



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**VYUŽITÍ R-MATERIÁLU V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH  
S VYSOCE MODIFIKOVANÝM POJIVEM (HIMA)**

USE OF R-MATERIAL IN ASPHALT MIXTURES WITH HIGHLY MODIFIED BINDER (HIMA)

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Roman Christ

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

**BRNO 2021**



# 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. Roman Christ
<b>Název</b>	Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky materiálů

Specifikační norma ČSN EN 13108-1 a ČSN 73 6121

Návrh nových národních požadavků na směsi typu AC

Zkušební normy řady ČSN EN 12697

Literatura z internetu

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V diplomové práci bude věnována pozornost hodnocení vlivu různého dávkování R-materiálu obsahujícího nemodifikovaný asfalt na vlastnosti asfaltového betonu pro obrusné vrstvy (ACO 11+) stmelěného polymerem vysoce modifikovaným asfaltem (pojivo typu HiMA). Vlastnosti asfaltových směsí budou hodnoceny pomocí zkoušky modulu tuhosti a zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## ABSTRAKT

V diplomové práci je věnována pozornost vlivu různého dávkování R-materiálu obsahujících nemodifikovaný asfalt na vlastnosti asfaltového betonu pro obrusné vrstvy (ACO11+) stmelené polymerem vysoce modifikovaným asfaltem (pojivo typu HiMA). Vlastnosti asfaltových směsí budou hodnoceny pomocí zkoušky modulu tuhosti a zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem

## KLÍČOVÁ SLOVA

Recyklace, frézování, druhy recyklací, R-materiál, vysoce modifikovaný asfalt HiMA, asfaltová pojiva, laboratorní zkoušky

## ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is paid attention to the influence of different dosing of R-material containing unmodified asphalt on the properties of asphalt concrete for abrasive layers (ACO11 +) bonded with polymer highly modified asphalt (binder type HiMA). The properties of asphalt mixtures will be evaluated by means of the stiffness modulus test and the test of low-temperature properties by a uniaxial tensile test.

## KEYWORDS

RECYCLING, MILLING, TYPES OF RECYCLING, R-MATERIAL, HIGHLY MODIFIED HIMA ASPHALT, ASPHALT BINDERS, LABORATORY TESTS

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Roman Christ *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)*. Brno, 2021. 68 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

---

Bc. Roman Christ  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

---

Bc. Roman Christ  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za vzorné a příkladné vedení při zpracování diplomové práce. Dále děkuji zaměstnancům laboratoře ústavu pozemních komunikací VUT FAST v Brně, především Ing. Ondřeji Daškovi, Ph.D. a Pavlu Strakovi za jejich odborné rady.

## Obsah

1. ÚVOD .....	10
2. Teoretická část .....	11
2.1. Druhy recyklací netuhých vozovek .....	11
2.1.1 Recyklace za studena místě.....	11
2.1.2 Recyklace za horka na místě .....	12
2.1.3 Recyklace na obalovně za studena.....	13
2.1.4 Recyklace na obalovně za horka .....	14
2.2. Frézování.....	17
2.2.1 Uplatnění frézování .....	20
2.2.2 Využití recyklovaných vrstev .....	20
2.3. R-materiál – dle ČSN 73 6141 .....	21
2.3.1 Použití R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích .....	21
2.3.2 Požadavky na R-materiál .....	22
2.3.3 Obecné požadavky .....	22
2.3.4 Enviromentální požadavky .....	22
2.3.5 Zdroj R – materiálu .....	23
2.3.6 Homogenita .....	23
2.3.7 Označení R – materiálu .....	23
2.3.8 Požadavky na technologické postupy zpracování R-materiálu .....	26
2.4. Asfaltová pojiva .....	29
2.4.1 Základní rozdělení asfaltů .....	29
2.4.2 Asfalt – charakteristické vlastnosti.....	30
2.4.3 Modifikované asfalty.....	31
2.4.4 Ředěné asfalty .....	31
2.4.5 Vysoce modifikovaný asfalt HiMA.....	32
2.4.6 Konvenční zkoušky asfaltových pojiv .....	39
2.5. Asfaltový beton – dle ČSN EN 13108–1 .....	41
3. Cíl práce .....	42
4. Praktická část.....	43
4.1. Použité materiály .....	43
4.1.1 Použité asfaltové pojivo .....	43
4.1.2 Složení směsi kameniva .....	43
4.2. Použité zkušební metody.....	46
4.2.1 Stanovení modulu tuhosti dle ČSN EN 12697-26.....	46



4.2.2 Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem (TSRST) dle ČSN EN 12697-46 11 .....	47
4.3. Hutnění + řezání .....	48
4.3.1 Hutnění.....	48
4.3.2 Řezání .....	53
4.4. Stanovení modulu tuhosti na asfaltových směsích .....	56
4.5. „Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem .....	57
5. Výsledky.....	60
5.1. Modul tuhosti 15°C .....	60
5.2. Modul tuhosti 0°C .....	62
5.3. Nízkoteplotní vlastnosti při jednoosé zkoušce tahem (TSRST) .....	65
6. Závěr.....	67
7. Přílohy.....	68
8. Komentář.....	89
9. Seznam grafické a datové části .....	90
10. Literatura .....	94

# 1. ÚVOD

Recyklace vozovek je proces, kdy dochází k vybourání stávající konstrukční vrstvy vozovky a vzápětí dojde znovu k jeho využití. Mnoho stavebních firem v dnešní době uvažují především ekonomicky, a proto je zmiňovaný R-materiál pro všechny velmi zajímavý. R-materiál je zajímavý i ze stránky ekologické, kdy technologickým procesem dojde k znovuvyužití konstrukčních vrstev.

Tím, že jde o materiál, který je znovu využíván, tak dochází i k benefitu snížení nejen nákladů na nový materiál, ale dochází i ke snížení ceny na dopravu nového materiálu a ke snížení počtu potřebných strojů, například pro dovoz nového zmiňovaného materiálu.

## Recyklační napomáháme:

### I) Zachování materiálových a energetických zdrojů

Materiálových (kamenivo, asfalt)  
Energetických (pohonné hmoty, topná media atd.)

### II) Ochrana životního prostředí

Redukce skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>  
Snížení znečištění ovzduší (výfukové plyny, hluk)

### III) Ekonomický přínos

Snížení nákladů  
Snížení zatížení komunikací, zkrácené doby výstavby [22]

Pomocí různých metod recyklace těchto stavebních materiálů lze dosáhnout zachování přírodních materiálových zdrojů (kamenivo, asfalt) a snížení energetické a ekonomické náročnosti stavebních prací. V oblasti asfaltových směsí lze definovat několik druhů recyklačních postupů.

Vzhledem k omezenému množství přírodních zdrojů je z dlouhodobého hlediska nevyhnutelné využívat v co možná nejvyšší míře materiály, které již jsou zabudovány ve stávajících konstrukcích vozovek.

Vzhledem k tomu, že cena základních komponentů potřebných pro výrobu asfaltových směsí neustále dlouhodobě stoupá, je využívání R-materiálu do nově vyráběných směsí výhodné hlavně z ekonomického pohledu. [23]

## 2. Teoretická část

### 2.1. Druhy recyklací netuhých vozovek

Recyklace netuhých vozovek může být z hlediska provádění v míchacím centru (in plant) = obalovna, mobilní jednotka, nebo na místě. Dále recyklaci dělíme dle teploty zpracování za horka nebo za studena. Dále máme 4 základní druhy recyklací, a to v míchacím centru (na obalovně) za horka, nebo v míchacím centru za studena, na místě za horka a na místě za studena.

Vždy před recyklací dochází nejprve k odstranění stávajícího krytu asfaltových vrstev pomocí frézování včetně stávajících podkladních vrstev jejichž výsledkem jsou podkladní vrstvy stmelené pojivem nebo nestmelené. [6]

#### 2.1.1 Recyklace za studena místě

Při celkové recyklaci se pro rozpojení vrstev vozovky do požadované hloubky a promíchání takto vzniklého materiálu s přidávaným pojivem, přísadami, vodou a případně dalším materiálem (kamenivo) používá fréza. Některé složky (kamenivo, cement) je možné dávkovat předem rozprostřením na povrch recyklované vrstvy, proto musí být pro jejich dávkování k dispozici vhodný aplikátor. Proces dávkování pojiv (asfaltová emulze, zpevněný asfalt, cementová suspenze) a vody musí být automaticky dávkován přes recyklační frézu v závislosti na rychlosti pojezdu a šířce úpravy tak, aby bylo vždy dávkované předepsané množství. Rozfrézovaný a promíchaný materiál se pak běžnými pracovními postupy urovná a zhutní. [1]

Při částečné recyklaci (recyklace asfaltových vrstev s použitím asfaltové emulze jako hlavní složky pojiva) je nutno použít strojní zařízení sestavené a vybavené tak, aby jim bylo možno kromě rozfrézování recyklovaných vrstev zajistit vytřídění přepadu vyfrézovaného materiálu s jeho případným předrcením a doplnění dalšího dodaného materiálu (kameniva) k dosažení požadované zrnitosti. Dále musí být strojní zařízení vybaveno míchačkou s dávkovačem pojiva a přísad takovým způsobem, aby bylo zajištěno dokonalé mísení dopravy materiálů do násypky finišeru, či do prostoru rozdělovacích šneků rozprostírací lišty jeli součástí zařízení. [1]



Obrázek 1 Recyklační vlak při technologii recyklace za studena na místě [3]

## 2.1.2 Recyklace za horka na místě

Recyklace za horka na místě je metoda opravy asfaltových vozovek (obrusné, ložní, nebo podkladní asfaltové vrstvy), která spočívá v ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, jejím rozpojení, promíchání s přidávanými materiály (změkčující přísady, asfaltové pojivo, kamenivo nebo asfaltová směs), zpětném položení a zhutnění. Rozeznáváme pět kategorií recyklace za horka na místě: Reshape, Repave, Remix, Remix plus, Recyklace v mobilním nízko kapacitním zařízení (např: Bagela) [2]

### Metoda Reshape

Technologie úpravy příčného profilu vozovky, která se skládá z následujících kroků. Nejprve dojde k ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, poté dojde k rozpojení a nakypření směsi vrstvy určené k recyklaci. Následuje urovnání rozpojené a nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru. Posledním krokem je zhutnění urovnané asfaltové vrstvy. [2]

### Metoda Repave

Technologie úpravy příčného profilu vozovky s položením nové asfaltové vrstvy, která se skládá z následujících kroků. Nejprve dojde k ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, poté dojde k rozpojení a nakypření směsi vrstvy určené k recyklaci. Následuje urovnání rozpojené a nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru a položení nové asfaltové vrstvy na urovnanou vrstvu bez vzájemného promísení směsí. Posledním krokem je zhutnění obou vrstev současně. [2]

### Metoda Remix

Technologie recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě, která se skládá z následujících kroků. V prvním kroce dojde k rozprostření přidávaného kameniva na povrch vozovky (pouze v případě přidávání jen kameniva). Dále dojde k ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci a rozpojení ohřáté asfaltové směsi. V dalším kroce dojde k přidání potřebných materiálů (změkčující přísady, silniční asfalt, předbalená směs kameniva) a k promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidávanými materiály. Následně proběhne zpětné položení asfaltové směsi a zhutnění upravené asfaltové směsi. [2]

### Metoda Remix plus

Technologie recyklace stávající asfaltové obrusné vrstvy za horka na místě se současnou pokládkou nové obrusné vrstvy. Technologie má následující postup. V prvním kroce dojde k rozprostření přidávaného kameniva pro úpravu zrnitosti recyklované směsi a ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci. Dále dojde k rozpojení ohřáté asfaltové směsi a přidání změkčujících přísad nebo silničního asfaltu. V dalším kroce proběhne promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidávanými materiály a zpětné položení upravené asfaltové směsi. Následuje položení nové asfaltové směsi obrusné vrstvy (vtlačovaná vrstva) systémem horké

na horké. Posledním krokem je zhutnění asfaltové souvrství (zpětně položená recyklovaná vrstva + nová ohrubná vrstva). [2]

### **Metoda Recyklace v mobilním nízko kapacitním zařízení (např. Bagela)**

Technologie recyklace vybourané asfaltové směsi z původních vrstev vozovky. Technologie se skládá z následujících kroků. Nejprve dojde k rozehrátí (rozpojení) asfaltové směsi. Následuje pokládka recyklované směsi zpravidla ručním způsobem, popř. za pomoci finišeru a zhutnění asfaltové směsi. [2]



*Obrázek 2 Recyklace na místě za horka (hot – in place recycling) [24]*

### **2.1.3 Recyklace na obalovně za studena**

Recyklace v míchacím centru je založena na předpokladu, že recyklované kamenivo je dovezeno do míchacího centra, kde se dávkuje pojivo, voda a případně další doplňující materiál (přírodní nebo umělé kamenivo). Takto zhotovená směs se převeze na stavbu a zpracuje se běžnými postupy. Během dopravy nesmí dojít k jejímu znečištění, segregaci a takové změně vlhkosti, při které by směs nebylo možno zhutnit na požadovanou míru zhutnění. [1]

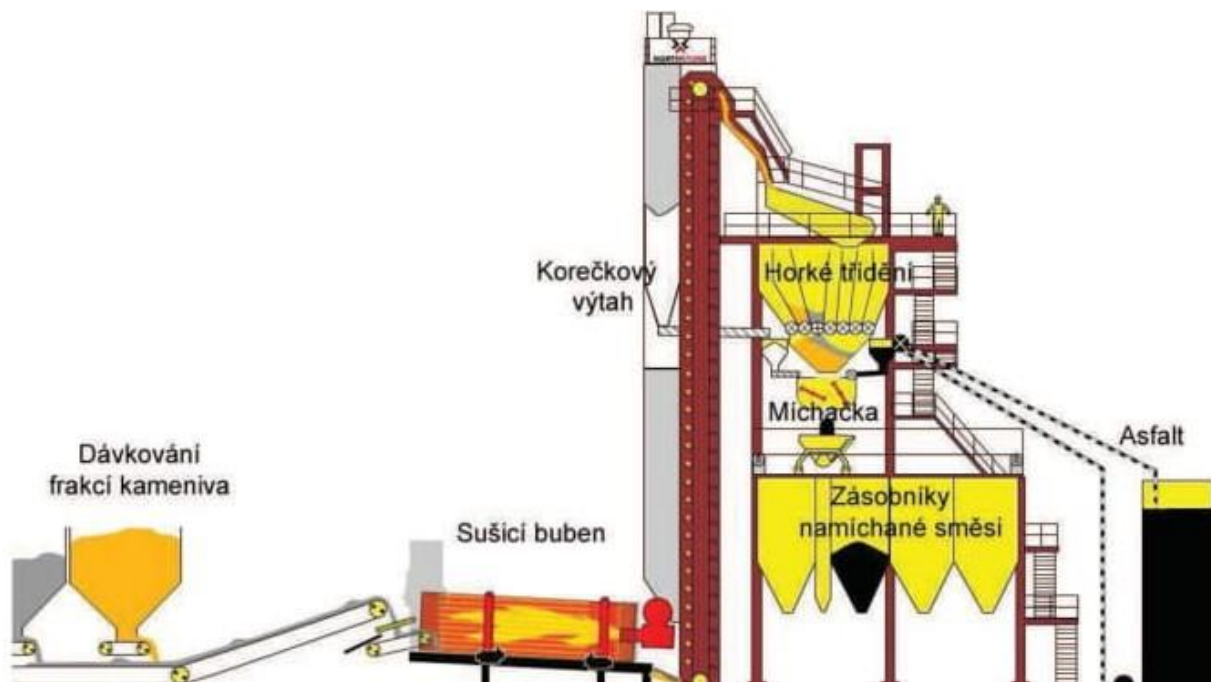
### 2.1.4 Recyklace na obalovně za horka

Tento způsob recyklace je nejčastější a taky nejefektivnější. Recyklovaný materiál bývá v této metodě za horka předrcený na frakce 0/11, respektive 0/8 pro obrusné vrstvy nebo 0/22 respektive 0/16 pro ložní nebo podkladní vrstvy. Recyklace na obalovně za horka může být v zásadě třemi možnými způsoby. [6]

#### A) Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny

Tato metoda se od druhé metody používané v šaržových obalovnách liší především tím, že R – materiál není nutné předehřívát a můžeme ho dávkovat přímo do bubnu 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 recyklátu, tím vyšší musí být teplota, na kterou budeme předehřívát kamenivo, což značně omezuje množství R – materiálu, které lze do nové asfaltové směsi přidávat. V současné době je v České republice vybaveno zařízením pro přidávání R – materiálu asi 40 % šaržových obaloven.

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 vyšším 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 [4]



Obrázek 3 Schéma šaržové obalovny [9]

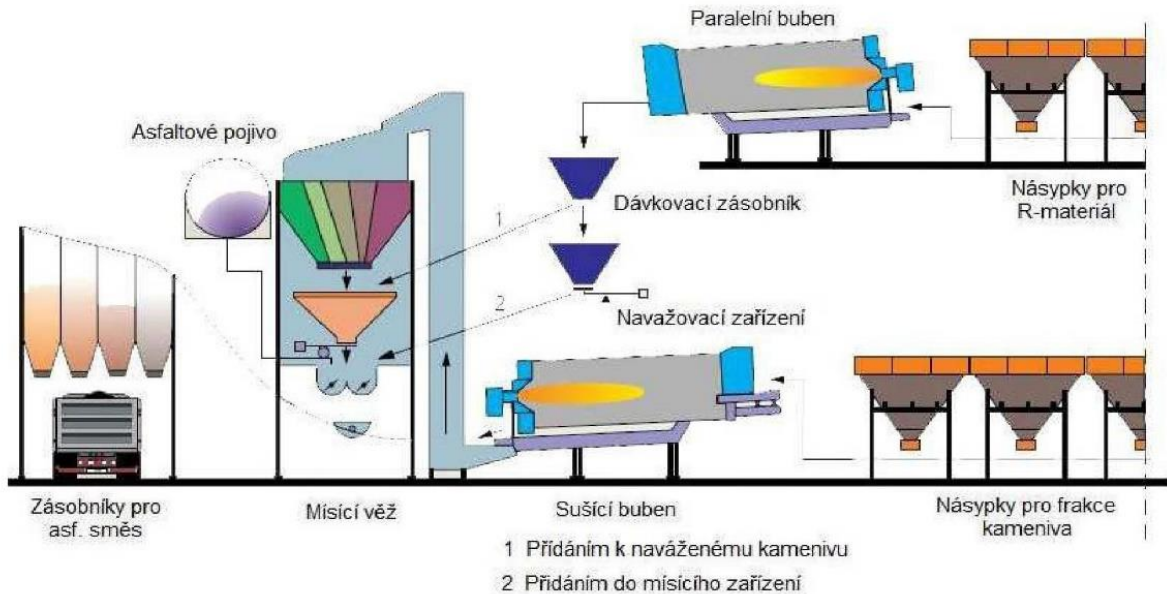
## B) Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny

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 (jedna z nich je například obalovna BRANT firmy Froněk s.r.o. v Rakovníku). Způsob zpracování R – materiálu umožňuje na rozdíl od přímého přidávání do bubnu šaržové obalovny použít při výrobě směsi až 80 % recyklátu. [6]

R – materiál je tedy nejdříve umístěn do paralelního bubnu nacházejícího se v horní části obalovny. Poté jsou do něj přimíchány tzv. omlazovače pojiva neboli rejuvenátory. 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. [6]



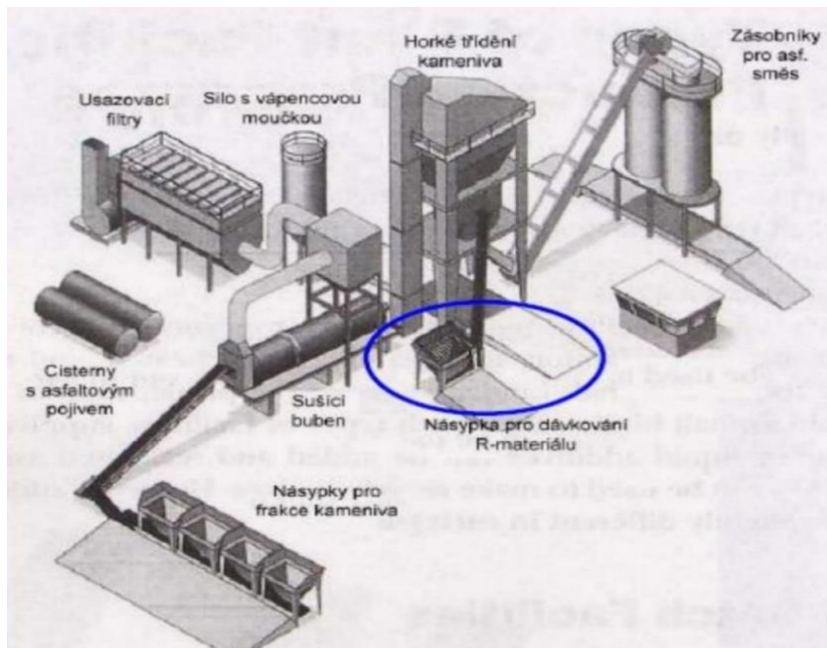
Obrázek 4 Skladování R-materiálu, drcení a třídění, zastřešení R-materiálu [9]



Obrázek 5 Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu [9]

### C) Metoda drum-mix používána 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 směsí nebo recepturou, výrobní proces probíhá v nepřetržitém procesu a bez přestávky, přičemž jednotlivé komponenty jsou do mísicího 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.[7]



Obrázek 6 Metoda drum – mix dávkování do míchačky šaržové obalovny [9]



## 2.2. Frézování

Recyklovatelný materiál získáváme nejčastěji frézováním starých vozovek, a to buď vybouráním celé konstrukce vozovky, nebo jejich jednotlivých vrstev. V jednom záběru můžeme vybourat vrstvy stmelené asfaltovým pojivem, v dalším záběru poté zbývající vrstvy. Toto separované vybourání umožňuje opětovné zabudování asfaltem stmelených vrstev v asfaltových směsích. [1]

### Druhy fréz

#### I) Malé frézy:

Šířka frézovacího válce do 500 mm  
Záběrová hloubka do 100 mm

#### II) Střední frézy:

Šířka frézovacího válce do 500 až 1000 mm  
Záběrová hloubka do 180 mm

#### III) Velké frézy:

Šířka frézovacího válce nad 1000 mm  
Záběrová hloubka do 350 mm

#### IV) Speciální frézy:

Využití při sanačních pracích na frézování porušeného krytu v blízkosti konstrukčních příkopů, rigolů uličních vpustí apod.  
Šířka frézovacího válce do 350 mm  
Záběrová hloubka do 100 mm

Malé frézy bývají umístěné na kolovém podvozku, větší frézy mají podvozek pásový. Pracovním nástrojem je fréza, která je složena z rotoru s připevněnými hroty. Pomocí rotace frézy dochází k rozrušování stávajícího krytu až do hloubky 350 mm. Rozrušený materiál je od frézy dopravován pomocí pásového dopravníku do odvozeného nákladního automobilu. Hloubka frézování je hydraulicky nastavitelná. [4]

Rychlost silničních fréz se pohybuje kolem 5 km/h a šíře záběru rozchodu frézování se pohybuje mezi 60–210 cm. Hmotnost silničních fréz se nejčastěji pohybuje kolem 30–35 t. Častým výrobcem silniční frézy je WIRTGEN. Silniční frézy na pásovém podvozku jsou dnes většinou již vybavené špičkovým nivelačním zařízením umožňující provádění všech druhů frézovacích prací v nejvyšší kvalitě. [4]



Obrázek 7 Ukázka silniční frézy při práci [25]

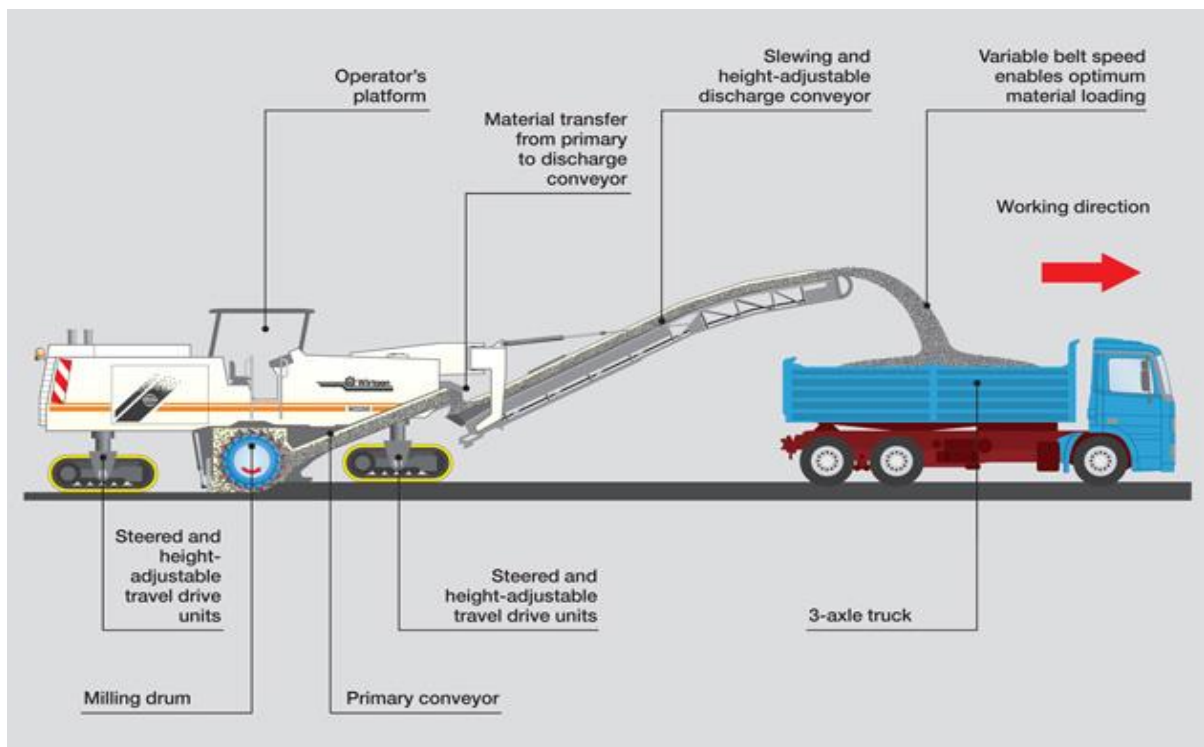


Obrázek 8 Ukázka malé silniční frézy [25]

## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)



Obrázek 9 Ukázka rotoru s připevněnými hroty [25]



Obrázek 10 Schéma frézování pásové frézy [25]

### 2.2.1 Uplatnění frézování

Frézování lze uplatnit u vozovek u kterých skončila životnost obrusné vrstvy nebo u vozovek, kde nelze měnit stávající niveletu komunikace z důvodu návaznosti na okolní konstrukce. (především místní komunikace – návaznost vozovky na chodníky nebo odvodnění a z tohoto důvodu nelze zvyšovat tloušťku vozovky, u mostních objektů, kde bychom navyšováním asfaltových vrstev zvyšovali také stálé zatížení mostu, nebo se frézování dá využít i v případě, pokud upravujeme příčný profil komunikace a u malých deformací do 10 mm. [10])

### 2.2.2 Využití recyklovaných vrstev

Recyklované vrstvy se v České republice využívají nejčastěji na komunikacích dopravního zatížení II a IV, ale postupně je snaha o standardizaci pro všechny třídy dopravního zatížení a všechny typy asfaltových vrstev.

Další využití této technologie může být u konstrukcí jiných dopravních ploch, než jsou pozemní komunikace, např: (nemotoristické komunikace, zpevnění krajnic, či zpevněných polních lesních cest či provizorních pozemních komunikacích.) [6]

Návrhová úroveň porušení vozovky	Dopravní význam pozemní komunikace ČSN 73 6101, ČSN 73 6110	Očekávaná třída dopravního zatížení ČSN 73 6114 <sup>1)</sup>	Plocha s konstrukčními poruchami %
D0	Dálnice, rychlostní silnice, rychlostní místní komunikace, silnice I. třídy	S, I, II, III	< 1
D1	Silnice II. a III. třídy, sběrné místní komunikace, obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy	III, IV, V a VI	< 5
D2 <sup>*</sup>	Obslužné místní komunikace, nemotoristické komunikace, odstavné a parkovací plochy	V, VI	< 25
	Dočasné komunikace, účelové komunikace	IV až VI	

Tabulka 1 Dopravní zatížení komunikací TP170 [11]

## 2.3. R-materiál – dle ČSN 73 6141

R-materiál, který vzniká přetříděním a předrcením znovuzískané asfaltové směsi z existujících vozovek pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch nebo jako produkt neshodné či nadbytečné výroby, je jedna ze složek asfaltových směsí obrusných, ložních a podkladních vrstev vozovek. Jedná se o cennou surovinu, kterou je potřeba využít v maximální možné míře. Asfaltové směsi s obsahem R-materiálu jsou při splnění výrobních specifikací asfaltových směsí považovány za kvalitativně rovnocenné asfaltovým směsím bez obsahu R-materiálu. [12]

### 2.3.1 Použití R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích

Použití upraveného R-materiálu je závislé na druhu vrstvy, ze které byl R-materiál získán.

R-materiál získaný z:	Použití do nově vyráběných směsí pro:			
	Litý asfalt	Asfaltová obrusná vrstva	Asfaltová ložní vrstva	Asfaltová podkladní vrstva
Litého asfaltu	ANO	NE	NE	NE
Asfaltové obrusné vrstvy <sup>a</sup>	ANO	ANO	ANO	ANO
Asfaltové obrusné a ložní vrstvy	ANO	NE <sup>b c</sup>	ANO	ANO
Asfaltové obrusné a ložní vrstvy s modifikovaným pojivem	ANO	ANO <sup>c</sup>	ANO	ANO
Asfaltové ložní vrstvy <sup>a</sup>	NE	NE <sup>b</sup>	ANO	ANO
Asfaltové podkladní vrstvy <sup>a</sup>	NE	NE	NE <sup>b</sup>	ANO
Asfaltové obrusné, ložní a podkladní vrstvy – neselektivní frézování	NE	NE	NE <sup>b</sup>	ANO

<sup>a</sup> Jedná se o materiál selektivně vyfrézovaný a po přetřídění a předrcení skladovaný vždy jako samostatný R-materiál podle článků 8.1 a 8.4.

<sup>b</sup> Platí při použití směsi pro komunikace kategorie D a silnice I. třídy. V ostatních případech platí „ANO“ s případným dalším zohledněním poznámky „c“.

<sup>c</sup> Varianta „ANO“ platí pouze v případě dávkování R-materiálu v množství do 30 % včetně.

Tabulka 2 Možnosti přidání upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí [12]

Dávkované maximální množství upraveného R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí se řídí požadavky, uvedenými v příslušných přílohách ČSN 73 6121 ke specifikačním normám pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108 a ČSN 73 6122. [12]

### 2.3.2 Požadavky na R-materiál

Ke stanovení charakteristik R-materiálu se použije jedna z níže uvedených variant:

- informace o původu asfaltové směsi z demolic a materiálů, které byly při předcházejícím použití v asfaltové směsi obsaženy, jakož i o kontrole kvality v rámci předcházejícího použití (pokud je doklad k dispozici);
- výsledky z doby výroby asfaltové směsi, především ze zkoušky typu a kontrolních zkoušek (pokud je doklad k dispozici);
- výsledky zkoušek znovuzískané asfaltové směsi nebo R-materiálu. [12]

### 2.3.3 Obecné požadavky

R-materiál musí splňovat požadavky zejména z hlediska vlastností zestárlého asfaltového pojiva, kameniva a znečišťujících (cizorodých) látek stanovených podle ČSN EN 13108-8 ed. 2. Pro použití nepředehřátého R-materiálu na šaržové obalovně platí, že R-materiál nesmí být hrubozrnnější než:

- 16RA 0/11 pro obrusné vrstvy vozovek;
- 32RA 0/22 pro ložní a podkladní vrstvy vozovek. [12]

### 2.3.4 Enviromentální požadavky

Do nově vyráběných asfaltových směsí je dovoleno používat pouze R-materiál, který splňuje parametry příslušného předpisu<sup>2)</sup>

R-materiál je získán přednostně ze znovuzískané asfaltové směsi, která musí splňovat parametry pro zařazení do jakostní třídy ZAS-T1 a ZAS-T2 ve smyslu příslušného předpisu<sup>2)</sup>

R-materiál získaný ze znovuzískané asfaltové směsi zařazené do jakostní třídy ZAS-T3 je možno použít na obalovně schválené pro tuto činnost podle příslušného předpisu jako zařízení oprávněně zpracovávat odpad tehdy, pokud po namíchání s ostatními složkami asfaltové směsi splní vyrobená asfaltová směs parametry pro jakostní třídu ZAS-T2 ve smyslu příslušného předpisu<sup>2)</sup>, přičemž obalovna asfaltových směsí je technicky upravena tak, že při výrobě asfaltové směsi nedochází k uvolňování výparů škodlivých emisí v nadlimitním množství. Jedná se především o nutnost, aby celý systém, kde dochází k ohřevu R-materiálu a k výrobě asfaltové směsi, byl uzavřený a výpary byly odpovídajícím systémem odsávány a zachytávány filtry, než dojde k jejich vypuštění do okolního prostředí.

Zařazení frézovaného materiálu (znovuzískané asfaltové směsi) do jednotlivých jakostních tříd je zajištěno jedním ze dvou níže uvedených způsobů:

- před zahájením stavby v rámci diagnostického průzkumu pozemní komunikace jejím správcem;
- v rámci přeměny odpadu na materiál pro další použití (neodpad) na obalovně či v recyklačním centru stanovením celkového množství  $\Sigma$  PAU 16 a překlasifikováním znovuzískané asfaltové směsi v souladu s příslušným předpisem. [12]

<sup>2)</sup>Vyhláška č. 130/2019 Sb.

### 2.3.5 Zdroj R – materiálu

Musí se deklarovat typ asfaltové směsi nebo skupiny typů asfaltových směsí, ze kterých byla zásoba/halda znovuzískané asfaltové směsi, která se použije pro úpravu na R-materiál, získána. [12]

### 2.3.6 Homogenita

Homogenita se deklaruje vždy pro konkrétní zásobu/haldu R-materiálu, pokud je takový materiál určen – i jen částečně – pro výrobu asfaltových směsí. Homogenita zásoby/haldy R-materiálu se stanoví z různých podílů v procentech hrubého a drobného kameniva a jemných částic v R-materiálu, obsahu pojiva v R-materiálu a buď hodnoty penetrace nebo bodu měknutí asfaltového pojiva znovuzískaného z R-materiálu. Je možno využít nomogramy obr. 11 a 12. [12]

### 2.3.7 Označení R – materiálu

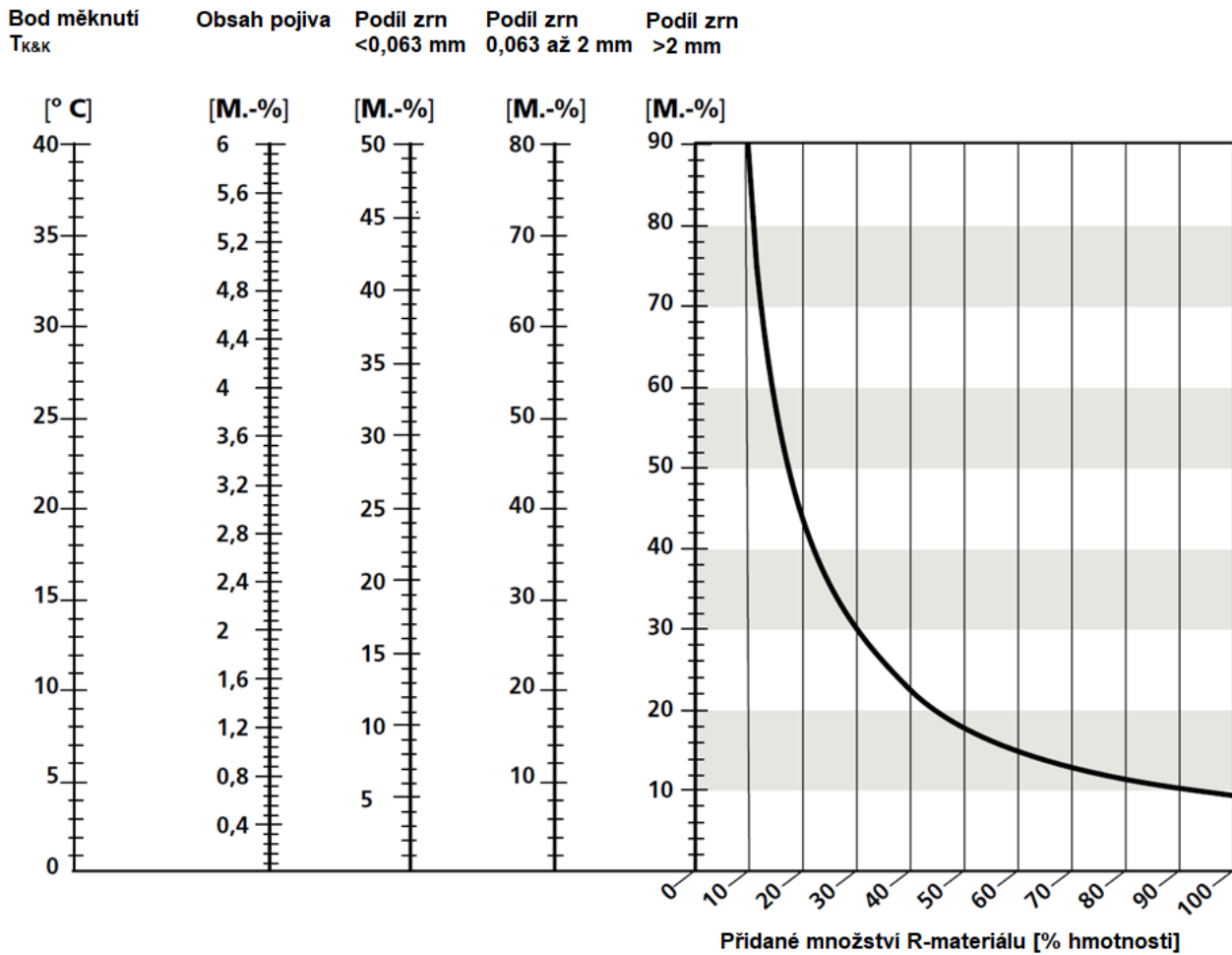
Pro případ dodání R-materiálu klasifikovaného jako stavební materiál pro asfaltovou směs v souladu s touto normou, musí dodací list obsahovat tyto údaje vztahující se k označení:

- a) dodavatel;
- b) označení;
- c) datum a čas dodávky;
- d) jedinečná identifikace k zajištění prokazatelnosti;
- e) prohlášení o shodě;
- f) úroveň zkoušení;
- g) identifikace zásoby/haldy R-materiálu.

Toto se týká případů, kdy obalovna R-materiál nezískává vlastní úpravou znovuzískané asfaltové směsi, ale je jí dodán od jiného subjektu. [12]

## A.1 Asfaltové podkladní vrstvy, jednovrstvé kryty

### Rozsah charakteristických hodnot R-materiálu

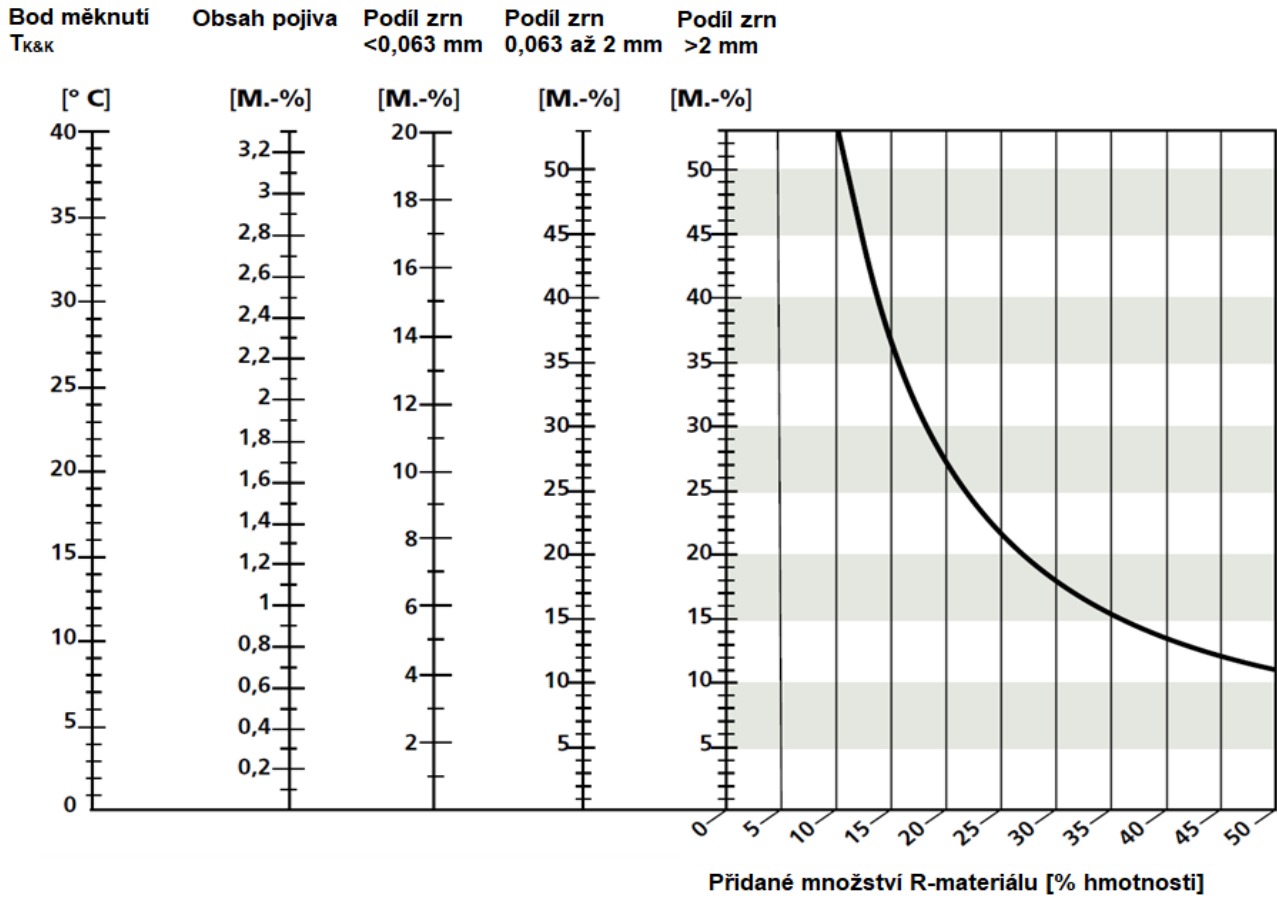


Obrázek 11 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové podkladní vrstvy, jednovrstvé kryty ve vztahu k pěti charakteristikám [12]



## A.2 Asfaltové podkladní vrstvy, jednovrstvé kryty

### Rozsah charakteristických hodnot R-materiálu



Obrázek 12 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy ve vztahu k pěti charakteristikám R-materiálu [12]

## 2.3.8 Požadavky na technologické postupy zpracování R-materiálu

### I) Způsob získání R-materiálu

Pro výrobu nových asfaltových směsí je možno použít upravený R-materiál, získaný frézováním nebo vybouráním asfaltových vrstev konstrukcí vozovek při opravách a rekonstrukcích. Dále je možno využít asfaltových směsí z neshodné nebo nadbytečné výroby.

Frézování vrstev vozovek se provádí za studena pomocí silničních fréz. Obrusné vrstvy vozovek obsahující modifikovaný asfalt je vhodné frézovat samostatně a vyfrézovanou znovuzískanou asfaltovou směs odvážet a skladovat odděleně. Informace o tom, že bude frézována vrstva obsahující modifikovaný asfalt, musí být v předstihu zhotoviteli sdělena objednatelům před kalkulací ceny stavebních prací.

Hloubku frézování ostatních vrstev vozovek je nutné volit na základě výsledků diagnostického průzkumu s ohledem na možnost získání kvalitního stavebního materiálu typu R-materiál z vrstev krytů s minimálním obsahem znečišťujících příměsí (beton) a vyloučením málo vhodných starých asfaltových podkladních vrstev. Pro dálnice, silnice I. třídy a místní komunikace I. třídy je vhodné provádět frézování po vrstvách.

Při bourání vrstev s použitím bouracích kladiv je třeba zajistit především oddělení asfaltové vrstvy od jiných podkladních vrstev a odstranění zejména znečišťujících příměsí.

V průběhu získávání (frézování, vybourávání) je informativně sledována případná přítomnost škodlivých dehtových látek z důvodu vyloučení kontaminované znovuzískané asfaltové směsi z dalšího zpracování na R-materiál. [12]

### II) Způsob skladování neúpravné znovuzískané asfaltové směsi

Znovuzískanou asfaltovou směs, obsahující polymerem modifikovaný asfalt, je vhodné skladovat odděleně.

V průběhu ukládání znovuzískané asfaltové směsi na skládky jsou odstraňovány případné znečišťující součásti (beton, části obrubníků atd.). Ukládané materiály jsou shrnovány do potřebné výšky nakladačem nebo buldozerem k zajištění 1. stupně homogenizace. Velké kusy vybouraného materiálu je vhodné rozpojovat pomocí bouracích kladiv. V případě asfaltových směsí z neshodné nebo nadbytečné výroby a pokládky se ještě teplá asfaltová směs rozhrne na malou tloušťku, po ochlazení se případně rozpojí a shrne nakladačem do požadované výšky hromady. [12]

### **III) Úprava a vznik R-materiálu**

Úprava na R-materiál spočívá v rozpojování a drcení znovuzískané asfaltové směsi (splňující parametry příslušného předpisu<sup>4)</sup> pro třídu ZAS-T1, ZAS-T2, příp. ZAS-T3) na frakce, používané při výrobě nové asfaltové směsi.

Rozpojování a drcení probíhá v drtičích, které jsou konstruovány, případně seřizovány tak, aby se minimalizovalo nežádoucí drcení zrn HDK a nedocházelo k podstatnému zvyšování podílu fileru. Hlavní technologickou součástí procesu je rozpojování shluků zpracovávaného materiálu.

Neupravený materiál je odebírán a k drtiči dopravován nakladačem nebo jiným vhodným prostředkem. Pro zajištění 2. stupně homogenizace musí odebírání znovuzískané asfaltové směsi probíhat:

způsobem „po výšce skládky“ (postupným odebíráním po celé ploše skládky); nebo nepravidelným nakládáním materiálu po celém obvodu skládky.

Po rozpojení se materiál třídí na požadované frakce a je dopravován na skládku R-materiálu. Způsob ukládání musí být zvolen tak, aby byla zajištěna další fáze homogenizace materiálu. Jako vhodné řešení se jeví např. ukládání stejného materiálu na dvě oddělené hromady a následné postupné odebírání z těchto dvou hromad (příznivý vliv na stejnozrnnost) [12]

### **IV) Způsob skladování jednotlivých frakcí R-materiálu**

Pro skladování jednotlivých frakcí R-materiálu jsou na jednotlivé frakce používány oddělené skládky se zpevněným asfaltovým nebo betonovým podkladem a efektivním oddělením jednotlivých frakcí. Za vhodné se považuje vyspádování podkladu směrem ven ze skládky pro zajištění odtoku dešťové vody či zastřešení skládky.

R-materiál s deklarovanou maximální velikostí zrn R-materiálu  $U \leq 8$  mm se musí vždy skladovat zastřešený.

Frakce R-materiálu, u nichž je deklarováno, že obsahují modifikovaný asfalt, je nutno skladovat vždy odděleně. [12]

### **V) Homogenizace R-materiálu**

Homogenizace R-materiálu před jeho použitím pro výrobu asfaltových směsí je klíčovou záležitostí pro zajištění kvality nově vyráběných asfaltových směsí. [12]

---

<sup>4)</sup> Vyhláška č. 130/2019 Sb.

## VI) Způsoby rejuvenace (oživení) zestárlého pojiva

Při dávkování více než 15 % R-materiálu do asfaltové směsi musí být zestárlé pojivo v R-materiálu ošetřeno při výrobě nové asfaltové směsi tak, aby základní parametry pojiva (penetrace, bod měknutí) odpovídaly parametrům pojiva deklarovanému v názvu asfaltové směsi.

Za ošetření R-materiálu lze považovat některý z níže uvedených postupů nebo jejich kombinaci:

- použití rejuvenační přísady v optimalizovaném množství (vhodnost přísady je nutno dokládat Osvědčením o vhodnosti výrobku);
- přidání měkčího asfaltového pojiva (gradace 70/100, 100/150, případně 160/220) v optimalizovaném množství (v označení asfaltové směsi se však uvádí pojivo požadované výsledné gradace);
- použití polymerem modifikovaného asfaltu typu RC v souladu s ČSN 65 7222-1 v optimalizovaném množství [12]

## VII) Požadavky na asfaltové směsi s R-materiálem

Na asfaltové směsi s obsahem R-materiálu jsou kladeny stejné požadavky z hlediska empirických, mechanických a funkčních charakteristik jako na asfaltové směsi neobsahující R-materiál.

Pro prokázání účinnosti vybrané metody ošetření zestárlého asfaltového pojiva je nutno při dávkování R-materiálu do asfaltové směsi v množství vyšším než 15 % hmotnosti směsi kameniva navíc provést v rámci kontrolních zkoušek asfaltové směsi na zpětně získaném pojivu z hotové směsi:

zkoušku stanovení penetrace podle ČSN EN 1426 a stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička podle ČSN EN 1427 v četnostech:

- min. 1 zkouška na 4 000 tun vyrobené směsi při dávkování R-materiálu v rozmezí 15 % až 30 % včetně;
- min. 1 zkouška na 2 000 tun vyrobené směsi při dávkování R-materiálu nad 30 %.

Požadavky na zpětně získané pojivo jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4. [12]

Požadovaný druh asfaltu	Penetrace zpětně získaného pojiva při teplotě 25 °C podle ČSN EN 1426 0,1 mm	Bod měknutí zpětně získaného pojiva podle ČSN EN 1427 °C
50/70	30 až 55	48 až 60
70/100	40 až 75	45 až 57

Tabulka 3 Požadavky na zpětně získané pojivo z asfaltové směsi v případě použití silničního asfaltu podle ČSN EN 12591 [12]

Požadovaný druh asfaltu	Penetrace zpětně získaného pojiva při teplotě 25 °C podle ČSN EN 1426 0,1 mm	Bod měknutí zpětně získaného pojiva podle ČSN EN 1427 °C
PMB 25/55-65	15 až 50	≥ 60
PMB 45/80-65	30 až 70	≥ 60

Tabulka 4 Požadavky na zpětně získané pojivo z asfaltové směsi v případě použití polymerem modifikovaného asfaltu podle ČSN EN 14023 [12]

## 2.4. Asfaltová pojiva

### Asfaltové pojivo – definice

Směs uhlovodíků, jejíž elasticko-viskózní chování se mění se změnou teploty. Jedná se o koloidní směs vysoce molekulárních uhlovodíků, v které je zastoupeno až kolem tisíce různých sloučenin. Ty se v zásadě rozdělují na tekuté složky (oleje, pryskyřice označované maltény) a pevné částice – asfaltény. [13]

### 2.4.1 Základní rozdělení asfaltů

#### Přírodní asfalty

Přírodní asfalty se vyskytují málo, největším zdrojem přírodních asfaltů je jezero Trinigad (35 ha, cca 90 m hloubka). Tento asfalt je příliš tvrdý, než aby mohl být používán jako pojivo do asfaltových směsí. Proto se provádí jeho míchání s měkkým ropným asfaltem, který je pak běžně používán v silničním stavitelství. [13]

#### Ropné asfalty

Získávají se destilací surové ropy. Podle chemického a látkového složení rozlišujeme tři základní druhy rop:

- Asfaltické ropy, které obsahují větší množství asfaltických látek
- Poloasfaltické ropy (poloparafinické) s malým obsahem asfaltických látek
- Neasfaltické (parafinické) s nepatrným množstvím asfaltických látek [13]

#### Rozlišujeme asfalty

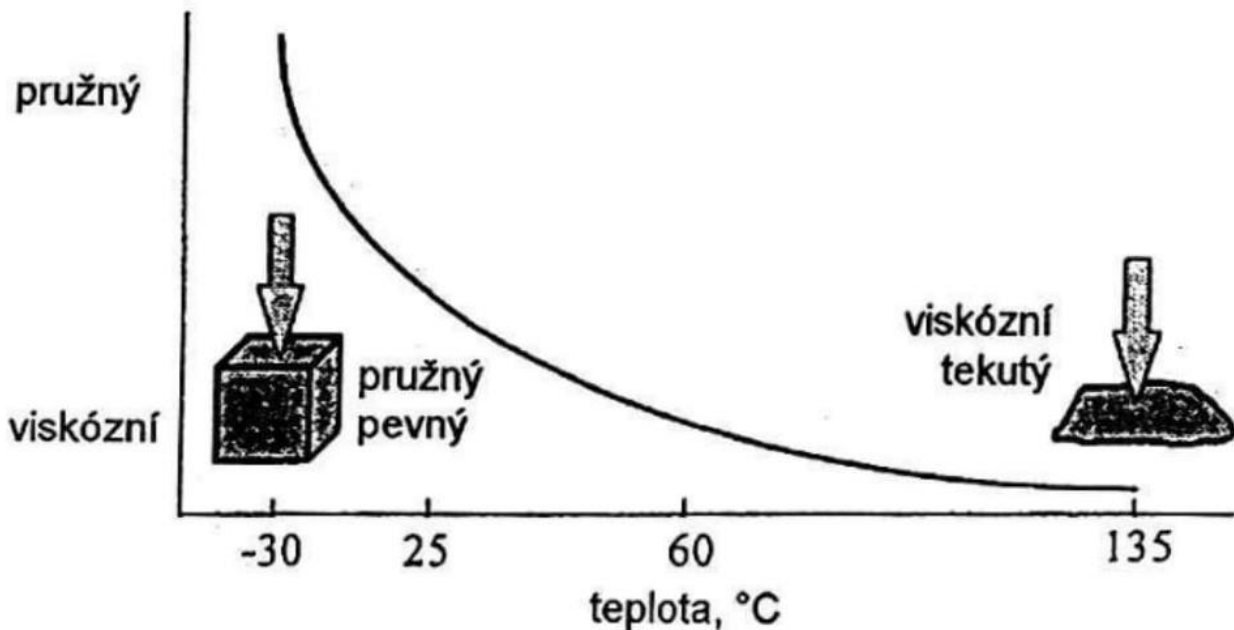
- Destilační** jako asfalty získané přímo po destilaci vhodné pro použití v silničním stavitelství
- Polofoukané** vyráběné z destilačních asfaltů umělým stárnutím, oxidací vakuového zbytku
- Foukané** vyráběné z destilačních asfaltů umělým stárnutím, oxidací k získání vysoce viskózních asfaltů používaných v izolacích proti vodě a vlhkosti
- Modifikované** – destilační nebo polofoukané asfalty jsou upraveny přísadami – v silničním stavitelství používané pro vysoce namáhané asfaltové směs. [13]

## 2.4.2 Asfalt – charakteristické vlastnosti

Nejdůležitější charakteristikou asfaltového pojiva je teplotní citlivost. Chování asfaltového pojiva je závislé na teplotě – výsledky kterékoli zkoušky asfaltového pojiva musí být udávány s teplotním údajem. V této souvislosti je asfaltové pojivo označováno jako viskoelastický materiál – za nízkých teplot se chová jako pružná látka, za vysokých teplot jako kapalina charakterizovaná viskozitou. Za běžných teplot má asfalt obojaké vlastnosti tedy visko-elastické.

Silový odpor proti deformaci, který je vyjádřen viskozitou, je úměrný rychlosti deformace neboli podle délky zatížení a viskozity dochází k různé velikosti deformace. V souvislosti s použitím asfaltových pojiv do asfaltových směsí je zapotřebí zdůraznit zejména závislost chování asfaltových směsí na rychlosti zatížení, kde se viskózní složka asfaltového pojiva výrazně projeví: [13]

- a) Při nízkých rychlostech nebo stání vznikají velké deformace (autobusové zastávky, stoupací pruhy na dálnicích)
- b) Při vysokých rychlostech malé deformace



Obrázek 13 Asfalt visko – elastický materiál [13]

### 2.4.3 Modifikované asfalty

Stále se zvyšující dopravní zatížení a s ním i požadavky na asfaltové směsi vyžadují vyšší kvalitu asfaltů.

Nevystačíme s běžně vyráběnými asfalty → modifikace asfaltů aditivami, kterými se dosahuje:

- a) Zlepšení přilnavosti asfaltů ke kamenivu
- b) Snížení teplotní citlivosti a jeho křehkosti v oblasti nízkých teplot (snížení bodu lámavosti)
- c) Zvýšení bodu měknutí → rozšíření oboru plasticity
- d) Zlepšení odolnosti proti vzniku trvalých deformací
- e) Snížení stárnutí pojiva

Modifikované asfalty jsou asfalty, jejichž vlastnosti byly změněny přidáním přísad, čímž byly změněny buď jejich chemické nebo fyzikálně-mechanické vlastnosti.

První modifikace asfaltů v roce 1938 → USA začalo přidávat síru do asfaltů za účelem zlepšení vlastností [13]

### 2.4.4 Ředěné asfalty

Snaha o provádění silničních stavebních prací i za méně příznivých podmínek vedla k zavedení a výrobě ředěných asfaltů. Ředěné asfalty se vyrábějí ze silničního ropného asfaltu s přísadou benzinových nebo petrolejových ředidel.

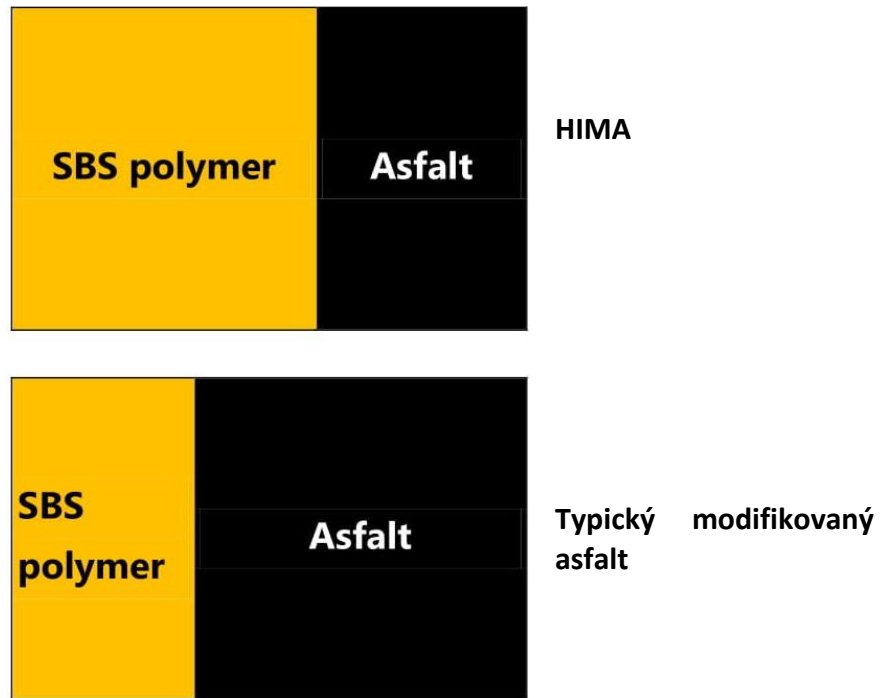
- a) Ředěné asfalty na bázi benzinových ředidel – rychle tuhnoucí – AR-RT 20, 50, 90, 150
- b) Na bázi petrolejových ředidel – normálně tuhnoucí AR-NT 100 (míchá se na obalovně s kamenivem a vyrábí se studená směs na vysprávkou výtlučků)
- c) Je možné používat též aditivované ředěné asfalty např. AR-RT 20 A. Ten se skládá z 72,5 % silničního ropného asfaltu 70/100, 27 % lakového benzínu a 0,5% adhesivní přísady ke zlepšení přilnavosti k vlhkému a kyselému kamenivu. Používají se k předobalení kameniva a výspravě výtlučku a jako spojovacího postřiku mezi asfaltovými vrstvami. [13]

Regenerační ředěné asfalty ARP 30 A – speciální vysoce oxidovaný asfalt + organická rozpouštědla

Zvyšuje odolnost vozovky proti povětrnostním vlivům – naleptání povrchu, odolnost proti chemickým posypům, proti ropným produktům atd.

### 2.4.5 Vysoce modifikovaný asfalt HiMA

Hlavní ideou pro vysoce modifikované asfalty je prevence trhlin ve vozovkách, trvalých deformací (kolejí) a zvýšení odolnosti asfaltových vrstev proti únavě. Pro tento účel se používá vysoký obsah polymeru přesahující 7 % m/m, což způsobuje obrácení fází ve směsi asfaltu a polymeru. (obr. níže) [14]



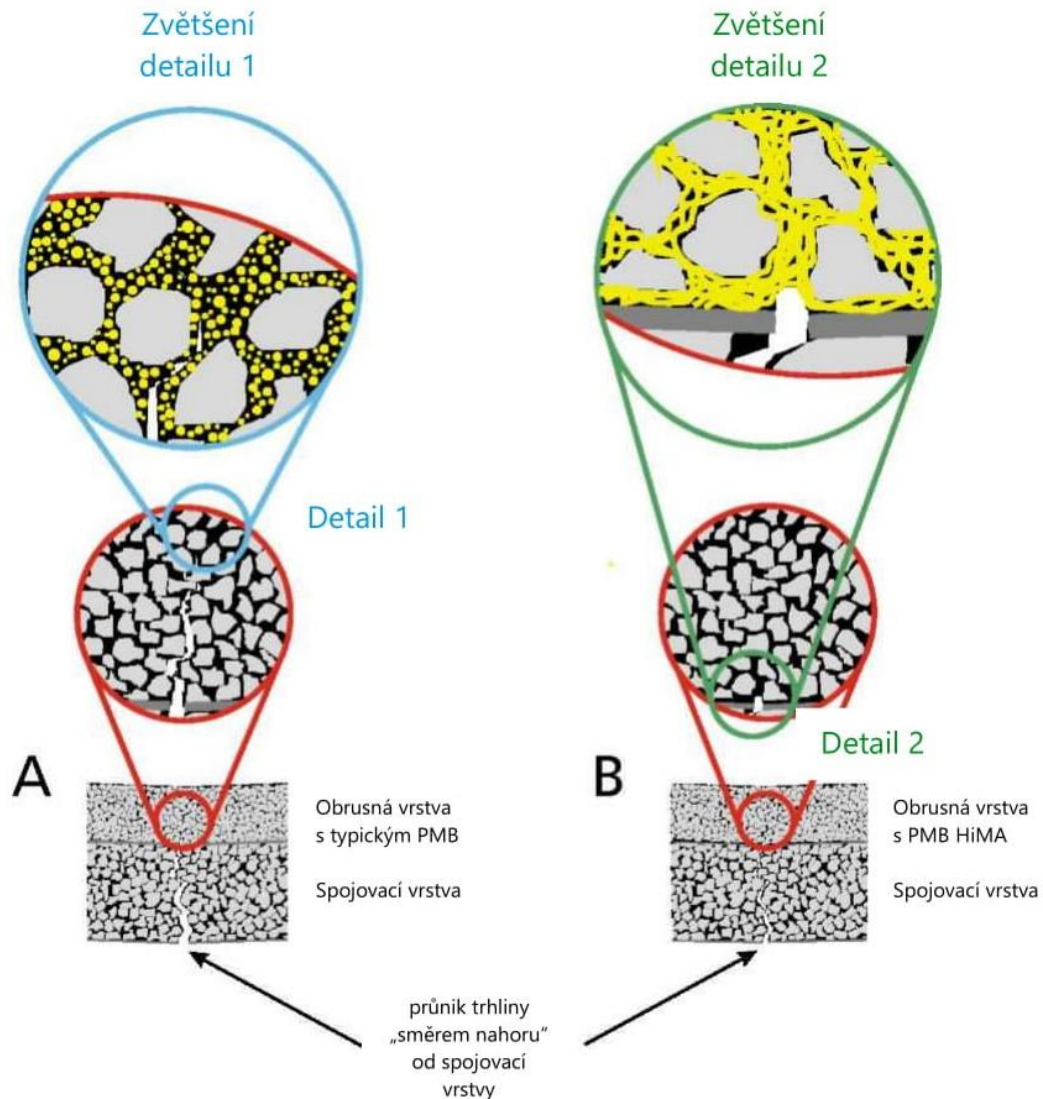
Obrázek 14 Objemové proporce asfaltu a polymeru v typickém polymerem modifikovaném asfaltu a vysoce modifikovaném asfaltu

Výhody asfalto-polymerové fáze, která v pojivu asfaltové směsi působí jako elastická výztuž je možné snadno ukázat na příkladu omezení šíření trhlin asfaltovými vrstvami s vysoce modifikovanými pojivy. Na obr.15 (níže) jsou uvedené dvě hypotetické situace. [14]

**Obr. A:** Směr šíření trhlin vrstvou zhutněné asfaltové směsi s klasickým modifikovaným asfaltem s přerušovanou polymer. sítí (označená rozptýlenými žlutými body) – v tomto schématu jsou trhliny schopné proniknout vrstvou pojiva, protože v ní najde nespojitost mezi fragmenty polymerové sítě

**Obr. B:** Směr šíření trhlin vrstvou zhutněné asfaltové směsi s vysoce modifikovaným asfaltem se spojitou polymerovou sítí (označená žlutými liniemi) – v tomto schématu průnik trhliny vrstvou pojiva naráží na překážky – bariéry vytvořené polymerovou sítí [14]





Obrázek 15 Šíření trhlin asfaltovými vrstvami a) s modifikovaným asfaltem b) vysoce modifikovaným asfaltem [14]

### Klasifikace asfaltů vysoce modifikovaných polymery

Všechny vysoce modifikované asfalty HIMA jsou klasifikovány podle evropské normy EN 14023. Systém označování asfaltů vysoce modifikovaných polymery vyráběných podle evropské normy EN 14023 je představen níže.

Označení PMB HIMA podle normy: PMB X/Y-Z

### Vysvětlivky

X – dolní hranice penetrace při 25 °C [0,1 mm] podle EN 1426

Y – horní hranice penetrace při 25 °C [0,1 mm] podle EN 1426

Z – dolní hranice teploty měknutí [°C] podle EN 1427

### Druhy asfaltových pojiv HiMA

ORBITON 25/55-80 HIMA

ORBITON 45/80-80 HIMA

ORBITON 65/105-80 HIMA

### URČENÍ VYSOCE MODIFIKOVANÝCH ASFALTŮ HIMA

Díky svým nadstandartním vlastnostem jsou vysoce modifikované asfaltové směsi HIMA obzvláště určeny na místa, kde je vyžadována velmi vysoká trvanlivost jako:

- I) Asfaltové povrchy, které jsou vystaveny velkým tlakům a deformacím
- II) Asfaltové ložné vrstvy s vysokou odolností proti únavě
- III) Vrstvy s vysokou odolností vůči odolnosti vůči nízkým teplotám

Vysoce modifikované asfaltové směsi se hodí obzvláště k použití na povrchy s dlouhou životností (typu perpetual pavements), kde ložné a spojovací asfaltové vrstvy musejí být velmi pružné a odolné vůči únavě materiálu. Využití ORBITON HIMA v této speciální protiúnavové vrstvě umožňuje dosáhnout nezvykle dlouhé životnosti vozovky.

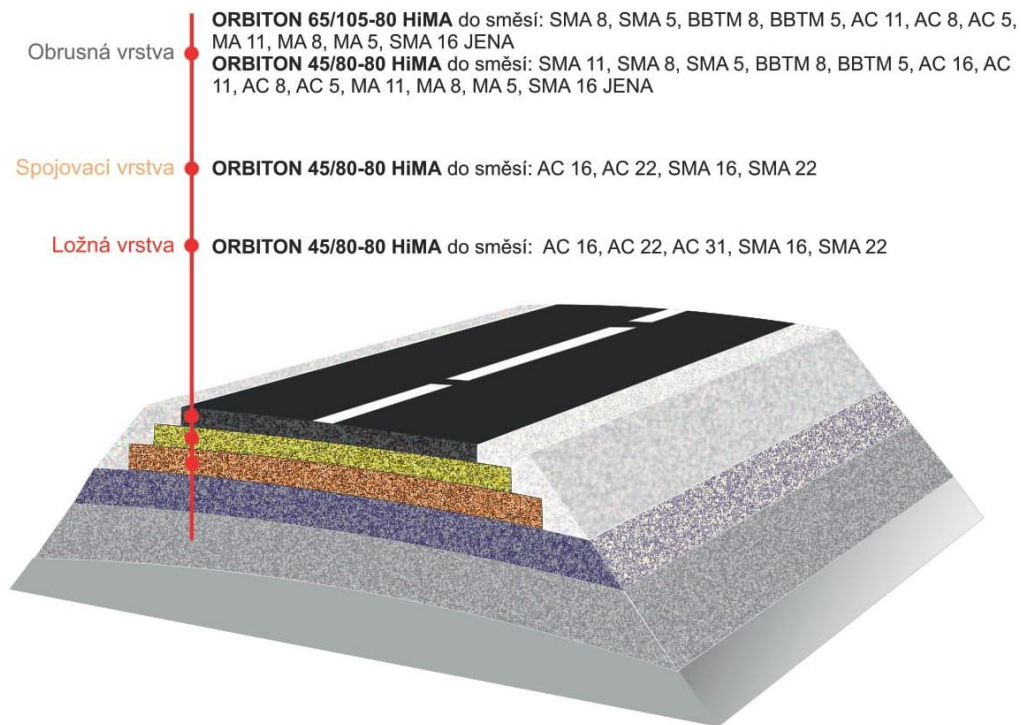
Navzdory relativně krátké přítomnosti na trhu asfaltu je rozsah určení ORBITON HIMA nezvykle široký jak ve vztahu k druhu asfaltové směsi, tak i kategorie provozu.

**ORBITON 65/105-80 HIMA** – Je určený hlavně pro obrusné vrstvy s BBTM, AUTL, DSH, PA, SMA, speciální technologie např. vrstvy SAMI (trysková metoda). Toto pojivo lze také použít k tvorbě asfaltových emulzí nebo trvalých deformací. V místech, která vyžadují velkou tuhost a zároveň pružnost se může ORBITON 65/105-80 HIMA použít do litých asfaltů (Mastic asphalt)

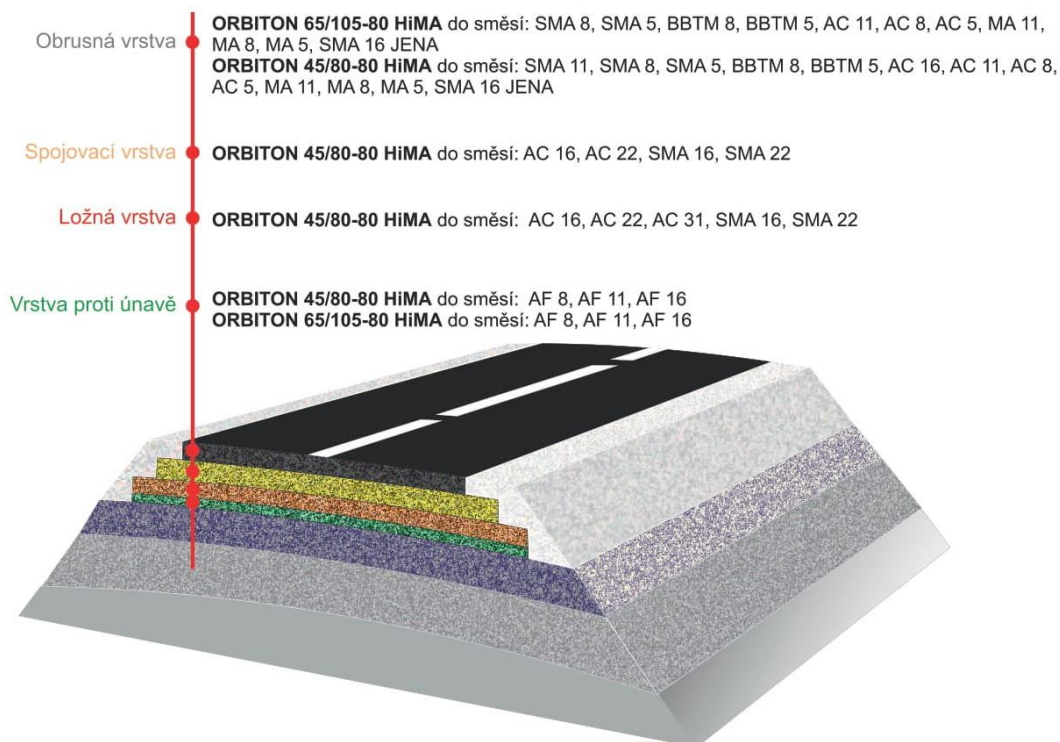
**ORBITON 45/80-80 HIMA** – Je určený do všech asfaltových vrstev vozovek. Jde o univerzální pojivo, které umožňuje položit asfaltové vrstvy vysoce odolné proti únavě materiálu a zároveň vysoce odolné proti vzniku kolejí. Z toho důvodu může být součástí vrstev proti únavě AF v koncepci perpetual pavements, stejně jako ve spojovacích a obrusných vrstev vozovky, které jsou vystaveny velkému zatížení.

**ORBITON 25/55-80 HIMA** – Je určený pro speciální vrstvy, které vyžadují nadprůměrnou odolnost vůči deformacím (místa stání těžkých vozů, kontejnerové terminály apod.) a v místech s výskytem těžkého pomalého provozu. Vzhledem k velké tvrdosti tohoto pojiva by se mělo používat výhradně v opodstatněných případech a při dodržování odpovídajících podmínek na stavbě. ORBITON 25/55-80 HIMA není určen do asfaltových směsí s vysokým modulem tuhosti typu EME/HMB/HMAC. Pro běžné stavby vozovek se doporučuje použití ORBITON 45/80-80 HIMA místo ORBITON 25/55-80 HIMA [14]

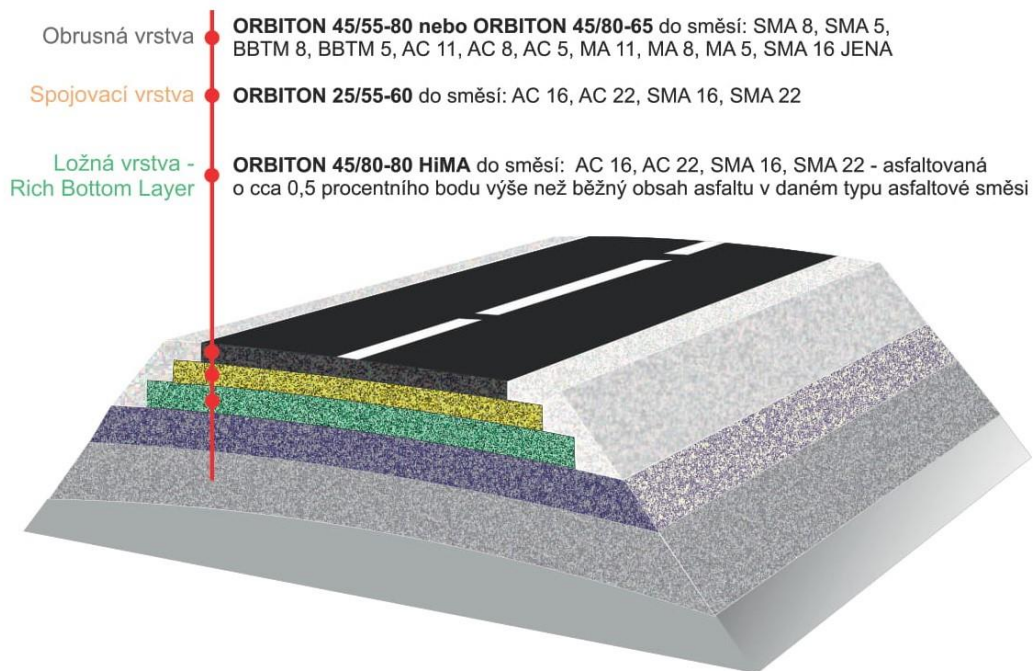
## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)



Obrázek 16 Návrhové použití modifikovaných asfaltů HiMA v klasické stavbě povrchu vozovky [14]



Obrázek 17 Návrhové použití vysoce modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA v moderní stavbě povrchu vozovky typu perpetual (s dlouhou životností) [14]



Obrázek 18 Návrhové použití vysoce modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA v moderní stavbě povrchu vozovky s vrstvou Rich bottom Layer [14]

### **Skladování vysoce modifikovaného asfaltu HiMA**

Během skladování vysoce modifikovaného asfaltu ORBITON HiMA platí stejná pravidla a doporučení jako v případě jiných modifikovaných asfaltů.

Jako vždy se doporučuje použití pojiva co možná nejdříve a v případě dlouhodobého uskladnění snížení zatížení teploty na cca 140-160 °C (v závislosti na druhu HiMA) a pravidelné míchání v zásobníku (cirkulace) [14]

#### **Další poznámky:**

- a) V případě změny typu nebo druhu asfaltu v zásobníku je třeba se pokaždé ujistit, že je zásobník prázdný.
- b) Nedoporučuje se míchání asfaltů HiMA s jinými asfalty, takové míchání způsobí významné zhoršení vlastnosti pojiva a působí na trvanlivost vozovky
- c) Nedoporučuje se opakované ohřívání nebo ochlazování modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA [14]

Výsledky zkoušek vysoce modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA z let 2015-2018 uvedeny v tabulce níže

Vlastnost	Zkušební metoda	Jednotka	ORBITON HiMA			
			25/55-80	45/80-80	65/105-80	
Penetrace při 25 °C	EN 1426	0,1 mm	46	67	85	
Bod měknutí	EN 1427	°C	94,6	92,6	90,8	
Soudržnost	Tahová síla zkouška v silovém duktilometru (natahování 50 mm/min.)	EN 13589 EN 13703	J/cm <sup>2</sup>	4,0 (při 15 °C)	3,8 (při 10 °C)	3,5 (při 10 °C)
Odolnost vůči stárnutí	Změna hmotnosti	EN 12607-1	%	0,03	0,00	0,06
	Zbylá penetrace		%	78	76	81
	Zvýšení bodu měknutí		°C	1,7	2,1	1,8
Bod vzplanutí	EN ISO 2592	°C	≥ 245	≥ 245	≥ 245	
Bod lámavosti	EN 12593	°C	-20	-21	-20	
Vratná duktilita	při 25 °C	EN 13398	%	91	94	95
	při 10 °C	EN 13398	%	77	77	88
Stabilita skladování (72 h) Rozdíl bodu měknutí	EN 13399 EN 1427	°C	0,4	1,8	1,8	
<b>Po stárnutí RTFOT podle EN 12607-1</b>						
Pokles bodu měknutí	EN 1427	°C	0,1	1,7	0,5	
Vratná duktilita při 25 °C	EN 13398	%	87	92	94	
Vratná duktilita při 10 °C	EN 13398	%	74	79	88	

Tabulka 5 Průměrné vlastnosti modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA vyrobených v letech 2015-2018 [14]

## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

	ORBITON 25/55-80 HiMA	ORBITON 45/80-80 HiMA	ORBITON 65/105-80 HiMA
Laboratoř:			
Teplota zhutňování vzorků Marshallovou zkouškou/v gyrátoru	145-150	145-150	140-145
Teplota složek ve směšovací zařízení obalovny:			
Čerpání asfaltu	vyšší než 170°C	vyšší než 170°C	vyšší než 160°C
Skladování asfaltu ve směšovacím zařízení (krátkodobé)	až 190	až 190	až 190
Skladování asfaltu ve směšovacím zařízení (dlouhodobé)	až 160	až 150	až 140
Teplota hotové -asfaltové směsi v míchačce obalovny:			
Asfaltový beton	max. 185	max. 185	max. 175
SMA	max. 185	max. 185	max. 175
Drenážní asfalt	max. 185	max. 185	max. 175
Litý asfalt	max. 190	max. 190	—
Teplota na stavbě:			
Minimální teplota dodané směsi na stavbu (v koši finišeru)	165	165	155
Teplota na konci efektivního zhutňování vrstvy	>130	>125	>120

Tabulka 6 Technologické teploty na obalovně a na stavbě [14]

### Přeprava asfaltové směsi

Pro přepravu platí stejná pravidla, jako pro jiné polymerem modifikované asfalty. Je třeba dávat pozor na překrytí směsi plachtou.

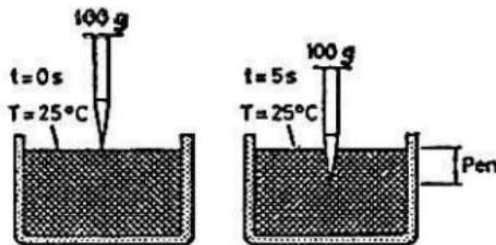
### Aplikace

Během aplikování směsi obsahující ORBITON HiMA se musí dodržovat stejný postup, který platí pro klasické modifikované asfalty. Počet a druh válců a počet vozů může být zvýšen a konečné parametry se stanovují na zkušebním úseku s ohledem na tloušťku vrstvy, teplotu, okolí a druh asfaltové směsi. [14]

## 2.4.6 Konvenční zkoušky asfaltových pojiv

### Penetrace

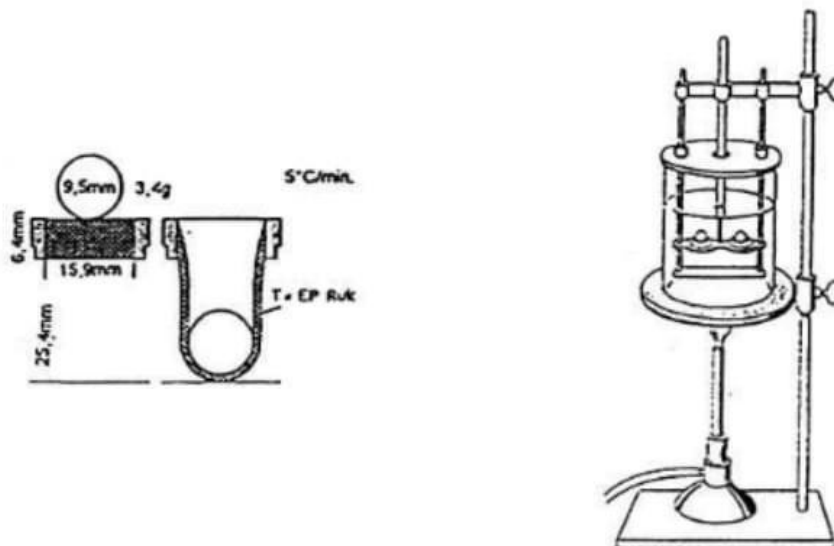
Od této zkoušky je odvozeno označení asfaltů, určuje tvrdost asfaltu při teplotě 25°C, výsledkem zkoušky je hloubka průniku jehly do vzorku asfaltového pojiva, udává se v desetinách milimetru. Např. asfalt označovaný 70/100 má mít penetraci v rozmezí 7 až 10 mm [13]



Obrázek 19 Penetrace [13]

### Bod měknutí – kroužek kulička (KK)

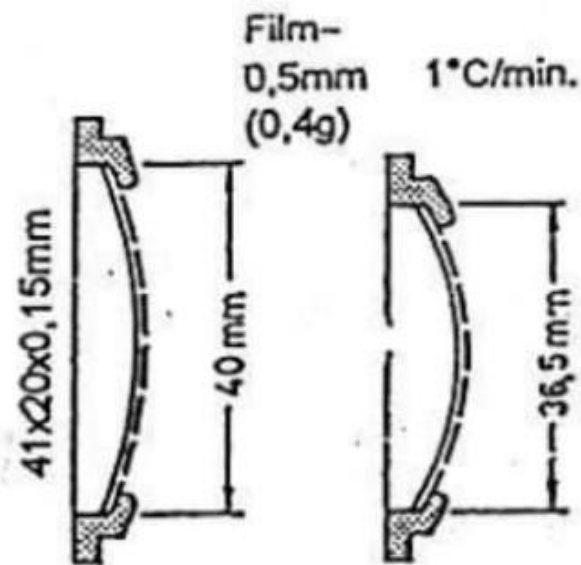
Horní hranice oboru plasticity, udává se ve °C. Za touto pak přechází asfalt do tekutého stavu.



Obrázek 20 Bod měknutí KK [13]

### Bod lámavosti

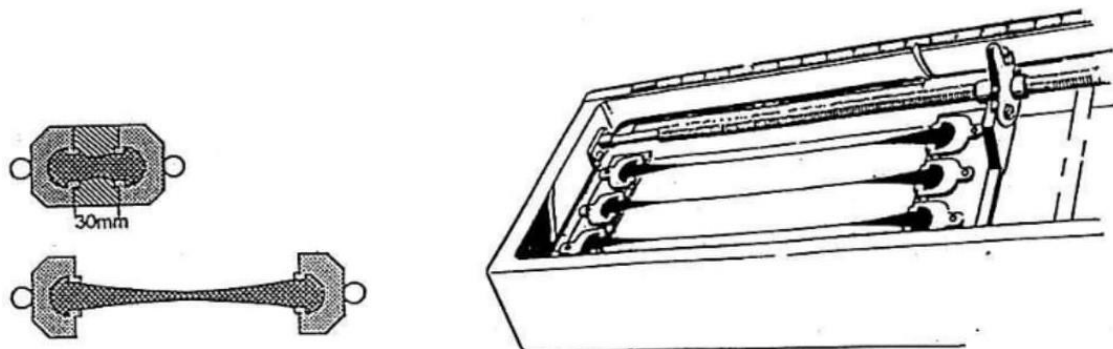
Dolní hranice oboru plasticity, udává se ve °C. Při překročení této teploty se asfalt stává křehkým a praská. Rozmezí teplot stanovených ve dvou výše uvedených zkouškách charakterizuje tzv. obor plasticity asfaltů = rozsah teplot, ve kterých je možné asfalt použít. [13]



Obrázek 21 Bod lámavosti [13]

### Vratná duktilita

U modifikovaných asfaltů se měří tzv. Vratná duktilita, vlákno se po natažení na délku 20 cm přestřihne a měří se míra zpětného přetvoření.



Obrázek 22 Vratná duktilita [13]

### Viskozita

Charakterizuje míru vnitřního tření, měří se pomocí viskozimetrů

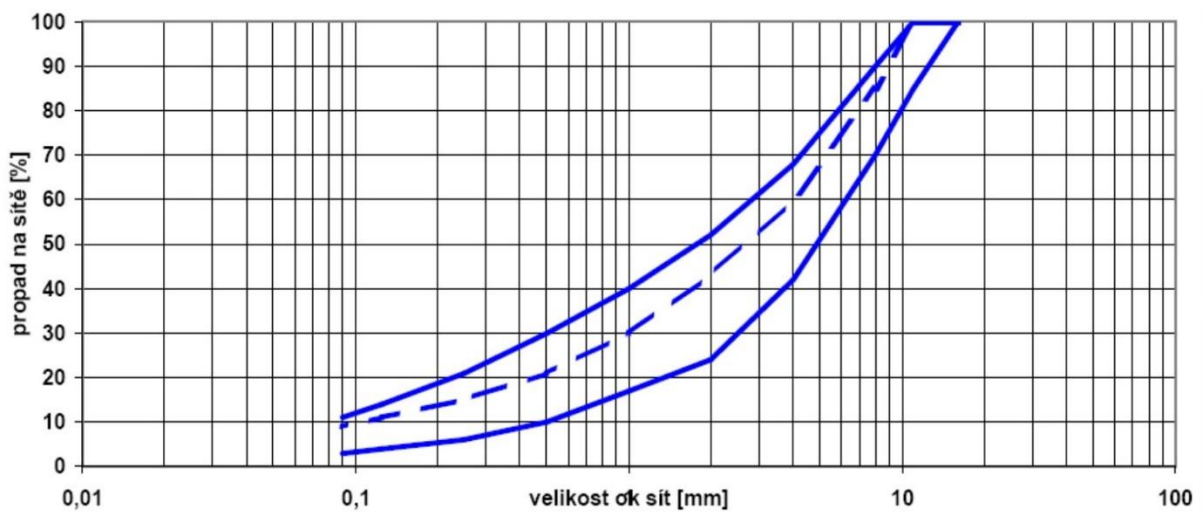
### Další zkoušky asfaltů:

- Penetrační index (Charakterizuje teplotní citlivost asfaltů, je možné jej vypočítat na základě výsledku zkoušek penetrace a bodu měknutí).
- Rozpustnost v benzenu – vyjadřuje čistou asfaltů
- Bod vzplanutí – nejnižší teplota, při které páry hoří alespoň 5 s [13]

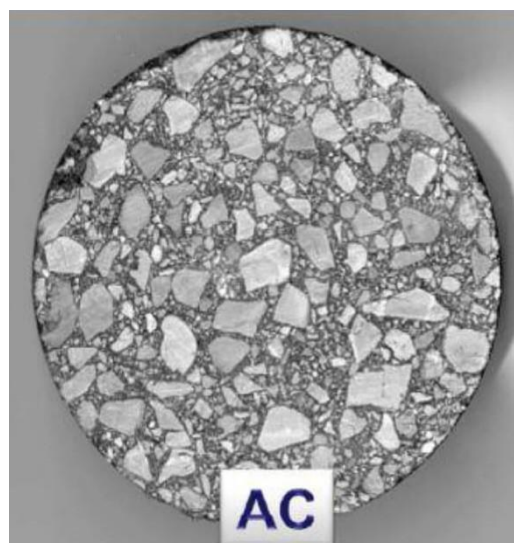


## 2.5. Asfaltový beton – dle ČSN EN 13108–1

- Nejvíce používaný druh asfaltové směsi
- Jedná se o směs, která je složena z asfaltu a kameniva, kde jsou vyplněny póry pojivem
- Používá se pro obrusné, ložní, podkladní vrstvy
- Dříve byly rozděleny na asfaltový beton a obalované kamenivo, dnes se používá jednotný název asfaltový beton
- Směs s plynulou čarou zrnitosti
- Rovnoměrné zastoupení zrn různé velikosti
- Asfaltobeton se rozprostírá finišerem, ve výjimečných případech ručně nebo grejdrem [16]



Tabulka 7 Obor zrnitosti pro směs ACO11+ a Fullerova parabola [16]



Obrázek 23 Jádrový vývrt asfaltového betonu [26]

### 3. Cíl práce

cílem této diplomové práce je ověřit vlivy chování R-materiálu v různém procentuálním zastoupení a to 0 %, 15 % 30 % 50 % ve zhutněné asfaltové směsi na modul tuhosti a nízkoteplotní vlastnosti. Bylo použitý vysoce modifikovaný asfaltový pojivo HiMA 45/80–75 a kamenivo frakce do 11 mm.

V praktické části došlo nejprve ke zhutnění asfaltové směsi ACO 11+ která byla nejprve podrobena zkoušce ověření míry zhutnění a poté došlo ke stanoveným zkouškám, kdy se zhutněné desky nařezali na požadované trámečky a trapezoidy.

V případě trámečků došlo k zhotovení zkoušky na nízkoteplotní vlastnosti (TSRST) a to od každé směsi 2 trámečky, tedy celkem 8 trámečků a 8 zkoušek.

V případě modulu tuhosti bylo celkem využito 5 trapezoidů z každé směsi, tedy bylo odzkoušeno celkem 20 trapezoidů.

Trapezoidy byly zkoušeny na modul tuhosti při různých teplotách, a to při teplotě 15°C a 0°C.

Výsledky modulu tuhosti a nízkoteplotních vlastností jsou v příloze této diplomové práce

## 4. Praktická část

### 4.1. Použité materiály

#### 4.1.1 Použité asfaltové pojivo

Použité asfaltové pojivo:

Výrobce	Colas	Druh	COLFLEX PMB 45/80-75
		Penetrace při 25oC [ $1 \times 10^{-1}$ mm]	54,0
		Bod měknutí K&K [°C]	75,9
		Duktilita při 25 °C [cm]	-
		Přilnavost asfaltu ke kamenivu	výborná

Tabulka 8 Použité asfaltové pojivo

#### 4.1.2 Složení směsi kameniva

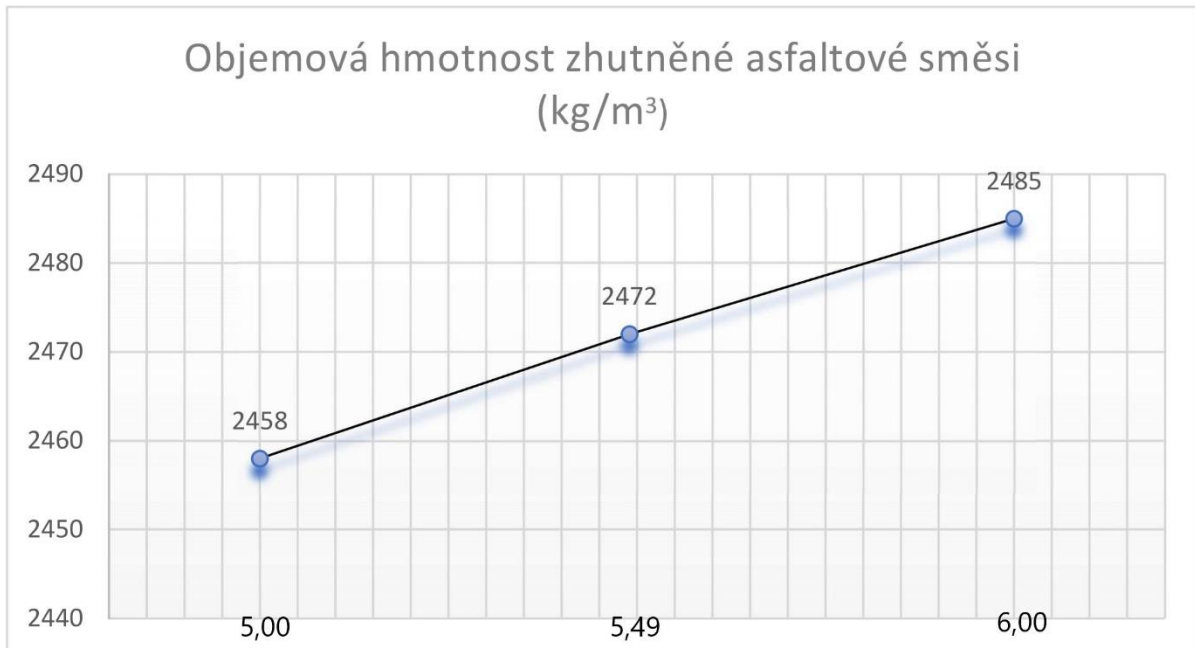
Složení směsi kameniva		
Druh	Hmotnostní podíl	Lokalita
HDK 8/11	28 %	Sýkořice
HDK 4/8	18 %	Sýkořice
HDK 2/5	20 %	Sýkořice
DDK 0/2	32 %	Sýkořice
JMV	2 %	Sýkořice
CELKEM 100 %		

Hmotnost asfaltu 5,49 %	PMB 45/80-75
-------------------------	--------------

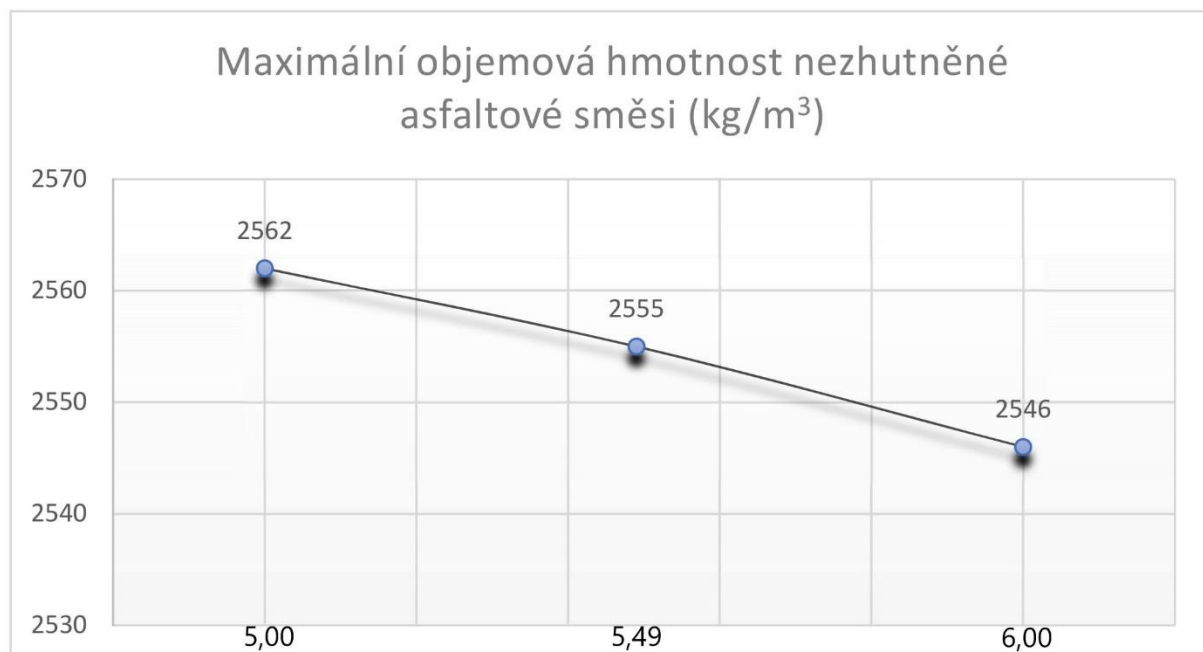
Tabulka 9 Počáteční zkouška typu (ITT)

Parametry navrhované asfaltové směsi (ověření v laboratoři)									
B <sub>min</sub>	B <sub>vol</sub>	OHZT	OHNS	V	VMA	VBF	ITSR	PRD <sub>air</sub>	WTS <sub>air</sub>
(%)	(v% obj.)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm/10 <sup>3</sup> )
5	12,1	2458	2562	4,1	16,1	74,8	-	-	-
<b>5,49</b>	<b>13,3</b>	<b>2472</b>	<b>2555</b>	<b>3,2</b>	<b>16,6</b>	<b>80,4</b>	<b>85</b>	<b>3,4</b>	<b>0,042</b>
6	14,5	2485	2546	2,4	17	85,9	-	-	-
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1									
min.5.4 (dop.)	min.12.5	-	-	2,5-4,0	-	-	min.80	5	0,07
<b>Optimální obsah pojiva:</b>								<b>5,49%</b>	

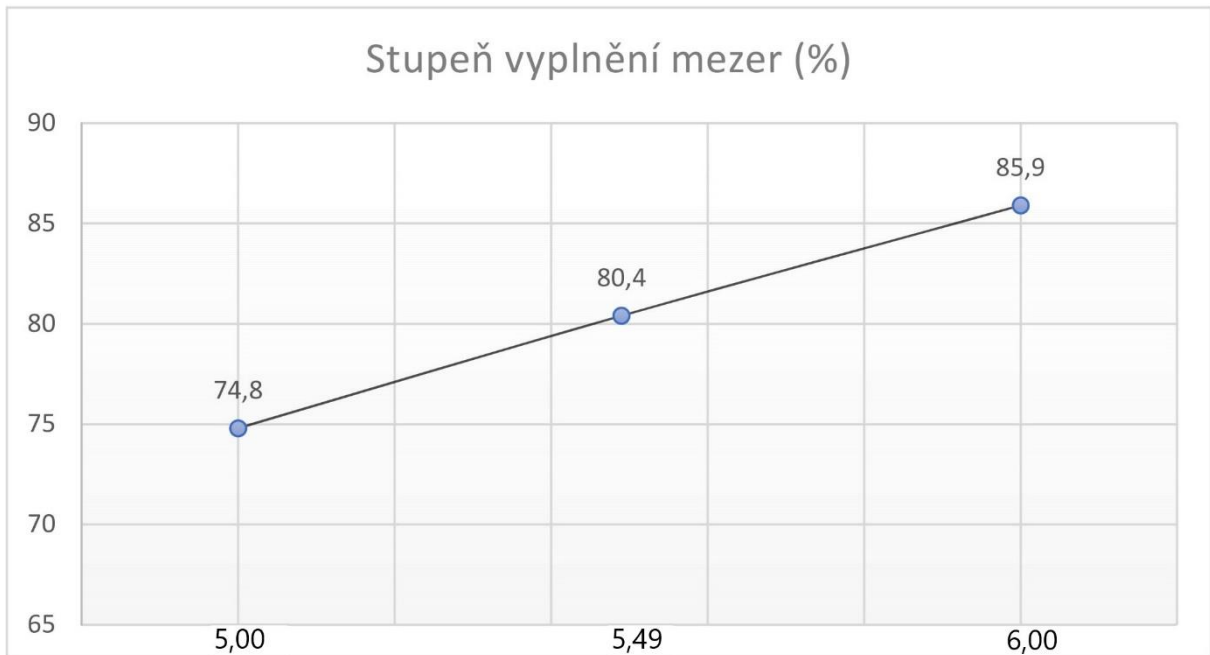
Tabulka 10 Počáteční zkouška typu (ITT)



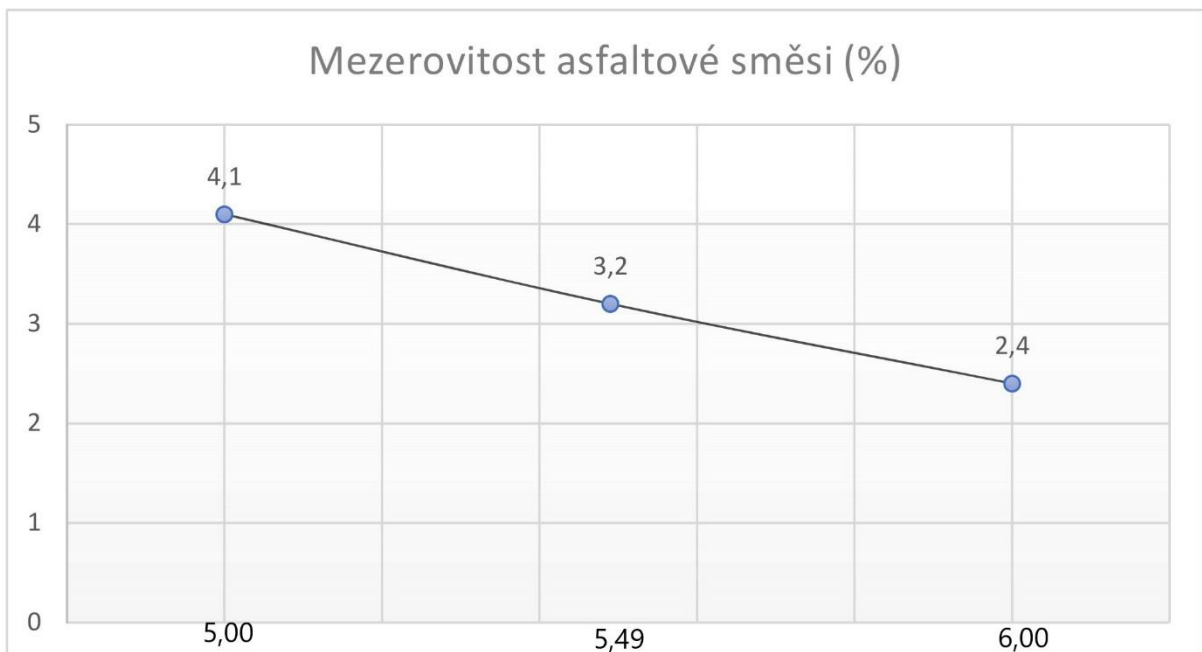
Graf 1 Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi



Graf 2 Maximální objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi

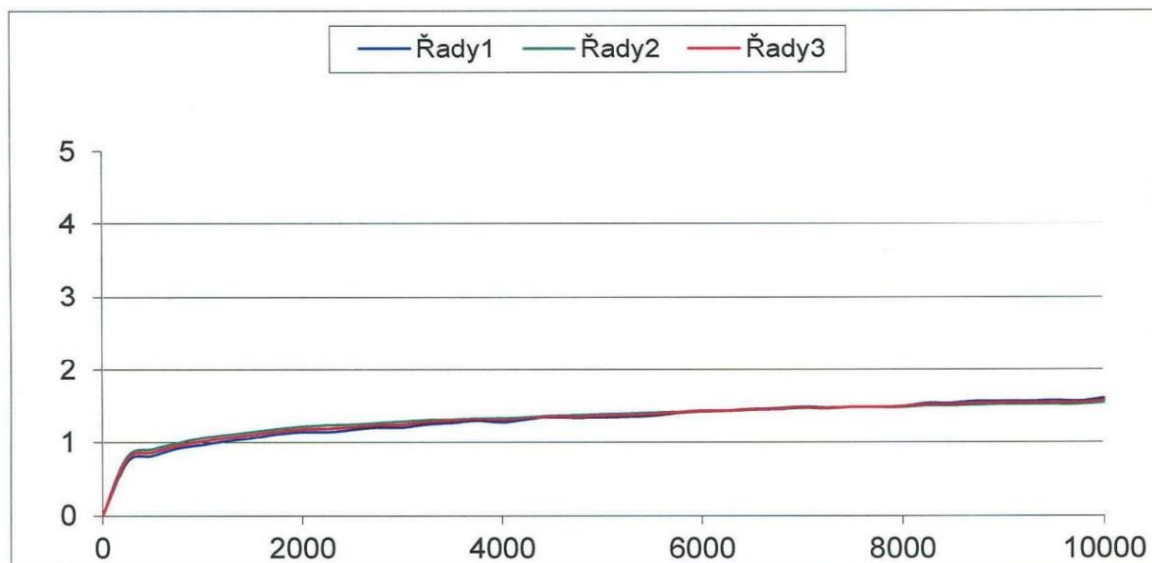


Graf 3 Stupeň vyplnění mezer



Graf 4 Mezerovitost asfaltové směsi

## Zkouška asfaltových směsí proti trvalým deformacím



Graf 5 Zkouška opakovaného poježdění kolem

kolo	průměrná hloubka koleje po 5000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10000 cyklech v mm	d <sub>10 000</sub> -d <sub>5000</sub> (mm)
1	1,35	1,61	0,26
2	1,39	1,55	0,16
<b>Průměr</b>	<b>1,37</b>	<b>1,58</b>	<b>0,21</b>
přírůstek hloubky koleje WTS AIR (d <sub>10 000</sub> - d <sub>5000</sub> )/5		0,042mm	
<b>PRD AIR</b>		<b>3,40 %</b>	

Tabulka 11 Zkouška opakovaného poježdění kolem

## 4.2. Použité zkušební metody

### 4.2.1 Stanovení modulu tuhosti dle ČSN EN 12697-26

Vztah mezi aplikovaným maximálním napětím a při něm naměřeným maximálním přetvořením, který se vyjádří jako:  $E = \sigma/\epsilon$

E = modul pružnosti, v megapascálech (MPa)

$\sigma$  = použité napětí, v megapascálech (MPa)

$\epsilon$  = použité přetvoření, v mikrometrech na metr nebo mikrostrainech ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) [21]

### Podstata zkoušky

Vzorky definovaného tvaru jsou deformovány v rozsahu lineárního přetvoření, a to buď při vyvozování stejného zatěžování, nebo při zatěžování konstantním přetvořením. Amplitudy napětí a poměrného přetvoření včetně fázového úhlu mezi nimi jsou vypočítány z naměřené síly a deformace. Na základě naměřeného napětí a poměrného přetvoření lze vypočítat požadované moduly.

### Stáří zkušebních těles

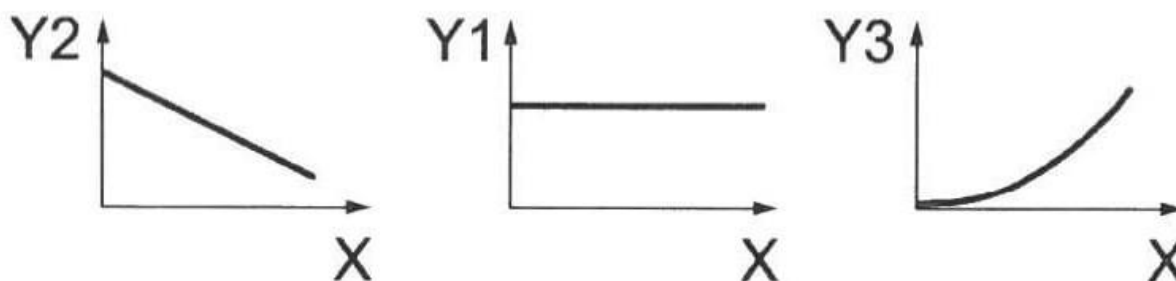
Před zahájením zkoušky musí být zkušební tělesa mezi 14 a 42 dny od doby jejich výroby skladovány na rovném povrchu při teplotě nejvýše 20°C. V případě vzorků vyžadujících řezání nebo lepení musí být řezání provedeno nejpozději do 8 dnů po zhutnění a lepení musí být provedeno alespoň 2 týdny od řezání. Doba výroby těchto zkušebních těles je čas, kdy jsou zkušební tělesa řezána.

### Sušení zkušebních těles

Po řezání, před lepením nebo zkoušením musí být zkušební tělesa vysušena do konstantní hmotnosti na vzduchu při relativní vlhkosti vzduchu nižší než 80 % při teplotě ne více než 20°C. Zkušební těleso musí být zváženo suché nejméně po 8 h doby sušení, kdy se rozdíl dvou vážení prováděných minimálně 4 h od sebe liší o méně než 0,1 % [21]

## 4.2.2 Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem (TSRST) dle ČSN EN 12697-46 11

Při zkoušce nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným řízeným poklesem teploty (TSRST) je vzorek s udržovanou konstantní délkou vystaven poklesu teploty s konstantní rychlostí. Vlivem zamezovaného tepelného smršťování se ve zkušebních tělesech vytváří kryogenní napětí. Výsledkem je šíření kryogenního napětí při teplotě  $\sigma_{cry}$  (T) a napětí způsobující porušení  $\sigma_{cry, failure}$  při teplotě  $T_{failure}$ , při které dojde k porušení



Graf 6 Podstata zkoušky TSRST [21]

## 4.3. Hutnění + řezání

### 4.3.1 Hutnění



Obrázek 24 Navážení požadované hmotnosti horké asfaltové směsi, následně znovu vrácena do laboratorní sušírny do doby získání minimální teploty pro zhutnění [20]

#### Segmentový zhutňovač

Asfaltová směs byla zhutněna pomocí segmentového zhutňovače (obr.25). Ten pracuje na principu takovém, že segment zajede do formy, kde je připravena horká asfaltová směs, která je rozprostřena do roviny a upěchována, tak aby byly řádně zhutněny rohy.

Na připravenou asfaltovou směs položíme plech, který ještě opatříme ochranným separačním postříkem proti případnému nalepení asfaltové směsi na plech pod tlakem zhutňovače.

Asi zhruba po 6 minutách hutnění je proces u konce. Necháme cca 10 min vychladnout a uvolníme formu a vyjmeme zhutněnou desku. (obr.26)





Obrázek 25 Ukázka segmentového zhutňovače [20]



Obrázek 26 Hotové ztuhlé desky popsané procentuálním zastoupením R-materiálu a očíslováním desky [20]

### Parametry vyrobených desek

Po výrobě ztuhnutých desek a jejich ochlazení bylo provedeno jejich převážení. Nejprve byl zvážen suchý vzorek, následně vzorek ponořený ve vodě, a nakonec vzorek nasycený.

### Rovnice – Skutečná objemová hmotnost

$\rho_{\text{skut}}$  Skutečná objemová hmotnost

$m_1$  Hmotnost suché zkušební desky

$m_2$  Hmotnost desky ponořené ve vodě

$m_3$  Hmotnost desky nasycené vodou

$$\rho_{\text{skut}} = (m_1 / m_3 - m_2)$$

### Rovnice – míra ztuhnutí

$\rho_{\%}$  míra ztuhnutí

$\rho_{\text{skut}}$  Objemová hmotnost skutečná (kg/m<sup>3</sup>)

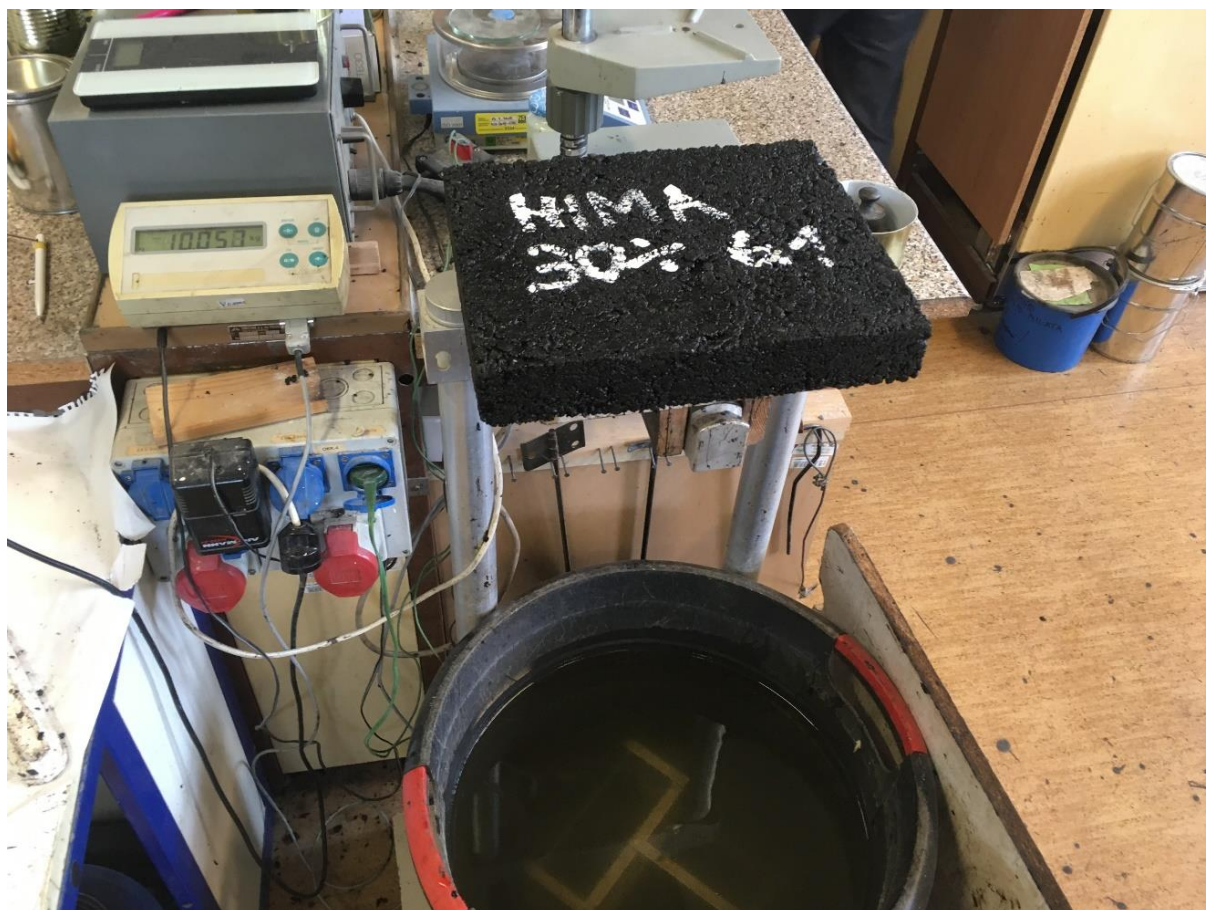
$\rho_{\text{CAL}}$  Objemová hmotnost kalkulovaná (kg/m<sup>3</sup>) (válcovaných zkušebních těles)

## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

<b>zkoušení laboratoř</b>	$\rho_w(\text{vody})$ 997,8	100% míra zhutnění = 2475
---------------------------	-----------------------------	------------------------------

deska	ZKOUŠKY	m1	m2	m3	$\rho$	zhutněno (míra zhutnění)	Tloušťka desky
1	asfaltová směs + HiMA 0% - <b>1 deska</b>	10024	6016	10126	2433,56	98,33%	50,05
2	asfaltová směs + HiMA 0% - <b>2 deska</b>	10058	6020	10155	2427,05	98,06%	51,00
2.1	asfaltová směs + HiMA 0% - <b>3 deska</b>	10010	6014	10070	2462,52	99,50%	50,24
3	asfaltová směs + HiMA 15% - <b>1 deska</b>	9975	5988	10080	2432,32	98,28%	50,26
4	asfaltová směs + HiMA 15% - <b>2 deska</b>	10015	5986	10048	2460,11	99,40%	50,33
4.1	asfaltová směs + HiMA 15% - <b>3 deska</b>	10042	6001	10073	2460,68	99,42%	50,55
5	asfaltová směs + HiMA 30% - <b>1 deska</b>	10018	5984	10057	2454,20	99,16%	51,00
6	asfaltová směs + HiMA 30% - <b>2 deska</b>	10044	5982	10120	2421,92	97,86%	50,91
6.1	asfaltová směs + HiMA 30% - <b>3 deska</b>	10012	5975	10057	2447,32	98,88%	50,60
7	asfaltová směs + HiMA 50% - <b>1 deska</b>	10029	5965	10057	2445,49	98,81%	50,60
8	asfaltová směs + HiMA 50% - <b>2 deska</b>	10051	5963	10060	2447,86	98,90%	50,50
8.1	asfaltová směs + HiMA 50% - <b>3 deska</b>	9983	5940	10005	2450,44	99,01%	50,91

Tabulka 12 Vypočtena míra zhutnění



Obrázek 27 Vážení suché zhutněné desky – suchého vzorku [20]



Obrázek 28 Vážení zhutněné desky ponořené ve vodě [20]

Deska se po zvažení v suchém stavu opláchne, tak aby při měření v nasyceném stavu a ponoření do vody zbytečně neznečistovala vodu. Celý proces nasáknutí vodou probíhal přibližně 30 minut, poté byla deska osazena na připravený nosič. Před osazením se váha nejprve vytáruje, poté je deska osazena, nechá se ustálit pár minut a vezme se konečná ustálená hodnota se kterou se dále uvažovalo.

### 4.3.2 Řezání

Po zhutnění a přeměření míry zhutnění desky dojde k nařezání trámečků rozměrů 200x50x50 mm pro provedení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem a trapezoidů (komolého klínu) pro provedení zkoušky modulu tuhosti.



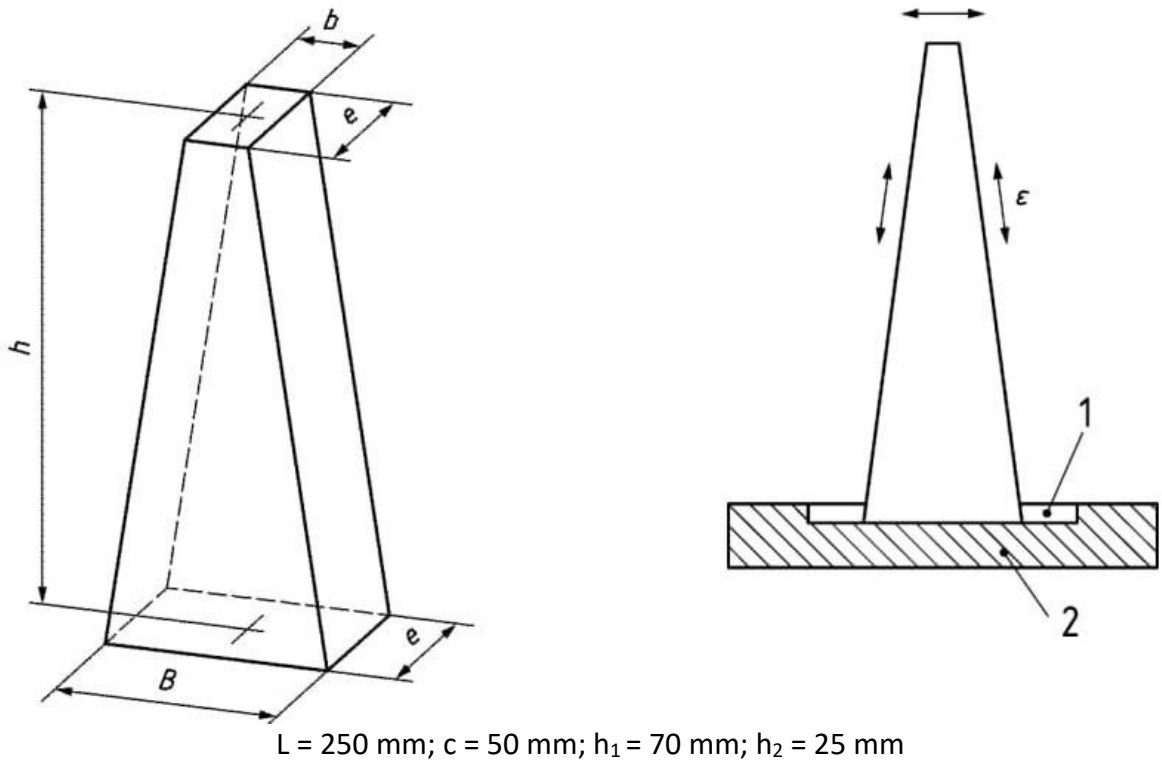
Obrázek 29 Řezání desky na trámečky a trapezoidy [20]



Obrázek 30 Trapezoidy – komolé klíny [20]

V konečné fázi přípravy je nalepení těles do ocelových podložek a přilepení háčku k horní podstavě trapezoidů. K lepení bylo použito dvousložkové epoxidové lepidlo složené z epoxidu, tvrdidla a vysušené vápencové moučky (plnivo). Takto nachystaná tělesa jsou připravena pro zkoušku stanovení modulu tuhosti ve 2 bodovém ohybu dle ČSN EN 12697-26. [18]

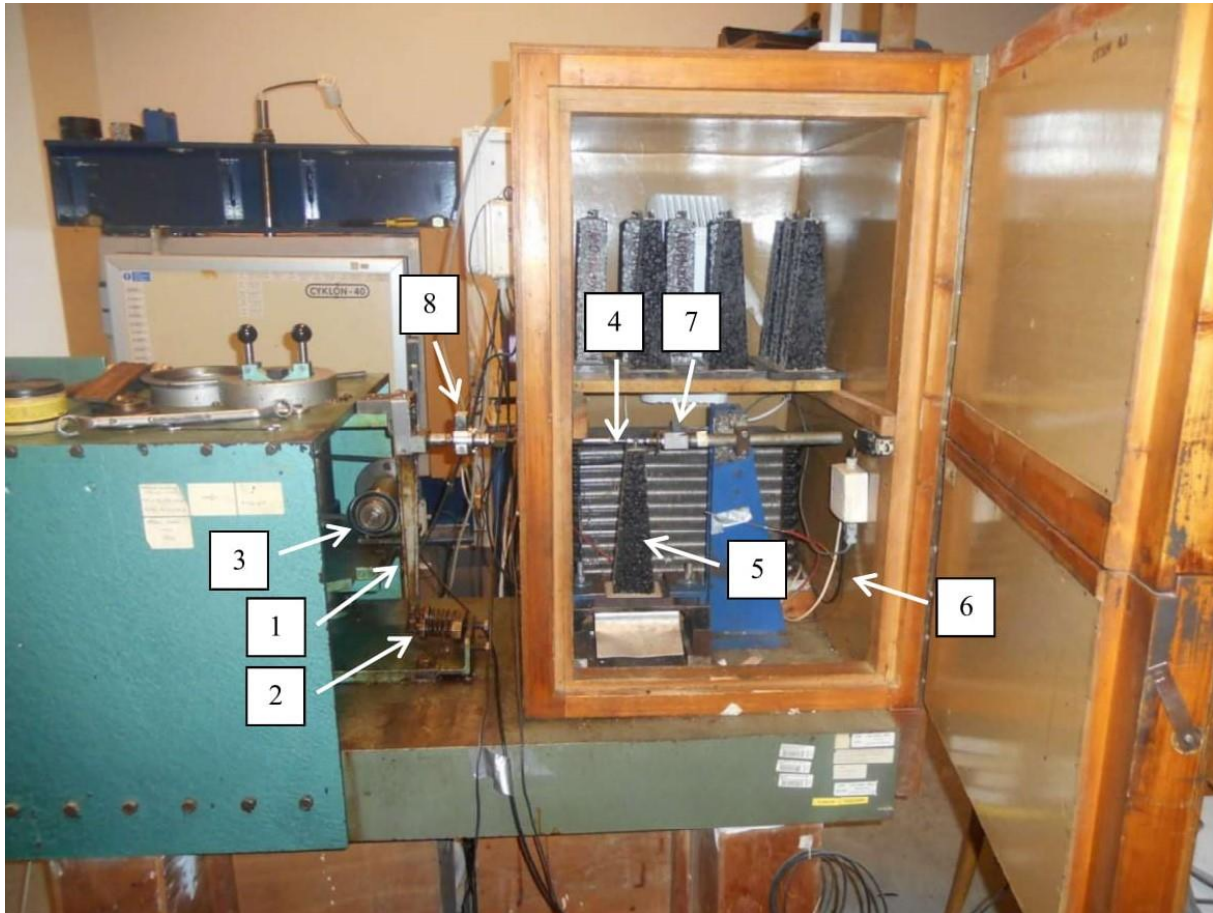
ČSN EN 12697-26



Obrázek 31 Trapezoidy – komolé klíny [21]

#### 4.4. Stanovení modulu tuhosti na asfaltových směsích

Určování modulu tuhosti na zhutněných asfaltových směsích bylo provedeno v souladu s ČSN EN 12697-26.



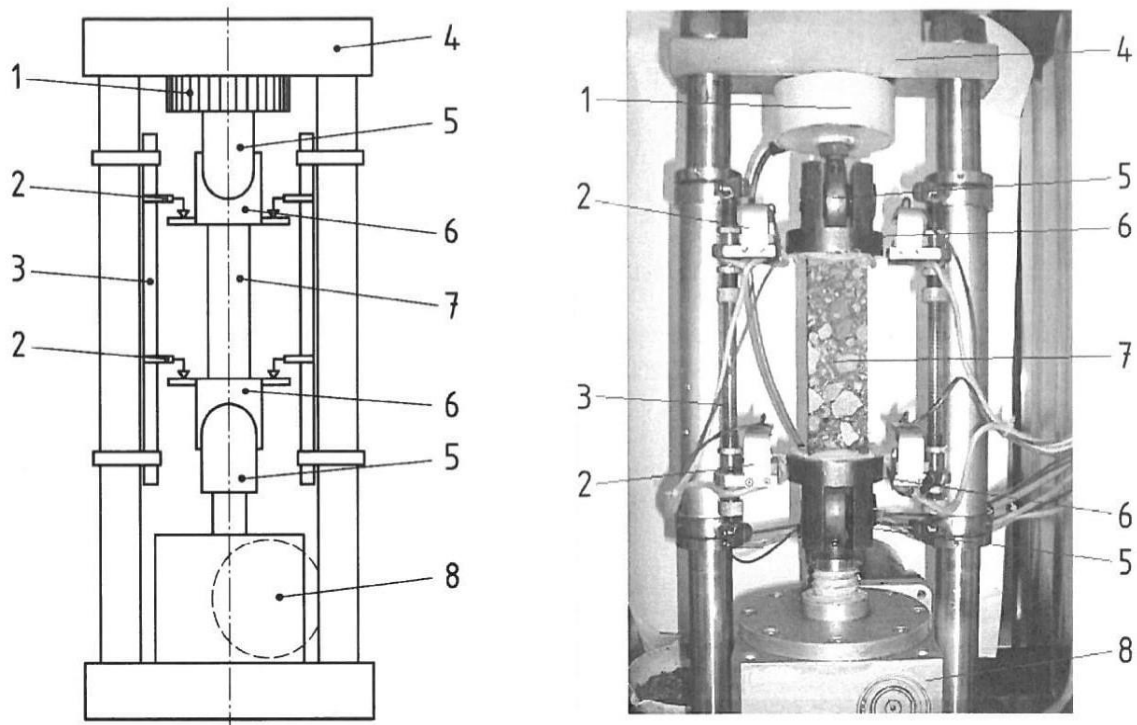
Obrázek 32 Ukázková fotka zkušebního tělesa pro měření modulu tuhosti [18]

Zkušební zařízení pro měření modulu tuhosti bylo vytvořeno v silničním vývoji Brno (viz. obrázek 40). Zkoušeným vzorkem je těleso ve formě komolého klínu (trapezoid) – viz obr.40. Zkušební zařízení pohání elektrický motor. Otáčející se excentricky tvarovaná vačka (3) vychyluje páku (1) přitlačovanou pružinami (2). Výchylka páky je přenášena táhlem (4) jako horní posuv měřeného vzorku tvaru trapezoidu (5) umístěném v temperované komoře (6). Posuv táhla a silová reakce se měří snímačem deformace (7) a snímačem síly (8). Výsledky měření jsou automaticky ukládaný do paměti počítače. [18]

Zkouška probíhala za teplot 15°C a 0°C. Byly zaznamenávány hodnoty komplexního modulu tuhosti. Měřeno bylo při frekvencích 5, 10, 15, 20, 25 Hz. Bylo odzkoušeno celkem 20těles. (obr.30)



## 4.5. „Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem



### Legenda

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 silový tenzometrický snímač | 5 kardanový závěs               |
| 2 snímač posunu               | 6 čelist                        |
| 3 ohřev vnějšího rámu         | 7 zkušební těleso               |
| 4 příčný trám                 | 8 převodovka s krokovým motorem |

Obrázek 33 Příklad zkušebního zařízení pro provádění zkoušek jednoosým tahem při nízkých teplotách [19]

### Systém měření deformace

Deformace zkušebního tělesa se měří v rozsahu od  $\pm 2,5\mu\text{m}$  do  $\pm 0,5\mu\text{m}$ . Vzhledem k tomu, že je zkušební zařízení vystaveno stejným teplotním změnám jako zkoušená zkušební tělesa s tepelným smrštěním a roztažností, vyžaduje přesné měření skutečného přetvoření zkušebního tělesa základnu s konstantní délkou při různých teplotách (např. plast vyztužený speciálními uhlíkovými vlákny nebo invarová ocel).

### Systém měření zařízení

Systém měření zatížení, který je schopen monitorovat axiální zatížení až do  $20\pm$

### Záznamová zařízení

Záznamové zařízení obsahující jednotku digitálního zařízení připojenou k počítači, kterou je schopno monitorovat a zaznamenávat elektrické signály snímačů zatížení a deformace. [19]

## Kalibrace zkušebního zařízení pro provádění zkoušky TSRST

Jsou-li zatěžovací rám nebo části zatěžovacího rámu, jakož i měřící systémy vystaveny teplotním změnám musí se kromě kalibrace systému pro měření zatížení a deformace provést rovněž kalibrace celého systému, aby se zajistila reprodukovatelnost a opakovatelnost.

Systém se testuje provedením zkoušek kalibračního materiálu se známými materiálovými specifikacemi. Vhodnými materiály jsou ocel a hliník. Aby se zajistilo, že bude zařízení vystaveno zatížením srovnatelným s těmi, jež se vyskytují během zkoušek asfaltové směsi mohou se použít kalibrační trámečky menšího průřezu. [19]



Obrázek 34 Ukázka přípravy dvousložkového lepidla složeného z epoxidu, tvrdidla a vysušené vápencové moučky [20]



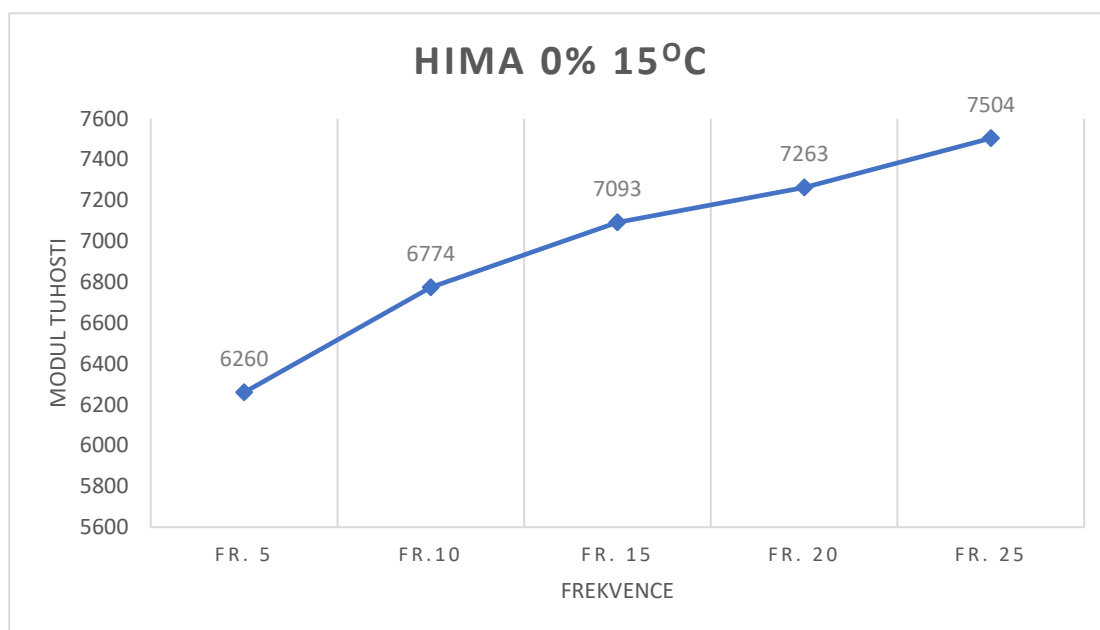
Obrázek 35 Ukázka lepení trámeček do ocelových podložek pomocí dvousložkového lepidla složeného z epoxidu, tvrdidla a vysušené vápencové moučky [20]

## 5. Výsledky

### 5.1. Modul tuhosti 15°C

HIMA 0 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
průměr	6260	6774	7093	7263	7504

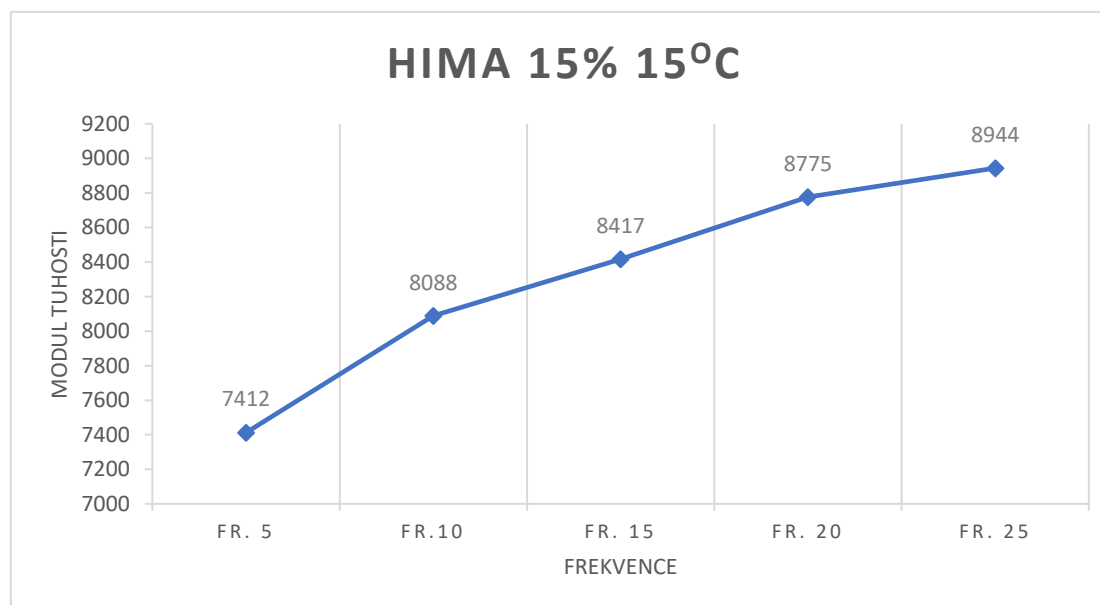
Tabulka 13 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 15 °C



Graf 7 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0% při teplotě 15°C

HIMA 15 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
průměr	7412	8088	8417	8775	8944

Tabulka 14 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15 °C

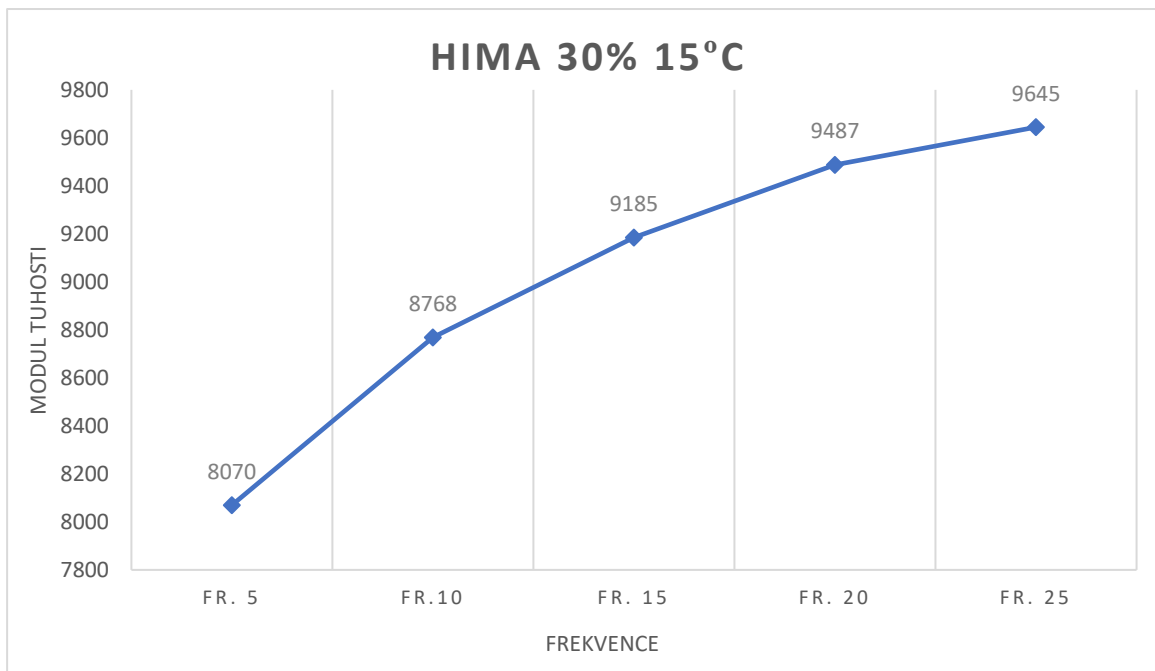


Graf 8 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15°C

## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

HIMA 30 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	<b>8070</b>	<b>8768</b>	<b>9185</b>	<b>9487</b>	<b>9645</b>

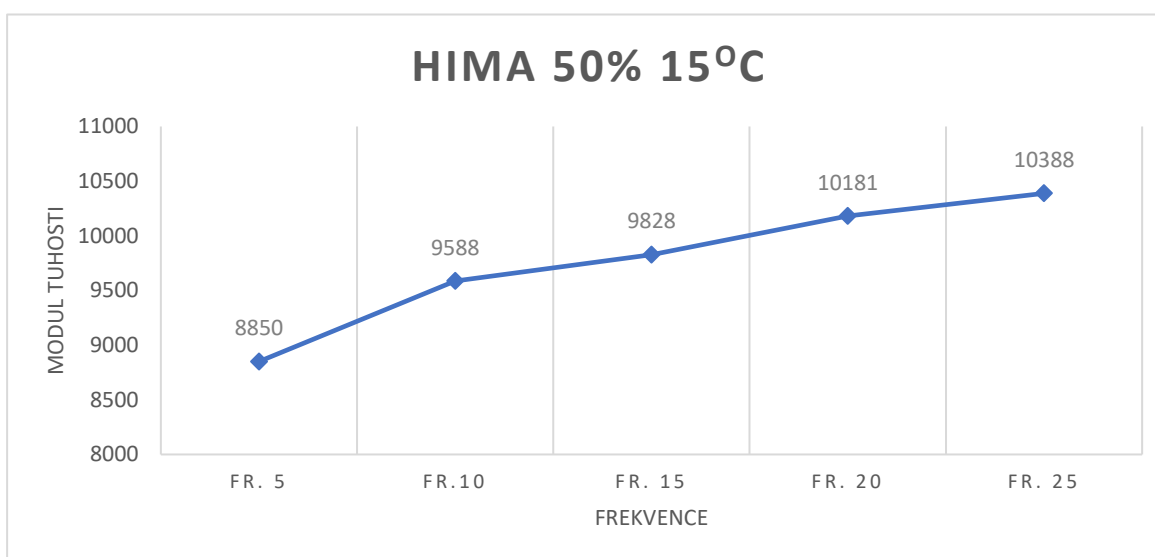
Tabulka 15 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15 °C



Graf 9 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15°C

HIMA 50 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	<b>8850</b>	<b>9588</b>	<b>9828</b>	<b>10181</b>	<b>10388</b>

Tabulka 16 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15 °C

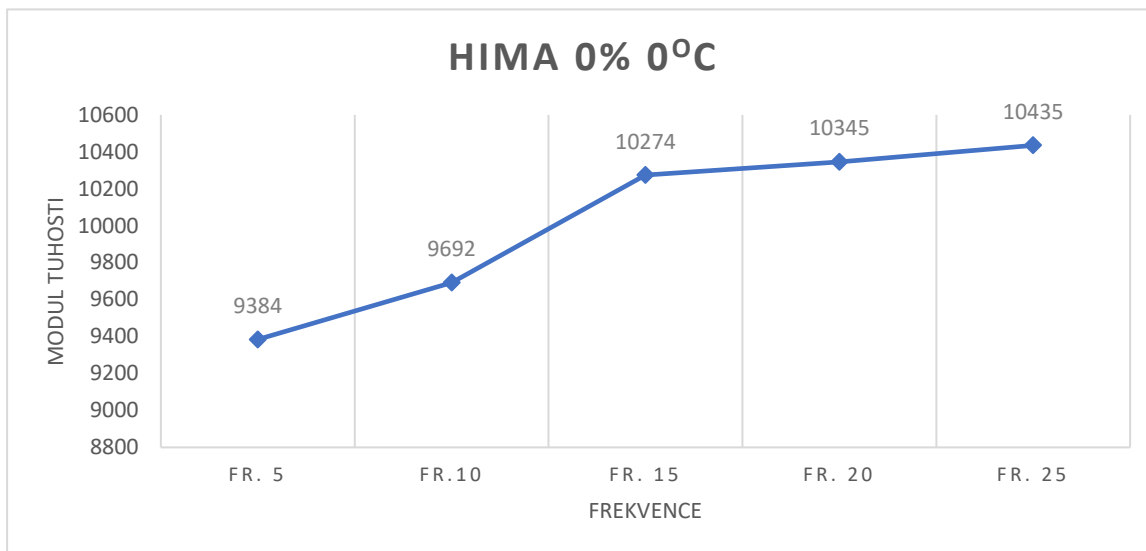


Graf 10 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15°C

## 5.2. Modul tuhosti 0°C

HIMA 0 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	<b>9384</b>	<b>9692</b>	<b>10274</b>	<b>10345</b>	<b>10435</b>

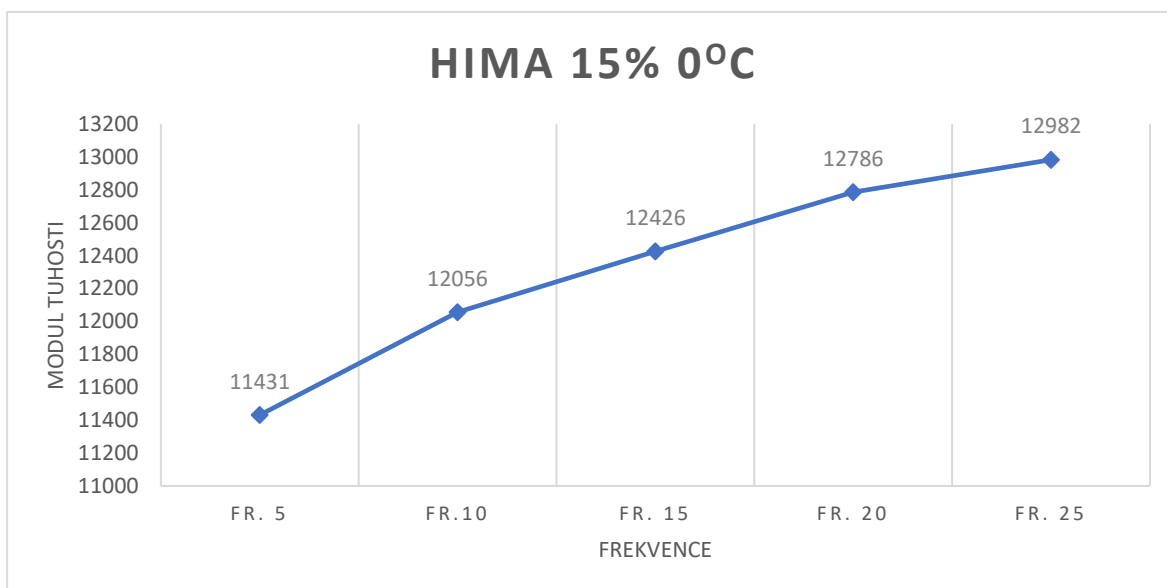
Tabulka 17 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C



Graf 11 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C

HIMA 15 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	<b>11431</b>	<b>12056</b>	<b>12426</b>	<b>12786</b>	<b>12982</b>

Tabulka 18 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0°C

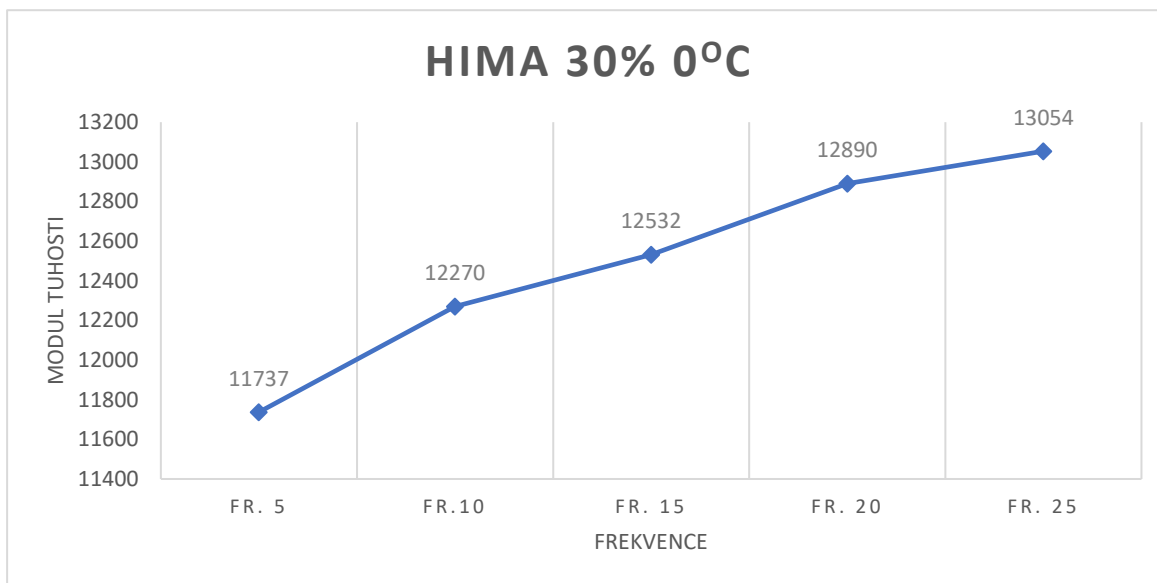


Graf 12 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0°C

## Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

HIMA 30 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	11737	12270	12532	12890	13054

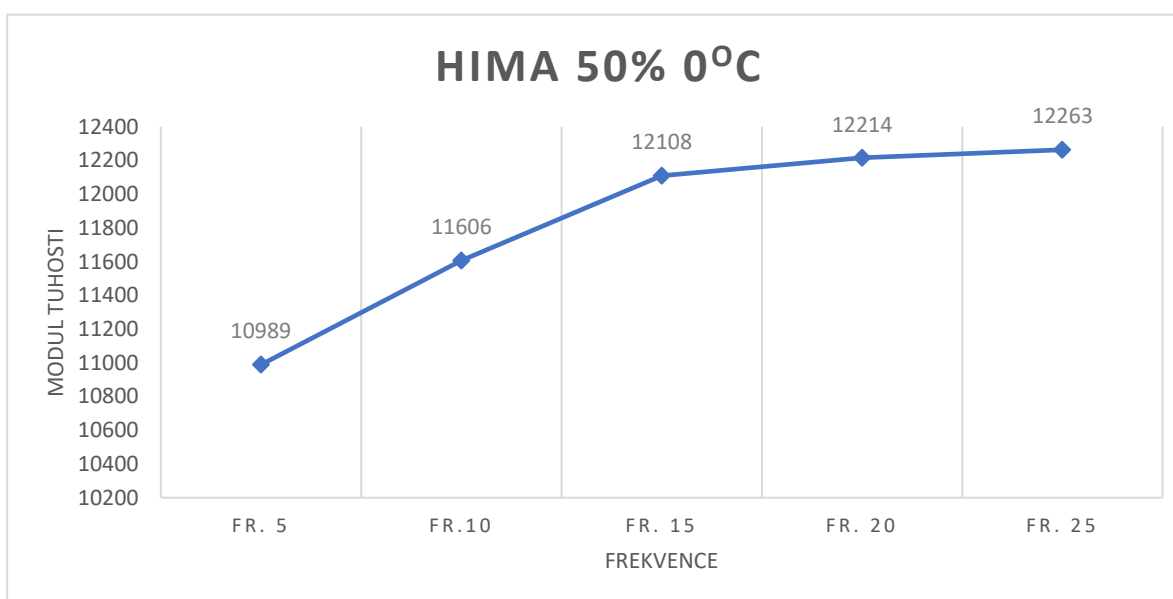
Tabulka 19 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 0 °C



Graf 13 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 0 °C

HIMA 50 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
<b>Průměr</b>	10989	11606	12108	12214	12263

Tabulka 20 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0 °C

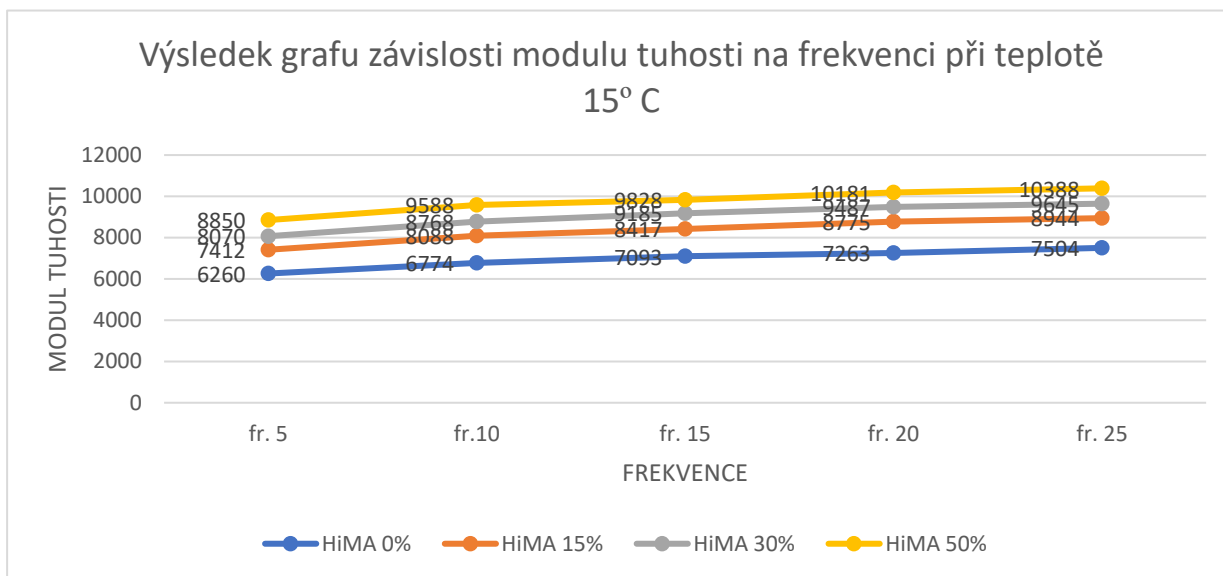


Graf 14 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0 °C

### Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

Frekvence	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
Průměr HiMA 0 %	6260	6774	7093	7263	7504
průměr HiMA 15 %	7412	8088	8417	8775	8944
Průměr HiMA 30 %	8070	8768	9185	9487	9645
Průměr HiMA 50 %	8850	9588	9828	10181	10388

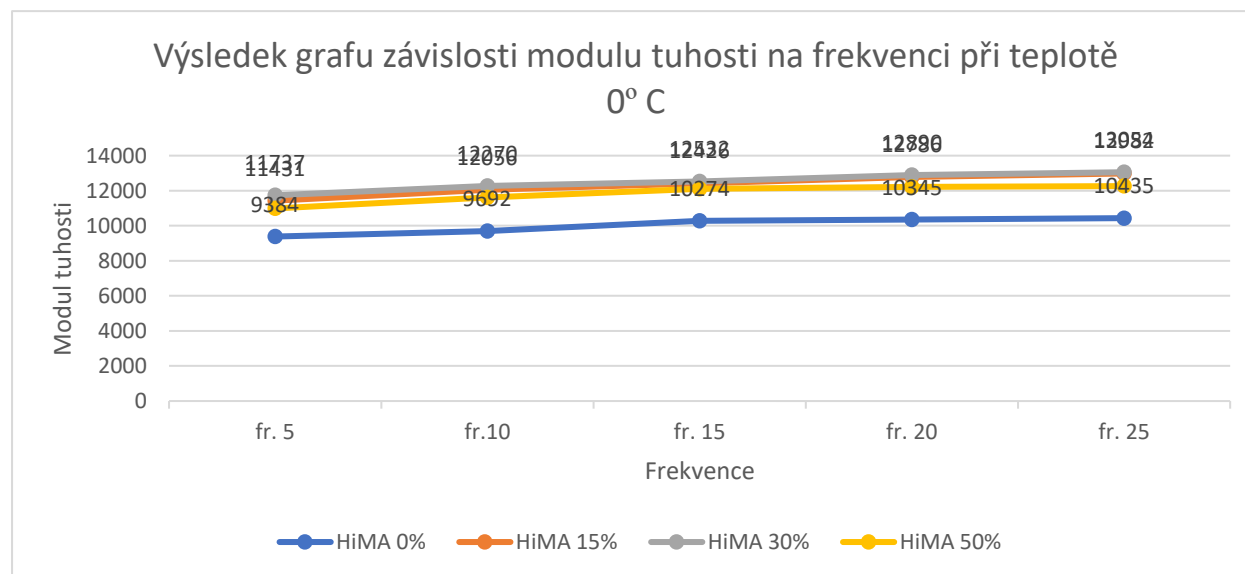
Tabulka 21 Průměry modulu tuhosti asfaltových směsí ACO11+ s R-materiálem při teplotě 15 °C



Graf 15 Graf výsledných průměrů modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem při teplotě 15 °C

Frekvence	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
Průměr HiMA 0 %	9384	9692	10274	10345	10435
Průměr HiMA 15 %	11431	12056	12426	12786	12982
Průměr HiMA 30 %	11737	12270	12532	12890	13054
Průměr HiMA 50 %	10989	11606	12108	12214	12263

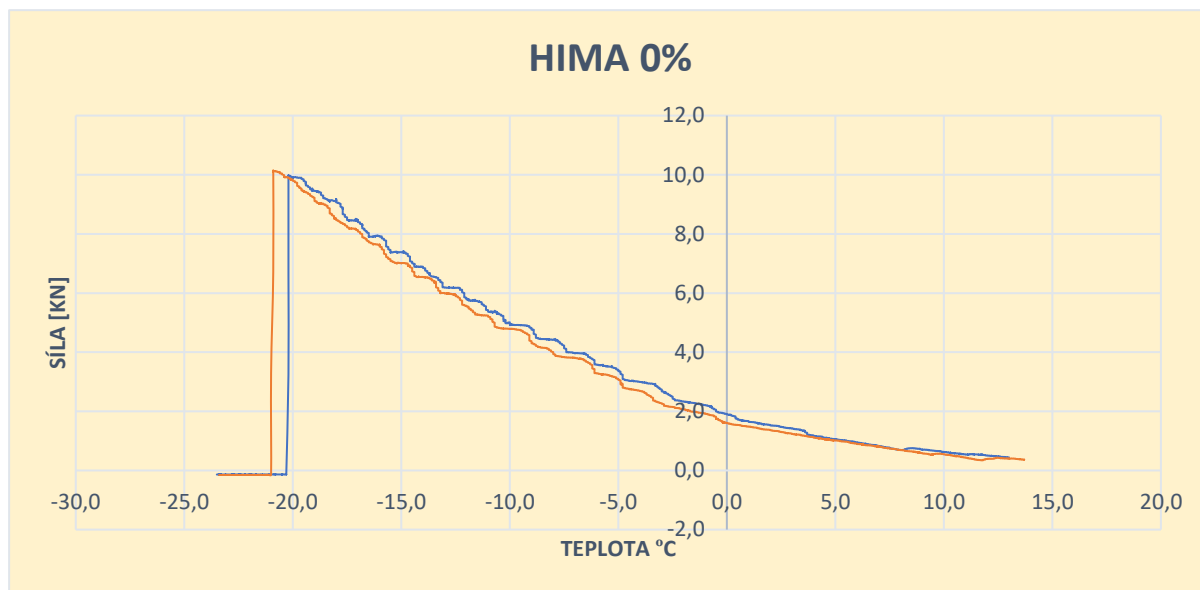
Tabulka 22 Průměry modulu tuhosti asfaltových směsí ACO11+ s R-materiálem při teplotě 0 °C



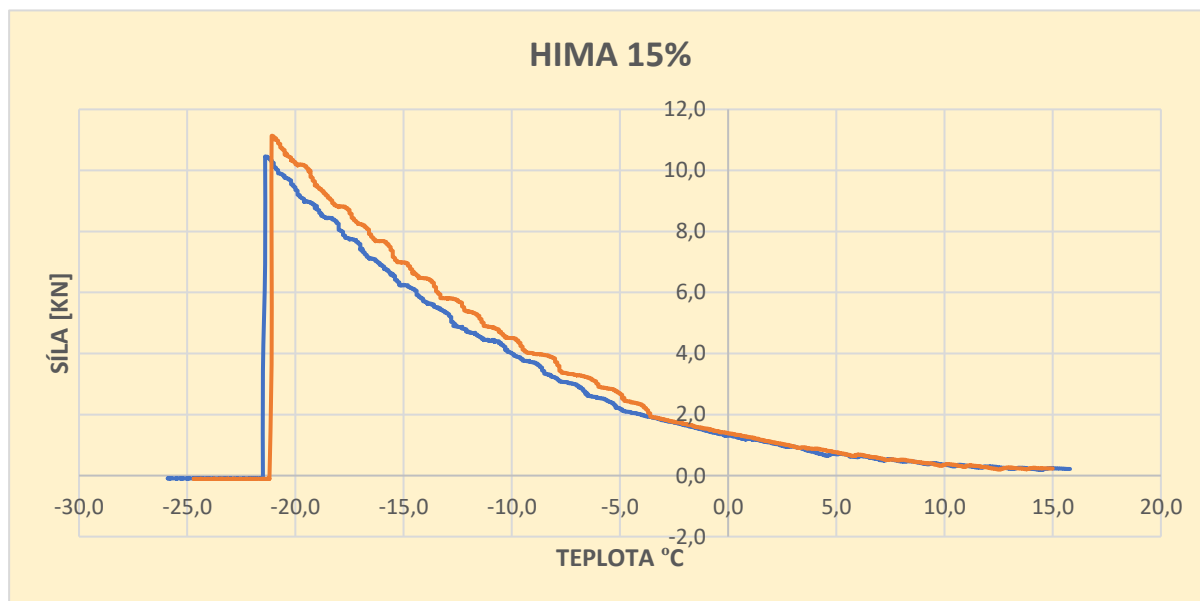
Graf 16 Graf výsledných průměrů modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem při teplotě 0 °C



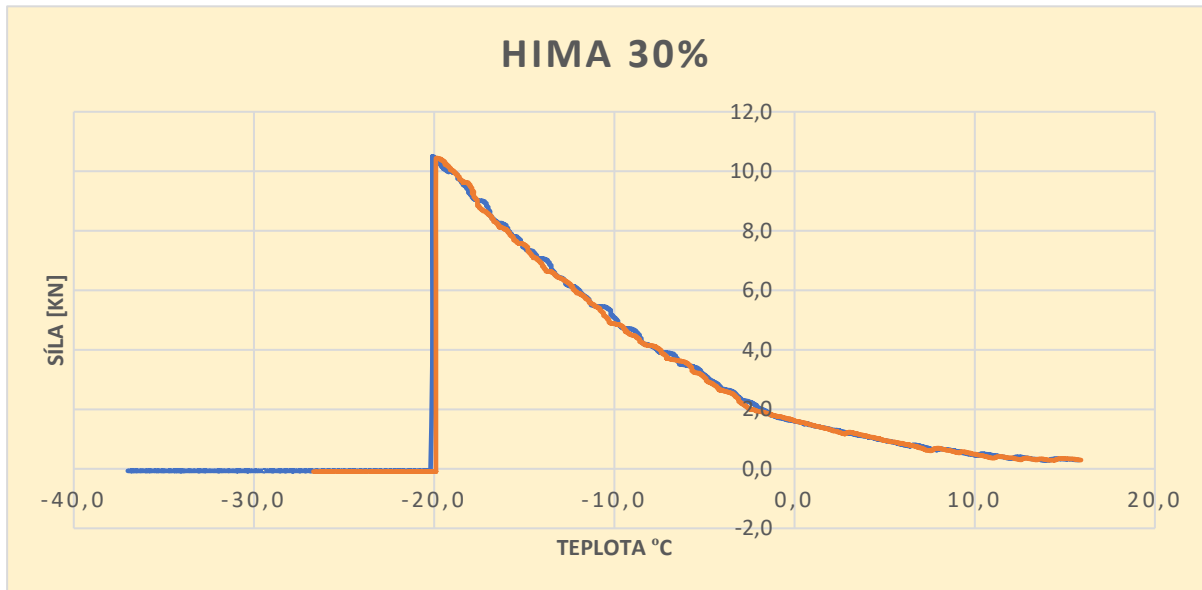
### 5.3. Nízkoteplotní vlastnosti při jednoosé zkoušce tahem (TSRST)



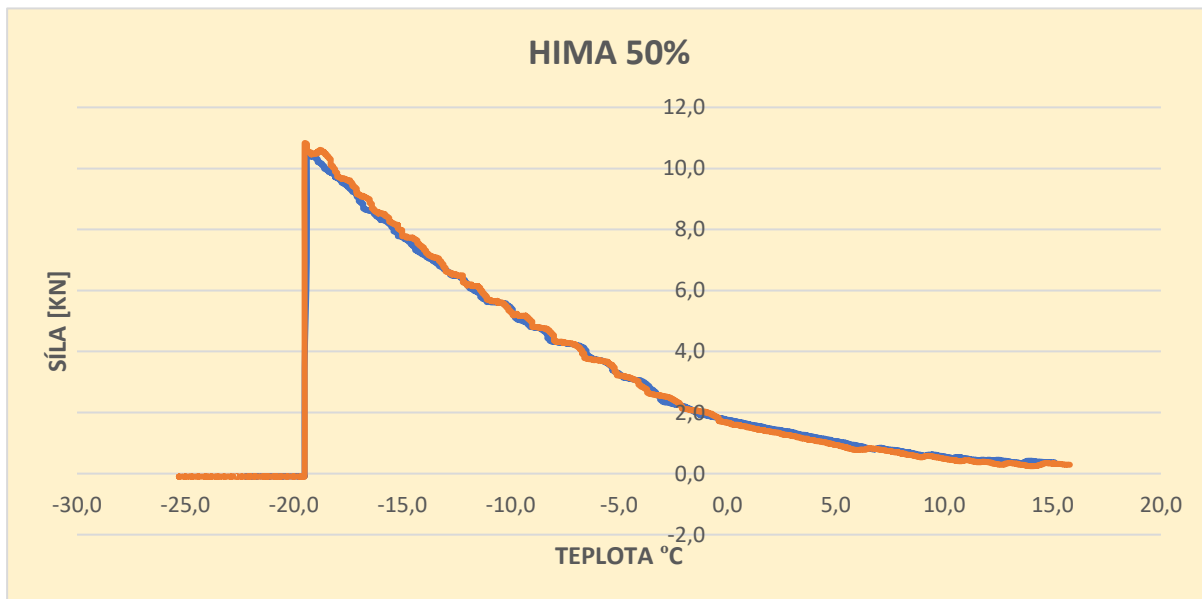
Graf 17 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0%



Graf 18 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15%



Graf 19 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30%



Graf 20 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50%

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo hodnotit změny vlastností modulu tuhosti a nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem v asfaltové směsi s různým přidáním R-materiálu.

Postup prací vytváření zhutněných desek a následně nařezání na trámečky a trapezoidy byly vysvětleny v diplomové práci, a to jak teoreticky, tak i prakticky, včetně přiložené fotodokumentace.

Pro účel diplomové práce bylo zhutněno celkem 12 desek, kde bezprostředně po zhutnění a vychladnutí probíhalo kontrolní měření rozměru a vizuální kontrola, zdali nedošlo k segregaci.

Následně probíhala kontrola míra zhutnění pomocí objemových hmotností, které jsou názorně vysvětleny jak teoreticky, tak i prakticky v diplomové práci.

Po ověření správnosti dostatečné míry zhutnění se přešlo k řezání trámeček a trapezoidů. Nařezání probíhalo na kotoučové pile pod odborným dohledem a se všemi potřebnými ochrannými pomůckami.

Po nařezání se přešlo ke zkouškám, a to zkouška modulu tuhosti dle ČSN EN 12697–26 a zkouška nízkoteplotních vlastností dle ČSN EN 12697–46 1. Obě zmiňované zkoušky jsou podrobně popsány v diplomové práci, a to včetně přiložených obrázků.

Pro zkoušku modulu tuhosti ČSN EN 12697–26 bylo využito celkem 20 trapezoidů, kde byly postupně všechny odzkoušeny. Zkoušení probíhalo při různých frekvencích, a to při 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Výsledky se zaznamenali do počítače a následně se zpracovali do průměrných hodnot v tabulkách excelu a jsou součástí diplomové práce. Tyto hodnoty byly vyobrazeny i v grafech, které jsou rovněž součástí diplomové práce.

Druhá zmiňovaná zkouška, a to zkouška nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem (TSRST) probíhala na nařezaných trámečkách rozměru 200 x 50 x 50 mm. Trámečky byly nalepeny do ocelových podložek pomocí dvousložkového lepidla složeného z epoxidu a tvrdidla a vysušené vápencové moučky. Následně se to nechalo zatuhnout a poté probíhala zkouška TSRST. Hodnoty byly znovu zaznamenány do počítače a znovu se s hodnotami pracovalo a jsou součástí této diplomové práce.

Celá práce ať už teoretická či praktická probíhala v omezeném režimu celosvětové pandemie COVID - 19, čímž byl do laboratoří omezen přístup a zpracování diplomové práce bylo do jisté míry ztíženo.

## 7. Přílohy

### MODUL TUHOSTI 15 °C

HIMA 0 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	6266	6870	7237	7418	7606
TR 02	6155	6678	7183	7326	7526
TR 03	6245	6751	7028	7020	7409
TR 04	6592	7232	7509	7613	7851
TR 05	6042	6338	6507	6936	7129
<b>Průměr</b>	<b>6260</b>	<b>6774</b>	<b>7093</b>	<b>7263</b>	<b>7504</b>

Tabulka 23 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 15 °C

HIMA 15 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	7647	8338	8770	9126	9323
TR 02	7392	8150	8265	8866	8991
TR 03	7154	7738	8137	8437	8525
TR 04	7401	8115	8501	8826	9000
TR 05	7466	8099	8413	8622	8879
<b>Průměr</b>	<b>7412</b>	<b>8088</b>	<b>8417</b>	<b>8775</b>	<b>8944</b>

Tabulka 24 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15 °C

HIMA 30 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	7810	8626	8983	9270	9498
TR 02	8397	9058	9386	9684	9877
TR 03	8020	8583	9157	9479	9679
TR 04	8093	8898	9308	9707	9713
TR 05	8029	8677	9090	9295	9456
<b>Průměr</b>	<b>8070</b>	<b>8768</b>	<b>9185</b>	<b>9487</b>	<b>9645</b>

Tabulka 25 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15 °C

HIMA 50 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	8899	9761	10015	10255	10641
TR 02	8571	9460	9734	9999	10305
TR 03	8903	9473	9858	10315	10263
TR 04	8892	9571	9762	10110	10320
TR 05	8985	9674	9769	10226	10412
<b>Průměr</b>	<b>8850</b>	<b>9588</b>	<b>9828</b>	<b>10181</b>	<b>10388</b>

Tabulka 26 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15 °C

MODUL TUHOSTI 0 °C

HIMA 0 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	9566	9915	10249	10426	10492
TR 02	9365	9785	10189	10320	10229
TR 03	9218	9453	10268	10250	10551
TR 04	9352	9521	10352	10211	10280
TR 05	9420	9785	10311	10520	10622
<b>Průměr</b>	<b>9384</b>	<b>9692</b>	<b>10274</b>	<b>10345</b>	<b>10435</b>

Tabulka 27 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C

HIMA 15 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	11452	12057	12487	12835	13045
TR 02	11229	11980	12394	12651	13126
TR 03	11657	12209	12662	12949	13100
TR 04	11126	11736	12163	12396	12533
TR 05	11691	12299	12424	13099	13107
<b>Průměr</b>	<b>11431</b>	<b>12056</b>	<b>12426</b>	<b>12786</b>	<b>12982</b>

Tabulka 28 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0 °C

HIMA 30 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	11478	12465	12580	12855	12960
TR 02	11303	11614	11877	12147	12392
TR 03	11780	11890	12560	12863	12855
TR 04	12270	12817	12949	13426	13606
TR 05	11855	12566	12696	13158	13455
<b>Průměr</b>	<b>11737</b>	<b>12270</b>	<b>12532</b>	<b>12890</b>	<b>13054</b>

Tabulka 29 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 0 °C

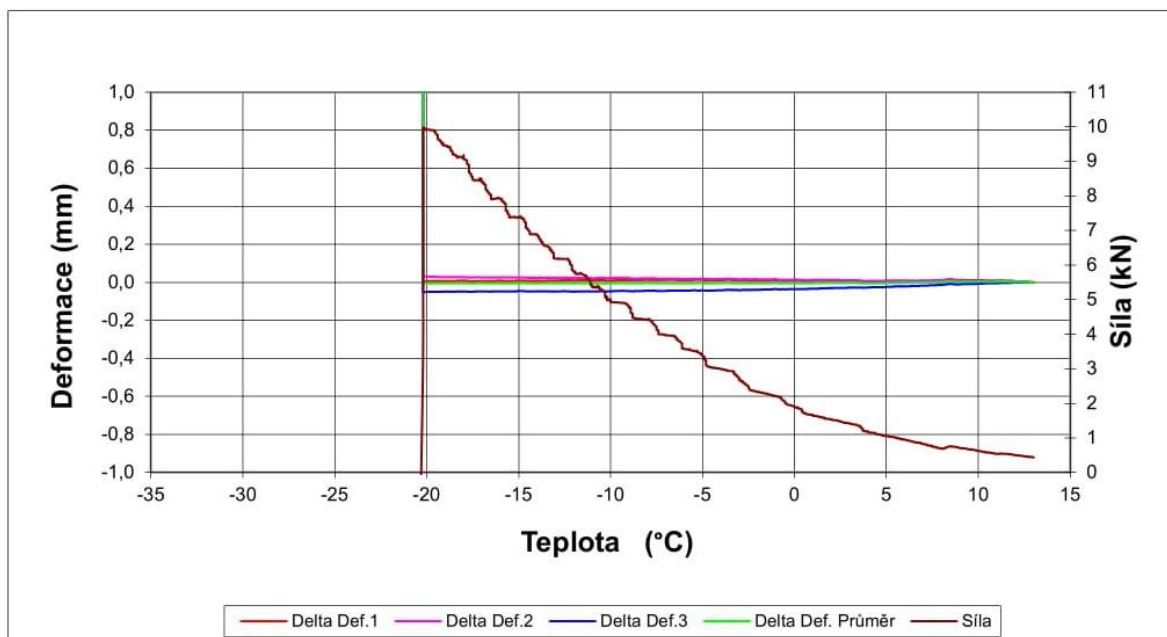
HIMA 50 %	fr. 5	fr.10	fr. 15	fr. 20	fr. 25
TR 01	11285	11780	12111	12304	12341
TR 02	10897	11425	11856	11824	12029
TR 03	10953	11571	12150	12407	12536
TR 04	10850	11674	12102	12205	12250
TR 05	10958	11578	12322	12332	12158
<b>Průměr</b>	<b>10989</b>	<b>11606</b>	<b>12108</b>	<b>12214</b>	<b>12263</b>

Tabulka 30 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0 °C

NÍZKOTEPLTNÍ VLASTNOSTI PŘI JEDNOOSÉ ZKOUŠCE TAHEM (TSRST)

**Zkouška odolnosti asfaltové směsi  
proti vzniku mrazových trhlin**

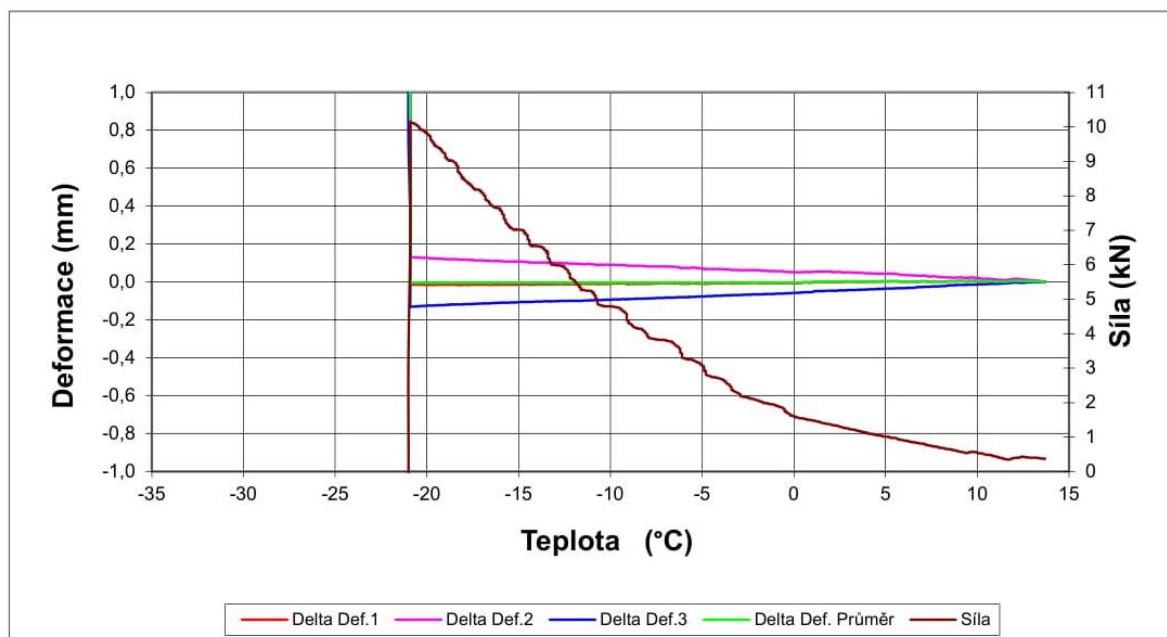
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 0% 01
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	02.11.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	9,98
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,99
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-24,1
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,2



Graf 21 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % 1 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

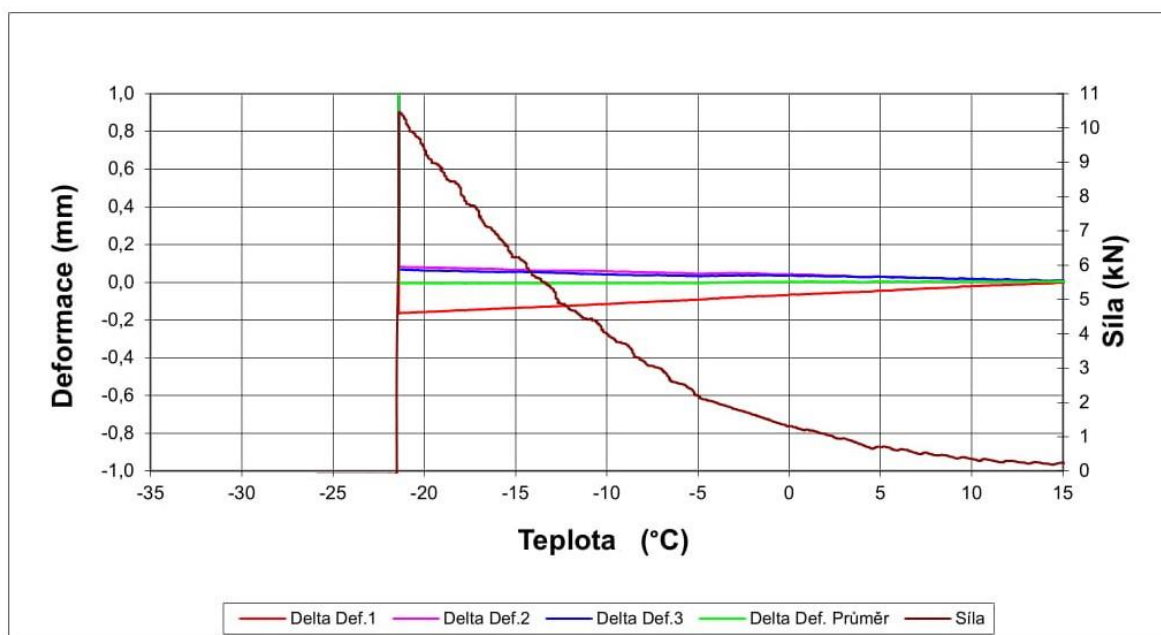
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 0% 02
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	23.11.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,15
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,06
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,9
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,9



Graf 22 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % 2 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 15% 01
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	29.10.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,46
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,18
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-24,7
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,4

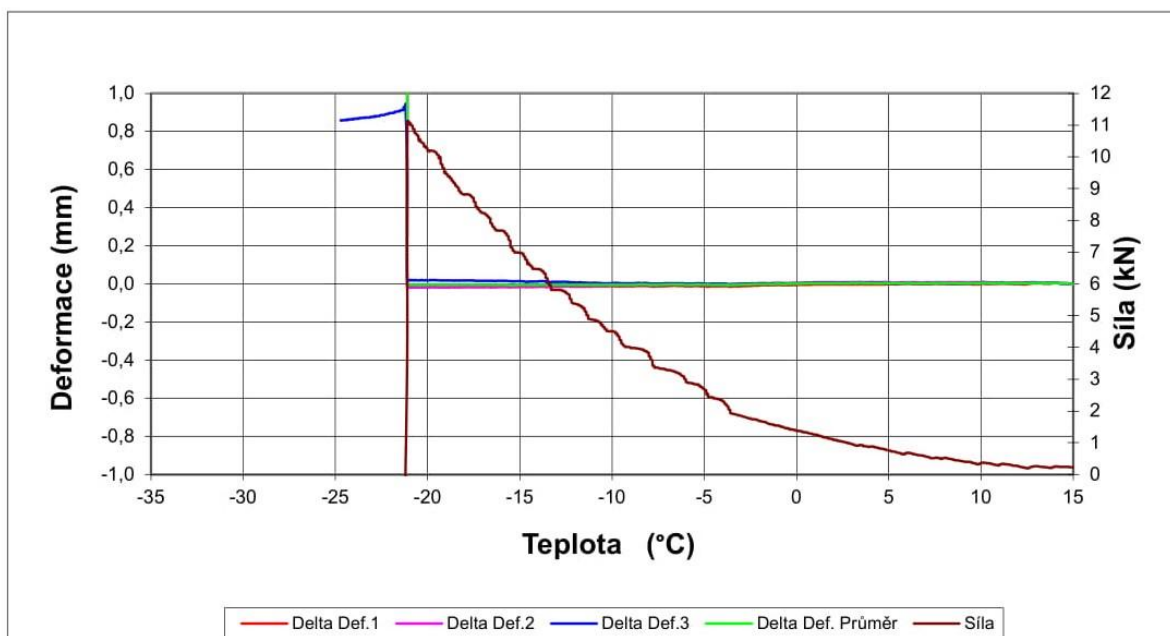


Graf 23 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % 1 vzorek



### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

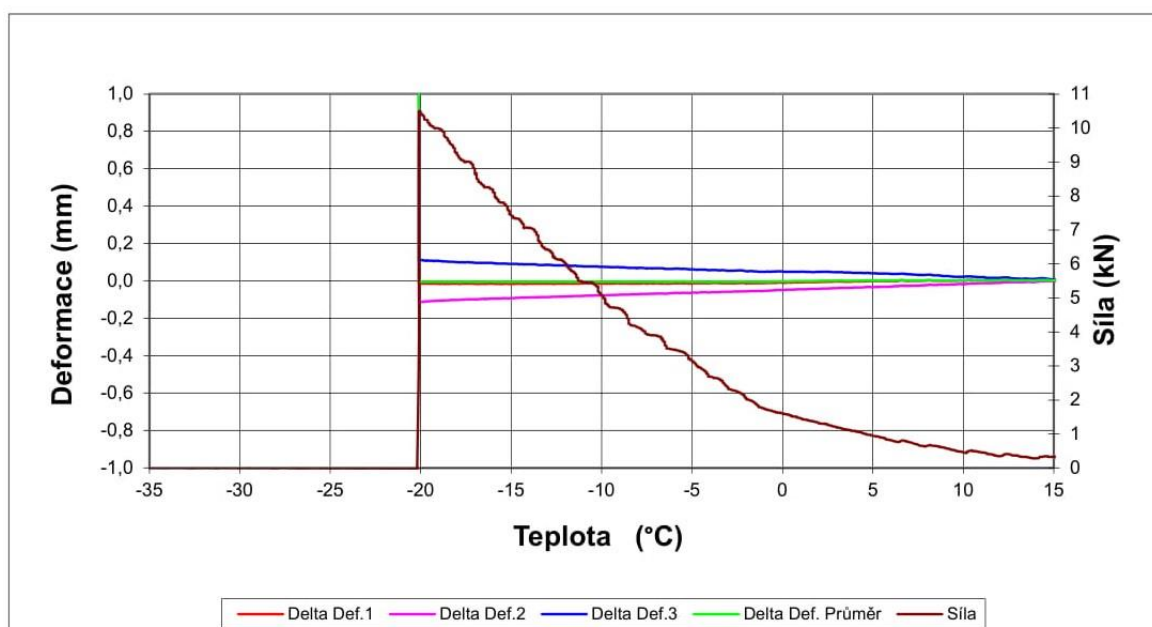
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 15% 02
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	18.11.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	11,12
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,45
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-24,3
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,1



Graf 24 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % 2 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

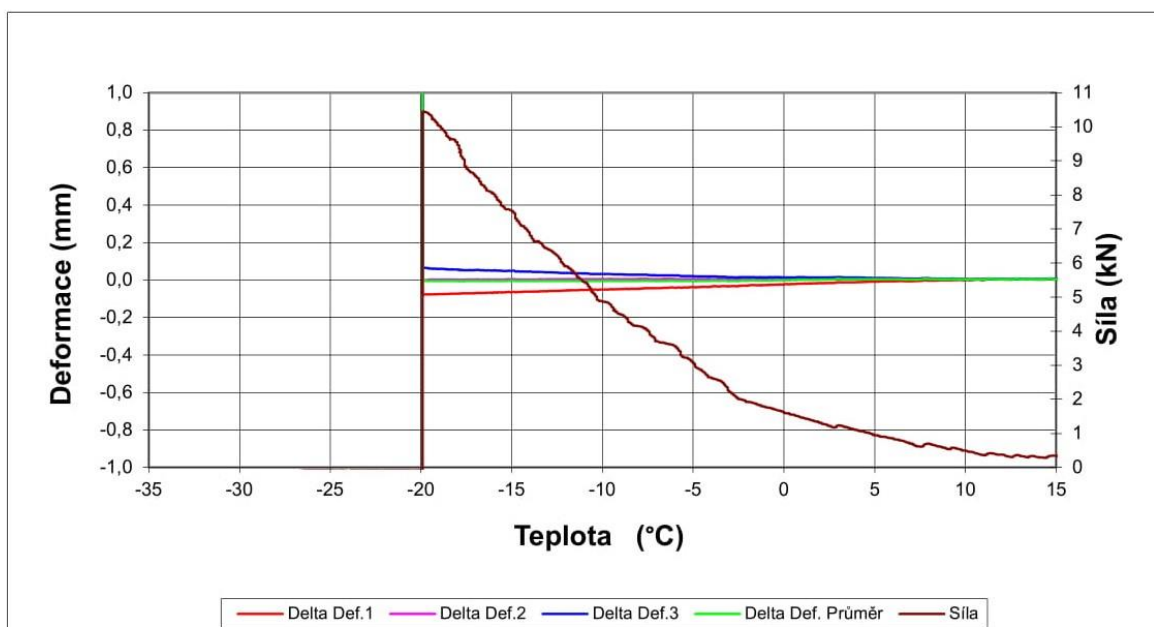
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 30% 01
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	28.10.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,50
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,20
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,1
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,1



Graf 25 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 1 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

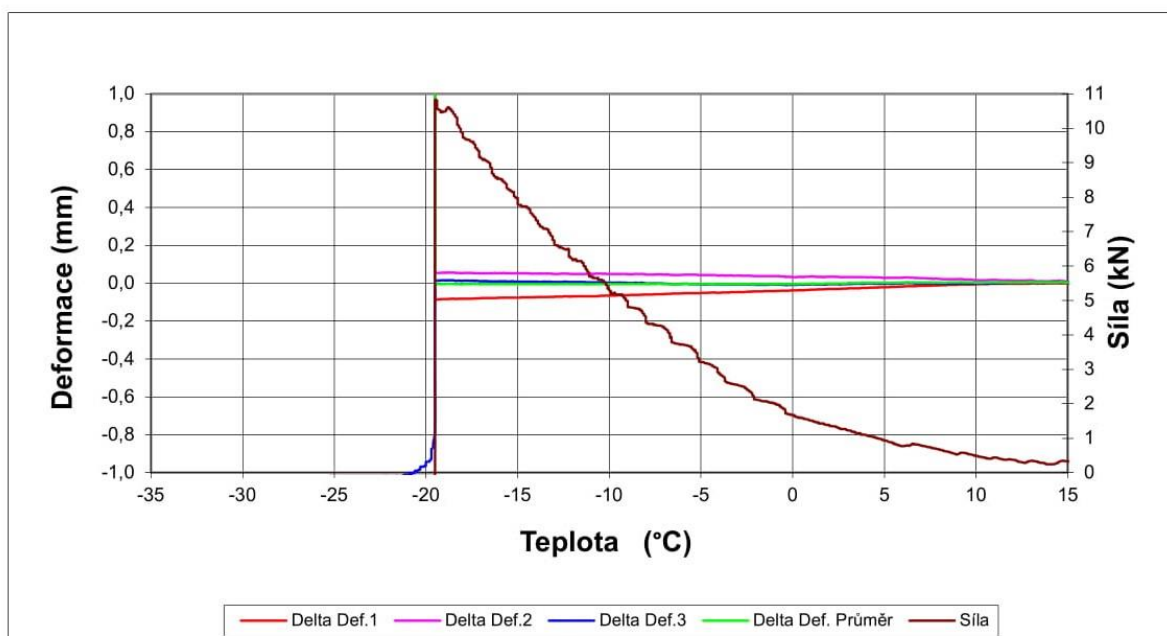
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 30% 02
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	19.11.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,44
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,18
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,7
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-19,8



Graf 26 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 2 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

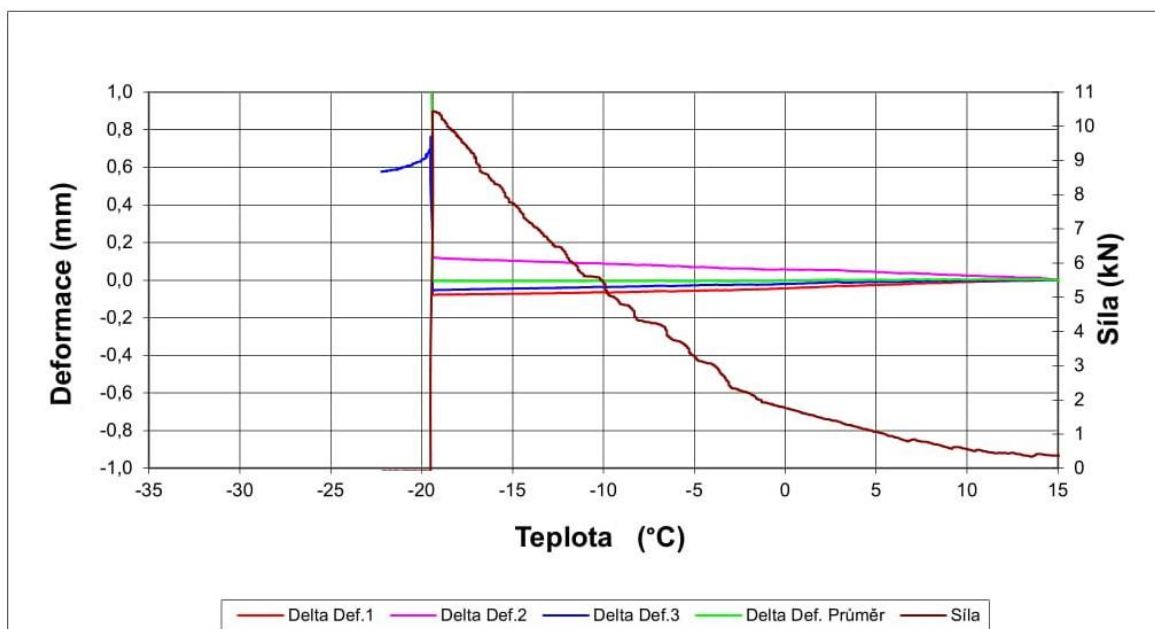
<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 50% 01
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	27.10.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,82
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,33
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-22,4
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-19,5



Graf 27 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % 1 vzorek

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

<b>Akce :</b>	DIPLOMOVÁ PRÁCE
<b>Asfaltová směs :</b>	HiMA 50% 02
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	13.11.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Christ Roman
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,44
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,17
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,6
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-19,4



Graf 28 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % 2 vzorek

Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

Asfaltová směs AC011+ s R-materiálem	Vzorek/průměr	Maximální síla při porušení vzorku [-KN]	Teplota vzorku při porušení [-C°]
Asfaltová směs AC011+ s R-materiálem 0 %	1 VZOREK	9,98	20,20
	2 VZOREK	10,15	20,90
	<b>Průměr hodnot</b>	<b>10,07</b>	<b>20,55</b>
Asfaltová směs AC011+ s R-materiálem 15 %	1 VZOREK	10,46	21,40
	2 VZOREK	11,12	21,10
	<b>Průměr hodnot</b>	<b>10,79</b>	<b>21,25</b>
Asfaltová směs AC011+ s R-materiálem 30 %	1 VZOREK	10,50	20,10
	2 VZOREK	10,44	19,80
	<b>Průměr hodnot</b>	<b>10,47</b>	<b>19,95</b>
Asfaltová směs AC011+ s R-materiálem 50 %	1 VZOREK	10,82	19,50
	2 VZOREK	10,44	19,40
	<b>Průměr hodnot</b>	<b>10,63</b>	<b>19,45</b>

Tabulka 31 Přehledná tabulka výsledných nízkoteplotních vlastností zkoušených trámečků z AC011+ s přidaným R-materiálem



Laboratoř Brant  
Lubná 125, 270 35 Petrovice

laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153  
(tel. 608 77 25 67, e-mail: radek.pazyna@fronek.cz)

Objednatel:	Froněk, spol. s r.o. Zátíší 2488, 269 01 Rakovník
-------------	---

# ACO 11 S PMB 45/80-65 asf. směs pro obrusné vrstvy

dle ČSN EN 13108 - 1 pro třídu dopravního zatížení I, II a S

ZKOUŠKA TYPU  
**F007/2018/BR**

DLE ČSN EN 13108-20 (ověření ve výrobě)



Froněk, spol. s r.o. Laboratoř Brant  
Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice  
laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153

31.01.2018  
Brant

Radek Pazyna  
vedoucí laboratoře

**POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT):** **ACO 11 S** **F007/2018/BR**

<b>VÝROBCE ASFALTOVÉ SMĚSI:</b>	Froněk, spol. s r.o. Zátiší 2488 269 01 Rakovník
---------------------------------	--

<b>OBALOVNA:</b>	Benninghoven TBA 160-240 UC Lubná 125 270 35 p. Petrovice
------------------	---

**ZKUŠEBNÍ POSTUPY A PŘEDPISY:**

ČSN EN 13 108-1	Asfaltové směsi - specifikace pro materiály - asfaltový beton
ČSN EN 13 108-20	Asfaltové směsi - specifikace pro materiály - zkoušky typu
ČSN EN 12 697-1	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - obsah rozpustného pojiva
ČSN EN 13 697-2	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - zrnitost
ČSN EN 13 697-5	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení maximální objemové hmotnosti
ČSN EN 13 697-6	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení objemové hmotnosti asf. zkušebního tělesa
ČSN EN 13 697-8	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
ČSN EN 13 697-12	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě
ČSN EN 13 697-22	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - zkouška pojezdání kolem
ČSN EN 13 697-30	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - příprava zkušebních těles rázovým zhuňovačem
ČSN EN 13 697-33	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - příprava zkušebních těles zhuňovačem desek
ČSN EN 1427	Asfalty a asfaltové pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička
ČSN EN 1426	Asfalty a asfaltové pojiva - Stanovení penetrace jehlou
ČSN 72 6121	Hutné asfaltové vrstvy
ČSN 72 6160	Zkoušení asfaltových směsí



**POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT): ACO 11 S F007/2018/BR**

**ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KAMENIVA:**

Kamenivo typ zkoušky		HDK 8/11 Sýkořice	HDK 4/8 Sýkořice	HDK 2/5 Sýkořice	DDK 0/2 Sýkořice	JMV velká hydraulice	R-mat
Zrnitost kameniva propad sitem v %	22,4						-
	16	100					
	11	87,4	100				
	8	13,5	92,7	100			
	5		39,9	90,5			
	4	0,9	12,7	40,0	100		
	2		1,3	13,0	94,0	100	
	1			1,4	54,1		
	0,5				32,4		
	0,25				21,1		
	0,125				14,5	88,5	
0,063	0,6	0,8	0,9	9,5	72,2		
Zrnitost DK (D <= 2) G <sub>2</sub> v %					54,1		
Zrnitost SK (D <= 5, D=0) G <sub>5</sub> v %							
Tolerance zrnitosti DK a SK (D <=8) G <sub>8</sub> v %					10,0		
Kvalita jemných částic MB v g bar./1kg D/2							
Zrnitost HK (D < 2) G <sub>2</sub> v %		87,4/13,5	92,7/12,7	90,5/13,0			
Tolerance zrnitosti G		25,0/15,0	25,0/15,0	25,0/15,0			
Tvarový index SI v %		18,0	19,0	19,0			
Odolnost proti drobení LA v %							
Delta kroužek kulička							
Obsah vody w v %							
Objemová hmotnost kameniva							

**DOPLŇUJÍCÍ VLASTNOSTI KAMENIVA DEKLAROVANÉ VÝROBCEM:**

Kamenivo typ zkoušky		HDK 8/11 Sýkořice	HDK 4/8 Sýkořice	HDK 2/5 Sýkořice	DDK 0/2 Sýkořice	JMV velká hydraulice	R-mat
Zrnitost DK (D <= 2) G <sub>2</sub> v %		G <sub>C</sub> 90/15	G <sub>C</sub> 90/15	G <sub>C</sub> 90/15	G <sub>F</sub> 85	-	-
Zrnitost SK (D <= 5, D=0) G <sub>5</sub> v %							
Kvalita jemných částic MB v g bar./1kg D/2					MB <sub>F</sub> 10		
Zrnitost HK (D < 2) G <sub>2</sub> v %		SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>			
Tvarový index SI v %		LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>			
Odolnost proti drobení LA v %		PSV <sub>90</sub>	PSV <sub>90</sub>	PSV <sub>90</sub>			
Ohleditelnost kameniva PSV							
Nasákavost WA <sub>0,4</sub> v %					WA <sub>0,4</sub> 2		
Trvanlivost MgSO <sub>4</sub> MS v % ztráty hmotnosti							
Odolnost proti zmrazování rozmr. F v % z.h.		F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>			
Min. obsah uhlíkaté CC v % hmotnosti							
Objemová hmotnost kameniva		2,883	2,889	2,891	2,912		


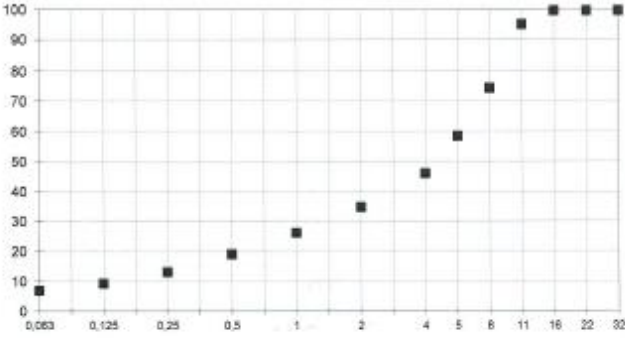


**R-materiál:**

Zrnitost	-
Obsah asfaltu v %	-
Bod měknutí	-

**Přísady:**

Název	Množství
-	-

Využití R-materiálu v asfaltových směsích s vysoce modifikovaným pojivem (HiMA)

 <b>Froněk</b> dopravní stavby		<b>Laboratoř BRANT</b> 270 35 Petrovice, Lubná 125 laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153			
<b>PROTOKOL O ZKOUŠCE ASFALTOVÉ SMĚSI</b>		<b>ACO 11 S</b> 45/80-65		číslo: <b>565</b>	
<b>OBJEDNATEL: Froněk spol. s r.o. Zátíší 2488, 269 01 Rakovník</b>					
DATUM ODBĚRU VZORKU	DATUM PŘEVZETÍ VZORKU	ZÁZNAM O ODBĚRU VZORKU	ANO	Jiné údaje ze záznamu o odběru vzorku	
12.12.2017	12.12.2017	ČAS ODBĚRU	7:30	Vzorek odebrán dle ČSN EN 12697-27 z nákladního auta	
VZOREK ODEBRAL	ODBĚR NA:	SPZ VOZIDLA	1SP 0207		
Bohuslava Pelcová	<b>OBALOVNĚ</b>	TEPLOTA PŘI ODBĚRU	175°C		
POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) č.: <b>OBALOVNĚ obalovna BRANT-Benninhoven 160</b> lab. číslo vz.: 565				stavba	<b>ITT</b>
				objekt	
Rázový zhuťovač s dřevěným blokem, EN 12697-30		Zrnitost vz. EN 12697-2	ITT číslo	Meze odchylek od ITT dle ČSN EN 13108-21, č.la.3.2	Vyhodnoc. odchylek
Obsah rozpust. pojiva B [%], EN 12697-1	<b>5,49</b>	SÍTO 32	<b>100,0</b>		
Obsah rozpust. pojiva Bvol [% obj.]	13,3	22	<b>100,0</b>		
Přidávané pojivo [%], ČSN 73 6121, C.7.1	5,64	16	<b>100,0</b>		
Teplota hutnění	<b>150°C</b>	11	<b>95,4</b>		
Počet rázů	2 x 75	8	<b>74,7</b>		
Metoda výroby směsi	ODBĚR	5	<b>58,9</b>		
OH zk. těles [Mg/m <sup>3</sup> ], EN 12697-6, met. B	2,472	4	<b>46,4</b>		
Max.OH [Mg/m <sup>3</sup> ], EN 12697-5, postup A (voda)	2,555	2	<b>35,1</b>		
Zkušební teplota vody pro Max.OH	25°C	1	<b>26,5</b>		
Mezerovitost Vm [%], EN 12697-8	<b>3,2</b>	0,5	<b>19,4</b>		
St. vyplnění mezer VFB [%], EN 12697-8	80,4	0,25	<b>13,4</b>		
Mezer. směsi kam. VMA [%], EN 12697-8	16,6	0,125	<b>9,6</b>		
		0,063	<b>7,2</b>		
		Razp. pojivo	<b>5,49</b>		
<b>ZRNITOST ZKOUŠENÉ SMĚSI - POROVNÁNÍ S POVOLENÝMI ODCHYLKAMI</b>					
Odoln. vůči vodě ITRR [%], EN 12697-12	<b>85</b>				
Poznámka: Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušeného vzorku. Protokol smí být reprodukován pouze jako celek, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.					
datum: převzal:		 <b>Froněk</b> Froněk, spol. s r.o., Laboratoř Brant Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153		 <b>Radek Pazyna</b> vedoucí laboratoře	
12.12.2017 zkoušku provedl: Bohuslava Pelcová 12.12.2017 protokol vyhotovil: Radek Pazyna		protokol schválil:			

**POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT): ACO 11 S F007/2018/BR**

Asfaltová směs typu ACO 11 S 45/80-65 dle ČSN EN 13108-1 a ČSN 13108-20, určená pro obrusné vrstvy vozovek třídy dopravního zatížení I, II a S. Stavební směs se klade v tloušťce 35 - 50 mm po ztuhnutí.

**SLOŽENÍ SMĚSI KAMENIVA**

Druh	Hmotnostní podíl	Lokalita
HDK 8/11	28 %	Sýkořice
HDK 4/8	18 %	Sýkořice
HDK 2/5	20 %	Sýkořice
DDK 0/2	32 %	Sýkořice
JMV	2 %	v.Hydčice
CELKEM:	100 %	

Hmotnost asfaltu:	5,49 %	PMB 45/80-65
-------------------	--------	--------------

**NAVROVÉ VÝSTUPNÍ SLOŽENÍ**

SÍTO	ITT složení směsi	ČSN EN 13108 - 1	
		min.	max.
32	100,0		
22	100,0		
16	100,0	100,0	100,0
11	95,4	90,0	100,0
8	74,7	68,0	80,0
5	58,9		
4	46,4	40,0	56,0
2	35,1	29,0	42,0
1	26,5		
0,5	19,4		
0,25	13,4		
0,125	9,6	6,0	13,0
0,063	7,2	5,0	10,0

**POUŽITÉ ASFALTOVÉ POJIVO:**

VÝROBCE	Colas	DRUH	COLFLEX PMB 45/80-65
		Penetrace při 25 °C [ $1 \times 10^{-1}$ mm]	54,0
		Bod měknutí K&K [°C]	75,9
		Duktilita při 25 °C [cm]	-
		Přilnavost asfaltu ke kamenivu	výborná

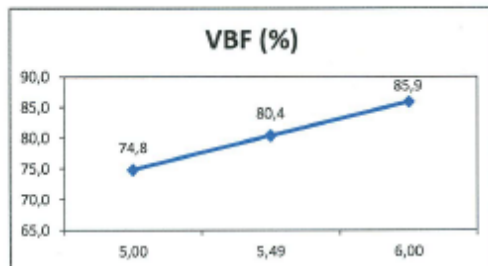
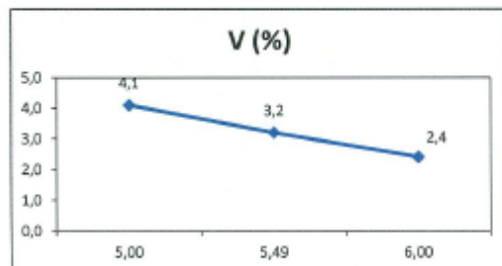
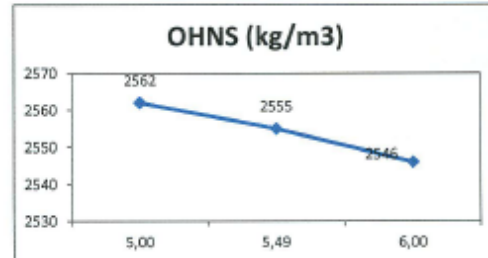
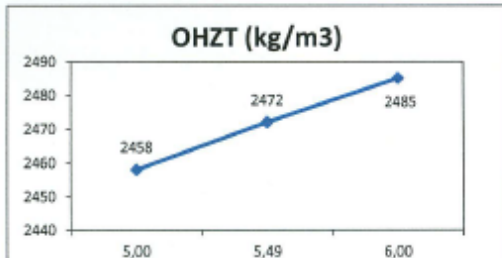
**PARAMETRY NAVROVANÉ ASFALTOVÉ SMĚSI: (ověření v laboratoři)**

B <sub>min</sub>	B <sub>vol</sub>	OHZT	OHNS	V	VMA	VBF	ITSR	PRD <sub>air</sub>	WTS <sub>air</sub>
(%)	(v % obj.)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm/10 <sup>3</sup> )
5,00	12,1	2458	2562	4,1	16,1	74,8	-	-	-
<b>5,49</b>	<b>13,3</b>	<b>2472</b>	<b>2555</b>	<b>3,2</b>	<b>16,6</b>	<b>80,4</b>	<b>85</b>	<b>3,4</b>	<b>0,042</b>
6,00	14,5	2485	2546	2,4	17,0	85,9	-	-	-
HODNOTY POŽADOVANÉ ČSN EN 13108-1									
min. 5,4(dop.)	min. 12,5	-	-	2,5-4,0	-	-	min. 80	5,0	0,07

<b>OPTIMÁLNÍ OBSAH POJIVA:</b>	<b>5,49%</b>
--------------------------------	--------------

**POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT): ACO 11 S F007/2018/BR**

**GRAFICKÉ VYJÁDŘENÍ PARAMETRŮ NAVRHOVANÉ ASFALTOVÉ SMĚSI**



**VYSVĚTLIVKY:**

<b>B<sub>min</sub></b>	(%)	obsah rozpustného pojiva
<b>B<sub>vol</sub></b>	(v % obj.)	obsah rozpustného pojiva
<b>OHZT</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi
<b>OHNS</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	maximální objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi
<b>V</b>	(%)	mezerovitost asfaltové směsi
<b>VMA</b>	(%)	stupeň mezerovitosti kameniva
<b>VBF</b>	(%)	stupeň vyplnění mezer
<b>ITSR</b>	(%)	poměr pevnosti v příčném tahu
<b>PRD<sub>air</sub></b>	(%)	poměrná hloubka koleje po 5000cyklech
<b>WTS<sub>air</sub></b>	(mm/10 <sup>3</sup> )	přírůstek hloubky koleje

## ACO 11 S PMB 45/80-65

asf. směs pro obrusné vrstvy  
asfalt COLFLEX PMB 45/80-65

ZKOUŠKA TYPU  
F007/2018/BR

VÝROBNÍ PŘEDPIS PRO OBALOVNU Benninghoven 160

číslo: F007/2018/BR

### PŘEDDÁVKOVÁNÍ

HDK 8/11	28%	Sýkořice
HDK 4/8	22%	Sýkořice
HDK 2/5	18%	Sýkořice
DDK 0/2	32%	Sýkořice

CELKEM: 100%

### FRAKCE - HORKÉ TRÍDĚNÍ

čistá frakce:	doporučené navážky z horkých násypků:	
11/16		kg
8/11	272,6	kg
5/8	154	kg
2/5	116	kg
0/2	331	kg
JMV	20	kg
Vrat. filer	50	kg
ASFALT	56,4	kg
<b>CELKEM:</b>		1000 kg

Tato asfaltová směs typu ACO 11 S PMB 45/80-65 dle ČSN EN 13108-1 a ČSN EN 13108-20 určena pro obrusné vrstvy vozovek třídy dopravního zatížení I, II a S.

Dávkování se kontroluje a koriguje na základě výsledků kontrolních zkoušek směsi.

#### Pracovní teploty (°C):

mezní teploty asfaltové směsi při výrobě **140 - 180**  
teplota směsi za rozdělovacím šnekem finišeru: **min. 140**

#### Povolené tolerance výrobního předpisu:

asfalt: **5,2 - 5,8 %**  
filer: vratný filer je možno dávkovat v množství max. 85 kg na záměs 1.000 kg

31.01.2018

Vypracoval:

Radek Pazyna



Protokol č. **018/2018**  
o zkoušce poježdění kolem - malé zkušební zařízení

Jméno a adresa zákazníka: Froněk, spol. s r.o.  
269 01 Rakovník, Zátíší 2488

Vzorek č.	565	Datum dodání:	12.12.2017
Dodavatel/obalovna:		obalovna Brant	
Stavba			
Druh směsi:	ACO 11 S	Datum výroby:	12.12.2017
Druh asfaltu:	COLFLEX PMB 45/80-65	Množství asfaltu ve směsi:	
Přísady (adheziva):	Wetfix		5,49%
Druh kameniva - frakce - lokalita:		Sýkořice	
Datum výroby těles:	29.01.2018		
Datum zkoušení těles:	31.01.2018	Stáří zkušebních těles:	2
Počet zkušebních těles ze zkoušené sady	2	Zkoušku provedl:	Radek Pazyna
Zkouška provedena podle:		ČSN EN 12697-22 postup B na vzduchu	

Poznámka:

Příprava zkušebních těles podle:	ČSN EN 12 697-33, čl. 5.3
Směs podruhé ohřívána:	ano
Způsob hutnění podle:	ČSN EN 12 697-33, čl. 7.3
Teplota hutnění:	150°C
Hmotnost zkušebního tělesa:	8,231 Kg
Rozměry formy L x l :	320x260 mm
Jmenovitá tloušťka zkušebního tělesa:	40 mm
Průměrná skutečná tloušťka zkušebního tělesa:	h1 40,2 mm h2 40,3 mm
Objemová hmotnost (stanovená podle ČSN EN 12697-6, postup D):	2458 Kg/m <sup>3</sup>

Tučně vtištěné hodnoty byly naměřeny nebo použity

Výsledky zkoušek

Nárůst hloubky vyjeté koleje WTSAir	mm	<b>0,042</b>
Poměrná hloubka vyjeté koleje PRD Air 5 000	%	<b>3,4</b>

Poznámka:

Výsledek zkoušky platí pouze pro zkoušený vzorek.

Prohlášení:

Protokol č.018/2018 smí být reprodukován pouze jako celek.

Protokol vyhotovil: Radek Pazyna  
Protokol schválil: Radek Pazyna



**Froněk**

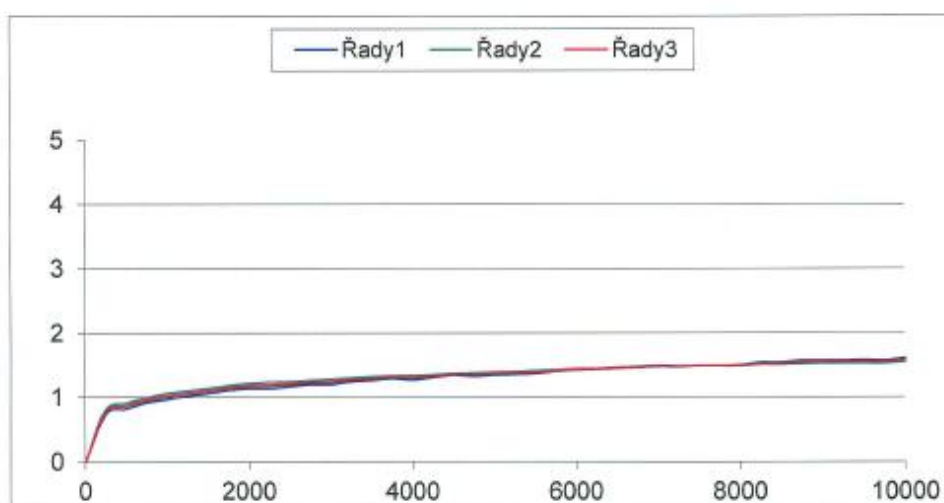
Froněk, spol. s r.o., Laboratoř Brant  
Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice  
laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153

podpis  
podpis

**Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím  
provedeno dle ČSN EN 12697-22**

**Zkouška opakovaného poježdění kolem**

objednavatel: <b>Froněk, spol. s r.o.</b>	druh směsi	<b>ACO 11 S</b>
výrobce <b>Froněk, spol. s r.o.</b>	druh pojiva	<b>COLFLEX PMB 45/80-65</b>
číslo objednávky: -	MZ vzorku č.1	<b>99,4 %</b>
datum výroby vzorku <b>29.01.18</b>	MZ vzorku č.2	<b>99,5 %</b>
datum zkoušky <b>31.01.18</b>	tloušťka desky 1	40,2 mm
teplota přípravy těles <b>150 °C</b>	tloušťka desky 2	40,3 mm
teplota zkoušky <b>50 °C</b>	průměrná tloušťka desek	40,25 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,35	1,61	0,26
2	1,39	1,55	0,16
<b>průměr</b>	<b>1,37</b>	<b>1,58</b>	<b>0,21</b>
přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,042 mm
PRD <sub>AIR</sub>			3,4 %

zkoušel:



## 8. Komentář

Modul tuhosti na zkoušených trapezoidech z asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem **při teplotě 15 °C** odpovídá představě a zcela logicky poukazuje na to, že se zvyšujícím obsahem R-materiálu se zvyšuje modul tuhosti. (viz. Str 63)

Modul tuhosti na zkoušených trapezoidech z asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem **při teplotě 0 °C** rovněž odpovídá představě, že při nižší teplotě je modul tuhosti sám o sobě vyšší a s přibývajícím množstvím R-materiálu hodnota o to víc roste. V přehledném grafu viz. Str. 64 si můžeme všimnout, že rozdíl modulu tuhosti mezi ACO11+ s obsahem R-materiálu 0 % a 15 % je značný, tedy zcela podle představ, nicméně rozdíl mezi ACO11+ s obsahem R-materiálu 15 %, 30 % a 50 % není až takový, jak bychom si představovali a je tedy pravděpodobné, že tato nepřesnost vznikla v důsledku nepřesného měření.

Nízkoteplotní vlastností při jednoosé zkoušce tahem (TSRST) jsou názorně zobrazeny v příloze diplomové práce, s tím, že na str. 78 je názorná tabulka se zapsanými hodnotami maximální síly při porušení [-KN] a teplotě vzorku při porušení [-°C]. Teoretická představa říká, že se zvyšujícím množstvím “tuhého” a “zestárlého” R-materiálu ve směsi je směs logicky tužší, ale má horší nízkoteplotní vlastnosti (kritická teplota vzniku trhliny se zvyšuje). Tabulka poukazuje na to, že u trámečků z ACO11+ s obsahem R-materiálu mezi 0 % a 15 % nastala nečekaná výjimka a teplota při porušení vzorku se snížila, tedy šla víc do záporných hodnot, to bude zapříčiněno zřejmě chybou měření. U dalších trámečků se se zvyšujícím obsahem R-materiálu hodnota teploty při porušení [- °C] zvyšuje a je to tedy zcela podle představ. Výsledky měření až na jeden vzorek odpovídají představě.

## 9. Seznam grafické a datové části

### Seznam obrázků

Obrázek 1 Recyklační vlak při technologii recyklace za studena na místě [3] .....	11
Obrázek 2 Recyklace na místě za horka (hot – in place recycling) [24] .....	13
Obrázek 3 Schéma šaržové obalovny [9] .....	14
Obrázek 4 Skladování R-materiálu, drcení a třídění, zastřešení R-materiálu [9] .....	15
Obrázek 5 Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu [9] .....	16
Obrázek 6 Metoda drum – mix dávkování do míchačky šaržové obalovny [9] .....	16
Obrázek 7 Ukázka silniční frézy při práci [25] .....	18
Obrázek 8 Ukázka malé silniční frézy [25] .....	18
Obrázek 9 Ukázka rotoru s připevněnými hroty [25] .....	19
Obrázek 10 Schéma frézování pásové frézy [25] .....	19
Obrázek 11 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové podkladní vrstvy, jednovrstvé kryty ve vztahu k pěti charakteristikám [12] .....	24
Obrázek 12 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy ve vztahu k pěti charakteristikám R-materiálu [12] .....	25
Obrázek 13 Asfalt visko – elastický materiál [13] .....	30
Obrázek 14 Objemové proporce asfaltu a polymeru v typickém polymerem modifikovaném asfaltu a vysoce modifikovaném asfaltu .....	32
Obrázek 15 Šíření trhlin asfaltovými vrstvami a) s modifikovaným asfaltem b) vysoce modifikovaným asfaltem [14] .....	33
Obrázek 16 Návrhové použití modifikovaných asfaltů HiMA v klasické stavbě povrchu vozovky [14] .....	35
Obrázek 17 Návrhové použití vysoce modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA v moderní stavbě povrchu vozovky typu perpetual (s dlouhou životností) [14] .....	35
Obrázek 18 Návrhové použití vysoce modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA v moderní stavbě povrchu vozovky s vrstvou Rich bottom Layer [14] .....	36
Obrázek 19 Penetrace [13] .....	39
Obrázek 20 Bod měknutí KK [13] .....	39
Obrázek 21 Bod lámavosti [13] .....	40
Obrázek 22 Vratná duktilita [13] .....	40
Obrázek 23 Jádrový vývrt asfaltového betonu [26] .....	41
Obrázek 24 Navážení požadované hmotnosti horké asfaltové směsi, následně znovu vrácena do laboratorní sušírny do doby získání minimální teploty pro zhutnění [20] .....	48
Obrázek 25 Ukázka segmentového zhutňovače [20] .....	49
Obrázek 26 Hotové zhutněné desky popsané procentuálním zastoupením R-materiálu a očíslováním desky [20] .....	50
Obrázek 27 Vážení suché zhutněné desky – suchého vzorku [20] .....	51
Obrázek 28 Vážení zhutněné desky ponořené ve vodě [20] .....	52
Obrázek 29 Řezání desky na trámečky a trapezoidy [20] .....	53
Obrázek 30 Trapezoidy – komolé klíny [20] .....	54
Obrázek 31 Trapezoidy – komolé klíny [21] .....	55
Obrázek 32 Ukázková fotka zkušebního tělesa pro měření modulu tuhosti [18] .....	56

Obrázek 33 Příklad zkušebního zařízení pro provádění zkoušek jednoosým tahem při nízkých teplotách [19] .....	57
Obrázek 34 Ukázka přípravy dvousložkového lepidla složeného z epoxidu, tvrdidla a vysušené vápencové moučky [20] .....	58
Obrázek 35 Ukázka lepení trámečků do ocelových podložek pomocí dvousložkového lepidla složeného z epoxidu, tvrdidla a vysušené vápencové moučky [20] .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Dopravní zatížení komunikací TP170 [11] .....	20
Tabulka 2 Možnosti přidání upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí [12] .....	21
Tabulka 3 Požadavky na zpětně získané pojivo z asfaltové směsi v případě použití silničního asfaltu podle ČSN EN 12591 [12] .....	28
Tabulka 4 Požadavky na zpětně získané pojivo z asfaltové směsi v případě použití polymerem modifikovaného asfaltu podle ČSN EN 14023 [12] .....	29
Tabulka 5 Průměrné vlastnosti modifikovaných asfaltů ORBITON HiMA vyrobených v letech 2015-2018 [14] .....	37
Tabulka 6 Technologické teploty na obalovně a na stavbě [14] .....	38
Tabulka 7 Obor zrnitosti pro směs ACO11+ a Fullera parabola [16] .....	41
Tabulka 8 Použité asfaltové pojivo .....	43
Tabulka 9 Počáteční zkouška typu (ITT) .....	43
Tabulka 10 Počáteční zkouška typu (ITT) .....	43
Tabulka 11 Zkouška opakovaného pojíždění kolem .....	46
Tabulka 12 Vypočtena míra zhutnění .....	51
Tabulka 13 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 15 °C .....	60
Tabulka 14 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15 °C .....	60
Tabulka 15 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15 °C .....	61
Tabulka 16 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15 °C .....	61
Tabulka 17 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C .....	62
Tabulka 18 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0 °C .....	62
Tabulka 19 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 0 °C .....	63
Tabulka 20 Průměrné hodnoty modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0 °C .....	63
Tabulka 21 Průměry modulu tuhosti asfaltových směsí ACO11+ s R-materiálem při teplotě 15 °C .....	64
Tabulka 22 Průměry modulu tuhosti asfaltových směsí ACO11+ s R-materiálem při teplotě 0 °C .....	64
Tabulka 23 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 15 °C .....	68

Tabulka 24 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15 °C.....	68
Tabulka 25 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15 °C.....	68
Tabulka 26 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15 °C.....	68
Tabulka 27 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C.....	69
Tabulka 28 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0 °C.....	69
Tabulka 29 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 0 °C.....	69
Tabulka 30 Průměry naměřených modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0 °C.....	69
Tabulka 31 Přehledná tabulka výsledných nízkoteplotních vlastností zkoušených trámečků z ACO11+ s přidaným R-materiálem.....	78

## Seznam grafů

Graf 1 Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi.....	44
Graf 2 Maximální objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi .....	44
Graf 3 Stupeň vyplnění mezer .....	45
Graf 4 Mezerovitost asfaltové směsi.....	45
Graf 5 Zkouška opakovaného poježdění kolem .....	46
Graf 6 Podstata zkoušky TSRST [21] .....	47
Graf 7 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0% při teplotě 15°C .....	60
Graf 8 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 15°C.....	60
Graf 9 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % při teplotě 15°C.....	61
Graf 10 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 15°C .....	61
Graf 11 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % při teplotě 0 °C.....	62
Graf 12 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % při teplotě 0°C.....	62
Graf 13 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 0 °C.....	63
Graf 14 Graf modulu tuhosti ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % při teplotě 0°C.....	63
Graf 15 Graf výsledných průměrů modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem při teplotě 15 °C.....	64
Graf 16 Graf výsledných průměrů modulu tuhosti asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem při teplotě 0 °C.....	64
Graf 17 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0% .....	65
Graf 18 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15% .....	65
Graf 19 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30% .....	66
Graf 20 Výsledek nízkoteplotních vlastností při jednoosé zkoušce tahem asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50% .....	66

Graf 21 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % 1 vzorek.....	70
Graf 22 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 0 % 2 vzorek.....	71
Graf 23 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % 1 vzorek .....	72
Graf 24 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 15 % 2 vzorek .....	73
Graf 25 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 1 vzorek .....	74
Graf 26 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 30 % 2 vzorek .....	75
Graf 27 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % 1 vzorek .....	76
Graf 28 Graf výsledku nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi ACO11+ s R-materiálem HiMA 50 % 2 vzorek .....	77

## 10. Literatura

- [1] [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_208.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_208.pdf)
- [2] [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_209.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_209.pdf)
- [3] Silnice a železnice, *Nové technologie v ČR a SR: recyklace asfaltových vozovek za studena na místě* [online] ©2008 [cit. 2015-4-17]. Dostupné na <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-technologie-v-cr-a-sr-recyklace-asfaltovych-vozovek-za-studena-na-miste/>
- [4] VARAUS, Michal: *Recyklace asfaltových směsí na obalovně*, Přednáška 2013
- [5] VARAUS, Michal: *Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích*, 2014
- [6] Diplomová práce Malá
- [7] Wirtgen ČR, *Výroba asfaltu*, [online] ©2015 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: <http://www.wirtgen.cz/cs/technologies/asphalt-production/>
- [8] Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu – Michal Varaus
- [9] <https://www.konference-projektovani.cz/rocnik-2013/prezentace/data/19-varaus.pdf>
- [10] VALENTIN, Jan, *Recyklace asfaltových vozovek*, Prezentace Katedry silničních staveb, ČVUT, FSv Praha 2012
- [11] [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_170\\_upraveny\\_dotisk.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_170_upraveny_dotisk.pdf)
- [12] Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí ČSN 73 6141
- [13] DR.ING.MICHAL VARAUS POZEMNÍ KOMUNIKACE II MODUL 3 ASFALTOVÁ POJIVA
- [14] [https://www.orlenasfalt.pl/PL/InformacjeTechniczne/PortalWiedzy/Documents/ORN\\_EN\\_Broszura\\_HIMA\\_CZ-0215.pdf](https://www.orlenasfalt.pl/PL/InformacjeTechniczne/PortalWiedzy/Documents/ORN_EN_Broszura_HIMA_CZ-0215.pdf)
- [15] ACO 11 S PMB 45/80-65 asf. směs pro obrusné vrstvy, ověření ve výrobě – objednatel Froněk
- [16] Téma asfaltové směsi – Dr. Ing. Michal Varaus
- [17] ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – zkušební metody pro Asfaltové směsi za horka – část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek
- [18] Diplomová práce Bc. Michal Pěňčík
- [19] ČSN EN 12697-46 11 2012
- [20] fotodokumentace Roman Christ
- [21] 1 návrh ČSN EN 12697-26
- [22] recyklace netuhých vozovek – doc. Ing. Dušan Stehlík Ph.D.
- [23] Habilitační práce – využití R-materiálu v asfaltových směsích – Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [24] [https://www.satroads.com/databases/internet/\\_public/content30.nsf/web30?OpenAgent&id=CZ-SATROADS.COMN\\_Recyklace\\_za\\_horka\\_CZ&men1=2&sid=230](https://www.satroads.com/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?OpenAgent&id=CZ-SATROADS.COMN_Recyklace_za_horka_CZ&men1=2&sid=230)
- [25] [www.freko.cz](http://www.freko.cz)
- [26] Diplomová práce Bc. Magdalena Pfeiferová
- [27] [http://tstsw.cz/stavebni\\_stroj/predmet-bw06-56/prednaska-9](http://tstsw.cz/stavebni_stroj/predmet-bw06-56/prednaska-9)