



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLASTNOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S
R-MATERIÁLEM

PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES WITH RAP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

LUKÁŠ TRNKA

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. ONDŘEJ DAŠEK, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lukáš Trnka
Název	Vlastnosti asfaltových směsí s R-materiálem
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky materiálů

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 12697

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108

Podklady z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Rešeršní část práce bude obsahovat popis možností oživení zestárlého asfaltového pojiva v R-materiálu. V praktické části budou pomocí vhodných laboratorních zkoušek hodnoceny vlastnosti asfaltové směsi s R-materiálem, vyrobené na obalovně, a bude sledována účinnost oživení pojiva. První varianta asfaltové směsi bude obsahovat neupravené (nezměkčené) asfaltové pojivo, druhá bude oživena pomocí oživovací přísady a třetí směs pomocí měkčího pojiva vyšší třídy.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vlastnostmi asfaltových směsí s R-materiálem. V teoretické části jsou uvedeny možnosti oživení pojiva obsaženého v R-materiálu. Je zde vysvětlen princip funkce rejuvenátorů, druhy rejuvenátorů a jejich způsoby dávkování do asfaltové směsi. Dále je zde popsán postup provádění zkoušek na asfaltové směsi: modul tuhosti asfaltové směsi (2PB-TR) a zkouška nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi (TSRST). V praktické části jsou vyhodnoceny jednotlivé zkoušky a porovnány jednotlivé asfaltové směsi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Asfaltová směs, R-materiál, rejuvenátor, asfaltové pojivo, modul tuhosti, nízkoteplotní vlastnosti.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the properties of asphalt mixtures with reclaimed asphalt. Possibilities of rejuvenate of binder contained in reclaimed asphalt are mentioned in the theoretical part. There is explained the principle of rejuvenators function, types of rejuvenators and ways of rejuvenators dosing into the asphalt mixture. The procedures for performing the stiffness modulus test (2PB-TR) and the low temperature (TSRST) test are described in the following part. Individual tests are evaluated and asphalt mixtures are compared in the practical part of bachelor thesis.

KEYWORDS

Asphalt mixture, reclaimed asphalt, rejuvenator, asphalt binder, stiffness modulus, low temperature properties.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP PODLE ČSN ISO 690

TRNKA, Lukáš *Vlastnosti asfaltových směsí s R-materiálem*. Brno, 2019. 54 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vlastnosti asfaltových směsí s R-materiálem* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

Lukáš Trnka

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vlastnosti asfaltových směsí s R-materiálem* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

Lukáš Trnka

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Daškovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, kterými mi pomohl vypracovat tuto bakalářskou práci. Dále bych poděkoval všem pracovníkům silniční laboratoře ústavu pozemních komunikací VUT v Brně, především panu Pavlovi Strakovi. Také bych rád poděkoval Brněnské obalovně s.r.o. za poskytnutí materiálu. Děkuji rodině za bezmeznou podporu a pomoc při studiu.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	REŠERŠE LITERATURY	10
2.1	R-MATERIÁL	10
2.2	CO JSOU TO REJUVENÁTORY	11
2.3	FUNKCE REJUVENÁTORŮ	11
2.4	DRUHY REJUVENÁTORŮ	12
2.5	NÁVRH A DÁVKOVÁNÍ REJUVENÁTORŮ	13
2.6	REGENERAČNÍ POSTŘIK	14
2.7	PŘIDÁNÍ MĚKČÍHO POJIVA	16
2.8	R-MATERIÁL PŘIDÁVANÝ NA OBALOVNĚ	16
2.8.1	DÁVKOVÁNÍ PŘÍMO DO MÍCHAČKY	16
2.8.2	PŘEDEHRÍVÁNÍ V PARALERNÍM BUBNU	16
2.8.3	METODA DRUM-MIX	17
3	CÍL PRÁCE	18
4	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ POSTUPY	19
4.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	19
4.1.1	OBJEMOVÁ HMOTNOST	19
4.1.2	ŘEZÁNÍ TĚLES	20
4.1.3	ROZMĚRY A HMOTNOST TĚLES	21
4.1.4	LEPENÍ TĚLES	22
4.2	MODUL TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI	23
4.3	NÍZKOTEPLTNÍ VLATSNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI	24
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	27
6	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	30
6.1	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	30
6.2	MODUL TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI	32
6.3	NÍZKO TEPLTNÍ VLATSNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI	35
6.4	ZÁVISLOSTI	39
7	ZÁVĚR	41

1 ÚVOD

V České republice je nejvíce rozšířená automobilová doprava, což může být způsobeno mimo jiné historií automobilové výroby na našem území anebo prostým faktem, že rádi řídíme. Silniční doprava je i celosvětově nejrozšířenější. Na našem území se nachází 1,2 tis. kilometrů dálnic a 5,8 tis. kilometrů silnic I. třídy, jak udává ŘSD. Se stále zvyšující se intenzitou dopravy roste zatížení na komunikace. S tím je spojená potřeba zvyšovat hustotu komunikační sítě a její udržování či rekonstrukce. Jedním ze způsobů, jak v tomto případě efektivně, ekonomicky a ekologicky postupovat, je využití R-materiálu. Recyklované materiály se do nové konstrukce vozovky v dnešní době běžně využívají. Tento způsob má hned několik výhod. Cena ropy se stále dlouhodobě zvyšuje, proto je celkem logickým krokem přistoupit k řešení problematiky dopravního stavitelství skrze R-materiál. Cena, která v drtivé většině rozhoduje o zakázce, s použitím R-materiálu může značně klesnout. Využití R-materiálu má také kladný vliv na životní prostředí, na které se v dnešní době hodně dbá. Při použití směsi s R-materiálem je nutno počítat s rozdílnými vlastnostmi, a tedy i riziky během výroby. Zvláštní pozornost je třeba dát na tuhost, která se s množstvím přidaného R-materiálu výrazně zvyšuje, to je způsobeno přítomností zestárlého pojiva. Dále se směs stává méně odolná proti únavovému a termálnímu namáhání. Proto je nutné vliv zestárlého pojiva obsaženého v R-materiálu kompenzovat například pomocí speciálních oživovacích přísad (rejuvenátorů).

2 REŠERŠE LITERATURY

2.1 R-MATERIÁL

R-materiál definován dle normy ČSN EN 13108-8 je materiál znovuzískaný odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Za R-materiál se může definovat pouze materiál, který obsahuje minimálně 95 % původního asfaltového materiálu. Zbýlých 5 % tvoří ostatní recyklované materiály. Ve srovnání se západoevropskými zeměmi se u nás R-materiál využívá o poznání méně, možnosti využití R-materiálu v jednotlivých vrstvách je znázorněno v tabulce č. 1. Může to být způsobeno tím, že v současnosti neexistuje potřebná legislativa. Dalším důvodem může být nedůvěra investorů v tento způsob výstavby. [1] [2]

Tab. 1 – Možnost využití R-materiálu v jednotlivých vrstvách [3]

Možnost využití R-materiálu v jednotlivých vrstvách					
Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál [%]	Druh směsi	R-materiál [%]	Druh směsi	R-materiál [%]
ACO 8	25 → 35	ACL 16 S	30 → 40	ACP 16 S	50 → 60
ACO 8 CH	25 → 35	ACL 16 +	30 → 50	ACP 16 +	60 → 70
ACO 11 +	0 → 30	ACL 16	40 → 50	ACP 22S	50 → 60
ACO 11	25 → 35	ACL 22 S	30 → 40	ACP 22+	60 → 70
ACO 16 +	0 → 30	ACL 22 +	30 → 50		

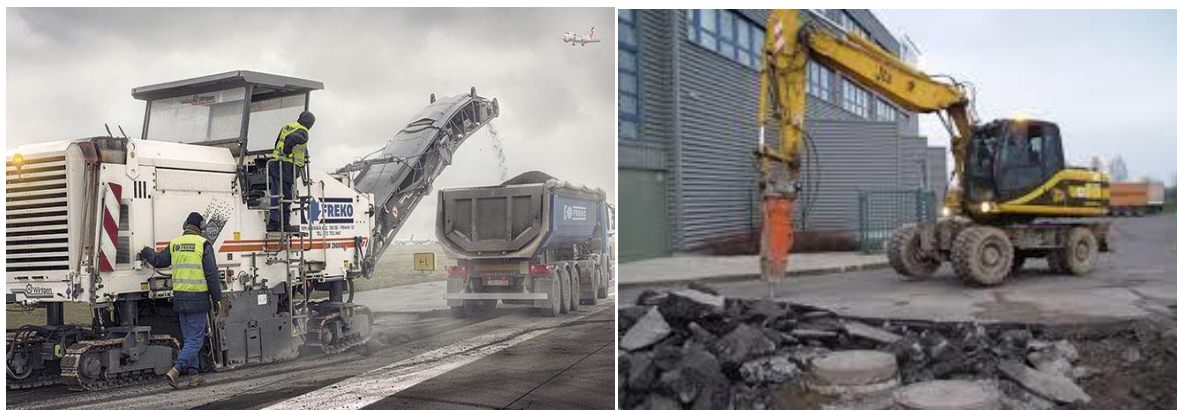
Získat potřebný materiál z vozovky, která již neplní dostatečně svojí funkci (veliké deformace, bezpečnost, poruchy atd.), lze dvěma způsoby, které jsou zobrazeny na obrázku č. 1. Jedním způsobem je frézování asfaltových vrstev. Problémem je, že každá vrstva má odlišné vlastnosti, proto je vhodné provádět frézování po patřičných vrstvách. Druhy fréz rozlišujeme podle tloušťky a šířky, kterou příslušná fréza dokáže zpracovat. [4]

Druhy fréz:

- malé – šířka frézovacího válce do 500 mm, záběrová hloubka <100 mm,
- střední – šířka frézovacího válce 500–1000 mm, záběrová hloubka do 180 mm,
- velké – šířka frézovacího válce nad 1000 mm, záběrová hloubka do 350 mm,
- speciální – šířka frézovacího válce do 350 mm, záběrová hloubka je až 1000 mm. Využívají se pro sanační práce na odfrézování poškozených krytových vrstev v blízkosti kanalizačních poklopů, uličních vpustí, rigolů apod. [5]

Druhým způsobem, jak získat R-materiál, je vybourání staré vozovky, případně jednotlivých vrstev. K bourání se většinou používá rypadlo s nástavcem bouracího kladiva. Získaný materiál se následně podrtí

a roztřídí. V jednom záběru je možné vybourat vrstvy stmelené asfaltovým pojivem a v dalším záběru vrstvy zbývající. Takto získané vybourání se nazývá separované a umožňuje opětovné zabudování asfaltem stmelených vrstev v asfaltových směsích. Dále je možné získat R-materiál z neshodné výroby asfaltové směsi na obalovně asfaltových směsí. [4]



Obr. 1 – Frézování a vybourávání původní asfaltové vozovky. [6] [7]

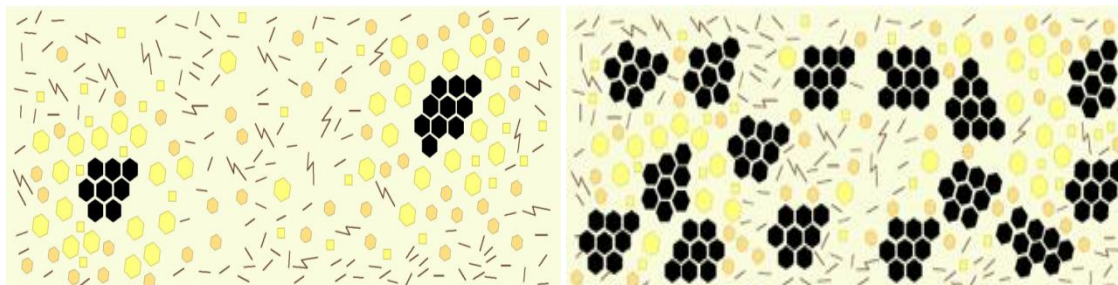
2.2 CO JSOU TO REJUVENÁTORY

Rejuvenace (českým názvem omlazení) je proces sloužící k oživení zestárých asfaltových pojiv v R-materiálu. Běžně se používají materiály typu fluxačního oleje na minerální nebo rostlinné bázi. Oleje následně v zestárlém pojivu navrací rovnováhu mezi asfaltem a malteny. Výsledkem je to, že dochází k rejuvenaci zoxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Ve složení rejuvenátoru by měl být velký podíl aromatických látek, které jsou důležité pro rozptýlení asfaltenů, a naopak by měl být nízký podíl nasycených mastných kyselin, které jsou neslučitelné s asfaltem. Důležitý je také podíl maltenů, díky kterým se zlepší poměr mezi asfaltem a malteny v zestárlém asfaltovém pojivu. [8] [9]

2.3 FUNKCE REJUVENÁTORŮ

U asfaltového pojiva během své životnosti se výrazně mění vlastnosti, tvrdost a tuhost nabývají ke konci životnosti značných hodnot, naopak výrazně klesá plasticita, elasticita a směs je křehčí. Pokud chceme R-materiál využít do nové směsi nejen jako výplň, musíme starému asfaltovému pojivu nejprve navrátit původní vlastnosti. Proto do směsi přidáváme rejuvenátory neboli oživovače. Do směsi je možné společně s rejuvenátory přidat i změkčující přísady typu asfaltový fluxační olej, mazadla a olejové suspenze. Tyto přísady snižují viskozitu zestárlého pojiva, kdežto rejuvenátory obnovují fyzikální i chemické vlastnosti. Na obrázku č. 4 je zřejmý rozdíl mezi účinkem fluxačních přísad a účinkem

rejuvenátoru. Vlevo je vidět, že po přidání fluxačních olejů nedojde k rozptýlení shluků asfalténů v asfaltovém pojivu, ale dojde pouze k zředění malténové fáze a tím ke snížení viskozity pojiva. Naopak vpravo je patrná struktura pojiva po úspěšném oživení (rejuvenaci), kdy je proces shlukování asfalténů úspěšně přerušen. [13] [15] [16]



Obr. 2 – Rozdíl mezi použitím změkčující přísady (vlevo) a rejuvenátoru (vpravo) [9]

Absorpce oživovače do zestárlého pojiva je složena z těchto kroků:

- Rejuvenátor obalí asfaltem obalené kamenivo velmi nízkou viskózní vrstvou.
- Rejuvenátor začne pronikat do vrstvy zestárlého pojiva, na povrchu kameniva ubývá, pojivo se změkčuje.
- Když je všechen rejuvenátor využit, pronikání rejuvenátoru stále pokračuje. Snižuje se viskozita vnitřní vrstvy a postupně se zvyšuje viskozita vnější vrstvy.
- Po určitém čase dojde k rovnováze po celé ploše asfaltového filmu. [16]

2.4 DRUHY REJUVENÁTORŮ

V dnešní době je na trhu mnoho druhů rejuvenátorů. Podle původu rozlišujeme rejuvenátory na parafinické oleje, aromatické extrakty, naftenové oleje, triacylglyceroly a mastné kyseliny a tálové oleje. Jednotlivé druhy rejuvenátorů jsou uvedeny v tabulce č.2. [13]

Tab. 2 – Druhy rejuvenátorů [16]

Kategorie	Typ	Popis
Parafinické oleje	Odpadní motorový olej (WEO - Waste Engine Oil)	Rafinované mazací oleje
	Kaly z odpadního motorového oleje (WEOB - Waste Engine Oil Bottoms) Valero VP 165®	
	Storbit®	
Aromatické extrakty	Hydrolene®	Rafinované ropné produkty se složkami polárních aromatických olejů
	Reclamite®	
	Cyclogen L®	
	ValAro 130A®	
Naftenové oleje	SonneWarmix RJ™	Uhlovodíky upravené pro modifikaci asfaltu
	Ergon HyPrene®	
Triacylglyceroly a mastné kyseliny	Odpadní rostlinný olej	Odvozené z rostlinných olejů
	Odpadní rostlinná maziva	
	Hnědá maziva	
	Kyselina olejová	
Tálové oleje	Sylvaroad™ RP1000	Vedlejší produkty papírenského průmyslu stejného chemického složení jako tekuté stékačové přísady a emulgátory
	Hydrogreen®	

2.5 NÁVRH A DÁVKOVÁNÍ REJUVENÁTORŮ

Pokud se rozhodneme pro výrobu asfaltové směsi s R-materiálem s využitím rejuvenátoru, je velice důležité určit optimální množství přidaného rejuvenátoru, tak abychom získali co nejlepší vlastnosti směsi, tedy co nejlépe oživilo pojivo v přidaném R-materiálu. Při špatném návrhu může dojít k negativním vlastnostem. Při zbytečně velkém množství přidaného rejuvenátoru se v první řadě výrazně prodraží celkové náklady na směs, ale může dojít k situaci, kdy rejuvenátor příliš změkčí pojivo a může tím snížit odolnost proti trvalým deformacím. Naopak při malém množství rejuvenátoru nedojde k požadovanému oživení zestárlého pojiva v R-materiálu a směs může vykazovat vysokou tuhost, křehkost a náchylnost na vznik trhlin. [15]

Při návrhu je nutné brát ohled na několik faktorů, jakými jsou procentuální zastoupení R-materiálu ve výsledné směsi, míře zestárnutí pojiva v daném R-materiálu, způsobu výroby nové směsi, druhu a množství přidaného rejuvenátoru a na požadovaných výsledných vlastnostech na celé směsi. Optimální dávkování rejuvenátoru je udáváno výrobcem. Nedá se ovšem použít pro všechny druhy směsí. Je několik způsobů, jak určit množství přidaného rejuvenátoru. Jeden ze způsobů, který se používá v USA, lze jednoduše popsat jako penetrační třída. Zjistíme hodnoty penetrace zestárlého asfaltového pojiva a podle toho navrhujeme optimální množství rejuvenátoru. Dalším způsobem je možnost využití výsledků zkoušek viskozity, penetrace jehlou nebo bodu měknutí a od nich odvozené návrhové grafy. Dále můžeme využít metodu, pomocí které zatřídíme asfaltové pojivo do užitečných tříd PG. Toto zatřídění vyhodnocuje změny ve výkonnosti stupně zestárlého pojiva v důsledku přidání rejuvenátoru. Následně se určí optimální množství rejuvenátoru potřebného k obnovení výkonnostních vlastností zestárlého pojiva. [15]

Výrobci udávají dva způsoby, jak přidávat rejuvenátor. Jeden způsob je, že rejuvenátor by měl být do směsi přidán jako náhrada zestárlého pojiva, tedy zestárlé pojivo by mělo být ze směsi vyjmuto a ve stejném množství by měl být přidán rejuvenátor. Druhý způsob je ten, že zestárlé pojivo není nijak upravováno a přidaný rejuvenátor slouží jen jako doplněk směsi. [15]

2.6 REGENERAČNÍ POSTŘIK

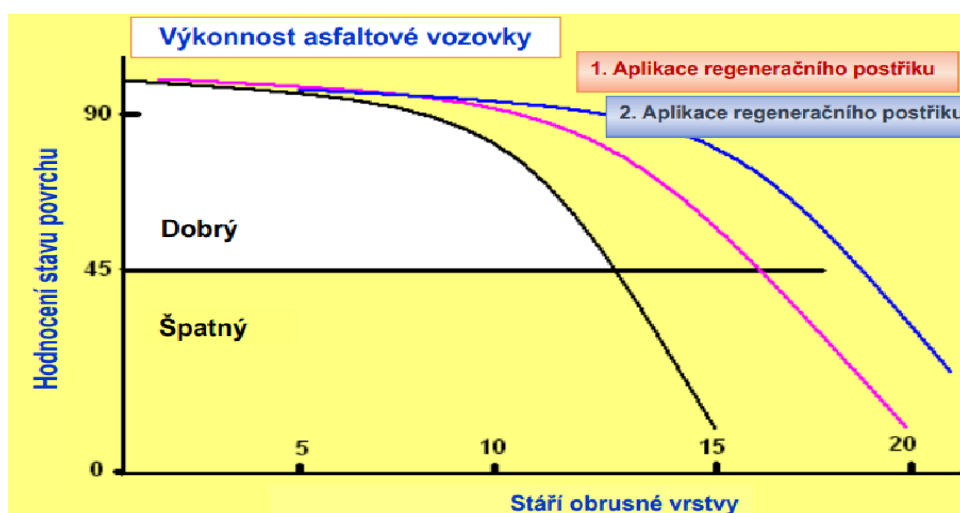
Pokud se nám na asfaltové vozovce vytvoří velké množství trhlin, můžeme pro jejich vyplnění a celkové uzavření povrchu vozovky použít asfaltovou emulzi. Na povrchu se vytvoří tenká asfaltová vrstva, která zabrání vnikání vody trhlinami do krytu vozovky. Zejména v zimním období může tato vrstva výrazně prodloužit životnost komunikace, zamezí se tím trvalým deformacím a vzniku nových trhlin. Oproti rejuvenátorům je tedy rozdíl v tom, že regenerační postřik se používá jako postřik na povrch zestárlé vozovky ve formě emulze. [10]

Provedení postřiku musí zhotovitel vytvořit podle ČSN 73 6129 a musí s tím seznámit objednavatele, který s tím musí souhlasit. Proces zhotovení postřiku asfaltové vozovky se skládá z těchto bodů:

- Rozstřikovač pojiva
- Podrtovač/sypač inertního materiálu
- Pojízdná souprava pro kladení nátěru
- Hutnící mechanizmy
- Čistící zařízení [10]

Regenerační postřik se používá, pokud potřebujeme opravit povrch asfaltové komunikace. Prakticky se dá říct, že ho omladíme, k tomu slouží rejuvenační složky v regeneračním postřiku. Základní výhodou užití regeneračního postřiku je zvýšení viskoelastických vlastností asfaltového pojiva v horní části obrusné vrstvy, což prodlužuje její životnost. Dochází k těsnění povrchu vozovky proti pronikání vzduchu

a vody, čímž se zpomaluje oxidace asfaltového pojiva, obnažování a uvolňování zrn kameniva a hloubkově se ochrání konstrukce vozovky. Zvyšuje se trvanlivost asfaltové směsi obrusné vrstvy zlepšením rovnováhy chemického složení asfaltového pojiva. Regenerační postřik se běžně na vozovku aplikuje ve stáří obrusných vrstev okolo 2 až 3 let. Tímto opatřením jsme schopni prodloužit životnost komunikace minimálně o 2 roky, pokud použijeme klasické kationaktivní asfaltové emulze. Pokud tyto emulze speciálně upravíme, můžeme životnost prodloužit až o 4 roky. Na obrázku č. 2 je vidět prodloužení životnosti vozovky po aplikaci regeneračního postřiku. [10]



Obr. 3 – Vliv regeneračního postřiku na životnost asfaltové vozovky [10]

Příkladem regeneračního postřiku je materiál známý pod obchodní značkou Reclamite. Je to čistě malténová emulze, která neobsahuje žádné asfaltény. Díky tomu navrácí pružnost asfaltové vozovce. Je to tedy postřik, který omlazuje a ochraňuje povrch vozovky. Z pohledu nákladu je až o polovinu levnější než celková rekonstrukce vozovky. Tento regenerační postřik se ředí většinou s vodou (v poměru jeden až dva díly postřiku k jednomu dílu vody). Množství se liší podle absorpce povrchu a způsobu nanášení. Reclamite trhlinami proniká do vozovky, tato hloubka je závislá na množství použitého postřiku a na míře poškození. Tento proces se obvykle opakuje po pěti letech. V případě špatných protismykových vlastností se může na povrch postřiku nanést malá vrstva písku. Ukázka aplikace oživovacího postřiku je na obrázku č. 3. [11] [12] [13]



Obr. 4 – Aplikace regeneračního postřiku [14]

2.7 PŘIDÁNÍ MĚKČÍHO POJIVA

Dalším ze způsobů, jak kompenzovat vlastnosti zestárlého pojiva obsaženého v R-materiálu, je přidání asfaltového pojiva vyšší třídy (měkčí pojivo). V tomto případě se používá norma ČSN EN 13108-1. Toto pojivo by mělo nahradit použití rejuvenátoru u směsi s asfaltovým pojivem nižší třídy. Výsledné vlastnosti pojiva jsou součtem vlastností tohoto přidaného pojiva a pojiva z R-materiálu.

2.8 R-MATERIÁL PŘIDÁVANÝ NA OBALOVNĚ

Existuje několik způsobů, jak přidat R-materiál do asfaltové směsi. R-materiál se může znovu využívat přímo na stavbě nebo je odvážen na obalovny. Jak na místě, tak v obalovně se může zpracovat za studena nebo za tepla. [20]

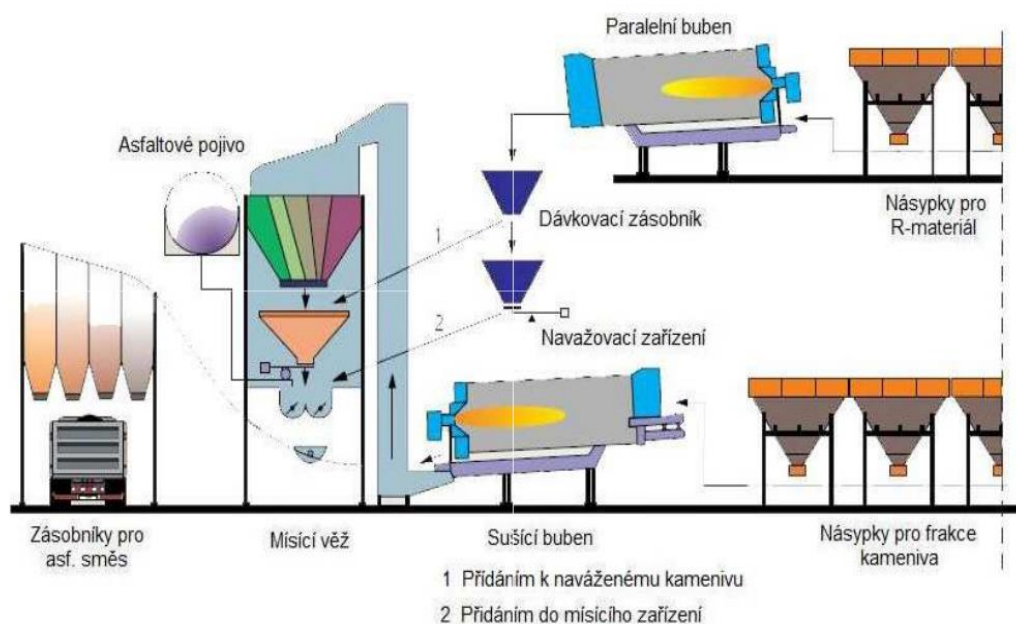
2.8.1 DÁVKOVÁNÍ PŘÍMO DO MÍCHAČKY

Dávkování R-materiálu přímo do míchačky je prováděno na obalovnách, které nemají paralelní buben. Z toho důvodu je nutné, aby bylo kamenivo předeříváno na vyšší teplotu a následně dosáhlo požadované míchací teploty. Maximální množství přidaného R-materiálu se doporučuje okolo 25 %. Při vyšším množství R-materiálu se doporučuje výpočet gradace. Většinou jsou sklady nezastřešené a tím vzniká potíže s vlhkostí materiálu. [20]

2.8.2 PŘEDEHŘÍVÁNÍ V PARALERNÍM BUBNU

R-materiál je nejdříve předeříván v paralelním bubnu a až potom je přidáván do směsi. Množství přidaného R-materiálu se tímto způsobem může pohybovat až okolo 80 %. Pracovní postup s paralelním

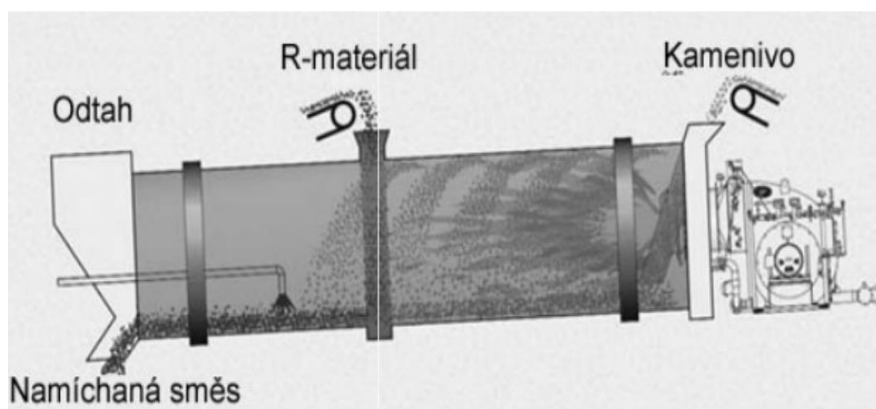
bubnem je možno vidět na obrázku č.5. [20]



Obr. 5 – Šaržová obalovna s paralelním bubnem [20]

2.8.3 METODA DRUM-MIX

Tato metoda se používá nejčastěji na kontinuálních obalovnách. V České republice není příliš rozšířená. V USA je tento způsob velice rozšířen, tvoří až 80 % směsí. Metoda Drum-mix je výhodná pro velké stavby s jednotnou recepturou. Je nutné provádět zkoušky kvality výstupního materiálu. Způsob přidávání R-materiálu u této metody je znázorněn na obrázku č. 6. [20]



Obr. 6 – Přidání R-materiálu v metodě Drum-mix[20]

3 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce je zjištění vlivu oživení asfaltových směsí s R-materiálem na jejich výsledné vlastnosti. K tomu byla využita asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu vyrobená na obalovně ve třech variantách:

1. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 50/70 (neupravené asfaltové pojivo),
2. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 100/150 (měkkší pojivo vyšší třídy),
3. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 50/70 a rejuvenátorem.

Cílem rešeršní části bylo popsat způsoby oživení asfaltového pojiva v R-materiálu. Dále pak vysvětlit základní pojmy spojené s bakalářskou prací, jako je rejuvenátor, R-materiál, a s ním spojený způsob získávání R-materiálu a popsat zkoušky a postupy, kterými se budu zabývat v praktické části bakalářské práce.

V praktické části bylo popsáno laboratorní zkoušení asfaltové směsi ACP 16+ se 40 % R-materiálu vyrobené na obalovně a následné porovnání vlastností. Vlastnosti jednotlivých variant asfaltové směsi ACP 16+ se 40 % R-materiálu byly hodnoceny pomocí následujících zkoušek:

1. tuhost podle ČSN EN 12697-26 dvoubodovou zkouškou ohybem na komolých klínech,
2. nízkoteplotní vlastnosti jednoosou zkouškou v tahu s rovnoměrným řízeným poklesem teploty (TSRST) podle ČSN EN 12697-46.

4 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ POSTUPY

Pro zjištění vlastností asfaltové směsi ACP 16+ s 40 % R-materiálu byly použity dvě zkoušky. První zkouškou je zkouška modulu tuhosti asfaltové směsi, která byla provedena dle normy ČSN EN 12697-26. Zkouška byla provedena jako dvoubodová zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu 2PB-TR. Druhou zkouškou byla zkouška nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi, která byla provedena dle normy ČSN EN 12697-46. Zkouška byla provedená jako jednoosá zkouška v tahu s rovnoměrným řízeným poklesem teploty TSRST.

4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Příprava zkušebních těles byla provedena v laboratořích Ústavu pozemních komunikací Fakulty stavební VUT v Brně. Zkoušky byly provedeny na tělesech vyrobených z asfaltových desek, které byly poskytnuty Brněnskou obalovnou s.r.o. Na všech zkušebních deskách byla zjištěna objemová hmotnost. Podle objemové hmotnosti byly vybrány desky, ze kterých se vytvořila zkušební tělesa ve formě hranolků a komolých klínů. Na jednotlivých zkušebních tělesech byly provedeny zkoušky modulu tuhosti asfaltových směsí a nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí.

4.1.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Zjištění objemové hmotnosti zkušebních desek bylo provedeno podle ČSN EN 12697-6+A1. Způsob zkoušky byl zvolen SSD – nasycený suchý povrch. U každé z desek byl postup totožný. Nejprve se zvážíla suchá zkušební deska (m_1). Následně se deska vložila do nádoby s vodou, u které byla známa její teplota, a podle tabulky (příloha č. 1) byla zjištěna hustota vody. Aby došlo k dostatečnému nasycení desky, je velmi důležité, aby byla deska celá ponořená ve vodě a to nejméně 30 minut. Hmotnost desky ponořené a nasycené vodou (m_2) byla zjištěna pomocí zavěšeného košíku na laboratorní váze. Následně byla deska vyjmuta z vody. Deska byla povrchově sušena, tak aby z ní nekapala voda, a byla změřena hmotnost nasycené desky (m_3). Podle vzorce z normy byla stanovena objemová hmotnost každé desky. Zkušební deska je zobrazena na obrázku č. 7. [17]

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

kde	ρ_{bssd}	objemová hmotnost SSD, v kg/m ³
	m_1	hmotnost suchého vzorku, v g
	m_2	hmotnost ponořeného vzorku, v g
	m_3	hmotnost vzorku nasyceného a povrchově osušeného, v g
	ρ_w	hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností na 0,1 kg/m ³



Obr. 7 – Zkušební deska

4.1.2 ŘEZÁNÍ TĚLES

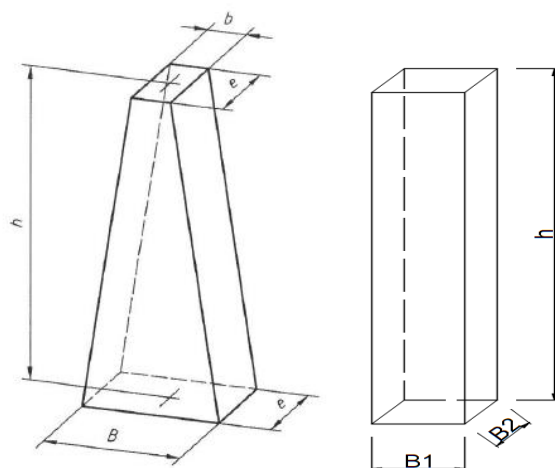
Řezání bylo provedeno na stolní kotoučové pile chlazené vodou (obr. č. 8). U každé ze tří směsí byla vybrána jedna deska na tvorbu komolých klínů (trapezoidy) a jedna deska na tvorbu hranolů. Pilou byla vytvořena tělesa, která rozměrově odpovídala tělesům stanoveným danými normami.



Obr. 8 – Stolní kotoučová pila

4.1.3 ROZMĚRY A HMOTNOST TĚLES

Měření těles bylo provedeno pomocí posuvného měřidla s požadovanou přesností měření na 0,1 mm. Vážení těles bylo provedeno na laboratorní váze s požadovanou přesností měření na 0,1 g. Na obrázku č. 9 jsou vidět požadované rozměry těles a na obrázku č. 10 jsou zachycena nařezaná tělesa.



Obr. 9 – Schéma zkušebních vzorků

$B=70\text{ mm}$

$e=50\text{ mm}$

$h=250\text{ mm}$

$b=25\text{ mm}$

$B1=50\text{ mm}$

$B2=50\text{ mm}$

$h=200\text{ mm}$



Obr. 10 – Zkušební tělesa

4.1.4 LEPENÍ TĚLES

K provedení zkoušky modulu tuhosti asfaltových směsí a nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí bylo potřeba na jednotlivá tělesa připevnit ocelové podložky (obr. č. 10). K řádnému připevnění bylo použito lepidlo, které se skládá z epoxidové pryskyřice, tvrdidla a vápencové moučky. Zkušební těleso pro zkoušení na nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí se po přilepení ocelových podložek vloží do speciální formy (obr. č.12). Příprava lepidla je vidět na obrázku č. 11.



Obr. 11 – Příprava lepidla



Obr. 12 – Nalepené zkušební těleso uložené ve formě

4.2 MODUL TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Zkouška modulu tuhosti asfaltové směsi byla provedena dle normy ČSN EN 12697-26. Zkouška byla provedena jako dvoubodová zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu 2PB-TR. Tato zkouška definuje zjištění modulu tuhosti asfaltové směsi. Sinusová síla $F = F_0 \times \sin(\omega \times t)$ působí na volný konec zkušebního tělesa, spodní část je pevně připnuta k zařízení. Na základě fázového úhlu a F_0 se vypočítá komplexní modul při dané teplotě. [18]

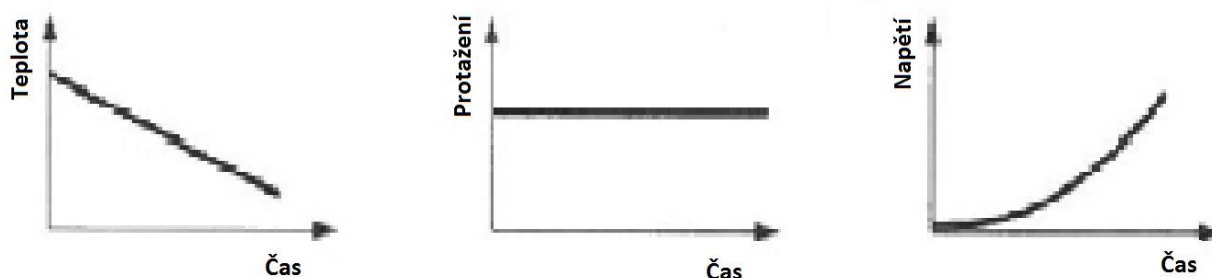
Zkušební těleso bylo vloženo do zkušebního zařízení, spodní část byla pevně připevněna k zařízení pomocí šroubů, háček byl připevněn převlečnými matkami na táhlo, které na těleso vyvodilo ohybový moment. Tělesa byla 90 minut temperována na zkoušku v zařízení, které vytváří konstantní teplotu. Po natemperování a řádném připevnění tělesa byla provedena zkouška. Po zapnutí motoru se postupně zvýšila frekvence po 5 Hz až na hodnotu 25 Hz a následně se frekvence snížila skokově na frekvenci 5 Hz. Zkouška byla provedena při konstantní teplotě 15 °C. Na připojeném monitoru byla odečtena průměrná hodnota modulu tuhosti pro příslušnou hodnotu frekvence. Tyto hodnoty byly zapsány do tabulky. Připravené zkušební těleso na zkoušku modulu tuhosti je vidět na obrázku č. 13. [18]



Obr. 13 – Zkouška modulu tuhosti

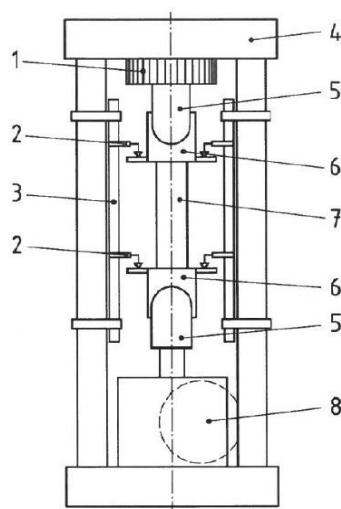
4.3 NÍZKOTEPLTNÍ VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚŠI

Zkouška nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí byla provedena dle normy ČSN EN 12697-46. Zkouška byla provedena jako jednoosá zkouška v tahu s rovnoměrným řízeným poklesem teploty – TSRST. Tato zkouška definuje zjištění nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí. Těleso s udržovanou konstantní délkou je vystaven poklesu teploty s konstantní rychlostí. Vlivem zamezovaného tepelného smršťování se ve zkušebním tělese vytváří kryogenní napětí. Výsledkem je šíření kryogenního napětí při teplotě σ_{cry} (T) a napětí způsobující porušení $\sigma_{cry, failure}$ při teplotě $T_{failure}$, při které dojde k porušení. Průběh napětí je patrný na obrázku č.14. [19]



Obr. 14 – Průběh napětí během zkoušky [19]

Zatěžovací zařízení musí být schopno vyvinout pohyby s přesností $0,1 \mu\text{m}$. Aby se zabránilo vzniku radiálních anebo příčných sil a momentů ve zkušebním tělese, je těleso připojeno k zatěžovacímu zařízení dvěma kardanovými závěsy. Schéma zařízení je zobrazeno na obrázku č. 15. [19]



Obr. 15 – Schéma zařízení [19]

1. Silový tenzometrický snímač, 2. Snímač posunu, 3. Ohřev vnějšího rámu, 4. Příčný rám,
5. Kardanový závěs, 6. Čelist, 7. Zkušební těleso, 8. Převodovka s krokovým motorem [19]

Zkouška byla prováděna v zařízení Cyklon -40 v laboratoři pozemních komunikací. Těleso bylo připevněno na spodní kardanový závěs. Spojení nám umožňuje speciální trojúhelníková ocelová podložka, která je k tělesu připevněna (viz kapitola 4.1.4) a opatřena závitem. Stejný postup byl uplatněn i pro horní kardanový závěs. Na všech stranách podložek jsou připravené otvory pro připevnění snímačů, které snímají jednotlivé deformace tělesa v každém směru, ke kterým dochází při konstantním snižování teploty. Teplotní snímač byl umístěn na slepé těleso, které je umístěno v komoře společně se zkoušeným tělesem. Další snímač teploty je umístěn přímo v komoře. Jednotlivé snímače jsou propojeny s počítačem. Po uzavření komory byl spuštěn program automatického snižování teploty v komoře. Počítač vyhodnocuje jednotlivé hodnoty ze snímačů. Aby bylo dosaženo nulového podélného přetvoření zkušebního tělesa, prvky se ohřívají. Během ochlazování zkušebního tělesa dochází ke zkracování jeho rozměrů, které je nejvíce patrné na výšce h (viz obr. 9). Z toho důvodu se provádí ohřívání tuhého rámu tak, aby bylo dosaženo nulového podélné deformace. Upnutí zkušebního tělesa do zařízení Cyklon -40 je vidět na obrázku č. 16. [19]



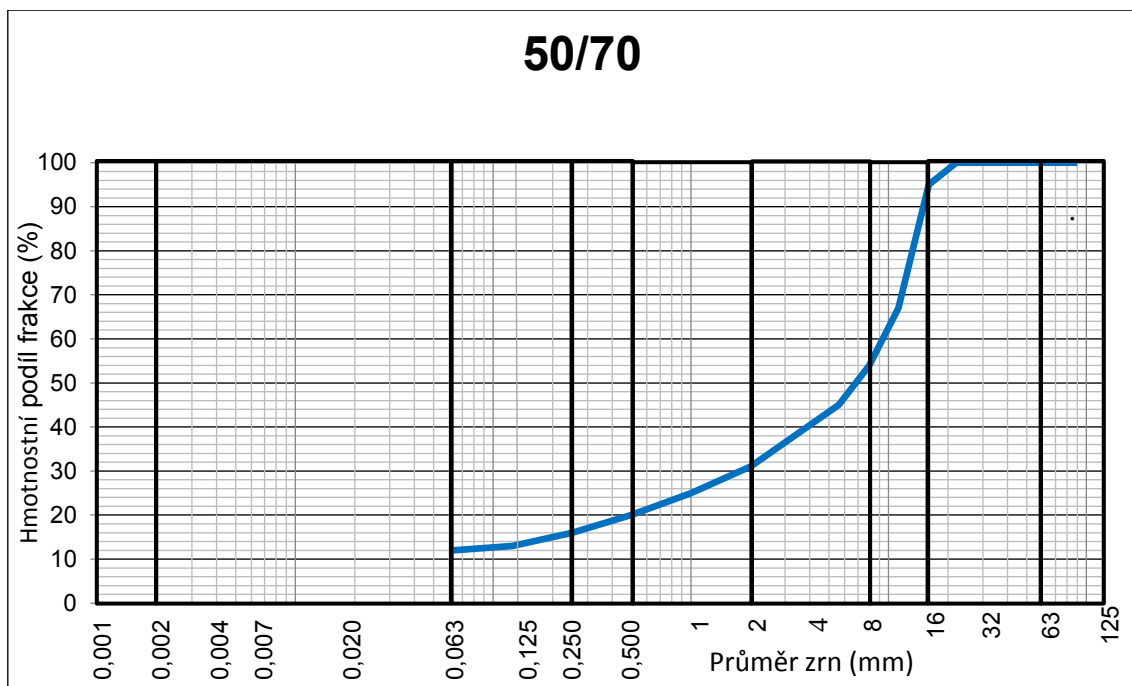
Obr. 16 – Zkouška nízkoteplotních vlastností

5 POUŽITÉ MATERIÁLY

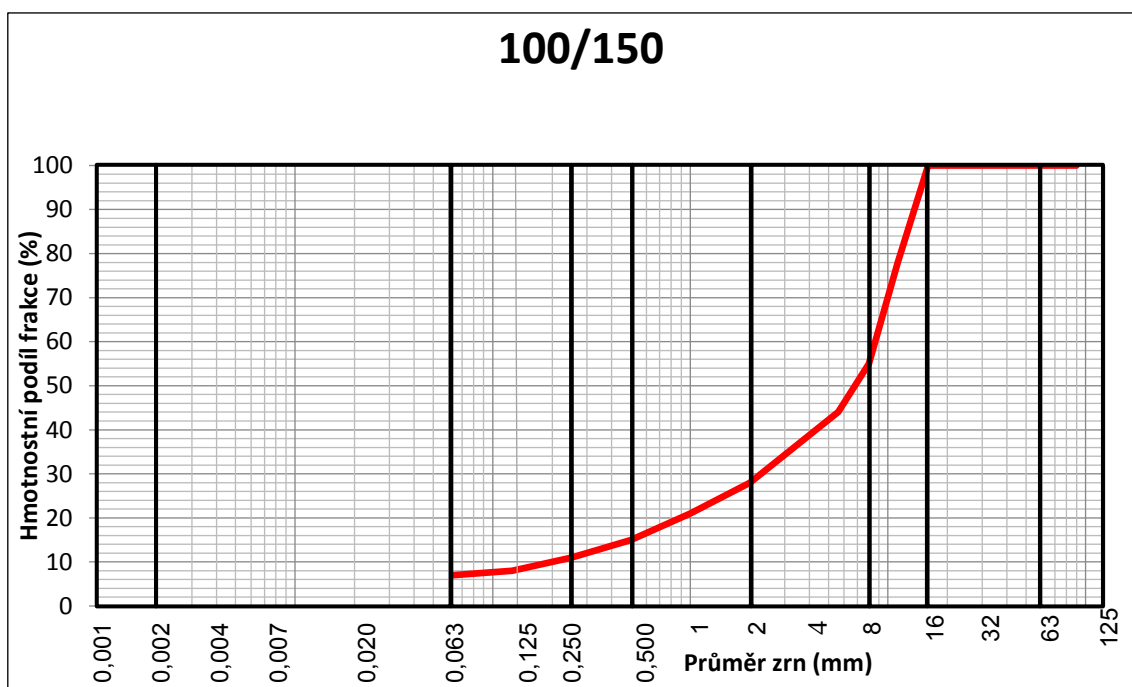
V této bakalářské práci byly zkoušeny tři druhy asfaltové směsi ACP 16+ se 40 % R-materiálu s rozdílným pojivem. Směsi byly vyrobené na Brněnské obalovně.s.r.o. V první variantě asfaltové směsi nebylo upraveno pojivo (dále označeno 50/70), druhá směs byla oživena pomocí rejuvenátoru (směs rostlinných olejů - dále označeno 50/70+R), třetí směs byla oživena pomocí měkčího silničního asfaltu třídy 100/150 (dále označeno 100/150). V prvních dvou případech tedy byl použit jako pojivo běžný silniční asfalt 50/70. Ve třetí směsi byl jako pojivo použit silniční asfalt 100/150. Obsah pojiva jednotlivých směsí je uveden v tabulce č. 3. U každé směsi bylo vydestilováno pojivo a byla na nich provedena zkouška penetrace jehlou a zkouška stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 3. Uvedené výsledky penetrace jsou ovlivněny pojivem obsaženým v R-materiálu a výrobou směsi za horka, proto je jejich výsledek poměrně nízký. Už na výsledcích zkoušky penetrace je patrný rozdíl mezi pojivem neoživeným a pojivem, které je oživeno. U kameniva, které bylo použito do jednotlivých směsí, byl proveden síťový rozbor. Výsledky síťových rozborů kameniva získaného z jednotlivých asfaltových směsí jsou uvedeny v grafech (graf č. 1 - graf č. 3). Jako kamenivo do směsí byla použita žula z lomu Lhota Rapotina. Na všech směsích byla provedena zkouška mezerovitosti, výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 3. Zrnitost použitého R-materiálu je uvedena v grafu č. 4. Penetrace pojiva vyextrahovaného z R-materiálu byla 16 (0,1 mm) a bod měknutí byl 65,1 °C.

Tab. 3 – Charakteristika směsí

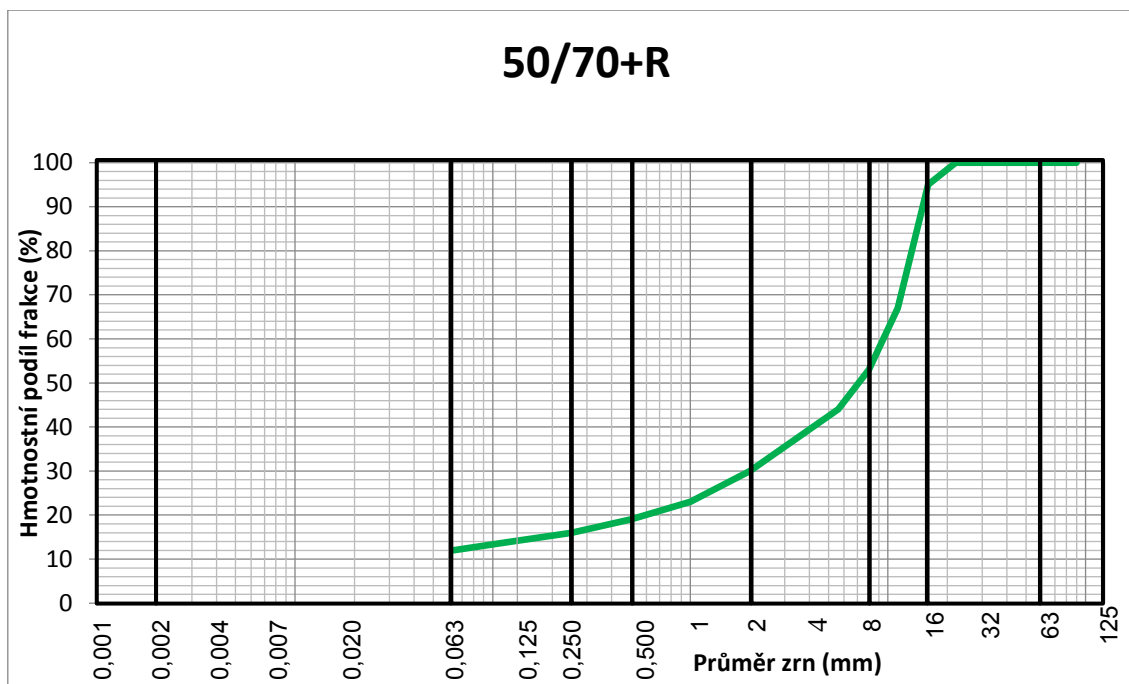
Charakteristika směsí				
Směs	Obsah pojiva	KK	Penetrace	Mezerovitost
	[%]	[°]	[0,1 mm]	[%]
50/70	4,2	54,4	26,0	5,4
100/150	4,2	56,0	36,0	5,5
50/70+R	4,3	54,4	37,0	5,5



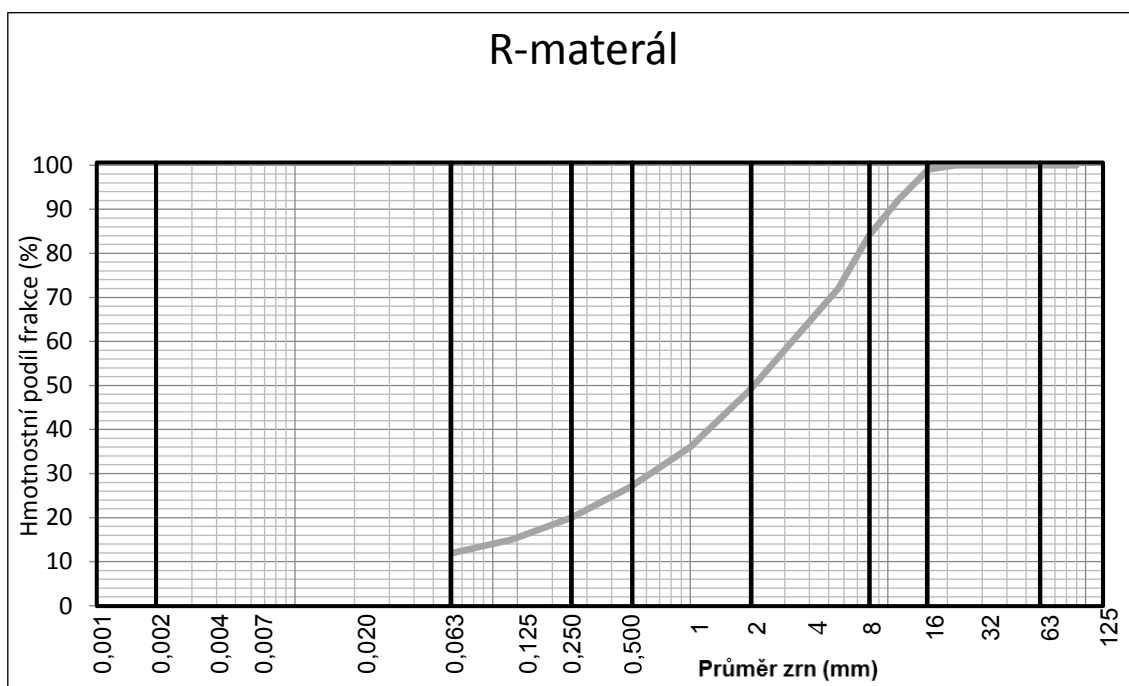
Graf 1 – Sítový rozbor směs 50/70



Graf 2 – Sítový rozbor směs 100/150



Graf 3 – Sítový rozbor směs 50/70+R



Graf 4 – Sítový rozbor R-materiálu

6 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

V této kapitole jsou uvedeny výsledky jednotlivých zkoušek, které byly popsány v předchozích kapitolách. V kapitole 6.1 jsou vyhodnoceny objemové hmotnosti zkušebních desek a rozměry zkušebních těles. V kapitole 6.2 jsou shrnuty výsledky zkoušky modulu tuhosti. Jsou zaznamenány v tabulce a následně vyobrazeny v grafické podobě. V kapitole 6.3 jsou představeny výsledky zkoušky nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce. Závislosti jsou shrnuty v kapitole 6.4.

6.1 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Postup pro zjištění objemových hmotností je popsán v kapitole 4.1.1. Výsledky objemových hmotností desek vyrobených z jednotlivých směsí jsou uvedeny v tabulce č. 4. Dá se říct, že asfaltové směsi s pojivem 50/70 a 50/70 s přidaným rejuvenátorem mají průměrnou hodnotu objemové hmotnosti totožnou a směs s měkčím asfaltovým pojivem 100/150 má objemovou hmotnost nepatrně menší.

Tab. 4 – Výsledky objemových hmotností desek

Objemové hmotnosti desek						
Deska		VÁHA SUCHÉHO VZORKU	VÁHA VE VODĚ	VÁHA PO OSUŠENÍ	OBJEMOVÁ HMOTNOST VZORKU	POUŽITO NA ZKOUŠKU
		m_1 [kg]	m_2 [kg]	m_3 [kg]	m [kg/m ³]	
50/70	A	9,817	5,786	9,866	2401,8	-
	B	9,846	5,780	9,889	2391,9	Nízkoteplotní vl.
	C	9,829	5,783	9,878	2395,9	Tuhost
ø hodnota		9,831	5,783	9,878	2396,5	
100/150	A	9,808	5,753	9,855	2386,7	Tuhost
	B	9,812	5,757	9,848	2390,0	Nízkoteplotní vl.
	C	9,403	5,489	9,469	2358,3	-
ø hodnota		9,674	5,666	9,724	2378,3	
50/70+R	A	9,816	5,771	9,855	2399,2	Nízkoteplotní vl.
	B	9,843	5,772	9,904	2377,9	Tuhost
	C	9,821	5,791	9,861	2408,7	-
ø hodnota		9,827	5,778	9,873	2395,3	

Rozměry komolých klínů jsou uvedeny v tabulce č. 5 a rozměry hranolků jsou uvedeny v tabulce č.6.

Tab. 5 – Rozměry komolých klínů

Rozměry komolých klínů					
Těleso	B	b	c	h	m
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[g]
50/70 C.1	69,17	24,77	50,44	252,7	1380,1
50/70 C.2	74,95	26,83	50,26	252,6	1491,0
50/70 C.3	66,19	27,21	50,59	253,1	1409,2
50/70 C.4	75,02	27,11	50,97	253,2	1528,4
50/70 C.5	7,54	26,94	51,64	253,7	1485,4
100/150 A.1	69,19	26,84	51,98	253,7	1454,2
100/150 A.2	71,05	26,71	51,09	252,4	1474,1
100/150 A.3	69,038	26,5	50,39	252,6	1437,2
100/150 A.4	70,34	26,24	49,94	252,6	1399,4
100/150 A.5	69,22	24,39	49,64	252,2	1323,3
50/70+R B.1	70,51	26,66	4978	251,4	1405,0
50/70+R B.2	70,89	24,7	51,52	251,8	1419,2
50/70+R B.3	7047	25,71	52,22	251,9	1448,8
50/70+R B.4	70,2	24,49	51,86	251,8	1419,4
50/70+R B.5	69,93	25,65	51,99	251,8	1420,8

Tab. 6 – Rozměry trámečků

Rozměry trámečků			
Těleso	B ₁	B ₂	h
	[mm]	[mm]	[mm]
50/70 B.1	50,56	51,87	200,00
50/70 B.2	51,13	51,62	200,00
50/70 B.3	51,27	51,75	200,00
50/70 B.4	51,23	51,16	200,00
50/70 B.5	51,01	50,87	200,00
100/150 B.1	50,63	51,69	200,00
100/150 B.2	50,69	50,89	200,00
100/150 B.3	50,08	50,36	200,00
100/150 B.4	51,63	49,81	200,00
100/150 B.5	51,06	50,07	200,00
50/70+R A.1	50,37	52,09	200,00
50/70+R A.2	50,91	51,85	200,00
50/70+R A.3	51,09	51,39	200,00
50/70+R A.4	51,23	51,18	200,00

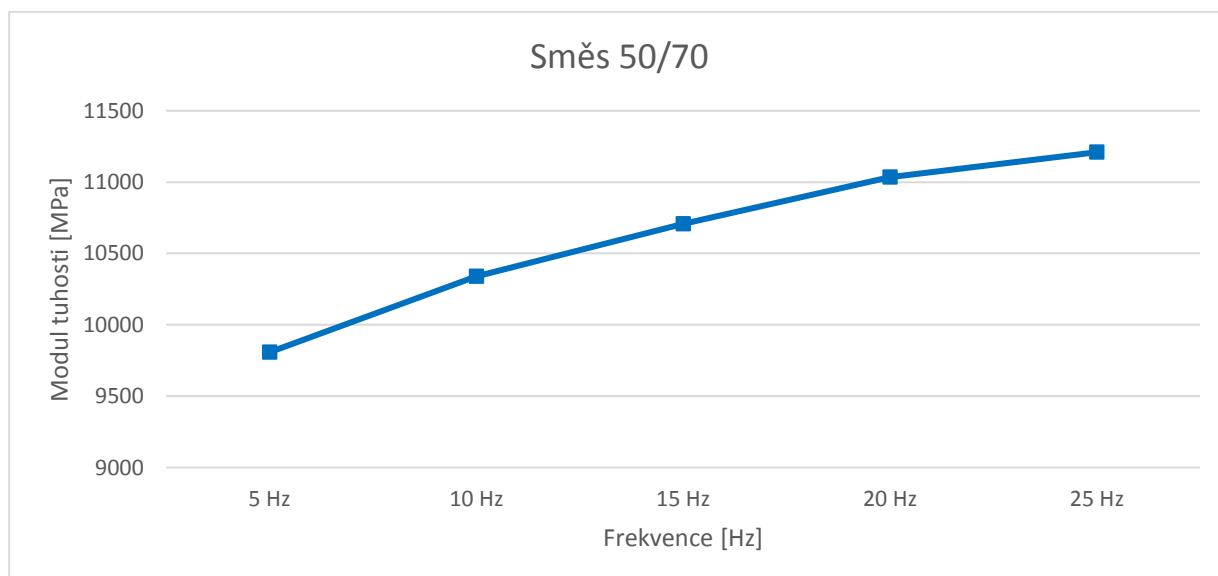
6.2 MODUL TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.2. Rozměry a hmotnost naměřené v tabulce č. 5 jsou důležité pro zadávání do programu, který měří na jednotlivých zkušebních tělesech modul tuhosti asfaltové směsi. Modul tuhosti asfaltových směsí byl měřen při konstantní teplotě 15 °C. Výsledky jednotlivých těles jsou uvedeny v tabulce č. 7. Výsledky modulu tuhosti jednotlivých směsí jsou graficky znázorněny v grafech č. 5 – č. 7. V grafu č. 8 je zobrazeno srovnání modulu tuhosti měřených asfaltových směsí. Na výsledcích zkoušky modulu tuhosti bylo zjištěno, že asfaltová směs s R-materiálem obsahující běžný silniční asfalt 50/70 bez rejuvenátoru dosahovala nejvyšší hodnoty modulu tuhosti. Mírně nižších hodnot tuhosti dosahovala asfaltová směs s pojivem 50/70, do které byl dávkován rejuvenátor. Nejnižší moduly tuhosti vykazovala asfaltová směs s R-materiálem obsahující měkký silniční asfalt 100/150. Tuhost směsi obsahující silniční asfalt 50/70 byla o přibližně 3 % vyšší než tuhost směsi s přidaným silničním asfaltem 50/70 s přídavkem rejuvenátoru. Tuhost směsi obsahující silniční asfalt 50/70 byla dokonce o přibližně 10 % vyšší, než tuhost směsi s přidaným silničním asfaltem 100/150. Je patrné, že tuhost všech asfaltových směsí se s rostoucí frekvencí zvyšuje. Minimální požadovaná hodnota tuhosti, která byla pro směsi ACP 16 uvedena v národních požadavcích k normě ČSN EN 13108-1 (nyní již umístěných do ČSN 73 6121:2019), činí 7000 MPa (při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz). Tuhost všech tří srovnávaných směsí tuto minimální hodnotu značně převyšují.

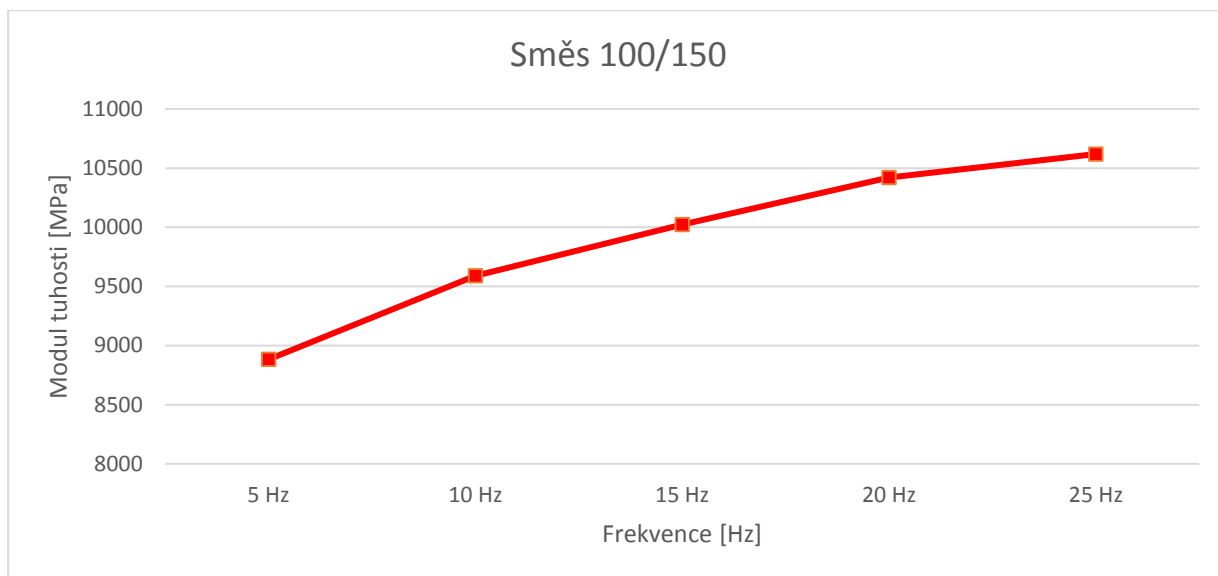
Tab. 7 – Výsledky zkoušky modulu tuhosti asfaltových směsí

Výsledky modulu tuhosti asfaltové směsi						
Frekvence teplota 15°C	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
50/70.C.1	9804	10298	10699	11029	11207	9737
50/70.C.2	9568	10087	10362	10661	10865	9367
50/70.C.3	10149	10575	10968	11325	11524	10173
50/70.C.4	10079	10688	11097	11418	11538	9979
50/70.C.5	9439	10049	10412	10746	10913	9473
ø hodnota	9807,8	10339,4	10707,6	11035,8	11209,4	9745,8
100/150.A.1	9096	9903	10389	10746	10898	9333
100/150.A.2	8794	9488	9953	10368	10546	8922
100/150.A.3	9462	10124	10609	11112	11305	9351
100/150.A.4	8547	9303	9636	10017	10231	8576
100/150.A.5	8513	9131	9521	9859	10116	8511
ø hodnota	8882,4	9589,8	10021,6	10420,4	10619,2	8938,6
50/70+R B.1	9247	9924	10172	10495	10698	9207
50/70+R B.2	9399	10008	10264	10618	10700	9369
50/70+R B.3	10259	10833	11296	11639	11699	10243
50/70+R B.4	9489	10018	10248	10624	10711	9395
50/70+R B.5	9124	9650	10029	10316	10323	9112
ø hodnota	9503,6	10086,6	10401,8	10738,4	10826,2	9465,2

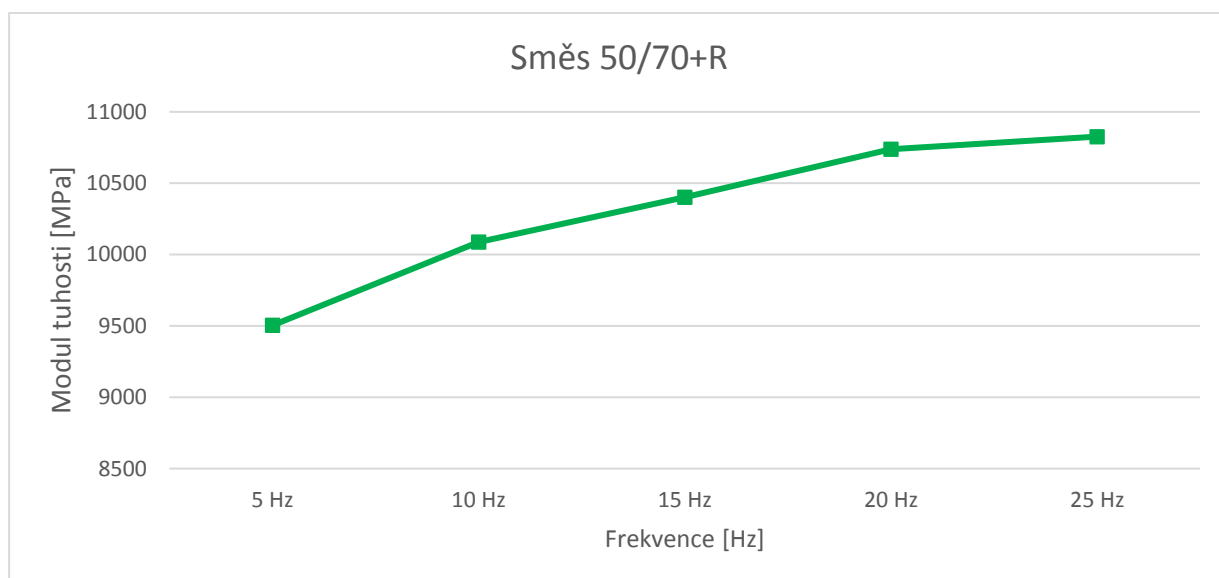
pozn. uvedené hodnoty jsou v MPa.



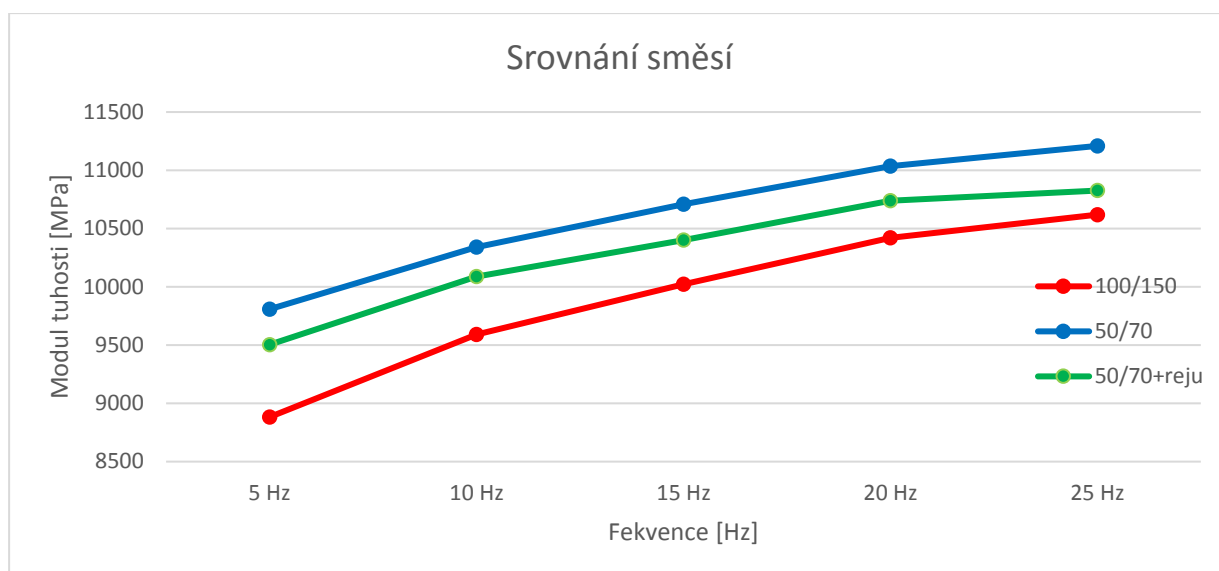
Graf 5 – Výsledek zkoušky tuhosti směs 50/70



Graf 6 – Výsledek zkoušky tuhosti směs 100/150



Graf 7 – Výsledek zkoušky tuhosti směs 50/70 + R



Graf 8 – Výsledek zkoušky tuhosti porovnání směs

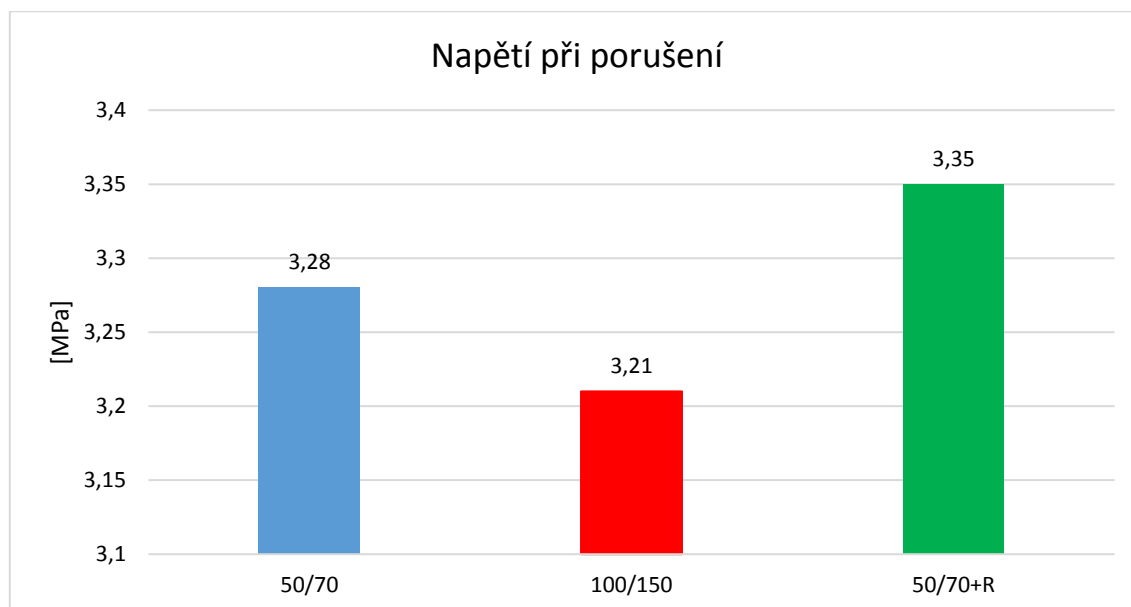
6.3 NÍZKO TEPLITNÍ VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.3. Rozměry a hmotnost naměřené v tabulce č. 6 jsou důležité pro zadávání do programu, který měří na jednotlivých tělesech nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí. Z výsledků zkoušky nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí je patrné, že nejvyšší (nejhorší) kritické teploty bylo dosaženo v případě směsi s asfaltovým pojivem 50/70 bez rejuvenátoru. Nižší kritická teplota byla stanovena u směsi s asfaltovým pojivem 50/70 s rejuvenátorem. Hodnota byla přibližně o 10 % nižší ve srovnání s asfaltovou směsí 50/70 bez použití rejuvenátoru. Nejnížší (nejlepší) kritickou teplotu dosáhla směs s asfaltovým pojivem 100/150, tato hodnota byla o přibližně 20 % nižší než u směsi s asfaltovým pojivem 50/70 bez rejuvenátoru. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8. Na uvedených výsledcích v tabulce č. 8, je vidět, že bylo u všech směsí při porušení dosaženo velmi podobného tahového napětí. Na obrázku č. 17 je vidět poškození zkušebního tělesa ze zkoušky nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi.

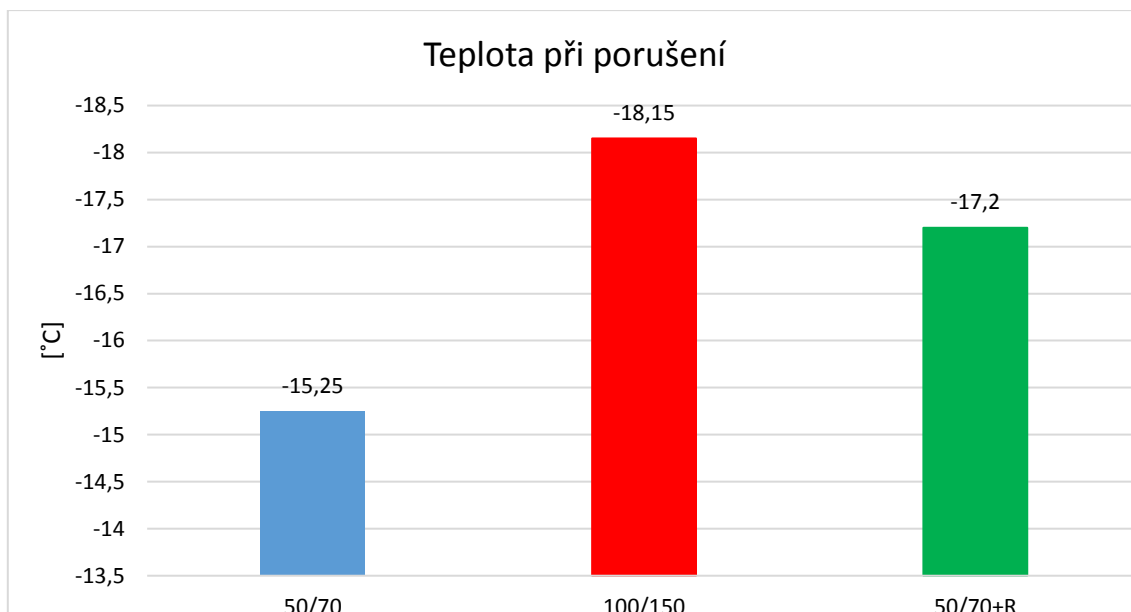
Výsledky zkoušky nízkoteplotních vlastností se tedy srovnaly logicky podle očekávání: nejhorší nízkoteplotní chování (nejvyšší náchylnost ke vzniku mrazové trhliny) vykazovala asfaltová směs obsahující neupravené asfaltové pojivo třídy 50/70 (tzn. bez oživení). Naopak nejlepšího nízkoteplotního chování dosáhla směs obsahující měkký přidaný asfalt třídy 100/150. Grafické srovnání průměrných hodnot jednotlivých směsí je zobrazeno v grafu č.9 pro napětí, a pro teplotu v grafu č. 10. Nárůst napětí s poklesem teploty je znázorněn u jednotlivých směsí na grafech č. 11–13. Srovnání všech směsí je zobrazeno na grafu č. 14.

Tab. 8 – Výsledky zkoušky nízkoteplotních vlastností směsí

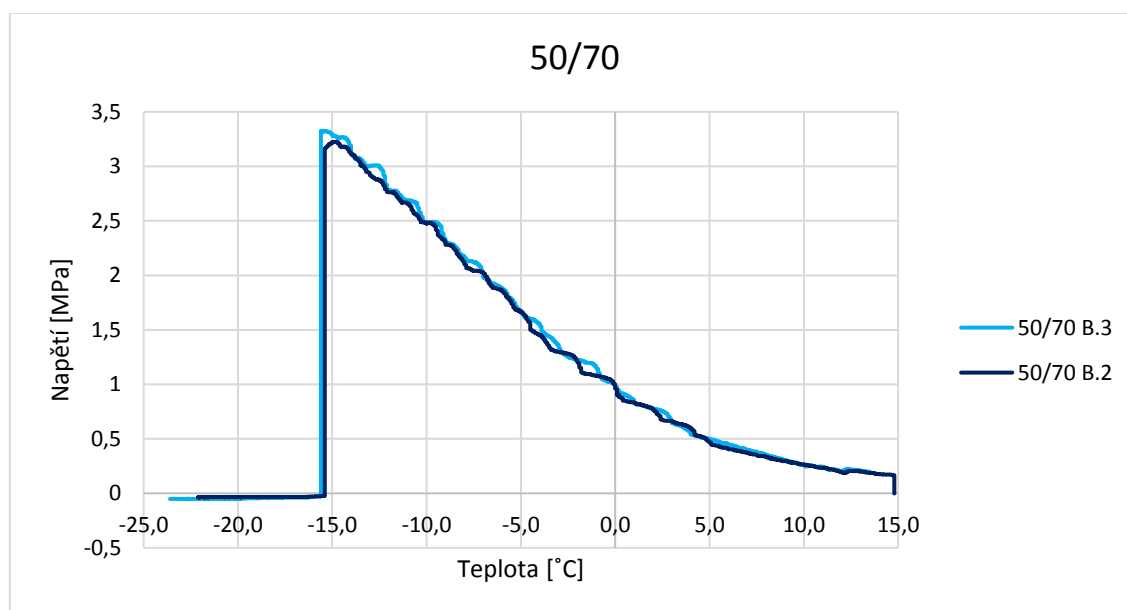
VÝSLEDKY ZKOUŠKY NÍZKOTEPLTNÍCH VLASTNOSTÍ		
Těleso	Napětí	Teplota tělesa
	[MPa]	[°C]
50/70 B.2	3,22	-14,90
50/70 B.3	3,33	-15,60
∅ hodnota	3,28	-15,25
100/150 B.4	3,31	-19,20
100/150 B.3	3,10	-17,10
∅ hodnota	3,21	-18,15
50/70+R A.3	3,63	-16,80
50/70+R A.4	3,07	-17,60
∅ hodnota	3,35	-17,20



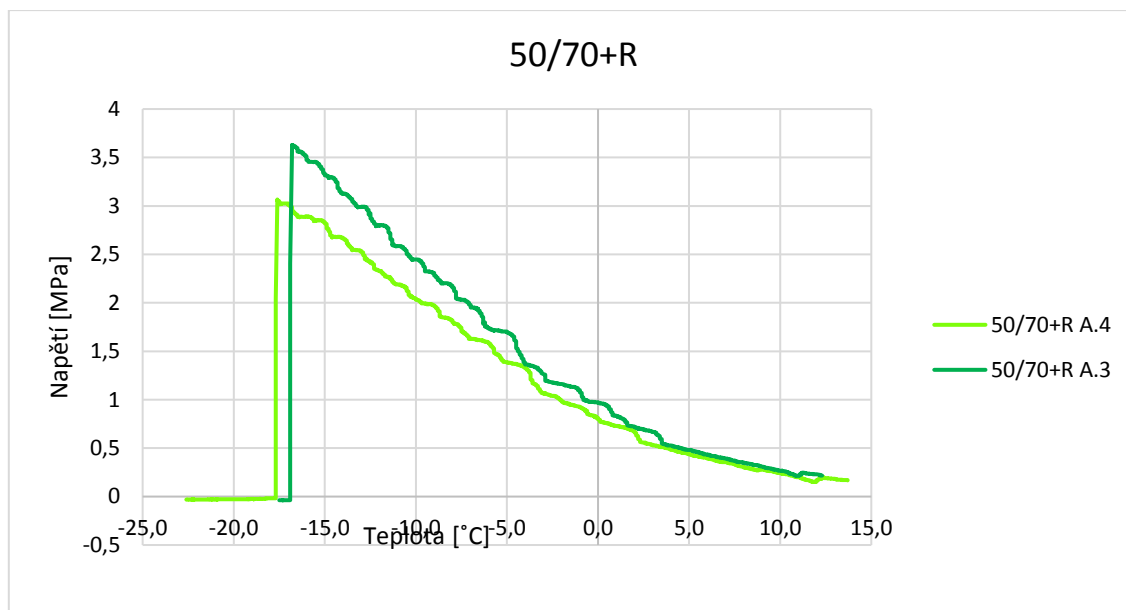
Graf 9 – Srovnání napětí při porušení



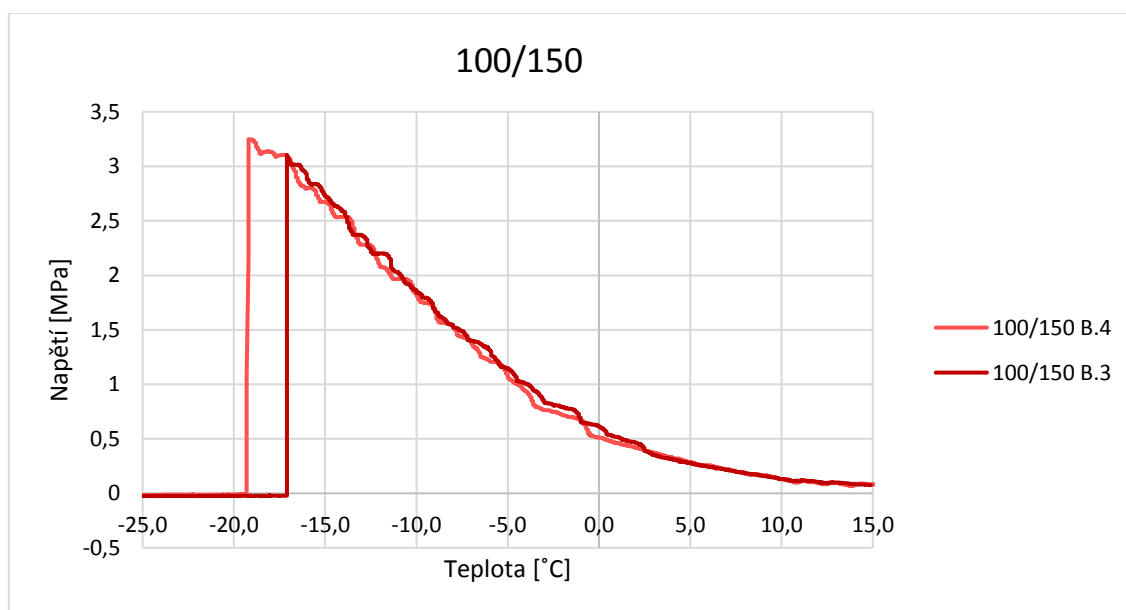
Graf 10 – Srovnání teplot při porušení



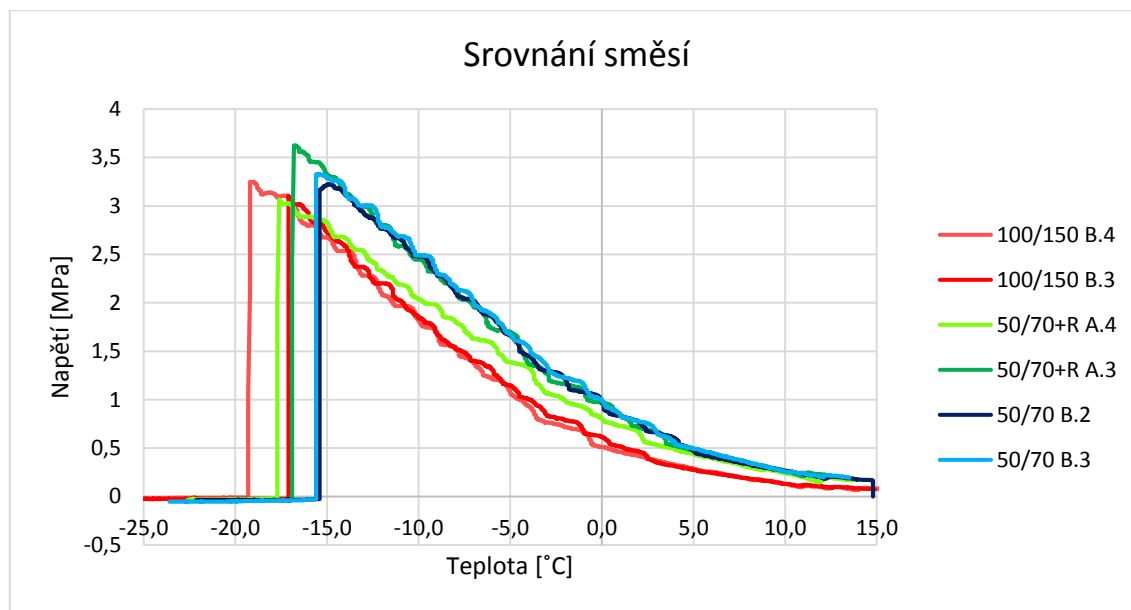
Graf 11 – Nárůst napětí s poklesem teploty směs 50/70



Graf 12 – Nárůst napětí s poklesem teploty směs 50/70+R



Graf 13 – Nárůst napětí s poklesem teploty směs 100/150



Graf 14 – Nárůst napětí s poklesem teploty srovnání směsí

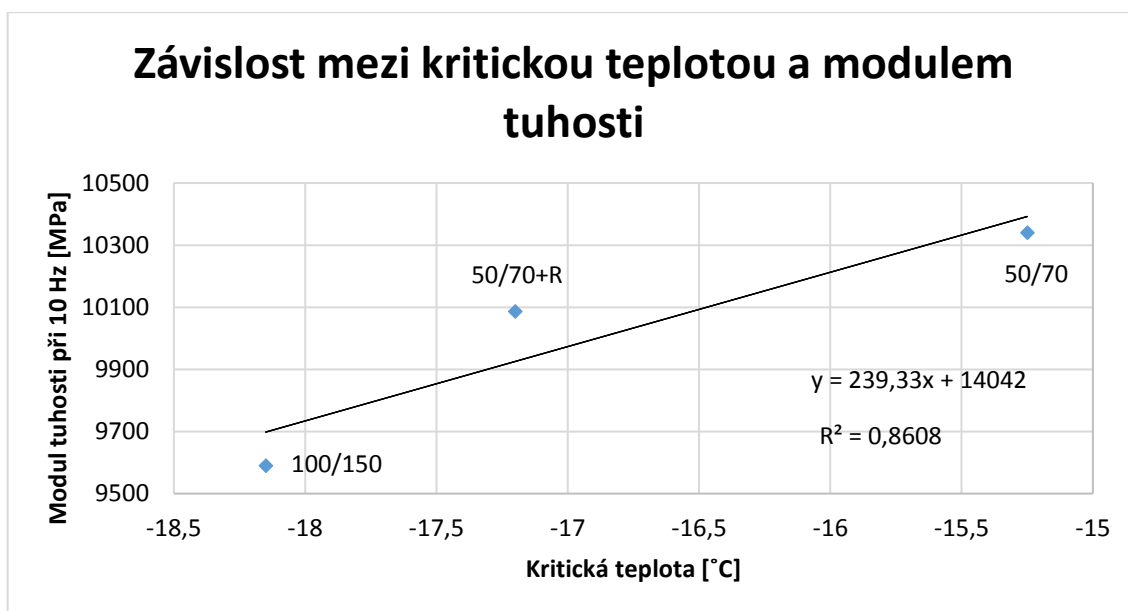


Obr. 17 – Porušený zkušební vzorek

6.4 ZÁVISLOSTI

Z výsledků v kapitole 6.2 Modul tuhosti asfaltových směsí je patrné, že nejvyšší modul tuhosti dosahovala asfaltová směs 50/70 bez rejuvenátoru, oproti tomu nejnižší modul tuhosti dosáhla směs 100/150. Nejvyššího modulu tuhosti tedy dosáhla nejtvrdší asfaltová směs ze třech zkoušených.

Výsledky z kapitoly 6.3 Nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí nám ukazují, že nejnižší kritická teplota byla naměřena u asfaltové směsi 100/150. Nejvyšší kritická síla byla naměřená u asfaltové směsi 50/70 bez rejuvenátoru. Nejnižší kritická síla byla naměřená u nejměkčí směsi ze tří zkoušených. Závislost mezi kritickou teplotou a modulem tuhosti je znázorněn v grafu č. 15. Na zobrazeném grafu je zřejmá závislost mezi kritickou teplotou a modulem tuhosti. Jedná se o přímou úměru, tedy s rostoucí kritickou teplotou roste i modul tuhosti. Naproti tomu závislost mezi kritickým napětím z nízkoteplotních vlastností a tuhostí nebyla nalezena.



Graf 15 – Závislost mezi kritickou teplotou a modulem tuhosti

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zjištění vlivu oživení asfaltových směsí s R-materiálem na jejich výsledné vlastnosti. Zkoušky byly provedeny na asfaltové směsi ACP 16+ se 40 % R-materiálu vyrobené na obalovně ve třech variantách:

1. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 50/70 (neupravené asfaltové pojivo),
2. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 100/150 (měkký pojivo vyšší třídy),
3. asfaltová směs ACP 16+ se 40 % R-materiálu s přidaným silničním asfaltem 50/70 a rejuvenátorem.

Podle výsledků zkoušky modulu tuhosti bylo zjištěno, že asfaltová směs s R-materiálem obsahující běžný silniční asfalt 50/70 bez rejuvenátoru dosahovala nejvyšší hodnoty modulu tuhosti. Mírně nižších hodnot tuhosti dosahovala asfaltová směs s pojivem 50/70, do které byl dávkován rejuvenátor. Nejnižší moduly tuhosti vykazovala asfaltová směs s R-materiálem obsahující měkký silniční asfalt 100/150. Tuhost směsi obsahující silniční asfalt 50/70 byla o přibližně 3 % vyšší než tuhost směsi s přidaným silničním asfaltem 50/70 s přídavkem rejuvenátoru. Tuhost směsi obsahující silniční asfalt 50/70 byla dokonce o přibližně 10 % vyšší než tuhost směsi s přidaným silničním asfaltem 100/150. Tím bylo prokázáno, že použitím rejuvenátoru nebo měkčího přidaného pojiva dojde ke snížení tuhosti (a tudíž i křehkosti) asfaltové směsi s R-materiálem.

Z výsledků zkoušky nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí je patrné, že nejvyšší (tzn. nejhorší) kritické teploty bylo dosaženo směsi s asfaltovým pojivem 50/70 bez rejuvenátoru. Nižší kritická teplota byla stanovena u směsi s asfaltovým pojivem 50/70 s rejuvenátorem. Hodnota byla přibližně o 10 % nižší ve srovnání s asfaltovou směsí 50/70 bez použití rejuvenátoru. Nejnižší (tzn. nejlepší) kritickou teplotu dosáhla směs s asfaltovým pojivem 100/150, tato hodnota byla o přibližně 20 % nižší než u směsi s asfaltovým pojivem 50/70 bez rejuvenátoru. Zkouškou nízkoteplotních vlastností bylo opět potvrzeno, že použitím rejuvenátoru nebo měkčího přidaného asfaltového pojiva dojde ke zvýšení odolnosti asfaltové směsi s R-materiálem vůči vzniku mrazových trhlin.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] ŠVEC, Jan. Studené asfaltové směsi s R-materiálem. Brno, 2016. Diplomová práce. VUT FAST. Vedoucí práce DUŠAN STEHLÍK
- [3] Silnice + mosty [online]. 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.silnice-mosty.cz/615-asfaltove-smesi-s-vysokym-obsahem-r-materialu-dosavadni-zkusenosti/>
- [4] VARAUS, Michal, Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích, VUT Brno 2012
- [5] VALENTIN, Jan. Recyklace asfaltových vozovek, prezentace, STPK, Praha, 2011 dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/recyklaceasfaltovychvozovek.pdf>
- [6] *Freko: Dopravní stavby a stavební činnost* [online]. Praha 10, 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.freko.cz/>
- [7] Řezání a bourání asfaltových povrchů . Asphalt . [online]. 17.3.2019 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://www.asfalt.cz/rezani-a-bourani-asfaltovych-povrchu>
- [8] Pavementinteractive. Pavementinteractive [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/maintenance-and-rehabilitation/maintenance/rejuvenators/>
- [9] Rejuvenátor: Co to jsou rejuvenátory [online]. 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://web.rejuvenator.eu/co-jsou-to-rejuvenatory.htm>
- [10] NEUVIRT, Václav. Silniční seminář. Silniční seminář [online]. Skalský dvůr u Bystřice n.P, 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: http://www.silnicniseminar.cz/files/02_Neuvirth_Vyuziti-regenera-nich-post-ik--pro-prodlouzeni-zivotnosti-obrusnych-vrstev.pdf
- [11] Stavební investorské noviny: Reclamite – ekonomické řešení pro omlazení a konzervaci asfaltových silnic [online]. 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/4049-reclamite-ekonomicke-reseni-pro-omlazení-a-konzervaci-asfaltovych-silnic>
- [12] Pavement Technology, Inc. Pavement Technology, Inc.: Reclamite® [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.pavetechinc.com/pavement-technology-inc/asphalt-pavement-solutions/asphalt-rejuvenation/reclamite-rejuvenator-skidabrader/>
- [13] MOGHADDAM, Taher Baghaee; BAAJ, Hassan. The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: A systematic review. Construction and Building Materials, 2016, 114: 805-816.

- [14] Tricorrefining, LLC. Tricorrefining, LLC: Reclamite. AsphaltPavementRejuvenating Agent [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://tricorrefining.com/reclamite.php>
- [15] ČUMÍČKOVÁ, Markéta. Dávkování oživovacích přísad do asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu. BRNO, 2019. Diplomová práce. VUT FAST. Vedoucí práce Ondřej Dašek
- [16] Tran, Nam H., Taylor, Adam a Willis, Richard. Effect of Rejuvenator on Performance properties of HMA Mixtures with High RAP and RAS Contents. NCAT Report 12-05. Auburn, Alabama : National Center for Asphalt Technology at Auburn University, June 2012.
- [17] ČSN EN 12697-6 +A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Brno: ČNI, Prosinec 2007
- [18] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Tuhost. Brno: ČNI, Prosinec 2006
- [19] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem . Brno: ČNI, Listopad 2012
- [20] VARAUS, Michal. Recyklace netuhých vozovek [prezentace]. 2012, 61 s. [cit. 2016-05-25]

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 – FRÉZOVÁNÍ A VYBOURÁVÁNÍ PŮVODNÍ ASFALTOVÉ VOZOVKY	11
OBR. 2 – ROZDÍL MEZI POUŽITÍM ZMĚKČUJÍCÍ PŘÍSADY (VLEVO) A REJUVENÁTORU (VPRAVO)..	12
OBR. 3 – VLIV REGENERAČNÍHO POSTŘIKU NA ŽIVOTNOST ASFALTOVÉ VOZOVKY	15
OBR. 4 – APLIKACE REGENERAČNÍHO POSTŘIKU	16
OBR. 5 – ŠARŽOVÁ OBALOVNA S PARALELNÍM BUBNEM	17
OBR. 6 – PŘIDÁNÍ R-MATERIÁLU V METODĚ DRUM-MIX.....	17
OBR. 7 – ZKUŠEBNÍ DESKA	20
OBR. 8 – STOLNÍ KOTOUČOVÁ PILA	20
OBR. 9 – SCHÉMA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	21
OBR. 10 – ZKUŠEBNÍ TĚLESA.....	21
OBR. 11 – PŘÍPRAVA LEPIDLA.....	22
OBR. 12 – NALEPENÉ ZKUŠEBNÍ TĚLESO ULOŽENÉ VE FORMĚ	23
OBR. 13 – ZKOUŠKA MODULU TUHOSTI	24
OBR. 14 – PRŮBĚH NAPĚTÍ BĚHEM ZKOUŠKY.....	24
OBR. 15 – SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	25
OBR. 16 – ZKOUŠKA NÍZKOTEPLTNÍCH VLASTNOSTÍ	26
OBR. 17 – PORUŠENÝ ZKUŠEBNÍ VZOREK.....	39

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – SÍTOVÝ ROZBOR SMĚS 50/70.....	28
GRAF 2 – SÍTOVÝ ROZBOR SMĚS 100/150.....	28
GRAF 3 – SÍTOVÝ ROZBOR SMĚS 50/70+R.....	29
GRAF 4 – SÍTOVÝ ROZBOR R-MATERIÁLU	29
GRAF 5 – VÝSLEDEK ZKOUŠKY TUHOSTI SMĚS 50/70.....	33
GRAF 6 – VÝSLEDEK ZKOUŠKY TUHOSTI SMĚS 100/150.....	34
GRAF 7 – VÝSLEDEK ZKOUŠKY TUHOSTI SMĚS 50/70 + R.....	34
GRAF 8 – VÝSLEDEK ZKOUŠKY TUHOSTI POROVNÁNÍ SMĚS	35
GRAF 9 – SROVNÁNÍ NAPĚTÍ PŘI PORUŠENÍ.....	36
GRAF 10 – SROVNÁNÍ TEPLOT PŘI PORUŠENÍ	37
GRAF 11 – NÁRŮST NAPĚTÍ S POKLESEM TEPLoty SMĚS 50/70.....	37
GRAF 12 – NÁRŮST NAPĚTÍ S POKLESEM TEPLoty SMĚS 50/70+R.....	38
GRAF 13 – NÁRŮST NAPĚTÍ S POKLESEM TEPLoty SMĚS 100/150.....	38
GRAF 14 – NÁRŮST NAPĚTÍ S POKLESEM TEPLoty SROVNÁNÍ SMĚSÍ	39
GRAF 15 – ZÁVISLOST MEZI KRITICKOU TEPLotOU A MODULEM TUHOSTI	40

SEZNAM TABULEK:

TAB. 1 – MOŽNOST VYUŽITÍ R-MATERIÁLU V JEDNOTLIVÝCH VRSTVÁCH	10
TAB. 2 – DRUHY REJUVENÁTORŮ	13
TAB. 3 – CHARAKTERISTIKA SMĚSÍ	27
TAB. 4 – VÝSLEDKY OBJEMOVÝCH HMOTNOSTÍ DESEK	30
TAB. 5 – ROZMĚRY KOMOLÝCH KLÍNŮ.....	31
TAB. 6 – ROZMĚRY TRÁMEČKŮ	31
TAB. 7 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY MODULU TUHOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	33
TAB. 8 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY NÍZKOTEPLTNÍCH VLASTNOSTÍ SMĚSÍ	36

SEZNAM PŘÍLOH:

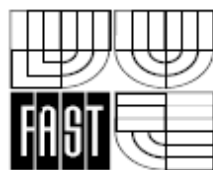
Příloha. 1 – Vztah mezi teplotou a hustotou vody.....I

Příloha. 2 –Protokoly ze zkoušek nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi.....II-VII

PŘÍLOHY

Příloha 1: Vztah mezi teplotou a hustotou vody

Vztah mezi teplotou a hustotou vody		
Teplota [°C]	Hustota [kg/m ³]	Specifická (měrná) hmotnost [kN/m ³]
0	999.8	9.806
4	1000	9.807
10	999.7	9.804
20	998.2	9.789
30	995.7	9.765
40	992.2	9.731
50	988.1	9.690
60	983.2	9.642
70	977.8	9.589
80	971.8	9.530
90	965.3	9.467
100	958.4	9.399



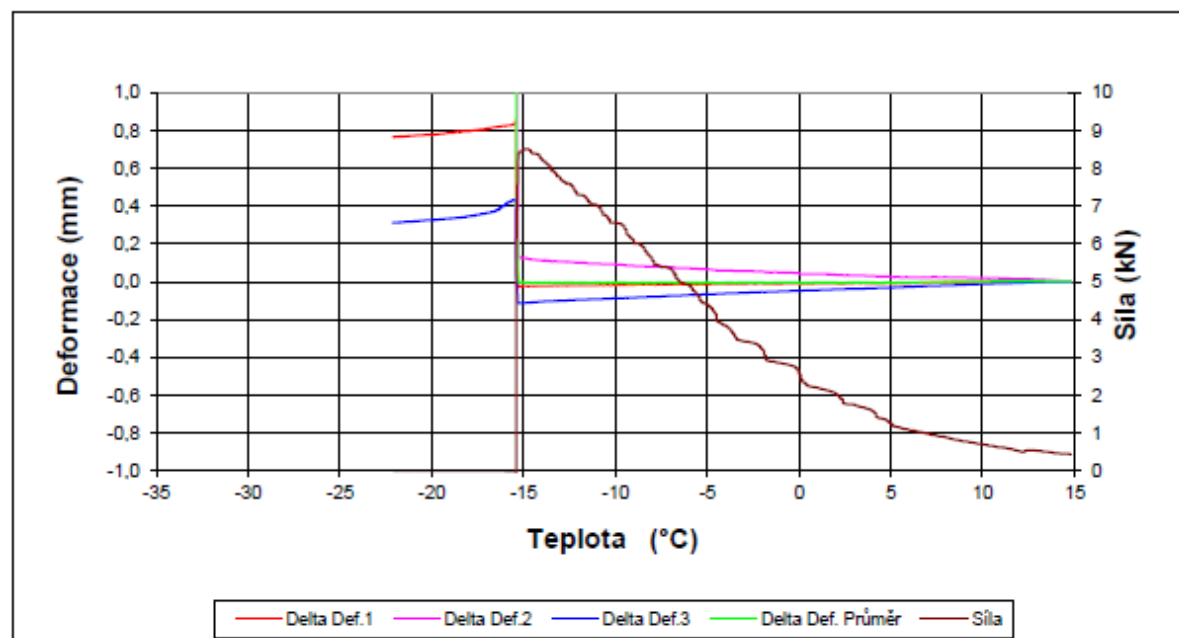
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

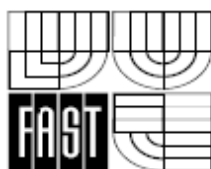
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
602 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	50/70 B.2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.13 x 51.62 x 200.00
Datum zkoušky :	9.4.2019
Zkoušku provedl :	Trnka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,51
Max. napětí při porušení - MPa :	3,22
Teplota v komoře při porušení - °C :	-18,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-14,9





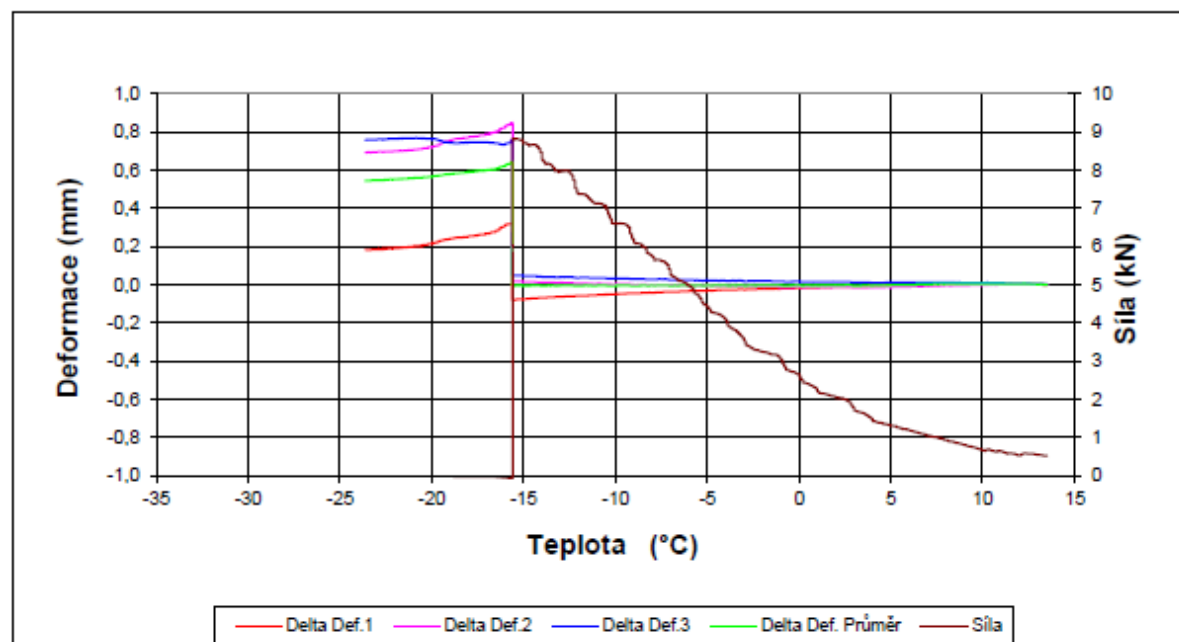
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

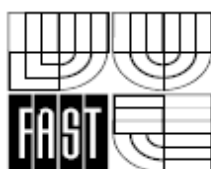
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
602 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP Tmka
Asfaltová směs :	50/70 B.3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.27 x 51.75 x 200.00
Datum zkoušky :	19.3.2019
Zkoušku provedl :	Tmka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,83
Max. napětí při porušení - MPa :	3,33
Teplota v komoře při porušení - °C :	-18,5
Teplota vzorku při porušení - °C :	-15,6





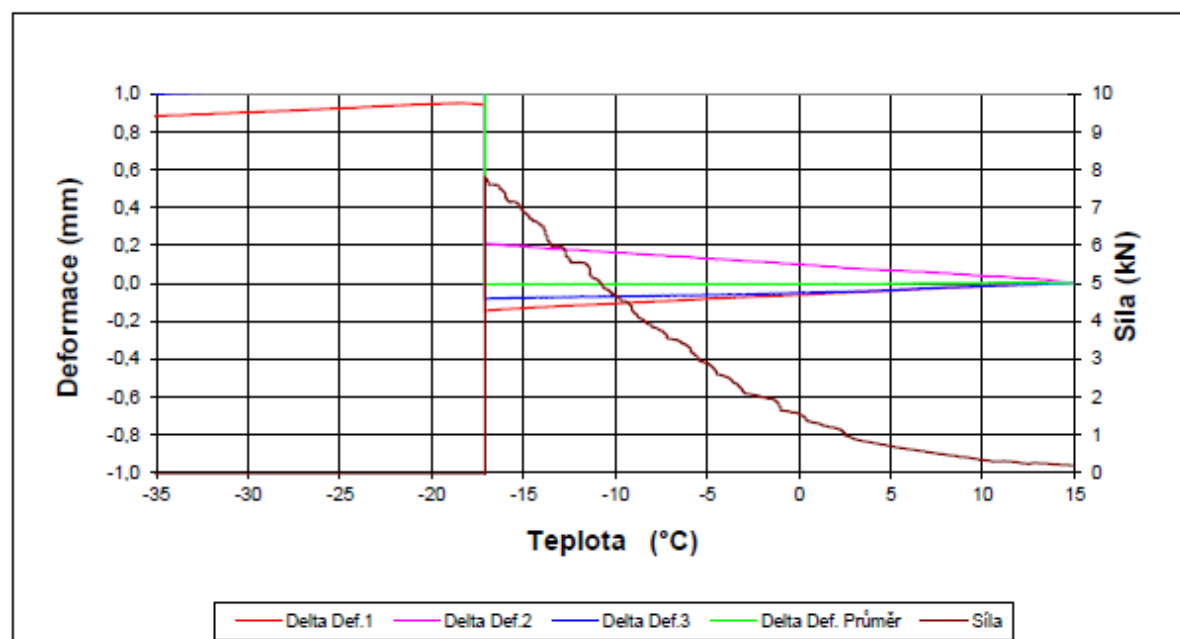
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
602 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudma@sil.foe.vutbr.cz

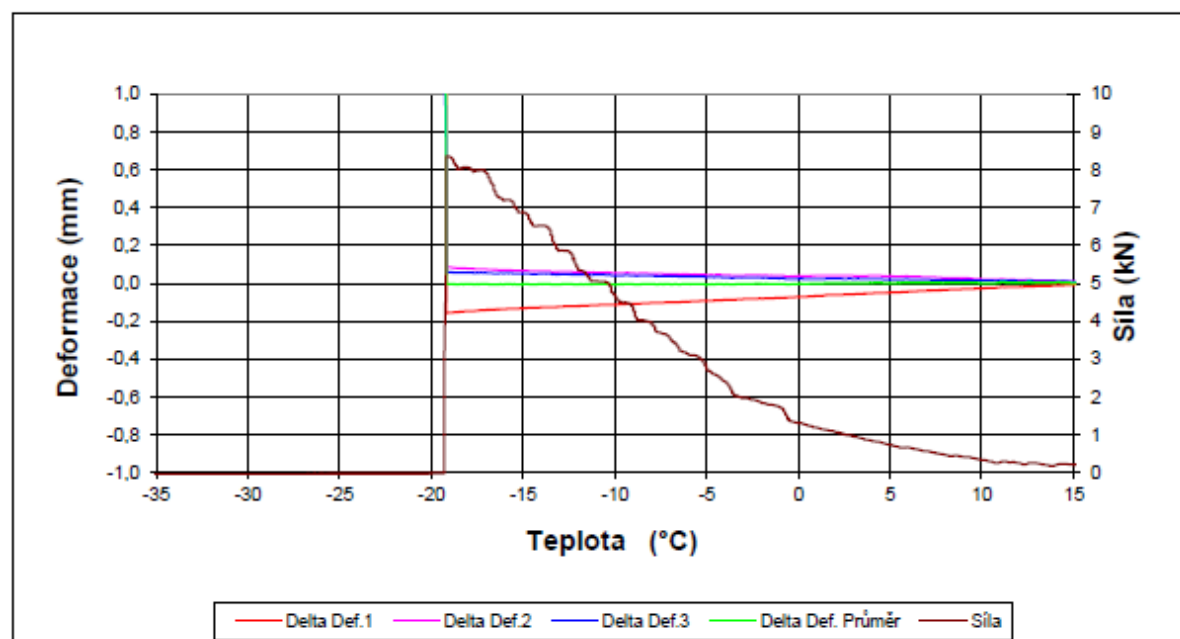
Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	100/150 B.3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.08 x 50.36 x 200.00
Datum zkoušky :	3.4.2019
Zkoušku provedl :	Trnka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	7,82
Max. napětí při porušení - MPa :	3,10
Teplota v komoře při porušení - °C :	-19,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-17,1



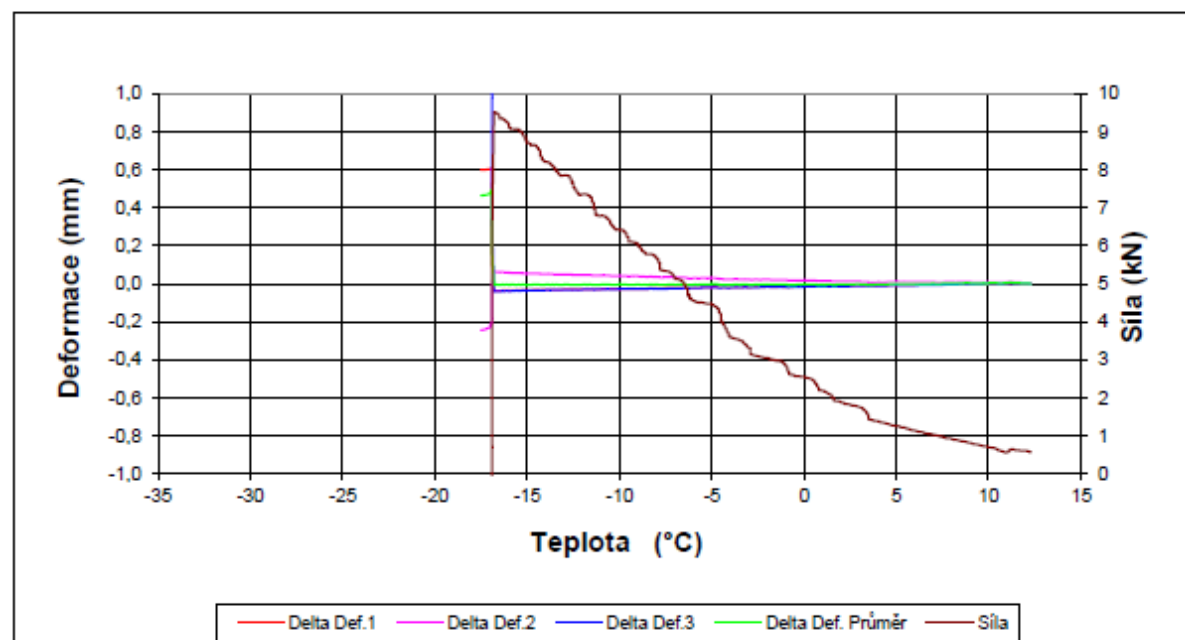
Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

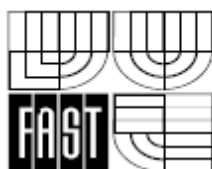
Akce :	BP
Asfaltová směs :	100/150.B.4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.63 x 49.81 x 200.00
Datum zkoušky :	8.4.2019
Zkoušku provedl :	Trnka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,35
Max. napětí při porušení - MPa :	3,31
Teplota v komoře při porušení - °C :	-22,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-19,2



Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP Tmka
Asfaltová směs :	50/70 + R A 3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.09x 51.39 x 200.00
Datum zkoušky :	25.3.2019
Zkoušku provedl :	Tmka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,52
Max. napětí při porušení - MPa :	3,63
Teplota v komoře při porušení - °C :	-19,1
Teplota vzorku při porušení - °C :	-16,8





FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
602 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax : (05) 745 147
e-mail : kudma@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	50/70 + R A.4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.23 x 51.18 x 200.00
Datum zkoušky :	2.4.2019
Zkoušku provedl :	Trmka
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,04
Max. napětí při porušení - MPa :	3,07
Teplota v komoře při porušení - °C :	-20,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-17,6

