zkušebních těles (29)*

### 3.10.1 Zkušební zařízení a pomůcky

Na přípravu zkušebních těles je použit rázový zhutňovač s ocelovým dolním podstavcem, forma pro hutnění, která se skládá z nástavce, válcové formy a podložky, sušárna na ohřev kameniva, asfaltu, forem pro hutnění apod. a výtlačné zařízení.

### 3.10.2 Postup výroby

Zkušební tělesa musí mít tvar válce o průměru  $D = (101,6 \pm 0,1)$  mm a výšce  $h = (63,5 \pm 2,5)$  mm. Maximální velikost kameniva ve směsi smí být 22,4 mm.



Obr. 3. 14 Rozměry Marshallova zkušebního tělesa (30) Marshallova tělesa zhotovená rázovým zhutňovačem (31)

Asfaltová směs se nejprve temperují v sušárně na hutnící teplotu 155 °C a před výrobou prvního ze vzorků se nahřeje také celá forma. Na nahřátou podložku formy pro hutnění se položilo kolečko separačního papíru. Poté se ve třech fázích se nasypá předem připravené množství asfaltové směsi vytemperované na potřebnou hutnící teplotu do formy, přičemž se musí dbát na to, aby nedocházelo k segregaci zrn. Na závěr se na srovnaný povrch se položí druhé kolečko separačního papíru.

Ihned poté se musí začít se zhutňováním. Naplněná forma se osadí do rázového zhutňovače a hutnila 50 údery. Poté se forma obrátí a těleso se hutní z druhé strany dalšími 50 údery.

Zhutněné těleso se potom vyjme ze zhutňovače, odstraní se separační

papíry a nechá se vychladnout na teplotu zhruba 40 °C. Následně se těleso pomocí výtlačného zařízení vyjme z formy a nechá zcela vychladnout.

### 3.11 Příprava zkušební těles zhutňovačem desek

Během příprav těles zhutňovačem desek se postupuje dle normy ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. Tato norma nám popisuje 3 metody zhutňování desek: Metodu užívající kolo s pneumatikou, metodu využívající hladký ocelový válec a metodu užívající lamely zatlačované válcem. Pro přípravu zkušební těles se využívá metodu využívající hladký ocelový válec.

#### 3.11.1 Potřebné pomůcky

Pro přípravu zkušebních těles je použita forma o rozměrech  $L = 320 \text{ mm}$  a  $I = 260 \text{ mm}$  s tolerancí  $\pm 1 \text{ mm}$ . Dále je použit zhutňovací stroj skládající se ze stolu, na kterém je přišroubovaná forma, a ocelového válce s vlastním pohonem a kontrolou chodu tam a zpět, který vyvíjí svislé zatížení. Součástí zhutňovacího zařízení je i přístroj pro nastavení požadované tloušťky desky.

#### 3.11.2 Postup přípravy těles

Nejdříve se zjistí hmotnost navážky potřebnou pro výrobu jedné zkušební desky. Se vypočítá z rozměrů formy, tloušťky separačního plechu, potřebné tloušťky zkušební desky a objemové hmotnosti zjištěné z Marshallových těles, které se vyrobí dle normy ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi: Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem.

Před samotným hutněním se připraví hutnicí zařízení tím, že se nastaví požadovanou tloušťku zkušební desky a formu se separačním se namaza separačním prostředkem, aby nedošlo k přilepení směsi k formě a hutnicímu válci. Asfaltovou směs se nechá temperovat v sušárně na požadovanou hutnicí teplotu 155 °C. Po vyjmutí ze sušárny jsem zahřátou směs rychle vysypal do formy a rozprostřel pomocí špachtle, aby neklesla hutnicí teplota. Po rozprostření se na směs položí separační plech a nechá spustit dolů hutnicí válec. Po splnění

těchto kroků se spustí hutnění a počká, dokud válec nestlačí směs na požadovanou tloušťku. Po ukončení procesu se desku vyjme z formy a nechá ji zchladnout na laboratorní teplotu.



*Obr. 3. 15 Zhutňovač desek (32) hotová zkušební deska s rozměry 320 x 260 x 50 mm (33)*

### **3.12 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi**

Postup těchto zkoušek je popsán v normě ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Mezerovitostí se zde rozumí procentuální objem mezer v daném zkušebním tělese k celkovému objemu tělesa.

Objemová hmotnost je stanovena na Marshallových tělesech, vyrobených pomocí rázového zhutňovače, popis jejich výroby je popsán v kapitole 3.10 *Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem* a dále na deskách, jejichž výroba je popsána v kapitole 3.11 *Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*.

V případě Marshallových těles je nutné zjistit jejich objemovou hmotnost z důvodu výpočtu mezerovitosti asfaltové směsi a ověření, zda je její návrh správný. Požadovaná mezerovitost byla stanovena na 2,5 – 4,0 %

U zkušebních těles typu deska se objemová hmotnost a mezerovitost

zjišťovala z důvodu ověření správného zhutnění tělesa.

### 3.12.1 Postup

Po vychladnutí vyrobeného tělesa se zjistí jeho suchá hmotnost  $m_1$  a připravila se vodní lázeň, která se temperovala na známou teplotu. Poté se těleso celé ponořilo do vodní lázně po dobu 30 minut. Po uplynutí této doby se těleso pod vodu zvážilo (hmotnost  $m_2$ ), přičemž je nutné dbát na to, aby se nedotýkalo stěn nádoby nebo aby na něm neulpívaly vzduchové bubliny. Těleso se vyjmulo z vodní lázně a povrchově osušilo. Po jeho opětovném zvážení se zjistí hmotnost  $m_3$ .

### 3.12.2 Výpočet

Objemová hmotnost se poté zjišťovala pomocí následujícího výpočtu:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

*Rovnice 3 Výpočet objemové hmotnosti zkušebního tělesa*

- kde  $\rho_{bssd}$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$   
 $m_1$  je hmotnost suchého tělesa, v g  
 $m_2$  je hmotnost tělesa ve vodě, v g  
 $m_3$  je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g  
 $\rho_w$  hustota vody při laboratorní teplotě, v  $\text{kg/m}^3$

Jak již bylo řečeno, Marshallova tělesa i vyrobené zkušební desky musí splňovat i kritérium mezerovitosti, které se stanoví pomocí výpočtu:

$$M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mw}}\right) \times 100\%$$

*Rovnice 4 Výpočet mezerovitosti zkušebního tělesa*

- kde  $M$  je mezerovitost směsi, v %  
 $\rho_{bssd}$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$   
 $\rho_{mw}$  je maximální objemová hmotnost směsi, v  $\text{kg/m}^3$

Pro zjištění mezerovitosti je tedy třeba znát maximální objemovou hmotnost, postup jejího stanovení je popsán v kapitole 3.9 *Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi*.

### 3.13 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22)

První prováděnou funkční zkouškou na asfaltových směsích, byla zkouška pojíždění kolem, která je popsána v normě ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem. V normě jsou popsány zkušební postupy pro stanovení náchylnosti asfaltových směsí k trvalým deformacím a lze je aplikovat pro směsi s maximální velikostí zrna do 32 mm včetně. (34)

#### 3.13.1 Pomůcky

Tato zkouška probíhá na tzv. malém zkušebním zařízení simulující pojíždění kolem, které se skládá ze zatíženého kola působícího na zkušební těleso a stolu pod kolem, dvou zkušebních forem s rozměry 260 x 320 mm. Dále je potřeba mít laboratorní sušárnu a podkladní desku. Zkouška se tedy vždy provádí na dvou zkušebních tělesech a výsledky se poté zprůměrují.



Obr. 3. 16 Zkušební zařízení s vloženými zkušebními vzorky (16)

### 3.13.2 Princip zkoušky

Výroba zkušebních těles pro tuto desku je popsána v kapitole 3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*. Rozměry zkušebních těles tedy byly přibližně 260 x 320 x 40 mm. Před každým měřením je nutné zjistit přesné rozměry desek, především jejich tloušťku, hmotnost a objemovou hmotnost a následně míru zhutnění a mezerovitost. Tloušťka zkušebních těles je stanovena výpočtem průměru z deseti měření na každé desce, přičemž žádný z naměřených rozměrů se nesmí lišit od jmenovité hodnoty o více než 2,5 mm. Protokoly všech zkušebních desek jsou uvedeny v Příloze B.

Dvě zkušební tělesa je umístěna do forem s předepsanými rozměry a to tak, aby vrchní strana lícovala s okrajem formy, a poté je temperována v laboratorní sušárně na teplotu ( $50 \pm 1$  nebo  $60 \pm 1$ ) °C po dobu několika hodin, nejméně však 4 hodiny, nejvíce 24 hodin. Následně se tělesa umístí do zkušebního zařízení, které je také vytemperováno na teplotu ( $50 \pm 1$  nebo  $60 \pm 1$ ) °C a zahájí se zkouška. Ta probíhala tak, že deska je pojížděna zatíženým kolem v celkem 10 000 cyklech, tedy 20 000 pojezdy. Zařízení v každém cyklu zaznamenávalo hloubku vyjeté koleje v obou tělesech a aktuální teplotu v zařízení.

### 3.13.3 Výpočet

Ze zařízení se tedy získaly hodnoty jednotlivých deformací po každém cyklu zatěžování na obou zkušebních vzorcích. Z výsledků se dále zjišťovala výpočtem hodnota  $WTS_{AIR}$ , což je přírůstek hloubky vyjeté koleje vypočítaný jako průměrná hodnota, o kterou narůstá hloubka koleje opakovanými pojezdy zatěžovacího kola na vzduchu a  $PRD_{AIR}$ , což je poměrná hloubka vyjeté koleje zkoušené asfaltové směsi po  $N$  zatěžovacích cyklech na vzduchu.

Tyto hodnoty se zjistily následujícími výpočty:

$$PRD_{AIR} = \frac{Y_{S,1000}}{t} \times 100$$

*Rovnice 5 Výpočet poměrné hloubky vyjeté koleje*

$PRD_{AIR}$  je poměrná hloubka vyjeté koleje asfaltové směsi na vzduchu po 10 000 cyklech, v %

$Y_{S, 10000}$  je průměrná hloubka koleje z obou desek po 10 000 cyklech, v mm

$t$  je průměrná tloušťka zkušebních těles

Hodnotu  $PRD_{AIR}$  se tedy spočítala z průměrných hodnot stanovených na 2 zkušebních tělesech s přesností  $\pm 0,1$  %.

$$WTS = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

*Rovnice 6 Výpočet přírůstku hloubky vyjeté koleje*

$WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/10<sup>3</sup>

$d_{10000}, d_{5000}$  je hloubka vyjeté koleje po 10 000 a 5 000 cyklech, v mm

Hodnota  $WTS_{AIR}$  se zjistila z průměru hodnot  $WTS_{AIR}$  stanovených na dvou zkušebních tělesech.

### 3.14 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Tuhost (dle ČSN 12697-26)

Další zkouškou, která je prováděna, je zkouška pro zjištění modulů tuhosti asfaltové směsi. Její postup je popsán v normě ČSN 12697-26 Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost.

Zkoušky se provádí na zhutněném asfaltovém materiálu při vynuceném ustáleném harmonickém zatížení. Norma popisuje různé zkušební postupy alternativních zkoušek při použití různých typů zkušebních těles a podpor, ale nepředepisuje použití konkrétního zkušebního zařízení. Měření modulů tuhosti b provedeno pomocí zkoušky ohybem na vetknutém komolém klínku (2PB-TR), podle Přílohy A normy ČSN 12697-26. (36)

#### 3.14.1 Pomůcky

Ke zkoušce je potřeba zkušební zařízení, které umožňuje vyvinout sinusový dynamický průhyb na vrcholu zkušebního tělesa (použité frekvence 5

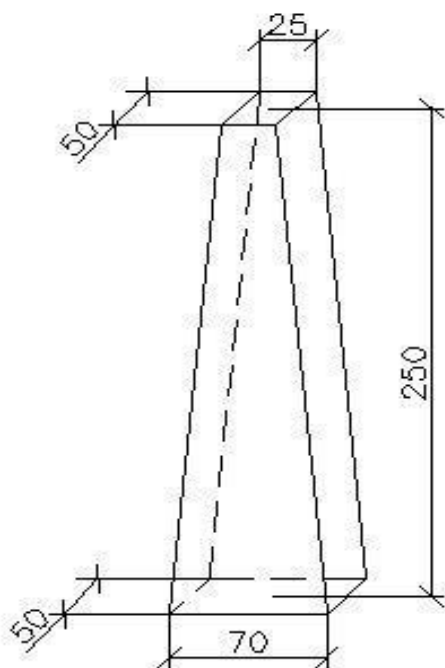
Hz – 25 Hz) a dále termostatická odvětrávací komora, ve které je možné ustálit okolní teplotu na předepsanou hodnotu po celou dobu zkoušky. Měřicí zařízení musí obsahovat snímače pro měřené dynamické síly, průhybu a fázového úhlu. Dále byly potřeba kovové podkladní destičky, háček, lepidlo, váhy s přesností 0,1 g a posuvné měřítko.



*Obr. 3. 17 Zkušební pracoviště pro měření modulů tuhosti (37)*

### **3.14.2 Postup zkoušky**

Nejdříve je potřeba připravit zkušební tělesa. Ty mají předepsané rozměry a vyřezávají se ze zkušebních desek, jejichž výroba je popsána v kapitole 3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek* pomocí diamantového kotouče. Z každé desky se tímto způsobem vyrobilo 5 zkušebních těles, celkem tedy 10 těles pro každý druh asfaltové směsi.



*Obr. 3. 18 Zkušební těleso s předepsanými rozměry pro měření modulů tuhosti (38) Uložení tělesa ve zkušebním zařízení (39)*

Přesné rozměry zkušebních těles se změřily pomocí posuvného měřítka a včetně jejich hmotnosti byly zapsány a tělesa se poté nalepila na kovovou podložku pomocí lepidla z epoxidové pryskyřice. Na horní část zkušebního tělesa se stejným způsobem nalepil háček, jehož pomocí bude těleso upevněno ve zkušebním zařízení. Takto se těleso muselo nechat po dobu min 24 hodin, aby došlo k dokonalému vytvrdnutí lepidla.

Zkouška se provedla při teplotě 15 °C, tělesa i zkušební komoru bylo tedy vždy nutné na tuto teplotu vytemperovat, a to po dobu nejméně 4 hodin. Do programu měření se zadaly rozměry tělesa a jeho hmotnost a poté bylo zkušební těleso upevněno ve zkušebním zařízení. Upevnění tělesa probíhalo pomocí kovových destiček, podkladní desky a šroubů tak, aby jeho spodní část byla vetknuta do podkladu. Háček na horní straně zkušebního tělesa je poté připevněn ke zkušebnímu zařízení. Poté musí být zahájeno vyvíjení harmonické sinusové síly na horní část tělesa.

Celkově se jedná o zkoušku nedestruktivní, nesmí tedy dojít k poškození

tělesa, či jeho vytržení z lepidla. Těleso se postupně zatěžovalo harmonickou silou o frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz a znovu 5 Hz kvůli kontrole správnosti měření. První a poslední měření na 5 Hz by se nemělo lišit o více než 3 %.

### 3.14.3 Výpočet

Z měření lze získat hodnoty vyvozené síly  $F$ , posun  $z$  a jejich fázový úhel  $\Phi$ . Modul tuhosti se spočítal jako absolutní hodnota komplexního modulu.

Modul tuhosti se skládá ze dvou složek, reálné a imaginární, které lze spočítat z rovnic:

$$E_1 = \gamma * \left( \frac{F}{z} * \cos(\phi) + \frac{\mu}{10^3} * w^2 \right)$$

*Rovnice 7 Výpočet reálné složky modulu tuhosti*

$$E_2 = \gamma * \left( \frac{F}{z} * \sin(\phi) \right)$$

*Rovnice 8 Výpočet imaginární složky modulu tuhosti*

kde  $\gamma$  je faktor tvaru jako funkce velikosti a tvaru zkušební tělesa

$\mu$  je faktor hmotnosti, který je funkcí hmotnosti zkušební tělesa

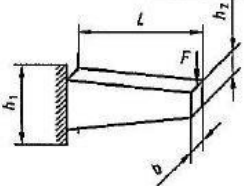
Modul tuhosti je potom jejich součtem

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

*Rovnice 9 Výpočet modulu tuhosti*

Hodnoty  $\gamma$  a  $\mu$  závisí na tvaru zkušební tělesa a způsobu upevnění. Pro měřicí metodu, která byla použita v rámci diplomové práce, je můžeme spočítat podle tabulky:

Tab. 3.2 Výpočet parametrů modulu tuhosti (36)

| Druh zatěžování                                                                             | Faktor tvaru, $\gamma$<br>$L^{-1}$                                                                                                    | Faktor hmotnosti, $\mu$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 2PB-TR<br> | $\frac{12L^3}{b(h_1 - h_2)^3} \left[ \left( 2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right]$ | $0,135 M + m^a$         |

M je hmotnost tělesa a m je hmotnost jeho pohyblivých částí.

### 3.15 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem (dle ČSN EN 12697-46)

Stanovení nízkoteplotních vlastností probíhá podle normy ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. V normě je popsáno několik možných vyhodnocení zkoušek, v rámci diplomové práce bude prováděno vyhodnocení zkoušky TSRST, neboli stanovení minimální teploty, kterou je asfaltová směs schopna snést před porušením pomocí zkoušky nízkoteplotních vlastností s rovnoměrně řízeným poklesem teploty.

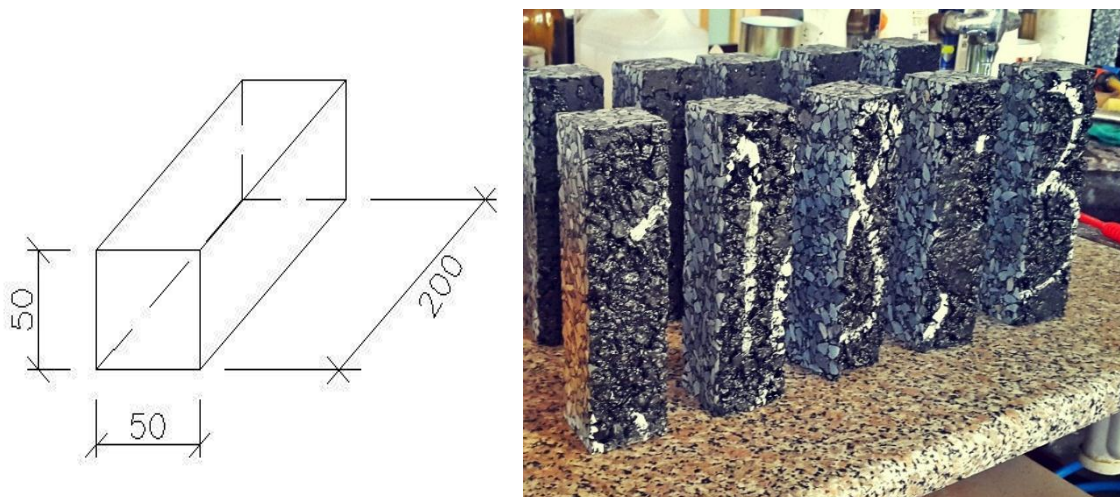
Podstatou této zkoušky je vystavení vzorku s udržovanou konstantní délkou poklesu teploty s konstantní rychlostí. Tím, že se zamezí tepelnému smršťování, dochází k vývinu tzv. kryogenního napětí ve vzorku a výsledkem jeho šíření dojde k porušení vzorku. (40)

#### 3.15.1 Pomůcky

K měření je potřeba především zkušební zařízení vhodné pro provádění zkoušky TSRST, měření je provedeno na zkušebním zařízení pro stanovení nízkoteplotních vlastností CYKLON – 40, součástí zařízení je i temperovací komora, která dovolovala postupné snižování teploty. Dále jsou použity čelisti pro nalepení vzorku, lepidlo a centrovací rám.

### 3.15.2 Postup zkoušky

Před samotnou zkouškou je potřeba si připravit zkušební tělesa. Ty budou vyřezány pomocí diamantové pily z již vyrobených desek, které budou připraveny dle kapitoly 3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*. Z každé desky vznikne celkem 5 zkušebních těles pro každý typ směsi. Rozměry zkušebních těles byly 50 x 50 x 200 mm.



Obr. 3. 19 Rozměry zkušební tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností, v mm (36) a vyřezaná zkušební tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností (41)

Připravené vzorky se nalepí na čelisti pomocí lepidla z epoxidové pryskyřice. Při této zkoušce je důležité přesné vycentrování vzorků, čehož bylo dosaženo pomocí centrovacího rámu. Takto nalepený vzorek se musí nechat min. 24 hodin v rámu, aby došlo k vytvrdnutí lepidla.



Obr. 3. 20 Nalepený vzorek v centrovacím rámu (42)

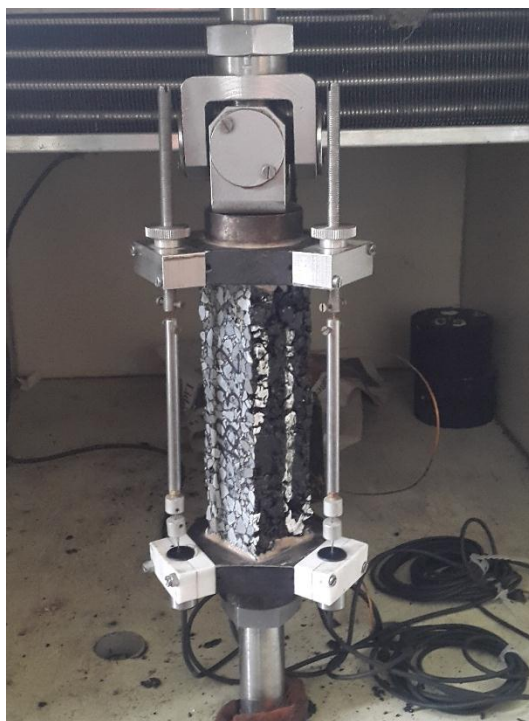
Zkušební těleso se poté umístí do zkušebního zařízení pomocí čelistí, které se připojily k zatěžovacímu zařízení. Do programu se zadaly rozměry tělesa a nastavila se nulová poloha upevněných snímačů. Před samotným zahájením zkoušky se těleso nechalo tzv. kondiciovat při počáteční teplotě  $T_0$ , a to po dobu 15 minut, aby se vyrovnala tepelná deformace.

Poté se začíná konstantně snižovat teplota rychlostí  $10\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$ . Kvůli pevnému upevnění tělesa dochází k omezování smršťování a k nárůstu kryogenního napětí až do porušení tělesa.

### 3.15.3 Výsledky

Výstupem zkoušky je protokol, kde je uvedena především teplota vzorku při porušení  $T_{\text{failure}}$  v  $^{\circ}\text{C}$ , napětí při porušení  $\sigma_{\text{cry}}$ , failure v MPa, síla při porušení  $F_{\text{cry}}$ , failure v kN, počáteční teplota  $T_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a rychlost řízení teploty  $dT$ . Součástí protokolu je také graf vyjadřující závislost mezi kryogenním napětím či silou a teplotou  $T$ .

Za výsledek se považuje průměr ze tří měření na jedné asfaltové směsi.



*Obr. 3. 21 Umístění zkušebního tělesa v zařízení pro zjišťování nízkoteplotních vlastností (43)*

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části jsou řešeny vybrané směsi SMA 11 S ze zkušebního úseku. Asfaltová směs číslo 1 je referenční která, obsahuje asfaltové pojivo modifikované polymerem a další směsi se liší obsaženém pojivu, je modifikace pryžovým granulátem nebo 30 % R-materiálu.

Úkolem byla výroba zkušebních těles pro naměření požadovaných funkčních vlastností směsí. Vybrané asfaltové směsi se liší vlastnostmi:

Tab. 4. 1 Asfaltové směsi

| Směs | Asfalt | R-materiál běžný | Celulózové vlákno | Pryžový granulát |            |
|------|--------|------------------|-------------------|------------------|------------|
| 1    | PMB    | -                | ano               | -                | Referenční |
| 4    | PMB    | 30 %             | ano               | -                | -          |
| 7    | 50/70  | -                | ano               |                  | -          |
| 14   | 50/70  | -                | -                 | ano              | -          |
| 16   | 50/70  | 30 %             | -                 | ano              | -          |

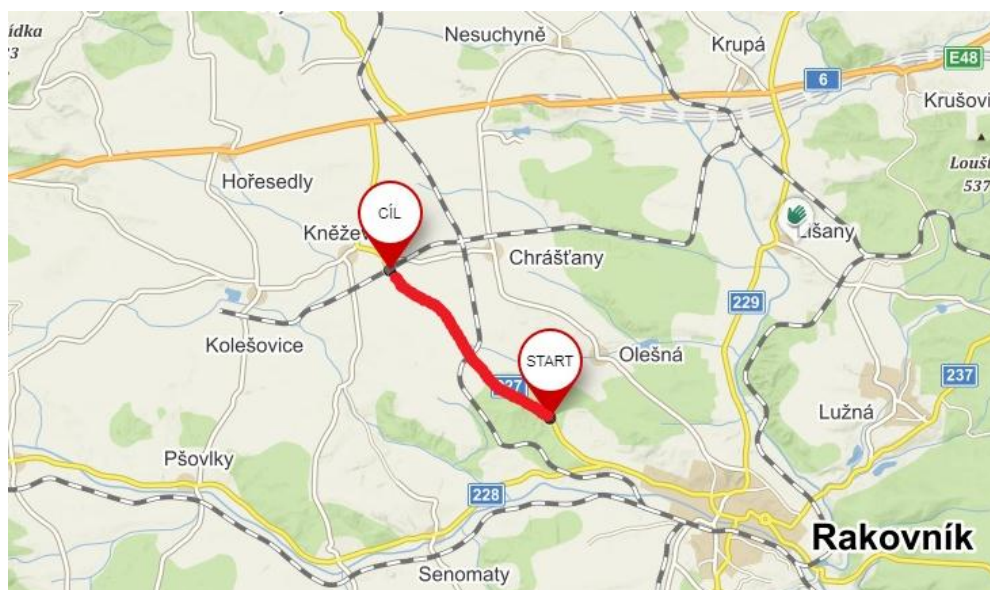
### 4.1.1 Zkušební úsek – Silnice II/227

Jedná se o silnici II. třídy ve Středočeském kraji v okrese Rakovník. Silnice II/227 je spojnicí města Žatec s Rakovníkem a městysem Křivoklát. Ze Žatce vychází ze silnice II/225 jižním směrem na kruhovém objezdu v Komenského sadech. Zhruba v polovině své délky se kříží s rychlostní silnicí R6 a končí v Křivoklátu pod hradem napojením na silnici II/201.

Celková délka této silnice je zhruba 48 km. Předmětný úsek (Obr. 3.6) se nachází mezi městem Rakovník a obcí Kněževes v délce 4 783 metrů. V půlce úseku se komunikace kříží s železniční tratí. Silnice je důležitou součástí místní infrastruktury. Je rovněž využívána při neprůjezdnosti zmíněné silnice R6 z důvodu havárií, oprav, ale také kongescí.

V budoucnu je plánované zahájení rozšíření úseku Nové Strašecí-Řevničov na čtyřpruhové uspořádání a také obchvat obce Řevničov. Díky tomu se silnice II/227 stane vyhledávanou objízdou trasou. Z těchto uvedených faktů a z provedeného celostátního sčítání dopravy v roce 2010 vyplývá, že je silnice značně vytěžována. Z tohoto důvodu je úsek velmi vhodný

pro navrhované směsi asfaltového koberce mastixového s R-materiálem do obrusné vrstvy vozovky.



Obr. 4. 1 Předmětný úsek silnice II/227 (13)

Dle celostátního sčítání dopravy v roce 2010 byly naměřeny hodnoty RPDÍ (voz/24hod.): (51)

- O (osobní a dodávková vozidla): 1688
- TV (těžká motorová vozidla): 352
- M (jednostopá motorová vozidla): 9
- SV (součet všech vozidel): 2059

### 4.1.2 Návrh řešení

Návrhem řešení daného úseku je vyfrézovat stávající povrch vozovky do hloubky 110 mm a položit nově navržené směsi. Nově navržené vrstvy budou položeny v tloušťce 70 mm asfaltový beton pro ložní vrstvy (ACL 22 S) a 40 mm asfaltový koberec mastixový jako obrusná vrstva (SMA 11 S).

Při návrhů směsí technickými univerzitami bylo aplikováno jak tradiční silniční asfaltové pojivo (asfalt 50/70) s pryžovým granulátem pro zlepšení parametrů původního asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu, tak také modifikované asfaltové pojivo PMB 45/80-55, které se v ČR běžně používá do směsí typu SMA. Pro ověření použitelnosti R-materiálu do typů směsí SMA byly použity dva druhy R-materiálu.

V první fázi byl použit běžně dostupný R-materiál v ČR. Jedná se o vyfrézované asfaltové směsi jak z obrusné, ložní tak podkladní vrstvy převážně se silničním asfaltem. Tento R-materiál byl dávkován v rozmezí 20 a 30 %. V druhé fázi byl zkoušen R-materiál vyfrézován pouze ze směsí typu SMA, tedy s modifikovaným asfaltem a přerušenou čarou zrnitosti, která je typická pro směsi typu SMA. Díky tomu mohl být tento R-materiál dávkován ve vyšším množství a to 30 % a 50 %.

Experimentálně navržené směsi byly ověřeny souborem nejen standardních parametrů typu odolnost proti vzniku trvalých deformací, ale současně i souborem funkčních charakteristik, jako je tuhost a chování při nízkých teplotách, které umožňují velmi dobře predikovat chování výsledné směsi v konstrukci během její životnosti.

## 4.2 Použité materiály

### 4.2.1 Kamenivo

Kamenivo, které bylo použité při míchání asfaltové směsi na obalovně, bylo z kamenolomu Sýkořice ve Zbečně. Využité kamenivo bylo ve frakcích 0/2, 2/5, 4/8, 8/11 a vápencová moučka.



Obr. 4. 3 Kamenivo Zbečno, frakce 0/2 (16)



Obr. 4. 2 Kamenivo Zbečno, frakce 2/5 (16)



*Obr. 4. 5 Kamenivo Zbečno, frakce 4/8 (16)*



*Obr. 4. 4 Kamenivo Zbečno, frakce 8/11 (16)*

#### **4.2.2 Vápencová moučka**

Vápencová moučka (tzv. filer) je kamenivo, u kterého většina zrn propadne sítem o velikosti 0,063 mm.



*Obr. 4. 6 Vápencová moučka použitá v této diplomové práci (16)*

Pro výrobu směsí s 30 % R-materiálu byl použit materiál vyfrézovaný z celé konstrukce vozovky z asfaltového betonu. Materiál byl na obalovně zhomogenizována a předrcen na frakci 0/11.



*Obr. 4. 7 R-materiál frakce 0/11 (16)*



*Obr. 4. 8 Froněk spol. s.r.o. – Obalovna BRANT v Rakovníku s nainstalovaným paralelním bubnem pro přidávání R-materiálu (16)*

### **4.2.3 Asfaltové pojivo**

Pro návrh krytu vozovek ze směsi asfaltového koberce mastixového, určeného pro vozovky s vyšší třídou dopravního zatížení, se standardně používá modifikovaný asfalt z důvodu zajištění vysokých požadavků na celkovou kvalitu směsi.

V rámci zkušebního úseku bylo použito asfaltové pojivo modifikované polymerem PMB 45/80-55 (směs 1 a 4) a asfaltové pojivo 50/70 modifikované pryžovým granulátem (směs 7, 14 a 16). Pryžový granulát byl přidán jednak v sypké formě jemně drcené pryže ve směsích 14 a 16 a ve směsi 7 byla pryž přidána pomocí celulózové granule, která měla pryž obsaženou v sobě. Pryžový granulát byl přidán přímo do míchačky v množství 16 % z celkové hmotnosti asfaltového pojiva.

V případě použití přísady pryžového granulátu byl přidán silniční asfalt 50/70. Výrobce uvádí, že modifikace asfaltu touto přísadou přináší zvýšení stability, zlepšení chování při nízkých teplotách, optimalizuje přilnavost ke kamenivu a snížení hluku. Při použití R-materiálu dochází k reaktivaci oxidovaného pojiva a dosahuje zlepšení jeho komponentů. Jedná se o alternativu k polymerem modifikovanému asfaltu, protože má rovněž modifikační účinek. Přísada vzniká speciálním homogenním výrobním procesem. Z pryžového granulátu jsou získány podobné vlastnosti jako u polymeru. Pryžový granulát se získává z vybraných použitých pneumatik a má velikost zrn do 0,8 mm.

V této souvislosti se jedná o pneumatiky pro nákladní automobily, které mají obzvláště vysoký podíl přírodního kaučuku. Definované výrobní vstupy a permanentní monitorování výroby garantují perfektní kvalitu produktu. Množství pryžového granulátu bylo 16 % dle specifikací výrobce.

### 4.2.4 Regenerační přísada

Pro změkčení zestárlého (oxidovaného) asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu se používají regenerační přísady. V případě výroby SMA 11 S s 30 % R-materiálu byla použita regenerační přísada na bázi ropného derivátu získaného sekundární rafinací. Množství použité přísady bylo dodrženo dle doporučení výrobce v závislosti na zestárnutí asfaltového pojiva v R-materiálu. (18)

### 4.2.5 Celulózové vlákno S-CEL 7G

Použití těchto vláken v asfaltových směsích typu SMA umožňuje zvýšení

obsahu asfaltu v obalovaných směsích, snižuje stékavost asfaltu z kameniva a také zvyšuje měrný povrch a tím udržení asfaltu ve směsi.

Celulózové vlákno, které se používá jako přísada do asfaltové směsi, se vyrábí z výběrového tříděného papíru technologií zpětného rozvláknění v turbíně na základní celulózová vlákna. Celulózová vlákna nejsou zdraví škodlivá, neobsahují žádné škodlivé látky a v případě likvidace či náhodného úniku do okolního prostředí, například při dávkování, jsou biologicky odbouratelná

Tab. 4. 2 Technické informace (6)

| <b>Technické informace:</b> |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| průměrná délka vlákna       | cca 1,2mm                     |
| tloušťka vlákna             | cca 35–45 µm                  |
| objemová hmotnost           | cca 460–500 kg/m <sup>3</sup> |
| ph faktor                   | 7,5 ± 1                       |
| průměrná expediční vlhkost  | méně než 5,5 % hmotnosti      |
| vzhled                      | šedohnědý granulát            |
| průměr granulí              | 6 mm                          |
| průměrná délka granulí      | 2–10 mm                       |
| doporučené dávkování        | 3–4 kg / 1 t směsi            |

Výrobce doporučuje suché míchání v rozmezí od 9 do 15 sekund (kamenivo + celulózový granulát) a dokonalé rozpuštění jednotlivých granulí je třeba vždy zkušebně ověřit. Dávkování je doporučeno v poměru 0,3 % hmotnosti asfaltové směsi (v některých případech 0,4 %, například u jemné zrnitosti kameniva). Celulózové vlákno se doporučuje dávkovat současně s kamenivem a promíchat před vsypem dalších komponentů.

V rámci úseku byla použita dvě vlákna. Jedno standardní používané pro směsi typu SMA (směs 1 a 4) a druhé s obsahem pryže, která měla za úkol modifikaci asfaltového pojiva (směs 7). Ve směsích 14 a 16 byla stékavost zajištěna obsaženým pryžovým granulátem.



Obr. 4. 9 Technické informace o celulóзовém vláknu od firmy CIUR a.s. (19)

### 4.3 Výsledky provedených zkoušek

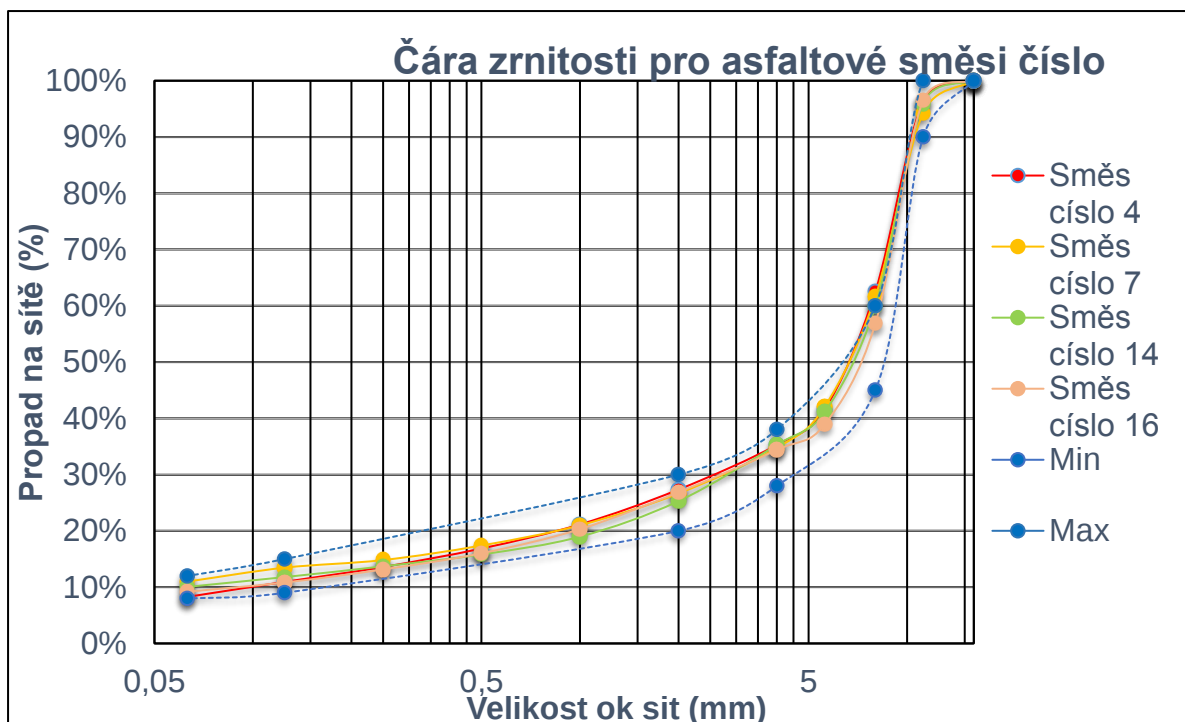
V následující kapitole jsou uvedeny výsledky všech zkoušek, které byly v rámci praktické části mé diplomové práce prováděny. Tyto zkoušky jsou popsány v předešlé kapitole 3.7 *Použité zkoušky a zkušební metody*.

#### 4.3.1 Sítový rozbor

K míchání výsledné asfaltové směsi typu SMA došlo na obalovně firmy Froněk s.r.o. Použitý R-materiál s přidáváním pryžovým granulátem do asfaltové směsi.

Tab. 4. 3 . Sítový rozbor asfaltové směsi

| Směs<br>č. /<br>frakce<br>síta | 16   | 11,2 | 8     | 5,6   | 4     | 2     | 1     | 0,5   | 0,25  | 0,125 | 0,063 | asfaltu |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1                              | 100% | 97%  | 61,8% | 42,4% | 34,5% | 26,3% | 21,3% | 18,1% | 15,6% | 13,0% | 10,2% | 6,5%    |
| 4                              | 100% | 96%  | 63%   | 42%   | 35%   | 27%   | 21%   | 17%   | 14%   | 11%   | 8,3%  | 6,3%    |
| 7                              | 100% | 94%  | 62%   | 42%   | 35%   | 27%   | 21%   | 17%   | 15%   | 13%   | 11,0% | 6,6%    |
| 14                             | 100% | 96%  | 60%   | 41%   | 35%   | 25%   | 19%   | 16%   | 14%   | 12%   | 10,1% | 6,6%    |
| 16                             | 100% | 97%  | 56,9% | 38,9% | 34,4% | 26,9% | 20,3% | 16,0% | 13,2% | 10,8% | 9,2%  | 7,0%    |



Graf 1 Čára zrnitosti pro asfaltové směsi

V grafu můžeme konstatovat že, asfaltové směsi, které obsahují R-materiálem (směs 4 a 16 červených a růžových barev) mají větší propad než asfaltové směsi bez R-materiálu (směs 7 a 14 žlutých a zelených barev) ale obě splňují minimální a maximální (modrá barva) propad, který je popsán v normě ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi.

#### 4.3.2 Objemové hmotnosti směsí

V rámci práce jsem provedl stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti, abych zjistil, zda směsi splňují podmínky dané normou ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový. (44)

Na vyrobených Marshallových tělesech dle postupu uvedeného v kapitole 3.10 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem jsem stanovil mezerovitost a objemovou hmotnost zkušebních těles. Při stanovení maximální objemové hmotnosti jsem postupoval podle kapitoly 3.9 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi a při stanovení objemové hmotnosti a následné mezerovitosti jsem postupoval podle kapitoly 3.12 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti. (44)

Naměřené hodnoty jsem vypsál do níže uvedených tabulek:

Tab. 4. 4 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 4

| Asfaltová směs č. 4                         |                   |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi | kg/m <sup>3</sup> | 2521,0 |        |        |
| Zkušební těleso označení                    |                   | 4.2    | 4.3    | Průměr |
| hmotnost suchého tělesa                     | g                 | 1207,0 | 1221,2 | 1214,1 |
| hmotnost pod vodou                          | g                 | 713,4  | 721,5  | 717,5  |
| hmotnost nasycené (osušené)                 | g                 | 1209,5 | 1225,2 | 1217,4 |
| Stanovení objemové hmotnosti $\rho(bssd)$   | kg/m <sup>3</sup> | 2427,9 | 2419,4 | 2423,7 |
| Mezerovitost                                | %                 | 3,7    | 4,0    | 3,9    |

Z tabulek je patrné, že mezerovitost zkoušených směsí je v rozmezí, které je požadováno aktualizací normy ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový, které je 2,5 – 4,0 %. (44)

Tab. 4. 5 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 7

| Asfaltová směs č. 7                         |                   |        |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi | kg/m <sup>3</sup> | 2481,9 |        |        |        |
| Zkušební těleso označení                    |                   | 7.1    | 7.2    | 7.3    | Průměr |
| hmotnost suchého tělesa                     | g                 | 1224,1 | 1222,1 | 1219,4 | 1221,9 |
| hmotnost pod vodou                          | g                 | 715,2  | 715,9  | 713,5  | 714,9  |
| hmotnost nasycené (osušené)                 | g                 | 1225,9 | 1223,8 | 1221,0 | 1223,6 |
| Stanovení objemové hmotnosti $\rho(bssd)$   | kg/m <sup>3</sup> | 2414,0 | 2404,4 | 2398,7 | 2405,7 |
| Mezerovitost                                | %                 | 2,8    | 2,7    | 3,1    | 2,9    |

Z tabulek je patrné, že mezerovitost zkoušených směsí je v rozmezí, které je požadováno aktualizací normy ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový, které je 2,5 – 4,0 %. (44)

Tab. 4. 6 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 14

| Asfaltová směs č. 14                        |                   |        |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi | kg/m <sup>3</sup> | 2456,6 |        |        |        |
| Zkušební těleso označení                    |                   | 14.1   | 14.2   | 14.3   | Průměr |
| hmotnost suchého tělesa                     | g                 | 1222,3 | 1225,7 | 1221,0 | 1223,0 |
| hmotnost pod vodou                          | g                 | 719,6  | 718,6  | 714,9  | 717,7  |

|                                           |                   |        |        |        |        |
|-------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| hmotnost nasycené (osušené)               | g                 | 1223,7 | 1227,8 | 1222,5 | 1224,7 |
| Stanovení objemové hmotnosti $\rho(bssd)$ | kg/m <sup>3</sup> | 2398,7 | 2389,4 | 2393,8 | 2394,0 |
| Mezerovitost                              | %                 | 2,4    | 2,7    | 2,6    | 2,6    |

Z tabulek je patrné, že mezerovitost zkoušených směsí je v rozmezí, které je požadováno aktualizací normy ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový, které je 2,5 – 4,0 %. (44)

Tab. 4. 7 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 16

| Asfaltová směs č. 16                        |                   |        |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi | kg/m <sup>3</sup> | 2489,0 |        |        |        |
| Zkušební těleso označení                    |                   | 16.1   | 16.2   | 16.3   | Průměr |
| hmotnost suchého tělesa                     | g                 | 1221,0 | 1203,5 | 1199,2 | 1200,6 |
| hmotnost pod vodou                          | g                 | 708,9  | 705,4  | 710,3  | 708,2  |
| hmotnost nasycené (osušené)                 | g                 | 1205,9 | 1201,0 | 1202,0 | 1203,0 |
| Stanovení objemové hmotnosti $\rho(bssd)$   | kg/m <sup>3</sup> | 2416,5 | 2414,6 | 2436,6 | 2422,6 |
| Mezerovitost                                | %                 | 2,9    | 3,0    | 2,1    | 2,7    |

Z tabulek je patrné, že mezerovitost zkoušených směsí je v rozmezí, které je požadováno aktualizací normy ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový, které je 2,5 – 4,0 %. (44)

### 4.3.3 Příprava zkušebních těles

Po výrobě zkušebních těles. Celkem byly prováděny tři zkoušky, ke kterým bylo nutné vyrobit zkušební desky podle kapitoly 3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*.

Pro každou směs bylo potřeba vyrobit jedna deska pro zkoušku pojíždění kolem v tloušťce 40 mm, dvě desky v tloušťce 50 mm pro zhotovení zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti a jednu desku v tloušťce 50 mm pro zhotovení zkušebních těles pro stanovení nízkoteplotních vlastností.

Celkem tedy 15 desek, u nichž se kontrolovala především míra zhutnění a mezerovitost. Míra zhutnění se musí pohybovat od 99,0 do 101,0 % a

mezerovitost od 2,5 % do 4,0 %. Byly také stanoveny teploty míchání směsi a hutnění směsi.

V následující kapitole jsou uvedeny parametry míry zhutnění, mezerovitosti a objemové hmotnosti desek, které byly při zkouškách použity, podrobnější popis a kompletní seznam zhotovených desek je uveden v Příloze B.

### 1.) Asfaltová směs označená 4 s polymerem modifikovaným pojivem a obsahem 30 % R-materiálu

Maximální objemová hmotnost: 2 521 kg/m<sup>3</sup>

Tab. 4. 8 Asfaltová směs s polymerem modifikovaným pojivem a obsahem 30 % R-materiálu

| Asfaltová směs označená 4 s polymerem modifikovaným pojivem a obsahem 30 % R-materiálu |          |               |               |                 |                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| Deska                                                                                  | Tloušťka | Míra zhutnění | Mezerovitosti | Objem. Hmotnost | Prováděná zkouška        |
| 4.4                                                                                    | 50       | 100,3%        | 3,90%         | 2422,8          | moduly tuhosti           |
| 4.5                                                                                    | 50       | 100,1%        | 4,00%         | 2419,0          | nízkoteplotní vlastnosti |
| 4.6                                                                                    | 50       | 100,4%        | 3,80%         | 2426,4          | moduly tuhosti           |
| 4.7                                                                                    | 40       | 100,4%        | 3,70%         | 2427,3          | pojízdní kolem 60 °C     |

### 2.) Asfaltová směs označená 7 50/70 bez obsahu R-materiálu a s celulóзовým vláknem s přidavkem pryžového granulátu

Maximální objemová hmotnost: 2 481,9 kg/m<sup>3</sup>

Tab. 4. 9 Asfaltová směs 50/70 bez obsahu R-materiálu a s celulóзовým vláknem s přidavkem pryžového granulátu

| Asfaltová směs označená 4 50/70 bez obsahu R-materiálu a s celulóзовým vláknem s přidavkem pryžového granulátu |          |               |               |                 |                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| Deska                                                                                                          | Tloušťka | Míra zhutnění | Mezerovitosti | Objem. Hmotnost | Prováděná zkouška        |
| 7.5                                                                                                            | 50       | 100,1%        | 2,80%         | 2413,0          | nízkoteplotní vlastnosti |
| 7.6                                                                                                            | 50       | 99,9%         | 3,00%         | 2406,7          | moduly tuhosti           |
| 7.7                                                                                                            | 50       | 99,9%         | 3,00%         | 2407,8          | moduly tuhosti           |
| 7.8                                                                                                            | 40       | 99,9%         | 3,00%         | 2408,0          | pojízdní kolem 60 °C     |

## Vlastnosti asfaltových směsí typu SMA s R-materiálem

|      |    |       |       |        |                          |
|------|----|-------|-------|--------|--------------------------|
| 7.9  | 50 | 99,1% | 3,80% | 2387,5 | nízkoteplotní vlastnosti |
| 7.10 | 40 | 98,7% | 4,20% | 2377,6 | pojízdní kolem           |

### 3.) Asfaltová směs označená 14 50/70 bez obsahu R-materiálu a s pryžových granulátem

Maximální objemová hmotnost: 2 456,6 kg/m<sup>3</sup>

*Tab. 4. 10 Asfaltová směs 50/70 bez obsahu R-materiálu a s pryžových granulátem*

| Asfaltová směs označená 7 50/70 bez obsahu R-materiálu a s pryžových granulátem |          |               |               |                 |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| Deska                                                                           | Tloušťka | Míra zhutnění | Mezerovitosti | Objem. Hmotnost | Prováděná zkouška        |
| 14.2                                                                            | 50       | 99,8%         | 2,70%         | 2389,1          | moduly tuhosti           |
| 14.3                                                                            | 50       | 99,7%         | 2,80%         | 2387,2          | moduly tuhosti           |
| 14.4                                                                            | 50       | 99,1%         | 3,40%         | 2372,4          | nízkoteplotní vlastnosti |
| 14.5                                                                            | 40       | 99,1%         | 3,50%         | 2371,2          | pojízdní kolem 60 °C     |
| 14.7                                                                            | 40       | 99,1%         | 3,30%         | 2375,8          | pojízdní kolem           |
| 14.8                                                                            | 40       | 99,5%         | 2,90%         | 2385,9          | pojízdní kolem           |
| 14.9                                                                            | 40       | 99,6%         | 2,80%         | 2387,7          | pojízdní kolem 60 °C     |
| 14.10                                                                           | 40       | 99,0%         | 3,40%         | 2372,8          | nízkoteplotní vlastnosti |

### 4.) Asfaltová směs označená 16 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu a s pryžovým granulátem

Maximální objemová hmotnost: 2 489,0 kg/m<sup>3</sup>

*Tab. 4. 11 Asfaltová směs 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu a s pryžovým granulátem*

| Asfaltová směs 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu a s pryžovým granulátem |          |               |               |                 |                          |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| Deska                                                                   | Tloušťka | Míra zhutnění | Mezerovitosti | Objem. Hmotnost | Prováděná zkouška        |
| 16.1                                                                    | 50       | 99,9%         | 2,80%         | 2419,1          | moduly tuhosti           |
| 16.2                                                                    | 50       | 100,2%        | 2,50%         | 2427,6          | moduly tuhosti           |
| 16.3                                                                    | 50       | 100,4%        | 2,30%         | 2431,6          | nízkoteplotní vlastnosti |
| 16.5                                                                    | 40       | 99,7%         | 3,30%         | 2413,9          | pojízdní kolem           |
| 16.6                                                                    | 40       | 101,0%        | 1,70%         | 2446,3          | pojízdní kolem           |
| 16.7                                                                    | 40       | 100,6%        | 2,10%         | 2437,1          | pojízdní kolem           |

|      |    |       |       |        |                          |
|------|----|-------|-------|--------|--------------------------|
| 16.8 | 40 | 99,3% | 3,40% | 2404,4 | pojíždění kolem<br>60 °C |
|------|----|-------|-------|--------|--------------------------|

#### 4.3.4 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka –

##### Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22)

První funkční zkouška na zkušebních tělesech, která byla provedena, byla zkouška odolnosti proti trvalým deformacím neboli zkouška pojíždění kolem. Její postup je popsán v kapitole 3.13 *Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Zkouška pojíždění kolem (dle ČSN EN 12697-22)*.

Zkouška byla provedena u každé ze čtyř směsí, Zkouška probíhala při teplotě 50°C a 60°C, což jsou teploty, při které se má zkouška provádět dle připravované aktualizace normy ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály: Asfaltový koberec mastixový.

Z naměřených hodnot jsem si zjistil hloubku vyjeté koleje po 10 000 cyklech  $Y_{S,10\,000}$  a následně vypočítal hodnotu  $PRD_{AIR}$ , což je průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje, a  $WTS_{AIR}$ , což je poměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje. Požadavky aktualizace normy ČSN EN 13108-5 jsou maximální hodnota  $PRD_{AIR}$  6,0 % a hodnota  $WTS_{AIR}$  musí být maximálně 0,07 mm po 1000 cyklech.

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou podrobně v příloze C. Zde je uvedeno shrnutí výsledků na porovnávaných směsích.

V tabulce jsou uvedeny dva druhy hodnot. Ty v zelené barvě označují, že zkouška se prováděla při teplotě 50 °C a v ty modré barvě, že zkouška se prováděla při teplotě 60°C.

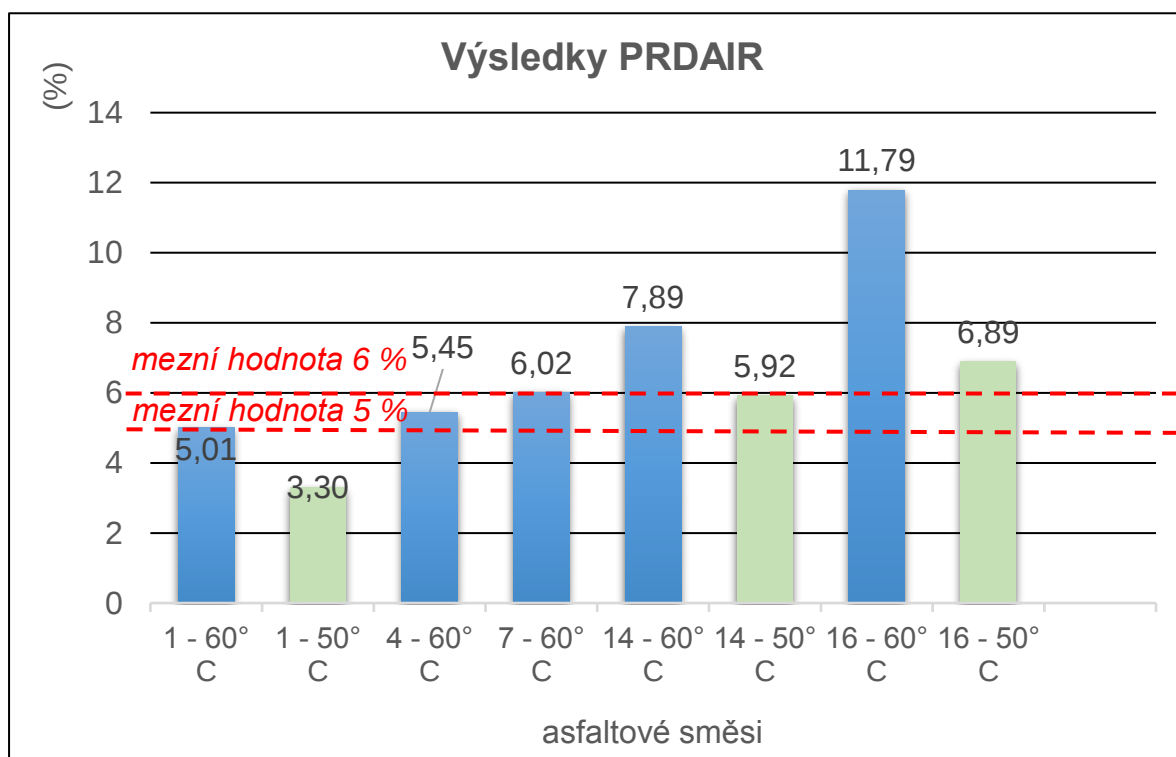
Tab. 4. 12 Výsledky zkoušky pojíždění kolem

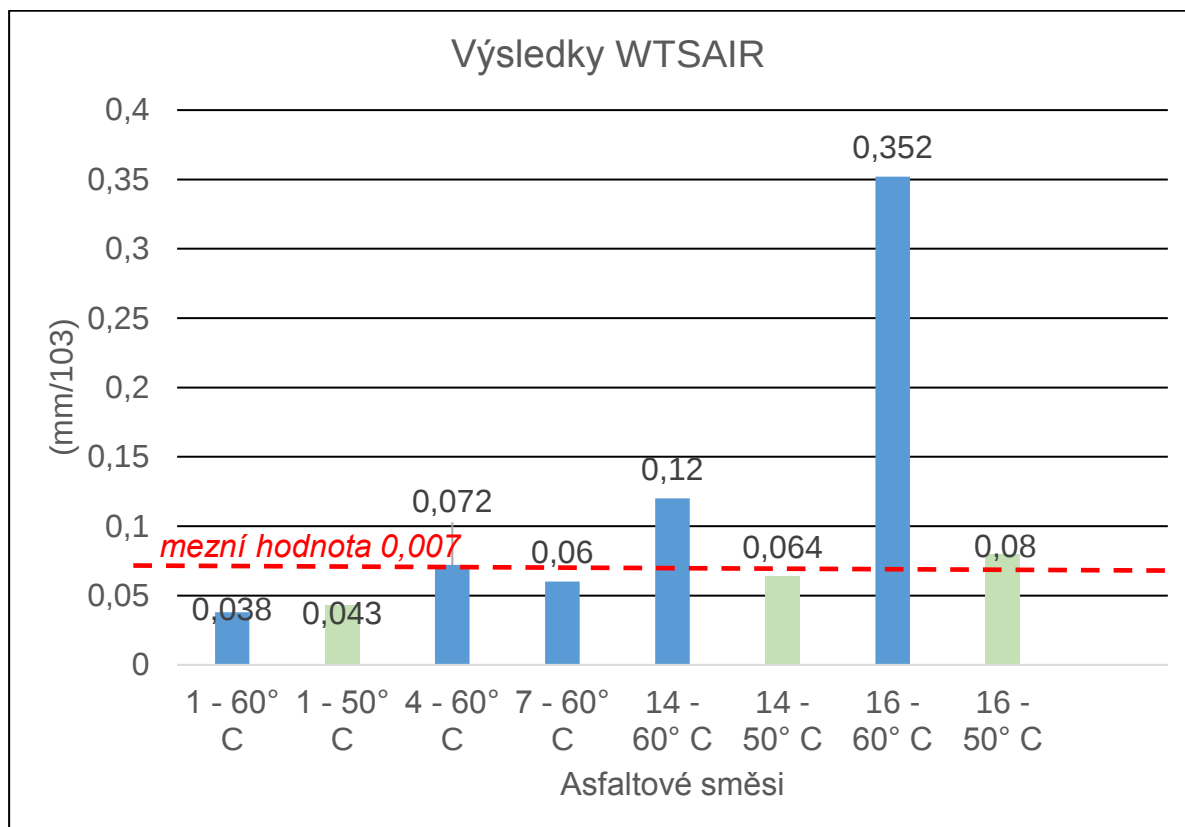
| Číslo směs | tloušťka | Mezerovitost | Míra zhutnění | $Y_{S,10}$ | $PRD_{AIR}$ |
|------------|----------|--------------|---------------|------------|-------------|
|            | [mm]     | (%)          | (%)           | [mm]       | [%]         |
| 1          | 40,05    | 4,45         | 98,6          | 0,32       | 3,30        |
| 1          | 38,29    | 2,80         | 100,4         | 0,17       | 4,52        |

|    |       |      |       |      |       |
|----|-------|------|-------|------|-------|
| 4  | 39,83 | 3,70 | 100,4 | 0,18 | 5,45  |
| 7  | 39,39 | 3,00 | 99,9  | 0,21 | 6,02  |
| 14 | 39,82 | 3,50 | 99,1  | 0,25 | 7,89  |
| 14 | 40,51 | 3,30 | 99,1  | 0,21 | 5,92  |
| 16 | 39,69 | 3,40 | 99,3  | 0,29 | 11,79 |
| 16 | 38,76 | 2,55 | 100,7 | 0,23 | 6,89  |

Tab. 4. 13 Výsledky zkoušky pojiždění kolem

| Číslo směs | max. PRDAIR dle normy | WTS <sub>AIR</sub>         | max. WTS <sub>AIR</sub> dle normy | Teplota zkoušení | Bod měknutí |
|------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------|
|            | [%]                   | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů] | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]        | (° C)            | [°C]        |
| 1          | 5,00                  | 0,043                      | 0,07                              | 50               |             |
| 1          | 6,00                  | 0,038                      | 0,07                              | 60               | 64,10       |
| 4          | 6,00                  | 0,07                       | 0,07                              | 60               | 64,50       |
| 7          | 6,00                  | 0,06                       | 0,07                              | 60               | 59,60       |
| 14         | 6,00                  | 0,12                       | 0,07                              | 60               | 53,50       |
| 14         | 5,00                  | 0,06                       | 0,07                              | 50               | 53,50       |
| 16         | 6,00                  | 0,35                       | 0,07                              | 60               | 57,10       |
| 16         | 5,00                  | 0,08                       | 0,07                              | 50               | 57,10       |


Graf 2 Výsledky PDR<sub>AIR</sub>

Graf 3 Výsledky WTS<sub>AIR</sub>

#### 4.3.5 Vyhodnocení zkoušky poježdění kolem

Z výsledků je patrné, že směsi číslo 4 a 7 splňují požadavky dané chystanou aktualizací normy.

Výsledné hodnoty jsou závislé nejen na bodu měknutí, ale také na míře zhuštění a mezerovitosti jednotlivých zkoušených těles.

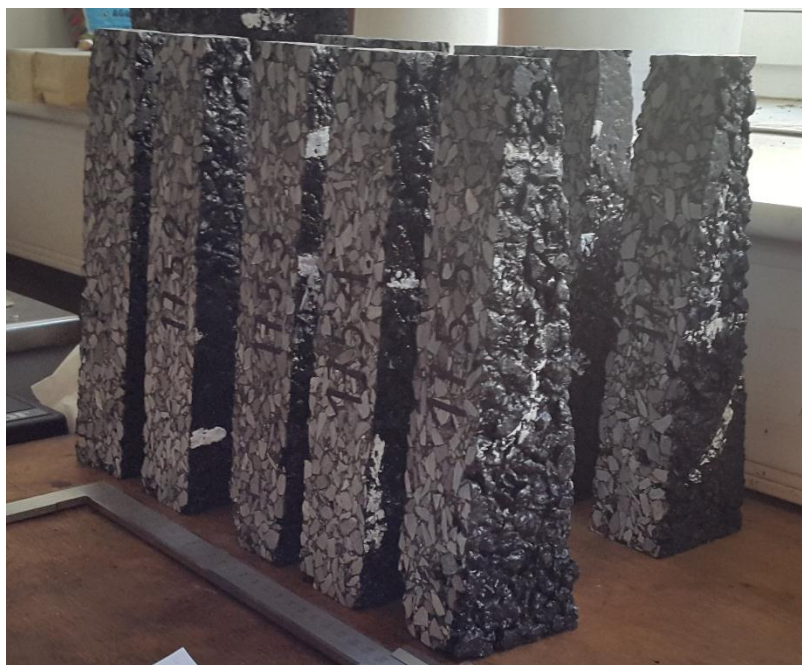
#### 4.3.6 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Tuhost (dle ČSN EN 12697-26)

Způsob měření modulů tuhosti je popsán v kapitole 3.14 *Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Tuhost (dle ČSN EN 12697-26)*. Pro tuto zkoušku bylo potřeba celkem 40 vzorků ve tvaru trapezoidu, od každé směsi po deseti vzorcích. Vzorky byly nařezány z desek 4.4, 4.6, 7.7, 7.6, 14.2, 14.3, 16.1 a 16.2 (viz kapitola 4.3.3 *Příprava zkušebních těles* a Příloha B). Všechny desky byly nařezány pomocí diamantového kotouče dle požadovaných rozměrů.



*Obr. 4. 10 Řezání zkušebních těles pomocí  
diamantového kotouče. (45)*

Na zkušební tělesa poté byly upevněny háčky a podkladní destičky, viz kapitola 4.3.7.1



*Obr. 4. 11 Zkušební tělesa tvaru trapezoidu pro měření  
modulu tuhosti asfaltové směsi (46)*

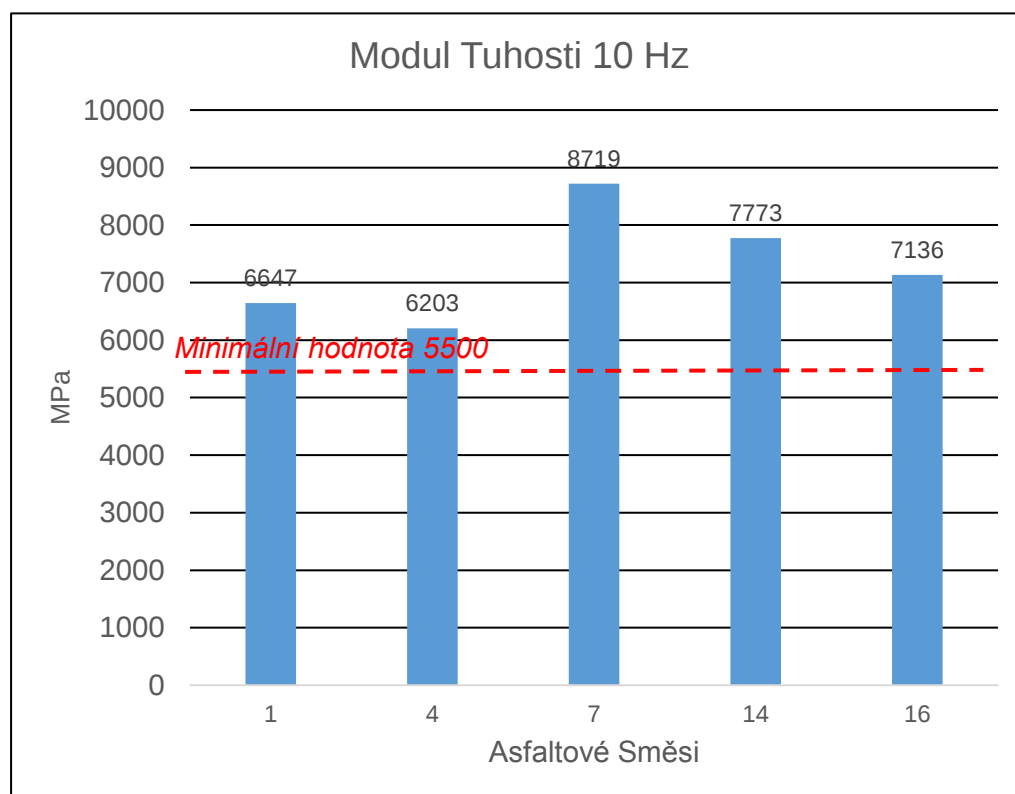
Zkouška byla prováděna při teplotě 15 °C a frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Podrobně jsou naměřené hodnoty uvedeny v Příloze E.

V technických podmínkách TP 170 jsou vypsány návrhové moduly pružnosti asfaltových směsí při teplotě +15 °C pro jednotlivé asfaltové směsi a druhy pojiva. Pro SMA je dána minimální hodnota modulu pružnosti jako 5500 MPa. S touto hodnotou jsem porovnával průměrné hodnoty modulu tuhosti jednotlivých směsí při frekvenci 10 Hz.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce a grafu:

Tab. 4. 14 Výsledné hodnoty modulů tuhosti při teplotě 15 °C

| SMA 11 S, teplota zkoušení 15 °C |       |      |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| SMĚS                             | R-mat | 5 Hz | 10 Hz | 15 Hz | 20 Hz | 25 Hz |
| 1                                | 0 %   | 5920 | 6647  | 7136  | 7402  | 7784  |
| 4                                | 30 %  | 5557 | 6203  | 6641  | 6986  | 7312  |
| 7                                | 0 %   | 7989 | 8719  | 9123  | 9427  | 9714  |
| 14                               | 0 %   | 7072 | 7773  | 8220  | 8545  | 8835  |
| 16                               | 30 %  | 6419 | 7136  | 7571  | 8203  | 6370  |



Graf 4 Moduly tuhosti jednotlivých směsí při teplotě 15°C

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že modul tuhosti je závislý na frekvenci zatížení, kdy s rostoucí frekvencí stoupá modul tuhosti.

Z grafu je patrné, že směsi číslo 7, 14 a 16 mají vyšší modul tuhosti, protože obsahují asfalt 50/70, který je tužší než PMB.

Z grafu je patrné, že všechny směsi splňují minimální hodnotu modulu danou dle TP 170.

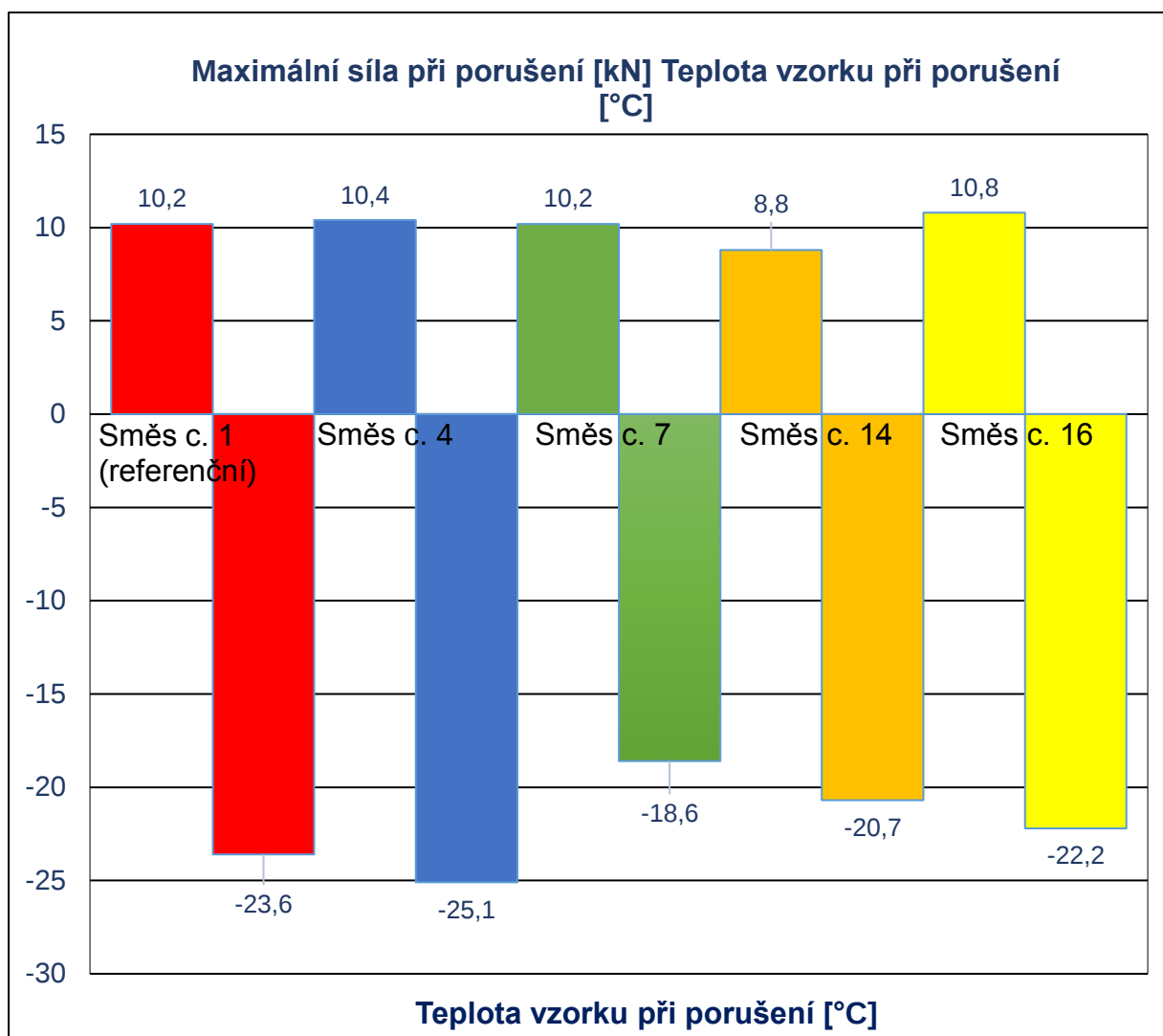
#### 4.3.7 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem (dle ČSN EN 12697-46)

Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí se provádělo podle postupu popsaném v kapitole 3.15 *Zkouška stanovení nízkoteplotních vlastností*, kde je popsána i podstata zkoušky. Ta byla prováděna vždy na třech vzorcích zhotovených nařezáním vyrobené zkušební desky o tloušťce 50 mm pro každou asfaltovou směs, celkem tedy bylo potřeba 12 vzorků o rozměrech 50 x 50 x 200 mm. Tělesa byla vyřezána z desek 4.5, 7.5, 14.4 a 16.3. Každé těleso bylo temperováno po dobu 15 min při teplotě 10 °C a následný pokles teploty byl 10 °C/ hod. až do porušení vzorku vlivem tahového napětí.

Důležitými parametry, které se zjišťují při stanovování nízkoteplotních vlastností, jsou maximální síla při porušení vzorku, ze které jde určit maximální napětí při porušení, dále teplota v komoře při porušení, a především teplota vzorku při porušení.

Tab. 4. 15 Celkové srovnání nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí SMA 11 S

|                                    | Asfaltové Směsi |         |         |          |          |
|------------------------------------|-----------------|---------|---------|----------|----------|
|                                    | číslo 1         | číslo 4 | číslo 7 | číslo 14 | číslo 16 |
| Max. síla při porušení [kN]        | 10,2            | 10,4    | 10,2    | 8,8      | 10,8     |
| Max. napětí při porušení [MPa]     | 4,1             | 4,2     | 4,0     | 3,5      | 4,3      |
| Teplota v komoře při porušení [°C] | -28,1           | -28,8   | -21,7   | -24,4    | -25,4    |
| Teplota vzorku při porušení [°C]   | -23,6           | -25,1   | -18,6   | -20,7    | -22,2    |



Graf 5 Porovnání výsledků zkoušky nízkoteplotních vlastností

Protokoly s podrobnějšími údaji jsou uvedeny v Příloze E.

#### 4.3.8 Vyhodnocení výsledků stanovení nízkoteplotních vlastností

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že z hlediska maximální síly porušení či maximálního napětí při porušení, nejhorších výsledků dosáhla směs, která obsahuje silniční asfalt 50/70 s pryžovým granulátem bez R – materiálu. Vzorek této směsi se porušil již při síle 8,80 kN, u ostatních směsí bylo naměřeno podobné napětí v době porušení vzorku. Z hlediska teploty vzorku při porušení lze vidět velký vliv obsaženého pojiva ve směsi. V případě modifikovaného pojiva se výsledky pohybují okolo  $-24\text{ °C}$  a v případě použití silničního asfaltu 50/70 s pryžovým granulátem jsou teploty vzniku trhlin okolo  $-21\text{ °C}$ .

R – materiál v asfaltových směsích obsahuje zestárlé pojivo, proto směsi s vyšším obsahem R – materiálu by měli mít horší nízkoteplotní vlastnosti. Toto se však příliš nepotvrdilo, protože výsledky všech tří směsí byly podobné.



*Obr. 4. 12 Porušení zkušebních vzorků (47)*

## 5 ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo ověření a porovnání vlastností asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový SMA 11 S s modifikovaným asfaltovým pojivem PMB 45/80-55, nebo silničním asfaltovým pojivem 50/70 s pryžovým granulátem na funkčních vlastnostech asfaltových směsí.

V teoretické části diplomové práce byly vysvětleny důležité pojmy týkající se obecně recyklace vozovek, způsoby získávání R-materiálu a druhy recyklací, které se uplatňují v České republice, s důrazem především na recyklaci za horka na obalovně. Na závěr jsem se rozepsal o zkušebním úseku, na kterém byly položeny asfaltové směsi s R-materiálem.

V praktické části byla nejprve popsána asfaltová směs pro obrusné vrstvy typu SMA a způsob využití R-materiálu v obrusných vrstvách. Poté jsou popsány jednotlivé materiály, které byly v průběhu práce na diplomové práci použity a další kapitola je věnována popisu všech použitých zkoušek a zkušebních metod, které byly během diplomové práce prováděny.

V rámci diplomové práce byly vyrobeny v laboratorních podmínkách celkem čtyři druhy směsi SMA 11 S, První směs typu SMA 11 S je s obsahem 30 % R-materiálu s celulózovým vláknem, druhá obsahuje silniční asfalt 50/70 bez obsahu R-materiálu s pryžovým granulátem, třetí obsahuje silniční asfalt 50/70 bez obsahu R-materiálu s pryžovým granulátem a poslední obsahuje silniční asfalt 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu s pryžovým granulátem.

První zkouška bylo stanovení odolnosti proti trvalým deformacím. Při této zkoušce nejlepšího výsledky dosáhly směsi č. 4 a 7, které vyhověly z hlediska naměřených hodnot hodnotám stanovených v normě a nejhoršího směsi č. 14 a 16, které nevyhověly. Výsledné hodnoty jsou závislé nejen na bodu měknutí, ale také na míře zhutnění a mezerovitosti jednotlivých zkoušených těles.

Druhá zkouška bylo stanovení modulů tuhosti. Zkoušku jsem provedl při teplotě 15 °C při frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Výsledky jsem porovnal s referenční směsí a moduly tuhosti zjištěné při frekvenci 10 Hz jsem porovnal s minimální hodnotou danou dle TP 170. Při zkoušce se zjistilo, že

vyšších tuhostí dosáhly směsi č. 7, 14 a 16 protože obsahují asfalt 50/70, který je tužší než PMB, avšak všechny směsi vyhověly z hlediska naměřených hodnot hodnotám stanových v technických podmínkách.

Třetí a poslední zkouška bylo nízkoteplotní vlastností. Při zkoušce se předpokládalo, že směsi číslo 1 a 4 s obsahem PMB budou dosahovat lepších výsledků kvůli obsahu pojiva. Asfaltové směsi číslo 7, 14 a 16 dosahovaly podobných výsledků. Z hlediska napětí či síly při porušení dosáhla nejhoršího výsledku směs číslo 4, avšak z hlediska teploty porušení nejhůře dopadla směs číslo 4.

Na základě provedených funkčních zkoušek lze říct, že využití PMB místo silniční asfalt 50/70 s pryžovým granulátem může se doporučit, protože dosahovaly lepších výsledků ve vybraných funkčních zkouškách a většina tyto výsledky vyhovovaly požadavkům stanovených příslušnými normami. když tam dám silniční asfalt 50/70 s pryžovým granulátem je potřeba si dát pozor proti tvorbě trvalých deformací, protože nedosahovaly požadavkům stanovených příslušnými normami.

# SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1, ČSN EN 13108-8. Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8: R-materiál. Praha. Český normalizační institut, 2001.
- 2, KRČMOVÁ, Iva, HÝZL, Petr, VARAUS, Michal, NEKULOVÁ Pavla Přidávání R – materiálu do asfaltových směsí, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2015.
- 3, TP 210, Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR -OSI, 2010.
- 4, Stavební stroje AWP s.r.o., [online] © 2014 [cit. 2015-11\_14]. Dostupné na <http://www.awpsro.cz/produkty/bomag/silnicni-frezy/>.
- 5, ZAJÍČEK, Jan a kolektiv: Technologie stavby vozovek, Praha 2014, ISBN 978-80-87438-59-6.
- 6, CIUR a.s., Průmyslová vlákna – S-CEL 7 G [online] ©2015 [cit. 2015-8-12]. Dostupné na <http://www.ciur.cz/clanek/zobrazit/prumyslova-vlakna-s-cel-7-g>.
- 7, ČNES dopravní stavby a. s., Studená recyklace, [online] © 2014 [cit. 2015-4-17]. Dostupné na <http://www.cnes.cz/index.php?clanek=30>.
- 8, Betonserver, Skládky sutí, recyklace [online] ©2006 [cit. 2015-10-12]. Dostupné na [http://www.betonserver.cz/\\_cz/images/foto/foto1\\_10373.jpeg](http://www.betonserver.cz/_cz/images/foto/foto1_10373.jpeg).
- 9, Ammann group, Přehled obaloven stacionárních, semimobilních a mobilních [online] ©2014 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: [http://www.ammann-group.cz/fileadmin/ammann/syncfiles/International/images/ammann\\_asphalt\\_mixing-plant\\_brochure\\_cz.pdf](http://www.ammann-group.cz/fileadmin/ammann/syncfiles/International/images/ammann_asphalt_mixing-plant_brochure_cz.pdf).
- 10, Wirtgen ČR, Výroba asfaltu, [online] ©2015 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: <http://www.wirtgen.cz/cs/technologies/asphalt-production/>.
- 11, Asphalt mixture plant operations [online] ©2015 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: [http://www.kidefm.org/environment/2.3%20chapter\\_03\(5\)%203%20Asphalt%20Mixture%20Plant%20Operations%20sheet.pdf](http://www.kidefm.org/environment/2.3%20chapter_03(5)%203%20Asphalt%20Mixture%20Plant%20Operations%20sheet.pdf).
- 12, MONDSCHHEIN, P., Recyklace za horka v asfaltových směsích – aplikace ve směsích typu SMA, [online] [cit. 2015-09-01] Dostupné na: [http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3\\_papers/19\\_Mondschein.pdf](http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3_papers/19_Mondschein.pdf).

- 13, U. S. Department of Transportation, Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book [online] ©2011 [cit. 2015-7-7]. Dostupné na <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/01.cfm> .
- 14, HÝZL, Petr: Praktické aplikace v pozemních komunikacích, Modul 6 – Asfaltové směsi, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, VUT Brno 2006.
- 15, Valentin, J.: Recyklace asfaltových vozovek, Prezentace STPK, CVUT v Praze, FSv, Praha, 2011.
- 16, MALÁ, Markéta Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2016.
- 17, STOKLÁSEK Svatopluk, SCHMEISSER Cornell. Nový koncept polymerem modifikovaných asfaltových pojiv firmy Shell určených pro použití v asfaltových směsích s vysokým obsahem recyklovaného materiálu. Konference asfaltové vozovky 2009, Praha, PRAGOPROJEKT 2009,.
- 18, STORIMPEX, dostupné z: [online]. [cit. 31.3.2017]..
- 19, ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi: Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti.
- 20, ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor..
- 21, Foto autor ACUNA SUBIA luis carlos, Prosévací stroj se sítý pro stanovení zrnitosti kameniva.
- 22, ČSN 1297-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti.
- 23, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, Pyknometry s asfaltovou směsí a destilovanou vodou (objem 500 ml) a s asfaltovou směsí a trichlorethylenem (objem 1000 ml).
- 24, TP 208, Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena. Praha, MD ČR, 2009, dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20208.pdf>.
- 25, EAPA in figures. EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. 2015.
- 26, e-asfalto. Stone Mastic Asphalt [online]. Dostupné z: <http://www.e-asfalto.com/sma/index.htm>.
- 27, Mondschein. P. Recyklace za horka v asfaltových směsích - aplikace ve směsích typu SMA. Praha. Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v

Praze.Dostupné

z:

[http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3\\_papers/19\\_Mondschein.pdf](http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3_papers/19_Mondschein.pdf).

- 28, ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem.
- 29, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, rázový zhutňovač.
- 30, MALÁ, Markéta Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2016.
- 31, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, maršalova těles.
- 32, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, hutnicí stroj.
- 33, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, hotová zkušební deska .
- 34, ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem.
- 35, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, zkušební zařízení s vloženými zkušebními vzorky.
- 36, ČSN 12697-26 Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26 Tuhost.
- 37, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, zkušební pracoviště pro měření modulů tuhosti.
- 38, MALÁ, Markéta Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2016.
- 39, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, uložení tělesa ve zkušebním zařízení.
- 40, ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem.
- 41, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, vyřezaná zkušební tělesa.
- 42, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, nalepený vzorek v centrovacím rámu.
- 43, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, umístění zkušebního tělesa v zařízení pro zjišťování nízkoteplotních vlastností.
- 44, TP 209, Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2009.
- 45, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, řezání zkušebních těles diamantového kotouče.
- 46, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, zkušební tělesa tvaru trapezoidu pro měření modulu tuhostí asfaltové směsi.

- 47, Autor foto ACUNA SUBIA luis carlos, porušení zkušebních vzorků.
- 48, PALATOVÁ, marcela. Nové trendy při výstavbě netuhých vozovek. Brno, 2012. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STAVEBNÍ. Vedoucí práce HÝZL, petr.
- 49, VARAUS, M.: Recyklace netuhých vozovek, prezentace.
- 50, FREKO [online]. Praha: DOPRAVNÍ STAVBY. © 2015–17 FREKO a.s. Dostupné z: <https://www.freko.cz/sluzby/dopravni-stavby/>.
- 51, Celostátní sčítání dopravy 2016, Ředitelství silnic a dálnic, dostupné z: [online]. [cit. 31.3.2017]..
- 52, frezování ostrava. Frézování silničních povrchů [online]. Ostrava. ©2017 Eva Beniaková. Dostupné z: <http://www.frezovaniostrava.cz/>.
- 53, VARAUS, Michal: Metodika aplikace R-materialu v asfaltových směsích, 2014.
- 54, ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 3. 1 SMA princip (26) .....                                                                                                                                    | 15 |
| Obr. 3. 2 Příklad silniční frézy (4) .....                                                                                                                          | 19 |
| Obr. 3. 3 Skládka recyklovaného materiálu (8) .....                                                                                                                 | 20 |
| Obr. 3. 4 Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny (49) .....                                                                                       | 22 |
| Obr. 3. 5 Šaržová obalovna vybavená paralelním bubnem k předehřívání R-materiálu (9) .....                                                                          | 23 |
| Obr. 3. 6 Kontinuální obalovna využívající metodu Drum – mix (11) .....                                                                                             | 24 |
| Obr. 3. 7 Prosévací stroj se sítý pro stanovení zrnitosti kameniva (21) .....                                                                                       | 26 |
| Obr. 3. 8 Pyknometry s asfaltovou směsí a destilovanou vodou (objem 500 ml) a s asfaltovou směsí a trichlorethylenem (objem 1000 ml) (23) .....                     | 28 |
| Obr. 3. 9 vakuová pumpa (16) .....                                                                                                                                  | 28 |
| Obr. 3. 10 tlaková nádoba (16) .....                                                                                                                                | 28 |
| Obr. 3. 11 Snížení tlaku při odstraňování vzduchových bublin (16) .....                                                                                             | 29 |
| Obr. 3. 12 Zařízení k odstranění zachyceného vzduchu při stanovení max. objemové hmotnosti pomocí vody (16) .....                                                   | 29 |
| Obr. 3. 13 rázový zhutňovač na výrobu zkušebních těles (29) .....                                                                                                   | 31 |
| Obr. 3. 14 Rozměry Marshallova zkušebního tělesa (30) Marshallova tělesa zhotovená rázovým zhutňovačem (31) .....                                                   | 32 |
| Obr. 3. 15 Zhutňovač desek (32) hotová zkušební deska s rozměry 320 x 260 x 50 mm (33) .....                                                                        | 34 |
| Obr. 3. 16 Zkušební zařízení s vloženými zkušebními vzorky (16) .....                                                                                               | 36 |
| Obr. 3. 17 Zkušební pracoviště pro měření modulů tuhosti (37) .....                                                                                                 | 39 |
| Obr. 3. 18 Zkušební těleso s předepsanými rozměry pro měření modulů tuhosti (38) Uložení tělesa ve zkušebním zařízení (39) .....                                    | 40 |
| Obr. 3. 19 Nalepený vzorek v centrovacím rámu (42) .....                                                                                                            | 43 |
| Obr. 3. 20 Rozměry zkušebního tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností, v mm (36) a vyřezaná zkušební tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností (41) . | 43 |
| Obr. 3. 21 Umístění zkušebního tělesa v zařízení pro zjišťování nízkoteplotních vlastností (43) .....                                                               | 44 |
| <br>Obr. 4. 1 Předmětný úsek silnice II/227 (13) .....                                                                                                              | 46 |
| Obr. 4. 2 Kamenivo Zbečno, frakce 2/5 (16) .....                                                                                                                    | 47 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 4. 3 Kamenivo Zbečno, frakce 0/2 (16) .....                                                                                             | 47 |
| Obr. 4. 4 Kamenivo Zbečno, frakce 8/11 (16) .....                                                                                            | 48 |
| Obr. 4. 5 Kamenivo Zbečno, frakce 4/8 (16) .....                                                                                             | 48 |
| Obr. 4. 6 Vápencová moučka použitá v této diplomové práci (16) .....                                                                         | 48 |
| Obr. 4. 7 R-materiál frakce 0/11 (16) .....                                                                                                  | 49 |
| Obr. 4. 8 <i>Froněk spol. s.r.o. – Obalovna BRANT v Rakovníku s nainstalovaným<br/>paralelním bubnem pro přidávání R-materiálu</i> (16)..... | 49 |
| Obr. 4. 9 Technické informace o celulózovém vláknu od firmy CIUR a.s. (19) .....                                                             | 52 |
| Obr. 4. 10 Řezání zkušebních těles pomocí diamantového kotouče. (45) .....                                                                   | 61 |
| Obr. 4. 11 Zkušební tělesa tvaru trapezoidu pro měření modulu tuhosti asfaltové<br>směsi (46) .....                                          | 61 |
| Obr. 4. 12 Porušení zkušebních vzorků (47).....                                                                                              | 65 |

# SEZNAM TABULEK

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tab. 2. 1 Asfaltové směsi</i> .....                                                                                     | 13 |
| <i>Tab. 3. 1 Aktualizace normy</i> .....                                                                                   | 15 |
| <i>Tab. 3. 2 Výpočet parametrů modulu tuhosti (36)</i> .....                                                               | 42 |
| <i>Tab. 4. 1 Asfaltové směsi</i> .....                                                                                     | 45 |
| <i>Tab. 4. 2 Technické informace (6)</i> .....                                                                             | 51 |
| <i>Tab. 4. 3 . Sítový rozbor asfaltové směsi</i> .....                                                                     | 52 |
| <i>Tab. 4. 4 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 4</i> .....                                             | 54 |
| <i>Tab. 4. 5 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 7</i> .....                                             | 54 |
| <i>Tab. 4. 6 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 14</i> .....                                            | 54 |
| <i>Tab. 4. 7 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi č. 16</i> .....                                            | 55 |
| <i>Tab. 4. 8 Asfaltová směs s polymerem modifikovaným pojivem a obsahem 30 % R-materiálu</i> .....                         | 56 |
| <i>Tab. 4. 9 Asfaltová směs 50/70 bez obsahu R-materiálu a s celulóзовým vláknem s přídavkem pryžového granulátu</i> ..... | 56 |
| <i>Tab. 4. 10 Asfaltová směs 50/70 bez obsahu R-materiálu a s pryžových granulátem</i> .....                               | 57 |
| <i>Tab. 4. 11 Asfaltová směs 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu a s pryžovým granulátem</i> .....                            | 57 |
| <i>Tab. 4. 12 Výsledky zkoušky pojíždění kolem</i> .....                                                                   | 58 |
| <i>Tab. 4. 13 Výsledky zkoušky pojíždění kolem</i> .....                                                                   | 59 |
| <i>Tab. 4. 14 Výsledné hodnoty modulů tuhosti při teplotě 15 °C</i> .....                                                  | 62 |
| <i>Tab. 4. 15 Celkové srovnání nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí SMA 11 S</i> .....                | 63 |

# SEZNAM GRAFŮ

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Graf 1 Čára zrnitosti pro asfaltové směsi .....                           | 53 |
| Graf 2 <i>Výsledky PDR AIR</i> .....                                      | 59 |
| Graf 3 <i>Výsledky WTS AIR</i> .....                                      | 60 |
| Graf 4 <i>Moduly tuhosti jednotlivých směsí při teplotě 15°C</i> .....    | 62 |
| Graf 5 <i>Porovnání výsledků zkoušky nízkoteplotních vlastností</i> ..... | 64 |

# SEZNAM ROVNIC

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Rovnice 1 Výpočet procenta jemných částic ze síťového rozboru.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Rovnice 2 Výpočet maximální objemové hmotnosti .....</i>               | <i>30</i> |
| <i>Rovnice 3 Výpočet objemové hmotnosti zkušebního tělesa .....</i>       | <i>35</i> |
| <i>Rovnice 4 Výpočet mezerovitosti zkušebního tělesa .....</i>            | <i>35</i> |
| <i>Rovnice 5 Výpočet poměrné hloubky vyjeté koleje .....</i>              | <i>37</i> |
| <i>Rovnice 6 Výpočet přírůstku hloubky vyjeté koleje .....</i>            | <i>38</i> |
| <i>Rovnice 7 Výpočet reálné složky modulu tuhosti .....</i>               | <i>41</i> |
| <i>Rovnice 8 Výpočet imaginární složky modulu tuhosti .....</i>           | <i>41</i> |
| <i>Rovnice 9 Výpočet modulu tuhosti .....</i>                             | <i>41</i> |

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

|                    |                                                                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Phi$             | průměr                                                                                                                      |
| $^{\circ}\text{C}$ | stupeň Celsia                                                                                                               |
| AC                 | asfaltový beton                                                                                                             |
| SMA 11 S           | asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí kameniva<br>11 mm a se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací |
| RPDI               | roční průměr denních intenzit                                                                                               |
| G                  | gram                                                                                                                        |
| Hz                 | Hertz                                                                                                                       |
| kg/m <sup>3</sup>  | kilogram na metr krychlový                                                                                                  |
| kPa                | kilopascal                                                                                                                  |
| MPa                | megapascal                                                                                                                  |
| max.               | maximálně                                                                                                                   |
| min.               | minimálně                                                                                                                   |
| mm                 | milimetr                                                                                                                    |
| Obr.               | obrázek                                                                                                                     |
| Tab.               | tabulka                                                                                                                     |
| PRD <sub>AIR</sub> | poměrná hloubka vyjeté koleje                                                                                               |
| WTS <sub>AIR</sub> | přírůstek hloubky vyjeté koleje                                                                                             |

# SEZNAM PŘÍLOH

## **Příloha A**

- Stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi
- Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

## **Příloha B**

- Rozměry, objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních desek

## **Příloha C**

- Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška pojíždění kolem

## **Příloha D**

- Stanovení modulů tuhosti

## **Příloha E**

- Nízkoteplotní vlastnosti

**Příloha A****Asfaltová směs označená 4 s polymerem modifikovaným pojivem a obsahem 30 % R-materiálu**

| Asfaltová směs č. 4                                            |                               |                |               |               |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Označení vzorku                                                |                               | 4.             |               |               |
| Množství pojiva                                                | %                             | 6,3            |               |               |
| Označení pyknometru                                            |                               | II.            |               |               |
| Pyknometr prázdný $m_1$                                        | g                             | 381,6          |               |               |
| Pyknometr + vzorek $m_2$                                       | g                             | 939,1          |               |               |
| Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo                               | g                             | 1370,6         |               |               |
| Objem pyknometru $V_p$                                         | $m^3$                         | 653,896        |               |               |
| Hustota rozpouštědla $\rho_w$                                  | $kg/m^3$                      | 997,1          |               |               |
| Teplota temperace                                              | $^{\circ}C$                   | 25             |               |               |
| <b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>      | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2 521,0</b> |               |               |
| Teplota hutnění                                                | $^{\circ}C$                   | 155            |               |               |
| Počet úderů                                                    |                               | 2 x 50         |               |               |
| Zkušební těleso označení                                       |                               | 4.2            | 4.3           | <b>Průměr</b> |
| hmotnost suchého tělesa                                        | g                             | 1207,0         | 1221,2        | 1214,1        |
| hmotnost pod vodou                                             | g                             | 713,4          | 721,5         | 717,5         |
| hmotnost nasycené (osušené)                                    | g                             | 1209,5         | 1225,2        | 1217,4        |
| <b>Stanovení objemové hmotnosti <math>\rho_{(bssd)}</math></b> | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2427,9</b>  | <b>2419,4</b> | <b>2423,6</b> |
| <b>Mezerovitost</b>                                            | <b>%</b>                      | <b>3,7</b>     | <b>4,0</b>    | <b>3,9</b>    |
| Zkušební těleso označení                                       |                               | 4.2            | 4.3           | <b>Průměr</b> |
| hmotnost suchého tělesa                                        | g                             | 1207,0         | 1221,2        | 1214,1        |
| Výška                                                          | mm                            | 63,7           | 64,2          | 63,9          |
| Průměr                                                         | mm                            | 101,2          | 101,6         | 101,4         |
| <b>teplota vody při vážení</b>                                 | <b><math>^{\circ}C</math></b> | 21,8           |               |               |
| hustota vody při zkušební teplotě                              | $kg/m^3$                      | 997,9          |               |               |
| stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů                     | $kg/m^3$                      | <b>2355,4</b>  | <b>2346,8</b> | <b>2351,1</b> |

**Asfaltová směs označená 7 50/70 bez obsahu R-materiálu a s celulózovým vláknem s přidavkem pryžového granulátu**

| Asfaltová směs č. 7                                         |                               |                |               |               |               |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Označení vzorku                                             |                               | 7.             |               |               |               |
| Množství pojiva                                             | %                             | 6,3            |               |               |               |
| Označení pyknometru                                         |                               | II.            |               |               |               |
| Pyknometr prázdný $m_1$                                     | g                             | 384,4          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek $m_2$                                    | g                             | 926,0          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo                            | g                             | 1364,8         |               |               |               |
| Objem pyknometru $V_p$                                      | $m^3$                         | 658,3          |               |               |               |
| Hustota rozpouštědla $\rho_w$                               | $kg/m^3$                      | 997,1          |               |               |               |
| Teplota temperace                                           | $^{\circ}C$                   | 25             |               |               |               |
| <b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>   | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2 481,9</b> |               |               |               |
| Teplota hutnění                                             | $^{\circ}C$                   | 155            |               |               |               |
| Počet úderů                                                 |                               | 2 x 50         |               |               |               |
| Zkušební těleso označení                                    |                               | 7.1            | 7.2           | 7.3           | <b>Průměr</b> |
| hmotnost suchého tělesa                                     | g                             | 1224,1         | 1222,1        | 1219,4        | 1221,9        |
| hmotnost pod vodou                                          | g                             | 715,2          | 715,9         | 713,5         | 714,9         |
| hmotnost nasycené (osušené)                                 | g                             | 1225,9         | 1223,8        | 1221,0        | 1223,6        |
| <b>Stanovení objemové hmotnosti <math>\rho(bssd)</math></b> | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2414,0</b>  | <b>2404,4</b> | <b>2398,7</b> | 2405,7        |
| <b>Mezerovitost</b>                                         | <b>%</b>                      | <b>2,8</b>     | <b>2,7</b>    | <b>3,1</b>    | 2,9           |
| Zkušební těleso označení                                    |                               | 7.1            | 7.2           | 7.3           | <b>Průměr</b> |
| hmotnost suchého tělesa                                     | g                             | 1224,1         | 1222,1        | 1219,4        | 1221,9        |
| Výška                                                       | mm                            | 64,5           | 64,9          | 64,5          | 64,6          |
| Průměr                                                      | mm                            | 102,7          | 102,2         | 102,6         | 102,5         |
| <b>teplota vody při vážení</b>                              | <b><math>^{\circ}C</math></b> | 21,8           |               |               |               |
| hmotnost vody při zkušební teplotě                          | $kg/m^3$                      | 997,9          |               |               |               |
| stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů                  | $kg/m^3$                      | <b>2293,1</b>  | <b>2293,7</b> | <b>2286,7</b> | 2291,2        |

## Asfaltová směs označená 14 50/70 bez obsahu R-materiálu a s pryžových granulátem

| Asfaltová směs č. 14                                           |                               |                |               |               |               |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Označení vzorku                                                |                               | 14.            |               |               |               |
| Množství pojiva                                                | %                             | 6,3            |               |               |               |
| Označení pyknometru                                            |                               | II.            |               |               |               |
| Pyknometr prázdný $m_1$                                        | g                             | 384,4          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek $m_2$                                       | g                             | 889,2          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo                               | g                             | 1340,7         |               |               |               |
| Objem pyknometru $V_p$                                         | $m^3$                         | 658,3          |               |               |               |
| Hustota rozpouštědla $\rho_w$                                  | $kg/m^3$                      | 997,1          |               |               |               |
| Teplota temperace                                              | $^{\circ}C$                   | 25             |               |               |               |
| <b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>      | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2 456,6</b> |               |               |               |
| Teplota hutnění                                                | $^{\circ}C$                   | 155            |               |               |               |
| Počet úderů                                                    |                               | 2 x 50         |               |               |               |
| Zkušební těleso označení                                       |                               | 14.1           | 14.2          | 14.3          | Průměr        |
| hmotnost suchého tělesa                                        | g                             | 1222,3         | 1225,7        | 1221,0        | 1223,0        |
| hmotnost pod vodou                                             | g                             | 719,6          | 718,6         | 714,9         | 717,7         |
| hmotnost nasycené (osušené)                                    | g                             | 1223,7         | 1227,8        | 1222,5        | 1224,7        |
| <b>Stanovení objemové hmotnosti <math>\rho_{(bssd)}</math></b> | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2398,7</b>  | <b>2389,4</b> | <b>2393,8</b> | <b>2394,0</b> |
| <b>Mezerovitost</b>                                            | <b>%</b>                      | <b>2,4</b>     | <b>2,7</b>    | <b>2,6</b>    | <b>2,6</b>    |
| Zkušební těleso označení                                       |                               | 14.1           | 14.2          | 14.3          | Průměr        |
| hmotnost suchého tělesa                                        | g                             | 1222,3         | 1225,7        | 1221,0        | 1223,0        |
| Výška                                                          | mm                            | 64,8           | 65,3          | 65,0          | 65,0          |
| Průměr                                                         | mm                            | 102,1          | 102,6         | 102,4         | 102,4         |
| <b>teplota vody při vážení</b>                                 | <b><math>^{\circ}C</math></b> | 21,8           |               |               |               |
| hustota vody při zkušební teplotě                              | $kg/m^3$                      | 997,9          |               |               |               |
| stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů                     | $kg/m^3$                      | 2302,8         | 2272,6        | 2281,6        | 2285,7        |

## Asfaltová směs označená 16 50/70 s obsahem 30 % R-materiálu a s pryžovým granulátem

| Asfaltová směs č. 16                                        |                               |                |               |               |               |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Označení vzorku                                             |                               | 16.            |               |               |               |
| Množství pojiva                                             | %                             | 6,3            |               |               |               |
| Označení pyknometru                                         |                               | II.            |               |               |               |
| Pyknometr prázdný $m_1$                                     | g                             | 381,6          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek $m_2$                                    | g                             | 890,3          |               |               |               |
| Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo                            | g                             | 1338,5         |               |               |               |
| Objem pyknometru $V_p$                                      | $m^3$                         | 653,9          |               |               |               |
| Hustota rozpouštědla $\rho_w$                               | $kg/m^3$                      | 997,1          |               |               |               |
| Teplota temperace                                           | $^{\circ}C$                   | 25             |               |               |               |
| <b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>   | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2 488,8</b> |               |               |               |
| Teplota hutnění                                             | $^{\circ}C$                   | 155            |               |               |               |
| Počet úderů                                                 |                               | 2 x 50         |               |               |               |
| Zkušební těleso označení                                    |                               | 16.1           | 16.2          | 16.3          | Průměr        |
| hmotnost suchého tělesa                                     | g                             | 1221,0         | 1203,5        | 1199,2        | 1207,9        |
| hmotnost pod vodou                                          | g                             | 708,9          | 705,4         | 710,3         | 708,2         |
| hmotnost nasycené (osušené)                                 | g                             | 1205,9         | 1201,0        | 1202,0        | 1203,0        |
| <b>Stanovení objemové hmotnosti <math>\rho(bssd)</math></b> | <b><math>kg/m^3</math></b>    | <b>2416,5</b>  | <b>2414,6</b> | <b>2436,6</b> | <b>2422,6</b> |
| <b>Mezerovitost</b>                                         | <b>%</b>                      | <b>2,9</b>     | <b>3,0</b>    | <b>2,1</b>    | <b>2,7</b>    |
| Zkušební těleso označení                                    |                               | 16.1           | 16.2          | 16.3          | Průměr        |
| hmotnost suchého tělesa                                     | g                             | 1221,0         | 1203,5        | 1199,2        | 1207,9        |
| Výška                                                       | mm                            | 64,5           | 64,4          | 63,0          | 64,0          |
| Průměr                                                      | mm                            | 102,8          | 102,2         | 102,5         | 102,5         |
| <b>teplota vody při vážení</b>                              | <b><math>^{\circ}C</math></b> | 21,8           |               |               |               |
| hustota vody při zkušební teplotě                           | $kg/m^3$                      | 997,9          |               |               |               |
| stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů                  | $kg/m^3$                      | 2248,1         | 2268,8        | 2308,9        | 2275,3        |

## Příloha B: Rozměry, objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních desek

### Zkušební desky z asfaltové směs číslo 1

|                                           |                      | Směs č. 1             |               |               |               |
|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Číslo desky ze směsi zkušeb. úseku II/227 | [%]                  | 1-2.1                 | 1-2.2         | 1-2.3         | 1-2.4         |
| Hmotnost suchá                            | [g]                  | 7522                  | 9600          | 9603          | 9596          |
| Hmotnost pod vodou                        | [g]                  | 4436                  | 5674          | 5661          | 5662          |
| Hmotnost po vytažení                      | [g]                  | 7531                  | 9615          | 9621          | 9615          |
| Rozměry (tloušťka)                        | [mm]                 | 38,58                 | 48,67         | 48,95         | 49,03         |
|                                           |                      | 38,76                 | 48,68         | 49,17         | 49,32         |
|                                           |                      | 38,81                 | 49,22         | 49,11         | 49,35         |
|                                           |                      | 38,55                 | 48,83         | 49,15         | 48,94         |
|                                           |                      | 38,06                 | 48,44         | 49,52         | 49            |
|                                           |                      | 38,4                  | 48,53         | 49,86         | 49,7          |
|                                           |                      | 38,15                 | 48,7          | 49,57         | 49,52         |
|                                           |                      | 37,79                 | 48,31         | 49,52         | 49,88         |
|                                           |                      | 37,9                  | 48,25         | 49,19         | 49,3          |
| Rozměry (šířka)                           | [mm]                 | 37,9                  | 48,18         | 48,98         | 49,1          |
|                                           |                      | 259,6                 | 260,4         | 260,9         | 260,6         |
|                                           |                      | 261,3                 | 259,4         | 259,6         | 260,4         |
| Rozměry (délka)                           | [mm]                 |                       |               |               |               |
|                                           |                      | 321,7                 | 322,7         | 323           | 322,2         |
|                                           |                      | 322                   | 323           | 323,6         | 321,5         |
| Tloušťka průměr                           | [mm]                 | 38,29                 | 48,58         | 49,302        | 49,314        |
| Šířka průměr                              | [mm]                 | 260,45                | 259,9         | 260,25        | 260,5         |
| Délka průměr                              | [mm]                 | 321,85                | 322,85        | 323,3         | 321,85        |
| teplota v lázni                           | [°C]                 | 22,3                  | 22,1          | 24,1          | 24,1          |
| objemová hmotnost vody                    |                      | 997,7                 | 997,8         | 997,4         | 997,4         |
| Objemová hmotnost (z vážení)              | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2 424,8               | 2 430,6       | 2 418,7       | 2 421,2       |
| Maximální objem. hm. (z pyknometrů)       | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2494                  | 2494          | 2494          | 2494          |
| Mezerovitost (z vážení)                   | [%]                  | <b>2,8</b>            | <b>2,5</b>    | <b>3,0</b>    | <b>2,9</b>    |
| Objem. hm. (z marshallů)                  | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2415,8                | 2415,8        | 2415,8        | 2415,8        |
| Míra zhutnění                             | [%]                  | <b>100,4%</b>         | <b>100,6%</b> | <b>100,1%</b> | <b>100,2%</b> |
| Zkouška                                   |                      | pojezd kolem při 60°C | cyklon        | moduly        | moduly        |

### Zkušební desky z asfaltové směs číslo 4

|                                           |                      | směs č. 4     |               |               |                       |
|-------------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Číslo desky ze směsi zkušeb. úseku II/227 | [%]                  | 4.4           | 4.5           | 4.6           | 4.7                   |
| Hmotnost suchá                            | [g]                  | 9546          | 9600          | 9605          | 7646                  |
| Hmotnost pod vodou                        | [g]                  | 5636          | 5663          | 5678          | 4515                  |
| Hmotnost po vytažení                      | [g]                  | 9571          | 9624          | 9629          | 7659                  |
| Rozměry (tloušťka)                        | [mm]                 | 49,30         | 50,90         | 49,30         | 40,65                 |
|                                           |                      | 49,70         | 50,30         | 49,40         | 40,10                 |
|                                           |                      | 49,50         | 49,90         | 49,20         | 39,80                 |
|                                           |                      | 49,10         | 49,00         | 49,50         | 39,60                 |
|                                           |                      | 49,20         | 49,00         | 49,30         | 39,40                 |
|                                           |                      | 50,70         | 49,60         | 49,90         | 39,45                 |
|                                           |                      | 50,40         | 49,80         | 50,20         | 39,70                 |
|                                           |                      | 50,50         | 49,80         | 50,60         | 39,70                 |
|                                           |                      | 49,70         | 50,00         | 49,50         | 39,70                 |
|                                           |                      | 49,70         | 49,80         | 49,20         | 40,20                 |
| Rozměry (šířka)                           | [mm]                 | 259,70        | 259,70        | 260,20        | 260,30                |
|                                           |                      | 259,70        | 259,80        | 260,20        | 260,10                |
|                                           |                      |               |               |               |                       |
| Rozměry (délka)                           | [mm]                 | 321,30        | 321,60        | 321,10        | 321,50                |
|                                           |                      | 321,00        | 320,98        | 320,50        | 320,30                |
|                                           |                      |               |               |               |                       |
| Tloušťka průměr                           | [mm]                 | 49,78         | 49,81         | 49,61         | 39,83                 |
| Šířka průměr                              | [mm]                 | 259,70        | 259,75        | 260,20        | 260,20                |
| Délka průměr                              | [mm]                 | 321,15        | 321,29        | 320,80        | 320,90                |
| teplota v lázni                           | [°C]                 |               |               |               |                       |
| objemová hmotnost vody                    |                      | 998,70        | 998,10        | 998,10        | 998,10                |
| Objemová hmotnost (z vážení)              | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2 422,8       | 2 419,0       | 2 426,4       | 2 427,3               |
| Maximální objem. hm. (z pyknometrů)       | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2521          | 2521          | 2521          | 2521                  |
| Mezerovitost (z vážení)                   | [%]                  | <b>3,9</b>    | <b>4,0</b>    | <b>3,8</b>    | <b>3,7</b>            |
| Objem. hm. (z marshallů)                  | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2416,7        | 2416,7        | 2416,7        | 2416,7                |
| Míra zhutnění                             | [%]                  | <b>100,3%</b> | <b>100,1%</b> | <b>100,4%</b> | <b>100,4%</b>         |
| Zkouška                                   |                      | moduly        | cyklon        | moduly        | pojezd kolem při 60°C |

## Zkušební desky z asfaltové směs číslo 7

|                                              |                      | směs č. 7     |                  |                  |                                |              |                        |
|----------------------------------------------|----------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------|------------------------|
| Číslo desky ze směsi<br>zkušeb. úseku II/227 | [%]                  | 7.5           | 7.6              | 7.7              | 7.8                            | 7.9          | 7.10                   |
| Hmotnost suchá                               | [g]                  | 9668          | 9650             | 9647             | 7684                           | 9708         | 7695                   |
| Hmotnost pod vodou                           | [g]                  | 5682          | 5668             | 5663             | 4513                           | 5672         | 4487                   |
| Hmotnost po vytažení                         | [g]                  | 9681          | 9670             | 9662             | 7698                           | 9727         | 7716                   |
| Rozměry (tloušťka)                           | [mm]                 | 49,00         | 49,80            | 49,80            | 40,00                          | 50,53        | 40,39                  |
|                                              |                      | 49,60         | 49,90            | 49,90            | 39,60                          | 50,71        | 40,37                  |
|                                              |                      | 48,80         | 48,50            | 49,70            | 39,30                          | 50,24        | 40,34                  |
|                                              |                      | 49,10         | 48,40            | 49,00            | 39,00                          | 50,51        | 40,55                  |
|                                              |                      | 49,50         | 48,50            | 49,20            | 38,70                          | 50,92        | 40,44                  |
|                                              |                      | 50,10         | 50,20            | 50,30            | 39,00                          | 51,20        | 41,03                  |
|                                              |                      | 49,90         | 50,30            | 50,30            | 39,40                          | 51,04        | 40,51                  |
|                                              |                      | 49,80         | 50,00            | 49,90            | 39,80                          | 51,94        | 41,33                  |
|                                              |                      | 49,10         | 49,50            | 49,30            | 39,80                          | 50,39        | 40,43                  |
|                                              |                      | 48,60         | 49,30            | 49,50            | 39,30                          | 50,16        | 40,23                  |
| Rozměry (šířka)                              | [mm]                 | 260,50        | 260,02           | 259,50           | 260,00                         | 260,13       |                        |
|                                              |                      | 260,80        | 259,94           | 259,82           | 260,00                         | 260,36       |                        |
|                                              |                      |               |                  |                  |                                |              |                        |
| Rozměry (délka)                              | [mm]                 | 321,94        | 321,00           | 321,78           | 321,78                         |              |                        |
|                                              |                      | 321,44        | 321,38           | 321,48           | 323,20                         |              |                        |
|                                              |                      |               |                  |                  |                                |              |                        |
| Tloušťka průměr                              | [mm]                 | 49,35         | 49,44            | 49,69            | 39,39                          | 50,76        | 40,56                  |
| Šířka průměr                                 | [mm]                 | 260,65        | 259,98           | 259,66           | 260,00                         | 260,25       |                        |
| Délka průměr                                 | [mm]                 | 321,69        | 321,19           | 321,63           | 322,49                         |              |                        |
| teplota v lázni                              | [°C]                 |               |                  |                  |                                | 24,80        | 22,40                  |
| objemová hmotnost vody                       |                      | 998,10        | 998,10           | 998,10           | 998,10                         | 997,10       | 997,70                 |
| Objemová hmotnost (z<br>vážení)              | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2 413,0       | 2<br>406,7       | 2<br>407,8       | 2<br>408,0                     | 2<br>387,5   | 2<br>377,6             |
| Maximální objem. hm. (z<br>pyknometrů)       | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2481,9        | 2481,9           | 2481,9           | 2481,9                         | 2481,9       | 2481,9                 |
| Mezerovitost (z vážení)                      | [%]                  | <b>2,8</b>    | <b>3,0</b>       | <b>3,0</b>       | <b>3,0</b>                     | <b>3,8</b>   | <b>4,2</b>             |
| Objem. hm. (z marshallů)                     | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2410,1        | 2410,1           | 2410,1           | 2410,1                         | 2410,1       | 2410,1                 |
| Míra zhutnění                                | [%]                  | <b>100,1%</b> | <b>99,9%</b>     | <b>99,9%</b>     | <b>99,9%</b>                   | <b>99,1%</b> | <b>98,7%</b>           |
| Zkouška                                      |                      | cyklon        | modul<br>tuhosti | modul<br>tuhosti | pojezd<br>kolem<br>při<br>60°C | cyklon       | pojezd<br>kolem<br>při |

## Zkušební desky z asfaltové směs číslo 14

|                                           |                      | směs č. 14       |                  |              |                                |                                |                                |                                |
|-------------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Číslo desky ze směsi zkušeb. úseku II/227 | [%]                  | 14.2             | 14.3             | 14.4         | 14.5                           | 14.7                           | 14.8                           | 14.9                           |
| Hmotnost suchá                            | [g]                  | 9511             | 9513             | 9484         | 7561                           | 7686                           | 7729                           | 7785                           |
| Hmotnost pod vodou                        | [g]                  | 5552             | 5555             | 5517         | 4398                           | 4469                           | 4507                           | 4543                           |
| Hmotnost po vytažení                      | [g]                  | 9533             | 9540             | 9505         | 7579                           | 7698                           | 7740                           | 7797                           |
| Rozměry (tloušťka)                        | [mm]                 | 50,50            | 49,40            | 49,91        | 39,66                          | 40,66                          | 40,26                          | 40,56                          |
|                                           |                      | 50,50            | 50,00            | 50,11        | 39,54                          | 40,45                          | 40,47                          | 40,93                          |
|                                           |                      | 50,60            | 49,10            | 49,65        | 39,64                          | 40,31                          | 40,55                          | 41,07                          |
|                                           |                      | 49,65            | 49,10            | 49,66        | 39,44                          | 40,37                          | 40,14                          | 40,27                          |
|                                           |                      | 49,50            | 49,60            | 49,88        | 39,43                          | 40,19                          | 39,99                          | 40,19                          |
|                                           |                      | 49,50            | 50,00            | 51,08        | 39,87                          | 40,87                          | 40,28                          | 40,47                          |
|                                           |                      | 49,50            | 50,20            | 50,45        | 40,21                          | 40,78                          | 40,10                          | 40,39                          |
|                                           |                      | 49,45            | 50,70            | 50,00        | 40,68                          | 40,83                          | 40,18                          | 40,38                          |
|                                           |                      | 49,20            | 49,50            | 49,79        | 40,17                          | 40,37                          | 39,17                          | 39,87                          |
|                                           |                      | 49,60            | 49,30            | 49,57        | 39,53                          | 40,24                          | 39,86                          | 40,26                          |
| Rozměry (šířka)                           | [mm]                 | 259,4<br>0       | 259,9<br>4       | 260,5<br>0   | 260,2<br>0                     | 261,5<br>0                     |                                |                                |
|                                           |                      | 259,2<br>8       | 260,0<br>0       | 260,1<br>0   | 260,3<br>0                     | 260,2<br>0                     |                                |                                |
|                                           |                      |                  |                  | 260,1<br>0   | 260,2<br>0                     |                                |                                |                                |
| Rozměry (délka)                           | [mm]                 | 321,9<br>0       | 321,3<br>0       | 321,3<br>0   | 321,0<br>0                     | 321,6<br>0                     |                                |                                |
|                                           |                      | 321,6<br>0       | 320,8<br>0       | 321,6<br>0   | 321,6<br>0                     | 321,8<br>0                     |                                |                                |
|                                           |                      |                  |                  |              |                                |                                |                                |                                |
| Tloušťka průměr                           | [mm]                 | 49,80            | 49,69            | 50,01        | 39,82                          | 40,51                          | 40,10                          | 40,44                          |
| Šířka průměr                              | [mm]                 | 259,3<br>4       | 259,9<br>7       | 260,2<br>3   | 260,2<br>3                     | 260,8<br>5                     |                                |                                |
| Délka průměr                              | [mm]                 | 321,7<br>5       | 321,0<br>5       | 321,4<br>5   | 321,3<br>0                     | 321,7<br>0                     |                                |                                |
| teplota v lázni                           | [°C]                 |                  |                  |              |                                |                                | 21,40                          | 21,40                          |
| objemová hmotnost vody                    |                      |                  |                  | 997,6<br>0   | 997,6<br>0                     | 998,1<br>0                     | 998,0<br>0                     | 998,0<br>0                     |
| Objemová hmotnost (z vážení)              | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2<br>389,1       | 2<br>387,2       | 2<br>372,4   | 2<br>371,2                     | 2<br>375,8                     | 2<br>385,9                     | 2<br>387,7                     |
| Maximální objem. hm.                      | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2456,<br>6       | 2456,<br>6       | 2456,<br>6   | 2456,<br>6                     | 2456,<br>6                     | 2456,<br>6                     | 2456,<br>6                     |
| Mezerovitost (z vážení)                   | [%]                  | <b>2,7</b>       | <b>2,8</b>       | <b>3,4</b>   | <b>3,5</b>                     | <b>3,3</b>                     | <b>2,9</b>                     | <b>2,8</b>                     |
| Objem. hm. (z marshallů)                  | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2393,<br>7       | 2393,<br>7       | 2393,<br>7   | 2393,<br>7                     | 2397,<br>7                     | 2397,<br>7                     | 2397,<br>7                     |
| Míra zhutnění                             | [%]                  | <b>99,8%</b>     | <b>99,7%</b>     | <b>99,1%</b> | <b>99,1%</b>                   | <b>99,1%</b>                   | <b>99,5%</b>                   | <b>99,6%</b>                   |
| Zkouška                                   |                      | modul<br>tuhosti | modul<br>tuhosti | cyklon       | pojezd<br>kolem<br>při<br>60°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>50°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>50°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>60°C |

## Zkušební desky z asfaltové směs číslo 16

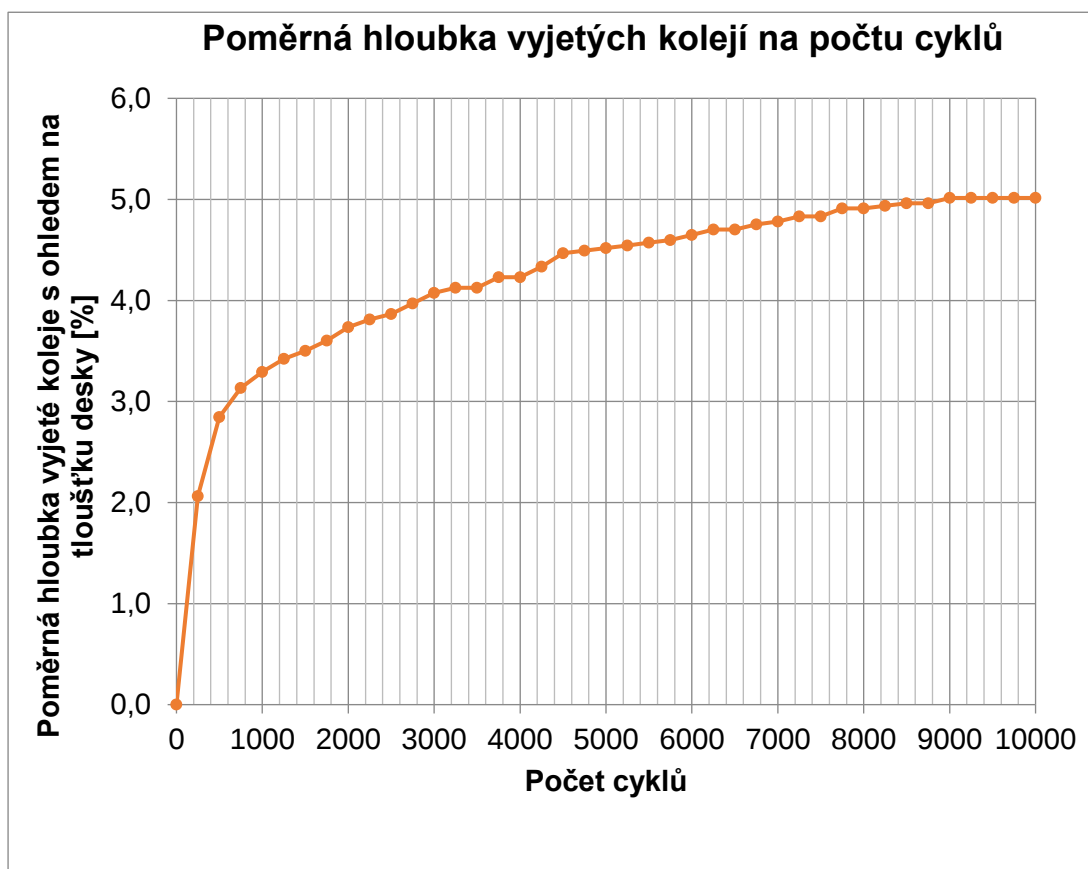
|                                           |                      | směs č. 16   |                |                |              |                |                |              |
|-------------------------------------------|----------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
| Číslo desky ze směsi zkušeb. úseku II/227 |                      | 16.1         | 16.2           | 16.3           | 16.5         | 16.6           | 16.7           | 16.8         |
|                                           | [%]                  |              |                |                |              |                |                |              |
| Hmotnost suchá                            | [g]                  | 9576         | 9590           | 9561           | 7532         | 7605           | 7565           | 7592         |
| Hmotnost pod vodou                        | [g]                  | 5640         | 5664           | 5652           | 4438         | 4509           | 4479           | 4458         |
| Hmotnost po vytažení                      | [g]                  | 9591         | 9606           | 9575           | 7552         | 7611           | 7575           | 7608         |
| Rozměry (tloušťka)                        | [mm]                 | 49,90        | 49,80          | 49,80          | 40,63        | 39,31          | 39,00          | 40,21        |
|                                           |                      | 49,50        | 49,50          | 49,60          | 39,85        | 38,59          | 39,19          | 39,93        |
|                                           |                      | 49,50        | 49,40          | 49,60          | 39,95        | 38,36          | 40,06          | 40,69        |
|                                           |                      | 49,00        | 49,20          | 48,90          | 39,33        | 38,26          | 39,46          | 40,05        |
|                                           |                      | 49,00        | 50,20          | 48,50          | 39,25        | 38,19          | 39,10          | 40,05        |
|                                           |                      | 49,60        | 48,80          | 48,80          | 39,18        | 38,46          | 39,12          | 39,53        |
|                                           |                      | 49,50        | 48,80          | 49,00          | 39,61        | 38,26          | 38,56          | 39,12        |
|                                           |                      | 49,20        | 48,40          | 49,50          | 39,52        | 38,51          | 38,61          | 39,12        |
|                                           |                      | 49,20        | 48,70          | 49,00          | 39,90        | 38,39          | 38,48          | 39,30        |
|                                           |                      | 49,90        | 49,10          | 49,40          | 39,71        | 38,81          | 38,52          | 39,84        |
| Rozměry (šířka)                           | [mm]                 | 260,30       | 267,20         | 260,10         | 259,20       | 260,00         | 260,30         |              |
|                                           |                      | 260,10       | 260,50         | 260,40         | 259,30       | 260,60         | 260,00         |              |
|                                           |                      |              |                |                | 259,40       |                |                |              |
| Rozměry (délka)                           | [mm]                 | 321,48       | 319,80         | 321,18         | 322,00       | 322,00         | 322,00         |              |
|                                           |                      | 320,80       | 320,50         | 321,18         | 322,20       | 322,00         | 321,30         |              |
|                                           |                      |              |                |                | 322,3        |                |                |              |
| Tloušťka průměr                           | [mm]                 | 49,43        | 49,19          | 49,21          | 39,69        | 38,51          | 39,01          | 39,78        |
| Šířka průměr                              | [mm]                 | 260,20       | 263,85         | 260,25         | 259,30       | 260,30         | 260,15         |              |
| Délka průměr                              | [mm]                 | 321,14       | 320,15         | 321,18         | 322,10       | 322,00         | 321,65         |              |
| teplota v lázni                           | [°C]                 |              |                |                |              | 22,10          | 24,10          | 23,10        |
| objemová hmotnost vody                    |                      | 998,10       | 998,10         |                | 998,00       | 997,80         | 997,40         | 997,60       |
| Objemová hmotnost (z vážení)              | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2<br>419,1   | 2<br>427,6     | 2<br>431,6     | 2<br>413,9   | 2<br>446,3     | 2<br>437,1     | 2<br>404,4   |
| Maximální objem. hm. (z pyknometrů)       | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2489,0<br>0  | 2489,0<br>0    | 2489,0<br>0    | 2489         | 2489           | 2489           | 2489         |
| Mezerovitost (z vážení)                   | [%]                  | <b>2,8</b>   | <b>2,5</b>     | <b>2,3</b>     | <b>3,0</b>   | <b>1,7</b>     | <b>2,1</b>     | <b>3,4</b>   |
| Objem. hm. (z marshallů)                  | [kg/m <sup>3</sup> ] | 2422,3<br>0  | 2422,3<br>0    | 2422,3<br>0    | 2422,3<br>0  | 2422,3<br>0    | 2422,3<br>0    | 2422,3<br>0  |
| Míra zhutnění                             | [%]                  | <b>99,9%</b> | <b>100,2 %</b> | <b>100,4 %</b> | <b>99,7%</b> | <b>101,0 %</b> | <b>100,6 %</b> | <b>99,3%</b> |

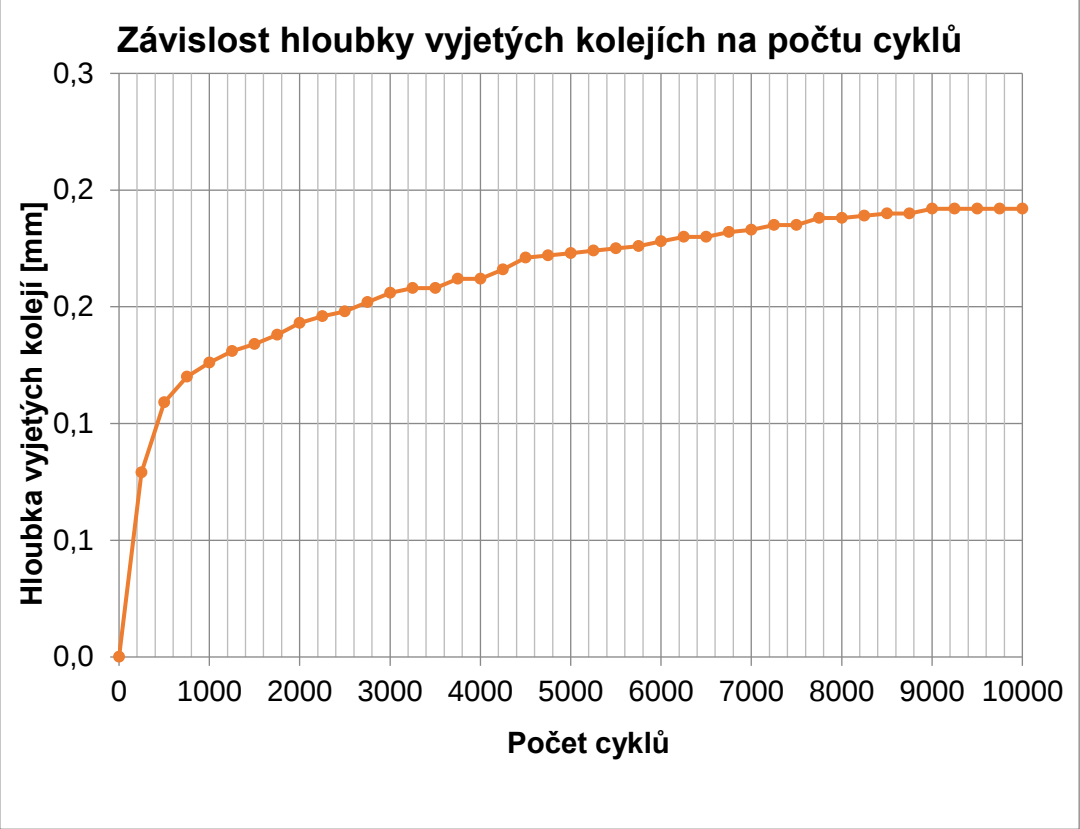
|         |  |                  |                  |        |                                |                                |                                |                                |
|---------|--|------------------|------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Zkouška |  | modul<br>tuhosti | modul<br>tuhosti | cyklon | pojezd<br>kolem<br>při<br>50°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>50°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>50°C | pojezd<br>kolem<br>při<br>60°C |
|---------|--|------------------|------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|

**Příloha C: Stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím – zkouška pojiždění kolem**

|                  |               |                     |                          |                                |                                  |            |
|------------------|---------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|
| Deska P          |               | Froněk, SMA 11, 1.2 |                          |                                |                                  |            |
| Tloušťka desek P |               | 38,3 mm             |                          |                                |                                  |            |
| Teplota hutnění  |               | 155 °C              |                          |                                |                                  |            |
| Datum pojiždění  |               | 11.5.2017           |                          |                                |                                  |            |
| Deska            | tloušťka      | YS,10               | PRDAIR                   | max.<br>PRDAIR<br>dle<br>normy | WTSAIR                           |            |
|                  | [mm]          | [mm]                | [%]                      | [%]                            | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |            |
| P                | 38,29         | 0,17                | 5,01                     | 6                              | 0,038                            |            |
| SMA 11 S, 1.2    |               |                     | Hloubka trvalé deformace |                                | Poměrná hloubka trvalé deformace |            |
| Počet cyklů      | Počet pojezdů | Teplota             | P deska YS               | P deska YS                     | Průměr                           | P deska YS |
|                  |               | [%]                 | [mm]                     | [mm]                           | [mm]                             | [%]        |
| 0                | 0             | 59,6                | 1,2                      | 0,0                            | 0,0                              | 0,0        |
| 250              | 500           | 59,7                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 2,1        |
| 500              | 1000          | 59,7                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 2,8        |
| 750              | 1500          | 59,8                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,1        |
| 1000             | 2000          | 59,8                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,3        |
| 1250             | 2500          | 59,8                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,4        |
| 1500             | 3000          | 59,9                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,5        |
| 1750             | 3500          | 59,8                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,6        |
| 2000             | 4000          | 59,8                | 1,3                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,7        |
| 2250             | 4500          | 59,8                | 1,4                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,8        |
| 2500             | 5000          | 59,9                | 1,4                      | 0,1                            | 0,1                              | 3,9        |
| 2750             | 5500          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,0        |
| 3000             | 6000          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,1        |
| 3250             | 6500          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,1        |
| 3500             | 7000          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,1        |
| 3750             | 7500          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,2        |
| 4000             | 8000          | 59,8                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,2        |
| 4250             | 8500          | 59,9                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,3        |
| 4500             | 9000          | 59,9                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,5        |
| 4750             | 9500          | 60,0                | 1,4                      | 0,2                            | 0,2                              | 4,5        |

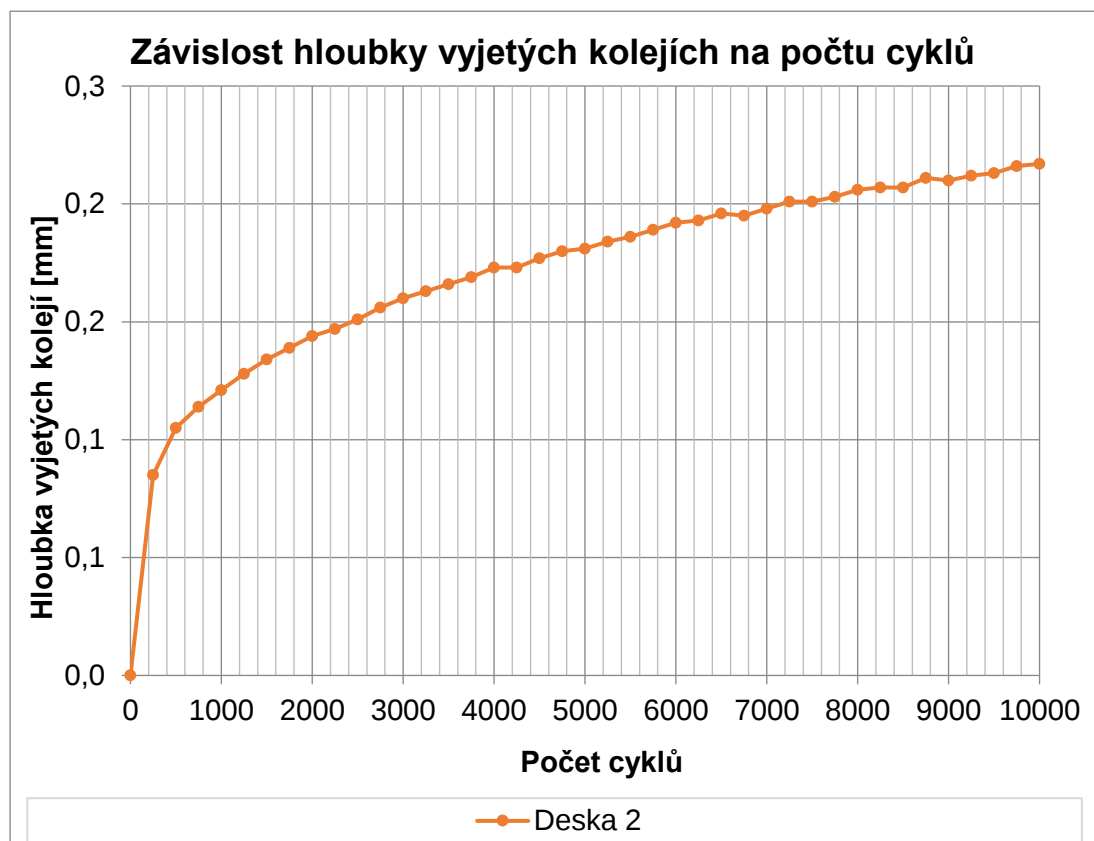
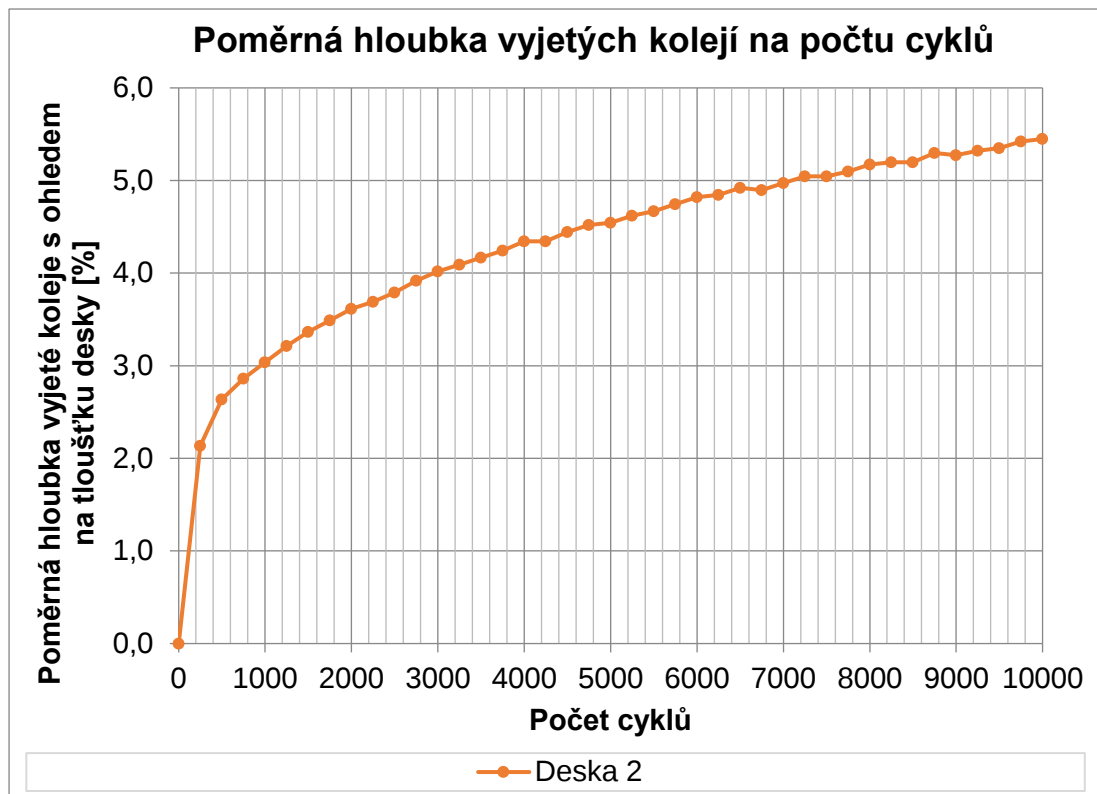
|              |              |             |            |            |            |            |
|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 5000         | 10000        | 59,8        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,5        |
| 5250         | 10500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,5        |
| 5500         | 11000        | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,6        |
| 5750         | 11500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,6        |
| 6000         | 12000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,6        |
| 6250         | 12500        | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,7        |
| 6500         | 13000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,7        |
| 6750         | 13500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,8        |
| 7000         | 14000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,8        |
| 7250         | 14500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,8        |
| 7500         | 15000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,8        |
| 7750         | 15500        | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,9        |
| 8000         | 16000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,9        |
| 8250         | 16500        | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 4,9        |
| 8500         | 17000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| 8750         | 17500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| 9000         | 18000        | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| 9250         | 18500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| 9500         | 19000        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| 9750         | 19500        | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,0        |
| <b>10000</b> | <b>20000</b> | <b>60,0</b> | <b>1,4</b> | <b>0,2</b> | <b>0,2</b> | <b>5,0</b> |





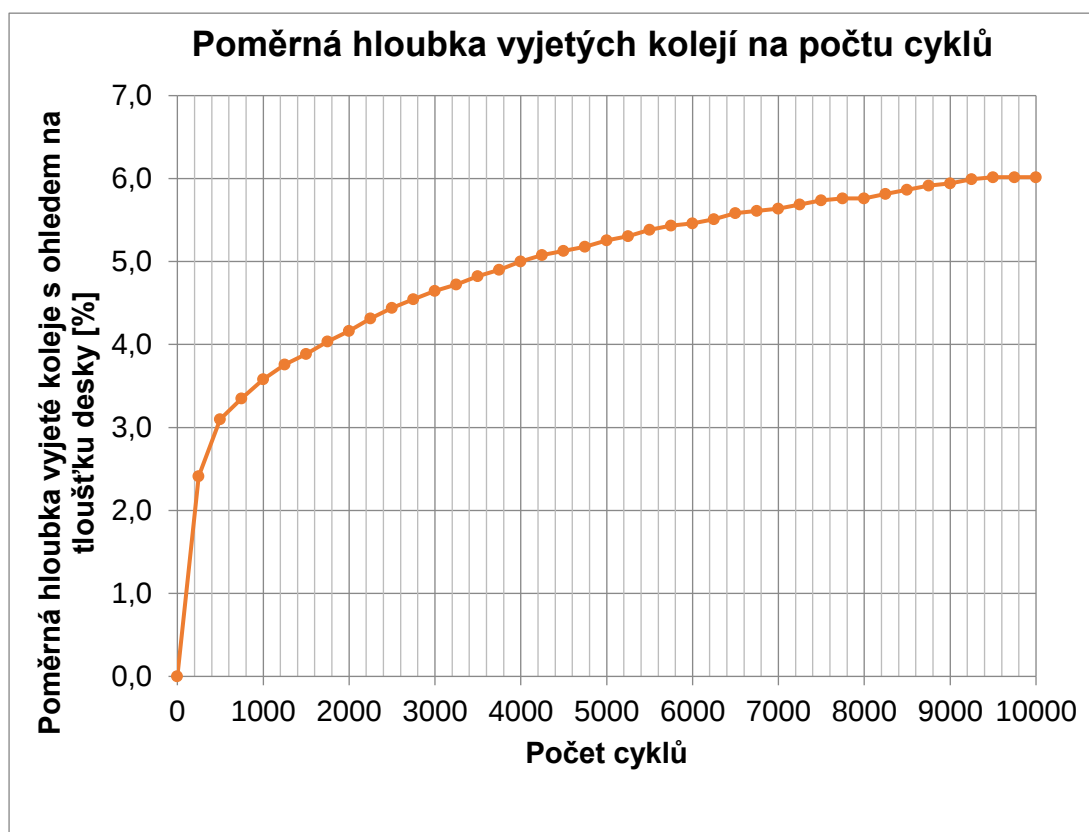
|                  |               |                     |                                |                                                        |                                  |                           |
|------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Deska P          |               | Froněk, SMA 11, 4.7 |                                |                                                        |                                  |                           |
| Tloušťka desek P |               | 40,00 mm            |                                |                                                        |                                  |                           |
| Teplota hutnění  |               | 155 °C              |                                |                                                        |                                  |                           |
| Datum pojiždění  |               | 24.1.2017           |                                |                                                        |                                  |                           |
| Deska            | tloušťka      | YS,10               | PRD <sub>AI</sub> <sub>R</sub> | max.<br>PRD <sub>AI</sub> <sub>R</sub><br>dle<br>normy | WTSAIR                           |                           |
|                  | [mm]          | [mm]                | [%]                            | [%]                                                    | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |                           |
| P                | 39,83         | 0,18                | 5,45                           | 5                                                      | 0,072                            |                           |
| SMA 11 S, 4      |               |                     | Hloubka trvalé deformace       |                                                        | Poměrná hloubka trvalé deformace |                           |
| Počet cyklů      | Počet pojezdů | Teplota             | P deska<br>Y <sub>s</sub>      | P deska<br>Y <sub>s</sub>                              | Průměr                           | P deska<br>Y <sub>s</sub> |
|                  |               | [%]                 | [mm]                           | [mm]                                                   | [mm]                             | [%]                       |
| 0                | 0             | 53,3                | 1,1                            | 0,0                                                    | 0,0                              | 0,0                       |
| 250              | 500           | 59,0                | 1,2                            | 0,1                                                    | 0,1                              | 2,1                       |
| 500              | 1000          | 59,6                | 1,2                            | 0,1                                                    | 0,1                              | 2,6                       |
| 750              | 1500          | 59,7                | 1,2                            | 0,1                                                    | 0,1                              | 2,9                       |

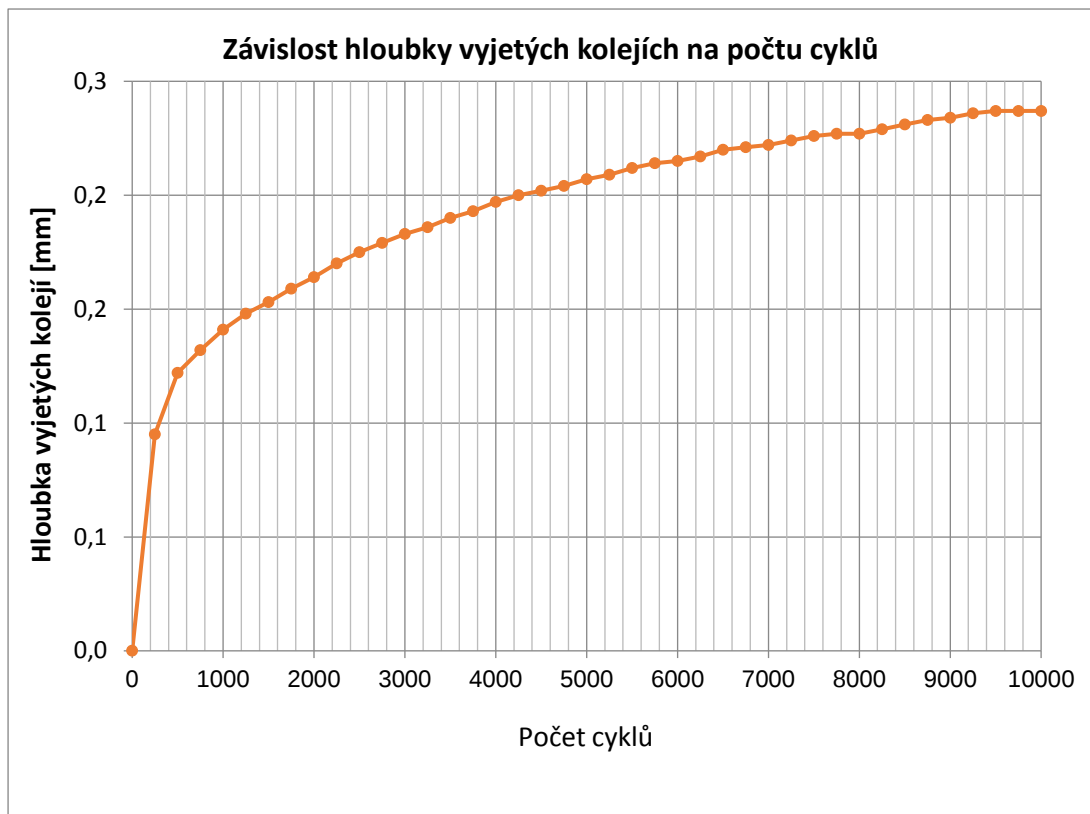
|              |              |      |     |     |     |     |
|--------------|--------------|------|-----|-----|-----|-----|
| 1000         | 2000         | 59,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,0 |
| 1250         | 2500         | 59,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,2 |
| 1500         | 3000         | 59,7 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,4 |
| 1750         | 3500         | 59,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,5 |
| 2000         | 4000         | 59,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,6 |
| 2250         | 4500         | 59,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 3,7 |
| 2500         | 5000         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 3,8 |
| 2750         | 5500         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 3,9 |
| 3000         | 6000         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,0 |
| 3250         | 6500         | 59,9 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,1 |
| 3500         | 7000         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,2 |
| 3750         | 7500         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,2 |
| 4000         | 8000         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,3 |
| 4250         | 8500         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,3 |
| 4500         | 9000         | 59,8 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,4 |
| 4750         | 9500         | 60,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,5 |
| 5000         | 10000        | 59,9 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 4,5 |
| 5250         | 10500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,6 |
| 5500         | 11000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,7 |
| 5750         | 11500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,7 |
| 6000         | 12000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,8 |
| 6250         | 12500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,8 |
| 6500         | 13000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,9 |
| 6750         | 13500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 4,9 |
| 7000         | 14000        | 59,8 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,0 |
| 7250         | 14500        | 59,8 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,0 |
| 7500         | 15000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,0 |
| 7750         | 15500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,1 |
| 8000         | 16000        | 60,1 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,2 |
| 8250         | 16500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,2 |
| 8500         | 17000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,2 |
| 8750         | 17500        | 60,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,3 |
| 9000         | 18000        | 60,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,3 |
| 9250         | 18500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,3 |
| 9500         | 19000        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,3 |
| 9750         | 19500        | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,4 |
| <b>10000</b> | <b>20000</b> | 59,9 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,4 |



|                    |               |                     |                          |                                    |                                  |            |
|--------------------|---------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------|
| Deska P            |               | Froněk, SMA 11, 7.8 |                          |                                    |                                  |            |
| Tloušťka desek P   |               | 40,00 mm            |                          |                                    |                                  |            |
| Teplota hutnění    |               | 155 °C              |                          |                                    |                                  |            |
| Datum pojiždění    |               | 18.1.2017           |                          |                                    |                                  |            |
| Deska              | tloušťka      | YS,10               | PRDAIR                   | max.<br>PRDAI<br>R<br>dle<br>normy | WTSAIR                           |            |
|                    | [mm]          | [mm]                | [%]                      | [%]                                | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |            |
| P                  | 39,39         | 0,21                | 6,02                     | 5                                  | 0,06                             |            |
| <b>SMA 11 S, 7</b> |               |                     | Hloubka trvalé deformace |                                    | Poměrná hloubka trvalé deformace |            |
| Počet cyklů        | Počet pojezdů | Teplota             | P deska YS               | P deska YS                         | Průměr                           | P deska YS |
|                    |               | [%]                 | [mm]                     | [mm]                               | [mm]                             | [%]        |
| 0                  | 0             | 53,2                | 1,1                      | 0,0                                | 0,0                              | 0,0        |
| 250                | 500           | 59,7                | 1,2                      | 0,1                                | 0,1                              | 2,4        |
| 500                | 1000          | 59,7                | 1,2                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,1        |
| 750                | 1500          | 59,8                | 1,2                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,4        |
| 1000               | 2000          | 59,7                | 1,2                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,6        |
| 1250               | 2500          | 59,7                | 1,2                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,8        |
| 1500               | 3000          | 59,9                | 1,2                      | 0,2                                | 0,2                              | 3,9        |
| 1750               | 3500          | 59,7                | 1,2                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,0        |
| 2000               | 4000          | 59,9                | 1,2                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,2        |
| 2250               | 4500          | 59,8                | 1,2                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,3        |
| 2500               | 5000          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,4        |
| 2750               | 5500          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,5        |
| 3000               | 6000          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,6        |
| 3250               | 6500          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,7        |
| 3500               | 7000          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,8        |
| 3750               | 7500          | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,9        |
| 4000               | 8000          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,0        |
| 4250               | 8500          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,1        |
| 4500               | 9000          | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,1        |
| 4750               | 9500          | 60,0                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,2        |
| 5000               | 10000         | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,3        |
| 5250               | 10500         | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,3        |
| 5500               | 11000         | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,4        |
| 5750               | 11500         | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,4        |
| 6000               | 12000         | 60,0                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,5        |
| 6250               | 12500         | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,5        |
| 6500               | 13000         | 60,0                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6        |
| 6750               | 13500         | 59,8                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6        |
| 7000               | 14000         | 59,9                | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6        |

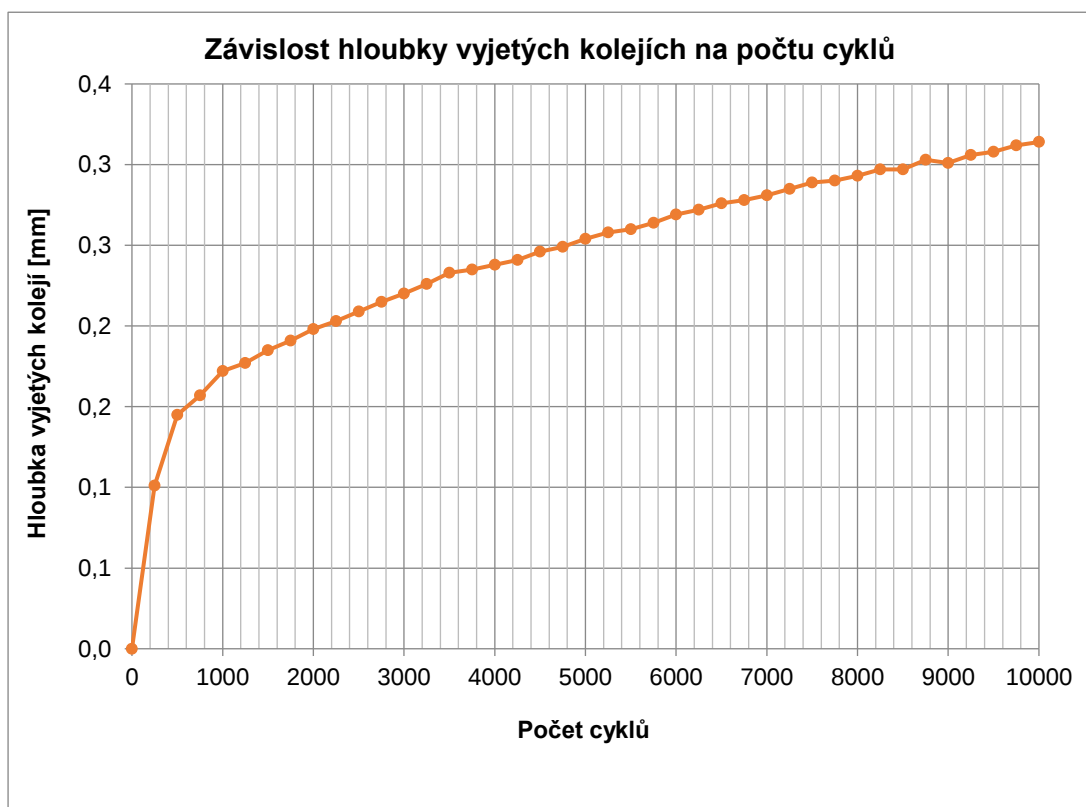
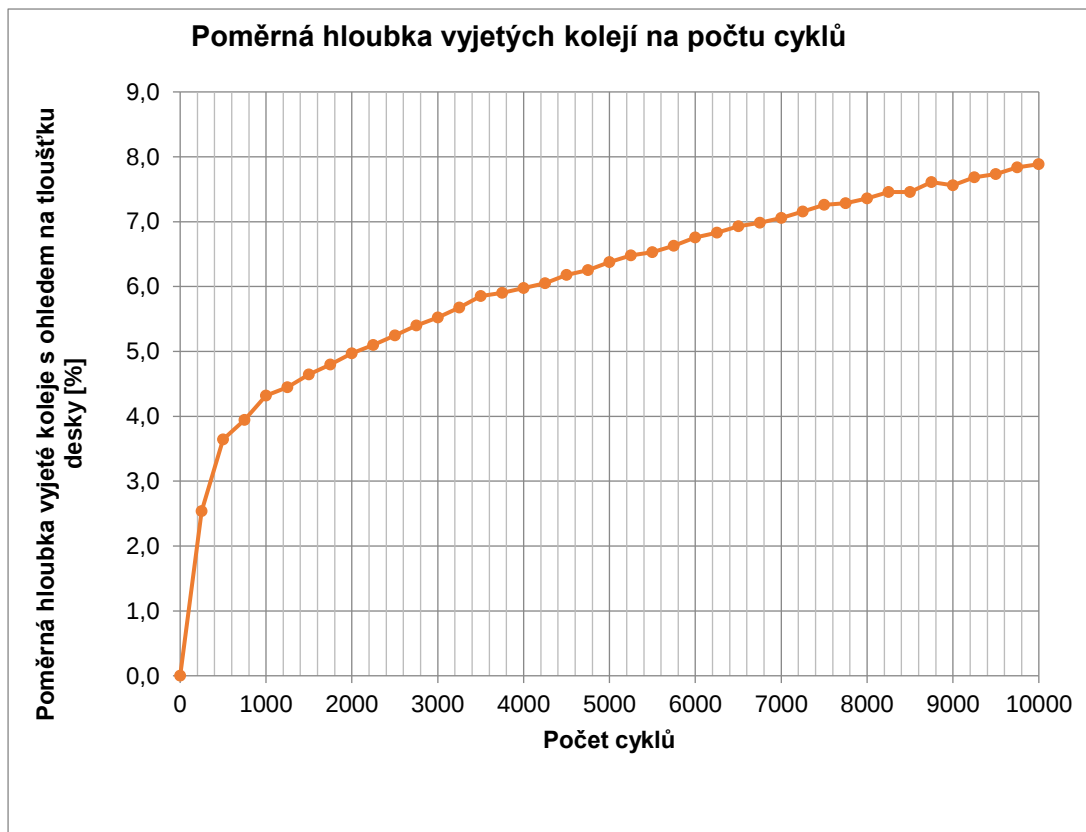
|              |              |             |            |            |            |            |
|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 7250         | 14500        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,7        |
| 7500         | 15000        | 59,8        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,7        |
| 7750         | 15500        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,8        |
| 8000         | 16000        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,8        |
| 8250         | 16500        | 59,8        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,8        |
| 8500         | 17000        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,9        |
| 8750         | 17500        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,9        |
| 9000         | 18000        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,9        |
| 9250         | 18500        | 60,0        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 6,0        |
| 9500         | 19000        | 59,9        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 6,0        |
| 9750         | 19500        | 60,0        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 6,0        |
| <b>10000</b> | <b>20000</b> | <b>60,0</b> | <b>1,3</b> | <b>0,2</b> | <b>0,2</b> | <b>6,0</b> |





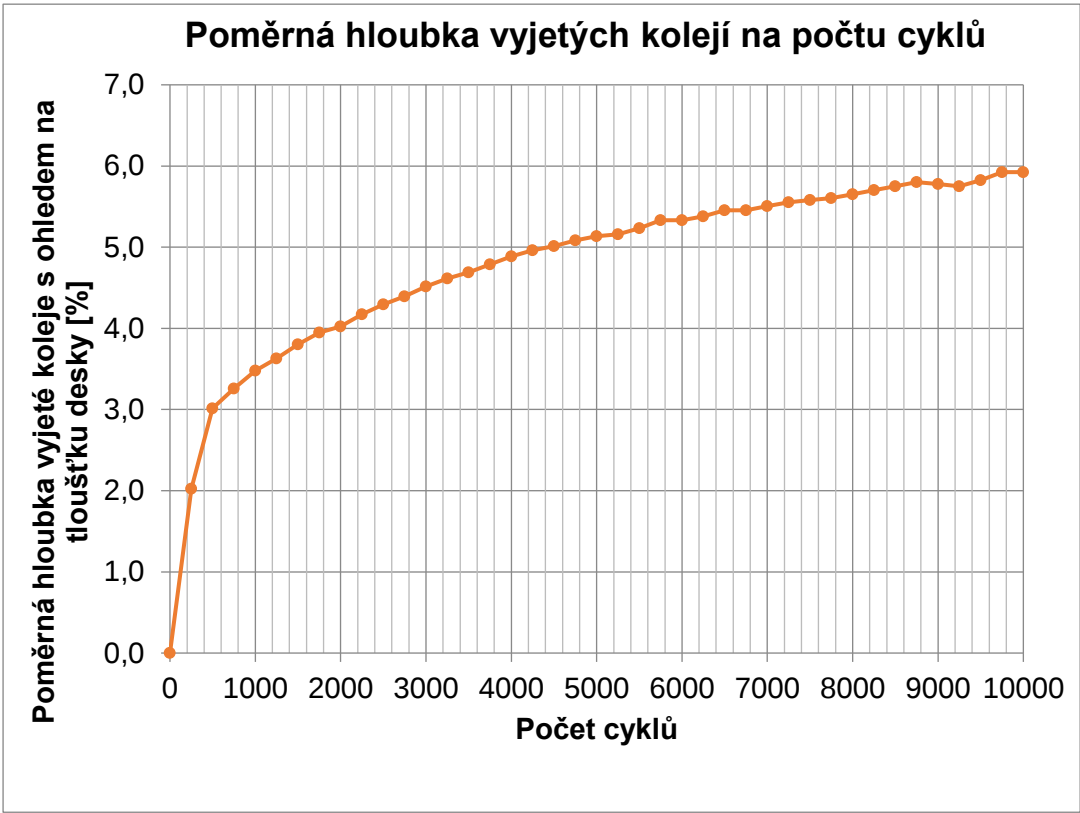
|                  |               |                      |                          |                             |                                  |               |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------|
| Deska P          |               | Froněk, SMA 11, 14.5 |                          |                             |                                  |               |
| Tloušťka desek P |               | 40,00 mm             |                          |                             |                                  |               |
| Teplota hutnění  |               | 155 °C               |                          |                             |                                  |               |
| Datum poježdění  |               | 7.3.2017             |                          |                             |                                  |               |
| Deska            | tloušťka      | YS,10                | PRDAIR                   | max.<br>PRDAIR<br>dle normy | WTSAIR                           |               |
|                  | [mm]          | [mm]                 | [%]                      | [%]                         | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |               |
| P                | 39,82         | 0,25                 | 7,89                     | 5                           | 0,12                             |               |
| SMA 11 S, 14.5   |               |                      | Hloubka trvalé deformace |                             | Poměrná hloubka trvalé deformace |               |
| Počet cyklů      | Počet pojezdů | Teplota              | P deska<br>YS            | P deska<br>YS               | Průměr                           | P deska<br>YS |
|                  |               | [%]                  | [mm]                     | [mm]                        | [mm]                             | [%]           |
| 0                | 0             | 59,8                 | 1,1                      | 0,0                         | 0,0                              | 0,0           |
| 250              | 500           | 59,8                 | 1,2                      | 0,1                         | 0,1                              | 2,5           |
| 500              | 1000          | 59,8                 | 1,3                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,6           |
| 750              | 1500          | 59,7                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 3,9           |
| 1000             | 2000          | 59,8                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,3           |
| 1250             | 2500          | 59,8                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,4           |
| 1500             | 3000          | 59,8                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,6           |
| 1750             | 3500          | 59,8                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,8           |
| 2000             | 4000          | 59,9                 | 1,3                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,0           |

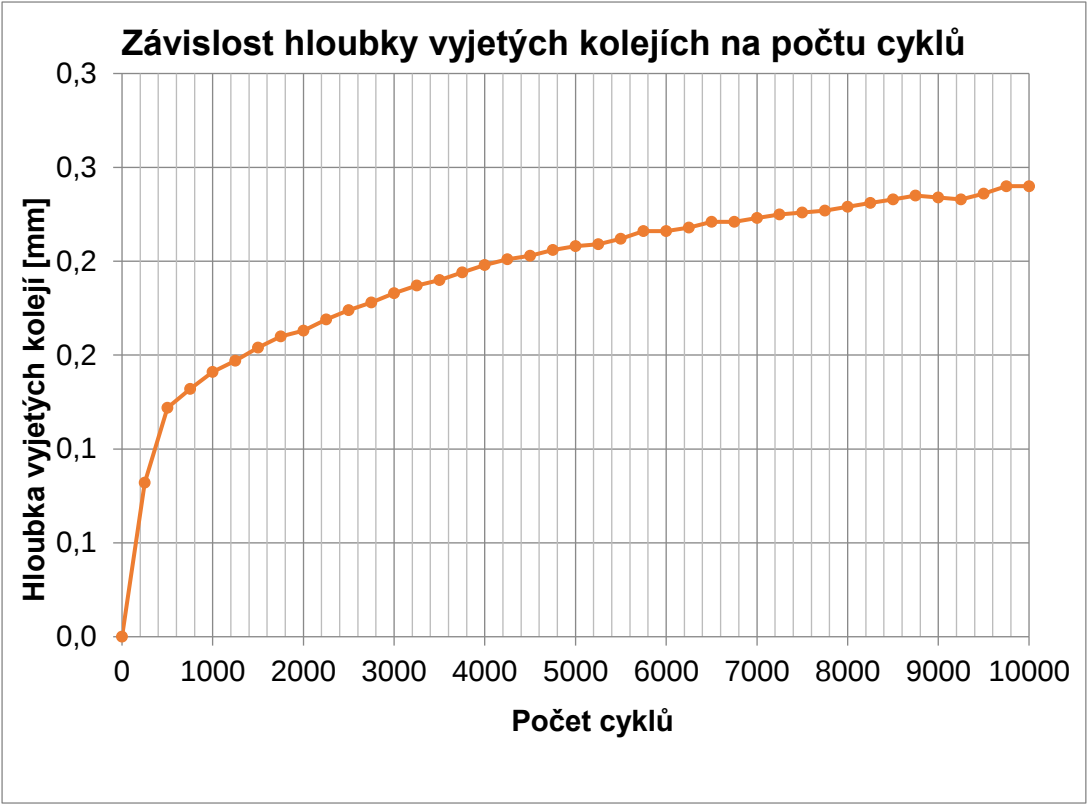
|              |              |             |            |            |            |            |
|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 2250         | 4500         | 59,8        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,1        |
| 2500         | 5000         | 59,8        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,2        |
| 2750         | 5500         | 60,0        | 1,3        | 0,2        | 0,2        | 5,4        |
| 3000         | 6000         | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,5        |
| 3250         | 6500         | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,7        |
| 3500         | 7000         | 59,8        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,9        |
| 3750         | 7500         | 59,9        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 5,9        |
| 4000         | 8000         | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 6,0        |
| 4250         | 8500         | 59,8        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 6,1        |
| 4500         | 9000         | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 6,2        |
| 4750         | 9500         | 60,0        | 1,4        | 0,2        | 0,2        | 6,3        |
| 5000         | 10000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,4        |
| 5250         | 10500        | 59,8        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,5        |
| 5500         | 11000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,5        |
| 5750         | 11500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,6        |
| 6000         | 12000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,8        |
| 6250         | 12500        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,8        |
| 6500         | 13000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 6,9        |
| 6750         | 13500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,0        |
| 7000         | 14000        | 59,8        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,1        |
| 7250         | 14500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,2        |
| 7500         | 15000        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,3        |
| 7750         | 15500        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,3        |
| 8000         | 16000        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,4        |
| 8250         | 16500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,5        |
| 8500         | 17000        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,5        |
| 8750         | 17500        | 59,9        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,6        |
| 9000         | 18000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,6        |
| 9250         | 18500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,7        |
| 9500         | 19000        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,7        |
| 9750         | 19500        | 60,0        | 1,4        | 0,3        | 0,3        | 7,8        |
| <b>10000</b> | <b>20000</b> | <b>60,0</b> | <b>1,4</b> | <b>0,3</b> | <b>0,3</b> | <b>7,9</b> |



|                  |               |                      |                          |                             |                                  |                    |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Deska P          |               | Froněk, SMA 11, 14.7 |                          |                             |                                  |                    |
| Tloušťka desek P |               | 40,00 mm             |                          |                             |                                  |                    |
| Teplota hutnění  |               | 155 °C               |                          |                             |                                  |                    |
| Datum pojíždění  |               | 22.3.2017            |                          |                             |                                  |                    |
| Deska            | tloušťka      | YS,10                | PRDAIR                   | max.<br>PRDAIR<br>dle normy | WTSAIR                           |                    |
|                  | [mm]          | [mm]                 | [%]                      | [%]                         | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |                    |
| P                | 40,51         | 0,21                 | 5,92                     | 5                           | 0,064                            |                    |
| SMA 11 S, 14.7   |               |                      | Hloubka trvalé deformace |                             | Poměrná hloubka trvalé deformace |                    |
| Počet cyklů      | Počet pojezdů | Teplota              | P deska<br>YS            | P deska<br>YS               | Průměr                           | P deska<br>a<br>YS |
|                  |               | [%]                  | [mm]                     | [mm]                        | [mm]                             | [%]                |
| 0                | 0             | 49,0                 | 1,0                      | 0,0                         | 0,0                              | 0,0                |
| 250              | 500           | 49,7                 | 1,1                      | 0,1                         | 0,1                              | 2,0                |
| 500              | 1000          | 49,8                 | 1,1                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,0                |
| 750              | 1500          | 49,8                 | 1,2                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,3                |
| 1000             | 2000          | 49,9                 | 1,2                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,5                |
| 1250             | 2500          | 49,8                 | 1,2                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,6                |
| 1500             | 3000          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 3,8                |
| 1750             | 3500          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 3,9                |
| 2000             | 4000          | 49,8                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,0                |
| 2250             | 4500          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,2                |
| 2500             | 5000          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,3                |
| 2750             | 5500          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,4                |
| 3000             | 6000          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,5                |
| 3250             | 6500          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,6                |
| 3500             | 7000          | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,7                |
| 3750             | 7500          | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,8                |
| 4000             | 8000          | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,9                |
| 4250             | 8500          | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,0                |
| 4500             | 9000          | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,0                |
| 4750             | 9500          | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,1                |
| 5000             | 10000         | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,1                |
| 5250             | 10500         | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,2                |
| 5500             | 11000         | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,2                |
| 5750             | 11500         | 49,9                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,3                |
| 6000             | 12000         | 50,1                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,3                |
| 6250             | 12500         | 50,1                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,4                |
| 6500             | 13000         | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,5                |
| 6750             | 13500         | 50,0                 | 1,2                      | 0,2                         | 0,2                              | 5,5                |

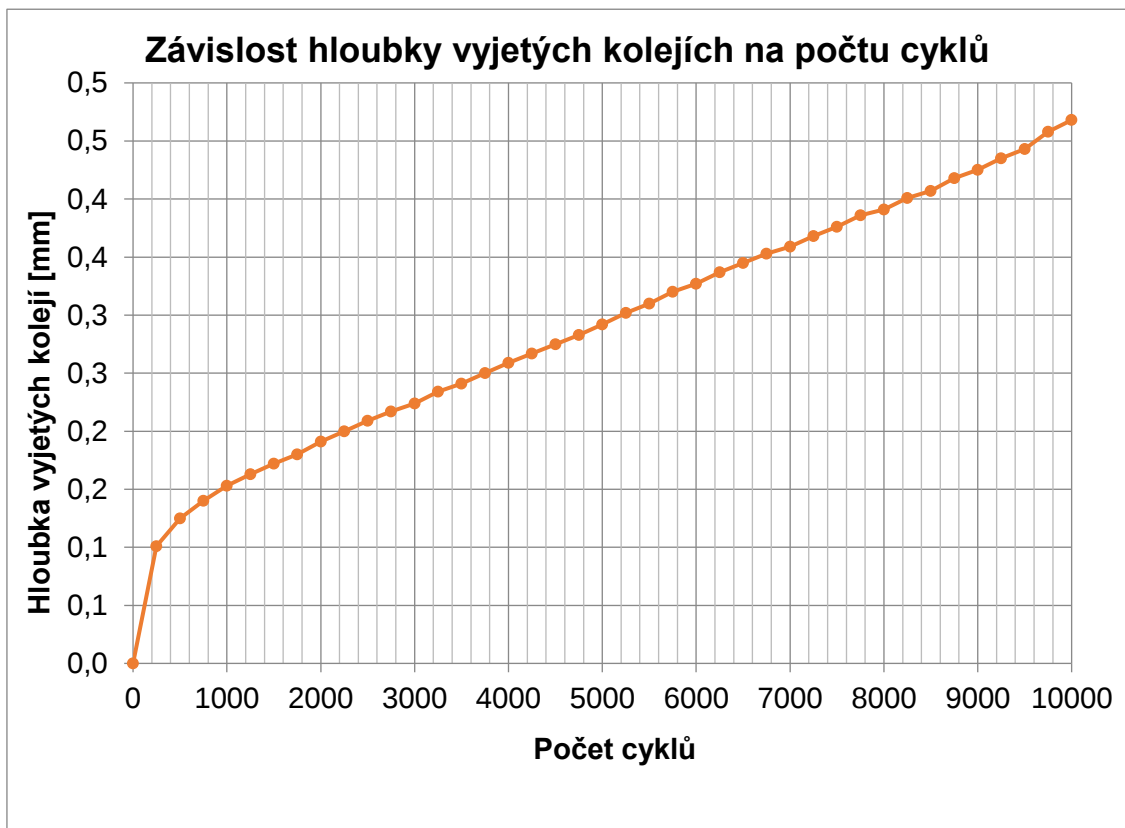
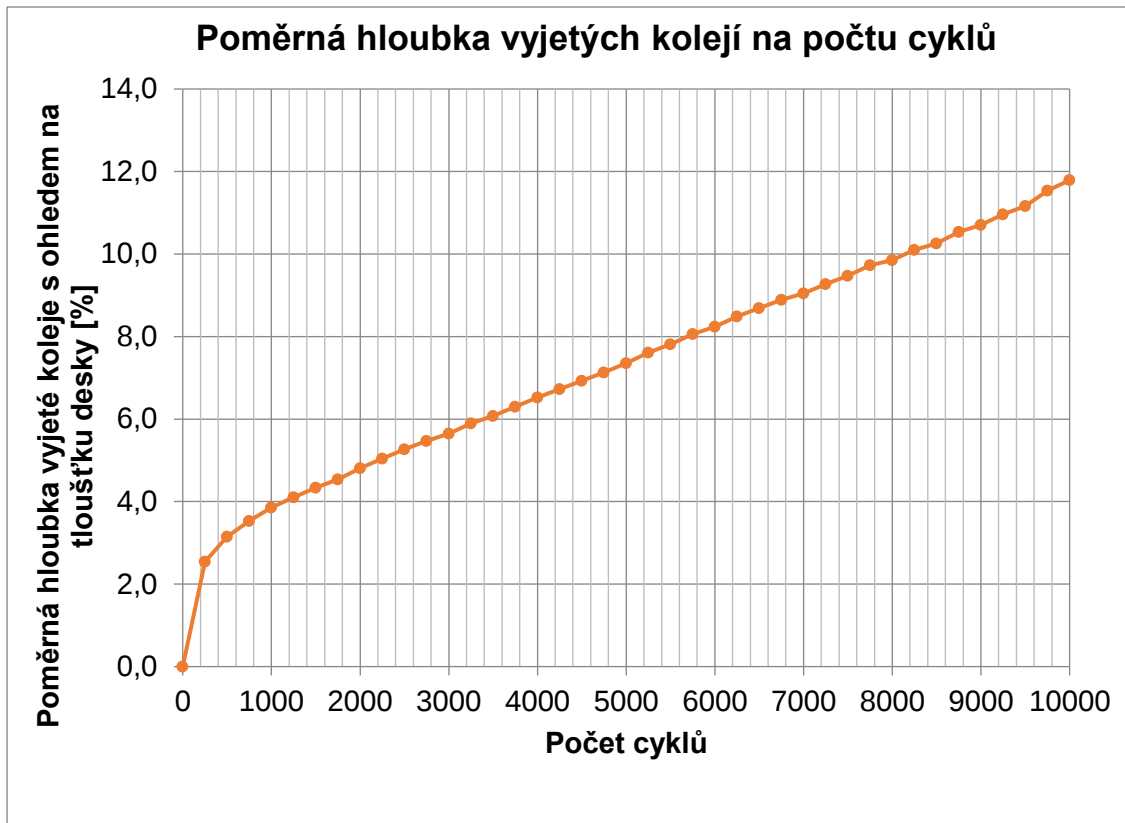
|       |       |      |     |     |     |     |
|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| 7000  | 14000 | 50,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 5,5 |
| 7250  | 14500 | 50,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 5,6 |
| 7500  | 15000 | 50,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 5,6 |
| 7750  | 15500 | 50,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 5,6 |
| 8000  | 16000 | 50,1 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 5,7 |
| 8250  | 16500 | 50,1 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,7 |
| 8500  | 17000 | 50,1 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,8 |
| 8750  | 17500 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,8 |
| 9000  | 18000 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,8 |
| 9250  | 18500 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,8 |
| 9500  | 19000 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,8 |
| 9750  | 19500 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,9 |
| 10000 | 20000 | 50,0 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 5,9 |





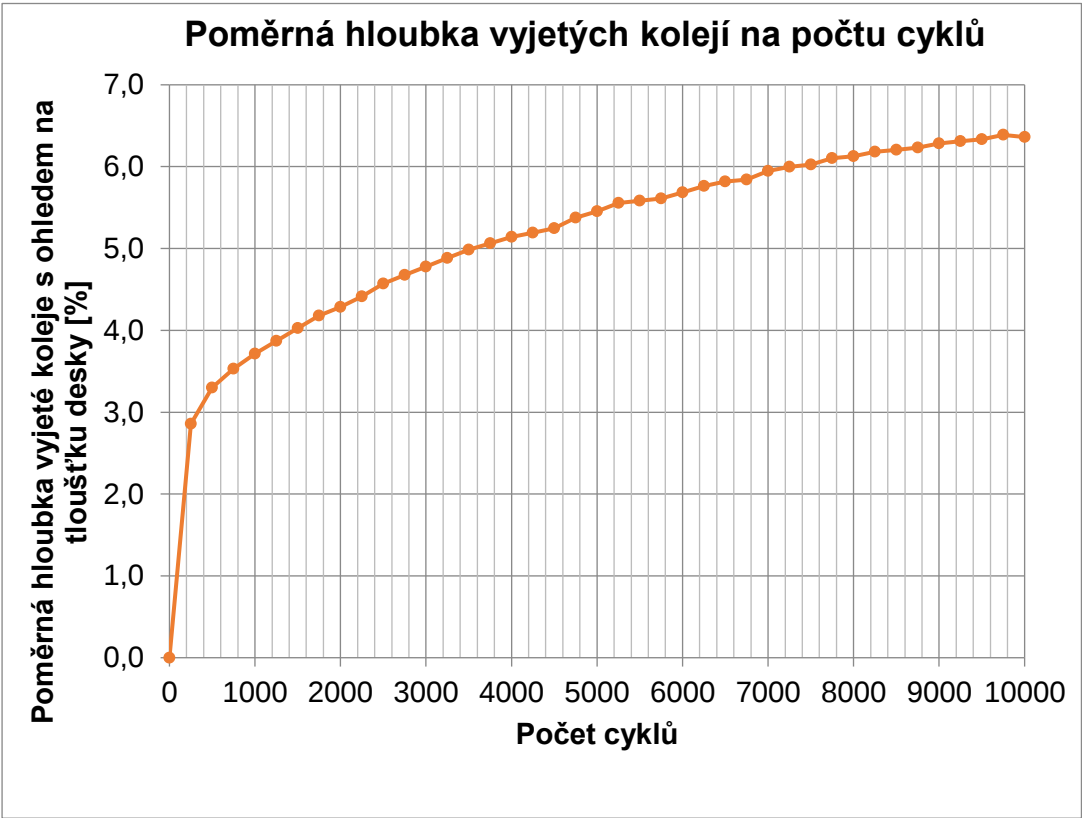
|                  |               |                      |                          |                             |                                  |                      |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Deska P          |               | Froněk, SMA 11, 16.5 |                          |                             |                                  |                      |
| Tloušťka desek P |               | 40,00 mm             |                          |                             |                                  |                      |
| Teplota hutnění  |               | 155 °C               |                          |                             |                                  |                      |
| Datum poježdění  |               | 10.2.2017            |                          |                             |                                  |                      |
| Deska            | tloušťka      | YS,10                | PRDAIR                   | max.<br>PRDAIR<br>dle normy | WTSAIR                           |                      |
|                  | [mm]          | [mm]                 | [%]                      | [%]                         | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |                      |
| P                | 39,69         | 0,29                 | 11,79                    | 5                           | 0,352                            |                      |
| SMA 11 S, 16.5   |               |                      | Hloubka trvalé deformace |                             | Poměrná hloubka trvalé deformace |                      |
| Počet cyklů      | Počet pojezdů | Teplota              | P deska<br>YS            | P deska<br>YS               | Průměr                           | P<br>desk<br>a<br>YS |
|                  |               | [°C]                 | [mm]                     | [mm]                        | [mm]                             | [mm]                 |
| 0                | 0             | 49,8                 | 0,9                      | 0,0                         | 0,0                              | 0,0                  |
| 250              | 500           | 49,9                 | 1,0                      | 0,1                         | 0,1                              | 2,5                  |
| 500              | 1000          | 50,0                 | 1,1                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,1                  |
| 750              | 1500          | 49,9                 | 1,1                      | 0,1                         | 0,1                              | 3,5                  |
| 1000             | 2000          | 49,9                 | 1,1                      | 0,2                         | 0,2                              | 3,9                  |
| 1250             | 2500          | 49,9                 | 1,1                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,1                  |
| 1500             | 3000          | 50,0                 | 1,1                      | 0,2                         | 0,2                              | 4,3                  |

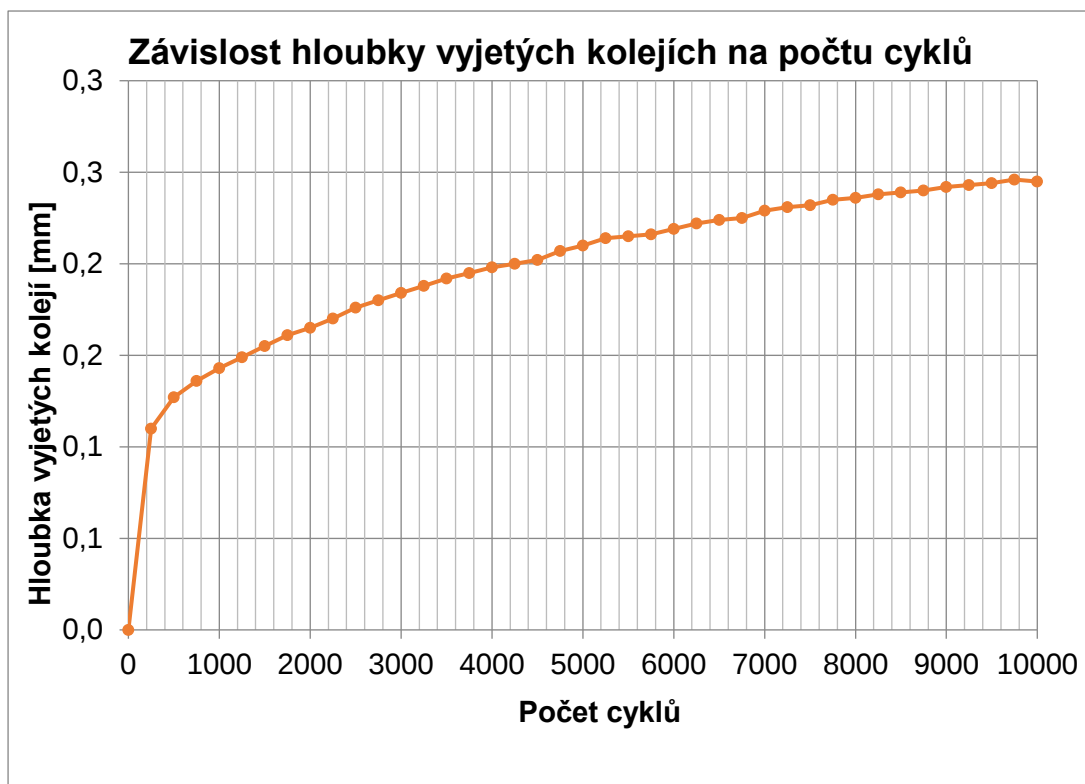
|              |              |             |            |            |            |             |
|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1750         | 3500         | 50,0        | 1,1        | 0,2        | 0,2        | 4,5         |
| 2000         | 4000         | 49,9        | 1,1        | 0,2        | 0,2        | 4,8         |
| 2250         | 4500         | 50,0        | 1,1        | 0,2        | 0,2        | 5,0         |
| 2500         | 5000         | 50,0        | 1,1        | 0,2        | 0,2        | 5,3         |
| 2750         | 5500         | 49,9        | 1,2        | 0,2        | 0,2        | 5,5         |
| 3000         | 6000         | 50,0        | 1,2        | 0,2        | 0,2        | 5,6         |
| 3250         | 6500         | 50,0        | 1,2        | 0,2        | 0,2        | 5,9         |
| 3500         | 7000         | 50,0        | 1,2        | 0,2        | 0,2        | 6,1         |
| 3750         | 7500         | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 6,3         |
| 4000         | 8000         | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 6,5         |
| 4250         | 8500         | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 6,7         |
| 4500         | 9000         | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 6,9         |
| 4750         | 9500         | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 7,1         |
| 5000         | 10000        | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 7,4         |
| 5250         | 10500        | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 7,6         |
| 5500         | 11000        | 50,0        | 1,2        | 0,3        | 0,3        | 7,8         |
| 5750         | 11500        | 50,0        | 1,3        | 0,3        | 0,3        | 8,1         |
| 6000         | 12000        | 49,9        | 1,3        | 0,3        | 0,3        | 8,2         |
| 6250         | 12500        | 50,0        | 1,3        | 0,3        | 0,3        | 8,5         |
| 6500         | 13000        | 49,9        | 1,3        | 0,3        | 0,3        | 8,7         |
| 6750         | 13500        | 49,9        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 8,9         |
| 7000         | 14000        | 50,1        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 9,0         |
| 7250         | 14500        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 9,3         |
| 7500         | 15000        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 9,5         |
| 7750         | 15500        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 9,7         |
| 8000         | 16000        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 9,9         |
| 8250         | 16500        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 10,1        |
| 8500         | 17000        | 50,0        | 1,3        | 0,4        | 0,4        | 10,3        |
| 8750         | 17500        | 50,1        | 1,4        | 0,4        | 0,4        | 10,5        |
| 9000         | 18000        | 50,0        | 1,4        | 0,4        | 0,4        | 10,7        |
| 9250         | 18500        | 50,0        | 1,4        | 0,4        | 0,4        | 11,0        |
| 9500         | 19000        | 50,0        | 1,4        | 0,4        | 0,4        | 11,2        |
| 9750         | 19500        | 50,1        | 1,4        | 0,5        | 0,5        | 11,5        |
| <b>10000</b> | <b>20000</b> | <b>50,1</b> | <b>1,4</b> | <b>0,5</b> | <b>0,5</b> | <b>11,8</b> |



|                       |               |                      |                          |                                    |                                  |               |
|-----------------------|---------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Deska P               |               | Froněk, SMA 11, 16.6 |                          |                                    |                                  |               |
| Tloušťka desek P      |               | 40,00 mm             |                          |                                    |                                  |               |
| Teplota hutnění       |               | 155 °C               |                          |                                    |                                  |               |
| Datum pojiždění       |               | 18.5.2017            |                          |                                    |                                  |               |
| Deska                 | tloušťka      | YS,10                | PRDAIR                   | max.<br>PRDAI<br>R<br>dle<br>normy | WTSAIR                           |               |
|                       | [mm]          | [mm]                 | [%]                      | [%]                                | [mm/10 <sup>3</sup> cyklů]       |               |
| P                     | 37,86         | 0,23                 | 6,89                     | 5                                  | 0,08                             |               |
| <b>SMA 11 S, 16.6</b> |               |                      | Hloubka trvalé deformace |                                    | Poměrná hloubka trvalé deformace |               |
| Počet cyklů           | Počet pojezdů | Teplota              | P deska<br>YS            | P deska<br>YS                      | Průměr                           | P deska<br>YS |
|                       |               | [%]                  | [mm]                     | [mm]                               | [mm]                             | [%]           |
| 0                     | 0             | 50,0                 | 1,2                      | 0,0                                | 0,0                              | 0,0           |
| 250                   | 500           | 49,7                 | 1,3                      | 0,1                                | 0,1                              | 2,9           |
| 500                   | 1000          | 49,8                 | 1,3                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,3           |
| 750                   | 1500          | 49,9                 | 1,3                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,5           |
| 1000                  | 2000          | 49,8                 | 1,3                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,7           |
| 1250                  | 2500          | 49,9                 | 1,3                      | 0,1                                | 0,1                              | 3,9           |
| 1500                  | 3000          | 50,0                 | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,0           |
| 1750                  | 3500          | 49,8                 | 1,3                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,2           |
| 2000                  | 4000          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,3           |
| 2250                  | 4500          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,4           |
| 2500                  | 5000          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,6           |
| 2750                  | 5500          | 49,9                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,7           |
| 3000                  | 6000          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,8           |
| 3250                  | 6500          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 4,9           |
| 3500                  | 7000          | 49,9                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,0           |
| 3750                  | 7500          | 49,9                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,1           |
| 4000                  | 8000          | 49,9                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,1           |
| 4250                  | 8500          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,2           |
| 4500                  | 9000          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,2           |
| 4750                  | 9500          | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,4           |
| 5000                  | 10000         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,5           |
| 5250                  | 10500         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6           |
| 5500                  | 11000         | 49,9                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6           |
| 5750                  | 11500         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,6           |
| 6000                  | 12000         | 50,1                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,7           |
| 6250                  | 12500         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,8           |
| 6500                  | 13000         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,8           |
| 6750                  | 13500         | 50,1                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,8           |
| 7000                  | 14000         | 50,0                 | 1,4                      | 0,2                                | 0,2                              | 5,9           |

|       |       |      |     |     |     |     |
|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| 7250  | 14500 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,0 |
| 7500  | 15000 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,0 |
| 7750  | 15500 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,1 |
| 8000  | 16000 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,1 |
| 8250  | 16500 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,2 |
| 8500  | 17000 | 50,1 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,2 |
| 8750  | 17500 | 50,1 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,2 |
| 9000  | 18000 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,3 |
| 9250  | 18500 | 50,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,3 |
| 9500  | 19000 | 50,1 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,3 |
| 9750  | 19500 | 50,1 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,4 |
| 10000 | 20000 | 50,1 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 6,4 |





# \_\_\_ Příloha D: Stanovení modulů tuhosti

## Naměřené moduly tuhosti – asfaltová směs číslo 1

| 1                       | směs č. 1.3 |       |       |       |       | směs č. 1.4 |       |       |       |       | Průměr        |
|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|                         | 1.3.1       | 1.3.2 | 1.3.3 | 1.3.4 | 1.3.5 | 1.4.1       | 1.4.2 | 1.4.3 | 1.4.4 | 1.4.5 |               |
| <b>F</b><br><b>[Hz]</b> | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    |               |
| <b>5</b>                | 5658        | 6072  | 6189  | 6075  | 6040  | 5495        | 5827  | 6189  | 5897  | 5754  | <b>5919,6</b> |
| <b>10</b>               | 6386        | 6747  | 6922  | 6800  | 6863  | 6245        | 6543  | 6913  | 6615  | 6438  | <b>6647,2</b> |
| <b>15</b>               | 6897        | 7250  | 7422  | 7276  | 7266  | 6756        | 7005  | 7478  | 7115  | 6899  | <b>7136,4</b> |
| <b>20</b>               | 7116        | 7529  | 7665  | 7513  | 7688  | 6999        | 7180  | 7686  | 7435  | 7210  | <b>7402,1</b> |
| <b>25</b>               | 7674        | 7848  | 8003  | 7789  | 7980  | 7425        | 7667  | 8111  | 7837  | 7509  | <b>7784,3</b> |
| <b>5</b>                | 5539        | 5910  | 6052  | 5940  | 5987  | 5503        | 5753  | 6135  | 5935  | 5691  | <b>5844,5</b> |

## Naměřené moduly tuhosti – asfaltová směs číslo 4

| 4            | směs č. 4.4 |       |       |       |       | směs č. 4.6 |       |       |       |       | Průměr        |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|              | 4.4.1       | 4.4.2 | 4.4.3 | 4.4.4 | 4.4.5 | 4.6.1       | 4.6.2 | 4.6.3 | 4.6.4 | 4.6.5 |               |
| <b>F[Hz]</b> | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    |               |
| <b>5</b>     | 5916        | 5899  | 6005  | 5376  | 5602  | 5413        | 5571  | 5123  | 5469  | 5197  | <b>5557,1</b> |
| <b>10</b>    | 6256        | 6581  | 6614  | 6122  | 6221  | 6106        | 6198  | 5889  | 6204  | 5840  | <b>6203,1</b> |
| <b>15</b>    | 6931        | 6935  | 6960  | 6637  | 6660  | 6432        | 6726  | 6255  | 6616  | 6262  | <b>6641,4</b> |
| <b>20</b>    | 7241        | 7311  | 7356  | 6960  | 6908  | 6855        | 7053  | 6576  | 7011  | 6585  | <b>6985,6</b> |
| <b>25</b>    | 7515        | 7727  | 7642  | 7335  | 7180  | 7190        | 7317  | 7029  | 7171  | 7016  | <b>7312,2</b> |
| <b>5</b>     | 5800        | 5861  | 5875  | 5413  | 5485  | 5403        | 5576  | 5114  | 5317  | 5154  | <b>5499,8</b> |

## Naměřené moduly tuhosti – asfaltová směs číslo 7

| 7            | směs č. 7.7 |       |       |       |       | směs č. 7.6 |       |       |       |       | Průměr        |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|              | 7.7.1       | 7.7.2 | 7.7.3 | 7.7.4 | 7.7.5 | 7.6.1       | 7.6.2 | 7.6.3 | 7.6.4 | 7.6.5 |               |
| <b>F[Hz]</b> | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    | 15          | 15    | 15    | 15    | 15    |               |
| <b>5</b>     | 7761        | 7868  | 8335  | 7755  | 7943  | 7482        | 8388  | 8116  | 8190  | 8047  | <b>5557,1</b> |
| <b>10</b>    | 8410        | 8593  | 9099  | 8511  | 8696  | 8128        | 9173  | 8773  | 9027  | 8777  | <b>6203,1</b> |
| <b>15</b>    | 8795        | 9114  | 9556  | 8930  | 9113  | 8516        | 9530  | 9187  | 9330  | 9159  | <b>6641,4</b> |
| <b>20</b>    | 9123        | 9330  | 9939  | 9265  | 9346  | 8898        | 9879  | 9443  | 9622  | 9426  | <b>6985,6</b> |
| <b>25</b>    | 9271        | 9623  | 10279 | 9578  | 9842  | 9290        | 10153 | 9706  | 9808  | 9587  | <b>7312,2</b> |
| <b>5</b>     | 7743        | 7790  | 8227  | 7726  | 7923  | 7465        | 8403  | 8143  | 8076  | 8003  | <b>5499,8</b> |

**Naměřené moduly tuhosti – asfaltová směs číslo 14**

| <b>14</b>   | směs č. 14 |        |        |        |        | Průměr |        |        |        |               |
|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
|             | 14.2.2     | 14.2.3 | 14.2.4 | 14.2.5 | 14.3.1 | 14.3.2 | 14.3.3 | 14.3.4 | 14.3.5 |               |
| <b>F</b>    |            |        |        |        |        |        |        |        |        |               |
| <b>[Hz]</b> | 15         | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     |               |
| <b>5</b>    | 7275       | 6960   | 7206   | 7087   | 6904   | 6917   | 7522   | 6961   | 6757   | <b>7072,1</b> |
| <b>10</b>   | 7975       | 7669   | 7934   | 7738   | 7663   | 7627   | 8222   | 7693   | 7383   | <b>7773,3</b> |
| <b>15</b>   | 8437       | 8115   | 8467   | 8216   | 8061   | 8061   | 8556   | 8136   | 7843   | <b>8220,1</b> |
| <b>20</b>   | 8747       | 8491   | 8808   | 8475   | 8358   | 8405   | 8902   | 8472   | 8166   | <b>8545,4</b> |
| <b>25</b>   | 9141       | 8916   | 9031   | 8659   | 8651   | 8655   | 9138   | 8766   | 8458   | <b>8835,2</b> |
| <b>5</b>    | 7122       | 6943   | 7241   | 6900   | 6916   | 6920   | 7432   | 7027   | 6655   | <b>7020,8</b> |

**Naměřené moduly tuhosti – asfaltová směs číslo 16**

| <b>16</b> | směs č. 16.1 |        |        |        |        | směs č. 16.2 |        |        |        |        | Průměr      |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
|           | 16.1.1       | 16.1.2 | 16.1.3 | 16.1.4 | 16.1.5 | 16.2.1       | 16.2.2 | 16.2.3 | 16.2.4 | 16.2.5 |             |
| <b>F</b>  | 15           | 15     | 15     | 15     | 15     | 15           | 15     | 15     | 15     | 15     |             |
| <b>5</b>  | 5819         | 6560   | 6486   | 6593   | 5856   | 6315         | 6589   | 7173   | 6367   | 6430   | <b>6419</b> |
| <b>10</b> | 6550         | 7336   | 7212   | 7394   | 6530   | 6989         | 7390   | 7854   | 7006   | 7103   | <b>7136</b> |
| <b>15</b> | 6957         | 7791   | 7670   | 7849   | 6934   | 7367         | 7892   | 8302   | 7440   | 7505   | <b>7571</b> |
| <b>20</b> | 7173         | 8104   | 7974   | 8182   | 7158   | 7781         | 8149   | 8713   | 7741   | 7828   | <b>7880</b> |
| <b>25</b> | 7468         | 8430   | 8263   | 8521   | 7525   | 8228         | 8470   | 9087   | 8107   | 7928   | <b>8203</b> |
| <b>5</b>  | 5843         | 6500   | 6382   | 6641   | 5802   | 6328         | 6591   | 7042   | 6252   | 6318   | <b>6370</b> |

**Příloha E: Nízkoteplotní vlastnosti****Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi číslo 1**

| směs č. 1                     |          |              |       |       |        |
|-------------------------------|----------|--------------|-------|-------|--------|
| Charakteristika               | Jednotky | Číslo vzorku |       |       | PRŮMĚR |
|                               |          | 1.2.2        | 1.2.3 | 1.2.4 |        |
| Síla při porušení             | [kN]     | 9,98         | 10,50 | 10,22 | 10,2   |
| Napětí při porušení           | [Mpa]    | 3,99         | 4,20  | 4,09  | 4,1    |
| Teplota vzorku při porušení   | [°C]     | -23,2        | -24,0 | -23,7 | -23,6  |
| Teplota v komoře při porušení | [°C]     | -27,7        | -28,4 | -28,2 | -28,1  |
| Maximální delta def. průměrná | [mm]     | 0,007        | 0,006 | 0,006 |        |

**Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi číslo 4**

| směs č. 4                     |          |              |       |       |        |
|-------------------------------|----------|--------------|-------|-------|--------|
| Charakteristika               | Jednotky | Číslo vzorku |       |       | PRŮMĚR |
|                               |          | 4.5.3        | 4.5.2 | 4.5.4 |        |
| Síla při porušení             | [kN]     | 10,64        | 10,33 | 10,29 | 10,4   |
| Napětí při porušení           | [Mpa]    | 4,25         | 4,18  | 4,07  | 4,2    |
| Teplota vzorku při porušení   | [°C]     | -25,2        | -25,8 | -24,2 | -25,1  |
| Teplota v komoře při porušení | [°C]     | -29,1        | -28,6 | -28,6 | -28,8  |
| Maximální delta def. průměrná | [mm]     | 0,005        | 0,014 | 0,006 |        |

**Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi číslo 7**

| směs č. 7                     |          |              |       |       |        |
|-------------------------------|----------|--------------|-------|-------|--------|
| Charakteristika               | Jednotky | Číslo vzorku |       |       | PRŮMĚR |
|                               |          | 7.5.2        | 7.5.3 | 7.5.4 |        |
| Síla při porušení             | [kN]     | 10,58        | 10,13 | 9,88  | 10,2   |
| Napětí při porušení           | [Mpa]    | 4,20         | 3,99  | 3,90  | 4,0    |
| Teplota vzorku při porušení   | [°C]     | -19,8        | -18,3 | -17,6 | -18,6  |
| Teplota v komoře při porušení | [°C]     | -23,6        | -21,6 | -19,8 | -21,7  |
| Maximální delta def. průměrná | [mm]     | 0,006        | 0,011 | 0,006 |        |

**Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi číslo 14**

| směs č. 14                    |          |              |        |        |        |
|-------------------------------|----------|--------------|--------|--------|--------|
| Charakteristika               | Jednotky | Číslo vzorku |        |        | PRŮMĚR |
|                               |          | 14.4.3       | 14.4.4 | 14.4.5 |        |
| Síla při porušení             | [kN]     | 8,82         | 9,75   | 7,92   | 8,8    |
| Napětí při porušení           | [Mpa]    | 3,53         | 3,90   | 3,17   | 3,5    |
| Teplota vzorku při porušení   | [°C]     | -20,9        | -21,4  | -19,9  | -20,7  |
| Teplota v komoře při porušení | [°C]     | -24,9        | -24,4  | -24,0  | -24,4  |
| Maximální delta def. průměrná | [mm]     | 0,006        | 0,008  | 0,007  |        |

**Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi číslo 16**

| směs č. 16                    |          |              |        |        |        |
|-------------------------------|----------|--------------|--------|--------|--------|
| Charakteristika               | Jednotky | Číslo vzorku |        |        | PRŮMĚR |
|                               |          | 16.3.2       | 16.3.3 | 16.3.4 |        |
| Síla při porušení             | [kN]     | 10,71        | 10,93  | 10,76  | 10,8   |
| Napětí při porušení           | [Mpa]    | 4,22         | 4,34   | 4,28   | 4,3    |
| Teplota vzorku při porušení   | [°C]     | -22,2        | -22,2  | -22,1  | -22,2  |
| Teplota v komoře při porušení | [°C]     | -26,2        | -24,3  | -25,6  | -25,4  |
| Maximální delta def. průměrná | [mm]     | 0,006        | 0,006  | 0,002  |        |